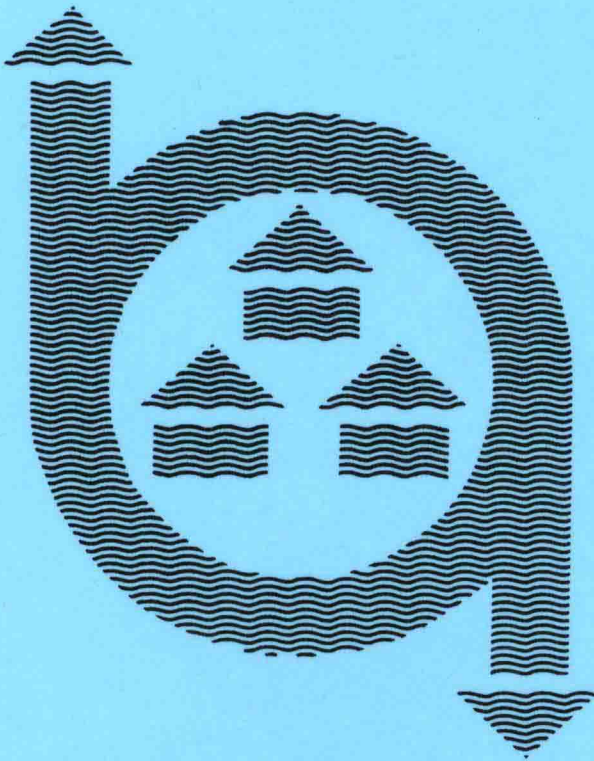


[Redacted] Demet Antakyalı

An Evaluation of Integrated Wastewater and Solid Waste Management in Large Tourist Resorts



**Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft
Band 218**

An Evaluation of Integrated Wastewater and Solid Waste Management in Large Tourist Resorts

Von der Fakultät ² Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

Özgül Demet Antakyalı

aus Izmir

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Heidrun Steinmetz

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp

Tag der mündlichen Prüfung: 21.06.2013

Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft
der Universität Stuttgart

Mai 2014

D93

IMPRESSUM

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet die Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

Özgül Demet Antakyalı

An Evaluation of Integrated Wastewater and Solid Waste Management in Large Tourist Resorts

Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e.V. Stuttgart (FEI).

München: DIV Deutscher Industrieverlag GmbH, 2013.
(Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft; **Bd. 218**)

ISBN-Nr. 978-3-8356-7140-9



Institut für Siedlungswasserbau,
Wassergüte- und Abfallwirtschaft
der Universität Stuttgart
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart (Büsnau)
Redaktion, Satz und Gestaltung: Gerda Stahl

Druck:

e. kurz + Co., druck und medientechnik gmbh
Kernerstrasse 5
70182 Stuttgart

© 2013 Alle Rechte vorbehalten

Printed in Germany

FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSINSTITUT FÜR INDUSTRIE-
UND SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT SOWIE
ABFALLWIRTSCHAFT E.V. STUTT GART

Özgül Demet Antakyalı

**An Evaluation of
Integrated Wastewater and
Solid Waste Management
in Large Tourist Resorts**

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart und mit wertvoller Unterstützung von Referenten, Kollegen und Studenten.

An erster Stelle möchte ich mich bei Frau Prof. Dr.-Ing. Heidrun Steinmetz für die Betreuung dieser Arbeit mit wegweisenden und konstruktiven Gesprächen bedanken. Ihr geduldiger Beistand ist eine wichtige, treibende Kraft für die vorliegende Arbeit gewesen. Für die Übernahme des Koreferats und seine freundliche Unterstützung bedanke ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp.

Die dargestellte Fallstudie wurde im Rahmen des durch das BMBF finanzierten Forschungsprojekts „Modulare“ gewonnen. Für die produktive Zusammenarbeit möchte ich mich beim ganzen Projektteam, insbesondere bei Jörg Krampe, Berthold Günder, Clas Busack und Antje Schöler bedanken. Für die Durchführung der praktischen Arbeit habe ich schnelle und unkomplizierte Unterstützung vor Ort bekommen. Herzlichen Dank an Anne Hecking und an das technische Personal des Iberotel Sarigerme Park für ihre Hilfsbereitschaft. Der aufwändige Betrieb der Pilotanlagen war vor allem Dank des Beitrags von Fabio Pressinotti, Corinna Knocke, Baran Özcan, Nur Kuru, Onur Kaya und Christa Morgenschweis möglich. Vielen Dank auch an das Institutspersonal des Labors, der Geschäftsstelle und der Werkstatt, sie waren immer da, als ich sie gebraucht habe.

Ferner möchte ich mich bei Karl-Heinz Krauth und Manfred Roth für die motivierenden Gespräche, Reinhold Rölle vor allem für sein Verständnis und seine strahlende Energie, und Werner Maier für seine ergebene Hilfsbereitschaft bedanken. Ebenso bedanke ich mich bei Alexander Weideler und Juliane Gasse, die ihre kollegiale Unterstützung immer bereitgestellt haben.

Das sehr angenehme freundschaftliche Arbeitsklima am ISWA empfand ich immer als ein großes Glück. Diese Empfindung hat sich über meine langjährige Beschäftigung sehr gut bewahrt. Klaus, Gebhard (und die bereits erwähnten Alex, Jule, Fabio, Corinna und Jörg) in der ersten Halbzeit, in der späteren Phase Christian, Iosif, Karen, Marie, Pengfei, Kristy, Carsten, Uli, Tobi, Martina, Lisa, Basti, David, Mehari, Volker, Cristina, Jovana, Asya, Bertram, Carla... der Platz hier ist leider zu knapp für alle Kollegen. Vielen herzlichen Dank für die unvergesslichen Jahre.

Ein weiterer Dank geht an meine Familie und Freunde für das Vertrauen in mich, für die kräftige seelische Unterstützung während der schwierigen Phasen und einfach für ihr Dasein.

Diese Arbeit widme ich Herrn Nejat Arsalı, meinem Grundschullehrer. Er ist derjenige, der das Forschen für mich schon in früheren Jahren meines Lebens zuerst vergnüglich und infolgedessen unverzichtbar gemacht hat.

Zusammenfassung

Der Tourismus weltweit wächst weiterhin deutlich, ist resistent gegen Krisen und wird von kulturellen bzw. natürlichen Sehenswürdigkeiten bestimmt. Der Tourismussektor ist arbeitsintensiv und stellt somit eine wichtige Ressource von Arbeitsplätzen dar. Der Tourismus hat jedoch auch vielfältige und wesentliche Auswirkungen auf die Umwelt: Er stellt enorme Belastungen für die Wasser- und Energievorräte dar und führt zur Umweltverschmutzung und -zerstörung. So werden z. B. in der Mittelmeerregion die Wasserressourcen zu einem Zeitpunkt maximal beansprucht, zu dem es heiß und trocken und die Wasserneubildung minimal ist. Ferner verbrauchen Touristen im Urlaub mehr Wasser und produzieren mehr Abfälle als zu Hause. Der Einsatz von technischen Maßnahmen zur Schonung der Umwelt kann somit zu einer großen Herausforderung werden. Die zentrale technische Infrastruktur wie Kläranlagen und Müllentsorgung, die für die Tourismus-Saison dimensioniert wird, ist für einen großen Teil des Jahres überdimensioniert. Jedoch ist ein Teil der Lösung bereits im Problem enthalten: Auch verschmutztes Abwasser stellt eine Wasserressource dar und die organischen Abfälle enthalten ein hohes Energiepotenzial. Eine Dezentralisierung und die Modularisierung der technischen Infrastruktur können zur Verringerung der saisonalen Abhängigkeit beitragen. Die Einsatzmöglichkeit der technischen Lösungen vor Ort hängt mit der möglichen Adaptierung der Technologie, den Kosten und den lokalen Bedingungen zusammen. Die Erfahrungen zeigen, dass es keine allgemeingültige Antwort auf die Frage gibt, ob eine zentrale oder dezentrale Lösung umwelttechnisch und finanziell zu bevorzugen ist. Daher sollte jeder einzelne Fall individuell bewertet werden. Diese Dissertation sucht einen übertragbaren Weg zur Bewertung der Tauglichkeit von dezentralen Infrastrukturen in Tourismus-Regionen und zielt auf die Entwicklung eines technischen Pfades zur Bestimmung der praktischen und wirtschaftlichen Anwendbarkeit von dezentralen Abwasser- bzw. Abfallinfrastrukturen mit Blick auf die Wasserwiederverwendung und Energierückgewinnung hin. Große und isolierte Hotelanlagen sowie kleine Inseln mit knappen Wasserressourcen sind hierbei besonders im Fokus.

Der angewandte Teil der Dissertation konzentriert sich auf eine Fallstudie, die aus dem Betrieb von Pilotanlagen und der Datensammlung besteht. Die Fallstudie wurde in einer großen Hotelanlage an der Mittelmeerküste (Türkei) durchgeführt, die als repräsentatives Beispiel betrachtet werden kann. Ein integriertes System zur Abwasserreinigung und organischen Abfallbehandlung, bestehend aus einer Membranbelebungsanlage und einer Biogasanlage, wurden mit Blick auf die Wiederverwendung des gereinigten Abwassers zur Bewässerung und Energierückgewinnung aus organischen Abfällen betrieben. Während der Versuchsperiode wurden Daten über den Wasser- und Energieverbrauch, die Abwasser- und Abfallzusammensetzung und den spezifischen Abwasser- und Abfallanfall gesammelt.

Die Datensammlung hat die Unterschiede zwischen Hotelanlagen und gewöhnlichen Haushalten bezüglich Wasserverbrauch und Abwasser- bzw. Abfalleigenschaften herausgestellt. Der spezifische Wasserverbrauch variierte zwischen 400-500 l/(P·d) und war somit vergleichbar mit verschiedenen Literaturangaben für

Hotelanlagen, jedoch deutlich höher als bei gewöhnlichen Haushalten. Der Abwasseranfall betrug mit 200-300 l/(P·d) nur die Hälfte des Wasserverbrauchs. Die Differenz ist überwiegend auf Verluste durch Verdunstung, Gartenbewässerung z. T. mit Unterstützung durch Frischwasser, Strandduschen u.ä. zurückzuführen. Der Einsatz des Frischwassers war vor allem in heißen Sommermonaten erforderlich, um den Salzwassereintrag aus dem Meer zu verhindern. Die Datensammlung hat gezeigt, dass 30 % des Trinkwassers in der Küche, der Wäscherei und den technischen Einrichtungen des Hotels verbraucht werden. 50 % werden auf den Zimmern, in öffentlichen Toiletten und Duschen verwendet. Die Abwasserzusammensetzung unterschied sich dabei deutlich von den in ATV-DWVK A131 empfohlenen Werten zur Dimensionierung von einstufigen Belebungsanlagen. Insbesondere der chemische Sauerstoffbedarf (CSB), Gesamt-Phosphor (P_{ges}) und gesamt abfiltrierbare Stoffe zeigten deutlich höhere Konzentrationen.

Aus den Daten zum Abfallaufkommen konnte ein spezifischer Abfallanfall von 1,25 kg/(P·d) ermittelt werden, wovon ca. 65 % (0,8 kg/(P·d)) organische Abfälle aus der Küche darstellen. Pro Saison (Mai bis September) fielen durchschnittlich 105.000 kg (Nassgewicht) Küchenabfälle an. Dies entsprach 14.000 kg TS, mit einem organischen Anteil von über 90 %. Die Bilanz von verschiedenen organischen Abfällen wies darauf hin, dass die organischen Küchenabfälle komplett in der Biogasanlage vergärt werden können. Auch Gartenabfälle fielen im Pilothotel in sehr großen Mengen an. Auch im Falle einer dezentralen Anlage benötigen diese eine separate Entsorgung, da sie größtenteils nicht als Substrat genutzt werden können.

Die Betriebsergebnisse der Membranbelebungsanlage zeigten eine sehr gute Ablaufqualität. Die CSB-Ablaufkonzentrationen lagen trotz hoher Zulaufkonzentrationen überwiegend zwischen 20 und 25 mg/l. Auch die Stickstoffkonzentrationen im Ablauf wiesen auf eine effiziente Nitrifikation und Denitrifikation hin. Alle gemessenen Schwermetallkonzentrationen blieben im Ablauf der Membranbelebungsanlage unterhalb der Grenzwerte. Die hygienische Qualität des gereinigten Abwassers übertraf die Erwartungen; alle gemessenen Werte blieben weit unter den Grenzwerten der europäischen Badegewässerrichtlinie (76/160/EEC), die meisten lagen auch unterhalb der Richtwerte. Das gereinigte Abwasser wurde im Pilothotel zusammen mit Grundwasser zur Bewässerung des Gartens eingesetzt. Die Biogasanlage wurde überwiegend mit organischen Küchenabfällen betrieben. Das produzierte Biogas hatte einen durchschnittlichen Methananteil von 70 %. Relativ hohe VFA-Konzentrationen wiesen darauf hin, dass eine vollständige Vergärung nicht erreicht werden konnte. Die spezifische Gasproduktion lag bei ca. 450 l Biogas pro kg oTS.

Die repräsentativen spezifischen Bemessungswerte aus der Literatur sowie die Erfahrungen aus der Fallstudie stellten die Basis für die Erstellung des Evaluierungspfads für Tourismus-Regionen dar, dennoch war die Effizienz der Pilotanlagen auf die Randbedingungen der Fallstudie begrenzt. Daher wurden die nicht repräsentativen Werte durch Literaturangaben ersetzt.

Der herausgearbeitete Evaluierungspfad hat zum Ziel, die Entscheidungsträger, insbesondere von großen Hotelanlagen, durch Bereitstellung eines Rahmens zur Evaluierung der individuellen Fälle zu unterstützen und damit eine Hilfestellung für die Entscheidungsfindung zu geben, ob eine zentrale oder dezentrale Infrastruktur geeignet ist. Der Vorschlag besteht aus den Stufen „Entwicklung eines Szenarios“, „Definition der Parameter“, „Bewertung der Auswirkungen“ und „Evaluierung“. Die Entwicklung des Szenarios befasst sich mit der Spezifizierung von Zielvorgaben als Folge einer Bestandsaufnahme. Die Evaluierungsparameter beinhalten sowohl monetäre als auch nicht monetäre Komponenten. Monetäre Parameter werden als Kosten und Nutzen definiert und quantifiziert, daraus wird die monetäre Bilanz berechnet. Für eine Gesamtevaluierung der monetären und nicht-monetären Parameter wird eine Multikriterium-Evaluierung in Form der Nutzentheorie und der Electre-Methode angewandt, wobei die berechneten Kosten eines von mehreren Kriterien darstellt.

Der vorgeschlagene Pfad wurde auf die Fallstudie angewandt, um die Evaluierung auf einer soliden Basis darzustellen. Die Optionen wurden durch die Kombination von zentraler und dezentraler Infrastruktur für Abwasser und Abfall bestimmt. Zwei Optionen wurden am Ende durch die Evaluierung favorisiert: Die Verwendung von zentraler Infrastruktur für Abwasser- und Abfallbehandlung oder eine zentrale Infrastruktur für Abwasser und eine dezentrale Infrastruktur für die Abfälle. Die Evaluierung wurde dabei von der Lage des Pilohtotels sowie von den Kosten beeinflusst, die von den hohen Investitionskosten der Membranbelebungsanlage dominiert wurden. Abgesehen von den Kosten waren dezentrale Kombinationen vorteilhafter. Jedoch reichten diese Vorteile unter ausgewählter Gewichtung der Kriterien nicht aus, um den Preisnachteil auszugleichen.

Die vorliegende Arbeit soll zu einem vermehrten Wissen bezüglich der Anwendbarkeit von dezentralen Systemen in Tourismusregionen beitragen und liefert einen Evaluierungsansatz aus einer kombinierten Sichtweise von Ingenieurwesen, Finanzen und der Multi-Kriterien-Evaluierung.

Abstract

The tourism growth is fast and resilient against crisis worldwide, which is generally driven by the cultural as well as natural environmental heritage of the destination. The sector is labour-intensive and thus a major source of employment in numerous countries. However, tourism generally causes multi-faceted and severe environmental impacts: it can put enormous stress on water and energy resources, cause pollution and thus environmental deterioration. In many tourism regions, for instance in the coastal Mediterranean Region, maximum stress on water resources occur at the minimum renewal period. Moreover, tourists tend to overuse water and overproduce wastes during their holidays, compared to their routine lives. Thus the application of technical measures to protect the environment can be more an important challenge in tourist regions. Centralised technical infrastructures such as wastewater treatment plants and solid waste disposal facilities remain overdimensioned during the most of the year if designed according to the number of tourists. However, a part of the solution is hidden in the problem; wastewater, even polluted, is a water source and organic solid wastes have a significant energy recovery potential. The decentralisation and modularisation of the environmental infrastructure can help mitigating the seasonality problem. The implementation of onsite technical solutions is a matter of technology adjustment, costs and the prevailing local conditions. Experience shows that there is no generally valid answer to the question as to whether a decentralised or a centralised system is more appropriate from the economic and environmental point of view and thus each case must be assessed individually. This dissertation seeks a transferable way to assess the suitability of onsite environmental infrastructures in tourist regions and aims at developing a technical pathway to determine the practical and economical applicability of decentralised, high-efficiency environmental infrastructures for wastewater treatment and solid waste processing with a goal of water reuse and energy recovery. Large and remote tourist resorts and small islands with limited freshwater availability were of particular interest.

The applied part of the dissertation focuses on a case study consisting of pilot plant operation as well as data collection. The case study was conducted in a Mediterranean (Turkey) large tourist resort, which was regarded as being representative for large tourist resorts. A coupled system for wastewater treatment and solid waste processing comprising of a membrane bioreactor and a biogas plant was operated on-site with the objective of reusing the treated wastewater for irrigation purposes and recovery energy from organic solid wastes. During the investigation period, data regarding the water and energy use, wastewater and solid waste characteristics as well as specific generation were collected.

The data collection during the case study has underlined the significant differences between tourist resorts and common households, regarding the water use and characteristics of wastewater and solid waste. Specific water use varied between 400-500 l/(P·d), which was comparable with several reports presenting the water use in tourist regions, yet clearly higher than common households. Wastewater

production was with 200-300 l/(P·d) only half of the utilised water. The difference was caused by losses due to evaporation, infiltration in the garden area, beach showers and presumably the complementation of the irrigation water, which normally consisted of groundwater but required addition in hot summer months to prevent the salt water intrusion into wells. The distribution of the potable water in the hotel has shown that approximately 30% of the potable water was used in the kitchen, laundry and other technical units. Around 50 % was used in guest rooms, common toilets and showers including beach showers. Regarding the wastewater characteristics, the parameters differed remarkably from standard values used for the design of activated sludge plants (ATV-DWVK A131). Particularly COD, total P and total suspended solid concentrations were significantly higher, up to factor 4 (COD).

The evaluation of the data on the waste generation resulted in a specific total solid waste generation of 1,25 kg/(P·d), of which approximately 65 % (0,8 kg/(P·d)) was organic solid wastes from the kitchen. Seasonally (May to September) a total of 105.000 kg kitchen wastes (wet weight) were generated in average. This corresponded to 14.000 kg TSS, majority of it organic solids. The balance regarding the composition of the solid wastes suggested organic kitchen wastes can be completely utilised as substrate for a biogas plant. The garden wastes are generated in excessive amount in the pilot hotel and also in case of the implementation of a decentralised plant, they need separate disposal as the majority of the garden wastes will not be utilised as substrate.

The operation of the onsite MBR resulted in very good effluent quality. The majority of the effluent COD concentration varied between 20 to 25 mg/l, in spite of the high influent concentrations. Also Nitrogen concentrations indicated very good nitrification and denitrification efficiency. All of the measured heavy metal concentrations remained, if detected, below the limit values. Hygienic quality of the treated wastewater met the expectations; all of the measured values remained far below the limit values of EU-directive for bathing and recreational purposes (76/160/EEC), most were even smaller than the recommended values. The treated wastewater was used for the irrigation purposes, complementing the groundwater. The biogas plant was operated mainly by organic kitchen wastes. The produced biogas had an average methane proportion of 70 %. Relatively high VFA concentrations in the digester suggested that a complete fermentation could not be achieved. Per fed organic matter approximately 450 l biogas was produced.

The representative specific design values from the literature as well as the experiences resulted from the case study constituted a base for the creation of an evaluation pattern for decision making in tourist resorts. The design of the pilot plants was limited to the project conditions. Therefore values, which were not regarded as representative were replaced by the literature values.

The established evaluation pattern aimed at supporting decision makers in particularly large and remote tourist resorts by providing a framework for them to assess their case and make decisions regarding which environmental infrastructure option

best suits the demands of their context, namely the connection to a centralised environmental infrastructure or the construction and operation of a decentralised system. The proposal consists of "scenario development", "parameter definition", "impact assessment" and "evaluation" steps. Scenario development deals with the specification of the objectives while reviewing of the current situation and goals. The assessment parameters include monetary and non-monetary parameter. Monetary parameters are determined as costs and benefits prior to the quantification and net costs are calculated. For the overall evaluation of monetary and non-monetary parameter, multi-criteria assessment in form of Utility Theory and Electre were used, where the calculated costs constituted one of the evaluation criteria.

Finally in order to bring the established pattern in a tangible ground, it was applied on the case study. The options were determined with different combinations of centralised and decentralised plants for wastewater and solid wastes separately. Strongly influenced by the advantageous location of the hotel, the assessment results favoured two of the combinations; utilisation of only centralised infrastructures, or centralised infrastructure for wastewater treatment and decentralised infrastructure for solid waste processing. The assessment was also strongly influenced by the costs and the costs were highly affected by the high investment costs of the MBR. The decentralised infrastructures were advantageous for most of the criteria except costs, yet this advantage was not sufficient for the MBR to compensate the disadvantage caused by the high costs.

The work shall contribute to the knowledge regarding the applicability of decentralised systems in tourist resorts and presents an assessment approach from a combined viewpoint of engineering, finances and multi-criteria decision making.

List of abbreviations

AD	Anaerobic digestion
AT	Aeration tank
B	Pollution load
C	Concentration
CEI	Centralised environmental infrastructure
COD	Chemical oxygen demand
DEI	Decentralised environmental infrastructure
DWD	Deutsche Wetterdienst
Δp_{TM}	Transmembrane pressure
FAO	Food and Agriculture Organization
MAP	Mediterranean action plan
MBR	Membrane bioreactor
MLSS	Mixed liquor suspended solids
MWWTP	Municipal wastewater treatment plant
N	Nitrogen
N_{tot}	Total nitrogen
NH_4	Ammonium
NH_4-N	Ammonium nitrogen
NO_2	Nitrite
NO_3	Nitrate
NO_3-N	Nitrate nitrogen
P	Phosphorus
P_{tot}	Total phosphorus
PLC	Programmable logic controller
PO_4	Phosphate
PO_4-P	Phosphate phosphorus
q	Flux

Q _d	Daily average flow rate
SVI	Sludge volume index
SW	Solid wastes
SWDF	Solid waste disposal facility
T	Temperature
t	Time variable
TAC	Total inorganic carbon, representing buffer capacity
TDS	Total dissolved solids
TKN	Total Kjeldahl nitrogen
TM	Transmembrane
TSS	Total suspended solids
UF	Ultrafiltration
UNEP	United Nations Environmental Programme
UNWTO	United Nations World Tourism Organisation
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VFA	Volatile fatty acids
WHO	World Health Organisation
WTTC	World tourism and travel council
WW	Wastewater
WWF	World Wildlife Foundation
WWTP	Wastewater treatment plant

Table of contents

List of figures	v
List of tables	ix
List of abbreviations	xii
1 Introduction	1
2 Scope and structure of the work	3
3 Tourism and Environment: Statistics and Problems	7
3.1 Overview on the development and trends in tourism	7
3.1.1 Historical development of tourism	7
3.1.2 Definitions	8
3.1.3 Global and regional facts in international tourism	9
3.1.3.1 Global growth and stress factors	9
3.1.3.2 Regional distribution of international tourism	11
3.1.3.3 Tourism employment	13
3.1.3.4 Leading tourism destinations	14
3.1.3.5 Future growth predictions	16
3.2 Environmental impacts of tourism	17
3.2.1 Special features of tourism industry	17
3.2.2 Interactions between tourism and environment	19
3.2.3 Stress on natural resources	21
3.2.4 Pollution by wastewater and solid wastes	24
3.3 Mediterranean Tourism vs. Environment	27
3.3.1 Significance of tourism for Mediterranean basin	27
3.3.1.1 Mediterranean basin	27
3.3.1.2 Mediterranean share on the world	27
3.3.1.3 Tourism economy	29
3.3.1.4 Tourism development	30
3.3.2 Availability of fresh water resources	32
3.3.3 Wastewater and solid waste generation	35
3.3.4 International efforts for an environmentally sustainable tourism	37
3.4 Summary of the tourism facts	40

4	Fundamentals on relevant themes	42
4.1	Fundamentals on water recycling	42
4.1.1	Wastewater is a resource	42
4.1.2	Quality standards for the reuse of wastewater	44
4.2	Fundamentals on membrane bioreactors	49
4.2.1	Features of membranes	49
4.2.2	Membrane filtration in wastewater treatment	51
4.2.3	Specifications of membrane bioreactors	55
4.2.4	Real life review of MBRs	58
4.3	Co-digestion of sewage sludge and organic solid wastes	63
4.3.1	Objectives of organic waste recycling	63
4.3.2	Microbiological background of anaerobic digestion	63
4.3.3	Factors controlling the anaerobic digestion	65
4.3.4	Co-fermentation of sewage sludge and organic wastes	67
5	Presentation of the Case Study	68
5.1	Introduction to the pilot operation in a large tourist resort	68
5.2	Features of the pilot hotel	70
5.2.1	Capacity and the units	70
5.2.2	Water utilisation and wastewater generation points	70
5.2.3	Solid waste collection	72
5.3	Elements of the pilot operations	74
5.3.1	Overview on the modular plant components	74
5.3.2	Membrane bioreactor	75
5.3.2.1	Technical features of the membrane bioreactor	75
5.3.2.2	Wastewater treatment process in the pilot unit	77
5.3.3	Biogas plant	79
5.3.3.1	Technical features of the biogas plant	79
5.3.3.2	Anaerobic digestion & biogas production in the pilot unit	81
5.4	Conduction of investigations	83
5.4.1	Periods of the study	83
5.4.2	Wastewater related investigations	83
5.4.2.1	Determination of the water use	83
5.4.2.2	Wastewater sampling	83
5.4.2.3	Analytical work in wastewater and sewage sludge	84
5.4.2.4	Microbiological analyses	85

5.4.3	Solid waste-related investigations	85
5.4.3.1	Determination of the solid waste production	85
5.4.3.2	Sampling at the biogas plant	85
5.4.3.3	Analytical work for digester	86
5.4.4	Acceptance study	87
6	Results of the case study	89
6.1	Presentation of the reference figures	89
6.2	Water use	91
6.2.1	Potable water use	91
6.2.2	Distribution of the potable water use in the hotel	95
6.2.2.1	Distribution according to the pre-processing	95
6.2.2.2	Distribution according to the utilisation points	96
6.2.3	Water use for irrigation	97
6.2.4	Comparison potable water vs. irrigation water	98
6.3	Wastewater production	99
6.4	Solid waste production	101
6.4.1	Recyclable inorganic solid waste production	101
6.4.2	Organic solid waste production	102
6.5	Elimination efficiency of the MBR	107
6.5.1	Inflow parameters	107
6.5.2	Operational parameter	110
6.5.3	Operational complications for the MBR	110
6.5.4	Physical and chemical effluent parameter	112
6.5.4.1	pH value and suspended solids	112
6.5.4.2	Chemical Oxygen Demand	112
6.5.4.3	Nitrogen	113
6.5.4.4	Phosphorus	116
6.5.5	Hygienic quality of the effluent	117
6.5.6	Irrigational quality of treated wastewater	119
6.5.7	Sludge production	120
6.5.8	Energy consumption of the MBR	122
6.6	Biogas production	124
6.6.1	Operational conditions	124
6.6.2	Substrate properties	124
6.6.3	Conditions in the digester and gas yield	125
6.6.4	Digestate	127

6.6.5	Gas output and composition	128
6.7	Opinion of guests on environmental infrastructures within a tourist resort	129
6.8	Discussion of the case study and derivation of specific parameters	132
7	Development of an assessment pattern	135
7.1	Frame of the assessment	135
7.2	Scenario development	138
7.3	Determination of the assessment parameter	140
7.3.1	Monetary parameters	140
7.3.1.1	Classification and descriptions	140
7.3.1.2	Monetary parameters for the option 1-WW	141
7.3.1.3	Monetary parameters for the option 1-SW	142
7.3.1.4	Monetary parameters for the option 2-WW	144
7.3.1.5	Monetary parameters for the option 2-SW	146
7.3.2	Non-monetary parameters	148
7.4	Impact assessment	149
7.4.1	Quantification of the monetary parameter	149
7.4.2	Multi-criteria assessment	150
7.5	Evaluation	152
7.6	Assessment of the case study with the suggested pattern	153
7.6.1	Step 1: Scenario development	153
7.6.2	Step 2: Determination of the parameter	155
7.6.3	Step 3a: Impact assessment-quantification of parameter	156
7.6.4	Step 3b: Impact assessment-construction of the impact matrix	163
7.6.5	Step 4: Evaluation	165
7.7	Discussion of the assessment	167
8	Conclusion	169
	References	173