



Treatment Steps For Water Reuse

May 2008

Treatment Steps For Water Reuse

مراحل معالجة المياه العادمة
بهدف إعادة الاستخدام

以水的再利用为目标的污
水处理工艺评估

Aufbereitungsstufen für die
Wasserwiederverwendung

Niveaux de traitement pour
le recyclage de l'eau

مراحل فرآیندی تصفیه فاضلاب برای
استفاده مجدد

printed and digital

digital only



Publisher/Marketing:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
German Association for Water, Wastewater and Waste
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Germany
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de · Internet: www.dwa.de

Translation of text from German to Arabic and French was funded by the German Government through the German Technical Cooperation Programme "Regional Cooperation with ESCWA in the Water Sector in Near East/North Africa" implemented by Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) on behalf of Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ).



Translation of text from German to Farsi was funded by the Emscher Gesellschaft für Wassertechnik mbH, Essen, Germany.



The German Association for Water, Wastewater and Waste (DWA) is intensively involved with the development of reliable and sustainable water management. Being a politically and economically independent organisation it operates specifically in the areas of water management, wastewater, waste and soil protection.

In Europe the DWA is the association in this field with the greatest number of members and, due to its specialist competence it holds a special position with regard to standardisation, professional training and information of the public. The members, approximately 14,000 represent specialists and managers from municipalities, universities, consulting engineers, authorities and businesses.

Imprint

Publisher and marketing:

DWA German Association for
Water, Wastewater and Waste
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Germany
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de
Internet: www.dwa.de

ISBN: 978-3-941089-83-9

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2009
German Association for Water, Wastewater and Waste

Translation:

English: Richard Brown, Wachtberg – Germany
Arabic: Omat Zimmo, Ramallah – Palestine
Chinese: Wanli Zhao, Peking – China
French: TransProjekt, Bonn – Germany
Farsi: Ahmad Khan, Teheran – Iran

Printing:

Druckhaus Köthen, Köthen – Germany

Printed on 100 % recycled paper

All rights, in particular those of translation into other languages, are reserved. No part of this Advisory Leaflet may be reproduced in any form – by photocopy, digitalisation or any other process – or transferred into a language usable in machines, in particular data processing machines, without the written approval of the publisher.

Preface

We all know that, already today, we are faced with the challenge of providing sufficient water of adequate quality for human consumption, agriculture and industry. Problems will increase due to the growing population and megacities but also as a result of changing lifestyles and eating habits. It is therefore advisable that we all think about how to ensure a sufficient amount and quality of the resource water can be provided.

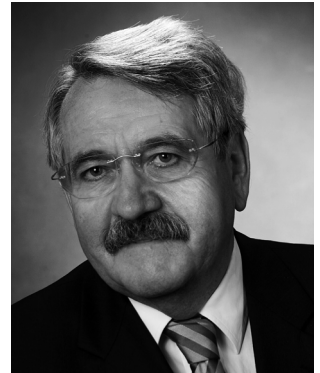
Particularly important will be to use our water resources efficiently.
The reuse of wastewater is a key component in this respect.

The DWA Work Group has studied technologies for wastewater treatment with the focus on reuse purposes and worked out guidelines under the title "Treatment Steps for Water Reuse".

Water recycling is widely practised by industry. It has been DWA's intention to facilitate a better understanding of water recycling also for municipal and agricultural reuse purposes. To select the best suitable technology for each individual application in this field will always be a matter of the engineer's experience.

The Work Group is aware that their work will not solve the world's water problems, but they at least wanted to offer guidelines for part of the problem areas.

Dr.-Ing. E. h. Hans G. Huber
(DWA-Work Group Chairman)



Content

Preface	3
Treatment Steps for Water Reuse.....	5
مراحل معالجة المياه العادمة بهدف إعادة الاستخدام	35
以水的再利用为目标的污水处理工艺评估	69

Printed versions in English, Arabic and Chinese

Digital versions in English, Arabic, Chinese German, French and Farsi (see enclosed CD)

DWA- Topics

以水的再利用为目标的 污水处理工艺评估

May 2008



德国水、污水和废弃物处理协会 (DWA)

本期 DWA 论文集有德语、英语和中文版本可供获取

德国水、污水和废弃物处理协会 (DWA) 是德国水资源相关行业的代表机构, 该机构致力于建立和完善一个安全、可持续发展的水行业。作为在政治和经济上独立运作的组织其所涉及的专业领域涵盖水工业、废水、废弃物和土地保护。

在欧洲范围内 DWA 也是该领域内成员最多的技术协会, 通过其在标准制订、职业培训和公共信息方面的专业能力而在业界保持着特殊的地位。该机构近 14000 名成员中有领域内的专家、地方行政机构负责人、高等院校、设计师事务所、政府机关以及企业代表。

该机构的业务重点在于建立和更新完善统一的技术导则以及参与国际、国家层面技术标准的制订。机构的工作不仅包括科学和技术方面的课题、也包括与环境及水资源保护相关的经济和法律方面的课题。

出版商

出版发行及营销机构:

德国水、污水和废弃物处理协会 (DWA)

地址: Theodor-Heuss-Allee 17

D-53773 Hennef, Germany (德国)

电话: +49 2242 872-333

传真: +49 2242 872-100

电邮: kundenzentrum@dwa.de

网址: www.dwa.de

译者:

Wanli Zhao – Peking, China

印刷:

Druckhaus Köthen

ISBN:

978-3-941089-83-9

本书100%由环保纸张印刷

© DWA 德国水、污水和废弃物处理协会, Hennef 2009

本书所有版权、特别是翻译成其他语言的权利归所有者所有, 未得到出版者的书面许可则不允许将本出版物的任何内容以复印、缩影或其他任何形式复制, 或者通过设备、特别是文字处理设备将其转换成可以使用的语言形式。

前言

多年以来，有越来越强的迹象表明，水资源在全球范围内将面临比石油和天然气资源更加严重的资源枯竭问题。许多关于这方面的信息例如联合国环境规划署最近发布的环境报告“GEO-4” (UNEP,2007) 阐明了问题的根源：世界人口增长超过 60 亿，其中很大一部分人群的水资源消耗水平超出了自然界的供给能力。解决方案在于：减少资源消耗，具体到水资源就是指对污水进行再利用和小型循环使用。

在德国，由于淡水资源仍较为丰富、因而该项课题到目前为止一直被摆在了次要位置上。着眼于国际市场以及德国水行业针对水的重复利用课题不断增长的信息需求，德国水、污水和废弃物处理协会在其架构下的 KA-1 “新型卫生洁具体系”专业委员会之外，创立了归属于 BIZ-11“国际合作”专业委员会的 BIZ-11.4 DWA “水的再利用”工作组。

该工作组的任务之一是识别和描述污水再利用所采用的处理工艺，特别是那些由于在德国较少被应用、经验相对缺乏的工艺。工作组建立了一个评估矩阵，以便对那些以污水再利用为目标的水处理技术进行描述和评估。

需要指出，本论文集通过 DWA BIZ-11.4 “水的再利用”工作组精彩和努力工作所得出的研究结论尚不是 DWA 导则的正式组成部分。现有的评估矩阵是按照当前的思路生成的，不能认为课题任务已经结束，而是应当继续发展完善，工作组因此欢迎大家的参与和提供信息。

本文附件“以水再利用为目标的污水处理工艺评估矩阵”有已经完成的 Excel 电子表格文件格式，用户可以通过访问 DWA 的网页 <<http://www.dwa.de/master/wastewater-reuse>> 进行下载。必要时用户可以获取这些表格并使其能为自己的应用服务。

作者

本刊德国水、污水和废弃物处理协会论文集由 DWA BIZ-11.4 “水的再利用”工作组负责编辑，下述人员参与了编撰工作：

(姓, 名)	(头衔, 城市)
CORNEL, Peter	教授、工程学博士, Darmstadt
FIRMENICH, Edgar	工程学硕士, Mannheim
FUHRMANN, Tim	工程学硕士, Witten
HUBER, Hans	工程学博士 E.h. 工程学硕士, Berching (发言人)
KAMPE, Peter	工程学硕士, Maintal
KARL, Volker	工程学硕士, Frankfurt
MEDA, Alessandro	Dott. Ing., Darmstadt
ORON, Gideon	教授, Kiryat Sde-Boker, Israel (客座)
ORTH, Hermann	教授、工程学博士, Bochum
SCHEER, Holger	工程学博士, habil., Essen
SCHMIDTLEIN, Florian	工程学硕士, Bochum
SCHNEIDER, Thomas [†]	工程学硕士, Bochum (已故)
SCHWARZ, Christina	工程学硕士, Neubiberg
WEISTROFFER, Klaus	工程学硕士, Eschborn

DWA 总部项目负责人：

HEIDEBRECHT, Rüdiger	工程学硕士, Hennef 培训和国际合作部
----------------------	---------------------------

目 录

前言	71
作者	71
1	课题的目标	73
2	水再利用的意义	74
3	水再利用的分项归类	75
3.1	社会文化因素与社会认同	75
3.2	对技术的要求.....	76
3.3	对操作管理和操作能力的要求.....	
3.4	卫生健康因素.....	77
3.5	法律法规和国家的调控.....	78
3.6	水再利用项目的市场潜力.....	78
3.7	价格和投资.....	79
4	应用案例	80
4.1	德国的应用案例.....	80
4.2	世界其他地区的案例.....	81
5	以水再利用为目标的污水处理工艺评估矩阵	82
5.1	评估矩阵的目标.....	82
5.2	限制因素.....	83
5.3	矩阵的结构和概念释义.....	84
5.3.1	行 1-2 “健康风险”	86
5.3.2	行 3 - 6 “经济效率-投资成本”.....	86
5.3.3	行 7-11 “经济效率-运营成本”	87
5.3.4	行 12-16 “设施运行对环境的影响”	87
5.3.5	行 17-19 “对操作人员的要求”	87
5.3.6	行 20-36 “设备技术”.....	88
5.3.7	行 37-40 “灌溉技术”.....	89
5.3.8	行 41-44 “应用的选项”.....	89
参考文献	90
附件	以水再利用为目标的污水处理工艺评估矩阵.....	92

表格索引

表 1	表格行头及评估因子.....	85
-----	----------------	----

1 课题的目标

对废水进行处理和再利用的必要性首先体现在国际层面上，除了欧洲以外的少雨地区，该课题未来也将在欧洲引起越来越多的关注，且不仅局限于南欧地区，如今那里将处理水回用于农业已成为一项成熟和普遍的应用。除农业外，对城镇用水进行多重利用的意义也在明显增加，特别是在那些快速扩张的超级大都市。这些地方不论地处何种气候区域，其对水资源的需求已经超出了当地淡水自然资源的供给能力。

对废水进行处理和再利用是一项涵盖内容广泛的综合性课题：除了国家和国际层面上关于水质、水处理工艺的相关规定、标准外，也需要考虑各国之间在诸如重复利用类型、资金来源、当地操作人员的技术水平等约束条件方面存在的差异。当前对本课题所面临不同挑战的公开研究论著已有很多，例如：AQUAREC (2006), ANGELAKIS et al. (2001), WHO (2006), ASANO (2007), JIMENEZ 和 ASANO (2008)。

为了提供与再利用相关的水处理工艺概览、并能够为选择合适的工艺提供帮助。德国水、污水和废弃物处理协会BIZ-11.4“水的再利用”工作组创建了一个缜密的、针对不同水处理工艺的评估矩阵。评估矩阵从出水水质、成本、物料和能量消耗、维护费用等不同角度对各单项工艺进行评估，并将在评估基础上对各处理工艺进行特征化处理、分析他们之间的相互关系以及各处理工艺与水重复利用相关的风险信息。本文中的评估矩阵适用于农业和城市回用水（灌溉、消防用水以及作为非饮用水的应用）。而不包括工业用水（循环水）、非直接、非有意识地再利用以及所谓的革新概念，即废水的分类收集，这些也不在本文内论述。

本课题以及评估矩阵的目标在于提供各处理工艺的可行性、应用准则、前提条件等基础信息。评估矩阵应该提供简单、快速的决策帮助，而不是为制订详细、具体的决策服务。这些缜密具体的决策应交由专业人士去制订。显然评估矩阵在特定情况下不能替代工程学方法，而仅仅是为理性、稳重的决策提供帮助。在无法获取专业技术支持时也可以使用之。相对于知识丰富的专家，评估矩阵的目标使用人群更多的是公众事务团体、决策者、政治家（为了提升意识）、行业咨询业者、城乡及农业水处理设施建造运营商等，这既适用于德国，也适用于其他国家。

2 水再利用的意义

世界上有限的水资源以及人类活动的影响使水成为一个全球性的问题，特别是对于生活在干旱、半干旱地区的新兴国家和发展中国家的民众而言。除了自身气候框架条件以及水资源分布不均等因素外，这些国家水资源匮乏的主要原因还在于人口急速增长和人均耗水量增加等人为因素。对现有水资源采取非可持续发展利用的方式以及地表水和地下水资源不断受到污染使得问题更加严重化。此外预测全球气候变化还会进一步加剧世界性的水资源匮乏态势。根据世界水资源报告（UNESCO,2006）的预测，以现有的消耗方式推算，在最不利情况下至本世纪中叶将有60个国家的70亿人口面临水资源短缺的问题；按最保守情况推算，也将有48个国家的20亿人口面临水资源短缺。泛政府组织国际气候变化框架公约（IPCC,2007）的专家预计全球气候变化还会额外加剧全球性的水资源匮乏问题。

水的再利用技术目前在许多国家已经成为必不可少的实用技术，并在水行业中得到实践推广，未来其将成为水资源可持续化管理的重要组成部分——也是减轻气候变化影响的有效手段——这将是我们在21世纪面临的巨大挑战之一。经过处理、满足不同水质需求的处理回用水应被作为富有价值、可使用、可本地化控制的水资源来看待。其贡献在于消弭不断增长的用水消耗与有限的水资源之间的矛盾。

在此应特别提到世界上最大的用水行业-农业。对废水进行适当的净化处理并作为灌溉用水回用于农业在协助保养淡水资源方面有巨大的发展潜力。通过对水的储存可以为应对季节性的影响提供机会（当然，这对处理后的水质也有特殊要求）。

在许多发展中国家和新兴国家，直接使用没有经过处理的废水或低净化程度废水的做法仍比较常见，特别是在城市或城乡结合区原质污水被当地居民作为灌溉用水，因为它是免费的、不受旱雨季变化的影响并且肥份较高。废水（经常是未经处理的废水）被用于确保和增加食品生产。尽管在这些发展中国家和新兴国家也有关于水重复利用的法律框架和水质标准（多是基于世卫组织WHO和联邦环保署EPA的推荐导则），但实际情况是大多数此类国家没有监控以及没有考虑重要卫生指标的最低要求（鲁尔-波鸿大学 2005）。

在水资源的可持续化管理中应当意识到废水是一种资源，对废水进行适当的处理是必不可少的，其目的是使发生卫生危害的风险最小化，而卫生危害是与未加控制的水再利用方式联系在一起的。

3 水再利用的分项归类

3.1 社会文化因素与社会认同

水的再利用课题涵盖一系列根基不同的观察问题的视角，他们必须在相互作用中协同发挥效力，以实现可持续化地降低资源消耗。处理回用水对人群健康和日常生活会产生影响，与之相关的技术必须既易于操作又易于理解掌握。除技术、组织和制度层面的问题外，下面即将论及的社会文化因素具有特别的意义。

很显然用户的认同与接受程度是对污水再利用而言最重要的关键因素。在世界许多地区这种认同度至少已部分地通过经济强制手段进行“激励”：传统水资源储量在减少、深井汲水所需的能耗成本和维护费用在不断攀升，这仅是众多因素中的几项。但是，大规模地推广使用处理回用水却经常性的遭到抱怨甚至公开的抵触，其中的部分原因不难理解，这与技术本身、操作和维护以及水质等因素（例如臭味和颜色）有关。例如尽管许多常用的灌溉系统原则上可以使用处理回用水，但在日常运行实践中却不能做到完全尽如人意。

尽管在世界许多地方对雨水和轻度污染废水的利用已成为长期以来的传统，将人畜的排泄物作为农肥进行利用的方式也早已得到推广，但在一些水资源短缺地区使用处理回用水的潜在用户却在减少。与水再利用的类型相关，人们或多或少地对使用处理回用水有反感情绪，因为担心不能与水中可能含有的致病病原体保持足够的距离。还有某些地区将对待和使用处理回用水列入了宗教条例或与之类似的规定范畴加以限制。（但是对水的再利用也会受到宗教因素的激励，参见下文实例介绍）。在这种情况下需要经历漫长不平的道路去改变人们现有的生活习性和态度、提升人们使用处理回用水的意识。严谨的安全保障系统在这里扮演着重要的角色，运行合适的系统必须有这样一个安全体系相伴随。这个系统保障各种水重复利用类型应满足的最低标准。使用者必须相信这些标准，否则就无法建立起信赖和接受处理回用水的理念。

相反，有时候尽管以法律规章形式表现出来的制度化的认同方式具有很强的约束性，使用者和最终用户例如小农户、农产品消费者却由于面临水源短缺的问题，对废水再利用的认同度更为注重实际和态度积极。这也意味着，在这种情形下行政审核多是被绕开或忽视，特别是当缺乏有效的执行和控制机制时。

很明显，对于所有应用案例中可以使最终用户与处理回用水发生联系的直接再利用形式，亦即通过农产品、家用品甚至是处理后的可饮用水等形式，必须对社会文化因素的制约予以相当程度的考量。为确保应用的顺利实施，公开探讨所有相关问题、使相关方及早参与前期规划和决策过程是绝对必要的。对此，至少下列因素需要予以考虑，他们的权重依据使用类别而各异。

- 水经济框架约束条件（水的需求与供给关系）；
- 卫生和健康保障；
- 处理回用水生产和应用方面的技术要求；
- 运行的要求和能力（其中有操作人员的数量和资质，操作安全性、应急手段），也与处理工艺的复杂性有关；
- 考虑到投资成本（资本支出 CAPEX）和运营成本（运营支出 OPEX）下的财务技术和经济可行性；
- 环境保护和可持续发展因素；
- 规章管理因素

案例：宗教对水再利用理念的认同

在中东和北非的伊斯兰国家，水的再利用在20世纪初就开始发挥出重要角色。例如在埃及，大约从1900年起废水就被用来对开罗附近4500公顷的土地进行农业灌溉。随着人口的增长（现今人口7200万，预计2017年达到8300万）以及储量有限的水资源（现今水资源匮乏量约200亿m³/年，2017年预计达到400亿m³/年），水的再利用在其整个国家范围呈明显增长的态势也就不足为奇。在伊朗和其他伊斯兰国家水的再利用也很普遍，并被认为是应对水资源不足的重要手段。

该地区的高级伊斯兰宗教代表也支持该项政策，例如沙特阿拉伯伊斯兰教事务部副部长 H. E. Ahmed Al-Sabban 在阿布哈比举办的一次水再利用会议上解释说，伊斯兰教对保护和合理使用水资源持支持态度，在水资源短缺和人群耗水量增加的情况下，对水进行再利用，包括对处理后的污水进行回用与宗教原则并不矛盾，“只要它是干净的、无色无味的水”。

(AL-SABBAN, 2005)

3.2 对技术的要求

为了保障水的再利用的安全性，例如在农业领域，制定了有关水质及处理过程的特殊要求，这需要通过合适的技术加以保证。这些要求涉及多方面的因素，例如杀菌消毒保护人群健康，消弭富营养化元素以保护地表和地下水体，以及为保护灌溉设施降低固体悬浮物的浓度。

有时要面对的一个额外问题是，原质污水的产出是连续的，但对处理水的再利用是非连续的，这种情况下需要对多余部分的水进行存蓄。可以通过地面蓄水池，也可以是特定的地下蓄水形式实现。另一方面，水的存蓄方式也对水质提出了相应要求（例如，去除病原体和富营养化元素）。

在第五章论及的评估矩阵将针对不同污水处理技术的应用可能性及所其对应的不同要求提供帮助说明。

3.3 对操作管理和操作能力的要求

如果不能按照规定正确地操作，那么再好的技术也不能发挥作用。与所选处理过程工艺的复杂性相关，水再利用系统的运行需要有一定的操作管理能力。进一步说，出于安全技术方面的要求（卫生和健康保护），操作人员应得到相当高的激励，并（能够）负责任地开展行动。这意味需要有合格的、经过专业培训和继续教育的技术人员。对于海外项目应注意选择合适的操作人员，这些人员如有需要能够通过培训达到所需要的资质水平。建议在运行初期的几年进行不间断的后续培训和考核。

尤其是欧洲以外的国家，这些要求常与污水设施运行的现实情况相反，其部分特征如下：

- 运行费用明显缺乏；
- 操作人员素质达不到要求；
- 继续培训的机会有限；
- 员工的工资待遇需要进一步改善；

- 员工的形象意识需要提升（从“污水厂员工”到“资源管理者”）
- 严格的等级式和集中式管理架构，现场决策的灵活性有限；
- 缺乏足够的硬件资源，特别是仪器设备、备品备件、工具、能源和化学用品。

这些情况表明在提高员工积极性、严格照章运行、遵守安全标准等方面仍面临着诸多挑战。

使操作能够照章运行的实施预案以及建立和维持员工的能力素质是规划水再利用项目时需要考虑的重要支出因素。

案例：增强阿尔及利亚员工的操作能力

预防性的维护如不能充分有效地进行，常常会大幅缩短污水处理设施的效率和使用寿命。因而过去新建成的设施部分由于运行能力的不足在运行短短数年后即面临停运。

阿尔及利亚国家污水设施运行机构（ONA）和德国伙伴合作引入了一个模块化的污水设施操作人员培训项目，一个面向阿尔及利亚所有地区的人员培训中心在Boumerdes污水处理厂建立，未来的操作员在那里得到培训。培训内容包括生产安全，维护、测量和控制、故障处理、修理、报告体系、仓储等。阿尔及利亚多处污水处理设施在短期内即通过培训取得了明显的成果，必要的知识被传输给员工，使他们理解对操作的精通和仔细同获得设备和辅助物资一样重要，只专注于污水处理工程的投资将会招致高昂的后期费用和不符合要求的运行。

(德国技术合作公司GTZ, Emscher, 2006)

3.4 健康因素

污水再利用设施的规划和运行必须确保不会对操作人员、处理回用水的用户以及人群健康与安全构成危害。

生活废污水即使在经过常规处理以后仍含有很多对健康有害的成份，除了难以降解的化学残留物质之外，这些成份主要是可使人体致病的微生物，例如细菌、病毒、寄生物和虫卵。安全和卫生的污水再利用在流行病学因素的考量下对水质提出了特别的要求。

病原体造成的危害很大程度上与水的再利用类型相关，例如灌溉的类型。本篇中的评估矩阵对不同灌溉类型的适宜性进行了评估。

原则上污水再利用需要引入合适的杀菌消毒过程，使水中的病原体得到去除、消灭或钝化，并达到在各种应用案例中不对健康构成危害和引起用户担忧。为此，应了解国家或地方性条例中的容许限值（如果他们存在）。如有需要，特别是考虑到流行病学的因素，可引入国际上公认的推荐值，例如世界卫生组织指令（WHO,2006）。

采用杀菌程序时，除了要注意因使用化学品而对操作人员和环境造成的危害，有些情况下还要考虑到可能生成的、对人体和环境有毒的副产品。

操作人员以及用户必须知晓水再生和使用过程中的健康和安​​全因素。从健康的角度出发，为污水再利用设施的安全无害化操作引入事故应对预案、演练以及严格遵守故障状态下应遵循的行为是必备的前提条件。

3.5 法律法规和国家的调控

许多国家都有关于水的再利用的法规和技术导则（在德国也有这方面的规章，例如DIN19650《关于灌溉用水的卫生要求》），在欧洲以外的国家，特别是已经或即将面临水资源短缺的国家，在考虑水再利用的规则时要确定下述因素。

- 如果能切实遵循和配以适当的监控，这方面的法规通常已经可以保障再利用水的安全使用，以及避免对人体健康和农业用地质量可持续性的危害。
- 各单项法规经常来源于邻国、国际组织或各自的捐助国，因而他们经常不能完全满足本国各自的需要。
- 有些规定的部分参数组内含有相互矛盾的容许排放值，这些值互相抵触或不可能被同时遵守。

除了国家层面的法规，还有一些国际公认的指导方针，例如2006年新发布的世界卫生组织建议书（WHO,2006）。这为发展和制订各单项、国家层面的减少有害水生微生物的规定和标准提供了可被普遍接受的框架。同时也为微生物环境安全所必要的监控过程提供建议。基本上对水质的要求与水的利用目的密切相关，例如对于农业用地除了致病病原体外还包括了盐分和营养元素成份。

政府在水行业特别是水的再利用方面的法规，除了要定义技术标准和要求之外，也要涵盖其他更多的因素，例如收费结构与监控，以及相关方的权力与义务（执行机构、建设方、运行方、用户）。确立诸如安全手段、报告、内部自检、外部监控等。此外，如果要求不能被满足则必须确立一个清晰的核准机制。

在必要的技术规划安全性和招标程序透明的背景下，条理清楚的规定是保证可信赖的经济合作的重要的前提之一。

通过总结可得出结论，通常情况下问题不在于缺乏水再利用方面的法律法规和满足水质最低标准的推荐值。在多数水资源匮乏国家显现的不是水再利用标准的有无或标准质量方面的问题，而是如何执行和通过独立的国家或私立纪律机构进行充分有效监控的问题。补充地说，由于经济资源有限，这些规定经常性地近乎无法实施。

3.6 水再利用项目的市场潜力

欧洲和国际的水业市场由于水资源短缺和污染，也由于不断改变的框架约束条件（通常是朝改善的方向发展）使该行业投资获利的机会增加。处理后的污水成为一种重要的资源，未来十年水的再利用将尤其从中获益。

如果早期的发展战略专注于开发主要的水资源和进行大范围、集中式的分配，当今的概念（例如欧盟水框架指令）面向的不仅是集成式的、同时也能够回收成本的水资源管理模式。此前部分地区免费用水的实践经常导致对有限水资源的浪费和运行费用的亏空。直至今今天有些自然水资源较少的地区，处理和

未处理的污水被整年或季节性排放无法进行再利用，也不能产出养分和其他附加值产品。随着新水源的可获取性不断降低而同时需求在不断增长，在许多地区只使用（消费）一次已变得浪费和物非所值。对此，为了水资源可获取性的相对均匀分布、部分也由于和潜在的再利用地点近邻、以及为了节约新鲜淡水和能耗成本而关闭水和营养元素的循环过程进行再利用正显现成为不断增长的、经济性的解决方案。

尽管如此，循环的实现要求有定制的废水处理技术，例如对于农业，应依据作物生长期考虑水中养分的再利用，由此产生的面向污水处理技术和方案的市场与城市区间发展下的水行业机遇关系密切，这是因为一方面大部分的污水在这里产出，另一方面，处理回用水具备多项用途，可被直接用于工业和商业领域。

除了干旱、半干旱地区的发展中国家，许多发达国家对水资源也有很大的需求，新鲜淡水购买费用的增加以及环保领域越来越严厉的限制正在推动污水的再利用并提供了很好的市场机遇。对提高能源利用效率、降低成本以及新的处理技术的热切期待额外地加速了该领域内革新脉搏。

集成式水资源管理尤其是水的再利用为咨询型和生产型的企业-同样也因为可预见的气候变化因素-提供了全球范围内增长的市场机遇。本篇为污水处理技术而作的评估矩阵给出了规划设计与准备工程招标方面的重要信息，以便为终端客户提供高品质的水。

案例：亚洲的水再利用市场

由于亚洲的需求以及经济增长十分快速，其在污水处理和再利用方面的潜力巨大，预计未来几年的年增长率可部分地超过15%。例如印度尼西亚2003年污水处理的市场份额约为9千万美元，年增长率10%。即使台湾和菲律宾也有很大的市场需求，同样还有泰国和马来西亚。

在中国，政府正通过鼓励和加强水的再利用来应对由于巨大的经济增长而带来的水危机，例如，公共和私立的土地开发机构未来将有义务将水的再利用列入规划。此外为支持政策实施，成立了一个联合会（中国水再利用行业联合会）对适合市场化的技术、设备和产品给予支持。

3.7 价格与投资

通过水法和水价对世界不同水用户的需求实施有效管理需要有国家、区域、本地区范围内长期的价格政策和规章。这可以有意识地推进水循环以及农村、城镇地区废水分类收集等革新理念和方案。

针对饮用水、工业用水、农灌用水等不同利用类型制订合理的价格有助于更有效地使用水资源。欧洲新水框架法的原则是要求消费者和污染者都应提供财政支持。长期的目标是力求收回全部成本以确保可持续性。能被社会接受以及参考用户支付能力和支付意愿制订出先进的价格体系是政治性的决定。他们需要根据通胀率的变化定期进行调整以保障设施运行和其他客户服务（例如接入率的提升）。

水再利用的长期投资项目-伴随提供经济上的激励-已经引导诸如新加坡、南非、澳大利亚和加利福尼亚的水资源匮乏地区的消费者在中长期内去适应区域内可获取水资源千差万别的水质和不同的价格。

投资者对新的水再利用设施的自有投资、政府补贴和贷款各自处于不同的条件下。创新的方案经常能得到补助。从国际发展银行得到投资承诺的基础是可行性研究报告，该报告对不同的替代方案和技术进行调研，并确定对投资者（较低的投资和运行成本）和用户（合适的价格）而言都合适的低成本方案。

数量众多的水利用计划国际案例指出了这样的路：那就是有业务能力、商业化的机构如何通过给定的框架约束条件、规定、指针——并由此最后通过国家法规实现经济和合理地投资。在由欧盟资助的研究报告AQUAREC (2006) 和EMWIS报告-废水再利用（2007）中可以找到成功的案例。

4 应用案例

4.1 德国的应用案例

尽管德国在水处理技术方面有丰富的经验，但由于德国水资源充足，所以至今对处理后的生活污水进行再利用的实践并不普遍。德国的水再利用主要集中于农业灌溉中的滴灌和喷灌，以及用于补充地下水、或作为非直接再利用形式的河岸渗滤（非本篇讨论的范围）。此外有少量用于家庭和宾馆的灰水利用。

少数的农业灌溉及污水养鱼案例源于早期的城市污水处理工艺，在德国20世纪初已被普遍应用。但随着环境污染排放指标越来越严格，并由此推动现代污水生物处理技术在区域范围内推广，对处理后的城镇生活污水再利用的做法大都停止了。

在德国可以找到过去的和即将实现的农灌用水再利用案例，例如在柏林、比勒费尔德、不伦瑞克（见案例介绍），达姆斯达特、多特蒙德、弗莱堡、明斯特和沃尔夫堡。已经运行的污水养鱼的案例可在阿姆贝格、纽伦堡、斯潘道、和慕尼黑周边地区找到。

案例：不伦瑞克（Braunschweig）地区作为农灌用水和保护接受水体的再利用

不伦瑞克自1895年已开始将城市生活污水作为肥料引流到轻砂质土壤上。一方面是为了改善城市的卫生状况以及自然接受水体的环境，同时也是为了提高该地区的土壤质量。如今，不伦瑞克的城镇污水（约2200万m³/年）全经由现代化的斯坦豪夫污水处理厂进行生物处理（35万人口的污水接入能力），然后在夏季处理水可以回用于约3000公顷的喷灌农地，其中部分混合了过剩污泥。

在这些农地上种植的主要是经济作物，例如甜菜。种植可直接食用或经初加工后食用的粮食作物出于卫生原因而被禁止。未来种植可生产再生能源作物的计划正处于研讨阶段。

在冬季月份里处理水用于补给和存蓄地下水，现有的灌溉地被用作自然的缓冲带来调节污水处理厂的排放冲击负荷、保护敏感的自然接受水体。通过持续的灌溉此间已产生宝贵的、值得保护的生态系（生物生境）。

上述水再利用项目数量有限的原因在于现有新鲜淡水资源的充沛。但是德国也存在地区性的差异，如今德国东部地区已处于气候性水平衡的均值以下。在极端炎热和干燥的年份里降雨量不足可达300mm，这导致土壤表层的干涸。根据对世界气候变化的预测以及随之而来的全球气候变暖，预计德国也将会遭遇越来越多这样的极端天气。

这些地区大面积的土地主要为农业用途，将处理水回用于农田灌溉以及在缺水期调节用水需求在未来有新的应用前景，尤其适用于那些非食用类作物，如用于制造可再生能源的作物，这样卫生风险级别可以降低。

4.2 世界其他地区的案例

世界范围内，有意识的水再利用实践有众多的应用案例可循（见下述欧洲（西班牙），地中海地区（约旦）和美国的案例介绍），此外还用于农业灌溉、城镇绿化用水、污水养鱼、中水回用和补充地下水。可以从丰富的文献资料和众多的案例研究中获取更详细的信息，包括新近出版的《国际水再利用研究》(JIMENEZ 和 ASANO, 2008)，《地中海废水再利用报告》(MED-EUWI, 2007)。

案例：西班牙科斯塔-布拉瓦的废水再利用（西班牙）

在西班牙北部，水再利用项目的发展势头很好，特别是沿Catalonia的海岸地区，水再利用的意义不仅反映在政治和结构性改革上、也反映在可靠的数据上。例如1989至2001年间，Costa Brava沿岸经生物处理后重新利用的水量从几乎为零增长到到每年约230万立方米。同期污水现有排放稳定量约3000万立方米。这里主要是对葡萄园、果树园和高尔夫球场的灌溉应用。处理水也用于补给地下水体并作为缓冲防止盐化水侵扰，例如在Torroella de Montgri 和 Tossa de Mar 即有这样的案例

(SALA et al., 2002)。

案例：约旦河谷地区的废水再利用（约旦）

约旦面临着严重的水资源匮乏问题，并预计随着水需求量的增加形势会更加恶化。基于这样的背景，约旦政府鼓励水的再利用并配套出台了众多的法律和规章。目前灌溉用水总量（约4.44亿m³）中的16%（约7100万m³）来源于处理后的污水。

特别是在约旦河谷地区，处理后的水与新鲜水按1:3的比例混合后作为灌溉水再利用，（稀释以便于“无限制的灌溉”），King Talal蓄水区在这里扮演着决定性的角色，它接纳了来自As Samra, Baqa和Jerash污水处理厂约5700万m³的已处理污水。

(Schneider,2005)

案例：美国加利福尼亚地区的水再利用（美国）

加利福尼亚的案例被认为是该领域内的发展趋势，这既包括已有的法律标准和应用技术，也包括社会的认同度。仅在2000年就有超过200个污水厂的处理水可被再利用，再利用类型以农业灌溉和园地绿化用水为主。

例如，蒙德利(Monterey)周边地区供应美国市场70%的洋葱，其中很大部分种植产地用处理回用水灌溉，在灌溉高峰期，平均83000 m³/天的废水产生量可被全部处理并用于灌溉。

在欧文(Irvine)，平行于饮用水管网之外另有一套独立的处理水分配管网，用于灌溉公园、高尔夫球场、交通道路草地边坡等。处理回用水占到总用水量的20%，处理水通过技术管控措施也可以分配给私人家庭。

(Orth,2005)

5 以水再利用为目标的污水处理工艺评估矩阵

5.1 评估矩阵的目标

为了水的再利用，我们应针对应用个案来选择最适宜的污水处理技术，并要顾及国家的规定和国际标准（例如世卫组织和粮农组织）。在选择处理技术时应注意各国家/地区间各不相同的框架制约因素，例如可以获取的投资、运营资源以及当地操作人员的培训水平。

为了协助工厂规划者和建设者完成这一复杂的任务，德国水、污水和废弃物处理协会DWA BIZ-11.4“水的再利用”工作组创建了一个缜密的、针对不同水处理工艺的评估矩阵。评估矩阵从出水水质、成本、物料和能量消耗、维护费用等不同角度对各单项工艺进行评估，评估包括不依赖于使用地点的处理工艺特征描述和比较，尤其是对于农业灌溉这样的应用目的。

由评估结果发展而成的矩阵提供了一个各种处理工艺的概览，并可以在初次评估中作为快速简单的决策帮助工具。没有必要对其全面完整性和普遍有效性提出要求，但是矩阵应能适用于大多数的应用情形。它显然不能取代特殊个案中的专业调研和有针对性的决策，但它可以使作出明智和有充分依据的决策变得可行或容易，即使是在可获取的专业知识有限的时候。

矩阵中所罗列的评估项主要是技术特征。与污水再利用相关的健康风险没有明确列出。读者可以利用相关的文献，例如如世界卫生组织的指令（2006年）。

5.2 限制因素

污水再利用可及的程度要求给出一个使用范围的限制，本篇发布的评估矩阵有意识地集中于下列领域：

- 农业灌溉；
- 家庭非饮用水用途（如冲洗厕所）；
- 城市用水（如用于公园绿化灌溉、街道清洗或消防用水）

评价矩阵的出发点是已经规划或将要使用处理后的城市生活污水，对此，农业灌溉作为使用最广泛的水再利用类型之一是一项重点。该领域对水的大量需求和相较其他利用类型而言较低的处理要求(例如水中的富营养元素只需要被部分去除，如有需要它们可以作为肥份留在水中)为污水再利用提供了较大的发展潜力。原质污水从而可以被认为是产出“处理水”的原材料，“处理水”可以根据再利用类型的不同而有不同的质量：例如富营养元素的容许含量与作物生长期和土壤条件相关、此外卫生质量与灌溉作物及耕作类型、水中的固体物含量与灌溉技术相关等等。与其类似的是城镇水再利用，例如绿化灌溉用水或家庭非饮用水用途。

下述利用类型没有被考虑在评估矩阵里：

- 工业用途；
- 饮用水供应中的间接再利用；
- 废水分类收集

评估矩阵没有考虑工业中的水再利用和循环使用，因为它们在德国已得到相当成熟的实践，没有必要在这里再做深入的研究。在许多工业应用中其已集成到生产过程中，因此在某种程度上不可能将企业内部生产循环与单独的水再利用循环区分开来。下述数据可以看出工业水再利用的规模：加工工业的年用水量约为 $30200 \text{ Mm}^3/\text{年}$ （其中约 22500 Mm^3 为冷却水）；而新鲜水的供应量为 $6200 \text{ Mm}^3/\text{年}$ ，得出重复用水量约为 $24000 \text{ Mm}^3/\text{年}$ 。水的利用率（工业用水量/新鲜水量）为4.9。这意味着，每立方米的水平均起来重复使用了几乎5次。工业再利用水的数量（约 $24000 \text{ Mm}^3/\text{年}$ ）超过了城市污水（ $9695 \text{ Mm}^3/\text{年}$ ），是其2.4倍。（1998年数据，来源于德国联邦统计办公室，引用于CORNEL 和 MEDA，2008）

同样没有被纳入评估矩阵的还有间接再利用形式，例如，下游利用上游向地表水排放的污水。间接再利用在中欧人口稠密地区发挥着不可忽视的作用，原因在于人们把这些欧洲大型河流，如莱茵河和多瑙河，同时当做污水处理厂处理水的接受水体和饮用水的未净化水源。此外，在人口稠密地区的很多地表水水体中能测出废水的典型成份。这种处理水和饮用水事实上的封闭循环体现出一种“无计划的、间接的再利用”类型，这不是本文研讨的部分。

所谓废水分类收集概念，即基于分离不同的污水流（黑水、棕水、黄水和灰水）的方式不属于本评价矩阵的范畴，读者可以参阅数量丰富的相关文献。

5.3 矩阵的结构和概念释义

完整的评估矩阵显示在附录中，分成多张表格，其包含按主题分组的各项技术。

在矩阵结构中，矩阵列代表不同的污水处理工艺，矩阵行代表评估参数。带有评估参数的表头详见表 1。

评估过程是按“高”、“中等”、“低”归类，并部分辅以特定的关键数据，例如能源消耗和部分废水参数的去除率。详细依据来源于给出的参考资料和工作组成员的预测。矩阵每单元块后的数字指明了其来源，相关图例说明列于附件结尾。

表 1：带有评估参数的表头

因素		行号		
健康风险	水处理设施的操作人员	1		
	处理回用水的使用者	2		
经济效率	投资成本	用地需求	3	
		建筑结构工程	4	
		机械工程	5	
		电气+测量、控制和自控技术	6	
	运营成本	人员需求/成本	7	
		能源需求/成本	8	
		废弃物处理	9	
	生产资料（沉淀剂等）	10		
	维护成本	11		
运行设备对环境的影响	甲烷排放	12		
	异味气体	13		
	干扰音/噪音	14		
	悬浮微粒/气溶胶	15		
	虫类（蠕虫、蚊蝇等）	16		
对操作人员的要求	操作能力/操作成本	17		
	维护保养成本	18		
	员工所需的培训	19		
设备技术	技术水平	20		
	耐用性	21		
	工艺稳定性	22		
	运行中对出水水质进行影响的能力	23		
		化学需氧量 COD/生化需氧量 BOD 去除率	24	
		悬浮物去除率	25	
		富营养元素去除率	氨氮	26
	硝酸盐		27	
	磷		28	
	出水水质（处理效率）	减少病原体	病毒	29
			细菌	30
			原生生物	31
			肠道寄生虫	32
		色度/异味	33	
		剩余浊度	34	
	处理过程造成的水中盐度升高	35		
	残渣量	36		
灌溉技术	根灌	37		
	滴灌	38		
	洒水/喷灌	39		
	漫灌	40		
使用类型	农业灌溉	41		
	非饮用用途（例如：冲厕水）	42		
	城镇用水（绿地灌溉、消防用水）	43		
	林业灌溉	44		

下面的章节将对评估矩阵的各行（即评估因素）进行说明，并界定其所采用的评估准则。

5.3.1 行 1-2 “健康风险”

水处理设施操作人员和处理回用水的用户所面临的健康风险可按下列准则进行定性评估：

类别	备注
高	例如，需要接触“危险”化学药品
中等	如有必要，需要进行消毒
低	仅作为预处理过程使用

5.3.2 行 3-6 “经济效率 — 投资成本”

经济效率的表述是笼统和相对的，这种“低” — “中等” — “高”的分类只是对工艺进行第一手粗略的考量和比较。这些归类依据和受限于德国的特性参数值。

类别	备注
高	成本 > 1000 €/人，以及 用地需求 > 1 m ² /人口当量
中等	600 < 成本 ≤ 1000 €/人口当量，以及 0.3 < 用地需求 ≤ 1 m ² /人口当量
低	成本 ≤ 600 €/人口当量，以及 用地需求 ≤ 0.3 m ² /人口当量

提供具体特征数值的做法在很大程度上可以放弃，因为这些往往是不可传递的。对每一个计划都要重新和仔细地去确定投资和运营成本，因为经济效率是评估的决定性因素之一。但是经验表明，无论是在国家与国家之间还是国家内部不同地区之间，成本费用可以有很大的差异。这里要考量下述框架制约因素：

- 所在地/所在国家的的市场环境和竞争环境；
- 所选技术的详细说明；
- 建筑工程技术与机械工程技术及所选技术装备的关系；
- 在低收入国家中劳动力成本在投资和运营成本中所占的份额；
- 生产资料（能源，备件，耗材，化学品等）的可获取性及采购成本；
- 对获取和装备高素质的维修保养人员的需要。

在评价矩阵中，投资成本被分为用地需求、建筑结构工程、机械工程和 E+MCR（电气+测量、控制和自控技术）。除非用数值特别注明，用地需求以 m²/人口当量的单位给出，因为地区间的土地价格差异是很大的。

基本上在定量比较时应注意，有些工艺是按比例测算的，另外的一些依据的是水力容量。与之相应，投资成本或者是基于居民数和人口当量以 €/人口当量为单位，或者是基于水力容量以 €/(m³/h)为计量单位。它们之间进行换算的意义有限，且只有存在每人口当量对应特定废水排放量的假设条件下可以进行。

5.3.3 行 7 - 11 “经济效率 — 运营成本”

对所研究处理工艺运营成本的分析论述与投资成本部分类似，可被细分如下：

- 人力成本或者人员需求；
- 能源成本或者能源需求；
- 废弃物处置成本（延用德国的框架条件）；
- 生产资料成本，如沉淀剂、絮凝剂或其他化学品；
- 维护保养成本。

给定的数据源于德国对新建设施采用的做法。根据投资成本部分的论述，其并不能直接适用于其他国家。

对某些处理工艺以欧元/每立方米治理污水为单位按下列准则进行归类：

类别	备注
高	$0.4 \text{ €/m}^3 < \text{成本} \leq 0.8 \text{ €/m}^3$
中等	$0.06 \text{ €/m}^3 < \text{成本} \leq 0.4 \text{ €/m}^3$
低	$\text{成本} \leq 0.06 \text{ €/m}^3$

能源需求以千瓦时/立方米处理出水 (kWh/m^3) 为单位计。这些数值很大程度上与所在国家无关，可以直接传递采用。以下是能源需求的归类：

类别	注释
高	$0.02 < \text{能源需求} \leq 0.2 \text{ kWh/m}^3$
中等	$0.002 < \text{能源需求} \leq 0.02 \text{ kWh/m}^3$
低	$\text{能源需求} \leq 0.002 \text{ kWh/m}^3$

5.3.4 行 12 - 16 “设施运行对环境的影响”

运行水处理设施对环境承载力的影响按下列类别进行定性评估：

- 甲烷 CH_4 排放（以及对气候有危害的气体排放）；
- 异味气体；
- 干扰音/噪声；
- 悬浮微粒、气溶胶；
- 虫类（蠕虫，苍蝇，蚊子等）

类别	备注
高	高的环境污染负荷
中等	中等环境污染负荷
低	低的环境污染负荷

5.3.5 行 17 - 19 “设施运转对操作人员的要求”

在许多发展中国家和新兴国家中，现有操作人员的培训水平成为选择合适的水处理技术时的一个制约因素。在评估矩阵中，各处理工艺对操作人员的要求在考虑到可操控地运行的情况下按下列准则评估：

- 可操作性以及操作费用；
- 维护保养费用；
- 对操作人员必要的培训

类别	备注
高	高要求
中等	中等要求
低	低要求

5.3.6 行 20 - 36 “设备技术”

在“设备技术”这一综合概念下，各处理工艺的技术细节、特别是处理效率被统合在一起。在众多的文献数据之外，下述定性的评估准则也被采用。

处理水的水质以及处理效率基于下列废水参数并结合去除率进行评估：

- 化学需氧量COD和生化需氧量BOD（有机碳化合物）；
- 悬浮物SS（可过滤物质、固体物质、悬浮物）；
- 营养成分（氨氮、硝酸盐、磷）；
- 病原体（细菌、病毒、原生动物、蠕虫）

在矩阵中，去除率以百分比（%）计，处理后水中的残留浓度以毫克/升(mg/l)计；病原体的去除以对数级的形式表达。评估准则如下：

类别	备注
高	去除率>70% 或 4-6 个对数级
中等	去除率介于 30-70% 或 2-3 个对数级
低	去除率 <30% 或 至 2 个对数级
没有影响	去除率 <5%
不相关	例如，仅用于后续治理

其他的参数被用于定性表述处理水的特征和状况：

- 颜色和气味；
- 剩余浊度；
- 处理过程造成水中盐度升高

类别	备注
高	处理出水呈现高的 (残留-) 色度/异味/剩余浊度
中等	治理过的水呈现出中等的 (残留-) 色度/异味/剩余浊度
低	治理过的水呈现出较低的 (残留-) 色度/异味/剩余浊度
没有影响	——

此外其他非量化参数被用来直接描述设备技术和相对的定性评估：

- 技术水平；
- 耐用性；
- 工艺稳定性；
- 对出水水质进行影响的能力

类别	备注
高	较高程度
中等	中等程度
低	较低程度

处理工艺生成的残渣量按下表评估：

类别	备注
高	$80 < \text{待处置的脱水污泥量} \leq 110 \text{ L/(PT}\cdot\text{a)}$
中等	$40 < \text{代处理的脱水污泥量} \leq 80 \text{ L/(PT}\cdot\text{a)}$
低	$\text{代处理的脱水污泥量} \leq 40 \text{ L/(PT}\cdot\text{a)}$
没有污泥产出	——

5.3.7 行 37 - 40 “灌溉技术”

对各个处理工艺都会加以说明，其处理后的出水是否允许通过给定的灌溉技术用于灌溉。

一般来说，具有精细元件的灌溉设施或喷雾喷嘴（如根灌和滴灌）要求灌溉水中的固态物浓度必须很低（可用干固体含量 DS 指标表达），因此过滤是推荐或必需采取的措施。

对于能够生成和播洒微小水滴和雾状微粒的灌溉工艺（例如通过自动喷灌装置），应对处理水进行额外消毒，以尽量减少对野外场地工作人员和邻近居民的健康风险。

类别	备注
适合	有时会受限于所要求的过滤和消毒措施，
不太适合	需要过滤
不适合	——
不相关	例如仅用于预处理

5.3.8 行 41 - 44 “应用的选项”

该部分对各处理工艺按照下述类别进行归类，以判断将经过该工艺处理后的水用于某种再利用用途的做法是否可行或是值得推荐。

类别	备注
推荐	——
可能	——
不推荐	——
不可能	——

参考文献

- AL-SABBAN, A. (2005): Vortrag in arabischer Sprache von HE Ahmed Al-Sabban, Deputy Minister for Planning and Development, Ministry of Islamic Affairs, Kingdom of Saudi-Arabia, auf der Konferenz „Middle East Water Reuse“, 27./28.11.2005, Abu Dhabi, VAE, veranstaltet von der Wirtschafts-Zeitschrift MEED
- ANGELAKIS, A.; THAIRS, T.; LAZAROVA, V. (2001): Water Reuse in EU Countries: Necessity of Establishing EU-Guidelines, State of the Art Review, Report of the EUREAU Water Reuse Group EU2-01-26
- ALCALDE, L.; ORON G.; MANOR, Y.; GILLERMAN, L.; SALGOT, M. (2004): Wastewater reclamation and reuse for agricultural irrigation in arid regions: The experience of the city of Arad, Israel, Israeli-Palestinian International Conference on Water for Life, Antalya, Turkey, Oct. 2004, <www.ipcri.org>
- AQUAREC (2006): Water Reuse System Management Manual, AQUAREC (Integrated Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater), Editors: Davide Bixio and Thomas Wintgens, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2006, ISBN 9279019341, Kurzfassung auf <www.aquarec.org>
- ASANO, T. (2007): Water Reuse: Issues, Technologies and Applications, McGraw-Hill, 1. Auflage, März 2007, ISBN 9780071459273
- ATV-M 205 (1998): Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser, Ausgabe Juli 1998, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef
- ATV-DVWK-A 131 (2000): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, Ausgabe Mai 2000, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef
- BARJENBRUCH M.; AL JIROUDI D. (2005): Erfahrungen aus dem Vergleich von Kleinkläranlagen auf dem Demonstrationsfeld in Dorf Mecklenburg, GWF Wasser Abwasser, Jg. 146, Nr. 5, 2005, S. 400–407
- Bfai - BUNDESAGENTUR FÜR AUßENWIRTSCHAFT (2007): Wassermanagement und Wassertechnik im Nahen und Mittleren Osten und in Nordafrika, 2007, Bundesagentur für Außenwirtschaft, ISBN: 3866434952
- CORNEL, P. (2006): Weitergehende Behandlung von Kläranlagenabläufen (A-Kohle, Oxidations-, Desinfektionsverfahren u. a.), DWA WasserWirtschaftskurs M/2 vom 11.-13. Oktober 2006, ISBN 3939057584
- CORNEL, P.; MEDA, A.; HUBER, H. (2007): Development of a Matrix as a Decision Support Mechanism for Comparison and Evaluation of Technologies in Water Reuse Applications, in: Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser (GWA), Bd. 206, Advanced Sanitation, Hrsg.: Inst. für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen, März 2007, ISBN 9783938996126, S. 28/1–28/9
- CORNEL, P.; MEDA, A. (2008): Water reuse situation in Central Europe: the current situation, in: Water Reuse: An International Survey, Contrasts, issues and needs around the world, Editors: Blanca Jimenez und Takashi Asano, IWA Publishing, London, geplantes Veröffentlichungsdatum: 1.2.2008, ISBN 1843390892
- DIN 19650 (1999): Bewässerung – Hygienische Belange von Bewässerungswasser, Ausg.: Febr. 1999, Beuth Verlag, Berlin
- DWA-LANDESVERBAND BAYERN (2005): Kanal- und Kläranlagennachbarschaften, Fortbildung des Betriebspersonals 2005, München, ISBN 3887210581
- DWA-A 262 (2006): Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur Reinigung kommunalen Abwassers, Ausgabe: März 2006, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef
- EMWIS (2007): Final report on waste water reuse – Annex B – Case studies, Nov. 2007, Ergebnisse der Arbeitsgruppe Abwasserwiederverwendung, Euro-Mediterranean Information System on Know-how in the Water Sector, <www.emwis.net/topics/waterreuse>
- ENGELHARDT, N. (2006): Die Membranbelebungsanlage Nordkanal, Wiener Mitteilungen, Band 195, Betriebserfahrungen moderner Kläranlagen, ISBN 3852340861
- FRECHEN, F. B. (2006): Leistung und Kosten des Membranbehebungsverfahrens, DWA WasserWirtschafts- Kurs M/2 vom 11.-13. Oktober 2006, ISBN 3-939057584
- GRÜNEBAUM, T.; WEYAND, M. (1995): Reduzierung der Betriebskosten bei der Abwasserbehandlung, 47. Darmstädter Seminar – Abwassertechnik – am 15. November 1995, Schriftenreihe WAR, Band 86, TH Darmstadt, ISBN 3923419791, S. 155–178
- GÜNDER, B. (2001): Das Membranbehebungsverfahren in der kommunalen Abwasserbehandlung, Kommunale Kläranlagen, 2. Auflage, Technische Akademie Esslingen, Expert Verlag, ISBN 3816919944, S. 173–192
- GÜNTHERT, F. W.; REICHERTER, E. (2001): Investitionskosten der Abwasserreinigung, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, ISBN 3486265075
- GTZ – DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT MBH, EMSCHER GESELLSCHAFT FÜR WASSERTECHNIK MBH (2006): Ausbildungsprogramm ONA, Algerien (PPP-Maßnahme), Schlussdokumentation, Zeitraum: 01.01. – 31.12.2006, Komponente 3 des Programms der Technischen Zusammenarbeit „Integrierte Wasserwirtschaft Algerien“
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability,

- Fourth Assessment Report, Summary for Policymakers, Working Group II of the IPCC, Brussels, April 2007
- IRC – INTERNATIONAL WATER AND SANITATION CENTRE (2004): Waste stabilization ponds for wastewater treatment, <<http://www.irc.nl/page/8237>>
- JIMENEZ, B.; ASANO, T. (2008): Water Reuse: An International Survey, Contrasts, issues and needs around the world, Editors: Blanca Jimenez and Takashi Asano, IWA Publishing, London, 2007, geplantes Veröffentlichungsdatum: 1.2.2008, ISBN 1843390892
- LABER, J. (2001): Bepflanzte Bodenfilter zur weitergehenden Reinigung von Oberflächenwasser und Kläranlagenabläufen, Wiener Mitteilungen, Band 167, ISBN 3852340586
- LENZ, G. (2004): Qualifikation des Betriebspersonals auf Kläranlagen, Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef
- LÜTZNER, K. (2002): Ein Beitrag zur Bilanzierung von Bodenfiltern, Dresdner Berichte 21, TU Dresden, ISSN 1615083X
- MED-EUWI – MEDITERRANEAN EU WATER INITIATIVE (2007): Mediterranean Wastewater Reuse Report, Joint Mediterranean EIWI/WFD Process, Produced by the Mediterranean Wastewater Reuse Working Group, Nov. 2007, <<http://www.emwis.net/topics>>
- MURL – MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES NRW (1999): Handbuch – Energie in Kläranlagen, Düsseldorf, September 1999
- NOWAK, J. (2005): Abwasserbehandlung in bepflanzten Bodenfiltern – Arbeitsblatt DWA-A 262 (Bemessung, Bau und Betrieb), 2005, DWA WasserWirtschafts-Kurs L/6 Abwasserentsorgung im ländlichen Raum, ISBN 3-939057002
- ORTH, H. (2005): Länderbericht USA, in: Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern, Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben 02WA0452, Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung, Teil II: Abwasserbehandlung und Wasserwiederverwendung, Hrsg.: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik, Bochum, ISBN 3981025504
- RUDOLPH, K.-U.; SCHÄFER, D. (2001): Untersuchungen zum internationalen Stand und der Entwicklung Alternativer Wassersysteme, Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF-Forschungsvorhaben 02WA0074, Oktober 2001
- RUHRVERBAND (1992): Seminar über Schönungssteiche am 19. November 1992 beim Ruhrverband in Essen
- SALA, L.; MUJERIEGO, R.; SERRA, M.; ASANO, T. (2002): Spain sets the example, Water 21, August 2002, S. 18–20
- SCHLEYPEN, P. (2005): Isar-Badegewässerqualität, Vortrag beim Wasserwirtschaftlichen Kolloquium an der Universität der Bundeswehr München
- SCHNEIDER, T. (2005): Länderbericht Jordanien, in: Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern, Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben 02WA0452, Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung, Teil II: Abwasserbehandlung und Wasserwiederverwendung, Hrsg.: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik, Bochum, ISBN 3981025504
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2006): Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, Kap. 12.4 in Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 2006, Statistisches Bundesamt Deutschland, ISBN 9783824607730
- STROHMEIER, A. (1998): Filtrationsanlagen, Kommunale Kläranlage, Technische Akademie Esslingen, ExpertVerlag, ISBN 3816914063, S. 246–266
- UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (2006): Water – A Shared Responsibility, The United Nations World Water Development Report 2, UNESCO Publishing, Paris/ Berghahn Books, New York, ISBN 9789231040061
- UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2007): Global Environment Outlook: Environment for Development (GEO-4), <www.unep.org/geo/geo4/>
- VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.A.L. (2006): Wastewater treatment in warm climates, Water 21, April 2006
- WEDI, D.; WILD, W.; RESCH, H. (2005): Betriebsergebnisse der MBR Monheim – Abwasserreinigung und Erhalt der Permeabilitäten mittels chlorfreier chemischer Reinigung, in: Membrantechnik in der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung – Perspektiven, Neuentwicklungen und Betriebserfahrungen im In- und Ausland, 6. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik, Aachen 2005, Beitrag A9, Hrsg.: T. Melin, J. Pinnekamp, M. Dohmann, ISBN 3861307758
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006): Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, World Health Organization, Geneva, 2006, Veröffentlichung in vier Bänden
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006a): Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume 2: Wastewater use in agriculture, World Health Organization, Geneva, 2006, ISBN 9241546832

附件：以水再利用为目标的污水处理工艺评估矩阵

机械处理

因素	机械处理				行号
	使用沉淀剂/絮凝剂	格栅	使用沉淀剂/絮凝剂	微筛筛网 10 µm	
健康风险	水处理设施的操作人员	25 中等	25 低 (仅在预处理阶段使用)	27 高 (使用化学品)	28 中等
	处理回用水的用户	25 低	25 低 (仅在预处理阶段使用)	27 低 (仅在预处理阶段使用)	28 低 (仅在预处理阶段使用)
经济效率	用地需求	25 低	25 低	27 低 (0.04-0.06 m ² /人)	6 低 (0.02-0.04 m ² /人)
	建筑成本	2 中等 (400-1000 €/m ² h)	2 中等 (400-1000 €/m ² h)	27 中等 (250-1000 €/PT 处理池 + 1-80 €/PT 沉淀)	3 中等 (250-1000 €/PT 处理池)
	机械工程	25 低	25 低	27 低	34 低
	电 (含测量、控制和自控技术)	25 低	25 低	27 低	34 低
	人员需求/成本	25 低	25 低	27 低	34 低
	能源需求/成本	27 中等 (0.0117-0.017 kWh/m ³)	27 中等 (0.009-0.013 kWh/m ³)	27 低 (<0.002 kWh/m ³)	5 低 (<0.001 kWh/m ³)
	废物处理	25 中等	25 中等	27 高	34 中等
	生产资料 (污泥和管)	25 高	25 低 (无生产资料)	27 低	34 低 (无生产资料)
	维护保护成本	25 低	25 低	27 低	34 低
	甲烷排放	25 无	25 无	27 低	34 低
	设施运行对环境的影响	13 高	29 高	29 低	29 低
操作人员的要求	气味/噪音	14 低	29 低	27 低	29 低
	微生物/气溶胶	15 低	29 低	27 低	29 低
	虫害 (蠕虫、蚊蝇等)	17 高	29 高	27 中等	29 中等
	可操作性/操作性禁用	18 中等	31 低	31 中等	31 低
	维护费用	19 中等	29 低	29 中等	29 低
	员工所需的培训	20 低/中等	25 低	27 中等	27 低
	技术水平	21 高	25 高	27 中等	27 高
	耐用性	22 高	25 中等	27 高	27 高
	工艺稳定性	23 中等	25 低	31 中等	31 低
	对回用水质进行影响的的能力	24 中等 (max 60%)	25 低 (max 25%)	27 中等/高 (COD 55-75%, BOD 45-80%)	6 中等 (25-35% COD; 30-35% BOD)
	设备技术	COD/BOD去除率	25 高 (max 95%)	25 高 (85%)	27 中等/高 (60-90%)
悬浮物去除率		26 低 (约 10%)	34 低 (约 10%)	27 低 (<30%)	6 低 (<30%)
富营养元素去除率		27 无影响 (0%)	25 无影响 (0%)	27 无影响 (0%)	34 无影响 (0%)
磷		28 高	25 低 (<10%)	27 高 (75-90%)	6 中等/低 (<35%)
硝基		29 低	34 低	27 无数据	1 低 (0-1 个对数级)
细菌		30 低	34 低	27 低 (1-2 个对数级)	1 低 (0-1 个对数级)
原生生物		31 低	34 低	27 低 (1-2 个对数级)	1 低 (0-1 个对数级)
肠道寄生虫		32 低	34 低	27 中等 (1-3 个对数级)	1 中等 (0-1 个对数级)
颜色/异味		33 没有影响	25 没有影响	27 低	30 低 (仅在长的沉淀时间条件下有通过)
剩余浊度		34 低	25 中等	27 低	34 中等
处理过程造成水中硬度升高		35 中等 (与地区相关 15-70 L/ (人·年))	25 没有影响	27 高 (730-2500 L/ (人·年) 不稳定的含氯或 40-110 L/ (人·年) 脱水污泥)	6 低 (370-730 L/ (人·年) 不稳定的含氯或 15-40 L/ (人·年) 脱水污泥)
残存量	36 低	27 中等 (与地区相关 15-60 L/ (人·年))	27 低	30 无影响	
根瘤	37 不适合	25 不适合	27 低	10 不适合	
滴灌	38 不适合	25 不适合	27 低	10 不适合	
灌溉/喷灌	39 适合 (需要杀菌剂)	25 不适合	27 低	10 适合 (需杀菌剂)	
漫灌	40 适合	25 低	27 低	10 适合	
农业灌溉	41 可行	29 低	27 低	29 可行	
非饮用用途 (例如: 冲厕水)	42 不推荐	25 不可行	27 低	29 不可行	
城镇用水 (绿化灌溉、消防用水)	43 不推荐	25 不可行	27 低	29 不可行	
林业灌溉	44 可行	25 可行	27 低	29 可行	

污水塘, 污水收集和和处理池

因素	行号	曝气/厌氧/带沉淀池		不曝气/厌氧/厌氧		氧化池		污水收集和和处理池		
		低	26.33	低	26.33	低	26.33	低	26.33	
健康风险	水处理设施的操作人员	1	低	26.33	低	26.33	低	26.33	低	
	处理回用水的用户	2	中等 (需要杀菌消毒)	26.33	中等 (需要杀菌消毒)	26.33	中等 (需要杀菌消毒)	26.33	中等 (长的停留时间)	
	用地需求	3	高 (0.25-0.5 m ² /人)	6	高 (1.2-3.0 m ² /人)	6	高 (3.0-5.0 m ² /人)	6	6	
	投资成本	4	低 (300-1000 €/PT)	26.33	低 (300-1000 €/PT)	26.33	中等	26.33	26.33	
	经济效率	机械工程	5	低	2	低	2	低	26.33	26.33
		电气测量、控制和自控技术	6	低	2	低	2	低	26.33	26.33
		人员需求/成本	7	低	4	低	4	低	34	26.33
		能源需求/成本	8	中等	33	低	33	低	33	26.33
		废物物处置	9	中等	26.33	中等	26.33	低	26.33	26.33
	设施运行对环境的影响	生产资料 (沉淀剂等)	10	低 (无生产资料)	26.33	低 (无生产资料)	26.33	低 (无生产资料)	26.33	26.33
		维护/运营成本	11	低	26.33	低	26.33	低	26.33	26.33
甲烷排放		12	中等 (甲烷在沉淀区通过厌氧分解过程生成)	26.33	高 (通过厌氧分解过程生成大量甲烷)	26.33	低 (厌氧分解过程生成大量甲烷)	26.33	高 (通过厌氧分解过程生成大量甲烷)	
异味/气体		13	低	26.33	高 (与操作有关)	26.33	低	26.33	低	
干燥/噪音		14	中等 (与曝气设备有关)	26.33	无	26	无	26	26	
悬浮微粒/气溶胶		15	中等 (与曝气设备有关)	26.33	低	26.33	低	26.33	低	
虫类 (蚊虫、蚊蝇等)		16	高 (蚊子)	26.33	高 (蚊子)	26.33	低	26.33	高 (蚊子)	
可操作性/操作费用		17	低	26.33	低	26.33	低	26.33	低	
对操作人员的要求		维护费用	18	低	26.33	低	26.33	低	26.33	26.33
		员工所需的培训	19	低	26.33	低	26.33	低	26.33	26.33
		技术水平	20	低	26.33	低	26.33	低	26.33	26.33
	耐用性	21	高	26.33	高	26.33	高	26.33	26.33	
	工艺稳定性	22	高	26.33	高	26.33	高	26.33	26.33	
设备技术	对出水水质进行受影响的能力	23	低	26.33	低	26.33	低	26.33	低	
	COD/BOD去除率	24	中等/高 (65-80% COD, 75-85%BOD)	6	中等/高 (65-80% COD, 75-85%BOD)	6	低(减少残留物运输/调节排放峰值)	26.33	低(减少残留物运输/调节排放峰值)	
	悬浮物去除率	25	高 (70-80%)	6	高 (70-80%)	6	低(减少残留物运输/调节排放峰值)	26.33	低(减少残留物运输/调节排放峰值)	
	氮/磷	26	低 (< 30%)	6	低 (< 30%)	6	低(减少残留物运输/调节排放峰值)	26.33	低(减少残留物运输/调节排放峰值)	
	营养元素去除	27	低 (< 30% 总氮)	6	中等 (< 60% 总氮)	6	低(减少残留物运输/调节排放峰值)	26.33	低(减少残留物运输/调节排放峰值)	
	除磷	28	中等/低 (< 35%)	6	中等/低 (< 35%)	6	低(减少残留物运输/调节排放峰值)	26.33	低(减少残留物运输/调节排放峰值)	
	病毒	29	低 (1-2个对数级, 与停留时间相关)	1	高 (1-4个对数级, 与停留时间相关)	1	高 (1-4个对数级, 与停留时间相关)	1	高 (1-4个对数级, 与停留时间相关)	
	细菌	30	低 (1-2个对数级, 与停留时间相关)	1	高 (1-6个对数级, 与停留时间相关)	1	高 (1-6个对数级, 与停留时间相关)	1	高 (1-6个对数级, 与停留时间相关)	
	原生生物	31	低 (0-1个对数级, 与停留时间相关)	1	高 (1-4个对数级, 与停留时间相关)	1	高 (1-4个对数级, 与停留时间相关)	1	高 (1-4个对数级, 与停留时间相关)	
	减少病原体	32	中等 (1-3个对数级, 与停留时间相关)	1	中等 (1-3个对数级, 与停留时间相关)	1	中等 (1-3个对数级, 与停留时间相关)	1	中等 (1-3个对数级, 与停留时间相关)	
	肠道寄生虫	33	中等 (颜色由藻类和细菌造成)	26.33	高 (颜色由藻类和细菌造成/恶臭由厌氧分解过程产生)	26.33	中等 (颜色由藻类和细菌造成)	26.33	中等 (颜色由藻类和细菌造成)	
灌溉技术	色度/异味	34	中等	26.33	中等	26.33	中等	26.33	26.33	
	剩余浊度	35	中等	26.33	中等	26.33	中等	26.33	26.33	
	处理过程造成水中盐度升高	36	中等 (通过蒸发有发生盐化的危险)	26.33	中等 (通过蒸发有发生盐化的危险)	26.33	中等 (通过蒸发有发生盐化的危险)	26.33	中等 (通过蒸发有发生盐化的危险)	
	残渣量	37	中等 (阶段性的污泥清理)	26.33	中等 (阶段性的污泥清理)	26.33	中等 (阶段性的污泥清理)	26.33	中等 (阶段性的污泥清理)	
	灌溉滴灌	38	适合 (需要过滤)	10	适合 (需要过滤)	10	适合 (需要过滤)	10	适合 (需要过滤)	
	灌溉喷灌	39	不太适合 (需要杀菌消毒)	10	适合 (需要过滤)	10	适合 (需要过滤)	10	适合 (需要过滤)	
	灌溉漫灌	40	适合	10	适合	10	适合	10	适合	
	农业灌溉	41	可行	26.33	可行	26.33	可行	26.33	可行	
	非饮用用途 (例如: 冲厕水)	42	不推荐	26.33	不推荐	26.33	不推荐	26.33	不推荐	
	城市用水 (绿化灌溉、消防用水)	43	不推荐	26.33	不推荐	26.33	不推荐	26.33	不推荐	
	林业灌溉	44	可行	26.33	可行	26.33	可行	26.33	可行	

UASB (升流式厌氧污泥床),活性污泥工艺,生物过滤,植物净化装置

因素	升流式厌氧污泥床		活性污泥法		富营养元素的去除		生物滤池		植物净化	
	行号	去除	去除	去除	去除	去除	去除	去除	去除	去除
健康风险	水处理设施的操作人员	1 低	28 低	28 高(使用化学品)	28 低	28 低	28 低	28 低	28 低	28 低
	处理回用水的用户	2 低(仅在预处理阶段使用)	28 低(仅在预处理阶段使用)	25 中等(需杀菌消毒)	28 中等(需杀菌消毒)	28 中等(需杀菌消毒)	28 中等(需杀菌消毒)	28 中等(需杀菌消毒)	28 中等(需杀菌消毒)	28 中等(需杀菌消毒)
	用地需求	3 低(0.03-0.1 m ² /人)	6 低(0.12-0.25 m ² /人)	6 低(0.12-0.25 m ² /人)	6 低(0.12-0.25 m ² /人)	6 低(0.12-0.25 m ² /人)	6 低(0.12-0.25 m ² /人)	6 低(0.12-0.25 m ² /人)	6 低(0.12-0.25 m ² /人)	6 低(0.12-0.25 m ² /人)
	投资成本	4 中等	26 中等(100-800 €/PT)	26 中等(100-800 €/PT)	26 中等(100-800 €/PT)	26 中等(100-800 €/PT)	26 中等(100-800 €/PT)	26 中等(100-800 €/PT)	26 中等(100-800 €/PT)	26 中等(100-800 €/PT)
	机械工程	5 中等	30 中等(40-90 €/PT)	30 中等(40-90 €/PT)	30 中等(40-90 €/PT)	30 中等(40-90 €/PT)	30 中等(40-90 €/PT)	30 中等(40-90 €/PT)	30 中等(40-90 €/PT)	30 中等(40-90 €/PT)
	电气测量、控制和自控技术	6 中等	30 高	30 高	30 高	30 高	30 高	30 高	30 高	30 高
	人员需求/成本	7 中等	30 中等(5-10 €/PT,年)	30 中等(5-10 €/PT,年)	30 中等(5-10 €/PT,年)	30 中等(5-10 €/PT,年)	30 中等(5-10 €/PT,年)	30 中等(5-10 €/PT,年)	30 中等(5-10 €/PT,年)	30 中等(5-10 €/PT,年)
	能源需求/成本	8 低	30 高(-0.110 kWh/m ³)	30 高(-0.110 kWh/m ³)	30 高(-0.110 kWh/m ³)	30 高(-0.110 kWh/m ³)	30 高(-0.110 kWh/m ³)	30 高(-0.110 kWh/m ³)	30 高(-0.110 kWh/m ³)	30 高(-0.110 kWh/m ³)
	废物物处理	9 低	30 中等(10-20 €/PT,年)	30 中等(10-20 €/PT,年)	30 中等(10-20 €/PT,年)	30 中等(10-20 €/PT,年)	30 中等(10-20 €/PT,年)	30 中等(10-20 €/PT,年)	30 中等(10-20 €/PT,年)	30 中等(10-20 €/PT,年)
	生产资料(污泥剂等)	10 低(无生产资料)	30 中等(1-2.5 €/PT,年)	30 中等(1-2.5 €/PT,年)	30 中等(1-2.5 €/PT,年)	30 中等(1-2.5 €/PT,年)	30 中等(1-2.5 €/PT,年)	30 中等(1-2.5 €/PT,年)	30 中等(1-2.5 €/PT,年)	30 中等(1-2.5 €/PT,年)
	维护保养成本	11 低	32 中等(2.51-5 €/PT,年)	32 中等(2.51-5 €/PT,年)	32 中等(2.51-5 €/PT,年)	32 中等(2.51-5 €/PT,年)	32 中等(2.51-5 €/PT,年)	32 中等(2.51-5 €/PT,年)	32 中等(2.51-5 €/PT,年)	32 中等(2.51-5 €/PT,年)
设施运行对环境的影响	甲烷排放	12 低	30 无	30 无	30 无	30 无	30 无	30 无	30 无	30 无
	异味气体	13 低	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等
	干扰音/噪音	14 低	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)
	悬浮颗粒/气溶胶	15 低	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)	30 中等高(和设备技术有关)
	昆虫(蠕虫、蚊蝇等)	16 低	30 低	30 低	30 低	30 低	30 低	30 低	30 低	30 低
	可操作性/操作费用	17 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等
	维护费用	18 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等
	员工所需的培训	19 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等
	耐用性	20 低	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高
	工艺稳定性	21 低	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高
	对出水水质进行响应的能力	22 低	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高	27 高
设备技术	COD/BOD去除率	23 中等	30 高	30 高	30 高	30 高	30 高	30 高	30 高	30 高
	悬浮物去除率	24 中等高(50至 85-90%)	6 高(80-90% COD,85-93% BOD)	6 高(80-90% COD,85-93% BOD)	6 高(80-90% COD,85-93% BOD)	6 高(80-90% COD,85-93% BOD)	6 高(80-90% COD,85-93% BOD)	6 高(80-90% COD,85-93% BOD)	6 高(80-90% COD,85-93% BOD)	6 高(80-90% COD,85-93% BOD)
	氨氮	25 中等高(65-80%)	6 高(87-93%)	6 高(87-93%)	6 高(87-93%)	6 高(87-93%)	6 高(87-93%)	6 高(87-93%)	6 高(87-93%)	6 高(87-93%)
	硝酸盐	26 中等(<50%)	6 低(约20%)	3 高(>80%)	3 高(>80%)	3 高(>80%)	3 高(>80%)	3 高(>80%)	3 高(>80%)	3 高(>80%)
	去除率	27 中等(<60% 总氮)	6 无影响(0%)	3 高(约80%)	3 高(约80%)	3 高(约80%)	3 高(约80%)	3 高(约80%)	3 高(约80%)	3 高(约80%)
	磷	28 中等低(<35%)	6 低(30%不用沉淀剂/高(约90% 使用沉淀剂)	3 低(30%不用沉淀剂/高(约90% 使用沉淀剂)	3 低(30%不用沉淀剂/高(约90% 使用沉淀剂)	3 低(30%不用沉淀剂/高(约90% 使用沉淀剂)	3 低(30%不用沉淀剂/高(约90% 使用沉淀剂)	3 低(30%不用沉淀剂/高(约90% 使用沉淀剂)	3 低(30%不用沉淀剂/高(约90% 使用沉淀剂)	3 低(30%不用沉淀剂/高(约90% 使用沉淀剂)
	出水水质(处理效率)	29 低(0-1个对数级)	1 低(0-2个对数级)	1 低(0-2个对数级)	1 低(0-2个对数级)	1 低(0-2个对数级)	1 低(0-2个对数级)	1 低(0-2个对数级)	1 低(0-2个对数级)	1 低(0-2个对数级)
	细菌	30 低(0.5-1.5个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)
	原生生物	31 低(0.5-1个对数级)	1 低(0-1个对数级)	1 低(0-1个对数级)	1 低(0-1个对数级)	1 低(0-1个对数级)	1 低(0-1个对数级)	1 低(0-1个对数级)	1 低(0-1个对数级)	1 低(0-1个对数级)
	肠道寄生虫	32 低(0.5-1个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)	1 低(1-2个对数级)
	色度/异味	33 高(恶臭物质通过厌氧分解产生)	30 低(正确操作)	30 低(正确操作)	30 低(正确操作)	30 低(正确操作)	30 低(正确操作)	30 低(正确操作)	30 低(正确操作)	30 低(正确操作)
剩余浊度	34 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	30 中等	
处理过程造成水中盐度升高	35 无影响	30 低	30 低	30 低	30 低	30 低	30 低	30 低	30 低	
经济性	投资量	36 低(70-220 L/(人,年)不稳定,含水率高或 10-35 L/(人,年)经脱水的污泥)	6 高(1100-3000 L/(人,年)不稳定,含水率高或 35-90 L/(人,年)经脱水的污泥)	6 高(1100-3000 L/(人,年)不稳定,含水率高或 35-90 L/(人,年)经脱水的污泥)	6 高(1100-3000 L/(人,年)不稳定,含水率高或 35-90 L/(人,年)经脱水的污泥)	6 高(1100-3000 L/(人,年)不稳定,含水率高或 35-90 L/(人,年)经脱水的污泥)	6 高(1100-3000 L/(人,年)不稳定,含水率高或 35-90 L/(人,年)经脱水的污泥)	6 高(1100-3000 L/(人,年)不稳定,含水率高或 35-90 L/(人,年)经脱水的污泥)	6 高(1100-3000 L/(人,年)不稳定,含水率高或 35-90 L/(人,年)经脱水的污泥)	6 高(1100-3000 L/(人,年)不稳定,含水率高或 35-90 L/(人,年)经脱水的污泥)
	灌溉	37 不相容(只是预处理)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)
	污水灌溉	38 不相容(只是预处理)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)
	灌溉	39 不相容(只是预处理)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)	10 适合(需要过滤)
	农业灌溉	40 不相容(只是预处理)	10 适合	10 适合	10 适合	10 适合	10 适合	10 适合	10 适合	10 适合
	非饮用用途(例如:冲厕水)	41 不相容	30 推荐	29 推荐	29 推荐	29 推荐	29 推荐	29 推荐	29 推荐	29 推荐
	林业灌溉	42 不可行	30 不相容	29 不相容	29 不相容	29 不相容	29 不相容	29 不相容	29 不相容	29 不相容
	城市用水(绿化灌溉、消防用水)	43 不可行	30 不可行	29 不可行	29 不可行	29 不可行	29 不可行	29 不可行	29 不可行	29 不可行
	工业灌溉	44 可行	30 可行	29 可行	29 可行	29 可行	29 可行	29 可行	29 可行	29 可行

杀菌消毒

因素	杀菌消毒												
	行号	超滤膜UF	紫外线消毒 UV	臭氧	土壤过滤	深度处理塘	氯消毒						
健康风险	水处理设施的操作人员	1	高 (使用化学品)	26	低	28	低	28	低 (使用化学品)	28	高 (使用化学品)	28	
	处理回用水的用户	2	低	28	低	28	低	28	中等 (需后续消毒)	26	低 (只在氯过量的时候)	26	
	投资成本	用地需求	3	低	30	低	30	高	30	高	30	低	30
		建筑结构设计	4	高	16	低 (0.526m³)	17	高	18, 19, 20, 21	低	22, 23	低	34
		机械工程	5	高	26	高	26	低	18, 19, 20, 21	低	22, 23	中等 (安全技术)	34
		电气/测量、控制 and 自控技术	6	高	26	高	26	低	18, 19, 20, 21	低	22, 23	低	34
		维护需求/成本	7	低	7	中等 (0.05-0.26m³)	7	低	18, 19, 20, 21	低	22, 23	低	34
经济效率	能源需求/成本	8	高 (0.2-0.86m³)	7	低 (0.03-0.056m³)	7	低	18, 19, 20, 21	低	22, 23	低 (0.04-0.066m³)	7	
	运营成本	9	低	26	无	26	无	26	有限的 (剩余成分和污泥的厌氧分解过程可能产生甲烷)	30	无	26	
	生产原料 (沉淀剂等)	10	低	30	低	30	低	30	低	30	低	30	
	维护保存成本	11	低	30	低	30	低	30	低	30	低	30	
设施运行对外界的影响	甲烷排放	12	无	26	无	26	无	26	无	30	低	30	
	异味/气体	13	低	30	低	30	低	30	低	30	低	30	
	干燥/噪音	14	低	30	无	26	低	26	无	26	无	26	
	悬浮颗粒/气溶胶	15	无	30	无	30	无	30	低	30	无	30	
	虫害 (昆虫、蚊蝇等)	16	无	30	无	30	无	30	中等	30	无	30	
	可操作性和操作费用	17	高	30	低	30	高	30	低	30	高	30	
	维护费用	18	高	30	中等	26	高	30	低	30	高	30	
	员工所需的培训	19	高 (员工需培训)	26	高 (员工需培训)	26	高 (员工需培训)	30	低	30	高	30	
	技术水平	20	高	27	中等	27	中等	27	低	27	低	27	
	耐用性	21	中等	27	高	27	高	27	低/中等	27	中等	26	
	工艺稳定性	22	高	27	高	27	高	27	中等/高	27	高	26	
对出水水质进行影响的潜力	COD/BOD去除率	23	高	30	高	30	低	30	低	30	高	30	
	不相关 (只是后续处理)	24	不相关 (只是后续处理)	30	无影响	30	不相关 (只是后续处理)	30	高 (约85%)	18, 19, 20, 21	低 (减少剩余成份/调节pH值)	26	
	悬浮物去除率	25	低	26	无影响	34	不相关 (只是后续处理)	30	高 (约90%)	18, 19, 20, 21	低 (同上)	34	
	氨氮	26	不相关 (只是后续处理)	26	无影响	34	不相关 (只是后续处理)	30	高 (约80%)	18, 19, 20, 21	低 (同上)	26	
	硝酸盐	27	不相关 (只是后续处理)	26	无影响	34	不相关 (只是后续处理)	30	低 (无阻截10%) / 高 (有阻截 70%)	18, 19, 20, 21	低 (同上)	26	
	富营养元素去除率	28	不相关 (只是后续处理)	26	无影响	34	不相关 (只是后续处理)	30	中等 (无阻截30%) / 高 (约80%有阻截) 随运行时间延长效率降低	18, 19, 20, 21	低 (同上)	26	
	病原体	29	高 (2.5-6个对数级)	1	中等 (1-3个对数级)	1	高 (3-6个对数级)	1	中等/低 (1.5-2.5个对数级)	18, 19, 20, 21	高 (1-4个对数级)	1	
	出水水质 (处理效率)	30	高 (3.5-6个对数级)	1	高 (2-4个对数级)	1	高 (2-6个对数级)	1	中等/低 (1.5-2.5个对数级)	18, 19, 20, 21	高 (1-4个对数级)	1	
	减少病原体	31	高 (>6个对数级)	1	高 (>3个对数级)	1	低 (1-2个对数级)	1	中等/低 (1.5-2.5个对数级)	18, 19, 20, 21	高 (1-4个对数级)	1	
	肠道寄生虫	32	高 (>3个对数级)	1	无影响	1	低 (0-2个对数级)	1	中等	26	低 (0-1个对数级)	1	
	色度/异味	33	没有影响	30	低 (可以脱色)	30	低 (可以脱色/除味)	30	中等 (在厌氧条件下可能产生恶臭)	30	中等 (余氯降低水的口感和气味)	30	
设备技术	剩余浊度	34	低	34	没有影响	34	没有影响	34	低	18, 19, 20, 21	中等	34	
	处理过程造成水中盐度升高	35	没有影响	30	没有影响	30	没有影响	30	没有影响	30	低	26	
	残渣量	36	低 (浓缩物需处置)	30	无	30	无	30	低	26	低 (阶段性的污泥处置空面)	30	
	根瘤	37	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	10	
	灌溉	38	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	10	
	漂水/喷淋	39	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	10	
	浇灌	40	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	可行	10	
	农业灌溉	41	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	30	
	非饮用用途 (例如: 冲厕水)	42	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	30	
	灌溉用水 (绿化灌溉、消防用水)	43	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	30	
	林业灌溉	44	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	推荐	30	

图例说明

编号	数据来源
1	WHO, 2006a
2	Günthert 和 Reicherter, 2001
3	ATV-DVWK, 2000
4	DWA巴伐利亚州农业分会, 2005
5	MURL, 1999
6	来自Sperling 和Chernicharo, 2006
7	ATV, 1998
8	Grünebaum 和 Weyand, 1995
9	Lenz, 2004
10	Alcalde 等 2004
11	Strohmeier, 1998
12	Wedi, 2005
13	Engelhardt, 2006
14	Günder, 2001
15	Frechen, 2006
16	Schleypen, 2005
17	Cornel, 2006
18	Laber, 2001
19	Novak, 2005
20	DWA, 2006
21	Lützner, 2002
22	IRC, 2004
23	Ruhrverband, 1992
24	Barjenbruch 和 Al Jiroudi, 2005
25	全体工作组
26	Tim Fuhrmann (个人的见解)
27	Hans Huber (个人的见解)
28	Volker Karl (个人的见解)
29	Roland Knitschky (个人的见解)
30	Alessandro Meda 和 Peter Cornel (个人的见解)
31	Hermann Orth (个人的见解)
32	Holger Scheer (个人的见解)
33	Florian Schmidlein (个人的见解)
34	Christina Schwarz (个人的见解)

附件 A 缩写词释义 (未包括于德文版本内)

翻译说明事项:

本篇大部分的专业术语未做改动,因为他们已经是国际通晓的概念,所用到缩写词是对各德语参数的英文翻译,为简单清楚起见,它们尽可能地与德文符号术语匹配,如无法实现,则将德文原词放在英文译词后的方括号内。这不是为英语区的工程界创造新符号定义,而是为了那些不懂德语的读者更好地能理解德文符号和术语。

缩写词			定义
英文	德文	中文	
BOD	[BSB]	生化需氧量	<u>B</u> iochemical <u>O</u> xygen <u>D</u> emand
COD	[CSB]	化学需氧量	<u>C</u> hemical <u>O</u> xygen <u>D</u> emand
DS	[TS]	干固体含量	<u>D</u> ry <u>s</u> olids
E+MCR	[E+MSR]	电气+测量、控制与自控技术	<u>E</u> lectro-, <u>M</u> easurement-, <u>C</u> ontrol- and <u>R</u> egulation technology
N _{tot}	[N _{ges}]	总氮	<u>t</u> otal <u>N</u> itrogen
SS	[AFS]	悬浮物	<u>S</u> suspended <u>S</u> olids
PT	[EW]	总居民数和人口当量	Total number of inhabitants and population equivalents