

Eawag

新闻



混合还是非混合？近看尿源头分离

第 8 页 一个好主意，但肯定没有采纳者！

第 17 页 来自图书馆的肥料

第 23 页 非混合能有助于防止药物所致的环境问题吗？



Willi Gujer, Eawag 理事会成员, 苏黎世理工学院 (ETH) 城市水管理教授

非混合, 一种需认真采取的选择

我第一次是在一个偏僻的小讲座室内介绍关于分开排放和处理尿的奇妙想法的。那是在 1996 年国际水质协会 (IAWQ, 现为 IWA) 召开的大型会议上。只有少数代表找到了那个讲座室, 很多同事甚至感到有义务参加我的演讲。如今, 在同一大会的主要会议上向最大限度的听众介绍非混合技术, 而且这方面的出版物数目呈指数式增长。

在我们寻找节省成本的水污染控制方法 (建立在可持续性想法之上) 的过程中, 我们最初关注回收利用尿中营养物尤其是磷的想法。与此同时, 其他问题变得突出起来; 对于媒体来说, 尿中的微污染物 (即激素和药物残留) 的归宿和重要性比营养物具有更大的吸引力, 因为消除营养物的可靠技术已经存在多年。

除了技术和科学问题之外, 非混合技术项目还对作为工程师的我提出新的吸引人的问题: 家庭参与及与使用者的直接接触是不寻常的。我们还必须学会与卫生设备制造企业打交道, 在这些事务中, 我们仍然只是部分成功。政治决策突然发挥了比在常规废水处理厂项目制定中更为不同和更为重要的作用。在所有这些新的任务中, 我们日益依赖于同经济学家和社会科学家的协作——一种并非这一项目独有的趋势。

Novaquatis 工作组曾勇敢地穿越广阔的前线, 投身于这样一个项目: 最初在其范围内被认为是有趣的, 但总体上往往因为多少有点怪异而被免于考虑。目前, 这已成为一个国际领先项目, 吸引了全世界的兴趣, 并提供了全球性答案。这样一个大规模的长期 (交叉) 项目成为可

能, 是 Eawag 的实力之一。如果 Eawag 纯粹是一个大学研究所, 那么更大的权重可能必须赋予短期成功。

与所有参与 Novaquatis 的人一起, 我高兴地看到这一个项目获得了一个成功的和富有成果的结局。我希望实践者们现在也变得足够勇敢起来, 以实施我们的研究成果。如果最初这一方法的受益者不是原先预想的工业化国家, 而是快速工业化国家, 那么就更加达到了我们的初衷。

封面照片: 安装在 Eawag Forum Chriesbach 大楼内和位于利斯塔尔巴塞尔兰州图书馆内的非混合抽水马桶 (Roediger 型)。只有当使用者坐上这一马桶时排尿口才会打开。当使用者站着冲水时, 这一排尿口是关闭的, 所以尿在未稀释的情况下排入池。© Ruedi Keller, 苏黎世

目 录

主要文章

4 聚焦非混合



尿源头分离和随后特殊处理方法的使用,能使废水管理变得更可持续吗?这一问题在交叉性的 Novaquatis 项目中得到了研究,6年后该项目现已完成。

了研究,6年后该项目现已完成。

研究报告

8 一个好主意,但肯定没有采纳者!

公众对非混合抽水马桶和尿基肥料的态度如何呢?

11 非混合起始于盥洗室



能够在不易堵塞的情况下收集高度浓缩的尿的非混合装置的研制,是对卫生设备制造业的一项挑战。Novaquatis 提供了良好的科学基础。

14 尿处理——绝对灵活

多种方法适合用于尿处理,所以能够改良这种不寻常的资源,以满足一些特殊需求。

17 来自图书馆的肥料

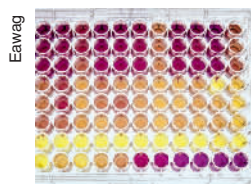


用尿生产肥料是一种创造性事业。正在瑞士的利斯塔尔州立图书馆首次采用这种工艺,该图书馆专门安装了非混合式抽水马桶。

20 尿处理:从实验室到实践

电渗析和臭氧化被用来回收浓缩型尿中的营养物质,用作一种无害化肥料。试验装置已平稳运行了一年多。

23 非混合能有助于防止药物所致的环境问题吗?



当处理尿时,必须确保不将药物和激素残留释放入环境。在 Novaquatis 项目中,研制了一种特殊的试验方法。

26 应用传统的中国知识

拥有数百万人口的中国昆明市决定解决其废水问题。非混合技术可以做出重要贡献。

结 论

29 尿回收利用:最初的实践经验 通过非混合来净化海洋 现在轮到实践者了

其 他

- 30 Novaquatis 出版物
- 33 出版物
- 35 Eawag 新所长的信
- 36 简讯

eawag

水生研究 ○○○

出版:瑞士联邦水生科学与技术研究所
Eawag, P.O. Box 611, 8600 Dübendorf, Switzerland
电话: +41(0)44 823 5511
传真: +41(0)44 823 5375
网址: <http://www.eawag.ch>

编辑: Martina Bauchrowitz, Eawag
出版情况: 每年 2-3 期,以英、德、法 3 种文字出版

中文版翻译出版: UNEP-Infoterra 中国国家联络点
北京市 2871 信箱 邮编: 100085
电话: (010) 62920727 62849120
传真: (010) 62923563
电子邮件: nfpkszh@rcees.ac.cn
网址: <http://www.rcees.ac.cn>
ISSN 1440-5289

聚焦非混合



Tove A. Larsen, 化学工程师



Judit Lienert, 生物学家,
Eawag Novaquatis 交叉项目
联合负责人

Eawag 的学科间和跨学科项目——Novaquatis, 研究了作为现代废水管理的一项选择——尿源头分离与处理。结果表明,这种所谓的非混合技术是一种高度通用的创新,可以在多种情形下提供好处。它尤其能帮助解决与营养物相关的全球性问题。

在源头收集尿和单独对其加以处理,能使废水管理变得可持续吗? Eawag 对这一问题的兴趣可以追溯到 20 世纪 90 年代中期^[1]。基本考虑是,虽然尿仅占有所有废水的不到 1%,但它对大部营养物起作用。如果将尿与其他废水分开排放和处理,就能比当今瑞士通常情况下更有效地消除营养物。这可以允许建造较小的废水处理厂,旨在使废水中溶解的颗粒状有机物的降解和持留最佳化。另外,营养物可以回收用于农业。这一点对于磷来说尤为重要,因为易得的高质量的磷矿将会在中期内被耗尽。为了研究非混合技术的可行性,Eawag 启动了 Novaquatis 这一交叉项目。这一学科间和跨学科规划的执行期从 2000 年到 2006 年。

这一项目的活动被分为 9 个工作单元(图 1)。就多数部分来说,Novaquatis 项目的结果是非常好的,不只是证明论及非混合这一主题的决策的正当性。我们现在已更详细地了解了非混合系统的优缺点。

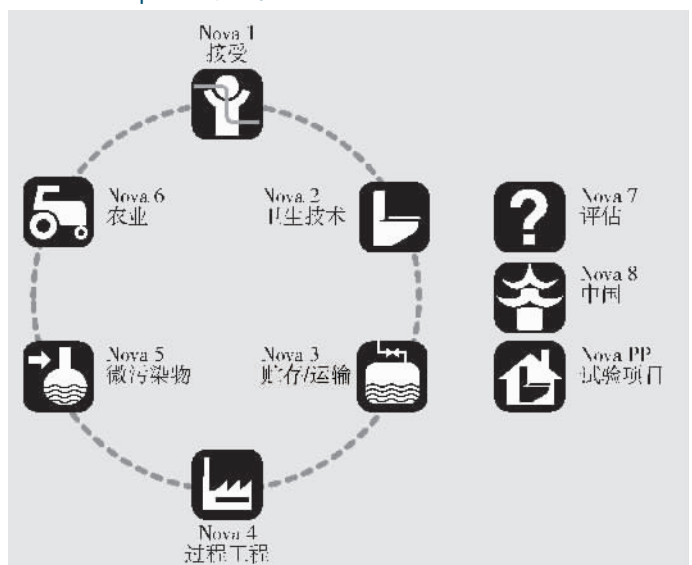
Nova 1: 接受 由于非混合技术侵入私家,所以它需要获得大众接受和同意。因此,我们在 Nova 1 工作单元中检查使用者的态度问题。主要发现是多数应答者基本上赞成非混合技术,但从长远观点看,不希望损害室内设备。详情参见第 8 页 Judit Lienert 的文章。

Nova 2: 卫生技术 制造非混合抽水马桶是卫生设备企业的一项任务。当今的设备(仅少量生产)尚未完全成熟。一个主要问题是,管道因矿物质沉淀而堵塞。所以在 Novaquatis 项目中,我们建立了与卫生设备制造企业的

密切对话,反馈我们关于沉降发生、程度和避免的研究结果(见第 11 页 Kai Udert 的文章)。这一点变得很清楚:只有在总战略和明显的市场出现的情况下,卫生设备制造企业才会充分有义务去改进非混合抽水马桶。欧洲一个可能的初步市场的最先迹象在荷兰已明显可见,那里正在计划或已经启动了大约 20 个试验项目。这些是荷兰对营养物排放严格限制的直接结果^[2]。

Nova 3: 贮存与运输 如何从家庭将尿运去集中处理,这一点已证明是非混合技术的关键问题。虽然这一点并不令人吃惊,但在 Nova 2 中与卫生设备制造公司的交

图 1 Novaquatis 的 9 个工作单元



流尤其增强了这种感受。尽管 Novaquatis 研制了各种通过现有下水道系统输送尿的战略^[1,3],但它们没有为卫生设备制造企业参与提供足够的动力。这是因为这些输送概念只能在小流域区和某些情况下采用。

替代方法——用罐车运输或为尿流铺设单独的管道——似乎没有吸引力,主要是在预计费用方面。不过,分散化尿处理如在同一地方的确是一种有吸引力的选择。Nova 4 的结果证明了这一方案是有希望的。

Nova 4: 过程工程 不管营养物被消除还是被回收作为肥料,我们都认为,在城市环境中,尿总是必须经过处理的。第一,运输和贮存可能会难以管理,第二,肥料在很多国家受到严格规定的支配。Nova 4 中进行的研究表明,众多处理方法是可行的,而且在多数情况下,它们也是节省能源的。这种多样化使得尿源头分离极为通用,根据这种方案,可以实现广泛的目标。第 14 页 Max Maurer 的文章对可能的方法(其中很多是在 Eawag 实验室中研制的)进行了综述。第 20 页 Wouter Pronk 的文章描述了用于尿基肥料生产的各种方法的特殊组合。一个涉及巴塞尔兰州一家废水处理厂的试验项目现正在对此进行试验。

Nova 5: 微污染物 除了营养物之外,人类新陈代谢产生的一些溶解有机化合物也通过肾脏排泄。在 Novaquatis 中,我们集中于这类物质中的 2 个重要分类——激素和药物。人们在水中正在越来越多地检测到这些化合物,有证据表明,它们对水生生物是有害的。所以直接从尿中去除这些成问题的微污染物是有意义的,要么为了改善水污染控制,要么为了避免通过尿基肥料对农业输入。

为此,Eawag 试验了各种分离微污染物的方法,例如纳滤和电渗析(见第 20 页 Wouter Pronk 的文章)。另外,在 Nova 5 中,研制了用于各种化学检测的方法和用于污染物混合物生态毒理影响的评价方法。这使得能够监测尿处理整个过程中微污染物的归宿。第 23 页 Beate Escher 和 Judit Lienert 的文章对此进行了详细描述。

Nova 6: 农业 农业在营养物循环方法方面发挥了重要作用。虽然我们无法确保对这一工作单元的资助,但通过与外部科学伙伴的协作获得了重要结果。对瑞士农民态度的一项初步调查表明,他们愿意使用尿基肥料产品。不过,必须排除与卫生有关的危害或微污染物,而且



在 Forum Chriesbach, 尿也是从男性和女性使用者那里分别收集的, Eawag 新的总部大楼全部安装了非混合抽水马桶

这种肥料必须价格便宜(见第 8 页 Judit Lienert 的文章)。另外,Fiick 有机农业研究所(FiBL)与波恩大学,对来自 Nova 4 的尿基产品进行肥料试验。试验证明尿基肥料的有效性可与常规化肥相媲美。这些研究的进一步详情——以及关于这方面的信息:如果一种尿基产品要在瑞士获准成为一种肥料,它必须达到的要求——可参见第 17 页 Markus Boller 的文章。

Nova 7: 评估 即使在 Novaquatis 项目结束之后,也不可能对非混合技术进行最终评估。不过这一点变得很清楚:从全球角度来看,营养物清除正在变得越来越重要,尤其是鉴于人口增长和城市化趋势^[4]。与此同时,管道末端措施(下水道与污水处理厂)的局限性在人口稠密地区已很明显(参见第 26 页 Tove Larsen 文章中的昆明实例)。非混合技术可以提供一种用于减少未来营养物排放的节省能源的方法。如果需要的话,也可以将营养物回收用于农业和工业——一种尤其与磷相关的方法。鉴于全球淡水短缺,非混合技术还可以在废水处理直接再用的地区如南非具有优势。这时,将尿与废水分开可能会使处理变得容易得多,而且可以改善净化水的质量。

另一个重要的方面是资金:根据这样一种设想:采用非混合战略的废水处理费用将保持在当今常规系统的相同水平,瑞士每户家庭约 1250~2100 瑞士法郎的投资大概是可行的(包括非混合抽水马桶和尿运输与处理^[6])。这种非混合技术还可以在营养物去除方面提供比现有系统好得多的性能。不过,如果要实施非混合技术的话,最初可能会需要额外的投资。只有当新的废水处理厂建造



在快速发展的城市地区,废水处理系统常常被过度扩展。这种情况在靠近湖泊或沿海水域的城市中可能是尤为不安全的。在这类情况下,非混合技术具有很大的好处。这一点已得到涉及中国昆明市(左)的 Novaquatis 试验项目的证实,昆明市拥有数百万人口,它位于严重富营养化的滇池边上(见第 26 页文章)^[7]

时,才会出现节省——因为随着非混合战略的就位,这些废水处理厂的规模会较小,因此建造费以及长期运行费会较低。这意味着从如今的系统向非混合技术的组织完好的过渡是很重要的。

Nova 8: 中国 过去,在中国乡村地区,尿源头分离的做法很普遍。考虑到中国所面临的很多环境问题,似乎有理由也在城市地区开发非混合技术所提供的机会。在第 26 页的文章中我们报道了苏黎世的中国姐妹城市昆明的经验。即便当地的废水处理厂采用现有最佳的常规技术,也不可能保护附近的滇池免受过量磷输入的影响。相比之下,源头控制措施如尿分离的潜力是巨大的。为此,非混合概念也得到很多中国专家的支持。因此可以想象,在中国广泛采用尿分离抽水马桶可以决定性地推动非混合技术。

Nova PP: 试验项目 如果我们没有在试验项目中研究现实生活条件下的尿源头分离,我们的研究离成功

可能就差得很远(见第 17 页 Markus Boller 的文章)。巴塞尔兰州的大型项目尤为重要。与欧洲其他国家如瑞典、德国、奥地利或荷兰的试验项目的比较,凸显了这一领域的发展速度:实践者们越来越将非混合技术看作是常规营养物去除的现实替代方法。

非混合的好处:减少营养物排放,回收利用营养物以及去除微污染物 Novaquatis 项目的结果明显呈现的是一种吸引人的技术的景象,不过,在它实际得以实施之前,仍须克服众多障碍。环境效益是明显的:通过非混合系统,可以实现高标准的营养物减排,废水处理可以沿着营养物回收利用和微污染物消除的方向进一步得到发展。如果必要的资源得到保证,那么在欧洲通过常规战略也确实能实现所有这些目标。但对营养物的限制越严格,废水处理就花钱就越多——直到达到这样一个点:因为费用的原因而放弃恢复水体的努力。瑞士的格赖芬湖就是这样一个例子。

因此,对非混合技术的挑战是,提供一种取代或补充

非混合:是一种可输出的技术吗?

联合国环境规划署(UNEP)在2004年公布的一份报告中警告说,很多地区的沿海渔业受到大量营养物输入尤其是氮大量输入的威胁^[8]。

Novaquatis 通过将其焦点集中在尿源头分离来解决这一营养物问题:尿占家庭废水中磷的50%和氮的80%。从全球观点看,常规的废水处理厂并不是快速、有效解决营养物超负荷问题的现实选择——不过,通过尿源头分离,可以实现这一目标。

在欧洲,正在增加对除氮的要求,未来排放限制可能会更严。在荷兰,水污染控制当局目前正在调查尿源头分离是否能以低于常规废水处理技术的费用遵守限制规定^[2]。

在 Novaquatis 项目中,我们主要关注瑞士的情况,因为我们拥有这一国家的经验,而且希望评估现代城市的尿源头分离。与此同时,国际级这一问题的紧迫性已变得更为明显。所以在 Novaquatis 后续项目中,我们将更着重于全球这一方面。在我们迄今研究结果的基础上这样做似乎是合理的,即在那些非混合技术预期能在短期内产生明显改善的地区,如在快速发展的沿海城市,先采取这方面的行动。

污水处理厂传统营养物去除工艺所发挥的作用的花费不多的解决办法。与此同时,这样一种解决办法应对尿源头分离、营养物回收利用和微污染物的有效去除的其他方法保持开放。

非混合技术的未来:分散化解决办法的制定 Novaquatis 项目的结果明显表明了下一步需要采取的步骤:要么必须寻找到合适的尿运输方法,要么必须在靠近尿源头的地方对尿进行处理——理想的是在一个住宅单元区或甚至单一家庭住宅。确定合适的运输方法是一项困难的工作,它不属于 Eawag 传统研究活动范畴。相反,Eawag 很适合于分散化处理方法研制这一工作。这些解决办法可能涉及低成本和低维护费的技术工艺和设备。

与此同时,可能还需要组织层面上的解决办法:如何确保正确使用和维护这类设备以及如何及早报告和排除故障?

如果想以低费用实施这种非混合技术,那么将需要有大的市场,这样才可以允许大量生产相关设备。在 Novaquatis 项目范围内,我们已得出结论:非混合技术的采用在很多地区可能都是适宜的,尤其是在人口快速增长的地区,如沿海地区。所以我们对确定最初合适的市场有信心。

无论从技术角度还是社会经济学角度来看,制定分散化解决办法所涉及的科学挑战是巨大的。不过,我们相信,Eawag 的学科间环境可以促进这一种研发,我们现正在详细考虑未来是否要接受这项挑战。 ○○○

- [1] Larsen T.A., Gujer W. (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Science and Technology* 34 (3-4), 87-94.
- [2] www.stowa.nl
- [3] Rauch W., Brockmann D., Peters I., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production. *Water Research* 37, 681-689.
- [4] Larsen T.A., Maurer M., Udert K.M., Lienert J. (submitted): Nutrient cycles and resource management: Implications for choice of wastewater treatment technology. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at the IWA conference on Advanced Sanitation in Aachen, 12-13th March, 2007.
- [5] Wilsenach J.A., van Loosdrecht M.C.M. (2006): Integration of processes to treat wastewater and source-separated urine. *Journal of Environmental Engineering* 132, 331-341.
- [6] Maurer M., Rothenberger D., Larsen T.A. (2005): Decentralised wastewater treatment technologies from a national perspective: At what cost are they competitive? *Water Science and Technology, Water Supply* 5 (6), 145-154.
- [7] Image Science and Analysis Laboratory, NASA-Johnson Space Center, 26 Aug. 2005, <http://earth.jsc.nasa.gov/sseop/efs/>
- [8] Pelley J. (2004): "Dead zones" on the rise. *Online Science News* May 5, *Environmental Science & Technology*.



Judit Lienert, 生物学家,
Novaquatis 项目经理

一个好主意， 但肯定没有采纳者！

这个说法正确吗？不，错了！根据我们在涉及公共建筑物和私家的试验项目中的用户以及农民态度调查，很多人赞同非混合抽水马桶和尿基肥料。不过，非混合抽水马桶有不少弱点，在推荐大规模采用之前，卫生设备制造企业需要弥补这些不足。

新发明“非混合技术”不是在废水处理厂进行检验的，而在在私人盥洗室中检验的。为此，人们对尿分离的初步反应常常是：“它是一个好主意，但没有人会想要一个非混合抽水马桶！”当解释说尿被回收来生产肥料时，他们可能会反对：“农民们反对这一主意，没有人会买这些蔬菜。”我们的目的是，准确地发现公众对非混合抽水马桶和尿基肥料的想法。

非混合抽水马桶在公共建筑物中被接受吗？在瑞士，非混合抽水马桶已被安装在几座公共建筑物中。所以我们对一所职业学院和 Eawag 的 1249 位这类设施使用者进行了一项调查。这两个地方的接受程度都非常高：72% 的使用者喜欢尿源头分离这一主意；86% 的使用者要搬进安装非混合抽水马桶的公寓^[1]。对于绝大多数应答者来说，非混合系统在设计、卫生和气味方面与常规抽

水马桶相当(图 1)。在多数情况下，行为适应非混合抽水马桶的需要：72% 的使用者坐着撒尿，58% 的使用者在一个单独的容器中处置卫生纸。这致使每 100 次使用节省 84 L 水(如参考文献[1]中计算的那样)。

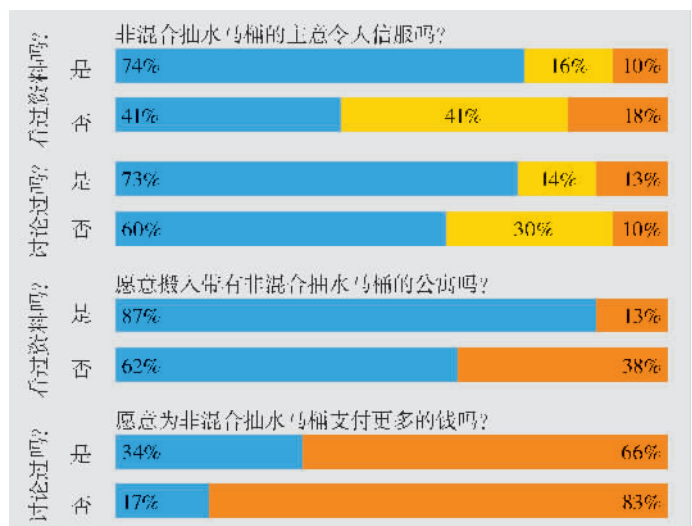
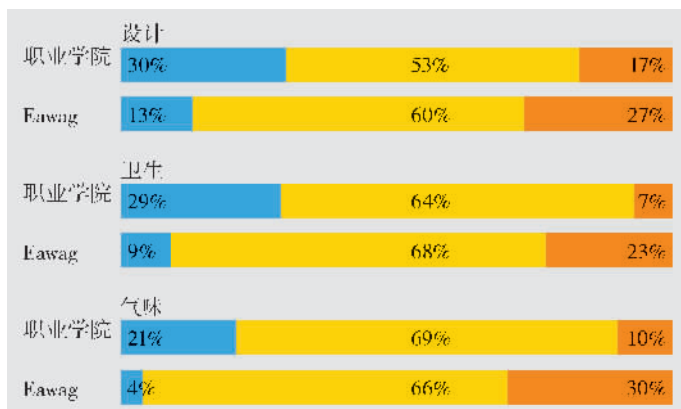
不过，在使用者之间观察到明显的不同。例如，32% 和 50% 的 Eawag 员工分别认为，非混合抽水马桶的卫生和气味差于常规抽水马桶，而只有 17% 的 Eawag 参观者持这一观点。我们猜想 Eawag 员工可能是受到不愉快的记忆的影响：他们回想起盥洗室中与涉及尿池的技术装置和无水小便池维护有关的令人讨厌的气味。

如果要促进接受性和行为适应性，那么清洁的抽水马桶就是一个必不可少的要求。不过，还要指出的是，良

图 2 非混合抽水马桶的接受性与使用者对非混合技术的了解程度之间的相关性^[1]一所职业学院和 Eawag 的 480 位应答者被问及是否看过我们的资料和是否与其他人讨论过非混合抽水马桶
蓝色：是；黄色：不知道；橙色：否

图 1 一所职业学院 534 位使用者和 Eawag 715 位使用者对非混合抽水马桶设计、卫生和气味的评价^[1]

蓝色：非混合抽水马桶好于常规抽水马桶；黄色：两者相同；橙色：非混合抽水马桶差





“你对非混合抽水马桶满意吗？”对 Eawag 员工的一项调查

好的交流以及与其他人的讨论会影响接受、行为和感觉 (图 2)。

这些发现得到我们在位于利斯塔尔的巴塞尔兰州图书馆进行的一项代表性调查的证实，该调查涉及 501 位使用者(该研究结果尚未公布)。该大楼专门安装了非混合抽水马桶。

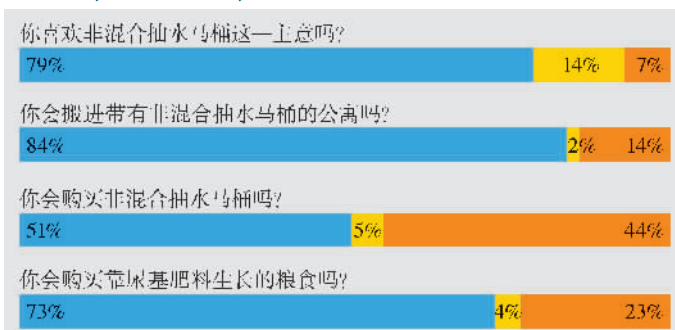
瑞士人会在家中使用非混合抽水马桶吗？一项涉及 44 位志愿者的公民焦点小组研究提供的初步证据表明,在某些情况下,私家也会接受非混合抽水马桶的(图 3)^[2]。通过使用一种计算机互动工具^[3]以及参观 Eawag 的非混合抽水马桶,这些参与者第一次熟悉了尿源头分离这一主意。讨论的一个要点是,尿中盐的沉积导致排水管道堵塞所引起的维护需求的增加(见第 11 页 Kai Uder 的文章)^[4]。这一问题可能会吓住多数人。

研究采取了一个进一步的步骤:在 4 个私家公寓安装非混合抽水马桶。居民的反应差异很大:虽然一些人持怀疑态度,但其他人在环境基础上赞同非混合抽水马桶,而且认为其使用没有问题。几位居民指出需要增加清洁努力。提出的其他反对意见是,一些男人不愿坐下小便或坐的位置不舒服。尤其是儿童发觉难以对准,从而导致更大的清洁需求(公共建筑物中也是这种情况)。这些发现可能需要得到范围更广的研究的补充,但这在瑞士是不可能的,因为缺乏涉及私家的大型实施项目。

其他国家的情形如何呢?在整个欧洲,已在私家实施许多非混合抽水马桶试验项目——一些项目的规模较大。在瑞典,自 1990 年以来,已安装了 135 000 多个尿分离抽水马桶——多数是用于边远假日住家的很简单的系统^[5];数千个非混合抽水马桶也已安装在生态村和城市试验项目区。荷兰、奥地利和德国正在实施越来越多的试验项目。尿源头分离对于快速工业化国家如中国也是一种吸引人的选择(见第 26 页 Tove Larsen 的文章)。

2003 年,奥地利林茨市的 88 座公寓大楼和一所学校安装了非混合抽水马桶^[6]。大约 50%的居民认为这些抽水马桶的使用舒适度不如常规抽水马桶。不管怎么说,69%的男人经常或完全坐着使用这些抽水马桶。大约 65%的居民报告了额外的清洁努力,这也与我们自己的

图 3 44 个焦点小组参与者对非混合抽水马桶的看法^[2]
蓝色:是;黄色:不知道;橙色:否



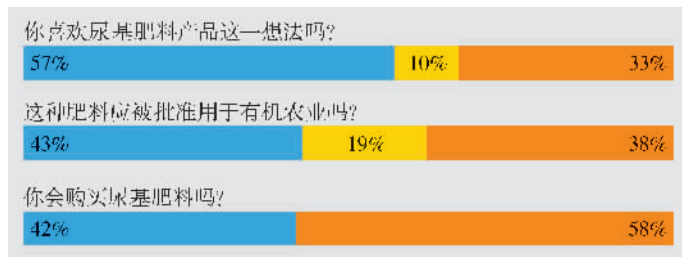


图 4 瑞士-德国农民对尿基肥料的想法^[8] 向 467 个农场寄发了调查表,收到 127 份答复
蓝色:是;黄色:不知道;橙色:否

发现相吻合。总的说来,1/3 的应答者对非混合抽水马桶非常满意,1/3 对其持中间态度,1/3 对其不满意。如果可能的话,一半人想改回常规抽水马桶。

如同瑞士一样,奥地利和瑞典的项目经理指出^[7]:当人们很好地了解和体会整个项目的(环境)效益时,对使用这种坐姿非混合抽水马桶的接受程度和积极程度就会提高。

农民和消费者会接受尿基肥料吗? 回收尿来生产肥料的想法被农民接受的程度高得令人吃惊(图 4),他们的态度是通过一项函件调查来研究的^[8]。农民们将最大的重要性赋予无微污染物:30%的应答者担心这种肥料可能含有药物和激素残留物。

假定能消除健康危害的话,消费者的态度似乎更为积极。焦点小组(图 3)和利斯塔州图书馆被调查的人中,绝大多数愿意购买靠尿基肥料生长的粮食。州图书馆 501 位应答者中绝大多数还会在他们自己的阳台上或庭院中使用尿基产品。不过,刚好低于该小组 1/3 的人反对尿基肥料,主要是因为它们引起厌恶以及可能含有药物或病原菌。

国际上的可比研究很少。在瑞典,尿基肥料被充分接受。在那里,贮尿的目的是为了卫生化,而不是为处理。在多数情况下,农民准备好喷撒尿,或者居民将尿用于自家的庭园。在施用这种肥料时,气味很少被认为令人讨厌,而且人们也很少对食用施撒尿肥的蔬菜表示担心^[7]。

后续步骤 我们现在知道公众对非混合技术的态度非常积极。不过,非混合抽水马桶有某些在日常使用中可能成问题的缺点。所以在私家推广非混合抽水马桶是一项棘手的工作,必须对之进行极为认真的经管。家庭使用者需要从开头就知道可能的不足,而且应就他们将接受

这些不足作出保证^[4]。与居民的直接接触是非常重要的,以确保问题能得到及时解决。在公共建筑物中安装非混合抽水马桶不太成问题——假如清洁和维护是由内部人员来进行的话。

我们面临的难题是,非混合技术的进一步发展需要大规模的试验项目,但非混合抽水马桶尚无法完全与常规抽水马桶相比。广泛推广一种不成熟的技术可能会导致反作用,从而完全破坏其前景。如果要提高这一技术,那么卫生部门就要改进非混合抽水马桶。但大公司不愿意在缺乏潜在市场的情况下进行重大投资。因此,废水专业人员以及当局、研发者和决策者需要向卫生设备制造企业提供这一技术所存在的真实意义^[9]。由于公众愿意对发展这一创新做出贡献,所以我们持这一观点——即使如今非混合抽水马桶不尽人意——假定这类试验项目得到认真监管的话,可以启动这种实施过程。 ○○○

[1] Lienert J., Larsen T.A. (2006): Considering user attitude in early development of environmentally-friendly technology: A case study of NoMix toilets. *Environmental Science & Technology* 40, 4838–4844.

[2] Pahl-Wostl C., Schönborn A., Willi N., Muncke J., Larsen T.A. (2003): Investigating consumer attitudes towards the new technology of urine separation. *Water Science and Technology* 48 (1), 57–65.

[3] www.novaquatis.eawag.ch/deutsch/lernspiel_de.html

[4] Lienert J., Larsen T.A. (submitted): Pilot projects in bathrooms: a new challenge for wastewater professionals.

[5] Kvarnström E., Emilsson K., Richert Stintzing A., Johansson M., Jönsson H., af Petersens E., Schöningh C., Christensen J., Hellström D., Qvarnström L., Ridderstolpe P., Drangert J.-O. (2006): Urine diversion: one step towards sustainable sanitation. *EcoSanRes Publications Series Report 2006-1*. www.ecosanres.org/news-publications.htm

[6] Starkl M., Binner E., Fürhacker M., Holubar P., Koeck S., Lenz K., Mascher F., Ornetzeder M., Pollak M., Haberl R. (2005): Nachhaltige Strategien der Abwasserentsorgung im ländlichen Raum – SUS-SAN. Endbericht Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wien, www.wassernet.at/article/archive/5688/

[7] Johansson M., Jönsson H., Höglund C., Richert Stintzing A., Rodhe L. (2001): Urine separation – closing the nutrient cycle. Final report on the R&D project: Source-separated human urine – a future source of fertilizer for agriculture in the Stockholm region? VERNA Ecology & Stockholm Water Company, Stockholm.

[8] Lienert J., Haller M., Berner A., Stauffacher M., Larsen T.A. (2003): How farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled anthropogenic nutrients (urine). *Water Science and Technology* 48 (1), 47–56.

[9] Larsen T.A., Lienert J. (2003): Societal implications of re-engineering the toilet. *Water Intelligence Online* March 2003. www.iwaponline.com/wio/2003/03/default001.htm

非混合技术起始于盥洗室



Kai Udert, 环境工程的环境工程师和副研究员

非混合抽水马桶的基本想法是简单的：将尿排入(与其他废水分开)一个收集池。不过,输尿管可能容易被矿物沉淀物所堵塞,而且收集的尿中营养物的浓度可能比预计的要低。我们实验室和计算机模拟的结果,将会促进与卫生技术部门协作研发改进的装置。

新鲜尿是一种不稳定的溶液。尿素在虹吸管和管道中已经分解,从而导致堵塞输尿管的磷酸盐、镁和钙沉积物的形成。抽水马桶的冲水减少了堵塞风险,但所产生的尿稀释使得大的贮存池成为必需,而且使进一步的处理复杂化了。研发那些能在不易堵塞的情况下收集高度浓缩形成的尿的非混合装置,对卫生设备制造企业是一项挑战。

为了给这类卫生设备的进一步改进提供基础,我们对非混合装置中出现的各种过程进行了详细的研究:我们研究了沉淀物的形成和组分以及如何防止沉淀。与此同时,我们试图解释为什么收集池贮存的尿的成分明显不同于文献资料基础上的新鲜尿的预计值^[1-3]。

沉淀物的形成与成分 我们的实验室试验证明,沉淀最终归咎于尿中所含尿素的水解。尿素被抽水马桶和输尿管中的微生物转化为氨和碳酸,从而使尿的 pH 值升至大约 9 的水平(图 1A)。接着,这种高 pH 值导致几种矿物质的超饱和,它们最终会沉淀:鸟粪石($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$)和羟磷灰石($Ca_5(PO_4)_3OH$)以及方解石($CaCO_3$)(图 1B),假定这种溶液被冲洗水高度稀释的话^[2]。我们使用计算机模拟计算出,未稀释的尿中只有 8%的尿素需要被水解,以便 pH 值高得足以达到 95%的沉淀潜力。虽然形成的沉淀物会堵塞管道和虹吸管,但它们不会导致收集池中的问题,它们在那里不会干透,所以不会固化。

稀释程度越高,堵塞风险越低 尿分离抽水马桶旨在不与冲厕水混合的情况下收集尿。但正如通过我们的实地研究所得出的结论那样,当尿很少稀释或根本不稀释

时,非混合管道尤其可能被堵塞(图 2)。这一发现与下面这种一般看法是矛盾的:只有当尿与水混合时才会发生堵塞——由于水提供了沉淀所需要的阳离子(钙和镁)。实际上,尿已含有比正常自来水更多的钙和镁。根据我们的计算,虽然从 1 L 未稀释的尿中晶化出 1400 mg 的盐,但从按 1:1 比例稀释的 1 L 尿中沉淀出来的盐大约为 900 mg^[2]。单位体积中沉淀物的数量是促使堵塞风险增加的最重要的因素之一(虽然不是惟一因素)。其他关键性因素包括尿在管道和虹吸管中延长的滞留时间以及狭窄的横切面。这些研究结果表明,可以采取各种措施来防止或至少延缓堵塞的出现^[1]。鉴于目前的技术现状,建议采取下列措施:

非混合输尿管容易堵塞



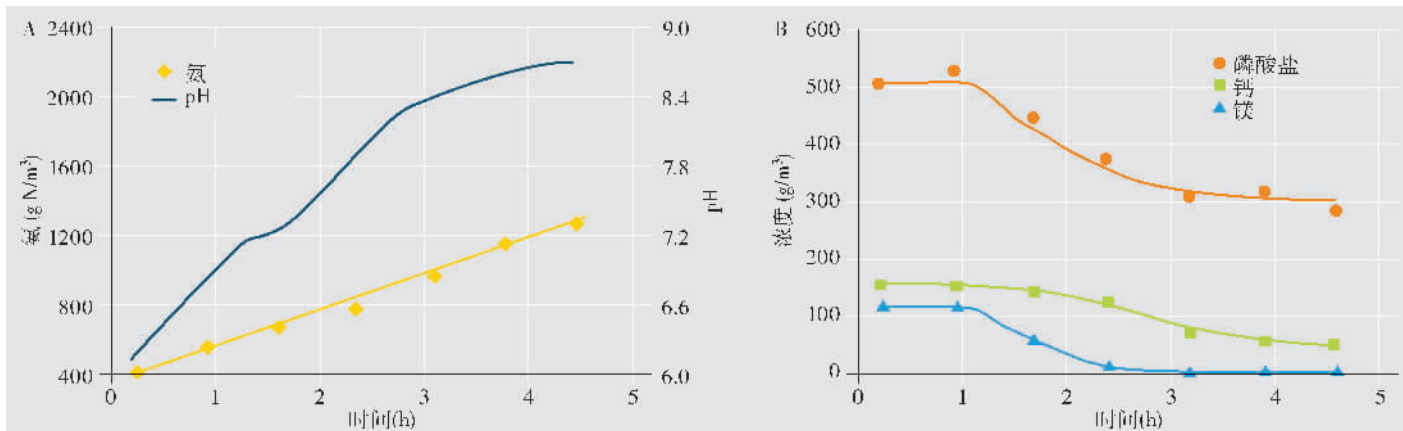


图 1 由于尿中尿素的水解,氮浓度和 pH 增加(A),而钙、镁和磷酸盐的浓度则下降(B)

- ▶ 定期用酸来溶解沉淀物并将其冲出该系统 (如 10% 的柠檬酸)。
- ▶ 控制大型虹吸管中的沉淀(标准做法,如对于无水小便器)。
- ▶ 采用雨水而不是自来水来冲洗。
- ▶ 使用直径较大的管道。
- ▶ 确保尿尽快通过狭窄段,例如通过管道的垂直布局。
- ▶ 其他措施是可能的,但需要研发和试验,例如抗细菌或固体物的管道保护层。

尿中的营养物浓度 非混合卫生设备的技术特性会对收集的尿的成分产生重大影响。为了促进进一步的处

理,理想的是浓度应尽可能的高。这尤其适合于磷和氮营养物。但在迄今所实施的试验项目中,实际上都没有达到未稀释尿预计的浓度(见第 14 页 Max Maurer 的文章)。贮存尿中氮和磷的浓度分别比文献中给出的新鲜尿的值低 67%~80% 和 50%~90%^[3, 9, 10]。这是由于许多不同因素所致。这两种营养物的浓度同样被冲水的稀释所降低。由于与尿素水解相关的沉淀的结果,大部分可溶的磷酸盐被从尿中去除掉^[2]。如果小便池和管道是通风的,那么部分氮成分就会作为氨被释放,也是尿解的结果。在公共设施中,缺乏高浓度的清晨尿也可以解释较低

需要进一步研发非混合抽水马桶 目前,非混合抽水

非混合抽水马桶与无水小便池: 收集尿与节水

在很多国家,尿和大便分开收集已实施了数百年,在许多发展中国家和快速工业化国家,它仍是一种习惯做法。不过,第一个冲水式尿分离抽水马桶是 20 世纪 90 年代在瑞典被研制出来的。如今,可以从几家小公司买到非混合抽水马桶。Novaquatis 试验项目中所使用的样品是由 4 家不同制造商生产的: Wost Man Ecology^[4]、Dubbletten^[5]、Gustavsberg^[6]和 Roediger^[7]。虽然它们都有单独用于尿和其他废水的排出口,但它们冲水的方式是不同的。就多数样品来说,冲洗水分布于整个坐便器内,所以每次冲洗抽水马桶时水会进入尿引流管。不过, Roediger 抽水马桶采用一种不同的系统:它安装有一个只有当人坐在抽水马桶座上才会打开的阀。当使用者站起来启动冲水时,该阀是关着的,因此收集的尿实际上

是未稀释的。虽然 Dubbletten 也试图使尿稀释保持在最低限度,但其装置采用一种根本不同的原理:在两个通过不同机理冲水的分开的桶身中收集尿和其他废水。冲洗水进入收集池,因此就能最大限度减少尿的进入。在多数 Novaquatis 试验项目中,也采用无水小便器。与非混合抽水马桶不同,长期以来一直可以从众多供应商那里买到这些小便器,它们广泛用于公共建筑物内,主要是考虑到它们的节水特性。Dubbletten 型非混合抽水马桶也能节水,虽然这只有当不将尿弄脏的卫生纸冲走而在一个垃圾箱中单独处置时才有可能。Eawag 进行的一项调查表明,58%的使用安装在这里的 Dubbletten 抽水马桶的人实际上相应改变了他们的行为^[8]。

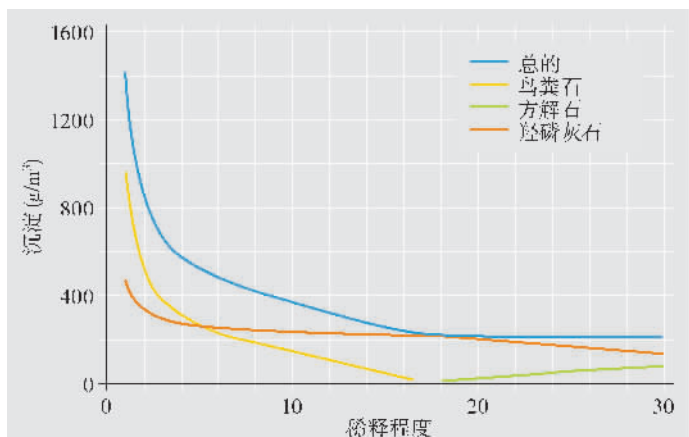


图 2 鸟粪石、羟磷灰石和方解石的沉淀取决于尿稀释的程度

马桶只由少量供应商小批量制造。所以产品的研发很萧条，这又反过来妨碍这一技术的推广。我们来自 Novaquatis 试验项目的初步经验已被反馈进 Roediger 非混合抽水马桶的研制。这种输入主要基于来自使用者报告（见第 8 页 Judit Lienert 的文章）。批评意见包括：需要增加清洁努力；需要坐着使用抽水马桶以及这两个排出口的配置。气味问题也有报道，不过，气味问题可能不是非混合抽水马桶所致，而是由于附近无水小便器不充分的

清洁引起的。

另外，为了进一步促进这一研发过程，邀请卫生部门和废水部门的代表参加由 Novaquatis 组织的圆桌会谈。这些讨论集中于：需要如何才能将最佳的非混合抽水马桶推向市场。结果是卫生设备制造公司希望有能使非混合抽水马桶研发相适应的大的、明确的初步市场。这类市场尤其应位于面临城市排水和水污染控制问题的地区——即位于快速工业化国家迅速扩展的城市中。但缺水地区如澳大利亚，可能也为非混合技术提供了市场。不过，应该指出，Novaquatis 遵循的战略——涉及到这一技术在拥有现有污水系统的城市中的逐步推广——对卫生设备制造企业没有什么吸引力，因为市场被认为太小。对卫生设备制造企业很重要的另一个因素是废水专业人士的态度。如果他们认为非混合技术是有价值的，而且支持其推广，那么，这也会对卫生部门产生激励效应。

不管怎么说，卫生设备制造企业依然有极大的兴趣，而且深信当今非混合技术的应用问题能得到解决。不言而喻，这种发展是有其代价的。○○○

大截面的垂直输尿管可减少堵塞风险



- [1] Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Biologically induced precipitation in urine-collecting systems. *Water Science and Technology: Water Supply*. 3 (3), 71–78.
- [2] Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. *Water Research* 37, 2667–2677.
- [3] Udert K.M., Larsen T.A., Biebow M., Gujer W. (2003): Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system. *Water Research* 37, 2571–2582.
- [4] www.wost-man-ecology.se
- [5] www.dubblatten.nu
- [6] www.gustavsberg.com
- [7] www.roevac.com
- [8] Lienert J., Larsen T.A. (2006): Considering user attitude in early development of environmentally-friendly technology: A case study of NoMix toilets. *Environmental Science & Technology* 40, 4838–4844.
- [9] Ciba-Geigy (1977): *Wissenschaftliche Tabellen Geigy, Teilband Körperflüssigkeiten*. 8. Ausgabe, Basel.
- [10] Rossi L., Lienert J., Larsen T.A. (submitted): Real-life efficiency of urine source separation: experience from households and an institutional setting. *Water Research*.

尿处理——绝对灵活



Max Maurer,
环境工程室化学与过程
工程师

尿收集后会发生什么样的情况呢？这一液体的特殊性允许采用多种方法。这些方法可以用来按照需要对这种不寻常的资源加以改良——如去除特定的污染物或生产肥料。Eawag 已评估了多种方法的合适性。

非混合技术使得尿能得到单独处理。不过，必须研发用于处理这种特殊液体的定型的方法(表 1 和专栏)。所以我们的目的是确定可实际应用的方法。为此，我们对以前已使用过的与尿有关的方法进行了文献检索。另外，在 Eawag 实验室内对进一步的方法进行了试验，以确定它们对尿处理的合适性。我们的研究产生了用于下列目的的很多方法：卫生化和稳定化；去除和使有机微污染物失活；回收和消除营养物质(表 2, 详情见参考文献[1])。虽然这些方法可确保尿处理方面的高度灵活性，但通常需要根据尿源头分离的特定目的将各种方法结合在一个处理装置中(见第 20 页 Wouter Pronk 的文章)。

通过尿贮存的卫生化 收集的尿可能含有致病生物，它们或来自病人或来自粪便污染。最简单的尿卫生化的方法是将其贮存数月。这一过程中的关键因素是贮存温度。试验已证明，在 20°C 的温度下贮存 6 个月足以达到完全卫生状态。虽然存在着众多其他处理选择，例如暴露于紫外线或高压处理，但从未将它们用于尿试验。

通过酸处理或生物处理实现稳定化 在某些情况下，在进一步处理之前应使尿稳定化。这使得尿中不稳定的物质得到保存或去除，以便防止来自有毒氨排放的令人讨厌的气味和环境影响。

新鲜尿可以通过添加强酸(如 2.9 g/L 浓硫酸)来保存，因为尿在 pH 值低于 4 的情况下是稳定的。当执行漫长的空间使命从尿中回收水时，也使用这种制备方法。相比之下，无菌过滤——我们试验的另一种方法——证明实际上是不合适的，因为负责分解的酶以溶解的形式存在于尿中，它们仍能通过该过滤器。

另一方面，可以通过生物处理的方法使已分解的尿稳定化。我们在这方面的经验包括各种生物反应器的构形。在这一过程中，易降解的有机物质被细菌所分解，另外，通过硝化(通过需氧细菌将氨转化为亚硝酸盐和硝酸盐)，尿的 pH 值被降低，挥发性氨被去除。硝化程度随该反应器的构形而变，可获得一种无味的硝酸氨或亚硝酸氨。

接着，这种硝酸溶液可被用作速效液体肥料，而亚硝酸溶液则可在一个厌氧氨氧化反应器中进一步处理。在这所谓的 anammox 反应中，氨在亚硝酸盐的帮助下在厌

表 1 与新鲜尿相比较的带有冲水尿分离抽水马桶的一个住户收集和贮存的尿^[2]和 Eawag 办公大楼无水小便器收集和贮存的尿^[3]的化学成分^[4]

	贮存的尿		新鲜尿 未稀释的 文献数据
	带有冲水 家庭	无冲水， 办公大楼	
稀释 $V_{\text{尿}}/(V_{\text{尿}}+V_{\text{水}})$	0.33	1	1
pH	9.0	9.1	6.2
$N_{\text{尿}}(\text{g}/\text{m}^3)$	1795	9200	8830
$\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3(\text{g N}/\text{m}^3)$	1691	8100	463
$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-(\text{g N}/\text{m}^3)$	0.06	0	
$P_{\text{尿,总}}(\text{g}/\text{m}^3)$	210	540	800 ~ 2000
$\text{CSB}(\text{g O}_2/\text{m}^3)$		10 000	
$\text{K}(\text{g}/\text{m}^3)$	875	2200	2737
$\text{Na}(\text{g}/\text{m}^3)$	982	2600	3450
$\text{Cl}(\text{g}/\text{m}^3)$	2500	3800	4970
$\text{Ca}(\text{g}/\text{m}^3)$	15.75	0	233
$\text{Mg}(\text{g}/\text{m}^3)$	1.63	0	119

尿：一种特殊的液体

收集和长期贮存的尿与最初的尿液差异很大（表 1）。它会产生刺鼻的氨味，pH 值从 6 增至 9 以上。这两种变化都是尿素细菌水解的结果，水解产生氨和二氧化碳。化学成分也会受到收集系统中冲水量的影响。

特别令人吃惊的是未稀释尿中高浓度的营养物。与正常废水相比，总氮和总磷的浓度大约分别高 200 倍和 100 倍，化学需氧量大约高 30 倍。当新鲜尿与贮存尿比

较时，贮存期间出现的转化是显而易见的。由于尿素水解的结果，无机氮(NH₄⁺+NH₃)的含量和 pH 值增加。这还导致钙(Ca)、镁(Mg)和磷浓度的下降，这些物质作为固体物沉积在池中或管道内(见第 11 页 Kai Udert 的文章)。

虽然人尿中很少发现有金属，但很多药物和激素通过肾被排泄(见第 23 页 Beate Escher 的文章)。

氧条件下被转化成分子氮。这两种液体也都可以被用来对付污水系统中的气味和侵蚀。

洛芬(抗炎剂)和乙炔雌二醇(合成激素)的降解不佳，而天然激素雌二醇和雌酮则非常有效地被去除。

臭氧化破坏微污染物或使之失活 臭氧化已被证明是消除微污染物的最可靠的方法。虽然这种方法不能完全破坏这些污染物，但可以使它们大部分失活。如果要从某一特定产品如肥料中去除微污染物，还可以采用纳滤或电渗析(见第 20 页 Wouter Pronk 的文章)。由于似乎并非所有微污染物在生物反应器中都是可降解的，所以需要与臭氧化相结合，以确保大部分微污染物的去除。在我们的研究中，一些物质如心得安(β 阻滞剂)、布

通过蒸发和汽提回收营养物 尿的成分使其成为一种良好的多组分肥料。氮-磷-钾(NPK)比例约为 100:6:25 (表 1)，或采用标准肥料术语 N:P₂O₅:K₂O=09:0.12:0.26 (重量%)。可用不同的方法浓缩或回收这些营养物：

► **缩小体积**:这种方法可便于贮存、运输和投配。技术最成熟的方法是蒸发。这种方法也小规模地用于空间站。在我们的 200 毫巴和 78°C 条件下非水解尿的试验中(见专栏)，体积缩小 9/10 是轻而易举的事。另一种是被

表 2 用于尿处理的可能的方法^[1] o=无影响;+=正效应;+=强效应;?=可能有影响,但未研究

	卫生化	减容	稳定化	营养物回收	微污染物降解/失活	营养物与微污染物分离	营养物去除
卫生化							
贮存	+	o	o	o	o	o	o
稳定化							
酸化	+	o	++	o	?	o	o
灭菌过滤	+	o	++	o	o	o	o
硝化	+	o	++	o	?	o	o
营养物回收							
减容如蒸发	+	++	+	++	o	o	o
鸟粪石沉淀	o	++	+	++(尤其是 P)	o	++	o
选择吸附	o	+	o	++(仅 N)	o	+	o
NH ₃ 汽提	o	+	o	++(仅 N)	o	++	o
营养物去除							
anammox	+	o	++	o	?	+	++
微污染物去除							
电渗析	++	+	+	+	o	+	o
纳滤	++	o	+	o	o	++	o
臭氧化	+	o	+	o	++	o	o

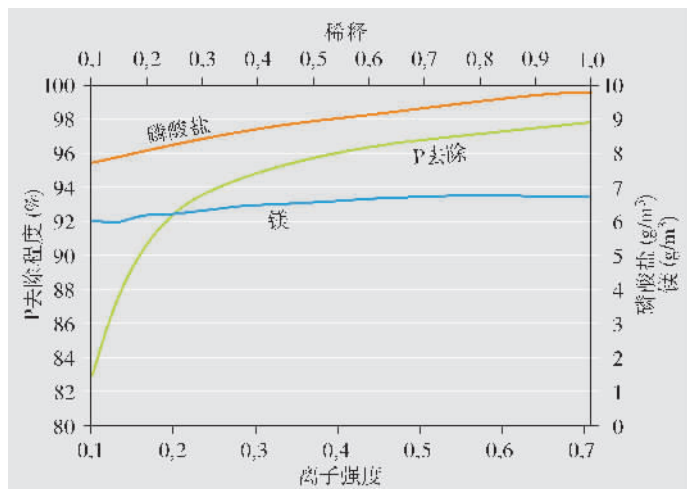


图1 鸟粪石沉淀后可溶磷酸盐和镁浓度取决于用冲水稀释的程度(1=未稀释,0.1=10倍稀释)。未稀释尿中营养物的初始浓度:磷酸盐=440 g P/m³; 铵=7850 g N/m³。添加了等克分子量的氯化镁(基于磷酸盐)

称之为部分冷冻的方法，即将尿冷却到部分尿保持液态的程度。这部分液体含有大部分营养物，而冰主要由水构成。

► 汽提:通过气流将尿中的氨汽提出来,从而产生硫酸氨或硫酸铵溶液。这两种产物都能用作原料或肥料。

通过鸟粪石沉淀和选择性吸附回收营养物 鸟粪石(即磷酸镁铵, MgNH₄PO₄ 或 MAP)是一种得到公认的缓效多组分肥料。我们的实验室研究表明,也可以通过尿来生产这种化合物。镁(如以氧化镁或氯化镁的形式)一加入尿就会形成鸟粪石。这一反应是迅速和彻底的。被冲洗水稀释的尿越多,鸟粪石的产量就越低(图1)。这在某种程度上可以通过明显增加镁的添加量来补偿。通过鸟粪石沉淀,可以从尿中回收 96%~98% 的磷成分^[5]。

我们还证明所研究的药物和激素完全保留在溶液中,在最终产品中并没有检测出来。尿中所含的重金属仅有 20%~40% 随鸟粪石一起沉淀^[6]。因此,鸟粪石沉淀是一种从废水流中回收营养物(无污染物的)的简单有效的方法。

还可以通过选择吸附从尿中获得营养物。一种吸引人的选择是采用沸石。当将这种矿物添加于尿时,它吸附氮,接着它就可被用作含氮土壤调理剂。

营养物去除 如果尿处理的最终目的是改善水污染控制,那么目的可能是去除尿中的氮和磷,而非接着回收这些营养物。鉴于尿的特殊性质,可以在通常用于废水处理的方法之外,采用上文描述的 anammox 法。

可用于尿处理的工艺方法的范围 许多方法适合于分开收集尿的处理。所以工艺工程将肯定不会是实施实际尿源分离的制约因素。与此同时,多数这些方法仍处于实验室阶段。实际经验很少,重大空白仍有待于弥补,尤其是在开发用于分散使用的可靠的小规模处理装置方面。

各种可能的尿处理证明,源头控制措施和尿分离为废水管理提供了更多的灵活性。已为进一步研发奠定了基础,转向实际应用的时机现已来到。 ○○○

- [1] Maurer M., Pronk W., Larsen T.A. (2006): Treatment processes for source separated urine. *Water Research* 40, 3151–3166.
- [2] Kirchmann H., Pettersson S. (1995): Human urine – chemical composition and fertilizer use efficiency. *Fertilizer Research* 40, 149–154.
- [3] Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2006): Fate of Major Compounds in Source-Separated Urine. *Water Science and Technology* 54 (11–12), 413–420.
- [4] Ciba-Geigy (1977): *Wissenschaftliche Tabellen Geigy*, Teilband Körperflüssigkeiten 8. Ausgabe, Basel.
- [5] Ronteltap M., Maurer M., Gujer W. (2007) Struvite precipitation thermodynamics in source-separated urine. *Water Research* 41 (5), 977–984.
- [6] Ronteltap M., Maurer M., Gujer W. (in press): The fate of pharmaceuticals and heavy metals during struvite precipitation in urine. *Water Research*.

来自图书馆的肥料



Markus Boller,
工程师, 苏黎世 ETH 城市水
管理系负责人、教授, 他在那
里讲授水和废水处理

用尿生产无害化肥料是一种新的概念。专门安装非混合抽水马桶的、位于利斯塔尔的巴塞尔兰州图书馆正在获得初步经验。这一机构收集的尿被加工生产一种液体肥料。但在这一产品得以应用之前,需要克服许多障碍。其他国家的试验性项目也面临类似的挑战。

尿源头分离的目的之一是将氮、磷和钾重复用于农业。人类排泄的这些营养物衍生自食物。营养物的日益稀少使得需要可持续地管理用作肥料的物质,尤其是磷,因为按照目前的开采速率,这种矿物的天然储量将会在50~100年内被耗尽。现有实践——营养物通过废水处理厂被排入接受水体、大气和污泥,因此不可挽回地被“处理”——需要改革,目的是尽可能综合再利用宝贵的营养物;这可能会反映古老的动物粪便的利用。不过,从当今的观点看,首先必须克服众多障碍。如果要将这一想法付诸于实践,它就必须要在政治、技术、环境和经济等方面

令人信服。

去除尿基肥料中的微污染物 根据我们的研究,社会必须要对非混合技术开放。绝大多数公众准备接受尿分离抽水马桶^[1],瑞士的农民可能打算使用尿生产的肥料^[2](见第8页 Judit Lienert 的文章)。不过,这种产品必须是高质量的、便宜的、卫生安全的以及无微污染物如药物和激素的。农业管理者们也期望尿基肥料能满足严格的规定。当局建立的批准程序不仅要求证明有效性,而且还要求证明无微污染物的实验证据。来自关于污水污泥质量辩论的经验表明,在瑞士使用未处理的尿在政治上将会是不可行的,所以去除有害的微污染物是一个先决条件,即便这会大大增加尿处理的技术复杂性。

尿基产品 Urevit 被施用于玉米地



在过程工程方面开辟新的领域 为了启动批准过程以及证明用尿生产安全的肥料在技术上是可能的。Eawag 启动了位于比尔斯费尔登(巴塞尔兰州)的比尔斯废水处理厂(WWTP)的尿处理试验项目。在那里,Eawag 研发的工程方法被用于在客观现实条件下通过尿生产液体肥料。所用的尿来自位于利斯塔尔的新建州图书馆,该图书馆——由于巴塞尔政策制订者们积极的态度以及当局的负责——全部安装了非混合抽水马桶和无水小便器。自2005年6月该大楼开张以来,每周大约4000位图书馆使用者的尿已经被用于比尔斯 1WWTP 的肥料生产。

当尿被加工生产肥料时,需要确保4项目标的实现:

- ▶ 营养物氮、磷和钾被浓缩。
- ▶ 微污染物如激素和药物大部分被去除。

表 1 国内和国际尿分离项目

位置	非混合抽水马桶数	无水小便器数	产生的尿量 (L/周)	尿池容积 (m³)	尿处理	应用, 再利用
GTZ Eschborn D	56	25	8000	10	鸟粪石沉淀 NH ₃ 汽提	有效性试验, 野外试验
Huber D	13	10	550	0.9	鸟粪石沉淀 硫酸铵沉淀	作物肥料
Lambertsmühle D	4	2	60	4	无	农业
公寓 学校	88 18	12	大约2500 大约1500	16 6	无	污水系统
Gebers S	25	0	大约700	33.5	贮存6个月	农业
Lunderstenschäden S	50	0	大约1000		贮存6个月	农业
巴塞尔兰 州图书馆	10	2	100	1.7	电渗析 臭氧化	有效性 试验
Eawag CH	39	7	250	每一情况下 (男人+女人)1	生物法	研发其他 处理方法

- ▶ 产品在卫生方面必须是可接受的。
- ▶ 尿将以尿素或铵溶液的的稳定形式贮存。

根据现有众多技术需要型方法^[3](见第 14 页 Max Maurer 的文章), 为比尔斯 1 WWTP 的尿处理装置选择了电渗析和臭氧化组合。这两种方法——以前都没有被用于城市废水处理——在 Eawag 实验室已研发到技术成熟的程度, 现在被首次大规模试用于我们的试验项目。第 20 页 Wouter Pronk 的文章给出了该试验装置性能和运行的详情^[4]。这项试验研究的主要目的是, 提供一个如何才能将用于关闭营养物循环的可能的技术方法付诸于实践的实例, 以及在实际试验中, 向有关专家和当局以及感兴趣成员证明从尿中回收营养物的潜力。迄今所取得的结果是鼓舞人心的, 并将为备选的废水管理方法的采用铺平道路。

其他国家的尿分离 从国际观点看, Eawag 并非独自在努力改造发达地区的营养物循环。一些年来, 已开展了很多活动, 特别是在瑞典、德国、奥地利和荷兰(表 1)。这些包括文献中详细描述的许多项目, 包括大规模非混合技术。最初, 所采用的解决办法(常常为乡村地区设计的)假设没有考虑尿质量的余地, 这意味着可以简单和直接使用尿。但在此期间, 尿中微污染物问题已得到广泛讨论。例如, 最近关于未净化的浓缩尿高剂量用作肥料的试验表明, 有害的物质累积在土壤和植物中, 抑制了作物生长^[5]。因此, 微污染物所构成的危害不应被低估, 它目前

正在决定尿贮存和处理领域的研发工作。而且, 研究正日益集中于不同类型产品质量的提升(关于农业肥料的性质)。

瑞典的不同项目已证明, 收集尿的利用是促进尿分离抽水马桶安装与继续使用的关键性因素。例如, 原先于 1995 年安装于 Björnsbyn 生态村的非混合抽水马桶已被常规抽水马桶所取代。这是由于技术缺陷以及缺乏营养物无害化重新用于农业的计划。

从尿到肥料 比尔斯 1 WWTP 尿处理装置生产的肥料(Urevit)是一种营养液, 它大大不同于作为其基础的尿(表 2)。这种液体肥料的特点是氮、磷、钾和其他盐类浓度高 4 倍, 没有微污染物、细菌和真菌, 而且有机物含量稍低。

如同欧洲多数国家那样, 在瑞士, 肥料需要有产品许可证, 2001 年的《瑞士肥料交易条例》规定了肥料的不同等级^[6]。矿物营养物和尿素肥料被认为没有问题, 可以在没有批准程序的情况下施用。不过, 有机肥和农家肥(如残渣和青储饲料废水)需要得到批准, 基于肉粉、骨粉和血食的肥料完全被禁止。对于该一览表中没有明确提到的其他所有肥料, 必须提交申请, 以便获取基于审批程序的许可。这也适用于人尿和尿产品。为了获得批准, 必须证明产品的使用对人类、动物和环境无害, 而且对所生产的食品没有不利影响。

Urevit 现已获得联邦农业部的临时许可证。与此同

时，正在努力确保对其他尿基肥料产品的总体批准和基本调控。规定的条件包括以下几点：

- ▶ 在野外试验中，与常规肥料的肥效加以比较(包括用于有机农业的条件)。
- ▶ 该产品的标识和化学成分。
- ▶ 该产品的使用说明。
- ▶ 卫生接受性的证明。
- ▶ 无微污染物(低于检测极限)的证明。

位于 Frick 的有机农业研究所(FiBL)研究了作为饲料玉米肥料的 Urevit 的肥效。这些研究表明，Urevit 基本适合作为肥料。不管作物施用硝酸铵还是 Urevit，植物生长都达到了最大程度，都大大高于施用牛粪的植物。不过，施用硝酸铵的作物总产量比施用 Urevit 的作物高 13%。这类损失可以通过替代性施撒方法来预防，而后可以期望产量与施用硝酸铵的作物产量相当。

很好地利用现有的时机 巴塞尔兰尿处理试验性实验最初限于 6 年期。在这一时段内，Eawag 打算研发用于实验室规模尿处理的进一步的方法。一个有希望的方法是采用生物法或借助于磷酸镁铵(MAP)回收磷酸盐。用于这些实验的尿是在 Eawag 新总部——Forum Chriesbach 大楼收集的，像位于利斯塔尔的州图书馆那样，该大楼已全部安装了非混合抽水马桶。



Urevit 是一种有效的肥料吗？植物叶子的颜色(在这一实例中是饲料玉米)是评价指标之一

在国际前沿，关于替代性废水管理和新的尿处理方法的研究工作未来一些年内可能也会加速。这一趋势是令人鼓舞的，归根结底，累积的经验越多，新概念和新技术广泛采用的前景就越好。 ○○○

表 2 未处理的尿和 Urevit——尿处理装置生产的一种液体肥料(初步数据)

参数	未处理的尿	Urevit
pH	8.7	9.1
电导率(μs)	-	150
溶解有机碳,DOC(g/L)	1.2	3.0 - 3.5
化学需氧量,COD(g O ₂ /L)	3.6	10
总氮(g/L)	3.0	12
铵(g/L)	2.9	11
总磷(g/L)	0.18	0.65
钾(g/L)	1.4	5.7
镁(g/L)		0.008
钙(g/L)	-	0.020
钠(g/L)	1.6	6.5
氯化物(g/L)	3.0	15
硫酸盐(g/L)	0.7	2.5

- [1] Lienert J., Larsen T.A. (2006): Considering user attitude in early development of environmentally-friendly technology: A case study of NoMix toilets. *Environmental Science & Technology* 40, 4838–4844.
- [2] Lienert J., Haller M., Berner A., Stauffacher M., Larsen T.A. (2003): How farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled anthropogenic nutrients (urine). *Water Science and Technology* 48 (1), 47–56.
- [3] Maurer M., Pronk W., Larsen T.A. (2006): Treatment processes for source separated urine. *Water Research*, 40, 3151–3166.
- [4] Pronk W., Zuleeg S., Lienert J., Boller M. (submitted): Pilot experiments with electro dialysis and ozonation for the production of a fertilizer from urine. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, 12.–13.3.2007.
- [5] Bonner Agrikulturchemische Reihe, Band 21, www.ipe.uni-bonn.de/BAR/BAR_21.pdf
- [6] Düngerbuch-Verordnung (28.02.2001). SR-Nummer 916.171.1. www.admin.ch/ch/d/sr/c916_171_1.html

尿处理：从实验室到实践



Wouter Pronk, 生物技术过程工程师, 城市水管理室膜技术组负责人

电渗析与臭氧化组合是一种从浓缩态尿中回收宝贵的营养物的可能的方法。与此同时,可以去除有害物质,从而产生完全可接受的肥料。Eawag 研发的这些方法目前正在巴塞尔兰州的试验装置上进行检验。

尿的高营养物含量使得其成为用于肥料生产的明显的候选物。不过,必须确保首先将也排泄入尿中的药物残留和激素从营养盐中分离出来。为了减少尿和尿基肥料的运输和贮存量,还应在高度浓缩的状态下回收这些盐类。

考虑到这些目标,Eawag 的研究人员在实验室研究了一系列方法,其中包括络合、沉淀、臭氧化以及各种膜法,如纳滤和电渗析。就用尿生产肥料的试验项目而言,最终选择一种两阶段法(由电渗析和臭氧化所组成)。

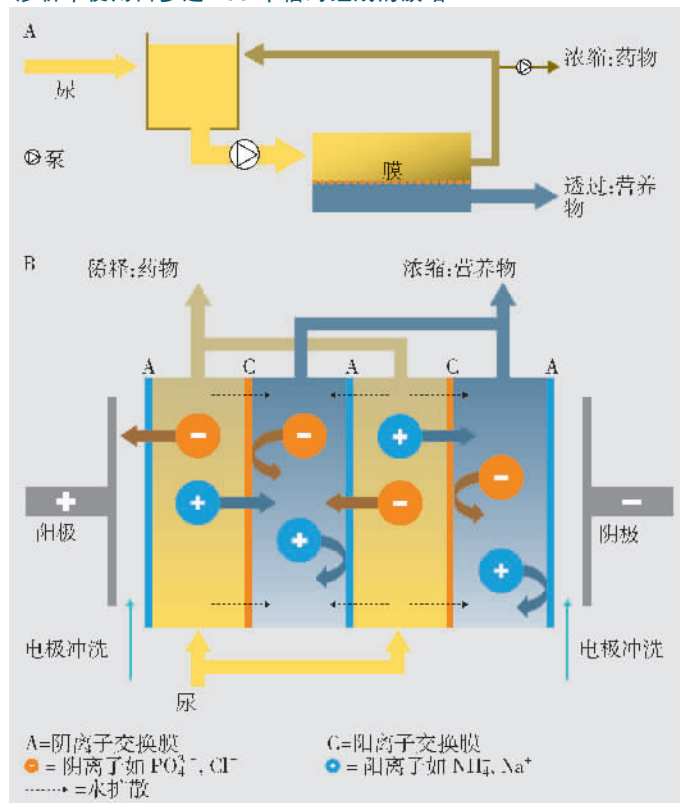
纳滤:分子规模的物质分离 在这一被称之为纳滤的过程中,在高压(大约 10~30 bar)下,迫使液体通过一种纳米级孔径的膜(图 1A)。原则上,溶解于该液体的物质可以在分子尺度基础上被分离出来,但它们的电荷也起重要作用。我们希望确定纳滤是否也能应用于尿,从而可以将这一溶液中所含的营养物(氮和磷)与不良的物质分离开来。

在实验室试验中,我们试验了 3 种不同的膜,旨在截留分子量大于约 150~400 道尔顿(Da)的物质^[1]。尿被掺入代表性的药品混合物,其中包括 β 阻滞剂心得安、抗炎剂 diclofenac 和 ibuprofen 以及口服避孕药乙炔雌二醇的活性成分。这些化合物的分子量在 180~300 Da 之间,而营养物的分子量则低得多。在新鲜尿中,氮主要以尿素(60 Da)的形式出现,铵(NH_4^+ , 18 Da)只占一小部分;磷完全以磷酸盐(PO_4^{3-} , 95 Da)的形式出现。但在贮存的尿中,氮主要以铵的形式出现。这是通过细菌水解产生的,细菌水解将尿素转化为铵和二氧化碳。结果,贮存期间尿的

pH 值也增加,从 6 增至 9。在我们的纳滤实验中,使用的是新鲜的非水解尿。

通过纳滤从尿中回收尿素 与不同类型的膜相比,NF270 膜(由 Dow Inc 生产)显示出最佳性能。但即便采

图 1 纳滤(A)和带有 2 个槽对的电渗析的示意图 实际上,电渗析中使用由多达 100 个槽对组成的膜塔





用尿生产液体肥料的试验装置所用的尿来自利斯塔尔的巴塞尔兰州图书馆——一座全部安装非混合抽水马桶的新大楼

用这种膜,也不能截留所有污染物(图 2A)。另外,这种膜对于磷酸盐来说是不可透过的,仅仅只有一半的铵能穿透该膜(图 2B)。只有尿素获得了满意的结果。例如,磷酸盐是由于膜与溶质之间的斥力而被截留的,相反,不带电荷的尿素分子可以穿透该膜。鉴于这种复杂的情况,如果要完全回收营养物的话,那么纳滤的合适性是有限的。

电渗析:物质在电场中移动 一种更为合适的方法是电渗析(图 1B):在一对电极(一个阳极,一个阴极)之间交替排列的是正电荷和负电荷膜,它们一般允许分子量

最大为 200 Da 左右的荷电分子通过。被称为阳离子的正电荷分子被吸引到阴极,而负电荷分子(阴离子)则向阳极迁移。但由于阳离子无法穿过正电荷(阴离子交换)膜,所以它们在相邻室的浓度增加。这同样适用于(相反方向)阴离子。因此,各种物质在稀释室中被去除,并在浓缩室中富集。将尿输入稀释室。水通过膜从尿扩散进浓缩室,从而确定浓缩物的流速。

通过电渗析几乎完全分离营养物和微污染物 电渗析的目的是,低分子量的营养物迁移进浓缩物,而高分子

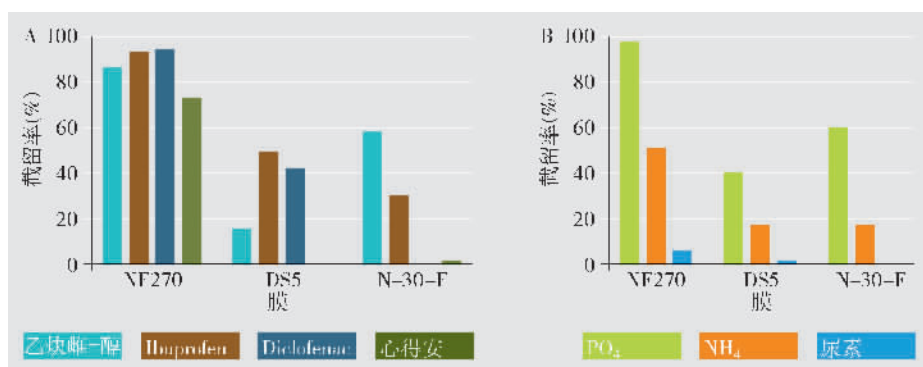


图 2 通过纳滤截留药物 (A) 和营养物 (B),使用了 3 种不同的膜

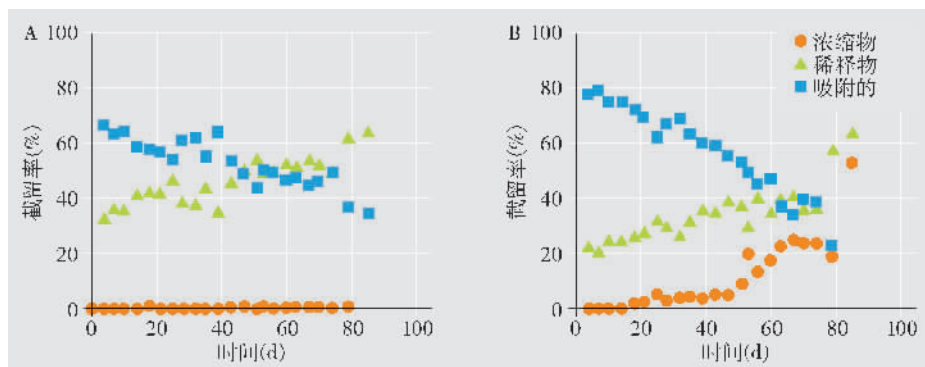


图 3 电渗析过程中乙炔雌二醇(A)和心得安(B)的物质平衡

量的药物和激素则留在稀释液中。一些微污染物如乙炔雌二醇(图 3A)和 diclofenac 在一个延长期内被有效地截留。但对于心得安来说,膜只代表电渗析开始时的一个阻挡层,随着运行时间的延长会出现扩散(图 3B)。在营养物中,正如预期的那样,铵和磷酸盐完全被转移进浓缩物^[2],它们在那里富集了 3~4 倍。采用这种方法无法完全回收尿素;由于这种分子不带电荷,所以只有一小部分扩散进浓缩物。但需处理的尿一般已贮存一定时间,而且不再含有尿素。

通过臭氧化去除剩余的微污染物 由于不可能通过电渗析将有害物质与营养物分离开,所以我们试验了另一个处理方法。根据 Eawag 早先涉及净化废水的实验,我们知道,通过臭氧氧化可以破坏大部分药物。我们补充的实验室试验表明,在尿或电渗析产物的情况下,这也是可以的。不过,需要的剂量(1~2 g 臭氧/L 尿)比其他应用要高^[3]。

巴塞尔兰州的试验性实验 根据巴塞尔兰州公用事业局(AIB)启动的一个项目,在位于利斯塔尔的巴塞尔兰州新建图书馆中安装了非混合抽水马桶和尿收集系统。Eawag 与 AIB 一起决定:这里收集的尿应在一个结合电渗析法和臭氧法的试验装置中进行处理。最初,我们试验了这些方法的两种不同组合:未处理过的尿的臭氧化先于电渗析,浓缩物和稀释物的臭氧化继电渗析之后。试验证明,带有后处理的方法的臭氧和能量需求低于带前处理的方法。由于未处理过的尿贮存时释放的表面活性物质可能会导致臭氧化期间的起泡,所以需要另外一个步骤:用微滤膜对未处理过的尿进行预过滤。因此,该试验装置的处理包括微滤、电渗析以及随后两种产品流的臭氧化。

该试验装置加工产生的液体肥料已被命名为“Urevit”。该产品成分、其作为肥料的效率以及肥料审批程序等详情,见第 17 页 Markus Boller 的文章。

非混合技术的一个里程碑 尿基肥料可行的生产方法的研发,是实施非混合概念过程中的一个里程碑。当重复利用尿的现实选择方案能得到证明时,公众中安装和继续使用尿分离抽水马桶的动力已证明在增加。虽然使用我们的方法生产的液体肥料的决定性管理审批仍未完成,但我们深信它将会被批准。

位于利斯塔尔的州图书馆的项目(包括尿处理装置)得到 ETH Domain Novatlantis 可持续性规划的支持。



[1] Pronk W., Palmquist H., Biebow M., Boller M. (2006): Nanofiltration for the separation of pharmaceuticals from nutrients in source-separated urine. *Water Research* 40, 1405–1412.
 [2] Pronk W., Biebow M., Boller M. (2006): Electrodialysis for recovering salts from a urine solution containing micropollutants. *Environmental Science & Technology*, 40, 2414–2420.
 [3] Pronk W., Dodd M.C., Zuleeg S., Escher B.I., von Gunten U. (in preparation): Ozonation of micropollutants in source-separated urine: Feasibility and process modeling.

非混合抽水马桶能有助于防止药物引起的环境问题吗？



Beate Escher, 化学家, 基于作用方式的生态毒理风险评价研究组负责人
联合作者: J. Lienert

非混合系统的目的之一是用源头分离的尿生产肥料。但尿还含有微量的药物和激素, 在处理过程中, 需要彻底加以去除。为评价处理方法的有效性, 我们研发了一个结合化学分析方法和生态毒分析方法的程序。

我们食用的药物很多被排泄在尿中, 激素产品如口服避孕药以及甚至体内自然产生的激素也是这类情况。这些物质进入废水流, 并被输往处理厂, 很多情况下, 它们在那里没有被完全消除。所以随后它们可能会在接受水体中被检测出来, 虽然一般浓度非常低($\mu\text{g}\sim\text{mg/L}$ 范围内)。与环境中发现的其他有机物一起, 药物残留被称之

为微污染物。这些物质很少单独对水生生物构成风险, 但作为混合物, 它们很可能具有有害影响。因此, 后接单独处理的尿源头收集(即用非混合抽水马桶)代表一种重大的机会。但这里也需要确保微污染物不被释放入环境——尤其当用尿生产肥料时, 因此, 作为 Novaquatis 项目的组成部分, 我们研发了一种试验方法, 该法既可以让个别物质得到化学检测, 又能使污染物混合物的生态毒理效应得到分析。这使得能监测尿处理全过程中微污染物的归宿。

藻类分析被用来确定药物的非特定毒性效应



Yvonne Leinhardt-Eawag

生态毒理分析：用于激素活性分析的酵母筛和用于细胞毒性分析的藻类分析 尿是一种各类物质复杂的混合体的这一现实, 使得生态毒理评价变得困难。为了确认所观察到的影响不是由尿的 pH 值、盐类或其他天然组分引起的, 我们首先必须从尿中分离出微污染物。为此, 我们成功地改进了现有的固态萃取法^[1]。因此, 所获得的萃取物随后经过一系列旨在玻璃试管内检测各种作用方式的生态毒理试验。例如, 这种方法可用来发现尿样是否破坏细胞膜, 是否干扰光合作用或是否对遗传物质具有毒性。这些试验原先是研制来评价药物对水生

物构成的危害的^[2]。

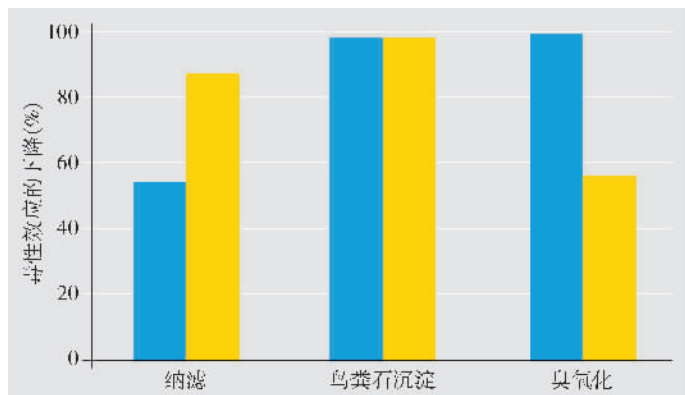
由于我们旨在快速和经济地分析 Novaquatis 项目中的大量尿样，所以我们集中于两种特别相关的生物分析^[1,3]。酵母雌激素筛 (YES 试验) 表明尿中是否存在有激素活性微污染物，例如性激素雌二醇和乙炔雌二醇 (口服避孕药的活性物质)^[4]。藻类分析被用来检测那些对细胞有非特定毒性效应的物质，通过确定藻光合作用的被抑制程度来进行。

在这两种情形中，不是检测特定的介质，而是检测尿中所含物质混合体所引起的效应。对于每一项这类参数来说，首先确定未处理过的尿中的潜能，这一值被设为 100%。然后在尿处理过程中就能监测雌激素活性和细胞毒性的下降。

鸟粪石沉淀去除的污染物比纳滤和臭氧化去除的污染物要多 作为 Novaquatis 项目的组成部分，研制了各种用于尿处理的方法 (见第 14 页 Max Maurer 的文章)。不过，我们在这里只集中于 3 种方法：用于肥料生产的纳滤和鸟粪石沉淀，以及用于去除微污染物的臭氧化 (该研究的总结果呈现于参考文献^[3])。

当纳滤被用来生产肥料 (见第 20 页 Wouter Pronk 的文章) 时，营养物存在于透过该过滤器的液体即所谓的透过液中。大量药物和激素累积在被截留的和被处置的溶液中，透过液中的雌激素活性降低 54%，细胞毒性下降 87% (图 1)。鸟粪石沉淀甚至更为有效，去除 98% 的激素活性和细胞毒性微污染物，从而留下清洁的肥料产品 (图 1)。

图 1 采用 3 种不同的尿处理方法时观察到的雌激素活性 (蓝色) 和细胞毒性 (黄色) 的下降。这种下降被表示为预处理值的百分率



在臭氧化过程中，很高剂量的臭氧被用来去除微污染物。这是由于除了药物和激素外，尿还天然含有大量有机物质。在我们方法中采用的臭氧剂量 (1.1 g/L 尿) 的情况下，有机物被氧化到这种程度：雌激素活性被彻底去除。但这一剂量不足以完全破坏细胞毒性物质。在我们的试验中，细胞毒性只下降 50% 多一点 (图 1)。因此，这种尿必然仍含有较大量的分子碎片。

化学分析：特定物质的测定 借助于化学分析，我们还调研这一问题：在尿处理之后，部分排泄于尿中的某些常用药剂——如心得安、布洛芬、diclofenac、痛可宁和乙炔雌二醇——是否仍可测出。在我们的试验中，为了促进检测，在处理之前，将已知量的每一种这类药剂掺入尿中。一般说来，生态毒理试验的结果得到化学分析的证实^[3]。

化学试验与生态毒理试验：互补 根据特定的问题，可以采用化学分析或生态毒理分析或这两种方法的组合。例如，要想表征个别物质的行为，化学分析是合适的。生态毒理试验更适用于评估一种给定的处理方法去除微污染物的一种未知混合物的有效程度。在这些试验中，检测了这一混合物中所有物质的联合效应——包括未知物质和代谢物以及存在于尿中的极少量的药物。不过，某些尿的天然成分也对总毒性产生影响。

尿源分离可以减少水体中的污染物负荷吗？ 我们的研究表明，通过适当的处理，可以获得无污染的尿基肥料产品。但我们的研究涉及进一步问题的探究：一直采用尿源头分离能大大降低废水流中微污染物的负荷吗？这能够减轻对废水处理厂产生的负荷和避免环境问题吗？

为了评估这些问题，需要了解药物和激素在体内的行为。通常，一定比例的活性成分被吸收、转化 (代谢) 以及——假定这种代谢物的水溶性一般较高——常常排泄在尿中。未被吸收的或不太深度代谢的剩余物随粪便离开人体。所以我们估算了 212 种药物物质通过尿道或粪便途径排泄的相对比例^[5]。虽然各种药物的差异极大，但摄入的物质平均 64% (标准误差 ±27%) 被排泄在尿中。

另一个需考虑的因素是各种代谢物对水生生物的毒性。我们采用模拟技术来估算瑞士广泛使用的 42 种药物的尿和粪便部分的毒性^[6,7]。该模型基于这种假设：特定物质的生物活性取决于其化学结构。作为一种一般规律，

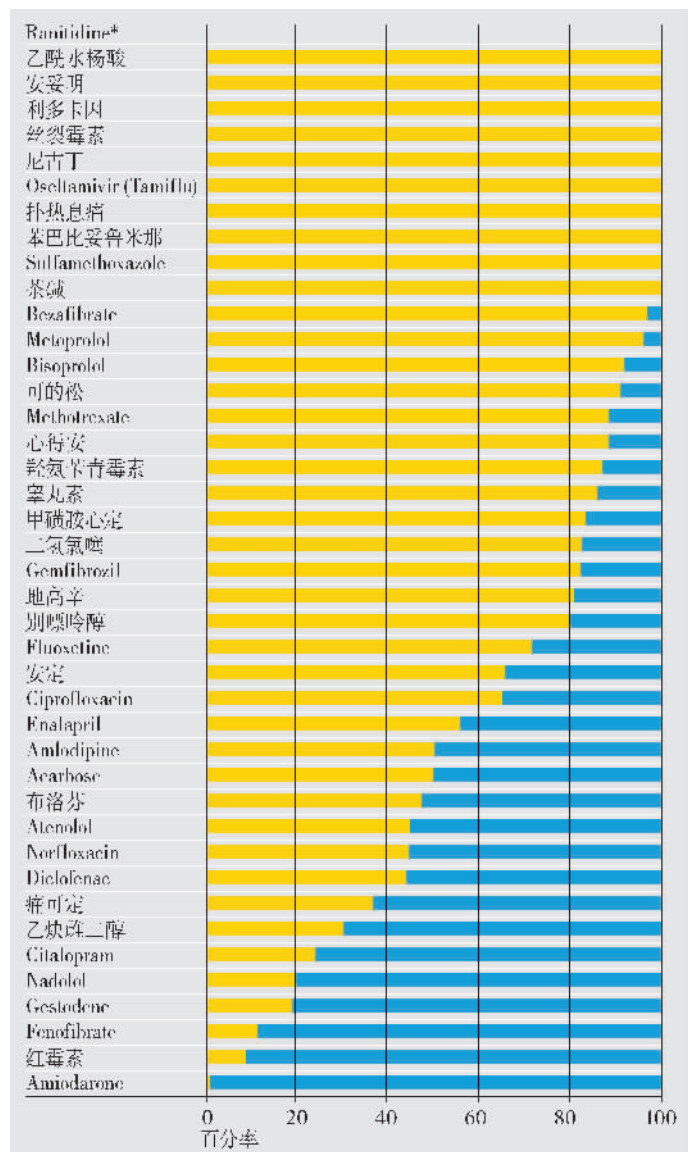
一种物质疏水性或水溶性越差，其对水生生物的毒性就越大。这可能表明，粪便部分的毒性一般大于尿部分的毒性。不过，这一情况更为复杂，因为不仅要考虑代谢的化

学物质，还要考虑数量，而且较大部分的活性物质一般通过尿道排泄。我们的分析的确提示了重大差异(图 2)。不管怎么说，所研究的物质中，24%的毒性完全通过尿释放，67%的物质的至少 50%的总毒性被排泄在尿中^[7]。通过尿源头分离，可以防止大比例的药物和激素进入废水。这不仅可以减轻废水处理厂的负担，而且还可以减少水污染。



图 2 42 种药物活性物质在人体内代谢后尿(黄色)和粪便(蓝色)部分的平均相对毒性^[7]。数值最高定标为 100%。不可能绝对比较各种不同的物质。例如，乙酰水杨酸的全部毒性都残留在尿中，而 diclofenac 只有 44% 的毒性被排泄在尿中。但尽管如此，通过这一途径排泄的 diclofenac 残留对水生生物构成的风险，可能还是要大于乙酰水杨酸。要想调研这一问题，需要进一步的模拟试验^[7]

* 没有用于这种特定模拟方法的关于 ranitidine 的合适的文献数据



- [1] Escher B.I., Bramaz N., Maurer M., Richter M., Sutter D., von Känel C., Zschokke M. (2005): Screening test battery for pharmaceuticals in urine and wastewater. *Environmental Toxicology & Chemistry* 24, 750–758.
- [2] Escher B.I., Bramaz N., Eggen R.I.L., Richter M. (2005): *In-vitro* assessment of modes of toxic action of pharmaceuticals in aquatic life. *Environmental Science & Technology* 39, 3090–3100.
- [3] Escher B.I., Pronk W., Suter M.J.F., Maurer M. (2006): Monitoring the removal efficiency of pharmaceuticals and hormones in different treatment processes of source-separated urine with bioassays. *Environmental Science & Technology* 40, 5095–5101.
- [4] Rutishauser B.V., Pesonen M., Escher B.I., Ackermann G.E., Aerni H.-R., Suter M.J.F., Eggen R.I.L. (2004): Comparative analysis of estrogenic activity in sewage treatment plant effluents involving three *in vitro* assays and chemical analysis of steroids. *Environmental Toxicology & Chemistry* 23, 857–864.
- [5] Lienert J., Bürki T., Escher B.I. (submitted): Reducing micro-pollutants with source control: Substance flow analysis of 212 pharmaceuticals in feces and urine. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, 12.–13.3.2007.
- [6] Escher B.I., Bramaz N., Richter M., Lienert J. (2006): Comparative ecotoxicological hazard assessment of beta-blockers and their human metabolites using a mode-of-action based test battery and a QSAR approach. *Environmental Science & Technology* 40, 7402–7408.
- [7] Lienert J., Güdel K., Escher B.I. (submitted): Screening method for ecotoxicological hazard assessment of 42 pharmaceuticals considering human metabolism and excretory routes. *Environmental Science & Technology*.

应用传统的中国知识



Tove A. Larsen, 化学工程师和 Novaquatis 项目负责人
 联合作者: H.-P. Bader, H.-J. Mosler, W. Gujer, E. Medilanski, R. Scheidegger, D.-B. Huang, R. Schertenleib

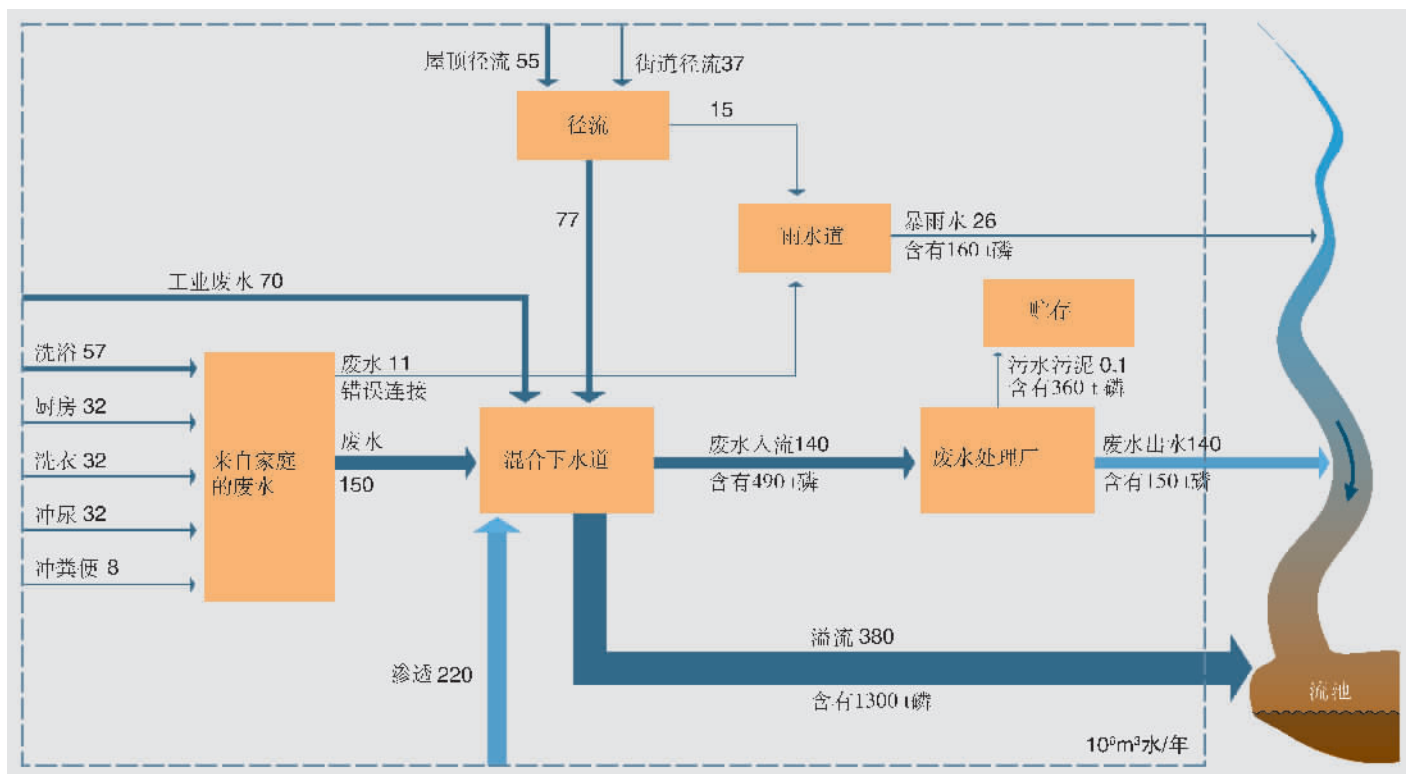
昆明——苏黎世的中国姐妹城市，决定解决它的废水问题。在基于营养物循环(中国一项长期确立的原则)的措施制定过程中,昆明正在社会问题和技术问题方面接受来自 Eawag 的支持。

大约 240万昆明居民的饮用水供应大部分来自滇池。但这一浅湖因该市的废水排放和地区农业废水排放而受到严重的磷污染。目前有时候,该湖的饮用水抽取量已在不断下降,不久的将来,很可能会完全停止那里的饮用水抽取。鉴于这种危险的局势,当局已号召努力将湖水质量恢复到1960年的水平。不过剩下的问题是,如何才能

实现这一目标,考虑到该系统的复杂性以及这种现实:可能的措施需要同时在技术方面和社会方面行之有效。

源头控制措施能解决这一问题吗? 在源头采取的措施是常规处理技术的重要替代方法。中国具有营养物循环的长期传统,在乡村地区,尿长期以来一直被用作肥

图 1 2000 年昆明的废水流(以百万 m³/年表示)当地缺乏的数据得到文献数据和苏黎世市参考数据的补充



料。这意味尿分离会成为改善滇池水质的一种可能的选择吗?为了研究这一问题,Eawag 在昆明实施了一个通过瑞士研究规划《NCCR北-南》^[1] 资助的三方项目。它包括:

- ▶ 分析昆明的废水流,模拟可能措施的成果;
- ▶ 调查有关利益攸关方对下列方面的意向:源头控制措施的接受程度、尿分离的推广以及可能的决策途径;
- ▶ 启动一个检验乡村地区尿分离无水便池的试验项目。

昆明的城市排水系统 我们采用一种为昆明排水系统而研制的简单的物流模型,试图确定来自各种源头的营养物的数量^[2]。在该模型中,与主要废水来源一起,显示了水、氮和磷流量:

- ▶ 家庭(分为5类:洗浴、厨房、洗衣、冲尿、冲粪便);
- ▶ 工业;
- ▶ 街道径流与屋顶径流;
- ▶ 污水渗透(包括地下水和河水)。

图1示出了废水流量和磷负荷量。显然,下水道和废水处理厂的能力不足,废水处理厂技术不够先进。所收集的废水中只有大约25%在6个废水处理厂之一得到处理,剩余大部废水则未经处理而通过溢流进入该湖。讨厌的渗透水加剧了这一问题,这些渗透水至少按1:1的比例稀释废水。结果,每年来自该市的总共 1960 t 磷中大约 1600 t 流入滇池。不过据估计^[3],如果要恢复1960年的水质,每年流入该湖的磷则不应超过60 t。考虑到目前城市/农业输入比例(约为 1:1^[4]),所以目标水平将为:该市每年排放的磷低于30 t。即便考虑到数据的高度不确定性,这些结论基本上也是不变的。

特殊的补救措施 为了提出合适补救措施的建议,用物流模型模拟了不同方案^[2]。这些方案中,两个最为重要的方案是:

- ▶ BAT(最佳可用技术),将昆明的城市排水系统提升到现代化水平,例如像苏黎世那样:减少渗透;消除错误连接;增加下水道系统能力以及在废水处理厂中应用最佳可用处理工艺。下水道系统所需的这些改造,将会使这种选择的费用高昂,而且极难以实施。
- ▶ BAT加尿分离,2/3的家庭安装尿分离便池。在这两种情况下,磷负荷都会大大下降。不过,采用BAT方案时,每年该市仍会有56 t 磷排入滇池。因此,末端管道法本身不足以达到理想的水质标准。这一措施可以得到这种支持:将部分处理过的废水分流进其他接受水体。但这会产生不利的生态影响,因为滇池不再会接受足够的水。因此,



图2 2种尿分离卫生设备:无水便池(左)和非混合抽水马桶(右)

不存在一个简单的解决方法,而是需要多种措施的结合。根据模拟,在“BAT加尿分离”方案下,每年排入该湖的磷只有39 t。由于我们考虑BAT方案有点不现实,所以需要其他源头控制措施(仅尿分离是不够的)。不管选择何种方案,成功的实施决定性地取决于可行性的认真评估以及所有利益攸关方的参与。

利益攸关方对尿分离的态度 在新技术得以大规模推广之前,必须确定相关行为人的兴趣和行动准备以及对相关决策过程的了解。因此,我们进行了深入的利益攸关方分析^[5,6]。确定了35位来自政治、行政、科学和商业界的不同的利益攸关方,并描述了他们对尿分离便池的兴趣以及他们对推广这种卫生设备的影响。对这一过程最大的影响是由关键性的利益攸关方施加的,即人大、政府、共产党、滇池保护局以及该市环保局和国家环保总局,但也包括房地产公司和城市规划当局。

绝大多数利益攸关方都认为源头控制措施(尤其是在工业废水和生活污水方面)是必要的,而且在今后20年内也是可行的。总的说来,各方都对尿分离的技术可行性和环境影响以及对与该技术的推广相关的社会接受性和制度灵活性给予了积极的评价。问及利益攸关方喜欢这两种尿分离装置中哪一种时(图2),他们说偏爱非混合冲水装置的程度超过费用较低的无水便池(图3)。不过要指出的是,在中国生产非混合装置肯定要比在西方国家生产这类装置更为便宜。

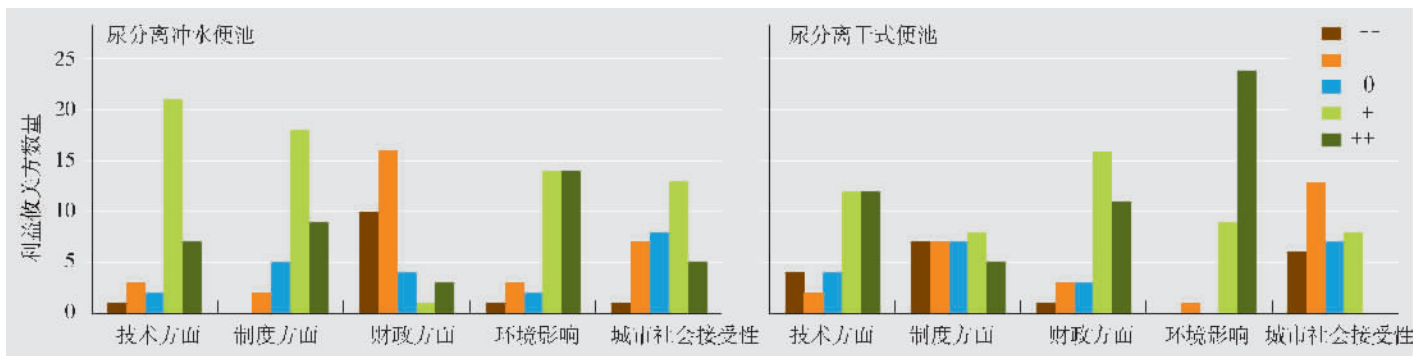


图3 利益攸关方对两种不同的尿分离便池装置的态度 按高度负百(--)到高度正面(++)的尺度加以评估

平稳决策过程的重要性 利益攸关方分析还旨在确定实施尿分离过程中所涉及的决策过程。如果昆明市广泛采用尿分离便池,那么实际上会采取何种形式?一种这类措施将要求国家环保总局与滇池保护局共同向中央政府和全国人大提交意见。如果该意见原则上获得通过,昆明市环境科学研究所最初将会负责实施一个研究小规模可行性的试验项目。只有在成功完成这一试验项目之后,滇池保护局才能大规模推广尿分离。

一项惊人的发现是现有制度方面的灵活性:虽然法律规定废水集中处理,但在目前的五年计划下,在该市实施一项创新性的试验项目也是完全有可能的。

试验项目:乡村区的尿分离便池 昆明市环境科学研究所与Eawag合作,启动了一个试验项目:在昆明郊区的一个乡村区安装100多座尿分离无水便池^[7]。虽然所获经验是积极的,但结果也表明了广泛推广情况下可能遇到的障碍和问题。根据该技术满意度的定量研究^[8],目前只有大约40%的居民使用无水便池,不过,使用者大多满意。提出的主要问题是位置问题:居民们已表示,喜欢将这类便池安装在室外,如果可能的话,甚至可安装在用户自己的宅基地之外。无疑,这部分是因为对气味问题的担心。

采取一种可持续解决办法的持久性和勇气 总的来说,尿分离已证明能对解决昆明废水问题做出重要贡献,虽然乡村地区和城市地区可能需要不同的方法。这一点也很显然,即昆明市正在极力恢复由于巨大的人口压力而不断退化的滇池的质量。对于这项极富挑战性的任务而言,没有标准的解决办法,不管是与处理过的废水分流

相结合的昆明下水道系统现代化,还是单单尿分离,都不可能解决滇池的问题。将需要各种措施的结合,也需要用于试验的持久性和勇气,这样一来,就可以在大规模实施合适的解决办法之前,对它们进行研制和试验。 ○○○

- [1] www.nccr-north-south.unibe.ch. The Swiss National Centres of Competence in Research (NCCR) are Swiss National Science Foundation research instruments. The NCCR-North-South is co-financed by the Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC).
- [2] Huang D.-B., Bader H.-P., Scheidegger R., Schertenleib R., Gujer W. (in press): Confronting Limitations: new solutions required for urban water management in Kunming City. *Journal of Environmental Management*.
- [3] Grey A.V., Li W. (1999): Case study on water quality modelling of Dianchi Lake, Yunnan Province, South West China. *Water Science and Technology* 40 (2), 35-43.
- [4] Liu, Y. (2005): Phosphorus flows in China: physical profiles and environmental regulation. Dissertation Wageningen University, Netherlands, 177 p.
- [5] Medilanski E., Chuan L., Mosler H., Schertenleib R., Larsen T.A. (2006): Wastewater management in Kunming, China: feasibility and perspectives of measures at the source from stakeholder point of view. *Environment and Urbanization* 18, 353-368.
- [6] Medilanski E., Chuan L., Mosler H., Schertenleib R., Larsen T.A. (in press): Identifying the institutional decision process to introduce decentralized sanitation in the city of Kunming (China). *Environmental Management*.
- [7] Kunming Institute of Environmental Science (2005): Implementation, monitoring and promotion of urine-separating dry toilets in Zhonghe Village, Kunming, China. Final Report. Available online, see [1].
- [8] Chuan L., Ronghuai L., Jinming F., Morel A., Medilanski E. (2005): Social acceptance of urine-diverting dry toilets in Zhonghe Village, Kunming, China. Result of the survey. Available online, see [1].

结论

尿循环利用： 第一次实践经验

2002年，巴塞尔兰州建设与环境保护局(BUD)启动了尿源头分离循环利用的试验项目。其主要目的是：研究替代性废水管理系统的可行性；关闭营养物圈；以及从水圈中去除成问题的物质。

自2005年6月以来，在位于利斯塔尔的州图书馆收集的尿已被用来每周生产20~30 L无污染的液体肥料(“Urevit”)。联邦农业部已颁发了肥料临时许可证。迄今为止，我们已了解到：

► 收集：非混合抽水马桶在卫生、可用性和维护等方面显示出不足。这方面需要进一步研发。无水小便器得到了很好的确认。考虑到气味的释放，需要认真规划贮尿池的位置。

► 处理：为了保护电渗析膜，进行了前超滤。营养物浓度增加4倍。无微量物质检出。

► 循环利用：Urevit是一种高质量的农业肥料。氮气的释放要求一种比化肥所需更精细的喷撒技术。在观赏植物的栽培过程中，需要考虑挥发性和高的盐浓度。

通过尿源头分离，可以实现确定的目标。但由于该装置仍处于研发状态，所以目前Urevit的生产成本高于化肥。但不管怎么说，我们打算继续采用这种方法，不过，重点将集中在产生特殊废水(医院)或大量尿(礼堂)的机构。 ○○○



Toni von Arx ,
巴塞尔兰州公用事业局(AIB)负责人

通过非混合来净化 海洋

据联合国环境规划署称，自2004年以来，沿海水域的“死亡区”数已从150个增加到200多个。随着每十年总数翻一番，它们危及渔业资源的程度已与过度捕捞相当。氧耗竭的死亡区的产生是由于氮和磷所致海水富营养化的结果——这肯定是未来主要的水污染控制问题之一。

工业化国家大约花了一百年时间来建造水力输送污水系统——在这一过程中产生了很多水污染问题。有效的废水处理厂的发展花50多年，这项工作远未完成，因为对海水的营养物输入仍然太高。

由于世界城市人口的快速增长，我们现有的卫生系统大大增加了海洋的富营养化。随后的任何补救措施都会是费钱的、长期的和可能为时过晚的。非混合抽水马桶系统不仅能回收利用营养物，而且还有助于节约宝贵的水和实现额外效益。

只有当工业化国家的我们证明源头控制措施可以满足多数严格的卫生要求和美学要求时，才能输出上述技术。除了缓解对海洋和我们自己水体的压力之外，这还为我们提供了一个与瑞士工业合作研发一种吸引人的出口产品的机会。所以首先它轮到我们的发明和不断使用新系统。这是确保为全世界人类消费保留足够的鱼供应的惟一途径。 ○○○



Willi Gujer, Eawag 董事
会成员，苏黎世ETH城
市水管理教授

现在该轮到 实践者了

Novaquatis 令人佩服地证明废水处理可以大大不同于我们习惯使用的方法。该项目对传统的想法表示怀疑，并促进废水管理界反省。这本身就是一大成果。

尿源头分离的主要难题之一是，如何以及在何处将排泄于尿中的营养物转化成肥料。初看上去，用于输送尿的新管道或用罐车运输似乎并非特别吸引人的选择。但它可以改变，例如，当尿去除与垃圾收集相结合时。同样吸引人的是这一想法：可以按分散的方式进行加工处理。

重要的是 Novaquatis 研发的有希望的解决办法应用于实践。当局需要批准采用这些新技术的建设项目，尽管现有法规中尚未对它们做出任何规定。而且，工业部门必须越来越多地参与这些新技术的研发和生产。

幸运的是，废水管理并不是一个理论思维产物——仅仅是科学家和研究人员的领域。相反，它是一个关系到我们所有人的问题。根据Zuchwil“零排放屋”开放日形成的长队，我觉得公众对创新事物的爱好是明显的。所以废水管理方面改变的条件看来是好的。现在已有了基础和初步经验。让我们现在来开发尿源头分离的机会和极限吧。○○○



Martin Würsten, 索洛图
思环境局水处负责人，瑞
士水污染控制协会
(VSA)主席

Incomplete literature list; see also www.novaquatis.eawag.ch. Further publications will appear by the end of 2007.

Most of these publications as well as the Novaquatis final report (in English and German) may be ordered from novaquatis@eawag.ch.

Publications in international scientific journals

Borsuk M.E., Lienert J., Maurer M., Larsen T.A. (in preparation): Using decision analysis to chart a path for innovative toilet technology. *Decision Analysis*.

Escher B.I., Eggen R.I.L., Schreiber U., Schreiber Z., Vye E., Wisner B., Schwarzenbach R.P. (2002): Baseline toxicity (narcosis) of organic chemicals determined by *in vitro* membrane potential measurements in energy-transducing membranes. *Environmental Science & Technology* 36, 1971–1979.

Escher B.I., Bramaz N., Eggen R.I.L., Richter M. (2005): *In vitro* assessment of modes of toxic action of pharmaceuticals in aquatic life. *Environmental Science & Technology* 39, 3090–3100.

Escher B.I., Bramaz N., Maurer M., Richter M., Sutter D., von Känel C., Zschokke M. (2005): Screening test battery for pharmaceuticals in urine and wastewater. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24, 750–758.

Escher B.I., Pronk W., Suter M. J.-F., Maurer M. (2006): Monitoring the removal efficiency of pharmaceuticals and hormones in different treatment processes of source-separated urine with bioassays. *Environmental Science & Technology* 40, 5095–5101.

Escher B.I., Bramaz N., Richter M., Lienert J. (2006): Comparative ecotoxicological hazard assessment of beta-blockers and their human metabolites using a mode-of-action-based test battery and a QSAR approach. *Environmental Science & Technology* 40, 7402–7408.

Huang D.-B., Bader H.-P., Scheidegger R., Schertenleib R., Gujer W. (in press): Confronting limitations: new solutions required in urban water management in Kunming City. *Journal of Environmental Management*.

Huisman J.L., Burckhardt S., Larsen T.A., Krebs P., Gujer W. (2000): Propagation of waves and dissolved compounds in sewer. *Journal of Environmental Engineering-ASCE* 126, 12–20.

Krebs P., Larsen T.A. (1997): Guiding the development of urban drainage systems by sustainability criteria. *Water Science and Technology* 35 (9), 88–98.

Larsen T.A., Gujer W. (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Science and Technology* 34 (3–4), 87–94.

Larsen T.A., Gujer W. (1997): The concept of sustainable urban water management. *Water Science and Technology* 35 (9), 3–10.

Larsen T.A., Gujer W. (2001): Waste design and source control lead to flexibility in wastewater management. *Water Science and Technology* 43 (5), 309–318.

Larsen T.A., Peters I., Alder A., Eggen R., Maurer M., Muncke J. (2001): Re-engineering the toilet for sustainable waste-water management. *Environmental Science & Technology* 35, 192A–197A.

Larsen T.A., Lienert J., Joss A., Siegrist H. (2004): How to avoid pharmaceuticals in the aquatic environment. *Journal of Biotechnology* 113, 295–304.

Larsen T.A., Maurer M., Udert K.M., Lienert J. (submitted): Nutrient cycles and resource management: Implications for the choice of wastewater treatment technology. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, March 2007.

Lienert J., Larsen T.A. (2006): Considering user attitude in early development of environmentally friendly technology: A case study of NoMix toilets. *Environmental Science & Technology* 40, 4838–4844.

Lienert J., Haller M., Berner A., Stauffacher M., Larsen T.A. (2003): How farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled anthropogenic nutrients (urine). *Water Science and Technology* 48 (1), 47–56.

Lienert J., Thiemann K., Kaufmann-Hayoz R., Larsen T.A. (2006): Young users accept NoMix toilets – a questionnaire survey on urine source separating toilets in a college in Switzerland. *Water Science and Technology* 54 (11–12), 403–412.

Lienert J., Bürki T., Escher B.I. (submitted): Reducing micropollutants with source control: Substance flow analysis of 212 pharmaceuticals in feces and urine. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, March 2007.

Lienert J., Güdel K., Escher B.I. (submitted): Screening method for ecotoxicological hazard assessment of 42 pharmaceuticals considering human metabolism and excretory routes. *Environmental Science & Technology*.

Maurer M., Schwegler P., Larsen T.A. (2003): Nutrients in urine: energetic aspects of removal and recovery. *Water Science and Technology* 48 (1), 37–46.

Maurer M., Rothenberger D., Larsen T.A. (2005): Decentralised wastewater treatment technologies from a national perspective: at what cost are they

competitive? *Water Science and Technology: Water Supply* 5 (6), 145–154.

Maurer M., Pronk W., Larsen T.A. (2006): Treatment processes for source separated urine. *Water Research* 40, 3151–3166.

Medilanski E., Chuan L., Mosler H.-J., Schertenleib R., Larsen T.A. (2006): Wastewater management in Kunming, China: a stakeholder perspective on measures at the source. *Environment and Urbanization* 18, 353–368.

Medilanski E., Chuan L., Mosler H.-J., Schertenleib R., Larsen T.A. (in press): Identifying the institutional decision process to introduce decentralized sanitation in the city of Kunming (China). *Environmental Management*.

Pahl-Wostl C., Schönborn A., Willi N., Muncke J., Larsen T.A. (2003): Investigating consumer attitudes towards the new technology of urine separation. *Water Science and Technology* 48 (1), 57–65.

Pronk W., Biebow M., Boller M. (2006): Electrodialysis for recovering salts from a urine solution containing micropollutants. *Environmental Science & Technology* 40, 2414–2420.

Pronk W., Biebow M., Boller M. (2006): Treatment of source-separated urine by a combination of bipolar electrodialysis and a gas transfer membrane. *Water Science and Technology* 53 (3), 139–146.

Pronk W., Palmquist H., Biebow M., Boller M. (2006): Nanofiltration for the separation of pharmaceuticals from nutrients in source-separated urine. *Water Research* 40, 1405–1412.

Pronk W., Zuleeg S., Lienert J., Escher B., Koller M., Berner A., Koch K., Boller M. (submitted): Pilot experiments with electrodialysis and ozonation for the production of a fertilizer from urine. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, March 2007.

Rauch W., Brockmann D., Peters I., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production. *Water Research* 37, 681–689.

Ronteltap M., Maurer M., Gujer W. (2007): Struvite precipitation thermodynamics in source-separated urine. *Water Research* 41, 977–984.

Rossi L., Lienert J., Larsen T.A. (submitted): Real-life efficiency of urine source separation: experience from households and an institutional setting. *Water Research*.

Spörri C., Peters I., Larsen T.A., Reichert P. (in preparation): A microsimulation model for optimizing urine tank management strategies of NoMix toilets. *Water Research*.

Udert K.M., Fux C., Münster M., Larsen T.A., Siegrist H., Gujer W. (2003): Nitrification and autotrophic denitrification of source-separated urine. *Water Science and Technology* 48 (1), 119–130.

Udert K.M., Larsen T.A., Biebow M., Gujer W. (2003): Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system. *Water Research* 37, 2571–2582.

Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Biologically induced precipitation in urine-collecting systems. *Water Science and Technology: Water Supply* 3 (3), 71–78.

Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. *Water Research* 37, 2667–2677.

Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2005): Chemical nitrite oxidation in acid solutions as a consequence of microbial ammonium oxidation. *Environmental Science & Technology* 39, 4086–4075.

Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2006): Fate of major compounds in source-separated urine. *Water Science and Technology* 54 (11–12), 113–120.

Wilsenach J.A., Maurer M., Larsen T.A., van Loosdrecht M.C.M. (2003): From waste treatment to integrated resource management. *Water Science and Technology* 48 (1), 1–9.

Other publications

Abegglen C., Maurer M. (2003): Nitrifikationskapazität der ARA Arosa. *Eawag Jahresbericht* 2002, 22–23.

Gilg R., Lienert J. (2003): News from Swiss Novaquatis Project. *EcoEng Newsletter* No. 7: www.tees.ch/EcoEng031/EcoEng031_Novaquatis.html.

Huang D.B., Schertenleib R., Siegrist H., Larsen T.A., Gujer W. (2004): Assessment method for evaluating existing and alternative measures of urban water management. In: "ecosan – closing the loop" Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation in Lübeck 2003. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, p. 749–756.

Kaufmann-Hayoz R. (2002): Mülltrennung und Recycling auch beim Abwasser? *Universität Bern – Porträt einer schweizerischen Hochschule* 4, 33.

Koch G. (2001): Separate Urinentsorgung – die Revolution am "stillen Örtchen". *Bau- und Umweltzeitung* (Informationen aus der Bau- und Umweltschutzdirektion).

Koch G. (2002): BL Revolution auf dem WC. *Umwelt BUWAL*

Koch G. (2002): Urinabtrennung in der neuen Kantonsbibliothek. *Bau- und Umwelt Zeitung* (Informationen aus der Bau- und Umweltschutzdirektion).

Kühni M., Koch G., Ott E. (2002): Zukunftsweisende Sanitär- und Abwassertechnik – erstes Pilotprojekt der Schweiz für Urinseparierung, -speicherung und -steuerung im technischen Massstab. *Gas Wasser Abwasser* 11, 827–835.

Larsen T.A., Udert K.M. (1999): Urinseparierung – ein Konzept zur Schliessung der Nährstoffkreisläufe. *Wasser & Boden* 51, 6–9.

Larsen T.A., Gujer W. (1999): Tackling problems at the source – even in the household. *Eawag news* 48, 6–7.

Larsen T.A. (1999): Nährstoffkreisläufe in der Siedlungswasserwirtschaft – Technische Möglichkeiten von Eliminations- und Recyclingverfahren. *Schweizer Ingenieur und Architekt* 19, 8–10.

Larsen T.A. (2000): Revolution im Badezimmer – Das WC der etwas anderen Art. *Frauenzeitung* (FRAZ) 3/4/5, 31.

Larsen T.A. (2000): Revolution im Badezimmer – Das WC der etwas anderen Art. *Forum Hauswirtschaft* 10, 23–24.

Larsen T.A., Boller M. (2001): Perspectives of nutrient recovery in DESAR concepts. In: Lens P., G. Zeeman, G. Lettinga (Eds.), *Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, Systems and Implementation*. Integrated Environmental Technology Series. IWA Publishing, p. 387–410.

Larsen T.A., Rauch W., Gujer W. (2001): Waste design paves the way for sustainable urban wastewater management. Proceedings of the International UNESCO Symposium "Frontiers in Urban Water Management: Deadlock or Hope?" UNESCO, Paris, p. 219–229.

Larsen T.A., Gujer W. (2001): Elimination von Mikroverunreinigungen – Mit Massnahmen an der Quelle zu mehr Flexibilität in der Abwasserreinigung. *Gas Wasser Abwasser* 3, 159–166.

Larsen T.A., Alder A., Eggen R.I., Maurer M., Muncke J., Peters I. (2001): Trenn-WC auf dem Prüfstand – das Projekt Novaquatis. *Eawag-Jahresbericht* 2000, 7–11.

Larsen T.A., Alder A., Eggen R.I., Maurer M., Muncke J., Peters I. (2001): Testlauf im Kraftwerk 1. *Magazin Uni Zürich* und *Bulletin der ETH Zürich* 281, 47–49.

Larsen T.A., Gujer W. (2002): Waste design, source control and on-site-Technologien: Der Weg zu einer nachhaltigen Siedlungswasserwirtschaft. *KA – Wasserwirtschaft Abwasser Abfall* 49, 1372–1379.

Larsen T.A., Lienert J. (2003): Societal implications of re-engineering the toilet. *Water Intelligence Online* : www.iwaponline.com/wio/2003/03/default001.htm

Larsen T.A., Lienert J. (2004): Coping with micropollutants in urine-based fertilizer. Proceedings of the DeSa/R Symposium, Berching/Opf., Germany. "DeSa/R – Means to achieve the millenium goal for sanitation", p. 155–169.

Larsen T.A., Lienert J., Maurer M., Gujer W. (2005): Ökologische Infrastrukturinnovationen in der Siedlungswasserwirtschaft: Ansätze und Perspektiven. In: Loske R., R. Schaeffer (Hrsg.) *Die Zukunft der Infrastrukturen – Intelligente Netzwerke für eine nachhaltige Entwicklung*. Metropolis-Verlag, Marburg, S. 347–367.

Lienert J., Larsen T.A. (2002): Urinseparierung – eine Alternative für die schweizerische Siedlungswasserwirtschaft? *Gas Wasser Abwasser* 11, 819–826.

Lienert J., Larsen T.A. (2003): NoMix-Technologie: Wie gut ist die Akzeptanz? *EAWAG news* 57, 14–17.

Lienert J. (2003): Novaquatis – Ein Forschungsprojekt der Eawag. Schriftliches Interview mit Judit Lienert. *Novatlantis* (Nachhaltigkeit im ETH Bereich). *Novatlantis News*.

Lienert J., Larsen T.A. (2004): Introducing urine separation in Switzerland: NOVAQUATIS, an interdisciplinary research project. In: "ecosan – closing the loop" Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation in Lübeck 2003. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, p. 891–899.

Lienert J., Larsen T.A. (2005): Making the first step towards a more sustainable urban water management system – with the NoMix toilet. *European Water Day, 64th ASTEE congress*, Paris, France.

Lienert J., Larsen T.A. (2006): Novaquatis – a building block for innovative sanitation technology. In: Lanz K., L. Müller, C. Rentsch, R. Schwarzenbach (Eds.) *Who owns the water?* Lars Müller Publishers, Baden, Switzerland, p. 380–381.

Lienert J., Larsen T.A. (2006): Novaquatis, a cross-cutting research project from Switzerland. Why we consider urine source separation. Abschlussseminar des EU-Demonstrationsvorhabens SCST (Sanitation Concepts for Separate Treatment); Kompetenz-Zentrum Wasser Berlin.

Lienert J., Larsen T.A. (submitted): Pilot projects in bathrooms: a new challenge for wastewater professionals.

Maurer M., Muncke J., Larsen T.A. (2002): Technologies for nitrogen recovery and reuse. In: Lens P., L. Hulshoff Pol, P. Wilderer, T. Asano (Eds.), *Water Recycling and Resource Recovery*

in Industry: Analysis, Technologies and Implementation. IWA Publishing, p. 491–510.

Maurer M., Schwegler P. (2003): Stickstoff rezyklieren oder eliminieren – Ökobilanzvergleich von Urinseparation und Denitrifikation. Eawag-Jahresbericht 2002, 71–72.

Maurer M. (2003): Nährstoffrecycling in der Siedlungsentwässerung. PUSCH Praktischer Umweltschutz Schweiz, Zürich, Thema Umwelt 2, 6–7.

Muncke J., Maurer M. (2001): Paradigmawechsel in der Toilette – Probleme beim Gewässerschutz führen zu einem Überdenken der heutigen Abwasserentsorgung. Gebäudetechnik 6, 60–61.

Muncke J., Maurer M. (2001): Urin separat sammeln; NoMix – die Toilette der Zukunft? Umwelt Focus 5, 13–17.

Muncke J., Maurer M. (2001): Abwasserentsorgung: Heutige Probleme und Wege in die Zukunft, die Stadt – les villes (Zeitschrift des schweizerischen Städteverbands, SSV, Bern) 6, 21–21.

Muncke J., Maurer M. (2002): Vor einem Paradigmawechsel bei der Toilette. Haus Tech S, 38–39.

Muncke J., Maurer M. (2002): Changerment de paradigme dans les toilettes. Batitech.

Peters I., Brassel K.-H., Spörri C. (2002): A micro-simulation model for assessing urine flows in urban wastewater management. In: Rizzoli, A.E., A.J. Jakemann (Eds). Integrated Assessment and Decision Support. Proceedings of the 1st Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, p. 508–513.

Peters I., Brassel K.-H., Spörri C. (2002): Modeling the diffusion of urine source separation technology. Presented at the Annual Meeting of the Regional Science Association International, British and Irish section, Brighton, UK.

Pronk W. (2005): Urinbehandlung mit Ozonung und Elektrodialyse, Novatlantis News Update.

Pronk W., Lienert J., Boller M. (2006): Siedlungswasserwirtschaft: Ein Pilotprojekt geht neue Wege. Novatlantis News Update Nr. 6.

Pronk W., Biebow M., Boller M. (2004): Assessment of processing alternatives for source-separated urine. Proceedings of the 4th IWA World Water Congress and Exhibition, Marrakech, Morocco.

Ronteltap M., Biebow M., Maurer M., Gujer W. (2004): Thermodynamics of struvite precipitation in source separated urine. In: "ecosan – closing the loop" Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation in Lübeck 2003. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, p. 463–470.

Rossi L., Lienert J., Rauch W. (2004): At-source control of urine to prevent acute wet-weather impacts of ammonia. Presented at 5th International

Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management (NOVATECH). Proceedings, Vol 2, Lyon, France, p. 919–926.

Simons J., Lienert J., Clemens J. (2006): Phosphorus-Availability from substrates of conventional and non-conventional waste water treatment systems. Proceedings of the IWA (International Water Association) World Water Congress, Beijing, China.

Udert K.M., Högger R., Larsen T.A., Gujer W. (2004): Urinausfällungen in Urinalen und NoMix-Toiletten. Vereinigung Schweizerischer Sanitär- und Heizungsfachleute; Installateur 11, 16–18.

Udert K.M., Högger R., Larsen T.A., Gujer W. (2004): Fällungsprodukte in Urinalen und NoMix-Toiletten. Gas Wasser Abwasser 12, 913–920.

Udert K.M., Lienert J., Larsen T.A. (2006): Novaquatis – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft. Gewässerschutz – Wasser – Abwasser 204. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 19/1–19/1.

PhD, Diploma, and Semester Theses'

Aegglen C., Haag S. (2002): Nitrifikationskapazität der ARA Arosa. Diplomarbeit am Institut für Hydrodynamik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich/Eawag.

Biebow M. (2002): Optimierung der Phosphatausfällung in urinhaltigen Lösungen. Diplomarbeit am Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft der Technischen Universität Dresden/Eawag.

Bill C., Wüthrich R. (2003): Abbau von Östrogen in Urin, Diplomarbeit am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich/Eawag.

Bumann A. (2006): Modeling the distribution of different pharmaceuticals in a river. Semester thesis in the Safety and Environmental Technology Group of ETH Zürich/Eawag.

Brockmann D. (2001): Entwicklung eines stochastischen Modells zur Simulation der NoMix Technologie. Diplomarbeit Eawag/Universität Kaiserslautern Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft.

Elmer P. (2000): Waste design durch Urinseparation. Diplomarbeit am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich/Eawag.

Haller, M. (2000): Düngeverhalten von Bio- und IP-Landwirten. Umfrage zur Akzeptanz des Projektes Novaquatis. Semesterarbeit am Departement für Umweltnaturwissenschaften der ETH Zürich/Eawag.

Hausherr R. (2004): Dünger aus Urin? Einfluss von pH und Temperatur auf die Partikelgrößenverteilung von Struvit. Diplomarbeit am Institut

für Hydrodynamik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich/Eawag.

Mayer, M. (2001): Verfahrenstechnische Auslegung einer Urin-Eindampfanlage. Diplomarbeit an der Fachhochschule beider Basel, MuttENZ/Eawag.

Richter M. (2003): Ökotoxikologische Risikobewertung von Pharmaka in Urin nach Behandlung im Bioreaktor und durch Membranfiltration. Diplomarbeit an der Hochschule Anhalt (FH), Hochschule für angewandte Wissenschaften Bernburg-Dessau-Köthen, Eawag und Hochschule Wädenswil.

Ronteltap M. (planned for 2007): Precipitation of phosphate compounds during the processing of source separated urine. Dissertation ETH Zürich/Eawag.

Schmidtke J. (2004): Marktpotential der Trenntechnologie in den neuen Bundesländern. Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden/Eawag.

Schwegler P. (2002): Vergleich der konventionellen Abwasserreinigung und der Urinseparation zur Stickstoffelimination mittels Ökobilanzen. Diplomarbeit an der Fachhochschule beider Basel, MuttENZ/Eawag.

Sutter D., Zschokke M. (2003): Abbau von Östrogenen und Pharmaka in Urinbioreaktoren, Diplomarbeit am Departement für Umweltnaturwissenschaften der ETH Zürich/Eawag.

Thiemann K. (2006): Neue Dinge für eine nachhaltige Entwicklung. Ansätze zu einer Kulturpsychologie nachhaltigen Produktdesigns. Doktorarbeit an der Philosophisch-humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern, Schweiz.

Tobler N., Niederer C. (2001): Ökotoxikologische Bewertung von Pharmazeutika. Semesterarbeit am Departement für Umweltnaturwissenschaften der ETH Zürich/Eawag.

Udert K.M. (2003): The fate of nitrogen and phosphorus in source-separated urine. Dissertation at the Institute for Hydrodynamics and Water Management, ETH Zürich/Eawag.

von Känel C. (2002): Extraktion von Pharmazeutika aus Urin und deren Toxizitätsmessung mit Hilfe von zwei biologischen Testsystemen, Diplomarbeit am Departement für Umweltnaturwissenschaften der ETH Zürich/Eawag.

Zuleeg S. (2005): Entfernung von Mikroverunreinigungen aus Urin mittels Ozonung. Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden/Eawag.

A complete list and pdf files of all Eawag publications are available: <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>
Search for author, title or keyword. In case of problems: bibliothek@eawag.ch

- [04666] **Escher B.I., Quayle P., Muller R., Schreiber U., Mueller J.F.** (2006): Passive sampling of herbicides combined with effect analysis in algae using a novel high-throughput phytotoxicity assay (Maxi-Imaging-PAM). *Journal of Environmental Monitoring* 8, 456–464.
- [04667] **Rothenberger S., Zurbrugg C.** (2006): Decentralised composting for cities of low- and middle-income countries. In: Anonymous Waste Concern, Dhaka, Bangladesh and Eawag, Dübendorf, Switzerland, 108 pp.
- [04668] **Schwarzenbach R.P., Escher B.I., Fenner K., Hofstetter T.B., Johnson C.A., von Gunten U., Wehrli B.** (2006): The challenge of micropollutants in aquatic systems. *Science* 313, 1072–1077.
- [04669] **Köhler A., Hellweg S., Escher B.I., Hungerbühler K.** (2006): Organic pollutant removal versus toxicity reduction in industrial wastewater treatment: The example of wastewater from fluorescent whitening agent production. *Environmental Science & Technology* 40, 3395–3401.
- [04670] **Gianella S., Maurer M.** (2006): Infrastrukturmanagement. *GWA Gas, Wasser, Abwasser* 9, 733–742.
- [04671] **Gianella S., Gujer W.** (2006): Nachführungsstrategie für Infrastrukturdaten. *GWA Gas, Wasser, Abwasser* 11, 887–891.
- [04672] **Wanner O., Eberl H.J., Morgenroth E., Noguera D.R., Picioreanu C., Rittmann B.E., van Loosdrecht M.** (2006): Mathematical modeling of biofilms. In: Anonymous IWA Publishing, London, UK, 208 pp.
- [04673] **Yang H., Wang L., Abbaspour K.C., Zehnder A.J.B.** (2006): Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade. *Hydrology and Earth System Sciences* 10, 443–454.
- [04674] **Hostmann M.** (2006): Einbezug der Akteure bei Wasserbauprojekten: Schwierigkeiten und Chancen. *Ingenieurbiologie* 3, 11–15.
- [04675] **Markard J., Stadelmann M., Truffer B.** (2006): Analysis of innovation processes and development options: the case of biogas technology in Switzerland. *SPRU Conference on the Future of Science, Technology and Innovation Policy*, Brighton, UK, 11–13 September 2006, 16 pp.
- [04676] **Kourtidis K., Kioutsioukis I., McGinnis D.F., Rapsomanikis S.** (2006): Effects of methane outgassing on the Black Sea atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6, 5173–5182.
- [04677] **Brandl R.C., Bucheli T.D., Kupper T., Stadelmann F.X., Tarradellas J.** (2006): Optimised accelerated solvent extraction of PCBs and PAHs from compost. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 86, 505–525.
- [04678] **Blotvogel J., Reineke A.K., Hollender J., Held T.** (2006): Überwachung von NSO-Heterocyclen an Teeröl-kontaminierten Standorten. *Grundwasser* 4, 295–297.
- [04679] **Wilhelm S., Hintze T., Livingstone D.M., Adrian R.** (2006): Long-term response of daily epilimnetic temperature extrema to climate forcing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63, 2467–2477.
- [04680] **Jankowski T., Weyhenmeyer G.A.** (2006): The role of spatial scale and area in determining richness-altitude gradients in Swedish lake phytoplankton communities. *Oikos* 115, 433–442.
- [04681] **Fenner K., Canonica S., Escher B.I., Gasser L., Spycher S., Tülp H.C.** (2006): Developing methods to predict chemical fate and effect endpoints for use within REACH. *Chimia* 60, 683–690.
- [04682] **Jia S.F., Yang H., Zhang S.F., Wang L., Xia J.** (2006): Industrial water use Kuznets curve: Evidence from industrialized countries and implications for developing countries. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce* 132, 183–191.
- [04683] **Zurbrugg C., Diener S.** (2006): Larven fressen Müll – eine Alternative zur Kompostierung? *ISWA-CH Info* 4 S.
- [04684] **Fenner K., Escher B.I.** (2006): Umweltchemie und Ökotoxikologie im Spannungsfeld von Wissenschaft und Praxis. *GWA* 2, 121–126.
- [04685] **Klasmeier J., Matthies M., Macleod M., Fenner K., Scheringer M., Stroebe M., Le Gall A.C., McKone T., van de Meent D., Wania F.** (2006): Application of multimedia models for screening assessment of long-range transport potential and overall persistence. *Environmental Science & Technology* 40, 53–60.
- [04686] **Manser R., Gujer W., Siegrist H.** (2006): Decay processes of nitrifying bacteria in biological wastewater treatment systems. *Water Research* 40, 2416–2426.
- [04687] **Rieger L., Alex J., Gujer W., Siegrist H.** (2006): Modelling of aeration systems at wastewater treatment plants. *Water Science and Technology* 53 (4–5), 439–447.
- [04688] **Siegrist H., Joss A.** (2006): Leistung der heutigen Abwasserreinigung und innovative Ansätze für das zukünftige Design. *DWA Tagung "Elimination organischer Spurenstoffe und Mikroorganismen"*, Koblenz, Deutschland, 9 S.
- [04689] **Siegrist H., Joss A.** (2006): Leading-edge processes on urban wastewater treatment – Presentation of the European Project NEPTUNE. *ECOMONDO*, Rimini, Italy, 6 pp.
- [04690] **Siegrist H., Bassanello C.** (2006): Mess- und Regeltechnik auf der ARA. *VSA Fortbildungskurs 2006, Automatisierungstechnik der Abwasserentsorgung*, 61 S.
- [04691] **Dominguez D., Truffer B., Gujer W.** (2006): Driving forces in the long range development of wastewater treatment plants. *iEMS Third Biennial Meeting, "Summit on Environmental Modelling and Software"*, International Environmental Modelling and Software Society, Burlington, USA, 6 pp.
- [04692] **Burkhardt M.** (2006): Untersuchung zum Auswaschverhalten. *Schweizer Baujournal SBJ* 6, S. 44.
- [04693] **Koottatep T., Panuvatvanich A., Morel A.** (2006): Wastewater effluent polishing systems of anaerobic baffled reactor treating black-water from households. *7th Specialised Conference on Small Water and Wastewater Systems*, Mexico City, 8 pp.
- [04694] **Berg M., Pham T. K. T., Stengel C., Pham H.V., Tong N.T., Nguyen V.D., Giger W., Stüben D.** (2006): Hydrological and sedimentary controls leading to groundwater arsenic contamination in Southern Hanoi under a regime of high water abstraction. *National workshop on groundwater arsenic contamination in the Red River Plain, Hanoi, Vietnam*, 10 pp.
- [04695] **Dokulil M.T., Jagsch A., George G.D., Anneville O., Jankowski T., Wahl B., Lenhart B., Blenkner T., Teubner K.** (2006): Twenty years of spatially coherent deepwater warming in lakes across Europe related to the North Atlantic Oscillation. *Limnology and Oceanography* 51, 2787–2793.
- [04696] **Diener S.** (2006): Eine Fliege als ökologischer Ingenieur. *Kompostforum Schweiz* 3 S.
- [04697] **Simons J., Lienert J., Clemens J.** (2006): Phosphorus-availability from substrates of conventional and non-conventional waste water treatment systems. *IWA (International Water Association) World Water Congress*, Beijing, China, 2 pp.
- [04698] **Barbante C. et al.** (2006): One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica. *Nature* 444, 195–198.
- [04699] **Canonica S., Hellrung B., Müller P., Wirz J.** (2006): Aqueous oxidation of phenylurea herbicides by triplet aromatic ketones. *Environmental Science & Technology* 40, 6636–6641.

- [04700] **Gujer W.** (2006): Activated sludge modeling: past, present and future. *Water Science and Technology* 53 (3), 111–119.
- [04701] **Hug T., Gujer W., Siegrist H.** (2006): Modelling seasonal dynamics of “*Microthrix parvifera*”. *Water Science and Technology* 54 (1), 189–198.
- [04702] **Reinhardt M., Müller B., Gächter R.** (2006): Retentionsweiher. Ein Beitrag zur Sanierung der Mittellandseen. *gwa* 86, 647–654.
- [04703] **Gianella S., Gujer W.** (2006): Improving the information governance of public utilities through an organizational knowledge base. The first world congress on engineering asset management (WCEAM), Gold Coast, Queensland, Australia, 12 pp.
- [04704] **Udert K.M., Lienert J., Larsen T.A.** (2006): Novaquatis – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft. *Gewässerschutz – Wasser – Abwasser* 204, 19/1–19/14.
- [04705] **Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W.** (2006): Fate of major compounds in source-separated urine. *Water Science and Technology* 54 (11–12), 113–120.
- [04706] **Escher B.I., Bramaz N., Richter M., Lienert J.** (2006): Comparative ecotoxicological hazard assessment of beta-blockers and their human metabolites using a mode-of-action-based test battery and a QSAR approach. *Environmental Science & Technology* 40, 7102–7108.
- [04707] **Sharma P., Raina V., Kumari R., Malhotra S., Dogra C., Kumari H., Kohler H.P.E., Buser H.R., Holliger C., Lal R.** (2006): Haloalkane dehalogenase LinB is responsible for beta- and delta-hexachlorocyclohexane transformation in *Sphingobium indicum* B90A. *Applied and Environmental Microbiology* 72, 5720–5727.
- [04708] **Geueke B., Heck T., Limbach M., V.N., Seebach D., Kohler H.P.E.** (2006): Bacterial beta-peptidyl aminopeptidases with unique substrate specificities for beta-oligopeptides and mixed beta, alpha-oligopeptides. *Febs Journal* 273, 5261–5272.
- [04709] **Giger W., Schaffner C., Kohler H.P.E.** (2006): Benzotriazole and tolyltriazole as aquatic contaminants. 1. Input and occurrence in rivers and lakes. *Environmental Science & Technology* 40, 7186–7192.
- [04710] **Yildirim S., Ruinatscha R., Gross R., Wohlgenuth R., Kohler H.P.E., Witholt B., Schmid A.** (2006): Selective hydrolysis of the nitrile group of cis-dihydrodiols from aromatic nitriles. *Journal of Molecular Catalysis B-Enzymatic* 38, 76–83.
- [04711] **Lienert J., Larsen T.A.** (2006): Novaquatis: Baustein für eine Sanitärtechnologie der Zukunft. In: Lanz K., L. Müller, C. Rentsch, R. Schwarzenbach (Hrsg.), *Wem gehört das Wasser?* Lars Müller Publishers, Baden, Schweiz, 380–381.
- [04712] **Hug S.J., Bahnemann D.** (2006): Infrared spectra of oxalate, malonate and succinate adsorbed on the aqueous surface of rutile, anatase and lepidocrocite measured with in situ ATR-FTIR. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* 150, 208–219.
- [04713] **Ahmed M.F., Ahuja S., Alauddin M., Hug S.J., Lloyd J.R., Pfaff A., Pichler T., Saltikov C., Stute M., van Geen A.** (2006): Ensuring safe drinking water in Bangladesh. *Science* 314, 1687–1688.
- [04714] **Gianella S., Gujer W.** (2006): Modeling critical knowledge for information governance in public wastewater utilities. 7th International Conference on Hydroformatics, Nice, France, 8 pp.
- [04715] **Tockner K., Paetold A., Karas U., Claret C., Zettel J.** (2006): Ecology of braided rivers. In: Sambrook Smith G.H., J.L. Best, C. Britton, G.E. Pett (Eds.), *Braided Rivers*, Blackwell Science, Oxford, UK, 339–359.
- [04716] **Trottmann N., Langhans S.D., Tockner K.** (2006): Schwemmgut als Ausbreitungsmedium. Das Innenleben eines unterschätzten Naturstoffs. *Wasser Energie Luft* 98, 153–159.
- [04734] **Rosenfeldt E.J., Linden K.G., Canonica S., von Gunten U.** (2006): Comparison of the efficiency of center dot OH radical formation during ozonation and the advanced oxidation processes O_3/H_2O_2 and UV/H_2O_2 . *Water Research* 40, 3695–3704.
- [04735] **Teodoru C., Dimopoulos A., Wehrli B.** (2006): Biogenic silica accumulation in the sediments of Iron Gate I Reservoir on the Danube River. *Aquatic Sciences* 68, 469–481.
- [04738] **Hartenbach A., Hofstetter T.B., Berg M., Bolotin J., Schwarzenbach R.P.** (2006): Using nitrogen isotope fractionation to assess abiotic reduction of nitroaromatic compounds. *Environmental Science & Technology* 40, 7710–7716.
- [04740] **Edmunds W.M., Ma J., Aeschbach-Hertig W., Kipfer R., Darbyshire D.P.F.** (2006): Groundwater recharge history and hydrogeochemical evolution in the Minqin Basin, North West China. *Applied Geochemistry* 21, 2148–2170.
- [04741] **Werth C.J., Cirpka O.A., Grathwohl P.** (2006): Enhanced mixing and reaction through flow focusing in heterogeneous porous media. *Water Resources Research* 42, W12414.
- [04742] **Lienert J., Thiemann K., Kaufmann-Hayoz R., Larsen T.A.** (2006): Young users accept NoMix toilets – a questionnaire survey on urine source separating toilets in a college in Switzerland. *Water Science and Technology* 54 (11), 103–112.
- [04744] **Jenny A., Fuentes F.H., Mosler H.J.** (2006): Psychological factors determining individual compliance with rules for common pool resource management: the case of a Cuban community sharing a solar energy system. *Human Ecology*, 12 pp.
- [04745] **Altherr A.M., Mosler H.J., Tobias R., Butera F.** (2006): Attitudinal and relational factors predicting the use of solar water disinfection: a field study in Nicaragua. *Health Education & Behavior* XX, 1–14.
- [04746] **Mosler H.J., Brucks W.M.** (2006): Kooperation und Wettbewerb in sozialen Dilemmas. In: Bierhoff H.W., D. Frey (Hrsg.), *Handbuch der Sozialpsychologie und Kommunikationspsychologie* (Handbuch der Psychologie, Band 3). Hogrefe, Göttingen, Deutschland, 677–683.
- [04747] **Jenny A., Díaz López J.R., Mosler H.J.** (2006): Household energy use patterns and social organisation for optimal energy management in a multi-user solar energy system. *Progress in Photovoltaics* 14, 353–362.
- [04748] **Mosler H.J.** (2006): Better be convincing or better be stylish? A theory based multi-agent simulation to explain minority influence in groups via arguments or via peripheral cues. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 9, 18 pp.
- [04750] **Leuz A.K., Mönch H., Johnson C.A.** (2006): Sorption of Sb(III) and Sb(V) to goethite: Influence on Sb(III) oxidation and mobilization. *Environmental Science & Technology* 40, 7277–7282.
- [04751] **Hormes A., Beer J., Schlüchter C.** (2006): A geochronological approach to understanding the role of solar activity on Holocene glacier length variability in the Swiss Alps. *Geografiska Annaler Series A-Physical Geography* 88A, 281–294.
- [04754] **Reinartz R., Bloesch J.** (2006): History and perspectives of “living fossils” (sturgeons) in the Danube River. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 29, 1703–1708.
- [04755] **Coops H., Tockner K., Amoros C., Hein T., Quinn G.** (2006): Restoring lateral connections between rivers and floodplains: Lesson from rehabilitation projects. In: Anonymous *Ecological Studies*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 15–32.
- [04756] **Kallistova A.Y., Kevbrina M.V., Pimenov N.V., Rusanov I.I., Rogozin D.Y., Wehrli B., Nozhevnikova A.N.** (2006): Sulfate reduction and methanogenesis in the Shira and Shunet meromictic lakes (Khakasia, Russia). *Microbiology* 75, 720–726.

Eawag 新所长的一封信



Janet G. Hering, 博士, Eawag 所长, 苏黎世 ETH 环境生物地球化学教授

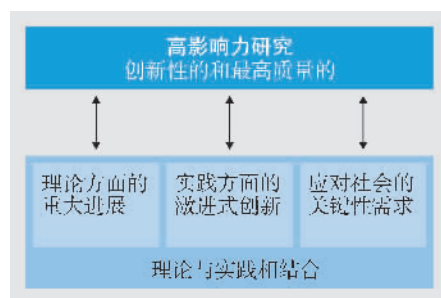
亲爱的 Eawag 同事们和朋友们:

我很高兴在作为 Eawag 所长任期初向你们致词。我对被选任这一职务深感荣幸——从专业方面看,这是我的一个很大的机遇,但也是一种巨大的责任。但我相信,在 Eawag 非常有才干和富有献身精神的研究人员和支撑人员的帮助下,我能成功履行这一职责。

差不多 20 年前,我曾非常有幸地来到 Eawag,与当时的所长 Werner Stumm 教授一同工作。在 Werner 的领导下, Eawag 确立了其作为环境科学与技术领先研究所的世界声誉。着重于基础科学是 Eawag 环境研究的一个标志。在接下来一位所长 Sascha Zehnder 教授的领导下, Eawag 的研究特点的传统得到继续。研究重点被加强:加强水生科学与技术,而且还扩大到包括社会科学,并扩展国际活动,尤其是在发展中国家。最近, Eawag 已从 Ueli BUNDI 所长的领导下获益。他通过强调行动领域(在 Eawag 内外都是显而易见的)对 Eawag 研究活动的确定做出了贡献。他任期的另一个亮点是 Forum Chriesbach 的建设与启用,该大楼提

供了绿色建筑的一个范例。

现在,作为 Eawag 所长沿续这些杰出领导人及其前任是我的巨大挑战和机遇。在其非常有才干的员工的帮助下,我期待着将 Eawag 定位于 21 世纪世界著名的水科学与技术研究所。人口的不断增长和气候变化将会导致对供水和水生生态系统压力的增加。印度和中国的快速发展已导致重大的环境退化。Eawag 要在研发这些问题的工程解决办法方面以及在为这些工程方法建立基础科学基础方面发挥至关重要的作用。在瑞士,各地区面临着这一需求:更换水处理与供应以及废水输送与处理基础设施。这是实施水和废水管理新技术和新范例的一个机会。人们还在继续关注渔业生机、河流恢复、防洪以及地下水质量。在所有这些方面,将需要对付气候变化可能引起的影响。Eawag 非常适合迎接这些挑战,因为它拥有四大实力,这些实力的组合是世界上独一无二的。首先,它拥有明确的水科学与技术重点。第二,它拥有杰出的人力基础,即包括有才干的和高技能的科学家和工程师、受过高度训练的技术人员以及具有献身精神的支撑人员的员工队伍。第三,它拥有世界级的设施和分析仪器。最后一点是,它从瑞士政府和人民强有力的支持中获得巨大的好处。这种支持是至关重要的,因为它使得 Eawag 能凝炼出新的方向以及集中于创造性



Eawag 的研究原则

基础研究和应用研究方面创新(甚至激进)概念的推广。它还让 Eawag 在理论与实践结合方面以及在吸引利益攸关方参与应用项目的设计和和实施方面发挥特殊作用。

在未来的数周和数月中,我希望让 Eawag 的科学家和工程技术人员参与一场与水环境有关的、未来对人类社会最重大的挑战以及 Eawag 在迎接这些挑战方面的潜在作用的意义深远的讨论。我想为 Eawag 建立这样一个目标:集中于高影响力的研究,即试图在理论方面取得重大进展的基础研究以及推广激进创新和应付社会重大需求的应用研究(见图)。我很高兴这封信出现在本期《Eawag 新闻》中,因为它集中于 Eawag 应用研究的一个范例——非混合技术。

祝 Eawag 未来成功!

雄心勃勃的能源目标

Eawag 正在进一步加强其对环境无害化运行的承诺:该组织的电力和取暖需求将通过可再生物和以环



境友好的方式成功地得到满足。除了通过光电系统增加现场电力生产之外, Eawag 将在 2010 年转向合格的绿色动力供应——“天生之星”标志, 这是在交叉的“Ökostrom”项目中由 Eawag 联合研发的。另外,带有直接影响的是, Eawag 员工所进行的所有与工作相关的旅行将是碳中性的。例如这将通过补偿排放来实现。○○○

Forum Chriesbach 获奖

除“瑞士太阳奖”和“Swisspor 发明奖”之外, Eawag 的总部大楼现又获得另外两项奖。1 月 8 日, 建筑师 Bob Gysin 和 Ueli Bundi (代表 Eawag) 接受了 2007“Watt d'or”奖, 该奖是由联邦能源部授予能源方面杰出表现和独创性发明的。

1 月底, 建筑师 Bob Gysin 与伙伴获“2007 日光奖”, 该奖带有 10 万

瑞士法朗的奖金。这项由非赢利的 Velux Stiftung 设立的奖旨在促进建筑物中创造性的日光利用和可持续的日光利用。 Forum Chriesbach 项目因日光利用与建筑物能源提供相结合而受到特殊赞扬。该奖的 3/4 奖金被指定用于日光利用的进一步促进。

www.forunchriesbach.eawag.ch ○○○

IWMF: Eawag 新的专题讨论会

“国际水管理论坛”(IWMF)是由 Eawag 为水管理部门决策者而组织的一项新的活动。除了促进专家网络和知识转移之外, 重点是战略规划和管理奠定一个基础。影响和决策要点将得到确定, 行动方案将得到

评估。2006 年, 作为一项集中于微污染物的试验活动而举办了“IWMF”。今年的论坛将于 9 月 4~6 日举行, 主题为“河流恢复: 决策过程与成功评估”。

www.iwmf.eawag.ch ○○○

评价河流与溪流



1 月 25 日, 160 位水科学家会聚于波恩, 探讨用于水道评估的模式逐步程序方面的最新情况。该会议是由联邦环境部 (FOEN)、Eawag 和州环境保护局长大会 (KVU) 联合举办的。根据“模式逐步程序”, 已在水形态、生物学、化学和生态毒理学领域研发了标准方法, 以便进行水道的综合评

价。该会还为分享经验提供了机会。该项目将于 2008 年底完成。在最后的阶段, 优先考虑(除了进一步发展这些模型之外)是, 确保这些方法的持续应用以及协调国家级的数据管理。

www.modul-stufen-konzept.ch ○○○

活动

PEAK 训练班

3 月 12 日/13 日, Eawag Dübendorf
河流综合恢复模型 (IFRM)——一种用于水道恢复实践的新工具(用德语)

3 月 14~16 日, Eawag Dübendorf

生态毒理过程模型 R: 风险评估(用德语)

3 月 28~30 日

瑞士水域的鱼类(用德语)

4 月 25~27 日, Gemagref Lgon

生态毒理过程模型 E: 污染物评估(用法语)

9 月 18 日~21 日

发展中国家用于水和环境卫生的家庭中心概念与技术

10 月 23 日/24 日, Eawag Dübendorf

屋顶与表面材料与设计对水质的影响(用德语)

会议

3 月 16 日, Eawag Dübendorf

欧洲一个研究领域的发展: 促进欧洲委员会联合研究中心与瑞士的协作

星期五报告会

3 月 23 日至 6 月 29 日, 星期五 11:00

Eawag Dübendorf

将科学与水管理相结合

详情: www.eawag.ch/veranstaltungen