

eawag
水生研究

Eawag 新闻 第72期 2012年6月
瑞士联邦水生科学与技术研究所出版

新闻



焦点：
水生环境——它提供什么和需要什么



Janet Hering, Eawag 所长，瑞士苏黎世联邦理工学院 (ETHZ) 和洛桑联邦理工学院 (EPFL) 教授。

用于生态系统功能的水

根据我们的日常经验，我们都熟悉水在我们生活中所发挥的重要作用。我们在饮用水、卫生、娱乐、运输和其他很多直接利用方面都依赖于水资源。全世界大约 20% 的电力以及瑞士 60% 的电力是由水力产生的。但我们常常不知道水环境所提供的很多间接的生态系统服务。这些服务包括雨浇农业，它占全球农业的 80% 和几乎占瑞士农业的全部。水生生态的生产力不仅支撑渔业，而且还支撑水禽和陆地野生生物。生态系统服务的提供依赖于生态系统的完整性；最高水平的生态系统服务通常与接近自然的条件相关。

人类活动对水环境施加了巨大的压力。大坝建造、河流渠化和湿地排水已改变了地貌条件。水质受到城市径流和农业径流的影响，这些径流可能含有病原菌、营养物和微量污染物。生态完整性受到地貌和水质以及入侵物种的引入和鱼种放养等的影响。为了有效管理和保护水生生态系统，重要的是，要了解它们对这类压力的反应，或反过来要能评价它们的回弹能力和适应能力。

Eawag 在其 2012—2016 年发展计划中，已将“水生态系统功能”确定为这一规划期 3 个中心主题之一。Eawag 将解决关于种群级和生态系统级人类所致环境变化的影响、生物多样性与生态系统功能的关系以及退化的水生态系统的有效恢复和修复的机会等关键性问题。Eawag 将把其资源用于支持这些努力，尤其是增进两个战略性活动。《瑞士河流规划》将为实施修订的《水保护法》

提供科学支持，“生态影响”方案将检查降低污水处理厂出水中微量污染物负荷对生态系统功能所产生的影响。

这些新的活动将以本期新闻所描述的现行研究的强大平台为基础。主题包括：研发环境毒理学概念与评价方法；湖泊中营养物输入影响的野外研究；面对气候变化和利益冲突的可持续的水管理方法以及水电在我们未来电力生产中的作用。这种研究大多基于监测数据，这显示了监测规划的重要性。Eawag 承诺提供这样一种科学基础：它既允许满足人类对水的直接需求，又保护环境提供宝贵的生态系统服务的能力。

封面照片：Verzasca 已在提契诺州阿尔卑斯山片麻岩中开拓出其通道。（摄影：Michel Roggo）

目次

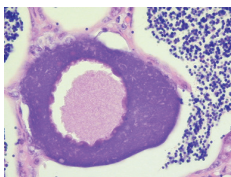
焦点：水生环境——它提供什么和需要什么

4 水生生态系统是如何被营养物改变的



瑞士湖泊中磷负荷的降低是水保护的成功经历。为了增加产量，渔业界院外活动集团现在正在要求故意排放营养物。但贫营养湖泊的富集可能会导致物种灭绝或融合。

8 内分泌干扰物：测量、评价和减量

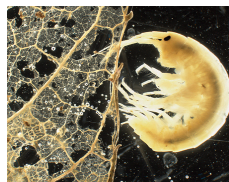


废水中的内分泌干扰物可能会对水生生物产生不利影响。生态毒理学实验方法改善了这些物质的检测和水质的评价，进而为减量措施提供宝贵的决策支持。

12 时间零数据——测量变化的关键

Eawag 的研究人员 Pascal Vonlanthen 和 Florian Altermatt 确信，长期监测规划是生物多样性保护和生态系统服务保护的必要手段。

14 预测大型无脊椎动物的存在



大型无脊椎动物的生境需求差异巨大。Eawag 研发的一种用于预测水底群落组成的模型，未来可用来支持河流的综合管理。

18 水资源管理：权衡保护与利用

淡水生态系统提供社会经济服务，但它们的功能依赖于某些生态需求的满足。在 Spöl 和 Sandey 漫滩所进行的两个研究项目，证明一个可持续的水资源管理方法可能涉及的内容。

22 水力发电：扩展的潜力和极限



瑞士的水电部门正面临十亿法郎的挑战。所需要的是使峰负荷发电量最佳化以及经济和生态可接受的、储存来自可再生能源的多余电力的方法。理想的是，电力部门和水生生态系统都能受益。

26 研究人员与专业人员需要携手合作



瑞士的水研究人员和专业人员正面临巨大的挑战。“瑞士河流”应用研究规划旨在通过鼓励研究人员与水专业人士共同努力来应对未来这些挑战。

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) 58 765 55 11
传真：+41 (0) 58 765 50 28
网址：<http://www.eawag.ch>

编辑：Andres Jordi
出版情况：每年 2 期，以英、德、法、中 4 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

简讯

- 28 联合国奖：Fundación Sodis
- 28 城市污水中的微量污染物
- 28 瑞士水伙伴

水生生态系统是如何被 营养物改变的



Piet Spaak, 生物学家,
水生生态室负责人。

联合作者:
Pascal Vonlanthen

降低瑞士湖泊中的磷负荷是水污染控制努力的一项积极的成果。但现在,为了增加布里恩茨湖和其他水体的鱼产量,渔业界的成员们已要求当地污水处理厂减少除磷。然而,增加贫营养湖泊的磷输入可能会导致物种灭绝或融合,从而使水生生态系统产生不可逆的变化。

过去几十年中,由于建造了污水处理厂(WWTPs)、洗涤剂中禁用磷(1985年实施)以及在污水处理厂增加了磷沉降,所以瑞士湖泊中的富营养化大大减少。结果,水质已大大改善,生境和物种组成已恢复到更加自然状态。但磷输入这一主题最近被再次提出,尤其是因为一些人认为,这种营养物的缺乏使某些湖泊鱼产量下降。因此,在议会两项动议(在国家议会和州议会中提出)中已提出:作为一个中试项目的一部分,应增加对布里恩茨湖的磷输入。这一计划的支持者认为,较高的初级生产力(藻类生长)可能会导致鱼产量增加^[1]。卢塞恩湖和其他水体的类似想法正在考虑之中。

作为“Projet Lac”的一部分,研究人员研究布里恩茨湖的生物多样性,调查发现,小白鱼种适应于深水营养条件



Stefan Kubi

物种的位移或融合 在缺乏营养物的情况下,地表水体可能不适宜任何生命形式。为了能够在湖泊中生存,生物需要某种最低水平的营养物,这些营养物通过自然侵蚀过程和分解过程进入水体。营养物的可得性还决定了生态系统能支持多少生物,以及它的生产力如何。生长一般受到丰度最低的营养物的制约。在我们这类地区,限制藻类生长的营养物几乎总是磷。藻类(主要的初级生产者)代表湖泊食物网中其他水生生物必不可少的食物源。因此,一定量的磷和其他营养物是有效的淡水生态系统所必需的。只是湖与湖的需求量不同,例如取决于渔获量。营养物的可得性也影响物种组成。

第二次世界大战之后,由磷洗涤剂和磷肥使用量的大增,瑞士很多湖泊暴露于来自城市污水和农业径流的非天然性高磷输入。这导致藻类激增(藻华),进而导致氧耗竭和鱼类死亡。如今,各湖的营养物含量已恢复到污染前的水平(图1)。

除了对化学水质产生不利影响外,湖泊的富营养化还改变了水生生态系统。如今这些变化在一些方面依然很明显。例如,在许多研究中,Eawag重现了水蚤(*Daphnia*)物种组成是如何因为富营养化而发生变化的。这些甲壳类浮游动物以藻类为食,并且是鱼类重要的食物源。例如,它们是很多白鱼的主要食物源。

借助于从暴露于各种污染程度的湖泊沉积物拯救出的孵化卵的遗传分析,我们发现,在人为营养物输入之前,*D. longispina* 一直是所有被调研的瑞士湖泊中最主要的水蚤^[2, 3]。在富营养化时期,入侵种*D. galeata* 在很多湖泊(包括康斯坦茨湖和格拉芬湖)立脚,并取代

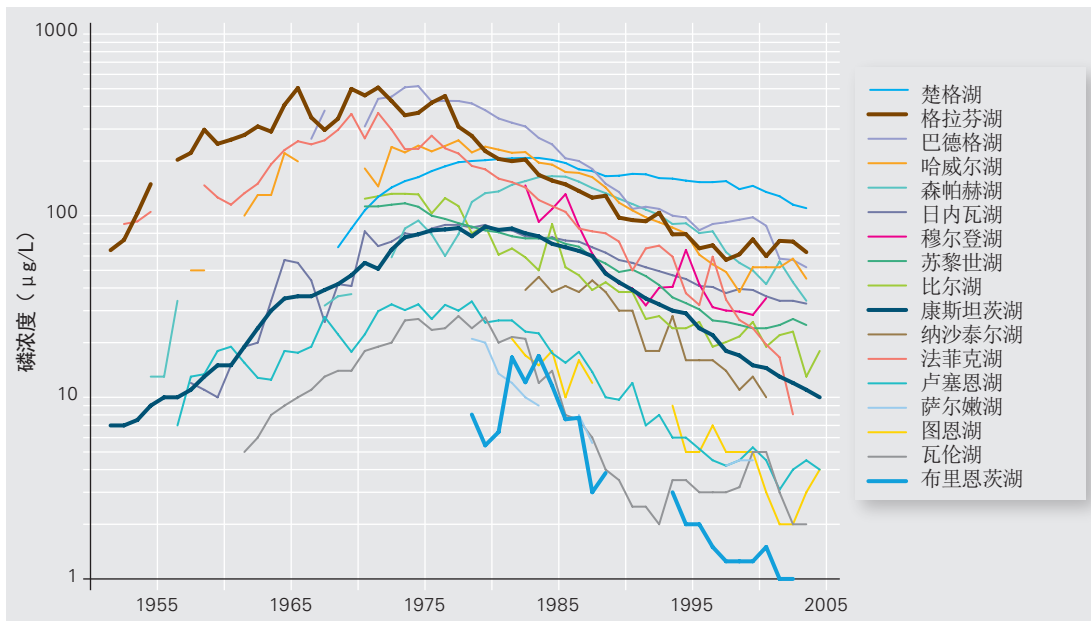


图1 由于采取了水污染控制措施，瑞士湖泊中的磷浓度下降

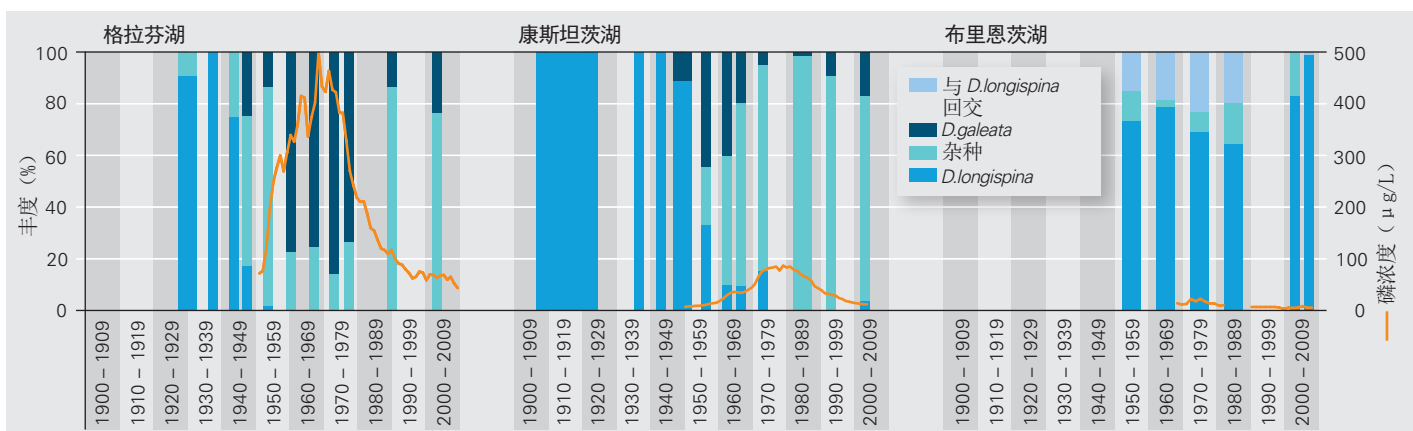
D. longispina。在一些情况下，这两种物种还发生了融合，形成了杂种（图2）。结果，如今 *D. galeata* 和杂种形式是出现在很多湖泊的唯一 *Daphnia* 种，即便那里的营养状态已恢复正常。在诸如布里恩茨湖一类天然含有极少量磷和较少暴露于营养物输入的水体中，*D. longispina* 种群往往已生存下来。但在这里，杂种与 *D. longispina* 之间已出现了回交。所以目前 *D. longispina* 个体也含有来自 *D. galeata* 的遗传材料，在很多湖泊中，*D. longispina* 种不再以它原有遗传形式存在。换言之，这种变化可能是永久性的和不可逆转的。

生态小生境的丧失 最近，我们还实验证明了构成物种组成变化基础的机制。在实验室中，我们对来自不同湖

泊的在贫营养和富营养条件下养殖的两种 *Daphnia* 的克隆适应性进行了比较^[4]。虽然 *D. longispina* 更好地适应贫营养湖泊典型的稀少食物供应，但 *Daphnia* 则靠富营养食物生活得更好。这也解释为什么 *D. longispina* 没有从瑞士所有湖泊被取代：在最少受到富营养化影响的少数湖泊的沉积物中，我们只发现 *D. galeata* 少量休止期或没有休止期。这意味着虽然这种物种存在于邻近的图恩湖中，但它几乎从未出现在瑞士最清洁的湖泊（布里恩茨湖）中。实际上，这些研究表明，1950年以前，布里恩茨湖中不存在永久性的 *Daphnia* 种群。*D. longispina* 种群只是在（较低的）磷输入开始时才建立的。

正如 Eawag 的科学家所证明的那样，富营养化所致的物种消失不局限于水蚤，而且也能在鱼类中发现这一现

图2 由于磷浓度变化所致，*Daphnia* 种群组成被改变





从格拉芬湖取回沉积物芯：从沉积物中回收到的休眠卵可用来重现 *Daphnia* 物种组成随磷浓度而变化的情形

象。例如最近，鱼生态学 & 演化室的 Pascal Vonlanthen 和 Ole Seehausen 与来自伯尔尼大学的同事们一起证明：仅仅在几十年时间内，富营养化就已导致瑞士湖泊中特有白鱼种数量下降 38%^[5]。在所调研的湖泊中，所记录的磷浓度越高，物种丧失得就越多（图 3A）。

在 7 个湖泊（日内瓦湖、穆尔登湖、森帕赫湖、巴德格湖、哈威尔湖、格拉芬湖和法菲克湖）原先的白鱼种群已灭绝和被孵化种群所取代。只有在较少暴露于营养物输入的高山附近的深水湖（图恩湖、布里恩茨湖和卢塞恩湖）中，过去的物种才能生存下来。在瓦伦湖和苏黎世湖中，3 种过去的白鱼种中的 2 种生存下来了，康斯坦茨湖 5 种过去的物种中的 4 种依然存在。该研究还表明，欧洲阿尔卑斯地区至少有 25 个湖泊有一种或更多种地方特有的白鱼种，即物种专门存在于所研究的湖泊中。

除了物种丧失之外，白鱼多样性的下降也是由于以前截然不同的物种杂交所致。由于 1950—1990 年间大量的磷输入，很多湖泊的底部和深水严重缺氧。自最后一个冰

河时代（大约 15 000 年前）以来一直演化以及适应在深水中觅食和产卵的特殊种因此而失去了它们的生态小生境。

（贫营养的深水湖似乎特别是生物多样性独特的储库，在那里，新物种可以演化。）由于这些小生境的丧失，白鱼迁向浅水，在那里，它们与相关物种杂交。结果，它们在几代时间内丧失了遗传独特性和功能独特性——一个被称之为“物种形成逆转”的过程。在磷浓度较高的湖泊中，现生存的种群中的遗传差异现在也低于贫营养湖泊（图 3B）。因此，对特殊产卵时间或觅食类型的特化也已丧失，而且表型变异已下降。

返回“良好的”旧时代吗？ 关于水蚤和白鱼的研究提供了令人震惊的例证：即使轻微的营养物富集也会对湖泊的自然条件产生不利影响——物种组成发生变化，遗传差异性丧失以及可能的灭绝。它们还证明，这类改变可能是不可逆的：即便在那些营养物水平已恢复正常的湖泊中，已消失的特有白鱼种或原先的 *D. longispina* 也无法恢复了。

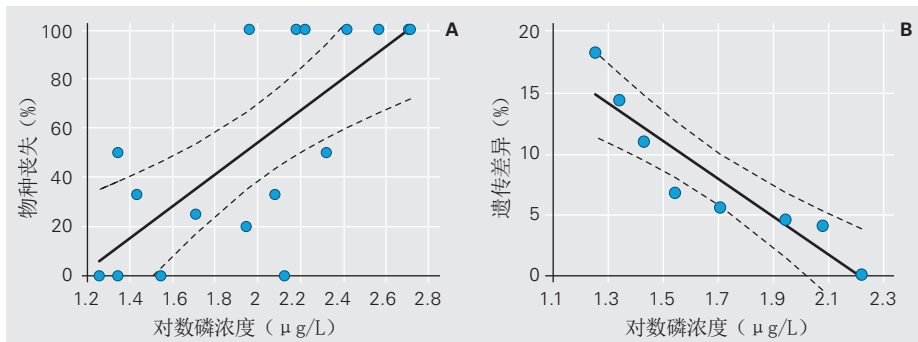


图3 较高的磷浓度导致白鱼物种更大程度的丧失 (A) 以及不同种群间较少的遗传差异 (B)

在过去 30 年，由于采取了上述措施，瑞士多数湖泊中的磷负荷已下降。在最清洁或最贫营养的水体如布里恩茨湖、瓦伦湖或卢塞恩湖中，现在的磷浓度不到 5 µg/L (见图 1)。从水保护角度来看，这代表一种重大成功，但现在有人对此表示异议，因为渔业院外活动力量要求重新考虑营养物去除做法。

例如，这一意见的提出者们已建议：“布里恩茨湖应采用 2 ~ 5 µg/L 的磷极限，这相当于 20 世纪 70 年代盛行的状况。在他们看来，这一措施应再一次允许生态理想的植物和鱼类生长。”根据布里恩茨湖商业渔业统计，虽然在营养物输入增加时期白鱼年平均产量几乎为 15 kg/ha，但现在已不到 1 kg/ha^[6]。议会动议的支持者们将这种产量下降归咎于该湖中的营养物缺乏。为了实现藻类生产和鱼产量的重新增加，他们正在要求布里恩茨湖流域的污水处理厂减少或甚至完全禁止磷沉淀。营养物输入的增加可以还被用来防止 *Daphnia* 种群崩溃（自 1999 年以来已定期出现这种情况），从而确保白鱼的主要食物源。

虽然 *Daphnia* 是过去 30 年内白鱼的主要食物源，但我们没从 1950 年以前的湖泊沉积物中发现任何休眠卵。更早的布里恩茨湖浮游动物研究也提到了水蚤的缺失^[7]。这表明，特有的白鱼种很可能没有作为经常性食物源的 *Daphnia* 也行。因此，*Daphnia* 种群暂时减少的再现，应被看作是恢复自然状态，而不是被看作对白鱼的威胁。

较低的产量，但更特有的物种 2011 年秋季，作为 Eawag/ 伯尔尼自然历史博物馆“Projet Lac”组成部分而进行的一项系统性的鱼类物种调查显示，自然产卵的白鱼种群生活在布里恩茨湖的深水区。因此，专业渔民们记录到的低的产量并不表明该湖普遍缺鱼。实际上根据伯尔尼州渔业检查站称，自 20 世纪 70 年代末以来，现捕鱼活动

已不断减少，只相当于早先水平的 1/5。因此，非正常的商业鱼产量统计给出了一个失真的图景。

鉴于上述情况，所提出的磷措施可能似乎是多余的。另外，天然湖泊的人为营养物富集可能会有效地将其降至养鱼场状态，这不符合自然资源可持续利用的原则。瑞士拥有许多高生产力的、营养物丰富的湖泊；但应在过去 80 年经验的基础上，保护少数天然贫营养水体及其独特的生物多样性，尤其是考虑到富营养化可能的生态后果。○○○

- [1] Phosphatmanagement Brienzersee: 11.4091 Motion von Ständerat Werner Luginbühl, 11.4158 Motion von Nationalrat Erich von Siebenthal.
- [2] Brede N., Sandrock C., Straile D., Jankowski T., Spaak P., Streit B., Schwenk K. (2009): The impact of human-made ecological changes on the genetic architecture of *Daphnia* species. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 106, 4758–4763.
- [3] Rellstab C., Keller B., Girardclos S., Anselmetti F., Spaak P. (2011): Anthropogenic eutrophication shapes the past and present taxonomic composition of hybridizing *Daphnia* in unproductive lakes. Limnology and Oceanography 56, 292–302.
- [4] Spaak P., Fox J.A., Hairston Jr. N.G. (2012): Modes and mechanisms of a *Daphnia* invasion. Proceedings of the Royal Society Biological Sciences Series B, published online.
- [5] Vonlanthen P., Bittner D., Hudson A.G., Young K., Müller R., Lundsgaard-Hansen B., Roy D., Di Piazza S., Largiader C.R., Seehausen O. (2012): Eutrophication causes speciation reversal in whitefish adaptive radiations. Nature 482, 357–362.
- [6] Eawag (2012): Fakten zum Phosphor im Brienzersee, www.eawag.ch/phosphor_brienzersee
- [7] Flück H. (1926): Beiträge zur Kenntnis des Phytoplanktons des Brienzersees. Dissertation ETH Zürich.

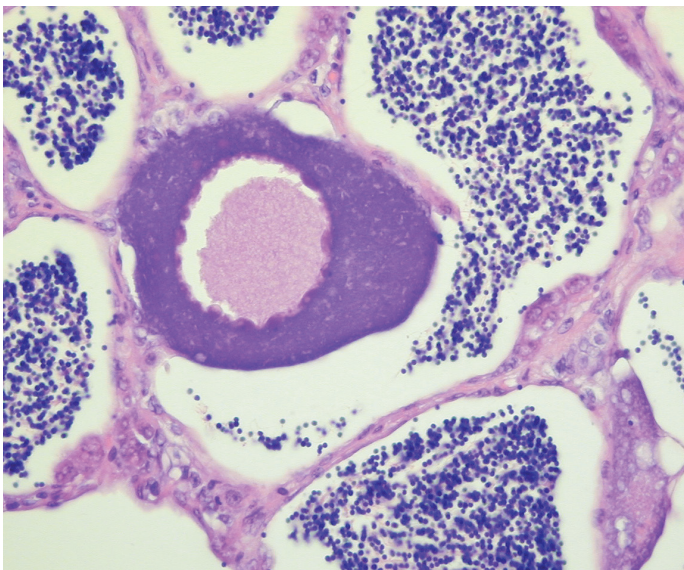
内分泌干扰物： 测量、评价和减量

主要通过污水排放进入地表水的内分泌干扰化合物，可能会对水生生物产生不利影响。生态毒理学试验方法改善了这些物质的测量和水质评价，从而为减量措施提供宝贵的决策支持。例如，这些方法可以被用来评估污水处理厂外加的处理工序。

在 20 世纪 90 年代初，英国的研究人员对发现雌雄同体鱼（即同时具有雄性和雌性特征）感到困惑不解（图 1）。如何来解释这些异常现象呢？这种鱼尤其常常出现在污水处理厂下游的河段中，在那里，处理过的出水占河水的很大比例。随后的调研发现，处理过的污水含有会导致雄性鱼雌性化的雌激素性物质^[1]。

除了动物或人类产生的天然雌激素之外，雌激素性物质还包括合成化合物，例如乙炔雌二醇（来自避孕药）或双酚 A，后者被广泛应用于塑料制造。这些化合物以类似于天然雌性激素的方式发挥作用，而且能模仿或阻止它们的效果。雌激素性物质对水生生物的发育、繁殖

图 1 来自日内瓦湖一只雄性蟑螂睾丸组织的横切面：在照片中可见到一个卵母细胞



Daniel Bernet

和健康产生不利影响。鱼类尤其受到影响，因为它们的内分泌系统类似于人类。令人震惊的是，即使雌激素性物质的浓度非常低——不到 1 ng/L（相当于比尔湖中 1 kg 活性物质），也可以在鱼中观察到这类效应。

也是瑞士一个关注的问题 内分泌干扰物从不同来源进入地表水。但主要来源是城市污水，因为多数情况下，污水处理厂没有充分去除这些物质。在“Fischnetz”（“下降的鱼产量”）项目中，雌激素物质被确认为导致自 20 世纪 80 年代初以来瑞士鳟鱼储量下降 60% 以上的因素之一。2002—2007 年进行的一项国家研究规划（NRP 50）旨在评价环境中内分泌干扰物的风险。人们发现，污水处理厂下游的雌激素浓度大大高于污水处理厂上游（图 2）。在一些情况下，在雄性褐鳟中也观察到了卵黄原蛋白浓度升高^[2]。雄性鱼中卵黄蛋白的出现表明了对雌激素物质的暴露。这种蛋白只自然产生于成熟的雌性鱼。NRP 50 获得的结论如下：

- ▶ 内分泌干扰物是处理过的污水未被充分稀释的瑞士河流和溪流中存在的一个问题；
- ▶ 要再检查瑞士污水处理厂的去除性能以及技术优化的潜力；
- ▶ 将向快速研发用于内分泌干扰物检测和水质评价的国际标准化方法提供支持；
- ▶ 为了实际应用，应为水环境中内分泌活性制定以科学为基础的质量标准，然后应将其纳入《瑞士水保护法令》。



Inge Werner, 生物学家，Eawag-EPFL Ecotox 中心负责人。

联合作者：
Cornelia Kienle,
Petra Kunz,
Etiënne Vermeirssen,
Robert Kase

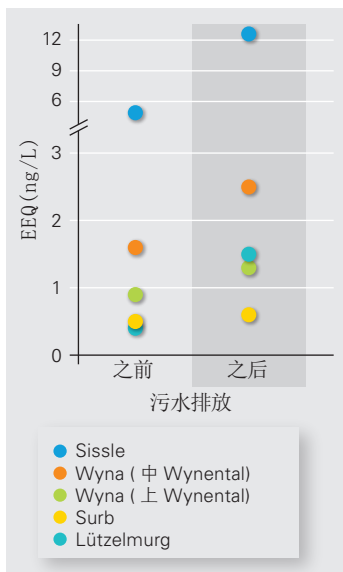


图 2 瑞士污水处理厂处理过的出水排放点上游和下游各河段中雌激素物质的平均浓度 (EEQ = 雌二醇当量)。自 2004 年进行该研究以来, 排入 Sissle 的出水已大大减少

在过去几年中, 与联邦环境部 (FOEN)、Eawag 和其他伙伴合作, Ecotox 中心已解决了一些这类难题。

用四个步骤评价地表水质 虽然 NRP 50 已证明污水处理厂的下游一些河段可能出现了临界浓度的雌激素物质, 但目前尚没有用于评价地表水体这种物质污染的基于科学的方法。这一空白现已得到填补: 作为 FOEN “MicroPoll” 战略的组成部分, 我们与 Eawag 合作研发了用于有机微污染的评估概念^[3]。最初, 在测量和毒性数据的基础上, 我们确认了代表来自城市污水的微量污染物所引起的污染特征的 47 种物质。除了各种药品、杀虫剂和工业化学品之外, 所选定的物质清单还包括 8 种内分泌干扰物。为了评价这些物质的生态毒性, 我们制定了基于效应的质量标准, 即不得被超过的浓度极限, 以确保水生环境的保护。这些标准是在藻类、无脊椎动物和鱼类急性和慢性毒性基础上确定的。

为了地表水质评价, 评估概念提供了一种四步程序: 首先通过估计污水份额来确定可能污染的水体。当这一份额高于某一极限时, 确定该污水的微量污染物负荷。接下来, 进行生态毒理评价: 依据环境浓度与该质量标准的比率, 化学水质被分配给 5 个范畴之一。在最后一个步骤中, 确定污染的主要原因, 并提出削减措施。通过这一程序, 可以确定出现临界浓度微量污染物的河段以及需要改进这些物质消除措施的污水处理厂。

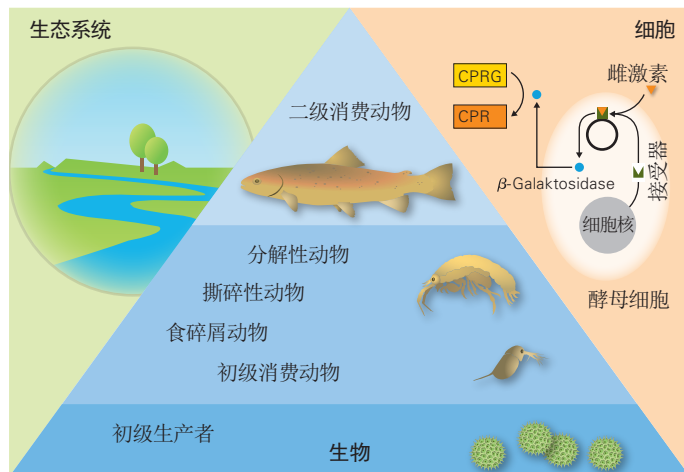
如何才能降低微量污染物的水平? 污水处理厂深度处理工序的结合, 可以减少微量污染物 (尤其是内分泌干扰物) 对接受水体的输入。作为 “MicroPoll 战略” 项目的一部分, 在一个中试厂中评价了两个这类工序的有效性, 首先是后接一个生物工序的臭氧化, 其次是带有下游过滤的活性炭粉处理。采用若干生物测定 (图 3), 各项目伙伴研究了这些过程是否能更有效地去除微量污染物, 以及这些测定是否适合于污水处理厂深度处理工序性能的日常监测^[4]。

评估 2 种生物测定。通过实验室的生物测定, 可以高灵敏度地检测对细胞线或单细胞生物的特定影响以及雌激素一类化学品的存在。但这类测定很少揭示物质对整个生物的影响。在自然条件下的生物鉴定中, 整个生物被用来研究对生物功能如生长、死亡率、繁殖或卵黄蛋白合成诱导的影响。虽然这些测定检测污水样品中所含所有物质的效应, 但它们常常提供了关于物质分类的有限信息。

在这一中试厂若干点采集的废水样经过各种生物测定和化学分析。正如实验室实验所示, 现有生物处理措施已降低了污水的毒性。但这种处理没有完全去除微量污染物。例如污水仍然含有相关浓度的雌激素物质。不过, 正如特定的实验室生物测定所示, 带有臭氧气体或活性炭的额外处理去除 80% 以上的剩余微量污染物。化学分析确认了这些结果。

涉及虹鳟鱼的体内生物测定也证明深度处理工序减

图 3 在 “MicroPoll 战略” 项目中, 调研了细胞、整个生物和生态系统级的微量污染物的效应。组织级越高, 将效应归咎于各种因素就越难





Ecotox 中心的 Cornelia Kienle 和 Petra Kunz 在讨论 YES 测定的结果

少了毒性：孵化率和胚胎重量增加，死亡率下降。其他体内测定没有取得一致的结果。这部分是由于此系统缺乏灵敏度所致。评估的生物测定的比较表明，没有一个单一的测试可用来整体评估废水样品的毒性。然而对于微量污染物消除的监测来说，体外生物测定证明比所研究的中试厂中的体内生物测定更为适合。它们也更易处理，因此可以建议用于日常监测目的。

生物测定的评估不仅证明臭氧化或活性炭处理能去除广谱微量污染物和大大降低废水中内分泌干扰物的浓度。此外，当臭氧化与生物处理结合时，未看到具有生态毒理意义的稳定增长的转化产物的证据。因此，为了最大限度减少这类化合物被释放入地表水的风险，臭氧化总是应后接一个带有生物活性的最终过滤工序。

哪种测量和监测合适呢？ 鉴于这些研究结果，联邦政府已决定：选定的污水处理厂应升级换代，以便保护饮用水资源和水生生物。因此根据“污染者自付”的原则，它们已与各伙伴一起制定了国家级融资解决方案。《水保护法》必要的修订工作目前正在进行之中。

尽管污水处理厂在升级，但仍需要监测地表水质以及进行内分泌干扰物的定期测量。由于雌激素物质在极低浓度下具有生物活性，所以个别物质的化学检测范围是有限的。此外，因为具有相同作用方式的不同物质可

能具有加成效应，所以化学分析的价值有限。各自以极低浓度存在的雌激素的结合可能会产生总的生物效应。为了灵敏地检测雌激素物质总的效应，最好是除了化学分析外，再采用体外生物测定。

目前，我们正代表 FOEN 与联邦当局、水保护机构、学术界和私人顾问合作制定一个基于生物测定的日常水质评价概念。适合于诸如雌激素活性测定的测试需要满足众多要求：它们应该灵敏、以机制为导向、便于操作和廉价。

在最初的测量活动中，我们确定了瑞士若干条含有高比例处理过的污水的河流中雌激素物质的浓度。为了这一目的，我们采用了两种其价值在“MicroPoll 战略”项目中已得到证明的体外生物测定。第 1 种是酵母雌激素筛查 (YES)：在这里，当一种雌激素活性物质与细胞中人类雌激素受体结合时，遗传改性的酵母细胞通过一种（从黄到红）的颜色反应来显示雌激素效应。这种简单测试价格低廉，可大量获得，并已广泛使用。第 2 种生物测定被称为 ER-Calux——一种基于含有人类雌激素受体基因的人类细胞线的商用测试。因为它涉及细胞线，所以与 YES 相比，它更为复杂和昂贵，但它也更加灵敏。

从本质上讲，这两种测试系统均适合确定水样是否符合基于生态毒理学的为 17β-雌二醇规定的质量标准 (0.4 ng/L)。该值代表《欧盟水框架指令》提出的和 Ecotox 中心建议的环境质量标准。通过这两种测试，在所研究的河段中，污水排水点下游检测到的雌激素活性，要高于上游河段。相比之下，化学分析不可能在雌激素性方面全面评价水质。

作为一种用于测量地表水中雌激素活性的务实的方法，我们建议应使用 YES 系统。通过这一数值，可以在稀释系数基础上估计接纳水体中的最终浓度 (图 4)。虽然 YES 的灵敏度不及 ER-Calux 系统，但它适合于评估带有较高浓度雌激素物质的样品。该方法的主要优点在于它适合于日常使用：易于使用和廉价。

这里所描述的方法和概念是非常有前途的，我们的研究表明，生物测定是一种用于评估河流中雌激素活性的有价值的手段。不过，在它们能被州和私人实验室使用之前，需要进一步验证和标准化。在 DIN 荷尔蒙效应

Peter Schönberger

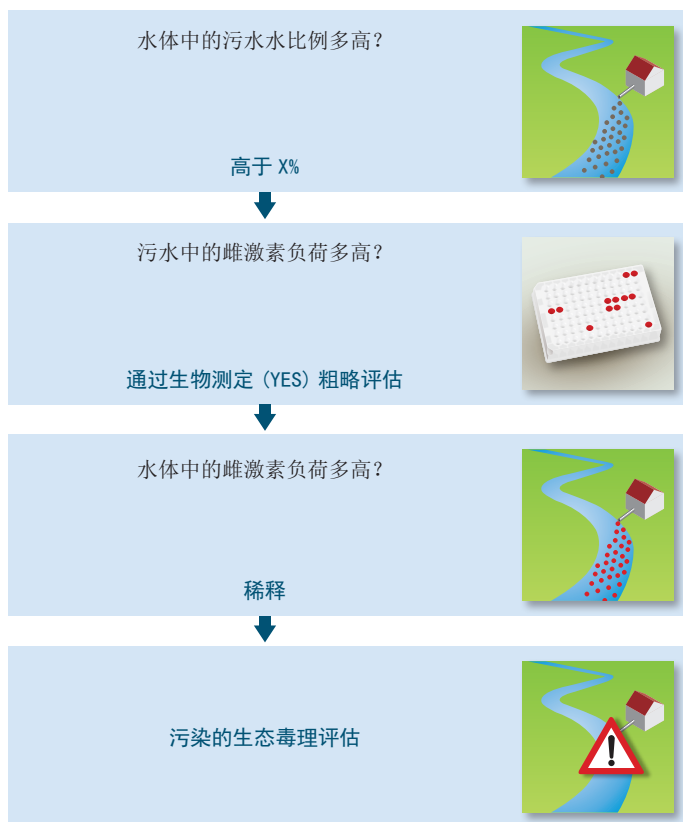


图 4 用于地表水中雌激素物质评估的可能程序

工作组 (Xenohormones) 内，我们正在积极致力于启动生物测定的 ISO 认证。

解决悬而未决的问题 虽然近年来已在瑞士收集了大量关于内分泌干扰物的信息，但许多问题仍未得到解决。例如，过去 10 年中，在图恩湖许多白鱼中已观察到性腺发育异常。尽管开展了密集的研究工作，但我们的分析方法和对各种化学品效应的了解，还没有足以证明确认了这些畸形的原因^[5]。此外，新的研究表明，除了影响鱼类繁殖外，内分泌干扰物还可能会针对它们的免疫系统，从而增加它们对病原体的易感性^[6]。这类多作用机制使得难以预测种群水平上的影响。其他污染物和应激物使解释进一步复杂化。

与此同时，我们对生态毒理学效应的认识在不断提高，并且正在研发日益强大的高通量的筛查方法。实际上，这意味着我们测量雌激素和其他物质对水生生物的影响的能力正在改善。尽管有高通量的方法，但在确定

分子水平上的效应对对整个生物影响之间的联系方面依然存在困难。在这里，希望寄托在“组学”方法上，例如转录、蛋白质组学和代谢。这些技术允许生物基因、蛋白质或代谢物的“同时一齐”分析。它们可帮助识别导致从细胞相互作用到健康损害的代谢途径。然后，它将有可能确定能被用于日常分析的特定效应生物标志物。如果这一想法得以实现，我们将会在中期内需要相当少的动物实验来预测对环境 and 人类的危险，以及保护生态系统的健康。 ○○○

- [1] Purdom C.E., Hardiman P.A., Bye V.J., Eno N.C., Tyler C.R., Sumpter J.P. (1994): Estrogenic effects of effluents from sewage treatment works. *Chemical Ecology* 8, 275–285.
- [2] Vermeirssen E.L.M., Burki R., Joris C., Peter A., Segner H., Suter M.J.-F., Burkhardt-Holm P. (2005): Characterization of the estrogenicity of Swiss midland rivers using a recombinant yeast bioassay and plasma vitellogenin concentrations in feral male brown trout. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24, 2226–2232.
- [3] Götz C.W., Kase R., Hollender J. (2010): Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Eawag-Studie im Auftrag des Bafu.
- [4] Kienle C., Kase R., Werner I. (2011): Evaluation of bioassays and wastewater quality – *In vitro* and *in vivo* bioassays for the performance review in the project Strategy Micropoll. Swiss Centre for Applied Ecotoxicology, Eawag/EPFL.
- [5] Bernet D., Liedtke A., Bittner D., Eggen R.I.L., Kipfer S., Künig C., Largiadèr C.R., Suter M.J.-F., Wahli T., Segner H. (2008): Gonadal malformations in whitefish from Lake Thun – Defining the case and evaluating the role of EDCs. *Chimia* 62, 383–388.
- [6] Casanova-Nakayama A., Wenger M., Burki R., Eppler E., Krasnov A., Segner H. (2011): Endocrine disrupting compounds – Can they target the immune system of fish? *Marine Pollution Bulletin* 63, 412–416.

时间零数据——检测变化的关键

Eawag 的研究人员 Pascal Vonlanthen 和 Florian Altermatt 相信：长期监测方案是生物多样性保护和生态系统服务保护的重要手段。Vonlanthen 研究瑞士湖泊中的鱼类演化，他目前正在协调一项鱼类多样性调查（“Projet Lac”）。Altermatt 对大型无脊椎动物沿地表水的扩散和分化特别感兴趣。

采访人：Andri Bryner

为什么需要监测生物多样性？

Florian Altermatt (FA) 人们已开展了数千年的科学研究，但在多数情况下，在 2012 年，我们仍不知道最初的情况是什么样。如果没有监测，我们只会继续失去“时间零”。

Pascal Vonlanthen (PV) 如果的确存在早期数据，那么，它常常是以一种不协调的方式收集的，这使得它难以与当今其他数据集进行比较。这几乎不可能得出关于变化的可靠结论。

生物多样性不只是“有就好”。生态系统提供至关重要的服务。

测数据当然对研究来说极为重要。

(FA) 同样，研究人员不适合于收集人口数据——出生、婚姻、迁移等。这是国家的工作。此外，研究景观已变化：研究不再满足仅仅记录现有情况。我无法为其找到任何资金。从 1958 年起，David Keeling 在夏威夷 Mauna Loa 天文台主动监测 CO₂ 水平。他在收到这方面任何款项之前进行了几年测量。如今，Keeling 曲线是气候科学中最重要的曲线图之一。但国家不能只认为，总会有像他那样勇敢和智慧的研究人员。

这真的是联邦的责任吗？

(PV) 研究人员正在注意物种多样性和尚不知道的东西。监测跟踪已知情况方面的变化。研究人员应试图发现这些变化是如何发生的和为什么会发生——这些过程是如何起作用的。对于我们来说，很少有可能（从后勤、资金和时间明智性方面考虑）实际开展监测。但最终监

“生物多样性”对你们各自意味着什么？

(FA) 对我来说，生物多样性意味着差异和独特的特征。我并不总想吃和见到同样的东西。当我们出去度假时，我们寻求多样性，我们更喜欢野花草地而不是单调的玉米地。

(PV) 但生物多样性不仅仅是“有就好”。环境为我们提供至关重要的服务：安全的饮用水、我们呼吸的空气，等等。这受生物多样性的控制。在我的研究领域，这很简单：如果食物网坏了，那么，就捕不到更多的鱼。

(FA) 很对。但同时生态系统服务清单中还涉及一种风险——毕竟，安全的水还可能通过技术手段来生产。所以我们需要突显这一事实：接近自然的水域以及这些生境支持的生物以复杂的方式相互关联，最终结果包括的远不仅仅是清洁的水。

这种多样性是如何测量的？

(PV) 一般情况下，对观察到的或捕获的个体进行

Pascal Vonlanthen (左) 和 Florian Altermatt 解释监测规划的好处



Photos: Andri Bryner

识别，并记录物种丰度或生物量。对动植物进行分析似乎是一种人类需求。但在自然界，界限并不总是那么明确规定。物种进化过程常常是连续的。因此在我们项目中，我们的目的是记录完整的多样性频谱——不仅仅是形式、颜色或生境，而且还有遗传多样性。这是新物种发育的基础或现有物种适应环境变化能力的基础。

(FA) 这一点很重要，即监测应是一个长期过程，而且方法不是每次重新发明的——例如，鱼类调查应采用标准的网。不幸的是，个别专家发起的监测往往反映他们特殊的兴趣和经营领域——休假场所或工作场所——而不是提供整个瑞士可比较的数据。

监测应进行多长时间？

(FA) 作为一个经验法则，一项监测规划应至少包括所研究物种的一个或多个代周期，这样一来，就有了基线和关于变化的数据。但实质上，当然是数据系列越长，数据库越好。此外，随着越来越长的数据系列，来自公共来源的免费可得的数据将会激励越来越多的研究项目——这些项目不需要通过监测计划得到资助。

你们使监测数据有什么用？

(FA) 我项目中所研究的内容之一是物种如何沿地表水扩散以及壁垒如何影响物种分化。我的目的是得出关于整个瑞士的结论，没有来自“瑞士生物多样性监测”(BDM) 计划的数据，我们目的是不可能达到的。但我们

也要用自己的研究尤其是遗传分析来补充 BDM 指标。

(PV) 不幸的是，鱼类数据几乎完全是基于捕获量统计。这给了我们一个扭曲的图像，因为所记录的物种主要是渔民们喜欢捕捞的。这就是为什么我们已推出了自己监测方案的原因：Projet Lac 基于欧盟层面上认可的方法。但实际上，如果没有 50 年前一名教师对瑞士白鱼的详细记录和描述，那么我们目前关于众多白鱼物种消失的研究就将不可能。

Eawag 的研究如何促进生物多样性监测？

(FA) Eawag 参与了水生生境新指标（蜉蝣、石蝇和石蚕蛾）的研发。未来，生态系统服务的观察将变得越来越重要。在这方面，我们可以凭借我们的研究所获得的经验，例如，关于水体中凋落物分解的综合指标。

(PV) 我们将使“Projet Lac”数据对公众开放，我们希望更多的州将决定参加。这将会提升人们瑞士湖泊鱼类调查的参考地位。应定期监测湖泊中的鱼类种群。这是防止物种灭绝的唯一方法。 ○○○

在 2012 年“Eawag 信息日”上，鱼类生态学与演化室的 Pascal Vonlanthen 与水生生态学室的 Florian Altermatt，与国会议员 Franziska Teuscher 讨论生物多样性监测主题。在 www.eawag.ch/infomag 网页上可获得一个半小时的讨论视频(用德语)。

监测：一个更广泛战略的组成部分

2012 年 4 月，瑞士联邦议会通过了《瑞士生物多样性战略》。到 2014 年，将通过涉及州、最小的地方行政区和私营部门的参与过程，精心制定一项行动计划，提出如何实现为 2020 年确定的目标。10 项战略目标之一，要求在现有方案基础上研发一个包括所有生物多样性层面（即生态系统、物种和遗传多样性）的监测系统。此外，将提出一些允许对生态系统服务进行定量评价的指标，例如，接近自然水体中的净化过程或森林的保护功能。积极支持这一新战略的团体之一是瑞士科学院生物多样性论坛 (www.biodiversity.ch)，Eawag 参加了该论坛。可以从 www.bafu.admin.ch/publikationen 网页上下载《瑞士生物多样性战略》。

《瑞士生物多样性监测》(BDM) 是联邦众多环境观测规划之一，于 2001 年推出，它采用标准化方法在全瑞士 2000 多个位点收集植物、苔藓、软体动物、繁殖鸟类和蝴蝶物种存在方面的数据。自 2010 年以来，蜉蝣、石蝇和石蚕蛾也已被列为水生生境中物种多样性的指标。BDM 规划有意将重点放在“正常”景观中广泛发现的常见物种而不是放在受威胁物种上。因此，它补充其他监测珍稀物种的规划。目前，该规划的年费用超过 300 万瑞士法郎。 www.biodiversitymonitoring.ch

预测大型无脊椎动物的存在

大型无脊椎动物的生境需求千差万别。Eawag 正在研发一种用于预测地表水中底栖群落组成的模型。未来，这一模型可以用于支持河流综合管理，以及预测不同管理选择或气候变化可能带来的后果。

在未来几十年，我们地表水的状态将会受到气候变暖和土地利用变化的强烈影响。由于气候变暖的结果，河水的温度将会上升，水流量将会被改变，社会和人口结构的变化将会影响来自农业、城市地区、工业和交通运输业的污染物输入。这类变化对淡水生态系统和生物的影响尚未完全明了。然而，借助于计算机模型，可以集成和定量描述现有关于地表水中出现的各种过程的知识。因此，建模可以帮助预测环境变化对生态系统的影响。在这里，我们使用一个无脊椎动物群落模型的例子来说明：如何构建预测模型，在研发过程中会遇到什么困难，以及如何处理不确定性。

地表水中大型无脊椎动物的关键性作用 “大型无

脊椎动物”这一术语涵盖多种肉眼可见的生物，包括昆虫的幼虫、淡水端足目、贻贝、蜗牛、水蛭及其他很多动物。一般生活在河床或沉积物中的大型无脊椎动物在生态系统中发挥重要的作用：它们撕碎枯枝落叶（将其转换成其他生物可利用形式），过滤水中的颗粒或觅食藻类。它们还代表了食物链中的重要一环，为诸如褐鳟鱼提供食物源。

这些迷人的生物也有助于淡水生态系统的生物多样性。各种物种已适应千差万别的环境条件。一些物种仅出现在特别干净的水中，而其他一些物种耐高浓度的有机物污染，或具有更好应对农药的特殊属性。一些物种喜欢强水流或缓慢流动的水体；其他一些物种是多面手，能耐受各种环境条件。大型无脊椎动物的觅食习惯也各



Nele Schuwirth, 水文地质学家，研发生态模型和环境管理决策支持技术。

联合作者：
Peter Reichert



Mark Honfi

出现在一条河流或溪流中的特定大型无脊椎动物将依赖于其自然与状态

不相同。食草动物觅食水中垂悬生物（如藻类），撕碎型动物弄碎枯枝落叶，其他物种则觅食悬浮于水中的或沉积在沉积物的有机颗粒。大型无脊椎动物中还有一些物种觅食其他无脊椎动物（食肉动物）以及广幅进食（杂食性）。

从河流管理角度看，大型无脊椎动物特别重要，因为它们在生态系统服务（自然水体的自净、渔业、娱乐功能）的保持方面发挥关键性作用。与此同时，由于它们的生境需求不同，它们还适合作为水质指标以及自然环境条件或退化环境条件指标。为此，它们是水体生态状态评价方法如“瑞士河流评价模块化概念”（www.modul-stufen-konzept.ch）中的关键性要素。

预测对物种的影响 为了提前评估地表水中可能出现的生态变化，如由于恢复努力或污水处理厂升级换代所致的变化，能够预测对大型无脊椎动物的影响将会是有益的。作为 iWaQa 项目——在国家研究计划可持续的水管理（www.nfp61.ch）下开展——的组成部分，我们正在研发和完善未来能让这类预测得以进行的方法。

我们以前研发的“生态河流模型”（ERIMO），将无脊椎动物种依据其食物源纳入功能组，并描述这些功能组随排放和水温变化的丰度或生物量^[1, 2]。该模型非常适合分析无脊椎动物群落的时空动态及其在生态系统中的功能（如觅食藻类或弄碎落叶）。但它未捕集其他一些对于评价一个水体生态状态来说很重要的因

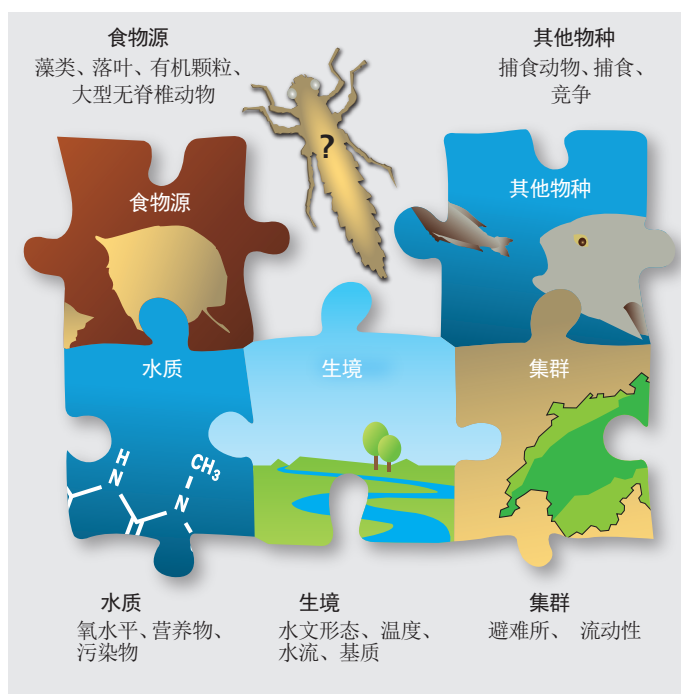


图1 各种因素决定一种物种是否出现在一个特定的生境中

素，例如生物多样性或特别敏感物种的存在。我们的“Streambugs 1.0”模型通过寻求描述个别类群（种、属或科，取决于数据的可得性）现已进了一步^[3]。这已初步迫使与时空方面的妥协。迄今为止，我们一直集中在特定位点物种的存在与否方面。虽然原则上也能够预测各种类群丰度或生物量的时空动态（如通过 ERIMO），但这需要大量测试以及可能还需要进一步细化该项模型。

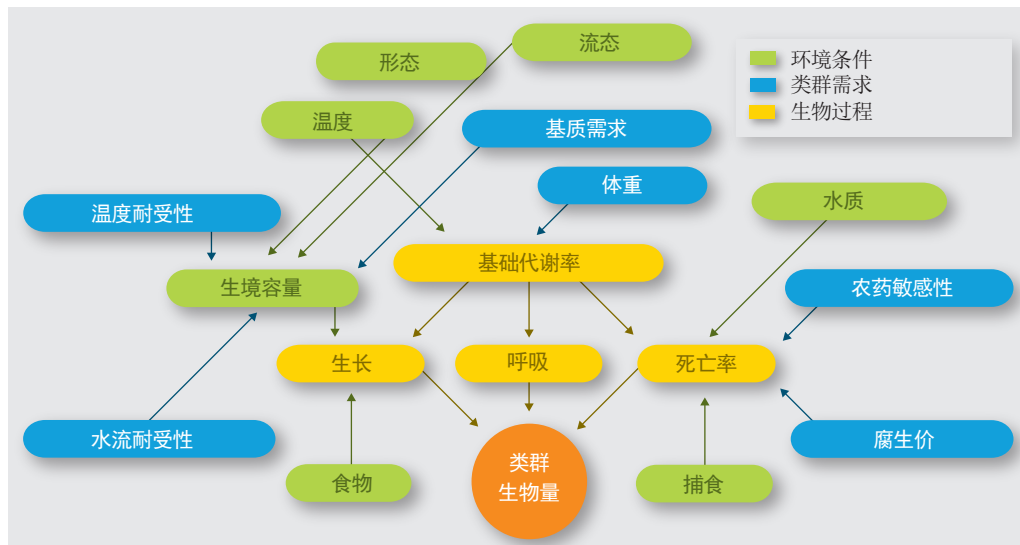


图2 在基本过程和影响因素的基础上，“Streambugs 1.0”模型模拟了一个特定位点类群的存在或其生物量的发展。生境容量是指该生境所能支持的最大的生物数量。腐生价表示对可降解有机物污染的耐受程度

一个特定地点是否存在某些物种取决于众多因素，例如各种环境条件（图 1）。考虑到这些影响因素，我们的模型模拟那些决定类群存在或类群生物量增加或减少的最重要的过程——生长（通过食物摄入和繁殖）、呼吸（生物量转换为能量）以及死亡率。这些过程依靠基础代谢率（即休息时消耗的能源量）。它们还受到各种类群特定需求和环境条件的影响（图 2）。

必要的复杂，尽可能地简单 这种模型总是涉及高度复杂的自然系统的总简化。因此，这一艺术就是在简单性和复杂性之间找到一种适当的妥协（即一种逼近现实）。简单是可取的，因为它使模型易于使用。例如，限制所需的输入量是有益的——理想的是限于已收集的数据或可以通过现有的信息估算的数据。简单的模型还需较少的计算时间，这是不确定性量化或敏感性分析方法应用中的一项重要考虑。敏感性分析被用来通过显示输入参数变化对结果的影响来评估模型的可靠性。

一种模型的复杂性只能增加——提供更现实的图片——假如它能够定量描述相关的相互作用和影响因素。只有当该模型的预测能力或普遍性增加时，更大的复杂性才是可取的——即如果它可被转让到不同的情况或地点。例如，我们可以开发一个能有效描述 Mönchaltorfer Aa 流域大型无脊椎动物存在的模型。如果这一模型也能提供 Gürbe 河和 Thur 河很好的预测，那么，它就不仅更有用于实际目的，而且我们也能更加肯定单一过程被正确表示。在这种情况下，该模型可以更容易被用来预测环境条件变化的影响。然而，总是存在有对这类“普遍性”的限制。期望一个模型适用于所有类型的河流（巴塞尔的莱茵河和阿尔卑斯山的山涧），可能是不合理的。

来自在线数据库的信息 各种大型无脊椎动物类群的特定属性，是从在线数据库获得的。这些属性是利用众多研究人员的文献汇编的。例如，关于生境喜好和觅食类型采自网站 www.freshwaterecology.info^[4]。关于类群的农药敏感性，是参考 SPEAR (SPECies At Risk) 数据库的^[5]。

SPEAR 系统——基于水保护当局收集的生物监测数据——显示了处于危险物种的百分比。如果存在很多敏

感物种，就可以假定该地方的农药暴露程度很低。如果耐农药物种为主，则表明农药成了问题。在我们的模型中，我们通过增加我们希望看到农药污染的地方敏感类群的死亡率，考虑这种敏感性信息。这是农药对群落影响的高度简化描述。我们在有机物污染的情形中采用了类似的方法，有机物污染可能会导致地表水中的氧耗竭。为此，我们使用了污水生物系统，作为一种水质分类手段，中欧很好地建立这一系统^[6]。

迄今为止，我们已在 Mönchaltorfer Aa（苏黎世州格拉芬湖的一条支流）集水区的 4 个地方测试该模型。对于这些地方来说，我们可以使用州废物、水、能源和大气局 (AWEL) 数年期间所收集的监测数据^[7]。这包括根据瑞士河流评价模块化概念（地区级）而记录的、大型无脊椎动物存在和丰度的信息。这些地区还有关于营养物、农药、排水和水温的数据。因此，我们能够评估作为该模型输入所需要的这 4 个地方的环境条件（见表）。

成功的实际测试 许多被用作该模型输入的因素（如特定类群增长或死亡率）是不确定的。在这类情况下，我们不用固定值来计算，而是为每个参数确定一个可反映该值现有知识 / 不确定性的概率分布。为了估计这些被称为蒙特卡洛模拟的数学方法来产生概率分布。在这一基础上，我们可以计算每一个大型无脊椎动物类群在一个特定地点生存或灭绝（例如：由于不利的环境条件所致）的预测概率。

Mönchaltorfer Aa 流域 4 个地方的环境条件

	地方 1	地方 2	地方 3	地方 4
	污水处理厂上游	污水处理厂下游	污水处理厂上游	污水处理厂下游
平均水温 (°C)	10.3	12.4	9.6	11.4
温度状况	温和	热	温和	热
平均落叶输入量 (g/m ² ·年)	170	260	500	420
遮阴表面的比例 (%)	15	26	90	95
流况	高	高	高	中
农药污染	?	是	非	是
水质 (腐水级)	I: 低污染区	II: β-中污染区	I: 低污染区	II: β-中污染区
平均磷浓度 (mg/L)	0.01	0.03	0.05	0.04
平均氮浓度 (mg/L)	3.3	8.0	2.1	7.6



图3 Mönchaltorfer Aa 流域一个地方的大型无脊椎动物的存在，被示作属级食物网。右：模型预测值；左：基于观测数据的实际情况

为了评估“Streambugs 1.0”代表现实的好坏，我们将该模型产生的预测与在 Mönchaltorfer Aa 流域 4 个地方大型无脊椎动物存在的观测数据进行了比较（图 3）。初始的测试（在输入参数校准之前进行的）已经非常成功。的确正如我们所预测的，这种模拟无法准确预测所有类群的存在与否。即便如此，该模型根据现场研究给一个地方所有采样时间都存在的多数类群分配一个高的生存概率。该模型一般给监测数据中从未存在过的类群分配一个低的生存概率。

评估管理选项 正如我们的实例所示，模型可能是有帮助的，即便现有知识是不完整的。通过提供最有可能的预测，它们可以支持决策过程。然而，要获得现实和可信的估计，重要的是对不确定性量化。如果这样一种模型要用于实践，那么下列研发步骤是必要的：模型概念的测试、在尽可能广的环境条件范围下应用，包括对该模型的改进以及用户友好型软件的施用。

“Streambugs 1.0”目前处于发展的第一阶段。我们对预测与观测数据不符的例外情况特别感兴趣，因为它们有助改进该模型。所以作为下一步，我们将在更多的地方测试该模型，看看结果是否被证实，以及确定不符之处的原因。这会允许更可靠地评估该模型的普遍性和预测能力，以及让我们进一步加以改进。

未来，我们希望干扰事件后的重新建群也能被纳入该模型。这是一个重要的过程，它有助于确定恢复措施的成败。我们的目标是，除了获得科学知识外，该模型

应在某点上能预测各种管理选项或气候变化对河流和溪流中生物的存在所产生的可能的影响。 ○○○

- [1] Schuwirth N., Kühni M., Schweizer S., Uehlinger U., Reichert P. (2008): A mechanistic model of benthos community dynamics in the River Sihl, Switzerland. *Freshwater Biology* 53, 1372–1392.
- [2] Schuwirth N., Reichert P. (2009): Modelling of benthic communities in rivers. *Eawag News* 66, 19–21.
- [3] Schuwirth N., Reichert P. (submitted): Bridging the gap between theoretical ecology and real ecosystems – Modelling invertebrate community composition in streams.
- [4] Schmidt-Kloiber A., Hering D. (2012): www.freshwaterecology.info – the taxa and autecology database for freshwater organisms, version 5.0 (accessed on 02/2011: version 4.0/2009).
- [5] Liess M., Schäfer R.B., Schriever C.A. (2008): The footprint of pesticide stress in communities – Species traits reveal community effects of toxicants. *Science of the Total Environment* 406, 484–490.
- [6] DIN 38410 (2004): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung (Gruppe M) Teil 1: Bestimmung des Saprobienindex in Fließgewässern (M 1).
- [7] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (2006): Wasserqualität der Seen, Fließgewässer und des Grundwassers im Kanton Zürich, Statusbericht 2006. Zürcher Umweltschutz. www.gewaesserschutz.zh.ch

水资源管理： 权衡保护与利用

淡水生态系统提供社会经济服务，但它们的功能依赖于某些生态需求得以满足。因此，可持续的水资源管理应同时考虑人类需求与环境需求。在 Spöl 和 Sandey 漫滩进行的两个研究项目，显示了这种方法可能涉及的内容。



Michael Doering, 水生生态室的景观生态学家，研究生态系统结构与功能之间的关系。

联合作者: Christopher T. Robinson

气候变化和不断增长的人类需求正在影响水资源的可得性。由于过度取水（全世界每年大约 4000 km³）的结果，很多大河现在已无法流到海洋，尤其是在干旱地区。全球 50 多万 km 的水道已被改作航运，已建造了 63 000 多 km 的运河，50 000 多个大型水坝在运行。后者蓄了 6300 多 km³ 淡水，而且计划了更多的大型水坝——特别是在发展中国家^[1]。气候变化也伴随着降水时间和幅度的变化，从而导致洪水和干旱等极端事件的增加。

水——风险与资源 以瑞士为例，近期数据的预测表明，主要降水期将从晚冬转移到早春。这将会增加春季极端水流的风险，接踵而来的是夏末的低流量或干旱。在更长时期内，冰川退缩可能会加剧这种情况。这些事态发展将会对防洪以及农业、能源和供水部门（在这些部门，水是不可替代的资源）产生直接的影响。

除了不断变化的气候之外，各种人类利用将会对淡水生态系统进一步施加压力。在瑞士，计划的核电淘汰将由水电增加来部分补偿，水电已占我国能源产量的大约 55%。与此同时，正在努力减轻水电生产的不利影响。2011 年生效的新修订的《水保护法》，要求采取补救措

施以减少水峰作业的影响，复原沉积物运移以及消除鱼类迁徙的障碍。此外，15 000 km 退化河流中大约 1/4 要得到恢复^[2]。

尽管淡水生态系统被用作资源，提供各种社会经济物品和服务，但它们也是只有当某些重要的生态需求得到满足时才能发挥作用的生境。此外，它们可能会对人类生活的基础设施构成风险。这些不同的、有时分歧的需求和利益——被气候变化所加剧——是潜在的资源利用矛盾的源头。在此背景下，水资源的可持续管理正在成为一项日益紧迫的任务（图 1）。可持续性涉及到适当考虑人类需求和环境需求。这意味着，采取一种经济、社会和生态关注的综合方法，以达到一种各利益相关方可接受的适当的利益权衡。这需要相互考虑、参与决策和长期战略规划。

提高可持续性的适应性管理 一种可促进水资源可持续管理的手段叫做适应性管理。这涉及到一个不断变化的过程，在这一过程中，从先前决策结果学到的东西被用来优化未来的管理行动，从而更加接近一个理想的解决方案。

在两个案例研究中——瑞士国家公园中的 Spöl 河以及伯尔尼州 Urbach 河谷的 Sandey 漫滩——我们已通过一种适应性方法调查如何才能将多种生态利益和社会经济利益整合进水资源的可持续管理。在第一个项目中，目的是使用实验洪水在不对水电生产产生不利影响的情况下改善一条受调控高山河流的生态环境。在第二个项目中，我们研究历史性漫滩区管理的影响，以及计划的恢复措施如何才能与防洪和土地利用需求协调一致。

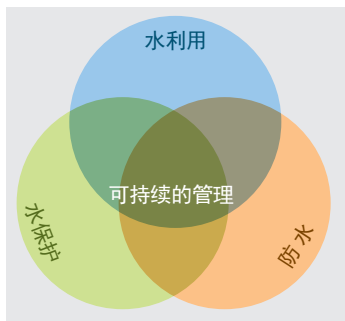


图 1 可持续的淡水系统管理旨在整合多种生态利益和社会经济利益（引自文献 [3]）



Photos: Eawag



自 2000 年以来，Spöl 河的恒定剩余流量被实验性洪水打乱，以测试水回用在最佳生态排水方面的潜力

Spöl 河源自 Lago di Livigno——瑞士与意大利边界上的一个水库。调节前的流量为 6—12 m³/s，高峰流量达 120 m³/s；调节之后，恒定的剩余流量夏季为 1.45 m³/s，冬季为 0.55 m³/s。自 2000 年以来，每年 1—3 次实验性洪水已打乱了这种剩余流量，为的是重建更加自然的流况（图 2）。这项研究的主要目的是，确定这种新颖的干扰方式是否能对 Spöl 河生态系统产生积极的影响，过去 30 年内，该河的剩余流量一直保持在较低的恒定水平。

最佳的生态排水量是根据下列方面确定的：最小的基流需求以及最适合为居留生物群创建可持续生境（即便是在不断变化的气候条件下）的高流量和洪水事件的时间、持续期、程度和频率。

转向更为自然的状态 洪水对该河的物理化学产生的影响很小，因为水源——来自大坝的下层滞水带释放——未改变。不过，它们减少了河床的护壳，增加了河床沉积物的孔隙度。头两年中，沉积物被冲刷，附着的苔脱落。洪水还减少了河中的底栖有机物。常见的初

级生产者（如水生附着生物）蓄积量同样下降。虽然 Spöl 河营养物丰富，但洪水通过冲刷来自河床沉积物的丝藻保持低的水生附着生物量。

洪水减少了底栖大型无脊椎动物密度和多样性，导致物种组成变化，小生物和低生物量的比例较高。易受干扰物种如体形大、轻盈的钩虾 (*Gammarus fossarum*) 的丰度降低，抗性更强的物种如体形小、高移动性的蜉蝣 (*Baetis* spp.) 的丰度增加。总体上看，在生态系统状态转变之后，所研究的生物组成和形态方面观测到更大的变化。

在这一点上，可以得出这样的结论：由于实验性洪水的结果，Spöl 河的生境条件和物种组成更类似于可比的高山天然河流。与此同时，Spöl 河的实例表明，可以调和生态利益与经济利益，由于作为这类洪水释排的水

图 2 直到 1970 年，Spöl 河一直有一种自然的流况（左）。在调节条件下，剩余流量不断被限于大约 2 m³/s。自 2000 年以来，已采用定量的实验性洪水（最高达 40 m³/s）来创建更接近自然的流况

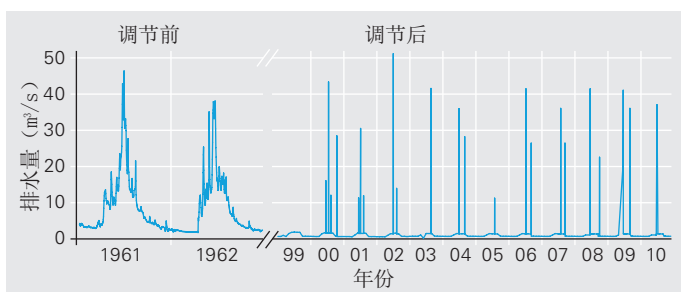
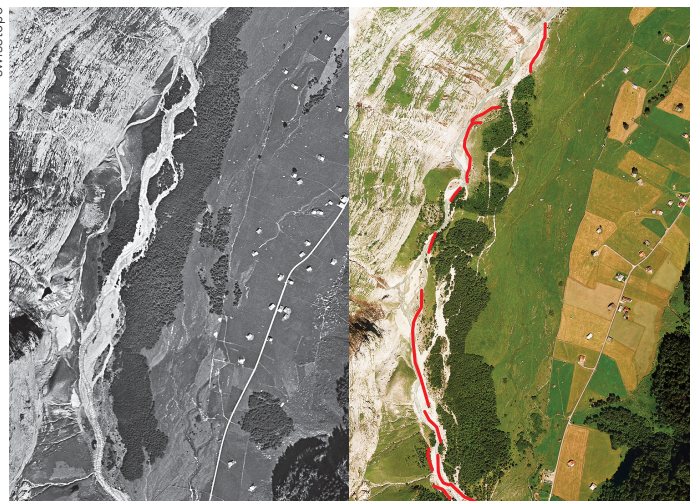


图 3 航拍照片显示了 1940—2007 年期间 Sandey 漫滩的变化特征。红线标志防洪堤的位置



可以被分流和供其他流域的电力生产之用，对于经济成本实际没有影响^[3, 4]。

利益相关者的参与 Sandey 漫滩项目（图 3）——与 Kraftwerke Obberhasli AG 水电公司和联邦环境部与空间开发部合作启动——结合现场评估、水文模型和遥感/地理信息数据，量化和模拟历史性漫滩管理和计划中的恢复措施如选择性开放堤坝的效果。还要考虑的是防洪和现有土地利用需求的维持。该项目旨在通过为利益相关方之间的对话提供一个科学基础以及支持未来漫滩管理透明的决策，来促进可持续的管理。来自其他河流系统的参考研究的纳入以及地区、国家和国际各级行动者的参与，旨在确保这项研究结果可转移到其他地方。

Sandey 漫滩——大约 3.5 km 长，面积为 118 ha——的特征为高度结构差异性，包括天然河流漫滩典型的生境类型，如岛屿、冲积森林、主水道和砾石坝。作为一个具有国家重要性的冲积区，它是一个优先保护区。在社会经济方面，该漫滩被用于放牧牲畜和各种私人目的。Urbach 河大约年均 30% 的排水被 1950 年建造的一个上游大坝抽取，用于一个不同流域的电力生产。此外，尤其是在 20 世纪 90 年代，建造了众多堤坝，以提供这一活漫滩的防洪。

历史航拍照片显示了该漫滩随时间推移的变化程度。

图 4 1940-2007 年期间，Sandey 漫滩生境丰度的变化。数据来自历史航拍照片

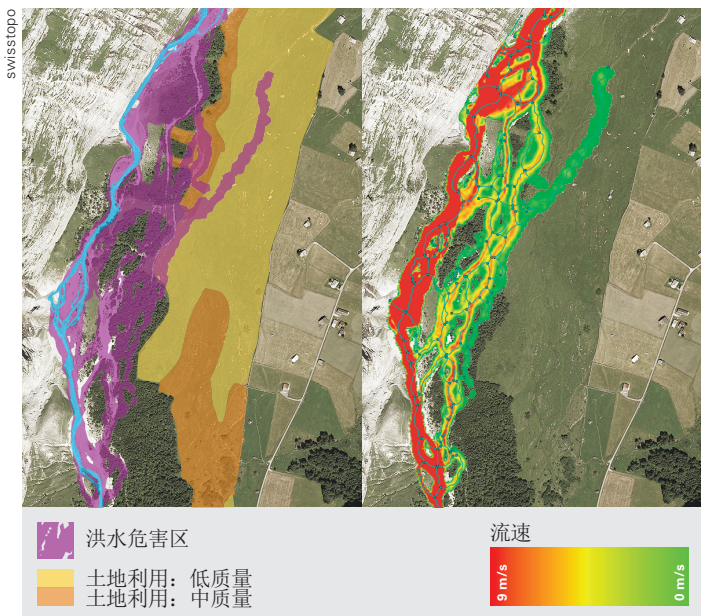
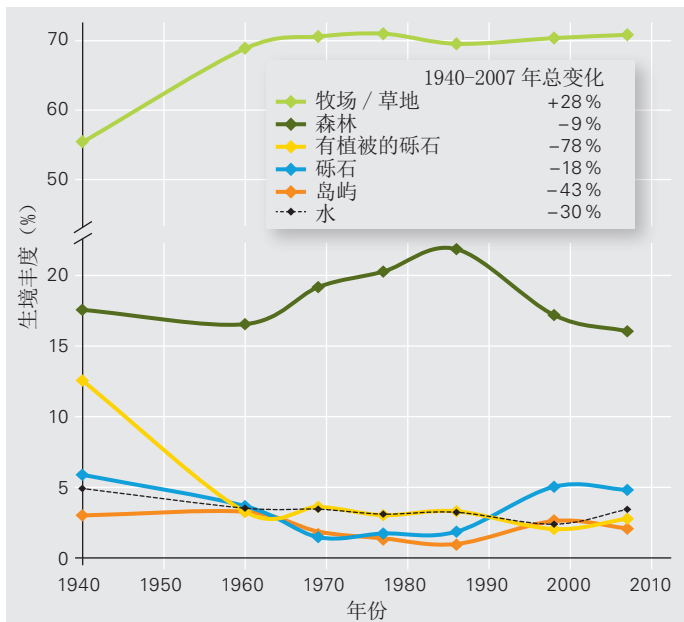


图 5 计算机模型可用来模拟 Sandey 漫滩各种管理方案的社会经济后果和生态后果，例如，可以预测堤坝开放对土地利用、河网和流速的影响情况

生境类型的相对丰度以及水道复杂性已发生很大波动，这不是自然河流漫滩的典型模式。与 1940 年接近自然的状态相比，该地区现在的差异性低，某些典型的生境已变得较不丰富了（图 3 和图 4）。这可能是由于取水的影响，尤其是由于建造堤坝而对水文动态的制约所致^[5]。

对生态系统过程的影响 我们进行各种生境类型的呼吸速率（碳循环的代理）的现场调查。在特定生境呼吸速率和每一生境先前程度的基础上，我们还计算了历史性碳循环。与目前的数值比较显示了过去 70 年内该漫滩总碳预算发生了重大变化。这些研究结果表明，漫滩的结构性和功能性特性可以较快地对水文动态变化作出反应。因此，恢复更多自然的水文动态可以提高差异性和生物多样性，从而促进更多自然漫滩生态系统过程。

在诸如 Sandey 漫滩一类大量使用区，水文动态变化——例如由堤坝开放所致的——可能与对人类和财富的危害的增加有关。不过，由于最近景观模型方面的进展，现在能产生与恢复的漫滩连通性相联系的高流量方案，以模拟生境特征的复兴，同时最大限度地减少破坏风险。运用这一模型，我们可以评估 Sandey 漫滩中可能在生态方面对洪水风险保持在最低的高流量管理方案作出最佳反应的区域（图 5）。初步结果表明，更多侧面水道的开放实际上可以减少或减轻与更极端高流量相关的风险，

同时增加漫滩生境的异质性和生物多样性。

该模型还能用来模拟气候变化或水利用变化对排水量的影响。目的是为实践者或可持续的水管理规划的决策者们提供决策支持，以确保生态对漫滩功能的需求与社会经济服务的提供之间保持平衡。

长期监测的重要性 可持续的水资源管理是一项复杂的任务：除了解淡水生态系统的需求之外，目的是在不超出这些系统总承载能力的情况下满足人类对它们所提供的物品和服务的需求。如果要它们长期保持完整和具有功能，从而能产生人类所需要的服务，必须要满足什么样的要求呢？

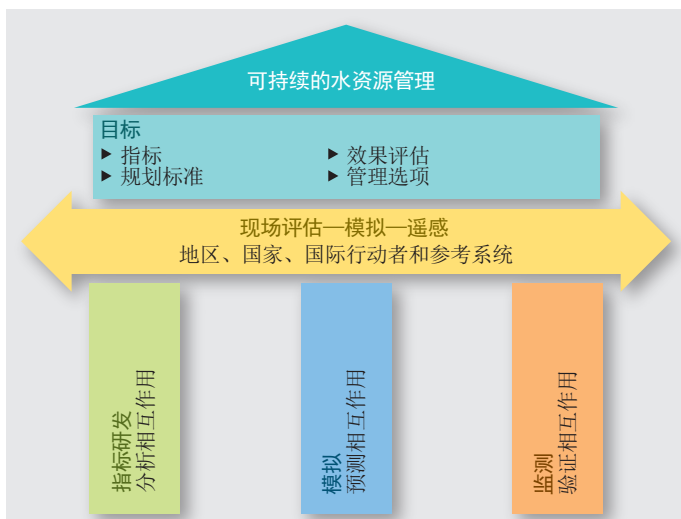
在 Spöl 河和 Sandey 漫滩所进行的研究，代表用于实现更加可持续的水资源管理的经验的和务实的方法，这类方法承认该任务的复杂性，并涉及相关的利益相关方（图 6）。迄今已获得的关于 Spöl 河的研究结果一直很有说服力：该项目已影响了国际层面的类似实验——如在澳大利亚的 Snowy 河或在美国 Glen Canyon 大坝下游的科罗拉多河。但该研究也表明，长期监测对于评价变化和估评管理行动的效果是必不可少的^[6,7]。

Sandey 漫滩项目已证明，通过各种方法的结合，可以在景观规模量化变化，一种综合方法可以适应社会经济需求和生态需求。与此同时，这两项研究已为涉及遥感数据的综合监测方案奠定了基础。目的是评估效果和

确保恢复措施的长期成功。

这种长期的宽视角对于适应性管理和淡水生态系统的恢复是必不可少的，所以可以学习未预见到的发展，并通过一个反复的过程，更加接近生态需求和社会经济需求之间的最佳平衡。水资源管理应被视为相对于社会和环境的一种道德义务，以帮助确保生态系统物品和服务的可持续性。 ○○○

图 6 一个可持续的资源管理的综合方法：现场评估用文件证明研究区的相关参数（指标），模型模拟不同管理方案的效果，遥感允许进行长期监测



- [1] Tockner K., Stanford J.A. (2002): Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation* 29 (3), 308–330.
- [2] Göggele W. (2012): Revitalisierung Fließgewässer. Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1208.
- [3] Bundesamt für Umwelt (2012): Einzugsgebietsmanagement – Anleitung für die Praxis zur integralen Bewirtschaftung des Wassers in der Schweiz. *Umweltwissen* 1204.
- [4] Robinson C.T. (2012): Long-term changes in community assembly, resistance and resilience following experimental floods. *Ecological Applications*, online.
- [5] Robinson C.T., Uehlinger U. (2008): Experimental floods cause ecosystem regime shift in a regulated river. *Ecological Applications* 18, 511–526.
- [6] Döring M., Blaurock M., Robinson C.T. (2012): Landscape transformation of an alpine floodplain influenced by humans – Historical analysis of aerial images. *Hydrological Processes*, online.
- [7] Robinson C.T., Döring M., Seelen L. (2011): Importance of protected areas for freshwater biomonitoring – Case studies in Switzerland. *Journal on Protected Mountain Areas Research and Management* 3, 13–23.
- [8] Robinson C.T., Örtli B. (2009): Long-term biomonitoring of alpine waters in the Swiss National Park. *Journal on Protected Mountain Areas Research and Management* 1, 23–34.

水电：扩大的潜力与极限

瑞士的水电部门正面临着 10 亿法郎的挑战。迎接这些挑战所需的是，优化峰负荷生产和储存来自新的可再生能源的过剩电力的经济和生态可接受的方式。在这两种情况下，瑞士和欧洲的利益将会得到服务——理想的是，除了可能给电力部门带来好处外，还能有益于水生生态系统。



Alfred Wüest, 物理学家, 地表水室负责人, 苏黎世联邦理工学院 (ETH) 和洛桑联邦理工学院 (EPFL) 教授。

联合作者: Andreas Bruder, Armin Peter, Stefan Vollenweider

在瑞士，电力的普及可能是理所当然的，但可持续电力供应的规划对世界各地决策者们构成了挑战。自从 2011 年福岛灾难以来，这项任务未变得任何轻松。同年，瑞士议会和联邦委员会决定逐步淘汰核电的使用。作为当务之急，现在需要确定的是，如何才能补偿未来的容量损失——每年大约 24 太瓦时 (TWh) 未来几十年中需要通过效率措施和新能源填补的空缺，相当于目前电力需求的 40%，由于消费的稳步增加，这一电力缺口会继续扩大。

实际上，需要能源提供总容量 30—40 TWh/年^[1]。一个可能呈现在眼前的选项是，用化石燃料取代失去的发电容量。但由于瑞士已对《京都议定书》的减排目标作出承诺，所以必须从诸如风能、太阳能、地热能或水电一类可再生能源中寻找替代方案。但水电在未来能源供应中能够和应该发挥什么样的作用呢？

水电的平衡功能 在瑞士，水电是电力生产的主要来源——占总量的 55% 以上——但剩余潜力有限。联邦能源

部^[2]、瑞士水资源管理协会 (SWV)^[3] 和环境团体公布的水电可能的贡献的估计数差异很大。实际上，净增加电力产量可能约为 1—3 TWh/年 (表 1)。考虑到遵守剩余流量规定所涉及到的产量损失，来自运行优化和新的的大型和小型发电站建造的增量，相当于目前电力产量的不到 10%^[3]。因此，水电无法弥补未来的短缺。由于风力的潜在贡献有限以及未来深层地热能的作用的不明朗，所以显然未来电力混合的最大贡献将必须来自光伏发电。

不过，水电有两种方式能助于迎接瑞士和欧洲巨大的电力生产挑战：(1) 通过在高需求时提供能源 (高峰负荷生产) 以及 (2) 在供应过剩时储存能量。通过安装 13.4 千兆瓦 (GW) 的高峰容量以及大约 10 GW 的有效生产高峰，不仅瑞士水电短期内极为灵活和可得，而且 (通过大约 4 km³ 的高山存储量) 还具有几个月内提供调节和平衡电力的强大支柱的作用。因为过去欧洲没有来自随机源 (如风能和太阳能，根据气象条件的不同，只能部分可预测) 的重大的能源生产过剩，所以只在阿尔卑斯山脉建造了少量用于白天 / 夜晚平衡的抽水蓄能电站。在这方面，预计在不久的将来会有重大变化，瑞士可以在随机源剩余电力的储存方面做出重大贡献。

用于日常负荷调整的水电 如果未来更多的新的可再生能源来自风 (来自北欧) 和来自光伏发电 (来自瑞士)，那么，电力生产将会变得更不规则，产出方面存在着巨大的日波动或甚至小时波动 (图 1)。与这些新的可再生能

表 1 额外水电生产的潜力^[2-4]

变化	估计的潜力 (TWh/年)
增加的效率, 优化和革新	1.0 — 1.8
新的大型发电站	0.7 — 1.4
新的小型发电站	0.7 — 1.7
遵守最低剩余流量规定	-2.0 — -1.4
气候	± 0
总计	0.5 — 3.5

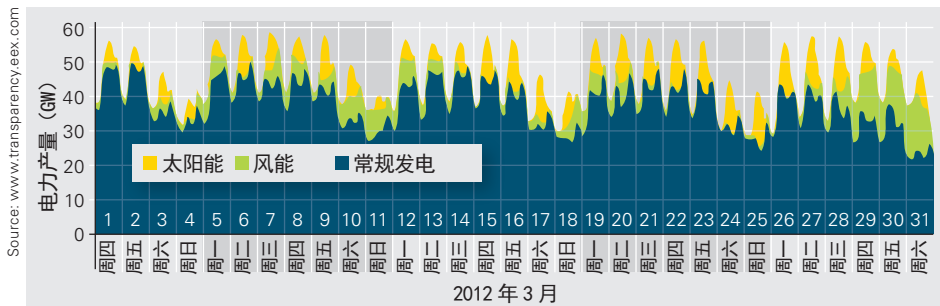
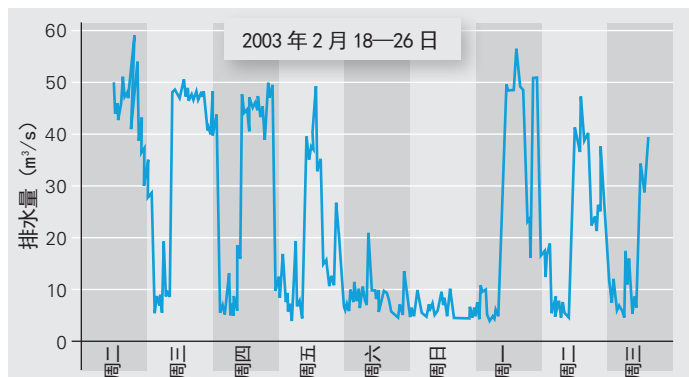


图1 2012年3月德国的电力生产。3月31日（周六）中午时分，风和太阳能电站生产的电力达到大约32 GW，即占总发电量的50%以上。抽水蓄能电站应能吸收这类时间生产的剩余电力

源相关的过量和短缺将会多大呢以及波动的时间刻度多短呢？作为一个参考点，我们可以取上述至少30 TWh/年这一容量缺口，这一缺口最好由光伏发电来填补。德国的实践经验表明，30 TWh/年的发电量可能需要安装大约40 GW的高峰容量^[4]。如此大的光伏发电比例可能会导致高达20 GW短期的与天气相关的输出波动，目前瑞士的水电站无法充分对此进行补偿。虽然光伏发电系统的确具有日产量最大值和最小值与日需求曲线大多吻合以及短期波动可由智能电网加以平缓的优点，但高峰负荷容量似乎仍需增加。

如果未来蓄水水电站的高峰负荷输出方面的变化进一步增加——例如由装机容量的扩大——那么，当涡轮水返回河流时，排水量将会有大的波动，尤其是在平日。这些波动导致下游河段中的水峰，从而导致有关高山河流重大的生态影响（图2）。迅速升高的高流速（浪潮）会破坏河床，冲走水生物，如昆虫幼虫和小鱼。这导致这些生物丰度和生物量下降，最终导致物种组成方面的变化（表2）。由于随后不断下降的低流速，生物（尤其是鱼类）可能会搁浅或其迁移性受限。在此，涡轮的突然开启和关闭以及排水量的巨大变化，对水生生态系统和生物群落产生各种

图2 Hasliaare 河水峰实例，冬季典型的最大排水量/最小排水量之比为10:1。由于基流较高，所以夏季的条件一般更为有利



的不利影响。尤其对鱼类和大型无脊椎动物来说，水峰具有破坏性影响。相比之下，抽水蓄能电站不涉及水峰，因为低水库和高水库之间的水交换不影响河流。

表2 水峰的影响

	现象	直接影响
流速高速增加（水潮）	流速快速增加	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 水生生物漂移（超过上游补偿迁移） ▶ 飞到低水流区 ▶ 有机物（资源）冲走
	河床移动	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 机械损伤 ▶ 水生生物漂移 ▶ 上层沉积层细颗粒去除 ▶ 浊度增加
	悬浮颗粒输入和运移	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 浊度增加 ▶ 生理应激增加 ▶ 机械损伤（皮肤和鳃） ▶ 生物磨损 ▶ 光合作用减弱
高流量期间	河床层移动	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 对基质居留生物的机械损伤 ▶ 河床堵塞减少
	水温变化	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 水生生物漂移 ▶ 活性变化
	河水地球化学成分变化	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 生物暴露于不同浓度的氧、营养物质和有机与无机成分
流速快速下降	脱水区增加	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 生物搁浅（干燥 暴露区和产卵声冻结） ▶ 生物捕获（不适合的生境）
	流速快速下降	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 悬浮颗粒沉积 ▶ 河床堵塞
低流量期间	表面积减少，水深度下降	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 通常的剩余流量问题：改变水质（减少生境和连续性、水温）
流速高度变化	非自然的流态	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 改变形态 ▶ 大型无脊椎动物和鱼类行为变化

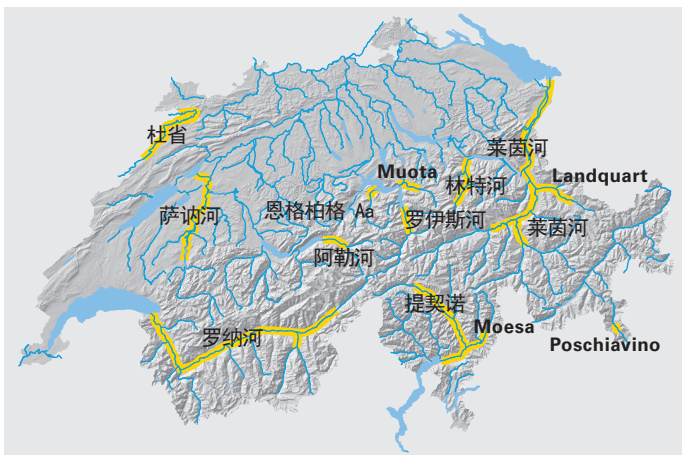
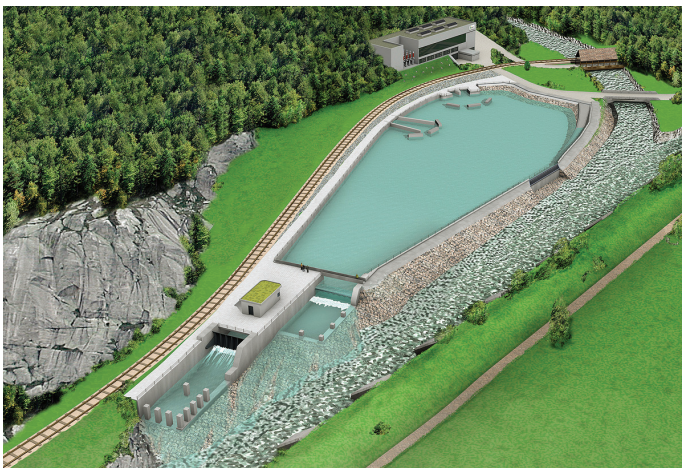


图3 受到水峰影响的、主要集中在前高山湖泊之上的支流下游流域的最重要的河流图，几条受影响的河流包括日内瓦湖上游的罗纳河、康斯坦茨湖上游的高山莱茵河以及提契诺河、萨讷河和 Doubs 河

减轻水峰的措施 受水峰影响的河流遍布整个阿尔卑斯山脉，但瑞士河段受影响的程度突出，尤其是在前高山湖泊上游（图3）。鉴于这些影响规模以及水电使用的上升趋势，瑞士议会决定——2010年通过修订的《水保护法》——未来要减缓水峰作业重大的不利影响。主要通过结构性措施达到更严格的法律规定，也可以在自愿的基础上采取运行措施。目前，各州正在制定战略补救计划，该计划将与其他措施（恢复项目）相配合，各州随后将命令强制性补救步骤。

用于缓解水峰的结构选项包括消力池和均衡水库（图4）。尽管小消力池可以适度增加和降低（但不是峰）流速，

图4 一个潜在消力池的可视化。前景中可见的是（右上到左下）是 Hasliaare，这是由位于 Innertkirchen 的 Gadmerwasser 参与的。通过大约 50 000 m³ 的保留量，该池应可使水峰比从 8:1 降至 5:1



Source: Swiss Association for Water Resources Management

但均衡水库拥有大得多的容积，所以可以通过每天或每周调整来控制最大和最小流量。所需要的结构性措施的程度和费用，在瑞士水协会（VSA）的一项研究中得到评估^[6]：假设一个特定的水峰比为5:1，那么各主要的高山河流——莱茵河、罗纳河、罗伊斯河、阿勒河、提契诺河和因河——需保留的量，从几十万到几百万 m³ 不等。所需要的土地面积达数十 ha，根据是否在每日或每周基础上进行或在为为期数月内进行调节而变。

均衡性水库可以额外充当抽水蓄能电站水的低水库，因此，为间歇性新的再生能源提供进一步的负载均衡能力。如果均衡性水库足够大，那么随机的风能和太阳能就能在高海拔水库中储存数小时。不过几百万立方米级的均衡性水库可能会遇到反对，因为需要大量的空间。但如果涡轮水直接排入河流的现有电站的高峰负荷输出增加的话，它们将是必要的。

用于长期平衡的抽水蓄能电站 除了带有抽水设施的均衡性水库外，首先将需要帮助弥补新的可再生能源波动，将是建造更多新的抽水蓄能电站。瑞士目前经营 14 个多为小型的抽水蓄能电站，总装机容量为 1.4 GW（表3）。鉴于欧洲电网中预计的随机波动，这只不过是沧海一粟。因此，在瑞士，各种项目处于规划阶段或监管审查。目前，3 个大型电站在建设之中。

带有高山水库的抽水蓄能电站代表环境无害化解决方案吗？现有水库之间的抽水蓄能运作或将一个很大的高山前湖泊用作较低的盆地，可以减轻对天然水体的影响，只要适当配备水泵以防止夹带鱼。例如，据报道，易北河上的 Geesthacht 抽水蓄能电站对鱼类产生了不利影响。还应该特别批判地看待不同流域水文和淡水生态的任何混合。鉴于生态原因（水位波动、温度和浊度变化）要避免将小湖用作盆地，在这方面，Lago di Poschiavo 的规模可视为边界线实例^[7]。抽水蓄能电站主要的生态好处在于：在不导致额外水峰影响的情况下，可以增加高峰发电量。

根据表3所示，当核电已被逐步淘汰时，瑞士可能总共已安装了大约 6 GW 抽水蓄电容量，这可以舒舒服服地满足每日和每周的平衡，以及额外为欧洲提供服务。不过这一容量不足以为几周很冷、很热或很干条件提供缓冲，更别提季节平衡了。尽管如此，电力系统服务可以为水产业产生相当大的利润，然后这可能回拨进必要的生态补偿措施。

现有的		总计 1460	
Grimsel 2	352	Ova Spin	52
Hongrin-Léman	256	Handeck	48
Mapragg	159	Zermeiggern	46
Robiei	157	Mottec	36
Nestil	140	Chatelard-Barbarine	32
Ferrera I	90	Sambuco-Peccia	24
Etzelwerk	54	Rempen	16
在建的		总计 2140	
Hongrin-Léman/Veytaux II, 2015	240	Nant de Drance/Emosson, 2017	900
Linth-Limmern/Muttsee, 2015	1000		
在监管审核的		总计 1630	
Lagobianco (Val Poschiavo)	1000	Grimsel 3 (KWO Plus)	630

表 3 瑞士现有的和计划的抽水蓄能电站的装机容量（按百万瓦计）

水电扩张为了季节平衡吗？ 如果我们假设瑞士将主要使用太阳能发电来弥补核能损失的话，那么，产生的问题是，（现有）水电装机容量是否也能满足季节性平衡需求呢。德国的经验表明，春节和秋季占太阳能年总产量的大约 50%，夏季和冬季各分别占 40% 和 10%。对于瑞士来说，这意味着，夏季光伏发电可能生产 4—5 TWh 盈余，冬季可能会缺这么多。通过现有储量来储备这一数量的能源可能是不现实的，因为如今季节性平衡已经需要这一储备量。粗略估计表明，可能将需要额外大约 1 km³ 容积来安置这种额外的能源量。这大约相当于拥有 Grande Dixence, Mauvoisin 和 Emosson 等大水库的瓦莱州现有的整个存储量。很显然，建造这种规模的新水库——增加现有大坝的高度也可以创造新的装机容量——将是极具争议性的。

水资源可持续利用方面的研究 鉴于水电开发这一设想，产生了众多关于高峰负荷生产和储能的生态可接受条件的实际问题。什么样的变化——在排水量和河床影响方面——旨在受水峰影响的河段的修复？如何设计消力池和均衡性水库以使抽水蓄能和每周平衡值得？用于抽水蓄能作业的低海拔水体可容忍的最低需求——在温度、浊度、水位波动和鱼类生境需求方面——是什么呢？将尽快制定一个涉及这种目标的研究日程表（见第 26 页）。

结论 未来，通过高峰负荷生产和抽水蓄能，水电可能在随机源电力整合进欧洲电网方面发挥关键性作用。

这些对瑞士水电的改动——它可能理想地导致双赢局面——将需要 10 亿法郎投资：用于（1）光伏发电扩大；（2）电网能力扩大；（3）新的抽水蓄能电站；（4）高山水库的扩大和建造；以及（5）消力池和均衡性水库。显然电力供需的周平衡在现实成本下可以实现，但季节平衡需要新的高山水库。如果这证明社会无法接受，那么，确保冬季安全的供电就将需要化石燃料电厂或国外额外的风电场。

○○○

- [1] ETH Zürich (2011): Energiezukunft Schweiz, Studie vom November 2011.
- [2] Bundesamt für Energie (2011): Energieperspektiven 2050. Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung unter neuen Rahmenbedingungen.
- [3] Pfammatter R. (2012): Wasserkraftpotenzial der Schweiz – eine Auslegeordnung. Wasser Energie Luft 104 (1).
- [4] European Energy Exchange AG, Leipzig, www.transparency.eex.com
- [5] Baumann P., Klaus I. (2003): Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes – Ergebnisse einer Literaturstudie. Mitteilungen zur Fischerei 75, Bundesamt für Umwelt.
- [6] Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband (2006): Kraftwerksbedingter Schwall und Sunk. Eine Standortbestimmung. Studie von VAW/ETHZ und LCH/EPFL.
- [7] Bonalumi M., Anselmetti F.S., Wüest A., Schmid M. (2012): Modeling of temperature and turbidity in a natural lake and a reservoir connected by pumped-storage operations. Water Resources Research. accepted.
- [8] Kraftwerke Oberhasli (2011): Aufwertung der Kraftwerke Handeck 2 und Innertkirchen 1: Das Wasser effizienter nutzen. Informationsbroschüre, KWO, Innertkirchen.

研究人员和专业人员需要携手合作

在瑞士，水研究人员与专业人员正面临着重大挑战。据 Eawag 理事会成员 Bernhard Wehrli 称，未来，只有当研究人员与专业人员合力时，才能迎接这些挑战。通过启动“瑞士河流”应用研究方案，Eawag 打算加强与水部门伙伴的联系。

采访人：Andres Jordi

Eawag 三个集中研究领域之一是“水生态系统功能”。瑞士水生生态系统像它们应该的那样“发挥作用”吗？我们的地表水质是好的——瑞士在这方面取得了长足进步；事实上，随着最近联邦委员会减少微量污染物输入计划的公布，瑞士现在是先驱之一。但不幸的是，无法说河流生境的情况相同，由于防洪构筑物和水电运行的结果，河流生境严重退化。这造成了鱼迁徙的障碍，并对天然产卵产生了不利影响。修复剩余流量河段的措施的实施滞后于计划表。

早在 1992 年，联邦政府就要求各州确保足够的剩余流量，以缓解水电生产的生态影响。在这方面，高山大州仍有很多工作要做。在多数情况下，它们未设法在规定的 2012 年截止期完成实施任务。

不要将减速器放在附着于最新修订的《水保护法》的希望上吗？ 剩余流量修复的问题是，必须以一种成本中性的方式实施这些措施，各州有时甚至不得不放弃来自水电的收入。但根据修订后的法规，资金可用于恢复项目或缓解水峰影响的措施。由于财政均等制度和电力输送征税，这笔新资金将流入各州的金库。为此，我对更快地进行实施表示乐观。

因逐步淘汰核能而不得不扩大水电时，实施行动会受到压力吗？ 这的确是一个需要解决的新问题。联邦能源部想使水电产量增加大约 10%。除了现有设施的优化之外，

额外的电力一半来自大型电站，一半来自小型电站。某些大型水电站的建造肯定是有道理的。但新的尤其是小型电站——其中不少需要建造——可能会与改善河流连续性和连通性的目的背道而驰，并对水生生境产生重大的不利影响。当今，瑞士已在使用其 90% 的水电潜力。它也需要完整的河段，以维持生物多样性和生态系统功能。这方面存在着严重的利益冲突。

我们仍缺乏良好的水生生物多样性数据库。

这一问题如何才能解决呢？ 《21 世纪水议程》框架提供了一个很好的讨论平台，在这里，活跃在水务部门的所有局中人都出席——从 Eawag 和当局、通过水管理行业，到环境团体。在我看来，各州为河段指定重点可能也是有用的：哪里可以额外利用，哪里应采取优先保护以及哪里需要权衡竞争性利益？这可能会避免不必要的努力，并减少争议地点的数目。

研究人员还需要解决什么问题？ 我们仍缺乏良好的水生生物多样性数据库。对于水保护措施而言，生物多样性总是被作为一个重要目标，但不清楚这实际包括什么：哪种多样性应该保护以及在哪里？如何才能做得到？当我们加强生境时，何种物种定居——它事实上是珍稀生物吗？还要有一个获得遗传层面生物多样性的监测方案。研究可以通过研发合适的概念和方法为此作出贡献。因为各州拥有水体的领土权，所以监测数据往往是零碎的和不易获得。使这种数据易于被公众和研究人员所得可能是重要的。

但在未来，还需要水文和生物领域更紧密的合作。我们尚不足够了解水生生态的功能或河流形态与生物之间的相互关系。但必须要了解这些系统的运作，以确保修复或恢复措施产生最大可能产生的生态效益。

如何才能弥补这些缺陷呢？ 鉴于与修订的《水保护法》和逐步淘汰核能有关而产生的挑战，Eawag 目前正在制定“瑞士河流”研究方案。该方案的目的包括：填补我们对河流恢复和鱼迁徙认识方面的空白；促进更加环境友好的水力发电的发展。例如，虽然我们不知道如何建造能使鱼类向上游迁徙的鱼梯，但向下游迁徙仍然是个问题。在这些努力中，我们将特别重视与专业人员的密切合作以及野外适用性。

你们会与谁合作？ 一个关键性的合作伙伴是联邦环境部（FOEN），它支持我们的努力。尤其是对于知识传授，我们想与瑞士水协会（VSA）密切合作。渔业社区——作为“外行研究者”——也发挥了重要作用。他们了解河流，他们的反馈能有助于更明确地定义科学目标。我们还想参与《21 世纪水议程》利益相关方。在研究方面，Eawag 将追求现有与下列方面的密切合作：苏黎世联邦理工学院水力、水文和冰川实验室（VAW）、洛桑联邦理工学院建筑水力学实验室（LCH）以及联邦森林、雪和景观研究所（WSL）。另一个合作伙伴是瑞士科学院水文委员会（CHy）。

这些活动的时间表是什么？ 此刻，我们正在寻找一位项目主任，他将负责协调和组织。我们想要具有科学背景和大量实践经验的人。他们首先将负责将研究成果向实践转移。该项目将从 2012 年底开始，最初将运行 3 年，具有扩展的前景。建立和加强这一网络需要一个 6—8 年的时间框架。

该方案如何得到资助？ 有各种资金来源。Eawag 将和 FOEN 合伙提供方案主任新职位的基本资金。FOEN 主要资助以实践为导向的项目；对于科学性质的问题，当然可以接触瑞士国家科学基金会。某些项目还可以通过技术与创新委员会——联邦创新促进机构——与私方合作得到资



助。最后，通过其内部的资助方案，Eawag 可以帮助研究顺利进行或提供额外的支持。

你们如何确保研究结果转移到实践？ 我自己的应用研究项目的经验已表明，直接与私方专业人员合作是非常有益的。这样，你可以发现专业人员的真正需求和他们所遇到的问题。专业人员本身也能容易接触到研究结果。在“瑞士河流”方案中，定期培训活动保证了知识和经验的分享。我们对获得来自专业人员的反馈非常感兴趣，我们依赖于公开的通讯渠道：我们想听到人们的需求和关注。从这一点看，“瑞士河流”旨在为专业人员提供一扇打开的门。可用于规划和实施我们所面临的的任务的时间很少。只能通过携手努力才能做到。

○○○

我们想听到专业人员的需求。

简讯

日程表

课程

2012年10月3—4日, Dübendorf Eawag
评价 von ökotoxikologischen 测试

2012年10月31日—11月2日, Dübendorf Eawag
VSA- Eawag-Kurs: Messen-Regeln-Überwachen in der
Abwasserreinigung

2012年11月7—8日, Dübendorf Eawag
Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt

活动

2012年6月28—29日, Dübendorf Eawag
欧洲第一届生态毒理学动物实验替代、减少和改进大会

2012年9月14日, Dübendorf Empa学院
Herausforderungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft

2012年11月22日, Landhaus Solothurn
5. Fachtagung ChloroNet
进一步信息: www.eawag.ch/veranstaltungen/index_EN

新出版物

2012年5月, 联邦委员会公开了《水保护法》修订的协商程序。根据这一修正案, 为消除微量污染物而选定的污水处理厂的升级换代, 将根据“污染者付费”的原则在全国基础上得到资助。在发展和评估用于减少来自药品和化学品的微量污染物的概念和措施方面,

Eawag 发挥了关键作用。联邦环境部现已公布了连同英文摘要的这一研究结果: 《城市污水中的微量污染物》。该报告显示, 采用先进的处理工艺如粉末活性炭或臭氧, 可以大大改善水质。 <http://tinyurl.com/micropoll-bafu>



资料单页和出版物

Eawag 在其网站上发布了关于各种热点问题的资料单页。最近新增的系列涉及“水与能源”、“水电与生态”以及“雨水利用”。 www.eawag.ch/medien/publ/fb/index_EN

Eawag 研究人员的所有出版物的数据库 (包括文章摘要) 可以网上获得: www.lib4ri.ch/institutional-bibliography/eawag.html

可以免费下载开放存取出版物。

过程工程室的新负责人



2012年初, Eberhard Morgenroth 接任过程工程室负责人。他是一名环境工程师, 曾就读于汉堡科技大学 (TUHH) 和美国加州大学。他在慕尼黑技术大学获博士学位, 后来在位于 Urbana-Champaign 的伊利诺伊大学土木与环境工程系任助教和副教授。自 2010 年以来, 他一直是苏黎世联邦理工学院的都市水管理教授。 www.eawag.ch/forschung/eng/index_EN

瑞士水伙伴

2012年2月, 来自政府、研究、民营企业和民间社会的 45 个瑞士组织的代表, 在伯尔尼推出了“瑞士水伙伴”。这一协会旨在加强瑞士水务部门的国际形象和在其成员活动之间建立协同作用。发展中国家水与卫生室 (Sandec) 主任 Christian Zurbrügg, 是督导委员会中 Eawag 的代表。 www.swisswaterpartnership.ch

获奖

2012年, Fundación Sodis 在玻利维亚获得联合国“生命之水”最佳实践奖。这个由 Eawag 和瑞士开发与合作署资助的非牟利组织, 促进拉丁美洲水和卫生设施解决。在过去 11 年内, 它为 100 多万人提供了太阳能水消毒 (Sodis) 培训, 它现在也解决卫生和环境问题。

www.fundacionsodis.org



瑞士煤气和水业协会 (SVGW) 已对环境微生物学家 Thomas Egli 在饮用水微生物分析领域的研究颁奖。SVGW 主席 Mauro Suà 将 Egli 率先采用的流式细胞术与供水用“温度计”的发明相提并论。 ○○○