

**Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung  
der Universität Osnabrück**

**Herausgeber: Prof. Dr. Michael Matthies**

**Beitrag Nr. 40**

**Sustainable Aquaculture in Recirculating  
Systems**

**Feasibility Study for the Catchment Area of the Aral  
Sea**

**Bert Wecker, Bakhtiyor Karimov, Bakhtiyar Kamilov, Uwe Waller,  
Michael Matthies, Helmut Lieth**

**März 2007**



Institut für  
Umweltsystemforschung  
Universität Osnabrück

**ISSN Nr. 1433-3805**

Herausgeber

Prof. Dr. Michael Matthies  
Universität Osnabrück  
Institut für Umweltsystemforschung  
Barabarastr. 12

D-49069 Osnabrück

Tel. 0541/ 969 - 2576/2575  
Fax. 0541/ 969 - 2599

e-mail: Matthies@usf.Uni-OsnabruECK.DE  
Internet: <http://www.usf.Uni-OsnabruECK.DE>

©® USF - Institut für Umweltsystemforschung, Universität Osnabrück

Dieser Beitrag wurde als Abschlussbericht des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes erstellt. Wir danken der DBU für die Unterstützung.



Institut für  
Umweltsystemforschung  
Universität Osnabrück

## **Sustainable Aquaculture in Recirculating Systems – Feasibility Study for the Catchment Area of the Aral Sea**



Dr. Bert Wecker, Dr. Bakhtiyor Karimov, Dr. Bakhtiyar Kamilov, Dr. Uwe Waller,

Prof. Dr. Michael Matthies, Prof. Dr. Helmut Lieth

Institute of Environmental Systems Research

University Osnabrück

Barbarastraße 12

D-49069 Osnabrück

March 2007, Osnabrück



1	Introduction.....	5
2	Country Profile Uzbekistan .....	5
3	Aral Sea Crisis.....	6
4	Fish Fauna .....	7
5	Aquaculture and Fisheries Situation in Uzbekistan .....	8
6	Fish Stocks and Fisheries in Irrigation Systems.....	13
7	Modern State of Fishery in Karakalpakstan .....	17
8	Analysis of Aquaculture Conditions.....	20
9	Fish Consumption and Demand.....	22
10	Aquaculture Concepts.....	23
11	Appendices.....	29
	Appendix A - Flow through farm for Rainbow trout in Tavaksay River (Page 29)	
	Appendix B - Entwicklung eines Pilotsystems zur intensiven Produktion des Europäischen Welses in extensiv genutzten Karpfenteichen (Page 38)	
	Appendix C - Aufbau eines Besatzprogramms für die Unterstützung der Fischerei in Karakalpakstan (Page 52)	
	Appendix D - Idea for a Recirculating Aquaculture System (RAS) Design (Page 62)	
	Appendix E - List of Fish Species in Uzbekistan (Page 67)	
12	Reference List.....	72

For more detailed information see <http://www.usf.uos.de/projects/AquacultureUzbekistan/>

## 1 Introduction

Within this project a feasibility study for new sustainable aquaculture concepts in Uzbekistan was developed. The study was done by the Institute of Environmental Systems Research at the University Osnabrück. The project is a cooperation of different research institutes and enterprises in Germany and Uzbekistan. The goal of this study was to determine well-adjusted aquaculture concepts for Uzbekistan with special focus on the catchment area of the Aral Sea. A multi-disciplinary approach was chosen to consider the biological, ecological, technological and economical criteria for a future development of aquaculture. On a basis of this study ideas for future business and research projects are recommended.

## 2 Country Profile Uzbekistan

The republic of Uzbekistan is located between the two great Central Asian rivers Amudarya and Syrdarya (the word „darya“ from uzbek „river“) and is 1.400km long and 925km wide. Uzbekistan comprises large areas of plains with low mountains. The interactions of three main factors are responsible for the climate, namely - solar radiation, general atmospheric circulation, and topographic relief. Solar radiation is particularly high, reaching up to 800 to 1.000Mj/m<sup>2</sup> during the summer months. Winds are normally from the northeast, east or southeast in winter, and north, north-west or northeast in summer. There are three main climatic zones in Uzbekistan: deserts and dry semi-deserts (steppes), foothills, and mountains.

Uzbekistan is a low-income country with Atlas Gross National Income per capita of US\$460 in 2004. The country is rich in natural resources, such as gold, copper, natural gas, oil, and uranium. During the Soviet period, Uzbekistan was developed as a center for cotton production. Agriculture is still the dominant sector of the economy, accounting for around a third of GDP (gross domestic product) at factor prices and a similar share of employment. The country has young and rapidly growing population and thus faces the challenge to create jobs, especially in rural areas where two-thirds of Uzbekistan's population live.

Since independence, the government has adopted a “gradual” approach to transition, aimed at import substituting industrialization and energy and food self sufficiency. The approach relies heavily on the use of state controls and planning, foreign exchange and trade restrictions, and large public investments.

General water-consumption in Uzbekistan during the 1990s was stabilized at the level of about 62-65km<sup>3</sup> per year while the total freshwater resources of the Aral Sea basin are about 115,6km<sup>3</sup> per year. About 85% (53-55km<sup>3</sup>) of water is consumed in agriculture, 12% (6km<sup>3</sup>) in industry and

3% (1.7km<sup>3</sup>) in communal economy. At the same time, the total amount of the surface runoff formed within the territory of Uzbekistan is only 10 km<sup>3</sup>. During last years (2002-2004) total water consumption decreased (in average 55.1km<sup>3</sup>), even if 90% of water is still used for irrigated agriculture.

### **3 Aral Sea Crisis**

Uzbekistan shares the Aral Sea, one of the largest closed lakes in the world, with Kazakhstan. The basin of the Aral Sea is mostly covered by deserts, but since the ancient times it has been known as the region with highly developed agriculture. In the former USSR, Uzbekistan mostly was related to cotton cultivation (recently also rice and wheat is cultivated, but cotton is still the main culture). Cotton was and still remains as the main agriculture product. With a share of about 20% Uzbekistan is the 4th producer of cotton in the world. But namely the cotton-monoculture was the main reason for the ecological problems in the region.

About 73.4% of the irrigated land is set aside for cotton production which is unprecedented in the world's agricultural practice. In the basin of the Aral Sea the irrigated area during 1925-1980's increased from 2.0 to 7.2 million ha. Even if the area of cotton fields decreased today to 41% of the total irrigated land it is still a main water consumer. About 39% of population are engaged in agriculture (3 to 10% world's average).

Huge and extensive network of irrigation and drainage canals has been created. Under the plan economy, the main idea was the extensive irrigation development; however, those canals are not effective and water losses from ineffective and poor irrigation network are estimated at about 40km<sup>3</sup> annually. This irrigation system changed water level regime in the whole Aral Sea basin. Before 1960, the Syrdarya and Amudarya brought into the Aral Sea about 56km<sup>3</sup> of water, precipitation was 8km<sup>3</sup> and ground water flow was about 1km<sup>3</sup>. The mean annual evaporation from the sea surface reached 63km<sup>3</sup>. The water level of the sea was about 53m in balance with the total water surface of about 68.000km<sup>2</sup> and a volume of 1.061km<sup>3</sup>. Until 1990's the total water runoff to the Amudarya and Syrdarya rivers deltas was reduced to 5-10km<sup>3</sup>, in some years it even nearly ceased.

Today the Aral Sea dies. The sea level in the Big Aral, according to the Karakalpak management on hydrometeorology in 2006 has fallen up to a mark of 30m (i.e. has decreased on 23m). The water has moved from the coastline 60-80km away. Mineralization grew up to 67-97g/l in comparison to 9-10g/l in 1960's. A catastrophic shrinking of the Aral Sea, deterioration of water quality and the rapid desertification unfolding in the last decades resulted in that in 1992 UN

declared the Aral Sea basin a zone of the ecological crisis. As a direct result about 500.000ha spawning areas and migratory ways of fish were totally destroyed. The mineralization of Big Aral may be tolerated only by the halobiont crustacean *Artemia*, appeared in an open part of the sea in 1998, which is a valuable fodder resource for development of aquaculture.

#### 4 Fish Fauna

Prior to large-scale irrigation efforts the indigenous fish fauna in the Aral Sea basin was little affected by human activities. Kamilov and Urchinov (1995) listed for Uzbekistan 84 species of fish, including those which were rare and those which were introduced (see Appendix E). The ichthyofauna has undergone major changes as a result of water regulation and introductions of fish species from outside the Aral Sea basin (Kamilov, 1973; Kamilov et al., 1994). Some species disappeared or became rare, such as three species of endemic shovel-noses (*Pseudoscaphirhynchus kaufmanni*, *P. hermani*, *P. fedschenko*), ostrolochka (*Capoetobrama kuschakewitschi*), minnows (*Alburnoides bipunctatus*, *A. taeniatus*, *A. oblongus*) and Zarafshan dace (*Leuciscus lehmanni*), because they have been unable to adapt to the new environment, or because dams blocked their spawning migrations (spiny sturgeon *Acipenser nudi-ventris*, Aral barbel *Barbus brachycephalus*). Some species such as gudgeons (*Neogobius fluviatilis*, *N. melanostomus*, *Pomatoschistus caucasicus*, *Proterorhinus marmoratus*) and Baltic herring (*Clupea harengus membras*), introduced in the Aral Sea, became established for a while, but later on disappeared as a result of increasing salinity and other changes in the Aral Sea environment.

During 1960-1990 a number of fish species from outside the region were introduced in a number of irrigation water bodies of Central Asia. Pikeperch and bream were released into reservoirs and lakes of the rivers Zarafshan, Kashka-Darya and the middle courses of the Syrdarya and Amudarya. Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), grass carp (*Ctenopharyngodon idella*), bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) and snakehead (*Channa argus warpachowskii*), introduced from the Far East, were stocked in fish farms in the Tashkent area and from there the hatchery-produced stocking material was regularly stocked into lakes and reservoirs. Three species of buffalo (*Ictiobus cyprinellus*, *I. bubalus*, *I. niger*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*) were also introduced into fish farms but they did not enter rivers except the last species which entered the Syrdarya. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Sevan trout (*Salmo ischchan issykogegarkuni*), peled (*Coregonus peled*) and lake herring (*Coregonus sardinella*) were released into Charvak reservoir in the Tashkent area where they are now established.

Many species spread throughout the basin via the connecting major canals. Some species started to breed in both the irrigation and drainage canals. Fish stocks in canals were not managed. In the 1970s-1980s management concentrated on stocking fingerlings and one-year-old marketable fish, the stocking material of which was produced in fish farms. Silver carp, grass carp, common carp and bighead carp were regularly stocked in reservoirs and lakes for residual water storage. This resulted in fish yields increasing by 5-15 kg/ha. After 1991 stocking continued only in the Aydar-Arnasay lake system and several other large water bodies.

Formation and development of the ichthyofauna in the basin of the Aral Sea was determined by natural and historical processes. But during the last decades it was basically changed by the anthropogenic factor, mainly owing to the hydrographical restoration and acclimatization of new fish species.

## 5 Aquaculture and Fisheries Situation in Uzbekistan

Until 1960 fishery was concentrated on the inshore waters of the Aral Sea and the deltas of the inflowing major rivers. In the early 1960s the State Fisheries Department was established within the Ministry of Agriculture. In the end of 1960s it was transformed to the State Committee of Fisheries, which mainly was under the administration of the former All-Union Ministry for Fisheries. This implied that the financial budget for fisheries and aquaculture in Uzbekistan was assigned completely by the All-Union Ministry of Fisheries and all water bodies, fish stocks and enterprises were organized within the State Committee of Fisheries. In Uzbekistan fisheries concentrated only on the Aral Sea, with an average annual catch of 25.000t. The major fish species captured were common carp (*Cyprinus carpio*), bream (*Abramis brama*), barbel (*Barbus brachycephalus*), roach (*Rutilus rutilus*) and shemaya (*Chalcalburnus chalcoides aralensis*). Less common were catfish (*Silurus glanis*), pike (*Esox lucius*), asp (*Aspius aspius*), sturgeon (*Acipenser nudiiventris*) and pikeperch (*Stizostedion lucioperca*).

Due to the decision of the former Soviet Union to establish a large-scale irrigation network for an intensive agricultural production (mainly cotton) in the basin of the Aral Sea region the whole hydrological system was changed substantially. In 1991 the United Nations declared the Aral Sea basin as a zone of an ecological crisis due to the catastrophic shrinking of the Aral Sea, deterioration of water quality and the rapid desertification. Until today the Aral Sea decreased more than two thirds and the salinity increased extremely. As a result it has lost fishery importance today (see Figure 7.1). In 1983, the last year of the Aral Sea fisheries, only 53t were caught. Fisheries in Uzbekistan had to find new sources of fish.



During the 1970s fishing fleets were transferred from the Aral Sea to lakes of the lower Amudarya, Lake Sarykamysk and the Aydar-Arnasay lake system. While in 1964 the catch in Aydar-Arnasay lakes was only 26t, it increased in 1971 up to 512t and 1988 up to a maximum of 4.200t (25 kg/ha).

Table 5.1 - Capture fisheries and aquaculture in Uzbekistan (in thousand tons)

Year	Capture fisheries			Aquaculture	Total
	Lakes <sup>a</sup>	Reservoirs	Rivers		
1980 <sup>b</sup>	5.5	1.0	0.5	23.0	30.0
1994	2.0	0.8	0.3	14.6	17.7
1996	1.2	0.3	0	5.0	6.5
1999	3.1	0.4	0	5.6	9.1
2000	2.7	0.3	0	6.2	9.2

a - lakes used for residual water storage

b - average for a decade (1980-1990)

But capture fisheries under conditions of irrigation could not replace the quantity of fish lost from the Aral Sea. Under the leadership of the All-union Ministry of Fisheries a large-scale development program for pond fish culture and fisheries in inland water bodies was established. That program included creation of new fish farms and fishing enterprises in all regions of Uzbekistan, testing and implementation of new technologies, establishment of research centers, specialist training and education, etc. Special departments (sub-faculties) of hydrobiology and ichthyology were created within the Faculty of Biology at the Tashkent State University. These departments provided fish culture enterprises and research institutes with highly qualified specialists. Strong links were created to similar departments and research institutes in Moscow, Leningrad (St. Petersburg) and other regions of the USSR. Special agreements allowed the exchange of post graduate students with focus on aquaculture. Beside education also research and development were objectives of these departments. In the early 1970s the Institute of

Fisheries in Inland Water Bodies of Uzbekistan was founded. That institute was coordinator of research programs in fields of ichthyology, aquaculture, fishery and hydrobiology. Research programs that were important for aquaculture and fisheries were granted from state budgets. Usually such grants were given to the Department of hydrobiology and ichthyology of Tashkent State University, Institute of Zoology and Parasitology and the Research Institute of Environments in Karakalpakstan. For more than 40 years Moscow State University has also organized special expedition and research programs in Uzbekistan. Local research centers (mainly Baliktchy fish farm) were strongly involved in this research.

Finally it can be summarized that fisheries and aquaculture in Uzbekistan had a good infrastructure in the field of research and education during the times of former USSR.

Since 1960s more than 20 aquaculture farms (total area 20ths hectares of ponds) were established along the irrigation network in Uzbekistan. Partly the use also drainage water with a salinity of 5-6g/L. Within one decade aquaculture increased from zero to 25ths tons per year. That fish was supplied to the local market as live or fresh fish. The productivity was the highest in the USSR. In 1980s the average productivity amounted to 3,3t/ha and in Tashkent region the average productivity reached 4-5t/ha.

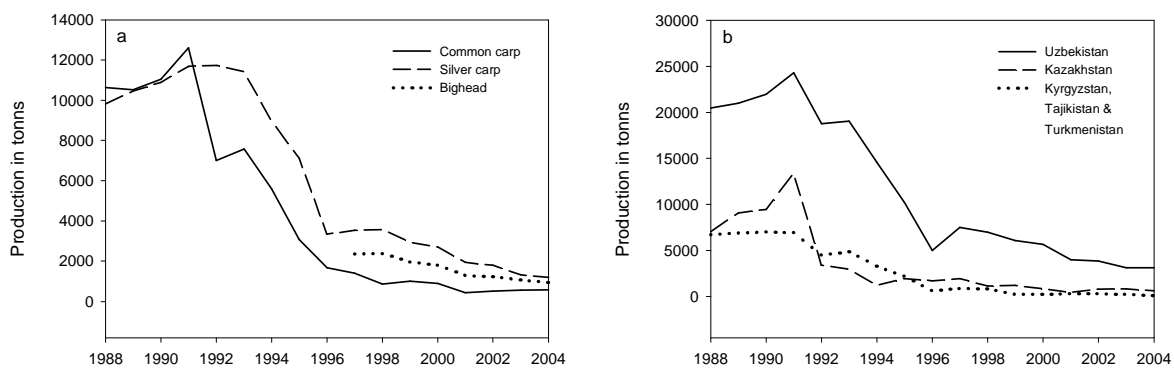


Figure 5.1 – (a) Aquaculture production of the most common species in Uzbekistan and (b) Aquaculture production in Central Asia according to the data of the FAO (fishstat+).

Figure 5.1b indicates the prominent position of Uzbekistan in aquaculture production of Central Asia. The total annual fish production in Uzbekistan averaged at 30ths tons per year. More than 70% were produced in pond culture (Table 5.1). Besides the production within the country the State Committee of Fisheries also dealt with fish transports, storage and marketing of about 60-70ths tons of marine fish imported from other regions of the former USSR as salmon, sturgeon,

herring, cod, flounder, mullet, and others. This comprehensive fisheries program was only possible due to the very centralized system within a planned economy.

After the decay of the USSR local fisheries and aquaculture farms were only fragments of the former planned economy without the required infrastructure. Fishermen found themselves in the new unfamiliar conditions of a market economy. The overall economic crisis and the loss of economic links with suppliers of equipment in the former USSR have also adversely affected fisheries. Over the last two decades the fishing equipment has much deteriorated. The number of fishing boats, set nets and seines dropped. In the 1990s there were only 20 fishing boats with 130 horsepower engines, 40 boats with 20 to 60 horsepower engines, and 250 other types of motorized boats. All fishery companies together had only 5ths gill-nets and 36 beach seines, which are now worn out. Table 5.1 gives information on fisheries in reservoirs, lakes and rivers for selected years. After a major decline in catches, which reached the lowest value in 1996, there has been a slow recovery.

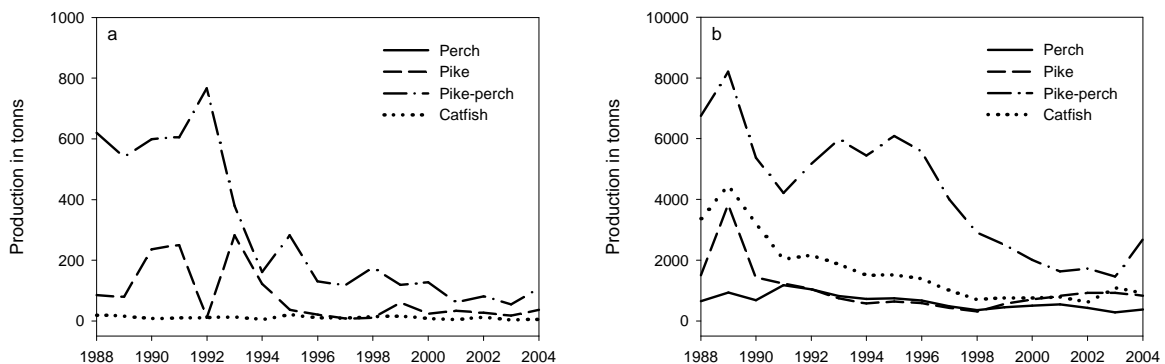


Figure 5.2 – Capture production of the most valuable species in (a) Uzbekistan and (b) Kazakhstan (consider the different scaling of production) according to the data of the FAO (fishstat+).

Figure 5.2 shows the capture production of the most valuable species in Uzbekistan and Kazakhstan. The data indicate that general capture production in Kazakhstan is app. 10 times higher than in Uzbekistan. But the decrease of fishing yields is irrefutably in both countries and may be related to similar ecological and economical problems as described already above. If the statistics are reliable the data indicate that more valuable carnivorous fishes are hardly available, even if it has to be noticed that catches of these species are sold immediately on the black market and are not considered in the official statistics. Thus it is difficult to manage the fish stock on a basis of capture data like it is common for example in Germany.

Today there is a great fish deficiency in Uzbekistan. The fish consumption decreased from originally 12kg to less than 1kg fish/person/year. The last 15 years the local market was provided by less than 10ths tons fish per year. The local production amounted to 7-9ths tons. Fish imports were only accomplished by small-scale traders or merchants. Only fish cans from Baltic countries were imported in more or less noticeable quantities.

In the first years of Uzbekistan's independence (1992-1994) the government allocated funds to the State Committee for Fisheries to maintain the established enterprises. In 1994 the government initiated a reform to denationalize a significant number of fishery enterprises. But fisheries and aquaculture was not in list of priorities anymore. That's why necessary privatizations lasted much too long and just in 2003 this process were finally finished. As a result all fish farms and fishing enterprises were denationalized. The only exception is the research centre of aquaculture development near Tashkent, which includes also a hatchery.

Table 5.1 shows the capture and aquaculture production in Uzbekistan over the last two decades. Today the major fish quantities are produced in fish ponds established alongside irrigation systems. Twelve of these fish farms use irrigation water; eight use drainage water with salinities up to 6ppm. After a sharp decline in fish production in early 1990s, in 2000 the fish production in Uzbekistan reached 9.200t. 6.200t were produced in aquaculture and the rest by capture fisheries. Nowadays local businessmen start to take interest in agricultural activities including aquaculture. But often they imagine aquaculture only as it was before. That means old soviet technology of poly-culture with carp species. This kind of extensive fish farming in ponds is the only developed form of aquaculture in Uzbekistan providing 60 to 80% of the total countries fish production. In the 1990s the total area of ponds reached 10.400ha, with pond sizes ranging from 10 to 150ha. Figure 5.1a shows that Silver carp, Bighead carp, Common carp are the prominent species. However, this kind of fish farming can be very interesting not only from ecological but also economical aspects, but for a successful development of aquaculture various technologies have to be developed. That leads to an economical diversification and improves the utilization of the different climatic and geographical conditions in Uzbekistan. Diversification of technology and species in Kazakhstan is more developed than in Uzbekistan, even if Figure 5.1b shows that less fish is produced. Beside the common carp species also Catfish, Pike-perch, Snakehead and Asp are produced. Based on the low quantities is can be assumed that these productions are by-catches of pond farming. However, the experiences during the elaboration of this study showed that there is a huge interest of potential investors from Kazakhstan in aquaculture including new technologies as net cages, raceways and recirculating systems.

With better support from the government and more private investment which would assist especially small-scale producers, fish production could be substantially increased. In Uzbekistan's lakes and reservoirs annual fish production varies between 1.5 and 50kg per ha. Prior to the major changes in economy, state-owned hatcheries produced stocking material to enhance the fishery production in reservoirs and lakes. The hatcheries/fish farms still exist and have sufficient capacity to provide enough seed to farmers and for stocking, to achieve total fish production of up to 100ths tons per year. But education of fish specialists stopped, and research was dismantled. Today, Uzbekistan has no specific programs, national or international, assisting the development of aquaculture or fisheries.

## **6 Fish Stocks and Fisheries in Irrigation Systems**

There are manifold interactions between fisheries and agriculture through the common use of land and water resources and concurrent production activities to support rural village communities and supply urban areas with the needed quantity and variety of food. Such interactions extend to the institutional sphere, as fisheries and agriculture often fall within one government ministry. Improved integration between the two sectors is therefore an important means for enhancing fish production and food security.

Uzbekistan uses about 85% of the total water runoff for irrigated agriculture, producing mainly cotton, rice and wheat. Water for irrigation is taken from the middle courses of rivers, and drainage water is returned to the rivers further downstream or collected in depressions (lakes without outflow). The total length of irrigation canals is 170.000km.

Only 5-6 large main canals, with a length of 100-350km and a capacity of 100-300 m<sup>3</sup>/sec each, are at present of fishery significance. These are the South Golodnaya Steppe main canal, Karshi main canal, Amu-Bukhara main canal, Amu-Zang and several others. In most canals water flows by gravitation. The Karshi and Amu-Bukhara main canals use pumping.

There are about 100.000km of collector-drainage canals in Uzbekistan. For fisheries only the large main collectors with more than 100km length and water flow rates of 40-100m<sup>3</sup>/sec each are important. The annual discharge of some of these collectors is comparable with that of some rivers, e.g. Ozerny (2,3km<sup>3</sup>) and Central Golodnostepeskaya Collector (2,1km<sup>3</sup>), KS-1, KS-3 etc.

There is growing recognition over the opportunities and benefits of integrating fisheries and aquaculture into agricultural development efforts, since there are very significant synergistic interactions between agriculture and fish production practices, which are mainly derived from the

recycling of nutrients arising in the course of agricultural, livestock and fish production processes, from integrated pest management IPM and from the optimal use of water resources. The most direct antagonistic interactions between agriculture and fisheries occur where these two sectors compete for land and water, and where measures aimed at higher agricultural production can alter fish habitats and fish stocks.

Agriculture and aquaculture offer a large variety of cropping patterns under different climatic and soil conditions. The possibilities for integrating fish farming into irrigation systems are growing as they prove beneficial. However, irrigation systems require a novel approach to fishery management. Where large reservoirs have formed, riverine fish may not find the new habitat suitable for all periods of their life cycle, and their number will gradually decline, with some species disappearing completely. While a new management approach is required, some of the knowledge on reservoir fish and fisheries can be adapted from similar situations where a river was dammed for hydropower electricity production. Stocks have been enhanced by introductions of species with known preference for such water bodies. Elsewhere, or in addition to introductions, reservoirs have been regularly stocked with fingerlings produced in hatcheries. This has resulted in a sustainable production of fish from reservoirs. Often the usually highly adaptable introduced species gradually replace the indigenous fish. While there may be a decline in indigenous fish species, introductions usually result in an increase in species diversity. But not always the final result is a substantial gain in fish production.

By blocking the migratory path of fish, dams have a major impact on fish species which require suitable spawning and/or nursery and feeding grounds. Dams on the Amudarya and Syrdarya have blocked the migratory path of fish, such as Aral barbel (*Barbus brachycephalus*), shovelnose (*Pseudoscaphirhynchus kaufmanni*), sturgeon (*Acipenser nudiventris*), Aral trout (*Salmo trutta aralensis*), and pike asp (*Aspiolucius esocinus*) now threatened with extinction (Pavlovskaya, 1995). In 1974 a fish-way opened on the Takhiatash dam on the Amudarya, about 200km upstream from the Aral Sea, enabling a small scale upstream migration. The large consumptive irrigation use of water from the Amudarya and Syrdarya has impacted not only the fish stocks and fisheries in the terminal Aral Sea, but it also led to a decline in fish stocks and fisheries in the deltas of these rivers.

While irrigation reservoirs have good water quality, they also have some limitations, such as unseasonable water level drawdown which conflicts with fish reproduction. Also there are no structures which would prevent the entering of fish considering different development stages into the irrigation systems. As a final result they perish. Thus, in the lower Amudarya up to 90% of

larvae and fry enter canals and end on irrigated fields (Pavlovskaya, 1995). On the other hand, large connecting canals may be beneficial for fish distribution. For example larvae and fry of the middle course of the Amudarya migrate through the Amu-Bukhara Main Canal into Tudakul reservoir where they significantly contribute to maintaining fish stocks in this reservoir.

For a while lakes for residual water storage were more preferred for capture fishery than reservoirs as they behaved like lakes, i.e. their water level was not affected by drawdown. But after the decay of the USSR the regional system of water resource management in the Aral Sea basin became fragmented as a result of each country obtaining full independence. At present water resources in the basin of the Aral Sea are regulated from five centers, one in each country of Central Asia. This has already caused a number of problems. For example, during the period 1991-2001 huge amounts of Syrdarya water had to be discharged into the Aydar-Arnasay lake system, which has no outflow, therefore the water cannot easily be reused.

Kamilov and Urchinov (1995) compared the fish catches from 12 reservoirs in Uzbekistan. Tudakul reservoir (max. 17.400ha) had the highest yield of 31kg/ha. The potential sustainable yield was estimated to be around 78kg/ha, if regularly stocked with silver, grass and common carps.

Usually the species diversity in aging reservoirs is increasing as a result of introductions and of fish immigration from rivers and canals. Long-term research on several reservoirs has indicated the major reasons for the low fish production in some reservoirs: poor utilization of the natural fish food, poor spawning conditions and nursery habitats and vacant niches not yet occupied by economically important fish species. In some reservoirs aquatic plants are underutilized, or benthos is utilized by fish species of low value. Fishery management programs were prepared in the past for the major river systems of Uzbekistan which should lead to increasing fish yields, but implementation of the programs has been delayed due to the major political and economical changes over the last years.

In Uzbekistan capture fisheries is practiced in freshwater irrigation and multiuse reservoirs, and in lakes for residual water storage. Two groups of lakes are of major importance for capture fisheries: the Amudarya Delta with 20 lakes varying from 4.000 to 15.000ha. An area covering app. 97.000ha provides about 1.500t of fish per year, and the Aydar-Arnasay lake system, which is situated on the middle course of the Syrdarya River, provided in 2000 app. 1.600t of fish per year.

Before independence, fish farms annually stocked up to 15 million one-year-old Common carp, Bighead carp, Silver carp and Grass carp in reservoirs and lakes to support the capture fisheries. In the Aydar-Arnasay lake system the fishery yields without stocking during the 1970s and 1980s reached a maximum of 15 kg/ha. After stocking they increased to a maximum of 25 kg/ha (Kamilov et al., 1994). In the 1990s the stocking rate was significantly reduced because of financial problems.

Irrigation systems in Uzbekistan include reservoirs, irrigation canals, drainage canals, and lakes for residual water. Before the end of spring, water is collected in reservoirs and in summer it is drawn off until autumn. Water taken for irrigation seeps into soil and enters groundwater. Groundwater may re-enter the river and also lead to formation of swamps. While entering the river downstream this drainage/groundwater boosts up river discharge, but it also changes water quality.

Space pictures and specialized expeditions show that 3000 lakes are situated in the basin of Aral Sea. In the territory of Uzbekistan are located 770 (Amudarya basin 500 lakes and Syrdarya basin 270). Their total area (without Aral Sea) is about 6.6ths km<sup>2</sup> (data of SANIGMI). In the majority (95%), they are very small water bodies, with an area of less than one square kilometer. However, their total water surface is equal to only 3-4% of total area. The main water bodies are the Aral Sea and the lakes Aydar, Tuzkan, Sarykamish and Dengizkol.

Natural lakes used for residual water storage are important for fisheries. Those of importance for fisheries cover about 7.000km<sup>2</sup>. Most of these lakes work for many years. They do not experience major seasonal changes. After the decline of fisheries in the Aral Sea, the Aydar-Arnasay lake system and the lakes of the Amudarya delta are the major water bodies in this category supporting fishery in Uzbekistan. Due to the current problem of harmonizing the use of the Syrdarya among the riparian countries, the Aydar-Arnasay system is now receiving large volumes of water, and as a result of that it actually covers more than 4.000km<sup>2</sup>.

In the 1960s, the delta of the Amudarya had about 40 lakes with a total water surface of app. 100.000ha; now there are only about 20 lakes, but they have a total water surface of app. 115.000ha. It is a result of the restoration of the main lakes and appearance of new isolated ones on the dried Aral seabed. These water bodies are maintained almost completely with collector-drainage waters. Furthermore, along the Amudarya many large lakes with saline water were formed, including Sarykamysh (330.000ha) and Dengizkul (26.000ha).



## 7 Modern State of Fishery in Karakalpakstan

Fish economy of Karakalpakstan is one of the oldest branches of national economy in Uzbekistan occupying in the past on volume of gross output the second place among the branches making foodstuff (Tleuov, Tleubergenov, 1974). Until 1965 Karakalpakstan was the basic manufacturer of fish in Uzbekistan. Catches in the southern Aral Sea and seaside reservoirs exceeded 20th tons per year. From the second half of the 1960's the fish production from the Aral Sea decreased inexorably (Figure 7.1). It was unequivocally due to the reduction of the water runoff in the lower reaches of Amudarya, the infringement of hydrological regime and the destabilization of the aquatic ecosystems. The reasons were the disappearances of many lakes and with it the loss of fishing areas, including the Aral Sea.

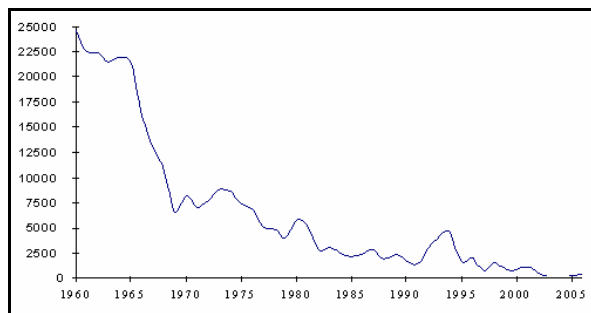


Figure 7.1 – Fish production in the southern Aral Sea from 1960-1983 and water bodies of southern Aral Sea region (1984-2005)

Table 7.1 represents the shrinking fisheries importance of Karakalpakstan in comparison to other areas in Uzbekistan. In the last decade the fish catches in Karakalpakstan, according to the State committee on statistics, decreased from originally 2336 tons in 1991 up to 329 tons in 2004. However, the decreasing fisheries production seems to be an increasing problem for the whole country.

On the 13th August 2003 the decision of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan about the de-monopolization and privatization in fisheries was accepted. With this decree the bases for a future development of fisheries and aquaculture were created.

Table 7.1 - Fish catches by JSC "Uzbalik"\*

Regions**	Years								
	1991	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
1	2337	1547	876	881	1100	552	200	132	329
2	2431	883	1065	1367	1562	1418	1521	874	738
3	1300	587	815	698	598	397	303	183	261
Total	6067	3017	2755	2945	3260	2367	2024	1189	1328

\* up to the end of 2003 the Joint-stock Company "Uzbalik" was the basic supplier of fish production in the territory of Uzbekistan. It has produced more than 95 % of all captured and cultivated fishes

\*\* Region № 1 - Republic Karakalpakstan; Region № 2 - Arnasay Lake System (ALS) located in territory Dzhizak and Navoi regions and Region № 3: natural reservoirs within the territories of Samarkand, Navoi, the Dzhizak, Bukhara, Kashkadarya, Surkhan-Darya, Khorezm regions.

Table 7.2 - Fishery enterprises of the Republic of Karakalpakstan (Agriculture and Water Economy Ministry of RK for July 1, 2006)

No.	Rayon	Quantity of fishery enterprises	Rented Area (ha)
1	Muynak	29	51.205
2	Kungrad	1	68
3	Takhtakopir	4	3.160
4	Karauzyak	1	256
5	Chimbay	1	190
6	Kegeyli	4	5.177
7	Khodjeili	1	225
8	Amudarya	2	111
9	Ellikkala	11	2.696
10	Tortkol	4	303
	Total	59	63.391

In the Republic of Karakalpakstan fishery enterprises are organized in 10 of 14 districts. In total, there are 59 fishery enterprises; their general rented area of reservoirs and lakes is about 63.392ha. Table 7.2 shows that most of these are located in the territory of Muynak (29) and Ellikkala district (11). Then by quantity of fishery enterprises follow Kegeyli (4), Takhtakupir (4) and Tortkol (4). In other districts there are only 1 or 2 fishery enterprises.

According to the Agriculture Ministry Table 7.3 represents the most important fishery enterprises in Karakalpakstan.

Table 7.3 – Fish production (t) and their share (%) in total production shown for the most important fishery enterprises in Karakalpakstan for the years 2004, 2005 and the first half year of 2006. The fishing yield in kg per ha is averaged over the shown period.

Fishery enterprise	Area	2004		2005		2006		Average yield
	ha	t	%	t	%	t	%t	kg/ha
JSC "Nukusbalik", Kegeili, Dautkol Reservoir and Lake Sarikamish	>6000	30	9,1	40	9,0	88,1	28,6	13,7
JSC "Kazakhdayabalik", Muynak Reservoir, Lake Jiltirbas	15.000	122,5	37,2	130	29,3	71,2	23,1	8,8
JSC "Amu Darya", Muynak Reservoir, Mejdurechye Reservoir, Lake Koku	4.458	76,3	23,2	98,8	22,2	42,8	13,9	19,5
SE "Gulmir", Muynak Reservoir, lake Sudochye, Lake Tayli, Lake Sherman	8.258	31,5	9,6	80,3	18,1	42,7	13,8	8,0
SE PASK, Muynak Reservoir, lake Western Karateren	425	3,1	0,9	14,2	3,2	10,2	3,3	29,6
Total in Karakalpakstan	28.141	329,2		444,17		308,2		7,3

Table 7.4 shows the dominating specimen in fish catches and their distribution.

Table 7.4 – Overview about the most dominating species in fish catches across Karakalpakstan.

Species	2004		2005		2006	
	tons	%	tons	%	tons	%
Common carp	103,5	33,6	203,8	45,9	86,6	26,3
Silver carp	70,9	23,0	115,0	25,9	100,2	30,4
Pike perch	53,9	17,5	34,2	7,7	8,1	2,5
Snakehead	34,6	11,2	53,2	12,0	105,0	31,9
Grass carp	2,2	0,7	12,3	2,7	16,9	5,1
Crucian	20,5	6,7	8,3	1,9	6,75	2,1
Vobla	18,47	6	14,6	3,3	2,3	0,7
Catfish	0,4	0,13	0,4	0,1	1,4	0,4
Bream	3,6	1,2	2,4	0,5	1,9	0,6

## 8 Analysis of Aquaculture Conditions

Even if aquaculture has a long tradition in Uzbekistan intensive or semi-intensive production systems are hardly available. This may be due to the following issues:

- **Climate:** Due to the extreme continental climate in Central Asia the seasonal aquaculture and fisheries production is influenced by a wide range of temperatures from -20°C up to 40°C.
- **Investment:** After the independency of Uzbekistan the aquaculture and fisheries production decreased dramatically due to an economical crisis. Even today the natural water bodies and fish farms are exploited insufficiently. This may be due to bad management and lacking investment. Capital is still a very limited resource in Uzbekistan.

- **Feed:** The main limitation in aquaculture is the absence of formulated fish feed. The intensification of aquaculture and the efficient production of high value (mainly carnivores) fish species require the use of commercial fish diets adapted to the species produced. These fish diets are still not available in Uzbekistan.

Table 8.1 – Impact factors of the identified problems for aquaculture development in Uzbekistan on a basis of different technologies (1 –no impact, 5 – high impact)

	RAS	Flow-through Culture	Pond Culture
Extreme Climate	2	5	5
Lack of Investment	5	3	2
Lack of Fish Feeds	5	5	2

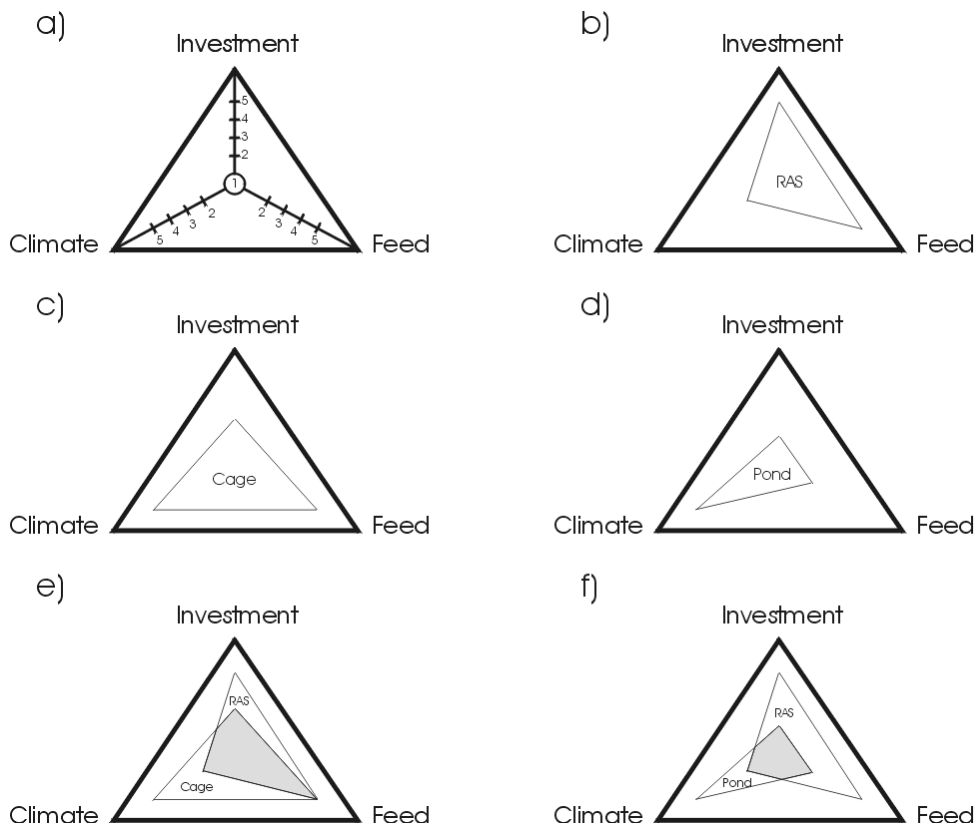


Fig. 8.1 – Strategic evaluation of different aquaculture technologies considering the impact factors of problems shown in Table 8.1.

These three fields can be identified as the main reasons limiting the aquaculture development in Uzbekistan. A strategic evaluation shows the impact of these problems on different aquaculture technologies. The results show, that especially the combination of technologies, as RAS with Pond or RAS with cage, can decrease the impact of these problems. It seems to be a valuable strategy to combine conventional technologies as ponds with high sophisticated technologies as RAS or net cages.

Beside the main problems mentioned above there are further issues to be considered:

- The fish processing as well as the infrastructure to trade fish are hardly developed. As a result fish has to be sold in several hours.
- Nowadays the local market is provided with 7-9ths tons fish per year. The most prominent species are Silver carp (80%) and Common carp (10%). More valuable species as Pike perch, European catfish or Snakehead are available only in small quantities from capture fisheries.
- The future aquaculture development in Uzbekistan will be limited by a lack of well educated staff. Even if the aquaculture in Uzbekistan has long tradition with the culture of Cyprinids knowledge about new aquaculture technologies are hardly available.

## **9 Fish Consumption and Demand**

Actually there are no data to estimate the fish demand on the market. Assumptions can only base on statistics as presented:

- Medical minimal norms of fish consumption for Uzbekistan were estimated to be 12kg/person/year (Ministry of Health, USSR). According to an actual population of 25million people the required fish demand is app. 300ths tons per year.
- In 1970-1980 (population was 7-14million) the local market was provided by the former all-Union Ministry of Fisheries with 80-100ths tons of fish per year. According to the increasing population the fish demand is to be estimated app. 150ths tons of fish per year.

The fish demand can be estimated at least on 100-150ths tons per year. However, the diversification of cultivated species and products has to be increased.

It is to be expected that fish capturing can be increased from annual 2-4ths tons up to 5-7ths tons. In any case the growth potential nowadays is limited by the hydro-ecological problems in Uzbekistan. Aquaculture including stocking of natural water bodies to enhance capture fisheries seems to be an appropriate alternative.

## **10 Aquaculture Concepts**

Worldwide conventional aquaculture farming systems have been a successful economic activity and still continue to expand. However, the industry did so by multiplying successful units particularly in open waters without due concern on environmental carrying capacity in receiving waters. This initial lack of concern has affected the environment and the image of aquaculture in many parts of the world (Rosenthal, 1994). Nowadays, farmers, enforced through national and regional regulations, have learned to mostly work in harmony with the environment; aquaculture is the only industry where the final product can be considered as a perfect bioindicator of the health status of the natural ecosystem in which the cultivated species thrive (Rosenthal, 1994). Environmental risk assessment (ERA), environmental impact assessment (EIA), and Best management practice (BMP), are some of the valuable tools for today's commercial and sustainable aquaculture development, thereby minimizing either ecological impacts or socio-economic failures. National policies have been implemented in many countries for the appropriate sustainable development of fish farming, although enforcement is still unsatisfactory in several parts of the world.

### **Flow trough farm**

As already mentioned the extreme climate changes during the annual cycle in Central Asia require fish species with a wide range of temperature tolerance. Even if these species are available the growth potential is often far from optimum. Figure 10.1 shows the growth potential of different fish species suitable for aquaculture in Central Asia. The growth model was done for the temperature profile of Tavaksay River. This area differs from other regions in Uzbekistan as the annual temperature variation is below 10°C. With sufficient quantities of cold water this mountain area is very suitable for the production of trout in flow through systems as shown in Figure 10.1 (for more detailed information see Appendix A).

Using the same temperature profile the model was also done for sturgeon and catfish. Even if the biomass yield for sturgeon is lower than for trout, this location may be suitable for sturgeon farming in ponds. The cold water during the summer can be used to cool down the pond below 22°C. During the other seasons the water exchange can be reduced as far as the biological

requirements allow. Therefore the pond is much more related to the air temperatures than to temperature of the incoming water. Doing so the temperature profile especially in spring and autumn can be adapted much more to the optimum temperature range for the Siberian sturgeon. Catfish farming is impossible as this species prefers temperature above 15°C.

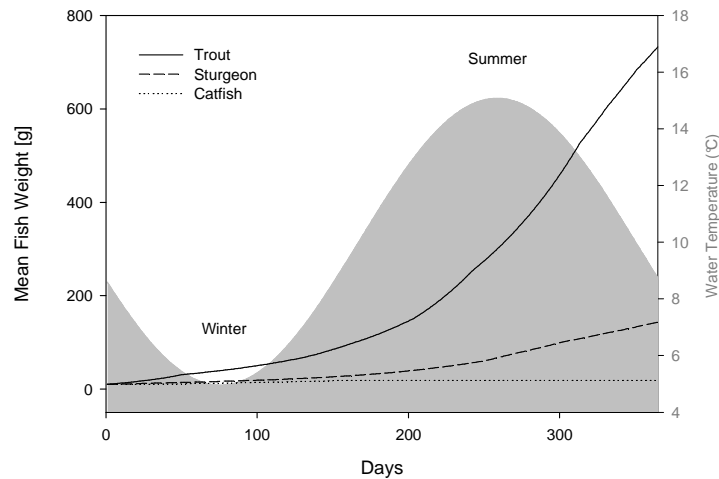


Figure 10.1 – Growth potential of Trout (*Oncorhynchus mykiss*), Siberian Sturgeon (*Acipenser baeri*) and European catfish (*Silurus glanis*) for Tavaksay River (initial weight 10g)

### RAS (Recirculating Aquaculture System)

Another concept to deal with the extreme continental climate in Central Asia is the combination of recirculating aquaculture systems with conventional systems as flow through farms or ponds. Recirculating systems are increasingly considered for commercial application because of allowing independence from uncertainties in natural systems such as unpredictable temperature profiles over seasons, potential outbreaks of algal blooms and accidental pollution through increasing human activities, leading to increased competitive pressures from other water resource users. Recirculating aquaculture systems allow also during the colder months an optimal growth for species as sturgeon and catfish. A detailed RAS design for Uzbekistan is given in Appendix D.

### Optimization of pond culture

Modern knowledge in Uzbekistan provides farmers to culture carps with productivities of 2 up to 2,5t/ha under extensive conditions. Today productivity varies from 0,9t/ha up to 1,8t/ha. Total



ponds area in Uzbekistan is declared as 10-11ths ha. We assume that only about 70 % of ponds are more or less in conditions to operate. Especially in the large scale farms as Baliktchy, Damachi in Tashkent region or Khorezm fish farm the ponds were in good conditions and these farms achieve a sustainable economical yield. That means that by an optimization of carp culture the fish production in Uzbekistan can produce additional 13-17ths tons.

### **Integrated / Polyculture Pond Systems**

The polyculture is the production of two or more fish species within a particular aquaculture environment. Most polyculture occurs in ponds. In addition to the primary culture species, polyculture ponds incorporate additional species to take advantage of feeding niches present but unused in monoculture ponds. Because phytoplankton and zooplankton offer the largest sources of potential food, filter feeding fish are stocked into polyculture ponds.

In Uzbekistan the carp polyculture has long tradition for several decades and is the main aquaculture activity. However, the traditional polyculture practices of allowing both zooplankton and phytoplankton feeders to roam freely in the same pond have some drawbacks. Contrary to similar polyculture systems elsewhere no valuable species are produced. Nowadays polyculture systems are specially used as a nutrient sink for intensive fish culture systems. In the traditional polyculture practice these nutrients have to be added as organic or inorganic fertilizers. Therefore it is recommended to combine an intensive „monoculture“ with an extensive „polyculture“ in one aquaculture system. A more detailed description of this idea is presented in Appendix B (in german).

### **Fisheries Enhancement**

The stocking of fish larvae or fingerlings can enhance the productivity of fishery. This kind of aquaculture supporting the capture fisheries seems suitable for the Lower Amudarya delta (fishing area 63ths ha) and Aydar-Arnasay Lake System (fishing area 130ths ha). Former experiences in Uzbekistan show that restocking in combination with a sustainable fisheries management can increase productivity from 15 up to 25-30 kg/ha. But these results were obtained in Aydar-Arnasay Lake System, where only carps were stocked and the primary and secondary production is rather low. At the same times restocking of carps in neighboring areas in Turkmenistan increased productivity up to 60-80 kg/ha.

Kamilov and Urchinov (1995) compared the fish catches from 12 reservoirs in Uzbekistan. Tudakul reservoir (max. 17.400ha) had the highest yield of 31kg/ha. The potential sustainable

yield was estimated to be around 78kg/ha, if regularly stocked with silver, grass and common carps. In 2004 the enterprise “Shams-Navoi” in Navoi region has stocked the Tudakul reservoir (middle stream of Amudarya) with carps. Within two years the fishing yield increased from 170-200 t/year up to 1000 t/year (productivity 56 kg/ha). This success story is related to following issues: (a) just one enterprise is fishing in this reservoir, (b) Tudakul reservoir is easily to control as migratory pathways do not exists, (c) Tudakul reservoir is rather suitable for fish capturing in comparison with other water bodies in Uzbekistan.

Recommendations to enhance fisheries in Uzbekistan by restocking of fish larvae or fingerlings are given in Appendix C (in german).

### **Concept evaluation**

Different aquaculture concepts are thinkable for Uzbekistan. The future development of these offered concepts desires an evaluation in relation to the aquaculture situation and fish market in Uzbekistan. Therefore a scoring model was chosen to determine to most valuable strategies. A variety of economical criteria were considered in relation to their relevance. The results are presented in Table 10.1.

Table 10.1 – Scoring model for the evaluation of aquaculture concepts in relation to the aquaculture situation and market in Uzbekistan

Criteria	%	Flow Through		RAS		Pond Optimization		Integrated Pond		Restocking	
		Score	Weighted	Score	Weighted	Score	Weighted	Score	Weighted	Score	Weighted
1. Enterprise related criteria											
Technical realization	15%	5	0,75	2	0,30	9	1,35	8	1,20	3	0,45
Economical realization	30%	4	1,20	1	0,30	9	2,70	8	2,40	5	1,50
2. Market related criteria											
Visibility of customers use	5%	9	0,45	9	0,45	2	0,10	4	0,20	5	0,25
New customer groups	5%	8	0,40	9	0,45	1	0,05	4	0,20	5	0,25
Improvement on the market	5%	8	0,40	9	0,45	1	0,05	6	0,30	7	0,35
3. Trade related criteria											
Shaping of trade relations	10%	9	0,90	9	0,90	1	0,10	3	0,30	7	0,70
Cooperation possibilities	5%	7	0,35	7	0,35	1	0,05	3	0,15	7	0,35
4. Competitor related criteria											
Competition advantages	10%	8	0,80	8	0,80	1	0,10	2	0,20	7	0,70
Protection of imitation	5%	5	0,25	8	0,40	1	0,05	4	0,20	8	0,40
5. Surrounding related criteria											
Environmental friendliness	5%	3	0,15	7	0,35	9	0,45	9	0,45	9	0,45
Industry economic situation	5%	7	0,35	6	0,30	9	0,45	9	0,45	9	0,45
Total score	100%		6,00		5,05		5,45		6,05		5,85

The results of the scoring model in Table 10.1 show the most promising aquaculture concepts for Uzbekistan:

1. Integrated / Polyculture Pond System
2. Flow through farm
3. Fisheries Enhancement

For the following concepts project or business proposals were developed. Even if the results of the scoring model indicate, that recirculating aquaculture systems seem not to be a valuable strategy for Uzbekistan it has to be mentioned that this technology has a lot of advantages. However, nowadays the shortage of financial resources and also the low gross domestic product is limiting the economical success of this technology. In the future RAS may be one of the most promising technologies, as the impact of the environment can be minimized effectively. Therefore in this study also a RAS design is suggested for a future development of this technology.

## 11 Appendices

### Appendix A - Flow through farm for Rainbow trout in Tavaksay River

The mountain areas in Uzbekistan are very suitable for the aquaculture of Salmonids. The temperatures during the summer months are always below 18°C and sufficient quantities of water in a good quality are available.

Based on the feeding table (Table 11.1) and temperature profile of Tavaksay river (Figure 11.1) a dynamic growth model was calculated. The growth model was used to determine the productivity of the fish farm for the given location according to the temperature profile.

Table 11.1 - Feeding table (feeding rate in % fish weight) for rainbow trout. The data were used to calculate the biomass growth using the feed conversion ratio (FCR). The FCR's used in this model were for DAN-EX 1362=1,0 and for TROUT DAN-EX 1948=1,1 (feed manufacturer DANA-FEED). These values base on careful approximations and do not represent the optimum feed conversion achievable.

	DAN-EX 1362				TROUT DAN-EX 1948			
Mean Fish Weight (g)	0,3	0,5	1,5	5	30	100	250	600
Water Temperature (°C)								
3	4	3,50	3	2,50	0,80	0,60	0,45	0,35
6	4	3,50	3	2,50	1,10	0,75	0,60	0,45
9	4	3,50	3	2,50	1,30	0,90	0,75	0,55
12	4	3,50	3	2,50	1,70	1,20	0,85	0,70
15	4	3,50	3	2,50	2,10	1,50	1,15	0,85
18	4	3,50	3	2,50	2,60	1,80	1,40	1,15

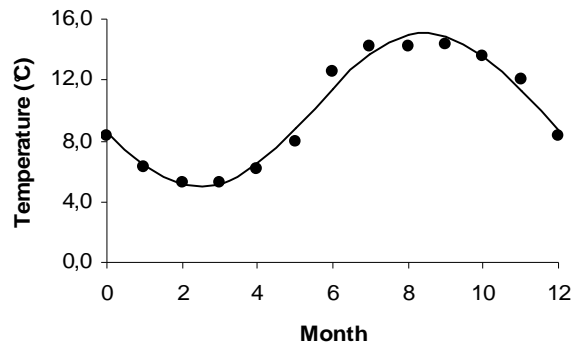


Figure 11.1 - Temperature profile for Tavaksay river ( $y=y_0+a*\sin(2*3,14*x/b+c$ ;  $y_0=10,02$ ;  $a=5,06$ ;  $b=12,03$ ;  $c=3,43$ ;  $r^2=0,97$ )

The food conversion ratio (FCR) was used to determine the daily biomass yield ( $Y_d$ ) according to the daily feeding rate ( $F_d$ ) given by Table 11.1:

$$Y_d = \frac{F_d}{FCR}$$

The individual fish weight ( $W$ ) was predicted by a numeric model:

$$W_{d+1} = W_d + Y_d$$

The total biomass ( $B$ ) was calculated by the mean individual fish weight and fish number ( $n$ ):

$$B_d = W_d \cdot n$$

The mortality rate was calculated as a constant parameter in percentage a day. The model suggests a stocking of fingerlings (app. 15g) four times per year. That means the calculations are done for a 4 cohorts a year model and fish can be harvested all year round (Table 11.3). Fish fry or fertilized eggs can be bought in Russia or Europe. A special indoor RAS system is used to produce the fingerlings (as described in Appendix C, Figure 11.15). The initial number of fingerlings for the chosen annual productivity of the farm can be calculated by the model. For the presented growth model the following parameter were set.

Table 11.2 – Initial parameters for the growth model

Initial fry weight for RAS	0,15	g
Initial fish weight for open facilities	15	g
FCR fry	1,0	
FCR fish	1,1	
Date of first fry stocking (RAS)	1. Jan.	
Initial number of fry	13.068	
Mortality rate fry	0,05	% d <sup>-1</sup>
Mortality rate fish	0,005	% d <sup>-1</sup>

Table 11.3 - Stocking and harvesting plan for the first two years

Stocking Date	Cohort	Fish number	Harvest Date	Days	Fish size (g)	Harvest (kg)
Year 1 1.1	I	13.068	Year 2 8.3	431	504	6.016
Year 1 1.4	II	13.068	Year 2 7.6	432	394	4.703
Year 1 30.6	III	13.068	Year 2 4.9	431	315	3.764
Year 1 30.9	IV	13.068	Year 2 4.12	430	463	5.526
Year 2 31.12	V	13.068		365	341	4.085
Year 2 31.3	VI	13.068	Harvest in	275	134	1.616
Year 2 1.7	VII	13.068	Year 3	183	29	350
Year 2 1.10	VIII	13.068		91	3	39

The growth performance of the total fish stock is shown in Figure 11.2 for an annual production capacity of 20.000kg. Based on the temperature profile of Tavaksay river the feeding rate and the biomass yield was calculated. Figure 11.3 shows the biomass development of each cohort until harvest. These calculations do not consider yet the possibility to produce the fingerlings in the RAS with constant temperatures above the river water.

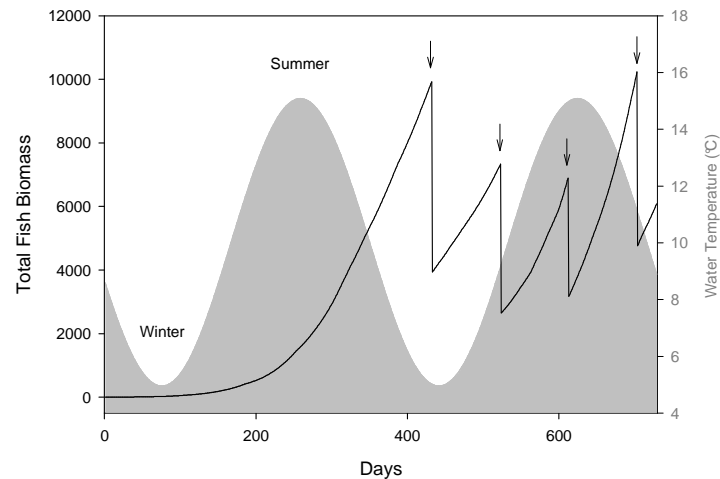


Figure 11.2 - Development of the total fish biomass based on 4 cohorts a year and an annual production of 20.000kg. The arrows indicate the time of harvest. The maximum fish standing stock is app. 10.000kg.

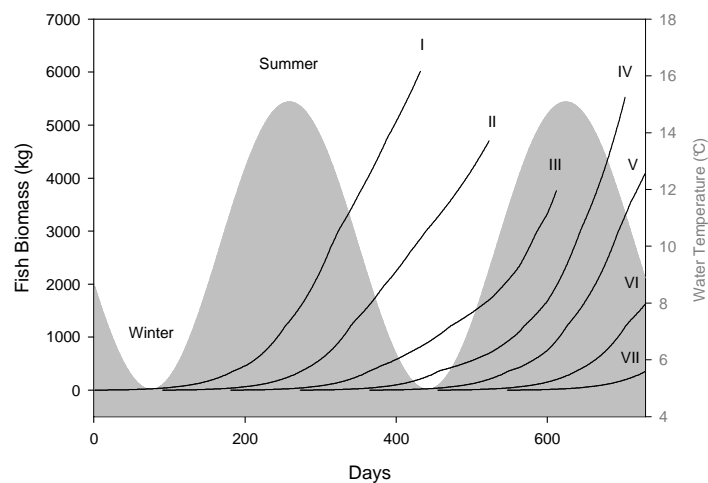


Figure 11.3 - Fish biomass development of the cohorts I to VII



Based on this growth model the maximum standing stock can be calculated (see Figure 11.2). This value is necessary according to the required volume of fish basins and water quantity.

For a given annual production of 20.000kg the following design criteria can be defined:

Maximum fish stocking density:  $40\text{kg m}^{-3}$

Fish basin volume:  $260\text{m}^3$

Water supply:  $110\text{L sec}^{-1}$

Oxygen consumption:  $50\text{kg d}^{-1}$

The design criteria fish basin volume, water supply and oxygen consumption increase with the same rate as the annual production.

The return on investment (ROI) is related strongly to the sales price and size of the fish farm. Therefore the economical calculations were done for different annual productions (economies of scale) and sales prices.

Table 11.4 shows the initial investment for different production capacities. The operational costs of the first year have to be included within the required investment, because no returns are to be expected in the first year. The overall investment in Table 11.4 is the sum of the initial investment and the operational costs (variable & fixed costs) of the first year.

Table 11.5 presents the summary of annual returns & costs of the fish farm in full production. The returns above the total costs of the second year do not present the average return of the following years. The reason is that the production cycle (~430days, see Table 11.3) is longer than one year. Therefore the annual average over 10 years is below the returns of the second year as follows:

$$\text{Return}_{\text{average}} = \frac{365}{\text{ProductionDays}} \cdot \text{Returns}_{\text{Year2}} \cdot \frac{9}{10}$$

The return on investment (ROI) is calculated as follows:

$$\text{ROI} = \frac{\text{Return}_{\text{average}}}{\text{OverallInvestment}}$$

Table 11.4 - Initial investment related to different annual productions

Annual Production	kg	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000
Land		€3.000	€6.000	€9.000	€12.000	€15.000
Total area	m <sup>2</sup>	2000	4000	6000	8000	10000
Area per kg fish	m <sup>2</sup> / kg	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Price	€/m <sup>2</sup>	€1,50	€1,50	€1,50	€1,50	€1,50
Fence		€2.683	€3.794	€4.647	€5.366	€6.000
Price	€/m	€15	€15	€15	€15	€15
Length	m	179	253	310	358	400
Fish basins		€4.500	€10.500	€15.000	€19.500	€24.000
Number		3	7	10	13	16
Diameter	m	10	10	10	10	10
Surface	m <sup>2</sup>	79	79	79	79	79
Volume	m <sup>3</sup>	79	79	79	79	79
Total volume	m <sup>3</sup>	256	511	767	1023	1279
Price	€/basin	€1.500	€1.500	€1.500	€1.500	€1.500
Max. fish biomass	kg	10.229	20.459	30.688	40.918	51.147
Max. stocking	kg/m <sup>3</sup>	40	40	40	40	40
Equipment		€11.000	€17.666	€26.000	€34.333	€42.666
Paddle wheeler	€/ pcs	€1.000	€1.000	€1.000	€1.000	€1.000
Paddle wheeler		€3.000	€7.000	€10.000	€13.000	€16.000
Measurement devices		€3.000	€4.000	€6.000	€8.000	€10.000
Overhead		€5.000	€6.666	€10.000	€13.333	€16.666
Car		€7.000	€7.000	€7.000	€7.000	€7.000
Building		€15.000	€15.000	€15.000	€15.000	€15.000
RAS		€5.000	€5.000	€5.000	€5.000	€5.000
Construction		€5.000	€6.666	€10.000	€13.333	€16.666
Initial investment		€53.183	€71.628	€91.647	€111.533	€131.333
Operational costs year 1		€32.696	€55.823	€79.526	€103.208	€126.877
Overall investment		€85.880	€127.452	€171.173	€214.741	€258.210

Table 11.5 - Summary of Annual Returns &amp; Costs

Annual Production in kg	20.000		40.000		60.000		80.000		100.000	
Returns										
average sales prices	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2
€2,50 / kg	€-	€50.020	€-	€100.041	€-	€150.061	€-	€200.082	€-	€250.102
€3,00 / kg	€-	€60.025	€-	€120.049	€-	€180.074	€-	€240.098	€-	€300.123
€3,50 / kg	€-	€70.029	€-	€140.057	€-	€210.086	€-	€280.115	€-	€350.143
€4,00 / kg	€-	€80.033	€-	€160.065	€-	€240.098	€-	€320.131	€-	€400.164
€4,50 / kg	€-	€90.037	€-	€180.074	€-	€270.110	€-	€360.147	€-	€450.184
€5,00 / kg	€-	€100.041	€-	€200.082	€-	€300.123	€-	€400.164	€-	€500.205
Variable Costs										
Fish Stocking	€5.227	€4.427	€10.454	€8.854	€15.682	€13.280	€20.909	€17.707	€26.136	€22.134
Feed (Fingerling)	€484	€528	€968	€1.057	€1.453	€1.585	€1.937	€2.114	€2.421	€2.642
Feed (Grow out)	€8.571	€23.101	€17.142	€46.202	€25.713	€69.303	€34.283	€92.404	€42.854	€115.505
Energy	€1.774	€1.774	€4.139	€4.139	€5.913	€5.913	€7.687	€7.687	€9.461	€9.461
Maintenance	€1.200	€1.200	€1.200	€1.200	€1.200	€1.200	€1.200	€1.200	€1.200	€1.200
Forwarding expenses	€-	€2.000	€1.219	€4.000	€1.829	€6.000	€2.439	€8.000	€3.049	€10.000
Interest Variable Costs	€863	€1.652	€1.756	€3.273	€2.589	€4.864	€3.423	€6.456	€4.256	€8.047
Subtotal, Variable Costs	€18.119	€34.682	€36.879	€68.724	€54.378	€102.146	€71.878	€135.568	€89.377	€168.989
Cumulative cost per kg fish	€2,97	€1,73	€3,02	€1,72	€2,97	€1,70	€2,95	€1,69	€2,93	€1,69
Fixed costs										
Facility manager	€1.800	€1.800	€1.800	€1.800	€1.800	€1.800	€1.800	€1.800	€1.800	€1.800
Staff	€4.800	€4.800	€6.400	€6.400	€9.600	€9.600	€12.800	€12.800	€16.000	€16.000
Interest rate on investment	€2.659	€2.659	€3.581	€3.581	€4.582	€4.582	€5.577	€5.577	€6.567	€6.567
Depreciation on investment	€5.318	€5.318	€7.163	€7.163	€9.165	€9.165	€11.153	€11.153	€13.133	€13.133
Subtotal, Fixed Costs	€14.577	€14.577	€18.944	€18.944	€25.147	€25.147	€31.330	€31.330	€37.500	€37.500
Total Costs	€32.696	€49.259	€55.823	€87.669	€79.526	€127.293	€103.208	€166.898	€126.877	€206.489

Based on these calculations the annual return (Figure 11.4) and return on investment (Figure 11.5) were calculated. These economical basics for potential investors are presented in relation from the size of the fish farm and the desired sales price on the market. The investor can easily follow the isopleths of his expected ROI to determine the required production capacity and sales price. As the data show the economies of scale improve the profitability of the fish farm significantly. However, the break even is to be expected even in the best scenarios just in two years.

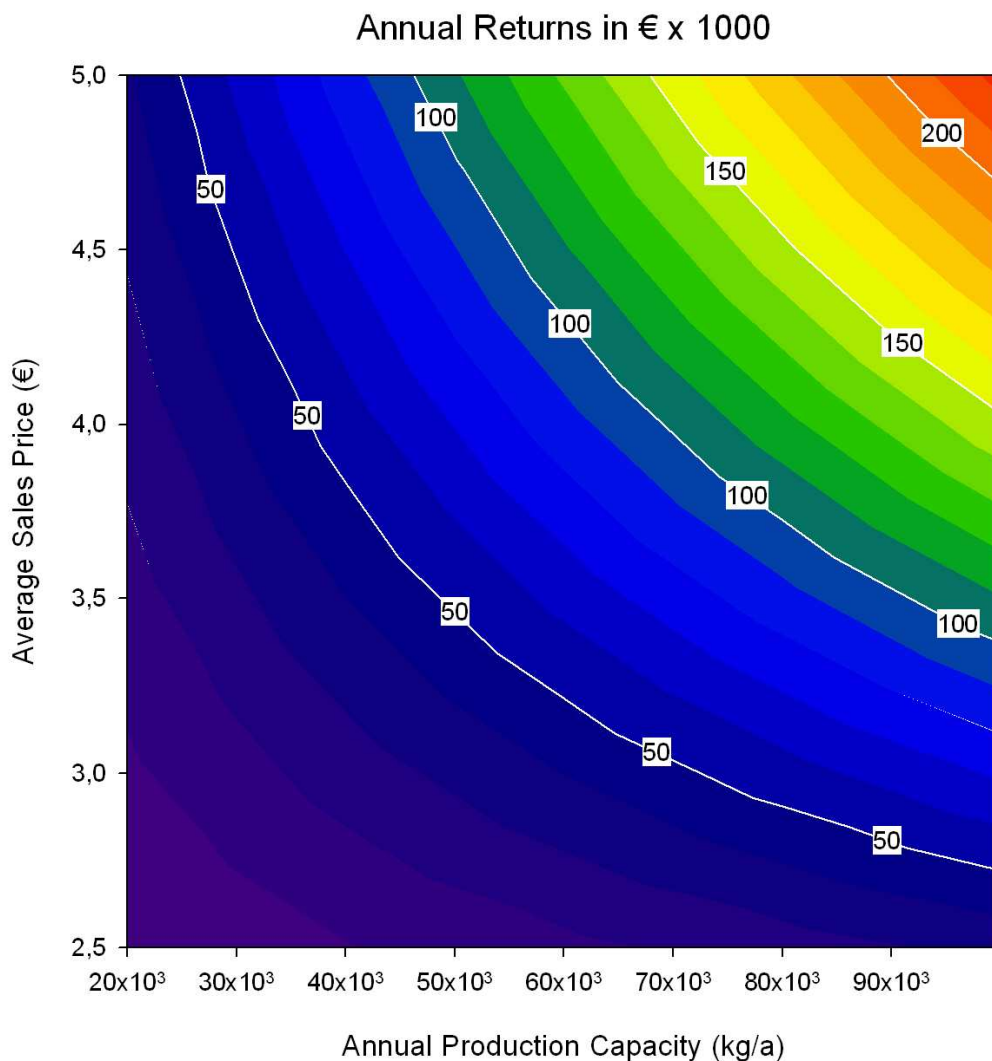


Figure 11.4 – Annual returns shown in relation to the annual production and sales price averaged over 10 years

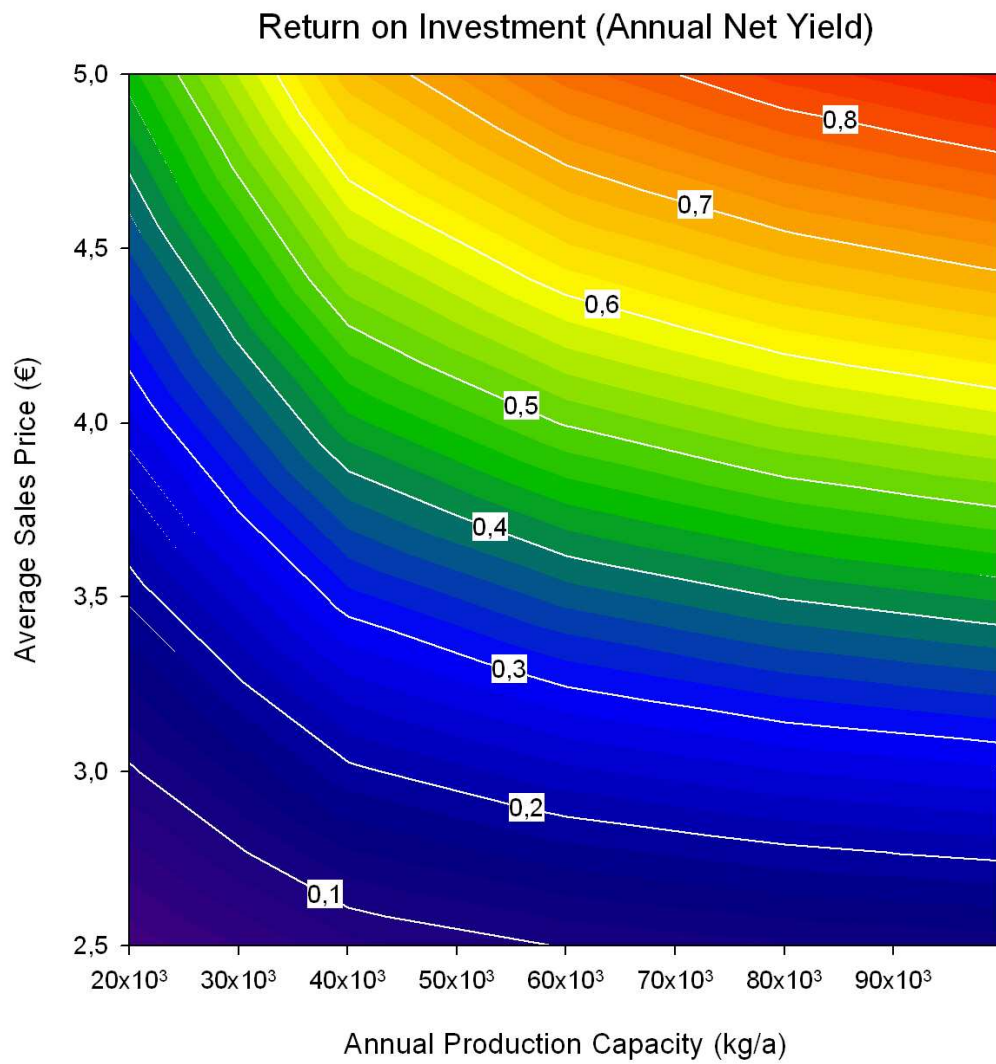


Figure 11.5 - Return on Investment shown in relation to the annual production and sales price averaged over 10 years.

## Appendix B - Entwicklung eines Pilotsystems zur intensiven Produktion des Europäischen Welses in extensiv genutzten Karpfenteichen

Weltweit erleben wir in den Meeren eine deutliche Überfischung zahlreicher Fischbestände oder sie werden bis an die Grenzen ihrer Produktivität ausgenutzt. Gleichzeitig steigt die Weltbevölkerung und der Bedarf an tierischem Protein wächst damit stetig, wobei dem Fisch als gesunde Nahrung eine besondere Bedeutung zukommt. Abbildung 11.6 zeigt anhand von Daten der „Food and Agriculture Organization of the United Nations“ (FAO Statistik) die Entwicklung sowie den prognostizierten Trend der Fischerei und Aquakultur: während die Erträge der Fangfischerei weitgehend stagnieren, steigen die aus der Aquakultur stetig an. Folgerichtig gewinnt die Aquakultur an Bedeutung. Die jährliche Wachstumsrate in den letzten drei Dekaden betrug durchschnittlich 9,2 %.

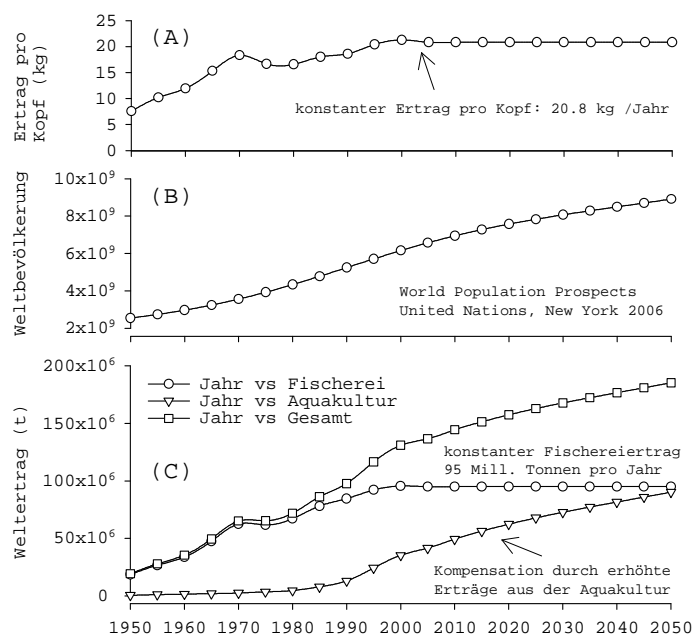


Abbildung 11.6 – Ertragsentwicklung der Aquakultur bei stagnierenden Erträgen aus der Fischerei (C), konstantem Pro Kopf Ertrag von 20.8 kg / Jahr (A) und einer weiterhin wachsenden Weltbevölkerung (B). Die Ertragsdaten schließen Fische, Krebse, Weichtiere und andere wirbellosen Tiere ein. Der pro Kopf Ertrag ist geschätzt aus den statistischen Daten der FAO der Jahre 1995 bis 2004 und den Bevölkerungszahlen der Vereinten Nationen. (Waller 2006)

Auf Basis vereinfachter, rein ökonomischer Modelle wird für 2030 eine Verdoppelung der Aquakultur Produktion prognostiziert (FAO 2002). Auch aus dem Blickwinkel stagnierender Erträge aus der Fangfischerei ergibt sich, dass zur Deckung des Proteinbedarfs, zu dem die

Aquakultur schon heute signifikant beiträgt, eine Verdoppelung in den nächsten Dekaden notwendig sein wird (Abbildung ). Diese Entwicklung wird mit konventionellen Verfahren, wie Teichanlagen oder landbasierten Tankanlagen, die im Durchfluss betrieben werden, aufgrund von Land- und Wassermangel (Phillips et al. 1991) allein nicht zu erreichen sein. Es wird notwendig sein, umweltkompatible Produktionssysteme einzusetzen. Strengere gesetzliche Reglementierungen (Stickney 1994; Boyd 2003) und die Limitierungen natürlicher Ressourcen erfordern eine Ausweitung auf alternative Verfahren, die ein Energie- und Stoffrecycling ermöglichen. Eine Entwicklung in diese Richtung wird international von Expertengremien gefordert. Für den Bereich der Süßwasser-Aquakultur sind die fallenden Grundwasserspiegel in vielen Teilen der Welt ein deutliches Warnsignal (World Water Council 2000), die eine weitere Entwicklung der konventionellen Aquakultur in bestimmten Regionen nicht mehr zulassen.

International wird von der Gesellschaft in immer stärkerem Maße der Nachweis der Nachhaltigkeit neuer Entwicklungen gefordert. Dies bedeutet, sich unter Berücksichtigung ökonomischer und sozialer Dimensionen an den Grenzen der Tragfähigkeit des Naturhaushaltes zu orientieren. Der Begriff der Nachhaltigkeit gilt seit einigen Jahren als Leitbild für eine zukunftsfähige Entwicklung und beinhaltet den zukunftsfähigen Umgang mit den Ressourcen. Diese umfassen neben den Bodenschätzen und nachwachsenden Rohstoffen ebenfalls die vielfältig vernetzten lokalen, regionalen und globalen Ökosysteme und letztendlich die gesamte Erde mit ihrer Erdatmosphäre.

Nachhaltiges Wirtschaften im Bereich der Aquakultur umfasst vor allem den effizienten Einsatz von Land, Wasser, genetischer Ressourcen, Energie und Futtermitteln unter Berücksichtigung der Tragfähigkeit des Naturhaushaltes. Die eingesetzten Verfahren müssen dabei auch ökonomischen und sozialen Ansprüchen genügen (FAO Fisheries Department 1997; European Commission 2002). Vor diesem Hintergrund und die von der Gesellschaft in immer stärkerem Maße geforderte Nachhaltigkeit, verwundert es nicht, dass sich ein Focus der Forschung heute auf Energie- und Nährstoffrecycling und damit der optimalen Ressourcennutzung und -schonung konzentriert (Chopin et al. 2001; Troell et al. 2003; Neori et al. 2004; Schneider et al. 2005).

Der Begriff der integrierten Aquakultur wird als koordinierte Produktion von aquatischen Organismen verschiedener trophischer Ebenen verstanden. Durch den Aufbau von Nahrungsketten, die gleichzeitig als Produktketten betrachtet werden sollen, kann durch eine verbesserte Ressourcennutzung die Wirtschaftlichkeit der Aquakulturproduktion nachhaltig gesteigert werden. Im Produktionsprozess anfallende Nährstoffe werden für den Aufbau neuer, hochwertiger Biomasse genutzt. Die Integration fördert eine effiziente Ausnutzung der

eingesetzten Ressourcen und minimiert den Einfluss auf die Umwelt (Asgard et al. 1999; Schneider et al. 2005). Die zusätzlich gewonnene Biomasse erhöht die ökonomische Diversifikation und kann den Gewinn pro Produktionseinheit nachhaltig steigern (Chopin et al. 2001).

Die ökologischen Prinzipien der integrierten Aquakultur sind nicht neu, sondern existieren bereits seit Tausenden von Jahren. Bereits während der Han Dynastie (2200-2100 v.C.) wurde in China durch You Hou Bin über die Integration von Fisch mit Wasserpflanzen und Gemüseproduktion berichtet (Beveridge und Little 2002). Die Entwicklung der Polykultur geht auf die Zeit der Tang Dynastie (1380-1100 v.C.) zurück. Im Zuge einer fortschreitenden Intensivierung und Globalisierung der Aquakultur ist jedoch dieses Wissen immer weiter in den Hintergrund getreten. Es ist ein Anliegen dieses Antrages, die Idee einer ökologischen Aquakultur (Costa-Pierce 2002) mit intensiven Produktionsverfahren zu kombinieren.

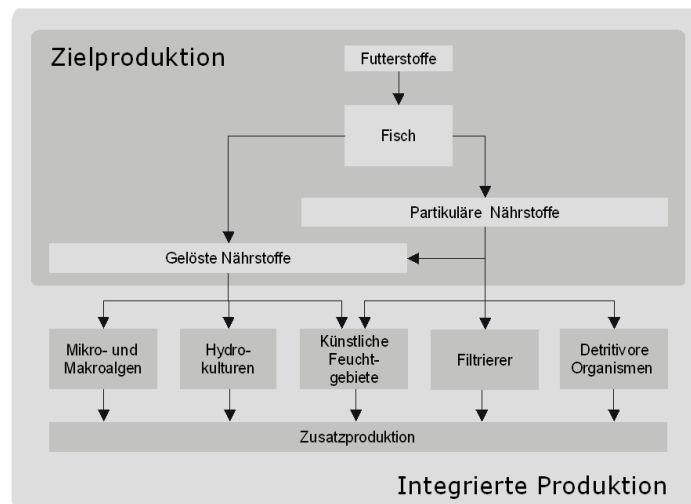


Abbildung 11.7 – Das Schema zeigt die Möglichkeiten einer integrierten Aquakultur Produktion. Der aus gewinnorientierter Sicht wertvollste Organismus definiert die Umweltbedingungen (z.B. Temperatur, Salinität), im Rahmen derer geeignete Arten für die Integration gefunden werden müssen. Der Zielorganismus in diesem Beispiel ist Fisch (Wecker et al. 2006; Wecker 2006).

Abbildung 11.7 zeigt Möglichkeiten für die Integration einer Fischproduktion. Die anfallenden gelösten Nährstoffe, wie vor allem Stickstoff- und Phosphorverbindungen, können von Algen oder Hydrokulturen (Aquaponics) genutzt werden. Die partikulären Nährstoffe, wie Faeces, nutzen niedere Tiere, die diese filtrieren oder in absedimentierter Form vom Boden aufnehmen (Detritivore Organismen). Künstliche Feuchtgebiete stellen eine Mischform dar, bei der die



Biologie sich weitestgehend selbst überlassen bleibt und sich eigene, komplexe Nahrungsnetze ausbilden.

Neben der Direktvermarktung kann die zusätzlich gewonnene Biomasse direkt (Futterzusatzstoffe, Vermehrung- und Setzlingsaufzucht) oder indirekt (Energiegewinnung durch Fermentation) wieder in die Zielproduktion zurückgeführt werden. Integrierte Systeme werden in Zukunft den Stand der Technik in der Aquakultur definieren, da sie ein umfassendes Recycling von Nährstoffen und Energie ermöglichen und neben der Umweltverträglichkeit zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit führen können (Neori et al. 2004).

Die Notwendigkeit einer ökologisch und ökonomisch nachhaltigen Entwicklung der Aquakultur ist in besonderem Masse relevant für die Länder im Einzugsgebiet des Aralsees in Zentralasien, wo die Fischerei praktisch zum Erliegen kam, als der Aralsee durch die überhöhte Wassernutzung zur Bewässerungslandwirtschaft eingeengt wurde und die Fischerboote seitdem im Sandboden festliegen. Usbekistan und besonders Karakalpakstan sind besonders hart betroffen. Der Fischkonsum ist seit dem Rückzug des Aralsees von 12kg auf 0,6kg pro Person und Jahr zurückgegangen.

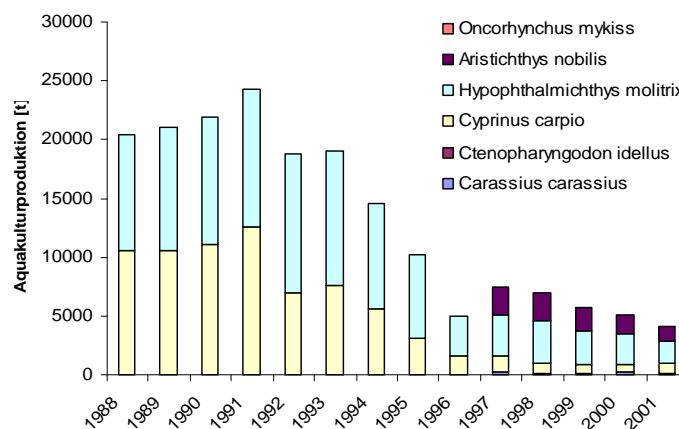


Abbildung 11.8 – Aquakulturproduktion in Usbekistan von 1988-2001 (Quelle FAO)

Die Aquakultur hat in Usbekistan einen relativ hohen Stellenwert. Nach dem dramatischen Rückgang der Fischereierträge seit den 60er Jahren um ca. 80-84% wurden Fischfarmbetriebe in allen Regionen Usbekistans aufgebaut. Heute werden ca. 60% des Gesamtfischertrags mit Produkten aus Fischfarmbetrieben gedeckt. Die einzige entwickelte Produktionsform sind jedoch extensiv bewirtschaftete Teichwirtschaften. Es existieren in etwa 15-20 Firmen, die eine

Teichfläche von ca. 10.000ha Teichfläche bewirtschaften (Quelle FAO, Kamilov). Abbildung 11.8 zeigt einen Überblick über den Fischereiertrag und die Aquakulturproduktion seit 1988 (FAO Daten). Dargestellt sind die wichtigsten Fischarten. Es wird ersichtlich, dass vor allem Fischarten mit einem geringen Marktpreis produziert werden. Die Hauptarten sind Silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix*), Gemeiner Karpfen (*Cyprinus carpio*) und Graskarpfen (*Ctenopharyngodon idellus*). In Bezug auf die Proteingrundversorgung mit Fischprodukten sind diese Arten mit niedrigem trophischen Level gut geeignet, da sie preiswert produziert werden können und somit auch für die sozial schwachen Schichten der Bevölkerung erschwinglich bleiben. Der Zusammenbruch der Aquakultur Mitte der 90er Jahre (siehe Abbildung 11.8) hängt vor allem mit wirtschaftlichen Problemen im Land zusammen.

Für Usbekistan ergeben sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt mehrere Aquakulturkonzepte, die unterschiedliche Technologien voraussetzen und unter ökonomischen Gesichtspunkten unterschiedlich zu bewerten sind. Eine Auswahl der für Usbekistan am besten angepassten Konzepte erfolgte im Rahmen einer Nutzwertanalyse (Scoringmodell). Tabelle 10.1 zeigt, dass gerade die Konzepte mit geringerem Investitionsaufwand die höchste Punktzahl erreichten. Auch wenn das Ergebnis maßgeblich vom Investitionsaufwand (30% Gewichtung dieses Kriteriums) bestimmt wird, zeigt die Analyse, dass diese relativ einfach umzusetzenden Technologien ebenfalls zu einer verbesserten Situation eines Unternehmens am Markt führen.

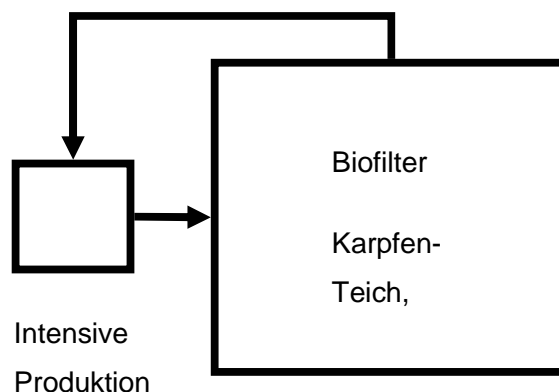


Abbildung 11.9 – Schema eines rezirkulierenden Teichsystems mit integrierter intensiver Produktion

Die Umsetzung eines kreislaufgeführten Teichsystems (siehe Abbildung 11.9) zur intensiven Produktion des Europäischen Welses in extensiv bewirtschafteten Teichsystemen ist Anliegen der hier dargestellten Projektskizze. Diese basiert auf folgenden Überlegungen:

- Dem kontinentalen Einfluss auf das Klima folgend weisen die Winter in Usbekistan sehr niedrige Temperaturen, welche sich jedoch nur auf wenige Monate beschränken.
- Der Europäische Wels ist in Usbekistan eine einheimische Fischart, die an das kontinentale Klima bestens angepasst ist. Des Weiteren zeigt der Wels gerade bei Wassertemperaturen zwischen 15-30°C ein hervorragendes Wachstumspotential. Dieses lässt sich für Usbekistan in offenen Systemen 6-8 Monate nutzen.
- In Usbekistan existieren in etwa 15-20 Firmen, die eine Teichfläche von ca. 10.000ha Teichfläche extensiv bewirtschaften. Diese Flächen würden ausreichen, um zusätzlich ca. 5000-7000t Wels zu produzieren.
- Die in der intensiven Welsproduktion anfallenden Nährstoffe dienen als Basis für die Primärproduktion im Karpfenteich und werden somit für den Aufbau neuer, hochwertiger Fischbiomasse genutzt.

Die Entwicklung eines Pilotsystems setzt Kenntnis über die Nährstoffflüsse dieses integrierten Systems voraus. Auf Basis eines Wachstumsmodells für den Europäischen Wels wurden die wichtigsten Produktionsparameter simuliert.

Auf Basis der Futtertabellen der Futtermittelhersteller, dem mittleren Temperaturprofil eines typischen Karpfenteiches und der Futterverwertung wurde ein numerisches Wachstumsmodell erarbeitet. Dieses diente der Berechnung der Produktivität für die intensive Welsproduktion und der Berechnung der notwendigen Teichflächen. Das Modell geht davon aus, dass alle 4 Monate neu mit Fingerlingen (1g Fischgewicht) besetzt wird. Das bedeutet, dass 3 Kohorten pro Jahr eingesetzt werden. Der Besatzfisch kann in Europa gekauft werden oder bei erfolgreicher eigener Vermehrung in Usbekistan produziert werden. Das Modell berechnet die Welsproduktion für Teichflächen von 20ha bis 100ha.

Das Modellwachstum ist in Abbildung 11.10 und Abbildung 11.11 dargestellt. Dieses zeigt, dass das Wachstum der ersten beiden Kohorten nahezu identisch ist. Der Grund liegt darin, dass die Kohorte I im Winter eingesetzt wird und die Kohorte 2 zu Beginn der Wachstumsperiode. Demzufolge können die Kohorte I und II zusammengefasst und zu Beginn der Wachstumsperiode eingesetzt werden.

Tabelle 11.6 – Besatzplan für eine Jahresproduktion von 15t Wels bei einer Teichfläche von 20ha über einen Zeitraum von 5 Jahren

Beginn Produktion	Anzahl Besatzfisch	Ende Produktion	Tage Produktion	Anzahl Speisefisch	Überlebensrate	Zuwachs Produktion
01.01.2007	3.609	30.07.2008	576	3.142	87,1%	4.769
01.05.2007	3.609	31.07.2008	457	3.335	92,4%	5.061
29.08.2007	3.609	25.09.2008	393	3.445	95,4%	5.218
27.12.2007	3.609	01.08.2009	583	3.133	86,8%	4.767
25.04.2008	3.609	31.07.2009	462	3.325	92,1%	5.004
23.08.2008	3.609	20.09.2009	393	3.445	95,4%	5.233
21.12.2008	3.609	01.08.2010	588	3.123	86,5%	4.752
20.04.2009	3.609	01.08.2010	468	3.315	91,8%	4.999
18.08.2009	3.609	15.09.2010	393	3.446	95,5%	5.184
16.12.2009	3.609	01.08.2011	593	3.116	86,3%	4.721
15.04.2010	3.609	02.08.2011	474	3.307	91,6%	5.004
13.08.2010	3.609	11.09.2011	394	3.446	95,5%	5.259
11.12.2010	3.609	04.01.2012	389	3.139	87,0%	3.104

Abbildung 11.11 zeigt, dass die maximale Biomasse mit der höchsten Wassertemperatur zusammenfällt, in der im Teich auch die höchste Primärproduktion und somit auch Filterleistung zu erwarten ist. In den Wintermonaten und bei Temperaturen <15°C werden die Welse in nur soweit gefüttert, dass sie keine Biomasse verlieren. Daher werden in dieser Phase nur wenige Nährstoffe anfallen, so dass eine Kumulation dieser Nährstoffe im Teichsystem nicht zu erwarten ist.

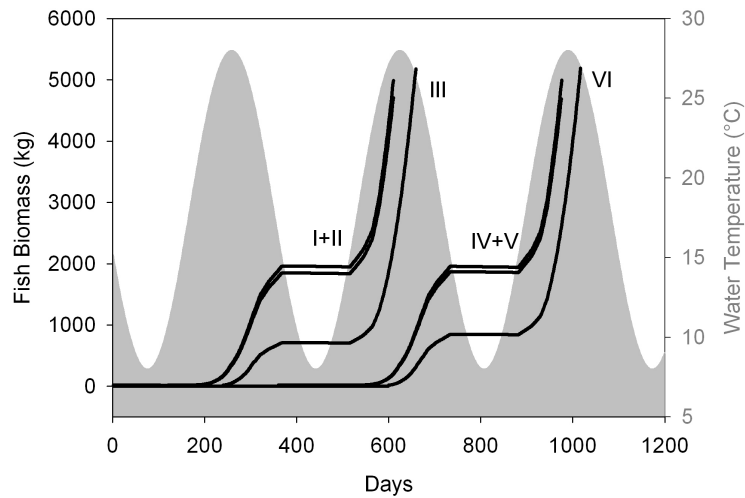


Abbildung 11.10 – Biomasseentwicklung der einzelnen eingesetzten Kohorten. Die ersten beiden Kohorten sind dem Modell zufolge nahezu identisch, so dass sie zusammengefasst werden können.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Stickstoffaufnahme von Teichsystemen zwischen  $0,05\text{-}0,5\text{ kg N ha}^{-1}\text{ d}^{-1}$  schwankt (Knud-Hansen 1998). Demzufolge beträgt die maximale Stickstoffaufnahme eines 20ha Teiches  $10\text{ kg N ha}^{-1}\text{ d}^{-1}$ . Auf Basis des Wachstumsmodell (siehe Abbildung 11.11) beträgt die TAN Exkretion einer 15t Jahresproduktion an Wels max.  $9\text{ kg TAN d}^{-1}$ . Die mittlere TAN Exkretion während der Wachstumsphase der Welse beträgt  $2,6\text{ kg TAN d}^{-1}$ . Es ist davon auszugehen, dass 20ha Teichfläche als Biofiltersystem für die intensive Produktion von ca. 15t Jahresproduktion ausreichend sind.

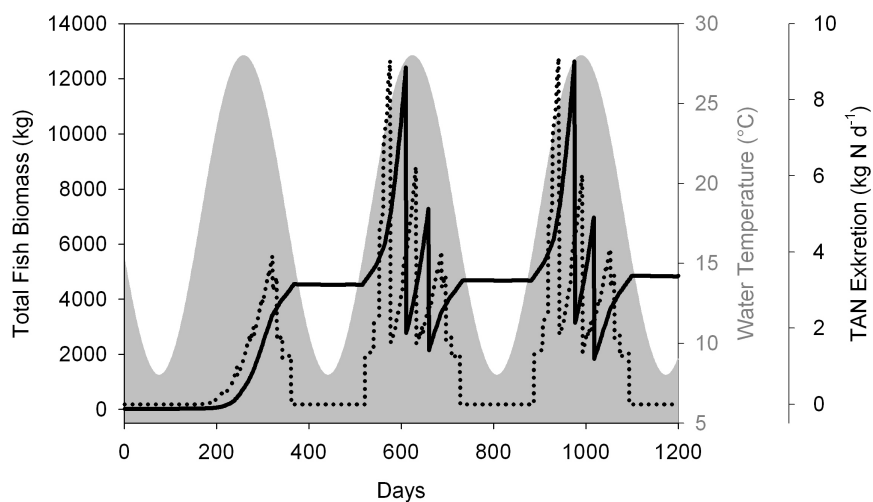


Abbildung 11.11 – Biomasseentwicklung (durchgezogene Linie) und Ammonium (TAN) Exkretion (gestrichelte Linie) zusammengefasst über alle 3 Kohorten

Für die Realisierung der Welsproduktion reicht ein einfacher Erdgraben der rechtwinklig (strömungsgünstiger ist ein 90° Bogen) zum Teich gezogen wird. Dieser sollte im besten Fall durch Betonschleusen, in denen Gitterkonstruktionen das Entkommen der Fische verhindern, mit dem Teich verbunden sein. In diesen können die Strömungspumpen sehr einfach installiert werden. Es sind aber durchaus auch kostengünstigere Lösungen vorstellbar, in denen der Graben nur durch einfache Netze vom Teich abgegrenzt wird. Für die technische Umsetzung sind viele Lösungskonzepte denkbar, die in erster Linie vom Projektstandort abhängen.

Die Lösung einer Grabenkonstruktion im rechten Winkel zum Teich bietet die Möglichkeit relativ einfach eine Kreisströmung im Teich zu erzeugen. Es existieren strömungstechnisch gesehen mit Sicherheit bessere Lösungen, um das gesamte Teichvolumen rezirkulieren zu lassen. Als Beispiel mögen hier die in Amerika eingesetzten PAS (Partitionated Aquaculture System) Teichsysteme dienen, in denen durch ein System von Dämmen ein kreislaufgeführter mäandrierender Wasserfluss im Teich realisiert wird. Jedoch wären diese Konstruktionen nur sehr aufwendig zu realisieren, wenn man in Dimensionen von 100ha Teichfläche denkt.

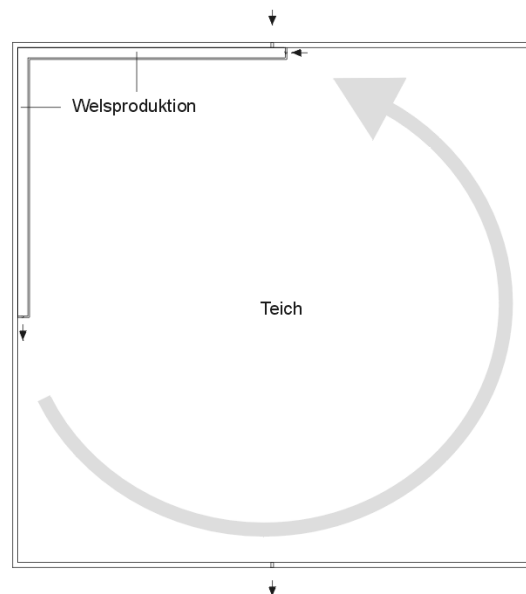


Abbildung 11.12 – Skizze eines vereinfachten integrierten Teichsystems

Auf Basis des Wachstumsmodells konnten die biologischen Produktionsparameter ermittelt werden, an denen die technische Realisierung eng gekoppelt ist. Tabelle zeigt das notwendige Wasservolumen für die Welszucht. Es muss davon ausgegangen werden, dass das Wasservolumen der Welsproduktion ca. 1-3 mal pro Stunde ausgetauscht werden sollte, um sowohl die Stoffwechselprodukte abzuführen sowohl als auch Frischwasser im geeignetem Maße zuzuführen. Diesbezüglich sind die Strömungspumpen als auch die Belüfter zu

dimensionieren. Neben den energieeffizienten Strömungspumpen dienen die einzusetzenden Paddelbelüfter oder Aquajets neben dem Lufteintrag und der Entgasung auch der Strömungsbildung.

Der Gewinn in Fischzuchtbetrieben ist stark abhängig vom erzielten Verkaufspreis und der Produktionsmenge. Daher wurden die wirtschaftlichen Berechnungen in Abhängigkeit dieser beiden Variablen durchgeführt. Ziel der Berechnungen sind Ertrags-Isoplethen-Diagramme, in denen der Investor anhand seiner Erwartungen an die Verzinsung seines eingesetzten Kapitals, die anzustrebende Produktionsgröße für den zu erwartenden Verkaufspreis bestimmen kann. Insbesondere in Ländern mit einem Mangel an finanziellen Ressourcen ist die Verzinsung des eingesetzten Kapitals die wichtigste Entscheidungsgröße der Investoren. Markt- und Wettbewerbsstrategische Entscheidungen sind in aller Regel diesem Entscheidungskriterium untergeordnet, da den Investoren zahlreiche Geldanlagemöglichkeiten zur Verfügung stehen oder angeboten werden, so dass klare Unternehmensstrategien nur bedingt relevant sind.

Die Investitionskosten sind für verschiedene Produktionsgrößen in Tabelle 11.7 dargestellt.

Tabelle 11.7 – Investitionskosten für die intensive Welsproduktion

Teichfläche	ha	20	40	60	80	100
Jahresproduktion Wels	kg	16.058	32.116	48.174	64.231	80.289
Produktionsgraben	€	€ 5.292	€ 8.482	€ 10.090	€ 10.597	€ 10.381
Oberfläche Welsproduktion	m <sup>2</sup>	176	352	527	703	879
Wasservolumen Welsproduktion	m <sup>3</sup>	264	527	791	1055	1318
Technische Ausstattung	€	€ 9.477	€ 15.328	€ 19.542	€ 22.273	€ 23.975
Belüfter	€	€ 1.458	€ 2.610	€ 3.486	€ 4.125	€ 4.565
Strömungspumpen	€	€ 2.915	€ 5.219	€ 6.972	€ 8.250	€ 9.130
Messtechnik	€	€ 3.782	€ 5.735	€ 6.438	€ 6.369	€ 5.871
Diverses	€	€ 1.323	€ 1.764	€ 2.646	€ 3.528	€ 4.410
Overheads	€	€ 2.915	€ 5.219	€ 6.972	€ 8.250	€ 9.130
Anfangsinvestition	€	€ 17.685	€ 29.029	€ 36.604	€ 41.120	€ 43.486
Betriebskosten 1. Jahr	€	€ 28.617	€ 54.606	€ 78.673	€ 101.245	€ 122.724
Gesamtinvestition	€	€ 46.302	€ 83.635	€ 115.277	€ 142.365	€ 166.210

Tabelle 11.8 zeigt die Kosten- und Ertragsübersicht in Abhängigkeit von der Produktionsgröße und dem Verkaufserlös. Die Differenz aus Kosten und Ertrag stellt den Gewinn dar. Der mittlere Gewinn über einen Zeitraum von 10 Jahren (Abschreibungszeitraum) diente der Berechnung der Verzinsung (ROI) des eingesetzten Kapitals. Auf Basis dieser Berechnungen wurden Isoplethen-Diagramme erstellt. Abbildung 11.13 zeigt den mittleren jährlichen Gewinn und Abbildung die Verzinsung des eingesetzten Kapitals.

Die groben Wirtschaftlichkeitsrechnungen zeigen, dass diese Form der intensiven Aquakultur eine doch sehr gewinnbringende Produktionsform darstellen kann, insbesondere für die Besitzer von Teichanlagen zur extensiven Produktion von Karpfenarten. Die Investitionskosten sind überschaubar. Die Produktdiversifikation führt ebenso zu wettbewerbsstrategischen Vorteilen. Es ist ebenso denkbar, dieses Konzept auf andere Arten auszuweiten.

Die Idee eines integrierten Teichsystems reflektiert die Forderungen internationaler Fachgremien nach nachhaltigen Konzepten für die kommerzielle Aquakultur. Nachhaltiges Wirtschaften im Bereich der Aquakultur umfasst vor allem den effizienten Einsatz von Land, Wasser, genetischer Ressourcen, Energie und Futtermitteln unter Berücksichtigung der Tragfähigkeit des Naturhaushaltes (FAO Fisheries Department 1997; European Commission 2002). Das hier vorgestellte Konzept bietet dafür Lösungsvorschläge, indem die natürlichen Ressourcen, wie Land, Wasser und Energie, zielgerichtet und sparsam eingesetzt werden. Dabei orientiert sich das Projekt an die speziellen Bedürfnisse in Usbekistan und nutzt zielgerichtet bestehende Ressourcen.

Aus diesem Grund, aber auch aus einem Interesse der internationalen Forschung nach neuen nachhaltigen Konzepten für die Aquakultur heraus, verlangt diese Projektidee nach einem Pilotsystem, in welchem dieses Konzept unter kommerziellen Gesichtspunkten umgesetzt und wissenschaftlich betreut wird. In Usbekistan existieren einige Fischfarmen, in denen diese Maßnahme durchgeführt werden könnte. Als besonders geeignet wäre das „Scientific Research Center on Fisheries Development“ des Ministeriums für „Agriculture and Water Economy“ zu erwähnen. Dieses befindet sich in der Nähe von Taschkent und besitzt neben eigenen Teichflächen auch ein erfolgreiches Bruthaus für die künstliche Vermehrung von Karpfenarten. Ein Schwerpunkt dieser semi-kommerziellen Fischfarm liegt in der Ausbildung und der Vermittlung neuer Technologien. Aus diesem Grund wäre es für dieses Projekt prädestiniert und die erfolgreiche Vermehrung des Europäischen Welses könnte ebenfalls dort erprobt werden. Für ein Pilotsystem wäre eine Teichfläche bis max. 20ha für die Erprobung dieser Technologie vorzusehen.



Tabelle 11.8 - Aufstellung der Ertrags- und Kostensituation in Abhängigkeit von der Produktionsgröße und dem erzielten Verkaufserlösen

Jahresproduktion	kg	16.058		32.116		48.174		64.231		80.289	
Mittlerer Verkaufspreis		Jahr 1	Jahr 2	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 1	Jahr 2	Year 1	Year 2
€ 2,50	/ kg		€ 40.238		€ 80.477		€ 120.715		€ 160.954		€ 201.192
€ 3,00	/ kg		€ 48.286		€ 96.572		€ 144.858		€ 193.145		€ 241.431
€ 3,50	/ kg		€ 56.334		€ 112.668		€ 169.002		€ 225.335		€ 281.669
€ 4,00	/ kg		€ 64.382		€ 128.763		€ 193.145		€ 257.526		€ 321.908
€ 4,50	/ kg		€ 72.429		€ 144.858		€ 217.288		€ 289.717		€ 362.146
<b>Variable Kosten</b>											
Fischbesatz	€	€ 8.219	€ 8.219	€ 16.438	€ 16.438	€ 24.657	€ 24.657	€ 32.876	€ 32.876	€ 41.095	€ 41.095
Futter	€	€ 9.172	€ 22.413	€ 18.345	€ 44.826	€ 27.517	€ 67.239	€ 36.689	€ 89.653	€ 45.862	€ 112.066
Energie	€	€ 1.971	€ 1.971	€ 3.942	€ 3.942	€ 5.913	€ 5.913	€ 7.884	€ 7.884	€ 9.855	€ 9.855
Technische Wartung	€	€ 1.458	€ 1.458	€ 2.610	€ 2.610	€ 3.486	€ 3.486	€ 4.125	€ 4.125	€ 4.565	€ 4.565
Schlachtung	€		€ 3.219		€ 6.438		€ 9.657		€ 12.876		€ 16.095
Overheads	€	€ 1.458	€ 1.458	€ 2.610	€ 2.610	€ 3.486	€ 3.486	€ 4.125	€ 4.125	€ 4.565	€ 4.565
Verzinsung Betriebskosten	€	€ 1.041	€ 1.864	€ 2.067	€ 3.713	€ 3.079	€ 5.548	€ 4.079	€ 7.371	€ 5.069	€ 9.184
Summe Variable Kosten	€	€ 23.319	€ 40.601	€ 46.011	€ 80.577	€ 68.138	€ 119.986	€ 89.779	€ 158.910	€ 111.010	€ 197.425
Variable Kosten pro kg Fisch	€/kg		€ 2,52		€ 2,50		€ 2,48		€ 2,47		€ 2,45
<b>Fixkosten</b>											
Lohnkosten	€	€ 2.646	€ 2.646	€ 4.241	€ 4.241	€ 5.045	€ 5.045	€ 5.299	€ 5.299	€ 5.191	€ 5.191
Verzinsung Investitionskosten	€	€ 884	€ 884	€ 1.451	€ 1.451	€ 1.830	€ 1.830	€ 2.056	€ 2.056	€ 2.174	€ 2.174
Abschreibung	€	€ 1.768	€ 1.768	€ 2.903	€ 2.903	€ 3.660	€ 3.660	€ 4.112	€ 4.112	€ 4.349	€ 4.349
Summe Fixkosten	€	€ 5.299	€ 5.299	€ 8.595	€ 8.595	€ 10.536	€ 10.536	€ 11.467	€ 11.467	€ 11.714	€ 11.714
Summe aller Kosten	€	€ 28.617	€ 45.900	€ 54.606	€ 89.172	€ 78.673	€ 130.522	€ 101.245	€ 170.377	€ 122.724	€ 209.138
Gesamtkosten pro kg Fisch	€/kg		€ 2,85		€ 2,77		€ 2,70		€ 2,65		€ 2,60

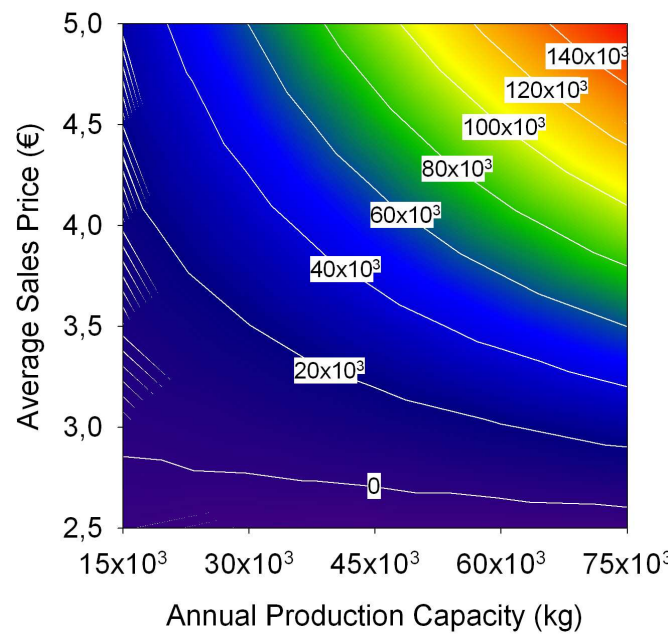


Abbildung 11.13 – Jährliche Gewinne (€) in Abhängigkeit von der Jahresproduktion und dem erzielten Verkaufspreis gemittelt über einen Zeitraum von 10 Jahren

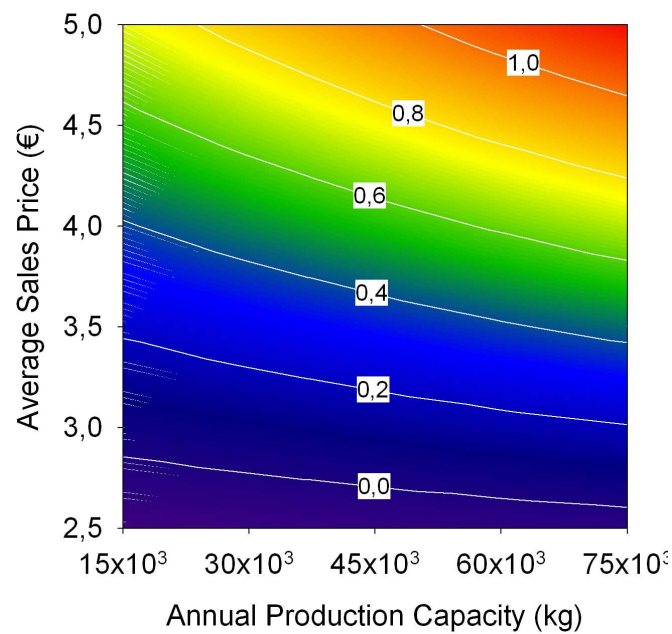


Abbildung 11.14 – Jährliche Verzinsung der eingesetzten Gesamtinvestition (ROI) in Abhängigkeit von der Jahresproduktion und dem erzielten Verkaufspreis gemittelt über einen Zeitraum von 10 Jahren

International wird von der Gesellschaft in immer stärkerem Maße der Nachweis der Nachhaltigkeit neuer Entwicklungen gefordert. Dies bedeutet, sich unter Berücksichtigung ökonomischer und sozialer Dimensionen an den Grenzen der Tragfähigkeit des Naturhaushaltes zu orientieren. Der zukunftsfähige Umgang mit den Ressourcen gehört zu den größten Herausforderungen an die Menschheit. Nachhaltiges Wirtschaften im Bereich der Aquakultur ist die Grundvoraussetzung, um das stetig hohe Wachstum dieses Industriezweigs beizubehalten. Nur so kann die Aquakultur auch weiterhin einen signifikanten Beitrag zur Proteinversorgung der zunehmenden Weltbevölkerung leisten. Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass sich ein Focus der Forschung in der Aquakultur heute auf Energie- und Nährstoffrecycling und damit der optimalen Ressourcennutzung und -schonung konzentriert (Chopin et al. 2001; Troell et al. 2003; Neori et al. 2004; Schneider et al. 2005). Dieses Projekt würde dabei einen wichtigen Beitrag leisten, indem die Wirtschaftlichkeit, ökonomische Diversifikation und Produktivität vorhandener, in Polykultur bereits ökologisch sinnvoll betriebener Systeme verbessert wird.

Die Entwicklung der Polykultur geht bereits auf die Zeit der Tang Dynastie (1380-1100 v.C.) zurück. Im Zuge einer fortschreitenden Intensivierung und Globalisierung der Aquakultur ist jedoch dieses Wissen immer weiter in den Hintergrund getreten, auch wenn diese Form der Aquakultur in Usbekistan seit Jahrzehnten erfolgreich betrieben wurde. Es ist ein Anliegen dieses Projektes, die Idee der ökologischen Aquakultur (Costa-Pierce 2002) mit einem intensiven Produktionsverfahren zu kombinieren.

## **Appendix C - Aufbau eines Besatzprogramms für die Unterstützung der Fischerei in Karakalpakstan**

Trotz der bereits angesprochen Probleme ist zu erwähnen, dass Usbekistan ein sehr großes Potential für die Entwicklung der Aquakultur besitzt. Ein Großteil der im Land vorhandenen Wasserreservoirs wird derzeit nur unzureichend genutzt. Alternative Konzepte, wie zum Beispiel eine Bestandsstützung in natürlichen Gewässern durch Besatzmaßnahmen aus der Aquakultur sind ebenfalls eine gute Möglichkeit, die Nahrungs- bzw. Proteinversorgung der Bevölkerung zu unterstützen. Insbesondere durch den Rückgang natürlicher Laichhabitats durch Gewässerverbauung und einer oftmals mangelnden Wasserversorgung sind diese Maßnahmen nicht nur für den Erhalt der Biodiversität essentiell sondern leisten auch einen wichtigen Beitrag zur Ernährung der einheimischen Bevölkerung durch Fischerei. Dies ist Anliegen der vorliegenden Projektskizze.

Auch die Nutzwertanalyse in Tabelle 10.1 zeigt, dass die Besatzmaßnahmen eine gute Alternative darstellen, um die vorhandenen Wasserreservoirs in Usbekistan, die derzeit nur unzureichend genutzt werden, in die Entwicklung der Aquakultur bzw. Fischerei mit einzubeziehen. Dies gilt insbesondere für Karakalpakstan. Das Gebiet auf der usbekischen Seite des Aral Sees ist geprägt durch Menschen, die es gewohnt sind sich vom Fischfang und der Jagd zu ernähren. Reine Aquakulturkanzepte wären hier derzeit nur schwer zu implementieren. Hier sind Konzepte gefragt, die einen Beitrag zur Fischereientwicklung leisten, zumal sich auch die vorhandenen Wasserreservoirs und Seen stabilisieren bzw. wieder zunehmen. Nach Auskunft von Frau Dr. Joldasova (Biologisches Institut in Nukus/Karakalpakstan) wären viele Arten aus den früheren Populationen im Aralsee oder seinen Zuflüssen züchtbar. Für die meisten in Frage kommenden Arten existieren Brutprotokolle und die künstliche Vermehrung ist gängige Praxis. Dabei ist den abiotischen und biotischen Veränderungen des Zielgebietes Rechnung zu tragen. So wird zum Beispiel die natürliche Reproduktion der heimischen Arten von der erhöhten Salzkonzentration und dem Rückgang der Laichhabitats durch Gewässerverbauungen und dem Trockenfallen der natürlichen Gewässer empfindlich gestört. Es ist davon auszugehen, dass durch künstliche Reproduktion und anschließende Brutaufzucht für Besatzmaßnahmen die heimische Fischfauna wiederbelebt werden kann. In Deutschland wird der Rückgang von Laichhabitats ebenfalls zum größten Teil durch staatliche und private Brutanstalten kompensiert. In Zusammenarbeit mit den Ökologen vor Ort müssen Szenarien entwickelt werden, die zu neuen biologischen Gleichgewichten führen. Derartige Szenarien müssen in zukünftigen Geschäftsplänen berücksichtigt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass nur koordinierte, langfristig angelegte Strategien zum

nachhaltigen Erfolg führen können, die eine Zusammenarbeit aller involvierten Akteure erfordert. Ein funktionierendes Besatzprogramm erfordert einen sozio-ökonomischen Ansatz. Insbesondere durch die Privatisierung der Fischereirechte ist von usbekischer Seite die Idee aufgebracht worden, die Akteure in „Fisheries Associations“ zu organisieren. Dies ist eine Herausforderung, welche den Erfolg der vorliegenden Projektidee maßgeblich mitbestimmt.

Es sind mehrere Arbeitsschritte und Teilprojekte notwendig, die den Erfolg eines solchen Projekts mitbestimmen. Diese umfassen im Wesentlichen folgende Bereiche:

**Monitoring:** Biologen und Ökologen müssen vor Ort die Grundlagen für das Besatzprogramm erarbeiten. Diese beinhalten im Wesentlichen die folgenden Punkte: (1) Analyse der Fischereifänge und eigene Untersuchungen zur Bestandsabschätzung der vorhandenen Fischfauna, (2) Abschätzung der Primär- und Sekundärproduktion zur Berechnung des tragfähigen Fischereiertrags, (3) Untersuchungen zur Reproduktion der Fischfauna und dem Vorkommen natürlicher Laichhabitats (4) Auswahl kommerziell wichtiger Fischarten für das Besatzprogramm mit Berücksichtigung der besonderen hydro-ökologischen Situation, (5) Überwachung der Besatzmaßnahmen

**Aufbau von Elterntierbeständen:** Basis eines jeden Besatzprogramms sind die Elterntiere. Diese können zu Beginn einer Laichperiode gefangen werden oder es wird sich ein eigener Elterntierbestand gehalten. Für beide Alternativen werden Haltungskapazitäten benötigt. Für den Aufbau von eigenen Elterntierbeständen eignen sich besonders rezirkulierende Systeme, weil diese von der Umwelt entkoppelt betrieben werden können. Dies bedeutet ein hohes Maß an Kontrolle, was wiederum vorteilhaft für die allgemeine aber auch die Reproduktionsbiologie ist.

**Nachzucht:** Die Nachzucht der kultivierten Arten bis zur jeweiligen Setzlingsgröße umfasst eine Reihe von Arbeitsschritten, die wie folgt zusammengefasst werden können: (1) Elterntierhaltung, (2) Kontrollierte Beeinflussung der Laichreife bei den Elterntieren durch Licht – oder Temperaturprofile und hormonelle Behandlungen, (3) Gewinnung der Gameten (Eier bzw. Spermien), (4) Befruchtung der Eier, (5) Eierbrütung, (6) Brutaufzucht und (7) Vorstrecken der Setzlinge. Diese Arbeitsschritte erfordern ein hohes Maß an Erfahrung, Gewissenhaftigkeit und biologischem Verständnis. Die eingesetzten Technologien sind dabei sehr vielgestaltig. Eine hervorragende Wasserqualität ist unabdingbar. Diese bestimmt neben der Qualität der eingesetzten Futtermittel maßgeblich Menge und Qualität der Nachzucht.

**Besatz:** Nach erfolgreicher Aufzucht der Fischlarven bzw. Jungfische (artabhängig) werden diese in die Seen ausgesetzt. Der Zeitpunkt setzt voraus, dass die natürliche Nahrung der

jeweiligen Art und Fischgröße vorhanden ist. Dies bestimmt im Wesentlichen den Erfolg der Besatzmaßnahme.

**Transparenz:** Ein solches Projekt macht nur Sinn, wenn allen Beteiligten der Erfolg des Projektes am Herzen liegt. Insbesondere die Fischer haben einen wesentlichen Beitrag zu leisten. Daher wird es von entscheidender Bedeutung sein, die Fischer von den Erfolgsaussichten dieses Projektes zu überzeugen. Der Ansatz „Fisheries Associations“ zu gründen, stellt eine gute Möglichkeit dar, die Interessen zu bündeln und die Zusammenarbeit aller Beteiligten zu fokussieren. Die Nachhaltigkeit dieses Projektes kann auch nur dann gewährleistet werden, wenn die Fischer bereit sind, in diese Besatzmaßnahmen zu investieren.

Die Kreislauftechnologie (Rezirkulierendes Aquakultur System, RAS) bietet gerade für den Bereich der Elterntierhaltung und Nachzucht, wie z.B. die Konditionierung von Elterntierbeständen, die Gametengewinnung bis hin zur Vorstreckung der Brut bzw. der Setzlinge, zahlreiche Vorteile. Das in einem RAS geführte Wasser wird über mehrere Reinigungsstufen gereinigt. Eine Anreicherung von schädlichen Wasserinhaltsstoffen wird vermieden. Moderne RAS ermöglichen heute eine Intensivhaltung von Organismen bei nahezu optimalen Lebensbedingungen und minimalen Wasseraustausch (Otte und Rosenthal 1979; Rosenthal et al. 1984; Scott und Allard 1984; Bovendeur et al. 1987; Heinsbroek 1990; Twarowska et al. 1997; Singh et al. 1999; Menasveta et al. 2001; Waller et al. 2001; Waller et al. 2002; Waller et al. 2003; Barak et al. 2003; Suzuki et al. 2003). Im RAS wird das Produktionswasser teilweise oder vollständig wieder verwendet (Eleftheriou 1997). Ab einer Wasseraustauschrate von  $<10\% \text{ d}^{-1}$  bezogen auf das Gesamtvolumen der Anlage spricht man von geschlossenen rezirkulierenden Systemen (EIFAC 1986), auch wenn in modernen Anlagen diese Rate nur noch ca.  $1\% \text{ d}^{-1}$  beträgt, da nur mit partikulären und gelösten Nährstoffen aufkonzentriertes Schmutzwasser ausgetauscht wird (Waller *et al.* 2001; Waller *et al.* 2002; Waller *et al.* 2003). Moderne RAS mit ihrer umweltfreundlichen Biotechnologie werden in Zukunft an Bedeutung gewinnen, da diese Anlagen die Aufzucht unter kontrollierten Bedingungen erlauben, weitgehend standortunabhängig sind und nicht in direktem Austausch mit der Umwelt stehen. Die Umwelteinflüsse in einem RAS sind im Gegensatz zu konventionellen oder offenen Verfahren gut zu kontrollieren und sie können von der Umwelt unabhängig betrieben werden. Beim Auftreten von Umweltproblemen, die von Dritten verursacht werden, ist eine Entkoppelung dieser Systeme möglich und minimiert somit das Betriebsrisiko.

Die oben genannten Vorteile sprechen für den Einsatz der RAS Technologie im Bereich der Nachzucht, der Haltung krankheitsfreier Elterntierbestände und einer den Anforderungen des

Marktes angepasste Fischbrut- oder Setzlingsproduktion. Insbesondere die Kontrolle der Umweltbedingungen ermöglicht optimale Haltungsbedingungen, die durch die biologischen Anforderungen der jeweiligen Art vorgegeben sind. Dies gilt jedoch nur, wenn die Systemtechnik auch marktwirtschaftlichen Kriterien genügt. Ein multi-disziplinärer Ansatz ist daher erforderlich, der gleichermaßen biologische, biotechnologische, umweltrelevante, ökonomische und produktionstechnische Belange untersucht und Anforderungen definiert.

**hatch  
CON**

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde diesbezüglich die containerbasierten Brutanstalt *HatchCon* skizziert. *HatchCon* ist ein spezielles RAS, das die Eierbrütung und anschließende Brutaufzucht ermöglicht. Das System soll weltweit sowohl mit Süß- als auch Seewasser betrieben werden und eine den Anforderungen der jeweiligen Art angepasste Brutaufzucht ermöglichen. Das Konzept *HatchCon* basiert auf den Erfahrungen moderner rezirkulierender Systeme, die am IFM-GEOMAR seit mehreren Jahren grundlegend mitentwickelt wurden (Rosenthal und Krüner 1984; Waller et al. 2001; Waller et al. 2002). Ergebnisse aus der Grundlagenforschung gingen dabei in den Technologietransfer, d.h. in Pilotmodulen und kommerziellen Anlagen wurden die Ergebnisse angewandt (Waller et al. 2005). Auf Basis dieser wurde ein Konzept für einen Brutcontainer entwickelt, der die Forderungen internationaler Fachgremien nach nachhaltigen Systemen für die kommerzielle Aquakultur aufnimmt.

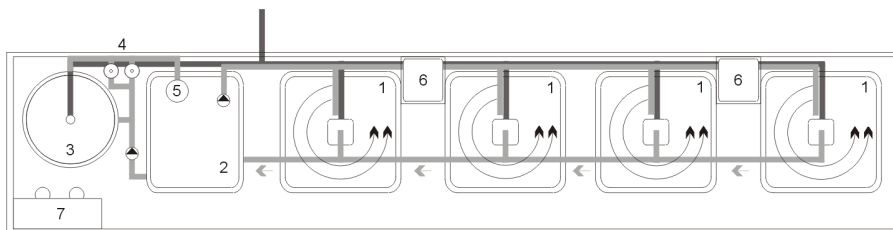


Abbildung 11.15 – Aufsicht eines konzeptionellen Containers zur Brutaufzucht von Salmoniden (12mx2,4mx2,5m) im Maßstab 1:100. Dargestellt sind das Fließschema des Wasserkreislaufes (hellgrau) und der Schmutzwasserentsorgung (dunkelgrau) sowie die Systemkomponenten: (1) Fischbecken, (2) Becken für Wasserverteilung, (3) Biofilter, (4) Abschäumung, (5) Restozonvernichter, (6) Vertikalbrutschrank und (7) Laborarbeitsplatz. Mit dem hier dargestellten Design können ca. 150.000-200.000 Stück Fischbrut (ca. 1,5g) im Jahr produziert werden. Dies reicht um eine Fischfarm mit einer Jahresproduktion von 100t pro Jahr zu beliefern.

Abbildung 11.15 zeigt eine schematische Darstellung eines Brutcontainers. Das hier vorgestellte Konzept berücksichtigt eine Reihe von innovativen Lösungen, die in der wissenschaftlichen Literatur beschrieben und in dem Gebrauchsmuster *HatchCon* verarbeitet wurden.

- Einsatz von Platz sparenden Rundstrombecken, in denen durch gut abgerundete, gebrochene Ecken, von einer quadratischen Grundform ausgehend, eine Kreisströmung erzeugt wird. Das Zulaufwasser wird dabei radial mittels eines einreihig angebohrten Rohres eingespeist und sorgt somit für eine Kreisströmung und gute Durchmischung im Becken. Durch die Konstruktion der Becken mit geringem Gefälle und Strömung kann die Reinigung von Feststoffen problemlos durch einen Bodenabzug durchgeführt werden. Der Hauptwasserstrom wird über ein zentrales Standrohr mit „Über“-Bodenabzug realisiert. Dieser dient ebenfalls einer besseren Durchmischung im Becken.
- Das Auftreten von Feststoffen in der Aquakultur ist stark abhängig von der Menge und Qualität der Futtermittel und beträgt ca. 30-50% von der eingesetzten Futtermenge (Summerfelt 2002). Eine wirkungsvolle Elimination dieser Stoffe ist für den Erfolg eines RAS von potentieller Bedeutung. Ein Großteil dieser suspendierten Feststoffe (ca. 40-70%) in einem RAS hat eine Partikelgröße  $<20\mu\text{m}$  (Chen et al. 1997). Diese können nicht durch Sedimentations- oder Siebtechniken entfernt werden. Ein wirkungsvolles Verfahren diese Feinstoffe zu entfernen, ist die Abschäumung. In den Arbeiten von Rosenthal und Sander (1975), Rosenthal & Westernhagen (1976) und Rosenthal et al. (1978) ist der Einsatz von mit Ozon unterstützten Abschäumvorrichtungen zur physikalischen und chemischen Wasseraufbereitung in Meerwasser-Kreislaufanlagen detailliert untersucht worden. Die Ergebnisse zeigen in Übereinstimmung mit anderen Arbeiten zur gleichen Thematik (Wheaton et al. 1979; Lawson und Wheaton 1979; Lawson und Wheaton 1980; Williams et al. 1982; Paller und Lewis 1988; Summerfelt und Hochheimer 1997) eine hohe Effizienz der Abschäumtechnik bei der Entfernung feinpartikulärer Feststoffe und gelöster organischer Verbindungen (Proteine, Aminosäuren, Huminstoffe). Eine innovative Entwicklung der Erwin Sander Elektroapparatebau GmbH ermöglicht heute auch den Einsatz von Abschäumern im Süßwasser.
- In den letzten Dekaden verbreitete sich der Einsatz von Ozon auch im Bereich der Aquakultur. Ozon findet vor allem Anwendung beim Desinfizieren von Ein- und Auslaufwasser von Fischbrutanlagen, bei der Kontrolle pathogener Keime, bei der Oxidation von Nitrit, bei der Entfernung von Verfärbungen durch Huminstoffe und beim



Abbau von organischen Substanzen (Colberg und Lingg 1978; Rosenthal 1981; Williams et al. 1982; Rosenthal und Wilson 1987; Paller und Lewis 1988; Rueter und Johnson 1995; Summerfelt und Hochheimer 1997; Brazil et al. 1998; Singh und Wheaton 1999; Krumins et al. 2001; Meunpol et al. 2003).

- In den letzten Jahrzehnten haben sich zahlreiche Verfahren zur biologischen Nitrifikation in Kreislaufanlagen entwickelt. Der Trend geht allerdings in Richtung der Fließ- und Bewegtbettfilter. Diese zeichnen sich durch eine sehr hohe spezifische Oberfläche aus und erreichen damit eine sehr hohe Abbaurate pro Volumeneinheit, bei gleichzeitiger Prozessstabilität (Timmons und Summerfelt 2002; Losordo et al. 1999). Bewegtbettfilter arbeiten dazu sehr energiesparend, da sie austarierte Filtermedien nutzen und mit Hilfe von hydropneumatischen Pumpen (Airlift) betrieben werden können.

Die Idee für *HatchCon* basiert im Wesentlichen auf den Erfahrungen der Projektteilnehmer im Rahmen von Aquakulturprojekten im Ausland und den dabei identifizierten Engpässen, welche eine erfolgreiche Nachzucht bzw. Setzlingsproduktion in vielen Ländern der Welt limitieren. Das Konzept eines Kreislaufsystems für die Brutaufzucht in einem Container bietet sowohl praxisrelevante, ökonomische als auch ökologische Vorteile. Diese werden im Folgenden dargestellt:

- Das Konzept *HatchCon* bietet ein standardisiertes Design für die Nachzucht verschiedener Fischarten, könnte aber auch für Krebse und Weichtiere (Muscheln) eingesetzt werden. Obwohl artspezifische Lösungen berücksichtigt werden müssen, soll das Grundkonzept dieses Containers gleich bleiben. Zielvorgabe für das Projekt ist die Entwicklung eines Designs, welches unter den verschiedensten Umweltbedingungen (Temperatur, Wind, Wasserverfügbarkeit, etc.) weltweit einsetzbar ist. Dies ermöglicht eine Serienproduktion und minimiert somit die Produktionskosten. Die Standardisierung des Designs bietet weiterhin den Vorteil einer zentralisierten Ausbildung. Die Produktionsfirma kann in Ausbildungskursen die Funktionsweise und den Umgang mit der Technologie vermitteln.
- Der Wasserverbrauch des Containers soll durch den Einsatz einer modernen Kreislauftechnologie weniger als 1% des Systemvolumens pro Tag betragen. Dies entspricht ca. 50-80 Liter pro Tag. Dadurch lassen sich auch unter extremen Bedingungen diese Systeme betreiben. Sei es in ariden Gebieten mit Wassermangel oder unter klimatisch extremen Bedingungen.

- Der Container soll durch ein innovatives Wärmemanagement nahezu in jeder Klimazone weltweit betrieben werden können. Die Biologie der Fischbrut bestimmt dabei die Umweltbedingungen im RAS und nicht der Betriebsstandort. Der Container wird mit hochwertigen Materialien isoliert, um den Temperatureinfluss des Betriebsstandorts zu minimieren. Der Container wird mit einer Klimaautomatik ausgestattet, die für die gewünschte Temperatur sorgt.
- Der Energiebedarf des Containers wird insoweit optimiert sein, dass eine eigenständige Energieversorgung über Solarpanels oder durch den Einsatz von Windenergie realisiert werden könnte.
- Der Container ermöglicht die Eierbrütung und Aufzucht der Brut. Die Eier können dabei weltweit eingekauft werden, da sie für die gängigen Fischarten relativ preiswert und einfach zu versenden sind. Im Konzept *HatchCon* wird zusätzlich angedacht, eine Komplett-Lösung für den Kunden anzustreben. Die Produktionsfirma der Container könnte die gängigen Elterntierbestände in Kreislaufsystemen halten, um dann sowohl die Container als auch die Eier und Futtermittel an die Kunden zu liefern. Eine andere Möglichkeit könnte darin bestehen, Unternehmen, die in einem Teilbereich spezialisiert sind, in einem Netzwerk einzubinden.
- Das Containerkonzept ermöglicht die Fertigung der Anlagen in Deutschland und vereinfacht die Logistik beim Vertrieb. Der Betriebsstandort des Containers kann vom Betreiber festgelegt werden und jederzeit geändert werden. Ziel des Projektes ist es, dass die Funktionsfähigkeit des Containers ungeachtet der verfügbaren Infrastruktur am Einsatzort gewährleistet ist.
- Die Produktionskapazität kann einfach durch den Zukauf weiterer Module erweitert werden.

Wie bereits erwähnt reflektiert das Konzept *HatchCon* die Forderungen internationaler Fachgremien nach nachhaltigen Konzepten für die kommerzielle Aquakultur. Nachhaltiges Wirtschaften im Bereich der Aquakultur umfasst vor allem den effizienten Einsatz von Land, Wasser, genetischer Ressourcen, Energie und Futtermitteln unter Berücksichtigung der Tragfähigkeit des Naturhaushaltes (FAO Fisheries Department 1997; European Commission 2002). Das hier vorgestellte Konzept *HatchCon* bietet dafür Lösungsvorschläge, indem die natürlichen Ressourcen, wie Land, Wasser und Energie, zielgerichtet und sparsam eingesetzt werden.

Auch für die Aquakultur ist die sichere Beherrschung der Nachzucht von kultivierten Arten essentiell. Die Unabhängigkeit von den Wildbeständen ist nicht nur aus ökologischer Sicht unabdingbar, sondern bedeutet auch wirtschaftliche Nachhaltigkeit. Arten die nicht künstlich vermehrt werden können, stellen ein unkalkulierbares wirtschaftliches Risiko dar, da die Preise für Besatzmaterial an die Verfügbarkeit der Wildbestände gekoppelt sind. Eine steigende Nachfrage oder die Überfischung der Wildbestände führen schnell zu einer Erhöhung der Kosten für Besatzmaterial, woraus wirtschaftliche Probleme bis zur Insolvenz resultieren können. Die Intensivierung der Aal-Aquakultur ist ein gutes Beispiel. Durch rückläufige Glasaalfänge und steigende Nachfrage, insbesondere aus Asien, explodierten geradezu die Setzlingspreise. Dies führte zum Bankrott zahlreicher Betriebe, obwohl der Aal nach wie vor einen guten Verkaufserlös erzielt. Somit zeigt sich, dass eine erfolgreiche Nachzucht nicht nur für Besatzmaßnahmen ein einträgliches Geschäft darstellen kann, sondern auch der Verkauf von Setzlingen an Betriebe der Aquakultur. Die Anwendungsmöglichkeiten für das hier vorgestellte Konzept sind somit auf dem wachsenden Markt der Aquakultur deutlich zu erkennen. Die Kreislauftechnologie, insbesondere der Stand der Technik, der auch maßgeblich durch deutsche Unternehmen repräsentiert wird, bietet zahlreiche Vorteile, die vor allem bei der Nachzucht von großem Interesse sind. Insbesondere die Kontrolle der Umweltbedingungen ist ein entscheidender Vorteil gegenüber offenen Systemen. In der Vergangenheit wurde der Erfolg von Kreislaufsystemen meist durch wirtschaftliche Faktoren, wie z.B. die Investitions- und Betriebskosten begrenzt. Dies gilt vor allem bei Mastanlagen. Der Kostenfaktor bei dem hier vorgestellten System ist nicht sehr relevant, da das notwendige Wasservolumen eher gering ist.

Es muss daraufhin gewiesen werden, dass die containerbasierte Brutanstalt *HatchCon* keine zwingende Notwendigkeit für das Projekt in Karakalpakstan darstellt. Die Entwicklung eines Pilot-Containers ist eine Aufgabenstellung mit erhöhtem Investitionsaufwand, der durch klein- und mittelständige Betriebe nur schwer zu realisieren ist. Die Kreislauftechnologie ist jedoch generell gesehen die Methode der Wahl, eine erfolgreiche Nachzucht für ein Besatzprogramm in Karakalpakstan zu implementieren. Daher wird im Rahmen dieses Projektes nicht zwingend der Einsatz eines Pilot-Containers im Ausland angestrebt, sondern der erfolgreiche Aufbau eines Besatzprogramms. Die bereits bestehenden Kontakte nach Karakalpakstan können für eine Evaluierung des Projektstandorts genutzt werden.

Dabei wäre folgende Herangehensweise vorstellbar:

- Auswahl von 1-2 Seen in Karakalpakstan. Voraussetzung wäre, dass diese jeweils von einem mit dem Projekt kooperierenden Fischereibetrieb bewirtschaftet werden.

- Implementierung eines geeigneten Monitoring Programms für die Erhebung ökologisch und biologisch relevanter Daten in den ausgewählten Seen
- Aufbau eines Bruthauses in der Region
- Austausch von Wissenschaftlern mit Erfahrungen auf dem Gebiet der Reproduktionsbiologie und Erfahrungen bei der künstlichen Vermehrung von Fischen
- Aufbau von Elterntierbeständen
- Wissenschaftliche Betreuung von deutscher Seite während der Vermehrung, Setzlingsaufzucht und dem Besatz

Dennoch bietet die Region Karakalpakstan auch für den Einsatz eines Pilotcontainers, gerade in Bezug auf die Herausforderungen, die an einen solchen Container gestellt werden, beste Voraussetzungen und wäre speziell auch für die Nachzucht von Wildarten für Besatzmaßnahmen in Karakalpakstan von Interesse. Dem Vorbild staatlicher Brutanstalten in Deutschland folgend, können laichbereite Elterntiere gefangen und künstlich vermehrt werden. Die Brut wird anschließend wieder in die natürlichen Gewässer ausgesetzt. Durch diese Vorgehensweise können vor allem die Fischbestände vermehrt werden, die durch den Rückgang der natürlichen Laichhabitats nur einen geringen Fischereiertrag erbringen.

Das Konzept *HatchCon* ist jedoch auch aus einer ökonomischen Perspektive zu betrachten. Den Kunden eines solchen Containers könnten ebenfalls Komplett-Lösungen angeboten werden können, in denen auch die befruchteten Eier und die einzusetzenden Futtermittel weltweit geliefert werden können. Es ist denkbar, dass das Konzept *HatchCon* in Deutschland soweit entwickelt wird, dass die Versorgung mit befruchteten Eiern aus in Deutschland stationierten Betrieben mit eigenem Elterntierbestand erfolgen kann. Damit könnte ein zentraler Sektor der Aquakultur in Deutschland aufgebaut werden, der international arbeitet. Deutschland als Technologiestandort bietet dafür die besten Voraussetzungen und verfügt über die wissenschaftliche Expertise in zentralen Bereichen. Das Konzept *HatchCon* bietet zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, insofern die Eierbrütung und Brutaufzucht in der Regel immer den Anfang einer Fischproduktion in der Aquakultur darstellt. Dennoch ist der Container nicht nur auf diesen Bereich beschränkt. Er könnte, in einer erweiterten Form, ebenso zur Haltung von Elterntieren verwendet werden. Auch wenn Usbekistan eine ideale Pilotregion für das Konzept *HatchCon* ist, handelt es sich dabei um ein weltweit einsetzbares Konzept zur Nachzucht in der Aquakultur produzierter Arten.

Zielsetzung des hier vorgestellten Projektes ist der Aufbau eines Besatzprogramms im Pilotmaßstab, um der Bevölkerung und vor allem den Fischern zu demonstrieren, dass damit ein wichtiger Beitrag zum Fischereiertrag und zur Erhaltung der Biodiversität in Karakalpakstan geleistet werden kann.

## Appendix D – Idea for a Recirculating Aquaculture System (RAS) Design

During the past years the trend has also been to move from conventional open systems to high density and highly productive land-based recirculation systems, at least at experimental and pilot scale and in growing number of cases at commercial scale. These systems can be considered as artificial ecosystems with alternative production schemes compared to conventional systems, providing optimal natural conditions for organisms while being uncoupled from natural ecosystems. This trend has been triggered by several simultaneously acting factors which are coupled with the need for specialization, for example: (a) holding brood stocks under controlled conditions to secure timed maturation, (b) master larval development and growth, and (c) promote fingerling or juvenile production at fixed rates.

Recirculating systems have been investigated by many authors. Before the turn of the century the work was mainly descriptive and analytical as summarized by Rosenthal (1981). With the beginning of the new millennium numerous studies looked at overall system performance and on specific dynamics of individual processes and components (Rosenthal 1981; Blancheton 2000; Lee *et al.* 2000; Lefebvre *et al.* 2001; Timmons und Summerfelt 2002; Piedrahita 2003; Barak *et al.* 2003; Waller *et al.* 2003; Waller *et al.* 2005; Bischoff *et al.* 2005; Wecker *et al.* 2006).

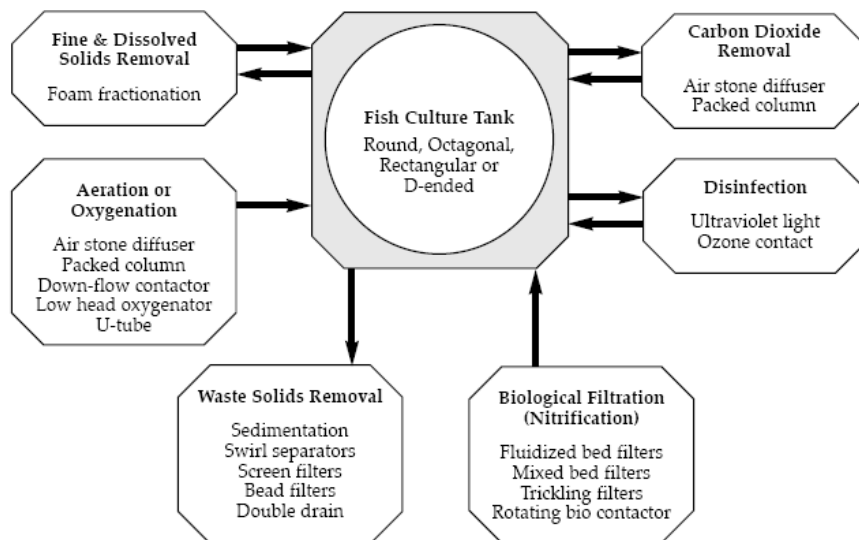


Figure 11.16 – Required unit processes and some typical components used in recirculating aquaculture production systems (Losordo *et al.* 1998)

During the past ten years research on recirculation systems and its application in aquaculture has been extensive, with many studies considering technical aspects of system component design and their performance. The application of treatment units to solve biological needs like the removal of phosphorous (Barak et al., 2003; House et al., 1998), the control of denitrification processes (Lee et al., 2000), the prediction of fish waste output (Lupatsch and Kissil, 1998), the nitrification performance and kinetic of biofilters (Seo et al., 2001; Timmons et al., 2001; Kim et al., 2000; Chen et al., 2006; Michaud et al., 2006), and the nutrient budgets for specific species (Thoman et al., 2001) have been extensively addressed with varying results.

There is no single recommended design for a recirculating aquaculture system. Figure 11.16 summarized the required unit processes and gives an overview about some typical components used.

The conceptual RAS design developed in this study contains various advantages compared to conventional recirculating systems. It can be used mainly for the intensive productions of fresh water fishes with focus on catfish and sturgeon. The suggested design serves as a discussion basis for the development of more economically and productive aquaculture production systems.

The concept contains the following characteristics:

- Complete construction from concrete without complex pipe work systems
- One level base plate
- Low head system
- Circulation by airlifts, pipe pumps or aqua jet
- Modular construction
- Circular water flow to concentrate the settable solid waste in the center of the fish basin
- Separated water loops for sedimentation and biofiltration incl. separation of suspended solids by foam fractionation

The RAS design is shown schematically in Figure 11.17. The configuration of units is given in Table 11.9 on a basis of a 100m<sup>3</sup> fish tank.

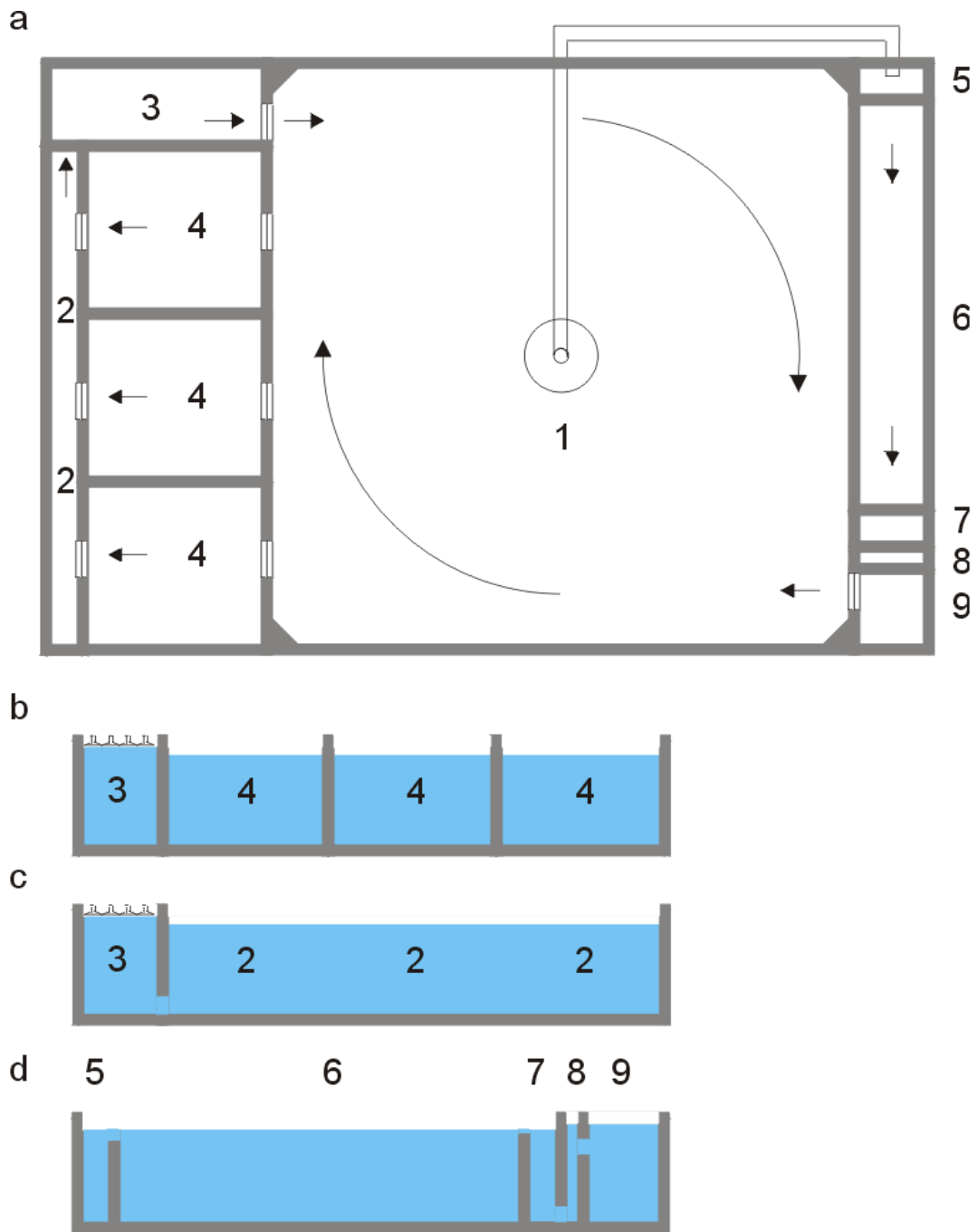


Figure 11.17 – RAS concept: a) top view fish basin [1] and water treatment units [2-9] b) intersection foam fractionation [3] and biofilter [4] c) intersection foam fractionation [3] and UV / Ozone treatment [2] d) intersection sedimentation [5-9]. For more detailed description of the RAS units see Table 11.9.



Table 11.9 – Characteristics of RAS units

No.	Compartment	Surface (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Recomm. Flow (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Retention (min)
1	Fish Basin	64	100,0	150	40
2	UV oder Ozone Treatment	3,3	5,2	135	2
3	Foam Fractionation	3	4,7	135	2
4	Moving Bed Biofilter	18	28,1	135	13
5	Inlet Zone Sedimentation	0,5	0,8	15	3
6	Settling and Sludge Zone	5,5	8,6	15	34
7	Outlet Zone Sedimentation	0,5	0,8	15	3
8	Airlift	0,3	0,5	15	2
9	Outlet Zone	1,1	1,7	15	7
Total		96,2	150,3		

**Fish basins:** The octagonal design or square design with rounded corners and the arrangement of in- and outlets of water treatment units support the circular water flow. The circular water flow and aeration can be enhanced by aqua jets. The circular flow promotes the behavior of fish. Furthermore the settleable solids cumulate in the center of fish basin and can be easily removed in a bypass with lower flow rates.

**Sedimentation:** The sedimentation is processing 10% of the recirculating flow to remove the settleable solids. This low flow rate is possible due to the pre-treatment of settleable solids in the fish basin as described above. The settling zone may or may not include tube or lamella sedimentation material. By this the size requirement of the settling basin can be reduced. The sludge is removed by airlifts.

**Biofiltration:** Moving bed reactors are a new and interesting cross between upflow plastic bead filters and fluidized bed reactors. These filters use a plastic media kept in a continuous state of

movement. The beads are usually buoyant or slightly heavier than water. The specific surface/volume ration is about  $800-1000\text{m}^2/\text{m}^3$ . The plastic beads are mixed by hydraulic means driven by air. Therefore at the bottom of the biofilter runs an air pipe. The water flow can be enhanced by a slight slope in the direction of the longitudinal center.

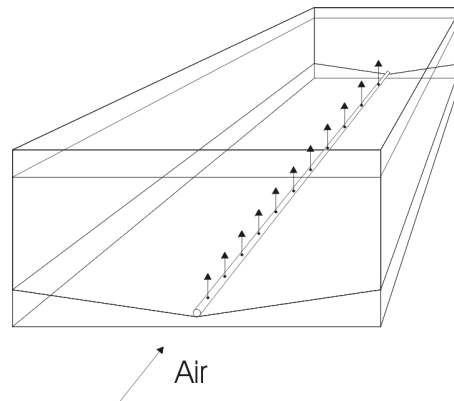


Figure 11.18 – Design of a moving bed biofilter. The beads are not shown. Contrary to Figure 11.17 the biofilter is not separated in different chambers.

**Foam Fractionation:** Many of the fine suspended solids and dissolved organic solids that build up within intensive recirculation systems cannot be removed with traditional mechanisms. Foam fractionation is used to remove and control the build-up of these solids. This process, in which air introduced into the bottom of closed column of water creates foam at the surface of the column, removes dissolved organic compounds by physically adsorbing on the rising bubbles. Fine particulate solids are trapped within the foam at the top of the column, which can be collected and removed. The main factors affected by the operational design of the foam fractionator are bubble size and contact time between the air bubbles and dissolved organic compounds.

The application of a foam fractionation device within this draft of RAS is not that easy, because the low head design and construction height have to be considered. However, adaptable solutions have to be discussed with the supplier and can not be given within this study.

## Appendix E – List of Fish Species in Uzbekistan

Table 11.10 - Species List for native and introduced fishes in Uzbekistan

### ACIPENSERIDAE

*Acipenser nudiventris* (Lovetzky) LC\*

*Pseudoscaphirhynchus kaufmanni* (Kessler) LC\*

*Pseudoscaphirhynchus hermanni* (Kessler) LNC

*Pseudoscaphirhynchus fedtschenkoi* (Kessler) LNC

### SALMONIDAE

*Salmo trutta oxianus* (Kessler) LC

*Salmo ischchan issykogegarkuni* (Luschin) AC

*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) AC

### COREGONIDAE

*Coregonus peled* (Gmelin) AC

*Coregonus sardinella* (Valenciennes) AAC

*Coregonus lavaretus ludoga* AAC

### ESOCIDAE

*Esox lucius* (Linnaeus) LC

### CYPRINIDAE

*Rutilus rutilus aralensis* (Berg) LC

*Rutilus rutilus bucharensis* (Nikolsky) LC

*Leuciscus lehmanni* (Brandt) LNC

---

<i>Leuciscus squaliusculus</i> (Kessler)	LNC
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus)	LNC
<i>Ctenopharyngodon idella</i> (Valenciennes)	AC
<i>Mylopharyngodon piceus</i> (Richardson)	AAC
<i>Aspiolucius esocinus</i> (Kessler)	LC*
<i>Aspius aspius iblioides</i> (Kessler)	LC
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> (Berg)	AANC
<i>Tinca tinca</i> (Linnaeus)	AC*
<i>Pseudorasbora parva</i> (Schlegel)	AANC
<i>Gobio gobio lepidolaemus</i> (Kessler)	LNC
<i>Pseudogobio rivularis</i> (Basilewsky)	AANC
<i>Varicorhinus steindachneri</i> (Boulenger)	LC
<i>Barbus capito conocephalus</i> (Kessler)	LC
<i>Barbus brachycephalus brachycephalus</i> (Kessler)	LC*
<i>Schizothorax intermedius</i> (McClelland)	LC
<i>Diptychus maculatus</i> (Steindachner)	LNC
<i>Diptychus dybowskii</i> (Kessleri Russky)	LNC
<i>Chalcalburnus chalcoides aralensis</i> (Berg)	LNC
<i>Alburnoides bipunctatus eichwaldi</i> (Filippi)	LNC
<i>Alburnoides taeniatus</i> (Kessler)	LNC
<i>Alburnoides oblongus</i> (Bulgakov)	LNC

---

<i>Abramis brama orientalis</i> (Berg)	LC
<i>Parabramis pekinensis</i> (Basilewsky)	AANC
<i>Capoetobrama kuschakewitschi kuschakewitschi</i> (Kessler)	LNC
<i>Hemicultur leusiculus</i> (Basilewsky)	AANC
<i>Hemicultur lucidus</i> (Pub.)	AANC
<i>Pelecus cultratus</i> (Linnaeus)	LNC
<i>Rhodeus ocellatus</i> (Kner)	AANC
<i>Carassius gibelio</i> (Bloch)	LC
<i>Cyprinus carpio carpio</i> (Linnaeus)	LC
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes)	AC
<i>Hypophthalmichthys nobilis</i> (Richardson)	AAC
COBITIDAE	
<i>Triplophysa strauchii strauchii</i> (Kessler)	AANC
<i>Triplophysa labiata</i> (Kessler)	AANC
<i>Triplophysa dorsalis</i> (Kessler)	LNC
<i>Triplophysa stoliczkai</i> (Steindachner)	LNC
<i>Nemacheilus oxianus</i> (Kessler)	LNC
<i>Nemacheilus kuschakewitschi</i> (Herzenstein)	LNC
<i>Dzhunia amudarjensis</i> (Rass)	LNC
<i>Noemacheilus amudarjensis choresmi</i> (Berg)	LNC
<i>Nemacheilus longicaudus</i> (Kessler)	LNC

---

<i>Sabanejewia aurata aralensis</i> (Kessler)	LNC
SILURIDAE	
<i>Silurus glanis</i> (Linnaeus)	LC
SISORIDAE	
<i>Glyptosternon reticulatum</i> (McClelland)	LNC
ICTALURIDAE	
<i>Ictalurus punctatus</i> (Rafinesque)	AC
ORYZIATIDAE	
<i>Oryzias latipes</i> (Temminck et Schlegel)	AANC
GASTEROSTEIDAE	
<i>Pungitius platygaster aralensis</i> (Kessler)	LNC
POECILIDAE	
<i>Gambusia holbrooki</i> (Baird & Girard)	ANC
ATHERINIDAE	
<i>Atherina boyeri</i> (Risso)	ANC
CHANNIDAE	
<i>Channa argus warpachowskii</i> (Berg)	AAC
PERCIDAE	
<i>Stizostedion lucioperca</i> (Linnaeus)	AC
<i>Perca fluviatilis</i> (Linnaeus)	LNC
<i>Perca schrenkii</i> (Kessler)	AANC

---

<i>Gymnocephalus cernuus</i> (Linnaeus)	LNC
ELEOTRIDIDAE	
<i>Micropercops cinctus</i> (Dabry & Thiersani)	AANC
GOBIIDAE	
<i>Rhinogobius</i> sp.	AANC
COTTIDAE	
<i>Cottus spinulosus</i> (Kessler)	LNC
<i>Cottus gobio jaxartensis</i> (Berg)	LNC
<i>Cottus rosalis</i> (Berg)	LNC
PLEURONECTIDAE	
<i>Platichthys flesus</i> (Linnaeus)	AANC

## 12 Reference List

1. Asgard,T., Austreng,E., Holmefjord,I., and Hillestad,M. 1999. Resource efficiency in the production of various species. *In Sustainable Aquaculture: Food for the Future? Proceedings of the second international symposium on sustainable aquaculture/Oslo/Norway/2-5 November 1997. Edited by N.Svennevig, H.Reinertsen, and M.New. A.A.Balkema, Rotterdam pp. 171-183.*
2. Barak,Y., Cytryn,E., Gelfand,I., Krom,M.D., and Riley,J.G. 2003. Phosphorus removal in a marine prototype, recirculating aquaculture system. *Aquaculture 220: 313-326.*
3. Beveridge,M.C.M. and Little,D.C. 2002. The history of aquaculture in traditional societies. *In Ecological Aquaculture - The evolution of the blue revolution. Edited by B.A.Costa-Pierce. Blackwell Science, Oxford pp. 3-29.*
4. Bischoff,A., Kube,N., Wecker,B., and Waller,U. 2005. MARE - Marine artificial recirculated ecosystem: Steps towards closed systems for the production of marine organisms. *European Aquaculture Society Special Publication 35: 135-136.*
5. Blancheton,J.P. 2000. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species. *Aquacultural Engineering 22: 17-31.*
6. Bovendeur,J., Eding,E.H., and Henken,A.M. 1987. Design and Performance of a water recirculation system for high-density culture of the African catfish, *Claria gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture 63: 329-353.*
7. Boyd,C.E. 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture 226: 101-112.*
8. Brazil,B.L., Summerfelt,S.T., and Libey,G.S. 1998. Application of ozone to recirculating aquaculture system. *NRAES 1: 373-389.*
9. Chen,S., Stechey,D., and Malone,R.F. 1997. Suspended solids control in recirculating aquaculture systems. *In Aquaculture water reuse systems: Engineering design and management. Edited by M.B.Timmons and T.M.Losordo. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands pp. 61-100.*
10. Chopin,T., Buschman,A.H., Halling,C., Troell,M., Kautsky,N., Neori,A., Kraemer,G.P., Zertuche-Gonzales,J.A., Yarish,C., and Neefus,C. 2001. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. *Journal of Phycology 37: 975-986.*
11. Colberg,P.J. and Lingg,A.J. 1978. Effect of ozonation on microbial fish pathogens, ammonia, nitrate, nitrite, and BOD in simulated reuse hatchery water. *J.Fish.Res.Board Can. 35: 1290-1296.*
12. Costa-Pierce,B.A. 2002. *Ecological Aquaculture - The evolution of the blue revolution. Blackwell Science, Oxford.*
13. EIFAC 1986. *Flow-through and Recirculation Systems. Report of the working group on terminology, format and units of measurement. EIFAC Technical Paper 49.*



14. Eleftheriou, M. 1997. *Aqualex: A Glossary of Aquaculture Terms*. John Wiley & Sons, Chichester.
15. European Commission. A strategy for the sustainable development of European aquaculture. [http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/cnc/2002/com2002\\_0511en01.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/cnc/2002/com2002_0511en01.pdf) . 2002.
16. FAO. World review of fisheries and aquaculture. Editorial Group FAO Information Division. FAO , 1-150. 2002.

## Ref Type: Electronic Citation

17. FAO Fisheries Department 1997. *Aquaculture development. FAO technical guidelines for responsible fisheries No.5*. FAO, Rome, Italy.
18. Heinsbroek, L.T.N. 1990. Design and performance of water recirculation systems for the future. *Aquacultural Engineering* 9: 187-207.
19. Knud-Hansen, C. F. Pond fertilization: Ecological approach and practical application. <http://govdocs.aquaculture.org/cqi/reprint/2003/803/8030130> . 1998.
20. Krumins, V., Ebeling, J., and Wheaton, F. 2001. Part-day ozonation for nitrogen and organic carbon control in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 24: 231-241.
21. Lawson, T.B. and Wheaton, F. 1979. Purification in fish culture wastewater by foam fractionation. *American Soc. Agric. Eng. (ASAE) Paper No.78-5539*, St. Joseph, Michigan.
22. Lawson, T.B. and Wheaton, F. 1980. Removal of organics from fish culture water by foam fractionation. *Proc. World Maric. Soc.* 11: 128-134.
23. Lee, P.G., Lea, R.N., Dohmann, E., Prebilsky, W., Turk, P.E., Ying, H., and Whiston, J.L. 2000. Denitrification in aquaculture systems: an example of a fuzzy logic control problem. *Aquacultural Engineering* 23: 37-59.
24. Lefebvre, S., Bacher, C., Meuret, A., and Hussenot, J. 2001. Modelling nitrogen cycling in a mariculture ecosystem as a tool to evaluate its outflow. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52: 305-325.
25. Losordo, T.M., Masser, M.P., and Rakocy, J.E. 1999. *Recirculating aquaculture tank production systems: A review of component options*. SRAC Publication 453.
26. Menasveta, P., Panritdam, T., Sihanonth, P., Powtongsook, S., Chuntapa, B., and Lee, P. 2001. Design and function of a closed, recirculating seawater system with denitrification for the culture of black tiger shrimp broodstock. *Aquacultural Engineering* 25: 35-49.
27. Meunpol, O., Lopinyosiri, K., and Menasveta, P. 2003. The effects of ozone and probiotics on the survival of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Aquaculture* 220: 437-448.
28. Neori, A., Chopin, T., Troel, M., Buschman, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, A.M., and Yarish, C. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture* 231: 361-391.

29. Otte,G. and Rosenthal,H. 1979. Management of a closed brackish water system for high density fish culture by biological and chemical water treatment. *Aquaculture* 18: 169-181.
30. Paller,M.H. and Lewis,W.M. 1988. Use of ozone and fluidized-bed biofilters for increased ammonia removal and fish loading rates. *The Progressive Fish-Culturist* 50: 141-147.
31. Phillips,M.J., Beveridge,M.C.M., and Clarke,R.M. 1991. Impact of aquaculture on water resources. *In Aquaculture and Water Quality. Edited by E.D.Brune and J.R.Tomasso.* World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA pp. 568-591.
32. Piedrahita,R.H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226: 35-44.
33. Rosenthal,H. 1981. Ozonation and sterilization. *In Proceedings of World Symposium on Aquaculture in Heated Effluents and Recirculation Systems. Edited by K.Tiews.* Berlin pp. 219-274.
34. Rosenthal,H., Chiba,K., and Krüner,G. 1984. Daily fluctuation of water quality in a recirculating system and its influence on the performance of a rotating bionet biological filter. ICES Council Meeting 1984/F: 20 Mariculture Committee 1-11.
35. Rosenthal,H. and Krüner,G. 1984. Kombination von biologischer Wasseraufbereitung und Ozonisierung in einem geschlossenen Meerwasser-Kreislaufsystem. Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik GmbH, Karlsruhe.
36. Rosenthal,H. and Wilson,J.S. 1987. An updated bibliography (1845-1986) on ozone, its biological effects and technical applications. *Can.Tech.Rep.Fish.Aquat.Sci.* 1542: 1-249.
37. Rueter,J. and Johnson,R. 1995. The use of ozone to improve solids removal during disinfection. *Aquacultural Engineering* 14: 123-141.
38. Schneider,O., Sereti,V., Eding,E.H., and Verreth,J.A.J. 2005. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 32: 379-401.
39. Scott,K.R. and Allard,L. 1984. A four-tank water recirculation system with a hydrocyclone prefilter and a single water reconditioning unit. *The Progressive Fish-Culturist* 46: 254-261.
40. Singh,S., Ebeling,J., and Wheaton,F. 1999. Water quality trials in four recirculating aquacultural system configurations. *Aquacultural Engineering* 20: 75-84.
41. Singh,S. and Wheaton,F. 1999. Ozone Application in Aquaculture. *Aquaculture Magazine* 25: 58-63.
42. Stickney,R.R. 1994. Principles of aquaculture. John Wiley & Sons, New York.
43. Summerfelt,S.T. 2002. An integrated approach to aquaculture waste management in flowing water systems. *Proceedings of the 2nd International Conference on Recirculating Aquaculture.[np].2002* 87-97.

44. Summerfelt, S.T. and Hochheimer, J.N. 1997. Review of ozone processes and applications as an oxidizing agent in aquaculture. *The Progressive Fish-Culturist* 59: 94-105.
45. Suzuki, Y., Maruyama, T., Numata, H., Sato, H., and Asakawa, M. 2003. Performance of a closed recirculating system with foam separation, nitrification and denitrification units for intensive culture of eel: towards zero emission. *Aquacultural Engineering* 29: 165-182.
46. Timmons, M.B. and Summerfelt, S.T. 2002. Application of fluidized-sand biofilters to aquaculture. *Proceedings of the 2nd International Conference on Recirculating Aquaculture*. [np]. 2002 342-354.
47. Troell, M., Halling, C., Neori, A., Chopin, T., Buschman, A.H., Kautsky, N., and Yarish, C. 2003. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture* 226: 69-90.
48. Twarowska, J.G., Westermann, P.W., and Losordo, T.M. 1997. Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. *Aquacultural Engineering* 16: 133-147.
49. Waller, U., Bischoff, A., Orellana, J., Sander, M., and Wecker, B. 2003. An advanced technology for clear water aquaculture recirculation systems: Results from a pilot production of Sea bass and hints towards "Zero Discharge". *European Aquaculture Society Special Publications No.33* 356-357.
50. Waller, U., Orellana, J., Schiller, A., and Sander, M. 2002. The growth of young sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in a new type of re-circulation system. *ICES CM 2001/Session S*.
51. Waller, U., Sander, M., and Piker, L. 2001. Low energy and low water consumption recirculating system for marine fish: first results from a test run with *Dicentrarchus labrax* in an improved recirculating system and suggestions on an integration into secondary production lines. *European Aquaculture Society Special Publication* 29: 265-266.
52. Waller, U., Sander, M., and Orellana, J. 2005. A "low energy" commercial scale recirculation system for marine finfish. *European Aquaculture Society Special Publication*.
53. Wecker, B. Nährstofffluss in einer geschlossenen Kreislaufanlage mit integrierter Prozesswasserklärung über Algenfilter - Modell und Wirklichkeit.
54. Wecker, B., Kube, N., Bischoff, A., and Waller, U. 2006. MARE - Marine Artificial Recirculating Ecosystem: feasibility and modelling of a novel integrated recirculation system. *In The integration of microalga photobioreactors in a recirculation system for low water discharge mariculture (Dr. Thesis)*. Edited by N.Kube. Leibniz-Institute of Marine Sciences, Kiel pp. 39-88.
55. Wheaton, F., Lawson, T.B., and Lomax, K.M. 1979. Foam fractionation applied to aquacultural systems. *Proc. World Maric. Soc.* 10: 795-808.
56. Williams, R.C., Hughes, S.G., and Rumsey, G.L. 1982. Use of ozone in a water reuse system for salmonids. *Progressive Fish-Culturist* 44: 102-105.

57. World Water Council 2000. World Water Vision: Making Water Everybody's Business. Earthscan Publications Ltd, London, UK.

## **Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück**

1. Eberhard Umbach: Umweltverträgliches Wirtschaftssystem in den Bereichen Abfall und Emissionen. März 1997.
2. Stefan Trapp, Bernhard Reiter, Michael Matthies: Überprüfung und Fortentwicklung der Bodenwerte für den Boden-Pflanze-Pfad - Teilprojekt Transferfaktoren Boden-Pflanze. August 1997.
3. Michael Matthies (Hrsg.): Stoffstromanalyse und Bewertung. September 1997.
4. Dirk Melcher: Quantifizierung, Klassifizierung und Modellierung der Phytotoxizität organischer Chemikalien. Oktober 1997.
5. Stefan Schwartz: Organische Schadstoffe in der Nahrungskette - Vorstudie zur Validierung von Expositionsmodellen. November 1997.
6. Volker Berding: Private Hausbrunnen - Vergleichende Bewertung von Maßnahmen zur Verbesserung der Trinkwasserqualität. Oktober 1997.
7. Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften I. Januar 1998.
8. Birgit Radtke: Bifurkationen in einem Modell mariner Planktodynamik. Januar 1998.
9. Werner Berens: Konzeption eines Umweltinformationssystems für die Universität Osnabrück. Juni 1998.
10. Michael Matthies (Hrsg.): Studienprojekte 1998. September 1998.
11. Michael Matthies (Hrsg.): Globaler Wandel. September 1998.
12. Klaus Brauer (Hrsg.): Institutsbericht. September 1998.
13. Klaus Brauer, Horst Malchow, Michael Matthies, Eberhard Umbach (Hrsg.): Materialien des Arbeitstreffens Systemwissenschaft in der Lehre, Universität Osnabrück, 29./30.9.1998. Dezember 1998.
14. Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften II. Dezember 1998.
15. Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften III. August 1999.
16. Michael Matthies (Hrsg.): Regionale Nachhaltigkeit. September 2000.
17. Markus Klein: Langjähriger Wasserhaushalt von Gras- und Waldbeständen. Entwicklung, Kalibrierung und Anwendung des Modells LYFE am Groß-Lysimeter St. Arnold. Juni 2000.
18. Markus Brune: Multimediale Umweltmodellierung mit Fuzzy-Mengen. Juli 2000.
19. Michael Matthies (Hrsg.): Fraktale in Hydrologie und Biologie. Oktober 2000.
20. Stefan Fuest (Dissertation): Regionale Grundwassergefährdung durch Nitrat. Dezember 2000.
21. Carsten Schulze (Dissertation): Modelling and evaluating the aquatic fate of detergents. Januar 2001.

Die Beiträge können gegen einen Selbstkostenpreis (ca. 10 EUR pro Exemplar) beim Institut für Umweltsystemforschung, Universität Osnabrück, 49069 Osnabrück bestellt werden.

Alle folgenden Beiträge sind herunterzuladen unter <http://www.usf.uos.de/usf/beitraege/>.

22. Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften IV. Januar 2001.
23. Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften V. August 2001.
24. Kai Leßmann (Diplomarbeit): Probabilistic Exposure Assessment. Parameter Uncertainties and their Effects on Model Output. November 2002.
25. Frank M. Hilker (Diplomarbeit): Parametrisierung von Metapopulationsmodellen. März 2003.
26. Nadja Rüter (Diplomarbeit): Habitat suitability for *Populus euphratica* in the Northern Amudarya delta - a fuzzy approach. Juni 2003.
27. Claudia Pahl-Wostl, Eva Ebenhöf (Hrsg.): Komplexe Adaptive Systeme. Juli 2003.
28. Horst Malchow (Hrsg.): Chaos und Ordnung in Natur und Gesellschaft. Dezember 2004.
29. Andreas Focks (Diplomarbeit): Modeling the transfer of antibiotic drug resistance genes between *E. coli* strains. Juni 2005.
30. Christiane Zarfl (Diplomarbeit): Modellierung von Arsen in der Mulde. Juni 2005.
31. Sven Lautenbach (Dissertation): Modellintegration zur Entscheidungsunterstützung für die Gewässergütebewirtschaftung im Einzugsgebiet der Elbe. November 2005.
32. Frank M. Hilker and Frank H. Westerhoff: Control of chaotic population dynamics: Ecological and economic considerations. November 2005.
33. Harold Fellermann (Diplomarbeit): Micelles as containers for protocells. Dezember 2005.
34. Jens Newig, Oliver Fritsch (Hrsg.): Effektivität von Beteiligungsprozessen. Mai 2006.
35. Ba Kien Tran (Diplomarbeit): Modellierung biologischer Invasionen mit Reaktions-Diffusionsgleichungen. Juli 2006.
36. Ivo Siekmann (Diplomarbeit): Agentenbasierte Modellierung von Persönlichkeitsunterschieden auf der Grundlage der PSI-Theorie. Juli 2006.
37. Tobias Ceglarek (Diplomarbeit): Irreguläre Oszillationen in drei- und vierkomponentigen populationsdynamischen Modellen. September 2006.
38. Horst Malchow (Hrsg.): Komplexe Systeme und nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Dezember 2006.
39. Jens Newig, Veronika Gaube, Karin Berkhoff, Kai Kaldrack, Britta Kastens, Juliana Lutz, Bianca Schlußmeier, Heidelinde Adensam, Helmut Haberl, Claudia Pahl-Wostl, Armand Colard, Bettina Aigner, Rudolf Maier, Wolfgang Punz: Partizipative Modellbildung, Akteurs- und Ökosystemanalyse in Agrarintensivgebieten. Juli 2007.
40. Bert Wecker, Bakhtiyor Karimov, Bakhtiyar Kamilov, Uwe Waller, Michael Matthies, Helmut Lieth: Sustainable Aquaculture in Recirculating Systems – Feasibility Study for the Catchment Area of the Aral Sea. März 2007.
41. Michael Matthies (Hrsg.): Klimawandel. Oktober 2007.