

让丹麦的水更清澈： 丹麦自上世纪七十年代以来的水资源管理

本故事阐述了丹麦在过去的40年里，
国家及地区各行政部门施行了严格的水资源管理，
使丹麦全国上下的水源变得更为清洁。

从诸多方面来说，丹麦水质改善可谓成功。自70年代早期首个环境法案实施以来，众多水体的水质改善明显。

丹麦的各社会力量均有参与，其中政府机构（主要是各市政府）、工业、农业发挥了巨大作用。

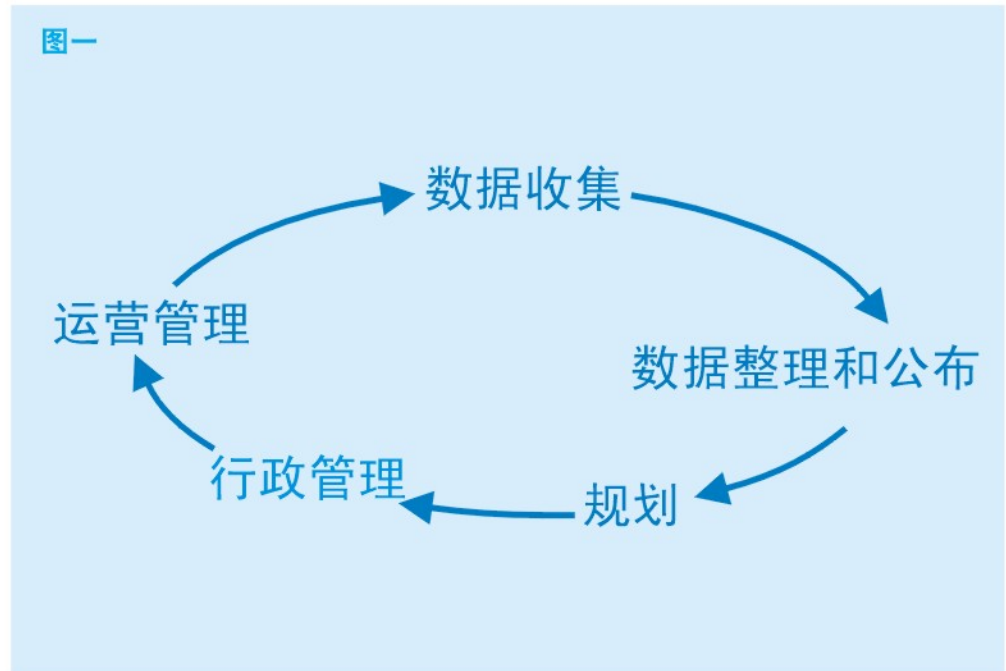
在降低人为因素对水体影响方面，减排营养物和有机物的努力效果显著。以下表1列举了自1990年以来各部门的污染物减排结果。

表1：从1990年至今丹麦各部门污染减排表

	磷	氮	有机物
污水处理厂	93%	82%	96%
工业	98%	93%	98%
渔场	65%	60%	60%
农业(面源污染)	不显著	40% (根部)	无关联
空气污染 (来自丹麦和欧洲其他地区)	无关	20-25% (沉降)	无关联



丹麦的水资源管理从早期至今一直沿用同样的运作方式，可用图1的循环图表示。起始点通常为收集水质，污染负荷，水源等方面信息/数据，并将已知信息用于规划和出台必要政策。循环终点为对污染减排后水质数据的再次评估，判断既定目标是否达成，其它措施是否需要。

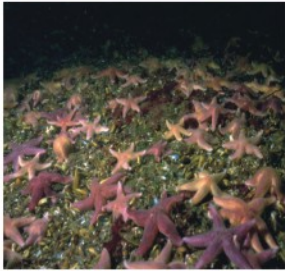


无论是当地/地区层级，或全国层级该方式均可适用。有时为达到既定目标，此循环须重复多次。

丹麦：三面傍海，地下水保护先驱

丹麦峡湾，小岛众多，为海洋环绕，因而海岸线绵长，总长超过7000公里。丹麦许多水域几乎封闭，与大海只有少量水体交换。这种情况下各流域内的污染物极易导致水体富营养化，许多地区水体缺氧，引发鱼类大量死亡。而在一些开阔海域，如卡特加特海和波罗的海，由于特殊的水文条件，即来自波罗的海的低盐海水与北海海水相汇，引发水流分层，继而水体缺氧，1981年便出现此情况。

丹麦的水文情况自然极大的影响了其环境政策和管理方针的制定，同时也是一系列项目上马的根本原因。沿海地区的某些问题可由丹麦单方面解决，但卡特加特海和波罗的海的保护，则必须寻求国际合作，主要是波罗的海沿岸国家需在波罗的海保护方案设计，近期工程实施等议题上需协调一致，通力配合。



丹麦水管理的另一重要方面是保护地下水，以保证其能作为饮用水源。该政策意味着今天几乎100%的丹麦饮用水来自地下，并只经过极简单处理。而主要威胁自始至终一直是氮和杀虫剂污染。同时，在丹麦的大中型城市附近，地下水开采量过大，其水位急剧下降。

丹麦三面临海，同时相对欧洲大陆，其境内河流径流短，河道狭小。事实上该国真正意义上的河流只有一到两条，水深也极浅，因而河流污染物稀释效应相当有限。以上因素都对诸如内陆城市的水处理等问题提出一定要求。

今天，丹麦河流水质较30年前有了极大改善。最大问题不再是水污染，而是因近90%的水道多年前被改造用于农业灌溉，自然状态破坏严重。

丹麦的湖泊通常较小（只有100个湖泊的面积超过了100公顷），水深也较浅（最大深度大约35米）。同时其人口密集，农业发达，故大部分丹麦湖泊都曾因水质富营养化而爆发蓝藻水华。减少废水中磷含量（去磷或深度水处理），是提高水质的主要方法。相对于1987年排入丹麦湖泊中的废水含磷量已极大减少，其生态影响已体现在一些湖泊中，但还有许多湖泊因其水体自生磷污染和持续的分散磷污染，改善情况不显著。因而还需多年方可见污水处理投资的全面改善效应。

了解丹麦水资源保护和管理政策，对其主要污染源还需有一定的认识。丹麦人口密集，密度接近125人/平方公里，相对其河流的容积和脆弱的湖泊，海岸来说，其生活污水量过大。因而丹麦亟需优质高效的污水处理系统。另外，丹麦的畜牧业发达，全国2/3的地区养殖牲畜，其污染对环境压力极大，需要常年的环保投入。

区域水质规划：丹麦水资源管理的基础

30年间共三级公共部门共同参与了丹麦水资源管理，各部门间职权分明。

- 全国层级（国家）整体规范和立法
- 区域层级（到2007年为止的自治县）可以加强国家规范（适用点源）
- 当地层级（市政府）主要负责执行、

丹麦水资源政策的转折点是区域规划的出台，其中包括水质规划。自70年代起，该规划一直是区域和当地层级管理的依据，2009年因水框架指令出台了最新区域水质规划，该规划将一直沿用直至新水资源规划出台。

多年来区域管理主要目标不断改变：70年代是减少河道有机物污染，80年代是减少湖泊磷污染，而90年代以来主要关注点是减少丹麦沿海水域氮污染。



区域管理的优点之一是针对各水体的实际情况分别制定方案，而非设立统一要求和目标。另一优点是其政策制定和就地实施过程中均遵循公开透明原则。

而区域管理的不利因素之一是缺乏规划一致性，因为区域行政部门无法针对农业污染制定不同的规范。对于农业造成的地下水，湖泊和沿海的等三方面污染，国家分别对其进行管理，主要是保护海洋环境和统一管理地下水，对单个水体的分散型污染则不予考虑。

而引入水框架指令原则后，从2009年起所有欧盟成员国都必须有统一规划，考虑各水体的所有污染源处理。

区域规划的经验之一是要求详尽，易于政府部门或污染责任方实施。目标设定也需明晰，易于判定是否达标。

丹麦水务系统

2700家非盈利公司营运着丹麦的水务设施。水务设施和非盈利公司的主要作用是：

- A. 开采、处理和输送地下水
- B. 收集、处理污水和降水

大部分水务设施以及相关非盈利公司，均由市政府掌握。少数为终端用户-家庭和私企拥有。

这些水务公司的年总产值为15亿欧元，大约雇佣了5000名员工。该行业的收入来自于用户付费。主要由于分级定价机制，20年间丹麦地下水开采量下降了35-40%。在丹麦，有大约145家私人公司提供水务服务，产品和技术，用于国内外水资源管理和保护。在2005年这些公司的产值是22亿欧元，其中1亿元来自出口。除此，还有大量的丹麦公司从事改善水环境和优化水资源利用产业。范例包括酶生产商开展除洗涤剂内可能污染业务，农机设备生产商试图减少氮化物向大气和水域的逸散。有1200到1500人供职于各大学水环境部门以及政府授权的机构，为相关知识技术向私企转让提供助力。

从事水务的私企本身也直接参与研发（R&D），大约13%的私企将收益的25%以上用于研发，大约61%的企业与丹麦的研究机构存在合作关系。其他的清洁技术公司则将它们收入的更大比例用于技术研发。

环境部于1989年建立了国家环境研究所（NERI），下设5个小型实验室，归属于环境保护局。在对丹麦环境研究状况进行国际评估后，应评估建议，旨在加强国际和多学科研究，该研究所方才成立。通过参与新项目和引入外部资金，该研究所规模不断壮大，从1990年的大约235名人员增长至2008年的约430人。今日国家环境研究所已是Aarhus大学的一部分。



国际评估的另一项重要意义是促成了战略研究项目的设立。这些项目有效的加强了各相对较小机构的合作，促进研究水平，也是各部门间协同合作更加广泛。



水环境国家行动规划：从有益营养物质到鱼类死亡

在上世纪七十年代，丹麦对于在开放水域内的过量营养物质，总体意见是其有利鱼类养殖，并不对环境构成威胁。然而，在1981年由于陆地大量排放污水和营养物，水体缺氧严重，人们第一次意识到该观点的错误性。



于是在整个80年代要求行政有所作为的呼声不断增加。1984年NPO报告出台，试图量化来自各领域的氮(N)、磷(P)等有机物质，但此举引发了许多争论，特别是在农业污染方面。

1986年一条新闻报道卡特加特海的挪威龙虾大面积死亡，其罪魁祸首为水体严重缺氧，一时舆论大哗。最终议会在1987年6月10日通过水环境行动法案。该法案的整体目标减少在3-6年内减少向地下水和地表水的氮排放量的50%，减少磷排放量的80%。同时还明确了农业，工业以及城市污水是造成水体富营养化的主要污染源，各具体目标也针对于此一一设定（表1和2）

表2. 氮排放和1987水环境行动计划氮减排

来源	N排放量		减排量		减排后排放量
	tN	tN	tN	%	
农业	260000	127000	133000	49	133000
城市污水	25000	15000	10000	60	10000
工业污水	5000	3000	2000	60	2000
总计	290000	145000	145000	50	145000



表3. 磷排放和1987水环境行动计划磷减排

来源	N排放量	减排量		减排后排放量
	tP	tP	%	
农业	4400	4000	91	400
城市污水	7200	5200	72	2000
工业污水	3400	2800	82	600
总计	15000	12000	80	3000

国家环境监测项目的建立旨在记录各措施的收效。数据的采集，存储和加工基于通用方法，而国家研究中心将对数据进一步处理，为未来技术指导方案作准备。收集可比较的，标准化数据是在行动计划前必须的预备工作。

城市污水处理厂减排氮、磷排放，使用生物处理法，使氮降至8mg/l，磷降至1.5mg/l。监控显示该目标已于上世纪九十年代中期实现，如今排放水平远低于此标准。与之类似，工业废水的排放处理也于九十年代中期实现。

第二期和第三期行动计划

在农业方面，90年度中期的年度监测报告表明，1987年行动计划中的农业措施和可持续农业行动计划不足以达到减少排氮量49%的目标。

在1997年，国家环境研究所和丹麦农业科学研究所两家机构，开展农业减排补充方案评估。基于该项评估，第二期水环境行动方案，1998-2003出台。原有的氮过滤方案得以保留，并首次在第二期行动计划中加入提交式评估项。计划包括两类措施：地区针对型和营养物针对型，而最终效果主要取决于营养物针对型措施（表3）。而其中减排氮最多至10%的措施极有效，但同时也极昂贵。



表4. 丹麦水环境行动计划中农业管制措施总结

- 泥浆储存能力
- 泥浆扩散管制
- 化肥强制计划
- 强制越冬植物
- 马尔化肥用氮条例
- 动物饲养改善措施
- 间作植物
- 不同植物的最大N值
- 成本控制条件下最多减排氮10%

2001年评估显示某些措施有待加强，而2003年评估则表明第二期行动计划的整体目标已达到。

旨在持续推动氮减排工作，促进水框架指令的实施，丹麦议会于2004年开始实施第三期行动计划，并结合其他行动，以期在2015年农业进一步减排氮，总量减少13%。所以为达到此目标，循环要开始第三轮。相应的，磷减排方案也已推出。较2001/2002年，丹麦农业的过量磷也需在2015年减半。同时为减少农业分散型磷流失，五万公顷的河岸带也必须建成。2008年和2011年的科学评估也已列入计划。

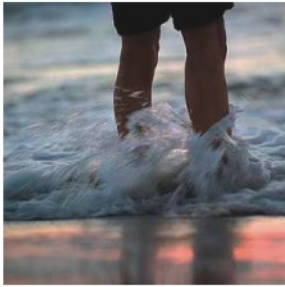
监测和研究：水环境的生态效应

国家监测的目的旨在系统的收集数据，评估来自各不同领域，不同源头的氮，磷排放情况，同时也检测减排对地下水，湖泊和海域等水环境的生态影响。

该监测项目将要收集标准化，具有可比性的数据，使得在全国范围内的水环境状态均可在统一标准下描述。

比如，监测项目为评估农业领域磷过滤前后的变化，经研究后建立了过滤模型，处理已收集的过滤数据。随后，众多模型又成为决策的参考基础，为各市政府审批牧厂提供了简便易行的评估管理系统。以上只是监测数据用于其它用途的一个案例。

国家监测项目分别于1998年和2004年被修订。在最初十年，首要关注点是氮，磷减排议题。在1998年水环境内有毒有害物质成为监测重点，而自2004年起，对物种，栖息地以及大型



城市周边空气质量的监测也被列入监测项目。近年来，为履行责任，完成欧盟各指令要求，监测重心向收集，报告相关数据倾斜，各数据涉及栖息地指令，氮指令，空气质量框架指令和最近的水框架指令。

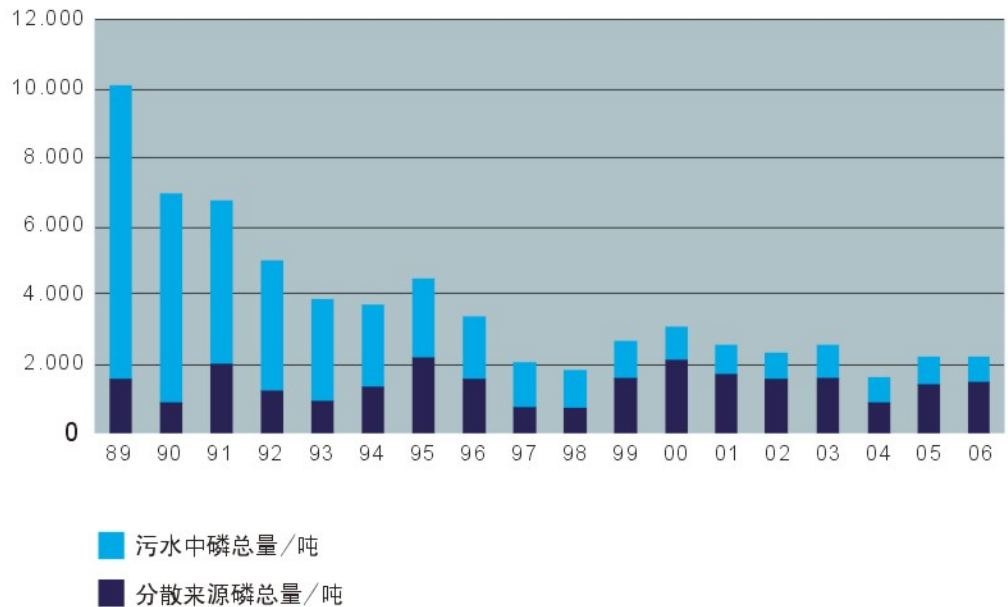
1980年代中期，人们已达到共识，认定丹麦农业是氮污染的首要来源，但当时的科研水平不足以评估各减排方案的效果。因而，在1986年春，NPO研究项目启动，展开了对氮，磷转移转化循环的跨领域综合研究。在1987年，应行动计划需要，对海洋进一步研究，在次年数个研究项目开始启动，最近的一个是第三期行动计划研究项目。新技术极大的减少了污染。

区域计划结合行动计划，显著的减少了有机质、氮和磷污染，表现为以下几方面：

- ◎ 生态良好河道数目从1994年42%增至2006年53%
- ◎ 从1989年到2005年，污水中磷含量下降了大约90%（见图2）
- ◎ 从1989年到2005年，河道中氮浓度下降了大约30%（见图3）

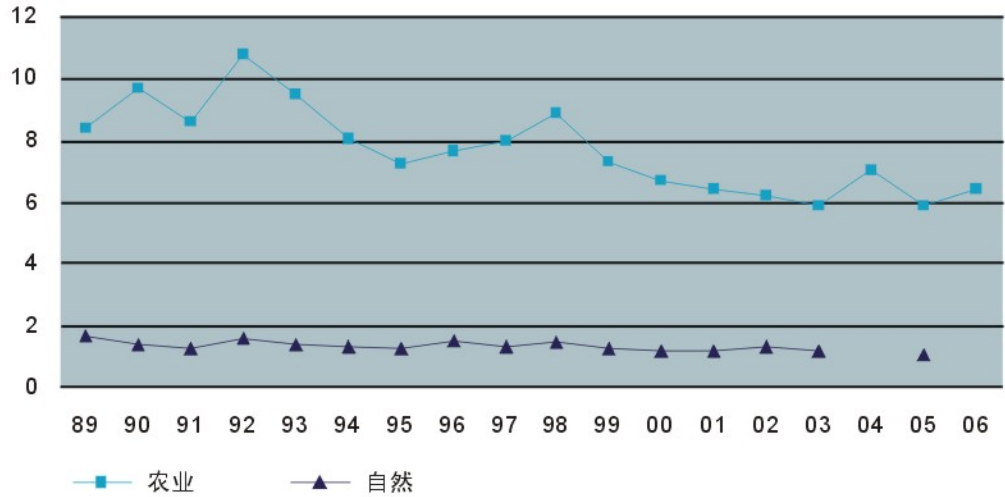
尽管丹麦整体生活水平和畜牧产品数量都有所上升，但依旧取得了以上的环境成就。这似乎是个悖论，但事实上正是更加严格的环保标准迫使丹麦企业，农民发展新技术，减少生产污染。更重要的是，丹麦的产业因此获得了在环保方面的优势地位，能够在国际市场上提供环保产品和咨询服务。

图2. 磷污染减排的变化





图三 丹麦水道氮浓度变化



尽管在过去的20年间，地表水和地下水的污染已减少许多，但许多地区的水环境仍不尽如人意，一些地区要达到良好的生态，地下水状态还有很长的路要走。如据测算，沿海地区要达到水框架指令的标准，需进一步大幅减少氮含量。因而研发新技术，保持农业生产效率，提高氮利用率，减少其排放的需求仍十分迫切。

立法与对话推动进步

几乎所有的进展都需归功于规范-可能是整体，全国性的规范，也可能是基于前者，又同时满足特定许可证要求的具体规范。这些规范极重要的一项共同点是，官方必须监察执行情况，并在必要时，核查排放标准，并推动立法进程。

监察的一项重要内容是建立与相关责任者对话机制，增进其的执行能力，避免因环境效益不佳而多次返工。多数情况下，双方可通过对话解决环境问题，并视情况共享有解决方案。当然，对话不可能解决一切环境问题，因而监察机构应被赋予足够执法权限，甚至包括对污染者的起诉权。

以下简述包括的方面有：管制，执行，检查和各领域对污水处理的投入。

市政污水处理

在污水处理领域取得的进步主要应归功于不断更新，日益高效的技术。20-30年前，原有许多小型污水处理厂，它们或无设备或只有机械/生物处理设备，但由于污水处理标准提高，

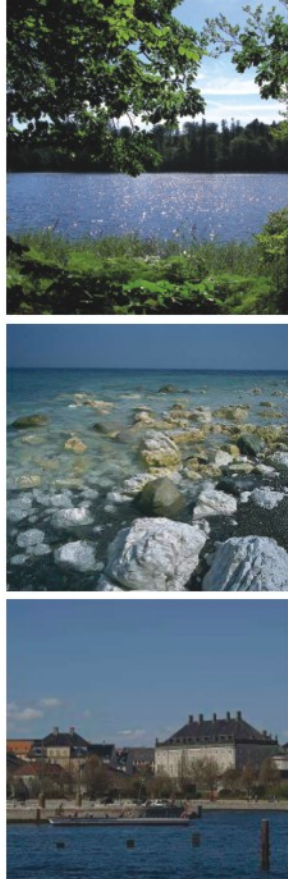


表5 经各不同方式处理的污水量

	无任何处理	机械	机械和化学	机械和生物	机械\生物\化学	机械和生物除氮、磷
1989年前	10%	20%	0.5%	67%	2%	0.5%
2006年	0	0.4%	0.1%	3%	5.3%	91.2%

排放总体环境标准（欧盟标准）是一项法令，但对于大多数处理厂来说，法令主要是由当地有关机构监督执行，特别是在磷和有机质方面，有关机构还强化了标准，以确保目标的完成。管理方法包括排放分析（内部管理）和国家机构的检查。

工业

改善工业及废水的环境影响，其原则是BAT，即为采用当下最好技术，从原料选择到处理或污水预处理，全过程均贯彻此原则，以实现最小排放为终极目标。

现在工业设施产生污水后，大多向市政污水厂排污，而污水厂一般拥有相关的污染物处理牌照，因而工业设施也在牌照覆盖下。用户支付的原则也适用于污水处理。各企业的排污也需申领牌照，同时支付污水处理设备的投资和运营。污水排放的管理包括分析（内部管理）和国家或当地有关机构的检查，而具体检查方通常取决于产品性质。

农业

减少农业中氮向空气和水域的逸散，可通过几种不同的方法：

- ◎ 应用科技储存和管理肥料。通过国家立法建立规范。
- ◎ 改变种植方法，如采用间种。减少磷的使用和氮的用量标准。通过国家立法建立规范。
- ◎ 改变土地用途，建立沿河道的生态缓冲区，造林植树，恢复湿地。各项目由公共机构负责，对土地所有者给予充分补偿。
- ◎ 引入新技术，诸如沼气生产和/或肥料焚化。

对农业规范的实施，主要监管方包括当地相关机关（负责监督具体实施情况）和国家相关机构（监督通过肥料计划，改变耕作方式的各种方式）。



未来挑战

丹麦水保面临一系列挑战，主要与欧盟的法案有关，包括：

- ◎ 焦点议题是水框架指令的实施，重点问题包括：我们如何实现目标？必有的措施有哪些？成本有多高？最终问题是谁将支付这些？全欧洲都面临这些问题，而毫无疑问的是，一些由丹麦研发，并在丹麦使用的新技术也必然能在其他国家得以应用。但在满足指令要求的同时，继续保证农业产量，需要持续的技术研发，以减少氮，磷在丹麦水环境中的逸散。
- ◎ 研发污水处理技术的改进，暴雨流量也极有可能有助于营养质的减少。
- ◎ 河道的物理状况。河道物理状况的提升对达到《水框架指令》要求极为重要。对必要措施及其对河岸地区，农用地的影响，均需要研究。
- ◎ 危险物质的出现和效果，如何在《水框架指令》下找到应对之法。丹麦监控项目已发现一系列现象，如水蜗牛变性，可能与某些危险物质有关。该项目也在上层地下水中发现杀虫剂，长此以往，保证洁净，无处理的饮用水将无法保证。面临的挑战是排除有毒物质或处理污水。
- ◎ 保证洁净，无处理的地下水，以稳定供应饮用水和灌溉用水。同时保持河道中的水量充足，生态情况良好。
- ◎ 将气候效益纳入《水框架指令》。气候的变化，如气温上升，降水增加（更加集中的暴雨）必将会增加环境压力，对水体构成影响。在设定污水排放或农业分散型污染排放标准时都需考虑这些效应。



丹麦经验

在丹麦，保护地表和地下水是一项悠久的传统，从中也积累了许多经验-也有教训。以下是对这些经验教训的评述。

- ◎ 点源污染。废水的污染-既有含生活污染也含工业污染-通过投资先进的污水处理设备，在过去的20-30年中大幅减少。这意味着基建方面的重大改变，从过去众多小而低效的处理厂到如今的几个大型高新科技处理厂。
- ◎ 面源污染。相比点源污染，减少分散型污染需要不同管理方式和方法。减少农业氮污染的同时，保持产业的增长，已被丹麦证实是可行的。其管理方法是建立规范，对土地使用，农业生产方式和技术研发进行管理。
- ◎ 空气污染。自1989年起氮的沉积量累计减少了20-25%，丹麦和其它欧洲国家的管制功不可没。
- ◎ 环境状态。在过去20-30年间，丹麦水体中的营养物和有机物大幅减少，许多水体也因此水质得到改善。尽管如此，丹麦水质要达到欧盟的要求，还需在减少污染方面做更多的努力。
- ◎ 满足充分信息条件的规划和决策。为作出决定，控制结果，以及为新补充措施提供依据，必须收集有关数据。这应当是迄今为止最重要的经验。无论是对于国家计划如行动计划I-III还是针对单个水体治理的计划，充分收集数据都十分必要。
- ◎ 整体规划，即将统筹所有资源。无需效仿丹麦方式，建立两套进程和两个管理体系。
- ◎ 规划，很大程度上是一个需要反复的过程，一旦获得新信息或/和设定了新目标后，相应的对象也应更改。“管理循环”也需重复多次。
- ◎ 整体监管项目应与研究者建立密切联系，这样项目将符合科学原则，同时由项目得到的数据也将有助于科学研究，诸如帮助管理模型的建立。
- ◎ 设定改善目标应针对单个水体，反映其的结果，经济和技术情况。
- ◎ 目标和要求必须清晰和实用，方能可行可控。
- ◎ 国家层级的要求，一定程度上可以较笼统，但最终要求必须具体，针对单个水体和特定目标。这样也可保证目标高效经济。



- ◎ 无论是对农业，污水处理，还是工业，设定具有法律约束力的要求均有助于创新和发展新技术。为了推动相关进步，应设立公共基金，促进研究和技术测试推广。
- ◎ 须建立对话机制，使官方与实施项目的人员有直接交流机会，同时保障该机制的施行。
- ◎ 国际合作十分必要，解决公海的污染问题必须依靠通力合作。
- ◎ 多领域合作，所有相关的专业，如工程，农业和生物技术都将合作解决问题和挑战。

联系人：

Poul Nordemann Jensen, 高级顾问
国家环境研究所
奥尔胡斯大学
pnj@dmu.dk

Torben Moth Iversen, 所长
国家环境研究所
奥尔胡斯大学
tmi@dmu.dk

更多阅读：www.ecoinnovation.dk/english 选择Danish Lesson