

EnviaTec

*Entwicklungsgesellschaft für Umweltinformations-
und -managementsysteme mbH
im Innovations- und Gründerzentrum Berlin-Adlershof
Stadt für Wissenschaft, Wirtschaft und Medien
Rudower Chaussee 29
D-12489 Berlin*

- Endbericht -

Beratungshilfe

**bei der Erstellung des Masterplans / der Regionalpläne
Wasser/Abwasser für die Republik Kroatien
am Beispiel der Inselgruppe Mali und Veli Drvenik**

UBA FKZ 380 01 085

Berlin, den 31. Januar 2005

Inhaltsverzeichnis

1. Projektübersicht.....	4
1.1. Zielstellung	4
1.2. Wichtigste Meilensteine.....	5
2. Ausgangssituation	9
2.1. Topographie/Vegetation/Klima	9
2.2. Besiedlungsdichte	12
2.3. IST- Zustand 2001.....	13
2.3.1. Anzahl der Häuser	13
2.3.2. Einwohnerzahlen 2001.....	13
2.4. Planung 2015	14
2.5. Planung bis 2030.....	14
2.6. Trinkwasserversorgung/Abwasserbehandlung.....	14
3. Basisdaten und Qualitätsziele	16
3.1. Spez. Abwassermengen	16
3.2. Spez. Abwasserfrachten	16
3.3. Qualitätsziele der Abwasserbehandlung	17
3.4. (Ab)Wassermengen und Frachten	17
4. Abwasserentsorgungssysteme.....	19
4.1. Allgemeine Planungsansätze	19
4.2. Entwässerungsverfahren.....	21
4.2.1. Freigefälleleitungen	21
4.2.2. Druckentwässerung	21
4.2.3. Unterdruckentwässerung	22
4.2.4. Planung des Abwassersammlersystems.....	23
4.2.5. Abwassersammler Hafen Drvenik Veli	24
5. Abwasserbehandlungsverfahren	28
5.1. Allgemeine Planungsansätze	28
5.2. Abwasserbehandlung in kleinen Kläranlagen.....	29
5.2.1. Naturnahe Verfahren.....	30
5.2.2. Technische Verfahren	33
5.3. Dezentrale Hauskläranlagen für Drvenik Mali	41
5.4. Zentrale Abwasserbehandlungsanlage für Drvenik Veli	42
5.4.1 Dimensionierung	44
5.4.2 Standort und technische Ausführung der Kläranlage	45
5.4.3 Investitionskosten.....	46

5.4.4	Betriebskosten	46
6.	Schlammanfall, Entsorgung und Verwertung	47
6.1.	Zentrale Kläranlage Drvenik Veli	47
6.2.	Schlamm aus den Hauskläranlagen von Drvenik Veli	49
6.3.	Schlamm aus den Hauskläranlagen von Drvenik Mali	51
7.	Zusammenfassung	52
7.1.	Ist-Zustand	52
7.2.	Grundzüge der gewählten Abwasserbeseitigung	53
7.3.	Gewählte Abwasserbehandlungsverfahren	54
7.4.	Schlammanfall, Entsorgung und Verwertung	55
Anhang 1	Letter of Intent zur Durchführung des Projektes/ Republic of Croatia, State Water Directorate.....	56
Anhang 2	Construction Programme for Phase I of the Water Supply System for the Islands of Drvenik Veli and Drvenik Mali	58
Anhang 3	Terms of Reference for the Development of the Conceptual Design for the Sewerage and Wastewater Treatment System of the Islands of Drvenik Veli and Drvenik Mali.....	66
Anhang 4	Topographische Karten Drvenik Veli und Mali	73
Anhang 5	Abbildungen zur Technik der Sammlung, Fortleitung und Behandlung der Abwässer	76
Anhang 6	Entwässerungsplan Drvenik Veli.....	85
Anhang 7	Hydraulische Berechnung der Druckleitung	86
Anhang 8	Richtpreisangebot Vakuumentwässerungssystem Roediger Vakuumtechnik GmbH	87
Anhang 9	Richtpreisangebot SBR-Anlage BIOGEST	88
Anhang 10	Anlagenspezifische Kenndaten SBR-Anlage BIOGEST	89
Anhang 11	DVD mit Fernsehbericht über das Projekt.....	90

1. Projektübersicht

1.1. Zielstellung

Das Deutsche Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hat ein Beratungshilfeprogramm für den Umweltschutz in Mittel- und Osteuropa sowie den Neuen Unabhängigen Staaten aufgelegt. Im Rahmen dieses Programms wurde ein Projekt zur Beratungshilfe bei der Erstellung des Masterplans/der Regionalpläne Wasser/Abwasser für die Republik Kroatien bewilligt. Beantragtes Ziel des Projektes war, die Abwasservorplanung für eine Ferieninsel im kroatischen Teil der Adria zu erstellen. Soweit dies abwassertechnisch und wirtschaftlich vertretbar ist, sollte dabei Haus- und kleinen Kläranlagen der Vorzug eingeräumt werden und es sollten moderne Verfahren der Software-Unterstützung bei der Planungsarbeit eingesetzt werden (Plan-It STOAT, STOAT).

Die Republik Kroatien ist naturräumlich sehr reich ausgestattet. Die Plitvicer Seen oder der Nationalpark Krka sind auch international bekannte Beispiele hierfür. Außerdem ist Kroatien reich an Stätten des historischen Weltkulturerbes - wie die historischen Altstädte von Dubrovnik und Trogir oder der Diokletianspalast in Split. Somit bieten die ca. 1.800 km lange festländische Adriaküste und die mehr als 1000 Inseln in der Adria beste Voraussetzungen für einen prosperierenden Tourismus. Die kroatische Regierung ist daher sehr stark daran interessiert, diese Gegebenheiten weit- aus besser als bisher für die wirtschaftliche Entwicklung des Landes zu erschließen. Als Hemmnisse auf diesem Weg werden in der Nationalen Umweltschutzstrategie und dem Nationalen Umweltschutzaktionsplan aus dem Jahre 2002 ¹ unter anderem folgende genannt:

- Mangel an Trinkwasser, besonders auf den Inseln,
- Das Fehlen von Plänen für Infrastruktureinrichtungen auf dem Gebiet der Abwassersammlung und -behandlung sowie deren zeitgerechter Bau.

Beide Punkte treffen voll und ganz für die Inselgruppe Drvenik Veli und Mali zu. Diese Inselgruppe wurde von der kroatischen Seite ausgewählt, um als Beispiel für die Abwasservorplanung im Rahmen der deutschen Beratungshilfe bei der Erstellung des Masterplans/der Regionalpläne Wasser/Abwasser für die Republik Kroatien zu dienen.

¹ National Environmental Strategy / National Environmental Action Plan
Republic of Croatia, Ministry of Environmental Protection and Physical Planning, Zagreb 2002

1.2. Wichtigste Meilensteine

Die Vorbereitung des Projektes begann mit einer Reise des Geschäftsführers der EnviaTec GmbH im April 2003 zu Gesprächen in die kroatische Hauptstadt Zagreb. In Präsentationen und Abstimmungen mit der kroatischen Wasseradministration auf höchster Ebene wurde das Angebot unterbreitet, Unterstützung bei der Ausarbeitung der wasserwirtschaftlicher in Entwicklungspläne der Republik Kroatien zu geben.

Im Anschluss daran erfolgte die erste inhaltliche Vorbereitung des Projektes, die mit der Einreichung einer Projektskizze beim Umweltbundesamt (UBA) endete.

Mit Schreiben vom 5. November 2003 erhielt die EnviaTec GmbH von der Leiterin der Staatlichen Wasserwirtschaftsverwaltung der Republik Kroatien einen „Letter of Intent“ zur Mitwirkung bei der Erstellung des Masterplans/der Regionalpläne Wasser/Abwasser (siehe Anhang 1). Daraufhin wurde die EnviaTec GmbH beim UBA und im BMU vorstellig, um die Vorschläge entsprechend der eingereichten Projektskizze zu erneuern. Am 28. November 2003 fand ein Gespräch im BMU statt, wo die Erwartungen und Vorstellungen in Bezug auf das Projekt von Seiten des BMU und des UBA präzisiert wurden. Diese flossen in den überarbeiteten Projektantrag vom 10. Dezember 2003 ein. Nach weiteren Abstimmungen und Rücksprachen wurde das Projekt mit dem Bewilligungsbescheid des UBA vom 16. Februar 2004 autorisiert.

Wie oben erwähnt, waren die zuständigen Ministerien und Behörden der Republik Kroatien bei der Vorbereitung des Projektes unmittelbar eingebunden. Die staatliche Wasserwirtschaftsverwaltung und das Ministerium für Raumplanung und Umweltschutz der Republik Kroatien unterstützten das Projekt in besonderer Weise und trafen - im Zusammenwirken mit den zuständigen Behörden im Kreis Split-Dalmatien - die Entscheidung, dass das Projekt auf der Inselgruppe Drvenik Veli und Mali durchgeführt werden sollte. Diese Inselgruppe gehört verwaltungsmäßig zur Stadt Trogir.

Bereits am 2. März 2004 fand daher die Auftaktbesprechung zum Projekt in Trogir statt. Die Auftaktbesprechung wurde folgerichtig vom Bürgermeister der Stadt Trogir geleitet.

In der Auftaktbesprechung und weiteren Abstimmungen wurde Übereinstimmung erzielt, dass folgende Unterlagen zur näheren Beschreibung der Zielstellung des Projektes aus kroatischer Sicht übergeben werden:

1. Bauplan für Phase 1 des Wasserversorgungssystems für die Inseln Drvenik Veli und Mali

2. Anforderungen und beschaffenheitsmäßige Zielstellungen für die Abwasservorplanung der Inseln Drvenik Veli und Mali

Die oben genannten Dokumente wurden vom Wasserversorgungs- und Abwasserbehandlungsunternehmen in Split bzw. der Staatlichen Wasserwirtschaftsverwaltung der Republik Kroatien, Region Dalmatien/Split kurzfristig und in hoher Qualität übersandt. Englischsprachige Versionen dieser Dokumente können in Anhang 2 bzw. Anhang 3 nachgelesen werden.

Noch vor der zweiten Arbeitsbesprechung am 20. 4. 2004 wurden die Arbeiten zur Aufnahme der Abwassersituation durch die EnviaTec GmbH auf der Inselgruppe in Angriff genommen. Die zweite Arbeitsbesprechung fand wiederum unter Leitung des Bürgermeisters im Rathaus der Stadt Trogir statt. Wichtigstes Ergebnis der Besprechung war, dass die kroatische Seite die Vorstellungen der EnviaTec GmbH zur dezentralen Lösungen der Abwasserfrage auf der Inselgruppe im wesentlichen bestätigte. Weiterhin wurde darin Übereinstimmung erzielt, dass die betroffenen Bürger in den Entscheidungsprozess einbezogen werden sollten. Dazu wurde die Einberufung einer Bürgerversammlung für Ende Juni 2004 vereinbart.



Abb. 1: Erläuterung des Konzepts zur Lösung der Abwasserfrage der Inselgruppe auf der Bürgerversammlung in Drvenik Veli am 26. Juni 2004

Troškovi

Na Velom Drveniku je oko 95% stanovništva koncentrirano u uvali uzduž ulaza u luku. Kao pogodno rješenje nudi dovođenje i sabiranje otpadnih voda u cjevovodu pod pritiskom. Nakon toga slijedi biološko pročišćavanje otpadnih voda u malom centralnom uređaju za pročišćavanje na rubu naselja. Tako bi se moguće emisije zadržale podalje od zaljeva. Prva faza izgradnje iznosila bi cca 800 ES. S izdvojenim nastanjenim stambenim kućama postupilo bi se analogno decentraliziranom rješenju za Mali Drvenik. Turistički lokal na plaži u Rtini dobio bi vlastito rješenje.

Projekt za Mali Drvenik predviđa pročišćavanje otpadnih voda u malim decentraliziranim jedinicama za 4/10/50 stanovnika. One se mogu ugraditi u kućne jame, ili se moraju napraviti nove jame. Troškovi za skupu mrežu kanala kojima bi se povezala pojedina naselja Borac, Kuknara, Garbine, Petomavar, Vela Rina i Dolci po mogućnosti će se izbjeći.

Za Mali Drvenik 79% troškova snosi nositelj projekta (Savezni ured za okoliš), a 21% EnviaTec GmbH. Na ovaj način stanovnici Malog i Velog Drvenika dobivaju planove po nultoj tarifi.

Radionica

Na kraju projekta, vjerojatno 7. listopada 2004., u Hotelu Medena u Trogiru provesti će se radionica.

Radionica će biti pod pokroviteljstvom Saveznog ministarstva za okoliš, zaštitu prirode i sigurnost reaktora, Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, te Uprave vodnog gospodarstva u Ministarstvu poljoprivrede, šumarstva i vodnoga gospodarstva. Radionica je u prvom redu orijentirana na hrvatske inženjerske urede i službena tijela koja se bave ili će se u budućnosti baviti izradom masterplanova/regionalnih planova za vodoopskrbu/odvodnju u Republici Hrvatskoj. Pored toga, radionica treba ponuditi i mogućnost stvaranja poslovnih veza između njemačkih i hrvatskih tvrtki i službenih tijela. Ovdje se zamislilo npr. i to da se njemački proizvođači i dobavljači malih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda na bazi prirodnih postupaka sastanu s potencijalnim hrvatskim poslovnim partnerima ili interesima za Joint Venture u Hrvatskoj. U skladu s navedenim, očekuje se da će sudionici radionice biti njemački i hrvatski proizvođači i dobavljači malih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i inženjerski uredi.

Radionica je, međutim, otvorena i za gradonačelnike ili druge zastupnike općina koje se nalaze pred istim problemima kao i Mali i Veli Drvenik te za turistička poduzeća ili vlasnike kuća koji imaju problema s otpadnim vodama.

U okviru malog sajma na predviđenog uz radionicu davat će se ponude za uređaje za pročišćavanje.

Savjetovanje pri izradi Masterplana/regionalnih planova vodoopskrba/odvodnja za Republiku Hrvatsku, na primjeru otoka Mali i Veli Drvenik

Izvođač:

 **EnviaTec**
d.o.o. za razvoj informatičkih sustava i sustave menadžmenta okoliša, Berlin
Tel.: +49 30 63 92 - 17 30
Fax: +49 30 63 92 - 60 10
Internet: www.enviatec.de

Naručitelj:

 **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**
Dr. Haiko Pieplow
Stručno područje G I 3
Tel.: +49 30 / 28 550 - 22 31

Nositelj projekta:

Savezni ured za okoliš

 **Umwelt Bundes Amt**
Stručni voditelj projekta:
g-da Judith Kanthak
Stručno područje I 1.2
Međunarodna zaštita okoliša:
Tel.: +49 30 / 89 03 - 20 72

Cilj radova

Izvanredna prirodna ljepota dalmatinske obale nudi najbolje mogućnosti za turizam. Cilj hrvatske vlade je uskladjivanje razvoja turizma s potrebnom zaštitom okoliša. Ovdje naročito na području pročišćavanja otpadnih voda postoji potreba za poboljšanjima. Odvođenje nedovoljno pročišćenih otpadnih voda u Jadransko more dovodi do masovnog rasta neželjenih algi, do drastičnog smanjenja prozirnosti i do potrošnje kisika. U nekim regijama Jadranskog mora takav negativni razvoj već je dosegao tolike razmjere da se iz svemira mogu razaznati crna mjesta.

Ovaj projekt predstavlja mali doprinos tome da na dalmatinskoj obali ne dođe do toga.

U okviru projekta treba se izraditi projekt pročišćavanja voda za Mali i Veli Drvenik. Osnovu za to predstavljaju zadaci projekta koje su predale HRVATSKE VODE, Vodnogospodarski odjel dalmatinskih slivova, Split.

Ljudske potrebe za vodom u Srednjoj Europi kreću se oko 140 l/dnevno (50 m³/godišnje). Istu količinu otpadne vode treba pročititi.

Dnevno onečišćenje po glavi stanovnika iznosi:
ca. 60 g biološki razgradivih organskih tvari
ca. 70 g suspendiranih tvari
ca. 11 g dušika
ca. 1,8 g fosfata.

Hrvatske vlasti traže biološku razgradnju organskih tvari i opsežno zadržavanje suspendiranih tvari.

Rješenje

U Njemačkoj i u drugim zemljama centralne Europe u prošlosti se davalo prednost takozvanim «centralnim rješenjima». To znači da su se sve otpadne vode iz nekog grada ili općine sabirale u kanalima i dovodile do velikog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, gdje su se otpadne vode pročišćavale. Pročišćena voda odvodila se u najbližu rijeku.

Na turističkim otocima kao što su Mali i Veli Drvenik susrećemo se s naročitim izazovima:

- velike oscilacije u dotoku otpadnih voda tijekom godine
- na lokacijama kakve se obično biraju za uređaje za pročišćavanje otpadnih voda imamo na raspolaganju izuzetno malo mjesta
- Unatoč visokim zahtjevima na kakvoću pročišćavanja, uređaj mora moći raditi uz minimum održavanja
- Pročišćenu vodu ne treba odvoditi, jer će se npr. koristiti za navodnjavanje.

Centralni uređaji za sve vrste otpadnih voda nisu pogodni za ovakve zahtjeve. Ni uobičajeni uređaji za oživljavanje mulja mogu se koristiti samo u iznimnim slučajevima. Mali uređaji za pročišćavanje otpadnih voda su tijekom posljednjih godina doživjeli enorman tehnički razvoj, tako da danas imamo male uređaje za pročišćavanje koji su ne samo jednostavni za rukovanje i za održavanje, nego po kvaliteti rada često nadmašuju velike uređaje.

Uređaji (primjeri)

Spektar decentralnih, kompaktnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kakvi nam danas stoje na raspolaganju obuhvaća tehniku Sequencing Batch Reactor, biologiju aeriranih bazena sa slobodnom biomasom i s biomasom na folijama, uronjeni filter, malu prokapsnicu, membranske bioreaktore i bio-filtre, kao i biljne uređaje za pročišćavanje. Način njihovog rada vidljiv je iz sljedećih primjera:

BERGMANN Umwelttechnik



Šematski prikaz BIOROTORA (TEHNBIX d.o.o.)

1. Aeracija pumpama i biološka aktivacija bioaktivanta
2. Biološko pročišćavanje u bio-sekcijama biorotora
3. Aeracija puhalima pomoću ugrađenih difuzora zraka
4. Završno taloženje u izlaznoj komori - mogućnost reciklaže

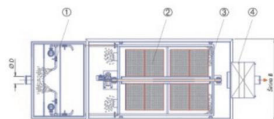


Abb. 2: Flyer für die Bürgerversammlung auf Drvenik Veli am 26.6.2004

Am 26. Juni 2004 fand im Klassenzimmer der Schule auf Drvenik Veli die Bürgerversammlung statt (siehe Abb. 1). Im Beisein eines Vertreters des BMU nahmen daran der Bürgermeister der Stadt Trogir, der Bürgermeister der Inselgruppe Drvenik Veli und Mali, Vertreter des Wasserversorgungs- und Abwasserbehandlungsbetriebs Split und der EnviaTec GmbH teil. Letztere erläuterten den anwesenden Bürgern die Planungen und die möglichen Alternativen. Zum besseren Verständnis wurden Flyer in

kroatisch verteilt und anschließend im Bürgermeisteramt zur weiteren Einsichtnahme ausgelegt (siehe Abb. 2).

In der daran anschließenden Diskussion wurde von den Bürgern hervorgehoben, dass sie auch und zuerst eine Lösung der Trinkwasserversorgung für die Inselgruppe erwarten. Soweit zu den vorgeschlagenen abwassertechnischen Lösungen Stellung genommen wurde, fanden die Vorschläge der EnviaTec GmbH volle Zustimmung.

Über die Bürgerversammlung wurde auch in der vom BMU herausgegebenen Zeitschrift Umwelt berichtet.



Abb. 3: Pressebericht über den Workshop in Trogir am 7.10.2004

Die Zeit nach der Bürgerversammlung war gefüllt mit den Feinarbeiten an der Abwasservorplanung für die Inselgruppe sowie mit der Vorbereitung des Workshops als vorläufiger Abschluss des Projektes.

Unter der Schirmherrschaft des deutschen Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Herrn J. Trittin sowie unter der Schirmherrschaft des Ministeriums für Raumordnung und Umweltschutz der Republik Kroatien fand am 7. Oktober 2004 der geplante Workshop im Hotel Medena in Trogir statt. Insgesamt beteiligten sich etwa 75 Vortragende und Gäste an dieser Veranstaltung, darunter die Staatssekretärin Frau Jelic Mück, Ministerium für Raumordnung und Umweltschutz der Republik Kroatien und Herr Dr. Vygen, Abteilungsleiter G des BMU. Von Seiten aller kroatischen Teilnehmer fand der Workshop eine sehr interessierte Aufnahme. Auch die kroatische Presse berichtete ausführlich über dieses Ereignis (siehe Abb. 3).

Die folgende Tabelle liefert eine Übersicht der vorstehend besprochenen Meilensteine.

Tab. 1: Übersicht der Meilensteine

Date	05/11/2003	10/12/2003	16/02/2004	02/03/2004	20/03/2004	10/04/2004	20/04/2004	26/06/2004	07/10/2004
Activity Step	Letter of Intent	Revised application for the project	Authorisation of the project	Kick-off Meeting	Construction Programme for Phase I of the Water Supply System for the Islands of Drvenik Veli and Drvenik Mali	Terms of Reference for the Development of the Conceptual Design for the Sewerage and Wastewater Treatment System of the Islands of Drvenik Veli and Drvenik Mali	2 nd Meeting	Announcement of the plans for wastewater installations at the Town Meeting of the people of Drvenik	Workshop
Chairman/Responsibility	Republic of Croatia State Water Directorate	EnviaTec GmbH	German Federal Environmental Agency	Mayor of Trogir	Water Utility Split	Croatian Water	Mayor of Trogir	Mayor of Trogir	State Secretary for the Environment of the Republic of Croatia

Unter Einsatz zusätzlicher finanzieller Mittel der EnviaTec GmbH wurde ein Fernsehbericht über das Projekt erstellt. Dieser Bericht wurde anlässlich des Workshops im kroatischen Fernsehen (RTL) ausgestrahlt. Auf der in Anhang 11 beigefügten DVD befindet sich eine Kopie dieser Sendung.

2. Ausgangssituation

2.1. Topographie/Vegetation/Klima

Die beiden Inseln Drvenik Veli und Drvenik Mali liegen vor der dalmatinischen Küste auf der Höhe von Split zwischen Rogoznica und Trogir (siehe Abb. 4). Die Entfernung zum Festland beträgt ca. 2 km. Die Entfernung zum Hafen von Trogir beträgt ca. 7 km. Die Fläche der Insel Drvenik Veli beträgt ca. 12 km² und die der Insel Mali ca. 3,5 km² (siehe topographische Karten in Anhang 4).



Abb. 4: Lage der Inseln Drvenik Veli und Mali

Der Untergrund der Inseln besteht aus felsigem Karst mit einer geringen Erdüberdeckung (siehe Abb. 5). Das Karstgestein weist an vielen Stellen hochgewölbte Schichtstrukturen auf, in denen das Regenwasser versickert. An tiefer gelegenen Stellen kann es daher zum Austritt von versickertem Wasser kommen.

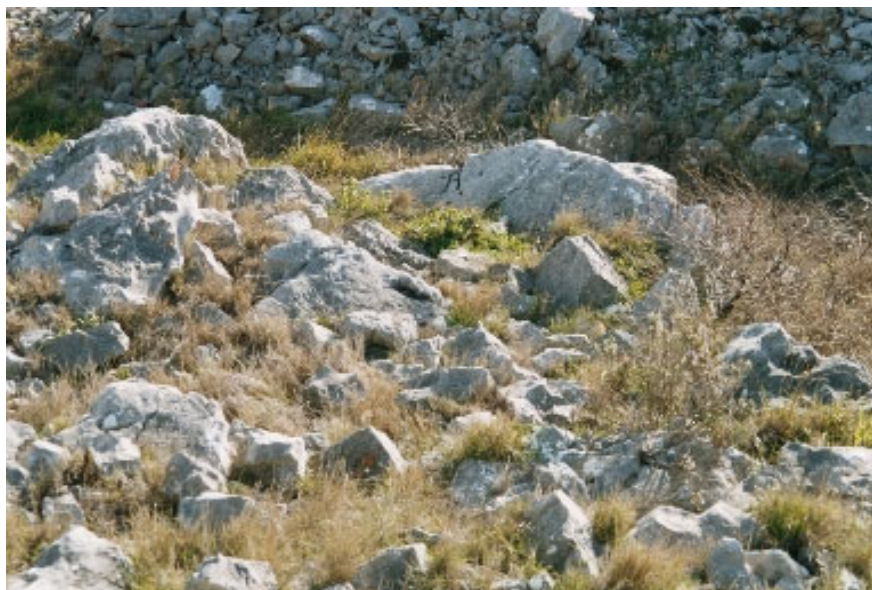


Abb. 5: Untergrundbeschaffenheit auf den Inseln Drvenik Veli und Mali

Die mittlere Höhe der Insel liegt bei ca. 50 m. Die Erhebungen erreichen auf Veli eine Höhe von max. 178 m und auf Mali eine Höhe von ca. 79 m.

Die Vegetation besteht heute überwiegend aus Sträuchern und Bäumen (siehe Abb. 6). Früher wurde auf den Inseln vorwiegend Oliven und Wein angebaut. Heute erfolgt die Bodennutzung vorwiegend gärtnerisch im Bereich der Hausgrundstücke.



Abb. 6: Vegetation auf den Inseln Drvenik Veli und Mali

Die Klimadaten der Wetterstation Split zeigen für dieses Gebiet ein ganzjährig mildes Klima. Selbst in den Wintermonaten liegen die mittleren Nachttemperaturen $\geq 5\text{ °C}$. Die Temperaturen unterschreiten lediglich an einzelnen Tagen und für wenige Stunden geringfügig den Gefrierpunkt (siehe Tab. 2 und Abb. 7).

Tab. 2: Niederschläge und Temperaturen in Split bzw. Hvar (Durchschnittswerte)

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ
Tagestemp. °C	10	11	14	18	22	27	31	31	26	21	16	11	
Nachttemp. °C	5	5	7	10	14	18	21	20	17	14	11	6	
Niederschlag mm	79	68	75	66	56	52	28	48	60	78	110	105	825
Regentage Split	9	8	8	7	7	6	4	3	6	8	11	12	
Regentage Hvar	9	8	7	7	5	4	2	3	5	8	10	10	

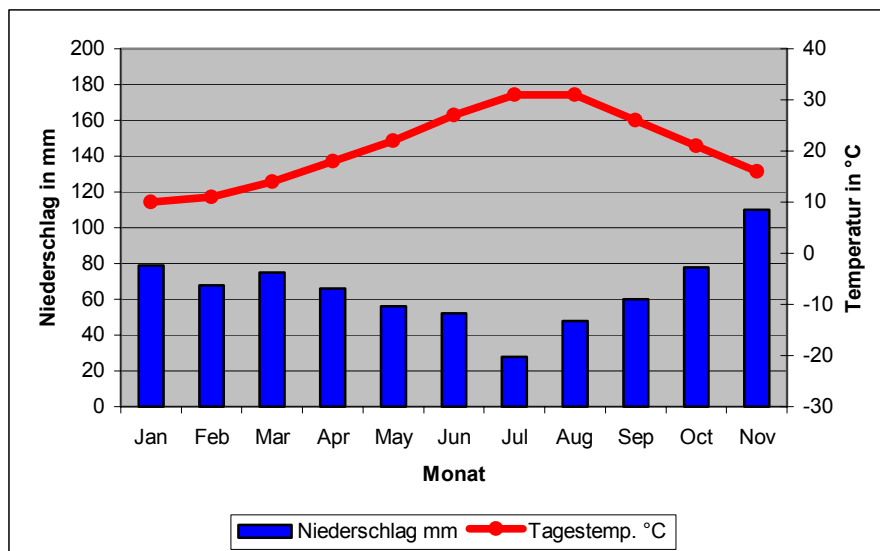


Abb. 7: Klimadaten der Wetterstation Split ²

Zwischen April und September fallen auf den Inseln die geringsten Niederschläge. Sie sind geringer als auf dem Festland in Split, wo die Niederschläge durch das Küstengebirge verstärkt werden. Aus diesem Grund sind die Niederschlagsmengen an der Wetterstation in Split, die mit 825 mm pro Jahr gemessen werden, nicht auf die vorgelagerten Inseln übertragbar (siehe Vergleich der Regentage Split und der nahe gelegenen Insel Hvar in Tab. 2).

Belastbare Niederschlagsmesswerte für die beiden Inseln stehen nicht zur Verfügung. Während der Besprechungen in Trogir wurden von kroatischer Seite Regenmengen von ca. 360 mm/a für Drvenik Veli und Mali genannt, die für eine abschätzende Bewertung zu Grunde gelegt werden können.

2.2. Besiedlungsdichte

Die **Besiedlung auf der Insel Veli** konzentriert sich heute weitgehend auf den Hafen von Drvenik Veli mit den Orten Bobovisce und Grabule. Hier sind ca. 90 % der Einwohner/Häuser konzentriert. Vereinzelte Ansiedlungen (jeweils 1 bis 10 Häuser) befinden sich in Richtung Siran und in Richtung Rtina. In Rtina ist besonders das Ausflugslokal hervorzuheben.

Die **Besiedlung der Insel Mali** beschränkt sich auf die östliche Inselhälfte mit dem Hafen in der Ortschaft Borak sowie den Ortschaften Petomavar, Vela Rina und Dolici. Vereinzelte Ferienhäuser (ca. 10) stehen in der Bucht von Garbine und bei der Ansiedlung von Dolici.

Auf Grund der unterentwickelten Infrastruktur der Inseln hat unter der Inselbevölkerung in den letzten Jahrzehnten eine Abwanderungsbewegung in Richtung Festland stattgefunden, die zur Entsiedlung ganzer Dörfer und zum Verfall vieler Häuser geführt hat.

2.3. IST- Zustand 2001

Im Jahr 2001 wurde auf den beiden Inseln eine Volkszählung (Zensus) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den **Tabellen 2 und 3** zusammengefasst und dienen als Grundlage für die Planung der Abwasserentsorgung und der Trinkwasserversorgung.

2.3.1. Anzahl der Häuser

Nach dem Zensus befanden sich 2001 auf Drvenik Veli 364 bewohnte Häuser. Davon wurden 108 Häuser ganzjährig zu Wohnzwecken genutzt. 256 Häuser wurden als Wochenendhäuser überwiegend in der Touristensaison sowie an Wochenenden genutzt.

Auf der Insel Drvenik Mali befanden sich 2001 192 bewohnte Häuser. Davon wurden ebenfalls 108 Häuser ganzjährig zu Wohnzwecken genutzt. 84 Häuser wurden als Wochenendhäuser genutzt (siehe Tab. 3).

Tab. 3: Anzahl bewohnter Häuser ; Zensus 2001

Insel	Anzahl Häuser total	Permanente Nutzung	Wochenend- häuser
Drvenik Veli	364	108	256
Drvenik Mali	192	108	84

2.3.2. Einwohnerzahlen 2001

Die Zahl der ganzjährig auf der Insel Veli lebenden Einwohner wird mit 195 angegeben. Basis ist der Zensus von 2001. Während der Hochsaison wächst die Anzahl der Menschen durch Touristen und Wochenendgäste auf 930 an.

Auf Mali leben ganzjährig 59 Menschen. Während der Hochsaison steigt die Zahl auf 324 Personen an (siehe Tab. 4).

² www.klimadiagramme.de/Europa/split.html

2.4. Planung 2015

Der Entwicklungsplan der Stadt Trogir berücksichtigt für die Entwicklung auf Drvenik Veli bis 2015 den Bau von Hotelunterkünften mit 1.000 Betten und die Errichtung einer Marina mit 303 Betten. In Zukunft wird in der Hochsaison auf Drvenik Veli von bis zu 2.545 anwesenden Menschen ausgegangen.

Auf Drvenik Mali wird mit einer zusätzlichen Hotelkapazität von 250 Betten geplant. Die Zahl der Gäste und Einwohner wird dadurch in der Hochsaison auf 763 steigen (siehe Tab. 4).

Tab. 4: Entwicklung der Einwohnerzahlen

	Drvenik Veli			Drvenik Mali		
Jahr	2001	2015	2030	2001	2015	2030
Permanente Einwohner	195	218		59	65	
Touristen und Wochenendgäste	735	1.024		265	448	
Einwohner Hochsaison (+ Hotels und Marina)	930 ---	1.242 1.303		324 ---	513 250	
Zwischensumme	930	2.545	2.545	324	763	763
15% Zuwachs	---	---	*382	---	---	*114
Endsumme	930	2.545	2.927	324	763	877

* Annahme des Autors

2.5. Planung bis 2030

Eine Entwicklungsplanung für die Zeit bis 2030 liegt von kroatischer Seite nicht vor. In Tabelle 3 wird im Vergleich zum Jahr 2015 von einer Steigerung der zu berücksichtigen Einwohnerwerte um 15 % ausgegangen.

2.6. Trinkwasserversorgung/Abwasserbehandlung

Die beiden Inseln verfügen weder über ein öffentliches Trinkwasserversorgungsnetz noch über ein öffentliches Abwasserentsorgungssystem.

Die Trinkwasserversorgung erfolgt individuell über hauseigene Zisternen und alte öffentliche Zisternen, in denen Regenwasser von Hausdächern und anderen versiegelten Hausflächen gesammelt wird. Ein Teil der Hauszisternen befindet sich in einem schlechten baulichen und technischen Zustand und ist undicht. Hier ist sicher zu stellen, dass Trinkwasser nicht mit Abwasser kontaminiert wird.

Die Ressource Regenwasser steht naturgemäß nur begrenzt zur Verfügung. Deshalb herrscht vor allem in den regenarmen Monaten der Haupt- und Nebensaison, wenn

sich die meisten Menschen auf den beiden Inseln aufhalten, Trinkwassermangel. Der fehlende Bedarf muss gegenwärtig durch teure Trinkwasserlieferungen per Tank-schiff ausgeglichen werden. Es werden Preise von ca. 10 €/m³ geliefertes Trinkwas-ser erhoben.

Auf Drvenik Veli befinden sich in den Orten Bobovice und Grabule zwei öffentliche Zisternen mit je ca. 1.200 m² Nutzfläche. Bei einer angenommenen Niederschlags-menge von 360 mm/a ergeben sich Regenwassermengen von ca. 860 m³/a, die the-oretisch gespeichert werden können.

Von 364 Hausdächern mit einer angenommenen Fläche von ca. 18.000 m² könnten auf Veli nochmals ca. 6.550 m³/a Regenwasser gespeichert werden. Daraus ergibt sich ein speicherfähiges Regenwasserdargebot von ca. 7.400 m³/a, dem in Zukunft ein Trinkwasserbedarf von **ca. 20.500 m³/a** gegenübersteht.

Auf Drvenik Mali befindet sich eine beschädigte Zisterne mit einer versiegelten Nutz-fläche von 250 m². Theoretisch kann diese Zisterne ca. 90 m³/a Regenwasser auf-nehmen. Die Dachflächen von 192 Häusern könnten nochmals 3.500 m³/a Regen-wasser aufnehmen. Diesem Dargebot auf Mali steht ein Bedarf von **ca. 7.500 m³/a** gegenüber.

Im Jahresmittel fallen auf der Insel Drvenik Veli und Drvenik Mali 4,3 Mio m³/a bzw. 1,3 Mio m³/a Niederschlag. Diese Mengen versickern zum großen Teil ungenutzt in den Karstschichten des felsigen Untergrundes der beiden Inseln. Zur Deckung des Jahrestrinkwasserbedarfs der beiden Inseln werden z. Zt. ca. 0,5 % der Jahresnie-derschlagsmenge auf den beiden Inseln benötigt. Nach geplanter touristischer Er-schließung der Inseln wird der Bedarf auf ca. 2 % der jährlichen Niederschlagsmenge ansteigen (siehe Tabelle 6 und 7).

Theoretisch könnten die benötigten Trinkwassermengen aus den Grundwasser füh-renden Schichten des Untergrundes gewonnen werden. Ob eine Erschließung der Wasser leitenden Schichten im Karstuntergrund mit der erforderlichen Versorgungs-sicherheit (Hauptsaison) technisch durchführbar und wirtschaftlich tragbar ist, kann nur durch entsprechende hydrogeologische Untersuchungen geklärt werden.

Anfallende Abwässer werden überwiegend individuell auf den Grundstücken in Hausgruben aufgefangen. Soweit diese Rückstände nicht zur Düngung in den Gär-ten verwendet werden, ist davon auszugehen, dass sie ohne weitere biologische Be-handlung unkontrolliert in den Untergrund versickern.

Im ufernahen Bereich gibt es nach Aussagen des Grundlagenpapiers von Croatian Water, Office Split wenige Dreikammergruben, über die das Fäkalwasser über kurze

Entsorgungsleitungen in das Meer geleitet wird. Im alten Hafenbecken von Bobovisce soll eine Abwasserentsorgungsleitung existieren, die auf dem Meeresgrund in Richtung offenes Meer verläuft, jedoch durch ankernde Schiffe beschädigt wurde. Ob heute noch einzelne Häuser an diese Leitung angeschlossen sind, ist nicht bekannt.

Es ist nicht bekannt, dass abgetrennter Fäkalschlamm von den Inseln abtransportiert wird. Es muss davon ausgegangen werden, dass er auf den Inseln verbleibt und zumindest teilweise auf den Grundstücken zur Düngung dient.

3. Basisdaten und Qualitätsziele

3.1. Spez. Abwassermengen

Das zu behandelnde Abwasser hat häuslichen Charakter und resultiert von den dort lebenden Einwohnern und Touristen bzw. aus Privatwohnungen, Pensionen und Gaststätten. Gewerbebetriebe mit einem nennenswerten Abwasseranfall sind nicht vorhanden.

Für die Vorplanung der Abwasserbehandlung wird von den kroatischen Wasserbehörden von den für Mitteleuropa typischen Abwassermengen und Frachten ausgegangen. Der spezifische Abwasseranfall/Wasserverbrauch wurde daher wie folgt festgelegt:

- Einwohner: 140 l/E x d
- Touristen: 320 l/E x d (nur Hotels)

Die täglichen und stündlichen Schwankungsfaktoren werden von kroatischer Seite wie folgt vorgegeben und entsprechen mitteleuropäischem Standard:

Tab. 5: Schwankungsfaktoren f_d , f_h

Einwohner	$f_d = 1,7$	$f_h = 2,4$
Touristen	$f_d = 1,0$	$f_h = 2,5$

3.2. Spez. Abwasserfrachten

Die organische Belastung des Abwassers wird für Einwohner und Touristen gleichermaßen mit **0,06 kgBSB₅/EW*d** festgelegt.

Für die Parameter Stickstoff, Phosphor und abfiltrierbare Stoffe wurden von kroatischer Seite keine Vorgaben gemacht. Deshalb wurden den Planungen die typischen Werte für normal verschmutztes häusliches Abwasser in Mitteleuropa zugrunde gelegt.

3.3. Qualitätsziele der Abwasserbehandlung

Die Qualitätsziele des behandelten Abwassers folgen den Vorgaben und Anforderungen der kroatischen Abwassergesetzgebung. Hierbei wird von einer Einleitung des behandelten Abwassers in den Kanal von Drvenik der Adria ausgegangen.

Da die Abwassereinleitung langfristig aus einer Rohfracht < 10.000 EW resultiert, erfolgt die Festlegung des Behandlungsniveaus auf der Qualitätsstufe II der staatlichen Anforderungen. Hier ist eine biologische Abwasserbehandlung mit Suspensaentnahme vorgeschrieben. Eine Phosphor- und Stickstoffelimination wird nicht gefordert. Die Anforderungen lauten:

Tab. 6: Qualität des behandelten Abwassers

Abfiltrierbare Stoffe	60 mg/l
BSB ₅	40 mg/l
CSB	150 mg/l

Sollte zukünftig eine nachhaltige Nutzung des biologisch behandelten Abwassers z.B. für Bewässerungszwecke im Gartenbereich der Häuser angestrebt werden, so wird eine Entkeimung des biologisch behandelten Abwassers, z.B. mit UV-Licht erforderlich.

3.4. (Ab)Wassermengen und Frachten

Aus den Einwohnerwerten (EW) und den spezifischen Mengen- und Frachtangaben ergibt sich der zu erwartende zukünftige Abwasseranfall/Trinkwasserbedarf der beiden Inseln sowie die zu behandelnde Schmutzfracht.

In einer Modellrechnung wird, bezogen auf ein Jahr, die Abwassermenge und Schmutzfracht ermittelt. Das Kalenderjahr wird in eine **Wintersaison mit 180 d**, eine **Zwischensaison mit 90 d** und eine **Hauptsaison mit 90 d** unterteilt. Die Anzahl der Tage und Einwohner werden entsprechend zugeordnet.

Aus Tab. 7 und Tab. 8 ist zu ersehen, dass mit dem Aufbau der geplanten Hotel-Kapazitäten der jährliche Wasserbedarf auf den beiden Inseln drastisch ansteigen wird. Der spez. hohe Wasserverbrauch der Hotelgäste führt **auf Drvenik Veli** zu einer Steigerung des Bedarfs von derzeit 20.412 m³/a auf 79.369 m³/a (Faktor 3,9).

Auf **Drvenik Mali** sind nur 250 neue Hotelbetten geplant. Der jährliche Bedarf wird von derzeit 7.459 m³/a auf 21.422 m³/a ansteigen (Faktor 2,9).

Tab. 7: Drvenik Veli, Abwassermengen und Frachten pro Jahr

Saison	Tage	Einwohnerwerte EW			Abwassermenge m³/a			BSB5- Fracht kg/a		
		2001	2015	2015 mit Hotel	2001	2015	2015 mit Hotel	2001	2015	2015 mit Hotel
Wintersaison	180	195	218	218	4.914	5.494	5.494	2.106	2.354	2.354
				500			6.300			2.700
				500			14.400			2.700
Zwischensaison	90	300	500	1.000	3.780	6.300	20.700	1.620	2.700	5.400
				1.242			15.649			6.707
				1.303			37.526			7.036
Hauptsaison	90	930	1.242	2.545	11.718	15.649	53.176	5.022	6.707	13.743
Summe	360				20.412	27.443	79.369	8.748	11.761	21.497

Tab. 8: Drvenik Mali, Abwassermengen und Frachten pro Jahr

Saison	Tage	Einwohnerwerte EW			Abwassermenge m³/a			BSB5- Fracht kg/a		
		2001	2015	2015 mit Hotel	2001	2015	2015 mit Hotel	2001	2015	2015 mit Hotel
Wintersaison	180	59	65	65	1.487	1.638	1.638	637	702	702
				200			2.520			1.080
				125			3.600			675
Zwischensaison	90	150	200	325	1.890	2.520	6.120	810	1.080	1.755
				513			6.464			2.770
				250			7.200			1.350
Hauptsaison	90	324	513	763	4.082	6.464	13.664	1.750	2.770	4.120
Summe	360				7.459	10.622	21.422	3.197	4.552	6.577

Bezieht man diese Zahlen auf die täglich bereit zu stellenden bzw. zu behandelnden Wasser-/Abwassermengen, ergeben sich folgende Tagesmengen:

Tab. 9: Drvenik Veli, Abwassermengen und Frachten pro Tag

Saison	Abwassermenge m³/d			BSB5- Fracht kg/a		
	2001	2015	2015 mit Hotel	2001	2015	2015 mit Hotel
Wintersaison	27	31	31	12	13	13
			70			30
			160			30
Zwischensaison	42	70	230	18	30	60
			174			75
			417			78
Hauptsaison	130	174	591	56	75	153

Tab. 10: Drvenik Mali, Abwassermengen und Frachten pro Tag

Saison	Abwassermenge m³/d			BSB5- Fracht kg/d		
	2001	2015	2015 mit Hotel	2001	2015	2015 mit Hotel
Wintersaison	8	9	9	4	4	4
			28			12
			40			8
Zwischensaison	21	28	68	9	12	20
			72			31
			80			15
Hauptsaison	45	72	152	19	31	46

Die Berücksichtigung der geplanten Hotelkapazitäten führt auf **Drvenik Veli** in der Zwischen- und Hauptsaison zu einer Vervielfachung des täglichen Wasserbedarfs um einen Faktor von ca. 3,4 (70 : 230 m³/d bzw. 174 : 591 m³/d, siehe Tab. 9). Die erzeugte BSB₅-Schmutzfracht wird sich dagegen lediglich verdoppeln (30 : 60 kg/d bzw. 75 : 153 kg/d, siehe Tab. 9).

Auf **Drvenik Mali** wird sich der tägliche Wasserbedarf/Abwasseranfall bei Berücksichtigung der geplanten Hotelkapazitäten in der Zwischen- und Hauptsaison etwa um den Faktor 2,2 erhöhen (28 : 68 m³/d bzw. 72 : 152 m³/d, siehe Tab. 10). Die BSB₅-Schmutzfracht erhöht sich etwa um den Faktor 1,6 (12 : 20 kg/d bzw. 31 : 46 kg/d, siehe Tab. 10).

4. Abwasserentsorgungssysteme

4.1. Allgemeine Planungsansätze

In ländlich strukturierten Regionen mit geringer Besiedlungsdichte gestaltet sich die Sammlung und Fortleitung von Abwasser zu einer zentralen Abwasserbehandlungsanlage als kostenintensive Baumaßnahme. Die Kosten für die Kanalisation steigen auf Grund der sehr langen Transportwege überdurchschnittlich.

Kostensparpotentiale bei der Abwasserfortleitung bestehen durch folgende Maßnahmen:

- Kritische Abgrenzung des öffentlich zu entsorgenden Siedlungsgebietes;
- Kanalsysteme nur für das Ableiten und Sammeln von häuslichem Schmutzwasser (Trennkanalisation);
- Verkürzung der Leitungslänge des Sammelkanals durch Trassenführung auch über Privatgelände;
- Verringerung der Verlegungstiefe des Sammelkanals;
- Nutzung bereits vorhandener Entwässerungsanlagen;

- Unterschreitung von bisher geforderten Mindestrohrnennweiten;
- Verkleinerung der Kontroll- und Pumpschächte auf das betrieblich notwendige Maß;
- gemeinsamer Graben für Ver- und Entsorgungsleitungen;
- Wiederverfüllung von Baugruben mit anstehendem Bodenaushub;
- Einsatz moderner Verlegetechnik;
- Abstimmung von Straßenbau- und Kanalbauarbeiten.

Die Planung der Kanalisation hängt von der Topographie, der Art der zu erschließenden Bebauung sowie von den vorhandenen und zukünftigen Abflüssen aus dem Einzugsgebiet ab. Kostengünstige Planungskonzepte müssen sich daher an der spezifischen Situation auf den beiden Inseln orientieren.

Die Planung eines Kanalnetzes und der Abwasserbehandlungsanlage hat sich ausschließlich auf die Erfassung, den Transport und die Behandlung des häuslichen und (gewerblichen) Schmutzwassers zu konzentrieren. Niederschlagswasser ist auszuschießen.

Die Schmutzwasserableitung und Behandlung muss kostengünstig nach dezentralen Gesichtspunkten geplant werden.

Die Definition einer für die Inseln Drvenik Veli und Drvenik Mali gültigen Planungsstrategie für die dezentrale Abwasserentsorgung sollte daher wie folgt lauten:

- *Abwasserbehandlung am Ort der Entstehung;*
- *Vermeidung/Minimierung von Abwasserkanälen;*
- *Bau kleiner Hauskläranlagen (bei geringer Besiedlungsdichte);*
- *Bau kleiner zentraler Kläranlagen (bei verdichteter Besiedlung).*

Auf Grund der Entwicklung des Tourismus sind bei der technischen Planung die hohen hydraulischen Last- sowie die Frachtschwankungen zu berücksichtigen.

Für die Schmutzwassersammlung und Fortleitung auf den beiden Inseln eignen sich aus dieser Sicht grundsätzlich zwei technische Systeme:

- Die Druckentwässerung;
- die Unterdruckentwässerung.

Beide Verfahren sind technisch flexibel und bieten gegenüber der Verwendung konventioneller Schmutzwasserableitungssysteme deutliche Einsparpotenziale.

4.2. Entwässerungsverfahren

Die Schmutzwasserableitung umfasst die Sammlung und den Transport des Abwassers von den einzelnen Häusern zur Kläranlage. Zwischen Haus und öffentlichem Kanal befindet sich in der Regel ein Inspektions- und Übergabeschacht.

4.2.1. Freigefälleleitungen

Bei einer Freispiegelentwässerung läuft das Abwasser ohne Druck und ohne Fremdenergie im freien Gefälle in Richtung Kläranlage bzw. zu einer Zwischenpumpstation. Der Transport verläuft in geschlossenen Leitungen. Ein Gefälle von mindestens 1% ist für eine ausreichende Strömungsgeschwindigkeit $> 0,5 \text{ m/s}$ erforderlich.

Auf Grund eines freibleibenden Bereichs im Leitungsquerschnitt und der geringeren Fließgeschwindigkeit ist die zu verlegende Nennweite größer als bei der Druckentwässerung. Auch die Kanaltiefen sind auf Grund der erforderlichen Neigung im ebenen Gelände größer. Dadurch verteuert sich die Verlegung.

Eine Freispiegelleitung muss alle 50 bis 100 m mit begehbaren Inspektionsschächten ausgerüstet werden, um bei Bedarf Reinigungs- und Inspektionsarbeiten ausführen zu können (siehe Anhang 5, Abb. 1).

Freispiegelleitungen für die beiden Inseln können mit einem Nenndurchmesser von DN 100 bis 200 ausgeführt werden. Für hohe Korrosionsbeständigkeit können als Werkstoff Kunststoffe wie PP, PE- HD und PVC-U eingesetzt werden.

4.2.2. Druckentwässerung

Das Druckentwässerungsverfahren ist ein erprobtes Verfahren zum Sammeln und Transportieren von Abwasser. Gegenüber Freispiegelleitungen haben Druckentwässerungsnetze folgende Investitionskostenvorteile:

- Geringe Kanal-/Verlegetiefe;
- geringe Rohrleitungsquerschnitte;
- keine Abhängigkeit vom relativen Gefälle des Geländes;
- gut geeignet für ebenes Gelände mit felsigem Untergrund;
- geringe Anzahl von Kontrollschächten;
- problemlose Verlegung bei Hindernissen.

Dem stehen folgende Nachteile gegenüber:

- Durch die im System anstehenden Drücke bestehen höhere Anforderungen an die Materialqualität der Rohre, Rohrverbindungen und Muffen;
- bei der Fortleitung des Abwassers mit Pumpen entstehen Energiekosten;
- der Transport des Abwassers unter Luftabschluss kann bei langen Aufenthaltszeiten technische Einrichtungen zur Spülung mit Druckluft erforderlich machen.

Abwasserdruckleitungen werden für Fließgeschwindigkeiten von 0,7-1,0 m/s bis max. 2,0–2,5 m/s ausgelegt. Materialien für Druckleitungen bestehen aus PE, PE-HD oder aus PP, als Rohr oder von der Rolle. Der lichte Rohrdurchmesser sollte nicht unter 65 mm liegen.

4.2.3. Unterdruckentwässerung

Die Unterdruckentwässerung, auch Vakuumentwässerung genannt, ist ebenfalls ein erprobtes Verfahren zum Sammeln und Transportieren von Abwasser im Trennverfahren. Das System besteht aus:

- Einer Absaugventileinheit im Hausanschlussschacht (siehe Anhang 5, Abb. 2),
- den Sammelleitungen (Haupt- und Nebenleitungen);
- der Vakuumstation;
mit Vakuumpumpen sowie Abwasserpumpen zur Kläranlage;
- Biofiltern zur Abluftbehandlung.

Bei der Unterdruckentwässerung werden geschlossene Leitungssysteme ohne Einstiegsmöglichkeiten, aber mit einem Netz von Inspektionsrohren (Abstand von 50 bis 100 m) verwendet.

Der Abwassertransport findet bei hoher Geschwindigkeit durch Erzeugung eines Luft/Wasser-Gemisches (Verhältnis 10:1) statt. Der Unterdruck zum Transport beträgt ca. 0,6 bis 0,7 bar. Die Unterdruckleitungen bilden ein Verästelungsnetz mit einer zentralen Unterdruckstation.

Die technische Einsatzgrenze der Vakuumentwässerung liegt bei geodätischen Höhenunterschieden von 4 m, max. 5 m im Einzugsgebiet.

Bevorzugte Einsatzgebiete für das Unterdruckentwässerungsverfahren sind:

- Kleine ländliche Siedlungsgebiete mit geringer Besiedlungsdichte;
- mangelndes Geländegefälle;
- tief liegende Ortsteile, z.B. an der Küste;

- ungünstige Untergrundverhältnisse;
- unregelmäßiger Schmutzwasseranfall.

Die Unterdruckentwässerung bietet folgende Vorteile:

- Geringe Kanal-/Verlegetiefe;
- geringe Rohrleitungsquerschnitte;
- keine Abhängigkeit vom relativen Gefälle des Geländes;
- gut geeignet für ebenes Gelände mit felsigem Untergrund;
- problemlose Verlegung bei Hindernissen;
- Hausanschlüsse und Vakuumleitungen sind unabhängig von elektrischer Energie;
- Kein Austritt von Abwasser bei Leckagen;
- Wasserversorgungsleitungen können zusammen mit der Abwasserleitung in einem Kanal verlegt werden:

Die Nachteile dieses Systems liegen in der:

- Aufwendigere Technik der Vakuumstation;
- der Abwassertransport ist mit Energiekosten verbunden;
- dichtes Netz von Inspektionsrohren (< 100 m);
- Abluftbehandlung der Vakuumstation;
- separate Abwasserpumpen von der Vakuumstation zur Kläranlage.
- Limitierte Förderhöhe

Die Materialien für die Vakuumhaupt- und Nebenleitungen bestehen aus PVC oder PE- HD. Der lichte Rohrdurchmesser der Leitungen sollte nicht unter 65 mm liegen

4.2.4. Planung des Abwassersammlersystems

4.2.4.1. Zentrale Abwassererfassung Drvenik Veli

Auf **Drvenik Veli** konzentrieren sich ca. 90 % der Besiedlung und der Anwohner im Gebiet um die Bucht des Hafens von Veli. Der Rest liegt verstreut über die Insel verteilt. Für die Bemessung des Abwassersammlers und der Abwasserbehandlung wird daher von der Planung eines kleinen lokalen Abwassersammlersystems für die Ansiedlungen im Bereich um diese Bucht ausgegangen. Das Abwasser aus diesem Kanalnetz wird einer zentralen biologischen Kläranlage zugeführt.

Der restliche Anteil der über die Insel verteilten Häuser/Anwohner (~10 %) sollte direkt vor Ort mit kleinen dezentralen biologischen Hauskläranlagen je nach Bedarf mit einer Kapazität von 5 bis 50 EW ausgerüstet werden.

Das Ausflugslokal in Kostovic sollte ebenfalls mit einer eigenständigen biologischen Hauskläranlage ausgerüstet werden, in der die biologische Stufe durch einen vorgeschalteten Fettfang geschützt wird.

Über eine Anbindung der geplanten 3-4 Hotels an das Kanalnetz um den Hafen von Veli kann erst entschieden werden, wenn die Standorte für die Hotels feststehen. Gegebenenfalls sind je nach Standortlage eigenständige Planungsansätze zu wählen. Auf Grund der aus den Hotels zu erwartenden großen Abwassermengen kann auch die Verlegung einer separaten Abwasserrohrleitung notwendig werden.

4.2.4.2. Dezentrale Abwassererfassung Drvenik Mali

Auf **Drvenik Mali** beschränkt sich die Besiedlung auf die östliche Inselhälfte. Die Besiedlungsdichte ist gering und verteilt sich auf vier kleine Ansiedlungen. Dadurch führt eine zentrale Erfassung der häuslichen Abwassereinleitungen zu einem überdurchschnittlich langen Kanalnetz mit entsprechend hohen Investitionskosten.

Auf Drvenik Mali sollte die Abwasserentsorgung daher in dezentralen Hauskläranlagen mit 4 bis 50 EW Anschlussleistung durchgeführt werden. Die biologische Abwasserbehandlung erfolgt vor Ort auf den hier relativ großen Grundstücken der Anwohner. Das Abwasser kann danach versickert oder einer untergeordneten Bewässerung zugeführt werden.

Vorhandene Hauszisternen und Abwassergruben können kostengünstig an die Erfordernisse der biologischen Abwasserbehandlung angepasst werden und stehen so zur weiteren Nutzung zur Verfügung.

4.2.5. Abwassersammler Hafen Drvenik Veli

4.2.5.1. Ausführung als Druckentwässerung

Die Orte Bobovisce und Grabule liegen in Hanglage um die Bucht des Hafens von Drvenik Veli. Die Bebauung reicht bis in eine Höhe von ca. 30 m über dem Meeresspiegel. Die bebaute Strecke entlang der Wasserkante beträgt ca. 2.700 m (siehe Anhang 4 bzw. Anhang 6). Der geplante Abwassersammler folgt daher den topographischen Gegebenheiten in dieser Bucht.

Das Siedlungsgebiet der beiden Ortschaften wird in acht Sektoren aufgeteilt. Aus den einzelnen Häusern wird das anfallende Abwasser durch Freispiegelleitungen auf-

genommen, die in Meereshöhe in acht Abwasserpumpstationen münden, die als „Fertigteil-Kompaktpumpwerke“ ausgeführt werden (siehe Anhang 5, Abb. 3). Aus den Pumpwerken wird das Abwasser in die Druckleitung gepumpt (je Pumpwerk $Q = 4 \text{ l/s}$). Unter Druck fließt es entlang der Uferlinie bis in das Zulaufpufferbecken der geplanten Kläranlage.

Zur Sammlung des Abwassers sind ca. 5.250 m Freispiegleitung DN 100/200 und ca. 2.250 m Druckleitung erforderlich.

Aufgrund der starken hydraulischen Lastschwankungen resultieren in der Wintersaison große Aufenthaltszeiten in der Druckleitung (siehe Tab. 11). Aus diesem Grund wird die Druckleitung mit einer Kompressorstation (Luftleistung von ca. 2.000 l/min) mit ca. 11 kW ausgerüstet. In der Winterzeit wird die Druckleitung täglich einmal (ca. 1 h) mit Druckluft frei geblasen.

Tab. 11: Druckleitungsdimensionierung; 2. Ausbaustufe Hauptsaison

Strang-Nr.	Länge m	Nennweite		A	V m³	1.AS Sommer		1.AS Winter		2.AS Sommer		2.AS Winter	
		d	lichter d			Q m³/d	Zeit d	Q m³/d	Zeit d	Q m³/d	Zeit d	Q m³/d	Zeit d
1	120	90	79	0,0049	0,588	6,72	0,09	1	0,59	13,44	0,04	1,68	0,35
2	90	90	79	0,0049	0,441	10,08	0,04	1,5	0,29	20,16	0,02	2,52	0,18
3	380	90	79	0,0049	1,862	17,92	0,10	2,68	0,69	35,84	0,05	4,48	0,42
4	270	125	110	0,0095	2,565	73,92	0,03	11,08	0,23	147,84	0,02	18,48	0,14
5	140	125	110	0,0095	1,33	78,4	0,02	11,75	0,11	156,8	0,01	19,6	0,07
6	390	125	110	0,0095	3,705	81,76	0,05	12,25	0,30	163,52	0,02	20,44	0,18
7	120	125	110	0,0095	1,14	97,44	0,01	14,6	0,08	194,88	0,01	24,36	0,05
8	740	125	110	0,0095	7,03	112	0,06	16,8	0,42	224	0,03	28	0,25
					18,661	Tage 0,41		Tage 2,72		Tage 0,20		Tage 1,63	

Für die Planung der Druckleitung wird z. Zt. von ca. 350 angeschlossenen Häusern und einer Abwassermenge von 224 m³/d ausgegangen. Die Spitzenförderleistung der Druckleitung wird mit ca. 9,9 l/s bzw. 35 m³/h festgelegt. Die Strömungsgeschwindigkeit beträgt dabei ca. 1,0 m/s. Um die Rohrreibungsverluste in den Druckleitungen gering zu halten, wurden Rohrrinnendurchmesser d_i von 79/110 mm gewählt. Die Rohrreibungsverluste werden dadurch auf $h_r = 27 \text{ m WS}$ begrenzt. Bei einer geodätischen Höhe von 25 m zum Standort der Kläranlage sind Abwasserpumpwerke mit einer Förderhöhe von $h_{\text{man.}} = 52 \text{ m}$ zu berücksichtigen.

Aus der Berechnung der Druckleitung (siehe Anhang 7) wird deutlich, dass eine volle Berücksichtigung der Hotelkapazität von ca. 1.300 Betten bzw. ca. 59 m³/h als Spitzenabfluss (siehe Tab. 9) von dem Druckleitungssystem nicht aufgenommen werden kann. Daher ist zu gegebener Zeit für große Teile des projektierten Spitzenabflusses der Hotels eine separate Förderleitung zu planen. Abgesehen davon, dass gegenwärtig weder die exakten Standorte der geplanten Hotels noch die hotelinternen Konzepte zur Abwasserentsorgung geklärt sind, ist die Einbeziehung der Hotels in

die Dimensionierung der Druckleitung bzw. der Kläranlage zum jetzigen Zeitpunkt weder technisch noch wirtschaftlich zu vertreten.

4.2.5.2. Ausführung als Unterdruckentwässerung

Eine Ausführung des Abwassersammlers als Unterdruckentwässerungssystem führt an diesem Standort zu nahezu identischen Planungsansätzen. Leitungsführung und Längen für die Haupt- und Nebenstränge der Vakuumleitung sind vergleichbar mit den Längen der Freispiegleitung und der Druckleitung.

Anstelle der acht Pumpstationen entlang der Druckleitung wird am Ende des Unterdrucksystems eine Vakuumstation in einem eigenen Betriebsgebäude errichtet. Diese übernimmt die Unterdruckregulierung des Abwassersammlers sowie den Weitertransport des Abwassers in die Kläranlage (vgl. Anhang 5, Abb. 4). Die an der Vakuumstation anfallende Abluft wird in einem biologischen Abluftfilter behandelt.

4.2.5.3. Investitionskostenvergleich

Der Kostenvergleich der beiden Entwässerungssysteme bezieht sich auf die Abwassersammlung und Fortleitung der Orte Bobovisce und Grabule bis hin zum geplanten Standort der Kläranlage. In dem nachfolgendem Kostenvergleich werden die Kosten für Hausanschlusschächte nicht berücksichtigt. Diese Kosten fallen auf Seiten der Grundstückseigentümer an und sind somit nicht Gegenstand der öffentlichen Kosten für die Einrichtung des Abwassersammlers.

Die Investitionskosten für einen Hausanschlusschacht liegen je nach Bauausführung und Größe zwischen 500 und 1.500 €/Stück ³.

Tab. 12 zeigt, dass die Investitionen im Bereich Bodenaushub/Verlegung/Verfüllung sowie im Bereich des Leitungsnetzes nahezu gleich ausfallen. Die Kanäle zur Verlegung der Rohrleitungen können auf Grund des ganzjährig milden Klimas mit einer Bautiefe von ca. 0,5 m ausgeführt werden.

Im Bereich der Abwasserförderung sind die Investitionen für die Errichtung der Vakuumstation höher als für die Installation von acht Fertigteilpumpwerken und einer Kompressorstation. Die Vakuumentwässerung bietet die größeren technischen Vorteile, verursacht aber etwas höhere Investitionskosten.

³ Aufwand für die Abwasserableitung und Abwasserbehandlung. Orientierungswerte 2003; Land Brandenburg Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung

Tab. 12: Investitionskostenvergleich Abwassersammlung

Maßnahme	Ausführung als Freispiegel/Druckleitung	Ausführung als Vakuumentleitung
Bodenaushub/Verlegung/Verfüllung	118.000,--	118.000,--
Freispiegelentleitung	52.250,--	
Druckentleitung	30.750,--	
Vakuumentleitung		152.000,--
Kontrollschächte/Inspektionsöffnungen	60.000,--	10.000,--
Fertigteil-Pumpstationen	120.000,--	
Kompressorstation	20.000,--	
Vakuumentstation mit Betriebsgebäude		130.000,--
Zwischensumme	401.000,--	410.000,--
Nebenkosten/Engineering 25%	100.250,--	102.500,--
Endsumme	501.250,--	512.500,--

4.2.5.4. Betriebskostenvergleich

Vergleichsuntersuchungen der beiden betrachteten Entwässerungssysteme in Deutschland führen zu dem Ergebnis, dass die Betriebskosten annähernd gleich sind. Die wesentlichen Kosten werden durch den Transport des Abwassers verursacht.⁴

Die spez. Energiebedarf eines Vakuumsystems wird mit ca.10-30 kWh/E*a angegeben. Bezogen auf das Jahr 2015 (ohne Hotelgäste) ergibt sich damit für die Vakuumentzeugung und das Abwasserpumpwerk der Energiebedarf zu ca. 11.000 kWh/a.

Im Druckentwässerungssystem mit acht kleinen Pumpwerken und einer Kompressorstation liegt der Energiebedarf ebenfalls bei ca. 11.000 kWh/a

Bei einem spez. Energiepreis von 0,10 €/kWh liegen die jährlichen Energiekosten für die Abwassersammlung und Fortleitung bei nur ca. 1.100 €/a.

4.2.5.5. Abwasserausfallentleitung in die Adria

Soweit nicht eine ganzjährige Verwertung des gereinigten Abwassers auf den Inseln ermöglicht werden kann, soll das gereinigte Abwasser in den Strömungsbereich des Kanals von Drvenik (der Adria) eingeleitet werden, um eine Eutrophierung

⁴ Aufwand für die Abwasserableitung und Abwasserbehandlung. Orientierungswerte 2003; Land Brandenburg Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung

der fjordartigen Hafeneinfahrt von Drvenik Veli zu vermeiden. Vom geplanten Standort der Kläranlage beträgt die Länge der Leitung ca. 550 m, bis in eine Tiefe von ca. 50 m. Der Ablauf aus der biologischen Stufe der Kläranlage erfolgt im freien Gefälle mit einem Auslaufregler. Bei einer Entleerungsmenge von ca. 60 m³/h ist eine Rohrleitung von $d_i = 125$ mm erforderlich. Der Druckverlust bei hydrostatischer Entleerung liegt bei ca. 10 m WS.

Die spez. Kosten für die komplette Errichtung der Ausfallleitung werden in diesem Fall mit ca. 100 €/m abgeschätzt. Daraus resultieren Investitionskosten von **ca. 55.000 €**. Dieser Kostenansatz berücksichtigt das Rohrleitungsmaterial, die Verlegungskosten **ohne** ankersichere Überdeckung sowie die Kosten für die Beschwerung und Verankerung mit Betongewichten oder Zementmatten auf dem Meeresgrund.

Die Kosten für die Verlegung der Abwasserleitung in die Adria können nur abgeschätzt werden. Die Kosten sind abhängig von den Untergrundverhältnissen von der Wasserkante bis in die Strömungszone des Kanals von Drvenik, sowie von den staatlichen Anforderungen an die Sicherheit der Abwasserleitung gegenüber Ankerschäden durch Schiffe. In Abhängigkeit der Strömungsverhältnisse ist zu prüfen, ob die Verlegung einer kürzeren Meeresleitung zulässig ist.

In der Regel werden Rohrleitungen in Küstennähe mit schwerem technischen Spezialgerät in den Meeresuntergrund verlegt oder mit ausreichenden Mengen Kies und schweren Steinen ankersicher überdeckt.

Eine Verlegung in den Untergrund des Meeresbodens mit sicherer Ab- und Überdeckung, wie sie im küstennahen Bereich zum Schutz vor Ankerschäden durch Seeschiffe üblich ist, ist in dem oben genannten Preis nicht enthalten. In diesem Fall können Kosten bis zu 500 €/m für die Verlegung der Rohrleitung entstehen ⁵.

5. Abwasserbehandlungsverfahren

5.1. Allgemeine Planungsansätze

Die Planungsansätze für den Bau kleiner Kläranlagen auf den Inseln Drvenik Veli und Drvenik Mali wurden in Kapitel 4.1. bereits genannt. Die Ansätze orientieren sich an der Besiedlungsdichte sowie an der Vermeidung von hohen Kosten für die Errichtung der öffentlichen Abwasserentsorgungseinrichtungen.

⁵ Telefonrecherche und Kostenabschätzung von Offshore-Leistungen mit Unterstützung von S. Schlie, Heinrich Hirdes GmbH, Rostock

Als kleine zentrale Kläranlage wird die Planung für die dicht besiedelte Bucht um den Hafen von Drvenik Veli verstanden. Hier wird im Endausbau das Abwasser von 800 bis zu 2.500 Einwohnern an eine kleine öffentliche Kläranlage angeschlossen und zentral behandelt.

Die Behandlung von Abwasser aus frei und vereinzelt stehenden Gebäuden sowie von weiträumigen Ansiedlungen auf großen Grundstücken wird dezentral in Hauskläranlagen geplant. Die Anschlussleistungen je Einheit betragen hier 4 bis 50 EW. Die Abwasserbehandlung und Beseitigung erfolgt auf den privaten Grundstücken der Eigner.

Die gesetzlichen Anforderungen an die Qualität des behandelten Abwassers bleiben in beiden Fällen gleich. Es wird eine biologische Verminderung der organischen Verschmutzung (BSB₅ und CSB) sowie eine ausreichende Rückhaltung der abfiltrierbaren Stoffe gefordert.

5.2. Abwasserbehandlung in kleinen Kläranlagen

Die Planung und der Betrieb von kleinen Kläranlagen gestaltet sich schwieriger als der Betrieb von großen Kläranlagen. Der Abwasserzufluss weist größere spezifische Schmutzfrachtstöße und höhere hydraulische Spitzen auf. Zusätzlich kommt es zu saisonalen Mengen- und Frachtschwankungen. In Hauskläranlagen sind Zeiträume ohne Abwasserzufluss möglich.

Die verfahrenstechnischen Funktionsgruppen der Kläranlage sollten daher einer regelmäßigen Betreuung unterliegen. Außerdem gilt:

- Eine Pufferung und ein Ausgleich des Abwasserzuflusses zur Kläranlage sind anzustreben;
- die Bauweise der Behandlungsstufen sollte einfach und übersichtlich gestaltet werden;
- die maschinellen Einrichtungen sollten robust, betriebssicher und wartungsfreundlich sein;
- die Behandlungsstufen sollten modular erweiterbar sein;
- die Behandlung und Verwertung der Reststoffe am Entstehungsort muss sichergestellt werden.

Als erprobte Abwasserbehandlungsverfahren für kleine und Hauskläranlagen stehen **naturnahe Verfahren** und **technische Verfahren** zur Verfügung. Im ersten Fall er-

folgt die Sauerstoffversorgung natürlich, ohne maschinelle Hilfe. Im zweiten Fall erfolgt die biologische Reinigung mit Unterstützung von Belüftungsaggregaten und Pumpwerken.

Naturnahe Verfahren:

- Pflanzenkläranlagen
- Teichkläranlagen

Technische Verfahren:

- Aufstaubeleungsanlagen (SBR-Verfahren)
- Tropfkörperanlagen
- getauchte Festbettanlagen
- Rotationstauchkörperanlagen (RTK)
- Biofilm Wirbel-/Schwebebettanlagen
- Membranbeleungsanlagen

5.2.1. Naturnahe Verfahren

5.2.1.1. Pflanzenkläranlagen

Pflanzenkläranlagen bestehen aus einem gefluteten Pflanzenbeet. Der Bodenkörper besteht aus Kies- und Sandschichten und ist mit Sumpfpflanzen (Helophyten) bewachsen. Im Bodenkörper laufen komplexe biologische Prozesse im Zusammenwirken mit dem Pflanzenwurzelraum und den Mikroorganismen ab. Die organischen Abwasserinhaltsstoffe werden dabei weitgehend mineralisiert und zu CO₂, Wasser und Biomasse (Schilfrohr) umgesetzt.

Zur Vermeidung von Betriebsstörungen im Pflanzenbeet ist eine vorgeschaltete mechanische Stufe zur Entschlammung und Entfernung von Grob- und Schwimmstoffen aus dem Rohabwasser unerlässlich.

Der Einsatzbereich dieses Verfahrens liegt bei Anschlusswerten von 4 bis ca. 1.500 EW. In Deutschland wurden bisher ca. 5.000 Anlagen nach diesem Verfahrensprinzip ausgeführt.

Die Pflanzenbeete werden heute horizontal oder vertikal durchströmt ausgeführt. Horizontal durchströmte Anlagen haben eine Wassertiefe von 0,8 m. Vertikal durchströmte Anlagen haben eine Wassertiefe bis 1,6 m. Als Bodenkörper wird gewaschener Sand, Kies oder Lava eingesetzt. Pflanzenbeete verfügen über eine Zu- und Ab-

laufeinrichtungen (siehe Anhang 5, Abb. 5). Besonders hervorzuheben ist das oberflächendeckende Verteilsystem des vertikal durchströmten Pflanzenbeetes.

Die Bepflanzung erfolgt mit Schilf (3-5 Setzlinge pro m²). Die Abdichtung nach unten erfolgt mit tonartigen Materialien bzw. mit PE-Folie in einer Dicke von 3 mm.

Der Flächenbedarf der Beete ist groß und liegt bei ca. 8 m²/EW für horizontal durchströmte Anlagen und bei ca. 4 m² für vertikal durchströmte Anlagen. Eine 100 EW-Anlage benötigt somit bis zu 800/400 m² Beetoberfläche. Bei abflussfreien kleinen Hauskläranlagen (4 EW) ist mit einem Flächenbedarf von 10-15 m²/EW zurechnen.

5.2.1.2. *Teichkläranlagen*

Teichkläranlagen bestehen aus unbelüfteten oder belüfteten Abwasserteichen. Das benötigte Teichvolumen wird meistens in 2 bis 3 Einheiten unterteilt (siehe Anhang 5, Abb. 7). Die Einlaufzone im ersten Teich dient dabei zum Abscheiden von Grob- und Schwimmstoffen.

Die Abdichtung der Teiche gegen den Untergrund erfolgt mit ca. 3 mm starker PE-Folie. Die Wassertiefe der unbelüfteten Teiche beträgt 1,0 bis 1,5 m. Die Sauerstoffversorgung in unbelüfteten Teichen erfolgt durch natürliche Diffusion über die Wasseroberfläche.

Um ausreichende Sauerstoffeinträge und BSB₅-Abbauraten zu erreichen sind spez. Oberflächen von 10-15 m²/EW notwendig. In den oberen Zonen der Teiche finden aerobe Abbauprozesse und in den unteren Zonen anaerobe Abbauprozesse statt.

Belüftete Abwasserteiche sind dagegen mit maschinellen Belüftungs- und Umwälzeinrichtungen ausgestattet. Diese ermöglichen einen höheren aeroben Stoffumsatz und damit einen geringeren Oberflächenbedarf.

Der spez. Flächenbedarf für belüftete Teiche liegt bei ca. 3 m²/EW. Die mittlere Wassertiefe eines belüfteten Teiches kann bis zu 3,0 m betragen.

Der Energiebedarf für die Belüftung erfordert ca. 4 W/EW. Für die Umwälzung ist ein Energieeintrag von ca. 1-3 W/m³ vorzusehen.

Im Segment der belüfteten Abwasserteiche ist das BIOLAK- Verfahren hervorzuheben. Der Platz und Energiebedarf wurden durch die besondere Wahl und Anordnung der Belüfteraggregate optimiert. Durch nichtstationäre, schwimmende Belüfterketten wird sowohl eine ausreichende Belüftung als auch Umwälzung des Teichvolumens sichergestellt. Wassertiefen bis 5 m sind möglich. Der Energiebedarf beträgt nur ca.

2,5 W/m³. Mit diesen Anlagen können bei Bedarf auch weitergehende Anforderungen, z.B. an die Stickstoff- und Phosphorelimination erfüllt werden.

5.2.1.3. *Vor- und Nachteile naturnaher Verfahren*

Pflanzen- und Teichkläranlagen zeichnen sich durch folgende Vorteile aus:

- Der Technisierungsgrad ist gering;
- das Puffervermögen gegenüber Schmutzwasser ist groß;
- die Reinigungsleistung ist gut bis befriedigend;
- die Betriebssicherheit ist groß;
- der Wartungsaufwand ist gering;
- die Überschussschlammentsorgung erfolgt nur alle 5-10 Jahre;
- die Investitions- und Betriebskosten sind gering;
- in kleinen Teich- oder Pflanzenkläranlagen können die Investitionskosten durch Eigenleistung bis zu 50 % gesenkt werden:

Nachteile der Pflanzen- und Teichkläranlagen:

- hoher Flächenbedarf ⁶;
- erhöhte Kosten bei der Errichtung auf felsigem Untergrund und Gelände mit Hanglagen;
- Verstopfungsgefahr von Pflanzenbeeten;
- mögliche Geruchsbelästigung bei Fehlfunktion;
- eingeschränkte Reinigungsleistung im Winterbetrieb;
- eingeschränkte Nitrifikationsleistung.

Aufgrund des großen Flächenbedarfs und der schwierigen topographischen Verhältnisse (felsige Hanglagen) auf den beiden Inseln wird von der Errichtung größerer Teich/Pflanzenkläranlagen (500-1.500 EW) abgeraten. Diese Verfahren eignen sich auf den Inseln nur bei der dezentralen Abwasserbehandlung einzelner frei stehender Häuser und Grundstücke mit Anschlusswerten < 50 EW. Kleine Pflanzenbeete und Teiche lassen sich auch gut in das Landschaftsbild einpassen.

⁶ Beispiel für den Flächenbedarf einer 500 EW- Anlage:
Pflanzenkläranlage (horizontal) ~ 3.500 m²
Pflanzenkläranlage (vertikal) ~ 2.000 m²
Unbelüfteter Teich ~ 6.500 m²
Belüfteter Teich ~ 1.500 m²

5.2.1.4. Kosten von Pflanzenkläranlagen und Teichen

Pflanzenkläranlagen und Teiche sind bei normalen Bodenverhältnissen kostengünstige und zuverlässige Kläranlagen. Auch die Betriebskosten sind gering, weil keine Energiekosten für die Belüftung und Schlammstabilisierung entstehen (gilt nicht bei belüfteten Abwasserteichen) ⁷.

Die spez. Investitionskosten für die Errichtung einer Pflanzenkläranlage schwanken je nach Ausbaugröße zwischen 400 und 1.500 €/EW. Die Errichtung einer 1.000 EW-Anlage erfordert Investitionen von ca. 400.000 €. Das setzt aber einen leicht zu bearbeitenden erdigen Untergrund voraus. Auf den Inseln muss von felsigem Boden und Hanglagen ausgegangen werden, der bei der Bearbeitung hohe Kosten für die Erdaushubarbeiten verursacht. Die Zusatzkosten liegen bei 20-40 €/m³ Erdaushub.

Die Betriebskosten großer Anlagen (ca. 1.000 EW) sind mit ca. 27 €/EW*a zu Grunde zu legen. Bei einer 5 EW- Anlage liegen die Betriebskosten bei ca. 132 €/EW*a.

Tab. 13: Spez. Investitions- und Betriebskosten von Pflanzenkläranlagen

Größe EW	Spez. Herstellkosten €/EW *	Spez. Herstellkosten €/EW **	Spez. Herstellkosten €/EW ***	Spez. Betriebskosten €/EW*a ***
4	1.500	2.000	1.500/3200	132
10	1.300	1.500	800/1.500	--
50	1.100	740	700	55
100/200	750/1.000	--	--	--
1000	--	425	--	27

* Schmid-Schmieder, Abwassertechnik und Gewässerschutz, Pflanzenkläranlagen, 2003

** Orientierungswerte Jahr 2003, MLUR Land Brandenburg

*** Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Stand: Januar 2002

5.2.2. Technische Verfahren

In technischen Kläranlagen zur biologischen Abwasserbehandlung wird die Biomassenkonzentration künstlich erhöht. Die Belüftung erfolgt in der Regel maschinell.

Es gibt Verfahren mit frei im Bioreaktor schwimmender Biomasse (Belebungsanlagen, suspendierte Biomasse) und Verfahren mit sessiler Biomasse. Die Biomasse befindet sich in diesem Fall als Biofilm fixiert auf einem System von Aufwuchsoberflächen. Die Schichtdicke des Biofilms richtet sich nach den im Reaktor herr-

⁷ Schmid-Schmieder:
Pflanzenkläranlagen; Kapitel 8 Kosten; Abwassertechnik und Gewässerschutz; Dezember 2003

schenden Strömungsverhältnissen. Biofilme mit geringen Schichtdicken ermöglichen eine gute Sauerstoffversorgung und zeichnen sich durch hohe biologische Aktivität und Leistungsfähigkeit aus.

Alle nachfolgend aufgeführten Verfahren eignen sich sowohl für den Einsatz in standardisierten Hauskläranlagen (4 bis < 50 EW) als auch für die Errichtung kleiner Kläranlagen bis 1.000 EW.

5.2.2.1. Aufstau-/SBR-Verfahren

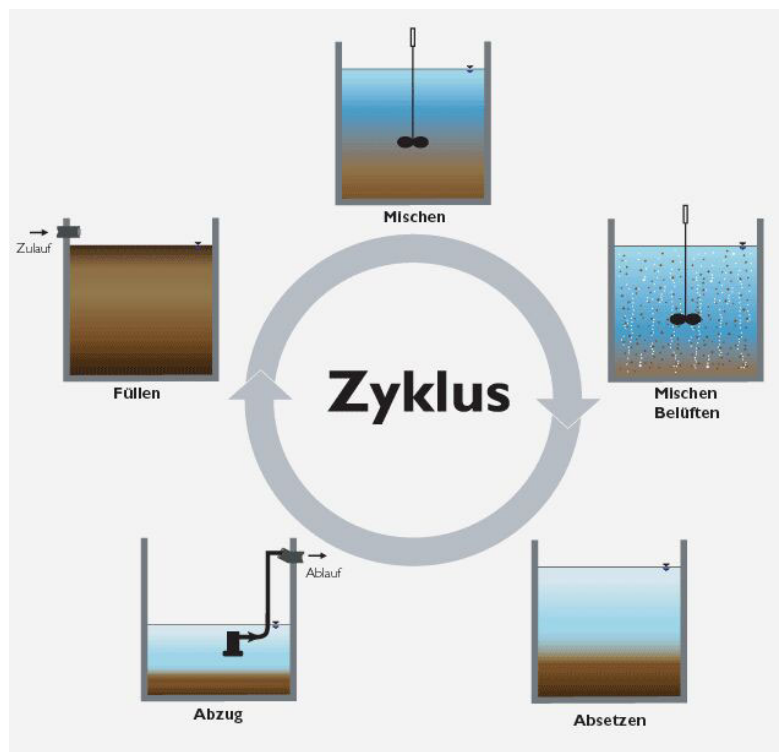


Abb. 8: Prinzip des Verfahrenszyklus einer SBR-Anlage

Das klassische Belebungsverfahren besteht aus einem Belebungsbecken, Nachklärbecken und einem Schlammrückführungspumpwerk. Beim SBR-Prozess (**S**equencing - **B**atch - **R**eactor) finden diese Verfahrensschritte zeitlich getrennt nacheinander in einem Reaktorraum statt (siehe Abb. 8).

Durch eine modulare Aufteilung in 2 bis 3 Reaktoren erlangt die Anwendung dieses Verfahrens eine große Flexibilität gegenüber Fracht- und Lastschwankungen. Sowohl Reaktionszeiten als auch Reaktionsvolumina lassen sich variabel den saisonalen Verhältnissen anpassen. Die maschinentechnischen Einrichtungen sind einfach und klar strukturiert.

5.2.2.2. *Tropfkörper/Festbettreaktor*

Der Tropfkörper ist eine Form des Festbettreaktors. Er ist mit Füllkörpern aus Kunststoff oder mineralischen Materialien gefüllt. Der biologische Rasen wächst auf den Oberflächen der Füllkörper. Die Sauerstoffzufuhr erfolgt durch natürlichen Kaminzug von unten.

Im Festbettreaktor werden Füllkörperpakete (Festbetten) in den gefluteten Reaktor gehängt oder gestellt (siehe Anhang 5, Abb. 8 und Anhang 5, Abb. 9). Über ein Druckbelüftungssystem (Teller oder Kerzen) wird Druckluft zur Sauerstoffversorgung unter die Festbetten eingetragen.

Auch Tropfkörper-/Festbettssysteme erfordern eine Abtrennung der ausgespülten Biomasse.

Zur Vermeidung von Verstopfungen und zur Feuchthaltung des biologischen Rasens erfordert das Tropfkörperverfahren eine hohe Rezirkulationsrate des Abwassers (interne Kreislauflührung). In diesem Fall sind Tropfkörper in der Lage, flexibel auf Last- und Frachtschwankungen sowie auf saisonale Veränderungen zu reagieren.

5.2.2.3. *Rotationstauchkörper (RTK)*

Rotationstauchkörper bestehen aus Scheiben oder Füllkörpern, die trommelförmig um eine horizontale, rotierende Welle angeordnet sind (siehe Anhang 5, Abb. 10). Die Füllkörper tauchen etwa bis zur Höhe der Welle in einen mit Abwasser gefüllten Trog ein und kommen dabei mit dem Substrat in Kontakt. Gleichzeitig wird der auf den Füllkörpern fixierte Biofilm im nicht getauchten Teil mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft versorgt.

Auch RTK benötigen eine Nachklärung zur Abscheidung der überschüssigen Biomasse. Nachklärbecken werden als Absetzbecken, Lamellenseparator oder als Filtereinheit ausgebildet. Bei Unterbrechung der Abwasserzufuhr in Phasen mit geringem Abwasseranfall erfolgt die Aufrechterhaltung der biologischen Funktion der Mikroorganismen durch Kreislauflührung. Das Abwasser wird aus der Nachklärung in den Zulauf des RTK zurückgepumpt.

5.2.2.4. *Wirbel-/Schwebebettverfahren*

Dieses Verfahren ist ein reines Biofilmverfahren. Die Biomasse ist auf frei im Bioreaktor schwimmenden Aufwuchskörpern aus Kunststoff (Durchmesser ca. 10 mm) fixiert. Durch die freie Beweglichkeit dieses Trägermaterials im Reaktor bildet sich auf den Oberflächen ein dünner und damit im Vergleich zum herkömmlichen Belebtschlammverfahren sehr aktiver Biofilm aus (siehe Anhang 5, Abb. 11).

Die Formgebung des Trägermaterials ermöglicht spezifische Oberflächen von 300 bis 800 m²/m³ Schüttvolumen. Damit sind eine hohe Biomassenkonzentration und sehr gute biologische Abbauraten im Reaktor sichergestellt. Die Rückhaltung der Aufwuchskörper im System erfolgt durch Siebbleche.

Das Verfahren erfordert eine Vorklärstufe zur Abscheidung der Grob- und Schwimmstoffe. Die nicht fixierte Biomasse wird im Nachklärbecken abgetrennt und in der Vorklärstufe zusammen mit dem Primärschlamm gesammelt. Deshalb wird bei der Bemessung der Vorklärstufe ein Stapelvolumen für den Schlammanfall aus der biologischen Stufe berücksichtigt.

Der Sauerstoffeintrag erfolgt über Druckluft. Diese wird mit Schlauchbelüftern feinblasig eingetragen und sorgt gleichzeitig für die erforderliche Umwälzung. In großen Anlagen werden speziell angepasste Rührwerke eingesetzt.

5.2.2.5. Membranbelebungsanlagen

Das Membranbelebungsverfahren ist eine Kombination aus aerober biologischer Abwasserbehandlung und physikalischer Membranfiltration in einem biologischen Reaktor (siehe Anhang 5, Abb. 12).

Die Phasenseparation ist im Bereich der Mikrofiltration/Ultrafiltration angesiedelt (Porengrößen von 0,4-0,04 µm), und ermöglicht eine Filtratqualität, die nahezu frei von Bakterien, Viren und pathogenen Keimen ist.

Das biologisch gereinigte Abwasser wird z.B. nach dem Niederdruckprinzip durch die Membranen aus Kunststoff oder Keramik gesaugt. Im Bioreaktor wird dadurch die Anreicherung der Biomasse auf eine Konzentration von 10-20 g/l möglich.

Zur Aufrechterhaltung der Filterleistung der Membranmodule werden an den Oberflächen hohe Strömungsgeschwindigkeiten erzeugt, die eine Verblockung der Poren der Membranmodule verhindern.

Durch die Membranfiltration wird ein hoher hygienischer Standard des behandelten Abwassers erreicht. Die direkte Verwendung als Brauchwasser z.B. als Toilettenspülwasser und zu Bewässerungszwecken im häuslichen Garten oder in der Landwirtschaft ist problemlos möglich.

5.2.2.6. Vor- und Nachteile technischer Verfahren

Die vorgenannten Verfahren haben sich bei der dezentralen Behandlung von häuslichem Abwasser inzwischen seit vielen Jahren bewährt. Sie ermöglichen einen siche-

ren biologischen Abbau der organischen Inhaltsstoffe sowie eine teilweise Stickstoffelimination.

Durch den langjährigen Einsatz dieser Verfahren haben sich hohe technische Standards entwickelt. Kleine Kläranlagen arbeiten heute bei entsprechender Wartung sicher und prozessstabil. Die erzielte Qualität im gereinigten Abwasser erfüllt und übersteigt die an diese Anlagen gestellten Anforderungen.

Die hier dargestellten 6 Verfahrensprinzipien haben in ihrer technischen Anwendung die größte Verbreitung auf dem Markt gefunden. Sie werden sowohl in kleinen standardisierten Hauskläranlagen ab 4 EW Anschlussleistung als auch in Kleinkläranlagen eingesetzt. Hierbei stellt das relativ neue und noch nicht so verbreitete Verfahren der Membranbiologie momentan die Spitze der technischen Entwicklung dar.

Vorteile technischer Hauskläranlagen:

- Ausführung in kompakter Bauweise, standardisierte Behälter aus vorgefertigtem Stahlbeton oder aus Kunststoff (PE);
- geringer Platzbedarf, Aufstellung im Hauskeller oder im Freien möglich;
- Unterbringung aller Verfahrensschritte wie Vorabscheidung, Biologie und Nachklärung in einem Behälter (Durchmesser bis 3 m, Wassertiefe bis 4 m) möglich;
- wenig Bodenaushub notwendig;
- keine langen Rohrleitungssysteme;
- einfache, gut erreichbare technische Einbauten;
- gutes Reinigungsergebnis;
- leistungsstarke biologische Stufen mit Biofilntechnik bzw. mit SBR-Technik;
- Betriebsanpassung in Schwachlastphasen durch „Abwesenheitsschaltung“ der Anlagen;
- Entleerung von Schlamm nur einmal pro Jahr bzw. bei geringeren Auslastungen in Zeitabständen von bis zu 3 Jahren ⁸;
- Nachrüstung vorhandener Gruben und Becken mit technischen Einbausätzen möglich;

⁸ Schlammfall:
SBR-Technik ~ 400 l/E·a
Tropfkörper/Festbetten ~ 350 l/E·a
Wirbel/Schwebbett ~ 160 l/E·a
Membranbiologie < 125 l/E·a

- geringe Betriebskosten (Ausnahme: Membranbiologie);
- geringe Anschaffungskosten (Ausnahme: Membranbiologie);
- Investitionskosten können durch Eigenleistung gesenkt werden;
- Wiederverwendung des gereinigten Abwassers im häuslichen Bereich (nur bei Membranbiologie);

Nachteile technischer Hauskläranlagen:

- Vorabscheidung von Grobstoffen notwendig/sinnvoll;
- Verstopfung durch unkontrolliertes Wachstum von Biofilmen auf den Aufwuchskörpern möglich (Tropfkörper, Festbetten, Rotationstauchkörper);
- nach Schlammmentleerung besteht Wasserbedarf zum Auffüllen der entleerten Vorklärstufe (ca. 3 m³ für eine 4-8 EW- Anlage);
- Aufwand für Rezirkulationseinrichtungen (Tropfkörper)
- qualifizierte Wartung durch Fachpersonal ist notwendig ⁹;
- bei häuslicher Wiederverwendung sind Maßnahmen zur Hygienisierung des gereinigten Abwassers notwendig (Ausnahme: Membranbiologie);
- höhere Anschaffungskosten bei der Membranbiologie;
- höhere Betriebskosten bei der Membranbiologie.

Der Verfahrensvergleich führt zu dem Ergebnis, dass Verfahren mit Biofilmen, z.B. mit frei beweglichen Aufwuchskörpern sowie SBR-Verfahren bei ihrer Anwendung in Hauskläranlagen sehr kompakte Bauausführungen ermöglichen. Vorteile liegen hier beim Wirbel-/Schwebebettverfahren.

Gleichzeitig ermöglichen diese Verfahren einen sehr anpassungsfähigen biologischen Abbauprozess. Die Anpassung an saisonale Lastschwankungen ist gut möglich.

Der spez. Schlammanfall liegt beim SBR-Verfahren mit ca. 400 l/E·a höher als beim Wirbel-/Schwebebett-Verfahren, wo er laut Herstellerangaben mit ca. 160 l/E·a angesetzt werden kann. Der Energiebedarf kann bei beiden Verfahren mit 60-100 kWh/E·a angenommen werden.

Bei allen technischen Hauskläranlagen ist zu berücksichtigen, dass nach einer Schlammmentleerung der Vorklärstufe in gleicher Menge Brauchwasser (kein Trink-

⁹ In Deutschland wird vom Deutschen Institut für Bautechnik eine dreimalige Wartung pro Jahr gefordert. Auf Länderebene bestehen uneinheitliche gesetzliche Anforderungen an die Wartung von Hauskläranlagen

wasser), in die entleerte Kammer nachgefüllt werden muss, damit die technischen Funktionen der Anlage erhalten bleiben. Aus diesem Grund empfiehlt sich zur Schlamm Entsorgung die Schlamm entwässerung mit entsprechenden Spezialfahrzeugen. Dabei werden die Feststoffe abgetrennt und mobil entsorgt, das verbleibende Klarwasser steht zur Wiederauffüllung der Anlage zur Verfügung.

Ein Nachteil dieser Verfahren ist die eingeschränkte Möglichkeit zur Verwertung des behandelten Abwassers im häuslichen Bereich. Hier wird bei Bedarf eine Hygienisierung des behandelten Abwassers erforderlich. Eine Verwertung zur Bewässerung im landwirtschaftlichen Bereich ist abgestuft möglich.

Durch den Einsatz der Mikro-/Ultrafiltration ist die weitgehende Abtrennung von Bakterien, Viren und pathogenen Krankheitskeimen gewährleistet, dadurch wird die Nutzung als Brauchwasser im häuslichen Bereich (Toilettenspülung, Bewässerung von Garten und Rasen) unbedenklich möglich. Unter diesem Gesichtspunkt lassen sich auch die höheren Anschaffungs-, Betriebs und Wartungskosten für die Biomembrananlagen rechtfertigen.

5.2.2.7. Kosten von technischen Hauskläranlagen

5.2.2.7.1. Beschaffungskosten

Die Größenordnung der Anschaffungskosten von technischen Hauskläranlagen wird nachfolgend in Tab. 14 dargestellt. Sie verstehen sich ohne Einbaukosten und Kosten für die Vorbereitung des Bauplatzes (Erdarbeiten).

Tab. 14: Beschaffungskosten Hauskläranlagen

Anschlusswert EW	SBR-Verfahren €	Tropfkörper/ Festbettverf. €	Wirbel/Schwebebett- verfahren €	Membran- Biologie €
4	4.700	4.700	3.400	8.000
8	6.000	5.500	3.600	11.000
12	7.500	6.500	4.000	14.000
16		7.500	6.500	17.000
50		15.000	11.000	

Es zeigt sich eine deutliche Kostendegression mit steigender Kapazitätsgröße. Bei 4 EW Anschlussleistung liegen die spez. Anschaffungskosten bei 850 bis 1.200 €/EW. Bei einer Anschlussleistung von 16 EW sinken die spez. Anschaffungskosten bereits auf ca. 410 bis 470 €/EW. Bei 50 EW Anschlussleistung liegen die spez. Anschaffungskosten nur noch bei 200 bis 250 €/EW.

Die Membranbiologie ist im Vergleich zu den konventionellen Verfahren für Hauskläranlagen überdurchschnittlich teuer. Für eine 4/16 EW- Anlage liegen die spez. Anschaffungskosten bei 2.000/1.060 €/EW.

Von den meisten Herstellern von Hauskläranlagen werden auch **Einbausätze zum Nachrüsten** bestehender Behälter und Absetzgruben angeboten. Die Investitionskosten für diese Einbausätze liegen bei 1.800 bis 2.700 € für eine 4 EW- Anlage bzw. bei 5.600 bis 6.100 € für eine 50 EW Anlage.

Falls eine Nutzung des aufbereiteten Abwassers zu Bewässerungszwecken nicht regelmäßig möglich ist, besteht die Möglichkeit zur Versickerung des biologisch behandelten Abwassers in den Boden. Hierfür werden von verschiedenen Herstellern **Versickerungsgräben** oder runde, mit groben Kies gefüllte **Schächte** als Standard-einbausätze aus Kunststoff oder Beton angeboten (siehe Anhang 5, Abb. 13). Sie werden grundwassersicher in die Erde verlegt und haben einen geringen Platzbedarf. Ein Bausatz für eine 4 EW Anlage benötigt eine Fläche von 0,4 x 3,6 m. die Anschaffungskosten liegen bei 500 bis 800 € pro Anlage.

5.2.2.7.2. Betriebskosten

Die Betriebskosten der Hauskläranlagen resultieren aus den Kosten für die technische Wartung der Anlagen, die 3 mal pro Jahr durchgeführt werden sollte, die Kosten für die Entsorgung des Restschlammes und den Energiekosten (Sauerstoffeintrag und Pumpen) für den Anlagenbetrieb.

Die Betriebskosten für eine 4 EW Anlage in SBR- oder Wirbelschichttechnologie können mit ca. 320 €/a bzw. 80 €/E*a angegeben werden. Im Vergleich dazu liegen die Betriebskosten der Membranbiologie mit ca. 700 €/a bzw. 175 €/E*a deutlich höher.

Tab. 15: Spezifische Kosten Hauskläranlagen (4 EW)

Verfahren	Spezifische Beschaffungskosten €/ E*a	Spezifische Betriebskosten €/ E*a
Pflanzenkläranlage	1.500	132
SBR-Verfahren	1.175	80-120
Wirbel/Schwebebett	850	80-120
Membranbiologie	2.000	180

In Tab. 15 erfolgt ein Kostenvergleich zwischen naturnahen Verfahren und technischen Verfahren, bezogen auf eine Hauskläranlage mit einer Anschlussleistung von

4 EW. Es zeigt sich, dass auch die technischen Hauskläranlagen kostengünstige Lösungen für die Behandlung des häuslichen Abwassers darstellen.

5.3. Dezentrale Hauskläranlagen für Drvenik Mali

Ein Investitionskostenvergleich zwischen einem Hauskläranlagenkonzept und einer zentralen Kläranlage für Drvenik Mali führt zu folgendem Ergebnis:

Behandelt man das häusliche Abwasser der Häuser auf Drvenik Mali in kleinen Hauskläranlagen (z.B. 100 Anlagen mit 4 EW und 50 Anlagen mit 8 EW), so führt das zu einer installierten Kapazität von 800 EW. In der Hauptsaison beträgt die Einwohnerzahl auf Mali ca. 324/513 Menschen, so dass die Anzahl der Hauskläranlagen ausreichend bemessen ist. Die Kosten für die Installation der Hauskläranlagen können dann wie in Tab. 16 gezeigt, abgeschätzt werden. Kosten für die öffentliche Kanalisation entfallen.

Tab. 16: Investitionskosten Hauskläranlagen für Drvenik Mali

Anzahl Hauskläranlagen	Kapazität EW	Kosten pro Stück €	25%Nebenkosten €	Summe Kosten €
100	4	3.400,--	850,--	425.000,--
50	8	3.600,--	900,--	225.000,--
Summe				650.000,--

Durch folgende Maßnahmen können die Investitionskosten für Hauskläranlagen noch gesenkt werden:

- Bildung von Einkaufsgemeinschaften (Hersteller/Lieferanten gewähren dann üblicherweise Rabatte bis ca. 15 %);
- Bau von weniger Anlagen mit größeren Kapazitäten, z.B durch Nutzergemeinschaften bis 50 EW;
- Eigenleistungen der Grundstückseigentümer bei der Vorbereitung und Installation.

Die Planung einer zentralen Kleinkläranlage auf Mali erfordert aufgrund der weiträumigen Besiedlung die Errichtung eines relativ großen öffentlichen Kanalnetzes von ca. 7.800 m Länge, um alle 4 Ortschaften mit ihren Gebäuden anschließen zu können. Eine Hochrechnung der Investitionskosten auf Basis der Kalkulationen für Drvenik Veli führt zu den in Tab. 17 dargestellten Aufwendungen. Der Vergleich mit Tab. 16 zeigt, dass die dezentrale Lösung auf Mali kostengünstiger ist.

Tab. 17: Investitionskosten Kanalisation und Zentralkläranlage Drvenik Mali

	Kosten / €
Kanalisation	520.000,--
Einleitung ins Meer	27.000,--
Zentrale Kläranlage	153.000,--
Summe Kosten	~700.000,--

Eine Alternative zu diesen beiden exponierten Planungsansätzen für Mali liegt in einem Ansatz, der die Länge des erforderlichen Kanalnetzes minimiert.

Auf der Südseite könnten die Orte Vela Rina und Petomavar entwässerungstechnisch zusammen gefasst werden, um das Abwasser vor Ort in einer kleinen zentralen Kläranlage zu behandeln. Gleichmaßen könnte auf der Nordseite für die Orte Borac und Dolici vorgegangen werden.

Es würden zwei kleinere separate Kanalnetze entstehen, die in ihrer Länge minimiert sind. Allerdings sind dann an mindestens zwei Standorten kleine zentrale Kläranlagen sowie zwei Ablaufleitungen ins Meer zu bauen und zu betreiben.

5.4. Zentrale Abwasserbehandlungsanlage für Drvenik Veli

Aufgrund der topographischen Verhältnisse und der damit zu erwartenden hohen Kosten für Erdaushubarbeiten auf felsigem Untergrund wird von der Errichtung größerer Pflanzenkläranlagen (500-1.000 EW) abgeraten. Dieses Verfahren eignet sich nur, wenn große, ebene Flächen im Inneren der Insel als Standort gefunden werden können und das behandelte Abwasser anschließend nicht in die Adria eingeleitet werden muss, sowie bei der dezentralen Abwasserentsorgung einzelner frei stehender Häuser und Grundstücke mit Anschlusswerten < 50 EW.

Abwasserteichverfahren sind aus den selben oben genannten Gründen nur dann geeignet, wenn das Verfahren in Richtung Flächenbedarf optimiert ist und einen spez. Flächenbedarf von 0,2 m²/EW erreicht.

Aus diesen Gründen wird für die Errichtung einer Kläranlage an der dicht besiedelten Bucht des Hafens von Drvenik Veli die platzsparende und variable SBR-Technologie vorgeschlagen. Dieses Verfahren erfüllt die Voraussetzungen, um flexibel auf die täglichen und saisonalen Mengen- und Frachtschwankungen zu reagieren. Die Vorteile des Verfahrens können wie folgt zusammengefasst werden:

- Kompakte, platzsparende und naturnahe Gestaltung des Anlagenbauwerkes;
- ein Bauwerk für alle Funktionsstufen (kurze Fließwege);

- modulare Erweiterbarkeit;
- Kompensierung von Stoßbelastungen;
- Entkopplung des biologischen Abbauprozesses von hydraulischen Lastschwankungen;
- Minimierung des Reststoffanfalls;
- eine Sorte stabilisierter Überschussschlamm; kein Anfall von nicht stabilisiertem Schlamm;
- geruchsfreier Anlagenbetrieb;
- minimaler Energiebedarf;
- vollautomatischer Anlagenbetrieb;
- minimale Überwachung und Wartung.

Die technische Ausrüstung der ausgewählten Technologie ist robust, einfach und betriebssicher. Die verfahrenstechnischen Funktionsgruppen der Kläranlage sind klar in 3 Stufen gegliedert:

Funktionsgruppe	Fläche /m ²	Nutzvolumen/m ³
Zulauf Pufferbecken	21	75
SBR-Anlage	69	271
Schlammstilo	25	115

Das Ausgleichsbecken puffert das ankommende Abwasser und entkoppelt den Betrieb der Kläranlage weitgehend von den Lastschwankungen des Kanalnetzes.

Die biologische Stufe wird schwach belastet ausgeführt und arbeitet im SBR-Modus. Es erfolgt eine aerobe Schlammstabilisierung. Das Schlammalter liegt bei ca. 25 d. Das heißt, die organische Trockensubstanz (oTS) im gesamten Belebtschlamm wird während des Belebtschlammprozesses weitgehend mineralisiert. Dadurch wird der Schlammanfall und die Geruchsbildung im gestapelten Schlamm minimiert. Die Keimzahl wird herabgesetzt.

Das gewählte Verfahren ermöglicht den Verzicht auf den Betrieb einer Vorklärstufe und vermeidet damit die Produktion von nicht stabilisiertem Primärschlamm. Das gesamte ankommende Abwasser wird mit allen Inhaltsstoffen der SBR-Anlage zugeführt. Das speziell konstruierte Belüftungsaggregat zerkleinert alle Feststoffe und führt sie, soweit möglich, dem aeroben biologischen Abbau zu (siehe Anhang 5, Abb.

14). Eine Schlammmentwässerung mit einfachen Mitteln z.B. in Trockenbeeten oder Sackfiltern sowie die Verwertung des Überschussschlammes auf der Insel wird möglich.

Das Schlammsilo der Kläranlage ist in der Lage, die Schlammproduktion einer Saison bzw. eines Jahres aufzunehmen. Der bereits aerob stabilisierte Überschussschlamm wird im Schlammsilo während seiner Lagerzeit automatisch einer anaeroben Stabilisierung unterzogen, oTS und Schlammvolumen werden weiter vermindert.

5.4.1 Dimensionierung

Die Basis für die Dimensionierung der zentralen Kläranlage für die Bucht um den Hafen von Drvenik Veli liefert Tab. 7 und Tab. 9. Es wird davon ausgegangen, dass ca. 90% der in den beiden Tabellen genannten Abwassermengen und Frachten in der geplanten Kläranlage behandelt werden (siehe Tab. 18).

Tab. 18: Ausbaustufen der Kläranlage

	1. Ausbaustufe			2. Ausbaustufe			3. Ausbaustufe		
	EW	Q m³/d	BSB ₅ kg/d	EW	Q m³/d	BSB ₅ kg/d	EW	Q m³/d	BSB ₅ kg/d
Wintersaison	178	24,5	11	196	27,5	12	196	27,5	12
Zwischensaison	270	38	16	450	63	27	900	207	54
Hauptsaison	837	117	50	1.120	157	67	2.290	532	137
Reaktorzahl	1 SBR			2 SBR			3 SBR		

Die biologische Stufe wird je nach Bevölkerungswachstum und Entwicklung des Tourismus auf der Insel modular ausgebaut.

In der 1. Ausbaustufe ist der Betrieb der biologischen Stufe mit einem Reaktor vorgesehen. Bezogen auf den heutigen Zustand wird die 1. Ausbaustufe der Kläranlage für ca. 800 EW geplant (Hauptsaison 2001). Der durchschnittliche Abwasseranfall liegt bei ca. 117 m³/d und die BSB₅-Frachten bei ca. 50 kg/d. Der stündliche Spitzenzufluss wird mit ca. 25 m³/h berücksichtigt.

Mit steigender Auslastung (Anschlussgrad 1.100 bis 1.600 EW) kann die 2. Ausbaustufe erfolgen. Der zweite Reaktor sollte gebaut werden, wenn die Entwicklung auf den Inseln in Zukunft positiv verläuft und bei wachsendem Tourismus ein Hotelprojekt oder der Ausbau der Marina umgesetzt werden. Die Anschlusswerte an die Kläranlage übersteigen dann in der Hauptsaison 1.100 EW. Das Zulaufpufferbecken und das Schlammsilo bleiben im 2. Ausbau unverändert.

Sollte eine 3. Ausbaustufe (Zukunftsplanung 2015 mit 1000 Hotelbetten) erforderlich werden, erfolgt bei Bedarf die Erweiterung um einen dritten SB-Reaktor. Der Bau der 3. Ausbaustufe sollte abhängig von den spezifischen Planungskonzepten der Hotelprojekte, z.B. Standortwahl und hotelinterne Abwasserbehandlungs- und Wiederverwertungskonzepte geplant werden.

5.4.2 Standort und technische Ausführung der Kläranlage

Es ist vorgesehen, den Standort der Kläranlage am Eingang zur Bucht des Hafens von Drvenik Veli zu wählen. Der Standort liegt ca. 20 m über dem Meeresspiegel und ca. 50 m vom Ufer entfernt. Dadurch werden mögliche Emissionen (Lärm und Geruch) der Kläranlage vom dicht besiedelten Ortskern ferngehalten. Es werden kurze Leitungswege für die Sammlung und Fortleitung des Abwassers erreicht. Die Bucht des Hafens von Drvenik Veli wird vor Eutrophierung mit Nährstoffen geschützt. Die Investitionskosten werden optimiert.

Bei Verwertung des behandelten Abwassers zu Bewässerungszwecken könnte sich auch ein Standort im Inneren der Insel als sinnvoll erweisen.

Der Platzbedarf für die 1. Ausbaustufe liegt bei ca. 135 m² (9 m x 15 m). In der 2. Ausbaustufe erfolgt die Erweiterung um einen zweiten Reaktor mit einem Platzbedarf von 81 m² (9 m x 9 m) (siehe Anhang 5, Abb. 15).

Das Abwasser wird in einer Druckleitung dem Abwasserpufferbecken übergeben. Das gereinigte Abwasser wird nach biologischer Behandlung im freien Gefälle über einen Auslaufregler in die Ablaufleitung zum Kanal von Drvenik eingeleitet (siehe Anhang 5, Abb. 16).

Der Behälter für das Abwasserpufferbecken der SBR-Anlage und das Schlammsilo werden in kompakter Stahlbetonbauweise mit Betondecke errichtet. Ein Betriebsgebäude kann platzsparend auf dem Betonbauwerk angeordnet werden.

Die technische Ausrüstung der drei Funktionsgruppen besteht aus den Positionen:

Abwasserpufferbecken	2 Tauchmotorpumpen
	1 Tauchmotorrührwerk
	1 Niveausteuern
SBR-Anlage	1 Oberflächenbelüfter mit Zerkleinerer
	1 Klarwasserabzugssystem
	1 Tauchmotorpumpe
	1 Niveausteuern
	1 Sauerstoffmess- und Regelanlage
Schlammsilo	1 Tauchmotorpumpe

	1 Tauchmotorrührwerk
	1 Trübwasserüberlaufvorrichtung
Betriebsgebäude	1 Elektroschaltschrank mit MSR- techn. Einrichtung
	1 mobile Hebevorrichtung
	2 Notausstiegsleitern

5.4.3 Investitionskosten

Die Investitionskosten für den Bau der Kläranlage sind in Tab. 19 zusammengefasst. Die 1. Position resultiert aus den Kosten zur Planierung des Bauplatzes, im wesentlichen für den Boden- und Felsaushub und die Verfüllung des Materials. Es wird von ca. 300 m³ Material ausgegangen.

Die Baukosten enthalten die Errichtung eines kompakten Beckens in Stahlbetonbauweise und die Errichtung eines Betriebsgebäudes.

Tab. 19: Investitionskosten zentrale Abwasserbehandlung Drvenik Veli

Maßnahme:	SBR Anlage 1. Ausbaustufe	SBR Anlage 2. Ausbaustufe
Bodenaushub/Verfüllung/Verbau	12.000,--	4.000,--
Baukosten		
Beton Bodenplatte, Wände , Decken	73.960,--	27.000,--
Betriebsgebäude	33.600,--	keine
Maschinen und Elektrotechnik	103.000,--	50.000,--
Montage Maschinen und Elektrotechnik	16.000,--	4.000,--
Zwischensumme	238.560,--	85.000,--
Nebenkosten/Engineering 25%	59.640,--	21.250,--
Endsumme	298.200,--	106.250,--

Die dritte Position beinhaltet die Kosten der maschinen- und elektrotechnischen Ausrüstung der Kläranlage. Weiterhin werden die Montagekosten der technischen Ausrüstung und ein pauschaler Zuschlag für Nebenkosten und Engineering berücksichtigt (siehe Richtpreisangebot Anhang 9 und Berechnung Anhang 10).

Die Investitionskosten zur Errichtung der **1. Ausbaustufe** können mit **ca. 300.000 €** veranschlagt werden. Die **Erweiterung auf 2 SB-Reaktoren** wird nochmals Investitionen von **ca. 106.000 €** erfordern.

5.4.4 Betriebskosten

Die Betriebskosten der Kläranlage resultieren maßgeblich aus der Versorgung der Belüftungseinrichtung und der Pumpwerke mit elektrischer Energie. Die installierte

Motorleistung der Aggregate beträgt ca. 28 kW. Unter Vollastbedingungen in der Hauptsaison wird der Energiebedarf mit ca. 95 kWh/d angegeben. Das entspricht einem spez. Energiebedarf von ca. 41 kWh/E·a und liegt damit im Normalbereich für biologische Kläranlagen dieser Größenordnung, der in der Literatur mit ca. 45 kWh/E·a angegeben wird.

Da die Kläranlage in 75 % der Jahreszeit nicht voll ausgelastet ist, kann für diese Zeit ein Abschlag im Stromverbrauch von ca. 40 % berücksichtigt werden. Der Energiebedarf ergibt sich dann mit ca. 23.940 kWh/a. Bei einem Strompreis von 0,10 €/kWh ergeben sich Betriebskosten von ca. 2.400 €/a.

Für weitere Betriebsmittel- und Instandhaltungskosten werden ca. 1.000 €/a berücksichtigt.

Die Personalkosten für die tägliche Wartung und Überwachung der Kläranlage werden vom Hersteller mit einem Zeitbedarf von 0,5 bis 1,0 h/d angegeben. Daraus resultieren Personalkosten von ca. 3.200 €/a. Damit belaufen sich die Betriebskosten auf ca. 6.600 €/a.

Für die Wartung und Kontrolle der Kläranlage sollte eine technische Vollzeitfachkraft eingestellt werden, die neben der technischen Betreuung der Kläranlage auch die Wartungsarbeiten an den technischen Einrichtungen der Kanalisation sowie die jährlichen Inspektions- und Wartungsarbeiten an den Hauskläranlagen auf den beiden Inseln übernimmt. Eine kroatische Fachkraft wird mit Personalkosten von 15.000 €/a angesetzt.

Als Betreiber der zentralen Kläranlage kommen das Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsunternehmen Split, die Stadt Trogir oder eine private Betreiber-gesellschaft in Frage. Die Investitionen für den Bau und die laufenden Betriebskosten der Kläranlage sind dann über staatliche Zuwendungen und die Erhebung von Abwassergebühren bei den Anliegern zu erwirtschaften. Rechtliche Voraussetzung hierfür ist die Einführung eines Anschluß- und Benutzerzwangs an die öffentliche Kanalisation.

6. Schlammfall, Entsorgung und Verwertung

6.1. Zentrale Kläranlage Drvenik Veli

In der zentralen kleinen Kläranlage der Insel Drvenik Veli werden in der 1. und 2. Ausbaustufe ca. 90 % der Abwässer der Inselbewohner behandelt.

In der Wintersaison und in der Zwischensaison ist die Kläranlage sehr schwach belastet. Der anfallende Schlamm unterliegt einer weitgehenden aeroben und anaeroben Stabilisierung. Die spezifische Überschussschlammproduktion wird für diesen Zeitraum auf ca. 0,55 kgTS/kg BSB₅ festgesetzt. In der Hauptsaison wird die spezifische Überschussschlammproduktion auf Grund der höheren Schlammbelastung mit 0,8 kgTS/kgBSB₅ berücksichtigt.

Der gestapelte Schlamm erreicht im Schlammsilo der Kläranlage eine Konzentration von 4 bis 6 %TS. Zur Berechnung des pro Jahr erzeugten Schlammvolumens wird von einer mittleren Konzentration von 4,5 %TS ausgegangen. Je nach Ausbaustufe ergibt sich daraus ein jährliches Schlammvolumen von **122 / 163 / 305 m³/a** (siehe Tab. 20).

Tab. 20: Schlammanfall der zentralen Kläranlage Drvenik Veli

	1. Ausbaustufe			2. Ausbaustufe			3. Ausbaustufe		
	EW	Q _{Schl} m ³ /a	m _{TS} kg/a	EW	Q _{Schl} m ³ /a	m _{TS} kg/a	EW	Q _{Schl} m ³ /a	m _{TS} kg/a
Wintersaison	178	23,5	1.057	196	25,9	1.164	196	25,9	1.164
Zwischensaison	270	17,8	802	450	29,7	1.337	900	59,4	2.674
Hauptsaison	837	80,4	3.616	1.120	107,5	4.838	2.290	219,8	9.893
Summe		122	5.475		163	7.339		305	13.731

Dieser Schlamm ist stabilisiert und geruchsarm. Er kann auf oder neben der Kläranlage weiter entwässert und getrocknet werden, damit er auf der Insel der landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt wird. Eine Verbringung auf das Festland und eine Entsorgung auf der neuen Kläranlage der Stadt Split kann dann entfallen.

Auf Grund der geringen Schlammmenge von ca. 122 m³/a sind Errichtung und Betrieb einer eigenständigen maschinellen Klärschlammmentwässerung auf Drvenik Veli nicht vertretbar. Als Alternative dazu bieten sich jedoch zwei einfache natürliche Entwässerungsverfahren an: Die Entwässerung auf Schlamm-trockenbeeten und die Entwässerung in Filtersäcken aus Polypropylen mit Hilfe der Schwerkraft (siehe Anhang 5, Abb. 17).

Das letztgenannte Verfahren ist besonders kostengünstig und platzsparend. Der im Schlammsilo der SBR-Anlage gespeicherte Schlamm wird in die 80 l fassenden Filtersäcke gepumpt und in weniger als 24 h auf eine Konzentration von 10 bis 15 % TS entwässert. Nach dieser Filtrationsphase zur Freisetzung des nicht kapillar gebundenen Wassers wird der Filtersack verschlossen und mit einer Transportvorrichtung aus dem Filtergestell entnommen. Es folgt eine 30 bis 40 Tage andauernde Trocknungs-

zeit unter freiem Himmel. Durch Verdunstung und weitere Wasserfreisetzung wird eine Trockensubstanzkonzentration von 34 bis 40 % TS erreicht. Bei dieser Konzentration ist der entwässerte Schlamm stichfest und kann ohne Probleme transportiert und landwirtschaftlich verarbeitet werden. Das Gewicht der Säcke nach Trocknung beträgt ca. 25 bis 30 kg. Der Inhalt kann zur Bodenverbesserung auf landwirtschaftliche Flächen verbracht werden.

Pro Sack können ca. 200 l Rohschlamm aufgenommen werden. Je nach saisonaler Auslastung sind 1 bis 3 Säcke pro Tag zu füllen. Der Jahresbedarf liegt bei ca. 600 gefüllten Säcken. Bei schonendem Umgang lässt sich ein Gewebesack 1 bis 2 mal wieder verwenden. Der Platzbedarf der Abfüllstation beträgt ca. 2 m². Die Anschaffungskosten für eine Filterstation für die Befüllung von 3 Säcken, ohne Beschickungspumpe liegen bei **ca. 4.000 €**.

Die Betriebskosten resultieren im wesentlichen aus dem Preis der benötigten Filtersäcke. Bei 600 erforderlichen Filtersäcken (einmalige Nutzung) liegen die **Kosten bei ca. 1.530 €/a**.

Die natürliche Entwässerung von Klärschlamm auf **Trockenbeeten** zeichnet sich durch ihre Einfachheit und geringen Arbeitsaufwand aus. Sie ist für kleine Kläranlagen sehr geeignet. Auch die Anwendung dieses Verfahrens setzt eine anaerobe oder aerobe Stabilisierung des zu entwässernden Schlammes voraus.

Der anfallende Schlamm wird in den Trockenbeeten über Kiesschichten mit unterschiedlicher Korngröße drainiert, entwässert und überwiegend durch Verdunstung getrocknet.

Die Entwässerung auf Schlamm-trockenbeeten benötigt einen größeren Platzbedarf. In klimatisch begünstigten Regionen lassen sich Entwässerungsleistungen von ca. 100 kgTS/m²·a erzielen. Daraus ergibt sich für den Schlammanfall der Kläranlage ein **Platzbedarf von 55 / 75 m²**. Es können TS-Konzentrationen bis 80 % erreicht werden.

Auf dem schwierigen, felsigen Untergrund führt die Errichtung der Trockenbeete zu erhöhten Investitionskosten in der Größenordnung von ca. 20.000 €. Aus diesem Grund sollte auf einen Einsatz dieser Variante auf der Kläranlage verzichtet werden.

6.2. Schlamm aus den Hauskläranlagen von Drvenik Veli

Ca. 10% der Einwohner auf Drvenik Veli werden aufgrund der ungünstigen Wohnlage nicht an die zentrale Abwasserbehandlung angeschlossen. Die biologische Ab-

wasserbehandlung erfolgt in diesen Fällen zukünftig in privaten Hauskläranlagen auf den betreffenden Grundstücken.

Der spezifische Schlammanfall auf den Hauskläranlagen pro Einwohner und Jahr kann mit ca. 250 l/E*a angenommen werden. Die Schlammkonzentration des in den Vorkammern gespeicherten Schlammes erreicht 4 bis 8 %TS. Das aus den Hauskläranlagen anfallende Schlammvolumen ist mit **10 bis 14 m³/a** relativ gering (siehe Tab. 21). Eine Entleerung der Vorklärstufen wird daher in der Praxis in Abständen von bis zu 3 Jahren erforderlich werden.

Tab. 21: Schlammanfall der Hauskläranlagen Drvenik Veli

	1. Ausbaustufe			2. Ausbaustufe			3. Ausbaustufe		
	EW	Q _{Schl} m³/a	m _{TS} kg/a	EW	Q _{Schl} m³/a	m _{TS} kg/a	EW	Q _{Schl} m³/a	m _{TS} kg/a
Wintersaison	19,5	2,44	146	21,8	2,73	164	kein weiterer Anstieg		
Zwischensaison	30	1,88	113	50	3,13	188			
Hauptsaison	93	5,81	349	124,2	7,76	430			
Summe		10	608		14	780	wie vor		

Der Schlamm ist nicht biologisch stabilisiert. Bei seiner weiteren Behandlung bzw. Entsorgung sind Geruchsbelästigungen zu erwarten.

Trotz der geringen jährlichen Mengen wird eine Mitbehandlung des Fäkalschlammes in der biologischen Stufe der zentralen Kläranlage auf Veli nicht empfohlen. In biologischen Stufen <10.000 EW sollten generell keine Fäkalien mitbehandelt werden, weil Beeinträchtigungen des Kläranlagenbetriebes zu erwarten sind. Erst in Kläranlagen ≥ 10.000 EW können ca. 20 m³/d eingespeist werden. Da der Schlammanfall „am Stück“ bei der Entleerung der Gruben anfällt, wären auf der Kläranlage aufwendige Maßnahmen zur Zwischenspeicherung und Maßnahmen zur Vermeidung von Gerüchen erforderlich.

Auf Grund der kleinen Mengen bietet sich eine Entsorgung in die neue Kläranlage der Stadt Split an, dort wurde bereits eine Fäkalienannahmestation eingeplant. Der jährliche Schlammanfall erfordert theoretisch ein Transportvolumen von 2-3 Saugfahrzeugen. In der Praxis richtet sich der Zeitpunkt und die Menge des zu entsorgenden Schlammes nach dem Schlamm Spiegel in der Vorklärstufe der einzelnen Hauskläranlagen. Bei einem entsprechenden Füllstand (je nach Hersteller) wird das gesamte Volumen der Vorklärstufe abgesaugt und entsorgt.

In Deutschland betragen die spezifischen Kosten 20 bis 50 €/m³ entsorgten Schlamm.

6.3. Schlamm aus den Hauskläranlagen von Drvenik Mali

Die Tab. 22 zeigt den zu erwartenden Schlammanfall in den Hauskläranlagen der Insel Mali. Der Schlammanfall wird je nach Ausbaustufe zwischen 37 / 53 / 76 m³/a betragen. Damit gelten für die Entsorgung/Verwertung die gleichen Aussagen, wie oben beschrieben.

Tab. 22: Schlammanfall Hauskläranlagen Drvenik Mali

	Istzustand			2015			2015 incl. Hotelneubau		
	EW	Q _{Schl} m³/a	m _{TS} kg/a	EW	Q _{Schl} m³/a	m _{TS} kg/a	EW	Q _{Schl} m³/a	m _{TS} kg/a
Wintersaison	59	7,4	443	65	8,1	488	65	8,1	400
Zwischensaison	150	9,4	563	200	12,5	750	325	20,3	1.016
Hauptsaison	324	20,2	1.215	513	32,1	1.924	763	47,7	2.861
Summe		37	2.221		53	3.162		76	4.277

Auch hier werden sich je nach jährlicher Auslastung der einzelnen Hauskläranlagen unterschiedliche Entleerungsintervalle von 1-3 Jahren für die Vorklärstufen ergeben. Bezogen auf die jährliche Schlammproduktion entspricht das einer Transportkapazität von 7 / 10 / 15 Entsorgungsfahrzeugen pro Jahr.

Alternativ zur Entsorgung besteht auf dazu geeigneten Grundstücken bei kleinen Anschlusskapazitäten die Möglichkeit einer Vor-Ort-Verwertung der abscheidbaren Stoffe aus kleinen Hauskläranlagen durch gemeinsame Kompostierung mit biogenen Abfallstoffen.

Hierzu erfolgt im belüfteten Zulaufschacht die Vorabtrennung der organischen Grobstoffe des Abwassers nach dem Schwerkraftprinzip in einem hängenden Gewebesack. Die im Sack abgeschiedenen Stoffe unterliegen aeroben Milieubedingungen, stinken kaum und werden weitgehend entwässert. Dadurch wird eine große Volumenverminderung des Primärschlammes erreicht, die es ermöglicht, den Primärschlamm mit anderen biogenen Abfallstoffen (Häckselgut aus Astschnitt, Stroh, Laub etc.) auf dem eigenen Grundstück zu kompostieren und zur Bodenverbesserung zu verwerten. Der Filtersack wird 1 bis 2 mal pro Jahr entleert.

7. Zusammenfassung

Im Rahmen des Beratungshilfeprogramms für den Umweltschutz in Mittel- und Osteuropa sowie den Neuen Unabhängigen Staaten des deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit wurde eine Abwasservorplanung für die Inseln Drvenik Veli und Drvenik Mali in der Republik Kroatien erstellt. Sie soll als Beispiel für die Lösung der Abwasserprobleme im kroatischen Teil der Adria entlang der dalmatinischen Küste dienen.

Für die Einleitung gereinigten Abwassers in die Adria wird von Seiten der kroatischen Behörden biologische Abwasserbehandlung mit Verminderung der organischen Verschmutzung (BSB₅ und CSB) und eine ausreichende Rückhaltung der suspendierten Feststoffe vorgeschrieben. Diese Anforderungen wurden den Planungen zugrunde gelegt.

Im Ergebnis der Arbeiten wird eine Mischung aus dezentraler Abwasserbehandlung und semizentraler Abwasserbeseitigung vorgeschlagen. Die dezentrale Abwasserbeseitigung in Haus- und kleinen Kläranlagen wird vorgeschlagen für die gesamte Insel Drvenik Mali sowie für die dünn besiedelten Teile der Insel Drvenik Mali. Für die Uferbebauung entlang der großen Bucht auf Drvenik Veli, wo eine vergleichsweise dichte Besiedlung anzutreffen ist, wurde eine zentrale Kläranlage in Aufstautechnik (Sequencing Batch Reactor) geplant.

7.1. Ist-Zustand

Die beiden Inseln verfügen derzeit weder über eine öffentliche Trinkwasserversorgung noch über angemessene Anlagen zur Abwasserbeseitigung.

Mit Ausnahme von Gaststätten gibt es auf Drvenik Veli und Mali keine Industrie- oder Gewerbebetriebe. Das anfallende Abwasser ist somit ausschließlich häuslicher Herkunft. Es wird i.d.R. auf den Grundstücken in Abwassergruben aufgefangen und mehr oder weniger unkontrolliert in den Boden versickert oder abgeleitet.

Die Zahl der gegenwärtig ganzjährig auf den Inseln lebenden Einwohner wird mit etwa 250 angegeben. Während der Hochsaison wächst die Anzahl der Menschen durch Touristen und Wochenendgäste auf das Fünffache an. Durch den Aufbau geplanter Hotelkapazitäten wird der jährliche Wasserbedarf/Abwasseranfall in Zukunft auf den beiden Inseln drastisch von derzeit 28.000 m³/a auf ca. 101.000 m³/a ansteigen.

7.2. Grundzüge der gewählten Abwasserbeseitigung

Die gewählten Planungsgrundsätze für die Inseln Drvenik Veli und Drvenik Mali lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- *Vermeiden der Einleitung von Niederschlagswasser in die Abwasseranlagen*
- *Abwasserbehandlung des Schmutzwassers am Ort der Entstehung;*
- *Vermeidung/Minimierung von Abwasserkanälen;*
- *Bau von Haus- und kleinen Kläranlagen bei geringer Besiedlungsdichte;*
- *Bau kleiner zentraler Kläranlagen für Gebiete mit verdichteter Besiedlung*

Grundsätzlich sind für die Schmutzwassersammlung und -fortleitung bei verdichteter Bebauung sowohl die Druckentwässerung als auch Unterdruckentwässerung geeignet.

Auf Drvenik Veli konzentrieren sich ca. 90% der Besiedlung im Gebiet um die Bucht des Hafens von Veli. Diese Grundstücke sollen das anfallende Schmutzwasser in einen lokalen Abwassersammler entwässern, der zu einer kleinen zentralen biologischen Kläranlage führt.

Für die restlichen, weit über die Insel verteilten Grundstücke und das Ausflugslokal in Kostovic sollen vor Ort dezentrale Kläranlagen mit einer entsprechenden Kapazität errichtet werden.

Der Abwassersammler für Bucht und Hafen von Drvenik Veli kann als Druck- oder Vakuumentwässerungssystem ausgeführt werden. Das Vakuumentwässerungssystem ist technisch aufwendiger, bietet aber Systemvorteile. Wichtigster Vorteil ist, dass bei Wahl des Vakuumsystems die Leitungen für die Trinkwasserversorgung im gleichen Rohrgraben verlegt werden können. Bei Betrachtung der für Infrastrukturmaßnahmen insgesamt erforderlichen Investitionen spart das Kosten.

Ansonsten sind Investitions- und Betriebskosten der beiden Systeme annähernd gleich. Die Investitionskosten liegen bei ca. 500.000 €.

Auf Drvenik Mali beschränkt sich die Besiedlung auf die östliche Inselhälfte. Die Besiedlungsdichte ist gering und verteilt sich auf 4 kleine weitläufige Ansiedlungen. Daher sollte auf die Errichtung eines zentralen Kanalnetzes verzichtet werden und die Abwasserbehandlung in dezentralen Anlagen erfolgen.

7.3. Gewählte Abwasserbehandlungsverfahren

Für die dezentrale Abwasserbehandlung stehen heute mehrere erprobte Verfahren zur Verfügung.

- | | |
|-----------------------|--|
| Naturnahe Verfahren: | <ul style="list-style-type: none">• Pflanzenkläranlagen• Teichkläranlagen |
| Technische Verfahren: | <ul style="list-style-type: none">• Aufstaubeleungsanlagen (SBR- Verfahren)• Tropfkörperanlagen• getauchte Festbettanlagen• Rotationstauchkörperanlagen (RTK)• Biofilm Wirbel-/Schwebebettanlagen• Membranbeleungsanlagen |

Wegen des felsigen Untergrunds auf den Inseln und aufgrund des höheren spezifischen Flächenbedarfs fallen bei naturnahen Verfahren deutlich höhere Kosten für Aushubarbeiten an. Deshalb wird vorgeschlagen, die Kläranlage für die dicht besiedelte Bucht um den Hafen von Drvenik Veli nach der SBR-Technologie auszuführen. Dieses Verfahren zeichnet sich durch eine hohe Betriebssicherheit und Flexibilität gegenüber den täglichen und saisonalen Mengen- und Frachtschwankungen aus. Die technische Ausrüstung ist einfach und robust.

Es wird vorgeschlagen, die Kapazität der SBR-Anlage in Stufen auszubauen, um sie der Bevölkerungszahl und der Entwicklung des Tourismus auf der Insel anzupassen.

Der Platzbedarf für die 1. Ausbaustufe liegt bei ca. 135 m² (9 m x 15 m). In der 2. Ausbaustufe erfolgt die Erweiterung um einen zweiten SBR-Reaktor mit einem zusätzlichen Platzbedarf von 81 m² (9 m x 9 m).

Die Investitionskosten zur Errichtung der 1. Ausbaustufe können mit ca. 300.000 € veranschlagt werden. Die Erweiterung auf 2 SBR- Reaktoren erfordert zusätzliche Investitionen von ca. 100.000 €.

Der Abwassersammler um die Bucht von Drvenik Veli erfordert eine Länge von ca. 7.800 m. Die Gesamtinvestitionskosten für Kanalnetz und Kläranlage betragen ca. 700.000 €.

Behandelt man das häusliche Abwasser der Häuser auf Drvenik Mali in Hauskläranlagen (z.B. 100 Anlagen mit 4 EW und 50 Anlagen mit 8 EW), führt das zu Investitionskosten von ca. 650.000 €. Investitionen für ein Kanalnetz entfallen.

Der Vergleich zeigt, dass der Bau dezentraler Hauskläranlagen auf Mali zu einem kostengünstigeren Planungsansatz für die Abwasserentsorgung führt.

Durch Einkaufs- und Betreibergemeinschaften sowie durch Eigenleistung der Eigentümer lassen sich weitere Kosteneinsparungen erzielen.

7.4. Schlammanfall, Entsorgung und Verwertung

Der in der semizentralen Kläranlage auf der Insel Drvenik Veli anfallende Überschussschlamm ist stabilisiert und geruchsarm. Er wird auf der Kläranlage entwässert und getrocknet, so dass am Ende nur ein Volumen von 14 m³/a (in der 1. Ausbaustufe) bzw. 19 m³/a (in der 2. Ausbaustufe) verbleibt. Der getrocknete Klärschlamm kann der landwirtschaftlichen Verwertung auf der Insel zugeführt werden.

Der Schlammanfall in den Hauskläranlagen der beiden Inseln wurde mit 47 bis 67 m³/a ermittelt. Eine Möglichkeit der Vor-Ort-Verwertung dieser Schlämme ist die gemeinsame Kompostierung mit biogenen Abfallstoffen (z.B. Häckselgut aus Astschnitt, Stroh, Laub). Dies kann auf dem jeweiligen Grundstück erfolgen, der Kompost ist zur Bodenverbesserung willkommen.

Alternativ kommt aufgrund der kleinen Schlamm-mengen eine Entsorgung in die neue Kläranlage der Stadt Split in Frage. Dort ist bereits die Errichtung einer Fäkalienannahmestation vorgesehen.

Mit der Vorplanung der Anlagen zur Abwasserentsorgung auf den Inseln Drvenik Veli und Mali werden methodische Grundsätze für eine nachhaltige und effiziente Lösung vermittelt. Der Planungsansatz zielt auf eine möglichst hohe Flexibilität und einen robusten Betrieb. Lösungen, die zu unangemessenen Belastungen der Umwelt führen, werden bewusst vermieden.

Das ausgewählte Kläranlagenkonzept ermöglicht die weitgehende und unbedenkliche landwirtschaftliche Verwertung des Restschlammes auf der Insel. Entsorgungskosten für Reststoffe werden minimiert und weitere Lösungsansätze, auch in Verbindung mit Pflanzenkläranlagen, aufgezeigt.

Auf Maßnahmen zur Verwertung des gereinigten Abwassers auf der Insel (z.B. Grauwassernutzung) konnte im Rahmen dieser Vorplanung nicht näher eingegangen werden.

**Anhang 1 Letter of Intent zur Durchführung des Projektes/
Republic of Croatia, State Water Directorate**

Anhang 2 Construction Programme for Phase I of the Water Supply System for the Islands of Drvenik Veli and Drvenik Mali

**Anhang 3 Terms of Reference for the Development of the
Conceptual Design for the Sewerage and
Wastewater Treatment System of the Islands of
Drvenik Veli and Drvenik Mali**

Anhang 4 Topographische Karten Drvenik Veli und Mali

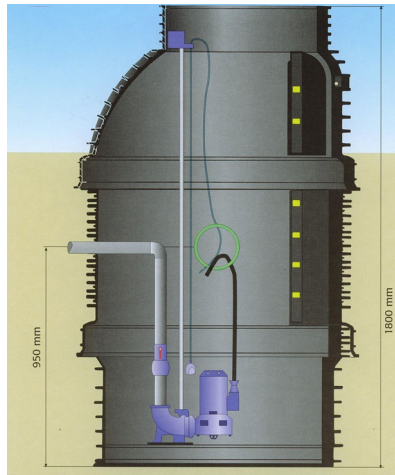
Anhang 5 Abbildungen zur Technik der Sammlung, Fortleitung und Behandlung der Abwässer



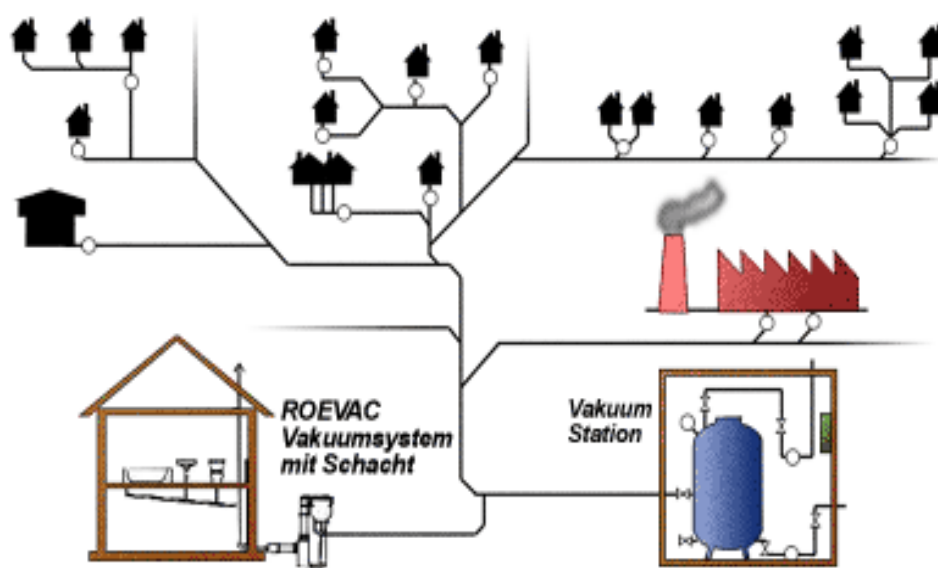
Anhang 5, Abb. 1: Inspektionsschacht Freispiegelleitung (System Wavin)



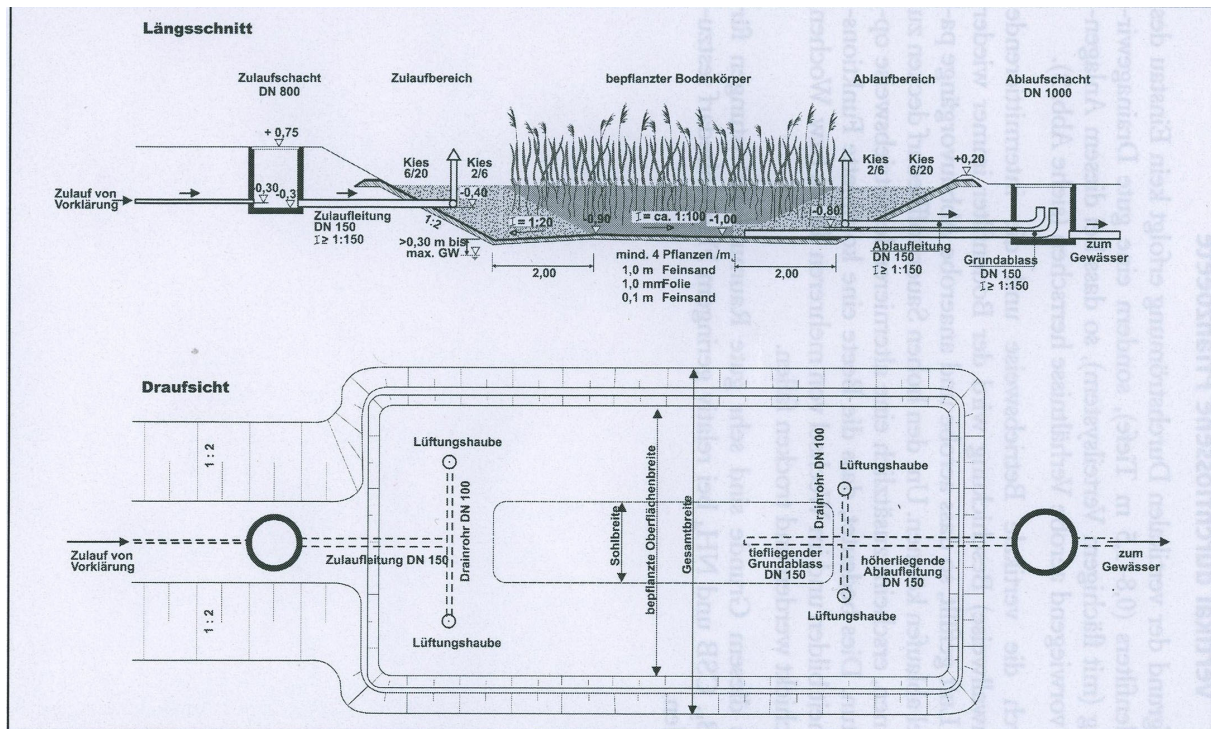
Anhang 5, Abb. 2: Absaugventileinheit Vakuumkanalisation
(System Roediger Vakuumtechnik)



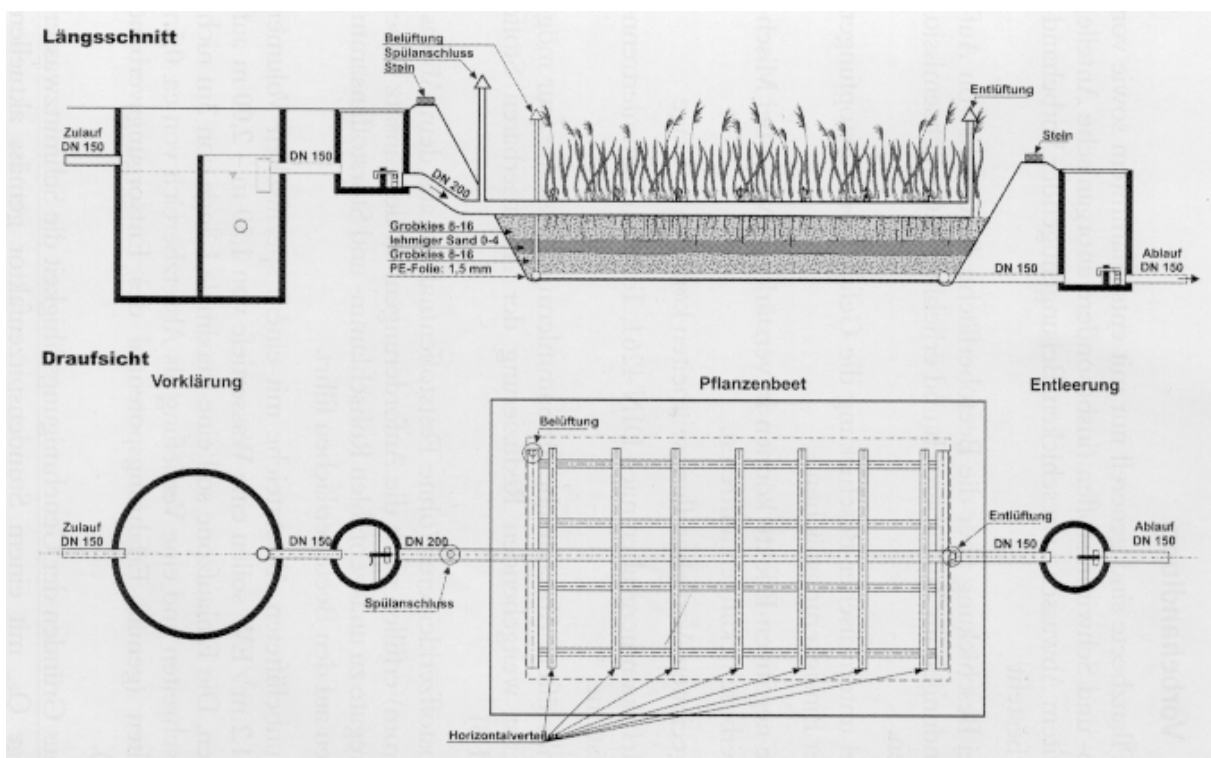
Anhang 5, Abb. 3: Fertigteil Kompaktpumpwerk (System Wavin Tegra-P.)



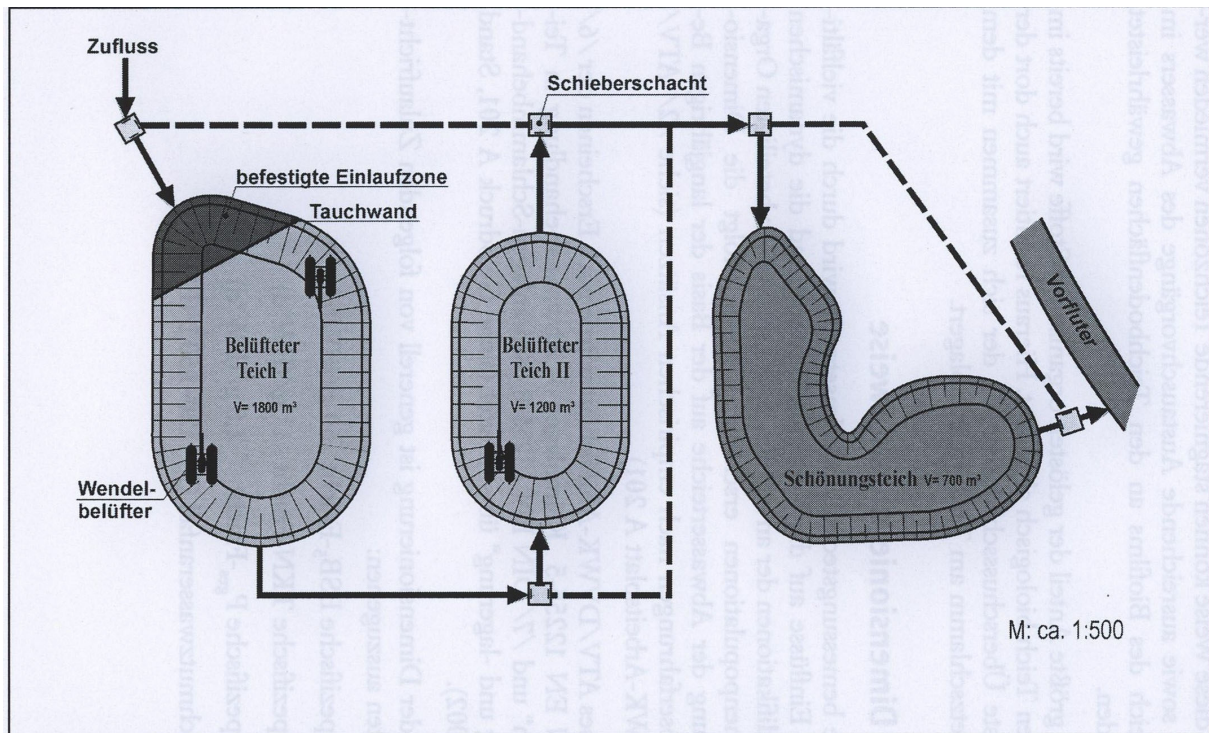
Anhang 5, Abb. 4: Prinzipschema eines Vakuumentwässerungssystems (System Roediger Vakuumtechnik)



Anhang 5, Abb. 5: Beispiel, Pflanzenkläranlage, horizontal durchströmt



Anhang 5, Abb. 6: Beispiel, Pflanzenkläranlage, vertikal durchströmt



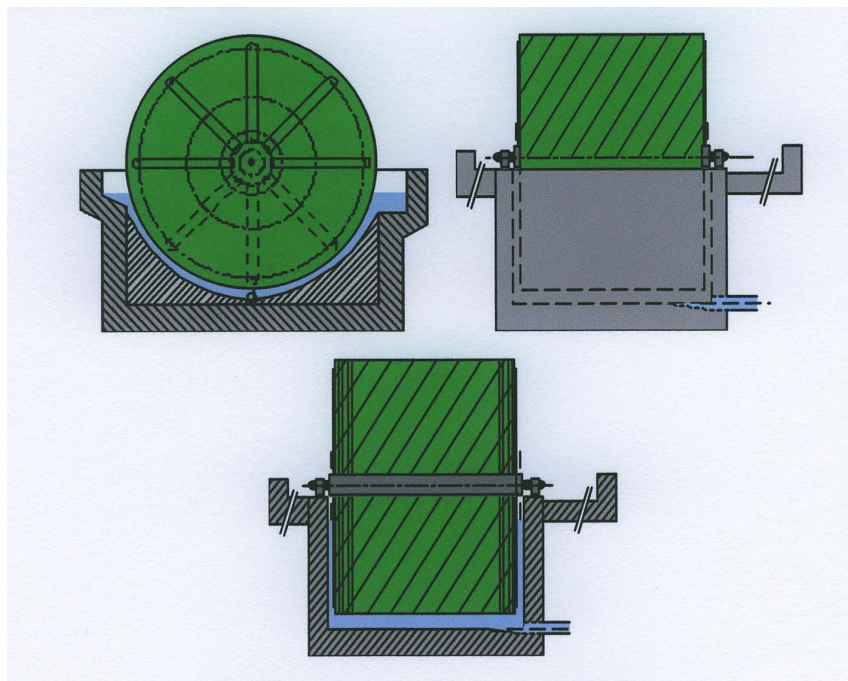
Anhang 5, Abb. 7: Beispiel, Gestaltung einer Teichanlage (1.250 EW)



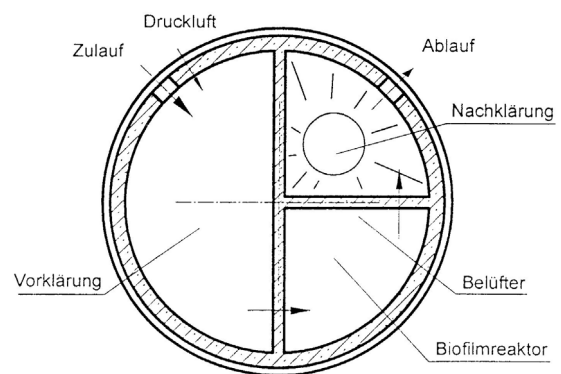
Anhang 5, Abb. 8: Beispiel einer Festbettanlage



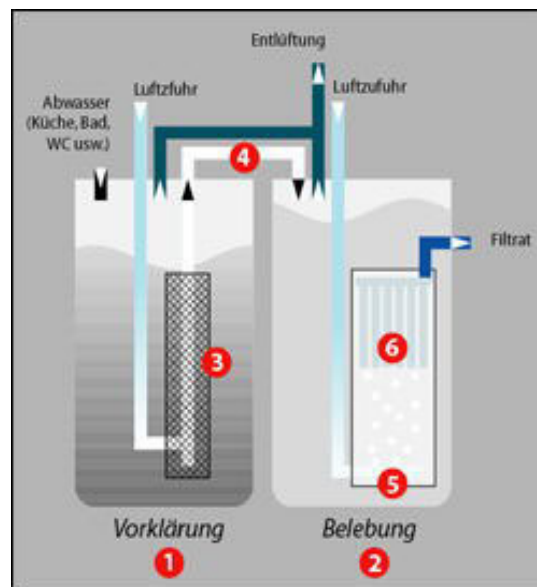
Anhang 5, Abb. 9: Detail, Festbettkörper mit Belüftungssystem (System Huber)



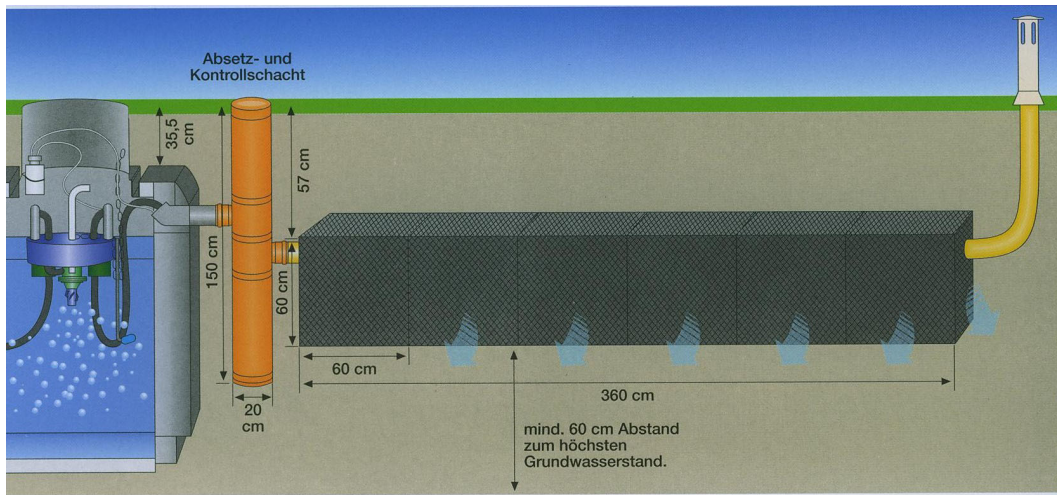
Anhang 5, Abb. 10: Prinzip einer Rotationstauchkörperanlage



Anhang 5, Abb. 11: Beispiel einer Wirbel-/Schwebebettanlage (System Bergmann)



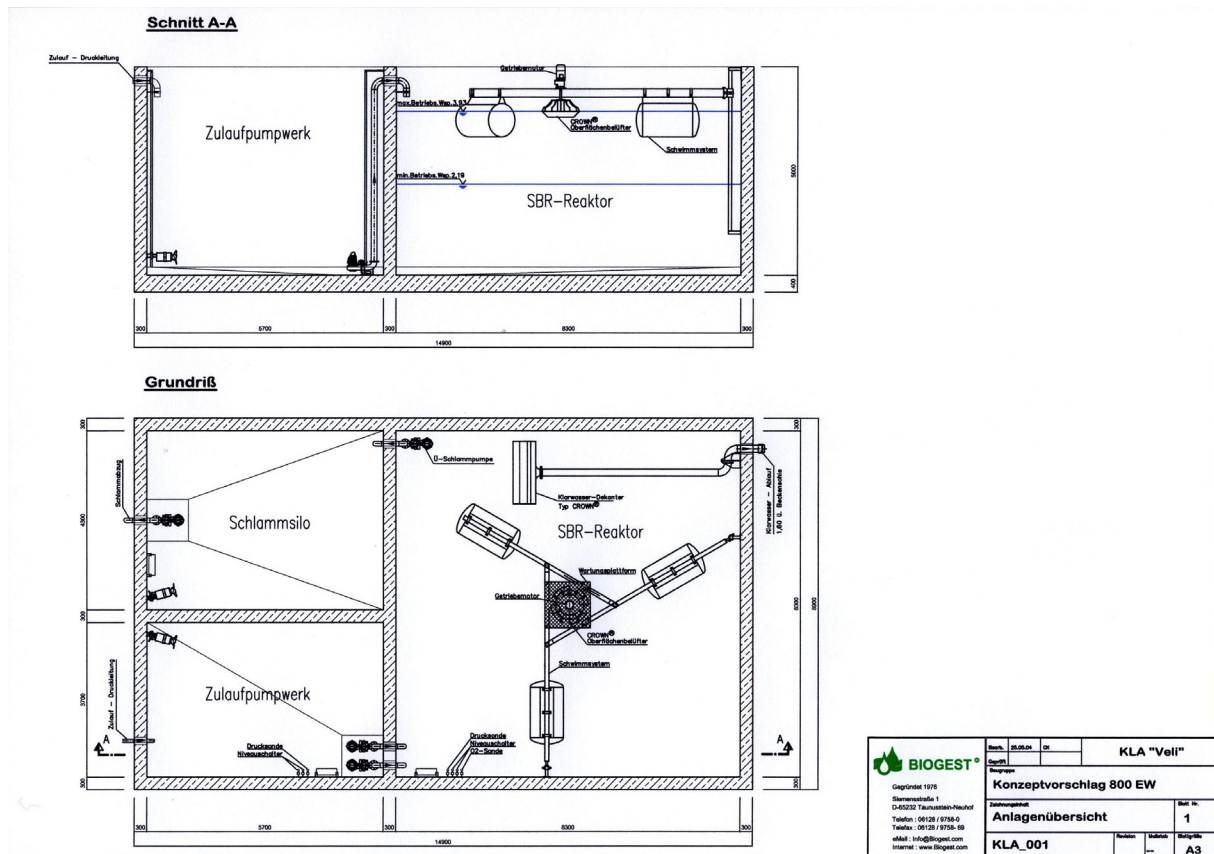
Anhang 5, Abb. 12: Beispiel einer Membranbelebungsanlage (System Busse)



Anhang 5, Abb. 13: Beispiel für einen Nachrüstbausatz und einen Sickerschacht (System REWATEC)



Anhang 5, Abb. 14: Crown Oberflächenbelüfter der SBR-Anlage (System BIOGEST)



Anhang 5, Abb. 15: Ansichten SBR-Anlage (System BIOGEST)



Anhang 5, Abb. 16: Abflussregler SBR Anlage (System BIOGEST)



Anhang 5, Abb. 17: Sackfilter zur Klärschlammmentwässerung und Trocknung
(System Panholzer)

Anhang 6 Entwässerungsplan Drvenik Veli

Anhang 7 Hydraulische Berechnung der Druckleitung

Anhang 8 Richtpreisangebot Vakuumentwässerungs- system Roediger Vakuumtechnik GmbH

Anhang 9 Richtpreisangebot SBR-Anlage BIOGEST

Anhang 10 Anlagenspezifische Kenndaten SBR-Anlage BIOGEST

Anhang 11 DVD mit Fernsehbericht über das Projekt