

**International approaches of
coastal research
in theory and practice**



Coastline Reports

13 (2009)

**International approaches of
coastal research
in theory and practice**

**EUCC – Die Küsten Union Deutschland e.V.
Warnemünde, 2009**

**ISSN 0928-2734
ISBN 978-3-9811839-5-5**

Imprint

Photos front: Harbour of Klaipeda (Photo: Inga Krämer)

Storm flood in Warnemünde (Photo: EUCC Germany)

Coastal use and protection at the beach of Warnemünde (Photo: Adelia Bles)

Abrasion at the chalk cliff of Rügen (Photo: Inga Krämer)

Inset: Floodplain in front of a dyke near Husum (Photo: Birte Wehnsen)



Coastline Reports is published by:

EUCC – The Coastal Union
P.O. Box 11232,
2301 EE Leiden, The Netherlands

Responsible editors of this volume:

EUCC – Die Küsten Union Deutschland e.V.
Nardine Stybel, Susanne Schumacher & Birte Wehnsen
c/o Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde
Seestr. 15,
18119 Rostock, Germany

Coastline Reports are available online under <http://www.eucc-d.de/> and <http://www.eucc.net/>. For hardcopies please contact the editors or the EUCC.

Preface / Vorwort

The Coastal Union Germany (EUCC-D) together with the Coastal and Marine Union (EUCC) support a sustainable coastal and marine development. Thereby the EUCC-D perceives itself as a link between practice-oriented research and the implementation at stakeholder and administration level in Germany. Information and dissemination are of paramount importance; therefore, several print and online media are released and distributed.

Within the EUCC network particularly trainees are supported via information platforms and distributing their research results to find a professional entry in coastal and marine research and management. This issue of "Coastline Reports" is a current summary of results written by university graduates, postgraduates and scientists dealing with natural and anthropogenic coastal changes. A main focus is on climate change, but also tourism and beach management, water quality and Integrated Coastal Zone Management are discussed. Geographically the articles refer to the Baltic Sea Region and the North Sea Region, Cameroon, Brasilia and Columbia, showing the intense coastal stress worldwide.

The Coastal Union Germany wants to thank the authors for the good cooperation. This issue was financially supported by BaltCICA (Baltic Sea Region Programme 2007-2013) and RAdOst (BMBF 01LR0807K).

Die Küsten Union Deutschland e.V. (EUCC-D) setzt sich gemeinsam mit der Coastal and Marine Union (EUCC) in Deutschland und Europa für die nachhaltige Entwicklung von Küsten und Meeren ein. Dabei versteht sich die EUCC-D als ein Bindeglied zwischen praxisrelevanter Forschung und der Umsetzung auf Akteurs- und Behördenebene in Deutschland. Von entscheidender Bedeutung sind Information und Informationsverbreitung, weshalb verschiedene Print- und Online-Medien herausgegeben und verbreitet werden.

Im EUCC-Netzwerk werden vor allem Nachwuchskräfte durch Informationsplattformen und die Verbreitung ihrer Forschungsergebnisse hinsichtlich eines beruflichen Einstieges in Forschung und Management von Küste und Meer unterstützt. Der vorliegende Band der „Coastline Reports“ stellt einen aktuellen Ergebnisbericht von Hochschulabsolventen, Doktoranden und Wissenschaftlern dar, der sich den natürlichen und anthropogenen Veränderungen von Küstensystemen widmet. Einen Schwerpunkt bildet dabei der Klimawandel, aber auch Tourismus- und Strandmanagement, Wasserqualität und Integriertes Küstenzonenmanagement werden thematisiert. Geographisch nehmen die Artikel Bezug zu Ostsee- und Nordseeregionen, Kamerun, Brasilien sowie Kolumbien und verdeutlichen damit, wie stark die Küsten weltweit beansprucht sind.

Die Küsten Union Deutschland bedankt sich bei allen Autoren für die gute und konstruktive Zusammenarbeit. Unterstützt wurde die Herausgabe des vorliegenden Bandes von den Projekten BaltCICA (Baltic Sea Region Programme 2007-2013) und RAdOst (BMBF 01LR0807K).

Warnemünde, November 2009

Nardine Stybel

Geschäftsführung EUCC-D



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Contents

International approaches of coastal research in theory and practice

Mark Schürch & Achim Daschkeit

Analysis of climate change impacts on the ecological system of the western Baltic Sea... 7

Susanne Schumacher & Nardine Stybel

**Auswirkungen des Klimawandels auf den Ostseetourismus –
Beispiele internationaler und nationaler Anpassungsstrategien..... 23**

Mary Fonteh, Luciana S. Esteves & W. Roland Gehrels

**Mapping and valuation of ecosystems and economic activities
along the coast of Cameroon: implications of future sea level rise..... 47**

Matthias Mossbauer

Lokale Küstenerosion in der Glowe-Bucht – eine Analyse..... 65

Heiko Spekker

**Steuerung von Küstenschutzelementen an Tideflüssen als Grundlage
für ein Risikomanagement..... 79**

Jana Koerth

Sturmhochwasser an der Ostseeküste – Wahrnehmung eines Naturrisikos 95

Anke Schmidt

**Integrative Bewertung der Auswirkungen touristischer Nutzungen
auf die Bereitstellung der *Ecosystem Services* auf der Insel Sylt..... 105**

Milena Kiatkoski Kim & Naína Pierri

**The social sustainability as a condition for conservation:
the case of Ilha do Mel – Brazil 119**

Camilo Botero & Yuri Hurtado

**Tourist Beach Sorts as a classification tool for Integrated Beach Management
in Latin America..... 133**

Axel Möller, Lutz Ahrens, Renate Sturm & Ralf Ebinghaus

**Identification of point sources of polyfluoroalkyl compounds (PFCs) along
the River Rhine watershed and their transportation into the North Sea..... 143**

Jan Landman

**Der Beitrag des Integrierten Küstenzonenmanagement (IKZM) für ein
nachhaltiges Flächenmanagement in Küstengebieten –
eine literaturtheoretische Vergleichsanalyse 155**



Analysis of climate change impacts on the ecological system of the western Baltic Sea

Mark Schürch¹ & Achim Daschkeit²

¹University of Kiel, Germany

²German Federal Environment Agency, Dessau

Abstract

Climate observations for the Baltic Sea show a warming of 0.85 °C throughout the last 100 years. Projections for the 21st century indicate an accelerated warming trend and changes in precipitation patterns. These changes could have an impact on the ecological system of the Baltic Sea, as described in the *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. This study models these ecological impacts in using a simple ecological model that was applied to the habitat type ‘reefs’ within the marine *Special Areas of Conservation* (SACs), according to the European Habitat Directive. Based on results from the REMO regional climate model, changes of the ecological system of the Baltic Sea were modelled. Furthermore, the most important reef characteristics and climate factors which induce ecological impacts in the area were identified. Results indicate that the trophic level and light conditions of a SAC determine the direction and the magnitude of climate-induced ecological impacts. The most important climate element was found to be precipitation over land which controls the runoff and, therefore, the nutrient and freshwater input into the ecosystem of the Baltic Sea.

1 Background and motivation

The Baltic Sea is the world’s largest brackish sea. Compared to its water volume, the catchment area is very large; meanwhile, water exchange with the adjacent North Sea is limited to three narrow passages (Little Belt, Great Belt, The Sound). Eutrophication and pollution by harmful substances, therefore, is an important issue for the protection of the Baltic Sea (HELCOM 2003). Several international agreements were signed in order to protect terrestrial and marine environments in general (e. g. Habitat Directive, Water Framework Directive) and, specifically, the Baltic Sea environment (e. g. HELCOM). Throughout the last few decades, climate change has become an issue of rising importance for the protection of both terrestrial and marine environments (Kirby 2003). Compared to a mean global warming of 0.05 °C/decade from 1861 to 2000, the Baltic Sea region has experienced a considerably strong warming of 0.08°C/decade. Furthermore, regional climate projections indicate that this trend will continue for the next 100 years, suggesting further warming of 3 to 5°C and associated changes in precipitation patterns (HELCOM 2007). Hence, ecosystem changes have been observed by several authors, including changes in sea surface temperature (SST), ice sheet cover, and river runoff (Graham 2004, Madsen & Højerslev 2009, Omstedt et al. 2004). If this trend continues, it is expected that climate change will also affect the water exchange between the North Sea and the Baltic Sea, and the salinity and hydrographic conditions in the Baltic Sea (HELCOM 2007, Omstedt et al. 2004).

The ecosystem of the Baltic Sea is strongly governed by salinity and oxygen gradients. A continuous decrease in salinity is observed from the North Sea connection to the northeasternmost part of the Baltic Sea. Furthermore, the presence of a distinct halocline, separating the saline water of the North Sea from the much fresher Baltic Sea water, inhibit vertical water exchange (HELCOM 2003). Due to the topography of the Baltic Sea, which is characterized by many basins separated by ridges, the inflow of saline North Sea water to the Baltic Sea is limited to strong storm events that can produce

salt water inflows (Lass & Matthäus 1996). Both the basin structure and the stable halocline explain why the Baltic Sea ecosystem is very sensitive to variations of climatic parameters.

The estimation of future climate change on the scale of the Baltic Sea is only possible by means of regional climate models that have a high spatial resolution and incorporate the Baltic Sea as a driving climate factor (Hagedorn et al. 1998). Several models have been presented during the last decade. A project named PRUDENCE compared the results and presented projections for future climate changes in Europe (Christensen & Christensen 2007). One of these models with a horizontal resolution of 50 km was the REMO model (Jacob & Podzun 1997). For more regional predictions, e. g. high resolution simulations for Germany, the model was downscaled to a 10 km resolution (Jacob et al. 2008). Due to its high resolution and its good agreement with data published by the PRUDENCE project (Figure 1) and Hagedorn et al. (1998) within the region of the south-western Baltic Sea, these data were used for the presented analysis. Figure 1 shows the projections for temperature and precipitation changes between 1961-1990 and 2071-2100 of several regional and global climate models that were applied to the Baltic Sea during the PRUDENCE project. The Baltic Sea area was divided into 4 subregions, separating land from sea regions and the north-eastern from the south-western parts. Figures 1a and b show projected changes of temperature and precipitation for the period between 1961-1990 and 2070-2099 in winter and summer months, respectively (HELCOM 2007). In comparison, simulation data on the German Baltic Sea, located in the south-western part of the Baltic Sea, are derived from the REMO-UBA project and are indicated as boxes, representing the range of data as annual mean.

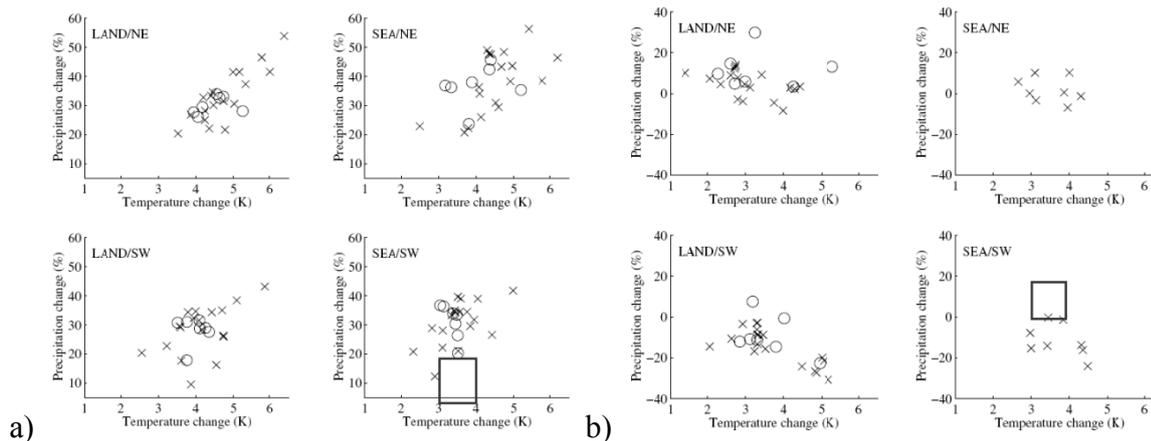


Figure 1: Seasonal PRUDENCE data (circles and crosses) in winter (a) and summer (b) compared to annual mean REMO-UBA data (boxes) (after: HELCOM 2007, modified)

These major climatic changes expected for the coming century will have significant effects on the ecosystem and the pelagic and benthic communities in the Baltic Sea. The BALTEX Assessment of climate change (BACC) reviews the climate projections for the Baltic Sea Basin and describes possible impacts on its ecosystem (HELCOM 2007).

2 Study objectives

The goal of this study is the analysis and visualization of possible climate change impacts on the benthic communities of the reefs within the SACs of the German Baltic Sea. It aims to assess climate induced environmental impacts as reported by the authors of the BACC and to model them qualitatively. The study is focussed on mineralogenic reefs in the German Baltic Sea, due to their exceptional ecological value in terms of species diversity and abundance, and because they are protected by the Habitat Directive which defines them as a “natural habitat of Community interest”. According to the Habitat Directive, “reefs can be either biogenic concretions or of geogenic origin.

They are hard compact substrata on solid and soft bottoms, which arise from the sea floor in the sublittoral and littoral zone. Reefs may support a zonation of benthic communities of algae and animal species as well as concretions and corallogenic concretions” (EC 2007: 13).

The study area includes regions in the German Baltic Sea that are designated as “Special Areas of Conservation” (SACs) by the Habitat Directive. Based on the international law of the sea, the German part of the Baltic Sea (with regard to nature conservation) is defined as the Exclusive Economical Zone (EEZ) and the zone of 12 nautical miles (Figure 2).

As a consequence of climate change, benthic communities’ extent will change as they reach their distribution limit due to temperature and salinity changes. This study does not investigate these changes explicitly, but rather takes a more general look as to whether the reefs are expected to preserve their ecological function as an important habitat for various species. According to the findings described in the BACC, a simple weighted sum model was developed, using these sums to describe the impact of climate change on specific processes and to estimate if the habitats are endangered by climate change or if they even benefit from it. Furthermore, the most important driving factors were identified by the multiple linear regression method. In particular, the main goals and objectives of this study can be summarized as follows:

- Review of climate-induced impacts on the ecosystem of the Baltic Sea and on the habitat type of the reefs in specific
- Development of a simple weighted sum model in order to estimate climate-induced impacts on reefs within Special Protection Areas in the German Baltic Sea
- Identification of the most important driving factors triggering changes in the ecosystem of reefs

3 Location and methods

3.1 Study sites

The selection of the study sites was very much dependent on the availability of information and data. Compared to the availability of data on terrestrial ecosystems, data regarding marine ecosystems are relatively limited. Following the Habitat Directive, Germany has designated a total of 4,622 SACs (BfN 2008), 54 of them being (partially or completely) located in the German Baltic Sea. Many coastal SACs have both terrestrial and marine components. In order to ensure that a reef in such a ‘divided’ SAC is functioning as a marine habitat, a minimal reef area of 100 ha was needed to select the investigated sites. In the German Baltic Sea there are 21 SACs fulfilling this condition (Figure 2).

The designation process of SACs is clearly defined by the Habitat Directive. Therefore, it is necessary to assess data about sediment types, hydrology, submarine vegetation, and the current state of these ecosystems (Krause et al. 2008). These data are summarized in a standard data form (EC 2007).

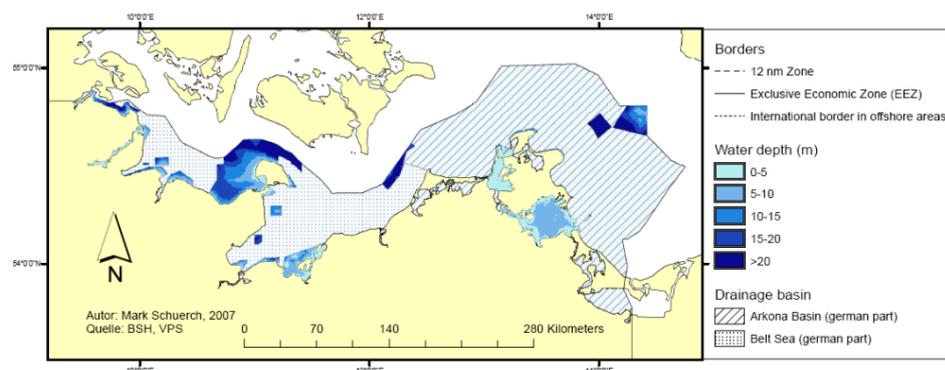


Figure 2: Overview over the selected study sites in the German Baltic Sea (Data: BSH 2007)

The selected study sites are marked by different physical characteristics: The mean water depth illustrated in Figure 2 ranges from 1.4 m to 26.8 m. Furthermore, the study sites are located in two different drainage basins, the Belt Sea in the west and the Arkona Basin in the east (Figure 2). Also, the degree of water exchange with the open Baltic Sea is very variable between the selected study sites. Some SACs, e. g. Schleimünde in the western part and the sites within the Bodden waters in the eastern part of the study area, are much more enclosed than other areas that are located at the open coast or in the deep parts of the Baltic Sea.

3.2 Data

In order to designate SACs, local and national authorities are obliged to collect data about possible Sites of Community Interest. These data are reported in standard data forms and include information about the following parameters:

- Distribution and relative importance of habitat types
- Ecological status and possible threats of habitat types
- Inventory of typical and endangered species

These data were reviewed and fed into a database for all selected study sites. Furthermore, some general characteristics such as the minimal, maximal, and average depth (Figure 2) and the distance of a site to the shore were also analyzed by means of a bathymetry and coastline file (BSH 2007). As an additional measure for the ecological status of the sites, the current status of eutrophication was assessed, using point data for Secchi-depths by Aarup (2002) and various data sets from the Bund-Länder-Messprogramm (BLMP), collected during the time period 1903-2003. As expected, the degree of eutrophication varies throughout the study area, ranging from low Secchi-depths close to the shore and in the eastern section of the study area to rather high values further offshore and in the west.

In order to simulate climate-induced ecological changes in the Baltic Sea ecosystem, it is crucial to include data about the magnitude and the spatial variation of climate change itself. Considering the fact that some study sites have a diameter of only a few hundred metres, it is important to use data with the highest possible spatial resolution. The REMO regional climate model was used by the German Federal Environmental agency (UBA) to investigate the expected climate changes for Germany (Jacob et al. 2008). It is a regional climate model that is fed by the global climate model ECHAM5-MPI-OM (Jungclaus et al. 2006). While the ECHAM5-MPI-OM is a coupled ocean-atmosphere model, the REMO model is an atmospheric model only. Hagedorn (1998) has shown significant differences between an uncoupled REMO model and a coupled REMO model especially in the central and northern Baltic Sea area. However, simulation results for sensible heat flux, wind, and precipitation show a reasonable agreement with results of the REMO-UBA simulation runs (Hagedorn et al. 1998). Also, results of the REMO-UBA simulation run for temperature and precipitation are within the range of model results presented by the PRUDENCE project (Figure 1).

The REMO-UBA model runs were conducted for the emission scenarios A1B, A2, B1 of the IPCC Special Report on Emission Scenarios (IPCC 2000), and for a control run from 1950 to 2000. More than 100 parameters were modelled for a period from 2001 until 2100 (Jacob 2005a, b). For the purpose of this study, the following parameters of the control run and the A1B scenario were used:

- Temperature (2 m above surface)
- Precipitation (combined convective and stratiform)
- Evaporation over the water surface
- Wind speed (10 m above surface)
- Runoff (combined river and surface runoff)

In order to identify spatial variations of climate changes throughout the German Baltic Sea, the absolute differences between the periods 1950-2000 and 2071-2100 were calculated. Furthermore, all values, except for the parameter temperature, were normalized with the results from the control run in order to be able to classify them into one scheme that contains 10 (11 for temperature) classes ranging from a very strong decrease (-5) to a very strong increase (+5), as illustrated in Table 1.

Table 1: Classification of climate parameters

Class	Temperature	All other climate parameters
-5	<-4.5°	>-20 %
-4	-4.5° - -3.5°	-20 % - -15 %
-3	-3.5° - -2.5°	-15 % - -10 %
-2	-2.5° - -1.5°	-10 % - -5 %
-1	-1.5° - -0.5°	-5 % - 0 %
0	-0.5° - 0.5°	
+1	0.5° - 1.5°	0 % - 5 %
+2	1.5° - 2.5°	5 % - 10 %
+3	2.5° - 3.5°	10 % - 15 %
+4	3.5° - 4.5°	15 % - 20 %
+5	>4.5°	>20 %

3.3 Model development

The developed model aims to qualitatively assess impacts of climate change on the ecosystem of the Baltic Sea. The basic assumption of the model is that the product of all processes is a linear function of the involved parameters. Certainly, this assumption is not applicable for exact calculations of the described processes, but rather for a qualitative estimation of the magnitudes. For every parameter a weight is assigned, representing the importance of the parameter for a process. This weight is a positive value if a parameter is positively correlated to its product; on the contrary it is a negative value if a parameter is negatively correlated to its product. The estimation of these weights is based on an extensive literature review. New findings and further knowledge about certain processes can be integrated into the model by modifying these weights. The sum of all weights for one process must be 1. Finally, the weighted sums are added up resulting in a value that is of the same order of magnitude as the initial values (Table 1). Table 2 shows how the model could work for 5 imaginary sites with extreme values for climatic parameters.

Table 2: Exemplary calculation of the variable salinity

Site number	Δ Precipitation	Weight	Δ Evaporation	Weight	Δ Runoff	Weight	Δ Salinity
1	5	-1/3	-5	1/3	5	-1/3	-5
2	-5	-1/3	5	1/3	-5	-1/3	5
4	5	-1/3	5	1/3	5	-1/3	-2
5	-5	-1/3	-5	1/3	-5	-1/3	2
Site 1: Δ Salinity = (-1/3)*(5)+(1/3)*(-5)+(-1/3)*(5) = -5							

3.4 Hydrography

Due to the presence of a relatively distinct halocline in the Baltic Sea, changes in the hydrographical conditions provide the starting point for modelling environmental impacts. These changes include the stability of the water column in general, the presence of a seasonal thermocline, and the depth of the halocline. In summer, when the surface water is warm, a distinct thermocline separates the warm surface water from the cold bottom water. In winter, when surface temperatures drop to the temperature of maximum density, a mixing of the upper water column down to the halocline is

possible. Winter temperature and salinity of surface water, therefore, are the parameters that influence the stability of the water column and determine if the water column above the halocline is mixed during late winter, renewing the water with oxygen-rich surface water. Possibly higher winter temperatures and lower salinities would inhibit such a mixing (Matthäus 1996).

Further down in the water column, the halocline separates the fresher surface water from the more saline bottom water and inhibits vertical water exchange. The consequence is that the bottom water is depleted of oxygen and H₂S may be produced, killing macrophytes and zoobenthos in these regions. Areas that are located below the permanent halocline are, therefore, exposed to oxygen depletion. No oxygen-rich water is added through vertical mixing, but only through inflow of saline North Sea water (Matthäus 1996). Due to the fact that inflow events are controlled by meteorological circumstances rather than climate change (Matthäus & Schinke 1994, Schinke & Matthäus 1998), this parameter is not considered in this study. Therefore, the depth of the halocline and the stability of the water column are assumed to be the only hydrographic parameters determining the probability of oxygen depletion. If the halocline is lowered, due to enhanced freshwater input or more intense wind conditions, the extent of oxygen depletion is reduced.

3.5 Organic matter

Vertical exchange processes are not only important in terms of oxygen depletion, but also for the development of phytoplankton. Primary production within the water columns is dependent on water column stability as nutrients are transported upwards where the presence of light makes primary production possible (HELCOM 2007). The availability of nutrients in general is assumed to be dependent on surface and river runoff. Anthropogenic nutrient input is not specifically considered.

Due to their dominance in the study area, three species of phytoplankton were included in this study: Cyanobacteria, dinoflagellates, and diatoms (Wasmund et al. 2008). The composition of phytoplankton is important for the whole ecosystem (HELCOM 2007). Many factors have to be considered when studying the development of phytoplankton. One important physical characteristic is the hydrography of the water. Due to their physiology, cyanobacteria and dinoflagellates prefer stable water columns, while diatoms prefer a more mixed water column because they rely on passive mobility (Sommer 1996). Since settling velocities of phytoplankton vary between different species, the composition of phytoplankton has a significant influence on the abundance of nutrients at the seafloor and, therefore, on the development of benthic macrophytes and zoobenthos. The settling velocity of diatoms with some metres per day is much higher than the settling velocities of dinoflagellates and cyanobacteria (Sommer 1996, Wasmund et al. 2008). The combined effect of primary production, composition of phytoplankton species, and the influence of bacterial activity determine the amount of organic matter that sinks to the ground and is available for benthic macrophytes and zoobenthos.

3.6 Benthic macrophytes

Besides the amount of sinking organic material, the degree of water turbidity is crucial for the development of benthic macrophytes (Jones et al. 1983, Asaeda et al. 2001). The turbidity is high when primary production is high. In the proposed model it is assumed that turbidity is only important in disphotic regions (twilight zone of the seafloor), whereas in euphotic regions (zone with sufficient sunlight for photosynthesis) it is assumed that light availability is not a limiting factor within the time frame of the presented model. In aphotic regions (zone without sunlight) no macrophytes will develop. For the purpose of this study, the disphotic zone is defined as the zone where the euphotic depth is ranging from 5 m below the seafloor to 5 m above the seafloor. The euphotic depth is calculated using the Secchi-depth, as shown in Equation 1 (Stuhr 2006):

$$\text{(Equation 1) Euphotic depth} = \frac{(\text{Secchi} - \text{depth})}{1.7} * \log(100) - \log(1)$$

These prerequisites ask for an individual treatment of euphotic, disphotic, and aphotic zones because limiting factors for macrophyte growth are different (Table 3). Within the disphotic zone, the trophic level of an area has to be accounted for because nutrient availability is higher in eutrophic areas than in oligotrophic areas. For this reason nutrients are not considered as a limiting factor for eutrophic areas in the disphotic zone, but they are in meso- and oligotrophic areas (Table 3). For classification of the trophic status of a water body the classification published by the 'Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern' (LUNG) was used (taken from Rödiger 2003). Accordingly, water bodies with a Secchi-depth less than 4 metres are eutrophic (summarizing term for hypertrophic, polytrophic, very eutrophic, and eutrophic), water bodies with a Secchi-depth between 4 and 6 metres are mesotrophic, and water bodies with a Secchi-depth more than 6 metres are oligotrophic.

Table 3: Limiting factors for different light conditions and trophic states

Light conditions / trophic class		Light as limiting factor	Nutrients as limiting factor
Euphotic zones			X
Disphotic zones	Eutrophic	X	
	Mesotrophic	X	X
	Oligotrophic	X	X
Aphotic zones		No growth of macrophytes	

Following Table 3, the weights for sinking organic material, representing nutrients supply, and for primary production, representing the degree of turbidity, as parameters for the growth of benthic macrophytes are estimated as shown in Table 4. For euphotic zones the weighting is simple because enough light is available so that the development is only dependent on the amount of sinking organic material. In disphotic zones light availability is of great importance in eutrophic zones because nutrients are very unlikely to be a limiting factor, but of less importance in oligotrophic zones where nutrients are more likely to be the limiting factor.

Table 4: Input weights for the calculation of macrophyte development

Light conditions / trophic class		Weight for primary production	Weight for sinking organic material
Euphotic zones		0	1
Disphotic zones	Eutrophic	-0.9	0.1
	Mesotrophic	-0.7	0.3
	Oligotrophic	-0.5	0.5
Aphotic zones		0	0

3.7 Zoobenthos

The term zoobenthos is a collective term for animal organisms living on the seafloor. Compared to macrophytes that only grow where light conditions are favourable, zoobenthos are not directly dependent on sunlight, but very much dependent on oxygen availability. As described above, the oxygen situation, especially in the deep basins of the Baltic Sea, is very critical. It is highly dependent on the hydrographic situation, the amount of sinking organic material, and the abundance of benthic macrophytes. If the water column above the sea floor is rather stable, oxygen consuming degradation processes of sinking organic material and macrophytes will induce oxygen depletion. If the water column is less stable, oxygen from the surface layer is mixed into the deeper zones (HELCOM 2009). The development of zoobenthos is also dependent on food resources. Sinking organic material as well as benthic macrophytes are important food sources for all kinds of zoobenthos. Following the concept of limiting factors, the study sites are divided into three groups of different trophic states in order to

assign weights for the calculation of the estimated development of zoobenthos. It is assumed that oxygen is only a limiting factor in eutrophic zones, while oxygen and nutrients are the limiting factors in mesotrophic zones, and only nutrients are the limiting factor in oligotrophic zones (Table 5).

Benthic macrophytes can have a negative influence on the development of zoobenthos because they enhance the depletion of oxygen. This phenomenon is already captured by the calculation of the probability for oxygen depletion (not illustrated in detail). At the same time macrophytes serve as an important food source and refuge for zoobenthos. Considering the limiting factors of nutrients and oxygen availability and the positive effects of macrophytes, the weights for the development of zoobenthos can be summarized as shown in Table 5. In eutrophic regions, where primary production is high and nutrient availability is very high, the most important factor for the development of zoobenthos is the probability of oxygen depletion. Nutrient is no problem for their development. The exact opposite can be assumed for the oligotrophic zones, where the probability of oxygen depletion is neglectable, but nutrient availability is limited. The importance of macrophytes does not depend on the trophic level; their function for zoobenthos is of the same importance in eutrophic, mesotrophic, and oligotrophic regions (Table 5).

Table 5: Input weights for the calculation of zoobenthos development

Trophic class	Limiting factor oxygen	Weight for the probability of oxygen depletion	Limiting factor nutrients	Weight for sinking organic material	Weight for the abundance of macrophytes
Eutrophic	X	-0.7		0	0.3
Mesotrophic	X	-0.3	X	0.3	0.4
Oligotrophic		0	X	0.7	0.3

3.8 Habitat-specific climate sensitivity

Reefs were the type of habitat (as defined by the Habitat Directive) studied, assuming that the climate sensitivity is a function of the qualitative development of benthic macrophytes and zoobenthos. Additionally, the ecological value (ranging from 0 = 'habitat does not exist within the site' to 3 = 'very high ecological value'), as reported in the standard data forms of the designated SACs, was included, assuming that habitats with high ecological values are more vulnerable than habitats with low ecological values. The calculation of a number for the exposure of a habitat was concretely performed using Equation 2:

$$\text{(Equation 2) Exposure} = \text{Ecological value (1 - 3)} - \Delta\text{Zoobenthos (-5 - 5)} - \Delta\text{Macrophytes (-5 - 5)}$$

3.9 Identification of most important driving factors

In order to identify the driving factors that are responsible for the exposure of a SAC towards climate change, the method of multiple linear regression was applied (Wisemann 2008). The combined influence of the weight of a specific parameter and the projected change of this parameter was investigated. Table 6 shows the regression analysis for the change in salinity as it was modelled. While B is the value for the slope of the calculated regression, the standardized Beta-coefficient (bold numbers) shows the correlation of each variable to the independent variable.

The non-standardized coefficient B shows the weights that the model assigns to every parameter that influences the salinity (Table 2). When analysing the correlation of each parameter with resulting salinity, the high Beta-value indicates that the spatial variation of the runoff has the strongest influence on the resulting salinity variations.

Table 6: Multiple linear regression analysis (dependent variable is salinity)

Parameter	Non standardized coefficients		Standardized coefficients	Significance
	B	Standard Error	Beta	
(Constant)	-8.189*10 ⁻⁸	0.000		0.050
Runoff	-0.333	0.000	-0.821	0.000
Evaporation	0.333	0.000	0.235	0.000
Precipitation	-0.333	0.000	-0.326	0.000

4 Results

In the following section, the results will be presented with focus on the spatial variations of the investigated parameters and the resulting exposure of the habitats. Furthermore, the driving factors for these variations will be presented.

The starting point for the conducted calculations was the climate projections derived from the REMO model. The parameters temperature (summer, winter, and annual mean), precipitation, runoff, evaporation, and wind velocity were fed into the developed model. Subsequently, the results for the hydrographic parameters, the development of organic material, and the consequences for the development of macrophytes and zoobenthos are presented. This finally leads to the derivation of the exposure values for every habitat.

4.1 Climate projections

Temperature change was divided into the three sub-parameters summer temperature, winter temperature, and annual mean temperature. The general trend for all subsets shows a slight gradient from west to east that can be explained by an increasing continental influence in the eastern part of the study area. While the annual mean temperature increases by about 2.8 to 3.1 °C, there is a seasonal variability as summer temperatures show a slightly lower increase of 2.6 to 2.9 °C, while winter temperatures increase by 3.4 to 3.9 °C. After classifying these values according to Table 1, no spatial variation can be observed for the annual mean and summer temperatures because all values fall into the same class (+3), while the increase of winter temperatures still represents a slight gradient to the east.

Precipitation is the parameter with the largest variation in the study area, ranging from a very slight decrease (-5 %) to a strong increase (+17 %). The most remarkable feature is a clear gradient from land to sea, leading to an increase of precipitation over the sea and to a decrease over the land. Due to the increasing continental influence, this trend is even stronger in the eastern part of the study area, causing considerable decreases over the inlands of Mecklenburg-Vorpommern. Although the values for precipitation change over the land are not directly included in the model, they nevertheless have a significant influence on the runoff parameter.

Consequently, the spatial variation of the runoff that is calculated for the two drainage basins (Figure 2) by averaging the values within the two drainage basins, displays the strong gradient of the precipitation changes. The average runoff into the Arkona Basin is expected to decrease by about 23 % while the average runoff into the Belt Sea is expected to decrease by only about 6 %.

As expected, the changes for evaporation are closely linked to the temperature values, showing a strong increase between 20 and 25 % with a gradient towards the eastern part of the study area.

The expected change for wind velocity ranges between 1 and 4 % increase with slightly higher values over the sea and towards the east. After reclassification, however, the very slight increase of wind velocity is uniform in the study area.

4.2 Hydrographic parameters

The hydrographic situation is highly dependent on climatic changes. Due to the expected decrease in runoff, especially in the Arkona Basin (-23 %), model results indicate a general trend to higher salinities. According to the BACC authors (HELCOM 2007), the halocline might migrate downwards in case of a stronger freshwater inflow. Consequently, higher salinities are assumed to contribute to a lifting of the halocline. Furthermore, lower salinities account for a lower stability of the water column although a significant increase in winter temperatures is much more important and, therefore, responsible for a trend to a more stable water column.

4.3 Organic material

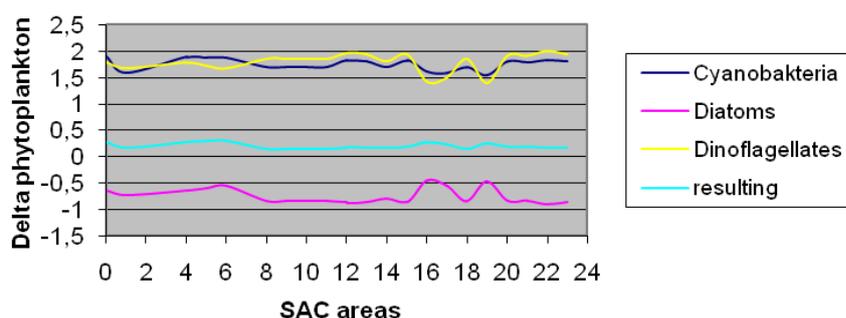


Figure 3: Change in phytoplankton composition and resulting sinking organic material

The changes of the hydrographic parameters induce changes in the composition of phytoplankton species. The stabilization of the water column favours the development of cyanobacteria and dinoflagellates (Figure 3). While the higher summer temperatures also favour cyanobacteria, the dinoflagellates profit from the fact that cyanobacteria improve the nutrient availability through their ability of nitrogen fixation (HELCOM 2007, von Bröckel 2005). Contrary to this, diatoms are inhibited because of the stabilization of the water column (Figure 3).

Figure 3 illustrates the modelled net effect of the changes of composition on the amount of organic material sinking to the ground. The effect is calculated by assuming a constant concentration of phytoplankton with a certain composition, and by considering a change of composition of the three species. Regarding the different settling velocities, it becomes clear that a decrease of diatoms, going along with an increase of cyanobacteria, could theoretically induce a decrease in phytoplankton sinking to the ground. The results provided by the model indicate that the changes in composition result in a very slight increase of phytoplankton sinking to the ground, especially because the decrease of diatoms is very weak and because dinoflagellates, with a settling velocity higher than cyanobacteria and lower than diatoms, are also increasing considerably.

As the multiple linear regression analysis shows, the development of the sinking organic material is more dependent on the nutrient input than on the composition of phytoplankton. As runoff is decreasing, especially in Arkona Basin, primary production and, therefore, the amount of sinking organic material is also decreasing.

4.4 Macrophytes and zoobenthos

As described above, the calculations for the development of macrophytes and zoobenthos were conducted depending on the light and eutrophication status of the site. All the SACs can, therefore, be classified into 5 groups (Figure 4):

- Euphotic zones: Areas with less than 10 m depth, close to the shore and with exchange of water with the open Baltic Sea
- Disphotic-eutrophic zones: Areas with less than 10 m depth, close to the shore and with limited exchange of water with the Baltic Sea
- Disphotic-mesotrophic zones: Areas with water depth between 10 and 22 m, located more than 5 km from the shore
- Disphotic-oligotrophic zones: Areas with water depth between 10 and 22 m, located more than 5 km from the shore
- Aphotic zones: Areas with more than 22 m water depth

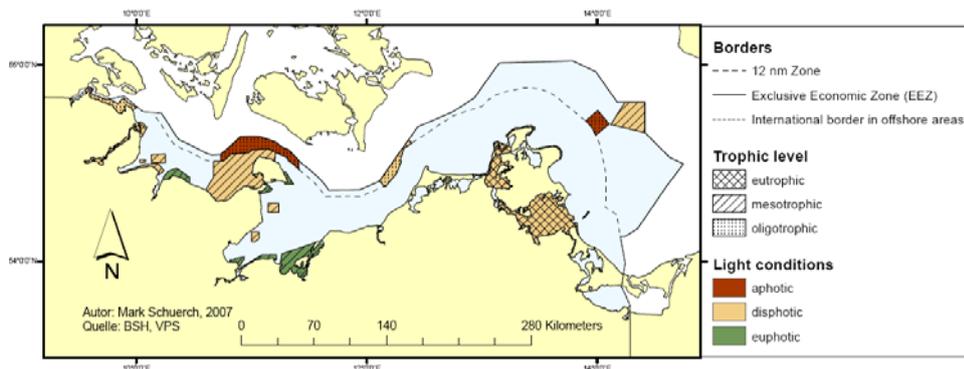


Figure 4: Trophic level and light conditions in the study sites (Data: BSH 2007, Aarup 2002, Daschkeit et al. 2007)

Model results indicate that the development of macrophytes within each group is similar; however, results in the Arkona Basin vary from the results in the Belt Sea (Figure 5). In euphotic zones the macrophytes show a slight decrease which is a little more pronounced in the Arkona Basin (Figure 5: group 4) than in the Belt Sea (Figure 5: group 3). Contrary to this, macrophytes are increasing in disphotic-eutrophic zones whereas this trend is much weaker in the only area located in the Belt Sea (Figure 5: group 2) and when compared to the very shallow and enclosed areas in the Bodden waters (Figure 5: group 1). No changes for the growth of macrophytes were calculated for all disphotic-oligotrophic, disphotic-mesotrophic, and aphotic zones. By means of a linear regression it can be shown that the Secchi-depth can explain most of the differences between the groups, although this is not surprising as the weights for the calculations are very much dependent on the trophic state and the light conditions in a site. Further analyses of the model results show runoff being the most important climatic driving factor for the development of the macrophytes, and explaining most of the differences inside the groups. The reasons for the importance of the runoff are its large gradient in the study area and the fact that many parameters in the ecological system of the Baltic Sea are dependent on the input of nutrients and freshwater into the system. Therefore, results show a significantly different development of macrophytes in areas with a very strong decrease of runoff (Arkona Basin) compared to areas with a weaker decrease (Belt Sea).

As described above, the development of zoobenthos is very much dependent on the oxygen situation which is mainly determined by the depth of the halocline and by the development of macrophytes. The regression analysis of model results shows that the development of macrophytes is the most important factor influencing the oxygen situation which, in turn, is the most important factor influencing the development of zoobenthos. In general, model results indicate that zoobenthos are stagnant or decreasing in all investigated areas and that this trend is the most pronounced in euphotic-oligotrophic and euphotic-mesotrophic zones (Figure 6: groups 4 to 6) because this is where macrophytes are

decreasing most of all. Meanwhile, in the eutrophic-disphotic zones where macrophytes are increasing most rapidly, oxygen depletion is inhibiting an increase of zoobenthos (Figure 6: group 1).

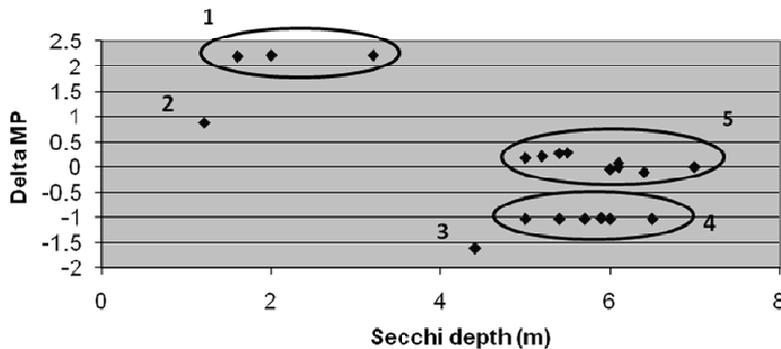


Figure 5: Macrophyte changes for 5 groups of study sites:

1 – Eutrophic-disphotic areas in the Arkona Basin: Bodden water; 2 – Eutrophic-disphotic areas in the Belt Sea: Schleimündung; 3 – Euphotic areas in the Arkona Basin; 4 – Euphotic areas in the Belt Sea; 5 – Mesotrophic- and oligotrophic-disphotic areas, aphotic areas

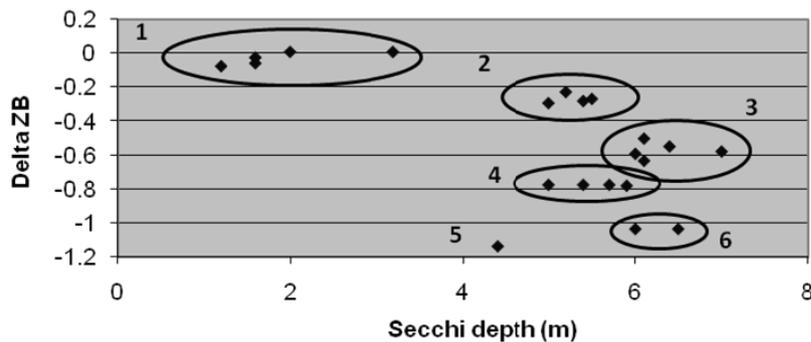


Figure 6: Zoobenthos changes for 6 groups of study sites:

1 – Eutrophic-disphotic areas; 2 – Mesotrophic-disphotic areas; 3 – Oligophotic-disphotic and aphotic areas; 4 – Mesotrophic-euphotic areas in the Belt Sea; 5 – Mesotrophic-euphotic areas in the Arkona Basin; 6 – Oligotrophic-euphotic areas in the Belt Sea

4.5 Exposure of habitats

By combining the information about the current ecological value of the sites with the modelled results for the development of macrophytes and zoobenthos using Equation 2, the exposure of the reefs can be calculated. Results indicate that the exposure of the studied habitats towards climate change, as it is defined in this study, vary considerably (Figure 7). Reefs in eutrophic regions are less endangered because a strong decrease of runoff, especially in the Arkona Basin, improves light conditions in eutrophic regions, causing enhanced growth of macrophytes and, therefore, zoobenthos (Figure 7).

The most endangered reef habitats are located in meso- and oligotrophic regions where a decrease in nutrients leads to a nutrient deficiency and inhibits the development of macrophytes and zoobenthos (Figure 7).

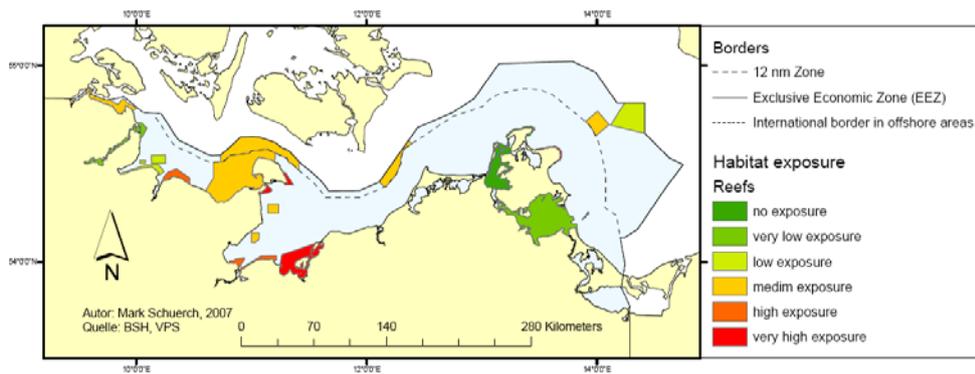


Figure 7: Calculated degree of exposure for all reefs in the investigated SACs (Data: BSH 2007, own calculations)

5 Discussion and conclusion

Climate change and the rising importance of nature conservation issues demonstrate the need for research in the field of climate impacts on natural ecosystems. This study shows a possibility to qualitatively assess possible climate impacts on the protected reef habitats in the Baltic Sea. Due to its very simple approach, the presented results are not thought to be a definite assessment of the exposure of reefs towards climate change, but rather to demonstrate the various opposing effects that have to be considered when investigating climate change impact on natural ecosystems in an integrative manner.

The developed model was very much based upon the findings of the BACC and tried to capture the described processes in a model. The comparison of the model results with the possible consequences described by the BACC showed that the model is able to reproduce these consequences in general. It also showed that the assessment of climate induced ecosystem changes is very much dependent on the scale on which the assessment is conducted. The projections for an average increase of runoff in the whole Baltic Sea, for example, is contrary to an average decrease of runoff in the study area. The model highlights that this difference is very important in terms of ecological impacts because many parameters such as the stability of the water column and the depth of the halocline are changing, having major impacts on the whole ecosystem. In order to assess climate impacts for nature conservation purposes, a regional assessment, as presented in this study, is appropriate.

Furthermore, this study highlights the importance of different site characteristics. The attempt to divide the sites into different groups of light conditions and trophic levels is very rudimentary, but it seems to be a good approach for more integrated assessments of climate change impacts. The distance to the shore, and the water depth of a site have been shown to be a relevant parameter to model results by determining the eutrophic and euphotic state of a site.

The presented model is too simple to reproduce the very complex interactions within an ecosystem. Many possible important processes, such as sea level rise or migration of species, are not considered and all model equations are linear only. On the other hand, the advantage of the simplicity of a weighted sum model is that new findings and new processes can be implemented very easily by adjusting the weights for the involved parameters, adding parameters that influence a certain process, or even adding processes that are not included yet.

References

- Aarup, T. (2002): Transparency of the North Sea and Baltic Sea - A Secchi depth data mining. In: *Oceanologia* 44 (3): 323-337.
- Asaeda, T., V.K. Trung, J. Manatunge & T. van Bon (2001): Modelling macrophyte-nutrient-phytoplankton interactions in shallow eutrophic lakes and the evaluation of environmental impacts. In: *Ecological Engineering* 16 (3): 341-357.
- BfN - Bundesamt für Naturschutz (2008): FFH-Gebietsmeldungen in Deutschland (http://www.bfn.de/0316_gebiete.html, 25.08.2009).
- BSH - Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2007): Geodaten (<http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Geodaten/>, 26.08.2009).
- Christensen, J. & O. Christensen (2007): A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. In: *Climatic Change* 81, Supplement 1, pp. 7-30.
- Daschkeit, A., K. Kirstein, H. Sterr, H. May & P. Krost (2007): Das ökologische Potenzial der Kieler Innerförde und der unteren Trave, zwei nach der Wasserrahmenrichtlinie als 'erheblich verändert' eingestufte Küstengewässer. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein. Kiel.
- EC - European Commission (2007): Interpretation Manual of European Union Habitats (http://biodiversity.eionet.europa.eu/activities/Natura_2000/documentation, 28.08.2009).
- Graham, L.P. (2004): Climate Change Effects on River Flow to the Baltic Sea. In: *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 33 (4): 235-241.
- Hagedorn, R., A. Lehmann & D. Jacob (1998): A coupled high resolution atmosphere-ocean model for the BALTEX region. In: *Meteorologische Zeitschrift* 9 (1): 7-20.
- HELCOM - Helsinki Commission (2009): Eutrophication in the Baltic Sea - An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment in the Baltic Sea region. *Baltic Sea Environment Proceedings* No 115B.
- HELCOM - Helsinki Commission (2007): Climate change in the Baltic Sea Area - HELCOM Thematic Assessment in 2007. *Baltic Sea Environment Proceedings* No 111.
- HELCOM - Helsinki Commission (2003): The Baltic Marine Environment 1999-2002. *Baltic Sea Environment Proceedings* No 87.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2000): *Special Report on Emission Scenarios*. Cambridge, United Kingdom, 612 p.
- Jacob, D. (2005a): Remo A1B Scenario Run, UBA Project, 0.088 Degree Resolution, Run No. 006211, MM Data. *REMO_UBA_A1B_1_R006211_MM*. World Data Centre for Climate, CERA-DB.
- Jacob, D. (2005b): Remo C20 Scenario Run. UBA Project, 0.088 Degree Resolution, Run No. 006210, MM Data. World Data Centre for Climate, CERA-DB.
- Jacob, D., H. Göttel, S. Kotlarski, P. Lorenz & K. Sieck (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Umweltbundesamt Dessau.
- Jacob, D. & R. Podzun (1997): Sensitivity studies with the regional climate model REMO. In: *Meteorology and Atmospheric Physics* 63 (1): 119-129.
- Jones, R.C., K. Walti & M.S. Adams (1983): Phytoplankton as a factor in the decline of the submersed macrophyte *Myriophyllum spicatum* L. in Lake Wingra, Wisconsin, U.S.A. In: *Hydrobiologia* 107 (3): 213-219.
- Jungclaus, J.H., N. Keenlyside, M. Botzet, H. Haak, J.J. Luo, M. Latif, J. Marotzke, U. Mikolajewicz & E. Roeckner (2006): Ocean Circulation and Tropical Variability in the Coupled Model ECHAM5/MPI-OM. In: *Journal of Climate* 19 (16): 3952-3972.
- Kirby, K. (2003): Climate change - implications for practical nature conservation in the 21st century. In: *Journal for Nature Conservation* 11 (1): 1-1.
- Krause, J., O. von Drachenfels, G. Ellwanger, H. Farke, D.M. Fleet, J. Gemperlein, K. Heinicke, C. Herrmann, H. Klugkist, U. Lenschow, C. Michalczyk, I. Narberhaus, E. Schröder, M. Stock & K. Zscheile (2008): Bewertungsschemata für die Meeres- und Küstenlebensraumtypen der FFH-Richtlinie - 11er Lebensraumtypen: Meergewässer und Gezeitenzone (http://www.bfn.de/0316_bewertungsschemata.html, 28.08.2009).
- Lass, H.U. & W. Matthäus (1996): On temporal wind variations forcing salt water inflows into the Baltic Sea. In: *Tellus A* 48 (5): 663-671.

- Madsen, K.S. & N.K. Højerslev (2009): Long-term temperature and salinity records from the Baltic Sea transition zone. In: *Boreal Environment Research* 14: 125-131.
- Matthäus, W. (1996): Temperatur, Salzgehalt und Dichte. In: Rheinheimer G: *Meerekunde der Ostsee*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, pp. 75-81.
- Matthäus, W. & H. Schinke (1994): Mean atmospheric circulation patterns associated with major Baltic inflows. In: *Ocean Dynamics* 46 (4): 321-339.
- Omstedt, A., C. Pettersen, J. Rodhe & P. Winsor (2004): Baltic Sea climate: 200 yr of data on air temperature, sea level variation, ice cover, and atmospheric circulation. In: *Climate Research* 25 (3): 205-216.
- Rödiger, S. (2003): Untersuchung der Makrozoobenthosgemeinschaft des Stettiner Haffs (Südliche Ostsee) vor dem Hintergrund der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Universität Duisburg-Essen.
- Schinke, H. & W. Matthäus (1998): On the causes of major Baltic inflows - an analysis of long time series. In: *Continental Shelf Research* 18 (1): 67-97.
- Sommer, U. (1996): *Algen, Quallen, Wasserfloh - Die Welt des Planktons*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Stuhr, A. (2006): *Marine Biogeochemie. Biologisch-Meereskundliches Praktikum. Praktikumsanleitung* (http://www.ifm-geomar.de/fileadmin/ifm-geomar/fb2/astuhr/text/Script_WS_07_deutsch_Version_06-03-07.pdf, 29.08.2009).
- von Bröckel, K. (2005): Giftige Cynaobakterien in der Ostsee (<http://www.ifm-geomar.de/index.php?id=2697>, 23.08.2009).
- Wasmund, N., F. Pollehne, L. Postel & H. Siegel (2008): Biologische Zustandsschätzung der Ostsee im Jahre 2007. Institut für Ostseeforschung Warnemünde.
- Wisemann, M. (2008): SPSS Special Topics: Linear Regression (<http://www.lrz-muenchen.de/services/schulung/unterlagen/spss/spss-regression/index.html>, 24.08.2009).

Acknowledgement

This study was conducted within the frame of my diploma thesis. A great thank you goes to my supervisors PD Dr. Achim Daschkeit and Prof. Dr. Horst Sterr.

Addresses

Mark Schürch
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Geographisches Institut
Ludewig-Meyn-Strasse 14
24098 Kiel, Germany

schuerch@geographie.uni-kiel.de

PD Dr. Achim Daschkeit
Umweltbundesamt
Fachgebiet I 4.1 Klimaschutz
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau, Germany

achim.daschkeit@uba.de



Auswirkungen des Klimawandels auf den Ostseetourismus – Beispiele internationaler und nationaler Anpassungsstrategien

Susanne Schumacher¹ & Nardine Stybel^{1,2}

¹EUCG – Die Küsten Union Deutschland e.V.

²Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Germany

Abstract

Climate change impacts on Baltic tourism – international and national examples of adaptation strategies.

Tourism is the most important and enormous increasing economic sector of the federal states Mecklenburg-Vorpommern and Schleswig-Holstein on the German Baltic Sea coast. Coastal tourism is specifically rated as a quite climate-sensitive sector representing victim and committer at the same time. The German climate policy is based on two columns: climate protection and adaptation. Adaptation can reduce risks and strengthen opportunities caused by climate change impacts on a regional level. Although increased temperatures and decreased precipitation in summer predict more favourable climate conditions for tourists, extending the bathing season and causing a potential movement from Mediterranean to temperate destinations, there are risks which have to be taken seriously. Additional climate impacts such as sea level rise, flooding, thunderstorms, jellyfish, algae blooms, invasive species, water shortages on drinking water and impacts on landscape require adaptation on the part of tourism actors. National and regional adaptation strategies are still in their infancy and concrete measures currently do not exist. Hence, this article provides an overview of a range of adaptation measures already put into practice in the summer tourism sector worldwide. Out of this range, measures potentially relevant for coastal tourism along the German Baltic Sea coast are assessed providing a basis for future discussion with stakeholders within the projects “BaltCICA – Climate Change: Impacts, Costs and Adaptation in the Baltic Sea Region” and “RAdOst – Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste”.

1 Hintergrund

Der Bade- und Strandtourismus ist das marktbeherrschende Segment im Tourismussektor in Deutschland als auch weltweit. Gleichzeitig zählen Inseln und Küstenzonen gegenüber direkten und indirekten Klimawandelauswirkungen wie Stürmen, extremen Wetterereignissen, Küstenerosion, Infrastrukturschäden, Meeresspiegelanstieg, Wasserknappheit und Wasserverschmutzung zu den verwundbarsten Reisezielen. Das Klima ist für den Tourismus eine der wichtigsten Ressourcen, da es einen entscheidenden Einfluss auf die Betriebskosten hat und die Nachfrage grundlegend mitbestimmt (UNWTO 2008). So trifft der Klimawandel beide Seiten: die der Touristiker und Kommunen sowie die der Touristen (Scott et al. 2009). An der deutschen Ostseeküste ist der Küstentourismus einer der wichtigsten Wirtschaftszweige mit steigender Tendenz (Bretschneider 2008, Feige 2008). Klimaschutzmaßnahmen zur Emissionsminderung von Treibhausgasen reichen nachweislich nicht mehr aus, um den Klimawandel abzuwenden. Die Implementierung von Anpassungsmaßnahmen im Tourismus dagegen bleibt gegenüber anderen Wirtschaftssektoren deutlich zurück (Scott et al. 2009).

Dieser Artikel soll einen aktuellen Überblick über Klimawandelauswirkungen sowie vorhandene Strategien und Maßnahmen zur Anpassung im Tourismus geben und mit Beispielen aus anderen Ländern eine Diskussionsgrundlage für Stakeholder an der deutschen Ostseeküste schaffen. In Workshops sollen später das Ausmaß der Betroffenheit bei den Stakeholdern aufgrund regionaler Klimawandelauswirkungen erörtert und geeignete Anpassungsmaßnahmen erarbeitet werden. Diese

Ergebnisse liefern einen wichtigen Beitrag zu den Projekten „BaltCICA – Climate Change: Impacts, Costs & Adaptation in the Baltic Sea“ (<http://www.baltcica.org/>) und „RAdOst – Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste“ (<http://www.klimzug-radost.de/>). BaltCICA hat das Vorantreiben der Abschätzung regionaler Klimawandelauswirkungen, die Entwicklung und Implementierung konkreter Anpassungsmaßnahmen sowie eine Einschätzung entstehender Kosten aufgrund eines steigenden Meeresspiegels und erhöhter Hochwassergefahr im Ostseeraum zur Aufgabe. RAdOst erarbeitet Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküstenregion im Dialog zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Verwaltung und Zivilgesellschaft und stärkt Akteursnetzwerke und Kommunikationsstrukturen dauerhaft, auch über die Region hinaus.

1.1 Auswirkungen des Klimawandels an der deutschen Ostseeküste

Der vierte Klimareport des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wurde Ende 2007 veröffentlicht. Die Kriterien der dort angenommenen vier Emissionsszenarien sind Wirtschaftswachstum, Weltbevölkerung und Technologieentwicklung. Auf dieser Basis werden die globalen Auswirkungen des Klimawandels mit extremen Wetter-, Klima- und Meeresspiegelereignissen und ihrem häufigeren bzw. intensiveren Auftreten beschrieben.

Was heißt das konkret für die deutsche Ostseeküste? Regionale Klimamodelle liefern mittlerweile hoch aufgelöste erste Erkenntnisse. Grundsätzlich gibt es hierfür zwei verschiedene Methoden: dynamische und statistische Verfahren. Tab. 1 stellt die wesentlichen Unterschiede der vom Umweltbundesamt (UBA) benutzten Modelle REMO und WETTREG kurz gegenüber.

Tab. 1: Regionale Klimamodelle (verändert nach UBA 2007, Werner & Gerstengarbe 2007)

Modell	Verfahren	Basis	Parameter/Methodik
REMO	dynamisch	dreidimensional hydrostatisch auf 50x50 km bis 10x10 km	horizontale Windkomponente, Luftdruck, Temperatur, Luftfeuchte, Wassergehalt der Atmosphäre übertragen in globales Modell
WETTREG	statistisch	wetterlagenbasiert	statistische Beziehungen aus den großräumigen Wetterlagen und den lokalen Auswirkungen der Vergangenheit übertragen auf die Zukunftsmuster der globalen Modelle

Nach REMO und WETTREG werden für die deutsche Ostseeküste folgende Klimawandelauswirkungen prognostiziert:

Lufttemperatur: In den vergangenen 50 Jahren ist die Temperatur in Mecklenburg-Vorpommern bereits um 0,8 °C angestiegen (MfWAT MV 2007). WETTREG-Ergebnisse prognostizieren bis zum Ende des 21. Jahrhunderts einen vergleichsweise geringen Temperaturanstieg. Ursache dafür ist nach Spekat (2007) die Nähe zum Meer und das relativ ausgeglichene und gemäßigte Küstenklima. Auch die absoluten Häufigkeiten der Kenntage sind an den Küstenstationen geringer als in anderen Gebieten. Abb. 1 zeigt die berechneten Kenntage pro Jahr für die Station Arkona unter Annahme eines gemäßigten Emissionsszenarios (Spekat et al. 2007). Demnach werden bis zum Jahr 2100 die Eis- und Frosttage stark abnehmen, die Sommertage und Tropennächte stark zunehmen. Heiße Tage werden kaum auftreten.

Saisonale Anstiege der Durchschnittstemperatur werden vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (MfWAT MV 2007) auf Grundlage von REMO und WETTREG Modellläufen für den Frühling mit ca. 1,1 °C, für den Sommer mit ca. 2,2 °C, für den Herbst mit ca. 2,7 °C und für den Winter mit ca. 3,2 °C angegeben. Für dasselbe Szenario zeigt REMO allein dagegen bis 2100 eine deutliche jährliche Erwärmung der Ostseeküste mit 2,8 °C (Jacob et al. 2008). Demnach könnte sich die saisonale Temperatur im Frühling um ca. 2,3 °C bzw. auf den

Inseln um 2,8 °C, im Sommer um 2,8 °C, im Herbst um 3,3 °C bzw. an der westlichsten deutschen Ostseeküste um 2,8 °C und im Winter um ca. 3,8 °C bzw. an der westlichsten Küste um 3,3 °C (Abb. 2 links) erhöhen. In den Großstädten würden durch die immer häufigeren und intensiveren sommerlichen Hitzewellen der thermische Stress und damit die gesundheitliche Gefährdung der Bewohner ansteigen und die Leistungskraft abnehmen. Auch bestimmte Allergien und Krankheiten könnten zunehmen. Die hochallergene Beifußblättrige Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) breitet sich in Mitteleuropa zunehmend aus, ebenso die asiatische Tigermücke (Dengue-Fieber), die Sandmücke (Leishmaniose) und verschiedene Zeckenarten (Borreliose, FSME, Fleckfieber) (Endlicher & Gerstengarbe 2007, BMU 2009).

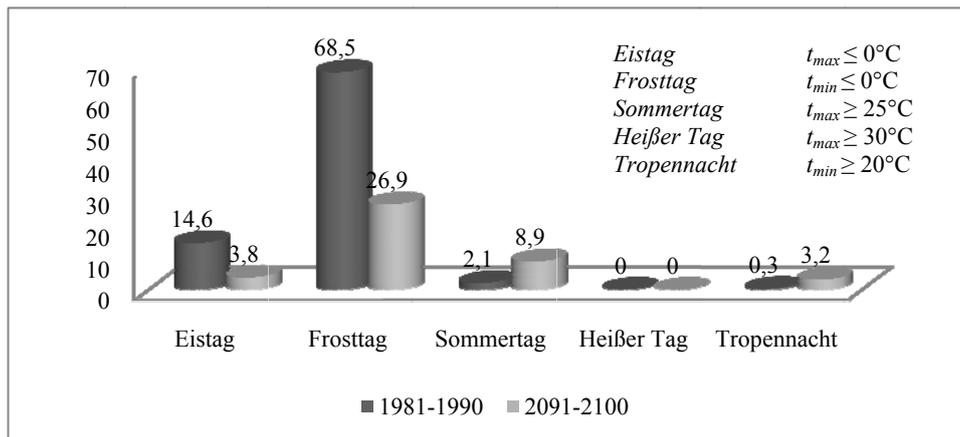


Abb. 1: Kenntage der Dekaden 1981-1990 und 2091-2100 für die Station Arkona unter einem gemäßigten Emissionsszenario (verändert nach Spekat et al. 2007)

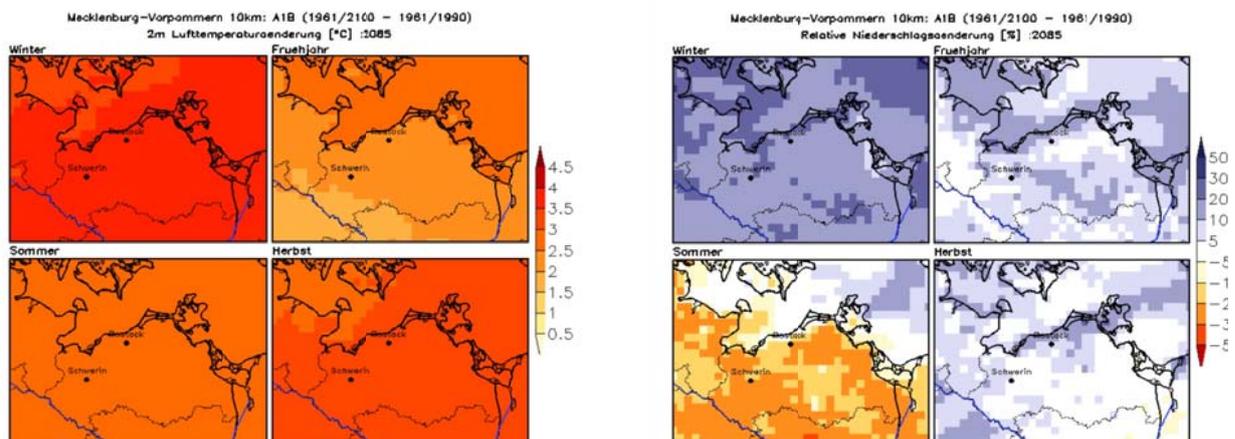


Abb. 2: Regionale Klimasimulation mit REMO für die deutsche Ostseeküste: Temperatur- und Niederschlagsänderung (30-jähriges Mittel) im Vergleich zu 1961-1990 (<http://www.mpimet.mpg.de>).

Wassertemperatur: Für die Station Travemünde lag die Badesaison im Zeitraum 1961-1990 bei etwa 100 Tagen. Dem Klimamodellexperiment IS92a (Szenario "business as usual") nach ergibt sich zukünftig eine deutliche Ausweitung der Badesaison um etwa 25 Tage bis 2050 und 60 Tage bis 2100. Ein Badetag liegt dabei bei Überschreitung der Wassertemperatur von 15 °C vor. Bezüglich weiterer tourismus-klimatischer Eigenschaften zeigen Modellergebnisse für Rügen eine Zunahme der Tage mit thermischer Eignung (Tage zwischen 18 °C und 29 °C, in dem Fall von 51 auf 61 Tage), eine

Abnahme der Kältebelastung (von 116 auf 102 Tage) sowie eine Erhöhung der Schwülesituation (Dampfdruck > 18 hPa, in dem Fall von 23 auf 35 Tage; Tab. 2; Matzarakis & Tinz 2008).

Tab. 2: Übersicht über die wichtigsten meteorologischen Größen des Küstentourismus (verändert nach Matzarakis & Tinz 2008)

Küstentourismus	
See	Wassertemperatur, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit
Sonne	Sonnenscheindauer & Sonnenintensität, Wolkenbedeckung & Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur & Luftfeuchtigkeit, Thermischer Komfort, UV-Exposition
Sand	Oberflächentemperatur, Windgeschwindigkeit, Albedo

Niederschlag: WETTREG berechnet in dieser Hinsicht für den Zeitraum 2071-2100 eine generelle Abnahme, für die Vorpommernsche Küste wird allerdings eine besonders starke Abnahme der sommerlichen Niederschläge von bis zu 50 % erwartet (Spekat 2007). Diese Region wäre damit deutschlandweit am stärksten vom Rückgang des Sommerniederschlags betroffen (MfWAT MV 2007). Für die winterlichen Niederschläge projiziert das Modell für die gesamte Ostseeküste und besonders für Westmecklenburg eine besonders starke Zunahme der Niederschläge mit ebenfalls bis zu 50 %. Auch nach REMO kann es, im Gegensatz zur jährlichen Niederschlagsmenge, die sich an der Ostseeküste nur geringfügig ändert, im Sommer bis zu 25 % weniger regnen, im Winter dagegen bis zu 30 % mehr (Jacob et al. 2008). Dieser Niederschlag wird in deutlich geringerem Anteil als Schnee fallen (MfWAT MV 2007). Im Detail muss man nach diesem Modell im Frühling mit 10 bis 20 % mehr Niederschlag rechnen, ausgenommen ist der Greifswalder Bodden mit nur 5 bis 10 %. Im Sommer geht der Niederschlag um 0 bis 30 % zurück, im Herbst nimmt er um 0 bis 20 % zu. Im Winter steigt der Niederschlag um ca. 20 bis 30 %, deutlich davon ausgenommen sind Teile der östlichsten Küste mit nur 10 bis 20 % (Abb. 2 rechts). Weitere REMO-Klimasimulationen der Temperatur- und Niederschlagsänderung als 30-jähriges Mittel im Vergleich zu 1961-1990 des Max-Planck-Instituts Hamburg sind unter <http://www.mpimet.mpg.de> zu finden.

Meeresspiegelanstieg: Das IPCC (2007) gibt die durchschnittliche Geschwindigkeit des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs für den Zeitraum 1961-2003 mit 1,8 mm/Jahr an, wobei die Geschwindigkeit im Zeitraum 1993-2003 sogar bei 3,1 mm/Jahr liegt, ohne genau vorhersagen zu können, ob dies eine dekadische Schwankung oder eine Trendveränderung ist. An der Ostseeküste gibt es neben den bekannten Ursachen der thermischen Ausdehnung, den schmelzenden Gletschern und Eisschilden zusätzlich die isostatischen Krustenbewegungen. Zusammen mit dem eustatischen, klimabedingten mittleren Ostseespiegelanstieg wird bis 2100 mit einer Erhöhung des Wasserspiegels um 20 bis 30 cm für die Außen- als auch die Boddenküste gerechnet. Auf Grund der isostatischen Erdkrustenkipfung wären die Küsten südwestlich der Linie Ribnitz-Damgarten – Ueckermünde bis zum Jahr 2100 und darüber hinaus den Folgen des Meeresspiegelanstiegs stärker ausgesetzt (MfWAT MV 2007). Für die nächsten drei Jahrzehnte kann mit großer Verlässlichkeit ein Meeresspiegelanstieg von ca. 10 cm prognostiziert werden (Deutsche Meteorologische Gesellschaft 2007). Damit wären die Strandbereiche der Außen- und Boddenküste sowie die Schutzbauten und die dahinter liegenden Flächen, insbesondere die Ostseebäder und damit einhergehend die Sicherheit für Touristen und Bevölkerung gefährdet. Pehlke (2009) weist darauf hin, dass diese im Zusammenhang bebauten Gebiete laut §83 (LWaG) vom Land Mecklenburg-Vorpommern gesichert werden müssen, was zusätzliche Küsten- und Hochwasserschutzmaßnahmen bedeuten würde. Vorgeschlagen wurde beispielsweise die Aufgabe der Deiche II. Ordnung um Ueckermünde und die Abriegelung des Nordbereichs der Insel Usedom. Bei zunehmender Gefährdung durch Hochwasserereignisse würde das allerdings einen Attraktivitätsverlust im Kultur-, Städte- und Erholungstourismus nach sich ziehen.

Küstenerosion: Unmittelbare Folge des beschleunigten Meeresspiegelanstiegs wäre – auch bei unveränderter Starkwindverteilung – die deutliche Beschleunigung des mittleren Küstenrückgangs (zurzeit 35 cm/Jahr) an Steil- und Flachküsten. Abbrüche an den Steilufern träten häufiger auf, an den Flachküsten verschärfte sich der Sandmangel und erforderte eine häufigere Unterhaltung der Hochwasserschutzdünen. Eine höhere Frequenz schwerer Sturmfluten könnte den Küstenabtrag zusätzlich verstärken. An den boddenseitigen Flachküsten stiege der Entwässerungsbedarf der Polder, verbunden mit dem Risiko der Grundwasserversalzung. In den Flussmündungsbereichen wären aufgrund des geringen Gefälles längere Überflutungen und dauerhafte Vernässungen zu erwarten (MfWAT MV 2007).

Wasserqualität: Verringerte sommerliche Niederschläge entlang von Flusseinzugsgebieten, z. B. dem Einzugsgebiet der Oder, können zu verringerten Abflussraten und zu verringerten Nährstofffrachten führen. Diese Frachten dominieren die inneren und äußeren Küstengewässer. Eine sich hieraus ergebende Stickstofflimitierung während der Sommermonate kann, z. B. im Stettiner Haff, mit einem steigenden Anteil von Blaualgen einhergehen, die im Gegensatz zu vielen anderen Arten in der Lage sind, Stickstoff aus der Luft zu fixieren. Blaualgen können Haut-, Magen- und Darmirritationen verursachen und damit die Gesundheit der Badenden gefährden. Die bereits fortgeschrittene Degradation der Ostsee (Rückgang der Fischbestände, Verlust der Filter-/Pufferfunktion der Küstenzonen) verstärkt die Beeinträchtigung der Wasserqualität (BMU 2009, Endlicher & Gerstengarbe 2007, MfWAT MV 2007). Auch die zunehmende Häufung von Meldungen über Quallenplagen wird von Forschern hauptsächlich mit drei Faktoren in Zusammenhang gebracht: Überfischung, Eutrophierung und Klimawandel (<http://www.ifm-geomar.de>).

Eindringende Arten: Die Ostsee wird gegenüber invasiven Arten überwiegend durch die Brackwasserbarriere geschützt. Bei einer Temperaturerhöhung wird ihr sensibles Ökosystem jedoch bedroht: Es sind Verschiebungen im Nährstoffzyklus und damit neue Arten aus temperierten Zonen zu erwarten, deren Eindringen bisher durch kältere Durchschnittstemperaturen und mehr noch durch extrem kalte Eiswinter verhindert wurde. (Endlicher & Gerstengarbe 2007, MfWAT MV 2007).

Reiseverhalten: Aufgrund der klimatischen Veränderungen geht die UNWTO (2008) sowohl von einer geographischen als auch saisonalen Umverteilung der Touristenströme aus, die zwischen 2050 und 2100 bereits deutlich spürbar sein wird. Demnach könnten schon bald Reiseziele in höheren Breitengraden bzw. in den gemäßigten Breiten im eigenen Land bevorzugt werden, um die dort günstiger werdenden Temperaturen im Wasser wie an Land auszunutzen. Hamilton (2007) kann diesen Anstieg des Inlandtourismus für Deutschland mit Hilfe von Modellergebnissen auf 35 % bis zum Ende des Jahrhunderts beziffern. Auch die deutsche Ostseeküste muss sich folglich schon bald auf mehr Touristen im Sommer als auch in der Nebensaison einstellen und sich entsprechend anpassen. Dieser Trend bestätigt sich bereits in der deutschen Tourismusanalyse der letzten 3 Jahre (BAT 2009, BAT 2008, BAT 2007). Danach ist Deutschland mit zuletzt 38 % das beliebteste Reiseziel der Deutschen. Die Ostseeküste und Mecklenburg-Vorpommern im Speziellen sind im Inlandstourismus neben Bayern das beliebteste Reiseziel und weisen die größten Zuwachsraten auf.

1.2 Klimawandelanpassung

Folgende Definition ist eine Zusammenstellung von Texten aus dem Grünbuch (KOM 2007):

Anpassung dient der Bewältigung der Folgen eines sich wandelnden Klimas bzw. der Vorwegnahme künftiger solcher Veränderungen. Sie zielt darauf ab, die Risiken und Schäden gegenwärtiger und künftiger negativer Auswirkungen kostenwirksam zu verringern oder potenzielle Vorteile zu nutzen. Beispiele für Anpassungsmaßnahmen umfassen u.a. die effizientere Nutzung knapper Wasserressourcen, die Anpassung von Baunormen an künftige Klimabedingungen und Witterungsextreme, den Bau von Infrastrukturen für den Hochwasserschutz und die Anhebung der Deiche gegen den Anstieg des Meeresspiegels, die Entwicklung trockenheitstoleranter Kulturpflanzen, die Verwendung sturm- und brandresistenterer Baumarten und Forstbewirtschaftungspraktiken sowie die Aufstellung von Raumplänen und die Anlage von Korridoren zur Förderung der Artenmigration. Die Anpassung beinhaltet sowohl nationale als auch regionale Strategien sowie praktische Maßnahmen auf Gemeinschaftsebene oder von Privatpersonen; sie kann vorausschauend oder reaktiv sein, autonom oder geplant, und sie betrifft sowohl natürliche als auch Humansysteme. Die Gewährleistung der lebenslangen Nachhaltigkeit von Investitionen durch explizite Berücksichtigung des sich wandelnden Klimas wird oft als Klimasisicherung bezeichnet.

1.3 Notwendigkeit von Anpassung

Nach der Kommission der Europäischen Gemeinschaften (KOM 2009) erfordert die Bewältigung des Klimawandels eine zweigleisige Reaktion. An erster Stelle gilt es, die Emissionen von Treibhausgasen zu verringern (das heißt „Klimaschutzmaßnahmen“ zu treffen); in einem zweiten Schritt muss gehandelt werden, das heißt es sind „Anpassungsmaßnahmen“ erforderlich. Selbst wenn es der Staatengemeinschaft gelingen sollte, die Treibhausgas-Emissionen zu begrenzen und anschließend zu reduzieren, braucht die Erde dennoch viel Zeit, um sich von den Klimaauswirkungen der bereits in die Atmosphäre freigesetzten Treibhausgase zu erholen. Das bestätigt ebenfalls die Deutsche Meteorologische Gesellschaft (2007) in einer Stellungnahme zur Klimaproblematik. Demnach wird sich das Klima wegen seiner Trägheit in den kommenden Jahrzehnten, und zwar unabhängig vom tatsächlichen Emissionsverlauf, weiter erwärmen und mehr Wetterextreme hervorrufen. Die Menschheit wird noch mindestens 50 Jahre lang mit den Folgen des Klimawandels zu kämpfen haben. Anpassungsmaßnahmen sind daher unerlässlich (Abb. 3).

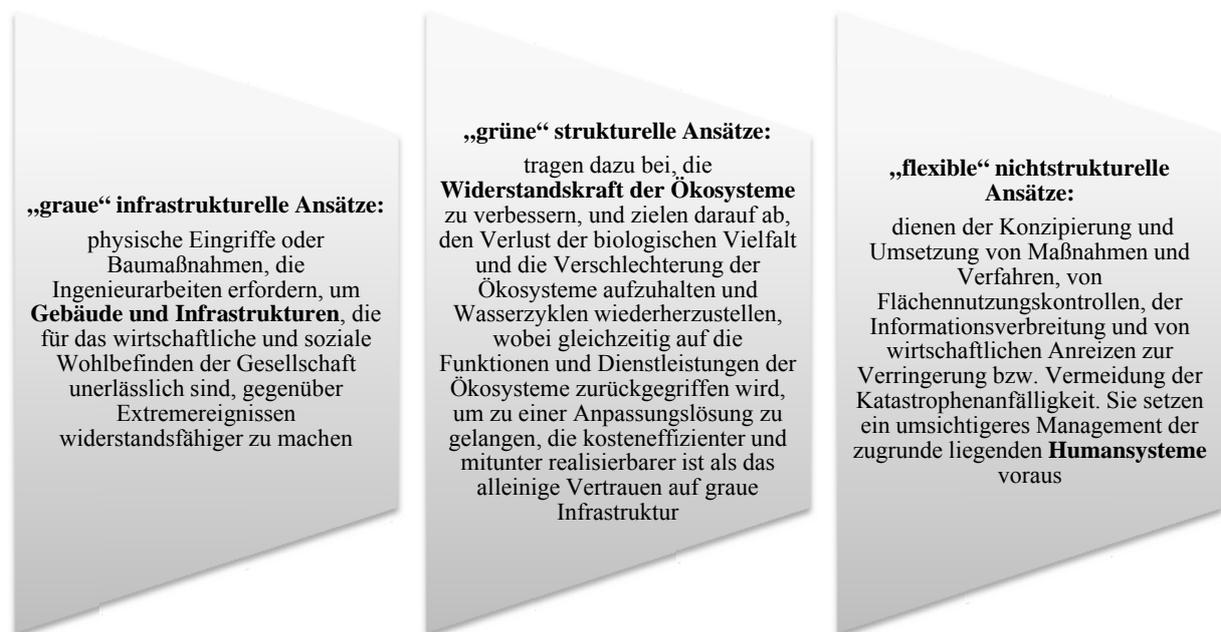


Abb. 3: Drei verschiedene Kategorien für Anpassungsansätze aus dem erst kürzlich veröffentlichten Arbeitsdokument zum Weißbuch der KOM (2009)

Dabei müssen bestimmte Anpassungsmaßnahmen getroffen werden, weil sie entweder ungeachtet einer eventuellen Prognose-Unsicherheit kurzfristig rentabel sind („No-regrets“-Maßnahmen) oder weil sie sowohl unter dem Aspekt des Klimaschutzes als auch unter dem der Anpassung sinnvoll sind („Win-win“-Maßnahmen). Anpassung ist die einzige Antwort, die für die Auswirkungen zur Verfügung steht, die über die nächsten Jahrzehnte auftreten werden, bevor Abmilderungsmaßnahmen wirksam werden können. Im Gegensatz zur Abmilderung wird eine Anpassung in den meisten Fällen örtliche Vorteile erbringen, die ohne lange Vorlaufzeiten zu realisieren sind (Abb. 4; Stern 2006).

Auch wenn Anpassungsmaßnahmen die Auswirkungen des Klimawandels ökonomisch wie auch ökologisch mit schnell sichtbaren Erfolgen abschwächen können, sollten die Klimaschutzbemühungen in keiner Weise vernachlässigt werden. Ohne einen konsequenten und vor allem wirksamen Klimaschutz werden zum einen die technischen Grenzen schnell erreicht und zum anderen die Kosten von Anpassung immens ansteigen (Stern 2006).

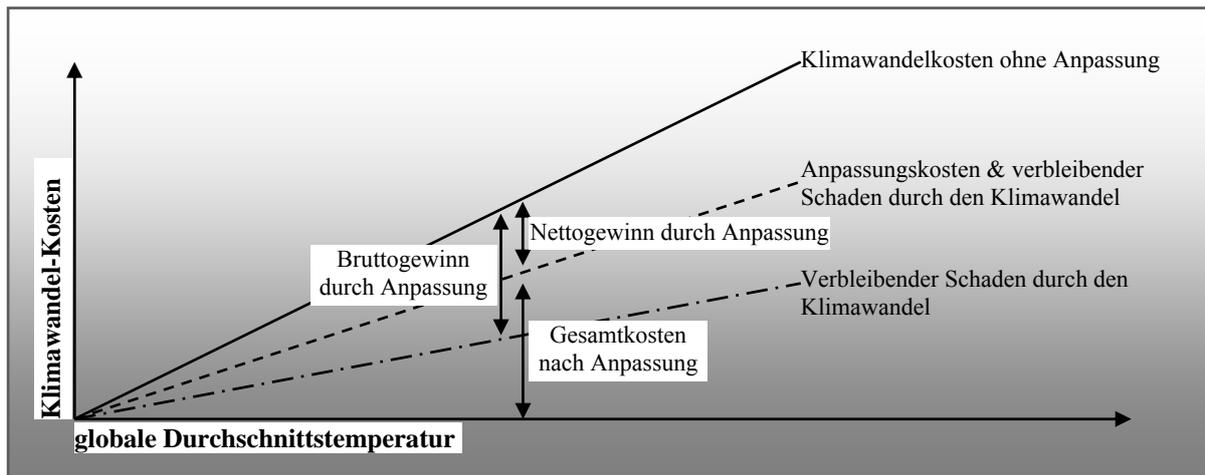


Abb. 4: Anpassung kann die negativen Auswirkungen des Klimawandels abschwächen und die positiven Auswirkungen unterstützen. Steigende Temperaturen und Kosten des Klimawandels bzw. der Anpassung stehen hier linear zueinander. Wahrscheinlicher ist, dass die Kosten mit steigenden Temperaturen noch zunehmen, der reine Gewinn von Anpassung bezüglich der Kosten dagegen abnimmt (verändert nach Stern 2006).

2 Die deutsche Ostseeküste

2.1 Geographische Merkmale

Nach Kliewe & Sterr (1995) beträgt die Gesamtlänge der Außenküste von Flensburg bis Ahlbeck 720 km. Davon fallen in Schleswig-Holstein 242 km und in Mecklenburg-Vorpommern 226 km auf Flachküsten (Generalpläne SH 2001 und MV 1995). Größere, der Küste vorgelagerte Inseln sind Rügen (973 km²), Usedom (354 km² deutscher Anteil), Fehmarn (185 km²) und Poel (37 km²). Als Fortsetzung der dänischen reicht die schleswigsche Fördenküste bis Kiel; östlich der Kieler Förde folgen die holsteinische und danach die westmecklenburgische Großbuchtenküste bis hin zur Wismarbucht. Sie wird fortgesetzt durch die Ausgleichsküste Mecklenburgs. Daran schließt sich bei zunehmendem Küstenausgleich die vorpommersche Bodden- oder Boddenausgleichsküste mit den Boddengewässern und den sie abriegelnden Haken und Nehrungen von jeweils ca. 10 km Länge an (Abb. 5; Kliewe & Sterr 1995).

- ein seewärts flach abfallender Meeresboden
- ein überwiegend niedriges und flaches, das heißt überflutungsgefährdetes Küstenrelief mit meist niedrigen, dem Festland vorgelagerten Inseln
- sedimentdynamisch bedingte Küstenveränderungen durch Abtragung und Anlandung
- seit der Eiszeit anhaltende Küstensenkungstendenzen und damit ein rascherer langfristiger Meeresspiegelanstieg von 1,5 bis 2,5 mm pro Jahr
- tief in das Land eingreifende Flussmündungen
- ein großräumig hoher und dadurch versalzungsgefährdeter Grundwasserstand
- an spezielle Überflutungs-, Salinitäts- und Substratverhältnisse angepasste Ökosysteme, wie z. B. Watten, Salzwiesen, Seegraswiesen, Verlandungszonen in den Boddengewässern von MV, Brackwassergebiete
- in hochwassergefährdete und ökologisch bedeutsame Bereiche hineinreichende dichte Bebauung
- große wasserwirtschaftliche und wasserbauliche Veränderungen im natürlichen System, z. B. Deich- und Entwässerungsanlagen, Sperrwerke etc.

Abb. 5: Charakteristische Merkmale der deutschen Ostseeküste verdeutlichen die Anfälligkeit der deutschen Ostseeküste aufgrund künftiger Sturmfluten und dem Meeresspiegelanstieg (ergänzt nach Sterr 2007)

2.2 Wirtschaftliche Kennzahlen

1,7 Mio. Menschen leben in Mecklenburg-Vorpommern und 2,8 Mio. in Schleswig-Holstein. Der Tourismus als Wirtschaftsfaktor ist für Mecklenburg-Vorpommern mit einem Bruttoumsatz von über 3,5 Mrd. € so wichtig wie in keinem anderen Bundesland. Die Hälfte dieses Umsatzes fällt dabei auf den gewerblichen Beherbergungsmarkt. Die Küstenregion von Mecklenburg-Vorpommern wird am intensivsten aufgesucht. Hier finden 75 % der gesamten Übernachtungen statt (Tab. 3, MfWAT 2004).

Tab. 3: Nutzungsformen und deren Intensität in den Küstenregionen entlang der deutschen Ostsee (verändert nach Schumacher 2008)

Nutzungsform	Mecklenburg-Vorpommern	Schleswig-Holstein	Priorität xxx sehr hoch; xx hoch; x niedrig
Tourismus	21,3 Mio. Übernachtungen (2004), davon 16,9 Mio. in den Landkreisen & kreisfreien Städte an der Küste	19,8 Mio. Übernachtungen (2004), davon 10,1 Mio. in den Landkreisen & kreisfreien Städten an der Ostseeküste	xxx
Schifffahrt	46 Hafenanlagen, 298 Sportboothäfen, 16 Werften, 15 Fähranleger, 37 Hafenanlagen in Kombination mit Werften, 138 angelegte Kreuzfahrtschiffe in Rostock (2006)	19 Hafenanlagen, 75 Sportboothäfen, 17 Werften (Nordsee und Ostsee)	xxx
Küstenschutz	330 km mit Überlappungen (42 km Deiche, 144 km Hochwasserschutzdünen, 44 km Sandaufspülungen, 77 km Bühnen u. a.)	119 km, davon 67 km Landesschutzdeiche & 52 km Überlauf- oder sonstige Deiche an der Ostseeküste	xx
Naturschutz	2 Küsten-Nationalparks, 46 Küsten-Naturschutzgebiete durchschnittlich 350 ha, 1 Küsten-Biosphärenreservat, ca. 217.000 ha Küsten-FFH- und Küsten-Vogelschutzgebiete	15 Küsten-Naturschutzgebiete durchschnittlich 240 ha, ca. 47.000 ha Küsten-FFH- und Küsten-Vogelschutzgebiete an der Ostseeküste	x

3 Methodik

Um einen aktuellen Überblick über Informationen zu Klimawandel und Anpassung zu erhalten, wurde eine intensive webbasierte Literaturrecherche unter Verwendung gängiger Suchmaschinen und mit der Eingabe passender Schlagwörter (Klimawandelauswirkung & Deutschland, regionale Klimamodelle, Tourismus & Klimawandel, Anpassung, Anpassungsstrategien, Anpassungsmaßnahmen, Tourismus & Klimawandelanpassung etc.) durchgeführt. Dabei galt die Aufmerksamkeit zwei Kernthemen:

- aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse bezüglich regionaler Klimawandelauswirkungen an der deutschen Ostseeküste
- vorhandene Anpassungsstrategien oder bereits umgesetzte Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Tourismussektor

Neben Literatur zum Thema Tourismus und Klimawandel an der deutschen Küste wurde auch auf Literatur außerhalb Deutschlands sowie außerhalb des Küstentourismus (Sommertourismus) zurückgegriffen. Dabei wurden die einzelnen Maßnahmen auf ihre Relevanz für den Tourismus an der deutschen Ostseeküste hin bewertet.

Zusätzlich wurden in Bezug auf Anpassung in Deutschland die Webseiten der Wirtschaftsministerien Schleswig-Holsteins (SH) und Mecklenburg-Vorpommerns (MV) sowie wichtige Dokumente der

Tourismusbranche beider Länder auf die Thematisierung der Klimawandelanpassung hin gezielt untersucht. Folgende Fragen wurden gestellt:

1. Wie weit ist der Anpassungsprozess für den Tourismus in der Politik fortgeschritten?
2. Wie weit ist die praktische Umsetzung von Maßnahmen in der Branche fortgeschritten?
3. Welche Beispiele internationaler Anpassungsmaßnahmen können an der deutschen Ostseeküste angewendet werden?

4 Ergebnisse

4.1 Programme, Strategien und Projekte

International: Das Bewusstsein für den Klimawandel ist in der Tourismusbranche bisher relativ schwach. Die UNWTO (2008) fordert daher international eine effektive Kommunikation in Bezug auf die Vermittlung neuester Erkenntnisse aus Klimawandelszenarien und Indikatoren zwischen Wissenschaftlern und Touristikern auf regionaler und lokaler Ebene. Auch wenn es bislang nur wenige speziell auf den Tourismus zugeschnittene Anpassungsstrategien gibt, wird in vielen allgemeinen Strategien am Rande darauf eingegangen. Das United Nations Environment Programme (UNEP) bietet mehrere Förderprogramme zu Klimawandelanpassung weltweit mit verstärkter Präsenz in Entwicklungsländern (Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change Initiative (AIACC), National Adaptation Programmes of Action (NAPA), Nairobi Work Programme). Einige der regionalen Projekte, die aus diesen Programmen entspringen, sind auf den Tourismus zugeschnitten. Sie sollen die Forderungen der UNWTO erfüllen, das Wissen über Klimawandelauswirkungen und die Sensibilisierung der Verwundbarkeit einzelner Regionen vorantreiben und konkrete Anpassungsmaßnahmen mit Touristikern erarbeiten.

Europa: Die Europäische Kommission veröffentlichte 2009 das Weißbuch „Anpassung an den Klimawandel“. Es stützt sich auf die Ergebnisse des Grünbuches „Anpassung an den Klimawandel in Europa – Optionen für Maßnahmen der EU“ (2007), in dem Erkenntnisse des „European Climate Change Programme“ herangezogen und die Integration von Anpassungsmaßnahmen in die europäische Klimapolitik diskutiert wurden. Der Aktionsrahmen des Weißbuches soll nun in Phasen umgesetzt werden. In Phase 1 (2009-2012) wird die Grundlage für eine umfassende EU-Anpassungsstrategie gelegt, welche in Phase 2 (ab 2013) umgesetzt werden soll. Phase 1 wird sich durch vier Aktionsschwerpunkte auszeichnen:

1. Schaffung einer soliden Wissensgrundlage über die Auswirkungen und Folgen des Klimawandels sowie über Kosten und Nutzen der Anpassungsoptionen für die EU;
2. Einbeziehung des Aspekts der Anpassung in wichtige Politikbereiche der EU, so dass frühzeitig *No-regrets*- und *Win-win*-Maßnahmen, die in jedem Fall sinnvoll sind und bei denen jeder gewinnt, durchgeführt werden und eine Fehlanpassung vermieden wird;
3. Kombination politischer Instrumente (marktgestützte Instrumente, Leitlinien, öffentlich-private Partnerschaften), um sicherzustellen, dass der Anpassungsprozess effektiv abläuft und die künftige Finanzierung diskutiert wird; und
4. Verstärkung der internationalen Zusammenarbeit durch besseren Zugang zu umfangreicheren Klimadaten, die die Entscheidungsfindung erleichtern, sowie Schaffung eines Vermittlungsmechanismus und Zugang zu verschiedensten Informationsquellen über Klimaauswirkungen, anfällige Gebiete und bewährte Verfahren (KOM 2009).

Die Klimaanpassungsprojekte BaltCICA und RAdOst und die EUCC-Deutschland unterstützen den Anpassungsprozess: Regionale Klimawandelauswirkungen sollen künftig besser eingeschätzt werden und dieses Wissen aktueursgerecht aufbereitet an regionale Stakeholder im Küstentourismus an der deutschen Ostsee weitergegeben werden, um gemeinsam branchenspezifische Anpassungsmaßnahmen zu erarbeiten und umzusetzen. Die Notwendigkeit des Transfers von aktuellem Klimawissen zwischen

Wissenschaft und Praktikern zeigte Rau (2008: 17) durch eine Umfrage unter Tourismusakteuren in Norddeutschland, da „die Ergebnisse der Forschung nur teilweise wahrgenommen werden.“

Für Küsten- und Meeresgebiete wurde im Weißbuch die Einbeziehung von Klimawandelanpassung bei der Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, der integrierten Meerespolitik und bei der Reform der Gemeinsamen Fischereipolitik zur Diskussion gestellt. In diesem Zuge sollen auch die Bestimmungen der Empfehlungen zum Integrierten Küstenzonenmanagement (IKZM) in Bezug auf den Klimawandel deutlich verstärkt werden (KOM 2009). Zudem empfiehlt die EU, „Grüne Infrastrukturen“ in Anpassungsstrategien mit einzubeziehen. Anpassungsprozesse scheinen demnach wirksamer, wenn auf die Fähigkeit der Natur, Belastungen für Stadt- oder Landgebiete aufzufangen oder unter Kontrolle zu bringen, geachtet und der Schwerpunkt nicht nur auf physische Infrastrukturen gelegt wird (KOM 2009).

Bei der Einbeziehung der Anpassungsfrage in verschiedene Politikbereiche der EU wird der Tourismus nicht eigens erwähnt. Die Europäische Kommission (2008) gibt aber wichtige Überlegungen für lokale Behörden vor, die auf touristische Betriebe sehr gut übertragbar sind, um auf den Klimawandel vorbereitet zu sein:

- Wird bei der Planung eines Neubaus das verstärkte Risiko von Naturkatastrophen, wie Brände, Flutwellen, Erdbeben und Hitzewellen, berücksichtigt? Sind Krisen- oder Evakuierungspläne vorhanden?
- Geht die Planung auf das erhöhte Überflutungsrisiko bei ermittelten Hochwassergebieten ein?
- Sind die Straßenbeläge beständig gegen größere Hitze und häufigere Überflutungen?
- Werden bei der Einweisung von Personal mögliche Hitzewellen in den Sommermonaten berücksichtigt? Welche Krisenpläne sind zum Schutz für ältere Gäste und andere von Hitzewellen gefährdete Gästegruppen vorhanden (z. B. „Kühlzentralen“, in denen sie der Hitze entfliehen können)?
- Sind touristische Anlagen in Ufernähe bei Hochwasser ausreichend geschützt? Sind die Zufahrtswege „klimadicht“, sprich auch bei Hochwasser befahrbar?
- Ist das Stromnetz für die Bewältigung von Bedarfsspitzen, beispielsweise bei längeren, wärmeren Sommerperioden, ausgelegt? Gibt es eine Informationskampagne gegen die Verschwendung von Strom und Wasser?

Zehn von 32 EU-Mitgliedstaaten haben bereits eine nationale Anpassungsstrategie verabschiedet. Unter <http://www.eea.europa.eu> kann der aktuelle Stand dieses Prozesses abgerufen werden.

Deutschland: Auch Deutschland verpflichtete sich mit der Ratifizierung der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC), Maßnahmenprogramme umzusetzen, die eine systematische Anpassung an zu erwartende Klimaänderungen und deren Folgen ermöglichen. Im Klimaschutzprogramm 2005 beschloss die Bundesregierung, ein umfassendes nationales Konzept zur Anpassung an Klimaänderungen unter enger Kooperation zwischen Bund und Ländern zu entwickeln und anzuwenden (DAS). Die Umweltministerkonferenz 2007 beschloss, den Bund bei der Identifizierung und Umsetzung einer deutschen Anpassungsstrategie zu unterstützen. Die Strategie bindet zudem internationale wie EU-Aktivitäten ein, um von Erfahrungen anderer Staaten zu lernen und eigenes Wissen weitergeben zu können. Das BMU und das UBA organisierten Fachkonferenzen sowie Workshops zu Klimafolgen und Anpassung und förderten die Vernetzung der Akteure mit Hilfe spezieller Dialogveranstaltungen. Zusätzlich richtete das BMU 2006 das Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass) im UBA ein. Dieses fasst die Ergebnisse der Klimafolgenforschung zusammen und bereitet sie allgemeinverständlich auf. Weiterhin sammelt KomPass Informationen zu möglichen Anpassungsoptionen, bewertet diese im Hinblick auf ihre Risiken und Chancen und stellt die Ergebnisse betroffenen Akteuren zur Verfügung. Eine maßgebliche Rolle spielen dabei die Fragen, wie verwundbare Gesellschaftsbereiche und mögliche Anpassungsmaßnahmen identifiziert werden können, was die Anpassung kostet, wo ihr Grenzen gesetzt und welche politischen Rahmenbedingun-

gen notwendig sind, um Anpassungsstrategien umzusetzen. Das UBA will die Arbeit all derer vereinfachen, die sich mit der Anpassung an Klimaänderungen befassen (Unternehmen, Verwaltung, Wirtschafts-, Umweltverbände). Insbesondere fungiert KomPass als Geschäftsstelle zur Koordinierung und Umsetzung der Strategie (Schuchardt & Wittig 2008, <http://www.anpassung.net>). Das Climate Service Center (CSC) am Helmholtz Forschungszentrum in Geesthacht informiert ebenfalls über den aktuellen Stand des Klimawandels und verknüpft verschiedene Klimaszenarien und -modelle und leitet daraus verbraucherfreundliche Daten und Beratungsangebote ab (http://www.gkss.de/science_and_industrie/klimaberatung/csc/).

Bis 2011 will die Bundesregierung einen Aktionsplan zur Klimaanpassung vorlegen. Inhalte sollen:

- Grundsätze und Kriterien für die Benennung und Bewertung von Anpassungsbedarf,
- eine Liste der Maßnahmen, die für die Bundesregierung im Vordergrund stehen,
- eine Übersicht, welche Maßnahmen von anderen Akteuren geplant sind,
- Aussagen zu Finanzierungsmöglichkeiten,
- Vorschläge für eine Erfolgskontrolle von Anpassungsmaßnahmen und
- die Weiterentwicklung der DAS

sein (BMU 2009).

In neun Bundesländern wurden bereits Anpassungsstrategien entwickelt. Sie betreffen vor allem die Wasserwirtschaft, insbesondere den Hochwasserschutz sowie die Forstwirtschaft, aber auch den Gesundheitsbereich, insbesondere Hitzewarndienste sowie den Bereich Küstenschutz. In sechs Bundesländern liegen weder sektorale noch sektorübergreifende Strategien vor. Mit Ausnahme eines Bundeslandes sind jedoch überall Strategien in der Entwicklung, vorrangig in den Sektoren Wasserwirtschaft, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Biodiversität und Gesundheit. Darüber hinaus gibt es in mehreren Bundesländern entsprechende Ansätze in der Landes- und Regionalplanung, dem Tourismus und der Energiewirtschaft. Bislang nur eine untergeordnete Rolle spielen die Sektoren Architektur/Bauwesen, Verkehr, Boden und Industrie/Gewerbe. Meist sind die Anpassungsstrategien Teil eines umfassenden Klimaprogramms oder Aktionsplans, in dem neben dem Klimaschutz auch die Klimaanpassung enthalten ist. Daneben bilden in mehreren Bundesländern bestehende Fachprogramme oder -konzepte die Grundlage für zu entwickelnde sektorale Anpassungsstrategien (Hochwasserschutzpläne, Hochwasserrisikomanagementpläne). In einer Reihe von Bundesländern werden derzeit umfassende fachübergreifende Anpassungsstrategien entwickelt, die entweder andere Strategien konkretisieren (z. B. Nachhaltigkeitsstrategie), durch andere Strategien ergänzt werden (z. B. Biodiversitätsstrategie) oder die Grundlage einer künftigen Anpassungspolitik darstellen (DAS 2008).

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat in den letzten Jahren zwei große Maßnahmen zum Thema Klimawandel gefördert. Zum einen „klimazwei – Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen“ und „KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“. Aus beiden Fördermaßnahmen thematisieren derzeit die in Abb. 6 dargestellten Projekte den Komplex Sommertourismus-Klimawandel-Anpassung in Deutschland.

Mecklenburg-Vorpommern hat im Mai 2008 eine erste umfassende wissenschaftliche Bewertung des Umfangs und der Folgen des Klimawandels für das Land vorgelegt, Chancen und Risiken bewertet sowie erste Handlungsempfehlungen für einzelne Sektoren aufgezeigt. Die Erkenntnisse dieser Landesstudie fließen später in den Aktionsplan Klimaschutz des Landes ein (MfWAT MV 2007). Der Tourismusteil dieser Studie ist bis dato in Bearbeitung.

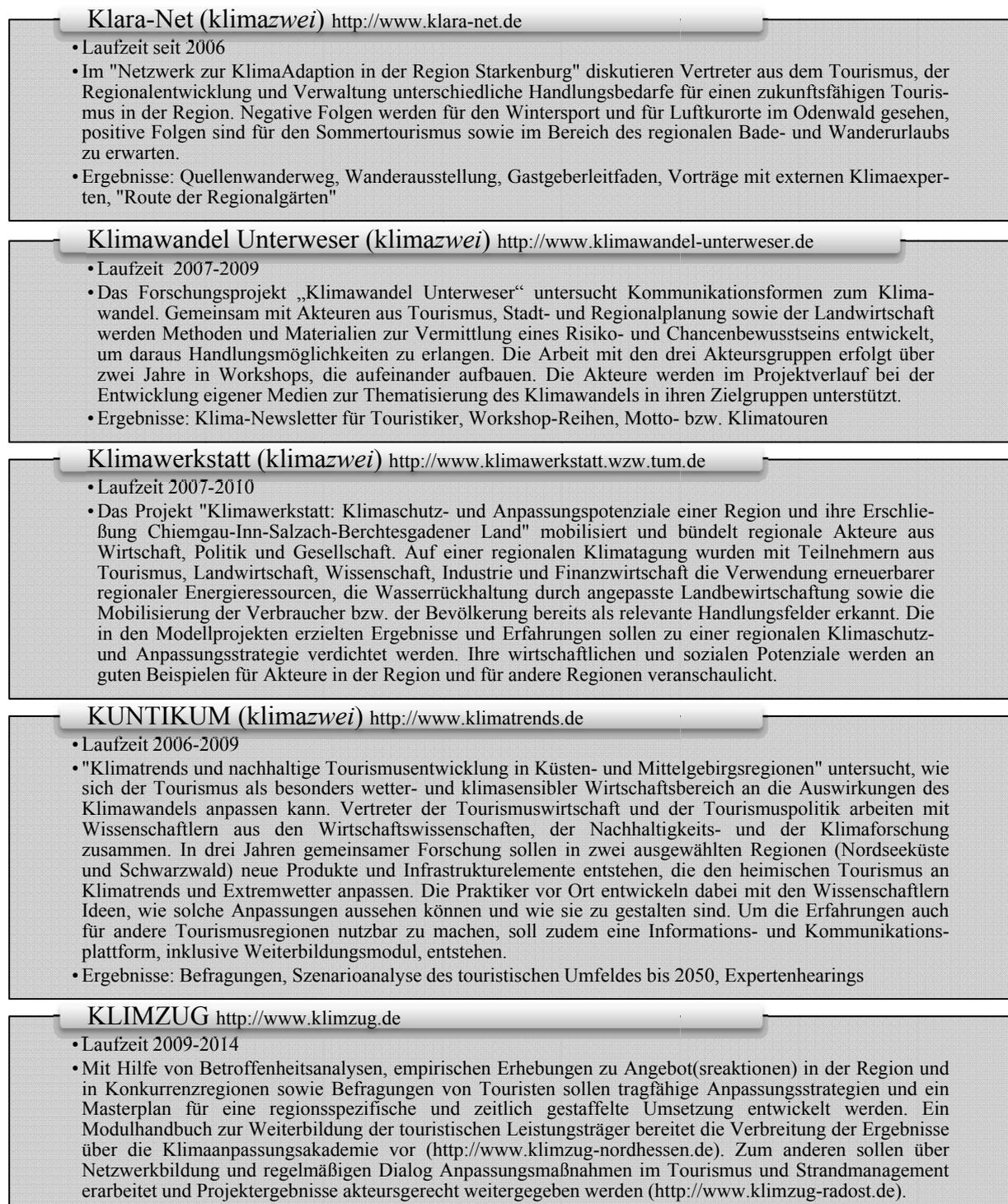


Abb. 6: Projekte zum Thema Klimawandelanpassung und Tourismus

Kombiniert man die in den Rahmenwerken der UNEP (1998), UNFCCC-NAPA (2001), UNDP (2004) und USAID (2007) vorgeschlagenen Lösungsansätze mit der Erfahrung erster Projekte, kommt man nach Simpson et al. (2008) zu einer Abfolge verschiedener Arbeitsschritte (Abb. 7).

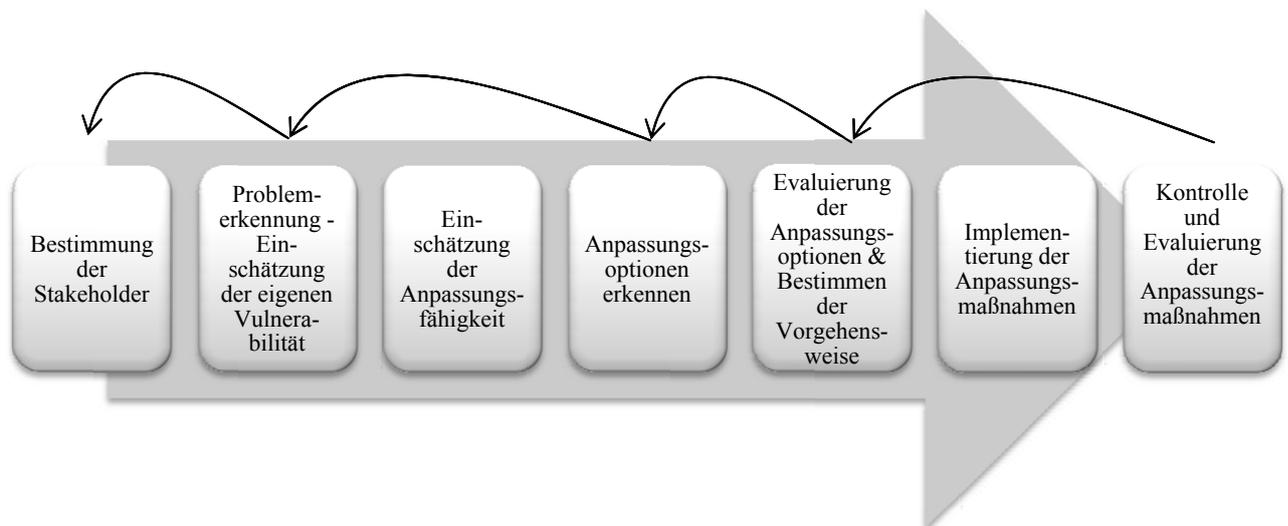


Abb. 7: Abfolge iterativer Arbeitsschritte, um den Anpassungsprozess bezüglich Klimawandel und Tourismus bewältigen zu können (Simpson et al. 2008). Die Leserichtung erfolgt von links nach rechts und kann rückgekoppelt werden.

In der Praxis wurde diese Schrittfolge bislang noch nicht angewendet, andere Sektoren sind jedoch in ähnlicher Art und Weise ihren Anpassungsprozess angegangen. Dabei sollte die Schrittfolge nicht als linear, sondern iterativ betrachtet werden. Die Prozesse der Problemerkennung, der Implementierung von Anpassungsmaßnahmen und der Evaluierung von Ergebnissen wiederholen sich stets.

4.2 Anpassungsmaßnahmen

Die Analyse ergab, dass im Bereich des Ostseetourismus bisher wenige Anpassungsmaßnahmen umgesetzt wurden. In Tab. 4 sind daher einige Vergleichsbeispiele international umgesetzter Maßnahmen aufgelistet und auf ihre Relevanz für die deutsche Küste hin untersucht.

Tab. 4: Zusammenstellung konkreter Anpassungsmaßnahmen im Tourismus (grau hinterlegte Maßnahmen können für die deutsche Ostseeküste relevant sein)

Region	Klimawirkung, Klimafolgen und konkrete Maßnahmen
International	<p>Australien Zerstörung von Korallenriffen</p> <p>Der "Coral Bleaching Response Plan" des Great Barrier Reef-Meeresparks dient dem besseren Einschätzen des Risikos, unterstützt entsprechende Frühwarnsysteme, misst das Ausmaß der Bleiche, schätzt die ökologischen Auswirkungen der Bleiche ein, involviert die Gemeinschaft in ein Monitoring zur Gesundheit des Riffs, kommuniziert und steigert das Bewusstsein und evaluiert die Auswirkungen der Korallenbleiche auf Tourismus und Politik. Technische Maßnahmen des Meeresparks und des australischen Tourismusministeriums: Aufspritzen kühleren Wassers aus tieferen Zonen auf die Meeresoberfläche oder Verwendung von Sonnenschutzdächern o.ä. Schirmen an Schwimmkörpern befestigt (UNEP 2008).</p>
	<p>Fiji Stürme & Sturmfluten</p> <p>Initiiert von verschiedenen Ministerien sowie der Tourismusbranche und finanziert über das Projekt des Fiji Ministry of Tourism in Zusammenarbeit mit UNWTO und UNEP, werden Touristenorte an der Küste heute mindestens 2,6 m über NN und 30 m von der Hochwassermarke entfernt erbaut, die Gebäude müssen einer Windgeschwindigkeit von bis zu 60 km/h standhalten können, Evakuierungspläne und Versicherungsschutz liegen vor und die Vorkehrungen vor der Wirbelsturmsaison umfassen Ausbildung des Personals, Lagerung von Lebensmitteln und Trinkwasser, Erste Hilfe Utensilien, Zurückschneiden von Bäumen und eine Direktleitung zum Meteorologischen Dienst zur Frühwarnung (UNWTO 2008).</p>

Japan & Canada Veränderung der Pflanzenphänologie

Hirosakis (Japan) Kirschblüte ist ein nationales Symbol und Grundlage einer millionenschweren Tourismusindustrie. Temperaturerhöhungen lassen die Blüte immer häufiger viel zu früh für die Organisatoren des Festivals einsetzen. Initiiert von der lokalen Regierung arbeiten Wissenschaftler nun mit Hilfe von Sprühmitteln, der Injektion von Pflanzenhormonen und der Anhäufung von Schnee, um die Bäume an der frühen Blüte zu hindern.

Ottawas (Canada) jährliches Tulpenfestival kämpft ebenfalls mit dem frühen Einsetzen der Blüte. Die Hauptstadtkommission setzt nun folgende Maßnahmen um: Pflanzen der Tulpenzwiebeln in schattige Bereiche, starkes Mulchen der Beete, Errichtung von Schneezäunen, damit sich die Schneehöhe auf den Beeten erhöht und die Reife verzögert, Pflanzen von Blumenzwiebeln mit unterschiedlichen Reifestadien, Bewässerung der Beete in warmen Frühlingsmonaten (UNEP 2008).

Karibik & Golf von Mexiko Temperaturerhöhung & Stürme

Die karibische Tourismusorganisation vermarktet die Region millionenschwer als 4-Jahreszeiten-Destination mit Maßnahmen, die die sommerliche Hitze erträglicher machen sollen: moderne Klimaanlage, reduzierte Saisonpreise sowie eine neue Wirbelsturm-Police. Diese mit Erfolg angelaufene Maßnahme garantiert einen Ersatzaufenthalt, sollte der erste aufgrund von Wirbelstürmen unterbrochen worden sein. Florida investierte nach verheerenden Wirbelstürmen 30 Mio. US\$ in den Aufschwung und entwickelte eine Schlechtwetterversicherung für Tourismusakteure (UNEP 2008).

Malediven Meeresspiegelanstieg & Stürme

Der Tsunami 2004 zerstörte 30 % der touristischen Beherbergungsinfrastruktur auf dieser touristischen und zu über 80 % unter 1 m üNN liegenden Inselgruppe. Ein von der Maledivischen Regierung initiiertes und vom United Nations Development Programme (UNDP) in Form von Entwicklungsförderung innerhalb der Adaptation Policy Framework (APF) unterstütztes Projekt soll die Bevölkerung für die Verwundbarkeit der Inselgruppe sensibilisieren und Maßnahmen zum Schutz vor ökologischen Katastrophen entwickeln: Einrichtung von abgegrenzten Schutzgebieten, Maßnahmen zum Erosionsschutz, Einrichtung von Sanitäreinrichtungen, Analyse des ökonomischen Potenzials der Inselgruppe, Einbeziehung der strategischen Lage, ein hoher Standard in Medizin und Bildung, ein hoher Standard des Katastrophendienstes, aufgeständerte Gebäude für Evakuierungen, Entwässerungsflächen für die Flut, Reservelager für Lebensmittel und die Hilfeleistung benachbarter Inseln im Katastrophenfall (2007 waren bereits 11 Inseln in diesem Verbund; UNEP 2008, <http://www.undp-adaptation.org>).

Mozambique Stürme & Küstenerosion

Initiiert von der Weltbank, dem Tourismusministerium und dem Bürgermeisteramt von Vilankulo wird die durch Sturm- und Hochwasserereignisse zerstörte Strandmauer mit Geldern der Weltbank wiederaufgebaut, gleichzeitig aber nach Alternativen zu dieser „harten“ Küstenschutzmaßnahme gesucht, z. B. bepflanzte Sanddünen. Die Strandmauer schützte bislang die Stadt Vilankulo, das Tor zum Bazaruto Archipel und damit eine große Tourismusattraktion. Beispiele aus Südafrika zeigen schon jetzt, dass „weichere“ Küstenschutzmaßnahmen einen besseren Küstenschutz bieten als starre Strandmauern (UNEP 2008).

Nepal Schutz vor Überflutung

Gletscherrückgang und Eisschmelze erhöhen die Gefahren eines Gletscherwasserausbruchs (GLOF) und der Zerstörung von Wasserkraftwerken in einem touristisch interessanten Gebiet. Folgende Anpassungsmaßnahmen sind daher angedacht: 1. Neue Wasserkraftwerke werden nur noch außerhalb von gefährdeten Gebieten gebaut, 2. Frühwarnsysteme (geschätzte Kosten: 1 Mio. US\$ für jedes Stromgebiet), 3. Bau von Wasserkraftwerken unter der Erde, 4. Absaugen/Abpumpen des Wassers aus riskanten Gletscherseen, Drainagekanäle ausgraben, Treffen von Schutzmaßnahmen stromabwärts (Stern 2006).

Pazifische Inseln

Über „climate risk management programmes“ soll die Widerstandskraft gegenüber den Klima-

wandelauswirkungen erhöht werden.

Samoa – Umbau von Straßen und Brücken auf Zyklon-Standard

Tonga – Umbau von vorhandenen und Neubau von Zyklon-resistenten Wohnanlagen

Kiribati – bauliche Anpassung der öffentlichen Infrastruktur & effektives Wassermanagement

Niue – Ausbau von Zyklon-Frühwarnsystemen mit Hilfe von Satellitentelefonen, solarbetriebenen Radios und E-Mail (Stern 2006, http://www.sprep.org/climate_change/PACC)

Philadelphia Hitze-Gesundheits-Warnsystem

Als eine der ersten Städte führte Philadelphia 1995 das „Heat Health Watch Warning System HHWWS“ mit folgenden Maßnahmen ein: 1. Information und Handlungsempfehlungen über TV, Radio und Zeitung, 2. „buddy system“ - Aufforderung über die Medien, ältere Menschen im Umkreis zu versorgen, 3. „telephone hotline“ – Information und Beratung, 4. Besuche des Gesundheitsamts in besonders gefährdeten Haushalten, 5. Beratung von Pflegeheimpersonal durch das Gesundheitsamt, 6. Personalaufstockung bei Notdiensten, 7. Verstärkte Betreuung von Obdachlosen, 8. Unterbringung von Risikopatienten in klimatisierten Einrichtungen. Dasselbe System wurde 1996 in Washington eingeführt. Mittlerweile verfügen mindestens 24 Städte über ein HHWWS, darunter weitere amerikanische Städte, Toronto, Ontario (Canada) und Shanghai (China; <http://www.as.miami.edu/geography/research/climatology>).

Quinghai-Tibet Bahnstrecke Temperaturerhöhung

550 km dieser Bahnstrecke laufen über Permafrostboden, der selbst bei einer geringen Temperaturerhöhung aufzutauen droht. Um dieses Risiko zu mindern, wurde der Boden mit einem Permafrost-Kühlsystem aus zerkleinertem Gestein ausgestattet. Im Winter sinkt die kühlere, dichtere Luft über der Gesteinsschicht in die Zwischenräume des zerkleinerten Gesteins und verdrängt dort die warme Luft. Im Sommer ist die Luft außerhalb der Gesteinsschicht wärmer und leichter und verhindert somit ein Herabsinken in die Zwischenräume direkt über dem Boden. So kann die Wärmemenge, die vom Permafrostboden normalerweise absorbiert wird, deutlich verringert werden (<http://www.springerlink.com/content/033759426qnx7637>).

Thailand Wasserknappheit auf Phuket

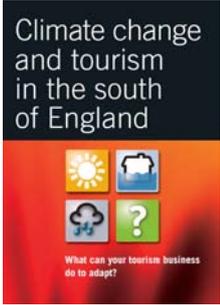
Initiiert von der Tourismusbehörde sowie weiteren nationalen Behörden, wird derzeit ein mehrjähriger Wasserversorgungsplan durch den Bau neuer Dämme, die Erschließung verlassener Bergwerke als Wasserquelle, den Ausbau von Wasserleitungen und Wiederaufbereitungsanlagen sowie eine intelligente Gebührenstaffelung nach Verbrauch und der Initiierung von Wasser-schutzmaßnahmen umgesetzt (UNWTO 2008).

Thailand Meeresspiegelanstieg, Wetterextreme, Stranderosion

Angebotserweiterung im Gesundheits- und Wellnessbereich sowie zum Kennenlernen der thailändischen Kultur (Religion, Sprachkurse, Kochen). Für Geschäftsreisende wird der sog. MICE Markt (meetings, incentives, conventions, exhibitions) etabliert und erweitert (UNWTO 2008).

Thailand & Indien Wetterextreme

Das Projekt “Disaster Reduction through Awareness, Preparedness and Prevention Mechanisms in Coastal Settlements in Asia – Demonstration in Tourism Destinations” soll die Zusammenarbeit zwischen Kräften des Katastrophendienstes und des Tourismus bei der Katastrophenhilfe in drei von Tourismus sowie Tsunamis betroffenen Fallregionen verbessern. Das Projekt ist Teil von APELL, einem auf den Tourismus zugeschnittenen Verbundprojekt des UNEP und steht für Bewusstsein (Awareness) und Bereitschaft (Preparedness) bei Katastrophen auf lokaler Ebene (Emergencies at Local Level). Die Fähigkeit von Küstengemeinden, im Katastrophenfall richtig zu handeln und mit allen Akteuren (Hotel- und Restaurantbesitzer, lokalen Behörden, Rettungsstellen) gut zusammenzuarbeiten, soll gestärkt werden. Das Ergebnis von APELL wird ein Toolkit für Urlaubsorte an der Küste sein, welches Material zur Bewusstseinsbildung, lokal vereinbarte Bildzeichen, Übungsmaterial für Tourismusbetriebe und Kommunikationsstrategien enthalten wird. Gefördert wird das Projekt neben UNEP vom Internationalen Hotel & Restaurant Verband, dem Schwedischen Rettungsdienst, dem Amt für Katastrophenschutz Thailand, dem Nationalen Sicherheitsrat Indien und lokalen Regierungen (UNEP 2008).

	<p>Tobago, Karibik Wasserknappheit</p> <p>Anbieter von Unterkünften und Touren initiieren hier bauliche Anpassungsmaßnahmen auf kleinerem Niveau: Nachrüsten von Gebäuden mit Regenwasserspeichern, Kapazitätsvergrößerung von Sammelbehältern, Umstellung der Toilettenspülungen auf Salzwasser sowie die Betreuung von Diesel gespeisten Entsalzungsanlagen als auch nicht-bauliche Maßnahmen wie Wasserschutz, Aufklärung von Mitarbeitern & Gästen, Reduzierung des Landschaftsverbrauchs sowie ein eingeschränkter Gebrauch von Pools (UNWTO 2008).</p>
EU	<p>England Ressourcenknappheit</p> <p>Im Rahmen des UK Climate Impacts Programme (UKCIP) berät ein Team von 30 Beratern im „South West environmental support programme“ Betriebe im Südwesten Englands hinsichtlich Anpassungsmaßnahmen: ökologische Sanierung, Emissionsminderung, Energie, Wasser, Müll & bauliche Veränderungen (Höherlegung von Zufahrten bei steigendem Hochwasserrisiko; http://www.ukcip.org.uk, http://79.170.40.235/envisionsw.org.uk/index.php).</p> <hr/> <p>England Aufklärung</p> <p>Die South West Climate Change Impacts Partnership (SWCCIP) hat sich die Recherche, Information und Beratung sowie die Entwicklung und Vorantreibung von Anpassungsmaßnahmen für Tourismusbetriebe in der Region zum Ziel gesetzt. Beispiel ist eine anschaulich aufbereitete Info-Broschüre mit einer Aufzählung von Klimawandelauswirkungen sowie konkreten Maßnahmen, welche der touristische Betrieb selbständig umsetzen kann (http://www.oursouthwest.com/climate/index.htm).</p>  <hr/> <p>Frankreich Hitzewellenplan</p> <p>Der Hitzewellenplan „plan canicule“ wurde 2003 entwickelt und basiert auf 4 Stufen: 1. Wachsamkeit – verstärkt zwischen Juni und September, Information der Bevölkerung, 2. Warnung – durch öffentliche Dienste bei Erreichen kritischer Temperaturen, 3. Intervention – ärztliches Eingreifen, 4. Requirierung – Anwendung außergewöhnlicher Maßnahmen unter Einbeziehung der Regierung/Armee. Der Nationalplan besteht aus mehreren Aktionsplänen, zugeschnitten auf Altenheime, ärztliche Notfalldienste, Notfallmeldeanlagen und Paris (http://www.euro.who.int/globalchange/Topics/20040728_1). Mittlerweile haben weitere europäische Länder Hitzewellenpläne entwickelt.</p> <hr/> <p>London Hochwasserschutz</p> <p>Das im Rahmen des UK Climate Impacts Programme (UKCIP) initiierte „Thames Estuary 2100 project“ der Umweltbehörde entwickelt eine auf London und die Themse-Mündung zugeschnittene Handlungsstrategie bei Hochwasserrisiko für die nächsten 100 Jahre: Schutz gegen die stärker werdenden Gezeiten aufgrund einer sich weitenden Themsemündung, Einschätzung der vorhandenen Schutzbauten in Zeiten des Klimawandels und Öffentlichkeitsarbeit (http://www.ukcip.org.uk, http://www.thamesweb.com).</p> <hr/> <p>London Biodiversitätsverlust</p> <p>In dem bekannten Reisemagazin Condé Nast Traveller (2004) wurde der Klimawandel in Form eines Aufrufes thematisiert, die vom Aussterben am stärksten bedrohten Landschaften zu besuchen, bevor sie für immer verschwunden sind (http://www.cntraveller.com/).</p> <hr/> <p>Mallorca Wasserknappheit</p> <p>Die spanische Regierung transferiert bereits heute über Tankerschiffe 10 Mio. m³ Wasser jährlich auf die Insel. Langfristig setzen die spanische Regierung, die Regierung der Balearen und lokale Kommunen folgende Maßnahmen um: Bau zweier großer Entsalzungsanlagen, zusätzlicher Wassertransfer via Pipeline aus dem Gebirge im Norden der Insel, Wasserschutzprogramme für den Tourismus umfassen allgemein gültige Wasserzähler, Prüfung des Wasserverbrauchs, Aufklärungskampagnen und Preismodelle. Eine 2002 eingeführte Ökosteuer für Touristen basierte auf der Zahl der Übernachtungen und dem Standard der Unterkunft. Die Einführung eines „Tourist Areas Restoration Fund“ mittels Spendenaktionen sieht auch Maßnahmen im</p>

<p>Wassermanagement wie der Wasseraufbereitung vor. Die umstrittene Ökosteuer wurde bereits wieder abgeschafft (UNEP 2008).</p> <hr/> <p>Venedig Hochwasserschutz</p> <p>Das „MOSE project“ wurde 2001 von Berlusconi initiiert, besteht aus 78 Metall-Schleusentoren, verteilt auf die drei Hauptzuläufe zur Bucht von Venedig, und schneiden das Mittelmeer somit bei Hochwasser von der Stadt ab. Dabei verkraftet das heutige Modell nur einen Meeresspiegelanstieg von weiteren 20 cm und ist unter Meeresökologen umstritten. Die Kosten beliefen sich auf 2,3 Mrd. € (http://www.veniceword.com/news/8/mose.html).</p>

Tab. 5: Anpassungsmaßnahmen von Stakeholdern aus dem Tourismus (verändert nach UNEP 2008)

Art der Anpassung	Tourismusbetrieb	Tourismusindustrie	Regierung/Gemeinde	Finanzsektor (Investor/ Versicherung)
technisch	Regenwassersammlung und Wiederaufbereitung <hr/> Bau von Gebäuden mit klimaresistenten Techniken, Stoffen und Produkten (Sturm, Hitze)	Tourismusbetrieben Zugang zu Frühwarnsystemen ermöglichen (Medien) <hr/> Informationen zu praktischen Anpassungsmaßnahmen (Homepage)	Schutzgebiete und Entsalzungsanlagen <hr/> Intelligente Gebührenstaffelung für Wasserverbrauch <hr/> Wettervorhersage und Frühwarnsysteme	Forderung zeitgemäßer Gebäudestrukturen und Materialien <hr/> Informationsmaterial für Kunden
betrieblich	Wasserschutzmaßnahmen <hr/> Schließung in der Nebensaison <hr/> Angebots-erweiterung Besucherlenkung	Marketing Events kurzfristiger planen <hr/> Schulungen zu Anpassungsmaßnahmen <hr/> Umweltmanagement mit Betrieben vorantreiben (Zertifikate)	Managementpläne (Coral Bleaching Response Plan AU) <hr/> Vereinbarungen/ Garantien bei Störung des Aufenthalts <hr/> Subventionen für Betriebe (Versicherungs-, Energiekosten)	Prämien anpassen oder Policen nicht verlängern <hr/> Kredite bei riskanten Betrieben verwehren
politisch	Garantien für Ersatzansprüche <hr/> Vorschriften einhalten (Bauordnung)	Lobbying von Klimaschutz & -anpassung <hr/> Förderungen nutzen zur Implementierung von Anpassungsprojekten	Küstenmanagementpläne und Baubegrenzungen <hr/> Baurichtlinien (Stürme, Hochwasser)	Klimawandel bei Kreditwürdigkeit und Finanzierungen einbeziehen
Forschung	Standortcheck (Erosion, Quallen)	Einschätzen des Bewusstseins von Tourist:innen, Touristen sowie von Wissenslücken	Monitoring (Wasserqualität)	Gefährdungspotenzial von Naturkatastrophen
Aufklärung	Schulungen zum Wasserschutz für Angestellte und Gäste	Öffentliche Aufklärungskampagnen	Wasserschutz-Kampagnen <hr/> Kampagnen zur Gefahr von UV-Strahlung	Kunden informieren
Verhalten	Ausgleichskampagnen für die Freisetzung von Treibhausgasen	Ausgleichskampagnen für die Freisetzung von Treibhausgasen <hr/> Wasserschutzinitiativen	Schadensbegrenzung nach Naturkatastrophen	gute interne fachliche Praxis

Anpassungsmaßnahmen in Deutschland

Deutschlands Anpassungsmaßnahmen umfassen derzeit Hochwasserwarnsysteme (<http://www.umwelt.sachsen.de>, <http://www.icpdr.org/>), Hitzewarnsysteme, meist für Pflege- und Behinderteneinrichtungen (<http://www.dwd.de>, <http://www.regierung-mv.de>, <http://www.sachsen-anhalt.de>, <http://www.sozialministerium.hessen.de>, <http://www.nlga.niedersachsen.de>), sowie ein Klima-Biomonitoring-System (<http://www.luwg.rlp.de>, <http://www.umweltdaten.landsh.de>, <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>, <http://www.smul.sachsen.de>, <http://www.hlug.de>). Maßnahmen des Tourismus gibt es vereinzelt, sie werden allerdings unter den Akteuren nicht als Klimaanpassung wahrgenommen (Verstärkung der Außengastronomie, zeitigeres Einstellen von Saisonkräften; Wever et al., in prep.). Die Anpassung touristischer Leistungsträger bedarf zusätzlich der Unterstützung weiterer Sektoren bzw. höherer Entscheidungsebenen. Tab. 5 zeigt das Zusammenspiel einzelner Maßnahmen über die Ebene der touristischen Leistungsträger hinaus.

5 Diskussion

Der Tourismus ist auf Ökosystemdienstleistungen, Wasserressourcen und günstige Klimabedingungen direkt angewiesen. Hinzu kommt die auch an der deutschen Küste gegebene, klimatisch bedingte Saisonabhängigkeit. Diese Rahmenbedingungen entscheiden über potentielle Wettbewerbsvorteile im maritimen Tourismus, wie z. B. Möglichkeiten für Baden, Strandsportarten, Kreuzfahrten, Sportschiffahrt und Surfen. Die oben beschriebenen Auswirkungen des Klimawandels werden den Tourismus an der deutschen Ostseeküste durch zunehmende Stranderosion, Herausforderungen bei der Trinkwasserversorgung, Sturmflut- und Hochwasserschäden an der Infrastruktur (Sicherheitsrisiko für Touristen und Bevölkerung), Verluste der heimischen Fauna und Flora, vermehrtes Auftreten von Quallen und Algen sowie neu einwandernde marine Arten treffen. Hinzu kommt ein erhöhtes Touristenaufkommen aufgrund thermischer, ästhetischer und physikalischer Gesichtspunkte des Tourismusklimas (Matzarakis & Tinz 2008). Für den Tourismus sollte es daher keine Frage sein, ob, sondern nur auf welche Weise man sich an den Klimawandel anpassen kann.

Politisch gibt es in Mecklenburg-Vorpommern mit der Landesstudie erste Ansätze, den Tourismus an Anpassungen heranzuführen, die Veröffentlichung des touristischen Teils steht allerdings noch aus. Wissenschaftlich wird durch das Vorhaben RAdOst die Klimaanpassung in der Branche in Schleswig-Holstein als auch Mecklenburg-Vorpommern vorangetrieben. Praktisch stehen beide Länder noch am Anfang des Anpassungsprozesses, weshalb der vorliegende Artikel die internationale Tourismusbranche auf bereits umgesetzte Maßnahmen hin untersucht hat, um sie für die deutsche Ostseeküste zu diskutieren. Beispiele einer generellen Anpassung im Küstentourismus werden vom UBA (2007) sowie von Zebisch et al. (2005) bereits beschrieben: Eine Flexibilisierung und Diversifizierung der Angebote, wie wetterunabhängige Ganzjahresangebote (Indoor-Events, Thermalbäder, Ausstellungen), Erhöhung der Attraktivität durch die Betonung regionaler Besonderheiten (Kulturgeschichte, kulinarische Eigenheiten) sowie die Verbesserung von Bildungs- und Kulturangeboten (Vorträge, Konzerte, Führungen, Themenpfade), sind ein erster Schritt zur Verminderung der Anfälligkeit für Klimawandelauswirkungen. Qualitätstourismus sowie die Förderung umweltverträglicher Aktivitäten (Rad-, Wander, Reittourismus) und die Förderung der ÖPNV-Nutzung durch Touristen wird bereits heute in der Branche umgesetzt. Ein nächster Schritt können die in Tab. 6 beschriebenen Maßnahmen sein. Diese wurden aus den in Tab. 4 genannten internationalen Beispielen für die deutsche Ostseeküste konkretisiert. Die Vorantreibung eines Integrierten Küstenzonenmanagements sowie die Information und Kommunikation zum Thema sind dabei generell von grundlegender Bedeutung.

Anpassung in anderen Ressorts spielt vielfach eine Rolle. Angebote klimaresistenter Bautechniken und -stoffe, Versicherungen, deren Prämien den Klimawandel berücksichtigen, könnten Anreize für private Anpassungsmaßnahmen schaffen. Umgestaltung der landwirtschaftlichen Betriebsführung, um auf Hitzewellen, Dürreperioden und Schädlingsbefall reagieren zu können, und Schulungen für

Tab. 6: Mögliche Anpassungsmaßnahmen für den Küstentourismus an der Ostsee

Auswirkung des Klimawandels	Folgen für den Tourismus	Anpassungsmaßnahmen
Temperaturerhöhung	<ul style="list-style-type: none"> • Hitzestress, Auftreten von Infektionskrankheiten, Veränderungen der heimischen Fauna und Flora • Kosten für Kühlsysteme und Verschattungselemente • Verschiebung der Saison und Umverteilung der angenehmen Tagestemperaturen • Verkehrsprobleme aufgrund erhöhten Touristenaufkommens 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung regionaler Medien als Frühwarnsysteme (Hochwasser, Hitze, Algen, Quallen, Pollen, Infektionsgefahren, Zecken) • Beschattungssysteme für Strand/Promenaden bzw. Ausbau von Parkflächen/Grünanlagen/Waldwanderwegen & künstlichen Überdachungen; Schaffung zusätzlicher Bademöglichkeiten im Hinterland (Seen, Flüsse); Einrichtung von kostenlosen Trinkstationen/ Fußbecken/ Rieselduschen • Verschiebung der Öffnungszeiten (Kultur, Konsum) • Ausbau von Photovoltaik/Solarthermieflächen bzw. Anpassung der Gebäude bzgl. Dämmung/ Fassadenbegrünung; Outdoor Übernachtungen • alternative Verkehrskonzepte
Niederschlagsveränderung	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserknappheit im Sommer • Überflutungsgefahr im Winter • Schäden an touristischer Infrastruktur und Kulturstätten 	<ul style="list-style-type: none"> • Regenwassersammelsysteme, Reservoirs, Nutzung von Regen-/Ostseewasser für Toilettenspülung, Wasserwiederaufbereitung, Pipelines, Grundwasserschutz, Aufklärung der Touristen/Bürger bzgl. Sparmaßnahmen • Betriebsschließung im Winter (Reparaturmaßnahmen), wetterunabhängige Angebote im Gesundheits-, Wellness- und Kulturbereich & MICE Markt (Tagungs- und Geschäftstourismus)
Zunahme von Stürmen/Sturmfluten	<ul style="list-style-type: none"> • Überflutungsgefahr • Beschädigung der touristischen Infrastruktur, steigende Versicherungskosten, Verlust der Versicherungsfähigkeit • Kosten bei Unterbrechungen des laufenden Betriebes 	<ul style="list-style-type: none"> • Warnsysteme, Evakuierungspläne • „sanfte“ Küstenschutzmaßnahmen, sturmsichere Gebäude/Infrastruktur • Alternativen bei Open-Air-Veranstaltungen
Meeresspiegelanstieg	<ul style="list-style-type: none"> • Küstenerosion/Stranderosion 	<ul style="list-style-type: none"> • Baustopp auf überflutungsgefährdeten Flächen, Stelzenbebauung oder Rückzug auf höher liegende Flächen zugunsten natürlicher Küstendynamik • Verlagerung von Aktivitäten für Touristen in das Hinterland
Erhöhung der Wassertemperatur	<ul style="list-style-type: none"> • Verlängerung der Badesaison • erhöhtes Touristenaufkommen 	<ul style="list-style-type: none"> • Vermarktung der längeren Badesaison (Strandkorbverleih, Tauchen, Schnorcheln, Gastgewerbe, Saisonkräfte)
Veränderung der Wasserqualität	<ul style="list-style-type: none"> • vermehrtes Aufkommen von Quallen, Algen, Strandanwurf • vermehrtes Auftreten von Bakterien und Viren 	<ul style="list-style-type: none"> • technische Absperrvorrichtungen, Strandsäuberungen • Alternativangebote (Bootsfahrten, Shopping Malls, Indoor Swimming)
Küstenerosion	<ul style="list-style-type: none"> • erhöhte Abrasion von Strandflächen • erhöhte Akkumulation durch Sandanflug 	<ul style="list-style-type: none"> • Sandaufspülungen, Buhnen, Zeta-Buchten (Taiwan) • Erlebnispfade „Klimawandel“ entlang der Küste • Verlagerung künftiger Bauvorhaben in das Hinterland
Veränderungen der marinen & terrestrischen Biodiversität	<ul style="list-style-type: none"> • Quallen/Algen, Neozoen, Verlust heimischer Arten 	<ul style="list-style-type: none"> • Frühwarnsysteme für Badetouristen, • Ausbau der Schutzgebiete, Lehrpfade, Monitoring
Erhöhung der sommerlichen Waldbrandgefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Zerstörung des Landschaftsbildes • Schäden an touristischer Infrastruktur • Überflutungsgefahr bei beeinträchtigtem Küstenschutzwald 	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung feuerfester Baustoffe • Wiederaufforstung • verstärktes Angebot von Klimainformationen für Touristen

Architekten („climate proofing“) treiben die Anpassung voran. Mindestanforderungen für Raumplanung, Flächennutzung und Änderungen der Flächennutzung könnten unter Anpassungsgesichtspunkten für die Sensibilisierung der Öffentlichkeit, politischer Entscheidungsträger und von Wirtschaftsakteuren eine Schlüsselrolle spielen. Die Entwicklung spezifischer technischer Leitfäden, Fallstudien und der Austausch bewährter Praktiken könnten diesbezüglich von Nutzen sein. Die Reaktion auf und die Erholung nach Katastrophenfällen sollten durch Katastrophenverhütungsstrategien und Katastrophenwarnsysteme mit Hilfe satellitengestützter Erdbeobachtungsinstrumente sowohl auf nationaler als auch auf EU-Ebene noch verbessert werden (Europäische Kommission 2008).

Die größten Anpassungskapazitäten liegen bei den Touristen selbst. Sie können vom Klimawandel stark betroffene Reiseziele oder Reisezeiten mit ungünstigen klimatischen Rahmenbedingungen einfach meiden (UNWTO 2008). Touristiker wie Hoteliers oder Besitzer von Sportboothäfen sind in der Regel stationär festgelegt und somit auf konkrete Anpassungsmaßnahmen vor Ort angewiesen. Die Anpassung anderer Fachressorts an den Klimawandel kommt dem Tourismus ebenfalls zugute (Gesundheits- und Sozialwesen, Land- und Forstwirtschaft, Naturschutz, Verkehr und Küstenschutz). Die Anfälligkeit (Vulnerabilität) für Klimawandelauswirkungen zwischen den einzelnen Ressorts, Gesellschaftssystemen und natürlich auch zwischen einzelnen Regionen ist dabei höchst unterschiedlich, so dass Anpassungsmaßnahmen entsprechend zugeschnitten sein müssen.

Eine Umfrage in den Tourismusressorts der beiden Ostseeküsten-Bundesländer ergab bei der Frage nach der aktuellen Relevanz der Anpassungsthematik in ihrer Verwaltung zwar ein „wichtig“, entsprechend durchgeführte Maßnahmen zielten jedoch auf Klimaschutz, nicht auf Klimaanpassung (Wever et al., in prep.). Eine der Hauptursachen für die geringe Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen im Tourismus ist die mangelnde Auseinandersetzung mit dem Thema Klimawandel, da andere Probleme (wirtschaftliche Entwicklung, Konkurrenz, fehlende Saisonkräfte) oft dringlicher sind (Zebisch et al. 2005). So steht der langwierige Prozess der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen der eher kurzfristigen Planung im Tourismus gegenüber. Selbst Vertreter von Ämtern, Industrie- und Handelskammern und Ministerien thematisieren durchaus die langfristige Planung in Form von Tourismuskonzeptionen oder ähnliches, doch auch sie kommen über eine Planung über wenige Jahre selten hinaus. Obwohl der Tourismus nicht nur betroffen, sondern auch eine Ursache des Klimawandels ist (1999 wurden in Deutschland 15,8 Mio. Tonnen Treibhausgase emittiert, das sind 1,6 % der gesamten deutschen Treibhausgasemission pro Jahr; Zebisch et al. 2005), ist in der Literatur stets zu lesen, dass ein Bewusstsein in Bezug auf Klimawandel und der dringenden Notwendigkeit, sich daran anzupassen, kaum vorhanden ist.

Mecklenburg-Vorpommern: In der Landestourismuskonzeption (2004) z. B. bleiben Klimawandel und Anpassung gänzlich unerwähnt. Auch der Aktionsplan Klimaschutz (2005) verspricht zwar in einem der Satze, neben den Maßnahmen zur weiteren Reduzierung der Treibhausgasemissionen zukünftig erforderliche Anpassungsstrategien zu entwickeln, doch bisher hat die für Ende 2008 geplante Fortschreibung des Aktionsplans nicht statt gefunden. Die Landesstudie zu Klimaschutz und Folgen des Klimawandels (2007) hingegen beschreibt erste Handlungsempfehlungen zur Anpassung. Leider ist der Tourismus für eine spätere Veröffentlichung ausgespart, hier sollen Informationen aller anderen Schwerpunktthemen einfließen.

Schleswig-Holstein: Der Aktionsplan Klimaschutz (2007) erwähnt immerhin die derzeitigen Bemühungen um Anpassung an den Klimawandel. Hier wird das im Aufbau befindliche „Earth-Institut“, eine Einrichtung aus der Zusammenarbeit des Instituts für Weltwirtschaft und des IFM-GEOMAR, um Wirtschaftswissenschaft und Naturwissenschaft in der Klima- und Klimafolgenforschung zu vernetzen, kurz beschrieben. Ein Forschungsschwerpunkt dieses Instituts werden globale und regionale Anpassungsstrategien an den Klimawandel sein. Auf der Homepage des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume ist unter der Rubrik Klimaschutz gar das Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass) verlinkt. Das Land wirbt mit dem

Maritimen Aktionsplan von 2008, ist hier doch als erste Region innerhalb Europas, noch vor der Bundesregierung, ein solcher Plan zur Umsetzung einer integrierten Meerespolitik vorgelegt worden. Doch bei näherer Analyse stößt man zum Thema Anpassung nur auf eine Projektgruppe Klimaschutz und Klimawandel, die den Aktionsplan Klimaschutz und Klimaanpassungsstrategien umsetzen soll. Ergebnisse oder Kontaktdaten sind nicht angegeben, so dass auch hier die Bemühungen noch ganz am Anfang zu stehen scheinen.

Tourismusakteure sind gegenüber dem Klimawandel nach wie vor skeptisch (Wever et al., in prep.). Es ist daher notwendig, sie mit relativ sicher prognostizierten Klimawandelauswirkungen für die jeweilige Region zu versorgen und darüber zu informieren, in welcher Form diese den Betrieb der touristischen Leistungsträger beeinflussen. Die Politik bzw. Wissenschaft versucht ihrerseits mit Wissenstransferstellen wie dem Norddeutschen Klimabüro sowie dem neu gegründeten Climate Service Center, die beide am GKSS-Forschungszentrum in Geesthacht angesiedelt sind, Informations- und Beratungsplattformen für Bürger, Politiker, Entscheidungsträger und Investoren anzubieten.

Eine gute und nachhaltige Methode zur Unterstützung des Klimaanpassungsprozesses ist das Integrierte Küstenzonenmanagement (IKZM). Die UNWTO (2008) stellt deutlich heraus: „An important element of adaptation strategies for small islands and coastal destinations is the planning of tourism activities under the Integrated Coastal Zone Management (ICZM) approach.“ Würden seine Grundsätze vom Tourismussektor angewendet, so wäre IKZM das ideale Instrument, um Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in der Küstenregion zu etablieren. Es wird als kontinuierlicher, dynamischer, iterativer und vom Nachhaltigkeitsprinzip geleiteter Prozess verstanden, der alle Entwicklungen im Küstenbereich in den durch die natürliche Dynamik und Belastbarkeit gesetzten Grenzen koordinieren soll (BMU 2006). IKZM ist dabei die einzige Ebene, die den in seinen Funktionen eng zusammenhängenden Küstenraum als Ganzes betrachtet. Die Klimawandelauswirkungen werden ihrerseits ebenso den gesamten Küstenraum betreffen.

Faktoren wie ein verändertes Freizeitverhalten und der demographische Wandel stellen den Tourismus künftig ebenfalls vor neue Herausforderungen und sollten im Anpassungsprozess berücksichtigt werden (Zebisch et al. 2005).

6 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Notwendigkeit zur Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel entsteht unmittelbar aus den sich voraussichtlich einstellenden, nachteiligen Folgen und den sich daraus ergebenden Schäden sowie volkswirtschaftlichen Kosten (Schuchardt & Wittig 2008). Die vorliegende Recherche hat ergeben, dass der Tourismus in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern derzeit kaum Schritte hinsichtlich einer Anpassung unternommen hat. Studien und Rahmenwerke von wissenschaftlicher sowie politischer Seite bilden eine gute Grundlage. Die Barrieren zur Praxis gilt es aber noch zu überwinden: fehlendes Verständnis von Klimafachwissen und der Betroffenheit des eigenen Ressorts, Ungewissheit über tatsächlich eintretende Auswirkungen und fehlende Vorstellungen von geeigneten Anpassungsmaßnahmen. Hier setzen die vorgestellten Projekte zu Klimawandel und Anpassung im Tourismus an. Das aktuelle Wissen zum Klimawandel, seine regionalen Auswirkungen sowie die Verwundbarkeit des Küstentourismus werden akteursgerecht in regelmäßigen Veranstaltungen kommuniziert und anschaulich publiziert. Zudem werden Workshops zur gezielten und gemeinsamen Erarbeitung von konkreten Anpassungsmaßnahmen angeboten. Befasst sich die Branche rechtzeitig mit den Risiken und Chancen des Klimawandels und passt sich entsprechend an, kann sie ihren ökonomischen Nutzen aktiv daraus ziehen, ohne aus einer Notlage heraus reagieren zu müssen. Priorität sollte dabei Maßnahmen eingeräumt werden, die sowohl unter Klimaschutz- als auch unter Anpassungsgesichtspunkten von Vorteil sind. Nicht nachhaltige Formen des Tourismus können laut KOM (2009) die negativen Auswirkungen des Klimawandels hingegen noch verschlimmern.

Literatur

- BAT Freizeit-Forschungsinstitut (2009): 25. Deutsche Tourismusanalyse (http://www.destinet.de/index.php?option=com_content&task=view&id=2317&Itemid=153, 12.05.2009).
- BAT Freizeit-Forschungsinstitut (2008): 24. Deutsche Tourismusanalyse (http://www.destinet.de/index.php?option=com_content&task=view&id=2317&Itemid=153, 12.05.2009).
- BAT Freizeit-Forschungsinstitut (2007): 23. Deutsche Tourismusanalyse (http://www.destinet.de/index.php?option=com_content&task=view&id=2317&Itemid=153, 12.05.2009).
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009): Dem Klimawandel begegnen – Die Deutsche Anpassungsstrategie. Berlin, 72 S.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006): Integriertes Küstenmanagement in Deutschland. Nationale Strategie für ein integriertes Küstenzonenmanagement. Bonn, 99 S.
- Bretschneider, S. (2008): Zum Erfolg verpflichtet – Wo liegen die Wachstumspotentiale? In: Tourismusverband Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): 18. Tourismustag MV. Palmengärten und Weinberge? Wie der Klimawandel den Tourismus verändert. Rostock, S. 17-25.
- Deutsche Meteorologische Gesellschaft (2007): Stellungnahme der DMG zur Klimaproblematik. Frankfurt, 5 S.
- Die Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Berlin, 78 S.
- Endlicher, W. & F.-W. Gerstengarbe (2007): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V., Potsdam, 142 S.
- Europäische Kommission (2008): Maßnahmen der EU gegen den Klimawandel – Anpassung an den Klimawandel. Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg, 20 S.
- EEA – European Environment Agency (2009): National Adaptation Strategies of EEA member countries (<http://www.eea.europa.eu/themes/climate/national-adaptation-strategies>, 25.06.2009).
- Feige, M. (2008): Aktuelle Erkenntnisse aus dem Sparkassen-Tourismusbarometer. Tourismustag Schleswig-Holstein 2008 (<http://www.tourismustag-sh.de/>, 13.10.2009).
- Hamilton, J.M. & R.S.J. Tol (2007): The impact of climate change on tourism in Germany, the UK and Ireland: a simulation study. *Regional Environmental Changes* 7: 161-172.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor und H.L. Miller (Hrsg.): *Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York. Dt. Übers. ProClim-, österr. UBA, dt. IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, S. 1-18.
- Jacob, D., H. Göttel, S. Kotlarski, P. Lorenz, & K. Sieck (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben, Förderkennzeichen 204 41 138 „Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland“. Publikationen des Umweltbundesamtes, Potsdam, 2007. Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, 159 S.
- KOM – Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2009): Weissbuch – Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen. Brüssel, 18 S.
- Matzarakis, A. & B. Tinz (2008): Tourismus an der Küste sowie in Mittel- und Hochgebirge: Gewinner und Verlierer. In: Lozán, J. et al.: *Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen*. Hamburg, S. 254-259.
- MPI – Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg (2008): Regionale Klimasimulationen (<http://www.mpimet.mpg.de/en/wissenschaft/ueberblick/atmosphaere-im-erdsystem/regionale-klimamodellierung/remo-uba/uba-studie-animationen/mecklenburg-vorpommern.html>, 30.04.2009).
- MfWAT MV – Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (2007): Studie aufgrund des Landtagsbeschlusses vom 29.03.2007, Klimaschutz und Folgen des Klimawandels in Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin, 59 S.
- MfWAT MV – Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (2004): Landestourismuskonzeption Mecklenburg-Vorpommern 2010. Schwerin, 88 S.
- Pehlke, H. (2009): Die regionalen Nutzungen im Mecklenburg-Vorpommern und im Odermündungsgebiet vor dem Hintergrund tiefgreifender Transformationsprozesse. *IKZM-Oder Berichte* 57. EUCC – Die Küsten Union Deutschland e. V., Rostock-Warnemünde, 105 S.

- Rau, S. (2008): Klimaänderungen und Tourismus in Norddeutschland, GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, 24 S.
- Schubert, R., H.-J. Schellenhuber, N. Buchmann, A. Epiney, R. Griebhammer, M. Kulesa, D. Messner, S. Rahmstorf & J. Schmid (2006): Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen WBGU. Berlin, 130 S.
- Schuchardt, B., S. Wittig, P. Mahrenholz, K. Kartschall, C. Mäder, C. Hasse & A. Daschkeit (2008): Deutschland im Klimawandel. Anpassung ist notwendig. Publikationen des UBA, Dessau, 15 S.
- Schumacher, S. (2008): Sandstrände der deutschen Ostseeküste – Gefährdung, Schutz und Ökologie der Wirbellosen. IKZM-Oder Berichte 53. EUCC – Die Küsten Union Deutschland e. V., Rostock-Warnemünde, 151 S.
- Scott D., C.R. de Freitas & A. Matzarakis (2009): Adaptation in the tourism and recreation sector. In: McGregor G.R., I. Burton & K. Ebi (eds.): Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change. Berlin, pp. 171-194.
- Simpson, M.C., S. Gössling, D. Scott, C.M. Hall & E. Gladin (2008): Climate Change Adaptation and Mitigation in the Tourism Sector: Frameworks, Tools and Practices. UNEP, University of Oxford, UNWTO, WMO, Paris, France, 152 S.
- Spekat, A., W. Enke & F. Kreienkamp (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRESSzenarios B1, A1B und A2. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes. FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 204 41 138, Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Publikationen des UBA, Potsdam, 149 S.
- Stern, N. (2006): The Economics of Climate Change – The Stern Review. Cabinet Office - HM Treasury. 579 p.
- Sterr, H. (2007): Folgen des Klimawandels für Ozeane und Küsten. In: Endlicher, W. & F.-W. Gerstengarbe (Hrsg.): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V., Potsdam, S. 86-97.
- UBA – Umweltbundesamt (2007): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen – Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. Hintergrundpapier des UBA. Dessau, 27 S.
- UNEP – United Nations Environment Programme (2009): Förderprogramme zu Klimawandelanpassung (<http://www.unep.org/climatechange/UNEPsWork/Adaptation/tabid/241/language/en-US/Default.aspx>, 13.10.2009).
- UNWTO – World Tourism Organization and United Nations Environment Programme (2008): Climate Change and Tourism – Responding to Global Challenges. UNWTO, Madrid, and UNEP, Paris, 268 p.
- Werner, P.C. & F.-W. Gerstengarbe (2007): Welche Klimaänderungen sind in Deutschland zu erwarten? In: Endlicher, W. & F.-W. Gerstengarbe (Hrsg.): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V., Potsdam, S. 56-59.
- Wever, L., S. Schumacher, N. Stybel & I. Haller (in prep.): Klimawandel an der deutschen Ostseeküste – Passt sich der Tourismussektor an?
- Zebisch, M., T. Grothmann, D. Schröter, C. Hasse, U. Fritsch & W. Cramer (2005): Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Forschungsprojekt im Auftrag des UBA. FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 201 41 253. Publikationen des UBA, Dessau, 205 S.

Danksagung

Gefördert im Rahmen des Baltic Sea Region Programme 2007-2013 INTERREG IVB Projektes „BaltCICA – Climate Change: Costs, Impacts and Adaptation in the Baltic Sea Region“ sowie des BMBF Projektes „RA Ost – Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste“.

Adresse

Susanne Schumacher
EUCC – Die Küsten Union Deutschland e.V.
Seestraße 15
18119 Rostock, Germany

schumacher@eucc-d.de



Mapping and valuation of ecosystems and economic activities along the coast of Cameroon: implications of future sea level rise

Mary Fonteh¹, Luciana S. Esteves² & W. Roland Gehrels²

¹Watershed Task Group, Cameroon

²University of Plymouth, UK

Abstract

The vulnerability of the coastal zone of Cameroon to flooding from sea level rise (SLR) was quantified using Geographic Information System (GIS) flooding analysis. The main economic activities and ecosystems along this area were identified using secondary data. Valuations of non-market values of ecosystems were based on the ecosystem service product method. The low-lying coastal areas were found to be physically and socio-economically susceptible to impacts of SLR due to their high ecological and economic value. A digitised land use/land cover (LULC) classification was produced from low resolution topographic maps and Google Earth images of the area. The digital elevation model (DEM) used was acquired by the shuttle radar topography mission. Evaluation of potential land loss due to inundation was based on empirical approaches using minimum and maximum scenarios of 2 and 10 m flooding. These were estimated considering the best available SLR data for the area, mean high water levels and wave heights during storms. The estimated SLR range from 2.3 m to 9.2 m for the low and high scenarios, respectively, by 2050 and from 2.6 m to 9.7 m for the low and high scenarios, respectively, by the year 2100. Results indicate that 112 km² (1.2 %) and 1,216 km² (12.6 %) of the coastal area will be lost from a 2 m (equivalent to a low scenario by 2050) and 10 m (equivalent to a high scenario by 2100) flooding, respectively. 0.3 % to 6.3 % of ecosystems worth US\$ 12.13 billion/yr could be at risk of flooding by the years 2050 and 2100. The areas under a serious threat contain mangroves, sea and airport, residential and industrial areas of Douala. Main plantation crops of banana and palms will be slightly affected. The identification of the socio-economic impacts of projected SLR on vulnerable coastlines and populations is important for timely actions to be taken in mitigating the effects of natural disasters in the coastal zone.

1 Introduction

A common opinion among contemporary climate scientists is that increasing green house gas (GHG) emissions will raise the average atmospheric temperature by 1.1 C to 6.4 °C over the next century (IPCC 2007). This will lead to thermal expansion of the oceans, rapid melting of ice sheets, and, consequently, sea level rise (SLR). Bindoff et al. (2007) project a global SLR ranging from 0.18 to 0.59 m by the year 2100 taking into consideration various GHG emissions scenarios. Over the 20th century tide gauge's records indicated a global mean SLR rate of 1.7 ± 0.24 mm/yr (Church & White 2006, Holgate & Woodworth 2004), while satellite altimetry data show an accelerated rise of 3.1 ± 0.7 mm/yr for the period 1993-2003 (Solomon et al. 2007, as reviewed by Katsman et al. 2008).

According to Martinez et al. (2007), 41 % of the world's population live within 100 km of the coast and a large proportion of them live closer to the shoreline. Bijlsma et al. (1996), Nicholls et al. (1999) and Martinez et al. (2007) estimated that the gross domestic product (GDP) growth in coastal zones and its environs exceeds the national average in many countries. This turns the coastal zones to important areas for settlement and these zones play a vital role in the economic well-being of many nations.

The last three decades have witnessed economic growth along the coasts of the world (Agardy et al. 2005, Costanza et al. 1997, Turner et al. 1996). Ecosystems in particular are an integral part of the

coastal zone and this implies that they are of significant value to both the economy of the country and the livelihoods of local residents. Therefore, it is quite important to evaluate the goods and services that they provide as they have been identified as a central link between society and the structure and function of natural systems. Furthermore, the sustainability and conservation of coastal ecosystems have been highlighted to foster its functioning (Agardy et al. 2005, Costanza et al. 1997, EFTEC 2005, Martinez et al. 2007, WWF 2000). However, only a modest SLR could lead to flooding in low-lying regions, accelerate coastal erosion, inundate wetlands and lead to the relocation of coastal communities and infrastructure. According to IRIN (2008) and Brooks et al. (2006), the entire West African's coastline extending from the orange dunes in Mauritania to the dense tropical forests in Cameroon will be submerged by the end of the century as a direct consequence of climate change. Unabated degradation of coastal ecosystems and habitats caused as a result of natural and anthropogenic activities could lead to their reduced capacity to support the basic human needs of food, fuel and shelter. Associated impacts of coastal hazards could have serious consequences on socio-economic activities.

The aim of this paper is to assess how much of Cameroon's economy might be affected by SLR and to identify the areas and activities at risk of flooding. Specific objectives are:

1. to identify the main economic activities located on the Cameroonian coast and quantify their contribution to the country's economy,
2. to map the existing ecosystems along the coasts of Cameroon and quantify their non-market value based on the ecosystem product service approach as described by Costanza et al. (1997), and
3. to assess economic assets (ecosystems and economic activities) which are at risk most, based on existing estimates of SLR.

Description of the study area

The 402 km long coastline of Cameroon extends from Rio-del-Rey estuary (4° 40' N) at the border to Nigeria to the Campo basin (2° 20' N) at the border to Equatorial Guinea (Figure 1). According to the Centre for International Climate and Environmental Research Oslo (CICERO 2000), 70 % of the country's national industries are located in the coastal area. There are a lot of different coastal ecosystems and they are highly exploited (Gabche et al. 2000), including estuaries (Rio-del-Rey, Cameroon and Ntem estuaries), mangroves, sand dunes, mud and sand flats, lagoons, deltas, coastal shelves, bays and lakes (Figure 1; Folack et al. 1999, Folack & Gabche 2007, Gabche 1997, Gabche & Smith 2002, Sayer et al. 1992, UNEP 1984). These are separated from the Atlantic forest by a marshy complex of brackish waters in the northern portion. On the other hand, the south-eastern part of the coast presents an alternation of rocky and sandy beaches and cliffs.

2 Methods

A comprehensive literature review from primary and secondary sources was carried out to identify the main economic activities developed along these coasts. The area extent of these coastal ecosystems was obtained from the 'World Mangroves Atlas' (Spalding et al. 1997) and 'Coastal Ecosystems' (Burke et al. 2001). The area extents on estuaries, lakes and rivers are from Dupra et al. (2001) and Folack & Njifonjou (1995) while data on coastal forests were obtained from MINEF (1997) and Oates et al. (2004). Valuation of the non-market value of the coastal ecosystems services was done according to the estimations of Costanza et al. (1997).

Estimates of sea level change for the coast of Cameroon were calculated using data obtained from TOPEX/Poseidon and Jason satellite altimeters for the period 1993-2004 (NASA 2008), and tide gauge from Takoradi, Ghana for the period 1930-1965 (PSMSL 2008a). The statistical package Minitab 15 was used to analyse the datasets. Only recently, a tide gauge was installed at the coast of Cameroon. Therefore, the Takoradi data are the best available record that can be applied to estimate

sea level changes in Cameroon because being the only tide gauge station in Africa with long-term sea level record (GLOSS 2008) it is, like Cameroon, located in the Gulf of Guinea (GOG) and has, therefore, similar oceanographic characteristics (Aman et al. 2007).

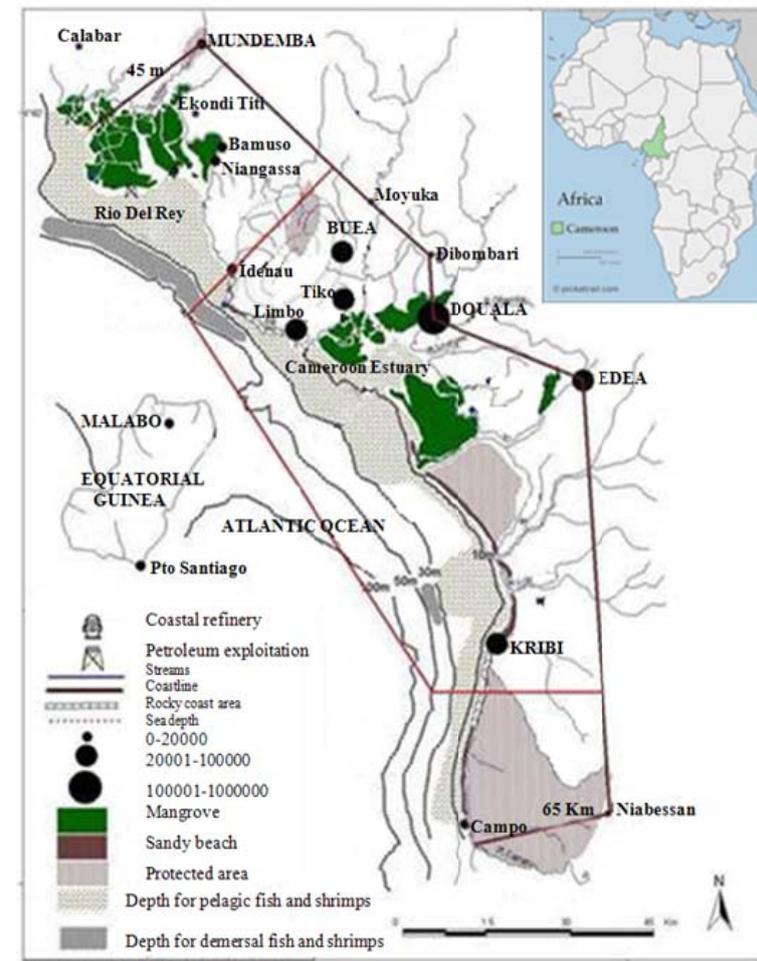


Figure 1: Ecosystems along the coast of Cameroon (adapted from Gabche 2002)

2.1 Coastal topography and land use/land cover pattern

Low resolution topographic maps (NIS 2004), satellite imagery (Go Spatial Ltd 2008), and raster images were extracted from Google Earth. Google Earth images of desired locations were saved and exported to ArcGIS 9.2. These were georeferenced and then digitised to produce shapefiles of coastal Cameroon. This included topography, bathymetry, and land use/land cover, location of main industries, and mapping of coastal ecosystems. It permitted the identification, location and extent of ecosystem biomes along the coasts of Cameroon.

ArcGIS 9.2 (ESRI 2007) was used to map the distribution of coastal economic assets (including ecosystems) to assess the areas at risk for different scenarios of SLR. The software was also used to quantify the potential impacts of SLR on the coastal environments and the country's economy using DEM Raster image (Go Spatial Ltd 2008). You might want to include here an estimate of uncertainties and the effects of the low resolution topographic data.

2.2 Flooding scenarios and socio-economic impacts

Flooding scenarios and areas at risk were calculated by using the equation of Hoozemans et al. (1993) as follows:

$$Dft = MHW + S + Wf + Pf$$

While Dft is the flooding level, MHW refers to the mean high water level; S is the relative SLR, Wf is the height of storm waves and Pf is the SLR as a result of the lowering of the barometric pressure, which is zero (UNESCO 1985). Hoozemans et al. define a risk zone as the land area between the coastline and the “maximum” design water level. This calculation indicates a preliminary extent of the area at risk of flooding.

The data on the tides and surges along the Cameroon coasts were obtained from Hydrographer of the Navy (2008). A value of minimum mean high water (MHW_{min}) of 0.6 m, the mean wave height of storm waves (1.6 m) and the low estimate value of SLR (0.07 m by 2050 and 0.20 m by 2100) was used to obtain the minimum flooding levels. On the other hand, the maximum mean high water (MHW_{max}) value of 2.6 m with a return period of 1/100 years, giving the storm wave height of 6.20 m, and a high estimate of SLR (0.39 m and 0.86 m by the years 2050 and 2100 respectively) indicated the maximum flooding levels.

3 Results: mapping of economic activities and ecosystems

Areas of special ecological importance, plantation crops and economic activities of the different sectors developed along the coasts of Cameroon are shown in Figure 2. Mangroves are the most common coastal ecosystems and usually occur in areas of conservation between Kribi and Campo, around Douala and along the northernmost coastal area.

Figure 2 shows that a large proportion of the industries and ports are found in the low-lying region of Douala (sea port, airport, textiles, and wood and chemical product plants) with few industries located in the Kribi area (mainly rubber and palm plantations), which includes also a sea port used for the exportation of crude oil from Chad (Chad-Cameroon pipeline). The northern region of the coasts along the Tiko, Limbe (formerly Victoria) and Idenau is covered by banana, rubber and palm plantations. These plantations have very large product processing plants. There is a large soap and detergent factory, air- and sea port in Tiko. The Limbe deep sea port is associated with a petrochemical refinery which refines crude petroleum for nationwide consumption and exportation. The location of many industries along this area acts as a melting pot of the country’s economy. The fact that this is a low-lying and flood risk area implies that efforts must be made to mitigate any problems resulting from a SLR.

Industries, ecosystems, and plantations account for 70 % of the GDP of the country. The fishery sector, which falls under agriculture, make up 19 % of the economy’s GDP. Douala, which is the economic capital of the country, contributes 21.9 % GDP from trade, hotels, and restaurants. This is closely followed by the water and gas sector which represents 18.2 % of the GDP. The mining sector (10.6 % of GDP) has witnessed some drop as a result of depletion of hydrocarbons. Export crops of banana, rubber and palms contribute 1.4 % of the GDP.

3.1 Results of the valuation of ecosystems

Results of the valuations of the habitat types adapted from the data described by Costanza et al. (1997) are presented in Table 1. This summarises annual values of natural resources in American dollars (US\$) as currently used in environmental assessments. A total value of US\$ 12.13 billion/yr was obtained from the valuation of Cameroon’s coastal ecosystems.

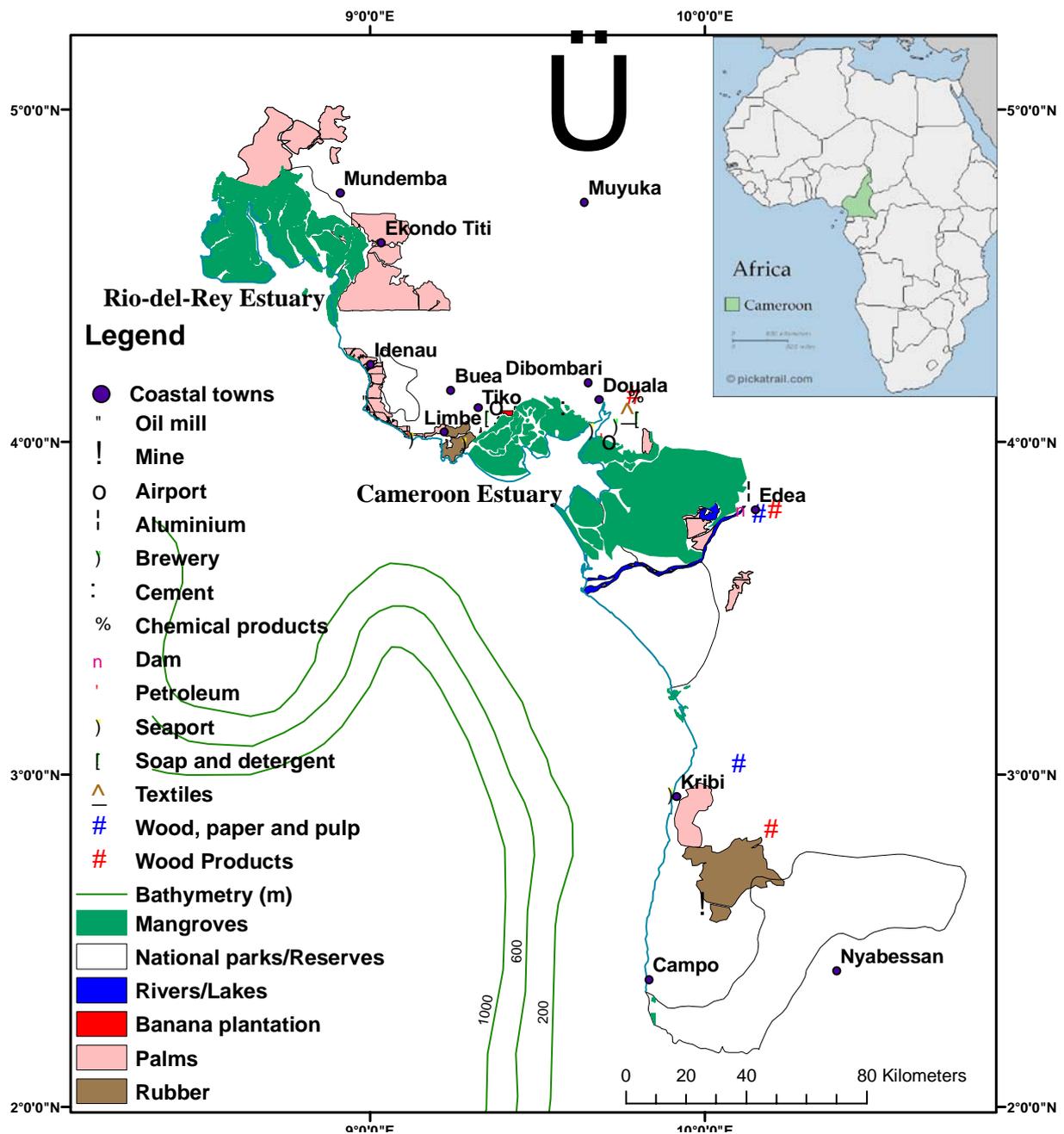


Figure 2: Ecosystem types, main economic activities, cash crops, and urban areas along the coast of Cameroon

Table 1: Estimated average value of annual ecosystem services for the coasts of Cameroon (Burke et al. 2001, Costanza et al. 1997, Gabche & Smith 2002, Oates et al. 2004)

Biome	Area (km ²)	Area (ha)	Value (US\$/ha/yr)	Total value (US\$/yr)
Estuaries	2,850	285,000	22,832	4,891,756,000
Shelves	13,100	1,310,000	1,610	1,706,600,000
Forests/reserves	5,834.6	583,464	969	565,376,616
Mangroves	2,494	249,400	9,990	2,491,506,000
Lakes/ivers	2,910	291,000	8,498	2,472,918,000
Total	27,638.6	2,763,864	43,899	12,128,156,616

3.2 Sea level rise rates of change

Data from TOPEX/Poseidon and Jason satellite (NASA 2008) show that Cameroon has relative rates of SLR of 2 to 2.4 mm/yr. Results of Glacial Isostatic Adjustment (GIA) from Calabar, Nigeria (PSMSL 2008b), which is the tide gauge closest to the study area with longer recorded and analysed data, when subtracted from Cameroon's estimated SLR figures from satellites, gave a corrected rate of sea-level change of 1.8 to 2.2 mm/yr for the period 1948-2003. However, the results of the Revised Local Reference Level (RLRL) data from PSMSL (2008a) showed a relative rate of SLR of 3.1 mm/yr with a range of lower 95 % confidence levels and upper 95 % confidence levels of 2.3 and 3.8 mm/yr respectively. Corrected satellites data and confirmed results of estimated SLR are shown in Table 2. They range from 9 to 38 cm by the years 2050 and 2100, respectively. This falls within the medium range scenario by the IPCC (Table 2) ranging from 20 to 86 cm by 2100 for the IS92a GHG emissions scenario, which is the medium emission scenario by the IPCC, with a best estimate of 49 cm.

Recent satellite data indicate a rate of 3.1 mm/yr for the same period (Cazenave & Nerem 2004, Holgate 2007). The global average range (1.74 ± 0.24 mm/yr) for the 20th century has been published by Bindoff et al. (2007). Differences between the global average range and the estimated tide gauge range for Cameroon are probably caused by knowledge gaps on the processes that generate local changes in sea-surface temperature, ocean siphoning, and continental levelling (Gehrels & Long 2008). The present study used projections by Warrick et al. (1996) for example the IPCC medium emissions scenario for GHG IS92a. This is because estimated SLR for the coasts of Cameroon falls within their range (20 to 86 cm with the best estimate of 49 cm), and, secondly, there is a lack of knowledge with respect to anthropogenic activities that could affect SLR and inadequate monitoring of tide gauges' data along the coasts of Cameroon. The same IPCC range was used in Cameroon and Morocco to assess preliminary impacts of SLR (CICERO 2000, Snoussi et al. 2008, Snoussi et al. 2006).

Table 2: Estimated SLR (cm) for the coast of Cameroon from satellite and GIA data set records and RLRL from Takoradi tide gauge and global mean sea level estimates (Warrick et al. 1996)

Scenarios	SLR (cm), satellite and GIA data with a range of 1.8 to 2.2 mm/yr		SLR (cm) Takoradi with a range of 2.3 to 3.8 mm/yr		Global SLR (cm)		
					Low	Medium	High
2050	9	11	11.5	19	7	20	39
2100	18	22	23	38	20	49	86

3.3 Flooding scenarios and socio-economic assessment

A minimum high water indicated flooding levels of 2.4 m while maximum high water values indicated flooding levels of 9.7 m as shown in Table 3. Consequently, two levels of flooding were considered: a minimum and a maximum flooding scenario based on the different estimated rates of SLR.

Table 3: Minimum and maximum flooding scenario by the years 2050 and 2100, respectively

Scenarios	Minimum flooding levels (m)	Maximum flooding levels (m)
	Low estimate of SLR	High estimate of SLR
2050	2.27	9.19
2100	2.4	9.66

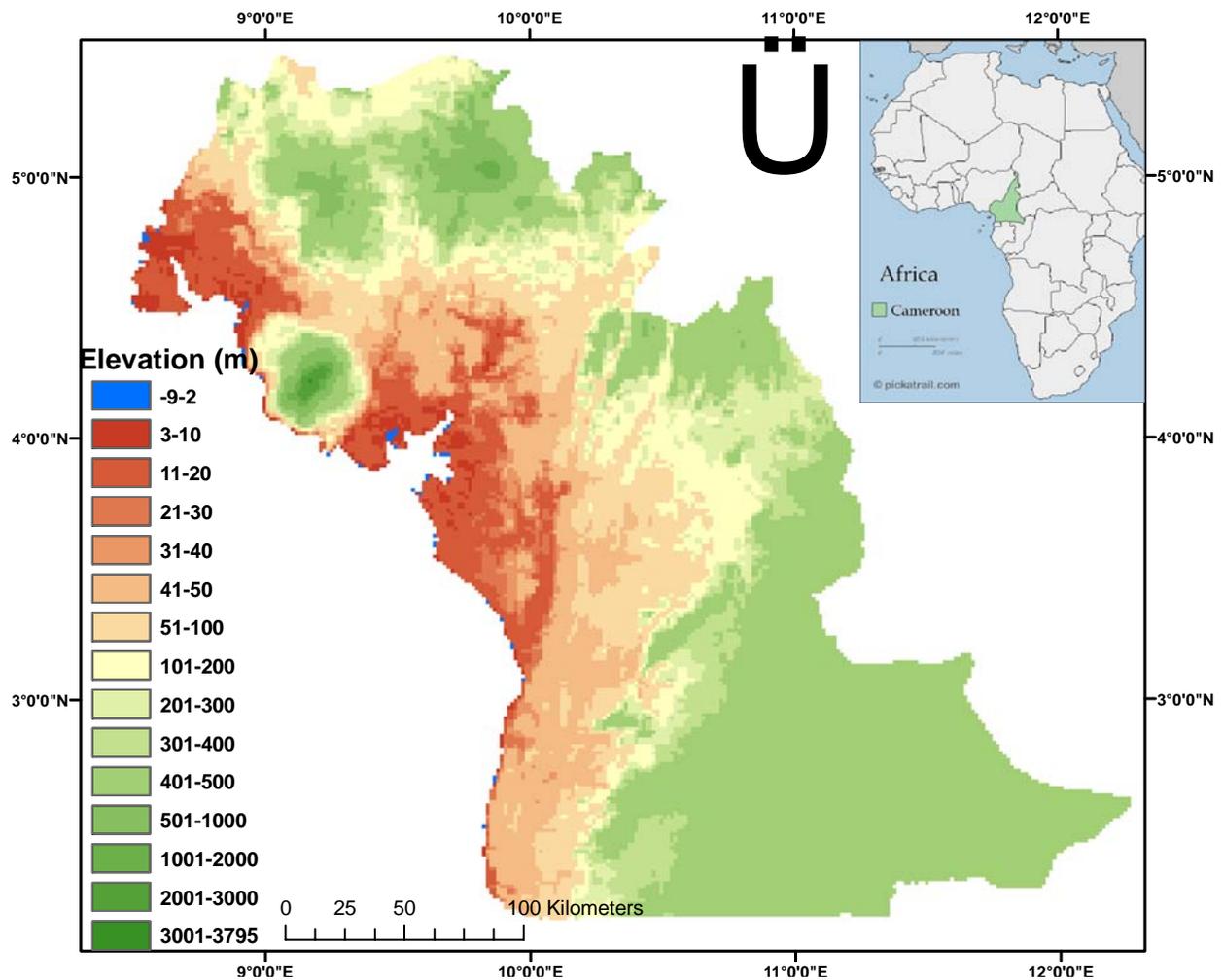


Figure 3: Minimum flooding levels (2 m): elevation and areas at risk by the year 2050 along the coast of Cameroon

Figure 3 indicates that with a 2 m flooding scenario, 1.2 % of the coastal area (112.32 km² of the land) will be lost. A maximum flooding scenario of 10 m would lead to a land loss of 1,216 km² (12.6 %) of the whole coastal area (Figure 4).

Data on potential land loss due to 2 and 10 m high flooding scenarios are presented in Table 4. From these data it can be observed that for a 2 m flooding, 28.35 km², 3.46 km², and 4.26 km² of the mangroves of Rio-del-Rey and the Douala area, Edea and Ndongone forest reserves and rivers and lakes respectively will be destroyed. This indicates a 1.14 %, 0.05 % and 0.15 % decrease in the values of the services rendered to the country by these ecosystems along the coasts of Cameroon. Results from GIS environment analysis showed that land loss from urban settlement will be 2.33 km². Furthermore, 0.36 km² and 0.32 km² of land will be destroyed due to flooding of palm plantations and the Douala sea port. However, the airport, refinery, rubber and Banana plantation will not be affected.

For 10 m flooding, ecosystems at risk include 657 km² of estuarine mangroves. This represents a reduction of 26.25 % in the values of services provided by this biome. Over 170 km² of protected coastal areas will be damaged, costing a reduction of 2.9 % of its services. A reduction of 3.7 % of the rivers' and lakes' value will be incurred when 103.33 km² of these biomes are lost caused by a 10 m flooding.

Analysis of the environment using GIS also indicated that urban areas are at risk of flooding. The Douala air- and sea ports, which are important to the handling and transport of goods to and from the country, will be severely affected by flooding. In case of a 2 m flooding the Douala sea port will be

slightly affected while a 10 m flooding could cause damages on over 80 % of the land area of the sea and airport.

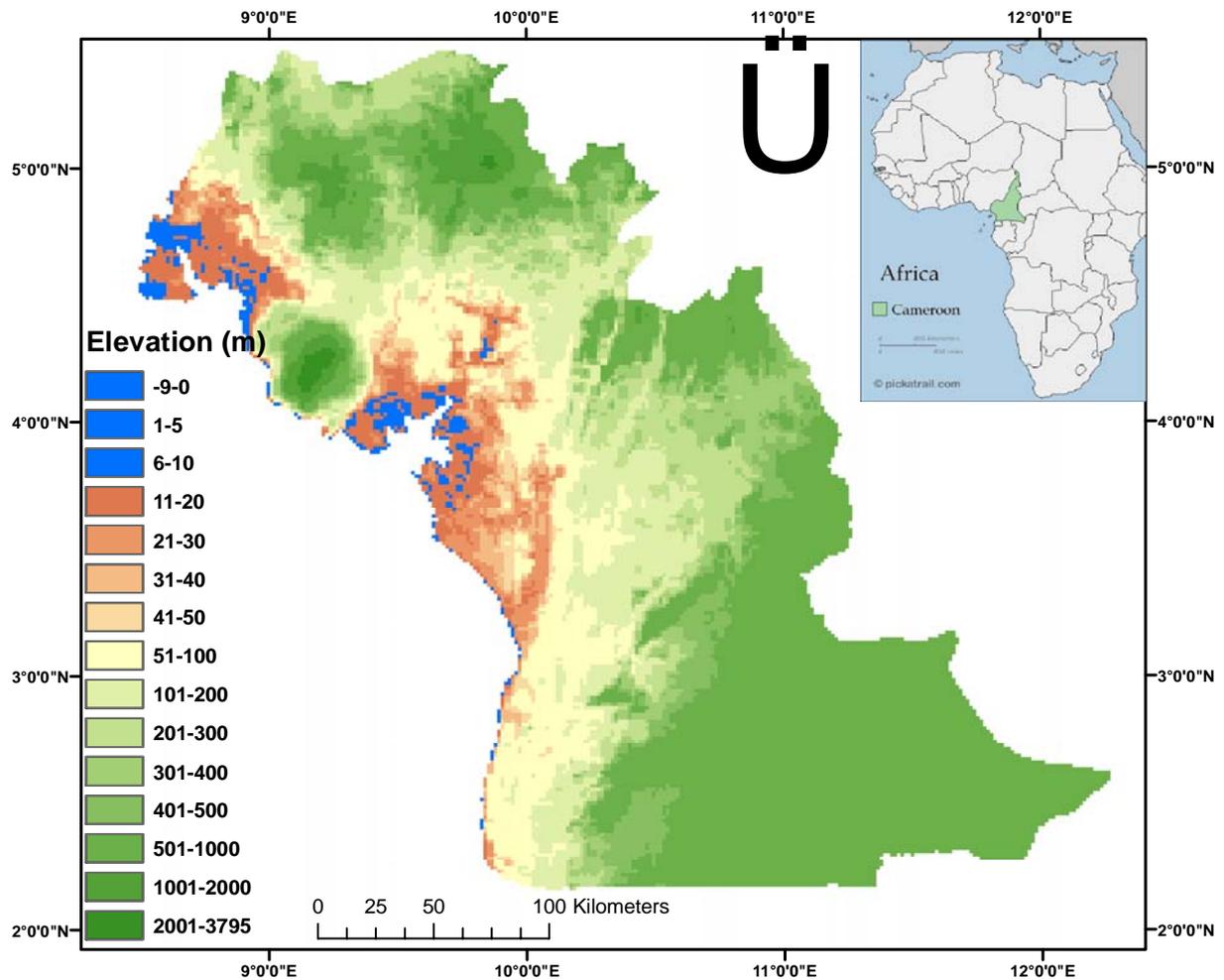


Figure 4: Maximum flooding levels (10 m): elevation and areas at risk by the year 2100 along the coast of Cameroon

Table 4: Potential land loss from 2 and 10 m flooding

Cartographic units	Flooded area with minimum level (2 m) in km ²	Flooded area with minimum level (10 m) in km ²	% services at risk	
			2 m	10 m
Mangroves	28.35	657	1.14	26.34
Protected areas	3.46	171.72	0.05	2.9
Rivers/lakes	4.26	103.33	0.15	3.7
Urban areas	2.33	87.69	0.22	6.32
Refineries	-	-	-	-
Airports	-	3.91	-	84.78
Seaports	0.319147	3.93	7.03	86.56
Palm plantations	0.360	67.67	1.16	4.43
Banana plantations	-	5.49	-	3.62
Rubber plantations	-	2.04	-	2.54

4 Discussion

The industrial base of the Cameroonian economy is concentrated around the coastal regions. According to Scheren et al. (2002), industrial activities are concentrated around urban centres along the coast where 60-80 % of the industrial production takes place since these coasts host major harbours. A large proportion of these industries are found in the low-lying coastal region of Douala (sea port, airport, textiles, wood and chemical plants, fishing industries, and processing plants) (Asangwe 2007, Asangwe 2000, Gabche et al. 2000). For instance, Gabche et al. (2000) indicated that the Wouri coastal area has the highest population density of near-shore shrimp fish catch (ca. 940 per km², 1987) and approximately 27 % of the population were artisanal fishermen. They also reported that 80 % of Cameroon's industrial fisheries were established in this region which clearly is in danger in the wake of a SLR.

Industrial production within the GOG, as described by Scheren et al. (2002), is categorized into elementary products (agro-food processing, textile and leather, soap and detergent, beverages and construction), and processing of raw materials exploited in the region (e. g. petroleum, aluminium, and sand and gravel mining). The petroleum industry in Cameroon is located in the coastal towns of Limbe, where a refinery is situated, and Kribi, which is an outlet for the Chad-Cameroon pipeline. In 2006, Cameroon was the sixth largest oil producer in sub-Saharan Africa with about 63,000 barrels per day (Alemagi 2007). Revenue generated from the oil sector contributes significantly to the socio-economic well-being of the nation and accounts for more than 10 % of the country's GDP. The situation for the country's economy may be more complicated because activities that generate funds, as represented by the GDP of 2006 (AFDB 2008), are highly dependent on the stability of the coastal region for their smooth running (sea port, airport, industries etc).

Agriculture is an important sector for the economy of Cameroon. It is the second largest employer in the country after the public service (NIS 2004). The main industrial plantations (rubber, palms, and banana) are located along the coasts and they contribute significantly to the GDP of the country. It is generally agreed that coastal areas generate more than half of the GDP of most nations (Nicholls & Klein 2000, Nicholls & Lowe 2004). This is the case in Cameroon as well, where a majority of the industries is located along the coasts and at risk of flooding due to SLR. Data from this study show that over 10 % of the revenue generated from rubber, palms, and banana crops plantation could be at risk from a 10 m flooding scenario, leading to a decrease in the GDP contributions from the agricultural sector. The economy of the country could, therefore, be seriously undermined by a 10 m flooding scenario by the year 2100. The fact that this is a low-lying and flood risk area implies that efforts must be made to mitigate any problems resulting from a SLR.

4.1 Valuation of ecosystems

This study shows that ecosystems (mainly mangroves and estuaries) and areas of conservation are an integral part of the coastal zone. Their significant role to both the economy of the country and the livelihoods of local residents in Cameroon and the GOG has been highlighted by several authors (Chukwuone et al. 2009, CICERO 2000, Din et al. 2008, Gabche et al. 2000, Price et al. 2000, Ukwe et al. 2003).

The summary of annual values of natural resources, as currently used in environmental assessments and as determined by Costanza et al. (1997), gives a substantial value of US\$ 12.13 billion/yr for the coastal ecosystems of Cameroon. The results of this study is higher than the national value of US\$ 8.3 billion/yr estimated by Price et al. (2000). Differences between these estimates are explained due to the fact that coastal forests were not included in their valuation estimates. Furthermore, the area extent of estuaries as determined by Price et al. (2000) was smaller (1,605 km²) than in the present study (2,850 km²). Estimates of the area extent used in the present study were taken from Gabche & Smith (2002). However, there is a lack of consensus on the exact area extend of the estuarine system. Dupra et al. (2001) stipulated an area estimate of 3,300 km² for the Rio-del-Rey system and 2,850 km² for the

Cameroon estuarine system. Therefore, there is a need for a consensus on the area extent of the estuarine systems in Cameroon. Despite these differences and shortcomings, bioeconomic valuation is still considered a valuable tool for providing at least a preliminary economic assessment of coastal habitats (Price et al. 2000).

According to CICERO (2000), estuary mangroves and adjacent coastal waters play a significant part in Cameroon's fishery activities. It is estimated that industrial fishing for this area is worth US\$ 488 billion (market prices in the year 2000). The importance of estuaries and mangroves for fishing activities can be explained by the fact that these areas serve as breeding, spawning, and nursery ground for most fish species in the area. Ogba & Utang (2007) and Ukwe et al. (2003) reported that mangrove forests provide nutritional inputs to parallel shallow channels and bay systems, which are the primary habitat to spawning and breeding grounds for many aquatic species of commercial importance in the GOG.

Mangrove forests and coastal forests also support local residents considerably in their provision for food like non-timber forest products (NTFP), firewood, charcoal, and construction (CICERO 2000, Din et al. 2008, EFTEC 2005, Feka & Manzano 2008). Logging of mangroves and NTFP in the Douala coastal region generates about US\$ 5,152 million/yr according to Din et al. (2008). They regretted the fact that revenue from these activities is not considered in the country's financial policies. According to CICERO (2000), some of the mangrove forests are removed to allow agricultural expansion due to increasing agricultural land scarcity. However, overexploitation of these resources is often associated with environmental degradation and loss of ecosystem values and services which may hamper the sustainability of such ecosystems (Oates et al. 2004). Anthropogenic activities on the sustainability of coastal ecosystems are most prevalent around the Douala coastal region (Price et al. 2000) and these include the mangrove forests. Furthermore, sustainable forestry produces the highest economic return with regards to a global perspective in the 'best' use of land (Yaron 2001).

However, flooding scenarios of 10 m could hamper the benefits of the services provided by these ecosystems to the local residents, since 26 %, represented by US\$ 658 million/yr, of estuarine mangroves are at risk. It is quite easy to understand the loss of estuarine mangrove ecosystems as these are closest to the sea and constitute most of the wetlands areas. 3.5 % (US\$ 88 million/yr) and 2.9 % (US\$ 17 million/yr) value of services provided by rivers/lakes and protected area/coastal forests respectively are at risk in a 10 m flooding scenario by the year 2100. According to Nicholls (2004), 5 to 20 % of coastal wetlands will be lost due to SLR worldwide by the year 2080. It was indicated that these losses are relatively small compared to direct and indirect human destruction. The destruction of marine habitats by inundation has been suggested to undermine livelihoods based on fishing for the Niger Delta coastal settlements (Ogba & Utang 2007). Other activities such as mining, logging activities, and NTFP could be affected by the 2 and 10 m flooding scenarios obtained in this study. However, the values of ecosystems at risk in a 2 m flooding scenario are minimal with a 1.14 %, 0.05 % and 0.15 % loss for mangroves, protected areas/coastal forests, and rivers/lakes respectively.

There is a legal framework for environmental management in Cameroon which protects all environments with valuable ecosystems (Alemagi 2007, Alemagi et al. 2006, MINEF 1997, MINEF 1995). Unfortunately, they are not being enforced, leading to unsustainable exploitation of these ecosystems.

Bioeconomic valuation for integrating information on ecological, economic and social aspects will improve the analysis of coastal systems beyond traditional commercial interests (commerce, fisheries and human populations; Martinez et al. 2007). An important aspect is the ability of these coastal systems to offer shoreline protection against extreme events like storms and hurricanes, storing and cycling nutrients, climate regulation, sustaining biodiversity and water capture (Martinez et al. 2007, NRC 2004). It is also estimated that water supply and disturbance regulation contribute close to two-thirds of the value calculated for the valuation of ecosystems services in Pantanal da Nhecolandia, Brazil (Seidl & Moraes 2000).

However, results obtained from this study showed that 0.3 % and 6.3 % of the values of these services could be at risk of 2 and 10 m flooding as a direct consequence of SLR by the years 2050 and 2100. The 2100 projections are within the range reported by Nicholls (2004) for the year 2080 for the percentages of ecosystems that could be at risk. In such situations, highly priced habitats for recreation and tourism could, therefore, be destroyed (Martinez et al. 2007). On the other hand, ecosystems will not be impacted seriously by the year 2050 as a result of a 2 m flooding. However, indirect effects, such as saltwater intrusion, changes in water or soil quality, rising water tables, loss of recreation, tourism and transport function etc., are possible and may result in a loss or degradation of valuable services.

4.2 Socio-economic assessment

An estimated 5.76 % of the total land area of Cameroon is coastal zone and 27 % of the population live less than 104 m above sea level in this area with an annual average growth of 2.21 %. Similarly, Nicholls et al. (2007) estimated that 23 % of the world's population live less than 100 m above sea level. Furthermore, the high population density of this area and its vital economic sectors make the potential socio-economic impacts on the Cameroon coast of particular concern. Nicholls (2002) highlighted that there are a lot of uncertainties, such as the number of people along the coasts that could be displaced as a result of flooding. Recent surveys show that flooding sensitivities of coastlines as a result of SLR do not only depend on natural factors of the shoreline's relative resistance to erosion, elevation, long term erosion/accretion trend, coastal slope, wave height, tidal range, storm frequency and rates of SLR, but also on the society as a whole to adopt preventive measure and to accommodate the dynamic nature of natural coastal processes. Preventive management measures are easier and less expensive to implement.

The identification of low-lying areas is one of the most important elements needed to assess the vulnerability of coastal regions and economies to projected SLR in the 21st century. CCSP (2009) stipulated that coastal elevation data (topographic maps or DEM) have been widely used to quantify the potential effects of predicted SLR, especially areas in coastal regions that could be flooded and their affected populations. Furthermore, recent reports have stressed the point that SLR impact assessments need to continue to include maps of areas subjected to flooding based on measurements of coastal elevations (Blomgren 1999, Coastal States Organization 2007, Seiden 2008).

DEM combined with relative sea-level change for this study indicates that 112 km² and 1,216 km² of the coastal zone will be at risk from flooding scenarios by 2050 and 2100. This is equivalent to minimum and maximum losses of 0.02 to 0.3 % of the country's total land area and 1.2 to 12.6 % of the coastal area respectively by the years 2050 and 2100. Urban areas, especially Douala city, are at risk of flooding by 2050 and 2100. Douala's air and sea ports are the most vulnerable regions because more than 85 % of their land area could be undermined by the 10 m flooding scenario of this study. Studies by CICERO (2000) using the IPCC simple inundation model indicated that land loss as a result of SLR in the Cameroon estuary mangroves covers 49.5 km² for a SLR of 20 cm and 330 km² for a maximum SLR of 90 cm by the years 2050 and 2100. Land loss estimates for this study are based on the entire coastal zone of Cameroon.

Cameroon's economy heavily depends on its air and sea ports since most of its primary products (coffee, cocoa, banana, rubber, palm oil, petroleum, minerals and cotton) are exported through these ports. Importation of goods and services also passes through these ports. Furthermore, the landlocked countries Chad and Central African Republic depend on the sea port for the export and import of oil and other precious mineral stones. Flooding scenarios could, therefore, significantly reduce the GDP contribution of their economy.

Many studies have highlighted the fact that coastal areas are low-lying regions, which are vulnerable to natural and anthropogenic hazards (Bijlsma et al. 1996, Brooks et al. 2006, Demirkenen et al. 2008, Doornkamp 1998, Nicholls et al. 2007, Simeoni & Corbau 2008, Snoussi et al. 2008, Snoussi et al.

2006). DEM assessment of land lost within a 1 m high water mark has resulted in an 18,600 km² loss in Nigeria (Awosika et al. 1992), 2,165 km² in the Netherlands (IPCC 1996) and 1,700 km² in Poland (IPCC 1997).

A LULC map of the area showed that 82.33 % was covered with forest (including grassland, wooded greenland, shrubland, mangroves), 15.65 % with cropland, 1.3% with water and 0.73% with bareground and urban built up. This shows that the coastal area of Cameroon is still covered with natural forests and vegetation. A similar classification of the coastal areas of the world by Martinez et al. (2007) indicated that most African countries show a relatively well preserved ecosystem with ecosystem service products of moderate to high value (61-100 %). Given the importance that coastal ecosystems play in the sustainability of living and non-living resources, carbon sink, shoreline protection and the dissipation of energy from wind storms and flooding in the wake of SLR as a result of climate change, the management of such relatively preserved ecosystems in Cameroon, as a way of benefiting from these services and maintaining the values and functions, will be greatly beneficial to the economy of the nation, whose GDP is mainly dependent on the coastal ecosystems and activities developed along this area.

5 Conclusions and recommendation

Almost a fifth of the coastal area is low-lying. A large proportion of the low-lying area is located in the Douala coastal area and this is where a great proportion of the economic activities is concentrated. Being the economic capital of the country, it thus has a key role to play in the country's economy. The fact that almost all of Douala is located less than 70 m above sea-level calls for efficient management strategies to pre-empt any economic failure due to effects of flooding as a result of SLR.

The identification of the socio-economic impacts of projected SLR on vulnerable lands and populations is an important initial step for a country in mitigating the effects of natural disasters in the coastal zone (CCSP 2009, Subcommittee on Disaster Reduction 2008). The determination of the most vulnerable zones was obtained by overlaying the LULC map and DEM of the study area. Data from this study are equivalent to losses of 0.02 to 0.3 % of the total surface area and 1.2 to 12.6 % of the coastal area with elevations of 2 and 10 m flooding by 2050 and 2100. The coastal high risk flooding areas are the urban and industrial cities of Douala, Bonaberi, the airport, the sea port, mangrove swamps in Douala, the Douala-Edea reserve, the Ndongone reserve area and the Rio-del-Rey estuaries bordering on Nigeria to the North. The Seme beaches, mile six beach and Kribi beaches are sensitive to flooding and, therefore, land loss. Furthermore, important effects such as saltwater intrusion and changes in sediment balance are likely to affect the extent of affected areas, but are not included in this work.

Applying the IPCC methodology, assessing the impacts of SLR on the Cameroonian coast has enabled the quantification of the areas at risk, ecosystems and the economic assets vulnerable to flooding due to SLR. Global SLR scenarios are important, but it is the local SLR rates of change that matter in the assessment of impacts. Generally, flooding levels of 2 m by the year 2050 will not have an important impact on ecosystems and economic activities. Specifically agricultural lands are relatively preserved. However, important damages could be incurred on ecosystems and economic activities along the coasts of Cameroon with flooding scenarios of 10 m representing SLR of between 0.39 and 0.86 mm/yr by the years 2050 and 2100. Some limitations of the study were due to the resolution of the topographic data and also to the assumption that conditions of MHW and waves remain unchanged through time, but it gives us a preliminary estimate of the damages that could be incurred (assets and monetary) as a result of SLR along the coasts of Cameroon.

The use of ArcGIS 9.2 and DEM is, therefore, a very important tool for the assessment of flooding impact scenarios predicted to occur more frequently in the future because of climate change. Flooding could have irreversible adverse impacts on ecosystems and the livelihood of coastal settlers, since wetlands and infrastructure could be destroyed while coastal populations will be displaced.

A comprehensive and integrated coastal database should be drawn-up and implemented. This database should be dynamic, user-friendly and interactive based on the vulnerability assessment of the coastal zone. Elements of this database should include but not be limited to:

- Obtaining and modeling a long-term record of tidal levels along the coast of Cameroon, taking into consideration the coastal processes, beach morphodynamics and anthropogenic activities of the area so that vulnerability assessment is based on the local environment and not regional or global environment.
- A systematic mapping of important coastal habitats or ecosystems, using a combination of ground based surveys and high resolution aerial photographs or satellite images to be able to quantify changes through time both in land use type or area extent.
- Research and development of technologies to plan, design and implement adaptation strategies. The monitoring and evaluation of the performance of these technologies should also be envisaged.

References

- AFDB – Africa Development Bank (2008): African Economic Outlook 2008, 181 p.
(<http://www.africaneconomicoutlook.org>, September 28th 2008).
- Agardy, T., J. Alder, P. Dayton, S. Curran, A. Kitchingman, M. Wilson, A. Catenazzi, J. Restrepo, C. Birkeland, S. Blaber, S. Saifullah, G. Branch, D. Boersma, S. Nixon, P. Dugan, N. Davidson & C. Vorosmarty (eds.) (2005): Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends. In: Millennium Assessment Report Series: Global Assessment Reports. Island Press, Washington, DC, pp. 513-549.
- Alemagi, D. (2007): The oil industry along the Atlantic coast of Cameroon: Assessing impacts and possible solutions. In: Resources Policy 32: 135-145.
- Alemagi, D., P.M. Oben & J. Ertel (2006): Mitigating industrial pollution along the Atlantic coasts of Cameroon: An Overview of Government efforts. In: The Environmentalist 26: 41-50.
- Aman, A., L. Testut, P. Woodworth, T. Aarup & D. Dixon (2007): Seasonal sea level variability in the Gulf of Guinea from altimetry and tide gauge. In: Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie 9: 105-118.
- Asangwe, C.K. (2007): The implication of rising sea level on the coastal lowlands of Cameroon. Strategic Integration of surveying. FIG working week. Hong Kong SAR, China (http://www.fig.net/pub/fig2007/papers/ts_8f/ts08f_04_asangwe_1335.pdf, December 30th 2008).
- Asangwe, C.K. (2000): The Douala Lagoon Complex, Cameroon: Environmental Issues. FIG publication No. 36. In: Administering Marine Spaces: International Issues, 180 pp.
- Awosika, L.F., G.T. French, R.J. Nicholls & C.E. Ibe (1992): The impacts of sea level rise on the coastline of Nigeria. Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea. Proceedings of International Conference. Margarita Island, Venezuela, March 9-13.
- Bijlsma, L., C.N. Ehler, R.J.T. Klein, S.M. Kulshrestha, R.F. McLean, N. Mimura, R.J. Nicholls, L.A. Nurse, H. Perez Nieto, E.Z. Stakhiv, R.K. Turner & R.A. Warrick (1996): Coastal zones and small islands. In: Watson, R.T., M.C. Zinyowera & R.H. Moss: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 289-324.
- Bindoff, N.L., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley & A. Unnikrishnan (2007): Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Mille (eds.): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, pp. 385-497.
- Bingham, G., R. Bishop, M. Brody, D. Bromley, E.T. Clark, W. Cooper, R. Costanza, T. Hale, G. Hayden, S. Kellert, R. Norgaard, B. Norton, J. Payne, C. Russell & G. Suter (1995) Issues in ecosystem valuation: Improving information for decision making. In: Ecological Economics 14: 73-90.
- Blomgren, S. (1999): A digital elevation model for estimating flooding scenarios at the Falsterbo Peninsula. In: Environmental Modelling and Software 14: 579-587.

- Brooks, N., J. Hall & R.J. Nicholls (2006): Sea-Level Rise: Coastal Impacts and Responses. German Advisory Council on Climate Change. WBGU, Norwich-Berlin (http://www.wbgu.de/wbgu_sn2006_ex03.pdf, September 27th 2008).
- Burke, L., Y. Kura, K. Kasem, C. Revenga, M. Spalding & D. McAllister (2001): Coastal Ecosystems. World Resource Institute. Washington D.C.
- Cazenave, A. & R.S. Nerem (2004): Present-day sea level change: Observations and causes. *Reviews of Geophysics* 42, RG3001, doi: 10.1029/2003RG000139.
- CCSP – Climate Change Science Program (2009): Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region. Synthesis and Assessment product 4.1. US Environmental protection agency (<http://www.epa.gov/climatechange/effects/coastal/sap4-1.html>, January 20th 2009).
- Chukwuone, N.A., C.N. Ukwe, A. Onugu & C.A. Ibe (2009): Valuing the Guinea current large marine ecosystem: Estimates of direct output impact of relevant marine activities. In: *Ocean and coastal Management* 52: 189-196.
- Church J.A. & N.J. White (2006): A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical Research Letters* 33, L01602, doi: 10.1029/2005GL024826.
- CICERO – Centre for International Climate and Environmental Research Oslo (2000): Developing Strategies for Climate Change: The UNEP Country Studies on Climate Change Impacts and Adaptations Assessment. In: Brien, K.O. (ed.): CICERO Report 2000: 2. Oslo, 165 p.
- Coastal States Organization (2007): The Role of Coastal Zone Management Programs in Adaptation to Climate Change. CSO Climate Change Work Group. Washington D.C.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neil, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. In: *Nature* 387: 253-260.
- Demirkesen, A.C., F. Evrendilek & S. Berberoglu (2008): Quantifying coastal inundation vulnerability of Turkey to sea-level rise. In: *Environmental Monitoring Assessment* 138: 101-106.
- Din, N., P. Saenger, R. Priso, D.D. Siegfried & F. Basco (2008): Logging activities in mangrove forests: A case study of Douala Cameroon. In: *African Journal of Environmental Science and Technology* 2: 22-30.
- Doornkamp, J.C. (1998): Coastal flooding, global warming and environmental management. In: *Environmental Management* 52: 327-333.
- Dupra, V., S.V. Smith, J.I. Marshall Crossland & C.J. Crossland (eds.) (2001): Estuarine systems of Sub-Saharan Africa: Carbon, nitrogen and phosphorus fluxes. LOICZ Reports & Studies 18, Texel.
- EFTEC – Economics for the Environment Consultancy Ltd (2005): The Economic, Social and Ecological Value of Ecosystems Services: A Literature Review. Final report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs. DEFRA, London, 47p (<http://www.eftec.co.uk>, October 20th 2008).
- ESRI – Environmental Systems Research Institute Inc. (2007): ArcGIS 9.2. Geographic Information System., Redlands, CA.
- Feka, N.Z. & M.G. Manzano (2008): The implication of fish smoking on mangrove ecosystem conservation in the South West Province, Cameroon. In: *Tropical Conservation Science* 1: 222-241.
- Folack, J. & C.E. Gabche (2007): Natural and Anthropogenic Characteristics of the Cameroon Coastal Zone. Report for Ocean Data and Information Network for Africa Phase II (ODINAFRICA-II) - Project 513 RAF 2041, 44 p (<http://www.nodc-cameroon.org/anthropo.pdf>, September 25th 2008).
- Folack, J. & O. Njifonjou (1995): Characteristics of marine coastal ecosystems in Cameroon and human impacts. UNESCO Reports in Marine Sciences. UNESCO.
- Folack, J., I.L. Mbome, A. Bokwe & A. Tangang (1999): Cameroon Coastal profile. Ministry of the Environment, Large Marine Ecosystem Project for the Gulf of Guinea. MINEF - C/UNIDO/UNDP-GEF.
- Gabche, C.E. (2007): Integrated Coastal Zone Management in Cameroon: Issues and Constraints. Interim Guinea Current Commission. International Training Workshop on Integrated Coastal Zone Management. Douala 26-30 November.
- Gabche, C.E. (1997): An appraisal of fisheries activities and evaluation of economic potential of the fish trade in the Douala-Edea Reserve. Cameroon wildlife and conservation society consultancy.
- Gabche, C.E. & V.S. Smith (2002): Water, Salt and Nutrient Budgets of Two Estuaries in the Coastal Zone of Cameroon. In: *West African Journal of Applied Ecology* 3: 69-89.

- Gabche, C.E., T.J. Youmbi & C.A. Angwe (2000): The impacts of sea level rise on the coastal fisheries resources and aquatic ecosystems of Cameroon (Central Africa). In: *Muddy Coast Dynamics and Resource Management*: 221-236.
- Gehrels, R. (2006): Sea-level rise and coastal subsidence in Southwest England. In: *Report and Transactions Of the Devonshire Association For the Advancement of Science* 134: 25-42.
- Gehrels, R. & A. Long (2008): Sea level is not level: the case for a new approach to predicting UK sea-level rise. In: *Geography* 93: 11-16.
- GLOSS – Global Sea Level Observing System (2008): Long Term Changes in Sea Level. Intergovernmental Oceanographic Commission (http://www.ccms.ac.uk/psmsl/sea_level.html, October 20th 2008).
- Go Spatial Ltd (2008): GIS Data and Mapping Products. Go Spatial Ltd (http://www.gospatial.com/html/gis_data.php, November 11th 2008).
- Holgate, S.J. (2007): On the decadal rates of sea level change during the twentieth century. *Geophysical Research Letters* 34, L01602, doi: 10.1029/2006GL028492.
- Holgate, S.J. & P.L. Woodworth (2004): Evidence of Enhanced Sea Level Rise during the 1990s. *Geophysical Research Letters* 31, L07305, doi: 10.1029/2004GL019626.
- Hoozemans, F.M.J., M. Marchand & H.A. Pennekamp (1993): *Sea Level Rise. A Global Vulnerability Analysis: Vulnerability Assessment for Population, Coastal Wetlands and Rice Production on a Global Scale*. 2nd edition. Delft Hydraulics, Delft.
- Hydrographer of the Navy (2008): Admiralty Tide Tables, Vol 2. In: *Admiralty tide tables, Europe (excluding United Kingdom and Ireland), Mediterranean Sea and Atlantic Ocean*. Hydrographer of the Navy, Taunton, pp. 292-327.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): *Climate Change 2007: Synthesis Report. Key findings and uncertainties*. Contained in the Working Group contributions to the Fourth Assessment Report. Valencia, Spain.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): *Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of working Group 1 to the Third Assessment Report* (<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1>, November 12th 2008).
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1997): *Special Report on the regional impacts of climate change: An Assessment of vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. (<http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>, October 9th 2008).
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1996) *Climate Change 1995: Impacts, adaptations, and mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>, October 9th 2008).
- IRIN – Integrated Regional Information Networks (2008): WEST AFRICA: Coastline to be submerged by 2099. Part of the UN office for the Coordination of Humanitarian Affairs (<http://www.irinnews.org/Report.aspx?ReportId=79986>, December 21st 2008).
- Katsman, C.A., W. Hazeleger, S.S. Drijfhout, G.J. van Oldenborgh & G. Burgers (2008): Climate scenarios of sea level rise for the northeast Atlantic Ocean: A study including the effects of ocean dynamics and gravity changes induces by ice melt. *Climatic Change*. DOI 10.1007/s10584-008-9442-9.
- Martinez, M.L., A. Intralawan, G. Vazquez, O. Perez-Maqueo, P. Sutton & R. Landgrave (2007): The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. In: *Ecological Economics* 63: 254-272.
- MINEF – Ministry of Environment and Forestry, Cameroon (1997): *Convention on Biological Diversity, National Report*. UNEP (<http://www.cbd.int/doc/world/cm/cm-nr-01-en.pdf>, October 10th 2008).
- MINEF – Ministry of Environment and Forestry, Cameroon (1995): *Forestry policy document: National Forestry Action Program of Cameroon*.
- NASA – National Aeronautics and Space Administration (2008): *Ocean surface topography from space*. Californian Institute of Technology: Jet Propulsion Laboratory.
- Nicholls, R.J. (2004): Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: Changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. In: *Global Environmental Change* 14: 69-86.
- Nicholls, R.J., F.M.J. Hoozemans & M. Marchand (1999): Increasing food risk and wetland losses due to global sea-level rise: Regional and global analyses. In: *Global Environmental Change* 9: 69-87.
- Nicholls, R.J. & R.J.T. Klein (2000): *Adaptations Frameworks for Sea-Level Rise Impacts SURVAS - Database URL* (<http://www.survas.mdx.ac.uk/pdfs/romepap.pdf>, October 15th 2008).

- Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, J.E. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden & C.D. Woodroffe (2007): Coastal systems and low-lying areas. In: IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, UK, pp. 315-356.
- NIS – National Institute of Statistics, Cameroon (2004): *Annuaire Statistique du Cameroun*. Institut Nationale de la Statistique. Yaoundé, Cameroon (<http://www.statistics-cameroon.org/pdf/Yearbook2004/PartThree.pdf>, November 12th 2008).
- NRC – National Research Council (2004): *A Geospatial Framework for the Coastal Zone: National Needs for Coastal Mapping and Charting*. Washington D.C.
- Oates, J.F., R.A. Bergl & J.M. Linder (2004): *Africa's Gulf of Guinea Forests: Biodiversity Patterns and Conservation Priorities*. *Advances in Applied Biodiversity Science*. Conservation International, Washington D.C., 95 p. (<http://www.conservation.org>, November 17th 2008).
- Ogba, O.C. & P.B. Utang (2007): *Vulnerability and Adaptations of Nigeria's Niger Delta Coast Settlements to Sea-Level Rise*. Strategic Integration of Surveying Services. FIG Working Week.
- Price, A.R.G., R. Klaus, C.R.C. Sheppard, M.A. Abbiss, M. Kofani & G. Webster (2000): Environmental and bioeconomic characterisation of coastal and marine systems of Cameroon, including risk implications of the Chad-Cameroon pipeline project. In: *Aquatic Ecosystem Health and Management* 3: 137-161.
- PSMSL – Permanent Service for Mean Sea Level (2008a): *Ocean Data and Information Network for Africa (ODINAFRICA)*. Proudman Oceanographic Laboratory (<http://www.pol.ac.uk/psmsl>, December 8th 2008).
- PSMSL – Permanent Service for Mean Sea Level (2008b): *Peltier GIA data sets*. Proudman Oceanographic Laboratory hosted by the service of PSMSL (<http://www.pol.ac.uk/psmsl/peltier/index.html>, December 8th 2008).
- Sayer, J.A., C.S. Harcourt & N.M. Collins (eds.) (1992): *The Conservation Atlas of Tropical Forests Africa*. Macmillan Publishing Ltd, London.
- Scheren, P.A., A.C. Ibe, F.J. Janssen & A.M. Lemmens (2002): Environmental pollution in the Gulf of Guinea - a regional approach. In: *Marine pollution Bulletin* 44: 633-641.
- Seiden, E. (2008): *Climate Change: Science, Education and Stewardship for Tomorrow's Estuaries*. National Estuarine Research Reserve System: Silver Spring, MD (http://nerrs08.elkhornslough.org/files/NERRS_Climate_Change_Strategy_Paper7.30.08.pdf, January 26th 2009).
- Seidl, A.F. & A.S. Moraes (2000): Global valuation of ecosystem services: application to the Pantanal da Nhecolandia, Brazil. In: *Ecological Economics* 33: 1-6.
- Simeoni, U. & C. Corbau (2009): Coastal Vulnerability related to Sea-Level rise. In: *Geomorphology* 107 (1-2): 1-2.
- Snoussi, M., T. Ouchani & I. Niang-Diop (2009): Impacts of sea-level rise on the Moroccan coastal zone: Quantifying coastal erosion and flooding in the Tangier Bay. In: *Geomorphology* 107 (1-2): 32-40.
- Snoussi, M., T. Ouchani & S. Niazi (2008): Vulnerability assessment of the impact of sea-level rise and flooding on the Moroccan coast: The case of the Mediterranean eastern zone. In: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77: 206-213.
- Spalding, M.D., F. Blasco & C.D. Field (1997): *World Mangrove Atlas*. The International Society for Mangrove Ecosystems. Okinawa, Japan.
- Subcommittee on Disaster Reduction (2008): *Coastal Inundation: Grand Challenges for Disaster Reduction Implementation Plans*. Committee on Environment and Natural Resources, Office of Science and Technology Policy, Executive Office of the President. Washington, D.C., 4 p. (http://www.sdr.gov/185820_Coastal_FINAL.pdf, January 26th 2009).
- Turner, R.K., S. Subak & W.N. Adger (1996): Pressures, trends and impacts in coastal zones: interactions between socio-economic and natural systems. In: *Environmental Management* 20: 159-173.
- Ukwe, C.N., A. Ibe, B.I. Alo & K.K. Yumkella (2003): Achieving a paradigm shift in environmental and living resources management in the Gulf of Guinea: the large marine ecosystem approach. In: *Marine Pollution Bulletin* 47: 219-225.
- UNEP – United Nations Environment Programme (1984): *The marine and coastal environment of the West and Central African Region and its state of pollution*. UNEP Regional Seas Reports and Studies 46.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (1985): *IOC Manuals and Guides No. 14. Volume I: Basic Procedures*. PSMSL: Proudman Oceanographic Laboratory, 78 p. (<http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals>, March 28th 2009).

- Warrick, R.A., C. Le Provost, M.F. Meier, J. Oerlemans & P.L. Woodworth (1996): Changes in Sea Level. In: Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg & K. Maskell (eds.): Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, pp. 365-405.
- Woodworth, P.L., A. Aman & T. Aarup (2007): Sea level monitoring in Africa. In: African Journal of Marine Science 29: 321-330.
- WWF – World Wide Fund for Nature (2000): The living planet. 48 p. (<http://www.panda.org/livingplanet/lpr00/index.cfm>, October 3rd 2009).
- Yaron, G. (2001): Forest, Plantations Crops or Small-scale Agriculture? An Economic Analysis of Alternative Land Use Options in the Mount Cameroon Area. In: Environmental Planning and Management 44: 85-108.

Acknowledgement

The authors are grateful to the European Commission for funding M. L. Fonteh through the Erasmus Mundus studentship at the University of Cadiz (Spain) and the University of Plymouth (U.K.) where this article was written.

Address

M. L. Fonteh
c/o Watershed Task Group
P. O. Box 811
Bamenda
Cameroon

Email: mfonteh@yahoo.com



Lokale Küstenerosion in der Glowe-Bucht – eine Analyse

Matthias Mossbauer

Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Germany

Abstract

Local coastal erosion in the Glowe-Bay – an analysis.

Before the 1950's the bayed beach of Glowe, a coastal resort on the Rügen Island in the southern Baltic Sea, was wide and sandy. It fitted to all kinds of tourist demands. But after the construction of a small breakwater on the eastern end of the beach, the sand in front of the village Glowe disappeared. Since the 1960's, the causes for the erosion were analyzed in many different ways but never really identified. To enable an efficient coastal protection in the future, this paper combines findings of mathematic calculations, literature research, simulations and new measurements of currents and brings the driving forces of the loss of sand to light: the breakwater of a small harbour in combination with natural coastal dynamic processes.

The breakwater deflects sediment movements which come from an active cliff coast in the east. This deflection cuts the sediment supply of the beach in Glowe and causes the retreat of the beach line. Natural coastal dynamics amplify the further loss of material. In the past a natural sediment trap in form of a small cape in the western part of the bay was a hindering factor for erosion in the research area. Nowadays this cape is ablated to a minimum. The analyses show that the actual loss of sand implies no special risk for coastal protection. Mathematic calculations made a good case for a stable beachline in its actual eroded shape, protected by the breakwaters of the marina. But the present situation is not suitable for tourism. The coastal resort Glowe needs a wide and sandy beach to run several tourist offers like the rental of roofed wicker beach chairs, surfing and boating. For that reason, beach nourishments played an important role for coastal protection in the past because nourishments widen the sandy area for recreation near the water. The flip side of the coin is that these "refillings" shift the shoreline seawards and decrease the protection function of the breakwaters. A man-made increased erosion rate is the consequence of such coastal protection plans.

1 Einführung

Die Außenküsten Mecklenburg-Vorpommerns sind in stetiger Veränderung begriffen. Die natürliche Dynamik an der Schnittstelle zwischen Lufthülle, Land und Wasser gerät dabei zunehmend in Konflikt mit der statischen Erschließung durch Infrastruktur und dem zunehmenden Siedlungsdruck im Küstenraum, denn jede Veränderung der Küstenzone bedeutet eine Veränderung des Lebensraumes der ansässigen Bevölkerung.

In der Bucht vor der Ortschaft Glowe auf der Insel Rügen treten seit etwa 60 Jahren verstärkt morphologische Veränderungen von Strand und Schorre auf (Gellert 1965, Plewe 1940, Schrader 1977). Diese bringen zahlreiche Probleme für den Küstenschutz und den Tourismus mit sich. Eine interdisziplinäre Untersuchung der Einflussfaktoren der Geomorphogenese des Küstenraumes kann die genauen Ursachen der Materialverluste aufdecken und eine Basis für den Entwurf von Anpassungsstrategien bilden.

2 Problemstellung

Die Bucht vor dem Seebad Glowe bildete bis zum Jahr 1938 einen idealen Naturhafen, welcher den Booten der lokalen Fischerei bei fast jeder Windrichtung guten Schutz vor Seegang bot (Plewe 1940). Eine Landzunge, das so genannte Königshörn, grenzte ein etwa 0,7 km² großes Areal von der offenen Ostsee ab (Abb. 1). In den späten 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde der Naturhafen durch die Errichtung einer Mole aus lose aufeinander geschichteten Steinen ausgebaut. Durch das insgesamt 160 m lange Bauwerk erhielt die Bucht einen wirksamen Abschluss nach Osten (Gellert 1991). Schon kurze Zeit nach der Errichtung des Steindammes zeigten sich Tiefenänderungen in der Bucht, welche nicht im Interesse der Schifffahrt und des Tourismus waren. Im Leebereich der Steinmole setzte eine intensive Akkumulation ein, die zu einer raschen Verringerung der Wassertiefe direkt hinter dem Bauwerk und zu einer allgemeinen Versandung des Ostteils der Glowe-Bucht führte (Schrader 1977). Ferner entwickelten sich großflächige Sandbänke im tieferen Wasser, die den Fischerbooten zunehmend die Einfahrt in den Naturhafen erschwerten, so dass dieser schließlich aufgegeben werden musste. Der ursprünglich breite und sandige Badestrand vor dem Seebad wurde nach der Errichtung des künstlichen Hafenbauwerkes zunehmend ausgewaschen und fast 20 m zurückverlegt (Gellert 1965). Das Seebad Glowe verlor aufgrund dieser Entwicklung den Naturhafen und seinen für den Badetourismus wichtigen Sandstrand.

Sedimentverluste – an vielen Ufern der Nord- und Ostsee ein normales Geschehen – waren im Untersuchungsgebiet bisher nicht erklärbar, denn nach Aussage dreier Gutachten von Fröhle (2007), Kohlhasse (2006) und des Zentralen geologischen Institutes Reinkenhagen (1988) ist die Glowe-Bucht aufgrund der natürlichen Küstenform und der geschützten Lage hinter einem Hafen ein Akkumulationsgebiet für Feinmaterialien aus benachbarten Uferabschnitten.

Der durch die morphologischen Veränderungen der Küstenlinie entstandene Mangel an Infrastruktur wurde technisch behoben: Im Jahr 1998/99 entstand ein neuer Sportboothafen mit 81 Liegeplätzen (Ministerium für Arbeit, Bau und Landesentwicklung MV 2004). Ferner wurde im Jahr 2000 durch eine Küstenschutzmaßnahme in Form einer Aufspülung von 104.424 m³ Sand ein breiter Badestrand vor dem Seebad geschaffen (StAUN 2000).

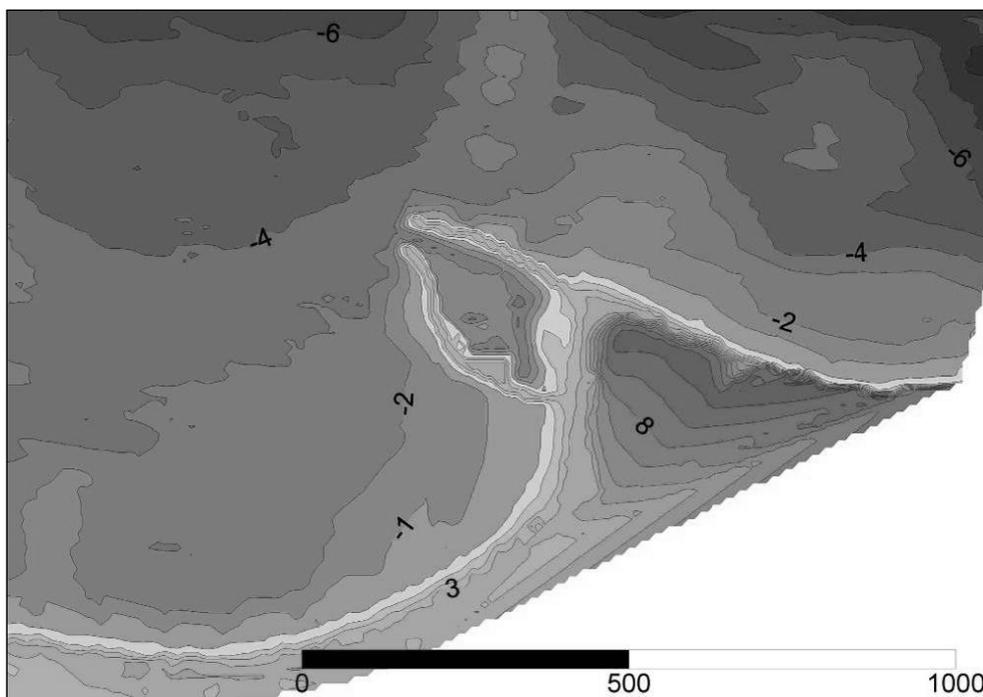


Abb. 1: Bathymetrie des Untersuchungsgebietes. In der Mitte befindet sich ein Sportboothafen, westlich davon liegt die Glowe-Bucht (erstellt aus Vermessungsdaten des StAUN Rostock).

Diese Bauvorhaben beseitigten die Folgen natürlicher Küstenausgleichsprozesse in der Glowe-Bucht – die Ursache des Materialverlustes am Ufer beseitigten sie jedoch nicht. Als Folge davon wurde die Sandaufspülung innerhalb weniger Jahre wieder zu großen Teilen ausgewaschen und der Strand etwa 50 % schmaler (Abb. 2). Die reale Entwicklung des Strandes vor Glowe widerspricht damit dem bisherigen Konsens der Wissenschaft. Das Ziel der durchgeführten Untersuchungen war deshalb:

- die hydrodynamischen Randbedingungen des Sedimenttransportes zu ermitteln,
- daraus die Sedimentdynamik abzuleiten und
- Ursachen der Uferabbrüche in der Glowe-Bucht aufzuzeigen.

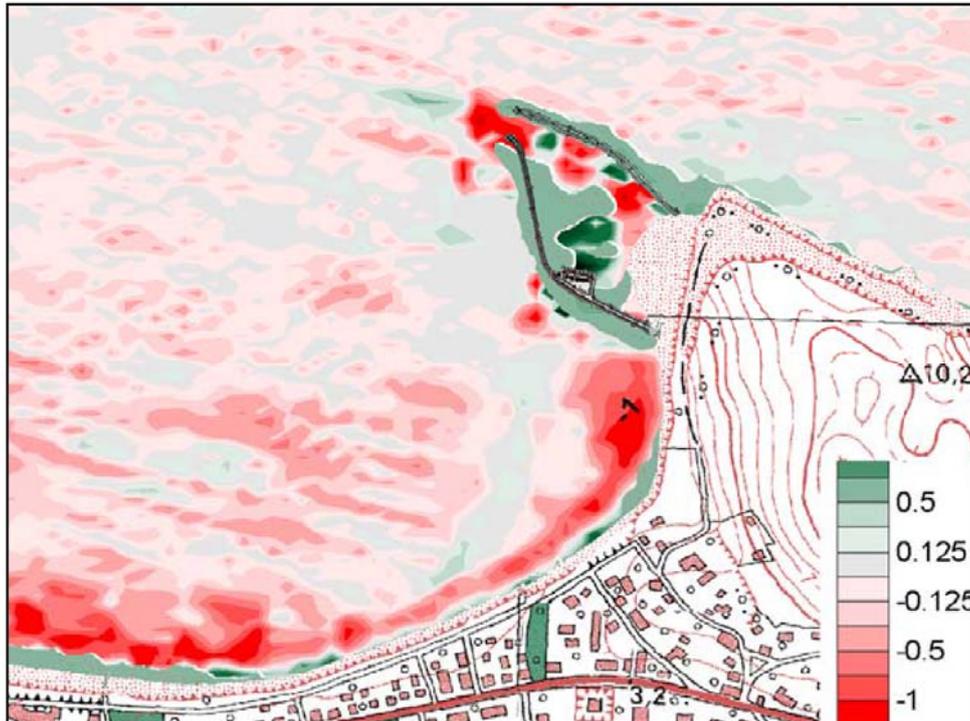


Abb. 2: Durch Sedimentwanderung verursachte Profilveränderungen von Strand und Schorre in der Glowe-Bucht (2002-2007). Der Materialverlust konzentriert sich auf den Spülsaum der Wellen und einen Uferabschnitt, welcher sich südlich an den Hafen anschließt. Hier wurde der Seeboden bis zu 100 cm weit abgetragen (berechnet aus Vermessungen des StAUN Rostock).

3 Methoden

3.1 Quellen

Beiträge aus Büchern, Fachzeitschriften und unveröffentlichten Gutachten dienen zur Beschreibung der rezenten Morphologie des Küstenraumes und der formbildenden Faktoren. Die Küstenentwicklung der Vergangenheit wurde anhand von alten Fotos und Postkarten des Untersuchungsgebietes rekonstruiert.

3.2 Simulationen

Lücken in der Literatur wurden mit eigenen Untersuchungen geschlossen. Zur Analyse der Wellenausbreitungen in der Glowe-Bucht gelang es, aus Vermessungsdaten der Glowe-Bucht ein digitales 3D-Modell (Auflösung 10 x 10 Meter) des Seegebietes vor Glowe mit dem PC-Programm SURFER zu erstellen. Dieses Modell bildete die Grundlage für die numerische Simulation der Seegangparameter in der Glowe-Bucht mit Hilfe des Programmsystems SWAN (Simulating Waves Near Shore).

3.3 Naturmessungen

Wind- und seegangsinduzierte Strömungen waren Gegenstand von Naturmessungen. Da für die Untersuchung von küstennahen Strömungen kein geeignetes Messinstrument zur Verfügung stand und auch keine finanziellen Mittel vorhanden waren, um geeignete Technik anzuschaffen, wurde eine in Abb. 3 skizzierte Messboje zur Ermittlung der küstennahen, windinduzierten Strömungen selbst konstruiert. Der Korpus des Messgerätes besteht aus einem Aluminiumrohr mit einer Wandstärke von 1 mm, einem Durchmesser von 13 cm und einer Höhe von 150 cm. Zur Erhöhung des Wasserwiderstands wurden drei Flügel, jeweils um 120° versetzt, an der Boje montiert. Im oberen Teil des Messgerätes befindet sich ein wasserdichtes Fach für einen GPS-Data-Logger. Getrimmt wird die Boje durch eine ca. 5 cm starke Aluminiumplatte und zusätzliche Metallgewichte. Mit den Trimmgewichten hat die Konstruktion ein Gesamtgewicht von etwa 10 kg.

Während der Naturmessungen wurde die Messboje an mehreren Stellen im Gewässer ausgebracht, von der Strömung erfasst und abgetrieben. Ein GPS-Data-Logger zeichnete den Kurs der Boje auf, der anschließend auf einer Karte dargestellt werden konnte.

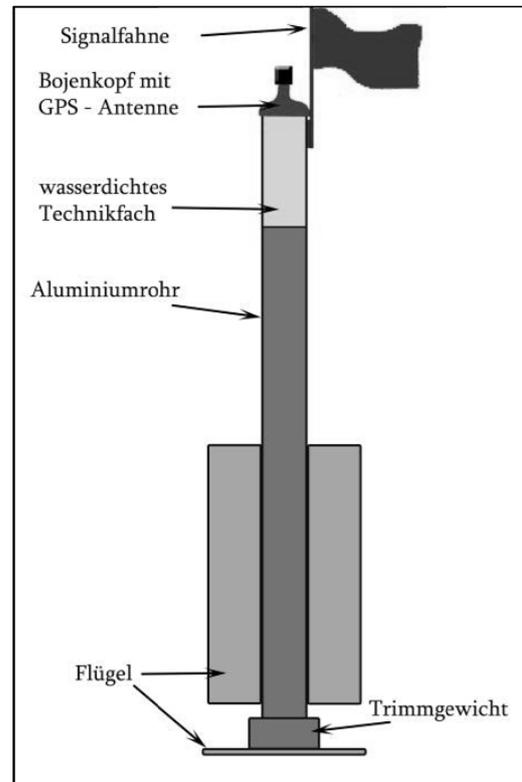


Abb. 3: Skizze der selbst entwickelten Driftboje zur Vermessung küstennaher Strömungen

3.4 Der Untersuchungsgegenstand

Das Untersuchungsgebiet hat eine Gesamtgröße von etwa $0,7 \text{ km}^2$ und umfasst das unmittelbare Hinterland sowie Strand und Vorstrand der Glowe-Bucht bis zu einer Uferentfernung von ca. 1.500 m.

Die Glowe-Bucht liegt im Übergangsbereich einer holozänen Nehrung zu einem pleistozänen Inselkern. Eine sanft geschwungene Flachküste geht hier in ein Steilufer über. Dieser Wechsel wird durch einen Landvorsprung markiert, der das östliche Ende der Glowe-Bucht bildet und an dem sich ein Sportboothafen befindet (Abb. 4).

Der etwa 800 m lange und 15 bis 30 m breite Strand des Flachküstenabschnittes besteht aus feinen Quarzsanden mit wenigen eingestreuten Kiesbänken und reicht bis zum Hafen Glowe. Etwa 200 m vor der Marina verändert sich die Korngrößenzusammensetzung des Sandkörpers. Hier reicht das Kornspektrum am Ufer von Tonen und Schluffen bis zu Blöcken. Diese Materialien sind Restsedimente von hier erodierten Geschiebemergeln des Inselkerns Jasmund, welcher an dieser Stelle beginnt. Durch selektiven Sedimenttransport hat sich an einigen Stellen des Sandstrandes ein Steinpflaster gebildet, welches das Ufer gegen anbrandende Wellen schützt. Östlich des Hafens wird das Ufer von einer Steilküste eingenommen. Diese besteht aus Geschiebemergeln über Rügener Schreibkreide. Auf Höhe des Seebades Glowe taucht der Mergel unter den Meeresspiegel ab.

Der Seeboden des Vorstrandes entspricht im Wesentlichen den Charakteristika der Ufer. Vor der Steilküste besteht er aus Kreide und Mergel mit stellenweise dünner Auflage aus feinkörnigen Sedimenten, vor der Flachküste sind Sande und Kiese auf der Schorre vorherrschend.



Abb. 4: Satellitenbild des nordöstlichen Teils von Rügen. Am rechten Bildrand befindet sich das Untersuchungsgebiet Glowe-Bucht. Diese wird von einem Landvorsprung, dem Königshörn, in östlicher Richtung begrenzt. An dieser Stelle befindet sich ein Sportboothafen (hier im Bau; StAUN Rostock).

4 Untersuchungsgebiete

4.1 Die potentiell-stabile Uferform

Die potentiell-stabile Uferform einer Bucht, in der ein Sandstrand von einem Landvorsprung aus morphologisch hartem Gestein begrenzt wird, kann laut Silvester & Hsu (1993) nach der Formel

$$R/R_0 = C_0 + C_1 * (\beta / \vartheta) + C_2 * (\beta / \vartheta)^2$$

berechnet werden. Die Anwendung der Gleichung auf einen Strandabschnitt setzt voraus, dass:

- ein küstenparalleler Nettosedimenttransport im Spülsaum der Wellen vernachlässigt werden kann,
- der Landvorsprung bewirkt, dass die Wellenorthogonalen durch Diffraktion gebeugt werden,
- eine Hauptwellenanlaufung vorhanden ist.

Diese Voraussetzungen haben normalerweise zur Konsequenz, dass diese Untersuchungsmethode nicht auf Strände an der Ostsee angewendet werden kann. Insbesondere die unterschiedlichen Wellenanlaufungen stehen der Berechnung normalerweise entgegen. Am Ufer der Glowe-Bucht mit seiner besonderen Lage zwischen der Nehrung Schaabe und dem Hafen wird jedoch nur Seegang aus Nordnordost morphologisch wirksam. Aus diesem Grund kann diese Richtung als Hauptwellenanlauf interpretiert werden. Der Hafen stellt einen morphologisch widerstandsfähigen Landvorsprung dar, an den sich ein Sandstrand anschließt. Ferner unterbinden die Molen der Marina die Litoraldrift zu dem sich ostwärts anschließenden Uferabschnitt. Der Strand der Bucht liegt im Einflussbereich der Hafemolen auf den Seegang, sodass die durch die Wellenbrecher gebeugten Wellenorthogonalen das Ufer treffen (Kap. 4.2).

Die Untersuchung ergab eine sehr gute Übereinstimmung von natürlichem und berechnetem Uferverlauf, wie Abb. 5 zeigt. Nach Silvester & Hsu (1993) hat das Untersuchungsgebiet damit ein Reifestadium erreicht, in dem die Form der Glowe-Bucht dem formbildenden Faktor Wellengang (aus Richtung Ostnordost) entspricht, der Nettosedimenttransport null ist und keine weiteren

Materialverluste im Untersuchungsgebiet zu erwarten sind. Der Strand befindet sich damit nach Silvester & Hsu (1993) in seiner jetzigen erodierten Form in einer potentiell-stabilen Lage.

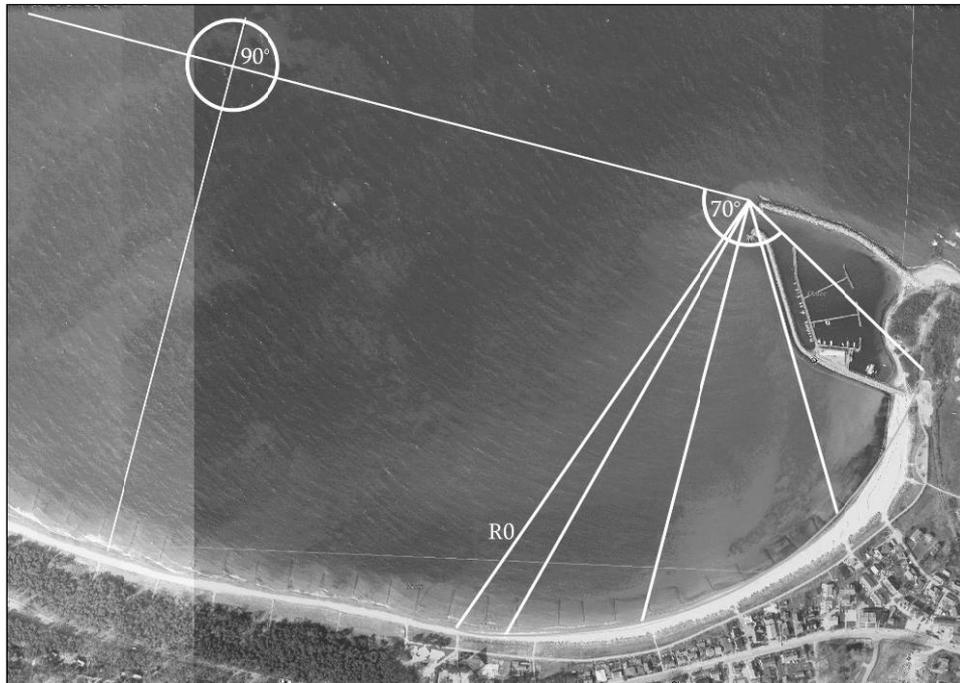


Abb. 5: Berechnete stabile Uferlinie (entspricht der gekrümmten Verbindungslinie zwischen den weißen Linien) der Glowe-Bucht nach Silvester & Hsu (1993). Die berechnete deckt sich mit der realen Uferform. Nur in unmittelbarer Nähe zum Hafen weicht sie, vermutlich wegen der Schutzwirkung der Südmole, ab (Luftbild: mit freundlicher Unterstützung der Universität Rostock).

4.2 Hydrodynamische Randbedingungen

Seegang

Brandende Wellen beeinflussen den Sedimenttransport auf Strand und Schorre (Carter 1991). Die bisherige Datengrundlage für das Untersuchungsgebiet konnte nur eine Seegangsstatistik für die Tromper Wiek in einer Wassertiefe von 10 m liefern – für die Ausbreitung und Höhe der Wellen in der Bucht selbst lagen keine Daten vor. Aus diesem Grund wurde die Seegangscharakteristik der Glowe-Bucht numerisch ermittelt (Abb. 6). Hierzu diente das Modell SWAN (Simulating Waves Near Shore).

Die Simulationen führten zu einem Erkenntnisgewinn bei den Abschattungs- und Diffraktionseffekten durch die Hafentmolen und den Seegangparametern in der direkten Nähe der Uferlinie: Die Simulationen ergaben, dass theoretisch nur Seegang aus westlichen Richtungen in relevanten Größenordnungen den Uferabschnitt, in dem die größten Materialverluste auftreten, erreichen kann. Bei einem Wellenanlauf aus Norden und Osten verhindern Abschirmungseffekte der Hafentmolen eine intensive Brandung in der Bucht. Praktisch können sich aufgrund der nahe gelegenen Nehrung Schaabe bei Westwind aber nur relativ kleine Wellen in der Bucht entwickeln.

Durch die Simulation wurde auch der Einfluss des Hafens auf die Beugung der Wellenorthogonalen herausgestellt. Diese Diffraktionseffekte führen im Untersuchungsgebiet zu annähernd küsten-normalem Auftreffen der Wellen auf das Ufer. Hierbei spielt die jeweilige Windrichtung nur eine untergeordnete Rolle, denn bei einer Änderung der Windrichtung um 90° (von Norden nach Osten) beträgt die Veränderung der Laufrichtung der Wellen im Flachwasser in der Bucht nur 10° .

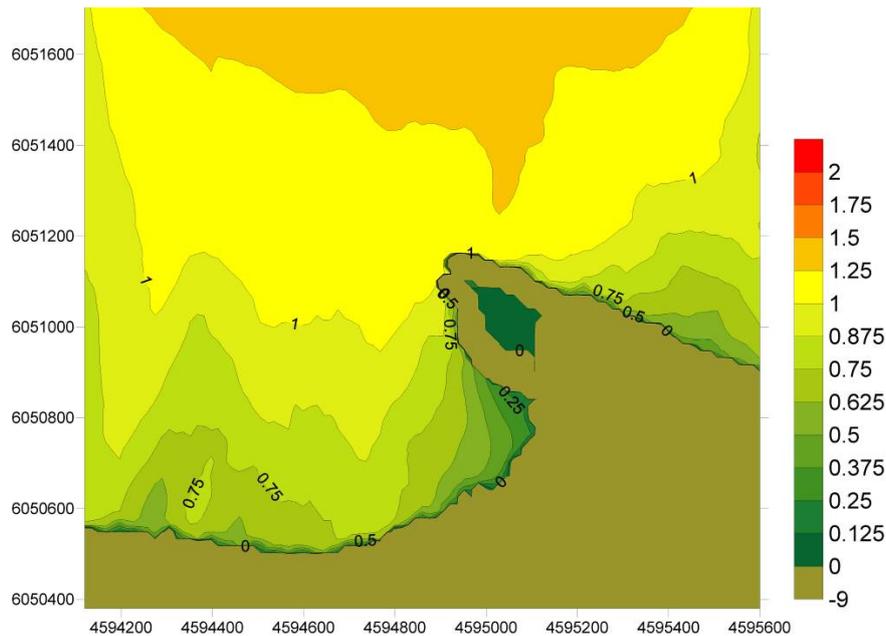


Abb. 6: Auszug aus den Ergebnissen der Wellensimulationen mittels SWAN, hier bei einer Wellenhöhe von 140 cm und einem Wellenanlauf aus Norden

Strömungen

Die küstennahen, wind- und seeganginduzierten Strömungen im Untersuchungsgebiet sind der Motor morphologisch wirksamer Materialtransporte auf dem Vorstrand (Carter 1991). Sie nehmen eine Schlüsselfunktion in der Erforschung lokaler Erosionsphänomene ein und waren deshalb schon mehrmals Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen (Abb. 7).



Abb. 7: Ergebnis von Modellversuchen zu küstennahen Strömungen in der Glowe-Bucht (Wellenanlauf aus Nordwest) durch Schinke (1968). In der Mitte der Bucht bildet sich aufgrund von Wasserstauwirkungen eine küstennormal ausgerichtete Nehrströmung. Dieses Strömungsmuster konnte durch die Naturmessungen nicht bestätigt werden.

Die Expertisen der Vergangenheit reichen von theoretischen Schlussfolgerungen (Plewe 1940) über Naturbeobachtungen (Gellert 1965, Schrader 1977) bis zu Modellversuchen an einem Nachbau der Bucht in einem Wellenbecken (Schinke 1968). Die bisher veröffentlichten Strömungsmuster widersprachen aber dem Formenschatz und der Anordnung der Sandbänke auf dem Unterwasserstrand. Ferner beziehen sie sich teilweise nur auf Vermutungen oder es fehlen genaue Angaben zur Windrichtung und Strömungsgeschwindigkeit. Aufgrund der bruchstückhaften Datenlage wurden bei allen Windrichtungen, welche im Untersuchungsgebiet Wellengang erzeugen können, Naturmessungen mit einer Driftboje (Abb. 8) durchgeführt.



Abb. 8: Eingesetzte Messboje zur Untersuchung der Strömungen

Die Untersuchungen erfolgten an drei Tagen im Sommer 2007 bei folgenden Wind- und Wellenbedingungen:

- Windrichtung: NNW
Windstärke: 4-5 Bft
Wellenhöhe: 0,7-1,5 m
- Windrichtung: WNW
Windstärke: 5-6 Bft
Wellenhöhe: 0,5-1,0 m
- Windrichtung: ONO
Windstärke: 7-8 Bft
Wellenhöhe: 1,5-2 m

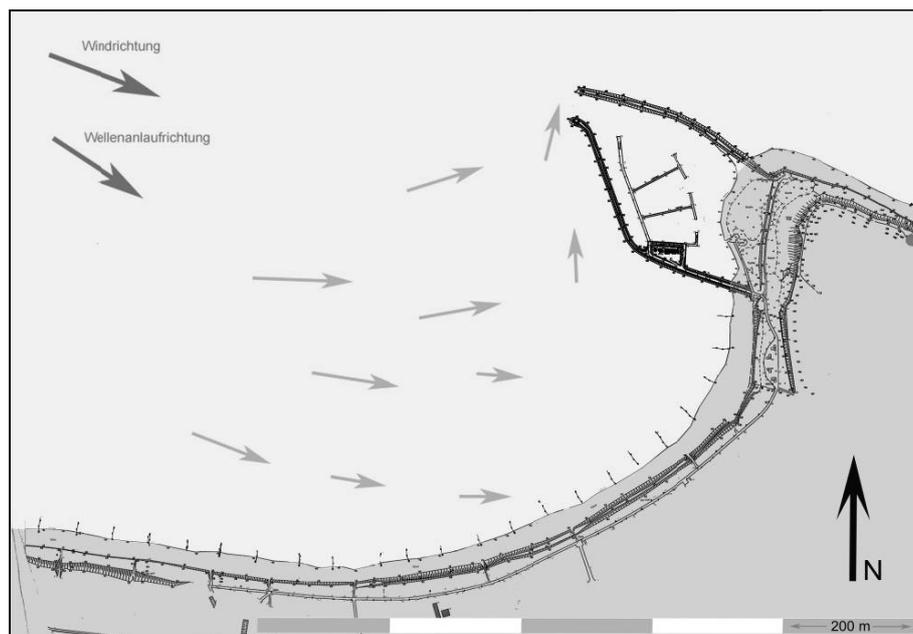


Abb. 9: Strömungsmuster bei westlichen und nördlichen Winden

Die Untersuchungen ergaben im Wesentlichen drei Ergebnisse: In der Glowe-Bucht treten zwei unterschiedliche Strömungsmuster auf. Bei westlichen und nördlichen Winden wird die Bucht von südöstlich gerichteten Driftströmen aus der Tromper Wiek gestreift. Wie Abb. 9 veranschaulicht, werden diese durch das Königshörn und den dort errichteten Hafen abgebremst. Der dadurch verursachte Wasserstau in der Bucht führt vor den Wellenbrechern der Marina zu einer Ausgleichströmung nach Norden, während vor dem Ufer des Untersuchungsgebietes nur schwache Wasserbewegungen auftreten. Bei östlichen Winden lenkt ein starker Brandungsstrom, der an der östlich von Glowe gelegenen Steilküste entsteht (gemessene Geschwindigkeit bis zu 28,8 cm/s, bei Ostnordostwind der Stärke 7 Bf), teilweise in die Bucht ein. Dieser zieht sich dann vom Hafen quer durch das Gewässer und trifft

im westlichen Teil der Bucht auf das Ufer. Hier geht er in den Brandungsstrom vor der östlichen Schaabe über und folgt dann küstenparallel dem Ufer.

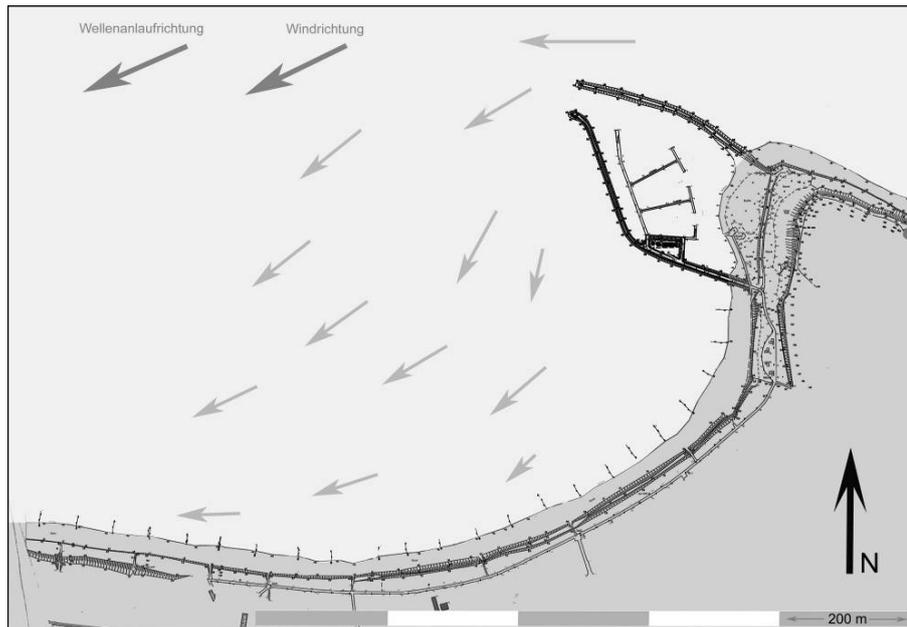


Abb. 10: Strömungsmuster bei östlichen Winden

Das zweite Ergebnis ist die Erkenntnis, dass an dem am stärksten erodierten Strandabschnitt im zentralen Teil der Glowe-Bucht keine morphologisch wirksamen Strömungen in der unmittelbaren Nähe des Ufers existieren. Weder bei westlichen und nördlichen Windrichtungen, noch bei Wind aus Ostnordost treten Wasserbewegungen im zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes auf, deren Geschwindigkeit ausreicht, um klastisches Material in relevanten Größenordnungen zu transportieren.

Drittens konnte eine von Gellert (1965) beschriebene und von Schinke (1968) in Modellversuchen nachgewiesene Nehrströmung (Abb. 7) im westlichen Teil der Glowe-Bucht, die bei starkem Westwind auftritt und Material vom Strand aus küstennormal abtransportiert, nicht gemessen und damit als morphologisch wirksam ausgeschlossen werden.

Die Sedimentdynamik

Wie Abb. 11 zeigt, konzentrieren sich Materialtransporte im Untersuchungsgebiet auf zwei Bereiche: den Spülsaum der Wellen und die Sandriffe des Vorstrandes in der zentralen Bucht.

Die durchgeführten Wellensimulationen ergaben die Wellenanlaufrichtung in der unmittelbaren Nähe des Ufers für westliche, nördliche und östliche Windrichtungen. Aus diesen Ergebnissen konnte die Richtung und Intensität des Brandungsstromes abgeschätzt werden. Demnach sind die Brandungsströme in der Bucht sehr schwach, weil die Wellen bei nördlichen und östlichen Winden nahezu küstennormal an das Ufer laufen (max. Abweichung 10°) und dadurch keinen Quertransport von Material verursachen können. Bei Westwind findet ein geringer Materialtransport in Richtung Osten statt, während bei Nord- und Ostwinden Sand im Spülsaum der Wellen nach Westen verdriftet wird. Im Mittel ergibt sich eine Nettotransportrate nahe Null – die Uferlinie befindet sich damit in einem dynamischen Gleichgewichtszustand. Die Berechnungen zur potentiell-stabilen Ausformung der Uferlinie (Kap. 4.1) belegen dieses Untersuchungsergebnis.

Die etwa 250 m vom Ufer entfernten Sandriffe in der Bucht markieren ein „Durchzugsgebiet“ für Sedimente, die durch Abtragungsvorgänge an der Steilküste, welche sich östlich an das Untersuchungsgebiet anschließt, freigesetzt und westlich von Glowe an der Nehrung Schaabe

abgelagert werden. Das ergaben Literaturlauswertungen (Gellert 1991, Zentrales Geologisches Institut Reinkenhagen 1988) und die Interpretation des Formenschatzes auf dem Unterwasserstrand. Den Materialtransport übernimmt der Brandungsstrom nach Westen, der bei östlichen Winden entsteht. Er hat eine Nettotransportkapazität von etwa 25.000 m³/a (Fröhle 2007) und weist Strömungsgeschwindigkeiten von über 25 cm/s auf (gemessen bei Ostwind der Stärke 7). In der Bucht selbst verringert sich die Transportkapazität der Strömung, denn die Strömungsgeschwindigkeit geht hier auf 10-12 cm/s zurück. In Folge dessen wird ein Teil des transportierten Materials in einer Entfernung von ca. 100 m vom Ufer sedimentiert – der restliche Teil des Materials erreicht am westlichen Ende der Bucht das Ufer.

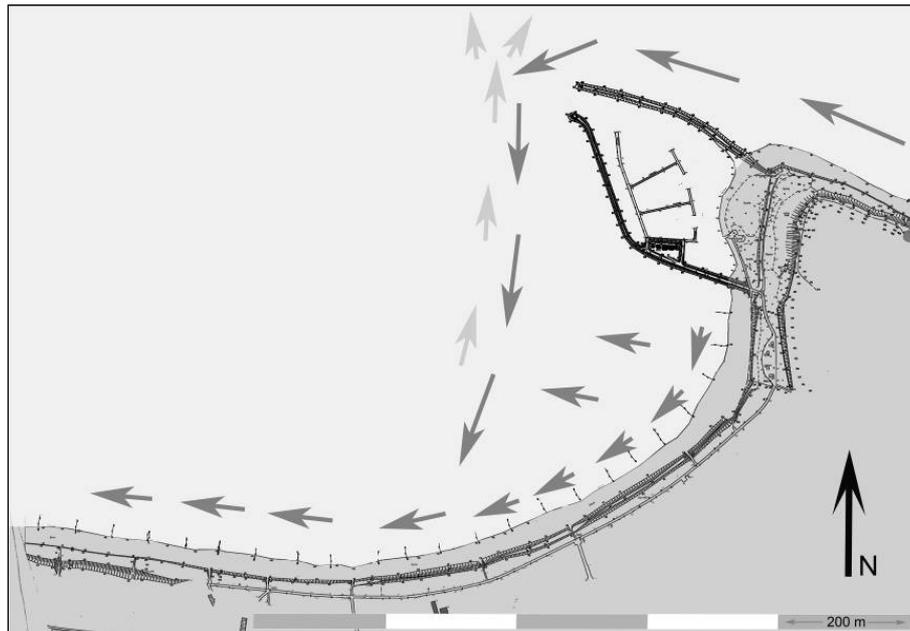


Abb. 11: Sedimenttransport in der Glowe-Bucht

4.3 Morphologische Veränderungen seit 1936

Ein Vergleich zweier Aufnahmen, zwischen denen 70 Jahre Küstenentwicklung liegen, zeigt morphologisch relevante, aber bisher unentdeckte Abtragungs- und Anlandungsprozesse: In der Vergangenheit gab es noch einen Landvorsprung in der sonst gleichmäßig geschwungenen Küstenlinie der Bucht. Dieser befand sich am westlichen Rand des Untersuchungsgebietes und ragte buhlenartig mehrere Dekameter in die Bucht hinein. Die geologische Wurzel dieses Landvorsprunges bildete eine Durchragung von Geschiebemergel durch die hier lokal anstehenden Sanddecken der Nehrung Schaabe (Schinke 1968). Diese kleine Landzunge ist heute bis auf eine Erhebung auf dem Unterwasserstrand vollständig abgetragen. Als Zeugnis dieser Entwicklung finden sich, nach eigenen Beobachtungen, an dieser Stelle heute Steine von Faust- bis Blockgröße auf der Schorre. Es ist anzunehmen, dass sich bei einem Nettosedimenttransport in westliche Richtung (Fröhle 2007, Zentrales Geologisches Institut Reinkenhagen 1988) vor dieser Vollform küstenparallel verfrachtetes Material staute. Für diese Vermutung sprechen der breite Sandstrand, welcher sich östlich der Durchragung befand, und das aufgrund von Lee-Effekten sehr schmale Ufer, das sich westlich daran anschloss.

5 Diskussion

In der Glowe-Bucht korrelieren die Uferrückgänge der Vergangenheit und die aktuellen Energieeinträge von winderzeugten Wellen und daraus resultierende Strömungen nicht miteinander. Die Untersuchungen zu den hydrodynamischen Randbedingungen des Sedimenttransportes (Kap. 4.2) zeigen, dass vor dem Uferabschnitt in der unmittelbaren Nähe des Sportboothafens am wenigsten Energie durch Seegang in Strand und Schorre eingetragen wird. Hier stehen außerdem nur geringe Strömungsenergien zum Abtransport des erodierten Materials zur Verfügung. Die Voraussetzungen für eine stabile Uferlinie sind demnach gegeben. Doch warum wurden dann große Mengen des im Jahr 2000 in der Bucht aufgespülten Sandes in wenigen Jahren ausgewaschen?

Die Kombination der Untersuchungsergebnisse ergibt drei Ursachen des Sandverlustes in der Glowe-Bucht: das Hafengebäude, natürliche Küstenausgleichsprozesse und die Küstenschutzmaßnahme Sandaufspülung.

Aufgrund von Sandaufspülungen am Strand vor dem Seebad wird die Uferlinie seewärts verschoben. Der Einfluss der Hafengebäude auf die Wellenanlaufhöhe und -richtung schwächt sich damit ab. Dadurch kann Seegang aus nördlichen und östlichen Richtungen, der im Raum Glowe die meiste Energie in das Ufer einträgt, den Sand im Flachwasserbereich aufwirbeln. Der verringerte Einfluss der Wellenbrecher auf die Beugung der Wellenorthogonalen bewirkt ein schräges Auftreffen der Wellen auf das Ufer der Bucht. Dadurch kann ein Brandungsstrom entstehen. Dieser transportiert das mobilisierte Material westwärts an das Ufer der Nehrung Schaabe.

Der Hafen am Königshörn verhindert indessen eine Ergänzung des am Strand vor dem Seebad ausgewaschenen Materials durch Sedimente von benachbarten Uferabschnitten, denn die Wellenbrecher der Marina ragen etwa 250 m in die Glowe-Bucht hinein und drängen dadurch einen für die Strandernährung wichtigen Materialstrom, der vom Steilufer Jasmund kommt, nach Norden ab. Diese Ablenkung schneidet dem Oststrand vor dem Seebad die Sedimentzufuhr ab und führt hier schon bei einer relativ geringen Nettotransportkapazität nach Westen zu einem Uferabbruch im Untersuchungsgebiet.

Natürliche Küstenausgleichsprozesse fördern den Materialverlust zusätzlich: Das Zurückschneiden eines Landvorsprunges am westlichen Ende der Bucht (Kap. 4.3) bewirkt, dass der mobilisierte Sand auf der Schorre das Untersuchungsgebiet ungehindert nach Westen verlassen kann und damit für die Strandernährung vor dem Seebad nicht mehr zur Verfügung steht.

Die Kombination von Ergebnissen aus der mathematischen Berechnung zur potentiell stabilen Uferform, der Wellensimulationen und den Strömungsmessungen lässt außerdem darauf schließen, dass die Materialverluste in der Bucht mittlerweile weitgehend zum Stillstand gekommen sind. Aufgrund der Rückverlagerung der Uferlinie in den letzten Jahren hat sich die Bucht tiefer eingekerbt. Dadurch wurde die Schutzwirkung der Hafengebäude gegen Seegang und Strömungen relativ vergrößert. Die Abtragungsvorgänge, die vor dem Bau der Marina in der Bucht auftraten, werden dadurch weitgehend unterbunden. Sandaufspülungen, die zu einer Verbreiterung des Sandstrandes führen, setzen diesen Schutz jedoch außer Kraft und bewirken damit das Gegenteil von dem, was Küstenschutz eigentlich leisten sollte – eine Stabilisierung der Uferlinie.

Literatur

- Carter, R. (1991): Coastal Environments. 3. Auflage, academic press. London, 617 p.
- Gellert, F. (1991): Die Morphologie des Seestrandes der Schaabe im Spiegel des Anuellen Wechsels von Starkwinden und Seegang. In: Wissenschaftliche Zeitung der Brandenburgischen Hochschule 35 (4): 377-382.
- Gellert, F. (1965): Glowe und Umgebung – Physisch-geographischer Exkursionsführer. Gutenberg Buchdruckerei und Verlagsanstalt. Potsdam: 160 S.

- Kohlhase, S. (2003): Wasserbau 3 und 4 / Teil 2 – Umdruck zur Vorlesung. Universität Rostock. Rostock, 265 S.
- Kohlhase, S. (1992): The Need to Monitor the Coastal Response to Structural Interventions. Proc. Seminar on Causes of Coastal Erosion in Sri Lanka, Colombo.
- Ministerium für Arbeit, Bau und Landesentwicklung MV (Hrsg.) (2004): Standortkonzept für Sportboothäfen an der Ostseeküste. Schwerin, 239 S.
- Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt MV (Hrsg.) (1995): Generalplan Küsten- und Hochwasserschutz Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin, 108 S.
- Plewe, E. (1940): Küste und Meeresboden der Tromper Wiek (Insel Rügen). In: Geologie der Meere und Binnengewässer, 4. Band. Borntraeger, Berlin, S. 1-41.
- Schrader, F. (1977): Strömungsverhältnisse in der Glowe-Bucht (Tromper Wiek). In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Pädagogischen Hochschule „Karl Liebknecht“ Potsdam, 21 (3): 455-461.
- Silvester, R. & J.R. Hsu (1993): Coastal Stabilization – Innovative Concepts. PTR Prentice Hall, Engelwood Cliffs / New Jersey, 578 S.

Unveröffentlichte Gutachten aus der Dokumentationsstelle des StAUN Rostock:

- Fröhle, P. (2007): Sportboothäfen an der Außenküste Mecklenburg-Vorpommerns – Abschlussbericht. Institut für Umweltingenieurwesen / Universität Rostock. Rostock, 74 S.
- Kohlhase, S. (1996): Gutachterliche Stellungnahme zu möglichen Einflüssen des Hafens Glowe auf den Küsten- und Hochwasserschutz. Iwr Rostock As Wismar. Wismar, 24 S.
- Schinke, [...] (1968): Bericht über Modelluntersuchungen der Strömungsverhältnisse im Seegebiet der Glowe-Bucht. Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. Potsdam, 48 S.
- StAUN – Staatliches Amt für Umwelt und Natur Rostock & A. Klee (2006): Bestandsliste der Küstenschutzbauwerke Mecklenburg-Vorpommern. Rostock.
- StAUN – Staatliches Amt für Umwelt und Natur Rostock, Abt. Küste (2000): Strandvorspülung Glowe – Genehmigungs- und Ausführungsplanung. Rostock.
- Zentrales Geologisches Institut Reinkenhagen (1988): Küstensedimentdynamik Nordrügen-Usedom. Reinkenhagen, S. 19-24.

Danksagung

Die dargelegten Untersuchungsergebnisse stellen Auszüge aus der Diplomarbeit des Verfassers mit dem Titel „Die Morphologie der Glowe-Bucht im Hinblick auf lokale Erosionsphänomene“, die an der TU-Dresden am Institut für Geographie eingereicht wurde, dar. Ich danke allen Unterstützern der Diplomarbeit, insbesondere meinen beiden Betreuern Dipl. Ing. K. Sommermeier (StAUN Rostock) und Prof. Dr. D. Faust (TU-Dresden) für die Anregung zur Bearbeitung des Themas. Bei Dr. F. Weichbrodt, Dipl. Ing. Christian Schlamkow und Dr. P. Fröhle vom Institut für Wasserbau sowie Dipl. Ing. Matthias Naumann vom Institut Geodäsie und Geoinformatik der Universität Rostock möchte ich mich für die fachliche und technische Unterstützung bei den Driftversuchen und Wellensimulationen im Rahmen dieser Arbeit bedanken.

Großes Entgegenkommen erfuhr ich überdies durch den Bürgermeister von Glowe, U. Radeisen bei der Bereitstellung von Fachliteratur und Fotos.

Adresse

Matthias Mossbauer
Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde
Seestraße 15
18119 Rostock, Germany

matthias.mossbauer@io-warnemuende.de



Steuerung von Küstenschutzelementen an Tideflüssen als Grundlage für ein Risikomanagement

Heiko Spekker

INROS LACKNER AG, Bremen, Germany

Abstract

Control of coastal protection elements along tidal rivers as basis for flood and risk management.

Located below mean sea level large parts of coastal hinterlands, especially along tidal rivers, are endangered from inundations during storm surges and extreme floods. Coastal hinterlands are commonly protected by a system of coastal protection elements, e.g. levees or storm surge barriers. Increasing crest heights of these coastal structures is the traditional strategy of coastal defence using deterministic methodologies.

Efficient flood and risk management should reduce risk and mitigate effects of hazards caused by increased water levels due to higher sea level, changes in storm surge frequencies and stronger floods. Apart from sea and river dykes as well as storm surge barriers as major flood protection elements, a variety of additional structures like controllable flood- and spillways or polder areas are feasible structural elements to be established along estuaries and deltas. In combination with innovative control strategies these measures extend the flood storage.

Main objective of the thesis is the analysis of new measures and innovative coastal protection strategies at tidal rivers. In addition to modified regulations of control structures mentioned above, another important focal point is to evaluate the effects of connected polder areas and floodways in order to reduce high water levels and flood risk in the coastal hinterland. Tested on the basis of an idealised estuary the methodology is subsequently applied to real estuaries (Weser River estuary and Mississippi River delta). A high risk potential exists in both regions due to densely populated cities, e. g. Bremen and New Orleans, as well as important businesses and industries along these rivers. This paper presents the results for the Weser River estuary.

Hydrodynamic-numerical models using combinations of characteristic flood and storm surge scenarios are established in order to obtain critical configurations of the hydrodynamic system. Based on that, the probability of failure and the related damage due to flooding of the coastal defence system are calculated for one focal area. Linked models are applied to simulate the process of flooding as a result of failure scenarios of the coastal protection system. Subsequently the risk of the hinterland is calculated as a product of the probability of failure and the flood loss.

Variations of risk control strategies clearly indicate that polder areas as well as artificial floodways along estuaries with controllable inlets are capable to reduce the tidal high water level in estuaries and deltas. Thus, these measures minimise the probability of failure of the coastal protection system also during extreme events. In comparison, changed control strategies of storm surge barriers reduce the tidal high water level only to a limited extent. The results provide a basis for discussion addressing all parties involved within the integrated flood and risk management and may help to find solutions and possible ways for a better communication of risk and the effects of risk mitigation measures.

1 Einleitung

Das Küstenhinterland wird heute zumeist durch ein System von Küstenschutzelementen, z. B. durch Deiche oder Sturmflutsperrwerke, geschützt. Traditionelle Küstenschutzstrategien setzen dabei auf eine Erhöhung bzw. Verstärkung der Schutzelemente unter Verwendung deterministischer Bemessungsmethoden. Ein wirksames Hochwasser- und Risikomanagement sollte Hochwasserrisiken reduzieren und die Auswirkungen einer Gefährdung durch erhöhte Wasserstände aufgrund des Meeresspiegelanstiegs, geänderter Sturmflutwahrscheinlichkeiten oder erhöhter Abflüsse mindern.

Neben See- und Flussdeichen sowie Sturmflutsperrwerken als primäre Schutzelemente stellen steuerbare Flutrinnen sowie Entlastungspolder potentielle technische Schutzmaßnahmen entlang von Ästuaren dar. Kombiniert mit innovativen Kontrollstrategien dienen diese Maßnahmen einer Flutraumerweiterung bzw. -änderung.

Ziel der Arbeit ist die Untersuchung von neuen und innovativen Küstenschutzstrategien an Tideflüssen und Auswirkungen gesteuerter Küstenschutzelemente. Gekoppelte, hydrodynamisch-numerische Modelle werden eingesetzt, um die sich bei Überlagerung von Tide und Oberwasserzufluss ergebenden kritischen Scheitelwasserstände zu ermitteln, wobei charakteristische Hochwasser- und Sturmflut Szenarien betrachtet werden. Auf dieser Grundlage werden im Rahmen einer probabilistischen Risikoanalyse die Versagenswahrscheinlichkeit und der zu erwartende Überflutungsschaden ermittelt. Der Überflutungsprozess aufgrund eines Deichbruchszenarios wird unter Anwendung gekoppelter Modelle simuliert und das Risiko für das Hinterland anschließend als Produkt der Versagenswahrscheinlichkeit und des Überflutungsschadens berechnet.

2 Ziele einer Steuerung von Schutzelementen an Tideflüssen

Im Küsteningenieurwesen kann das Risiko in erster Näherung als Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit eines möglichen Versagens eines Küstenschutzsystems sowie dem daraus zu erwartenden Folgeschaden in der betroffenen Region definiert werden:

$$\text{Risiko} = \text{Versagenswahrscheinlichkeit} * \text{Folgeschaden}$$

Der planvolle Umgang mit solchen Risiken wird heute unter dem Begriff des Risikomanagements abgehandelt. Ein integriertes Hochwassermanagement zielt darauf ab, das Hochwasserrisiko zu mindern und das Risiko auf einen wirtschaftlich, politisch bzw. gesellschaftlich zu definierenden Wert zu begrenzen.

Gegen Risiko erhöhende Wasserstände in Ästuaren kommen technische, aber auch gesellschaftliche Risikosteuerungsstrategien in Betracht, z. B. die Risikovermeidung durch Umsiedlung, die Risikoverminderung, die Risikobeseitigung und schließlich die Risikoakzeptanz. Eine Risikominderung kann durch eine Verminderung der Versagenswahrscheinlichkeit von Hochwasserschutzanlagen, z. B. durch eine Senkung der Tidehochwasserstände und/oder durch eine Verminderung des Folgeschadens, erfolgen.

Bisher erfolgt an Tideflüssen im Regelfall eine Verminderung der Versagenswahrscheinlichkeit durch eine mit hohen Investitionskosten verbundene Erhöhung und Verstärkung der Schutzelemente. Bei den Flutraum schaffenden Maßnahmen ist eine Änderung der Sperrwerkssteuerung eine denkbare und ohne großen Kostenaufwand durchführbare Strategie. Schäden durch Hochwasser lassen sich im Allgemeinen durch Hochwasserrückhalt, technischen Hochwasserschutz und verbesserte Hochwasservorsorge verringern. Eine Nutzungsänderung und eine verbesserte private Vorsorge als Bestandteil eines integrierten Hochwasserrisikomanagements zur Verminderung des Schadenspotentials im Hinterland sind denkbar, wobei ein permanenter Rückzug aus potentiell überflutungsgefährdeten Gebieten gerade für dicht besiedelte Regionen mit großem Risikopotential nicht durchführbar ist.

Zusammengefasst ergeben sich folgende zu beantwortende Leitfragen:

- Welche Küstenschutzstrategien sind, auch vor dem Hintergrund des steigenden Meeresspiegelanstiegs, geänderter Sturmflutintensität sowie der Anpassung der Fahrrinnen in den Tideflüssen und damit geänderter Tidedynamik, denkbar?
- Besteht die Möglichkeit einer modellgestützten Steuerung von Küstenschutzbauwerken in Form von Poldern, Sperrwerken und Flutrinnen?
- Welche Effizienz weisen die Strategien auf? Führt eine Änderung der Betriebs- und Steuervorschriften der Küstenschutzelemente zu geringeren Scheitelwasserständen und kann das bestehende Restrisiko gemindert werden?

geht aus Abb. 1 hervor. Der Abfluss aus der Mittelweser wird über das Wehr Hemelingen gesteuert. Grundlage des erstellten Geländehöhenmodells für das Einzugsgebiet der Weser sind der Höhendatensatz DGM 5 des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS). Die Unterwassertopographie der Unterweser basiert auf Fächerecholotpeilungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung aus dem Jahr 2003.

4.1.2 Erfassung der Sturmflutentlastungspolder zur Flutraumerweiterung

Zur Abschätzung der Wirksamkeit von Sturmflutentlastungspoldern ist eine zweidimensionale, numerische Simulation der Flutungs- und Entleerungsprozesse nötig. In den zu den Poldern führenden Zulaufgerinnen sind steuerbare, unterströmte Wehre angeordnet, welche eine zeitlich flexible Steuerung der Flutung in Abhängigkeit der Kontrollwasserstände ermöglichen.

Bei Betrachtung des digitalen Geländemodells im Hinblick auf Poldervolumina und flutungsrelevante Geländecharakteristika bieten sich drei Bereiche rechtsseitig der Unterweser zwischen Bremen und Bremerhaven als potentielle Polderflächen an (Abb. 1), welche größtenteils zur Grünlandbewirtschaftung genutzt werden. Anhand digitaler Geländemodelle der Polderflächen wurde die Modellbathymetrie mit einer horizontalen Auflösung von $\Delta x = \Delta y = 10$ m erstellt (Abb. 2).

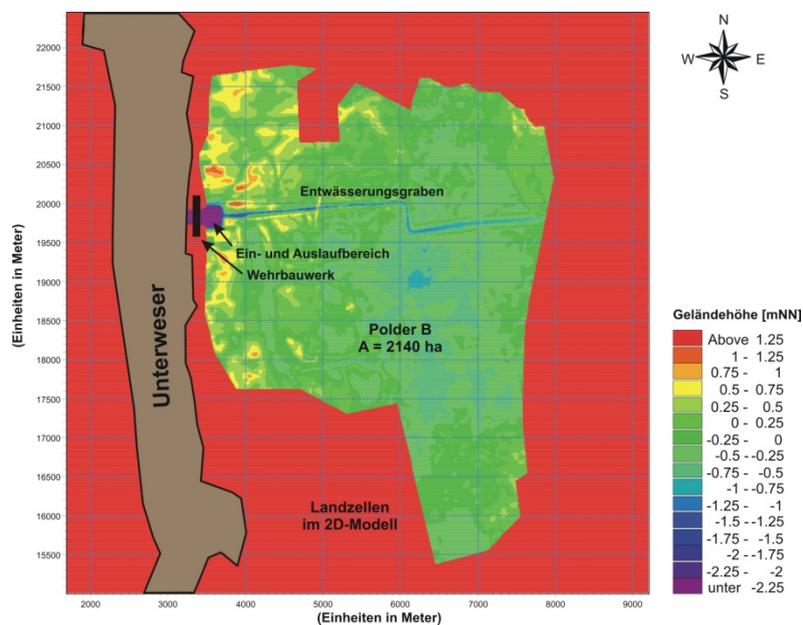


Abb. 2: Bathymetrie des Sturmflutentlastungspolders B im 2D-Modell (Spekker 2008)

Durch die im HN-Modell implementierten steuerbaren Elemente wird eine gezielte und weitgehende Entleerung der Polder während der Tideniedrigwasserzeiten auch im Fall von Kettentiden angestrebt. Das Einströmen von Wassermengen erfolgt ab einem definierten, als Kontrollwasserstand bezeichneten Wasserstand. Tab. 1 stellt Fläche, Geländehöhen und Lage der Polder dar.

Tab. 1: Speichervolumen, Größe und Geländehöhen der modellierten Sturmflutentlastungspolder

Polder	UW-km	Fläche [ha]	Geländehöhe [mNN]	Flutungswasserstand [mNN]	Speichervolumen [Mio. m ³]
A	53,9	950	-0,8 bis +0,8	5	45
B	48,9	2.140	-0,1 bis 0,8	5	100
C	34,3	1.900	-0,2 bis 1,1	5	94

4.1.3 Erfassung der Sperrwerkssteuerung

Das Abflussgeschehen in der Unterweser wird insbesondere bei extremen Tidehochwasserständen maßgeblich durch die Weserwehre Hemelingen sowie das Lesum-, Ochtum- und Huntesperrwerk beeinflusst, so dass die entsprechenden Steuerungen im Modell zu berücksichtigen sind. Im Modell erfolgt eine iterative oder direkte Steuerung der beweglichen Elemente anhand von Stauzielen, Kontrollwasserständen oder Betriebsaufzeichnungen.

Es bietet sich an, den vorhandenen Retentionsraum der Nebenflüsse Hunte, Ochtum und Lesum durch ein geeignetes Management der Verschlusseinrichtungen im Sturmflutfall besser zu nutzen. Durch ein späteres Schließen der Sperrwerkstore wird der aus der Weser einströmende Flutstrom mit zeitlicher Verzögerung gekehrt, wodurch gegebenenfalls eine Minimierung der Scheitelwasserstände in der Weser erreicht wird. Die für die Simulationen gewählten Szenarien beschreiben zum Teil extreme und damit seltene Ereignisse, die ein zeitgleiches Eintreffen einer Hochwasserwelle (HQ₁₀₀) in der Mittelweser und eines Sturmflutereignisses (Thw₁₀₀) in der Außenweser voraussetzen.

4.1.4 Randbedingungen

Beispielhaft werden die am unteren Modellrand eingesteuerten Randbedingungen beschrieben. Für die Kalibrierung des Flussgebietsmodells wird das am 05. Februar 1999 aufgezeichnete Sturmflutereignis mit einem Scheitelwert in Höhe von Thw = 4,47 mNN und einem Wiederkehrintervall von T = 10 Jahren mit ausreichender Vor- und Nachlaufzeit herangezogen (Abb. 3)

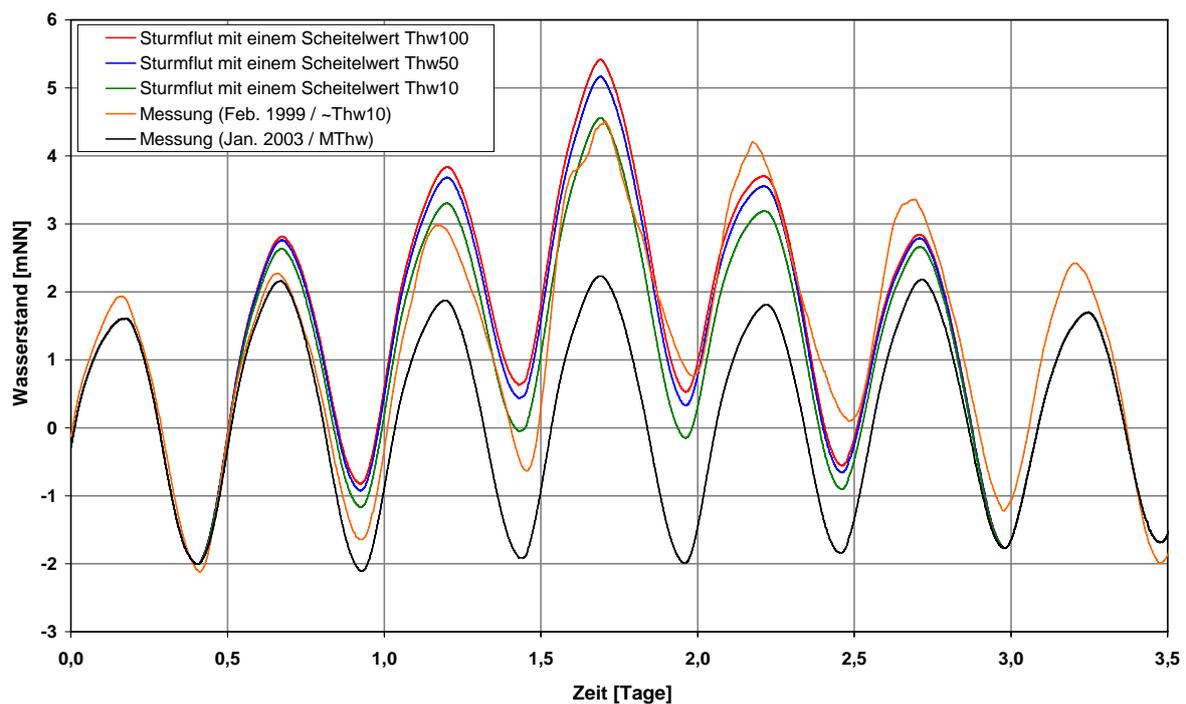


Abb. 3: Wasserstandsganglinien für Windstauereignisse verschiedener Wiederkehrintervalle am unteren Modellrand (Pegel Bremerhaven, Alter Leuchtturm; Spekker 2008)

Zur Simulation von Kettentiden wurde ein im Januar 2003 gemessener Wasserstandsverlauf (schwarze Kurve) auf den entsprechenden Sturmflutscheitel erhöht. Bei der Generierung der Wasserstandsganglinien wurden für verschiedene Wiederkehrzeiten auch die beiden Tidehochwasser sowohl vor als auch nach dem eigentlichen Sturmflutereignis berücksichtigt, so dass sich ein über fünf Tiden andauerndes Windstauereignis ergibt.

4.1.5 Untersuchungsprogramm

Die Überlagerung von verschiedenen Tidewasserständen am Pegel Bremerhaven und Oberwasserabflüssen am Pegel Intschede wird für 16 repräsentative Hochwasser- bzw. Sturmflutszenarien untersucht (Tab. 2). Die Rauheitsbeiwerte für die Vorländer im Bereich der Unterweser werden entsprechend der Landnutzung (ATKIS-Katalog) abgeleitet.

Tab. 2: Betrachtete Lastfälle bzw. Hochwasser- und Sturmflutszenarien

	MQ _{Feb. 1999} (~800 m ³ /s)	MQ (325 m ³ /s)	HQ ₁₀ (1.890 m ³ /s)	HQ ₅₀ (2.550 m ³ /s)	HQ ₁₀₀ (2.830 m ³ /s)
Thw ₁₉₉₉ = 4,47 mNN	Kalibrierung	---	---	---	---
MThw = 1,82 mNN	---	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Thw ₁₀ = 4,56 mNN	---	Szenario 5	Szenario 6	Szenario 7	Szenario 8
Thw ₅₀ = 5,17 mNN	---	Szenario 9	Szenario 10	Szenario 11	Szenario 12
Thw ₁₀₀ = 5,42 mNN	---	Szenario 13	Szenario 14	Szenario 15	Szenario 16

4.2 Schadenshöhen durch Versagen und Risikobetrachtung am Beispiel Werderland

4.2.1 Flächennutzung und Vermögenswerte

Das für eine Hochwasserrisikoanalyse ausgewählte Gebiet Werderland mit einer Ausdehnung von rund 5 mal 3 km weist Geländehöhen von größtenteils unter 1 mNN auf (Abb. 4).

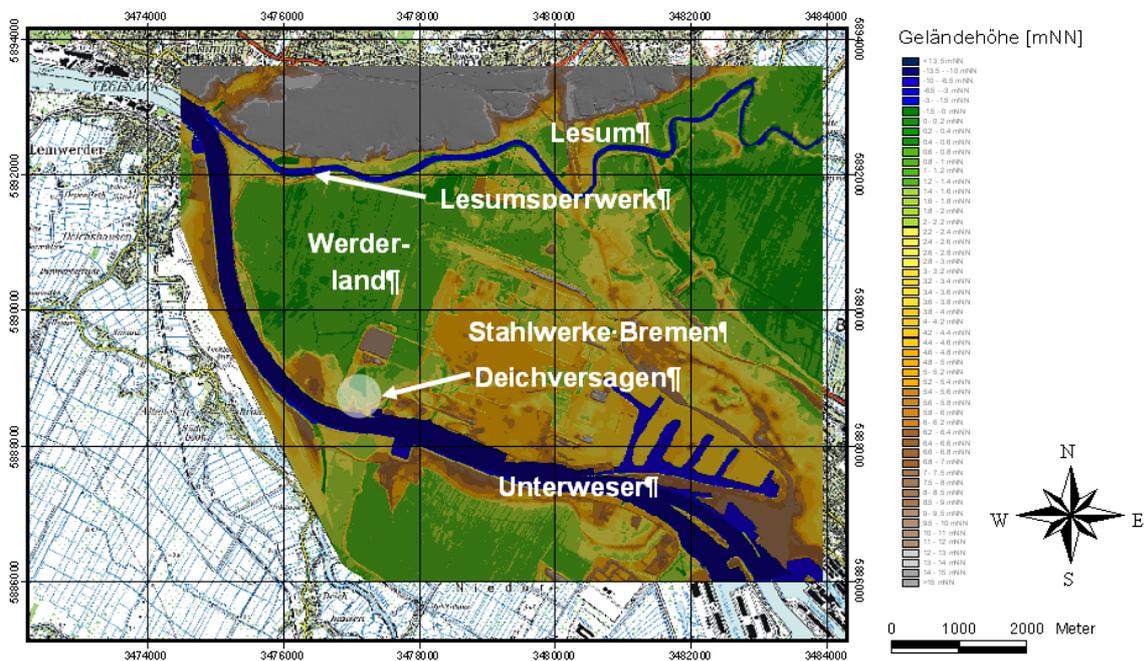


Abb. 4: Digitales Geländemodell des Werderlands (Spekker 2008)

Zur Ermittlung der infolge Überflutung resultierenden Schadenshöhen wird ein Versagen des Deiches als Folge eines Wellenüberlaufs und anschließender, binnenseitiger Erosionen auf Höhe der Mündung der Ochtum bei UW-km 13 angenommen. Für das Deichbruchszenario wird eine Bresche von 45 m sowie eine Schwellenhöhe von rund 2,5 mNN angenommen. Die Flächennutzung im Werderland zeigt Abb. 5.

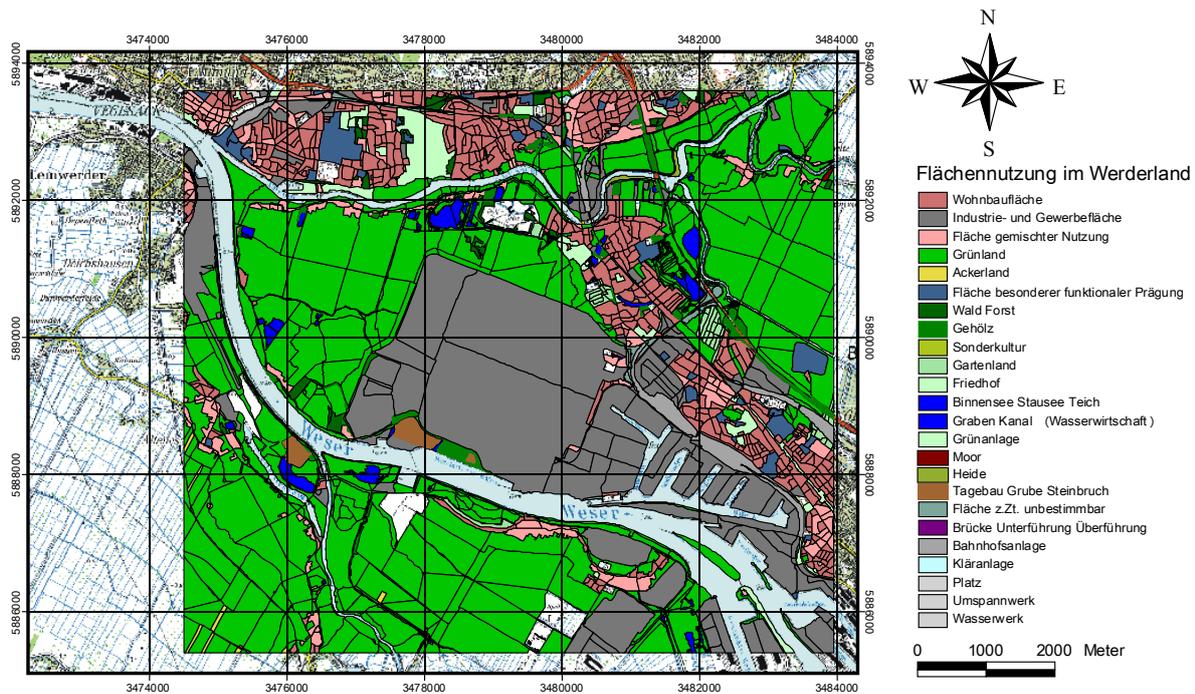


Abb. 5: Flächennutzung auf Grundlage des digitalen Landschaftsmodells (Franzius-Institut 2007)

4.2.2 Überflutungsflächen, Schadenshöhen und Risiko

Der zeitliche Verlauf der Überflutung und die Schadenshöhen sind in Abb. 6 und Abb. 7 dargestellt. Beim Deichbruchszenario werden rund 872 ha überflutet. Die Wassertiefen liegen zwischen 0,1 m und 3,25 m im Bereich von Gräben und Geländesenken. Die Laufzeit zwischen dem Deichversagen und dem Überfluten einer bestimmten Fläche ist für eine Schadenskalkulation und insbesondere für Sicherungsmaßnahmen im Risikomanagement von Bedeutung.

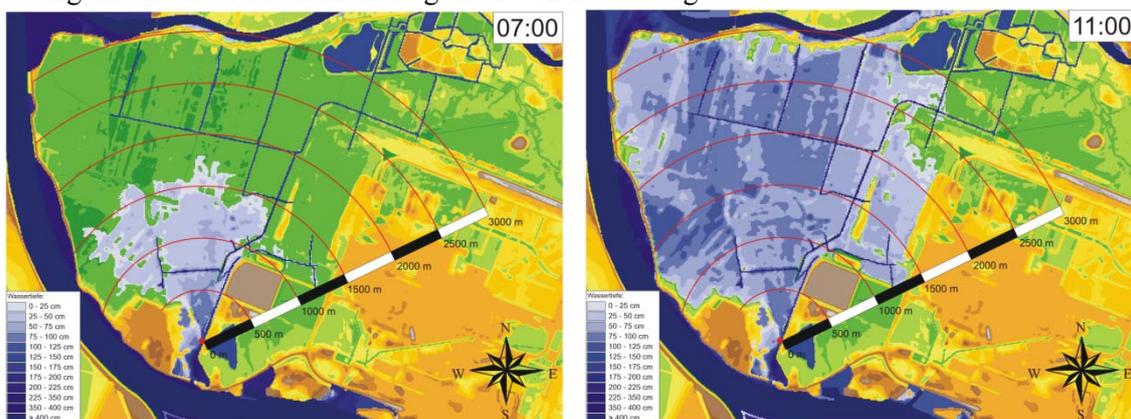


Abb. 6: Zeitlicher Verlauf der Überflutung aufgrund des Deichbruchszenarios (Spekker 2008)

Zur Bestimmung der zu erwartenden Schadenshöhe erfolgte eine automatisierte Analyse mit Hilfe des am Franzius-Institut entwickelten Tools „Loss-Calculator“ (Franzius-Institut 2004), wobei als Eingangsdaten die maximale Überflutungstiefe, das Vermögenspotential und Schadensfunktionen verschnitten werden. Bei diesem Verfahren erfolgt eine Zuordnung der für die einzelnen Nutzungstypen relevanten Vermögenswertkategorien und damit die Festlegung der anzuwendenden Schadensfunktion. In Abhängigkeit von der Einstauhöhe wird der Grad der Schädigung anhand von Schadensfunktionen ermittelt. Der Schaden ergibt sich anschließend aus dem Produkt des Schädigungsgrads und den Vermögenswerten.

Überflutet werden hauptsächlich die Grünlandflächen (82 % der Fläche). Industrieflächen sind mit 109,5 ha zu 13 % betroffen. Die resultierenden Schadenshöhen stellt Abb. 7 dar.

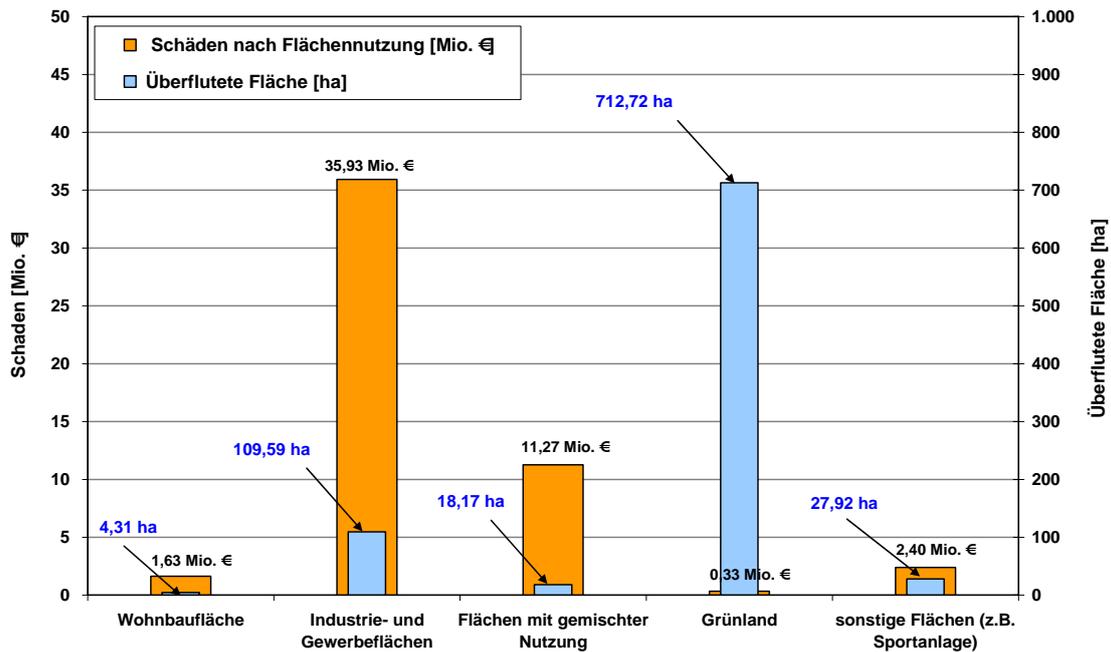


Abb. 7: Flächenanteil und Schaden nach Deichbruch im Bereich Werderland beim Szenario 16 (Spekker 2008)

Anhand der Versagenswahrscheinlichkeiten des Schutzelements Deich und des ermittelten zu erwartenden Schadens aufgrund Überflutung beim betrachteten Deichbruchszenario wurde das Risiko probabilistisch für das Gebiet Werderland bestimmt. Das Risiko berechnet sich bei einer Versagenswahrscheinlichkeit von $1/6.150$ [$1/a$] und einem resultierenden Schaden infolge des Versagens in Höhe von 51,56 Mio. € wie folgt:

$$\text{Risiko} = 1/6.150 [1/a] * 51,56 \text{ Mio. €} = 8.384 \text{ €/Jahr.}$$

Das Risiko für das betrachtete Gebiet ist damit vergleichsweise gering. Im Folgenden soll geprüft werden, inwieweit Risikosteuerungsmaßnahmen einen Beitrag zur Verringerung des Risikos leisten können.

4.3 Steuerung und Management von Schutzelementen

4.3.1 Simulierte Steuerungsmaßnahmen

Es werden als potentielle Küstenschutzstrategien Flutraumerweiterungen durch eine geänderte Steuerung der Sturmflutsperrwerke sowie durch gesteuerte Sturmflutentlastungspolder betrachtet (Tab. 3). Für folgende betrachtete Maßnahmen werden die Ergebnisse beschrieben.

Tab. 3: Betrachtete Maßnahmen zur Flutraumerweiterung/Risikosteuerung

Variante 0	Ausgangszustand / keine Flutraumänderung
Variante 3	Flutraumerweiterung durch geänderte Sperrwerkssteuerung (1,0 m höhere Kontrollwasserstände und verzögerte Öffnung)
Variante 7	Flutraumerweiterung durch Polder (Verbundbewirtschaftung der Polder A, B und C und Breite der Einlaufbauwerke 200 m)
Variante 9	Flutraumerweiterung durch geänderte Sperrwerkssteuerung (Ausfall der Steuerung, Verschlussstore offen)

Für die (Risiko-)Steuerungsvarianten wird das Szenario 16 (UMR: Thw_{100} und OMR: HQ_{100}) als maßgeblicher Lastfall betrachtet. Für Aussagen zur Wirksamkeit der Flutraumerweiterung bei Lastfällen mit geringerem Wiederkehrintervall erfolgen weitergehende Simulationen mit dem Szenario 6 (UMR: Thw_{10} und OMR: HQ_{10}). Ziel ist eine Entlastung der vorhandenen Küstenschutzelemente bei Sturmfluten durch eine Kappung der Scheitelwasserstände. Die Steuerung der Sturmflutsperrwerke erfolgt grundsätzlich in Abhängigkeit von erreichten Tidehochwasserständen an unterstrom gelegenen Kontrollpunkten. Bei der Flutraumerweiterung durch geänderte Sperrwerkssteuerung wird angenommen, dass vom gültigen Betriebsplan abgewichen wird und die Sperrwerkstore bei Erreichen von höherliegenden Kontrollwasserständen geschlossen sind. Die definierten Kontrollwasserstände sind in Tab. 4 zusammengefasst. Zur Abminderung der Wasserstandserhöhungen in der Weser wird anhand Variante 3 („optimierte“ Steuerung) geprüft, ob eine verzögerte Öffnung der Tore zweckmäßig ist.

Tab. 4: Kontrollwasserstände bei einer Flutraumerweiterung durch Sperrwerkssteuerung

Steuerungsmaßnahme	Huntesperrwerk	Lesumsperrwerk	Ochtumsperrwerk
Variante 0: keine Flutraumänderung	Thw = 2,9 mNN	Thw = 2,7 mNN	Thw = 2,8 mNN
Variante 3: „optimierte“ Steuerung	Thw = 3,9 mNN / Thw = 2,9 mNN	Thw = 3,7 mNN / Thw = 2,7 mNN	Thw = 3,8 mNN / Thw = 2,8 mNN

Eine Flutraumerweiterung durch Entlastungspolder bzw. eine gesteuerte Deichöffnung setzt dann ein, wenn Tidewasserstände von $Thw > 3,5$ mNN in der Unterweser im Bereich des jeweiligen Zulaufgerinnes erreicht werden. Im Gegensatz zum tidefreien Fluss, bei welchem in der Regel nur eine lang anhaltende Hochwasserwelle abläuft, besteht in Tideflüssen die Möglichkeit, dass während langanhaltender Sturmfluten erhöhte Wasserstände begrenzter Dauer (< 6 h) in nahezu gleicher Größenordnung in kurzen zeitlichen Abständen (Tideperiode) auftreten, sogenannte Kettentiden. Bei der Flutraumerweiterung durch Polder wird daher untersucht, ob die betrachteten Fluträume bei aufeinanderfolgenden extremen Tidehochwasserständen wirksam sind.

4.3.2 Flutraumerweiterung durch geänderte Sperrwerkssteuerung

Abb. 8 zeigt die Wasserstandsänderungen entlang der Unterweser bei Variante 3 („optimierte“ Steuerung) und dem Szenario 6 (UMR: Thw_{10} und OMR: HQ_{10}). Dieses Szenario ($Thw_{10} = 4,56$ mNN) entspricht nahezu dem zur Kalibrierung herangezogenen Sturmflutereignis von 1999 ($Thw_{1999} = 4,47$ mNN).

Bei geringeren Wiederkehrzeiten werden leicht erhöhte Wasserstandsänderungen bzw. Absenkungen erreicht. Aufgetragen ist das Verhältnis des Wasserstands bei Flutraumerweiterung zum Wasserstand im Ausgangszustand. Die Wasserstände im Sturmflutscheitel betragen im Bereich der Sperrwerke rund das 0,99-fache von denen im Ausgangszustand. In blau sind die Absenkungen für den Fall, dass die Sperrwerke während des Sturmflutscheitels bei diesem Szenario nicht schließen (Variante 9), dargestellt. Es ergeben sich deutliche Absenkungen, welche im Stadtgebiet von Bremen und im Bereich Werderland rund 24 cm betragen, was etwa dem 0,95-fachen Wert, bezogen auf die lokalen Ausgangswasserstände, entspricht.

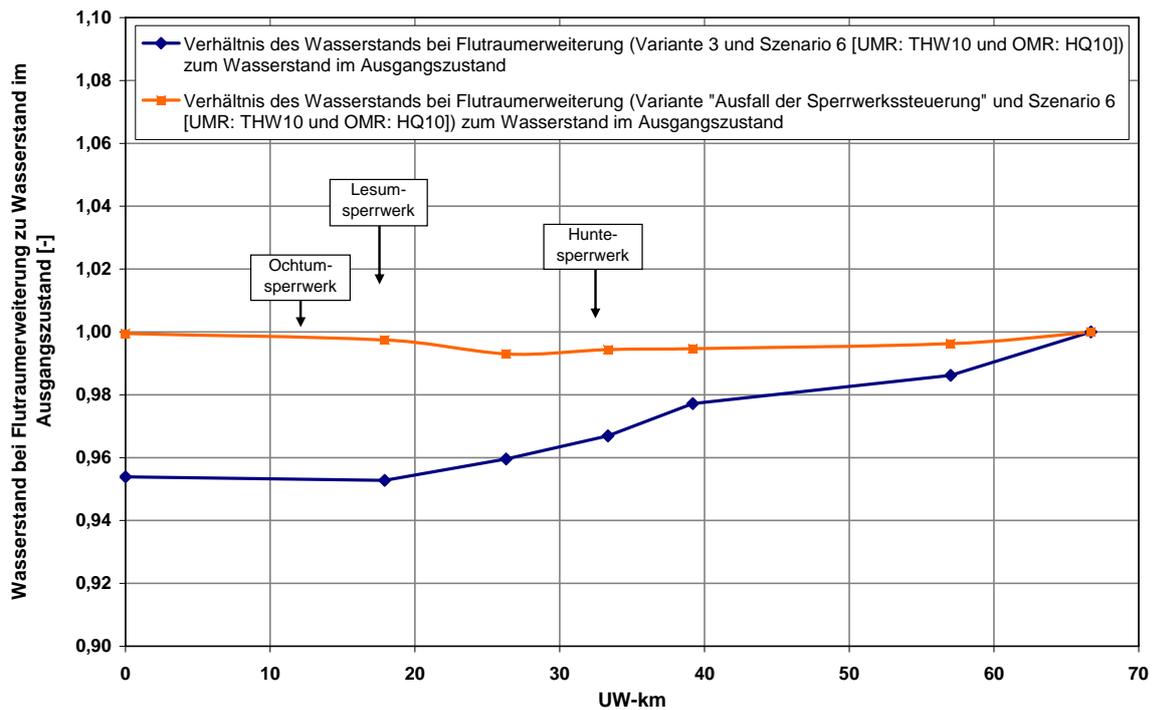


Abb. 8: Verhältnis des Wasserstands bei einer Flutraumerweiterung durch geänderte Sperrwerkssteuerung (Variante 3) sowie beim Lastfall „Ausfall der Sperrwerkssteuerung“ (Variante 9) zum Wasserstand im Ausgangszustand bei Einsteuerung eines Thw₁₀ (Spekker 2008)

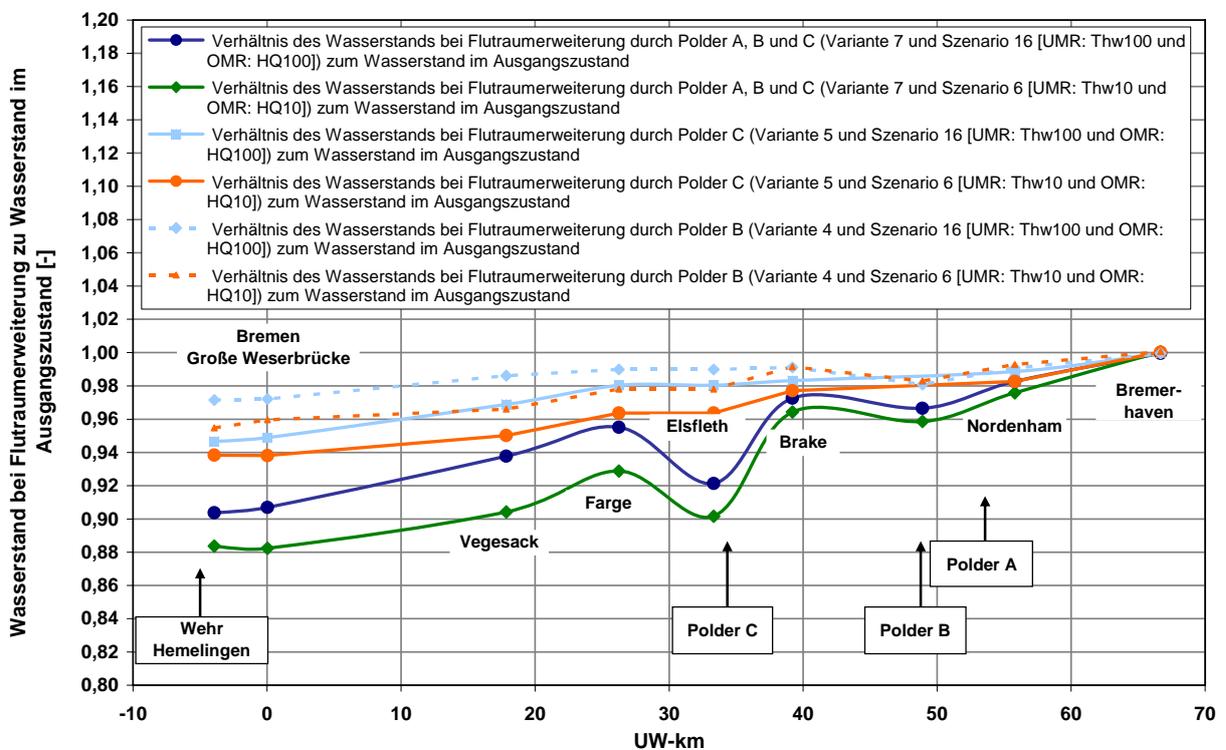


Abb. 9: Verhältnis des Wasserstands bei einer Flutraumerweiterung durch Polder A, B bzw. C (Variante 7) zum Wasserstand im Ausgangszustand (H/H₀) bei Einsteuerung eines Thw₁₀₀ bzw. Thw₁₀ am unteren Modellrand (Spekker 2008)

4.3.3 Flutraumerweiterung durch Sturmflutentlastungspolder

Flutraumerweiterung durch Entlastungspolder A, B und C

Die Auswirkungen einer Verbundbewirtschaftung der Sturmflutentlastungspolder (Variante 7) auf die Tidewasserstände entlang der Unterweser sind in Abb. 9 dargestellt. Dabei werden bei Darstellung von Längsschnitten jeweils die Auswirkungen im Sturmflutscheitel betrachtet.

Die Wasserstände im Sturmflutscheitel betragen im Stadtgebiet von Bremen beim Szenario 16 (UMR: Thw₁₀₀ und OMR: HQ₁₀₀) und bei einer Flutung der Polder A, B und C (Variante 7) rund das 0,91-fache von denen im Ausgangszustand (Absenkung von bis zu 64 cm).

Entlang der Unterweser ergeben sich Verhältnisse des Scheitelwasserstands bei Flutraumerweiterung zum Scheitelwasserstand ohne Maßnahme zwischen 0,90 (-62 cm) am Pegel Weserwehr und 0,98 (-9 cm) am Pegel Nordenham (Abb. 9). Daraus lässt sich schließen, dass sich die maximalen Absenkungen oberstrom der Zulaufgerinne mit der einlaufenden Tidewelle fortsetzen. Zum Vergleich sind die Wasserstandsänderungen bei Einzelbewirtschaftung der Polder B und C dargestellt.

Flutungs- und Entleerungsverlauf in den Entlastungspoldern A, B und C (Variante 7)

Abb. 10 zeigt die Wasserspiegellage im Entlastungspolder C sowie die Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen während des Füllvorgangs rund 2 Stunden nach Beginn der Flutung bei der Vortide. Die Höhe der Wasserstände sinkt von rund 2,7 mNN im Bereich des Einlaufbauwerks auf unter 0 mNN ab.

Der Flutungsprozess ist von der Geländegeometrie abhängig und setzt zunächst in tiefergelegenen Rinnen und Geländemulden ein. In Polder C wird die Ausbreitung durch erhöhte Flächen teilweise verhindert bzw. verzögert. Die Strömungsgeschwindigkeiten betragen zu diesem Zeitpunkt in Poldermitte zwischen 0,85 m/s und 0,95 m/s und im Bereich des Zulaufgerinnes bis zu 2,5 m/s.

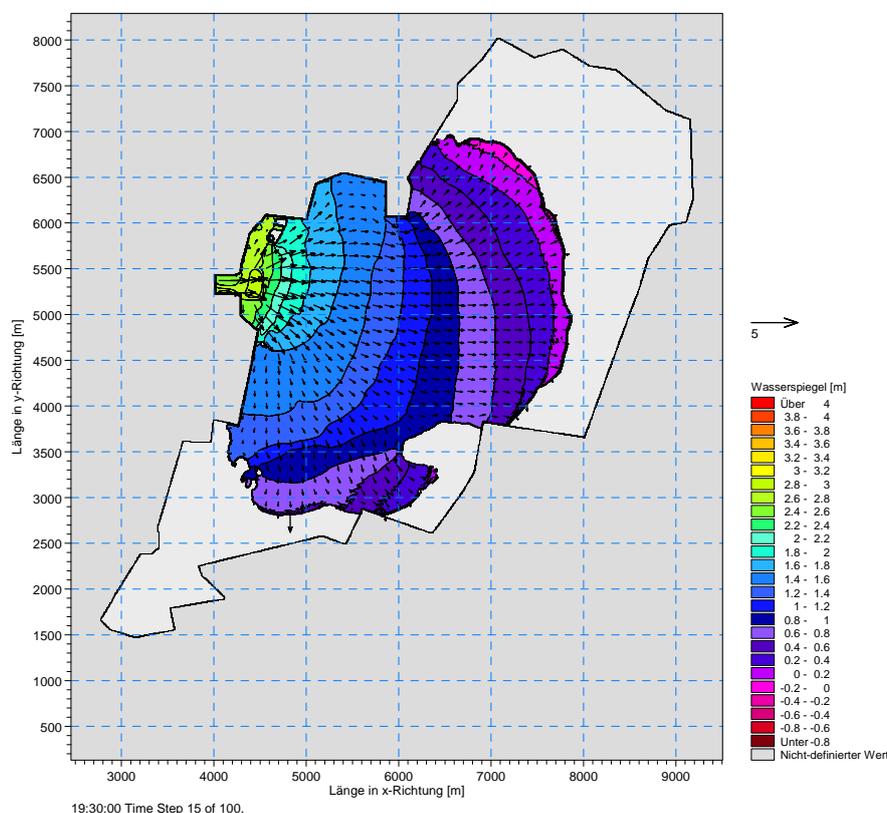


Abb. 10: Wasserspiegelloberfläche und Strömungsverhältnisse während der Flutung des Entlastungspolders C (rund 2 Stunden nach Flutungsbeginn; Spekker 2008)

Tab. 5 bilanziert die in die Polder strömenden Wassermengen und gibt den sich jeweils ergebenden maximalen Wasserspiegel an. Das Tidevolumen beträgt beim Szenario 16 während der Vortide rund 259,1 Mio. m³, während der Haupttide rund 388,1 Mio. m³ und während der Nachtide rund 163,0 Mio. m³.

Tab. 5: Wasserstände in den Entlastungspoldern A, B und C (Variante 8) im Verlauf der Kettentide und Zuflussmengen beim Szenario 16 (UMR: Thw₁₀₀ und OMR: HQ₁₀₀)

	Zufluss (Vortide) [Mio. m ³]	Zufluss (Sturmflut- tide) [Mio. m ³]	maximaler Wasserstand [mNN]	Rückfluss (nach Sturm- fluttide) [Mio. m ³]	Zufluss (Nachtide) [Mio. m ³]	Wasserstand (nach Nachtide) [mNN]
Polder A	13,3	30,9	4,80	-23,7	10,5	3,38
Polder B	38,9	68,5	4,85	-59,5	31,4	3,42
Polder C	39,1	62,3	4,90	-53,8	30,2	3,67
Summe	91,3	161,7	--	-137,4	72,1	--

Bei Erreichen des MTnw (rund 1,5 Tage nach dem Sturmflutscheitel) befinden sich noch rund 13,0 Mio. m³ (Polder A), 21,3 Mio. m³ (Polder B) und 25,3 Mio. m³ (Polder C) in den Fluträumen bei Wasserständen von 1,60 mNN im Polder A, 0,98 mNN im Polder B sowie 1,35 mNN im Polder C.

4.3.4 Ergebnisse der Steuerungsmaßnahmen

Zur Analyse der Wirksamkeit gesteuerter Schutzelemente wurden die resultierenden Tidewasserstände bei geänderter Sperrwerkssteuerung sowie bei Einzelbewirtschaftung und bei Verbundbewirtschaftung von Sturmflutentlastungspoldern im Bereich der Unterweser ermittelt. Tab. 6 fasst die maximalen Wasserstandsänderungen im Sturmflutscheitel zusammen.

Bei einer Flutraumerweiterung durch ausreichend dimensionierte Entlastungspolder können die Sturmflutscheitel im Gegensatz zu einer Flutraumerweiterung durch eine geänderte Sperrwerkssteuerung merklich gekappt werden, insbesondere im Stadtgebiet von Bremen.

Tab. 6: Relative und absolute Wasserstandsänderungen im Sturmflutscheitel bei Maßnahmen zur Flutraumerweiterung bzw. Risikosteuerung

	Wasserstandsänderung bei Szenario 16 (UMR: Thw ₁₀₀ und OMR: HQ ₁₀₀)		Wasserstandsänderung bei Szenario 6 (UMR: Thw ₁₀ und OMR: HQ ₁₀)	
	H/H ₀ [-]	absolut [cm]	H/H ₀ [-]	absolut [cm]
Variante 3: Sperrwerk: "optimierte" Steuerung	0,994	-1,9	0,993	-3,4
Variante 7: Polder A, B und C	0,9	-64	0,88	-67
Variante 9: Ausfall der Sperrwerkssteuerung	--	--	0,95	-24,1

Für das Unterweserästuar zeigt eine Verbundbewirtschaftung der Polder eine hohe Wirksamkeit. Auch die Scheitel des Tidehochwassers im Anschluss an den Sturmflutscheitel können entlang des oberen Weserästuars um rund das 0,9-fache der Ausgangswerte gesenkt werden. Bei Kettentiden ist die

grundsätzliche Wirksamkeit von Sturmflutentlastungspoldern damit gegeben. Es zeigte sich, dass bei Kettentiden rund die Hälfte des in den Fluträumen gespeicherten Wassers in Tideniedrigphasen wieder abgeschlagen werden muss, um bei folgenden extremen Tidewasserständen erneut eine signifikante Kappung der Scheitel erzielen zu können.

Es konnte nachgewiesen werden, dass ausreichend dimensionierte und topographisch vorteilhaft gelegene Sturmflutentlastungspolder in ihrer Wirkung eine Alternative zu einer Deicherhöhung darstellen können. Eine merkliche Beeinflussung der Sturmflutscheitelwasserstände erfolgt nur dann, wenn aus dem Tidefluss sehr große Wassermengen abgeschlagen und zwischengespeichert werden, was sich auch bei vergangenen Deichbrüchen während Sturmfluten im Bereich der Tideästuare zeigte.

Eine geänderte Sperrwerkssteuerung (kürzere Schließzeiten) unter Ausnutzung des oberhalb liegenden Retentionsraums führt zu minimalen Wasserstandsänderungen im Sturmflutscheitel und ist für das Unterweserästuar als Risikosteuerungsmaßnahme nicht geeignet. Mit dem gewählten Modellverfahren können die Berechnungen in Echtzeit erfolgen, so dass ein Einsatz nicht nur zu Planungszwecken, sondern auch operationell erfolgen kann

4.4 Risikominderung am Beispiel Werderland

Die sich durch die Risikosteuerungsmaßnahmen ergebenden neuen Randbedingungen im Unterweserästuar werden für eine erneute Simulation des Überflutungsvorgangs nach Deichversagen im Bereich des Werderlands angesetzt, um die sich möglicherweise ergebenden verringerten Schadenshöhen zu bestimmen. Da sich bei einer Flutraumerweiterung durch Kombination der Risikosteuerungsmaßnahmen keine bedeutenden Änderungen im Vergleich zur Flutraumerweiterung durch Entlastungspolder ergeben haben, wird die Variante 7 (Verbundbewirtschaftung der Polder A, B und C) für die Simulation herangezogen. Abb. 11 zeigt die resultierenden neuen Überflutungsflächen sowie die, bezogen auf die Fläche, neu berechneten Schadenshöhen.

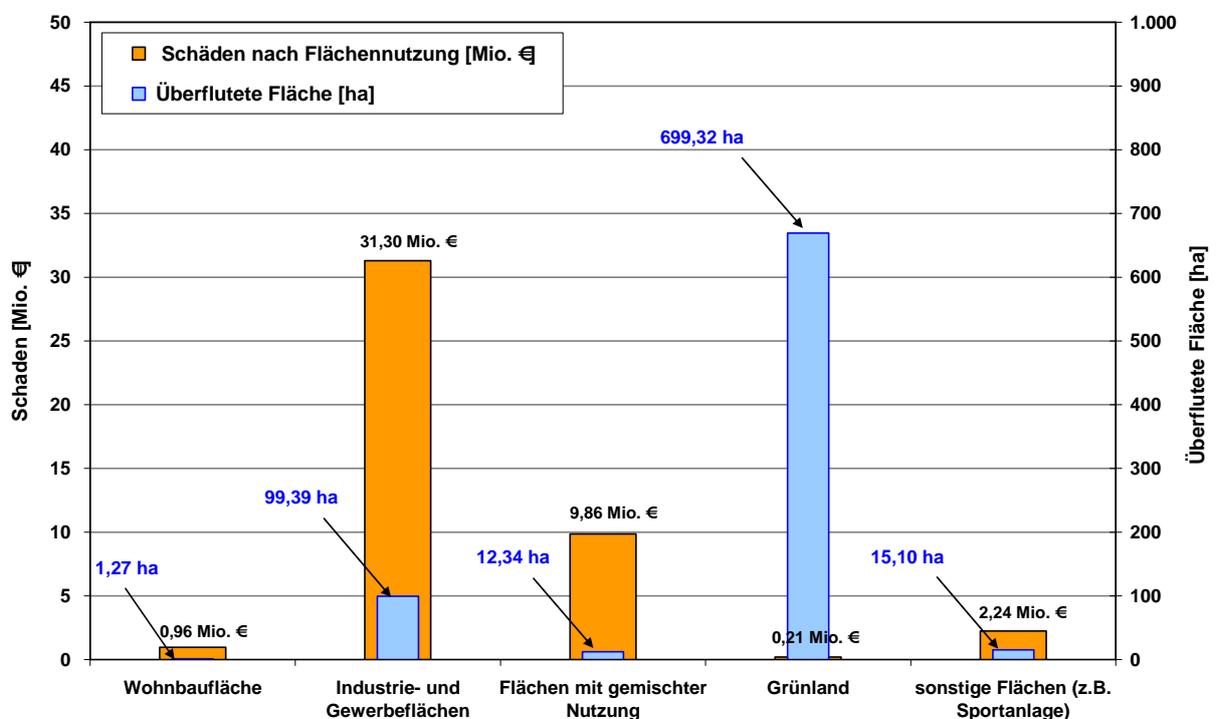


Abb. 11: Flächenanteil und Schaden aufgrund des Deichbruchszenarios im Bereich Werderland bei Szenario 16 und unter Berücksichtigung der Flutraumerweiterung durch Entlastungspolder A, B und C (Spekker 2008)

Durch die Minderung der Wasserstände in der Unterweser aufgrund einer Flutraumerweiterung durch Sturmflutentlastungspolder (Variante 7) werden die Überflutungsflächen in der Fokusfläche Werderland von 872 ha auf 797 ha vermindert. Der Schaden verringert sich von 51,56 Mio. € auf 47,0 Mio. € und das Risiko ergibt sich wie folgt:

$$\text{Risiko} = 1/6.150 [1/a] * 47,0 \text{ Mio. €} = 7.642 \text{ €/Jahr.}$$

Abb. 12 zeigt die jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit der Wasserstände (schwarze Kurve) am Pegel Bremen (Große Weserbrücke) und die durch die untersuchten (Risiko-)Steuerungsmaßnahmen erzielten Minderungen des Wasserstands. Betrachtet werden die simulierten Scheitelwasserstände in Abhängigkeit der Hochwasser- und Sturmflutszenarien.

Während der Sturmflutscheitel in Bremen bei Szenario 16 (UMR: Thw_{100} und OMR: HQ_{100}) im Ausgangszustand noch oberhalb der Höhe einiger Abschnitte im Schutzsystem liegt, ergibt sich durch eine Flutraumerweiterung durch Sturmflutentlastungspolder eine deutliche Minderung der Scheitelwasserstände. Dies führt zu geringeren Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Versagens der Schutzelemente und damit des Risikos insbesondere im Stadtgebiet von Bremen.

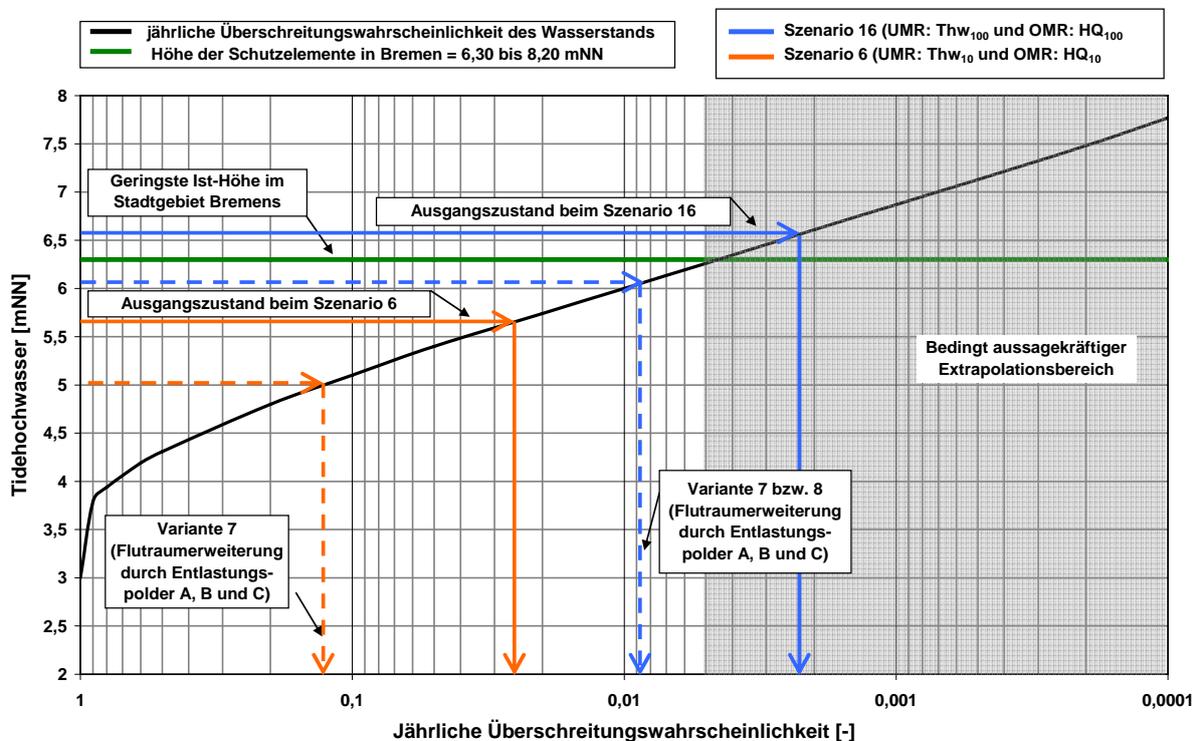


Abb. 12: Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit des Wasserstands am Pegel Bremen (Große Weserbrücke) und Darstellung der Minderung der Wasserstände aufgrund einer Flutraumerweiterung durch Polder A, B und C (Spekker 2008)

5 Zusammenfassung

Im Rahmen der Arbeit wurden Methoden zur Risikominderung in tidebeeinflussten Flüssen durch gesteuerte Hochwasser- bzw. Küstenschutzbauwerke untersucht. Als vorsorgende und nachhaltige neue Küstenschutzstrategien wurden der Anschluss von Sturmflutentlastungspoldern und eine geänderte Steuerung von Sturmflutsperrwerken betrachtet. Für das weit verzweigte, tidebeeinflusste Gewässernetz der Unterweser liegt hiermit erstmals ein gekoppeltes, instationär betriebenes Modell unter Berücksichtigung iterativer Steuerungen regel- bzw. steuerbarer Schutzelemente vor, mit welchen Aussagen zu den betrachteten Risikominderungsmaßnahmen möglich sind.

Für das im Stadtgebiet von Bremen gelegene Gebiet Werderland wurden die Versagensfolgen aufgrund definierter Deichbruchszenarien mit einer instationären, zweidimensionalen Überflutungsschadensberechnung sowie Nutzungsanalyse der von Überflutung betroffenen Flächen berechnet und mit der Versagenswahrscheinlichkeit im Rahmen einer probabilistischen Risikoanalyse zum Risiko zusammengefasst. Um die Effektivität der Steuerungsmaßnahmen beurteilen bzw. bewerten zu können, wurden Hochwasser- und Sturmflutszenarien mit unterschiedlichen Wiederkehrintervallen, insbesondere extremen und damit seltenen Ereignissen (z. B. $T = 100$ Jahre), betrachtet. Zusammengefasst können die in dieser Arbeit untersuchten Fragen wie folgt beantwortet werden:

- Für die Unterweser lassen sich die Scheitelwasserstände durch den Anschluss von Sturmflutentlastungspoldern auch für extreme Szenarien (Zusammentreffen einer Hochwasser- und Sturmflutwelle mit einem Wiederkehrintervall von jeweils 100 Jahren) um rund 10 % im Stadtgebiet von Bremen verringern. Eine Einzelbewirtschaftung führt je nach Lokation der Entlastungsmaßnahmen maximal zu 5 % geringeren Scheitelwasserständen, während eine Änderung der Sperrwerkssteuerungen die Scheitelwasserstände nur um maximal 1 % beeinflusst. Der Einfluss einer geänderten Sperrwerkssteuerung ist bei extremen Szenarien begrenzt bzw. ohne Nutzen. Darüber hinaus zeigt sich, dass Sturmflutentlastungspolder auch bei Kettentiden eine vergleichbare Wirksamkeit aufweisen.
- Die erstellten gekoppelten, hydrodynamisch-numerischen Modelle ermöglichen bei hoher räumlicher Auflösung eine modellgestützte und iterative Steuerung von bestehenden und potentiellen Küstenschutzelementen wie Entlastungspolder und Sperrwerke. Eine aufeinander abgestimmte, iterative Steuerung anhand von Kontrollwasserständen ist effektiv und notwendig.
- Die Modelle sind sowohl für Planungen als auch operationell unter Berücksichtigung adaptiver Steuerungen der Fluträume einsetzbar, das heißt auch eine Echtzeitsteuerung im Sturmflut- bzw. Hochwasserfall ist möglich. Damit steht ein Werkzeug zur Analyse von technischen Risikominderungsmethoden als Basis für einen gesellschaftlichen Diskurs über den Umgang mit den Folgen von Extremhochwasser zur Verfügung.

Das Risiko im Bereich des an der Unterweser betrachteten, zumeist landwirtschaftlich aber auch industriell genutzten Gebiets Werderland ist aktuell mit rund 8.400 €/Jahr gering. Die monetär bewertbaren Schäden bei Deichbruchversagen sind in diesem Gebiet überschaubar. Durch die Steuerungsmaßnahmen ergab sich eine Minderung des Risikos bei gleichem Deichbruchszenario um rund 9 %. Eine Bewertung für das gesamte Stadtgebiet von Bremen mit deutlich höherem Risikopotential steht aus.

Eine Steigerung des Bewusstseins der Bevölkerung vor dem bestehenden Restrisiko trotz Hochwasserschutzmaßnahmen durch vermehrte und angepasste Kommunikation der verbleibenden Risiken bleibt essentiell. Dazu stehen anhand der hier dargestellten Vorgehensweisen unter Anwendung der Modelltechnik zur Bestimmung des Risikos und der Auswirkungen von Risikominderungsmaßnahmen wesentliche Grundlagen aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht bereit.

Literatur

- CUR – Centre for Civil Engineering Research and Codes (1990): Probabilistic design of flood defences. CUR Report, 141. TAW, Gouda.
- Franzius-Institut (2007): Integriertes Hochwasserrisikomanagement in einer individualisierten Gesellschaft (INNIG). BMBF-Teilprojekt 1. Risikoanalyse und -steuerung. Schlussbericht. Hannover.
- Plate, E.J. & L. Duckstein (1988): Reliability based Design Concepts in Hydraulic Engineering. In: Water Resources Bulletin 24: 234-245.
- Spekker, H. (2008): Steuerung von Küstenschutzelementen an Tideflüssen als Grundlage für ein Hochwasser- und Risikomanagement. Dissertation. Mitteilungen des Franzius-Instituts der Leibniz Universität Hannover, Heft 96.

Hinweis und Danksagung

Die Arbeit wurde im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Leibniz Universität Hannover erstellt. Allen Mittelgebern (u.a. BMBF, DAAD) und Unterstützern sei an dieser Stelle gedankt.

Adresse

Dr.-Ing. Heiko Spekker
INROS LACKNER AG
Lindenstrasse 1A
28755 Bremen, Germany

Heiko.Spekker@inros-lackner.de



Sturmhochwasser an der Ostseeküste – Wahrnehmung eines Naturrisikos

Jana Koerth

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Germany

Abstract

Coastal flooding at the Baltic Sea coast – perception of a risk.

The coast of the Baltic Sea in Schleswig-Holstein is a coastline which is partially protected by anti-flooding structures: Lowlands are protected by dykes whereas urban centres along the coast are more vulnerable to large floods. The combination and interdependence of various factors determine the intensity of such an event. Thus, storm floods rarely occur in the semi-enclosed Baltic Sea. The last storm flood with disastrous effects took place more than 130 years ago.

The perception of risk is a matter of how to define risk. From a natural scientific and technological point of view, risk is the product of the extent of damages and the probability of occurrence - or other measurable variables. Socio-scientists, however, consider risk as a social construction: People devise risks intuitively and in different ways. That is the reason why a phenomenon becomes a risk because of some other factors from a layman's point of view. Some decisive questions are, can you take the risk voluntarily, can you control it yourself, or are you personally affected? Findings of social psychologists showed a high correlation between the terribleness of and the knowledge about risks and the perception of the whole risk above all. This study, which is also based on factors of the psychometric risk analysis, deals with the following questions:

How do coastal dwellers, i. e. those who are potentially involved in case of a flooding event, perceive storm floods at the Baltic Sea? Are protective measures against flooding along the coast of any importance in terms of their perception of risk? What are the differences and parallels with regard to coastal dwellers' (i. e. laymen's) and experts' risk perception?

Methodically, a comparison was made by questioning both groups, risk area residents and experts, with the same variables. Due to the different definitions of risk in risk analysis, this comparison has generally proved to be problematic.

The collection of variables was aggregated to a risk index. Special questionnaires with mainly close-type questions were asked. Coastal dwellers as risk area residents (n = 60) were questioned in person in two locations, the area of the Probstei with protective measures against flooding, and the city of Flensburg without any. The experts (n = 60), who deal professionally with storm floods at the Baltic Sea, were questioned through electronic medium.

The results of the study can be summarized as follows: Risk area residents are rather ambiguous in their perception of coastal flood risk. It is neither considered great nor insignificant. In general, existing protective measures imply risk. When there are protective measures against flooding, the probability of occurrence, one's own involvement, one's own fear and one's own knowledge are regarded as considerably high. Experts and coastal dwellers have a similar assessment of risk. The experts have more ideas than risk area residents which measures could be taken by those who might be personally affected.

The results of the study reveal that the perception of the risk of coastal flooding at the Baltic Sea is related to external parameters such as existing or non-existing protective measures. That should be taken into account when communicating about risk. The result on a methodic level, i. e. the operationalizability of a comparison of laymen's and experts' perception of risk, can generally help to improve communication about risk and, thus, risk management.

1 Hintergrund und Motivation

Sozialwissenschaftliche Risikoforschung

Die sozialwissenschaftliche Risikoforschung existiert seit Mitte der 1970er (Fischhoff 1978). Man beschäftigte sich neben “man-made risks”, also anthropogen hergestellten Risiken wie Rauchen, dem Konsum gentechnisch veränderter Lebensmittel oder dem Umgang mit radioaktivem Müll (zum Umgang mit radioaktivem Müll: Sjöberg 2004), auch mit natürlichen Risiken: Leben am Rande von Vulkanen, in Erdbebengebieten oder in Überschwemmungsgebieten von Flusshochwassern (zu Feuer, Erbeben und vulkanischen Aktivitäten: Perry & Lindell 2008, zu Küsten- und Flusshochwasser: Terpstra et al. 2005). Zwei wesentliche Erkenntnisse dienen der Untersuchung der Wahrnehmung eines Risikos als Grundlage:

Gefahr ist nicht gleich Risiko. Gemäß der Luhmann’schen Definition wird eine Gefahr dann zum Risiko, wenn Menschen Entscheidungsfreiheit besitzen: Sie müssen nicht zwangsläufig ein Grundstück in einer Flussaue bebauen. Sie tun es trotzdem, etwa weil die Aussicht schön ist. Die Gefahr einer Überschwemmung wird für den Bewohner zum Risiko (Luhmann 1991).

Risiko ist eine Frage der Perspektive. Während Naturwissenschaftler Risiko durch objektiv messbare Variablen beschreiben, ist Risiko aus sozialwissenschaftlicher Perspektive mehr als Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß (nach der Definition: Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit x Schadensausmaß). „Risk is inherently subjective. Risk does not exist ‘out there’, independent of our minds and cultures, waiting to be measured”, stellt Slovic (2001: 19), einer der Begründer der psychometrischen Risikoforschung, fest. Sozialwissenschaftler betonen, dass für Menschen ein Phänomen durch weitere Merkmale zu einem Risiko wird: Dazu gehört beispielsweise, ob sie das Risiko freiwillig eingehen, ob sie persönlich betroffen sind oder ob sie einen Nutzen haben (Fischhoff et al. 1978, Krimsky & Golding 1992, Slovic 2001, Zwick & Renn 2008). Andere Faktoren, wie persönliche Erfahrung bzw. Erinnerung, beeinflussen die Wahrnehmung von Risiken ebenso (Hellbrück & Fischer 1999).

Dies begründet unter anderem die Tatsache, dass Experten ein Risiko oft anders bewerten als Laien (Perry & Lindell 2008). Die neuere Diskussion um die Einlagerung von CO₂ in Schleswig-Holstein macht dies deutlich.

Sturmhochwasser an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins

Das Binnenmeer Ostsee hat bezüglich der Sturmfluttätigkeit kaum eigene Tide und besitzt daher grundsätzlich andere Eigenschaften als das Randmeer Nordsee. Verschiedene Parameter spielen eine Rolle dabei, wie hoch ein Sturmhochwasser ausfällt. So hängt die Höhe der Wasserstände unter anderem vom vorherigen Verfüllungsgrad der Ostsee, den Windverhältnissen und Eigenschwingungen der Wassermassen ab und drückt sich schließlich in längeren Verweilzeiten aus als an der Nordsee (MLR 2001, Müller-Navarra & Bork 2008). Dies sind auch Gründe dafür, dass küstenüberflutende Ereignisse hier nicht als Sturmflut, sondern als Sturmhochwasser bezeichnet werden, was allerdings nicht einheitlich geschieht.

Durch das bewegte Relief sind die niedrig gelegenen Gebiete an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins vergleichsweise klein. Nach dem Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (MLR 2001) stellt die Höhenlinie von 3 m über NN die Reichweite potentieller Überschwemmungen durch Sturmhochwasser dar, sofern diese Areale nicht durch entsprechende Schutzmaßnahmen gesichert sind. Die Gebiete bis 3 m über NN sind insgesamt 318 km² groß. In den Niederungsgebieten wie der Probstei finden sich Deiche. 2008 waren diese insgesamt 117 km lang (Hofstede 2008). Die urbanen Zentren, die sich sowohl durch eine höhere Werte- als auch eine höhere Einwohnerkonzentration auszeichnen, sind nicht im vollen Umfang durch Hochwasserschutzmaßnahmen vor Sturmhochwassern geschützt (Hofstede 2008, Hofstede & Hamann 2000).

Extreme Sturmhochwasser an der Ostseeküste haben eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit (MLR 2001). In den letzten Jahren (also in einem wahrnehmbaren Zeitraum) haben sich zwar Sturmhochwasser ereignet, die hohe Schäden an Infrastruktur und privatem Besitz verursachten, wie beispielsweise 1995, es hat jedoch keine Todesfälle gegeben. Das letzte extreme Sturmhochwasser und gleichzeitig die höchste gemessene Flut ereignete sich 1872 und wurde für die Küstenbewohner zum folgenschwersten in der Geschichte an der dänischen und deutschen Ostseeküste. Zum Vergleich lag der Hochwasserstand 1995 in Warnemünde bei 1,95 m über NN, während 1872 hier 3,20 m über NN gemessen wurde. 271 Menschen starben, über 2.800 Gebäude wurden zerstört, 15.000 Menschen wurden obdachlos (Ejldorf 2002, Kiecksee 1978). Daraufhin wurden bestehende Deiche erhöht oder an anderer Stelle neu errichtet. Die Wasserstandshöhen von 1872 dienen heute der Bemessung von Küstenschutzanlagen (Rosenhagen & Bork 2008).

2 Fragestellungen

Im Sinne eines integrativen Risikomanagements, der Küstenschutzphilosophie in Schleswig-Holstein, benötigt man neben naturwissenschaftlich-technischen Risikoanalysen, die sich beispielsweise mit Eintrittswahrscheinlichkeiten auseinandersetzen, auch Kenntnis über Risikowahrnehmung, ein sozialwissenschaftlicher Forschungsbereich. Die Art der Risikowahrnehmung beeinflusst neben der Akzeptanz von Küstenschutz auch die Bereitschaft, persönliche Schutzmaßnahmen durchzuführen. In diesem Sinne hat sozialwissenschaftliche Risikoforschung eine wichtige prophylaktische Funktion.

Entsprechendes inhaltliches Ziel der Arbeit ist es zu erörtern, wie Naturrisiken, vor dem Hintergrund umweltpsychologischer Forschung, von Experten und Laien wahrgenommen werden. Die Wahrnehmung von Ostseesturmhochwassern ist ein konkretes Beispiel für ein Naturrisiko, das zwar eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit besitzt, aber dennoch existiert.

Folgende Fragestellungen stehen im Mittelpunkt:

1. Wie nehmen potentiell Betroffene das Risiko wahr? Für wie wahrscheinlich halten sie es? Wie beurteilen sie es hinsichtlich weiterer Risikomerkmale? Haben sie Angst vor einem sehr selten auftretenden Ereignis? Halten Küstenbewohner Anpassungsmaßnahmen für sinnvoll? Welche Maßnahmen haben sie bereits durchgeführt, um sich vor den Folgen von Ostseesturmhochwassern zu schützen?
2. Spielen Hochwasserschutzmaßnahmen für die Wahrnehmung von Küstenbewohnern eine Rolle? Gibt es einen Zusammenhang zwischen (nicht) vorhandenem Hochwasserschutz und Risikowahrnehmung?
3. Welche Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten gibt es zwischen potentiell Betroffenen und Experten hinsichtlich ihrer Risikowahrnehmung?

3 Untersuchung

3.1 Methode und Untersuchungsdesign

Für die Untersuchung der Wahrnehmung von Sturmhochwassern an der Ostsee wurde ein quantitativer Fragebogen mit meist geschlossenen Antwortformaten generiert. Die 28 Fragen beinhalteten sowohl Einschätzungen von Eigenschaften des Risikos aus naturwissenschaftlicher Sicht als auch Variablen aus sozialwissenschaftlicher Sicht sowie demographische Merkmale. So wurden die Befragten neben der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit auch nach der Einschätzung ihrer persönlichen Betroffenheit durch das Risiko oder der Schrecklichkeit des Risikos gebeten. Weiterhin sollten sie demographische Angaben wie Alter und Geschlecht sowie weitere Angaben über persönliche Erfahrungen und die Höhe ihrer Wohnung über NN machen.

Um die Wahrnehmung zu untersuchen, wurden Fragen zu folgenden Indikatoren entworfen. Einige Variablen stimmen mit Risikomerkmale der psychometrischen Risikoforschung (Fischhoff 1978, Slovic 2000) überein, weitere wurden hinzugefügt:

- Erinnerung
- Eintrittswahrscheinlichkeit/Wahrscheinlichkeitsschätzung
- Vergleich mit anderen Risiken (natürlich und man-made)
- Vergleich mit anderen Regionen
- Schrecklichkeit (3 Items)
- Bekanntheit (3 Items)
- persönliche Betroffenheit/Exposure
- (persönliche) Kontrollierbarkeit
- tatsächliche und geplante Anpassung
- Intensität der Emotionen/Angst
- Einschätzung des eigenen Wissens
- Ausblick in die Zukunft

Den Merkmalen Schrecklichkeit und Bekanntheit, der persönlichen Betroffenheit, den Emotionen und dem Wissen wurden je über ein Item bzw. drei Items auf einer Skala von 1 bis 5 die eigene Zustimmung bzw. Ablehnung zugeordnet bzw. ihre Ausprägung eingestuft.

Aus den erhobenen Risikovariablen auf Rohrmann'schen Skalen konnte ein gemeinsamer Risikoindex aggregiert werden, der sowohl Risikomerkmale aus Sicht der naturwissenschaftlichen Definition als auch sozialwissenschaftliche Risikovariablen beinhaltet. Die Bewertungen durch Küstenbewohner und Experten konnten mithilfe des Risikoindexes vergleichbar gemacht werden.

Es wurden zwei Teilbefragungen durchgeführt: Küstenbewohner wurden face-to-face befragt, Experten konnten die Fragen auf einem online gestellten Fragebogen beantworten. Als Küstenbewohner galten Menschen, die an der Küste in Gebäuden bis 3 m über NN, also in potentiell von Sturmhochwassern betroffenen Gebieten, leben oder arbeiten. Experten sind diejenigen, die sich beruflich mit dem Thema auseinandersetzen, beispielsweise in den jeweiligen Ämtern oder an Universitäten. Diese müssen nicht an der Küste leben, sind also nicht unbedingt persönlich betroffen. Um die Ergebnisse der beiden Teilbefragungen vergleichbar zu machen, wurden die gleichen Fragen in umformulierter Form gestellt, beispielsweise wurde die persönliche Anrede von Küstenbewohnern durch die dritte Person Plural bei der Expertenbefragung ersetzt. Fragen, die sich nicht transformieren ließen, wie beispielsweise die persönliche Kontrollierbarkeit, wurden aus dem Expertenfragebogen entfernt.

3.2 Untersuchungsgebiete

Die Befragungen von Küstenbewohnern wurden in zwei Untersuchungsgebieten durchgeführt. Eine Befragung fand in einer eingedeichten Niederung, die andere in einem urbanen Zentrum an der Ostseeküste statt.

Die Probstei liegt östlich von Kiel, Hauptort ist Schönberg. Hier liegen unter anderem die Küstenorte Kalifornien, Schönberger Strand und Holm, in denen eine touristische Nutzung dominiert. Die Niederung, in weiten Teilen 1-3 m über NN gelegen, wurde nach 1872 eingedeicht, mehrere Erhöhungen der Deiche haben bis heute stattgefunden.

Die Küstenstadt Flensburg liegt an der Spitze der Flensburger Förde an der Grenze zu Dänemark. Umgeben von steil ansteigenden Moränenzügen, ist nur ein räumlich kleiner Teil des Innen- und

Altstadtbereichs und des Hafens vulnerabel (Abb. 1). Die Grunddaseinsfunktionen konzentrieren sich hier. Es gibt keine Hochwasserschutzmaßnahmen in diesem Gebiet.

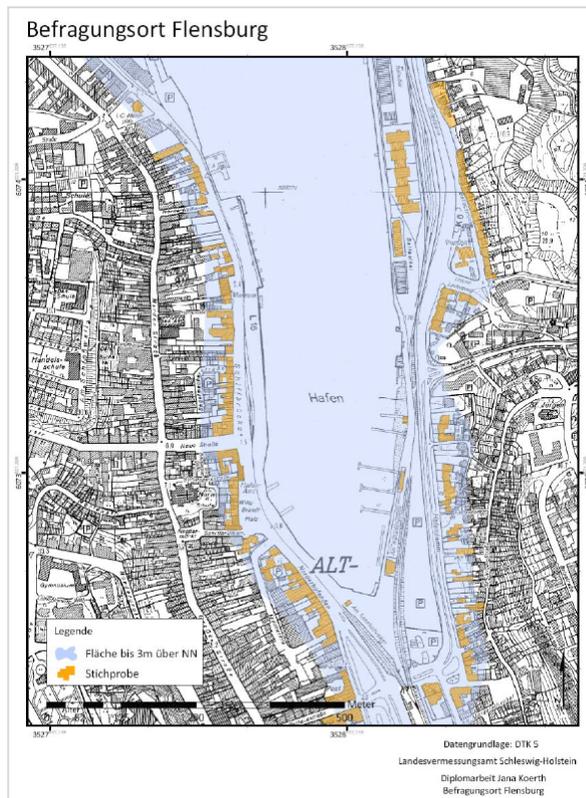


Abb. 1: Fläche bis 3 m über NN und Stichprobe im Befragungsort Flensburg

4 Ergebnisse

4.1 Die Stichproben

In der face-to-face-Befragung der Küstenbewohner wurden 60 Menschen befragt (Flensburg $n = 30$, Probstei $n = 30$). Die Küstenbewohner waren durchschnittlich 46,8 Jahre alt (bei einer Standardabweichung von 13,8 Jahren). 56,7 % sind weiblich, 43,3 % männlich. 56,7 % der Befragten antworteten zu Hause, 43,3 % befanden sich bei der Arbeit. 80 % der Befragten ($n = 48$) gaben eine Zahl an, als sie nach der Höhe ihrer Wohnung bzw. ihrer Arbeitsstätte über NN gefragt wurden, 13,3 % gaben an, dass sie dies nicht wüssten (der Rest machte keine Angabe). Im Durchschnitt lag die angegebene Höhe bei 1,51 m über NN.

Die Expertenbefragung wurde online ausgefüllt, nachdem die Experten eine Email mit der Bitte, an der Befragung teilzunehmen, empfangen hatten. Nachdem $n = 60$ Experten den Fragebogen ausgefüllt hatten, wurde die Online-Befragung beendet. Die Experten sind mit durchschnittlich 46,3 Jahren etwa gleich alt wie die Küstenbewohner, allerdings streut die Stichprobe weniger ($s = 9,1$). Der Männeranteil liegt mit 78,3 % deutlich höher als bei der Küstenbewohnerbefragung. Mit 62 % arbeitet der größte Teil der Experten im wissenschaftlichen Bereich.

4.2 Wahrnehmung durch Küstenbewohner

Werden die Risikovariablen (nur mit 5-stufigen Skalen) zu einem wahrgenommenen Gesamtrisiko aggregiert, ergibt sich ein Wert von 3,02 für das wahrgenommene Gesamtrisiko der Küstenbewohner. Abgesehen von dem methodischen Nachteil der Datenkomprimierung ist dieser Wert auf einer Risikoskala von 1 bis 5 ein mittlerer Wert. Offenbar sehen Küstenbewohner das Risiko Ostseesturmhochwasser insgesamt weder als besonders klein noch als besonders groß an.

65 % der befragten Küstenbewohner können sich an eine Sturmflut erinnern. Bei der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit vergeben die Küstenbewohner im Schnitt einen mittleren Wert. 81,7 % der Befragten glauben, dass Sturmfluten im Zuge des Klimawandels in Zukunft häufiger auftreten werden. Die Befragten geben mit dem Wert 2,3 an, dass ihr Wissen über Ostseesturmhochwasser eher klein ist. Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeitsangabe und Wissens einschätzung: Diejenigen, die die Eintrittswahrscheinlichkeit als hoch einschätzen, bewerten ihr eigenes Wissen als groß. Die Frage, ob sie sich ausreichend informiert fühlen, beantworten insgesamt 55 % der Befragten mit „Nein“. Vor allem die unter 55-jährigen fühlen sich unzureichend informiert.

Im Vergleich meinen 90 % der Befragten, dass Sturmfluten an der Nordseeküste wahrscheinlicher sind als Sturmhochwasser an der Ostseeküste. 46,7 % sehen an diesem Küstenstreifen eine höhere Vulnerabilität, während 45 % der Küstenbewohner die Ostseeküste als anfälliger einstufen. Die am häufigsten genannten Gründe für die größere Vulnerabilität der Nordseeküste sind Wind und Gezeiten, für die Ostseeküste sind es die nicht durchgängig vorhandenen Küstenschutzmaßnahmen und die geringe öffentliche Wahrnehmung bzw. das Unvorbereitetsein.

Zur persönlichen Betroffenheit geben die Küstenbewohner im Durchschnitt einen Wert von 3,62 auf einer Skala von 1 (gar nicht betroffen) bis 5 (sehr stark betroffen) an. Bei der Frage, ob man sich vor den Folgen eines Sturmhochwassers schützen könnte, sind sich die Bewohner uneinig: 48,3 % meinen, dass man selbst Schutzmaßnahmen einrichten könnte, 46,7 % glauben dies nicht. Allerdings haben nur 8,3 % der Befragten bereits Schutzmaßnahmen getroffen (darunter z. B. Einlagerung von Sandsäcken und Erhöhung beim Neubau des Wohngebäudes). Mit 78,3 % würde die Mehrheit keine Versicherung gegen Sturmhochwasserschäden abschließen.

Im Mittel geben die Küstenbewohner einen Wert von 2,1 für ihre negativen Emotionen an. Der größte Teil der Befragten empfindet keine oder wenig Angst bei dem Gedanken an Ostseesturmhochwasser. Erwartungsgemäß gibt es einen Zusammenhang zwischen Angst und Wahrscheinlichkeitsangabe.

Die Befragten wurden gebeten, die Risikomerkmale Schrecklichkeit und Bekanntheit auf einer Skala von 1 bis 5 zu beurteilen. Die Schrecklichkeit von Ostseesturmhochwassern zeichnet sich dadurch aus, wie beherrschbar das Risiko ist, wie schrecklich seine Folgen erscheinen und wie groß das Schadensausmaß ist. Zur Bekanntheit gehören, inwiefern die potentiell Betroffenen informiert sind, darüber hinaus die eingeschätzte Dauer des Bestehens des Risikos (Alter) und der Kenntnisstand der Wissenschaft. Die Küstenbewohner stufen Ostseesturmhochwasser hinsichtlich ihrer Schrecklichkeit mit mittleren Werten ein. Der Bekanntheit werden insgesamt kleinere Werte gegeben. Oft wird der Wert 3 gewählt, offenbar sind sich viele der Befragten bei der Einschätzung dieser Risikovariablen nicht sicher.

Bei einem Ranking soll die Wahrscheinlichkeit eingestuft werden, persönlich von sechs Risiken betroffen zu sein. Darunter sind zwei persönliche Gesundheitsrisiken, zwei Naturrisiken und zwei man-made Risiken. Küstenbewohner halten es für wahrscheinlicher, einen Verkehrsunfall oder einen Schlaganfall zu erleiden, als durch ein Sturmhochwasser betroffen zu sein. Dies halten sie wiederum für wahrscheinlicher als die Betroffenheit von einem AKW-Unfall, einem Terroranschlag oder einem Erdbeben.

4.3 Schutzmaßnahmen implizieren Risiko

Viele der oben genannten Ergebnisse zeigen durchschnittlich mittlere Werte an. Die genaue Betrachtung der Einschätzung der Risikovariablen nach den Befragungsorten Flensburg (Stadt ohne Hochwasserschutzmaßnahmen) und Probstei (Niederung mit Hochwasserschutzmaßnahmen) lässt jedoch die Schlussfolgerung zu, dass Schutzmaßnahmen für die Risikowahrnehmung eine Rolle spielen, denn die Ergebnisse korrelieren hoch miteinander. Die Stichproben der beiden Untersuchungsorte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer erhobenen demographischen Merkmale nicht signifikant. Ein wichtiger Unterschied ist, dass sich die Flensburger nicht sicher sind, ob es in ihrem Wohn- bzw. Arbeitsort öffentliche Schutzmaßnahmen gibt, während alle Befragten in der Probstei den Deich kennen. Deutlichstes Indiz der unterschiedlichen Risikowahrnehmung ist die Schätzung einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit in der Probstei, während die Befragten in Flensburg Ostseesturmhochwasser als unwahrscheinlich ansehen (Abb. 2). Auch andere erhobene Variablen unterscheiden sich, wie in Abb. 3 dargestellt: Die durch einen Deich geschützten Bewohner der Probstei schätzen ihre persönliche Betroffenheit größer ein, sie empfinden mehr negative Emotionen bei dem Gedanken an Ostseesturmhochwasser und schätzen ihr eigenes Wissen größer ein als die Flensburger.

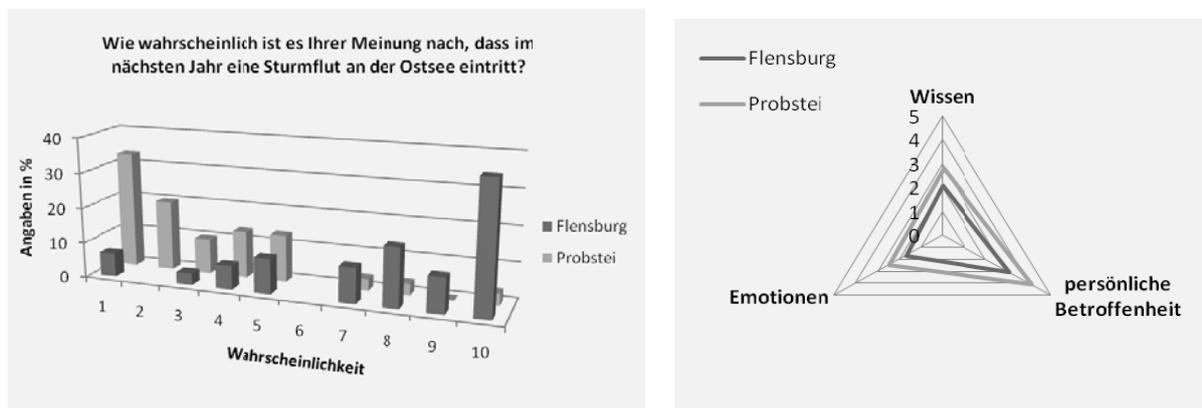


Abb. 2 und 3: Wahrscheinlichkeitsangaben von 1 (sehr wahrscheinlich) bis 10 (sehr unwahrscheinlich) (2) und Angaben zu den Variablen Wissen, Emotionen und persönliche Betroffenheit nach Befragungsorten (3)

4.4 Wahrnehmung von Experten

Die Einschätzung der Variablen des Risikoindex unterscheidet sich insgesamt nicht signifikant zwischen Küstenbewohnern und Experten. Insgesamt sehen die beiden Befragungsgruppen das Risiko Ostseesturmhochwasser ähnlich. Signifikante Unterschiede gibt es in der Einschätzung der Schrecklichkeit, vor allem im Ausmaß der Schädlichkeit von Sturmhochwassern. Küstenbewohner meinen, dass Ostseesturmhochwasser schädlich für viele wären, während Experten meinen, dass sie weder schädlich für einzelne Individuen noch für eine große Anzahl von Menschen wären. Küstenbewohner halten Sturmhochwasser für schrecklicher und weniger beherrschbar als Experten. Experten gehen von einer längeren Existenz des Risikos aus als Küstenbewohner und geben außerdem an, keine negativen Emotionen bei dem Gedanken an das Risiko zu empfinden (Tab. 1).

Tab. 1: Synoptische Darstellung des wahrgenommenen Risikoprofils Ostseesturmhochwasser. Abweichungen der durchschnittlichen Bewertungen der Risikomerkmale beider Befragungsgruppen vom Skalennittelwert 3. Das Risikomerkmale Wissen wurde in der Berechnung umgekehrt (Abweichungen $\leq \pm 0,5 = 0$; Abweichungen $\geq \pm 0,5 = +$ bzw. $-$; Abweichungen $\geq \pm 1,0 = ++$ bzw. $--$; / = nicht erhoben).

Risiko Ostseesturmhochwasser		Küstenbewohner	Experten
Schrecklichkeit	Beherrschbarkeit	+	0
	Schrecklichkeit	0	0
	Schädlichkeit	++	0
Bekanntheit	Bekanntheit	0	0
	Alter	0	-
	Wiss. Klärung	0	0
Persönliche Betroffenheit		+	/
Emotionen		-	--
Wissen (-)		+	/

Tab. 2: Maßnahmen zum Selbstschutz, nachträglich klassiert und aufgeteilt in selbst durchführbare Maßnahmen und solche, die die Kapazitäten der Küstenbewohner übersteigen (Anzahl der Nennungen).

Maßnahmen, die Küstenbewohner selbst durchführen können:	Maßnahmen, die Küstenbewohner nicht persönlich durchführen können:
vorher Informationen einholen (10)	
nicht in gefährdeten Gebieten bauen (8)	
Architektur anpassen (5)	
	Evakuierungsplan anfertigen (4)
gefährdete Gebiete meiden (3)	
vernünftiges Verhalten (3)	
	Deichanlagen überprüfen und ausbauen (2)
andere Abdichtungssysteme einrichten (2)	
wertvolle Gegenstände in höher gelegene Etagen (2)	
Notausrüstung im Privathaushalt bereithalten (2)	
	Besiedlung rückverlegen (1)
auf Sturmhochwasserwarnung achten (1)	
Versicherung abschließen (1)	
	Retentionsflächen schaffen (1)
	Ringdeiche anlegen (1)

Weitere Ergebnisse stellen die erhobenen Variablen außerhalb des Risikoindex dar. Es gibt keine signifikanten Unterschiede zu den Einschätzungen der Küstenbewohner in der Erinnerung an frühere Ereignisse und beim Vergleich der Eintrittswahrscheinlichkeit mit der von Sturmfluten an der Nordsee. 58,3 % der Experten halten die Nordseeküste für anfälliger als die Ostseeküste. Auch der Vergleich mit anderen Risiken gestaltet sich ähnlich wie die Einschätzung der Küstenbewohner. Mit 56,7 % meinen im Vergleich zu den Küstenbewohnern weniger Experten, dass Sturmhochwasser im Zuge des Klimawandels in Zukunft häufiger vorkommen werden. Zur Kontrollierbarkeit sind sich die Experten nicht einig, ob Küstenbewohner sich selbst vor den Folgen von Sturmhochwassern schützen

könnten, 43,3 % stimmen zu. Auf die Frage, welche Maßnahmen zum Schutz gegen die Folgen einer Sturmflut die Experten für sinnvoll halten, machen diese insgesamt 15 Vorschläge (Tab. 2).

5 Schlussbetrachtung

Die inhaltlichen Hauptergebnisse der Untersuchung lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Potentiell Betroffene nehmen das Risiko Ostseesturmhochwasser insgesamt weder als besonders klein noch als besonders groß wahr.
- Vorhandene Schutzmaßnahmen implizieren Risiko. Dort, wo es Hochwasserschutzmaßnahmen gibt, wird das Risiko größer eingeschätzt.
- Es gibt signifikante Unterschiede zwischen Küstenbewohnern und Experten in der Wahrnehmung der Beherrschbarkeit und dem Ausmaß der Schädlichkeit von Ostseesturmhochwassern. Insgesamt stufen Experten das Risiko recht ähnlich wie die Küstenbewohner ein.

Als wichtigstes Ergebnis der Untersuchung ist die Abhängigkeit der Wahrnehmung von vorhandenen Schutzmaßnahmen zu nennen. Um private, proaktive Anpassung vor allem in den urbanen Zentren der Ostseeküste zu fördern, sollte bei der Risikokommunikation verstärkt auf vorhandene bzw. nicht vorhandene Schutzmaßnahmen eingegangen werden. Die Möglichkeit einer gezielten Risikoinformation könnte beispielsweise für die strategische Küstenschutzplanung von Bedeutung sein.

Die Diskussion über verschiedene Perspektiven in der Risikoforschung macht deutlich, welches generelle wissenschaftstheoretische Problem dieser Untersuchung zugrunde liegt. In der Studie gelten eine physisch-geographische Beschreibung des Untersuchungsgebietes und damit eine naturwissenschaftliche Sicht der Dinge sowie die Beschreibung von Risikowahrnehmung vor dem Hintergrund sozialwissenschaftlicher Risikoforschung zusammen als Ausgangspunkt für die empirische Untersuchung, was nicht unproblematisch ist.

Hier wurde der Versuch unternommen, Laien- mit Expertenmeinungen zu vergleichen und damit generell einen Vergleich operationalisierbar zu machen. Dies machte die Befragung beider Gruppen mit gleichen Inhalten möglich. Die Variablen auf einem gemeinsamen Skalenniveau lassen sich, anders als bei der Gegenüberstellung von naturwissenschaftlich-technischen Risikoanalysen und sozial konstruierter Risikowahrnehmung, vergleichen.

Es hat sich gezeigt, dass ein Vergleich der zwei Befragungsgruppen durch das methodische Vorgehen möglich gemacht werden konnte. Allerdings wäre das Ergebnis aussagekräftiger, wenn mehr Risikovariablen (sowohl der naturwissenschaftlich-technischen Definition, z. B. Persistenz, Ubiquität etc., als auch der intuitiven Bewertung von Risiko, beispielsweise Nutzen, Freiwilligkeit etc.) abgefragt worden wären. Eine Erweiterung durch diese Variablen in nachfolgenden Untersuchungen ist zu empfehlen.

Die Möglichkeit einer Messbarmachung und damit die Operationalisierung eines Vergleichs von Experten- und Laienwahrnehmung kann helfen, Risikokommunikation zu verbessern. Sprechen Akteure eine gemeinsame Sprache, können sie Bedenken überwinden, Wissen transparent machen und gemeinsame Ziele formulieren – eine gemeinsame Sprache sprechen geht nur auf der Grundlage des gegenseitigen (inhaltlichen) Verständnisses.

Literatur

- Ejdorf, K. (2002): Stormfloden den 13. November 1872. Danmarks største strandingskatastrofe. Strenstrup.
- Fischhoff et al. (1978): How Safe is Save Enough? A Psychometric Study of Attitudes Towards Technological Risks and Benefits. In: *Policy Sciences* 9: 127-152.
- Hellbrück, J. & M. Fischer (1999): *Umweltpsychologie: Ein Lehrbuch*. Göttingen
- Hofstede, J. (2008): Coastal Flood Defence and Coastal Protection along the Baltic Sea Coast of Schleswig-Holstein. In: *Die Küste* 74: 170-178.
- Hofstede, J. & M. Hamann (2000): Werteermittlung sturmgefährdeter Gebiete in Schleswig-Holstein. In: *Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen* 85: 106-122.
- Kiecksee, H. (1972): Die Ostsee-Sturmflut 1872. In: *Schriften des Deutschen Schifffahrtsmuseums Bremerhaven*. Bd. 2. Heide in Holstein.
- Krimsky, S. & D. Golding (1992): *Social Theories of Risk*. Westport.
- Luhmann, N. (1991): *Soziologie des Risikos*. Berlin.
- MLR – Ministerium für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein (2001): *Generalplan Küstenschutz – Integriertes Küstenschutzmanagement in Schleswig-Holstein*. Kiel.
- Müller-Navarra, S. & I. Bork (2008): Sturmflutsimulationen. MUSTOK – Modellgestützte Untersuchungen zu extremen Sturmflutereignissen an der Deutschen Ostseeküste. Workshop „Sturmflutgefährdung der Ostsee“ am 3./4. März 2008 zum KFKI-Forschungsverbundprojekt. Rostock.
- Perry, R.W. & M.K. Lindell (2008): Volcanic risk perception and adjustment in a multi-hazard environment. In: *Journal of Volcanology and and Geothermal Research* 172: 170-178.
- Renn, O., P.-J. Schweizer, M. Dreyer & A. Klinke (2007): *Risiko. Über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit*. München.
- Rosenhagen, B. & I. Bork (2008): Rekonstruktion der Sturmflutwetterlage vom 13. November 1872. MUSTOK - Modellgestützte Untersuchungen zu extremen Sturmflutereignissen an der Deutschen Ostseeküste. Workshop „Sturmflutgefährdung der Ostsee“ am 3./4. März 2008 zum KFKI-Forschungsverbundprojekt. Rostock.
- Sjöberg, L. (2004): Explaining Individual Risk Perception: The Case of Nuclear Waste. In: *Risk Management* 6 (1): 51-64.
- Slovic, P. (2001): The risk game. In: *Journal of Hazardous Materials* 86: 17-24.
- Slovic, P. (2000): *The perception of risk*. London.
- Terpstra, T., J.M. Gutteling, G.D. Geldorf & B. Kappe (2006): The perception of flood risk and water nuisance. In: *Water Science & Technology* 54 (6/7): 431-439.
- Zwick, M.M. & O. Renn (2008): Risikokonzepte jenseits von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensermwartung. In: Felgentreff, C. & T. Glade (Hrsg.): *Naturrisiken und Sozialkatastrophen*. Berlin/Heidelberg.

Adresse

Dipl. Geogr. Jana Koerth
 Küstengefährdung und Meeresspiegelanstieg
 Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“
 Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
 Geographisches Institut
 Ludewig-Meyn Str. 14
 24098 Kiel, Germany

koerth@geographie.uni-kiel.de



Integrative Bewertung der Auswirkungen touristischer Nutzungen auf die Bereitstellung der *Ecosystem Services* auf der Insel Sylt

Anke Schmidt

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Germany
Ökologie-Zentrum Kiel, Germany

Abstract

In the course of sustainability a balance of interdependent socio-economic and ecological issues especially in coastal zones is aspired. Applying the ecosystem services framework of the United Nation's Millennium Ecosystem Assessment the tourism as an important economic factor is merged with the natural landscape in a human-environmental system. The holistic approach assumes that nature's goods and services like *supporting*, *provisioning*, *regulating* and *cultural services* affect human well-being and recreation particularly on the Island Sylt. Among structural and functional components even sociocultural aspects are integrated and can be qualified and quantified by special indicators. Sylt is well-known as the island of the rich and the famous and has on the one hand a certain image of exclusivity, on the other hand a long tradition in wellness and medical tourism. Undisturbed and intact nature is the economic base for the development of the otherwise economically underdeveloped region of the Schleswig-Holstein North Sea Coast.

Using GIS the areas where touristic use is dominant were identified and the spatial impact of tourism in the relevant ecosystems can be mapped. Touristic activities are specific for each ecosystem and vary in their characteristic impairment. Resting and sunbathing on the beach and in the dunes are popular activities of tourists. Damaged flora and disturbed fauna are the result. Beside those activities, touristic infrastructure like buildings, paths and parking lots affect the ecology of the island.

The influence of touristic activities in those affected areas is valued by assuming and corroborating hypotheses. Focal hypothesis of a given touristic influence is tested and validated by literature research and ecological specialists. A rather negative impact of tourism could be proven.

1 Einführung

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Die Natur hat für das menschliche Wohlergehen und unsere Lebensqualität einen hohen Wert, da wir von ihrer Produktions- und Leistungsfähigkeit abhängig sind. So hat sich bereits in der Vergangenheit gezeigt, dass die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen eine wesentliche Rahmenbedingung für die gesellschaftliche Entwicklung darstellt (Windhorst et al. 2004). Daraus ergibt sich ein hoher ökologischer, sozialer und nicht zuletzt ökonomischer Wert für den Menschen. In gleichem Maße, wie die Nachfrage nach Gütern und Leistungen steigt, können anthropogene Nutzungen die Fähigkeit der Natur, dieser Nachfrage nachzukommen, mindern. Nur ein stabiles und gesundes Ökosystem ist in der Lage, diese angeforderten Leistungen in ausreichendem Maße zu erbringen. Aus diesem Grund haben die Vereinten Nationen 2001 eine Studie in Auftrag gegeben, die den Zustand und die Entwicklungstrends der Ökosysteme und ihrer Dienstleistungen weltweit zusammenfasst, das so genannte „Millennium Ecosystem Assessment“. Es bildet den konzeptionellen Rahmen für das Zusammenführen von ökosystemaren Dienstleistungen und dem menschlichen Wohlbefinden (MA 2005).

Ein Spannungsfeld zwischen wirtschaftlichen und ökologischen Interessen entsteht in begrenzten und multifunktionalen Räumen. Aufgrund ihrer vielfältigen ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Funktionen werden insbesondere Küstenräume seit jeher umfangreich genutzt (Glaeser 2005)

und sind nicht zuletzt wegen ihrer standörtlichen Gunst weltweit oft übernutzt und ökologisch verletzlich (Daschkeit & Sterr 2003). Zahlreiche Nutzungen beanspruchen auf einem unter anderem vom Meer begrenzten Raum immer mehr Fläche. Zu der Funktion als Siedlungsraum kommen zahlreiche wirtschaftliche Interessen wie Schifffahrt, Fischerei, Landwirtschaft und Tourismus, welche oft von negativen Effekten begleitet sind und sowohl Land als auch Meer beeinträchtigen können. Insbesondere im Hinblick auf den Tourismus wird der Konflikt zwischen verschiedenen Nutzungen untereinander und mit dem Ökosystem deutlich. So ist der Tourismus als regional wichtiger wirtschaftlicher Faktor abhängig von einer intakten Natur mit hohem Erholungspotential. Aus der touristischen Nutzung, welche mit anderen Nutzungen, wie Verkehrsinfrastruktur und jener zur Ver- und Entsorgung, eng verbunden ist, geht jedoch eine gewisse, oft negative Beeinträchtigung für die Natur hervor.

1.2 Zielsetzung

Im Zentrum der Fallstudie steht die Entwicklung und beispielhafte Anwendung eines Methodenkonzeptes zur Bewertung der Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf die Fähigkeit der Ökosysteme zur Bereitstellung der *Ecosystem Services*. Anhand des Konzeptes des „Millennium Ecosystem Assessments“ (MA) wurden auf lokaler Ebene die jeweiligen Güter und Dienstleistungen der einzelnen Ökosysteme identifiziert und dargestellt. Dieses ökologische System wurde mit dem sozio-ökonomischen System zusammengeführt. Anhand von Indikatoren sind die Veränderungen der Inselökosysteme im Hinblick auf ihre Fähigkeit zur Bereitstellung der *Ecosystem Services* veranschaulicht worden. Verbunden mit dieser Frage ist eine qualitative bzw. nominale Bewertung der durch den Fremdenverkehr und den damit verbundenen Nutzungen induzierten Auswirkungen. Aus diesem Zusammenhang ergeben sich drei Leitfragen:

1. Welche *Ecosystem Services* werden auf der Insel Sylt bereitgestellt?
2. Wie können diese den einzelnen Ökosystemen zugeordnet und bewertet werden?
3. Wie wirkt sich die Hauptnutzung Tourismus auf die Bereitstellung der *Ecosystem Services* auf Sylt aus?

2 Methodisches Vorgehen

Der integrative oder auch interdisziplinäre Charakter des Forschungsansatzes drückt sich in einer breit gefächerten Forschungsbasis aus, welche neben den naturwissenschaftlichen Komponenten auch soziokulturelle und ökonomische Elemente einbezieht.

2.1 Das Rahmenkonzept *Ecosystem Services*

Innerhalb des MA werden mit dem Konzept der *Ecosystem Services* die Ökosysteme inklusive ihrer Güter und Leistungen mit dem menschlichen Wohlbefinden als Mensch-Umwelt-System zusammengeführt (MA 2005). Eingebettet in den konzeptionellen Ansatz des Driver-Pressure-State-Impact-Response Modells (DPSIR) dient das Rahmenkonzept zur Analyse der ökologischen Komponente innerhalb des DPSIR-Wirkungskreislaufes, welche das Abhängigkeitsverhältnis im Mensch-Umwelt-System beschreibt (EEA 1997 in Müller & Burkhard 2007, Müller & Burkhard 2008). *Ecosystem Services* werden nach dem MA als 'benefits people obtain from ecosystems' definiert. Dabei folgt die Definition der von Costanza et al. 1997 (in Alcamo & Bennett 2003, de Groot 2005), da nicht nur natürliche, sondern auch anthropogen beeinflusste Ökosysteme als Quelle für *Ecosystem Services* verstanden werden. Das Spektrum an *Ecosystem Services* wird dem Ökosystem entsprechend in vier funktionale Gruppen aufgeteilt: *Provisioning Services*, *Regulating Services*, *Cultural Services* und *Supporting Services*. In die Gruppe der *Provisioning Services* fallen sämtliche materiellen Güter, die ein Ökosystem produziert, wie tierische und pflanzliche Nahrung, Holz, Trinkwasser, Energie, Fasern

und genetische Ressourcen. Zu den *Regulating Services* gehören regulierende Funktionen im Bereich Klima, Krankheiten und Naturgefahren sowie Reinigung der Luft und des Wassers. Die *Cultural Services* sind dagegen schwerer zu erfassen, da es sich um immaterielle Leistungen aus den Bereichen Ästhetik, Religiosität und Spiritualität sowie aus den Bereichen Bildung und Erholung handelt. Gestützt werden diese drei Funktionsgruppen von den *Supporting Services*, die für die Aufrechterhaltung der *Ecosystem Services* unerlässlich sind. In diese Kategorie fallen die elementaren Prozesse, wie Nährstoffkreislauf, Primärproduktion und Bodenbildung eines jeden Ökosystems. Die *Supporting Services* werden von Müller & Burkhard (2007) hinlänglich auch als ökologische Integrität verstanden. Zu den Komponenten des menschlichen Wohlbefindens zählt das MA neben Gesundheit, Sicherheit und einer guten materiellen Basis für ein zufriedenstellendes Leben auch gute soziale Beziehungen sowie die Wahl- und Handlungsfreiheit.

2.2 Datengrundlage und -aufbereitung

Bei der Umsetzung und Bearbeitung der angesprochenen Zielsetzung war die kartographische Darstellung ein wichtiges methodisches Instrument. Die vorliegenden Daten über den Naturraum und die Nutzungen der Insel Sylt wurden, bezogen auf die Fragestellung, mittels ArcGIS aufbereitet und analysiert, um in weiteren Schritten die Auswirkungen des Tourismus auf die Bereitstellung der *Ecosystem Services* und deren Bewertung graphisch darzustellen. Vorbereitend wurden die beiden Layer 'Ökosystem' und 'Nutzungsmuster' der Insel Sylt auf die Fragestellung bezogen bearbeitet und reklassifiziert (Tab. 1 und 2). Aus der Nutzungsebene wurde nur der Layer, welcher die touristische Nutzung und touristisch genutzte Gebiete umfasst, exportiert und anschließend mit der Ökosystemebe-

Tab. 1: Klassifizierung der Ökosysteme auf der Insel Sylt anhand der ATKIS- und CORINE-Daten (Landesvermessungsamt Kiel, ÖZK)

Ökosystem	ATKIS-Bezeichnung	CORINE- Klasse
Wald & Gehölz	Wald & Forst, Gehölz	Laub-, Nadel-, Mischwald
Strand	Vegetationslose Fläche	Strand
Dünen	Heide, vegetationslose Fläche	Offene Fläche ohne/mit geringer Vegetation
Salzwiesen	Grünland	Salzwiesen, Grünland
Grünland	Grünland	Grünland, Wiesen & Weiden
Ackerland	Ackerland	Komplexe Parzellenstruktur
Gewässer	Bach, Graben, Kanal, Teich	Gewässerläufe, Gewässerflächen
Siedlungs- und Verkehrsfläche	Ortslagen, Wohnbaufläche, Flächen mit gemischter Nutzung, Industrie	Bebaute Flächen (städtische geprägte Flächen, Industrie-/Gewerbe-/Verkehrsflächen, Grünflächen)
	Freiflächen, Sport-/Freizeitfläche, Grünanlagen, Golfplatz	
	Verkehrsinfrastruktur (Straßen, Wege, Plätze)	
	Flughafen	
	Schienenverkehr	

ne verschnitten, um die räumliche Ausprägung der Tourismusnutzung zu ermitteln. Grundlage für den Ökosystemlayer sind die Basisgeometriedaten des „Amtlich Topographisch-Kartographischen Informationssystems“ (ATKIS) von 2007 und die Landcover-Daten der „Coordinated Information on the European Environment“ (CORINE) des Jahres 2001. Ein visueller Abgleich erfolgte anhand von 2006 aufgenommenen Orthophotos. Der räumlichen Darstellung der Nutzungen liegen die Daten des Amtlichen Liegenschaftskatasters (ALK) von 2007 zugrunde.

Für die räumliche Darstellung des Nutzungsmusters wurden die Objektdaten des ALK in Anlehnung an die im Projekt „Coastal Futures – Zukunft Küste“ ausgewählten Nutzungen klassifiziert. Um die raumrelevanten Aktivitäten des Tourismus darzustellen, wurden neben den infrastrukturellen Einrichtungen, wie Gebäude- und Freiflächen, auch die von den Erholungssuchenden maßgeblich genutzten Flächen einbezogen. Die funktional der Tourismusnutzung zugeordneten Flächen sind der Tab. 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Objektarten der Tourismusnutzung (Landesvermessungsamt Kiel, ALR Husum)

Nutzungsart	Objektart
Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur	GFF Handel/Dienstleistung, Restauration
	GFF Mischnutzung mit Wohnen
	GFF zu Verkehrsanlagen, Parken
	Grünanlagen, Park, Spielplatz, Kleingarten
	Verkehrsfläche, Straße, Weg, Platz, Parkplatz, Bahngelände, Flugplatz, Begleitfläche
	Historische Anlage, Denkmal, Friedhof
Tourismus und Erholung	GFF Erholung, Camping
	Erholungsfläche
	Sportfläche, Golfplatz, Schießstand, andere Sportflächen
	Camping
Schifffahrt und Fischerei	Schiffsverkehr
	Hafen
Naturschutz	Schutzfläche

2.3 Bewertungsrahmen

Die Bewertung des touristischen Einflusses auf die Inselökologie stützt sich auf den Vergleich der touristisch beeinflussten realen Ökosysteme mit einem vorher definierten hypothetischen jeweiligen Idealzustand (Referenz), welche gänzlich frei von Erholungsnutzung ist. So genannte Zustandsindikatoren als Hilfsmittel bei nicht unmittelbar fassbaren Sachverhalten, formuliert im Projekt „Coastal Futures – Zukunft Küste“, beschreiben quantitativ oder qualitativ die Ausprägung der Services. Diese Schlüsselindikatoren sind auf nahezu jedes System anwendbar. Eine Übersicht gibt Tab. 3. Für die Bewertung der touristischen Auswirkungen wurden Belastungsindikatoren formuliert, anhand welcher der Grad der anthropogenen Beeinflussung gemessen werden soll. Als Referenz wird dazu das jeweilige unbeeinflusste „Idealökosystem“ herangezogen.

Für die Realisierung eines solchen Bewertungsrahmens wurden Hypothesen formuliert, welche in Ermangelung quantifizierbarer Daten durch Literaturrecherche und Experteneinschätzungen verifiziert wurden. Dabei wurde davon ausgegangen, dass sich der Bewertungsrahmen in einem Bereich von -2 (stark prozessmindernd) über 0 (neutral, keine Beeinflussung) bis +2 (stark prozessfördernd) liegt.

Tab. 3: Zustandsindikatoren und Referenz für die einzelnen *Ecosystem Services* (verändert nach Odum 1999, Nentwig et al. 2007)

<i>Ecosystem Service</i>	Zustandsindikator	Referenzzustand	
<i>Supporting Services</i>	Energiefluss	Nettoprimärproduktion	max. für pot. natürliche Vegetation
	Nährstoffkreislauf	Nährstoffumsatz	Kreislauf geschlossen, Umsatzzeit hoch
	Wasserkreislauf	Transpiration/ Evapotranspiration	effektive Wassernutzung
	Speicherkapazität	Intrabiot. N, org. C	hoch
	Nährstoffverlust	N- & P-Verlust	gering
	Abiotische Heterogenität	Heterogenitätsindex, Humus	hoch, Nischendifferenzierung groß
	Biotische Diversität	Anzahl ausgew. Arten	breites Artenspektrum
<i>Regulating Services</i>	Luftreinhaltung	Luftqualität	gut, Luft ist unbelastet
	Klimaregulierung	Mikroklima	wirkt ausgleichend
	Erosionskontrolle	Vegetationsgrad	hoch, kaum natürliche Erosion
	Natürlicher Küstenschutz	Natürliche Schutzelemente	dynamisch
<i>Provisioning Services</i>	Nahrung	Ernte, Ertrag	dem Standort angepasst
	Süßwasser	Fördermenge, Qualität	gute Qualität, ausreichende Menge
<i>Cultural Services</i>	Umweltethik	Natürlichkeit	hoher Natürlichkeitsgrad
	Informelle Bildung	Schautafeln, Zentren	hohes Potential
	Visuelle Landschaftsqualität	Kleinräumigkeit, Hemerobie	naturnah, kleinräumig
	Inspiration	Natürlichkeit	hoher Natürlichkeitsgrad
	Heimatverbundenheit & Traditionsbewusstsein	(Kultur)Schutz	Kulturdenkmäler in gutem Zustand erhalten
	Gesundheit	Ortsspezifische Heilmittel	unbelastet, umfangreich

3 Das sozial-ökologische System der Insel Sylt

Der integrative Ansatz fordert eine differenzierte und interdisziplinäre Betrachtung des Untersuchungsgebietes. Die touristische Attraktivität Sylts begründet sich in der besonderen naturräumlichen Ausstattung der Insel. Geologische, klimatische und hydrologische Gegebenheiten sowie die daran angepasste Fauna und Flora haben eine besondere Anziehungskraft auf Erholungssuchende und bilden die Grundlage für den Fremdenverkehr auf Sylt.

3.1 Der Naturraum der Insel Sylt

Mit 99 km² ist Sylt die größte der Nordfriesischen Inseln und zugleich auch die nördlichste Insel der Bundesrepublik Deutschland. Sie ist der Westküste Schleswig-Holsteins vorgelagert und hat eine maßgebliche Küstenschutzfunktion für das Festland und das rückwärtige Wattenmeer. Der Naturraum der Insel ist durch Strände, umfangreiche Dünengebiete und Heideflächen geprägt, die zum Teil landwirtschaftlich genutzt werden. Die Insel ist zudem Teil des Großökosystems Wattenmeer, welches eine flache Übergangszone zwischen südlicher Nordsee und der Marsch des Festlandes bildet.

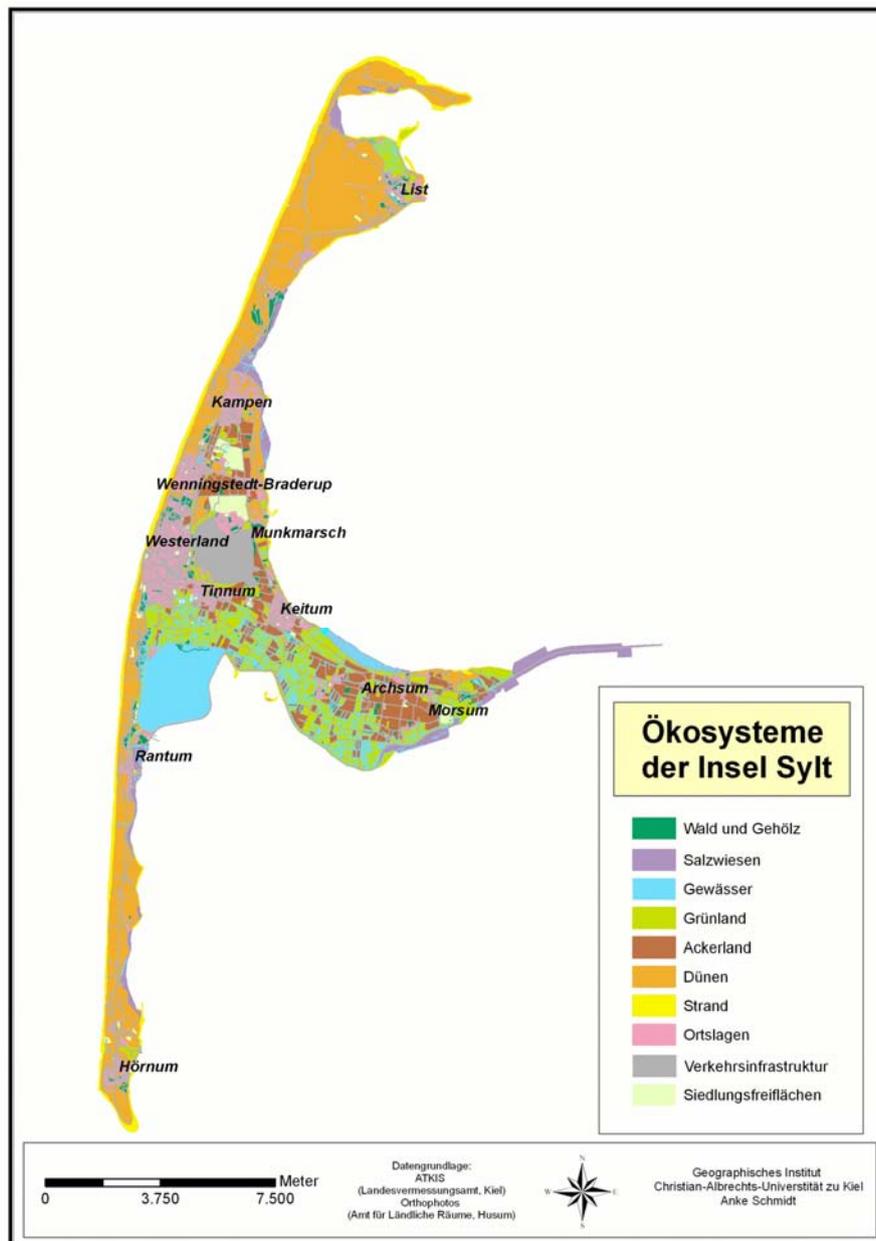


Abb. 1: Räumliche Abgrenzung der Ökosysteme auf der Insel Sylt (Kartengrundlage: ATKIS- und CORINE-Daten; Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein, ÖZK, Universität Kiel)

Wie alle Wattenmeerinseln ist auch Sylt durch ein ausgeglichenes atlantisches vom Golfstrom beeinflusstes Klima geprägt (Stock et al. 1996). Die reinen Seewinde sind frei von Luftschadstoffen und bedingen ein besonders heilsames Reizklima. Durch die Brandung ist die Luft besonders jodhaltig, sodass die Sylter Gemeinden und Orte allesamt mit unterschiedlichen Prädikaten für Kurorte ausgezeichnet sind und das Seeklima Teil des Kurbetriebes ist (<http://www.heilbaederverband-sh.de>).

Das heutige Landschaftsbild der Geestkerninsel Sylt ist durch die pleistozänen Geestkerne sowie die Marsch- und Wattsedimente und Dünenande des Holozäns geprägt (Klatt 2006). Der Naturraum der Insel Sylt wird, wie in Abb. 1 ersichtlich, aus einem dynamischen Mosaik von miteinander vernetzten Ökosystemen gebildet.

Bedingt durch unterschiedliche, altersbedingte Sukzessionsstadien sowie unterschiedliche geologische bzw. geomorphologische Rahmenbedingungen, ergibt sich eine vielfältige Landschaft mit verschie-

denen Biotopen. Diese wurde gemäß zuvor aufgestellter Richtlinien klassifiziert und den Ökosystemen Strand, Düne, Salzwiese, Gewässer, Grünland, Ackerland, Wald und Gehölz, Siedlungs- und Verkehrsfläche untergeordnet.

3.2 Gegenwärtiges Nutzungsmuster

Die Insel Sylt, bekannt als Insel der Reichen und Schönen, ist nicht nur durch den 1855 aufkeimenden Fremdenverkehr und die damit verknüpften Nutzungsformen geprägt. Die Einwohner der Nordseeinsel betreiben traditionell Landwirtschaft und Fischfang, um ihre Lebensgrundlage zu erhalten. Abb. 2 gibt die gegenwärtigen Nutzungsformen der Insel wieder. Mit den Jahren hat sich jedoch der Tourismus als wesentlicher Wirtschaftsfaktor der sonst eher strukturschwachen Westküstenregion entwickelt (Möller & Feige 1999a,b). Die vormals agrarisch geprägte Insel richtete sich zunehmend funktional und strukturell auf den Fremdenverkehr aus. Ursprünglich durch seine heilklimatischen Gegebenheiten eher Ziel für Kurgäste, kamen mit dem Aufschwung des Tourismussektors auch Bade-

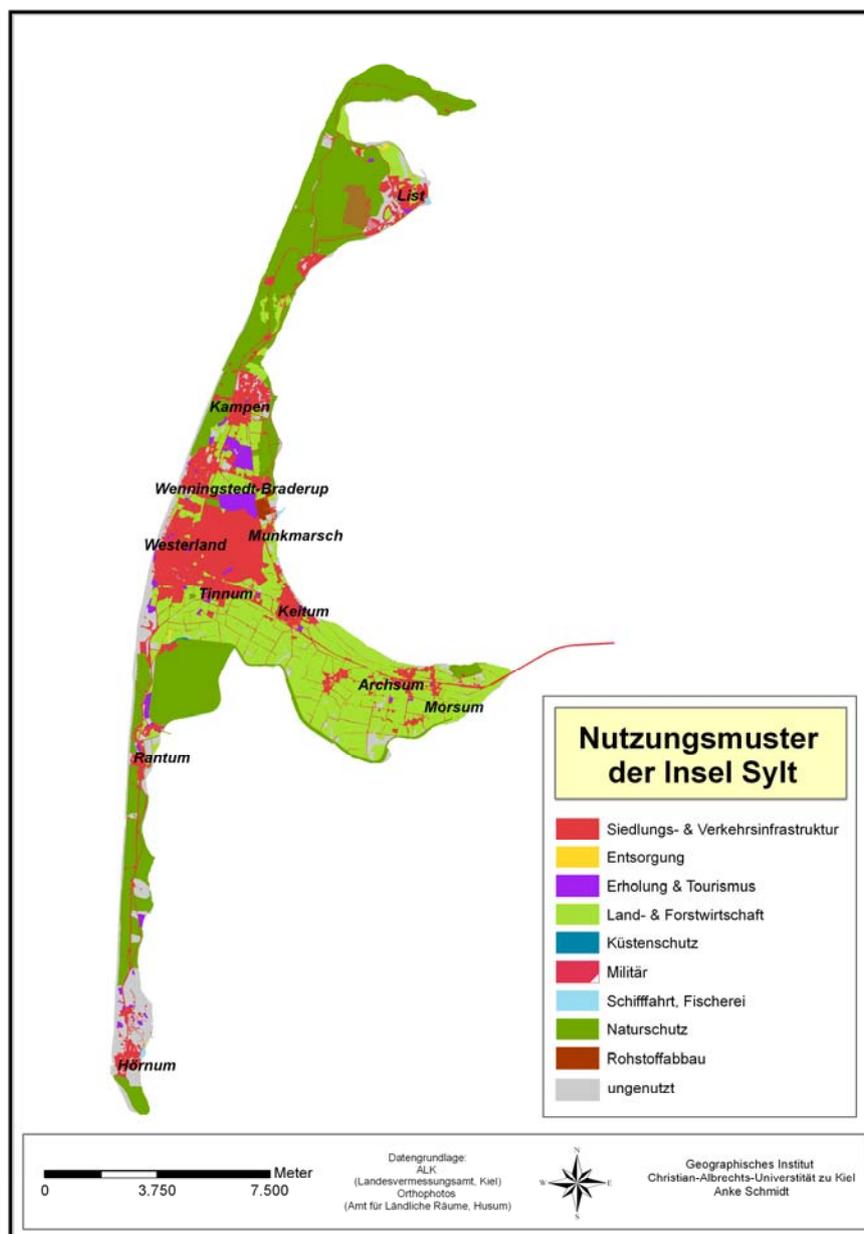


Abb. 2: Gegenwärtiges Nutzungsmuster der Insel Sylt (Kartengrundlage: ALK-Daten; Landesvermessungsamt Kiel)

gäste aus Urlaubs- und Tagestourismus auf die Insel. Sylt hat jedoch nach wie vor eine deutliche Ausrichtung im Bereich des Kur- und Gesundheitstourismus (TSW 2007). Die Zunahme der Touristen spiegelt sich deutlich in einer Ausweitung der Saison und einer Nivellierung über das Jahr wieder. Die Sylt Marketing GmbH (2007) belegt, dass die Insel gegenwärtig eine erfolgreiche Marktposition vertritt und auf aktuelle Urlaubstrends mit einer flexiblen Angebotspalette reagiert (Homp et al. 2008).

Wachsende Zahlen an Übernachtungs- und Tagesgästen bedürfen einer ausreichenden Infrastruktur in den touristisch genutzten Bereichen der Insel. Dies bezieht neben den Unterkünften auch die der An- und Abreise sowie die wechselnden Aktivitäten der Erholungssuchenden ein. Bei An- und Abreise spielen der Bahnhof in Westerland mit dem Syltshuttle sowie die Häfen eine besonders große Rolle. Die Insel ist über den Hindenburgdamm mit dem Festland und dessen Straßennetz verbunden. Jährlich werden hier 650.000 Fahrzeuge transportiert (<http://www.syltinfo.de>). Eine weitere Möglichkeit, auf die Insel zu gelangen, bietet die Fährverbindung Römö – Sylt. Die gesamte Insel ist für den Inselverkehr sehr gut durch den ÖPNV erschlossen.

Neben der Verkehrserschließung weiten sich die touristischen Einrichtungen auch in und um die Orte aus. Neben Ferienhäusern, Appartements und Campingeinrichtungen entstehen zunehmend weiträumige Ferien- und Hotelanlagen, wie etwa das TUI Dorfhotel in Rantum oder der Golfplatz mit Appartementanlage in Hörnum.

4 Die Auswirkungen der touristischen Nutzung auf die Ökosysteme der Insel

Daschkeit et al. (2002) und Schottes (2000) interpretieren die Wirkungskette wie folgt: Den Anfang bildet die Zunahme des Tourismusaufkommens und die Diversifizierung des Angebotes sowie eine saisonale Verlängerung. Diese Umstände bringen eine Zunahme der Küstenschutzmaßnahmen, ein erhöhtes Verkehrsaufkommen und die fortschreitende Zersiedelung der Landschaft mit sich. Daraus ergibt sich eine Degradation der natürlichen Ökosysteme der Insel. Da diese jedoch Anziehungsmagnet und Image der Insel darstellen, verändert sich Letzteres und es kann zu einem Attraktivitätsverlust führen.

Die Beeinflussung der touristischen Nutzung beginnt zunächst mit einem Auslöser oder einer Aktivität, welche einen Einfluss auf die Ökologie der Insel hat. Dieser Einfluss kann gegebenenfalls negativ und beeinträchtigend sein. Je nach Ökosystem sind die Auslöser verschiedenartig ausgeprägt und bringen diverse Beeinträchtigungen mit sich. Am Strand und in den Dünen dominiert im Sommer der Badetourismus. Diese Systeme werden durch die Aktivitäten Sonnen, Lagern und Picknicken sowie Naturbeobachtungen, des Weiteren durch Gebäude und Wege bzw. Promenaden beeinflusst. Als Beeinflussung und Beeinträchtigung gelten hier hauptsächlich das Hinterlassen von Müll und Fäkalien, Schädigung und Zerstörung der Vegetation durch Vertritt, Versiegelung und Überbauung sowie allgemein die physische Präsenz und der von den Erholungssuchenden ausgehende Lärm (BfN 1997). Die indirekten Beeinträchtigungen sind Eutrophierung, Brandgefahr, Bodenerosion durch geschädigte Vegetationsdecke sowie die Zerschneidung von Lebensräumen und die Vertreibung störungsempfindlicher Tierarten. Als besonders belastend sind die regellos und meist illegal angelegten Trampelpfade quer durch die Dünen anzusehen. Sie sind meist der kürzeste Weg vom Parkplatz zum Strand. Zusätzlich zu den großen offiziellen Übergängen erreichen die inoffiziellen Pfade auf Sylt eine Länge von mehr als 700 km (Kunz & Steensen 2007). Die Touristen schädigen durch das Verlassen der geregelten Wege die oft sensible Dünenvegetation und können brütende Vögel aufschrecken (Elbrächter 1987, Klug & Klug 1994).

Die Salzwiesen, auf der Ostseite der Insel gelegen, werden darüber hinaus durch den nicht-motorisierten und den motorisierten Wassersport beeinträchtigt. Physische Präsenz, Lärm sowie Wellenschlag und Verschmutzungen durch Öl, Benzin und Antifouling schädigen die Ufervegetation, verursachen Wassertrübungen und vertreiben störungsempfindliche Tiere. Überbauung im Bereich der Salzwiesen wird als problematisch angesehen, da umfangreiche Drainagen und Entwässerungsmaßnahmen das System nachhaltig verändern (BfN 1997).

Die Golfanlagen, gegenwärtig mehrfach auf der Insel zu finden, sind oft durch Pflanzenarten geprägt, welche nicht der potentiell natürlichen Vegetation entsprechen, und bringen daher einen hohen Pflegeaufwand mit sich. An nährstoffarmen Standorten wird auf Kunstdünger zurückgegriffen, welcher nicht selten in angrenzende Bereiche verlagert wird und diese Gebiete durch Eutrophierung belastet.

Ein weiterer Raum für die Freizeitaktivität der Touristen wie der Einheimischen sind die Wälder und Gehölze der Insel. Diese sind hauptsächlich auf dem pleistozänen Geestkern zu finden. Der Friedrichshain in Westerland ist zentral gelegen und hat das Konzept eines Naturerlebnisraumes. Wege und Trampelpfade kreuz und quer durch den Wald zerteilen seine Fläche in viele kleine Teilräume und gehen mit der Schädigung der Bodenvegetation einher. Nahe gelegene Straßen sowie der Westerländer Flughafen rufen eine erhöhte Schadstoffbelastung durch CO₂, Stickoxide und Feinstaub für Boden und Vegetation der angrenzenden Ökosysteme hervor (BfN 1997, Schauser 2002).

5 Bewertung der Auswirkungen des Tourismus auf die Bereitstellung der *Ecosystem Services*

Um die Bewertung durchzuführen, wurden die *Ecosystem Services* der Ökosysteme mit den Auswirkungen und Beeinträchtigungen, welche aus der Tourismusnutzung resultieren, in Verbindung gebracht, gewichtet und für die Services aggregiert. Der Tourismus als Hauptnutzungsform nimmt eine Schlüsselrolle im sozial-ökologischen System der Insel ein, sein Einfluss ist aus ökologischer Sicht „dann gravierend, wenn er eine nicht kompensierbare, nachhaltige Wirkung hervorruft“ (Stock et al. 1996: 368).

Die Kernhypothese, inwieweit der Tourismus Auswirkungen auf die Bereitstellung der *Ecosystem Services* auf der Insel Sylt hat, wurde durch Teilhypothesen für jeden Service überprüft. Daraus ergeben sich folgende Bewertungen, welche hier jeweils beispielhaft belegt werden:

Der Tourismus wirkt sich auf die Supporting Services im Allgemeinen negativ, das heißt prozessmindernd aus.

Der *Energiefluss*, indiziert durch die Nettoprimärproduktion (NPP), wird durch den Tourismus und seine Aktivitäten stark gemindert. Wie bereits erwähnt, führen zusätzlich zu den versiegelten Flächen zahlreiche, meist inoffizielle Pfade durch die Ökosysteme, insbesondere durch die Dünen im Westen der Insel. Diese haben einen negativen Einfluss auf die Vegetation. Die Hypothese stützt sich also auf die Annahme, dass eine Schädigung der Vegetation zu weniger Biomasse und somit zu einer verminderten NPP führt. In den Salzwiesen kann es durch vermehrte Wassertrübung und Schädigung der Ufervegetation zu einer Hemmung der NPP kommen. Ein weiterer indirekter negativer Einfluss wäre ein gesteigerter Wasserverbrauch in Saisonspitzen, welcher zu einer Absenkung des Grundwassers führen würde, das somit nicht mehr verfügbar für die Pflanzengesellschaften in Dünentälern wäre. Gegenwärtig ist dies jedoch nicht zu befürchten.

Bedingt prozessverstärkend bzw. positiv wirkt sich die Tourismusnutzung auf die Bereitstellung der abiotischen Heterogenität aus. Der Heterogenitätsindex ist in kleinräumigen und mosaikartigen Lebensräumen mit unterschiedlichen Standorteigenschaften besonders hoch. Die Annahme stützt sich also auf die Tatsache, dass der Tourismus durch Bebauung und infrastrukturelle Maßnahmen neue Strukturen in der Landschaft schafft. Die abiotische Heterogenität kann deshalb durch vielseitige Standortfaktoren gefördert werden. Im günstigsten Fall kann durch Zerschneidung großer Flächen in mehrere kleine ein Nebeneinander verschiedener Entwicklungsstadien gefördert werden.

Der Einfluss des Tourismus auf die Bereitstellung der Provisioning Services wird als neutral bis negativ, also eher prozessmindernd bewertet.

Als *Nahrung*, welche direkt vom Ökosystem bereitgestellt wird, sind auf Sylt hauptsächlich Beeren, Pilze und jagbares Wild anzusehen. Diese Hypothese stützt sich erneut auf die Annahme, dass eine

geschädigte, bzw. zerstörte Vegetation weniger Ertrag produziert und Tiere durch Präsenz der Erholungssuchenden unter Stress stehen, bzw. kaum ausreichend großen Lebensraum finden. Indirekt zählen die Salzwiesen zu den *Provisioning Services*, da diese als Futterwiese für die Schafe und auch Rinder dienen. Das Vieh dient nach dem Schlachten dem Menschen als Nahrung. Die Agrarökosysteme wurden von vornherein in der Bewertung nicht berücksichtigt.

Bereits angesprochen wurde das Gut *Süß- bzw. Grundwasser*, welches durch übermäßige Entnahme während der Hochsaison stark beansprucht werden kann. Relativierend muss jedoch erwähnt werden, dass es gegenwärtig zu keiner bedrohlichen Verknappung kommt.

Die Bereitstellung der Regulating Services wird durch den Tourismus negativ bis sehr negativ, das heißt stark prozessmindernd beeinflusst.

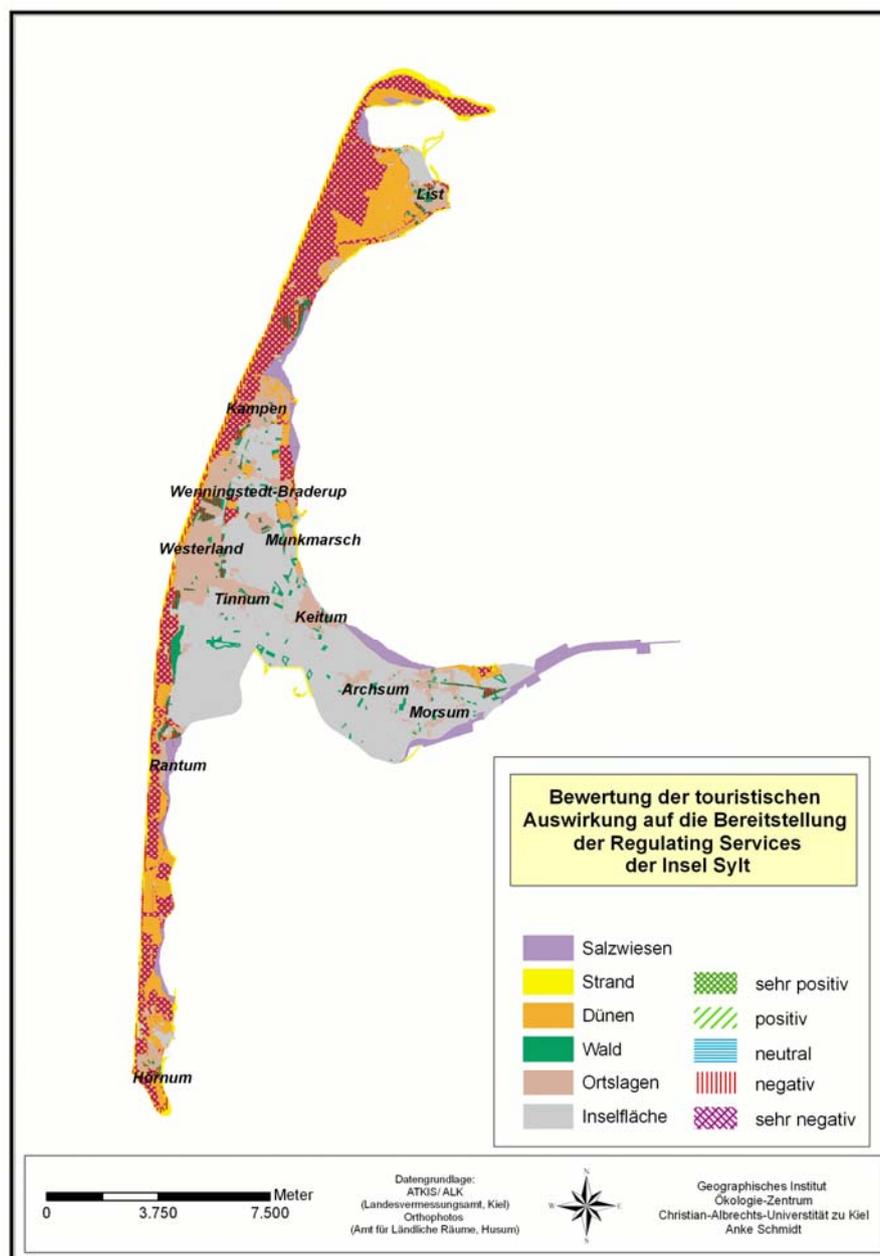


Abb. 3: Räumliche Darstellung der Bewertung der touristischen Auswirkungen auf die Bereitstellung der *Regulating Services* (Grundlage: ATKIS-, ALK-, CORINE-Daten; Landesvermessungsamt Kiel, ÖZK Kiel)

Als Zwischenprodukte haben die *Regulating Services* eher indirekten Einfluss auf das menschliche Wohlergehen, sind jedoch auf Sylt teilweise von großer Bedeutung. In Abb. 3 ist diese Bewertung räumlich dargestellt.

Die Funktion der *Klimaregulierung* bezieht sich, wie der Zustandsindikator Mikroklima ausdrückt, auf das Kleinklima der bodennahen Luftschicht. Durch geschädigte bzw. zerstörte Vegetation, insbesondere im Bereich der Dünen, entstehen vermehrt offene Sandflächen, über welchen es zu einer deutlichen Temperaturerhöhung durch Sonneneinstrahlung und einer Absenkung der Luftfeuchtigkeit durch verringerte Transpiration kommt. Gleiches gilt für die versiegelten Flächen der Parkplätze. Diese Beeinträchtigung wirkt sich in den Dünen und Salzwiesen deutlich negativer aus als am ohnehin vegetationslosen Extremstandort Strand oder im mikroklimatisch ausgeglichenen Wald.

Sehr negativ wird der Einfluss auf den *natürlichen Küstenschutz* als Service bewertet. Dünen und Salzwiesen als ursprünglicher dynamischer Schutz der Sylter Küsten reichen gegenwärtig nicht aus, um den Siedlungs- und Wirtschaftsraum der Insel adäquat zu schützen. Der Tourismus und seine infrastrukturellen Maßnahmen sind Hauptgrund für zusätzlichen künstlichen Küstenschutz wie Deiche, Deckwerke und Sandvorspülungen. Hinzu kommt, dass das natürliche Schutzpotential durch Erholungsaktivitäten drastisch gemindert werden kann. Dünenerosion infolge von Vertritt und Schädigung der Vegetation ist besonders problematisch für das Hinterland, da die Dünen Extremwasserständen, wie sie bei Sturmfluten auftreten, nicht mehr ausreichend Einhalt gebieten können. Ähnlich verhält es sich mit den Salzwiesen der Sylter Ostseite. Sie bauen fortschreitend Land auf und vergrößern so die Inselfläche. Wird durch Wassersport die Quellerzone nachhaltig geschädigt, kann es zu Landverlusten im Falle einer Sturmflut kommen.

Die touristische Nutzung hat eher negative Auswirkungen auf die Bereitstellung der Cultural Services.

Der Zustand der kulturellen Services ist einerseits schwer erfassbar, andererseits auch schwer bewertbar, denn eine Bewertung von immateriellen Leistungen impliziert eine gewisse Subjektivität.

Die *visuelle Landschaftsqualität*, welche sich hauptsächlich in Natürlichkeit und Unberührtheit der Natur ausdrückt, wird durch die touristischen Einrichtungen durchaus gemindert. Neben infrastrukturellen Maßnahmen wirken sich Einzelelemente wie Gebäude, Schilder, Strandkörbe und Fahnen störend auf das Landschaftsempfinden aus. Es kann ebenfalls davon ausgegangen werden, dass eine hohe Touristenintensität aufgrund der Anwesenheit großer Menschenmassen eine Beeinträchtigung darstellt. Darüber hinaus ist es denkbar, dass die Schädigung und Degradation der Ökosysteme durch übermäßigen Tourismus sich negativ auf die visuelle Landschaftsqualität auswirken.

Der Service der *Gesundheitsdienstleistung*, bedingt durch das heilsame Reizklima, wird eher weniger negativ vom Tourismus beeinflusst. Die stetig wehenden Westwinde transportieren aerosolhaltige und reine Luft über die Nordsee. Lediglich die Luftschadstoffe, verursacht durch den gesteigerten Straßenverkehr infolge des Tourismus, können bei ungünstigen Wetterlagen problematisch werden. Des Weiteren kann der heilsame Prozess des Stressabbaus durch touristischen Lärm und Besuchermassen gemindert werden.

6 Fazit und Ausblick

Der Schwerpunkt der vorgestellten Fallstudie lag eindeutig auf der Entwicklung einer integrativen Herangehensweise, welche sowohl die ökologischen als auch soziokulturellen Faktoren innerhalb der Mensch-Umwelt-Beziehung erfasst. Es konnte anhand der Bewertungen eine negative Auswirkung der touristischen Nutzung und der damit verbundenen Aktivitäten auf die Ökosysteme der Insel und auf die Bereitstellung der *Ecosystem Services* insgesamt aufgezeigt werden. Anhand von weiterführenden Untersuchungen könnten die hier angewendeten Methoden vertieft und die erzielten Erkenntnisse eingehender überprüft werden.

In Anlehnung an das Nachhaltigkeitsprinzip stützt sich die nachhaltige Tourismusedwicklung auf soziokulturelle, ökologische und ökonomische Verträglichkeit, welche in Schleswig-Holstein mit der Implementierung des Leitbildes „sanfter Tourismus“ umgesetzt wird. Im Rahmen der Tourismuskonzeption wird zwar deutlich auf die intakte Natur und Umwelt als Imagekomponente verwiesen, diese aber lediglich als Teil des touristischen Angebots gesehen. Diese Auffassung deckt sich zwar mit der stark anthropozentrischen Herangehensweise des *Ecosystem Services*-Konzeptes, erfasst in der Regel jedoch nicht die Komplexität der nachhaltigen Nutzung ökologischer Systeme.

Die Vorsätze für einen Ressourcenschutz innerhalb der Tourismusnutzung scheinen eindeutig marktorientiert. Das Naturerleben und das Verständnis für Natur- und Umweltbelange sollen zwar gefördert werden, jedoch nur „um die Attraktivität des touristischen Angebotes zu ergänzen“ (MLR 2002b: 22). Dabei wird auf eine engere Kooperation zwischen umweltorientierten Organisationen und dem Tourismus verwiesen, um in Bezug auf Angebotsgestaltung, Vermarktung und Information eine günstigere Wettbewerbsposition zu erlangen.

Die naturverträgliche Erschließung ist, im Zusammenhang mit der Akzeptanz der Bevölkerung, dabei einem generellen Zutrittsverbot vorzuziehen, um einen Konflikt zwischen Tourismus und Naturschutz zu verhindern. Konkrete Maßnahmen der umweltgerechten Erschließung sind auf Sylt mit der Besucherlenkung umgesetzt. Ziel solcher Maßnahmen ist die Lenkung touristischer Nutzungen und Aktivitäten weg von sensiblen Lebensräumen in weniger empfindliche Bereiche, um negative Auswirkungen von Besucherströmen zu vermeiden. Die linienhafte Kanalisierung der Erholungssuchenden bietet in der Regel eine geringere Störintensität und ermöglicht durch die Wegbindung eine einfachere Steuerung der Tourismusnutzung (Spittler 2002). Erhöhte, teilweise eingezäunte Holzbohlenwege durch sensible Dünengebiete sollen die Besucher daran hindern, vorgegebene Korridore zu verlassen (<http://www.sh.juris.de>). Das Betreten der empfindlichen Bereiche ist in den meisten Naturschutzgebieten untersagt. Durch Beschilderung und Informationstafeln sollen die Gäste für den Natur- und Umweltschutz sensibilisiert werden und eine gesteigerte Akzeptanz entwickeln. Umweltbildung und Umweltethik sind in diesem Zusammenhang eng verknüpft. Erst wer die Natur 'erfahren und begriffen' hat, kann diese verstehen und schützen (Roweck 2006).

Maßnahmen dieser Art sowie die zahlreichen Naturerlebniszentren auf der Insel Sylt zeugen von einem deutlichen Bewusstsein der Akteure in Bezug auf den Natur- und Ressourcenschutz. Die enge Kooperation soll dabei Interessenkonflikte vermeiden und ein Nebeneinander von Tourismus und Naturschutz ermöglichen, damit eine nachhaltige Entwicklung sowohl in ökologischen als auch sozio-ökonomischen Bereichen gewährleistet ist.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte aufgezeigt werden, dass die Auswirkungen der touristischen Nutzung nicht nur störempfindliche Tier- und Pflanzenarten, sondern den gesamten Naturhaushalt betreffen. Die Funktionsfähigkeit eines Ökosystems hängt in der Regel von einer Vielzahl an strukturellen und prozessbezogenen Komponenten ab, die oft indirekt betroffen sind und tief greifende Veränderungen im gesamten System bewirken. Neben den strukturellen und funktionellen Veränderungen am physischen Ökosystem wurde anhand des Rahmenkonzeptes der *Ecosystem Services* belegt, dass die soziokulturellen Gewinne, die der Mensch aus dem Naturraum erlangt, ebenfalls verändert und oft auch gemindert werden können. Unter Anwendung des DPSIR-Ansatzes kann daher davon ausgegangen werden, dass die Tourismusnutzung (*Pressure*) eine Veränderung im Ökosystem hervorruft (*State*), welche meist negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden und die Gesellschaft hat (*Impact*). Daraus ergibt sich ein Handlungsbedarf, welcher positiv auf diese Prozesskette einwirken soll (*Response*).

Die Bewertung der Auswirkungen, welche der Tourismus auf die Bereitstellung der *Ecosystem Services* hat, konnte zeigen, dass für den Naturhaushalt eine negative Beeinflussung vom Tourismus ausgeht. Es wird mit entsprechenden Maßnahmen versucht, diese Auswirkungen so gering wie möglich zu halten. Um auf künftige Entwicklungen im Tourismussektor reagieren zu können, sollte jedoch eine ganzheitliche Betrachtung, welche den gesamten Naturhaushalt einbezieht, durchgeführt

werden. Im Falle der vorliegenden Fragestellung ist an dieser Stelle festzuhalten, dass in Anlehnung an das Nachhaltigkeitsprinzip alle Interessen gegeneinander abgewogen werden müssen. So dürfen weder ökologische, soziale noch ökonomische Belange vernachlässigt werden.

Literatur

- Alcamo, J. & E. M. Bennett (Hrsg.) (2003): Ecosystems and human well-being. A framework for assessment. Washington D.C.
- Breckling, B. & F. Müller (1997): Der Ökosystembegriff aus heutiger Sicht – Grundstrukturen und Grundfunktionen von Ökosystemen. In: Fränze, O., F. Müller & W. Schröder (Hrsg.): Handbuch zur Ökosystemforschung, Kap. II-2.2. Ecomed, S. 1-21.
- BfN – Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (1997): Biodiversität und Tourismus: Konflikte und Lösungsansätze an den Küsten der Weltmeere. Berlin.
- Burkhard B. & F. Müller (2008): Driver – Pressure – State – Impact – Response. In: Jørgensen, S. E. & B. D. Fath (Hrsg.): Vol. [2] of Encyclopedia of Ecology, S. 967-970.
- Costanza, R., R. D'Arge, R. S. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt (1997): The value of world's ecosystem services and natural capital. In: Nature 387: 253-260 (http://www.uvm.edu/giee/publications/Nature_Paper.pdf, 28.10.2008).
- Daschkeit, A. & P. Schottes (Hrsg.) (2002): Klimafolgen für Mensch und Küste am Beispiel der Nordseeinsel Sylt. Berlin.
- De Groot, R. (2005): Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. In: Landscape and Urban Planning 75: 175-186.
- Elbrächter, M. (1987): Geschützte Dünenbereiche. In: Meier, O. G.: Naturschutzgebiete der nordfriesischen Geestinseln Sylt und Amrum. Heide, S. 50-70.
- EEA – European Environmental Agency (1997): Annual Report 1997. Copenhagen (<http://www.eea.europa.eu/about-us/documents/ar1997>, 29.11.2008).
- Heilbäderverband Schleswig-Holstein (http://www.heilbaederverbandsh.de/hbv/thalasso/thalasso_meresheilkunde.php, 11.10.2008).
- Glaeser, B. (2005): Die Küstenproblematik zwischen Ethos und Management. In: Glaeser, B. (Hrsg.): Küste, Ökologie und Mensch – Integriertes Küstenmanagement als Instrument nachhaltiger Entwicklung. München, S. 9-34.
- Homp, C., C. Schmidt, A. Seitz & C. Stellfeldt-Koch (2008): Küstentourismus in Norddeutschland – Daten und Fakten. In: Von Rohr, G. (Hrsg.): Nachhaltiger Tourismus an Nord- und Ostsee. Steuerungsnotwendigkeiten und -möglichkeiten der Landes- und Regionalplanung. ARL. Hannover.
- Klatt, E. (2006): Sylt – Geologie einer Nordseeinsel. Neumünster.
- Klug, A. & H. Klug (1999): Naturraumbelastung durch den Fremdenverkehr im Norden Sylts. In: UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.): Umweltatlas Wattenmeer. Band 1, S. 184-185.
- Kunz, H. & T. Steensen (2007): Das neue Sylt Lexikon. Neumünster.
- Landesverordnung über das Naturschutzgebiet "Dünenlandschaft auf dem Roten Kliff/Sylt" (5.03.1979) (http://www.sh.juris.de/sh/gesamt/DuenRotKliffNatSchGV_SH.htm, 10.11.2008).
- Marketingplan der Insel Sylt (2006) (http://www.sylt.de/fileadmin/Mediendatenbank/PDFs/Presse/SYLT_094_MARKETINGPLAN_06.pdf, 26.10.2008).
- MA – Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and human well-being. Synthesis. Washington D.C. (<http://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx>, 02.05.2008).
- Möller, A. & M. Feige (1999a): Allgemeine Wirtschaftsstruktur. In: UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.): Umweltatlas Wattenmeer. Band 1, S. 178-179.
- Möller, A. & M. Feige (1999b): Wirtschaftliche Bedeutung des Tourismus. In: UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.): Umweltatlas Wattenmeer. Band 1, S. 180-181.
- Müller, F. & B. Burkhard (2007): An ecosystem based framework to link landscape structures, functions and services. In: Mander, Ü., H. Wiggering & K. Helming (Hrsg.): Multifunctional Land Use – Meeting Future Demands for Landscape Goods and Services. Berlin, S. 37-64.

- Müller, F. & B. Burkhard (2006): Beiträge zur Indikation der ökologischen Integrität auf verschiedenen Skalen. In: *EcoSys Supplement* 46: 53-69.
- Nentwig, W., S. Bacher & R. Brandl (2007): *Ökologie kompakt*. Berlin, Heidelberg.
- Odum, E. P. (1999): *Ökologie. Grundlagen – Standorte – Anwendungen*. Stuttgart.
- Roweck, H. (2006): Wieviel Natur brauchen wir? Naturerfahrung und Verantwortung. In: Kaatsch, H.-J., H. Rosenau & W. Theobald (Hrsg.): *Umweltethik. Ethik interdisziplinär* (12). Münster, S. 9-30.
- Schauser, U.-H. (2002): Naturerlebnisraum Friedrichshain. Naturpädagogische Entwicklungskonzeption als Grundlage zur Anerkennung nach § 29 LNatschG. Stadt Westerland (<http://www.stadt-westerland.de/ner-konzept.html>, 06.10.2008).
- Schottes, P. et al. (2002): Aufbau und Führung eines Geographischen Informationssystems (Sylt GIS). In: Daschkeit, A. & P. Schottes (Hrsg.): *Klimafolgen für Mensch und Küste – am Beispiel der Nordseeinsel Sylt*. Berlin, S. 41-67.
- Spittler, R. (2002): Lenkungsmöglichkeiten und -modelle zur Konfliktschärfung und Angebotsschaffung <http://www.aube-umweltakademie.de/PDF-Dateien/Artikel%20Referenzprojekte/Text%20Lenkungsm%F6glichkeiten.pdf>, 10.11.2008).
- Stock, M. et al. (1996): *Ökosystemforschung Wattenmeer – Synthesebericht: Grundlagen für den Nationalparkplan*. Schriftenreihe des Nationalparks Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer, 8. Heide.
- Sylt-Info: Daten und Fakten (<http://www.syltinfo.de/content/view/286/42/>, 17.08.2008).
- Tourismus-Service Westerland (2007): *Tourismus-Statistik 2007*. Westerland, 22 S. (<http://www.westerland.de/fileroot/service/download/tourismusstatistik2007.pdf>, 20.08.2008).
- Tourismus-Service Westerland (o.J.): *Tourismus-Statistik 2005*. Westerland, 22 S. (<http://www.westerland.de/fileroot/service/download/Tourismusstatistik2005.pdf>, 20.08.2008).
- Tourismus-Service Westerland (2005): *Geschäftsbericht 2004*. Westerland, 26 S. (http://www.westerland.de/fileroot/service/download/geschaeftsbericht_2004.pdf, 23.08.2008).
- Valeton, I. (1984): Vorwort zur Sylt-Exkursion. In: Degens, E. T. et al. (Hrsg.): *Exkursionsführer. Erdgeschichte des Nordsee- und Ostseeraums*. Geologisch-Paläontologisches Institut Universität Hamburg, S. 213-215.
- Windhorst, W., F. Müller & H. Wiggering (2004): Umweltziele und Indikatoren für den Ökosystemschutz. In: Müller, F. & H. Wiggering (Hrsg.): *Umweltziele und Indikatoren. Wissenschaftliche Anforderungen an ihre Festlegung und Fallbeispiele*. Berlin, S. 345-373.

Danksagung

Diese Fallstudie wurde im Rahmen einer Diplomarbeit am Geographischen Institut der CAU Kiel und dem Ökologie-Zentrum Kiel innerhalb des BMBF-Verbundprojektes “Coastal Futures – Zukunft Küste” verfasst, welches seit April 2004 die Förderung eines integrierten Küstenzonenmanagements (IKZM) an der Westküste Schleswig-Holsteins zum Ziel hat.

Adresse

Anke Schmidt
 Büro für Umwelt und Küste
 Steinstr. 25
 24118 Kiel, Germany

schmidt@iczm.de



The social sustainability as a condition for conservation: the case of Ilha do Mel – Brazil

Milena Kiatkoski Kim^{1,2} & Náina Pierri²

¹James Cook University, Australia

²Federal University of Paraná, Brazil

Abstract

It is a consensus that the implementation of protected areas in inhabited places should attempt to match economic development and nature conservation. The aim of this research is to assess the compatibility between the tourism model developed at Ilha do Mel (Brazil) and its conservation. The field work consisted in interviews to key informants and to a representative sample of the economic agents of Ilha do Mel. The analysis attempted to integrate various sustainability dimensions considering its inter-relationship, and having the social sustainability of the population majority as the main criterion. The results reveal that the conflict between conservation and development at Ilha do Mel is centred in the question of who receives the benefits generated by the actual development model. The natural landscape is the major attractive of the local tourism; it is proposed that the extension of the tourism benefits to the majority of the population would increase the probability of engaging them in the conservation. However, this extension of the benefits will not happen spontaneously by the market action. A conscientious and committed governmental intervention is proposed, in order to control the market and protect the majority of the population.

1 Background

Protected areas (PAs) are a key element to ensure environmental protection and may play an important role in Integrated Coastal Management by balancing conservation and development objectives. As landscape planning tools they ideally optimize the use of land, water and resources for production and conservation, therefore contributing for the maintenance of ecosystem services and the support of leisure and tourism (Scherl et al. 2004). Nevertheless, the distribution of these benefits has been increasingly recognized as an important matter. As the 5th IUCN World Parks Congress acknowledged, “a considerable part of the earth’s biodiversity survives on territories under the ownership, control or management of indigenous peoples and local (including mobile) communities” (Scherl et al. 2004). These relatively deprived populations depend on the natural resources for a number of goods and services, and often their lifestyle and weak links to the market contributed to conservation. Despite their stewardship role, these populations usually lose rights, access and control over the resources when a PA is created (Alpert 1996, Scherl 2005). Even when the creation of a PA is associated with alternative sources of livelihood such as tourism, there is no guarantee that local communities will benefit; if the market forces are unregulated, the wealth is directed to those who have more capital to invest and do not reach significantly the majority of the population (Morris & Vathana 2003). If the costs of the conservation are not compensated by its benefits, the creation of PAs might find enemies in the local population (Alpert 1996, Scherl et al. 2004).

Predominantly, the implementation of PAs with the human presence seeks to combine development and conservation by imposing limits of access and use of resources. Within this strategy the lack of effective conservation is interpreted as a result of the violation of these limits, due to a lack of both environmental conscientiousness of the population and control or enforcement by the environmental agency. Conversely, the poverty of native communities living in PAs is attributed to these limits to

resource access. The present research questions these interpretations, evidencing that the central problem is to let the market regulate the implementation of investments and the appropriation of benefits. The process of social differentiation derived from competition alienates the majority of the population of the resources, therefore discouraging their compromise with the conservation.

This question is discussed using the case of Ilha do Mel (Honey Island), the most important tourism destiny of the Paraná State coast, located in Brazil. The native population's livelihood was originally based on artisanal fishery and subsistence agriculture. It went through a period of intense changes in the natural space and the local society due to the tourism development in the 1980's. Subsequently two restrictive PAs were created intending to control the expansion in land use; together they cover 95 % of the island's surface, leaving 5 % to be used by residents and visitors. Such area is also subjected to restrictions, but it has not avoided the development of a mass tourism model, resulting in a threat to conservation and even to the tourism (Esteves 2002, Kim 2004).

2 Objectives and methods

The central question is the compatibility between the tourism model developed at Ilha do Mel and its conservation. The objective is to assess the hypothesis that, in PAs with human presence, the measures centred in limiting the access to natural resources are insufficient to effectively achieve conservation. Conversely, it requires a special attention to the social aspects, particularly to the distribution of the opportunities and the benefits of the economic activities. First, in order to support the analysis, the history of occupation, the management plans and the conservation measures of Ilha do Mel are described. Subsequently, data of the economic evolution and the current business are presented and analyzed, focusing on how the benefits are differentiated. Finally, the main conclusions are formulated, including recommendations to improve the socio-environmental management of similar cases (the complete study can be accessed at Kim 2004, in Portuguese).

The evaluation was based on a literature review complemented by fieldwork. First, key informants were interviewed, such as the staff responsible for the island's management, health and education agents, representatives of NGOs and researchers. The second stage consisted in interviews to a representative sample of the economic agents at Ilha do Mel. Between January and July 2004, 106 businesses were interviewed: 65 guest houses (68.5 % of the total number of guest houses), 35 camping sites (45.5 % of camping sites) 39 bars or restaurants and 17 businesses categorised as "others", including gift shops, outdoor accessories, grocery shops, internet cafes, a juice house and a liquor shop. A stratified analysis representing three social groups was adopted when required (adapted from Reichmann Neto 1999):

- Native: descendants of families established in the island for several generations, mainly consisting of disadvantaged people with low literacy;
- Immigrants: residents of the island for at least one year. Originally from several Brazilian states, but mainly from Paraná;
- Non-residents: business owners who do not live at Ilha do Mel but visit it seasonally or sporadically.

3 Results

3.1 History and management plans

Ilha do Mel is located between the coordinates 25° 29' S and 48° 21' 18'' W and has an area of approximately 2,900 ha (Figure 1; De Britez & Marquez 2005). Until the 1960s the main livelihoods of the local population were artisanal fishery and subsistence agriculture. In the 1970's a road to Pontal do Sul, the nearest point to the island in the continent, was built. The island started receiving

visitors seeking contact with nature in a beautiful landscape, mainly young people camping at the beaches or at residents' backyards. Since then, the local population started to provide services to these visitors and the tourism gradually became part of the natives' livelihood. In the early 1980's the tourists' influx increased considerably and the local population started to live closely with their social dynamic. The consequence was a radical change in the native lifestyle (Tomaz 1996). The tourism development was further stimulated by the provision of electricity in 1988 and the construction of a pier. From December 1987 to January 1988 the island received 36,560 visitors and 80,295 from December 1996 to January 1997 (Esteves 2002). Currently the island receives about 140,000 visitors per year with a peak of 2,000 to 5,000 tourists per day from December to March (SEMA 2004, in Dos Santos Junior 2007).

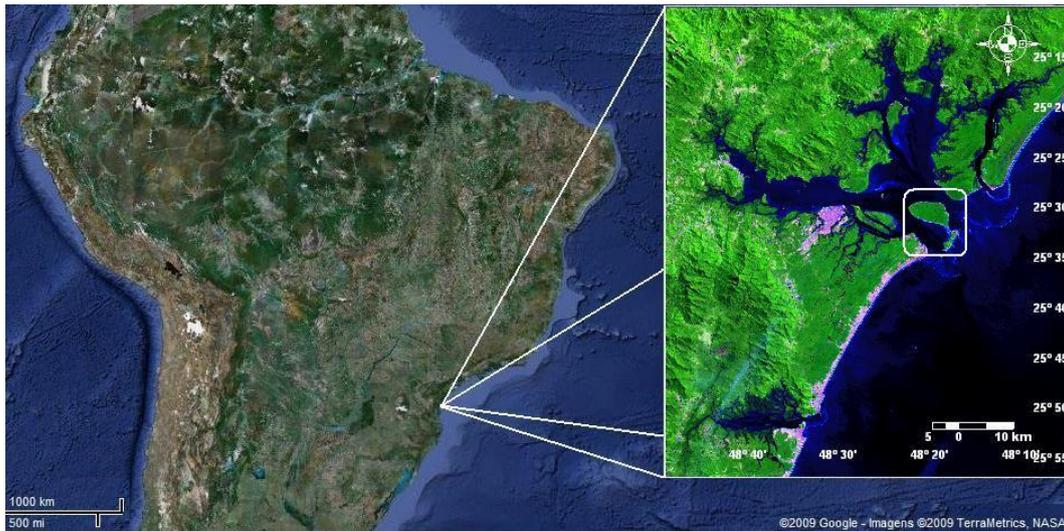


Figure 1: Localization map (Google 2009; Coastal Oceanography and Geoprocessing Laboratory, Federal University of Paraná 2004)

In the 1980's and 1990's the island received several immigrants, e. g. wealthy people seeking quality of life who started a business or deprived people looking for the opportunities derived from these new businesses. The permanent population increased from 574 habitants in 1970 to 1,448 in 2004, an increase of almost 150 %. The number of buildings also augmented, from 120 in 1970 to 758 in 2004, an increase of 6.3 times (Table 1; Dos Santos Junior 2007, Esteves 2004).

Table 1: Permanent population and buildings at Ilha do Mel, from 1970 to 2004 (after: *Esteves 2004, **Dos Santos Junior 2007, modified). Note: The data from 2002 exclude the villages of Praia Grande and Ponta Oeste, the two smallest villages of the island.

Year	Number of residents	Number of buildings
1970 *	574	120
1980 *	606	294
1991 *	515	463
1996 *	570	531
2002 *	906	700
2004 **	1,448	758

Although in 1980 the rising number of secondary residences was visible, the augment of tourism enterprises became evident only in 1995 when many secondary residences turned into businesses (Reichmann Neto 1999). The advance of tourism intensified the occupation. This expansion happened disorderly, increasing the pressure on the land and the impacts on the ecosystems. Reactively, the state

environmental agencies like IAP (Instituto Ambiental do Paraná – Environmental Institute of Paraná, the agency responsible for law enforcement and monitoring), the Environmental Secretary and the Forest Police were mobilized intending to regulate the land use (Tomaz 1996).

The first juridical mention of Ilha do Mel was in September 1946, when it was considered federal property. From the 1970's on, several architecture offices submitted tourism development plans to the federal government. Reactions of the society to such plans included the creation of a group supporting the preservation of the island and its legal acknowledgement as Historic, Artistic and Natural Heritage of Paraná State in 1975. This was a first attempt of the state government to regulate the land use, the architectonic set and the use of local flora and fauna (Paraná 1986).

In 1980 a proposal named 'Director Plan: tourism integration of Ilha do Mel', credited to a Portuguese business group, was presented to the federal government requiring the leasing of the island. It intended high profile tourism without considering the needs of the local population; the plan contained several structural problems and inadequate propositions. Facing a strong reaction to this proposal, the state government required the impediment of this lease to the federal government, simultaneously asking to hold legal responsibility over Ilha do Mel (Paraná 1986).

Foreseeing a positive response, the state government created a special commission designed to suggest measures to acknowledge the value of the Paraná islands. In 1981 this commission created the 'Use Plan of Ilha do Mel', the first systematic and wide-ranging study about the island. The plan had a diagnosis and a series of proposals emphasizing land property and use problems. A marked difference from previous plans is the clear statement of protecting the natural environment and improving the population quality of life as central objectives. The social goals were addressed by improving the infrastructure for health, education, security and sanitation (Paraná 1986).

In 1982 the management of Ilha do Mel was transferred to the Paraná State. Since then, it has administratively belonged to the municipality of Paranaguá, but it has been under the jurisdiction of IAP. The Use Plan mentioned above entered into force in 1982. Several plans were presented after the Use Plan (Paraná 1986). Progressively, the diagnoses became more elaborated and the proposals were more adequate. However, the proper implementation of these proposals has been setback by the discontinuity of the governments, the lack of financial and human resources for the environmental bodies and insufficient political will.

3.2 Conservation measures

When Ilha do Mel was transferred to the state and the Use Plan had entered into force, the government had a conservationist position. To fulfil the contract with the federal government, it created an Ecological Station (a highly restrictive PA where visitors are not allowed), with 2,240.69 ha encompassing almost the entire north part of the island. The zoning of the Use Plan also established a State Park (allowing visitors but not residents) in the southern part of Ilha do Mel (Paraná 1986).

The initial effort to create the PAs has not been continued to effectively implementing them. The management plan of the Ecological Station was edited only in 1996, 14 years after its creation, and the management programs of this plan have not been implemented at the time of writing (June 2009). The State Park was legally created in 2002 and still does not have a management plan (the Brazilian PAs system states that a management plan must be released up to 5 years after the creation of the area), and none of the PAs has a specific administrative body (Paraná 1996). Despite the lack of legal enforcement, the creation of these areas maintained the vegetation of about 95 % of the island's surface (Figure 2).

The PAs only partially restrained the urban expansion. The occupation areas also have rules intending to maintain a pattern of constructions with low impact in the landscape. These rules regulate the land ownership, the percentage of private terrains that can be built and the sort of materials allowed to be used in constructions. Nevertheless, the effective control of the occupation by enforcing these rules

depends heavily on the government in power and how compromised it is with the conservation. As the enforcement is erratic, the density of occupation areas has progressively increased and there are illegal houses and businesses inside of both PAs (Telles 2004).



Figure 2: Map presenting the areas with and without vegetation cover at Ilha do Mel (Kim 2004).

The growth of occupation areas has not been accompanied by a proportional offer of basic infrastructure, such as sanitation. The intensification of the urban density combined with seasonal peaks of visitation during the summer has caused the contamination of soil and watercourses. It also affected the seawater quality and, consequently, the tourism. Further negative impacts of the insufficiency of services such as water supply and waste collection include shortage of drinking water and rubbish accumulation during the tourism season (Esteves 2004).

The local authorities focus the control of the tourists' number to a limit of 5,000 visitors per day established in the 1990's. This number was based on the accommodation capacity and water supply at that time. This capacity has increased to 8,000 in 2004 but the limit did not change, raising complaints from a part of the local business (SEMA 2004, in Dos Santos Junior 2007). A symbolic entry fee of about US\$ 2 is also charged. The visitor control is made at the ferry on the continent side, which is the main entry to the island, though not the only. Tourists can embark from other places or utilize private boats, weakening this limitation. The new Use Plan, created in 2004 but not completely approved, includes measures to make the control of visitors stricter and the implementation of a higher visitation fee, proportional to the number of days that the tourist stays on the island.

The land use limitations imposed by the PAs affected the natives negatively, since their traditional occupation model did not include any regulations: a family member getting married usually found a piece of land unoccupied to build a new house. When the real estate speculation started after the tourism, many natives sold their land to immigrants intending to move to an unoccupied terrain, but the Use Plan stated that no new occupation areas should be opened and those who sold their terrain should leave the island (Frank et al. 1991, Tomaz 1996). This has been a conflict since then: the natives declare that their population is growing and they are confined to small terrains, therefore demanding licences to build in the protected areas.

3.3 Access to the tourism benefits

Origin and income of the economic agents

The growth rate of the number of businesses was fairly constant around 195.5 % between 1988 and 1997, with an evident increase in the number of external investors during this period. In 1988 the relative majority (45 %) of the businesses belonged to natives. In 1992 the situation had changed: 47 % of the businesses belonged to immigrants, 35 % to natives and 18 % to non-residents. In 1997, 66 % of the 93 businessmen of the island were immigrants and 34 % were natives (Figure 3). Complementarily, a survey of the households from 1998 revealed that, of the 193 immigrants interviewed, 32 % had their own business. Among the 322 natives surveyed, only 10 % were entrepreneurs (Reichmann Neto 1999).

The findings of the field study in 2004 confirm this tendency: 59 % of the businesses surveyed belonged to immigrants, 22 % to natives and 19 % to non-residents. Comparing these results with the

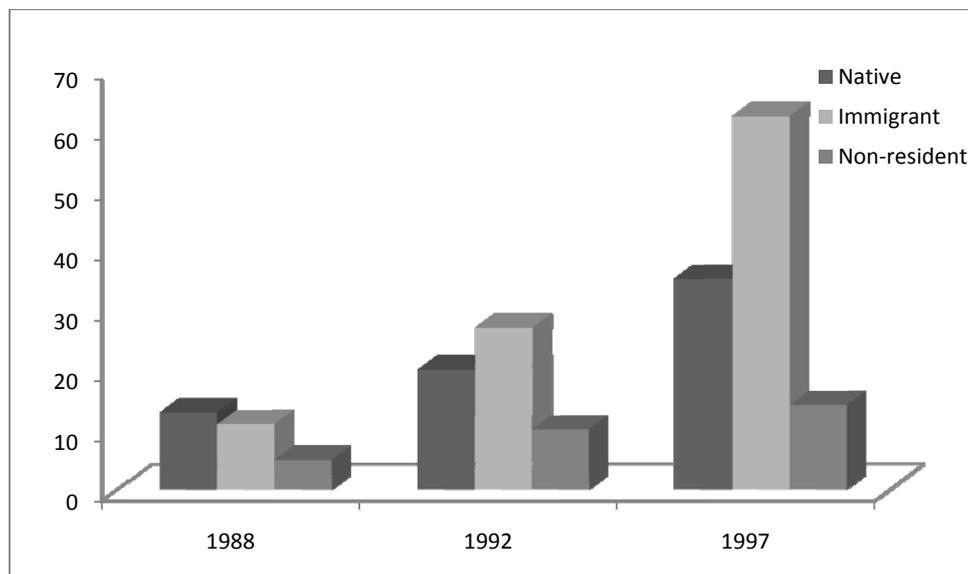


Figure 3: Evolution of the number of businesses according to the owner's origin (after: Reichmann Neto 1999, modified).

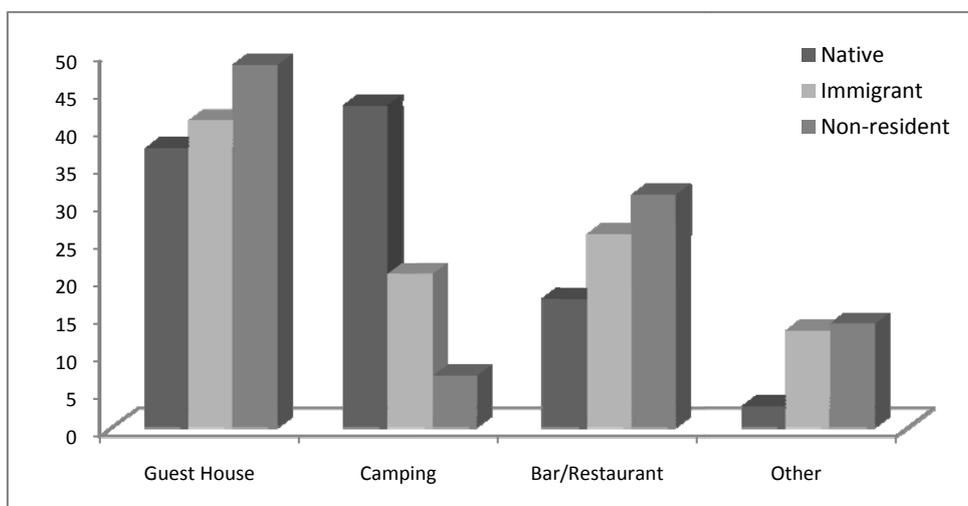


Figure 4: Percentage of business owners: origin of the proprietor per business category (Kim 2004).

survey performed by Reichmann Neto in 1997, there was a slight decrease in the proportion of immigrants (from 66 % to 59 %). This did not favour the natives, whose proportion also diminished (from 34 % to 22 %), evidencing the augment of non-resident businessmen. Such data support the inference that the richness generated for the tourism at Ilha do Mel is progressively appropriated by outsiders, especially by people who do not even live at the island, diminishing the probability of incorporating this wealth within the local economy.

This disparity was also reflected in the businesses quality. Immigrants and non-residents were predominantly owners of guest houses, while natives were the majority of camping sites' proprietors (Figure 4). The presence of external investors enhanced the quality of the services. Nevertheless, the natives were relegated to types of businesses that require lower investment in infrastructure and labour, also generating lower profit. This happened because external investors have more capital available to invest and better market knowledge, which constitutes a great advantage over natives.

Table 2: Businesses classified by quality and origin of the owner (Kim 2004)

Origin	High Quality		Fair Quality		Low Quality		Total	
	Pers.	%	Pers.	%	Pers.	%	Pers.	%
Natives	2	8	11	42	13	50	26	100
Immigrants	17	27	34	55	11	18	62	100
Non-residents	6	33	12	67	-	-	18	100

The businesses were classified according to the quality of their services (high, fair or low), considering their declared structure (number of bedrooms, individual or collective showers, variety of food offered, among others) and general appearance. By establishing the relation between the business quality category and the origin of the owner, it became evident that the majority of native residents had low quality businesses while the immigrants owned fair or high quality, and the non-residents held the larger proportion of high class enterprises (Table 2).

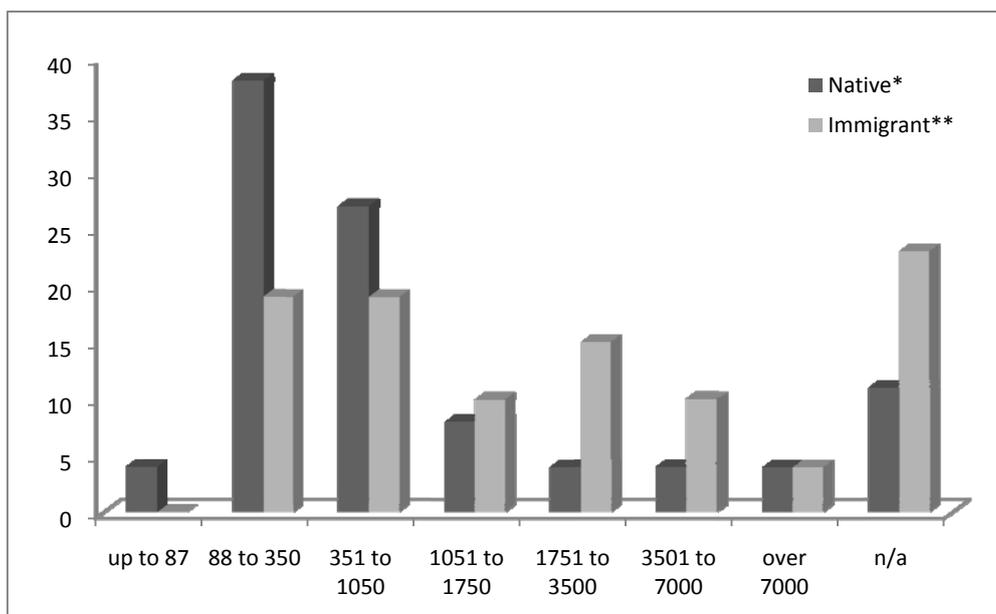


Figure 5: Average monthly family income of the businessmen during high season according to their origin, in US\$ (Kim 2004). Notes: * Percentage of the total number of interviewees. ** Percentage of the total number of immigrants that answered by season.

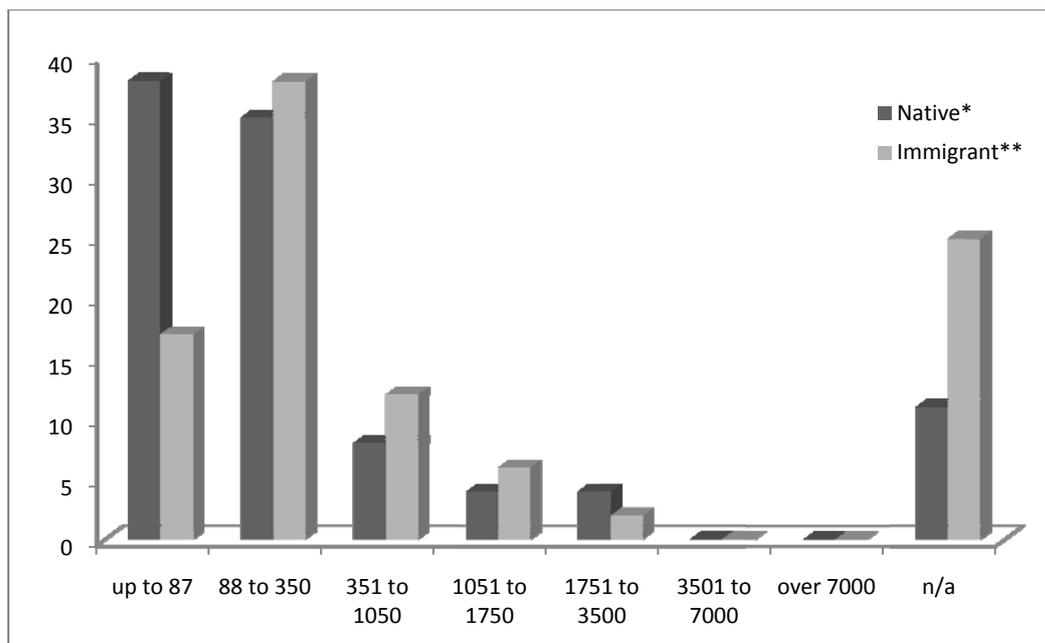


Figure 6: Average monthly family income of the businessmen during low season according to their origin, in US\$ (Kim 2004). Notes: * Percentage of the total number of interviewees. ** Percentage of the total number of immigrants that answered by season.

A major consequence of the market dominance by externals is the income inequity. Businessmen were asked to point a category representing their average monthly household income, differentiating between the low and high tourism season. Categories are in US\$, corresponding to a value in Brazilian Reais (the exchange rate was R\$ 0.35 to US\$ 1 in January/2004). Although the mode of both natives and immigrants was between US\$ 88 and 350/month in the high season, the natives were noticeably concentrated in the lower range while the immigrants had a fair distribution within the middle and higher income categories (Figure 5). During the low season the average income was obviously inferior; however, the immigrants sustained a similar income to the high season, while natives had even lower average earnings (Figure 6).

Comparing the average income declared by immigrants and non-residents, it became evident that non-residents had the highest revenues among the social categories. Beside higher returns of the island's investments, their income may also be complemented by investments elsewhere (Figure 7).

Job opportunities

The employment offer at Ilha do Mel is influenced by the tourism seasonality. The field survey asked businessmen about the number of permanent and temporary jobs offered without considering posts occupied by family members. Among the 106 interviewed, 42 % did not hire any employee outside their families; 31 % hired permanent employees, and 27 % hired temporary ones. The total number of permanent jobs generated was 110, but many of these were taken by immigrants who established themselves at the island to work. Temporary jobs lasted for a mean of three months, but several people were hired on a daily basis at busier periods. This was also true for services like gardening or cleaning. The sum of temporary jobs of all the businessmen interviewed was 166. Many of them declared preference to non-residents, stating that the local workers charged higher salaries and had neither the training nor the discipline required. Therefore, only 49 of the 166 temporary jobs could potentially be fulfilled by local residents.

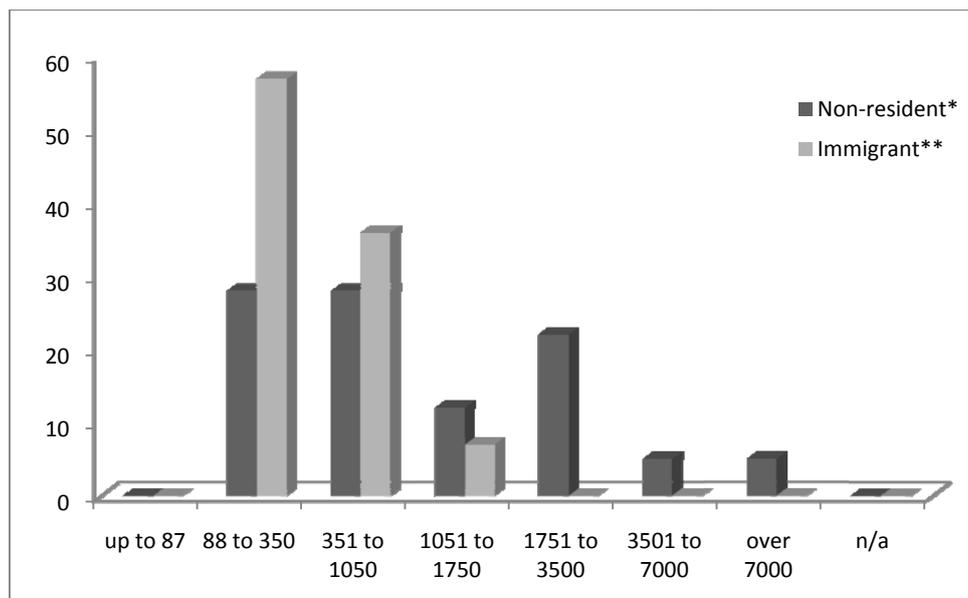


Figure 7: Mean monthly family income of the businessmen according to their origin, in US\$ (Kim 2004). Notes: * Percentage of the total number of interviewees. ** Percentage of the total number of immigrants that answered by the annual mean.

The businessmen declared to pay wages between US\$ 84 and 280 monthly (Table 3), and the most quoted value was US\$ 84, equivalent to the Brazilian minimum wage at that time.

Table 3: Number of employers per wage category paid to their employees (Kim 2004)

Wage categories	Employers	%
US\$ 84 to 105	22	39
US\$ 106 to 142	18	32
US\$ 143 to 210	14	25
US\$ 211 to 280	2	4
Total	56	100

Summing the values of essential items to support a four-member family to survive at Ilha do Mel, the wages should be of at least US\$ 252, or the equivalent of three Brazilian official minimum wages at the time of the survey. There was no information on whether the permanent jobs provide the workers’ legal benefits, but most temporary jobs usually do not support workers’ rights and the salary does not assure a fair survival for the local families.

In brief, the job opportunities were mostly seasonal and informal, and the demand was supplied by a considerable proportion of non-residents. This situation contributes to the natives’ hostility towards outsiders, either employers or employees. However, this space cannot be occupied by natives since just a small proportion of them has the adequate qualification and attitude demanded by the market.

3.4 Education, training and environmental engagement

The preparation to compete in the market depends on both formal education and specific training. The formal education at Ilha do Mel was limited to the primary school (4 years of study) until 2003; for further studying children had to travel daily to the continent. Recently, the secondary school (up to 11 years of study) has been gradually implemented on the island. The offer of technical or professional courses related to tourism is extremely poor. There have been language courses and workshops of food hygiene and customer service. Nevertheless, these courses qualify people to work in subordinate posts

without giving them the opportunity to search for a better job; it definitely does not prepare entrepreneurs or business managers, which is an element required to increase the quality of local services.

An indicator of the result of the formal study deficit was the study level of the businessmen interviewed, particularly the natives', who studied on the island: 53 % of them studied up to 4 years, only one of them completed the secondary school, and none studied more than 11 years. Conversely, the relative majority of the immigrants (36 %) completed the secondary school, and 19 % has an undergraduate degree. The non-residents are the group with most years of study (Figure 8).

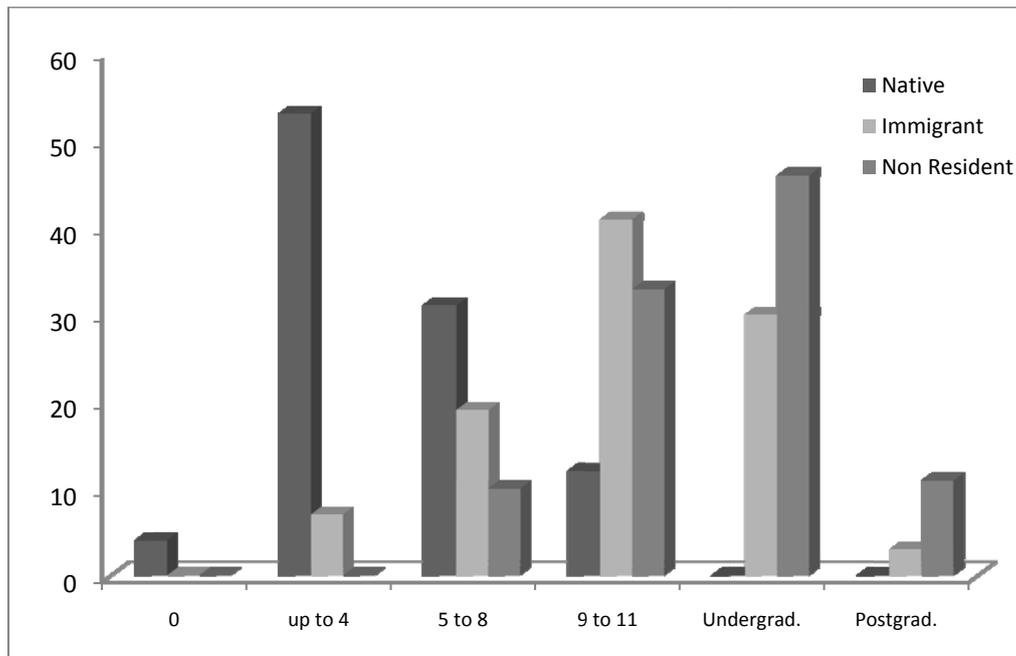


Figure 8: Years of study of the businessmen of Ilha do Mel, per origin (Kim 2004)

The deficiencies in formal study and especially the lack of professional training for the local population reproduces the natives' disadvantage and might amplify the social differentiation at Ilha do Mel to the detriment of the majority of the population, markedly natives and lower-income immigrants. This aspect exemplifies a significant governmental omission in taking measures that could favour the social equity.

Consequently, most natives interviewed supported reducing conservation measures. The businessmen were asked about the restriction on the tourist number and about the possibility of making this restriction stricter and increasing the entry fee. The majority of both immigrants and non-residents (predominantly owners of high quality businesses) agreed with the current restrictions, and several declared to support more restrictive measures (Table 4). As a result, the access to the island would be only affordable to wealthy visitors, attracting their potential clients. Conversely, the majority of natives and the owners of low quality businesses were against the present limits and fees since they restrain the access of low income visitors, their potential customers.

Table 4: Businessmen's opinion about the limits of visitor's numbers according to their origin (Kim 2004)

Origin	Agree with restrictions		Disagree with restrictions		Total	
	Pers.	%	Pers.	%	Pers.	%
Natives	8	31	18	69	26	100
Immigrants	34	55	28	45	62	100
Non-residents	14	78	4	22	18	100

4 Discussion and conclusion

As seen in the first section of this paper, the debate about PAs and populations in the Third World is intrinsically related to poverty and development issues. The case of Ilha do Mel provides several insights that might contribute to this discussion. The first point concerns the relation between tourism and conservation. PAs may act as tourism drivers, especially when preserving charismatic wildlife and beautiful landscapes. In many cases tourism has been acknowledged as a preferential activity in PAs because of its non-consumptive ways of generating revenue (Archabald & Naughton-Treves 2001, Bushell 2005). However, the success of such relation depends on how the conflict between conservation and development is articulated. At Ilha do Mel the first purpose of PAs' creation was to protect the nature by containing tourism expansion. A clear benefit was the maintenance of the natural landscape that is today the main attractive for the tourism. Nevertheless, the lack of effective PA planning and management in a context of growing tourism evidences a weak capacity to make conservation durable and effective. In the occupation areas, the conciliation between conservation and development is centred in the limitation of visitors, which is weakly conceived and inefficiently enforced.

The second important issue is the PA relation to the local population; i. e. if it is conceived as an "island of conservation" where the communities are perceived uniformly as a threat to nature, or if they are integrated in a holistic perspective and society is regarded as formed by diverse sectors with different roles within conservation. The case of Ilha do Mel is an example of a conventional conservation model centred in the nature: the population is considered a homogeneous and ahistorical block that causes mainly negative impacts on nature and, therefore, must be controlled, limited and punished (Foladori 2001). The government and the environmental agencies, as in many other cases, do not consider the social inequities and the way various economic sectors differently affect conservation, thus not intervening in the economy with regulatory measures. By letting the market act spontaneously, the authorities have contributed to the unequal distribution of the benefits generated by the natural landscape of Ilha do Mel.

This leads to the third insight presented by this study case. There is an increasing acknowledgement on the need of compensating those who suffer the burdens of PA creation by sharing the economic benefits generated in these areas. It is also understood that these burdens are differentiated among stakeholders, and the benefits should be addressed primarily to those most immediately affected by a PA (Archabald & Naughton-Treves 2001). At first, this is a matter of justice, especially when the local community had a low impact lifestyle that implied in poverty, but contributed to conservation; in such cases benefits may be regarded as a reward due to their stewardship role. Second, by sharing these benefits PAs would be more likely to fulfil their responsibility towards sustainable development, addressing social equity goals together with conservation ones. Third, it has a potential to increase conservation support since it is expected that communities will act according to their own best interest (Bushell 2005, Ostergren 2005). The recommendations arising from the Third World Parks Congress specifically recognized that people living in or near PAs can support its management "if they feel they share appropriately in the benefits flowing from protected areas, are compensated appropriately for any lost rights, and are taken into account in planning and operations." (Third World Parks Congress, in Scherl et al. 2004).

During the last decades, the attempts to improve the relation between communities and PAs through tourism varied from revenue-sharing programmes delivering entry fees and hotel levies, to Integrated Conservation and Development Projects (ICDPs) or enterprise-based approaches (Archabald & Naughton-Treves 2001, Scherl 2005, Scherl et al. 2004, Silva 2002). The results are as varied as the initiatives, but it is a fact that failing in considering the diversity of stakeholders and letting the market forces unregulated might result in benefits being concentrated in the hands of local elites or opportunist outsiders, increasing existing social inequities.

At Ilha do Mel, the natives have been expropriated of their richness by both the limitations imposed due to the PAs' creation and the marginalization strengthened by the market. For being those less benefited, they perceive the conservation as contradictory to their welfare. Therefore, instead of being aligned with the conservation they prefer to lessen protection measures, claiming the entry of more visitors and an increase of occupation areas.

The conflict between conservation and development at Ilha do Mel is, therefore, centred in the matter of who benefits from the actual development model. The challenge is to turn the economic sustainability from a threat to an ally of the conservation objectives by embedding it in social equity. It can be done taking into account social differences, controlling the economy and the richness distribution. This regulation could include measures such as:

- Awarding credits, subsidies, training and technical assistance to ensure the inclusion of natives in the main economic activities delivering quality products and services;
- Control of new external investors in quantity and quality;
- Require that external investors employ a quota of trained native workers receiving adequate wages and work benefits;
- Require all businessmen to reverse part of their profit to the conservation of PAs, the maintenance of the occupation areas' infrastructure and to the well-being of the local population.

The integration of the sustainable development dimensions does not succeed simply by the spontaneous action of the market; conversely, it requires a conscientious and compromised governmental intervention. This is proposed to be operationalized as an environmental policy, under a conception of environment that does not alienate humans from nature. It is necessary to preserve the nature to present and future generations, but without excluding those who directly depend on it. As in the present society they are subjected to uneven conditions, the political option is to either continue to favour the privileged minority or to promote the deprived majority, intending to alleviate their historical burden.

References

- Alpert, P. (1996): Integrated conservation and development projects. In: *BioScience* 46 (11): 845-855.
- Archabald, K. & L. Naughton-Treves (2001): Tourism revenue-sharing around national parks in Western Uganda: early efforts to identify and reward local communities. In: *Environmental Conservation* 28 (2): 135-149.
- Bushell, R. (2005): Building support for protected areas through tourism. In: McNeely, J.A. (ed.): *Friends for life: new partners in support of protected areas*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, pp. 141-144.
- De Britez, R.M. & M.C.M. Marques (2005): General characterization. In: Marques, M.C.M. & R.M. De Britez (eds.): *Natural history and conservation of Ilha do Mel*. Curitiba: Ed. UFPR, pp. 13-17 [original in Portuguese].
- Dos Santos Junior, O.D. (2007): Ilha do Mel tourism development context. UNESP (<http://www.rosana.unesp.br/revista>, May 30th 2008) [original in Portuguese].
- Esteves, C.J.O. (2004): Aspects of the relation between tourism and the occupation process of Ilha do Mel. Curitiba. Dissertation, Federal University of Paraná [original in Portuguese].

- Esteves, C.J.O. (2002): Environmental degradation and tourism at Encantadas village (Ilha do Mel/PR): A view from the water. Curitiba. Monograph, Federal University of Paraná [original in Portuguese].
- Foladori, G. (2001): Limits of sustainable development. Campinas, Editora da Unicamp [original in Portuguese].
- Frank, C.A., M.H. Ferronato, M. Zanin & M.T. Fortunato (1991): Ilha do Mel – No one's land. Curitiba Law Faculty. Curitiba.
- Kim, M. K. (2004): Sustainability analysis of the development model of Ilha do Mel. Monograph, Federal University of Paraná [original in Portuguese].
- Morris, J. & K. Vathana (2003): Poverty reduction and protected areas in the lower Mekong region. Parks, IUCN, 13 (3).
- Ostergren, D. (2005): Making connections: the tactics, art and science of building political support for protected natural areas. In: McNeely, J.A. (ed.): Friends for life: new partners in support of protected areas. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, pp. 155-168.
- Paraná State, Land, Cartography and Forest Institute (1986): Ilha do Mel Law and documentation collection (1946-1985). Curitiba [original in Portuguese].
- Paraná State, Environment Secretary (1996): Ilha do Mel Management Plan – Preliminary Report. Curitiba [original in Portuguese].
- Reichmann Neto, F. (1999): The inter-relations between electric energy and comfort and modernity aspects in small communities: the case of Ilha do Mel. Thesis, Federal University of Paraná [original in Portuguese].
- Scherl, L.M., A. Wilson, R. Wild, J. Blockhus, P. Franks, J.A. McNeely & T.O. McShane (2004): Can protected areas contribute to poverty reduction? Opportunities and limitations. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Scherl, L.M. (2005): Protected areas and local indigenous communities. In: McNeely, J.A. (ed.): Friends for life: new partners in support of protected areas. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, pp. 101-111.
- Silva, P.P. (2002): Common Property to Co-Management: Social Change and Participation in Brazil's First Maritime Extractive Reserve. Thesis, London School of Economics.
- Telles, D.H.Q. (2004): The land occupation at Encantadas village, Ilha do Mel: analysis of the use expansion and conflicts. Monograph, Federal University of Paraná.
- Tomaz, L. (1996): Social representations of Ilha do Mel natives. Monograph, Federal University of Paraná.

Acknowledgement

The authors are thankful for the information provided by IAP and the support of the Social Environmental Laboratory of the Marine Research Centre – Federal University of Paraná.

Address

Milena Kiatkoski Kim
James Cook University
School of Earth and Environmental Sciences
Townsville, QLD 4811, Australia

miportal@gmail.com



Tourist Beach Sorts as a classification tool for Integrated Beach Management in Latin America

Camilo Botero^{1,2} & Yuri Hurtado²

1 Universidade do Algarve, Portugal

2 Universidad del Magdalena, Colombia

Abstract

Integrated beach management is an application of the integrated coastal management framework in a local scale. However, not all beaches must be managed in the same way. Thus, the classification of beaches becomes a key tool for management. On the other hand, integrated tools for beach management are few, most of them being technical and focused on one discipline; a holistic approach is needed. Technical literature shows few classification proposals, focusing on two or three kinds of beaches. This study seeks to propose a new classification of tourist beaches based on an epistemological framework. A review of fourteen references was done and five criteria to classify beaches were assessed. Special focus was put on Latin-American classifications due to the scope of the study. As a result, four tourist beach sorts were determined: intensive, shared, ethnic and conservative beaches. Moreover, a set of stages was designed to choose each sort and was applied on five Colombian beaches. The application shows a great flexibility of the set of stages, classifying the beaches into the four types aforementioned. If beaches are well classified before starting their management, the latter will be better and more accurate. This new tool developed in this paper can be used as a strong advice to beach managers. The first stage to manage any tourist beach will be to classify them in the correct sorts to later move onto the conventional stages, such as description and planning.

1 Background and motivation

Beach management is an application of Integrated Coastal Management in a local scale. Beaches are multifunctional spaces where many human activities are developed (Ariza et al. 2008, Jimenez et al. 2007, Rubio 2003). The main beach characteristics, according to most authors, are their low slope, influence of water movement, soil formed by non-consolidated sediments and interaction among sea, land and air. In contrast, Botero and Diaz (2009) proposed, from a holistic approach, three other remarkable beach features:

1. They are common property.
2. They are highly dynamic energy systems.
3. Tourism is the main coastal activity on them.

Even though beaches are a part of the coast, guidelines for coastal management are too general for effective decision-making in such local spaces (Vallega 1999). Integrated Coastal Management should be adapted to be applied in lower scales, such as a single beach.

Some of the most common tools for beach management are carrying capacity and beach certification schemes. Beach-user density is maybe the most important variable for beach management, as Jimenez et al. (2007) argue. Therefore, control of beachgoers emerges as a relevant issue; carrying capacity is an adequate tool to manage it. At the same time, tourism is the main economic activity on beaches, as noted above. Tourists are highly sensible about litter, water quality and leisure infrastructure among other things, as many authors suggest (Jimenez et al. 2007, Nelson & Botterill 2002, Williams 2004).

Therefore, users' perception is another key variable for beach management (Espejel et al. 2007). Beach certification schemes are tools pointing out this perception to improve beach facilities and environmental quality.

However, information about beach classification as a tool for management is scarce. Since 2000, according to the databases Science Direct and Scielo, 14 papers were published with the keyword 'beach management' and 7 with the keywords 'beach' and 'classification' together; most of these 21 papers were about geomorphology (19%), marine biology (19%) and tourist beaches (19%). In the literature review done in this study, we have found few authors writing about the types of beaches and some of them mix the classification in types with the classification in grades. Several documents propose only two or maximum three kinds of beaches, while others define more than eight or ten different types. This high variability in the quantity makes it difficult to establish a comparison. Finally, none of these authors consider the classification as a tool for management, nor as a mandatory stage previous to plans and programmes for beaches.

As a consequence, we want to propose a complete and simple beach classification tool. Our aim is to offer a simple management tool to get to know the particular features of the beach before designing a coastal development programme. The tool is part of the 'epistemological tools' supported in the integrated management suggested by Vallega's approach (1999). Therefore, tourist beach sorts are not a technical tool, as geographic information systems or environmental economics are, but a tool directed to manage itself, as it will be explained in the following epistemological chapter.

2 Epistemological framework

In order to fully understand this study, its main pillars and core approach will be defined. First, Integrated Coastal Management should be studied from a complex system approach. Vallega (1999) asserts that coasts must be understood as complex systems because they cannot be described exhaustively; the author observes (1999: 20): "They can only be represented in a holistic way, which implies using a model." In addition, Vallega states that sustainable development must be the objective of coastal management, understanding the former as an achievement of the integrity of the ecosystem, social equity and economic efficiency together. Consequently, holism and relevance will be the core principles all analyses should be based on. To sum up, we totally agree with Vallega when he points out: "the major concern of Integrated Coastal Management is not technical, [...it] is epistemological."(1999: 234)

On the other hand, beaches are more than merely ecosystems; they are complex coastal systems. In order to understand a beach as a whole from the general systems theory, the pattern, as a general rule which defines the system, the structure, as components and links of the system, and the processes, as flows within the system and with the external environment, must be described (Ossa 1994). Moreover, the system function should be determined in order to know the direction the system tends to go to and to lead its evolution. Summarizing all previous concepts, many authors argue three main needs covered by beaches (Ariza et al. 2008, Jimenez et al. 2007, Rubio 2003):

1. Recreational uses such as swimming, sun bathing or relaxing.
2. Shore protection from wave energy, mainly infrastructures and landscape.
3. Natural scenery and ecological reservoir with a huge emphasis on conservation.

Up to a point, this work focuses on beaches functioning as supporters of the first need, i.e. the recreational ones.

As the last epistemological milestone for understanding this work, the external environment of beaches must be addressed. Even though beaches are part of a coast, they are coasts in themselves; therefore, beaches are affected by the same external factors as any coast. In other words, Vallega's approach (1999) should be mentioned again for the three main compounds of external coastal

environment: natural cycles, legal framework and decision making system. Another compound is related to globalization, supporting the multiple effects that global processes have on coastal areas, from economic activities to social disruptions due to increasing migration flows. As a conclusion, beaches are not isolated units; hence, their external environment must be included in any beach management action.

3 Methods

First of all, a general review of the literature was done within the epistemological framework defined above. Thirteen technical references about beach management were reviewed (Espejel et al. 2007, ICN 2002, Jimenez et al. 2007, Micallef & Williams 2004, Moraes 2007, Morgan 1999, Nelson & Botterill 2002, Nelson et al. 2000, Tudor & Williams 2006, Williams 2004, Williams & Davies 1999, Williams & Morgan 1995, Williams et al. 2002) to analyse how their authors classify tourist beaches and similarities among them. Besides, a comparison table with each reference, its beach classification and its scope was done. In the classification's row, the kind of beaches quoted by each author was literally included without taking into account the number of quotations, the context of the quotation or the aim of the paper. The objective of this 'nude classification' was to highlight only the kind of beach. Finally, the place or country of the study referred to and origin of the authors were included in the scope's row (Table 1).

Table 1: Kinds of beaches according to the technical literature reviewed

Reference	Kinds of beaches (Classification)	Scope
Williams & Morgan (1995)	Resort beaches and less developed (rural) beaches Resort and undeveloped beaches	UK
Morgan (1999)	Resort and rural beaches	UK
Williams & Davies (1999)	Resort beaches and less developed (rural) beaches	UK
Nelson et al. (2000)	Resort and rural beaches 'beach with no facilities' and 'beach at a large resort'	UK
Nelson & Botterill (2002)	Rural, urban and traditional beaches Remote beaches	UK
Williams et al. (2002)	Resort beaches	UK
ICN (2002)	Urban, semi-urban, semi-natural and natural beaches	Portugal
Williams (2004)	Resort and rural beaches	UK
Micallef & Williams (2004)	Resort and non-resort beaches	Malta-UK
Tudor & Williams (2006)	Resort, urban, village and rural beaches	UK
Espejel et al. (2007)	Recreational beaches (general framework) Arid, tempered and tropical beaches	Mexico
Jimenez et al. (2007)	Urban and semi-urban beaches Natural beaches Recreational beaches (general framework)	Europe

Furthermore, five tourist beach sort criteria were defined to create a classification of tourist beaches. Initially, the main beach features were defined according to the epistemological framework, focusing on the external environment influence. Later on, the beach structure and links were determined through relational analysis, emerging the most relevant elements and connections; this task was led by the beach recreational use. The resulted criteria are more suitable to the Latin-American context because most information was taken from the Colombian reality (Botero et al. 2008), then compared

with Cuban conditions and finally validated with six beach quality awards in Latin America (Cabrera et al. 2006, Dandon 2005, ECOPLAYAS 2007, ICONTEC 2007, MTD 2003, SEMARNAT 2006). In the end, the reviewed technical literature was used to compare each criterion with the kind of beaches found.

Afterwards, four tourist beach sorts were established on the basis of the five criteria aforementioned. First, the beach patrons were defined from the most common beach uses in Europe and Latin America, according to the technical literature reviewed. Second, these patrons were prioritized, according to the sustainable development principles argued by Vallega (1999) and applied on a model beach; stemming from this task, several types of beaches emerged. Third, a matrix with the first criterion and the four most relevant sorts was done, allotting into it the importance of each criterion for each type. The importance was quantified from three to one according to the beach features highlighted by each criterion, three being the highest and one the lowest.

Last but not least, a set of stages was defined to aid beach managers to classify their beaches. Initially, four check points were developed within pertinence analysis, understanding the pertinence as an integrated coastal management guideline from the complex system approach (Vallega 1999). Later, a classification procedure was done based on four groups of features to check on the beach: restricted aspects, beach-user density, distance to populated areas, and infrastructure and service restrictions. The quantities and restrictions were taken from a project in Colombia which proposed a qualification and certification system for tourist beaches (Botero et al. 2008). Therefore, the set of stages was applied to five beaches in this country to calibrate the model.

4 Results

The first result was the beach classification chart, stemming from the technical bibliography review. Most references came from the United Kingdom's authors or study cases, being almost three quarters of the scope areas; Europe had 11 out of 13 references and 2 were from American authors. Moreover, two general classifications were found in the five scope areas: the first one, used in the UK and Malta, focused on resort and rural or non-resort beaches; the second one, used in Portugal, Brazil and Spain, had three kinds of beaches in common (urban, semi-urban and natural/rural). The reference from Mexico must be highlighted, because it had no particular beach classification in the paper, having always been quoted as recreational beaches, although once its beaches were named as arid, tempered and tropical.

The most detailed classification of beaches was done by the Instituto da Conservação da Natureza (ICN 2002) in Portugal, cataloguing five types of beaches: urban, semi-urban, semi-natural, natural and restricted. Moreover, ICN determined each kind of beach according to three main criteria: distance from populated areas, natural carrying capacity and beach-user density. Finally, ICN proposed a matrix that related each kind of beach to some aspects of itself such as roads, pedestrian accesses, facilities, water use planning, environmental quality, lifeguards and first aids.

After the technical review, the following five criteria were defined to produce the tourist beach sorts (Table 2):

1. Beach quality depends on beach-user density (BUD).
2. Beach services and infrastructure depend on the kind of tourism.
3. Each kind of beach has a specific code of conduct.
4. Each kind of beach is affected by coastal activities and uses placed on it.
5. The distance from populated areas has influence on the kind of beach.

Finally, out of these five criteria four Tourist Beach Sorts (TBS) were defined: intensive, shared, ethnic and conservative. The TBS were described as follows:

Intensive beaches are focused on the leisure experiences of the tourists. Their main features are high beach-user density, long high tourist season, strong infrastructure and facilities, and wide tourist services. The beaches classified in this sort are located near or within big populated towns or resort areas.

Shared beaches are those with two or more simultaneous coastal activities, tourism being one of them. The presence of infrastructure used by other coastal activities is their most important characteristic. In this TBS, tourism is not the unique or the most important activity on the beach.

Ethnic beaches are situated in indigenous or strongly traditional areas. This kind of beaches is characterised by an infrastructure built with traditional architecture and materials; tourist information is also given in the local language; they are normally located in small villages and the local community is strongly involved in the economic beach structure. Tourists who visit these beaches should be interested in the local culture and customs.

Conservative beaches are focused on environmental quality and protection of high natural values. This TBS is characterised by low beach-user densities, minimum tourist services and infrastructure, a long distance to big populated areas and beachgoers with a high environmental awareness. Although conservative beaches can be located in protected areas, this sort was originally intended for beaches without special environmental protection.

Table 2: Importance of each criterion for Tourist Beach Sorts

Criteria		Tourist Beach Sorts			
		Intensive	Shared	Ethnic	Conservative
1	Beach quality depends on beach-user density	3	1	2	2
2	Beach services and infrastructure depend on the kind of tourism	2	1	3	2
3	Each kind of beach has a specific code of conduct	1	2	2	2
4	Each kind of beach is affected by coastal activities and uses placed on it	1	3	2	2
5	The distance from populated areas has influence on the kind of beach	1	1	2	3

Afterwards, four check points were defined to help decision-makers classifying beaches. The first check point contains three restricted aspects, each one represented by a question (Table 3). If one of these three answers is affirmative, the beach will be classified directly in the use related to the aspect; if all answers are negative, it must go to the second stage. The second check point contains the rank of beach-user density (BUD), according to each TBS; the BUD value on the beach should be compared with the minimum BUD allowed for each sort, classifying the beach in this minimum (Table 4). The third check point contains a matrix relating distance in kilometres to the size of the populated areas; the beach sort is achieved by the cross point between rows and columns (Table 5). Finally, the fourth check point is composed by five questions. If one of them is negative, the related TBS is denied, guaranteeing that the beach achieves some minimum standards to be classified in that TBS (Table 6). The complete set of stages is shown in Figure 1.

Table 3: First check point: restricted aspects

Restricted Aspects	
Ra1	Is there more than 30 % of the beach area occupied by other coastal activity?
Ra2	Is the beach situated in an indigenous area or near traditional communities?
Ra3	Are there seagrass meadows or coral reefs less than 2 m deep?

Table 4: Second check point: beach-user density

Beach-user Density			
Intensive (I)	Shared (S)	Ethnic (E)	Conservative (C)
> 5m ² /user	> 15 m ² /user	> 20 m ² /user	> 30 m ² /user

Table 5: Third check point: distance from populated areas

Distance vs. Population				
	Inhabitants	A < 20 km	B 20-50 km	C > 50 km
1	< 5,000	I-S-E	E-C	E-C
2	5,000-50,000	I-S	I-S	E-C
3	> 50,000	I-S	I-S	I-S-E

Table 6: Fourth check point: services and infrastructure restrictions

Services and Infrastructure	
Si1	Are cleaning services done manually?
Si2	Is the infrastructure built with environmentally friendly architecture and materials?
Si3	Is the infrastructure built with traditional architecture and materials?
Si4	Is the tourist and safety information written including the native language?
Si5	Is the tourist and safety information written in at least two languages?

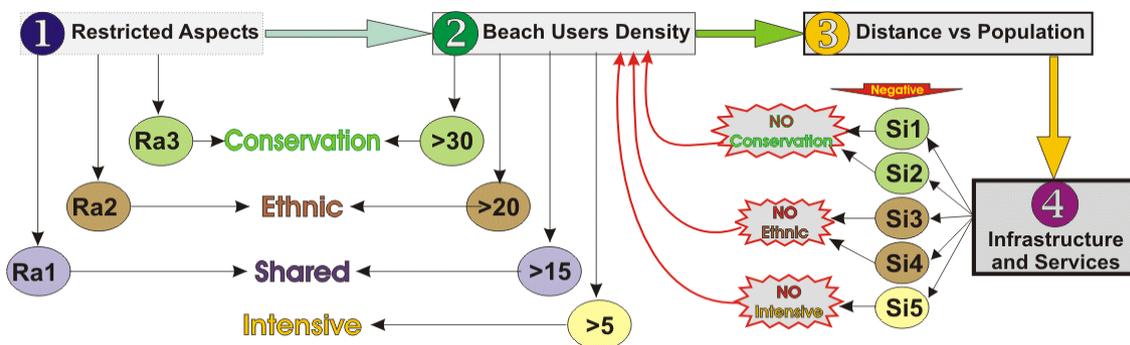


Figure 1: Set of stages to classify beaches in TBS

Application on five Colombian beaches

As a calibration of the model, five beaches on the Caribbean coast of Colombia were classified, using the TBS classification and the set of stages described above. The natural, social and economic characteristics of each beach had been taken from the project “Determinación de un sistema de calificación y certificación de playas turísticas” developed by the University of Magdalena (Colombia). The calibration focused more on the TBS obtained and the set of stages functioning than on the classification results as follows:

The first beach was El Rodadero, classified as an **intensive beach** (Table 7) due to non-restricted aspects, its BDU being above 5 m²/user, being in a city greater than 50.000 inhabitants and nearer than 20 km, besides fulfilling the services and infrastructure requirements for intensive beaches (Table 6, Si5 positive).

The second beach was Taganga, which is located in a fishermen's village with more than 50 % of the beach used for fishery (mooring boats, unloading fish, cleaning nets, etc.). Consequently, the beach was classified as **shared** from the first check point because there is another coastal activity differing from tourism and its beach use proportion is over 30 % (Table 3, Ra1). The last three check points were not considered due to the prevalence order of each stage (Table 7).

The third beach, called Bahía Concha, was situated in a natural park; hence, its natural conditions were fairly important. This area had sea grass meadows and coral reefs; therefore, it was classified as a **conservative beach** according to the first check point (Table 3, Ra3). In fact, the second and third check points were not considered, only the fourth one about checking services and infrastructure restrictions, which was affirmative, thus cataloguing the beach as conservative.

The fourth beach classified was Riohacha, which had no restricted aspects, its BDU was above 5 m²/user and it was located in a city greater than 50.000 inhabitants. Until the third check point, Riohacha beach was classified as intensive, but in the last check point it did not pass the Si5 check point (services and infrastructure restriction, Table 6). Therefore, it could not be classified as intensive. To solve the classification, stages two (beach-user density) and three (Distance vs. Population) were checked again looking for another sort; however, the result was the same. Finally, Riohacha was classified as **intensive beach**, but with a warning for its managers to improve its services and infrastructure.

The last beach was Cabo de La Vela located in an indigenous area of the Wayuu community, more than 100 km from the next town bigger than 5.000 inhabitants. Consequently, it was classified directly as an ethnic sort; however, this beach also had vast seagrass meadows. Therefore, Cabo de La Vela should be classified as conservative, too. Indeed, the second check point was applied to solve this divergence, the BDU being higher than the minimum necessary to be classified as conservative. However, the third and fourth check points were negative for the conservative sort; hence, Cabo de La Vela beach was confirmed as **ethnic**.

Table 7: Classification of five Caribbean beaches in Colombia

Beach's Name	Tourism Beach Sorts (set of stages)										TBS
	Ra1	Ra2	Ra3	BUD	DvsP	Si1	Si2	Si3	Si4	Si5	
El Rodadero	NO	NO	NO	8	A3	-	-	-	-	YES	Intensive
Taganga	YES	NO	NO	-	-	-	-	-	-	-	Shared
Bahía Concha	NO	NO	YES	-	-	YES	YES	-	-	-	Conservation
Riohacha	NO	NO	NO	17	A3	-	-	-	-	NO	Intensive*
Cabo de La Vela	NO	YES	YES	46	A1	YES	NO	YES	YES	-	Ethnic

Tourist area of Taganga Beach	0,28
-------------------------------	------

5 Discussion

The information about beach classification was scarce; therefore, the number of countries studied by this research was low. Indeed, more than half of the references came from the United Kingdom. Others were from Portugal, Malta, Mexico, Brazil and Spain. Therefore, all references from the UK were counted as only one to reduce its influence. Additionally, the beach types in the UK and Malta's references were presumably based on beach tourist infrastructure, while the classification used in other scope areas was based on territorial issues or land planning categories. Even though the link is not evident, the kind of beaches proposed by the literature seems to be tools directed at the management.

Regarding the first hypothesis, the local scale was found to be a key issue in beach management. The beach sort criteria defined in the methodology could prove this statement. The first beach sort criterion states that 'beach quality depends on beach-user density (BUD)' (Jimenez et al. 2007, Micallef & Williams 2004); indeed, the BUD is a key variable which allows effective planning of services, rearranging or optimizing beach accesses and reliable carrying capacity forecasting, all of them being local issues. Moreover, several authors (Nelson & Botterill 2002, Nelson et al. 2000) have highlighted the need to avoid the temptation to add excessive facilities to pristine beaches to attract more commercial (conventional) tourism; it may prove the sort of criterion that 'beach services and infrastructure depend on the type of tourism'. Additionally, the review of several beach quality awards shows the code of conduct as the most common requirement to inform beachgoers about particular features and hazards on the beach (Botero et al. 2008), supporting the criterion that 'each kind of beach has a specific code of conduct'. Furthermore, some literature on coastal management has regarded conflicts among coastal activities, mainly because several uses can be situated in the same area along the coast (Barragan 2003, Cicin-Sain & Knecht 1998, Kay & Alder 2005). As a result, the criterion that states 'the kind of beach is affected by coastal activities and uses placed on it' is proved. Finally, Nelson and Botterill (2002) show a quite clear relation between rural beaches and the distance to urban centres; meanwhile, Tudor and Williams (2006) include a reference about the effect caused on beaches due to the closeness to populated areas. These arguments seem to support the criterion 'the distance from populated areas has influence on the kind of beach'.

On the other hand, each tourism beach sort seems to have a key variable crucial for its management. First, the beach-user density is the key variable for intensive beaches, while distance from populated areas is for conservative ones. Additionally, the key variable for shared beaches is the interaction between tourism and other coastal activities, but for ethnic beaches it is the human interaction affecting the culture. In short, the conservative and ethnic beach sorts appear to be the most sensible tourism beach sorts, as shown in Table 2, where all their criteria are of medium or high importance. It seems that ethnic and conservative beaches are more affected by the decision-making process and beach managers should be more careful about it.

Equally important, the set of stages to classify beaches has multiple outputs, but only one is the most suitable. Running the model, there are four possible outputs: first, a unique sort passes all check points affirmatively; second, when more than one BTS is possible, the sort with more affirmative check points would be chosen; third, if the result is ambiguous, i.e. it contains different sorts in each stage, the sort selection follows the order of stages; fourth, the last check point restricts the sort obtained in the three previous check points, but it cannot classify it as another sort. In that case the beach would be classified in the selected sort, but adding management recommendations. To sum up, in the motivation (Chapter 1) it was addressed that classification is a tool for management. Hence, its application should lead beach managers to accurate decision-making.

Finally, the application task done in Colombia for calibrating the model is a quite clear example for the usefulness of tourism beach sorts. First, the task shows the simplicity of the tool use, guaranteeing its easy understanding by decision-makers. Moreover, all tourism beach sorts were found on five Colombian beaches, providing the best classification pathways. Even though the calibration process

was successful for Colombian beaches, the application of this tool in other countries may need to be adapted to fit national realities.

References

- Ariza, E., R. Sarda, J.A. Jimenez, J. Mora & C. Avila (2008): Beyond performance assessment measurement for beach management: Application to Spanish Mediterranean beaches. In: *Coastal Management Journal* 36: 47-66.
- Botero, C. & L.H. Diaz (2009): La playa como espacio costero particular en la Gestión Integrada Costera, revisión desde la bibliografía especializada. In: *Revista Medio Ambiente, Turismo y Sustentabilidad* 2: 99-107.
- Botero, C., L.H. Diaz, Y. Hurtado, J. Gonzalez, M. Ojeda & T. Jimeno (2008): Determinación de un sistema de calificación y certificación de playas turísticas. Informe final contrato 012. Instituto de Investigaciones Tropicales, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia, 242 p.
- Cabrera, J.A., M. Díaz & M.L. Moreno (2006): Propuesta de una certificación para las playas turísticas de la Provincia de Matanzas. In: VII Congreso de Ciencias del Mar (MarCuba 2006), Comité Oceánico Nacional, La Habana, 19 p.
- Cicin-Sain, B. & R.W. Knecht (1998): *Integrated coastal and ocean management: concepts and practices*. Washington, 517 p.
- Dadon, J. (2005): *Playas y balnearios de calidad: gestión turística y ambiental. Directrices y guía de autoevaluación*. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, 50 p.
- ECOPLAYAS - Organización Ecológica Playas Peruanas (2007): *Bases del premio Ecoplayas 2008*. Lima, 2 p.
- Espejel, I., A. Espinoza-Tenorio, O. Cervantes, I. Popoca, A. Mejia & S. Delhumeau (2007): Proposal for an integrated risk index for the planning of recreational beaches: use at seven Mexican arid sites. *Journal of coastal research*, Special Issue 50.
- ICN – Instituto da Conservação da Natureza (2002): *Plano de ordenamento da orla costeira Vilamoura – Vila Real de Santo António – assessoria técnica*. Lisbon, 115 p.
- ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2007): *Norma Técnica Sectorial Colombiana NTS-TS-001-2 que establece los requisitos de sostenibilidad para destinos turísticos de playa*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C., 22 p.
- Jiménez, J.A., A. Osorio, I. Marino-Tapia, M. Davidson, R. Medina, A. Kroon, R. Archetti, P. Ciavola & S.G.J. Aarnikhof (2007): Beach recreation planning using video-derived coastal state indicators. In: *Coastal Engineering* 54: 507-521.
- Kay, R. & J. Alder (2005): *Coastal planning and management*, 2nd edition. London, 375 p.
- Micallef, A. & A.T. Williams (2004): Application of a novel approach to beach classification in the Maltese Islands. In: *Journal of ocean and coastal management* 47: 225-242.
- Moraes, A.C.R (2007): *Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro*. Ed. Annablume, São Paulo. 232 p.
- Morgan, R (1999): A novel, user-based rating system for tourist beaches. In: *Tourism Management* 20: 393-410.
- MTD – Ministerio de Turismo y Deporte (2003): *Especificaciones de desempeño ambiental y requisitos para playas*. Ministerio de Turismo y Deporte, Montevideo, 17 p.
- Nelson, C. & D. Botterill (2002): Evaluating the contribution of beach quality awards to the local tourism industry in Wales – the Green Coast Award. In: *Journal of Ocean and Coastal Management* 45: 157-170.
- Nelson, C., R. Morgan, A.T. Williams & J. Wood (2000): Beach awards and management. In: *Journal of Ocean and Coastal Management* 43: 87-98.
- Ossa, C.A. (2004): *Teoría general de sistemas. Fundamentos*. Ed. Gráficas Olímpica. Pereira, Colombia, 254 p.
- Rubio, D. (2005): *Gestión integral de playas*. Agencia Valenciana de Turismo, Ed. Sintesis, Madrid, 203 p.
- SEMARNAT – Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2006): *Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006 que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Mexico D.F., 44 p.

- Tudor, D.T, & A.T. Williams (2006): A rationale for beach selection by the public on the coast of Wales, UK. In: *Area* 38 (2): 153-164.
- Vallega, A. (1999): *Fundamentals of Integrated Coastal Management*. Kluwer Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 264 p.
- Williams A.T. (2004) The Flag Jungle. In: *Fort Lauderdale Magazine*, May, pp. 42-46.
- Williams A.T. & P. Davies (1999): *Beach Management Guidelines: Dimensional Analysis*. In: Randazzo, G. (ed.): *Coastal Environmental Management*. EUCC, Electronic publishing, 10 p.
- Williams, A.T & R. Morgan (1995): Beach awards and rating systems. In: *Shore and Beach* 63 (4):29-33.
- Williams, A.T., A. Micallef & A. Ergin (2002): A theoretical framework for beach management guidelines. In: Ozhan, E. (ed.): *Beach Management in the Mediterranean and the Black Sea*. Ankara.

Acknowledgement

The research has been carried out within the European Joint Master in Water and Coastal Management in the University of Algarve. The first author is grateful to Professor Alice Newton, coordinator of this Erasmus Mundus Master. Also, the authors want to thank the University of Magdalena and the Ministry of Tourism of Colombia for the financial support of the project “Determinación de un sistema de calificación y certificación de playas turísticas” where the tool designed in this research was applied.

Address

Camilo Botero S.
University of Magdalena
Instituto de Investigaciones Tropicales
Carrera 32 N°. 22-08
Santa Marta, Colombia

playascol@yahoo.com



Identification of point sources of polyfluoroalkyl compounds (PFCs) along the River Rhine watershed and their transportation into the North Sea

Axel Möller, Lutz Ahrens, Renate Sturm & Ralf Ebinghaus

GKSS Research Centre Geesthacht, Germany

Abstract

Polyfluoroalkyl compounds (PFCs) have received increasing public attention because of their ubiquitous distribution in the aquatic environment. The concentration profile of PFCs in surface water along the River Rhine from the Lake Constance to the North Sea was investigated to identify point sources along the river and to examine their transportation into the marine environment. The water samples were preconcentrated by solid-phase extraction and analysed by a HPLC-MS/MS system. The short-chained compounds perfluorobutanoic acid (PFBA) and perfluorobutane sulfonate (PFBS) were found to be the dominating pollutants with concentrations up to 335 ng/L and 181 ng/L, respectively, while the concentrations of the other PFCs were mainly below 10 ng/L. The River Rhine downstream of the section Lower Rhine and the River Scheldt were found to be polluted by industrial point sources. Concentrations in the North Sea ranged from 0.4 to 11.6 ng/L total PFCs (Σ PFCs) while PFBA and PFBS were predominant at coastal stations, too. The results indicate that the River Rhine and in addition the River Scheldt seem to be major sources of PFCs in the North Sea whereas they might be transported into the German Bight via the easterly current.

1 Introduction and objectives

Poly- and perfluorinated compounds (PFCs) are one of the most illuminated environmental pollutants within the last years; the report about their worldwide distribution, environmental fate and transport pathways has rapidly increased since the end of the 1990s with continuously improving analytical methods. The public attention in Germany grew abruptly due to the contamination of surface and drinking water with PFCs in the region Sauerland in 2006 which originated from contaminated soil-improver which was spread on agricultural areas (Skutlarek et al. 2006).

PFCs are man-made chemicals which do not occur naturally in the environment. The industrial production started in the early 1950s with the invention of the electrochemical fluorination (ECF) for the large-scale production of PFCs. They consist of a hydrophilic head and both a hydrophobic and oleophobic carbon chain and are moderately water soluble. Because of their special chemical and physical properties due to their water, oil and soil repellence, they are used in a wide range of industrial applications and consumer products like paper, leather and textile coatings, in fire-fighting foam and in the polymer industry. The industrial interests and, therefore, the production has increased markedly in the last decades (Kissa 2001). A lot of toxic effects of PFCs have been verified and the lead compounds perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) are under the suspicion to be carcinogenic (Fromme et al. 2008, Lau et al. 2007). They are persistent and bioaccumulative substances and have been detected in various environmental matrixes like freshwater (McLachlan et al. 2007) and marine waters (Ahrens et al. 2009a, Ahrens et al. 2009b, Yamashita et al. 2004), air (Jahnke et al. 2007), soil (Higgins & Luthy 2006) and organisms (Giesy & Kannan 2001). Some compounds meet the criteria of PBT compounds (persistent, bioaccumulative and toxic compounds) and PFOS was recently listed as a POP (persistent organic pollutant) by the Stockholm Convention (UNEP 2009).

With the commencement of the EU directive 2006/122/EC on July 27th 2008, the industrial usage of PFOS is already strictly limited Europe-wide (EPC 2006). The major PFC producing company 3M voluntarily phased out their PFOS production in 2002 and introduced perfluorobutane sulfonate (PFBS), a short-chained perfluoroalkyl sulfonate (PFSA), as substitute compound, which is told to be “practically non-toxic”, but still highly persistent (3M 2002). PFBS and additionally perfluorobutanoic acid (PFBA), a short-chained perfluorocarboxylic acid (PFCA), have already been detected in seawater of the North Sea while the River Rhine was proposed to be the source of the contamination of the North Sea by the short-chained PFCs (Ahrens et al. 2009b, Theobald et al. 2007).

The objective of this study was to examine the PFC profile in surface water along the entire course of the River Rhine from the Lake Constance to the North Sea. By a high number of samples in industrially marked regions, point sources of individual PFCs along the course were identified. Furthermore, the yearly discharge of PFCs from the River Rhine into the North Sea was calculated to estimate the influence on the contamination of the North Sea. Thereby, the little studied short-chained compounds PFBS and PFBA are focused, as they were found to be the dominating compounds and might be new lead compounds for PFCs in water.

2 Material and methods

2.1 Water sampling

In September and October 2008, 75 freshwater and marine water samples were taken along the River Rhine from the Lake Constance to the North Sea including the major tributaries and waters in the Rhine-Meuse delta (Figure 1).

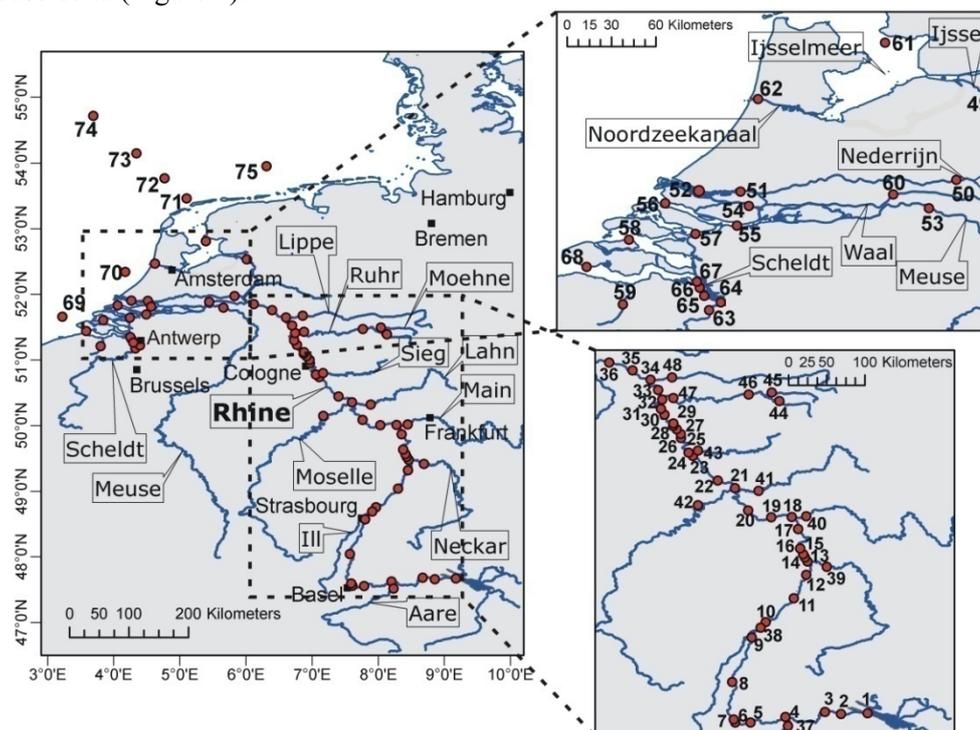


Figure 1: Maps showing the sampling stations along the River Rhine, in the tributary rivers, in the Rhine-Meuse delta and in the North Sea (Geographic data source: CCM River and Catchment Database, version 2.0 © European Commission–JRC 2007, Vogt et al. 2007)

The riverine samples were taken up- and downstream of possible point sources like the inflow of tributary rivers, industrial sites and wastewater treatment plants (WWTPs) in order to investigate their influence on the contamination. The seawater samples at stations 69 to 75 were taken by the

Rijkswaterstaat Waterdienst, The Netherlands (RWS) from the research vessel *R/V Zirfaea* via a ship intake system. Samples at the stations 36, 49, 51, 52, 54-57, 59, 61, 62 and 67 were taken by RWS via a ship intake system or from the shore. The remaining samples were taken via a stainless steel bucket from bridges, pontoons, public passenger ships or from the shore. All samples were taken at a water depth ≤ 1 metre and stored in 1 litre polypropylene bottles until analysis.

Table 1: Names, acronyms and formula of analysed PFCs (after Ahrens et al. 2009d, modified)

Analyte	Acronym	Formula
Perfluorobutane sulfonate	PFBS	C4F9SO2O-
Perfluoropentane sulfonate	PFPS	C5F11SO2O-
Perfluorohexane sulfonate	PFHxS	C6F13SO2O-
Perfluoroheptane sulfonate	PFHpS	C7F15SO2O-
Perfluorooctane sulfonate	PFOS	C8F17SO2O-
Perfluorononane sulfonate	PFNS	C9F19SO2O-
Perfluorodecane sulfonate	PFDS	C10F21SO2O-
6:2 fluorotelomer sulfonate	6:2 FTS	C6F13C2H4SO3-
Perfluoro-1-hexane sulfinate	PFHxSi	C6F13SO2-
Perfluoro-1-octane sulfinate	PFOSi	C8F17SO2-
Perfluoro-1-decane sulfinate	PFDSi	C10F21SO2-
Perfluorobutanoic acid	PFBA	C3F7COOH
Perfluoropentanoic acid	PFPeA	C4F9COOH
Perfluorohexanoic acid	PFHxA	C5F11COOH
Perfluoroheptanoic acid	PFHpA	C6F13COOH
Perfluorooctanoic acid	PFOA	C7F15COOH
Perfluorononanoic acid	PFNA	C8F17COOH
Perfluorodecanoic acid	PFDA	C9F19COOH
Perfluoroundecanoic acid	PFUnDA	C10F21COOH
Perfluorododecanoic acid	PFDoDA	C11F23COOH
Perfluorotridecanoic acid	PFTriDA	C12F25COOH
Perfluorotetradecanoic acid	PFTeDA	C13F27COOH
Perfluorotridecanoic acid	PFPDA	C14F29COOH
Perfluorohexadecanoic acid	PFHxDA	C15F31COOH
Perfluoroheptadecanoic acid	PFHpDA	C16F33COOH
Perfluorooctadecanoic acid	PFOcDA	C17F35COOH
Perfluoro-3,7-bis(trifluoromethyl)-octanoic acid	3,7m2-PFOA	C9F19COOH
Perfluorooctane sulfonamide	PFOSA	C8F17SO2NH2
N-methyl perfluorooctane sulfonamide	N-MeFOSA	C8F17SO2NH(CH3)
N-ethyl perfluorooctane sulfonamide	N-EtFOSA	C8F17SO2NH(C2H5)
N-methyl perfluorooctane sulfonamidoethanol	N-MeFOSE	C8F17SO2N(CH3)C2H4OH
N-ethyl perfluorooctane sulfonamidoethanol	N-EtFOSE	C8F17SO2N(C2H5)C2H4OH
N-methylperfluorobutane sulfonamide	MeFBSA	C4F9SO2NH(CH3)
N-methylperfluorobutane sulfonamidoethanol	MeFBSE	C4F9SO2N(CH3)C2H4OH
2-perfluorohexyl ethanoic acid	FHEA	C6F13CH2COOH
2-perfluorooctyl ethanoic acid	FOEA	C8F17CH2COOH
2-perfluorodecyl ethanoic acid	FDEA	C10F21CH2COOH
2H-perfluoro-2-octenoic acid	FHUEA	C6F12CHCOOH
2H-perfluoro-2-decenoic acid	FOUEA	C8F16CHCOOH
2H-perfluoro-2-dodecenoic acid	FDUEA	C10F20CHCOOH

2.2 Analysed compounds

In total, 40 PFCs were analysed including 16 PFCAs, 7 PFSAs, 6:2 Fluorotelomer sulfonate (6:2 FTS), 3 perfluoroalkyl sulfinates (PFSiAs), 4 perfluoroalkyl sulfonamides (FASAs), 3 perfluoroalkyl sulfonamidoethanols (FASEs), 3 fluorotelomercarboxylic acids (FTCAs) and 3 unsaturated fluorotelomercarboxylic acids (FTUCAs). All analytes and acronyms are included in Table 1.

2.3 Chemicals

Methanol (SupraSolv), acetonitrile (LiChrosolv), ammonium hydroxide (25 % for analysis) and ammonium acetate were purchased from Merck (Darmstadt, Germany). Millipore water was supplied by a Milli-Q Plus 185 system (Millipore).

2.4 Sample pre-treatment and extraction procedure

The surface water samples were filtered prior to the extraction using glass fiber filters (GC/C, Whatman, \varnothing 47 mm, 1.2 μ m). The samples were extracted in a clean lab (class 10,000) based on the method described by Ahrens et al. (2009a) with some modifications. Briefly, 400 mL water samples (1 litre for the North Sea samples) were spiked with 10 ng of a mass labelled internal standard (IS) mix including 20 mass labelled internal standards (see Table 2 for internal standards).

Table 2: Names, acronyms and formula of internal standards (after Ahrens et al. 2009d, modified)

Internal Standard	Acronym	Formula
Perfluoro-1-hexane[¹⁸ O ₂]sulfonate	[¹⁸ O ₂]-PFHxS	C ₆ F ₁₃ S[¹⁸ O ₂]O ⁻
Perfluoro-1-[1,2,3,4- ¹³ C ₄]octanesulfonate	[¹³ C ₄]-PFOS	C ₄ F ₉ [1,2,3,4- ¹³ C ₄]F ₈ SO ₂ O ⁻
Perfluoro-1-[1,2,3,4- ¹³ C ₄]octanesulfinate	[¹³ C ₄]-PFOSi	C ₄ F ₉ [1,2,3,4- ¹³ C ₄]F ₈ SO ₂ ⁻
Perfluoro-n-[1,2,3,4- ¹³ C ₄]butanoic acid	[¹³ C ₄]-PFBA	2,3,4- ¹³ C ₃ F ₇ ¹³ COOH
Perfluoro-n-[1,2- ¹³ C ₂]hexanoic acid	[¹³ C ₂]-PFHxA	C ₄ F ₉ [2- ¹³ C]F ₂ ¹³ COOH
Perfluoro-n-[1,2,3,4- ¹³ C ₄]octanoic acid	[¹³ C ₄]-PFOA	C ₄ F ₉ [2,3,4- ¹³ C ₃]F ₆ ¹³ COOH
Perfluoro-n-[1,2,3,4,5- ¹³ C ₅]nonanoic acid	[¹³ C ₅]-PFNA	C ₄ F ₉ [2,3,4,5- ¹³ C ₄]F ₈ ¹³ COOH
Perfluoro-n-[1,2- ¹³ C ₂]decanoic acid	[¹³ C ₂]-PFDA	C ₈ F ₁₇ ¹³ CF ₂ ¹³ COOH
Perfluoro-n-[1,2- ¹³ C ₂]undecanoic acid	[¹³ C ₂]-PFUnDA	C ₉ F ₁₉ ¹³ CF ₂ ¹³ COOH
Perfluoro-n-[1,2- ¹³ C ₂]dodecanoic acid	[¹³ C ₂]-PFDoDA	C ₁₀ F ₂₁ ¹³ CF ₂ ¹³ COOH
N-methyl-d ₃ -perfluoro-1-octanesulfonamide	d ₃ -N-MeFOSA	C ₉ D ₃ HF ₁₇ NO ₂ S
N-ethyl-d ₅ -perfluoro-1-octanesulfonamide	d ₅ -N-EtFOSA	C ₁₀ D ₅ HF ₁₇ NO ₂ S
2-(n-deuteriomethylperfluoro-1-octanesulfonamido)-1,1,2,2-tetradeuterioethanol	d ₇ -N-MeFOSE	C ₈ F ₁₇ SO ₂ N(CD ₃)C ₂ D ₄ OH
2-(n-deuterioethylperfluoro-1-octanesulfonamido)-1,1,2,2-tetradeuterioethanol	d ₉ -N-EtFOSE	C ₈ F ₁₇ SO ₂ N(C ₂ D ₃)C ₂ D ₄ OH
2-perfluorohexyl-[1,2- ¹³ C ₂]ethanoic acid	[¹³ C ₂]-FHEA	C ₆ F ₁₃ ¹³ CH ₂ ¹³ COOH
2-perfluorooctyl-[1,2- ¹³ C ₂]ethanoic acid	[¹³ C ₂]-FOEA	C ₈ F ₁₇ ¹³ CH ₂ ¹³ COOH
2-perfluorodecyl-[1,2- ¹³ C ₂]ethanoic acid	[¹³ C ₂]-FDEA	C ₁₀ F ₂₁ ¹³ CH ₂ ¹³ COOH
2H-perfluoro-[1,2- ¹³ C ₂]-2-octenoic acid	[¹³ C ₂]-FHUEA	C ₆ F ₁₂ ¹³ CH ¹³ COOH
2H-perfluoro-[1,2- ¹³ C ₂]-2-decenoic acid	[¹³ C ₂]-FOUEA	C ₈ F ₁₆ ¹³ CH ¹³ COOH
2H-perfluoro-[1,2- ¹³ C ₂]-2-dodecenoic acid	[¹³ C ₂]-FDUEA	C ₁₀ F ₂₀ ¹³ CH ¹³ COOH

The samples were extracted via solid-phase extraction using Oasis WAX cartridges (Waters, 150 mg, 6 cc) which were conditioned with 5 mL 0.1 % ammonium hydroxide (NH₄OH) in methanol, following 5 mL methanol and 5 mL Millipore water. The cartridges were loaded at approximately 1 drop/sec (3 drops/sec for the one litre North Sea samples), washed with 5 mL 0.1 % NH₄OH in

Millipore water and then dried via centrifugation (2 min at 3000 rpm). Elution was done in two steps using first 14 mL acetonitrile and second 5 mL 0.1 % NH₄OH in methanol. Method blanks using 1 litre or 400 mL Millipore water were extracted in the same way for each batch containing 10 to 12 samples.

2.5 Instrumental analysis

The extracts were analysed by a HPLC-MS/MS system with an electrospray interface in negative ionisation mode. An API 3000 triple-quadrupole mass spectrometer (Applied Biosystems/MDS Sciex) was used for detection (see Ahrens et al. 2009a for more details). An instrumental blank using methanol was injected with every batch.

2.6 Quantification and quality control

A five-point calibration from 0.5 ng/mL to 10 ng/mL (0.5, 1.0, 2.5, 5.0 and 10 ng/mL) was used for the quantification while two to four more calibration standards were added for higher concentrations (50, 100, 200 and 300 ng/mL). Response factors between analyte and the appropriate IS were used as calibration signal. As no analytical standards were available for perfluoropentane sulfonate (PFPS), perfluorononane sulfonate (PFNS), perfluoropentadecanoic acid (PFPeDA) and perfluoroheptadecanoic acid (PFHpDA), they were quantified using calibration parameters of the one carbon atom longer and shorter compounds. Thus, the results of these compounds should be seen just as estimation. All calibration graphs were linear and the correlation coefficients were > 0.99 for all analytes. PFOA was found in all method blanks above the method detection limit (MDL) in the pg/L range. However, as the concentrations in the real samples were about two orders of magnitude higher, the blind concentrations are negligible. Perfluorononanoic acid (PFNA), perfluoroundecanoic acid (PFUnDA), Perfluorohexadecanoic acid (PFHxDA) and perfluorooctadecanoic acid (PFOcDA) were found occasionally slightly above the MDL. All blank concentrations were considered in the calculation of the sample concentration by subtraction from the sample concentrations. The instrumental blanks showed no contamination. The mean recoveries of the internal standards in the seawater samples ranged from 6 ± 1 % ([¹³C₄]-PFBA) to 69 ± 12 % ([¹³C₄]-PFDA), the mean recoveries of PFCAs and PFSAAs were 38 ± 24 % and 44 ± 22 %, respectively. The recoveries in the river water samples were higher ranging from 22 ± 6 % ([¹³C₄]-PFBA) to 105 ± 25 % ([¹³C₄]-PFOSi) with mean recoveries for PFCAs and PFSAAs of 55 ± 27 %. The relative recoveries of the analytes, which were corrected by the recoveries of the internal standards, ranged from 58 % (PFBS) to 182 % (6:2 FTS) with a mean recovery of PFCAs and PFSAAs of 95 ± 28 % and 74 ± 10 %, respectively. The MDLs were determined at a signal to noise ratio (S/N) of three ranging from 0.0037 ng/L for perfluorooctane sulfinate (PFOSi) to 1.15 ng/L (PFBA) for the 1-litre seawater samples and from 0.014 ng/L for perfluoro-3,7-bis(trifluoromethyl)-octanoic acid (3,7m₂-PFOA) to 1.60 ng/L (PFBA) for the 400 mL samples.

3 Results and discussion

3.1 PFCs along the River Rhine and its tributaries

Along the River Rhine and its tributaries, 27 PFCs were quantified including 6 PFSAAs (C₄-C₉ PFSAAs), 6:2 FTS, 16 PFCAs (C₄-C₁₈ PFCAs and 3,7m₂-PFOA), perfluorohexane sulfinate (PFHxSi), perfluorooctane sulfonamide (PFOSA), N-methylperfluorobutane sulfonamide (MeFBSA), N-methylperfluorooctane sulfonamidoethanol (N-MeFOSE) and N-methylperfluorobutane sulfonamide (MeFBSA). The ΣPFC concentration ranged from 4.1 ng/L at the Lake Constance (station 1) to 267.5 ng/L in the section Lower Rhine (station 35). Figure 2 shows the concentration profile of major quantified PFCs along the River Rhine.

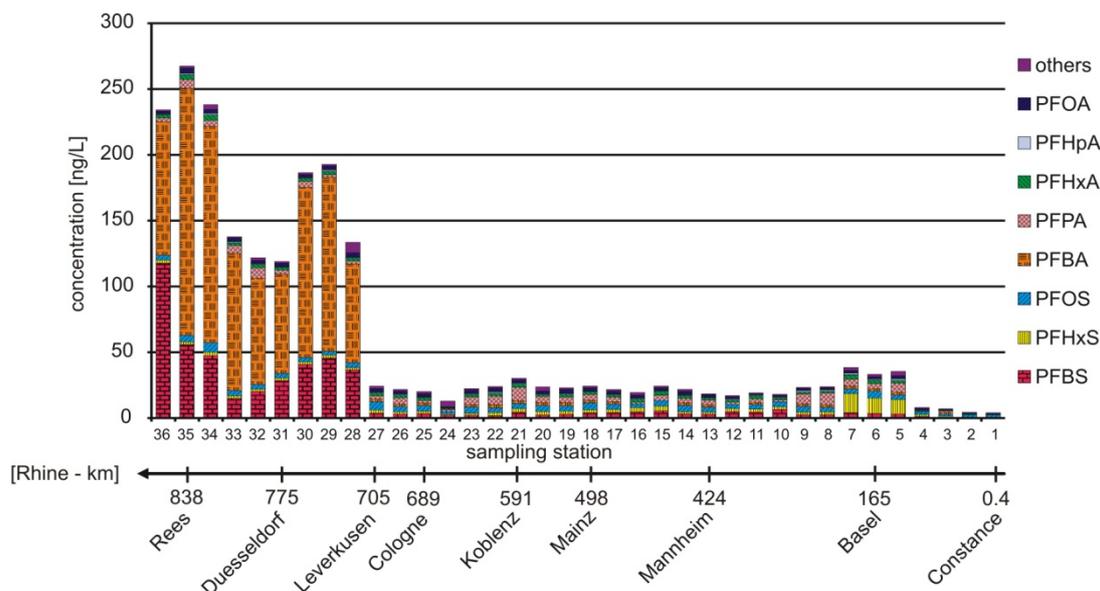


Figure 2: Concentration profile of major PFCs quantified along the River Rhine

The composition was dominated by the C₈-based compounds PFOS and PFOA and the C₄-based compounds PFBS and PFBA. Further, perfluoropentanoic acid (PFPeA), perfluorohexanoic acid (PFHxA), perfluoroheptanoic acid (PFHpA), PFNA, perfluorodecanoic acid (PFDA) and perfluorohexane sulfonate (PFHxS) were detected in at least 90 % of the samples.

Along the River Rhine, two significant concentration increases were observed:

1. Station 4 to 5: PFHxS increased by a factor of ~10 with a maximum concentration of 14.5 ng/L at station 7.
2. Station 27 to 28: PFBS and PFBA increased by a factor of ~10 (from 3.8 to 36.7 ng/L) and ~33 (from 2.3 to 75.1 ng/L), respectively.

The C₆ compound PFHxS is industrially used in aqueous film-forming foams (AFFF) and for carpet treatments (Kärman et al. 2006). Hence, the first increase was likely caused by direct industrial emissions or indirect via WWTP effluents. Several paint, pharmaceuticals, plastic and textile manufacturing factories located in this section are conceivable sources. Due to the decrease of PFHxS by a factor of ~5 from station 7 to station 8, the increase seems to be based on a temporary or discontinuous pointwise immission of PFHxS.

The increases of PFBS and PFBA between station 27 and 28 were observed in an industrially marked region in the section Lower Rhine. Downstream of station 28, the mean concentrations were relatively constant with 116.8 ± 40.1 ng/L for PFBA and 45.4 ± 30.2 ng/L for PFBS. The source of the increase was found to be the discharge of treated wastewater by a WWTP located near the city of Leverkusen upstream of station 27 which treats industrial wastewaters. Obviously, the wastewater plume was not detected at station 27. In 2006, Lange et al. (2007) had already observed PFBS concentrations of 81 ng/L and 48 ng/L (mean values) in the Lower Rhine (sites Duesseldorf and Duisburg) and they reported a regional concentration increase of PFBS in the section Lower Rhine, too. The State Office of Nature, Environment and Consumer Protection North Rhine-Westphalia determined PFC concentrations in the wastewater effluent up to 68 µg/L for PFBA and 19 µg/L for PFBS, respectively (Bergmann 2009). Therefore, the operating company took actions to reduce the discharge of PFBS and PFBA into the River Rhine in the end of 2008 whereby the concentrations decreased to ~10 ng/L in the River Rhine downstream of the inflow (Bergmann 2009).

In the investigated tributaries of the River Rhine, the Σ PFC concentration ranged from 6.3 ng/L (station 43, River Sieg) to 308.8 ng/L (station 45, River Moehne) while PFBS, PFBA, PFPeA, PFOS and PFOA were the most common compounds (Figure 3).

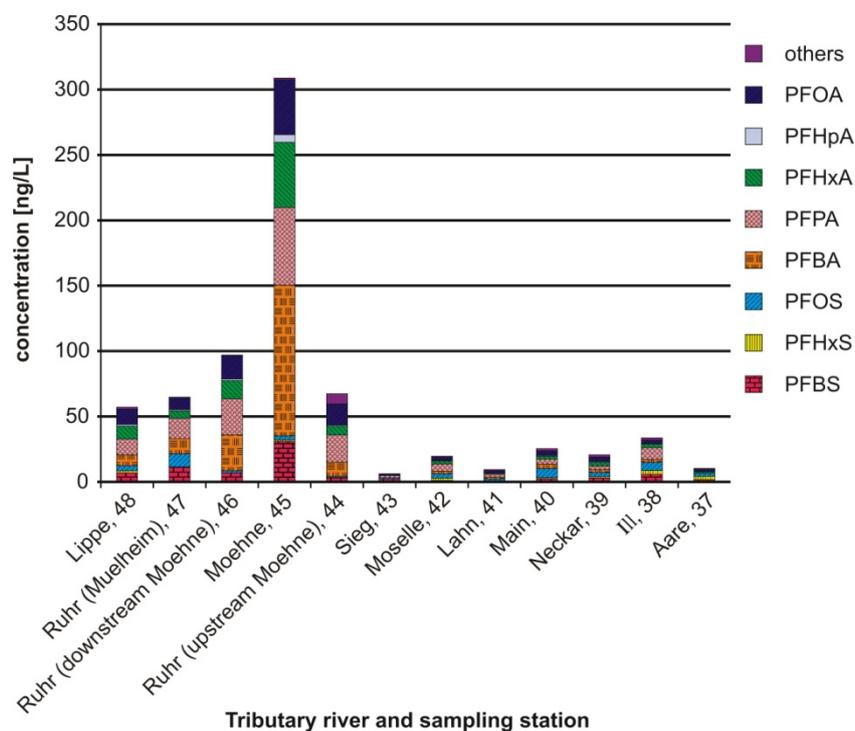


Figure 3: Concentrations of major PFCs quantified in the tributaries of the River Rhine

The rivers Moehne and Ruhr showed the highest concentrations of the investigated tributary rivers dominated by the C₄ to C₈ PFCAs. Since the dominating compounds in the rivers Ruhr and Moehne (i. e. PFBA, PFPeA, PFHxA and PFOA) were the main pollutants in the contamination scandal in the region Sauerland in 2006 (Skutlarek et al. 2006, Wilhelm et al. 2008), it is likely that the rivers Ruhr and Moehne are still polluted by runoff water from contaminated agricultural areas. The concentration in the River Ruhr downstream of the inflow of the River Moehne (station 46) increased by a factor of 1.4 (Σ PFCs) compared to station 44 upstream of the inflow showing the inflow's influence. The other tributaries showed no noteworthy concentration and no concentration increases were observed in the River Rhine downstream of their inflows.

In comparison, Skutlarek et al. (2006) reported approximately five times higher PFOS and PFOA concentrations in the River Rhine than observed in this study with concentrations up to 30 and 24 ng/L, respectively. The PFOS and PFOA concentrations along the River Rhine observed in this study are comparable to the concentrations in the River Elbe reported by Ahrens et al. (2009c) while the PFBS and PFBA concentrations are up to 50 times higher. McLachlan et al. (2007) reported PFHxA and PFNA concentrations in the River Rhine similar to this study, their observed PFHpA and PFOA concentrations were slightly higher. Further, the highest PFOA concentration in their study on 14 European rivers was found in the River Po with 200 ng/L, followed by the River Thames with 23 ng/L. A maximum PFBS concentration of 2,900 ng/L was reported for the River Aare (Lange et al. 2007). In a recent study, PFBS concentrations in the River Glatt comparable to the concentrations in the River Rhine downstream to station 27 were reported (Huset et al. 2008). In general, PFOA and PFOS concentrations in riverine water samples in this study are lower, while PFBS and PFBA concentrations are higher compared to riverine concentrations reported in recent studies. These results suggest the decreasing usage and emission of PFOA and PFOS into the aqueous environment and the replacement by the C₄-based compounds PFBS and PFBA.

3.2 Transport of PFCs through the delta into the North Sea

The surface water samples along the course of the River Rhine in the delta showed similar concentrations and contributions as observed downstream of station 28 with PFBS and PFBA as the predominating PFCs. The Σ PFC concentration ranged from 20.8 ng/L (station 58, Eastern Scheldt) to 286.8 ng/L (station 60, River Waal). Figure 4 shows the concentrations of PFCs in the Rhine-Meuse delta. The main source of the pollution of the branches of the River Rhine is the WWTP at the Lower Rhine as mentioned above. Surely, there might be other sources discharging PFCs contributing to the pollution of the delta. Along the course of the Rhine, the Σ PFC concentration decreased towards stations influenced by seawater due to the tides like the New Waterway Canal (station 52) and the North Sea Canal (station 62). Conversely, higher PFOA concentrations were observed in the waters New Meuse (station 51) and in the New Waterway Canal pointing to the discharge of PFOA in the areas of the cities Dordrecht and Rotterdam located along the river. Sources might be the use of PFOA in the fluoropolymer production like Teflon®. The Western Scheldt estuary (station 68), which is the estuary of the River Scheldt, was found to be ~5 times higher polluted by PFCs compared to the Eastern Scheldt estuary (station 58), pointing to the influence of the discharge via the River Scheldt.

The second important river contributing to the delta, the River Meuse, showed a comparably low concentration (49.3 ng/L Σ PFCs) while the composition was dominated by PFBS, PFPeA and PFOA.

The third investigated river in the delta, the River Scheldt, was found to be the highest PFC-contaminated river among all investigated waters with a Σ PFC concentration up to 620.9 ng/L (station 67) while an increase by a factor of ~2.5 downstream of the city Antwerp was observed. PFBA was the most abundant PFC ranging from 87.8 ng/L (station 63) to 335.1 ng/L (station 67) and PFBS was also detected in high concentrations from 71.2 ng/L (station 63) to 153.0 ng/L (station 64). Apart from them, PFPeA and PFOA were found in quite high concentrations ranging from 16.7 ng/L (station 63) to 41.4 ng/L (station 67) and from 14.1 ng/L (station 63) to 69.5 ng/L (station 66), respectively.

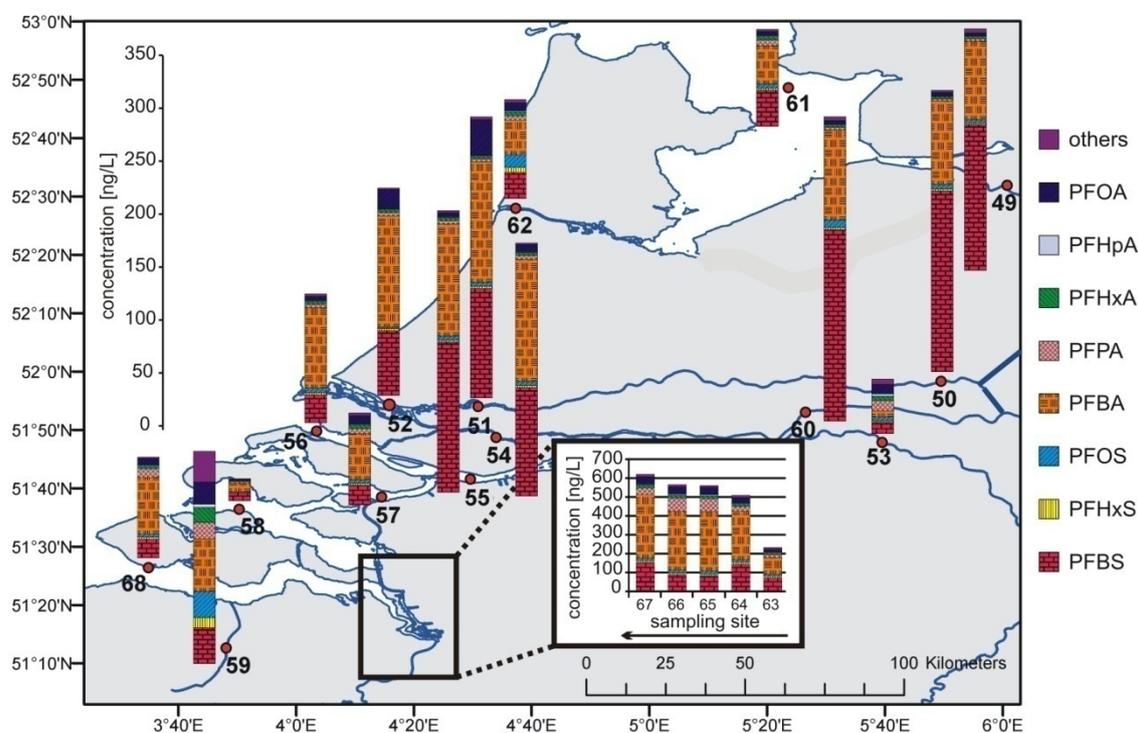


Figure 4: Concentrations of major PFCs quantified in the Rhine-Meuse delta.

Note: Measured salinity at the stations 52, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67 and 68 was 3.1, 0.8, 32.7, 2.8, 5.6, 1.8, 6.2, 9.9, 9.4, 9.4 and 29.8 psu, respectively. The salinity at the remaining stations was below 0.5 psu (Geographic data source: CCM River and Catchment Database, version 2.0 © European Commission-JRC 2007, Vogt et al. 2007).

Since the contamination of the River Scheldt was based on the same compounds as observed for the River Rhine, similar or related production processes and products might cause the contaminations of the River Rhine and the River Scheldt. Possible sources of the observed increase and the high contamination are industrial plants located in the harbour area of Antwerp, including a fluorochemical manufacturing facility.

Along the Dutch coastline in the North Sea, 14 compounds were found in concentrations above the MDL (C_4 - C_6 and C_8 PFSAs, PFOSi, C_4 - C_{11} PFCAs, PFOSA and N-MeFOSE). The Σ PFC concentration varied from 0.4 ng/L at station 74 (175 km from the shore of Terschelling) to 11.6 ng/L at station 71 (10 km from the shore of Terschelling) while a strong decrease with increasing offshore distance was observed from station 71 to 74. Figure 5 shows the observed concentrations along the Dutch coastline. The C_4 compounds PFBS and PFBA were the dominating compounds at coastal stations with maximum concentrations of 4.8 ng/L for PFBS and 4.2 ng/L for PFBA. The same compounds were found to be dominant in the River Rhine distributaries and in the River Scheldt, indicating the rivers Rhine and Scheldt as sources of these compounds in the North Sea. Recently, the River Rhine was assumed to be a major source of PFCs in the North Sea by Theobald et al. (2007), who detected the highest concentrations in the North Sea close to the Rhine-Meuse delta estuaries. Furthermore, Ahrens et al. (2009b) observed significantly higher PFBS concentrations in the German Bight than in the River Elbe. It was supposed that the PFBS contamination originated from the River Rhine while PFCs are transported into the German Bight via the easterly current. The PFBS and PFBA concentrations observed in this study near the Dutch coastline are similar to the concentrations in the German Bight observed by Ahrens et al. (2009c). Therewith, the River Rhine seems to act as a major source of PFCs in the North Sea where they are transported via the easterly current along the coastline into the German Bight. Besides, the River Scheldt might have a considerable influence on the PFC contamination of the North Sea, too.

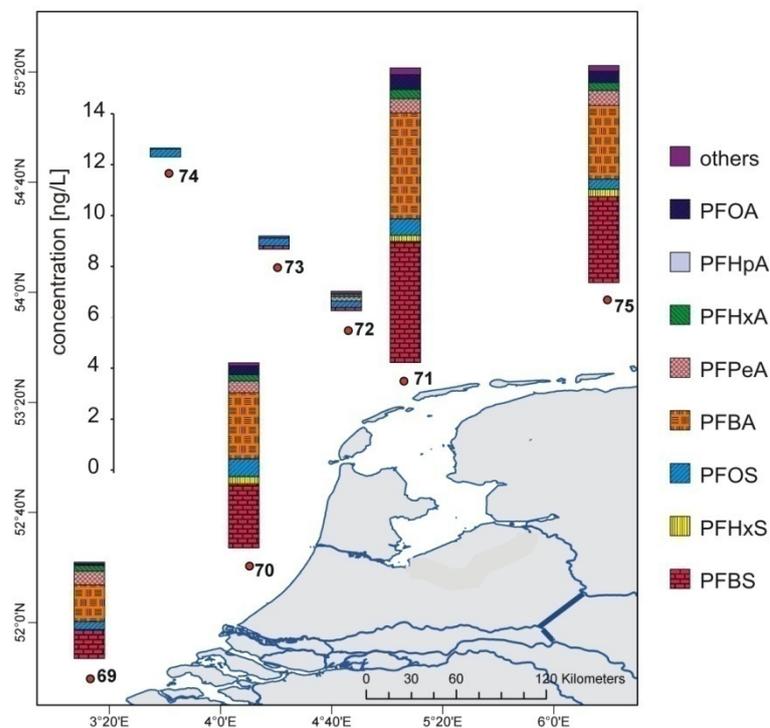


Figure 5: Concentrations of major PFCs quantified in the North Sea (Geographic data source: CCM River and Catchment Database, version 2.0 © European Commission–JRC 2007, Vogt et al. 2007)

At the more distant stations, the percentages of PFBA and PFBS decreased and PFOS became dominant. This can be explained by the transport of PFCs discharged via rivers predominantly along the coastline.

3.3 PFC mass flows and discharge into the North Sea

The daily PFC mass flows in the River Rhine were calculated with the riverine discharge data of the respective sampling day measured close to the sampling stations and the observed PFC concentrations in the surface water samples. The riverine water discharges were provided by the appropriate authorities. It should be noted that the calculation of the riverine mass flows is based on only one spot sample. The mass flows might vary due to seasonal trends, variations in water discharges and discontinuous immissions of PFCs by industrial plants or WWTPs. Huset et al. (2008) used 24-hour flow-proportional samples of seven consecutive days for the calculation of mass flows in the River Glatt, another tributary river of the River Rhine. Hence, the mass flows calculated in this study should be seen as rough estimations. The daily mass flow in the River Rhine increased from ~300 g/d at station 3 to ~39,000 g/d at station 35. The concentration increases between station 4 and 5 and between station 27 and 28 are reflected with mass flow increases of approximately 1,700 g/d and 23,000 g/d, respectively. The State Office of Nature, Environment and Consumer Protection North Rhine-Westphalia calculated a daily discharge by the WWTP located upstream of station 27 of approximately 8,000 g/d PFBS and 22,500 g/d PFBA in November 2008 (Bergmann 2009). This is in good comparison with the calculated increase of 23,000 g/d.

Based on the observed concentrations at the stations 34 to 36 close to the Dutch-German border and assuming a yearly mean water discharge of 2,200 m³/s, a yearly mass flow of ~17 tonnes PFCs from the River Rhine into the delta and further into the North Sea can be estimated. PFBA and PFBS have the highest impacts with 10.5 and 5.1 tonnes, respectively, followed by PFOS, PFPeA, PFHxA and PFOA with 0.4, 0.3, 0.2 and 0.2 tonnes, respectively. But, it should be noted that the discharge of PFBS and PFBA by the WWTP into the River Rhine decreased markedly at the end of 2008 as mentioned above. Therewith, the calculated flux might be overestimated. Assuming a riverine flow of 800 m³/s for the River New Meuse, an additional yearly discharge of 0.8 tonnes PFOA by the supposed source located in the areas of Dordrecht or Rotterdam can be estimated leading to a total discharge of ~1 tonne PFOA per year.

The River Meuse showed a total annual mass flow of 0.4 tonnes/year (based on a mean water discharge of 250 m³/s), whereby PFBS, PFPeA, PFOA, PFBA, PFHxA and PFOS dominated with 0.09, 0.08, 0.07, 0.05, 0.03 and 0.03 tonnes/year, respectively.

As described earlier, the River Scheldt seems to have an important influence on the contamination of the North Sea. Based on a mean discharge of 100 m³/s and in consideration of the influence of seawater due to the tides, a mass flow of ~2.5 tonnes PFCs per year was calculated. PFBA, PFBS, PFPeA, PFOA and PFOS have the highest impacts with 1.4, 0.5, 0.3, 0.2 and 0.07 tonnes.

As sum of the three important affluxes contributing to the delta, the rivers Rhine, Meuse and Scheldt, an overall amount of ~20 tonnes PFCs per year transported into the North Sea can be estimated. For the River Elbe, a total PFC mass flow of 802 kg/year in the dissolved phase was estimated with individual mass flows for PFBS and PFBA of 18 and 35 kg/year, respectively (Ahrens et al. 2009c). The total flow calculated for the Rhine-Meuse delta in this study is more than 20 times higher, while the flows for PFBS and PFBA are even more than 100 times higher. Again, this shows that the River Rhine is a major source of PFCs in the North Sea while the impact on the contamination of the North Sea by PFCs is supposed to be much higher compared to the River Elbe.

4 Conclusions

The present study shows the occurrence of a wide range of PFCs in the River Rhine watershed while the short-chained compounds PFBS and PFBA were found to be the predominating PFCs. Point sources discharging PFCs located in the section Lower Rhine and in the delta could be identified. The River Rhine and in addition the rivers Scheldt and Meuse were found to be important sources of PFCs, especially of PFBS and PFBA, in the North Sea discharging approximately 20 tonnes PFCs into the North Sea where they are transported via the easterly current along the coastline into the German Bight. Even though the short-chained compounds are told to be less (acutely) toxic and less bioaccumulative than longer chained PFCs ($\geq C_8$), they are still highly persistent, can be transported over a wide range via the ocean currents and might have chronic toxic potential which is not yet sufficiently researched. Therefore, high concentrations as observed in this study in rivers and in their estuaries as well as considerable mass flows into the North Sea are of high emerging concern for the marine environment.

The dominance of PFBS and PFBA originates from the limitation of PFOS and decreasing usage of PFOA and the introduction of PFBS and PFBA as substitute compounds. PFBA and PFOS might be future lead compounds for PFCs in surface water, while these observations should be surveyed in further studies on other important European rivers. The ubiquitous occurrence of PFCs and especially the wide range of PFCs detected shows that the occurrence of PFCs, their sources and their fate in the environment, in particular in the aquatic environment, should be extensively investigated in the future.

References

- 3M (2002): Technical Data Bulletin: Environmental, Health, Safety, and Regulatory (EHSR) Profile of Perfluorobutane Sulfonate. 3M Specialty Materials (http://multimedia.mmm.com/mws/mediawebserver.dyn?TTTTTTB_LdgTmwUTfwUTTTj7zDssssr-, 13th November 2008).
- Ahrens, L., J.L. Barber, Z. Xie & R. Ebinghaus (2009a): Longitudinal and Latitudinal Distribution of Polyfluoroalkyl Compounds in the Surface Water of the Atlantic Ocean. In: *Environmental Science & Technology* 43: 3122-3127.
- Ahrens, L., S. Felizeter & R. Ebinghaus (2009b): Spatial Distribution of Polyfluoroalkyl Compounds in Seawater of the German Bight. In: *Chemosphere* 76: 179-184.
- Ahrens, L., M. Plaßmann, Z. Xie & R. Ebinghaus (2009c): Determination of Polyfluoroalkyl Compounds in Water and Suspended Particulate Matter in the River Elbe and North Sea, Germany. In: *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China* 3: 152-170.
- Ahrens, L., U. Siebert & R. Ebinghaus (2009d): Total body burden and tissue distribution of polyfluorinated compounds in harbor seals (*Phoca vitulina*) from the German Bight. In: *Marine Pollution Bulletin* 58: 520-525.
- Bergmann, S. (2009): PFT-Längsuntersuchungen im Rheinabschnitt NRW. State Office of Nature, Environment and Consumer Protection North Rhine-Westphalia. Personal Communication at April 6th 2009.
- EPC - European Parliament and Council (2006): DIRECTIVE 2006/122/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 12 December 2006 amending for the 30th time Council Directive 76/769/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (perfluorooctane sulfonates). Strasbourg.
- Fromme, H., E. Roscher & D. Twardella (2008): Umweltmedizinische Bedeutung perfluorierter Kohlenwasserstoffe. In: *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 13: 97-124.
- Giesy, J.P. & K. Kannan (2001): Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife. In: *Environmental Science & Technology* 35: 1339-1342.
- Higgins, C.P. & R.G. Luthy (2006): Sorption of Perfluorinated Surfactants on Sediment. In: *Environmental Science & Technology* 40: 7251-7256.

- Huset, C.A., A.C. Chiaia, D.F. Barfosky, N. Jonkers, H.-P.E. Kohler, C. Ort, W. Giger & J.A. Field (2008): Occurrence and Mass Flows of Fluorochemicals in the Glatt Valley Watershed, Switzerland. In: *Environmental Science & Technology* 42: 6369-6377.
- Jahnke, A., L. Ahrens, R. Ebinghaus & C. Temme (2007): Urban versus Remote Air Concentrations of Fluorotelomer Alcohols and Other Polyfluorinated Alkyl Substances in Germany. In: *Environmental Science & Technology* 41: 745-752.
- Kärnman, A., B. van Bavel, U. Järnberg, L. Hardell & G. Lindström (2006): Perfluorinated chemicals in relation to other persistent organic pollutants in human blood. In: *Chemosphere* 64: 1582-1591.
- Kissa, E. (2001): *Fluorinated Surfactants and Repellents*. Marcel Dekker, New York.
- Lange, F.T., C.K. Schmidt & H.-J. Brauch (2007): Perfluorierte Tenside: Der PFOS (perfluorooctansulfonat)-Ersatzstoff PFBS (Perfluorbutansulfonat) beeinflusst zunehmend die Rohwasserqualität von Rheinwasserwerken. In: *GWF Wasser Abwasser* 148: 510-516.
- Lau, C., K. Anitole, C. Hodes, D. Lai, A. Pfahles-Hutchens & J. Seed (2007): Perfluoroalkyl Acids: A Review of Monitoring and Toxicological Findings. In: *Toxicological Sciences* 99: 366-394.
- McLachlan, M.S., K.E. Holmstrom, M. Reth & U. Berger (2007): Riverine Discharge of Perfluorinated Carboxylates from the European Continent. In: *Environmental Science & Technology* 41: 7260-7265.
- Skutlarek, D., M. Exner & H. Färber (2006): Perfluorinated Surfactants in Surface and Drinking Waters. In: *Environmental Science and Pollution Research* 13: 299-307.
- Theobald, N., W. Gerwinski, C. Caliebe & M. Haarich (2007): Entwicklung und Validierung einer Methode zur Bestimmung von polyfluorierten organischen Substanzen in Meerwasser, Sedimenten und Biota. Untersuchungen zum Vorkommen dieser Schadstoffe in der Nord- und Ostsee. UBA-Texte 41/2007.
- UNEP - United Nations Environment Programme (2009): Government unite to step-up reduction on global DDT reliance and add nine new chemicals under international treaty. Press Release COP4. Geneva, 9 May 2009. Stockholm Convention Secretariat (<http://chm.pops.int/Convention/Media/Pressreleases/COP4Geneva9May2009/tabid/542/language/en-US/Default.aspx>, 7th June 2009).
- Vogt, J.V., P. Soille & R. Colombo (2007): A pan-European River and Catchment Database. European Commission - JRC Luxemburg. EUR 22920 EN, 120pp.
- Wilhelm, M., M. Kraft, K. Rauchfuss & J. Hölzer (2008): Assessment and management of the first German case of a contamination with perfluorinated compounds (PFC) in the region Sauerland, North Rhine-Westphalia. In: *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A* 71: 725-733.
- Yamashita, N., K. Kannan, S. Taniyasu, Y. Horii, T. Okazawa, G. Petrick & T. Gamo (2004): Analysis of Perfluorinated Acids at Parts-Per-Quadrillion Levels in Seawater Using Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. In: *Environmental Science & Technology* 38: 5522-5528.

Acknowledgement

We kindly acknowledge the Rijkswaterstaat waterdienst, especially Mr. Marcel van der Weijden, for providing the samples from the Rhine-Meuse delta and the North Sea. We further acknowledge Dr. Sabine Bergmann from the State Office of Nature, Environment and Consumer Protection North Rhine-Westphalia for providing data on PFCs in the Lower Rhine and the WWTP effluent.

Address

Axel Möller
GKSS Research Centre Geesthacht
Institute for Coastal Research
Max-Planck-Straße 1
21502 Geesthacht, Germany

axel.moeller@gkss.de



Der Beitrag des Integrierten Küstenzonenmanagement (IKZM) für ein nachhaltiges Flächenmanagement in Küstengebieten – eine literaturtheoretische Vergleichsanalyse

Jan Landman

Universität Rostock, Germany
EUC – Die Küsten Union Deutschland e.V.

Abstract

A contribution of the Integrated Coastal Zone Management (ICZM) for a sustainable area management for coastal regions – an analytical comparison based on theoretical literature.

This article presents a literature supported discussion on the themes of the ICZM and Sustainable Area Management in Germany. Substantially, it is based on the theoretical analysis of a final submission presented for a degree at the University of Lueneburg.

The comparison of the ICZM concept with ‚the current train of thought‘ of the Sustainable Area Management (for the minimisation of land use, population and traffic) is the focus of this literature theoretical research. The main target is to work out trends and tendencies.

As a basis for discussion, after due consideration, ICZM can be divided into four identified categories: idealistic model, process, procedure, and integration level.

In this article the ICZM-levels and their relevant aspects will be used for a systematic comparison with the concept of the Sustainable Area Management.

One aspect that the comparison yields is, that the aim of the sustainable development and the demands for vision - and sought-after developments for certain areas of vision in their inception - are both nearly established at the same level.

Unfortunately, the global and comprehensive way of viewing this, which is aimed for in an ICZM, has until now rarely been discussed by Sustainable Area Management. In future this should be accepted more readily, especially for area developments whenever they are in close proximity to coastal edges.

New models of procedure for the ICZM, which focus more on participation now, offer feasible solutions for the area management and could be used as examples in concrete conflicts of land use.

The results show that there are many parallels in both science and subject discourses, whereby ICZM considers, from the beginning, more the basic framework and mutual effects or interaction consequences.

As a result of this synopsis, Sustainable Area Management in coastal regions should be understood as part of the ICZM. It should follow the basic thoughts and criteria of the ICZM in order to be able to establish a sustainable coastal development strategy, with all things considered, on a grand scale.

1 Hintergrund und Problemstellung

1.1 Küstenentwicklung – IKZM

Die Küste stellt einen besonderen Lebensraum dar, nicht nur aus biologischer Sicht, sondern auch aus Sicht der menschlichen Lebens- und Arbeitswelt. Diesen Lebensraum gilt es zu schützen und zu erhalten, gerade aufgrund der vielfältigen Nutzungsansprüche und neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse über den Klimawandel. Die Studien des „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC) schaffen erstmals einen sicheren wissenschaftlichen Beweis für die vom Menschen verursachte Klimaveränderung (z. B. IPCC 2007: Kap. 2). Besonders betroffen sind hierbei die Küstengebiete, die durch grenzüberschreitende Schadstoffbelastungen, den Nutzungsdruck verschie-

denster Akteure und Interessengruppen sowie den klimabedingten Anstieg des Meeresspiegels immer größeren Risiken ausgesetzt sind (IPCC 2007). Der wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (WBGU) bringt diesen Zusammenhang wie folgt auf den Punkt: „Die Folgen des Klimawandels, sei es in Form eines Meeresspiegelanstiegs oder vermehrten und stärkeren Wetterextremen, werden die zukünftige Entwicklung von Küstenregionen direkt beeinflussen“ (WBGU 2006: 49).

Zur Bewältigung der küstenspezifischen Herausforderungen in Europa wurde von der Europäischen Kommission eine europäische Strategie für ein Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) entwickelt (EK 1999a, b), die 2002 in eine Empfehlung des Europäischen Parlamentes und des Rates der Europäischen Union an die Mitgliedsstaaten mündete (EU 2002). Das IKZM als weitreichender und interdisziplinärer Leitbild- und Entwicklungsansatz soll eine nachhaltige Küstenentwicklung in Europa fördern und implementieren (EU 2002, EK 1999a, b). Für die Umsetzung in Deutschland hat die Bundesregierung 2006 eine nationale IKZM-Strategie für die deutschen Küstengebiete entwickelt (BMU 2006), die bis heute in der Wissenschafts- und Fachwelt kontrovers diskutiert wird (z. B. Bruns 2007, Dehne & Fichtner 2008b, Fichtner 2006).

1.2 Flächenmanagement

Ein spezielles Handlungsfeld, nicht nur in Küstengebieten, stellt die Problematik der Flächeninanspruchnahme dar. Täglich werden in der Bundesrepublik Deutschland etwa 113 ha Freiflächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke in Anspruch genommen (betrifft den Zeitraum von 2003 bis 2006; Bundesregierung 2008).

Die Bundesregierung hat bereits im Jahr 2002 eine Nachhaltigkeitsstrategie veröffentlicht, in der ein quantitatives Flächenschutzziel ausgesprochen wurde. Demnach ist die Neuinanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen bis zum Jahr 2020 auf 30 ha/Tag zu reduzieren (Bundesregierung 2002). Dieses Ziel wurde auch in den Fortschrittsberichten zur Nachhaltigkeitsstrategie 2004 und 2008 untermauert (ders. 2004, 2008). Seitdem hat sich der Diskurs um einen nachhaltigen (Frei-) Flächenumgang in der Wissenschafts- und Fachwelt weiter intensiviert. Verschiedenste Konzepte, Pilotprojekte und Strategien wurden in der Folge entwickelt (beispielsweise die Forschungsprojekte im Forschungsschwerpunkt REFINA: <http://www.refina-info.de>). Allerdings ist bis heute kein signifikanter Rückgang der Neuinanspruchnahme von Freiflächen zu verzeichnen. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass sich das Bewusstsein für einen nachhaltigen Flächenumgang noch nicht auf allen Handlungsebenen manifestiert hat und bei den Menschen weitgehend noch nicht angekommen ist (Flacke 2006, RNE 2007, RNE 2004, Schekahn & Grundler 2004).

Die anhaltende Neuinanspruchnahme von Freiflächen hat eine Reihe von Folgen, die besonders sensible Küstengebiete stark beeinträchtigen. Es ist somit zweifelsohne nachzuvollziehen, dass verschiedene gleichwertige Interessengruppen ihren Anspruch auf Flächennutzung in diesem hochsensiblen Gebiet „Küste“ geltend machen. Flächennutzungskonflikte sind in Küstenlagen folglich keine Seltenheit.

Diese und andere Flächenmanagementaspekte in Küstengebieten sind somit geeignete Zielthemen für den Einsatz von IKZM. Die nationale IKZM-Strategie benennt daher auch explizit die Mehrfachnutzung von Flächen als materielles Handlungsfeld für IKZM-Aktivitäten (BMU 2006), schöpft jedoch mit dieser Formulierung nicht das Spektrum der Anwendungsvielfalt aus (Kap. 3; vertiefend siehe Landman 2009). Die praktische Erprobung des IKZM zum Themenfeld des Flächenmanagements ist seit Ende 2007 Gegenstand des vom Umweltbundesamt (UBA) in Auftrag gegebenen Forschungsprojekts „IKZM: Sparsame und effiziente Flächeninanspruchnahme im deutschen Küstenraum“ unter der Federführung des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR) in Dresden und des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung Warnemünde (IOW).

1.3 Problemstellung

Dieser Diskussionsbeitrag hat nun zum Ziel, die bisher weitgehend getrennt geführten Fachdiskurse des Integrierten Küstenzonenmanagements (IKZM) und des nachhaltigen Flächenmanagements zur Minimierung der Neuinanspruchnahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen integriert zu betrachten. Hierbei soll das IKZM nicht auf ein weiteres Instrument zur Steuerung der Flächenregulierung reduziert, noch das Flächenmanagement als ein Aufgabenfeld von vielen für das IKZM begrenzt werden. Im Zentrum der Analyse steht vielmehr ein punktueller und überblicksartiger Vergleich der Prozesse, Leitbilder und Ansätze beider Themenfelder. Ziel ist es zu diskutieren, inwieweit Elemente des IKZM einen Beitrag für ein nachhaltiges Flächenmanagement leisten können, um somit Trends für weitere Entwicklungsmöglichkeiten herauszustellen.

Im Folgenden werden die vom Verfasser abgeleiteten vier Ebenen des IKZM und deren Teildimensionen vorgestellt (Kap. 2). Anlehnend an die vier Ebenen erfolgt für jede Ebene und Teildimension separat eine punktuelle Gegenüberstellung der beiden benannten Themenfelder (Kap. 3). Der Artikel schließt mit dem Fazit ab (Kap. 4).

2 Vier Ebenen des IKZM

Die Ableitung der vier IKZM-Ebenen geht auf die verschiedenen Inhalte des IKZM-Konzepts auf europäischer (EK 1999a, b, EU 2002) und nationaler (BMU 2006) Ebene sowie auf die wissenschaftliche und praxisorientierte Fachdiskussion zum IKZM in der Literatur zurück. Einen ausführlichen Überblick gibt die diesem Artikel zugrunde liegende Diplomarbeit von Landman (2009).

Als besonders relevant lassen sich in der EU-Empfehlung zum IKZM die Aspekte eines strategischen IKZM-Ansatzes (EU 2002: Kap I) sowie die Grundsätze „guten IKZM“ (EU 2002: Kap. II; siehe ferner: Ruprecht Consult & International Ocean Institute 2006, Wefering et al. 2007) identifizieren. In der nationalen Strategie werden die Grundsätze „Nachhaltige Entwicklung“, „gute Integration“, „gute Partizipation und Kommunikation“ sowie „Erfahrungstransfer“ (BMU 2006: 58ff, Lütkes & Holzfuß 2007: 277f) als signifikante Eckpfeiler herausgestellt.

Für den angestrebten Vergleich der beiden Konzepte, des IKZM und des Flächenmanagements, mit dem Ziel, Tendenzen und Entwicklungstrends aufzuzeigen, ist es sinnvoll, die charakteristischen und konzeptionell relevanten Bereiche des IKZM hervorzuheben. So stellen die vier Ebenen des IKZM die verschiedenen Funktionen und Eigenheiten dar. Jeder Ebene sind wiederum Teilaspekte zugehörig. Es ist anzumerken, dass die Grenzen der einzelnen Ebenen des IKZM eher fließend sind und viele Überschneidungen aufweisen bzw. sich teilweise sogar gegenseitig bedingen.

2.1 Leitbildebene

Das IKZM beruht auf dem Leitbild der „Nachhaltigen Entwicklung“ (BMU 2006: Grundsatz 1 der nationalen IKZM-Strategie), das auf der UNCED-Konferenz in Rio de Janeiro 1992 definiert wurde und als solches in der weiteren Nachhaltigkeitsdiskussion über alle Gesellschaftsbereiche hinweg und besonders in der deutschen Politik Einzug gefunden hat. Das Integrierte Küstenzonenmanagement soll demnach eine nachhaltige Küstenentwicklung mit den in dem Konzept der „Nachhaltigen Entwicklung“ immanenten ökologischen, ökonomischen und sozialen Eigenschaften verfolgen (BMU 2006).

Es ist zudem für die Entwicklung von Küstengebieten eine globale, ganzheitliche und langfristige Betrachtungsweise einzunehmen (EU 2002: Kap. II - Prinzip a und b), die sich einerseits an dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung orientiert, aber auch neue Visionen für die Küstengebiete innerhalb eines gesellschaftlichen Prozesses fördert. Es sind dabei die jeweiligen spezifischen Bedingungen und Merkmale der einzelnen Küstenregionen zu beachten. Als räumliche Ebene bietet sich für die Implementierung von IKZM die „Region“ am besten an (Schernewski 2006).

Diese Aspekte können als die relevanten Inhalte der Leitbildebene des IKZM eingestuft werden. Es handelt sich hier um die Leitbildvorstellungen der Küstengebiete, denen sich durch verschiedene Maßnahmen angenähert werden soll. Durch das Leitbild der „Nachhaltigen Entwicklung“ ist somit eine Zielrichtung vorgegeben, die allerdings durch Visionsentwicklungen eines von der Gesellschaft gewünschten Küstenbildes ergänzt werden kann und muss (Gee & Licht-Eggert 2006, Glaeser 2005).

Tab. 1: Die Leitbildebene im Überblick

<p>IKZM umfasst unter anderem:</p> <ul style="list-style-type: none"> - das Leitbild der „Nachhaltigen Entwicklung“, - eine globale Betrachtungsweise, - Visionsentwicklungen für Küstenräume durch alle Akteure und die Gesellschaft.

2.2 Prozessebene

Das IKZM soll außerdem durch integrierte Planungspraxis ein anpassungsfähiges Management darstellen, das sich den natürlichen Prozessen in den Küstengebieten anpasst und diese aufgreift sowie gegenüber sich verändernden Rahmenbedingungen und neuen Erkenntnissen flexibel ist und diese mit einbeziehen kann (EU 2002: Kap. II - Prinzip c und e). Für die IKZM-Praxis vor Ort, aber auch auf den anderen Betrachtungsebenen, wird ein partizipativer Diskurs mit allen relevanten Stakeholdern angestrebt, der sich durch Kommunikation und Erfahrungstransfer auszeichnet (BMU 2006: Grundsätze 3 und 4, EU 2002: Kap. II - Prinzip f und g). Das IKZM stellt somit einen zyklischen, wiederkehrenden und nie abschließenden Entwicklungs- und Diskussionsprozess dar. Diese Facette des IKZM wird im Folgenden als die Prozessebene bezeichnet.

Tab. 2: Die Prozessebene im Überblick

<p>IKZM ist unter anderem:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ein zyklischer, wiederkehrender und nie endender Prozess, - ein sich an die konkreten Problemlagen, bestehenden Rahmenbedingungen und vorherrschenden Wechselwirkungen anpassender Prozess, - ein Prozess, der gesellschaftlich diskutiert und etabliert werden soll (Kommunikation, Partizipation, Erfahrungstransfer).

2.3 Verfahrensebene

Die Verfahrensebene des IKZM zeigt den konkreten Praxis- und Umsetzungscharakter des IKZM für spezielle Problemlösungen in Küstengebieten. Ein Anwendungsfeld ist z. B. die Schlichtung von Konflikten, bei denen unter Beteiligung aller relevanten Akteursgruppen mittels adäquater Beteiligungsmethoden Lösungswege erarbeitet werden. Bei der Durchführung dieser Verfahren ist meist eine fächer- und ebenenübergreifende Politik- und Behördenintegration erforderlich (siehe auch Kap. 2.4).

Entscheidende Parameter von IKZM-Verfahren sind eine breit angelegte Partizipation und Kommunikation, der generelle Integrationsaspekt und der Erfahrungstransfer. Managementansätze zur Beschreibung von Verfahrensabläufen werden z. B. bei Kannen (2000, 2005), Gee et al. (2006) und Glaeser et al. (2008) vorgestellt. Auch im oben genannten UBA-Forschungsprojekt zu IKZM und Flächenmanagement wurde ein neues IKZM-Verfahrensmodell entwickelt.

Da es sich bei IKZM nicht um ein statisches Instrument oder statisches Verfahren handelt, hängt auch die Verfahrensebene stark mit der Prozessebene zusammen, die wiederum nur mit Fokus auf die Leitbildebene funktionieren kann.

Tab. 3: Die Verfahrensebene im Überblick

<p>Elemente eines IKZM-Verfahrens sind unter anderem:</p> <ul style="list-style-type: none"> - konfliktlichlichtend, - ein ganzheitlicher Partizipationsansatz, - eine breite Informationsgrundlage, - ein Erfahrungstransfer, - prozessorientiert, - integrativ ausgerichtet, - den speziellen Problemlagen angepasst.

2.4 Integrationsebene

Allen Ebenen ist außerdem die Integrationsebene des IKZM immanent. Hier handelt es sich um den integrativen Charakter des IKZM. Entscheidender Leitgedanke im IKZM ist für Kannen (2000) der Begriff „integriert“ bzw. „der integrative Ansatz, der eine holistische und systemübergreifende Sichtweise erfordert“ (Kannen 2000: 34). Nach der nationalen IKZM-Strategie zielt das IKZM darauf ab, die verschiedenen Entwicklungen der Küstengebiete durch die Integration sämtlicher Aspekte – also aller Belange – in einer ganzheitlichen Betrachtungsweise umzusetzen (BMU 2006).

Hierzu werden verschiedene Ebenen der Integration als wesentlich erachtet, die jeweils gleichwertig und gleichzeitig zu berücksichtigen sind. Ballnus (2004) identifiziert anlehnend an das Institut für Raum und Energie (2001) sowie an Burbridge (2000) die fünf Integrationsebenen eines IKZM: horizontale, vertikale, territoriale, zeitliche und Interessenintegration (ähnlich auch BMU 2006). Zu diesen lassen sich noch weitere Integrationsebenen, wie „intersektorale Integration zwischen den verschiedenen horizontalen Nutzungen“, „interdisziplinäre Wissenschaftsintegration“ und „internationale Integration“ anführen (Bosecke 2005: 103f). Außerdem ist z. B. auch die Integration von ökologischen, ökonomischen, sozialen und kulturellen Aspekten relevant (Glaeser et al. 2008), die dem Grundsatz der Nachhaltigen Entwicklung immanent sind (Kap. 2.1). Nachstehend werden die wichtigsten der oben genannten Integrationsebenen vorgestellt.

Horizontale Integration

Horizontale Integration bezieht sich auf die Zusammenarbeit und Koordination von Behörden und Institutionen verschiedener Fachgebiete einer Verwaltungsebene. Angestrebt ist z. B. eine bessere Abstimmung und Verzahnung von Richtlinien, Bestimmungen, Planungen und Entwicklungszielen (BMU 2006, Kannen 2000). Zudem sollten neben den Behörden die Politik, die unterschiedlichen wissenschaftlichen Fachdisziplinen und die gesellschaftlichen Akteure miteinander in Austausch treten (Ballnus 2004, BMU 2006, EU 2002: Kap. II - Prinzip 6). Es ist entscheidend, dass sich die bisherige, oft noch angewandte sektorale Planungspraxis in ein integratives und kooperatives Planungshandeln wandelt (Ballnus 2004).

Vertikale Integration

Die vertikale Integration zielt primär auf die hierarchienübergreifende Koordination, also „auf die notwendige Koordinierung von Politik, Planung und Managementstrategien auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene ab“ (Ballnus 2004: 70). Dies soll besonders für die verschiedenen staatlichen Verwaltungs- und Zuständigkeitsebenen gelten (BMU 2006, EU 2002, Kannen 2000).

Territoriale Integration

Im Fokus steht die integrative, allumfassende Betrachtung der Wechselbeziehungen auf der räumlichen Ebene, auch räumliche Integration genannt. In Bezug auf das IKZM handelt es sich primär um die integrative Betrachtung von Land und Meer.

Zeitliche Integration

Hierbei geht es um die gleichwertige Berücksichtigung von kurzfristigen Entwicklungen und Zielsetzungen (wie z. B. wirtschaftliche Interessen, kurzfristige Schutzmaßnahmen) sowie von langfristigen und dauerhaft tragfähigen Interessen und Entwicklungen (sparsamer Ressourcenverbrauch, Aspekte der intergenerativen Gerechtigkeit etc.), die sich an dem Prinzip einer nachhaltigen Entwicklung orientieren. Das IKZM versucht, beide zeitlichen Integrationsebenen zu berücksichtigen und zu verbinden (BMU 2006, Kannen 2000).

Interessenintegration

Dieser Aspekt ist eines der zentralen Ziele und Neuheiten des IKZM für Küstenentwicklungen. Ziel ist die Einbindung aller relevanten Interessenpositionen in einem Küstengebiet. Praktisch handelt es sich dabei um einen weit angelegten Stakeholderdialog mit allen relevanten Akteuren, die zu einer bestimmten Fragestellung in einem bestimmten räumlichen Gebiet bestimmte Interessen vertreten. Zudem spielt hier auch die Integration von Interessen der Öffentlichkeit – also der Gemeinschaft – und denen privater Akteure eine Rolle (Kannen 2000).

Tab. 4: Die Integrationsebenen des IKZM im Überblick

<p>Relevante Integrationsebenen sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> - horizontale Politik- und Behördenintegration (ressortübergreifend), - vertikale Politik- und Behördenintegration (hierarchienübergreifend), - territoriale Integration (neue Betrachtungsräume schaffen), - zeitliche Integration (kurzfristige und langfristige Ziele sind integriert zu betrachten), - Interessenintegration (Verbindung verschiedener Interessenbereiche und -ebenen).

3 Diskussion: IKZM und Flächenmanagement im Vergleich

Die beiden Themenfelder Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) und nachhaltiges Flächenmanagement zur Minimierung der Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr haben zwei bisher weitgehend getrennt geführte Fachdebatten, auch wenn z. B. die Mehrfachnutzung von Flächen in der deutschen IKZM-Strategie benannt wurde. Welche etwaigen Gemeinsamkeiten und Unterschiede beide Diskurse aufweisen, sowie ob die Betrachtungsweise des IKZM auch für das Flächenmanagement zu empfehlen ist, soll punktuell anhand jedes Teilaspekts der vier IKZM-Ebenen angesprochen werden.

3.1 Die IKZM-Leitbildebene und das nachhaltige Flächenmanagement

3.1.1 Das Leitbild der „Nachhaltigen Entwicklung“ im IKZM und im Flächenmanagement

Nach dem Konzept einer „Nachhaltigen Entwicklung“ soll die Küstenentwicklung dem Prinzip einer zukunftsfähigen, ökologisch, sozial und wirtschaftlich gerechten Art und Weise folgen (Kap. 2.1). Das IKZM versucht, das Leitbild der „Nachhaltigen Entwicklung“ auf die Problem- und Entwicklungsvielfalt der Küstengebiete in Europa zu übertragen. Es soll in alle Handlungsfelder der Küste einfließen. So hat es den Anspruch, alle Bereiche zu verbinden, aber auch jeden einzelnen Sektor und Handlungsbereich an der Küste zukunftsfähig zu entwickeln (Landman 2009).

Auch im Diskurs um die Flächeninanspruchnahme hat das Leitbild einer nachhaltigen Handlungsweise Einzug gefunden. In der jüngeren Diskussion ist von einem „nachhaltigen Flächenmanagement“ die Rede (Difu 2008, Genske 2006, Kötter & Weigt 2006, Wittmann 2007), welches nun als Leitmaxime auf allen Handlungsebenen berücksichtigt werden soll, um primär das Problem der konstanten Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr zu lösen. Der Nachhaltigkeitsansatz

steht hier für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme sowie für das Brachflächenrecycling und die Nachverdichtung innerhalb einer qualitativ ausgerichteten Stadt- und Siedlungsentwicklungspolitik, so das Verständnis innerhalb des REFINA-Forschungsschwerpunkts (Difu 2008).

Das Nachhaltigkeitsleitbild ist in den Basisdokumenten des IKZM auf EU- und auf deutscher Ebene klar festgeschrieben (BMU 2006, EU 2002). In der räumlichen Planung und im Flächenmanagement ist dies bisher rechtlich unter anderem durch §1 Abs. 2 Raumordnungsgesetz (ROG) verankert, mit der klaren Formulierung der Leitvorstellung einer „nachhaltigen Raumentwicklung“ in Deutschland. Zudem wurde das Thema der Flächeninanspruchnahme als eines der zentralen Handlungsfelder 2002 in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2002) aufgestellt und somit bundespolitisch erkannt und thematisiert. Seitdem wird verstärkt eine breite Fachdebatte über geeignete Strategien innerhalb einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung und für ein nachhaltiges Flächenmanagement geführt. Auch wenn die Vorschläge sehr unterschiedlich ausfallen und die Schwerpunkte unterschiedlich gesetzt werden, lässt sich aufgrund der starken Teilnahme an Forschungsvorhaben und der öffentlichen Diskussion bereits von einem breiten Konsens über die Zielsetzung einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung und eines nachhaltigen Flächenmanagements sprechen. Von einer breiten Akzeptanz eines flächensparenden Handelns kann allerdings leider weder in der Fachdebatte noch in der Bevölkerung die Rede sein. Insbesondere im mangelnden Bodenbewusstsein wird ein großes Problem gesehen (Flacke 2006, Schekahn & Grundler 2004, Siedentop 2005).

Im IKZM ist zwar die Leitbildebene der „Nachhaltigen Entwicklung“ nahezu unumstritten, allerdings hat das gesamte Konzept des IKZM noch ein gewisses Legitimations- und Erklärungsproblem. Viele Akteure halten die Inhalte des IKZM für schwer greifbar und schwer vermittelbar (Bruns 2007, Dehne & Fichtner 2008a, b).

Alleine durch die Zielsetzungen einer „Nachhaltigen Entwicklung“ sind beide Entwicklungsprozesse, die des IKZM und die des nachhaltigen Flächenmanagements, ähnlich ausgerichtet. Für beide Themenfelder wurde die Zielrichtung von der Mehrheit der Akteure in der Literatur als richtig angesehen, allerdings leiden beide Konzepte unter einem Argumentations- und Kommunikationsdefizit, welches hauptsächlich durch die Komplexität der jeweiligen Themen verursacht wird.

Dadurch, dass das Leitbild der „Nachhaltigen Entwicklung“ beiden Strategien immanent ist, obwohl sie sich themenbezogen unterschiedlich darstellen, ist dieser Aspekt des IKZM bereits im nachhaltigen Flächenmanagement enthalten.

Auch wenn die reinen Leitbildformulierungen noch nicht zwingend zu weitreichenden Ergebnissen und einer breiten Akzeptanz führen und es Kommunikationsdefizite gibt, stellt das Leitbild doch eine entscheidende Rolle für die weiteren Prozesse und Fach- sowie Gesellschaftsdiskurse in beiden Themenfeldern dar.

3.1.2 Globale und umfassende Betrachtungsweise als Maßstab

Der Aspekt der globalen und ganzheitlichen Betrachtungsweise zielt in einem IKZM darauf ab, dass die verschiedenen globalen Wechselwirkungen, Ursachen und Auswirkungen auf die Küstengebiete immer im Blickpunkt der Betrachtung liegen sollen, auch wenn ein konkretes Problem beleuchtet wird (BMU 2006: Prinzip 1 der Grundsätze eines guten IKZM). Diese Betrachtungsweise ist, wie in Kap. 1.1 und 2.1 bereits angedeutet, besonders aufgrund des Klimawandels und dessen Folgen sowie aufgrund verschiedener grenzüberschreitender Umweltbelastungen für Küstengebiete entscheidend, da diese stark durch globale Zusammenhänge beeinflusst und gefährdet sind.

Die Problematik der Flächeninanspruchnahme wurde in der deutschen Flächendiskussion meist mit Blick auf die Problemfelder und Lösungsmöglichkeiten für die Bundesrepublik thematisiert. Dieses Phänomen ist aber natürlich auch ein globales. Das Flächenthema ist allerdings insgesamt weniger stark von globalen Zusammenhängen betroffen. Handelt es sich jedoch um küstennahe Flächen, sind diese eventuell durch Überflutungen gefährdet. Zudem ist hier besonders ein Freiflächenschutz von hoher Bedeutung für Pufferfunktionen, für den Erhalt der Biodiversität und ähnliches. Deshalb ist es

für Flächenentwicklungen in Küstengebieten notwendig, die globale Perspektive der Wechselwirkungen zu beachten, da durch sich verändernde Umwelt- und Klimabedingungen etc. auch die Häufigkeit und Stärke von Sturmfluten zunimmt und der Meeresspiegel insgesamt steigen wird (Kap. 1.1; IPCC 2007). Dies wird bei der Planung von Küstenbereichen in Zukunft vermehrt Beachtung finden müssen. Auch in Anbetracht der Leitbildentwicklung sind diese Aspekte mit zu berücksichtigen.

Es lässt sich empfehlen, das Flächenmanagement besonders in Küstenlage durch stärkere Berücksichtigung der verschiedenen Wechselwirkungen (umfassende Betrachtungsweise) zu optimieren. Dieser Leitbildaspekt des IKZM hat somit auch Relevanz für das Flächenmanagement in Küstenlage.

3.1.3 Visions- und Leitbildentwicklungen für Küstenräume und Städte durch alle Akteure und die Gesellschaft

Die Visionsentwicklung und die Leitbildentwicklung für spezielle Gebiete wird sowohl im IKZM (BMU 2006) als auch in der Fachdiskussion für ein nachhaltiges Flächenmanagement (RNE 2007, 2004) als notwendiger und wichtiger Aspekt gesehen. Es geht darum, eine Diskussion in Gang zu setzen und weiter fortzuführen. Relevant ist die Frage, wie sich ein Küstengebiet, eine Siedlung oder eine Stadt entwickeln soll. In der IKZM-Diskussion wird versucht, über die Leitbildfrage normativ und ethisch korrekte Handlungsweisen abzuleiten (Glaeser 2005, Landman 2009). Zudem wird ein breiter öffentlicher Diskurs über diese Leitbildfragen gefordert (BMU 2006, Gee & Licht-Eggert 2006, Glaeser 2005). Auch in der Diskussion für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung wird der Ruf nach Leitbildentwicklungen für Städte und Gemeinden laut. So ist eine der zentralen Forderungen in der Empfehlung des Rates für Nachhaltige Entwicklung (RNE) von 2004, eine neue Leitbilddiskussion für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung zu implementieren. Jede Stadt müsse z. B. für ihre eigenen örtlichen Problemfelder, Herausforderungen, Stärken und Besonderheiten eigene Leitbilder erstellen, um sich zukunftsfähig entwickeln zu können (RNE 2004).

Somit zeigt sich, dass auch dieser Aspekt in beiden Fachdiskussionen als wichtig erkannt wird.

3.2 Die Prozessebene des IKZM und der Prozess des nachhaltigen Flächenmanagements

3.2.1 IKZM und Flächenmanagement als wiederkehrender und nie endender Prozess

Eine der Besonderheiten des IKZM ist der starke Prozesscharakter. Das IKZM zielt nicht nur darauf ab, Einzelprobleme in Küstenregionen zu lösen, sondern vielmehr die gesamte Küstenentwicklung zu unterstützen und zu prägen. Alle Aktivitäten, die in Küstengebieten erfolgen, sind in einen Prozess eingebunden. Somit handelt es sich auch bei der eben andiskutierten Leitbildebene des IKZM um einen Prozess, da sich Leitbilder auch verändern, weiterentwickeln und sich dem Zeitgeist der Gesellschaft anpassen müssen. Es ist bereits dargestellt worden, dass es sich beim IKZM-Konzept um einen nicht endenden und immer wiederkehrenden, also iterativen Prozess handelt (BMU 2006, EK 1999a).

In der „Flächen“-Debatte ist der Prozesscharakter bisher nicht explizit herausgestellt worden. Allerdings lassen sich die Diskussionen in der Literatur, aber auch die verschiedenen Konferenzen, Dialoge zum Thema „Fläche“, die vielen Forschungsvorhaben und Konzeptentwicklungen (wie z. B. das oben genannte UBA-Forschungsprojekt zum Thema IKZM und Flächeninanspruchnahme sowie der Forschungsschwerpunkt REFINA; BBR et al. 2006, Bundesregierung 2008, Difu 2008) insgesamt in einem Prozess zusammenfassen.

Das heißt, dass der Diskurs zum Thema der Flächeninanspruchnahme und dem Lösungsweg eines nachhaltigen Flächenmanagements stark zugenommen hat und prozessorientiert geführt wird. Die Thematik des Flächenschutzes und eines nachhaltigen Flächenumgangs stellt einen wesentlichen Punkt in der Nachhaltigkeitsdebatte dar und wird für die zukünftige siedlungsbezogene Entwicklung in Deutschland entscheidend sein (Bundesregierung 2008, 2004, 2002; RNE 2007, 2004). Es kann somit auch im Flächenmanagement vermehrt ein zyklischer Prozess beobachtet werden, der sich

immer wieder auf bestehende Kontexte und Rahmenbedingungen bezieht und bestmöglich danach ausrichtet.

Insgesamt lässt sich das Thema des nachhaltigen Flächenmanagements also auch als einen wiederkehrenden Prozess verstehen, auch wenn der Prozesscharakter in dieser Diskussion nicht so explizit benannt wird, wie es im IKZM der Fall ist.

3.2.2 IKZM und Flächenmanagement – ein Prozess, der die konkreten Problemlagen, bestehenden Rahmenbedingungen und vorherrschenden Wechselwirkungen berücksichtigt

Entwicklungen und Aktivitäten im Rahmen von IKZM haben sich an den spezifischen Herausforderungen, Problemlagen, Rahmenbedingungen und vorherrschenden Wechselwirkungen der speziellen Betrachtungsräume und Themenschwerpunkte zu orientieren (BMU 2006, EU 2002).

Im nachhaltigen Flächenmanagement wird versucht, durch die Entwicklung verschiedener Instrumente und Strategien einen breiten und „bunten“ Maßnahmenkatalog zu erstellen, der den speziellen Problemfeldern und Rahmenbedingungen Rechnung trägt (Bundesregierung 2008, 2004, 2002). Durch die Weiterentwicklung von Strategien, Methoden und die Gewinnung neuer Erkenntnisse und deren Kommunikation in der Fachwelt und Gesamtgesellschaft wird eine gewisse Prozessanpassung erzeugt. Hierdurch – so kann angenommen werden – wird auch eine bessere Anpassung an bestehende Rahmenbedingungen und vorherrschende Wechselwirkungen nach und nach in den Prozess mit eingebracht. Insgesamt fließen diese Teilaspekte in die Weiterentwicklung der Gesamtstrategie einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung und eines nachhaltigen Flächenmanagements mit ein (Landman 2009).

Es kann also auch für diese prozessbezogene Teildimension festgestellt werden, dass eine Anwendung im Prozess des Flächenmanagements weitgehend stattfindet, auch wenn diese ebenso wie in der vorhergehenden Prozessdimension keine explizite Formulierung erfahren hat, wie es im IKZM der Fall ist. Zudem setzt dieser Aspekt ebenso voraus, dass man das Flächenmanagement als Prozess begreifen muss (Kap. 3.2.1).

3.2.3 IKZM und Flächenmanagement als ein Prozess, der gesellschaftlich diskutiert und etabliert werden soll (Kommunikation, Partizipation, Erfahrungstransfer)

Einer der entscheidenden Inhalte eines IKZM ist der Prozesscharakter, der auf Kommunikation, Partizipation und Erfahrungstransfer fußt (Kap. 2.2).

Allerdings wird in den Darstellungen zum IKZM auch deutlich, dass gerade die Aspekte der Kommunikation und der Partizipation Schwierigkeiten bei der Übertragung in die Praxis bereiten. Deshalb werden auch Änderungen in der nationalen IKZM-Strategie und klare Richtlinien für die Umsetzung in die Praxis gefordert (Dehne & Fichtner 2008a, b, Fichtner 2006).

Auch in der Debatte um ein nachhaltiges Flächenmanagement sind Kommunikation, Partizipation und Erfahrungstransfer entscheidende Prozesskennzeichen. Allerdings erfolgte dieser Diskurs bisher weitgehend in der Fachwelt, in der Politik und in der Wissenschaft. Die Einbindung der Bevölkerung fand bisher nur unzureichend statt, so die Meinung der Kritiker (Flacke 2006, RNE 2007, Schekahn & Grundler 2004). Um diesen Partizipationsgrad zu erhöhen, sollten verbesserte Kommunikationsstrukturen geschaffen und eine breite Bewusstseinsbildung für den schonenden Umgang mit Boden angestrebt werden, so der Tenor in der Fachdiskussion. Dieses sollte bereits in den Schulen angeregt werden (RNE 2007).

Wie die Ausführungen zeigen, wird nicht nur in der IKZM-Debatte, sondern auch in der „Flächen“-Diskussion besonders der gesellschaftliche Diskurs als wichtig und notwendig erachtet. Wie eben deutlich wurde, mangelt es allerdings beiden Diskussionsprozessen bisher noch an der Akzeptanz in der Gesellschaft.

3.3 Verfahrensebene: IKZM und nachhaltiges Flächenmanagement

Bei der Verfahrensebene geht es vorrangig um die praxisorientierte Anwendung des IKZM vor Ort. Der Schwerpunkt liegt hier bei Verfahren, die ein Problemfeld oder eine Ansammlung von Problemfeldern betreffen. Verfahren können auch zur Entwicklung von Leitbildern Verwendung finden. Der Fokus liegt allerdings auf der Lösung eines spezifischen, küstenrelevanten Problems.

Für das IKZM wurde mittlerweile eine Reihe von Verfahrens- und Ablaufmodellen entwickelt (Kap. 2.3), die jeweils problemorientierte Prozesse als Handlungsbasis haben. Doch hat nahezu jeder Modellentwurf den Anspruch, sozusagen als weitgehendes „Universalmodell“ für Problem-, Handlungs- und Entwicklungsbereiche in einem IKZM verwendbar zu sein und die oben genannten Elemente (konfliktschlichtend, ganzheitlicher Partizipationsansatz etc.) zu beinhalten. Daher sind die Modelle in ihrer Ausformulierung auch recht allgemein gehalten. Die meisten ähneln dem amerikanischen Policy-Zyklus, besonders die Konzepte von Bruns (2007) und Glaeser et al. (2008).

Für das Thema der Flächeninanspruchnahme und den Leitgedanken des nachhaltigen Flächenmanagements gibt es hingegen viele Strategiemodelle, die sehr unterschiedlich ausfallen.

Der Hintergrund dafür ist die sehr unterschiedliche Ausrichtung des jeweiligen Problemlösungsansatzes. So werden z. B. für das Flächenmanagement Strategien und Verfahren entwickelt und erprobt, die auf ökonomische und fiskalische Anreize zum Flächensparen setzen (z. B. Flächenausweisungsrechte in Form von Flächenzertifikaten; Schröter 2005). Andere haben die Erprobung von Konversions- und Flächenrecycling-Konzepten zum Ziel (Projekte „Gläserne Konversion“, „Sinbra“ und „Optirisk“; Bundesregierung 2008). Wiederum eine andere Ausrichtung hat z. B. der Gesamt Lösungsansatz der Flächenkreislaufwirtschaft, der besonders durch das Forschungsprojekt „Fläche im Kreis – Kreislaufwirtschaft in der städtischen/stadtreionalen Flächennutzung“ entwickelt und in Ansätzen erprobt wurde (BBR 2006; Homepage des Projektverbundes: <http://www.flaeche-im-kreis.de>). Eine Reihe weiterer Konzepte und Ansätze ließe sich hier anführen.

Es wird hierdurch deutlich, dass die Konzepte im Flächenmanagement spezielle Problemfokusse besitzen, die IKZM-Modelle dagegen allgemeiner gehalten sind.

Ein IKZM-Verfahrensmodell für spezielle Problemlagen des Flächenmanagements ließe sich durchaus verwenden. Nicht zuletzt wurde - wie bereits beschrieben - die Mehrfachnutzung von Flächen als ein wichtiges Handlungsfeld des IKZM erkannt. Zudem wird betont, dass IKZM-Verfahren primär auf der regionalen Ebene zum Einsatz kommen sollen, „da nur auf dieser räumlichen Ebene konkrete Nutzungskonflikte auftreten, die auch nur in der und mit der Region gelöst werden können“ (Schernewski 2006: 22). Die Betonung auf Nutzungskonflikten verdeutlicht die primäre Einsatzthematik von IKZM-Prozessen und -Verfahren. Somit wird ein IKZM-Verfahren besonders für Problemfelder im „Flächen“-Thema nützlich sein, bei denen Konflikte unter verschiedenen Akteuren im Zentrum stehen. Dies ist z. B. bei Flächennutzungskonflikten der Fall. Zudem könnte ein IKZM-Verfahren auch Verwendung finden, um neue Leitbilder zu entwickeln (siehe die Diskussion in Kap. 2.1 und 3.1). Außerdem ist auch eine Anwendung zur Strategieentwicklung denkbar, wenn z. B. unter den Akteuren unterschiedliche Vorstellungen darüber bestehen, wie ein Problem angegangen und gelöst werden sollte.

Durch die Verfahrenselemente Konfliktschlichtung, ganzheitlicher Partizipationsansatz, Erfahrungstransfer, Prozessorientierung, integrative Ausrichtung sowie Anpassung an die speziellen Problemlagen weist das IKZM-Verfahren großes Potential auf, Flächennutzungskonflikte konsensorientiert zu schlichten. Um diese theoretisch abgeleitete Annahme zu untermauern und zu belegen, bedarf es allerdings der praktischen Erprobung.

3.4 Die Integrationsebene des IKZM – gewinnbringend für ein nachhaltiges Flächenmanagement?

3.4.1 Vertikale Politik- und Behördenintegration im IKZM und im nachhaltigen Flächenmanagement

Das Ziel einer vertikalen Integration im IKZM umfasst eine bessere Steuerung, Kommunikation und übergreifende Kompetenzaufteilung zwischen den einzelnen Hierarchieebenen, besonders der Politik und der Behörden, im Themenfeld der Küstenentwicklung und des Küstenschutzes. Die vertikale Integration zielt primär auf eine „notwendige Koordinierung von Politik, Planung und Managementstrategien auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene ab“ (Ballnus 2004: 70).

Die Diskussion um eine flächensparende Siedlungspolitik und eines darin inbegriffenen nachhaltigen Flächenmanagements wird mittlerweile auf allen Politikebenen geführt. Die Akzeptanz diesem Thema gegenüber fällt jedoch besonders auf kommunalpolitischer Ebene noch am geringsten aus (RNE 2004, Schekahn & Grundler 2004). Durch Konzepte und Forschungsprojekte versucht die Bundesregierung, die Entwicklungen zu unterstützen.

Eine Bewusstseinsbildung für dieses Thema sollte in den Kommunen verstärkt unterstützt werden, fordern auch Experten, die in der Evaluationsstudie zur RNE-Empfehlung (RNE 2007) befragt wurden. Die kommunale Ebene ist besonders relevant, da hier die direkte Flächenausweisung durch die Bauleitplanung stattfindet. Es solle aber auch auf der regionalen Ebene die Leitbildentwicklung, auf Landesebene die Steuerung und auf Bundesebene die Koordinierung eines nachhaltigen Flächenmanagements unter anderem in Form einer Flächenkreislaufwirtschaft erfolgen, so die Experten weiter (RNE 2007).

Auch wenn dies nur einen Auszug aus der Gesamtdebatte darstellt, wird hierdurch die Tendenz sichtbar, dass zumindest die Diskussion in Richtung vertikaler Politik- und Behördenintegration zunimmt. Aber auch anhand vieler neuer Forschungsprojekte zum „Flächen“-Thema (Kap. 1.2, 3.2.1 und 3.3) gewinnt dieser Aspekt verstärkt an Akzeptanz. Dies ist besonders wichtig, da das Ziel eines überall anerkannten und praktizierten nachhaltigen Flächenmanagements nur funktionieren kann, wenn alle Politik- und Planungsebenen „an einem Strang ziehen“. Von daher sollte dieser Integrationsaspekt auch als eine der Maximen des Flächenmanagements verfolgt werden.

3.4.2 Horizontale Politik- und Behördenintegration (ressortübergreifend) im IKZM und im nachhaltigen Flächenmanagement

Der Aspekt der horizontalen Integration beinhaltet eine verstärkte und gute Koordination und Kommunikation zwischen verschiedenen Behörden und Institutionen auf einer Hierarchieebene. Dies ist für ein IKZM besonders wichtig, damit themenübergreifende Problemfelder an der Küste, die z. B. Aktivitäten verschiedener Ressorts innerhalb einer Verwaltung erfordern, koordiniert und integriert angegangen und gelöst werden können (Kap. 2.4).

Im Flächenmanagement sind in der Regel die Planungsbehörden für die Koordinierung der Bauleitplanung und anderen Planungsaktivitäten zuständig. Hier muss alleine von Gesetzes wegen eine Abwägung der verschiedenen öffentlichen Belange stattfinden, die durch Stellungnahmen und Gutachten der verschiedenen Fachressorts wahrgenommen wird. So wird z. B. in der kommunalen Bauleitplanung die Beteiligung der Behörden durch § 4 BauGB und § 4a BauGB sowie die Beteiligung der Öffentlichkeit nach § 3 BauGB geregelt. Inwieweit die ressortübergreifende Verwaltungspraxis in den jeweiligen Kommunen mögliches Verbesserungspotential aufweisen, und ob z. B. die Einführung weiterer informeller Integrationsaktivitäten sinnvoll wäre, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

Auch wenn über die tatsächliche Behördenpraxis zum Thema Flächenmanagement keine gesicherten Aussagen getroffen werden können, kann die horizontale Behörden- und Politikintegration, wie sie im IKZM gefordert wird, als eine sinnvolle und notwendige Grundlage für ein „gutes“ Küstenmanagement und auch für ein nachhaltiges Flächenmanagement angesehen werden.

3.4.3 Territoriale Integration (neue Betrachtungsräume schaffen) im IKZM und im nachhaltigen Flächenmanagement

Dieser Aspekt verfolgt die integrative Betrachtung von geographischen Räumen. Es geht darum, zur Bewältigung von Problemfeldern mit komplexen räumlichen Wirkungszusammenhängen neue Betrachtungsräume zu schaffen (Kap. 2.4). Im IKZM liegt der Fokus besonders auf der integrierten Betrachtungsweise von Land und Meer (Ballnus 2004, Kannen 2000). Es geht aber auch z. B. darum, verschiedene Gebiete, die aufgrund administrativer Verwaltungsgrenzen voneinander getrennt sind, aber beispielsweise naturräumlich zusammengehören, als ein zusammenhängendes Gebiet zu betrachten. Aufgrund dieses Bedeutungshintergrundes ist dieser Aspekt auch im nachhaltigen Flächenmanagement relevant, da auch hier angestrebt wird, neue Raumzusammenhänge zu bilden. Dies ist der Fall, wenn sich Kommunen zusammenschließen, um gemeinsame Flächenkataster anzulegen oder ähnliche Vorhaben zu verwirklichen. Zudem werden für die Leitbildentwicklung bestimmte Betrachtungsräume gebildet.

Der territoriale Integrationsaspekt hat Relevanz für das nachhaltige Flächenmanagement, da hier neue Betrachtungsräume entstehen können, wodurch wiederum neue Denk- und Handlungsräume geschaffen werden. Allerdings ist der räumliche Integrationseffekt innerhalb eines IKZM noch entscheidender, da es hier um die erstmalige integrative Betrachtung der Systeme Land und Meer geht (Ballnus 2004).

3.4.4 Zeitliche Integration (kurzfristige und langfristige Ziele integriert betrachtet) im IKZM und im nachhaltigen Flächenmanagement

Die Verbindung von kurzfristigen Interessen und langfristigen Zielen ist eines der Grundprinzipien einer „Nachhaltigen Entwicklung“. Somit ist dieser Aspekt für ein konsequentes nachhaltiges Flächenmanagement genauso entscheidend wie für ein IKZM. Allerdings ist es in Deutschland noch ein langer Weg, bis ein nachhaltiges Flächenmanagement auf allen Handlungsebenen umgesetzt werden wird. Denn eine der Hauptursachen der hohen Neuinanspruchnahme von Freiflächen ist in der auf einzelne Vorhaben und kurzfristige Interessen fokussierten Handlungspraxis zu suchen, welche neben wirtschaftlichen Interessen zu großen Teilen auf das bereits erwähnte mangelnde Bodenbewusstsein zurückzuführen ist (Flacke 2006, Schekahn & Grundler 2004).

3.4.5 Interessenintegration (Verbindung verschiedener Interessensbereiche und Ebenen) im IKZM und im nachhaltigen Flächenmanagement

Dieser Aspekt bezieht sowohl die vertikale und die horizontale Behörden- und Politikintegration mit ein und zielt zudem auf eine konsequente Berücksichtigung aller relevanten Interessengruppen ab (Kap. 2.4). Besonders bei konkreten IKZM-Verfahren sind alle relevanten Interessenpositionen, öffentliche und private, zu speziellen Fragestellungen durch einen breiten Stakeholderdialog einzubeziehen. Dieser stark informelle Verfahrenscharakter ist eine der wichtigen Besonderheiten des IKZM (BMU 2006). Im Flächenmanagement findet dies zwar auch vermehrt Einzug, allerdings noch nicht in der Art und Weise, wie es im IKZM gefordert wird. Die Interessenintegration ist innerhalb des Flächenmanagements besonders bei Flächennutzungskonflikten anzuwenden.

Die Anwendbarkeit dieses IKZM-Aspekts für ein Flächenmanagement ist möglich und sinnvoll. Dies hängt allerdings jeweils vom Gegenstand des Falls und der Akteure ab.

4 Fazit

Dieser allgemeine Vergleich der beiden Themenfelder IKZM und nachhaltiges Flächenmanagement hat gezeigt, dass viele Grundaspekte der Ebenen des IKZM auch in Ansätzen im nachhaltigen Flächenmanagement enthalten sind und Berücksichtigung finden. Andere werden nicht explizit im nachhaltigen Flächenmanagement thematisiert, können aber zum Teil durchaus aus den Blickwinkeln eines IKZM betrachtet werden.

Das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung und die Forderung nach Visions- und Leitbildentwicklungen für bestimmte Betrachtungsräume sind nahezu gleich intensiv im nachhaltigen Flächenmanagement etabliert, auch wenn in den jeweiligen Fach- und Gesellschaftsdebatten die Akzeptanz generell noch eher gering ausfällt. Die globale und umfassende Betrachtungsweise, die in einem IKZM angestrebt wird, ist für das nachhaltige Flächenmanagement bisher noch kaum diskutiert worden, eine Beachtung dieser wird allerdings besonders für Flächenentwicklungen in direkter Küstenlage als notwendig erachtet.

Das Entwickeln und Etablieren eines nachhaltigen Flächenmanagements kann aufgrund der bereits dargestellten Analyse ebenfalls wie das IKZM als Prozess gedeutet werden (Prozessebene des IKZM). Diese Sichtweise eröffnet eine neue Betrachtungsperspektive, die für den weiteren Flächenmanagementdiskurs durchaus Nutzen haben kann. Besonders wird die Prozessausrichtung mit dem Fokus auf einer breiten gesellschaftlichen Diskussion empfohlen, die auf eine kommunikative und partizipative Prozessgestaltung und den Erfahrungsaustausch setzt. Hierdurch kann sich z. B. dem Ziel einer stärkeren Sensibilisierung für einen schonenden Umgang mit der Ressource „Fläche“ und einem stärkeren „Bodenbewusstsein“ der einzelnen Akteure und der gesamten Bevölkerung angenähert werden. Dies wird als möglich erachtet, da durch eine intensive Einbeziehung der verschiedenen Akteure und der Bürger ein weitreichender Meinungs austausch stattfinden kann, der Erfahrungen, Einschätzungen und Visionen besser aufgreift und so dem weiteren Prozess immer wieder neue Impulse und Richtungen geben kann. Hierbei ist es außerdem sinnvoll und auch notwendig, dass dieser Entwicklungs- und Austauschprozess mögliche Änderungen von Rahmenbedingungen und vorherrschenden Wechselwirkungen auf den verschiedenen Handlungsebenen beachtet und für den weiteren Prozess mit einbezieht.

Das IKZM stellt neben dem Prozess auch ein Verfahren dar, welches durch partizipative und konflikt schlichtende Verfahrensführung einzelne Problemfelder in Küstengebieten lösen soll (Verfahrensebene). Für die Problemfelder des IKZM wurden verschiedene Verfahrensmodelle entwickelt, die sich für ein breites Feld an Problemlagen anbieten. Im Fachdiskurs des Flächenmanagements hingegen existiert eine Vielzahl von Methoden für spezifische Teildimensionen des Themenfeldes. Es stellte sich heraus, dass sich IKZM-Modelle durchaus im Flächenmanagement bei Nutzungskonflikten, wo unterschiedliche Interessen verschiedener Akteure aufeinandertreffen, anbieten würden. Denn IKZM-Verfahren haben als Ziel, durch Konsensorientierung konvergierende Interessen zu evaluieren und gemeinsam mit allen relevanten Interessengruppen konkrete Lösungen für ein spezielles Problem zu finden. Hierbei sind der informelle Charakter und der Wille der Akteure, selbst einen Beitrag zur Gesamtlösung beizutragen, entscheidend. Durch Sensibilisierung der Interessengruppen, einschließlich der Bürger, für die Themenfelder einer nachhaltigen Küstenentwicklung und für die ortsspezifischen Erfordernisse kann eine breite Teilnahme für Entwicklungs- und Problemlösungsverfahren erreicht werden. Ziel von IKZM-Verfahren bei Nutzungskonflikten sollte sein, eine dauerhafte Handlungspraxis zu etablieren, die sich durch gegenseitigen Respekt der Akteure gegenüber den anderen Vorstellungen und Ansprüchen sowie durch das Bewusstsein für eine Gesamtlösung im Sinne einer nachhaltigen Küstenentwicklung auszeichnet. Denn kein Verfahren kann zu einem langfristigen Erfolg führen, wenn nach Abschluss eines Verfahrens zur „alten Handlungspraxis“ zurückgekehrt wird. Daher ist besonders auch der Verfahrensschritt „Monitoring“, wie er in vielen IKZM-Modellen gefordert wird, ein wichtiges Instrument zur Gewährleistung der Ziele nach einem Verfahren.

Neben der Anwendung zur Lösung von Nutzungskonflikten ließen sich Verfahrensmodelle auch zur Strategie- und Leitbildentwicklung einsetzen.

Die Integrationsebene des IKZM zielt darauf ab, ein weitgehendes integriertes Denken und Handeln zu verfolgen und dadurch eine stärkere Integration der Hierarchieebenen in Politik und Verwaltung (vertikale Integration) zu erreichen, um ziel- und problemorientierte Herausforderungen zu bewältigen. Die vertikale Integration wird, wie sich in der Diskussion zeigte (Kap. 3), in der Flächendebatte im Ansatz vermehrt praktiziert. Für ein langfristig funktionierendes nachhaltiges Flächenmanagement muss allerdings besonders auf kommunaler Ebene mehr Akzeptanz für das Thema geschaffen werden.

Außerdem sollten auch Ressorts auf einer Verwaltungsebene besser vernetzt werden (horizontale Integration). Auf der kommunalen Planungsebene hat nach dem BauGB (§ 4 BauGB und § 4a BauGB) bei Planungsverfahren eine Konsultation der relevanten Fachbehörden stattzufinden. Somit wird hier zumindest bei Planungsverfahren eine horizontale Behördenintegration praktiziert. Ob eine horizontale Integration im Flächenmanagement ausreichend erfolgt, konnte in der Diskussion nicht beantwortet werden, es wird jedoch als wichtiger Teilaspekt für ein gutes nachhaltiges Flächenmanagement erachtet.

Der Aspekt der Interessenintegration umfasst die Partizipation verschiedener Interessenvertreter und wird bei der Schlichtung von Nutzungskonflikten als notwendig erachtet. Er findet bisher jedoch im Flächenmanagement nur zum Teil Berücksichtigung. Die zeitliche Integration versucht, kurzfristige Entscheidungen und langfristige Entwicklungsperspektiven zu berücksichtigen. Im Flächenmanagement ist besonderer Handlungsbedarf in der langfristigen Ausrichtung von Entscheidungsgrundlagen erforderlich, da bisher die Flächenausweisung weitgehend aufgrund kurzfristiger Handlungsanreize entschieden wird. Die räumliche Integration schafft neue Betrachtungsräume. Für Flächenkatasterverbände unter den Gemeinden oder für Leitbildentwicklungen wird dieser Aspekt auch für ein nachhaltiges Flächenmanagement als nützlich erachtet.

Es kann zusammenfassend festgestellt werden, dass neben der Darstellung der verschiedenen Gemeinsamkeiten zwischen IKZM und dem nachhaltigen Flächenmanagement auch die Betrachtungsperspektiven des IKZM (gemeint sind die vier Ebenen des IKZM und deren Teildimensionen) für das nachhaltige Flächenmanagement als gewinnbringend zu erachten sind. Inwieweit einzelne Ebenen oder Teilaspekte direkte Anwendung im nachhaltigen Flächenmanagement finden können, ist durch weitere Forschung theoretisch, aber auch explorativ zu ermitteln.

Literatur

- Ballnus, F. (2004): Die Küstenagenda 21 als Instrument zum Erreichen nachhaltiger Raumentwicklungen in den Küstenzonen der Ostsee. Münster-Hamburg.
- BBR – Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.) (2006): Fläche im Kreis. Kreislaufwirtschaft in der städtischen/stadtregionalen Flächennutzung. Ein ExWoSt-Forschungsfeld. ExWoSt-Informationen 25/3 - 04/2006. Bonn.
- BBR – Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, UBA – Umweltbundesamt & Projektträger Jülich (Hrsg.) (2006): Mehr Wert für Mensch und Stadt: Flächenrecycling in Stadtumbauregionen. Strategien, innovative Instrumente und Perspektiven für das Flächenrecycling und die städtebauliche Erneuerung. Eine Publikation des Förderprogramms „Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement“ (REFINA) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Freiberg.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006): Integriertes Küstenzonenmanagement in Deutschland (IKZM): Nationale Strategie mit Bestandsaufnahme. Bonn.
- Bosecke, T. (2005): Vorsorgender Küstenschutz und integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) an der deutschen Ostseeküste: Strategien, Vorgaben und Defizite aus der Sicht des Raumordnungsrechts, des Naturschutz- und europäischen Habitatschutzrechts sowie des Rechts der Wasserwirtschaft. Schriftenreihe Natur und Recht, Band 6. Berlin.
- Bruns, A. (2007): ‚Leuchtturm-Projekte‘ und ‚IKZM-Councils‘: Stand und Perspektiven von IKZM in Deutschland. Ergebnisse einer Befragung im Juli 2007. Institut für Küstenforschung - GKSS Forschungszentrum, Geesthacht (<http://coastal-futures.server.de/servlet/is/6371/Leuchtturm%20Projekte%20und%20IKZM%20Councils'.pdf>, 03.02.2008).
- Bundesregierung (2008): Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Entwurf. Stand 5. Mai 2008. Berlin (http://www.bundesregierung.de/nn_66656/Content/DE/___Anlagen/2008/05/2008-05-08-entwurf-zum-fortschrittsbericht-2008.html, 25.07.2008).
- Bundesregierung (2004): Endfassung des Fortschrittsberichts 2004 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Berlin (http://www.bundesregierung.de/nsc_true/Content/DE/___Anlagen/fortschrittsbericht-2004,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/fortschrittsbericht-2004,01.06.2008).

- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin.
- Burbridge, P. (2000): Lessons from the EU Demonstration Programme: Sectoral and Territorial Co-Operation. In: Gee, K., A. Kannen & H. Sterr (2000): Integrated Coastal Zone Management: What Lessons for Germany and Europe? Empfehlungen und Ergebnisse der ersten deutschen Konferenz zum Integrierten Küstenzonenmanagement. FTZ-Berichte Nr. 21. Büsum, S. 40-45.
- Dehne, P. & T. Fichtner (2008a): Empfehlung für die Implementierung eines Integrierten Küstenzonenmanagements in der Odermündung. IKZM-Oder Berichte 48 (2008). Neubrandenburg.
- Dehne, P. & T. Fichtner (2008b): Empfehlungen zur Weitergestaltung der Nationalen IKZM-Strategie der Bundesrepublik Deutschland. IKZM-Oder Berichte 42 (2008). Neubrandenburg.
- Difu – Deutsches Institut für Urbanistik (Hrsg.) (2008): Wege zum nachhaltigen Flächenmanagement - Themen und Projekte des Förderschwerpunktes REFINA. Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement. Berlin.
- EK – Europäische Kommission (1999a): Eine europäische Strategie für das Integrierte Küstenzonenmanagement (IKZM): Allgemeine Prinzipien und politische Optionen. Ein Reflexionspapier. Luxemburg.
- EK – Europäische Kommission (1999b): Schlussfolgerungen aus dem Demonstrationsprogramm der europäischen Kommission zum Integrierten Küstenzonenmanagement (IKZM). Luxemburg.
- EU – Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2002): EU-Empfehlung 2002/413/EG vom 30. Mai 2002 zur Umsetzung einer Strategie für ein integriertes Management der Küstengebiete in Europa. Brüssel.
- Fichtner, T. (2006): Informelle Planung. Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM). In: RaumPlanung 126 (7): 164-165.
- Flacke, J. (2006): Nur noch 30 ha täglich?! Ansätze zur Vermittlung einer umweltpolitischen Zielsetzung. In: Genske, D.D., M. Huch & B. Müller (Hrsg.): Fläche - Zukunft - Raum. Strategien und Instrumente für Regionen im Umbruch. Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 37: 107-114.
- Gee, K., A. Kannen., K. Licht-Eggert, B. Glaeser & H. Sterr (2006): Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM): Raumordnungsstrategien im Küstenbereich und auf dem Meer. Abschlussbericht: Raumordnung und IKZM als Instrumente für nachhaltige Entwicklung des Küsten- und Meeresraums. Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVWB) & des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Berlin - Bonn.
- Gee, K. & K. Licht-Eggert (2006): Offshore-Windkraftentwicklung in Deutschland und (daraus) resultierende Anforderungen an ein IKZM. In: Licht-Eggert, K. & A. Kannen (Hrsg.) (2006): Meeresraumordnung und IKZM als Reaktion auf neue Herausforderungen im Meeres- und Küstenraum. FTZ-Berichte 37: 1-8.
- Genske, D. D. (2006): Die brach liegende Republik. In: Genske, D.D., M. Huch & B. Müller (Hrsg.): Fläche - Zukunft - Raum. Strategien und Instrumente für Regionen im Umbruch. Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 37: 5-10.
- Glaeser, B. (2005): Die Küstenproblematik zwischen Ethos und Management - zur Nachhaltigkeitsperspektive im IKZM. In: Glaeser, B. (Hrsg.): Küste, Ökologie, Mensch. Integriertes Küstenzonenmanagement als Instrument nachhaltiger Entwicklung. München, S. 9-33.
- Glaeser, B., K. Füsser, J. Hodina & A. Sekścińska (2008): Ablauf von IKZM-Prozessen in Deutschland. Eine Einleitung. IKZM-Oder Berichte 45 (2008). Neubrandenburg.
- Institut Raum & Energie (2001): Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) – Eine Strategie für Schleswig-Holstein. Gutachten im Auftrag des Ministeriums für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein. Wedel.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Vierter Sachstandsbericht des IPCC (AR4). Klimaänderung 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Deutsche Übersetzung (<http://www.ipcc.ch/ipccreports/translations.htm>, 03.03.2008).
- Kannen, A. (2005): Schlussfolgerungen aus dem europäischen Demonstrationsprogramm zum Integrierten Küstenzonenmanagement für eine nachhaltige Entwicklung der deutschen Küsten. In: Glaeser, B. (Hrsg.): Küste, Ökologie, Mensch. Integriertes Küstenzonenmanagement als Instrument nachhaltiger Entwicklung. München, S. 173-199.
- Kannen, A. (2000): Analyse ausgewählter Ansätze und Instrumente zu Integriertem Küstenzonenmanagement und deren Bewertung. FTZ-Berichte Nr. 23. Büsum.
- Kötter, T. & D. Weigt (2006): Flächen intelligent nutzen - ein marktwirtschaftlicher Ansatz für ein nachhaltiges Flächenmanagement. In: Flächenmanagement und Bodenordnung (FuB) 68 (2): 49-55.

- Landman, J. (2009): Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) als Leitbild und Lösungsansatz für ein konsensorientiertes Flächenmanagement in Küsten- und Hafenrandgebieten? Eine interdisziplinäre Vergleichsanalyse mit einem Fallbeispiel am Reiherstieg in der Hafenmetropole Hamburg. Universität Lüneburg: Diplomarbeit (unveröffentlicht).
- Lütkes, S. & H. Holzfuß (2007): Die grundlegenden Inhalte und die Botschaften des nationalen IKZM-Berichts. In: BBR - Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Informationen zur Raumentwicklung, Heft 5: 275-281.
- RNE – Rat für nachhaltige Entwicklung (Hrsg.) (2007): Erfolgsfaktoren zur Reduzierung des Flächenverbrauchs in Deutschland. Evaluation der Ratsempfehlungen „Mehr Wert für die Fläche: Das Ziel 30ha“. Texte Nr. 19, Januar 2007. Berlin.
- RNE – Rat für nachhaltige Entwicklung (Hrsg.) (2004): Mehr Wert für Fläche: Das „Ziel-30-ha“ für die Nachhaltigkeit in Stadt und Land. Empfehlungen des RNE an die Bundesregierung. Texte Nr. 11, Juli 2004. Berlin.
- Rubrecht Consult & International Ocean Institut (Hrsg.) (2006): Evaluation of Integrated Coastal Zone Management (ICZM) in Europe. Final Report. 18. August 2006 - Revised version 1/12/2006. Deutsche Zusammenfassung. Cologne.
- Schekahn, A. & H. Grundler (2004): Nachhaltige Freiraumsicherung und -entwicklung in Verdichtungsräumen. Ergebnisse aus dem F+E Vorhaben 801 82 110 „Naturschutz in Verdichtungsräumen“ des Bundesamtes für Naturschutz. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 5. Bonn-Bad Godesberg.
- Schernewski, G. (2006): Integriertes Küstenzonenmanagement im Osteseeraum: Hintergrund und Praxis. Wasser und Abfall. Boden-Altlasten-Umweltrecht 8 (9): 20-26.
- Schröter, C. (2005): Handelbare Flächenausweisungsrechte. In: Besecke, A., R. Hänsch & M. Pinetzki (Hrsg.): Das Flächensparbuch. Diskussion zu Flächenverbrauch und lokalem Bodenbewusstsein. ISR Diskussionsbeiträge 56: 197-208.
- Siedentop, S. (2005): Problemdimension der Flächeninanspruchnahme. In: Besecke, A., R. Hänsch & M. Pinetzki (Hrsg.): Das Flächensparbuch. Diskussion zu Flächenverbrauch und lokalem Bodenbewusstsein. ISR Diskussionsbeiträge 56: 19-27.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2006): Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten. Berlin.
- Wittmann, U. (2007): REFINA-Forschungsansätze insbesondere in Regionen mit Schrumpfungproblematik. In: Genske, D.D. & A. Ruff (Hrsg.): Nachhaltiges Flächenmanagement: Potenziale und Handlungsfelder für Regionen im Umbau. Dokumentation zum 1. überregionalen REFINA-Workshop in Nordhausen. Nordhäuser Hochschultexte Band 002-2007 der Fachhochschule Nordhausen, S. 21-31.

Kontext der Arbeit und Danksagung

Der vorliegende Artikel geht auf die Theorieanalyse der Diplomarbeit des Verfassers zurück. Die hier zugrunde gelegte Diplomarbeit mit dem Titel „Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) als Leitbild und Lösungsansatz für ein konsensorientiertes Flächenmanagement in Küsten- und Hafenrandgebieten? – Eine interdisziplinäre Vergleichsanalyse mit einem Fallbeispiel am Reiherstieg in der Hafenmetropole Hamburg“ wurde im Januar 2009 bei der Prüfungsbehörde der Leuphana Universität Lüneburg eingereicht.

Der Impuls für die Untersuchung der Diplomarbeit und somit auch für diesen Artikel geht auf das UBA-Projekt „IKZM: Sparsame und effiziente Flächeninanspruchnahme im deutschen Küstenraum“ zurück. Mein besonderer Dank für diesen Impuls, Betreuung und kritische Anregungen zu diesem Artikel gilt Dr. Janssen vom Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) in Dresden.

Adresse

Dipl.-Umweltwiss. Jan Landman
Universität Rostock
AUF – Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Justus-von-Liebig-Weg 15
18059 Rostock, Germany

jan.landman@uni-rostock.de

Coastline Reports

published by EUCC - The Coastal Union

are available online under: http://www.eucc-d.de/coastline_reports.php

Coastline Reports 1 (2004)

Geographie der Meere und Küsten (Geography of Seas and Coasts)

G. Schernewski & T. Dolch (Hrsg./eds.)

(Mostly in German with English abstract)

Coastline Reports 2 (2004)

Managing the Baltic Sea

G. Schernewski & N. Löser (eds.)

(In English)

Coastline Reports 3 (2004)

Retrospektive Analyse größerer Planverfahren in der Küstenzone unter der Perspektive "IKZM-Tauglichkeit" (Retrospective analysis of large scale planning procedures under the perspective of their ICZM-compatibility)

B. Schuchardt, T. Bildstein, H. Lange, J. Lange, C. Lee, S. Pestke, W. Osthorst, M. Schirmer, D. Wille & G. Winter

(In German with English abstract)

Coastline Reports 4 (2004)

Baltic Sea Typology

G. Schernewski & M. Wielgat (eds.)

(In English)

Coastline Reports 5 (2005)

The INTERREG III B BaltCoast Project

A pilot initiative on Integrated Coastal Zone Management in the Baltic Sea (2002-2005)

B. Heinrichs, A. Schultz-Zehden & S. Toben (eds.)

(In English)

Coastline Reports 6 (2005)

Integrated Coastal Zone Management at the Szczecin Lagoon: Exchange of experiences in the region (Integriertes Küstenzonenmanagement am Stettiner Haff: Erfahrungsaustausch der Regionen / Zintegrowane Zarządzanie Obszarami Przybrzeżnymi nad Zalewem Szczecińskim: wymiana doświadczeń między regionami)

B. Glaeser, A. Sekścińska & N. Löser (eds. / Hrsg./ wyd.)

(Mostly in German with English and Polish abstracts)

Coastline Reports 7 (2007)

Restoration of Coastal Ecosystems

M. Isermann & K. Kiehl (eds.)

(In English)

Coastline Reports 8 (2007)

Coastal Development: The Oder Estuary and beyond

G. Schernewski, B. Glaeser, R. Scheibe, A. Sekścińska & R. Thamm (eds.)

(In English and German)

Coastline Reports 9 (2007)

Von der Geoarchäologie über die Küstendynamik zum Küstenzonenmanagement (From Geoarchaeology via Coastal Dynamic to Coastal Zone Management)

G. Gönnert, B. Pflüger & J.-A. Bremer (Hrsg./eds.):

(Mostly in German with English abstracts)

Coastline Reports 10 (2007)

The Benefits of Inter-linking Coastal and River Management

Twenty case studies world-wide indicate opportunities and constraints

A. Pickaver & D. Sadacharan (eds.)

(In English)

Coastline Reports 11 (2008)

The INTERREG IIIB ToLearn Project

Developing Sustainable Tourism in the North Sea Region

G. von Rohr, C. Corves & H. Sterr (eds.)

(In English)

Coastline Reports 12 (2009)

Coastal Change in the southern Baltic Sea Region

G. Schernewski, H. Janßen & S. Schumacher (eds.)

(Mostly in German with English abstracts)

Coastline Reports 13 (2009)

International approaches of coastal research in theory and practice

EUCC – Die Küsten Union Deutschland e.V.

(In English and German)