

塑造可持续发展的数字化

德国联邦环境署的讨论文件

German Environment Agency

Umwelt 
Bundesamt

出版说明

出版方:

德国联邦环境署 (Umweltbundesamt)
地址: Wörlitzer Platz 1
06813 Dessau-Roßlau, 德国
电话: +49 340-2103-0
传真: +49 340-2103-2285
邮箱: buergerservice@uba.de
网址: www.umweltbundesamt.de/en

 /umweltbundesamt.de/en

 /umweltbundesamt

编辑截止日期: 2019年6月

编辑团队: Sylvia Veenhoff, Matthias Koller,
Kora Kristof, Evelyn Hagenah

参与编写: Dorothee Arenhövel, Dr. Christopher Blum,
Dieter Cohors-Fresenborg, Martina Eick, Evelyn
Hagenah, Bianca Herrmann, Christian Hoyer, Claudia
Kiso, Matthias Koller, Regina Kohlmeyer, Doris Meurer,
Tina Mutert, Marina Köhn, Lisa Frieß-Kossolobow,
Juri Krack, Dr. Kora Kristof, Christian Löwe, Andreas
Lorenz, Douglas Martyn, Matthias Menger, Dr. Ines
Oehme, Marco Schäfer, Inke Schauer, Ulrike von
Schlippenbach, Dr. Christian Schneider, Dr. Thomas
Schultz-Krutisch, Dr. Christian Schweitzer, Dr. Cornelia
Sedello, Christoph Töpfer, Sylvia Veenhoff, Dr. Julia
Vogel, Ulrike Wachotsch, Ralf Weiss

新闻编辑: Marinela Potor

中文版终审编辑与排版:

赵丽智, 国际合作部门, 德国联邦环境署

图片:

第1页 (封面): www.depositphotos.com/@ lightsource
第17页: www.fotolia.de/© tiero
第22页: www.depositphotos.com/@ jamesteohart
第24页: www.depositphotos.com/@ iakovenko123
第27页: www.depositphotos.com/@ zhuzhu
第29页: www.depositphotos.com/@ Joykid
第32页: www.depositphotos.com/@ HighwayStarz
第34页: www.fotolia.de/© artens
第37页: www.fotolia.de/© FLIsom
第39页: www.depositphotos.com/@ alexraths
第41页: www.depositphotos.com/@ budabar
第43页: www.depositphotos.com/@ budabar
第45页: www.depositphotos.com/@ Wavebreakmedia
第49页: www.depositphotos.com/@ pariwatlp
第49页: www.depositphotos.com/@ Goodluz

PDF文件下载:

<https://www.umweltbundesamt.de/en/publications>
ISSN 2363-832X

Dessau-Roßlau, 2019年9月

该中文译本由“中德环境伙伴关系项目”组织编译,
项目受德国联邦环境、自然保护和核安全部(BMU)和中国生
态环境部(MEE)共同监督,由德国国际合作机构(GIZ)负责
实施。

塑造可持续发展的数字化转型

德国联邦环境署的讨论文件



目录

图片目录	5
表格目录	5
略缩语目录	6
前言	7
1 发展现状	8
2 确立数字化为环保发展的新重点	10
3 “战略前瞻”——尽早识别数字化带来的机遇和风险	12
4 围绕数字化的环境政策行动	15
4.1 环境友好和资源节约型的信息与通信技术	17
4.2 可持续性和联网的基础设施	22
4.3 循环经济中的数字化和环境保护	24
4.4 工业生产的数字化转型	27
4.5 数字化与企业环境管理	29
4.6 绿色消费	32
4.7 可持续的出行与物流 4.0	34
4.8 环境兼容的能源基础设施4.0	37
4.9 数字化与环境友好型化工	39
4.10 绿色农业 4.0	41
4.11 资源节约的水管理4.0	43
4.12 数字环保教育与可持续发展教育	45
5 服务于环保政策和行政管理的数字化	47
5.1 数字化、环境监测与信息	49
5.2 电子政务和公民参与	52
6 展望	54
7 参考文献	56

图片目录

图 1	人工智能对社会的影响	p. 14
图 2	2018年德国ICT的销售额 (按行业)	p. 19
图 3	更换的大家电在总更换购买中的占比 (%)	p. 20
图 4	产品在广义循环经济中的生命周期	p. 25
图 5	到2030年将有多少辆新车实现完全的自动化?	p. 35
图 6	农业领域对数字应用的兴趣	p. 42

表格目录

表 1	德国私人家庭的ICT配备情况	p. 18
表 2	自动化的阶段	p. 34

略缩语目录

AR	增强现实
BMU	德国联邦环境、自然保护和核安全部
BMVI	德国联邦交通和数字基础设施部
BMWI	德国联邦经济和能源部
BNE	可持续发展教育
BSI	德国信息技术安全局
ERP	企业资源规划软件
GEOSS	全球地球观测系统
HDE	德国贸易协会
IKT	信息和通信技术 (ICT)
INSPIRE	欧盟空间信息基础设施建设指令
IoT	物联网
ISO	国际标准化组织
IT	信息技术
KI	人工智能 (AI)
KMU	中小型企业 (SMEs)
MR	混合现实
ÖPNV	短途公共客运交通
PKW	乘用车
REACH	化学品注册、评估、许可和限制法规 (欧盟化学品法规)
SDG	可持续发展目标 (2030年议程)
SOS	传感器观测服务
UBA	德国联邦环境署
UN	联合国
UNESCO	联合国教科文组织
VDI	德国工程师协会
VR	虚拟现实
WBGU	德国“全球环境变化”科学咨询委员会
WLAN	无线局域网

前言

数字化已深入社会生活的方方面面。人工智能、大数据、虚拟现实等数字技术的快速发展,也将确保数字化在未来发挥更大的作用。因此,围绕着数字化的社会性讨论,不应仅限于技术和经济方面,更应考虑其对生态和社会的影响(例如对隐私的日益威胁),这一点变得愈发重要。除了广泛讨论的数据保护与伦理、社会问题(例如关于自动决策系统的透明度和准许问题),与此同时,还应关注数字化对生态环境直接和间接的影响,及其对制定环保政策的意义。数字化在助力环境气候保护和资源节约方面充满潜力,但也存在着风险。若我们低估了此类风险,甚而完全忽视了该问题,数字化将有可能对环境造成负面影响。如果要避免上述情况,并且同时要充分发挥数字化为环保领

域创造的机遇和积极作用,必须从数字化进程的开端起,就将环境和可持续性纳入考量,并融入实践中去。

社会中所有的利益相关方,例如企业、科研机构、民间社会组织等,都需要应对数字化的各个方面,并配备相应的能力和设施。这也适用于德国联邦政府、相关联邦各部及其下属机构。因此,德国联邦环境署(UBA)也需要系统性地分析数字化为环境保护所带来的机遇与风险。依据其座右铭“为了人与环境”,UBA希望借助此讨论文件,阐明在特定行动领域中,数字化在环保和健康方面带来的挑战和机遇,并为UBA前瞻性的政策咨询确定行动方案和研究需求。因此,本文件旨在推动数字化在促进环境保护和社会可持续发展方面的发展和应用。

1

发展现状

发展现状

数字化是当前的发展大势,反映在各个领域的发展之中,例如工业生产的数字化转型、在线交易、共享平台、物联网 (IoT)、自动驾驶汽车、大数据、人工智能及加密货币等区块链应用。数字化从根本上改变了我们的居住、学习、交流、生产和消费模式,也改变了社会的组织形态。因此,数字化也催生了政治、经济、社会、生态、文化和伦理方面的全新挑战。对此,社会各界展开了广泛的讨论。然而,数字化对环境和资源所造成的积极和消极影响,目前在此类讨论中尚未得到足够的重视。一些研究 (WBGU, 2019) 表明,数字化既提供了环境保护的新机遇,但也伴随着潜在的风险,必须引起环保政策制定者的关注。环境保护应在数字化的开端就纳入考虑范畴。数字化往往伴随着生产结构、基础设施和消费模式的根本性转变,这使得从一开始就选择可持续的解决方案成为可能。

一方面,数字化可以直接应用于环境保护和环境政策,例如通过卫星数据来提高数据的可用性。数字解决方案也有助于提高执法效率,为相关方带来便捷的服务。数字化也为企业和家庭提供了多种多样的选项。随着经济、生产、贸易和消费的数字化和互联互通,例如物联网的日益普及,流程优化和效率提升得以有更多的可能,这有助于减少资源(原材料、能源)的使用,降低对环境和人类健康的负面影响。此外,数字化转型不仅局限于传统的价值

链和生产流程,而且体现在一系列新增市场。这些市场的价值链迥然不同,也会对人类和环境产生相应的影响。随着增强现实、混合现实和虚拟现实的发展,市场中涌现了一批批的新设备,它们可以将环境问题更直观、更具体地展现出来。

另一方面,随着数字化的发展,人们对网络产品、传感器和网络基础设施和计算中心的需求激增,而这类产品和设施的生产及使用会消耗大量的原材料和能源,尤其体现在对稀有和特种金属需求增长,建设相应的基础设施和运营扩能的计算中心时,也会产生大量额外的能耗 (DE-UZ 2015 / 161)。据最新的估计,到2025年,欧洲境内将会有17亿台联网的家用电器。此外,智能手机和个人电脑等传统的信息与通信技术产品数量也将继续增长 (Hinteman等人, 2018)。为此,欧洲境内新增的能源需求长期来看将超过70太瓦时/年,这相当于目前意大利所有家庭的能耗总量。

总之,为了推动数字化在环保方面发挥作用,并尽可能避免其负面影响,应制定前瞻性政策,在负面环境影响出现之前尽早行动。数字化本身并不是目的,数字化的发展应以可持续目标为指导,例如符合德国联邦政府所制定的德国可持续战略 (Bundesregierung, 2016) 德国联邦总理默克尔明确指明了德国现代化的行进方向:“有了可持续性原则,基本意味着我们社会的发展有了定义和指标。”

2

**确立数字化为环保
政策的新重点**

确立数字化为环保政策的新重点

当前德国的政策充分认识到了数字化转型的重要性,首先体现在《2014-2017年数字议程》(Bundesregierung, 2014)中。该议程涵盖了七项措施,从基础设施扩建到数字安全,到数字经济和数字化劳动,同期出台的还有《数字战略2025》(BMW i, 2015)。德国联邦政府(CDU; CSU; SPD, 2018)的联合执政协议强调了数字化的重要意义,为此还在总理府专门设立了一个负责数字化的国务秘书职位。2018年,德国联邦政府发布了《国家人工智能战略》(Bundesregierung, 2018),并计划在2019年介绍涵盖广泛的区块链发展战略(BT-Drs. 19/7286)。在欧盟层面,欧盟委员会于2015年开启了一项战略措施,旨在建立欧盟内部的数字市场,并在2017年5月公布了针对战略的中期评估(Europäische Kommission, 2017)。2019年5月,德国联邦环境、自然保护和核安全部(BMU)公布了其数字政策议程的要点,并针对保护环境、气候、自然的数字化发展目标做出了初步建议。环境部计划开展大规模的讨论,到年底决议通过一项环保政策领域的数字议程(BMU, 2019b)。

德国政府已将数字化定义为事关未来发展的重要议题。尽管如此,数字化为环境保护带来的机遇和挑战至今很少在政府计划和战略部署被明确提及。为了填补这一空白,德国联邦环境署(UBA)致力于研究和阐释数字化对可持续发展所带来的机遇和挑战。德国联邦环境署在开展对数字化和环保关系的研究课题中,主要关注以下问题:

- ▶ 数字化带来哪些新的发展趋势?
- ▶ 这些新趋势会带来那些文化、社会和经济上的变化?
- ▶ 数字化为加速和塑造社会向可持续方向转型提供了哪些机会?
- ▶ 数字化发展过程中会产生哪些额外的环境影响、生态威胁和资源需求,同时在哪些方面也有助于为环境减负,提供环保机遇?
- ▶ 哪些行动战略和工具能够将数字化向环境友好和资源节约的方向塑造?
- ▶ 哪些行动战略和工具有助于积极推动环境兼容和资源节约型的数字化发展? 为此,需要先推动怎样的社会变革?

3

“战略前瞻”——尽早识别数字化带来的机遇和风险

“战略前瞻”——尽早识别数字化带来的机遇和风险

数字化是我们时代的发展大势 (megatrend)。大趋势是指引起社会与经济深远变革的趋势 (Behrendt et al, 2015)。大趋势下往往融合了一系列各种各样的趋势, 它们共同构成了大趋势的整体图景。数字化大势的首要特点是产品、物品、服务和社会的互联互动, 处理器和网络速度加快, 并涌现了一系列新技术和新方案, 例如大数据在众多领域的使用和日渐增多的虚拟化应用等 (如电竞体育)。

数字化囊括的各种趋势正以不同的速度进行, 它们在不同程度上改变着我们的社会, 并对环境产生了广泛的影响。因此, 围绕着数字化产生了高度动态的研究领域。该研究领域需要关注数字化所有新的发展内容, 尽早判别其对环境的风险或机会, 并推动相关的环境政策的制定。这些任务无疑都充满着挑战。

为此, 德国联邦环境署采用了“地平线扫描 (Horizon Scanning)”工具, 来识别对环境产生重要影响的发展趋势。该工具可以在该趋势初步发展, 且人们对其环境影响知之甚少时, 尽早预测其未来的发展趋势。自九十年代开始发展的移动电话技术已经向我们清晰地展示, 那些利基技术 (niche technology) 如何一跃成为主流技术。在彻底改变人类生活方式的同时, 这类技术一方面加重了环境的负担 (例如更多地开采钶钽铁矿), 另一方面也起到了为环

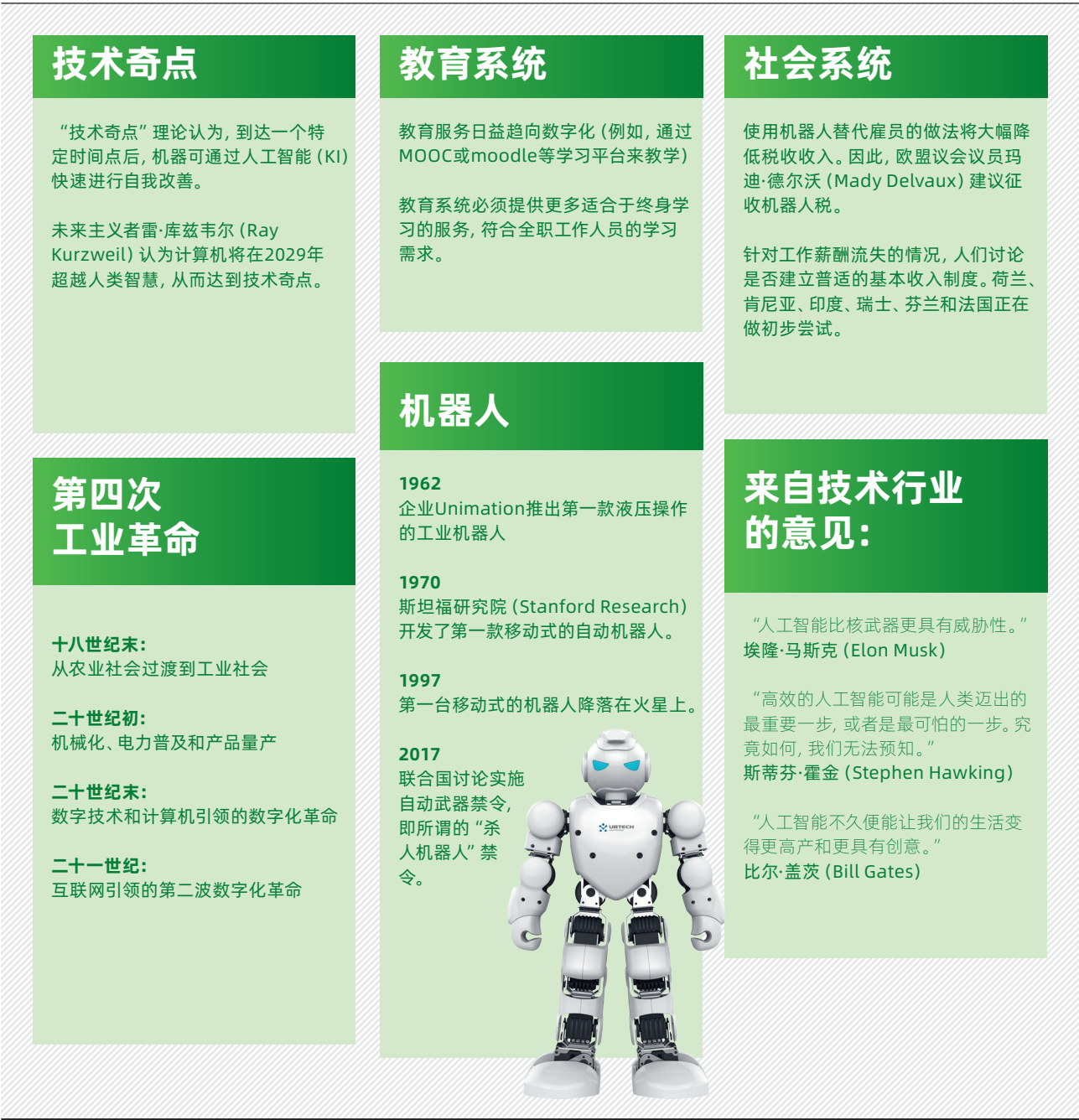
境减负的作用 (例如共享经济)。与此同时, 那些因社会经济或社会技术的变化造成的间接环境影响却很难识别, 它们需要及时的政策干预。这类间接影响包括数字化对公民消费模式的改变, 数字化使得快递运输量增加, 从而间接地损害了环境。“地平线扫描”旨在尽可能早地发现环境保护相关的数字化发展形式。目前由于这类发展趋势还未得到 (系统的) 研究, 这种扫描评估工作可以帮助联邦环境署和德国联邦环境、自然保护和核安全部及早发现、干预和引导数字化的可持续性发展。

德国联邦环境署的战略前瞻研究有关数字化的议题目前包括以下内容。根据我们的分析结果, 在讨论数字化对环境所形成的机遇和风险方面, 这类议题具有很高的相关性。

- ▶ 人工智能 (AI) 和可持续性
- ▶ 区块链
- ▶ 虚拟现实 (VR) 和增强现实 (AR)
- ▶ 平台经济——电子商务 (E-Commerce) 商业模式中的垄断问题
- ▶ 数字时代, 通过算法进行行为控制
- ▶ 工业车间外的机器人技术
- ▶ 卫生健康部门的技术化和数字化
- ▶ 3D打印

图 1

人工智能对社会的影响



资料来源: Debating Europe

人工智能的例子表明, 政治决策对研究成果有着急切的需求。人工智能对于环境和可持续性带来的危险和机遇, 在目前的研究中还未得到全面的探讨。与此同时, 欧洲目前正就创新政策和促进政策开展大范围的讨论, 旨在确定人工智能的未来发展方向。从环境的视角来看, 这是从社会生态角度

塑造未来人工智能的机会。重点应关注数字化的整体发展是否有助于实现《2030年议程》(Agenda 2030) (G.A. Res. 70/1, 2015) 中的全球可持续发展目标 (SDG)。对于不符合全球可持续发展目标要求的人工智能应用, 将不予考虑。由此, “战略前瞻”的结果可以给政治决策提供参考。

4

围绕数字化的环境 政策行动



围绕数字化的环境政策行动

数字化已经几乎深入了社会的方方面面。因此,我们必须将数字化确立为跨领域的环境政策综合议题,由政府、企业、科研和公民社会共同参与。这对政府的行动提出了很高的要求,这不仅需要环境部内部的协调,也需要与其他联邦部门以及政治、经济和社会领域的利益相关者协同合作。

数字化是一场异常活跃的变革,新的创新成果源源不断地涌现,新产品不断地现身市场,全新的社会实践也成为现实。我们应尽早识别这类因数字化而形成的变革,不间断地从环境和资源角度对其进行评估,提出建设性的批评意见。面对数字化所形成的环境负面影响,应本着预防原则消除此类影响,使数字化变革符合可持续发展的目标。数字化在环境和资源保护方面的潜力则应尽力挖掘,充分使用。

环境政策的作用是以绿色和资源友好的方式设计数字化的核心、信息和通信技术 (ICT) 及相关ICT基础设施 (章节4.1)。ICT技术的进步为基础设施的控制和联网提供了新的可能性 (章节4.2)。

此外,数字化改变了生产、消费和经营的方式 (循环经济)。我们需要探索数字化为循环经济带来的机遇 (章节4.3),并从环保的角度严格监控工业生产的数字转型 (章节4.4),发挥数字化在企业环境管理中的潜力 (章节4.5),充分利用消费4.0带来的机遇,并及时纠正数字化引起的非可持续的消费模式 (章节4.6)。

除此之外,还有一系列环境政策领域因为数字化正在经历重大的变化。因此,也需要对其带来的风险和为环境带来的机遇进行严格的监测。这些领域包括: 交通出行 (章节4.7)、能源基础设施 (章节4.8)、化工 (章节4.9)、农业 (章节4.10) 和水管理 (章节4.11)。

最后,数字化也在塑造着社会中的知识、技能和行为模式。章节4.12展示了在一个日渐数字化的世界中,如何更好地开展环保教育和可持续发展教育。

4.1 环境友好和资源节约型的信息与通信技术



数字化的现状与发展

数字化指的是从模拟流程到数字流程的转型。根据该定义，数字化早在二十世纪中叶便已拉开了序幕，在二十一世纪，随着设备的联网，数字化以更大的规模和更快的速度地在生活和经济的各个领域普及开来。这一发展的基础是数字基础设施，即信息与通信技术（ICT）。ICT不仅涵盖智能手机、智能家电和工业机器人等终端设备，也包括传输技术及网络、各类传感器以及数量庞大的计算中心。

智能产品和服务逐步深入社会、科学、经济和政治领域，其数量不断增长，应用场景也日渐丰富。1998年，德国拥有家用电脑的家庭数量占比为38.7%。到2018年，该比例已上升至

90.4%。过去十年间拥有网络接口的家庭数量变化更能体现出数字化强劲的趋势：1998年，拥有网络接口的家庭占家庭总数的8.1%，2018年则达到了92.7%。

人工智能的例子表明，政治决策对研究成果有着急切的需求。人工智能对于环境和可持续性带来的危险和机遇，在目前的研究中还未得到全面的探讨。与此同时，欧洲目前正就创新政策和促进政策开展大范围的讨论，旨在确定人工智能的未来发展方向。从环境的视角来看，这是从社会生态角度塑造未来人工智能的机会。重点关注数字化的整体发展是否有助于实现《2030年议程》（Agenda 2030）（G.A. Res. 70/1, 2015）中的全球可持续发展目标（SDG）。

表 1

德国私人家庭的ICT配备情况

信息与通信技术	1998	2003	2008	2013	2018
总家庭数（1000）	36,703	37,931	39,077	40,032	40,596
家庭占比%（配置ICT的家庭比例）					
个人计算机	38.7	61.4	75.4	85.2	90.4
台式	-	58.2	62.1	53.3	44.2
便携式	-	10.7	34.7	65.2	81.2
便携式电脑、笔记本电脑和上网本	-	-	-	-	73.9
平板电脑	-	-	-	-	47.5
打印机（包含多功能一体机）	-	-	-	73.7	75.2
网络接口	8.1	46.0	64.4	80.2	92.7
固定（例如数字用户线路DSL或者有线网）	-	-	-	-	86.7
移动（例如智能手机、路由器）	-	-	-	-	56.0
电话	97.6	98.7	99.0	99.8	99.9
固定电话	96.8	94.5	89.7	90.5	84.9
移动电话（手机、智能手机）	11.2	72.5	86.3	92.7	96.7
其中：智能手机	-	-	-	-	77.9
台式传真机（包含多功能一体机）	14.8	20.7	20.7	23.8	-
导航仪	-	-	20.7	46.3	45.8

资料来源：德国联邦统计局

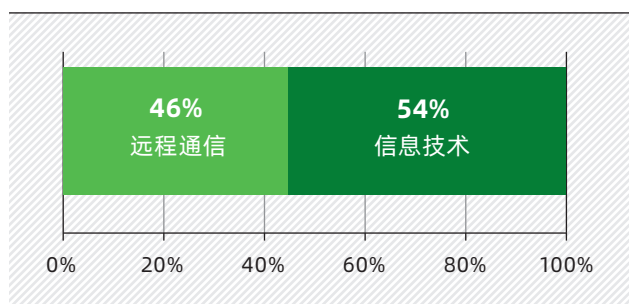
对于不符合全球可持续发展目标要求的人工智能应用，将不予考虑。由此，“战略前瞻”的结果可以给政治决策提供参考。

智能手机在消费者中的迅速普及充分体现了数字化的飞速发展。2013年，大部分的家庭还未接触到智能手机，到2018年，智能手机已进入德国77.9%的家庭（Destatis, 2019）。这一变化揭示了ICT新技术的普及速度之快。个人家庭如此，整个基础设施系统也不例外。2003

年至2013年期间，德国信息技术（IT）计算中心的所占面积增长了42%，增至约180万平方米（Hintemann等人，2014）。

德国每年对计算中心的投资额大约为八十亿欧元（Hintemann等人，2014）。德国是欧洲拥有最多计算中心的国家，并在世界范围内排名第三。德国ICT行业的从业人员总数目前已经超过一百万人，在全球的年销售额达到2280亿欧元，在全球位列第五位。销售额分配如下：

图 2

2018年德国ICT的销售额（按行业）

资料来源: Bitkom Research

信息技术行业2018年的销售额占当年德国ICT销售额的54%，通信行业的销售额则占到了46%（PI, 2018）。

该行业目前的增加值总额超过了化工、制药和机械制造等传统行业。数字化的速度往往与ICT的创新有直接的关系。因此，我们应关注的核心问题是：如何将数字化创造的价值与资源消耗脱钩。那么，仅关注数字化进程的直接和区域性的影响是远远不够的，我们需要整体性的研究，将数字基础设施及其全球效应一同纳入考虑。ICT如今已经成为其他经济行业的引领者，它一方面提供了大量的经济潜力，同时也暗藏着生态风险。

数字化在环保方面创造的机遇和挑战

一方面，ICT的制造、运营和废物处置都需要消耗能源和自然资源。另一方面，数字化可节省耗材（电子储存代替打印）、减少交通（信息调取不受地点限制）、加速与优化流程，这些都能减少资源的消耗。

更好地设计ICT有助于抵消其对电力和原材料增加的需求，从而最高效地利用数字技术。例如，通过ICT优化家电的能源分配，或使用按需加载资源的算法对无线局域网（WLAN）进行能源优化。德国联邦经济与能

源部（BMWi）的研究表明，若运用算法按需调节无线局域网，在服务质量和性能相同的情况下，最高可节省15%的能源（BMWi, 2014）。

使用ICT也能降低计算中心的能耗。智能设备可以降低计算机的电压，或者让计算机的冷却变得更为高效，从而提升其能效（BMWi, 2014）。

然而，ICT也会对环境造成一系列的负面影响。ICT不同组件的制造和应用——例如终端设备、传感器和传输技术都是典型的能源密集型产品。此外，这类技术还需要大量的稀有和特种金属，比如钴、钨、钽、银或金。这类金属材料的开采往往对人类和环境有危害，而且开采地通常位于社会福利和环保标准较低的国家。制造组件的国家也大多有较低的环保和社会福利标准。

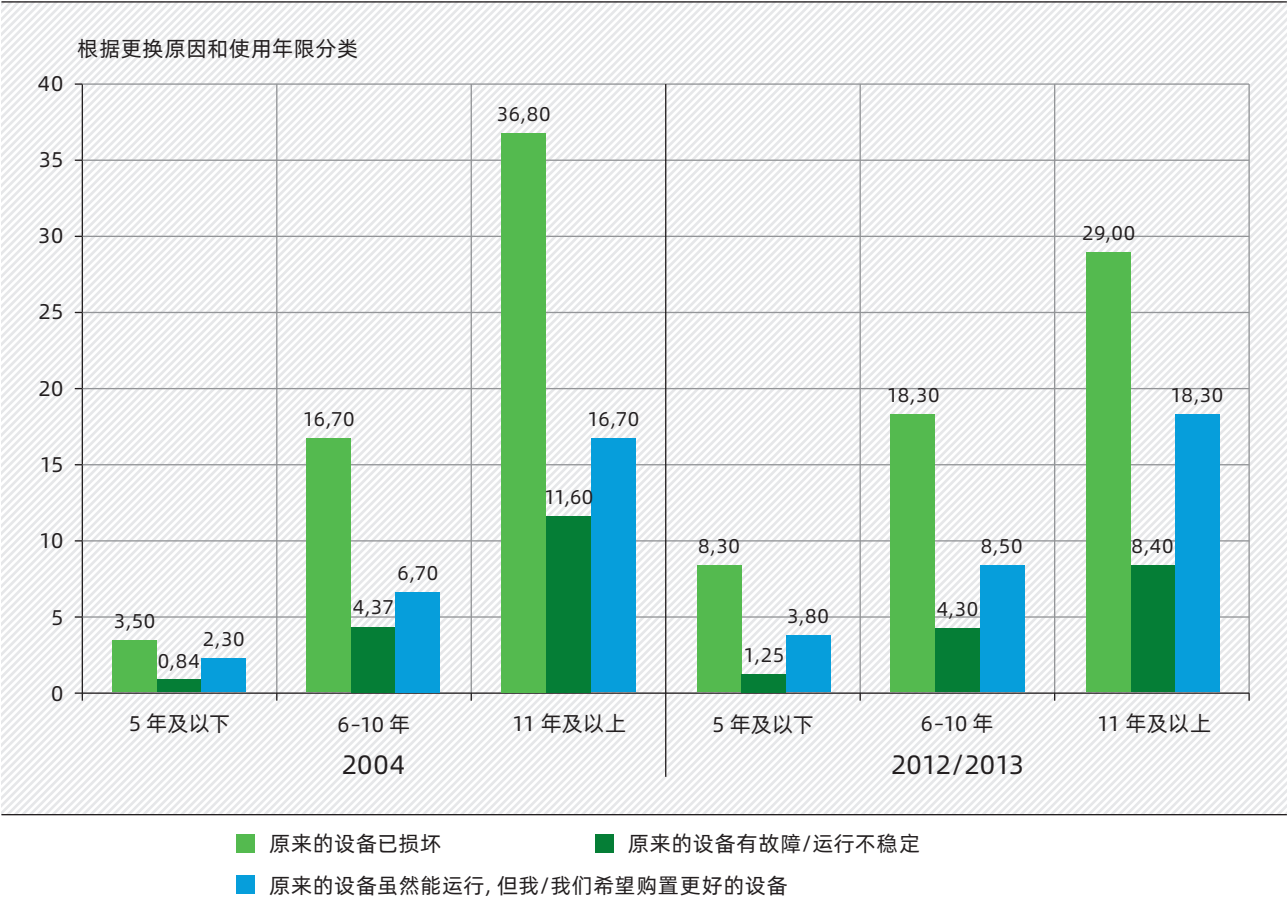
另外，设备的使用寿命也非常短，这主要是用户行为所导致的。出于技术革新或其他的原因，德国消费者更换电子设备的速度往往高于实际所需。即便设备依旧运行良好，消费者仍更倾向于提前更换新设备（UBA, 2015）。

此外，ICT设备会陈旧过时，废旧的电子、电器设备由此增加，造成了额外的环境负担。“陈旧过时”指的是产品的自然老化，以及企业或工业故意加快产品的淘汰周期，迫使消费者购买新设备。产业领域将“陈旧过时”划分为以下三种类型（UBA, 2015）。

材料的陈旧过时：使用质量低劣的材料，使产品损耗过快。

图 3

更换的大家电在总更换购买中的占比 (%)



2004: 家电总数 n=2712; 2012: 家电总数n=5664

资料来源: 生态研究所 (Öko-Institut), 波恩大学: 依据GfK数据计算的结果

功能的陈旧过时: 产品的技术要求变更过快, 导致消费者必须购买新版本产品。例如, 软件系统更新限制了旧版智能手机的功能, 使得旧版产品无法再继续使用。

经济上的陈旧过时: 不再进行为保持产品功能所需的维修, 因为生产新产品比维保的成本更低。

数字化的另一负面影响是新型数字化服务引起的“回弹效应”, 这种效应尤其体现在简化生活的数字化服务中。便捷地访问流媒体激发了有关视频的大量消费。在线观看视频的流量占据移动通信数据总流量的80%左右。

在德国, 数据流量在一年之内将近翻了一番。这意味着私人家庭和计算中心的能耗都会增加。在未来, 随着增强现实、混合现实(MR)和虚拟现实等技术的进一步应用, 将对所用数据流量形成更为巨大的影响。根据思科最新发布的《视觉网络报告》, 2017年至2022年, 虚拟现实和增强现实的通信量将增加十二倍 (Cisco, 2019)。而通信量的增加的前提是通信基础设施和计算中心的大规模扩建。另一大挑战在于互联网无国界限制的特质, 数据传输, 例如发送电子邮件, 可以在全世界范围内进行。

德国拥有的计算中心数量到目前为止只是一个估计值,因为目前德国还未实行计算中心登记制,这使得施行措施非常困难,因为冗余和产能过剩的情况难以确定。德国联邦环境署的初步研究表明,目前服务器的平均利用率值仅为5%到10%。这意味着运营中的服务器高于实际所需,那么建造、运营和维保服务器所需的资源消耗也高于所需。减少服务器数量,提高其利用率,才是真正的可持续之举(UBA, 2018b)。

归根结底,流程和结构的数字化、机器和产品的网络化,究竟能为环境减负,还是加重了环境的负担,要回答这一问题,必须同时考虑ICT终端设备、基础设施、网络、微传感器和计算中心在生产、应用和处置各个环节所产生的环境影响。

德国联邦环境署的行动方案

德国联邦环境署的首要任务在于:研究ICT带来的机会和挑战,并在此基础上助力可持续的ICT的应用。在此过程中,主要的挑战是要考虑数字化在设备、服务和ICT基础设施方面的资源消耗情况,并据此评估该应用或产品是否值得推广。理想情况下,应用和产品应当符合《德国可持续战略》的目标以及《德国气候保护计划2050》(BMU, 2019a)及《德国资源效率计划》(ProRess, Bundesregierung, 2016)等环保政策中的基本规定。因此,针对每一个新的发展都应权衡利弊,首先检验该发展是否

有助于节约资源,然后须具体分析数字化应用是否符合可持续性和气候保护的要求,是否真正值得为此增加能源及资源的消耗。

德国联邦环境署已在可持续ICT领域开展了多年的研究,也将在该领域继续耕耘。研究内容主要包括开发测量和评估ICT的能源和资源效率的方法、为ICT的环境影响评价进行数据分析和制定环保的替代方案。德国联邦环境署在这方面的研究领域主要包括:

- ▶ 硬件、软件和技术基础设施的变更及其潜在的环境效益和负担
- ▶ 软件对ICT设备的使用年限和生命周期所产生的(全球性)影响
- ▶ 云计算、快速增长的计算中心与网络基础设施对环境的影响
- ▶ 为特定的计算中心和环境相容型软件设置环保标识,例如很多公司共享服务器(主机托管)的计算中心
- ▶ 移动通信的网络基础设施,特别是5G的影响

另外,德国联邦环境署还积极参与计算中心的国际及欧洲标准的制定工作和ICT产品相关的《生态设计指令框架》的讨论。这些工作十分关键,因为这类技术推动和影响其他领域内的数字化发展。所遵循的目标则是塑造可持续的ICT全生命周期。

4.2 可持续性和联网的基础设施



数字化现状及其发展

数字化可以实现基础设施的控制和联网。如今,基础设施部门的众多流程已经完成了自动化,其中包括发电厂或污水处理厂的控制。自动化最新的发展依赖于广泛的数据收集和分析评价,聚焦于跨部门的互联互通。借助ICT可实现对基础设施领域内流程、数据和功能的智能控制(UBA, 2018d)。其最新的应用领域包括将地方热力供给与垃圾处置系统互联、可根据用电需求自动调节的智能能源网络以及供水网络中的产能领域等。此类技术也可以应用于预警空气污染或洪灾的传感器。城镇区域的“智慧城市”已形成了丰富的内涵,包含了移动出行、能源、水/污水和废弃物等领域基于ICT的地方性解决方案。一些地方政府在其智慧城市战略中已经将气候、环境和资源保护的项目纳入考虑范畴。然而,总体而言,以环境保护和可持续性主题为目标的整体性方案仍不多见。

目前的讨论很少涉及数字联网的基础设施新技术和新理念对能源和资源消耗所产生的影响,也鲜有研究涉足如何发挥ICT、智能控制系统在基础设施的发展过程中的减排潜力。

为环境带来的机遇和挑战

基础设施的智能联网蕴藏着保护环境和气候的巨大潜力。改进基础设施的控制系统能够大幅降低能量流和材料流,从而减少其能源及资源消耗。评估(实时)数据有助于了解基础设施的使用情况,在此基础上进行优化,并提供定制化服务。在能源转型和交通转型的大趋势下,跨部门的基础设施联网变得愈发重要。目前已经有将可再生能源馈入交通体系的具体方案,也有将污水处理厂与地方能源供给相结合的方案。应系统地推进此类理念和方案的发展,普及其应用,从而充分发挥它们的环保潜力。除了配备相应的技术条件外,该领域的重要挑战还主要在于:如何在智能联网中采集和分析众多参与者的生产计划以及各自流程管理的特点,以优化资源、提升环保水平。

将部门不同、功能各异的的基础设施进行智能联网,有助于保障乡村地区的公共服务,缩小城乡生活质量的差异。新型的智能物流可以结合货物和垃圾清运功能,改善乡村地区的货品供给。智能运输能够避免空载情况,减少因供货运输而形成的交通堵塞。

联网的基础设施也助力了全民参与,例如利用网络或App应用程序,可以实现公民意愿的实时反馈,实现线上投票选举,有助于改善政治决策过程的公民参与。

在一个互联互通的未来,我们必须考虑数字化在各个方面的影响。除了经济角度,我们也必须从生态、社会福利和制度方面来全民考虑其影响。各地区应因地制宜地制定解决方案,考虑到不同的居地理环境(大城市/小城市、边缘地区)和条件(气候、基础设施配置等)。除了讨论数据安全性、基础设施服务须惠及所有人民外,还应关注关键基础设施。这类关键基础设施一旦发生故障停机或损坏,可能造成长时间的供给不足,对公共安全产生巨大的损害,或造成其它有深远影响的后果(BSI, 年份不详)。

德国联邦环境署的行动方案与政策

德国联邦环境署认为接下来几年,应重点在以下方面展开行动:整体地评价联网的数字基础设施方案与智能应用产生对环境、对社会和人民生活方式所产生的影响。探讨过程中既要考虑正面影响,也不能忽视其负面影响。

在分析直接和间接影响后,还需要对基础设施进行全生命周期分析。一般来说,技术类的基础设施需要高额投资,一旦建成,就确定了未来几十年的发展路径。因此,需要考虑其路径依赖性和长期环境影响。目前,多地在未来几年内和几十年内将扩建和改建基础设施(UBA, 2018d),因此亟需研究创新性基础设施的解决方案,并研究其对能源和资源消耗的影响,以及分析这类设施是否能够适应变化的框架条件(气候变迁、人口发展)。只有制定可

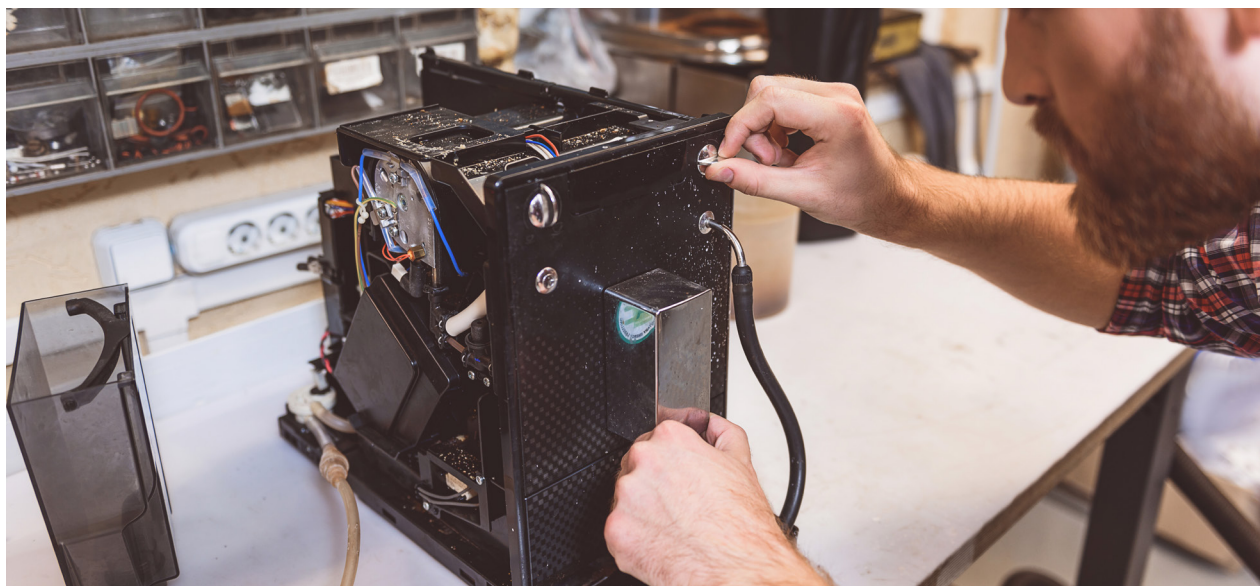
持续、保护环境、节约资源、韧性和公民参与的发展方案,未来的基础设施才能真正具有智慧的特性。

在本研究报告中,德国联邦环境署将针对不同城市和地区层面,探讨重要的研究问题,为联邦政府、联邦州和地方提供政策建议。其核心问题包括:

- 在基础设施领域的数字化进程中,应如何纳入环保和可持续性视角,才能促进环境兼容、资源节约、保护气候的废物处置系统的建设?
- 基础设施的数字服务可以为城乡平衡发展、保障乡村地区公共服务等方面做出哪些贡献?
- 考虑到新技术的能源和资源需求,也考虑到“回弹效应”所产生的间接影响,基础设施的数字化究竟怎样影响了资源和能源消耗?在什么条件下,“智慧方案”能够降低能源和资源消耗?
- 如何设计网络、基础设施和硬件,才能让数字化真正服务于可持续发展?应怎样搭配已建成的基础设施和新建基础设施,来兼顾环保和韧性?应当关注哪些利益相关方,以及技术、组织和费用上的问题?

针对上述问题,德国联邦环境署将加强对于可持续联网基础设施在环境问题上机会和风险的评估分析。

4.3 循环经济中的数字化和环境保护



数字化现状及其发展

节约资源、避免垃圾的产生、高效利用材料、充分地回收和再利用材料，从而形成闭环的材料流，这些都是可持续循环经济的核心目标。欧盟正从战略角度出发，讨论“循环经济”（Circular Economy）更为宽泛的内涵，其应不仅仅局限于垃圾分类和回收。

其指导原则是：在经济循环中，要尽可能地资源节约、保护环境和气候。同时，产品和材料在首次使用后，仍然保持较高的使用价值。在此，我们将产品的整个生命周期视为一个循环。从设计、规划、产品的生产与使用，通过维修来延长其使用寿命，再到循环再利用，使材料能够重新回流到高价值的应用领域，循环经济的理念应该贯彻周期的始终。若材料无法被高价值利用，则应拓展到其他的应用领域，或进行能量回收。应尽可能避免材料的丢弃与运输，降低相应的交通运输量。

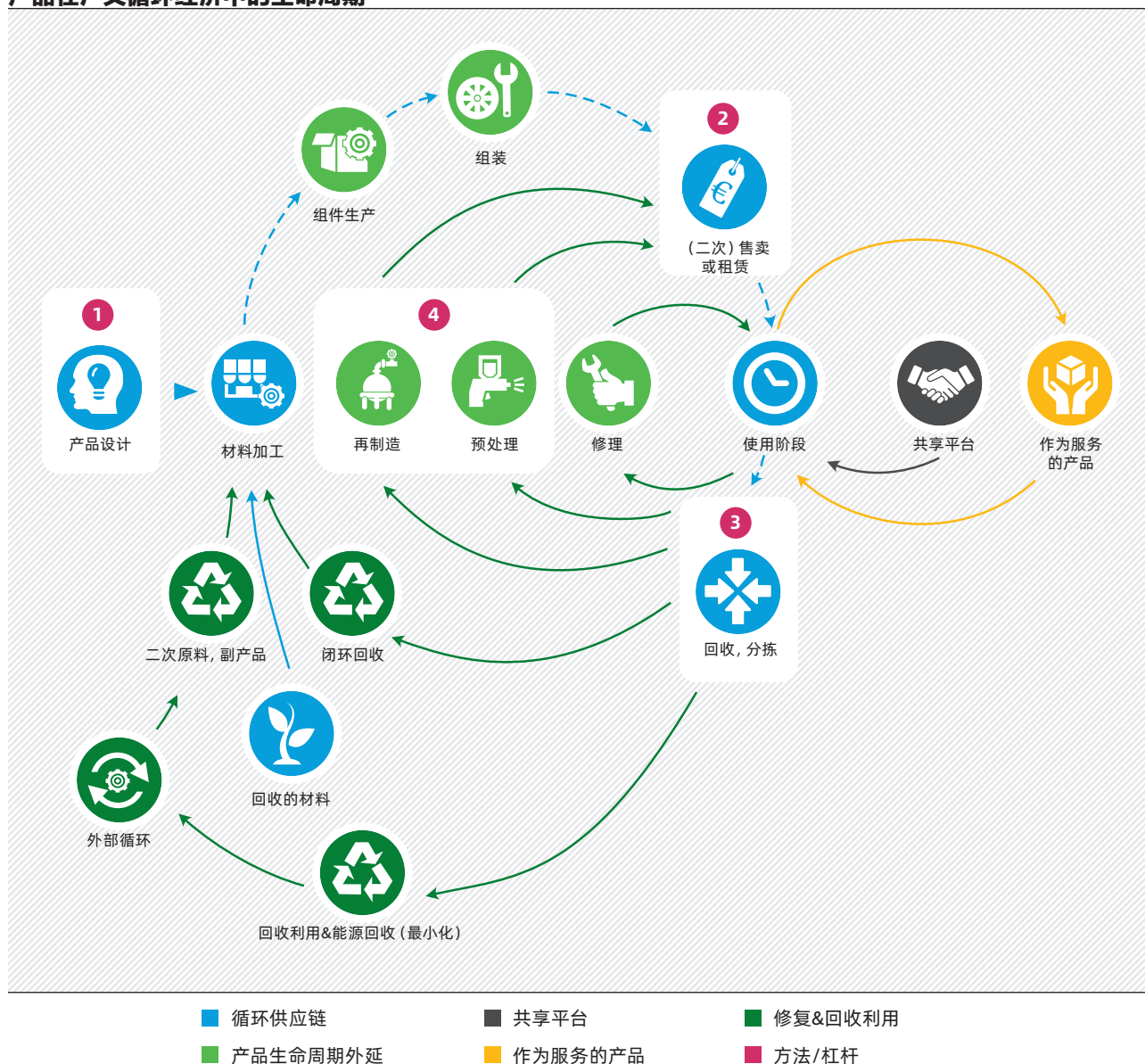
数字化已经在循环经济的一些领域生根发芽，特别是在废物处置领域，主要用于路线规划或废物的数量计算。在循环经济中，数字化进程的重点是优化垃圾处置物流，提供有关（废旧）产品组成的信息，该信息应涵盖产品直至处置阶段的整个生命周期。

数字化发展也改变了材料流和废物流。目前，电子部件、设备和传感器的使用量在不断增长，家电等原先不归类为数字产品的商品，如今也加入了越来越多的信息技术组件。这些产品在使用寿命到期后都将成为废品，处置其中部分产品，则需要新的材料回收再利用技术。例如，纺织品本不属于电子设备，但智慧纺织品则须按废旧电子设备进行处理。而智能洗衣机须在粉碎之前也需要取出其中的电子部件。

与此同时，数字技术的发展也有助于我们及早识别和处理环境风险。此处既蕴藏着改善环境的机会，也存在着危害环境的风险。

图 4

产品在广义循环经济中的生命周期



资料来源: 埃森哲

环保方面的机遇和挑战

循环经济(广义定义)的数字化对于环境而言,可谓机遇和风险并存。将产品进行全生命周期管理,从开始便将其纳入循环经济的考虑范畴,并采用新技术,在产品研发的初期先设置好参数,确保产品在其全生命周期中实现更高的可持续性。在精密规划生产工艺时,可借助3D打印等技术节省材料,减少对环境的不良影响。

在产品的使用阶段,推广线上共享模式与商品的再利用也很重要。数字应用能更好地协调和优化此类模式和方案。消费者可通过这类服务转售产品,或以低廉的价格购置二手产品,从而延长产品的整体使用寿命。同样地,若能在研发阶段便考虑到从家门口到材料回收再利用的收集和处置问题,并提供数字技术支撑,也可极大提高物流环节的可持续性。

在处置环节中,对废物和二级原材料的有效收集和管控也可大幅提升物流效率。例如,自动化的物流和营销平台、联网的回收和商品交易系统能够根据废物和二级原材料的情况,更精准、更高效和更迅捷地对接供给与需求。此外,还可以采用能显示实时收集量的智能回收箱。

针对小范围的废物流,数字化应用让原先费时费力的废物处置更具有经济性,从而提高了人们回收和再利用的意愿。数字化还能在产品信息方面发挥作用:通过维修来延长产品的使用寿命,有目的地拆解和分拣,特别是针对复杂废旧产品的拆解和分拣。在这些情况下,都需要获得相应的信息才能实现高质量的修理、处置与回收再利用。通常需要的信息包括:(废旧)产品或废品中部件、材料、杂质和污染物的位置、数量和拆解信息。

在充分确保数据安全的条件下,数字化可以利用“材料护照”集中整合产品的信息,使得从生产到供货和使用再到处置的全流程设计更为高效,节省更多的资源。然而,其实现还存在诸多挑战:产品迈入报废阶段的几年前就要确定未来传递给他方的产品信息,并设计信息的生成和获取方案,使其可以保留数年。3D打印等数控增材制造工艺使备件的生产朝着个性化和高效的方向发展,从而进一步延长了产品的使用寿命。但也制造了新的难题:3D打印使用的某些合成材料无法回收(UBA, 2018a),那么个性化的部件该如何按规定实现高质量的回收和再利用?

总体而言,在避免废物产生、设计更为高效和资源节约的材料流方面,还有相当大的潜力有待挖掘。与此同时,我们也须考虑数字化

的回弹效应。例如,在日益增长的网上贸易领域,应谋求最简洁的包装(参见行动领域“环保的消费4.0”)。另一项挑战在于如何对数量攀升的智能设备进行高质量的回收再利用,以及如何回收稀有和特种金属。

德国联邦环境署的行动方案和政策

若要以更宽泛的定义来理解循环经济,并利用好数字化带来的种种机会,并识别其潜在的环境压力,首先需要系统化地认识数字化的潜力和风险。

这些认识有助于资源保护和避免垃圾的产生,加强德国废物经济和循环经济的竞争力。具体目标包括以下几点:

1. 应利用数字技术优化垃圾处置和回收再利用等流程,提高循环效率。
2. 数字化还可以利用于单独收集、富含有用材料的废弃物。它们的产生量很少,只有通过数字化才能实现循环利用和优化。在产品的生命周期循环阶段,仍有挖掘潜力的领域包括节约材料的数字化制造工艺(例如3D打印)和数字技术支持的可持续应用场景(例如分享平台或第二生命(second-life)回收选项)。
3. 信息流包括内容和传送形式,其设计应符合信息接收者的需求。信息应涵盖产品的使用和处置阶段,旨在加强产品的维修、维护、拆解、处理和回收再利用。

德国联邦环境署致力于识别数字化在循环经济中所具有的潜力,支持这类潜力的挖掘,促使到目前为止尚未符合(广义上的)循环经济要求的数字化向有利的方向发展。

4.4 工业生产的数字化转型



数字化现状及其发展

环境因素（包括数字化对工业生产安全的影响）在工业生产的数字化转型（简称为工业4.0）中很少被谈及，或者只有对上述主题浅尝辄止的观察和研究，关注点大多仅限于材料效率或能源效率。

德国目前针对工业4.0举办的活动和开展的研究工作将重点放在机器和设备制造上，包括自动化技术和电气工程。核心主题为技术和数字领域的标准化，以及企业内部——企业各领域之间、跨企业的从地方到全球范围生产及服务网络之间的“兼容性”。另一大焦点则在于工业4.0典型的模式和应用渐增的人工智能。正在开展的上述活动其主管部门汇集在所谓的“工业4.0平台”，或者与该平台紧密合作。

环保方面的机遇和挑战

工业4.0，即工业生产的数字化转型，开创了流程优化、智能联网和数据管理领域的全新可能，利用互联网等现代通信技术，增强自身在地方市场乃至全球市场上的灵活性。在向工业4.0的转型过程中所诞生的这些全新行动领域也可移植到环境领域，既带来了机遇，也潜藏着威胁。

流程优化方面尤其受益于创新性的工业4.0技术和应用。优化潜力不局限于生产流程，也存在于与生产相关的其他流程，比如废水和废气处理。这意味着，传统的环保技术和能源技术设备及物流也可挖掘数字化的潜力。扩大使用传感技术，再配合实时的数据传输和处理，这两种技术的结合将颠覆传统的流程。由此一来，流程变得更加透明，便于及时调整和有的放矢地进行控制。

在工业4.0和环保背景下，特别具有未来发展潜力的重点领域包括：资源效率（材料和能源）、二次原料和回收、流程链条和可追溯性、化学制品和危险物质管理、产品和消费信息，以及数据和数据管理。

工业数字化变革的“盈利”（例如可减少的耗材和能耗）在生成流程中相对于数字化“成本”（数字化本身必需的材料和能源花费）到底占比多少，以及该占比今后又将发生怎样的变化，这是大家最为关心的核心问题。然而，到目前为止，尚无有理论依据、容许推敲的预测，还缺少产业应用实践和实践研究方面的经验数据作为支撑。

在当前这个时间点上，将实践应用中所获得的、与环境相关的认知提早融入到工业4.0模式的设计中，并尽早与尚处于发展阶段的技术进行整合，可以让我们未雨绸缪，提前决定未来的正确方向。除了相关研究，应积极促进和引导“工业4.0和环境”方面的实践应用，这一点尤为重要。

随着数据提供和数字化的不断加强,针对人和环境的威胁也渐渐浮出水面,工业生产必须在发展的开端便重视这类威胁。在数字化大踏步向前发展的同时,利用具有自我学习功能的软件,可避免流程理解上的缺失,或防止出现对流程失控的情况。日益增强的数字化也牵涉到越来越多的参与方,或者造成这些参与方及他人有时违规访问系统数据,并操纵流程的危险。实时数据处理难免会有人为干扰因素,这也是该框架内日渐重要的关注主题。

德国联邦环境署的行动方案和政策

总体而言,到目前为止,人们对环保主题的审视依旧太少,甚至完全忽视该主题,包括工业生产数字转型背景下数字化对工业生产安全的影响。因此,德国联邦环境署长久以来一直致力于创建实践案例,获得关于“工业4.0和环境”主题的初步实践认识。德国工程师协会(VDI)资源效率中心2016年发起的研究项目“工业4.0提升资源效率——为制造业中小企业带来的发展潜力”拉开了对上述复杂主题领域研究的序幕,德国联邦环境署也参与了此次研究项目。

伴随着数据可用性的逐步提高,对工业4.0所有领域中的信息存量和对流程、流程链条、流程状态、产品、材料流、能源消耗等方面的了解将得到明显改善。环境、资源效率和可持续性相关数据的智能汇总、组合和分析评价也对环境保护有所助益。德国联邦环境署已经就“数据”主题和相关内容开启了一项“工业4.0中的环境数据”研究项目。除此之外,数字

转型也是“设备安全和故障预防”方面“新的危险来源”。在德国联邦环境署的支持下,设备安全委员会为此修订了SFK-GS 38指南“防止未经授权干扰的措施”,参考了《塞维索指令III》(Seveso-III)和《第12份德国联邦污染防治法执行条例》(BimSchV, 2000)的要求及该引证阶段的最新技术发展情况。联邦信息安全管理局(BSI)和联邦环境署合作,将于2019年开始一项旨在分析工业4.0对设备安全影响的研究项目。该研究项目有助于进一步提升安全技术,确定可避免发生故障或限制故障影响的措施(设备安全操作的最佳实践案例)。

以订单为导向、灵活和联网的生产是工业4.0的标志性特点,这类生产发生于全球的生产和服务网络之中。因此,标准化和规范化十分重要,德国联邦环境署也相应致力于该主题的研究。机构从2016年开始活跃于工业4.0标准化委员会的专家小组中,参与制定了《工业4.0标准化路线图》的第三版内容。除此之外,联邦环境署关注新型技术的发展(例如数字双胞胎)和产业相关领域出现的新型商务模式,检验了这些发展所带来的机遇和威胁。

世界逐步加深数字化和联网化的同时,德国联邦环境署发起并推进关于“工业4.0和环境”与“设备安全”的主题活动,进一步扩大规模,增强与伙伴方的合作,通过研究项目和实践应用获得对上述问题的深刻认识,在环保政策层面用所获得的真知灼见为高要求的技术发展保驾护航,并建立相应的安全技术。

4.5 数字化与企业环境管理



数字化现状及其发展

企业环境管理是一家企业或组织整体管理的一部分。其流程和责任制度应当符合社会的环保要求及法律规定。通过有效管理, 尽早识别在环保领域的机遇和风险。

企业环境管理包括能源和材料消耗、排放、土地使用, 以及废物和废水。员工上班路程和供应商企业的行为等对环境产生的间接影响也应纳入考量范围之内。企业环境管理的目标是改善信息流, 节省成本和促进环境保护。数字变革对上述所有方面都将产生显著的影响。

一方面, 自动化、移动计算或软件工具等数字化趋势已经在企业的环境管理中发挥作用。另一方面, 增强现实和虚拟现实、大数据、区块链、云计算、物联网或人工智能等应用刚刚处于起步阶段。利用区块链技术可实现整条供应链的环保相关数据传递, 这方面的试点项目极少, 而且项目的规模不大。

区块链技术原则上能够使供应链更透明, 货物流也更容易追溯。一旦将信息输入区块链, 这些信息内容就无法再发生改变, 这有效地预防了蓄意篡改和人为操纵, 也让所有参与方可以清晰地了解货物的流动情况。从对环境的助益角度来看, 供应链中与环境相关的活动

可通过区块链记录下来,生产商、认证方、再加工企业、贸易商和消费者能以更为透明的方式获得上述数据。

与此同时,此技术可以有效改善环境标准的遵守情况和检验工作。尤其针对那些尚未对货物进行来源标识的领域,比如纺织业和化妆品行业。到目前为止,大数据只是用在环境风险分析的少数案例中。通过使用和分析水、土地、大气污染或天气和气候数据等环境状况的实时数据,可以完成对气候变迁的情景分析。

在企业上报方面,企业财报已经可以联机,并实现了自动化的读取和分析评价。而在企业的环境和可持续性上报领域却仍然缺少标准和可比性。各种类型和规模的企业目前正在使用“企业资源规划软件ERP”,以控制企业的方方面面,从成本控制和会计,到订单处理、材料经济和生产,再到研究和开发工作。而在环境、能源和可持续性管理的数字化支持方面,企业大多使用单独的软件解决方案,这些软件无法接入或几乎无法与企业核心的ERP系统连接,从而导致这类流程无法整合到数字化的企业环境管理系统之中。

环保方面的机遇和挑战

数字化一方面为企业环境管理带来新的机遇,有助于提高透明度和确保环境标准的遵守。而另一方面也存在潜在的回弹效应,尤其是企业环境管理加大对数字技术的使用后会造造成资源消耗量的增长。数字化带来的机遇主要集中在以下领域:

► 企业的环境控制

► 价值链的上下游管理

► 在企业中贯彻环保要求

更为完善的测量技术、传感技术和设备的联网可在环境控制方面提供更多数据,数据的提供速度也能有所提高。如此一来可实时显示控制相关的参数,方便企业更迅捷地识别发展趋势,快速介入。例如,我们可以利用上述技术监测一台设备的能耗,马上识别出能耗的提高并相应采取应对措施。

价值创造链上下游的环境管理则能在供应链中利用区块链技术,提供更为完善的客户环保行为数据,同时在一件商品生命周期完结时提供更高质量的环境影响信息。

在此基础上,企业能够在环境管理方面以目标为导向地设定措施,为消费者提供更为有效的环保信息(比如在驾驶车辆时提供燃料节省的信息)。数字技术也能帮助企业更好地遵守环保方面的法规要求。

设备运行状态或排放信息的快速提供和内容完善,能让企业更快识别超过限值的情况,或者在前期采取手段避免发生类似的情况。另外,环境管理的数字化发展还可以满足设备可直接、实时地向有关部门报告数据。

因此,企业环境管理的数字化能够为实现更加可持续的工业4.0贡献一份巨大的力量(参见行动领域:“工业生产的数字化转型”)。数字化预计将降低建立、运维和认证环境管理系统的花费和成本,有助于这类系统的进一步普及。

同时,数字化也为环境管理开辟出新的行动领域。它可以更好地追踪和分析跨区域、跨媒介的环境影响以及回弹效应,提升企业环境管理的整体水平。

一个直观案例便是移动办公:工作时间和工作地点变得愈发灵活化。在某些方面,该变化趋势具有积极的生态效应,但也需要投入大量的硬件为基础。

移动办公将电力和热力消耗转移到雇主影响范围以外的领域。个别情况下可能会加大对环保的负面影响。比如,雇主方注重使用绿色环保电力,而员工居家办公,则无法保证自家用电为绿色电力。

德国联邦环境署的行动方案和政策

德国联邦环境署将通过研究工作、对话形式的活动和企业支持措施,推动数字化为企业环境管理做出贡献,同时也将展示如何借助环境管理来降低数字化生产可能造成的环境破坏和环保威胁。

在可持续生产的原则下,德国联邦环境署致力于分析数字化和联网可能带来的机遇和威胁,制定利用发展机遇和避免威胁的战略方针。具体而言,联邦环境署将与ERP系统的开发企业进行交流,商讨如何让这些系统更好地反映环境相关的数据、目标和流程,从而将环境管理更高效地整合到企业的中央控制系统之中。

除此之外,联邦环境署还将在研究中采集涉及环境控制、合规性管理、风险管理、供应链管理、利益相关者管理、生产和人力资源管理系列主题的数字化“应用案例”,力求结合实践,提出建议。

4.6 绿色消费



数字化现状及其发展

数字变革不仅改变了产业，也改变了市场的发展动力、消费行为及其对环境的影响。这一改变亦可称作为消费4.0。德国联邦政府将消费4.0定义为“新型的消费流程，数字化在此对报价、偏好形成、搜索过程和购买决策及其在市场和人类日常生活中的实现起到了根本性的影响作用”（Bundesregierung, 2019）。

消费者行为也在各个层面发生了改变。德国消费行为最为显著的一大变化涉及到采购行为。零售业的年收入逐步走低的同时，德国线上贸易却在激增。德国贸易协会2019年（HDE, 2019）的线上监测器（Online-Monitor, 2019）显示，2018年德国线上贸易的增幅为9.1%。协会称，目前市场还远未达到饱和状态。越来越多的线上交易采用数字支付形

式。加密货币等加密手段的应用逐步扩大，提高了对计算性能的需求，由此产生的资源和能源需求也随之升高（de Vries, 2018）。

特别值得我们深思的是随着数字化进程而改变的消费者角色。产品的超个性化和3D打印等新技术将最终消费者逐步深入地集成入产品的生产过程之中。消费者由此成为了生产性消费者，生产和消费之间的界限慢慢消失。消费者建立自身的消费网络，例如基于数字化的共享经济平台，在该平台上进行服务和商品的分配及交换，从而让消费变得更加可持续。从电器和电子二手产品到旧服装，线上物物交换平台为二手产品寻找新的主人，代替了原先的丢弃处置模式。这样做有效地延长了物品的使用寿命，减少新产品的购买量。根据经济合作和发展组织的调查，2015年5月到2016年5月期间，欧盟28国的1.91亿消费者在共享平台上至

少完成了一次交易。德国联邦经济及能源部称，德国所涉及的共享平台消费主要是移动出行和居住 (BMW i, 2018)。

消费4.0领域的上述改变和其他与数字化息息相关的结构、技术和文化变革已经对我们的消费社会产生了巨大和深远的影响，也影响了社会可持续发展的潜在设计。

环保方面的机遇和挑战

消费4.0有利弊两面，既有利于进一步普及环保产品和服务，也存在增加资源密集型消费的危险。为了评估消费行为因数字化而对环境产生的利弊影响，理解用户行为十分重要。因为消费4.0的效应在一定程度上取决于消费者的行为。产品随买随到或个性化广告等市场营销新手段提高了整体消费水平。

与此同时，数字平台能改善可持续替代方案的可发现性，提高这类方案的可视度，使生产流程愈发透明化，并利用“智能手机的QR快速反应标签”等数字环保标识促进消费者采用资源节约型的消费模式。在私人家庭中，使用智能设备的消费者行为可降低能源和水需求。当然，这里也必须考量智能设备所运用的数字技术本身有多大的资源需求量，以及它们所产生的温室气体排放情况。德国联邦环境、自然保护和核安全部就私人家庭的节能提出了各类建议（“好言说服”），罗列了一系列技术，方便消费者为待机设备断电节能 (BMU, 2016)。

同样地，共享经济也为可持续型的消费4.0提供了发展潜力。数字化P2P（点对点）平台为私人共享汽车、需求物品的共享，甚至居住空间的共享铺设了基础。其前提条件是：共享平台须扎根于可持续的消费（消费4.0）。消费4.0

中的每一次成本-效益分析应始终探究具体的用户行为，并在此基础上权衡其对环境的利与弊。

德国联邦环境署的行动方案和政策

当前的政策设计和影响机制在可持续消费的促进和社会实现方面遭遇了新的瓶颈。为解决这一瓶颈，首先需要理解用户行为和电子商务的工作原理，以便建立所需的环保政策框架条件和激励机制。此外，用户也须具备可持续消费4.0相关的扎实的知识基础。联邦政府还颁布了可持续消费的国家计划。移动出行、食品、居住和家庭、工作和办公、服装及休闲和旅游业领域均将贯彻环保政策的核心理念及可持续消费的具体行动方案。同时，需加强该领域的研究力量 (Bundesregierung, 2017)。德国联邦环境署重点致力于研究数字化在以下领域所产生的影响，包括：消费水平及消费行为、消费和生活方式的改变、消费者信息、消费者教育和咨询的机会，以及电子商务领域的环境标识。

在分析环境影响时，应考察和评价风险和机会两者，在此基础上为打造可持续的产品和消费者政策提出建议。机构当前开展的项目主要针对消费者的数字能力、可持续消费的数字和社会创新，以及简约型消费观的问题，此外也涉及到生态化的网购应用，并结合了数字化进程中的资源节约、可维修性和回收再使用问题。

4.7 可持续的出行与物流4.0



数字化现状及其发展

移动出行和物流也因数字化正经历着一场深刻的变革。其主要变革包括数字移动出行服务，例如信息技术支持的共享服务（共享汽车、共享单车、共享摩托），基于App应用程序的按需运输服务（共乘、专车、网约车平台），以及通信技术支持的短途公共客运交通的车队管理。物流4.0的数字化则表现为大数据、人工智能或物联网，以及利用ICT将物流联网的举措。

大数据在物流过程的联网中发挥着重要作用。物联网和人工智能的应用场景包括带有自动化智能的设备（例如摄像头或探测器）和机动车的车载辅助系统。

工业4.0的另一领域是信息物理系统（CPS），机械组件通过网络和信息通信技术互相连接。移动出行和物流4.0领域覆盖面最为广泛的潜在变革便是：自动驾驶。

维多利亚交通政策研究所（Victoria Transport Policy Institute）2019年的一项影响研究（Litman, 2019）描绘了2020年至2030年期间自动驾驶对城镇和运输参与方所形成的初步影响。

至于影响规模究竟将有多大，目前对此还很难给出预测数据。麦肯锡咨询公司针对该发展设置了一个极具颠覆性和一个颠覆性较弱的未来情景。在颠覆性很小的情景中，2030年全自动乘用车（Pkw）的保有量占全球机动车总数

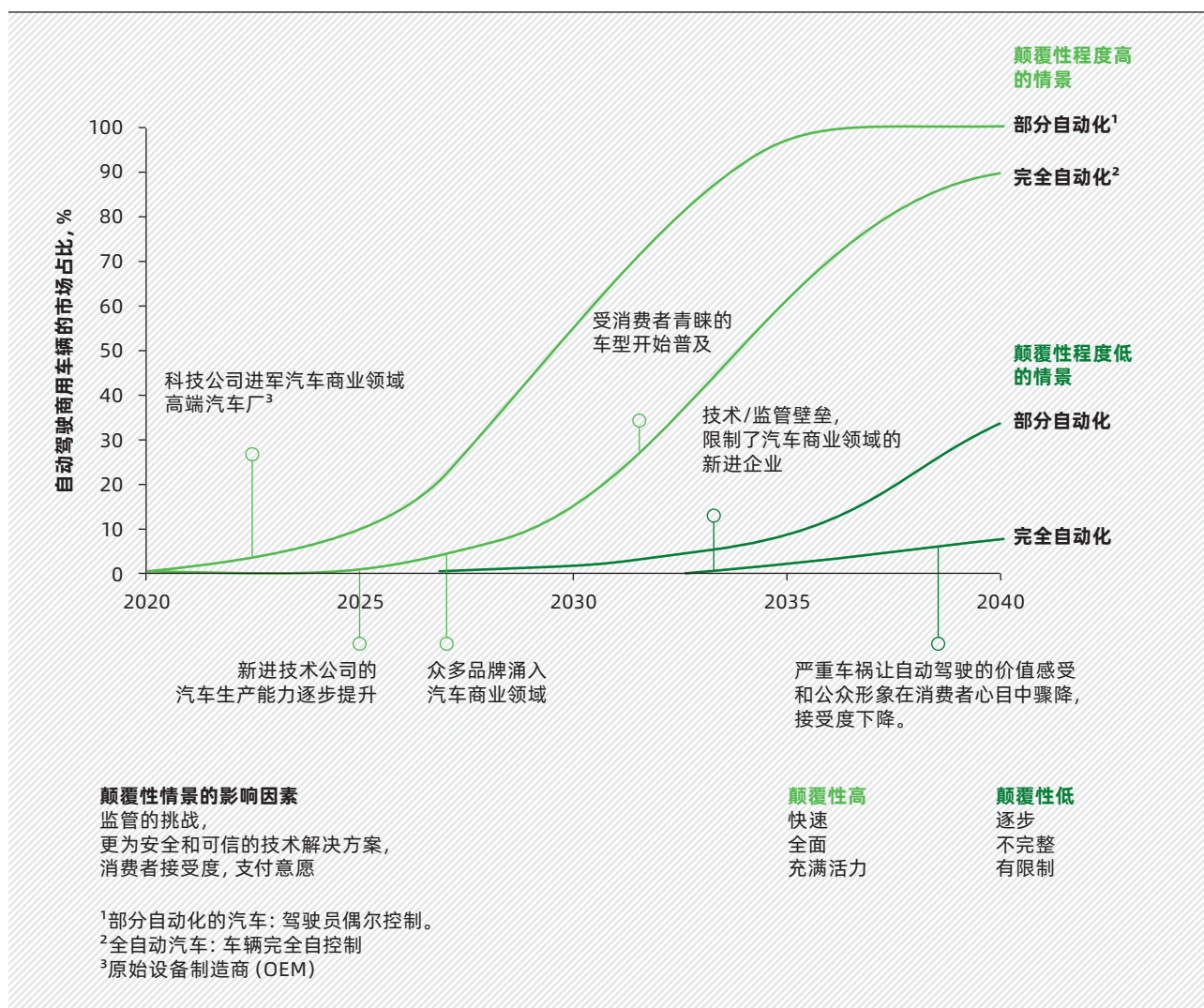
表2

自动化的阶段	
驾驶任务的自动化	Automation level tasks
完全自动化	根据应用情况，系统接管不同的驾驶任务。驾驶员能够（但非必须）接管对机动车的操控。
高度自动化	系统接管了大部分的驾驶任务。驾驶员无须监控系统，但是系统可以要求驾驶员介入。
部分自动化	系统在某一时间段内或在特定情况下接管驾驶任务。驾驶员必须监控系统，并做好介入的准备。
仅依靠驾驶员驾驶	始终由驾驶员完成所有的驾驶功能。

资料来源：自动化程度的分类依照德国联邦道路研究院（Bundesanstalt für Straßenwesen）的定义（BMVI，2015）

图 5

到2030年将有多少辆新车实现完全的自动化？



资料来源：麦肯锡公司

不到5%。而在颠覆性程度高的情景分析中，世界范围内的全自动乘用车市场份额达到了15%（Gao等人，2016）。

数字化对移动出行和物流领域的影响如今已经显现。数字出行服务改变着个人的移动出行方式。

城镇中的交通出行与自备车脱钩，移动出行服务的数字化应用日渐发展成为替代方案。德国联邦交通和数字基础设施部（BMVI）发布的《德国的移动出行》交通状况报告显示，德国大都市中有14%的家庭至少有一名成员使

用共享汽车，尽管到目前为止这一现象主要见于城镇区域。自有乘用车的情况也反映了一样的发展趋势。根据交通状况报告，德国大都市地区的无车家庭比例为42%（BMVI，2017）。

物流领域的数字化也在不同层面上改变着运输链条和运输动机。智能的车队管理软件逐步接手了路线、运输链条和运输道路的规划工作。数字化和智慧移动出行及物流服务既为实现更高效、资源更节约的运输添砖加瓦，也带来了环保的新隐忧。

环保方面的机遇和挑战

不论是移动出行, 还是物流4.0, 两者都蕴藏着使运输和交通变得更为高效和更为节约资源的潜力。然而不确定的是, 信息技术基础设施和所需机动车的生产所要求的资源消耗在多大程度上会造成更为沉重的环境负担。有证据表明 (Pratsch, 1975), 环境减负与共享汽车相关。通过数字化, 麻省理工2017年的一项调查研究 (Anderson, 2017) 对上述源自二十世纪七八十年代美国的认识进行了更新补充和验证。有证据表明, 在当前对类似出租车数字业务 (专车服务, 网约车外包服务) 的 (无) 监管下——例如优步 (Uber) 和纽约来福车 (Lyft) 的服务, 机动车行驶里程、能耗、排放和交通堵塞情况都有极大的增长。反之, 交通方式划分中, 短途公共客运交通的使用率呈现下降趋势 (Schaller, 2018)。

有关德国监管的问题, 研究计划“RechtSIInnMobil” (UBA, 2018c) 不久后将公布调查结果, 其中也包含颁布以环保为导向的《客运法》的建议。物流4.0的确具有节能潜力, 比如通过更高效的路线规划或机动车的智能辅助系统来节省燃料和降低二氧化碳排放。

而另一方面, 信息通信技术的需求量增加, 宽带的使用量提升, 也使能源和材料的用量随之上升。

自动驾驶将在多大程度上造成公共交通向乘用车交通转移的效应, “机器人出租车”方案是否也适用于公共交通, 这些问题亟待回答。除此之外, 我们不清楚线上交易相较于

于固定地点的线下交易将产生哪些生态影响 (B2B, B2C), 以及物流信息技术系统中存在哪些生态方面的优化潜力 (物流4.0)。

2015年的一项调查研究表明, 环境积极效应与消极效应之间的量比关系还很难确认 (Greenblatt等人, 2015)。该研究报告的作者认为, 移动出行的数字化转型对排放的影响介于温室气体减排80%和排放增加三倍的区间之内。这一巨大的结果差异归因于该领域的信息数据采集匮乏, 也揭示了进一步开展研究工作的必要性。

德国联邦环境署的行动方案和政策

因此, 联邦环境署计划未来在该领域开展进一步的研究。第一项“交叉关系的案例研究”聚焦“物流、(线上) 贸易、生产”的关联。

而基础研究项目“交通的数字化——环境和气候方面的潜力和风险”目前致力于研究“机器人出租车”对于短途公共客运交通和整个交通体系的影响程度。

未来的研究项目应侧重于促进数字化在交通领域的应用: 实时控制交通流, 并鼓励多人乘载的机动车, 高效监测个人出行的行驶状态 (包括停车时间)。通过监控引导, 至少可减少因寻找停车位而引起的交通量。

除此之外, 就网购和店内消费的环境影响, 也须建立初步的研究。下一步, 联邦环境署将提出一系列针对监管框架的建议, 以期充分利用交通领域数字化所带来的环保和气候保护方面的裨益, 同时降低风险。

4.8 环境兼容的能源基础设施4.0



数字化现状及其发展

退出核能, 扩大可再生能源的使用, 实现气候保护的目标: 多年来, 有关环境保护和能源之间关系的讨论从未停歇。数字化的重要性给予该讨论一项新的议题, 即: 通过智能电网实现智能的能源联网。该问题聚焦于未来愈发波动性的可再生能源发电与用能端的智能联网。

《2014年-2017年数字议程》(Bundesregierung, 2014) 谈及了智能网络的建设、当前分配网络的现代化改造和基础设施的扩建

(尤其是储能设备)。《能源转型的数字化法案》已于2016年9月2日起正式生效 (Bundesregierung, 2014)。

该法案通过引入新的数字化测量和控制网络——智能测量网关——定义了智能测量系统的技术最低标准。数字化的测量和控制系统作为赋能者, 构成了柔性模式、柔性产品和柔性市场的基础, 同时也有助于可再生发电的追溯。另外, 小型的分布式发电厂也能因此降低结算成本, 能源数据可借助数字技术实时调取, 通过人工智能和大数据等应用改善控制。

立法领域的另一块基石是《信息技术安全法》(BSIG), 用以确保能源部门数据传递的控制和数据保护。

能源基础设施的智能联网, 尤其针对可再生能源发电的波动电力, 对电网的柔性和容量提出了新的要求。可相互通信的智能网络一方面能有效促进能源更为高效的使用, 另一方面也须审视该技术可能产生的回弹效应。

环保方面的机遇和挑战

恰恰在这方面——能源效率和可能出现的回弹效应之间, 存在着能源4.0在环境方面的机遇和风险。智能电网有助于(特别是针对可再生能源)实现更为高效和节约的用能(Hu等人, 2014),

也就是说, 有助于节能, 并可长期降低家庭和工业的能源需求。另外, 我们也可以考虑消费者自行发电, 发展数据驱动的商业模式, 或者利用智能网络和楼宇自动化手段实现能源需求的最小化。

结合了可再生能源发电后, 在能源获取、资源使用和能耗方面将存在改善环保的大量潜力。尤其值得关注的是扩大社会经济效应时能效提升的空间和可能出现的回弹效应。数字技术借此改变消费者的行为, 从而形成更大的社

会变革。例如, 用于存储可再生能源的新型氢能电池和其与电动汽车的结合, 将改变人们对运输交通工具的选择。

然而, 在将这些领域的数字化作为影响深远的未来发展主题时, 人们却很少明确谈及数字化对于环境和气候保护所带来的机遇和风险。比如, 智能电网方案需要新建基础设施, 这无疑要消耗额外的资源。

另一个方面则涉及到可再生能源发电在长距离传输过程中的能源损耗。智能电网的运营和维保最终会导致能源需求的上升。此外, 还存在非法侵入(Disabler)数字化测量和控制系统的风险。

该领域存在潜在的回弹效应风险, 需要相应开展研究工作, 以便我们能更好地评估对环境的利弊影响。

德国联邦环境署的行动方案和政策

德国联邦环境署计划对能源领域数字化做量化研究和整体性的审视, 尤其应关注气候保护方面可能形成的影响。此外, 还应开发出机遇和风险的评估方法, 并将这些方法移植到甄选出的应用案例上, 例如运用在智能测量表的推广上。

根据这些应用案例的成果, 环境署将针对能源行业数字化的不同应用领域总结出行动建议, 给予相应的评估结果。

4.9 数字化与环境友好型化工



数字化现状及其发展

数字化让化学制品的生产变得更为迅捷、特别和高效。对于化学制品的安全性评估而言,化工产业的数字化进程意味从原先的价值创造链转变为价值创造网络,当然,这也对生产流程和销售市场产生了影响。化工产业将上述各类数字化应用归纳成一个概念,即:“化学4.0”。

化工产业的许多企业借助数字流程对自身的生产设施做了自动化改造。在此,大数据(Big Data)的使用在各个领域都起到了最为重要的推动作用,并且涵盖了从原材料获取到产品设计、生产和消费再到废物处置的各个流程阶段。

我们不仅能通过智能传感器来控制设备,也能通过对大数据的分析评价有的放矢地操控设施。实时数据越充裕,产品及所需化学制品的生产和使用就更精准和更环保。

这类新应用和可能性也催生出新的工作领域、商业模式和具有经济效益的新兴市场。化学制药行业的企业因此规划在未来几年里为数字化项目和新型数字化商业模式注入超过十亿欧元的投资(VCI, 2017)。

环保方面的机遇和挑战

化工产业的数字化不但创造了新的商业模式,定义了新的工作范围和提供了新的服务内容,也改善了产品、化学制品、材料及能源的替代结构。这里包括了资源节约型的化学制品租赁服务。所谓的化学制品租赁指的是制造商或进口商并不售卖化学制品,而是将化学品功能或化学制品本身作为一种服务提供给买家。使用后,提供方将取回化学制品并负责对回收物质进行符合环保要求的处理或废物处置。这样做有助于优化化学制品的使用,提高资源效率(OECD, 2017)。化学行业的数字化可促进其产品跨领域的应用,从根本上提高环保质量。然而,要实现上述目标,基本数据和信息应旨

在提高化学制品对于人和环境的安全性, 这些数据 and 信息的传递也应贯穿整个流程和价值创造链条, 并涵盖单件产品。传递的信息包括化学制品、材料和产品的温室气体排放估值、资源消耗和交通运输 (长途运输可能性估值), 以及改善已知高危化学品的可追溯性。这一方面的努力也可提高所用资源和工艺流程链条的透明度。若能追溯和检验化学品的资源消耗量和工艺流程链条, 这无疑对于评估化学4.0对人类和环境的影响而言是一大增值。

此外, 旨在深入了解材料的化学组成 (例如复合材料)、改进特定规定对于材料危险特征的可追溯性等的改进措施也能提高化学制品的材料回流比例。例如, 废物管理领域的智能技术可根据欧盟化学品法规 (EU-VO 2006/1907 / EG) REACH《化学品注册、评估、许可和限制法规》, 针对工业化学品的管理, 就农药 (农药和杀虫剂)、肥料、药品, 洗涤剂和清洁剂及纳米材料生成重要的数据, 从而使化学制品和资源的使用更加有效和安全。数字技术也能优化工作流程, 使文档记录变得更加便捷, 从而提高企业环境管理和环境报告的质量。除了上述优势, 也不容忽视正在加剧的现有环境问题, 以及即将产生的全新环境风险。

德国联邦环境署的行动方案和政策

化学品安全性因化学行业的数字化进程而面临着一系列的挑战, 挑战涉及到方方面面, 针对参与方和企业的政策框架条件应当在

此发挥促进和监管的作用。很重要的一点是, 化学专业的培训和再教育必须教授数字化的内容, 并且在教学中强调可持续性的重要性。

除了化学制品本身和危险物质管理及一般数据管理之外, 环保政策的重点主题还应涵盖资源效率 (材料和能源)、二次原料和回收、可追溯性, 以及产品、应用和消费者信息。

数字技术提高了可用数据的数量, 也孕育出各种不同的行动方案。随着化学4.0的数据可及性日益增强, (短时内的) 数据和信息联网有助于我们在上述重点领域收获更多的新知识。为此, 政策框架的设立必不可少, 以确保所有参与方都能访问这类数据。数据和信息在量和质上的提高, 以及环境相关重点领域内的数据联网程度提升, 有助于通过实践变革而对生态、资源效率和可持续性产生积极的影响。

《欧盟化学品注册、评估、许可和限制法规》(REACH) 已经将关注点瞄准上述的重点领域, 消费者信息因此得到改善, 数据的操作和收集连同重要信息的访问有了长足的进步。若要在数字化进程中进一步提高化学制品的安全性, 我们就要始终保证化学品各方面信息系统的联网, 并容许信息系统在这些不同领域得以应用。

尽早识别机会和风险, 并相应做出应对, 化学领域的数字化由此可在环保、健康、教育和食品领域发挥积极的作用, 并在这些领域提高可持续性, 以实现整个行业的化学品安全保障。

1 文中化学制品的概念主要指物质和混合物。文中的“材料”和“产品”概念涵盖了其他组合形式的化学制品。

4.10 绿色农业4.0



数字化现状及其发展

机器人挤奶, 无人机丈量农田, 自动驾驶的飞机控制农药和灌溉: 与社会发展大潮一样, 从种植业到畜牧业, 农业也深受数字化的影响。德国信息经济、通讯和新媒体协会 (Bitkom) 对德国农户进行的一项调查问卷表明, 三分之二的受访者认为数字化为他们的企业带来了未来发展的契机 (Bitkom, 2016)。

当前已有将近40%的农户正使用高科技的农业机械, 51%的农户运用数字化的自动喂养机。数据采集、传输和处理领域的发展异常迅速。绝大部分的农场主有意愿提供企业数据, 以期减少行政官僚的花费, 简化流程。

在种植业中发挥重要作用的精细农作技术及畜牧业流程的自动化得到了广泛的应用。从企业经济学的角度来看, 农业的数字化可以提高效率和生产力。

2016年9月13日德国农民协会主席团的一份意见书中写道: “农业生产的数字化是一场孕育着无限机会的发展大潮, 为资源节约、保护气候的农业经济发展及有利于动物健康的畜牧

业工艺提供了巨大的应用空间” (DBV, 2016)。若以可持续农业4.0的角度来看数字化发展, 可以发现, 该进程的机遇和风险并存。

环保方面的机遇和挑战

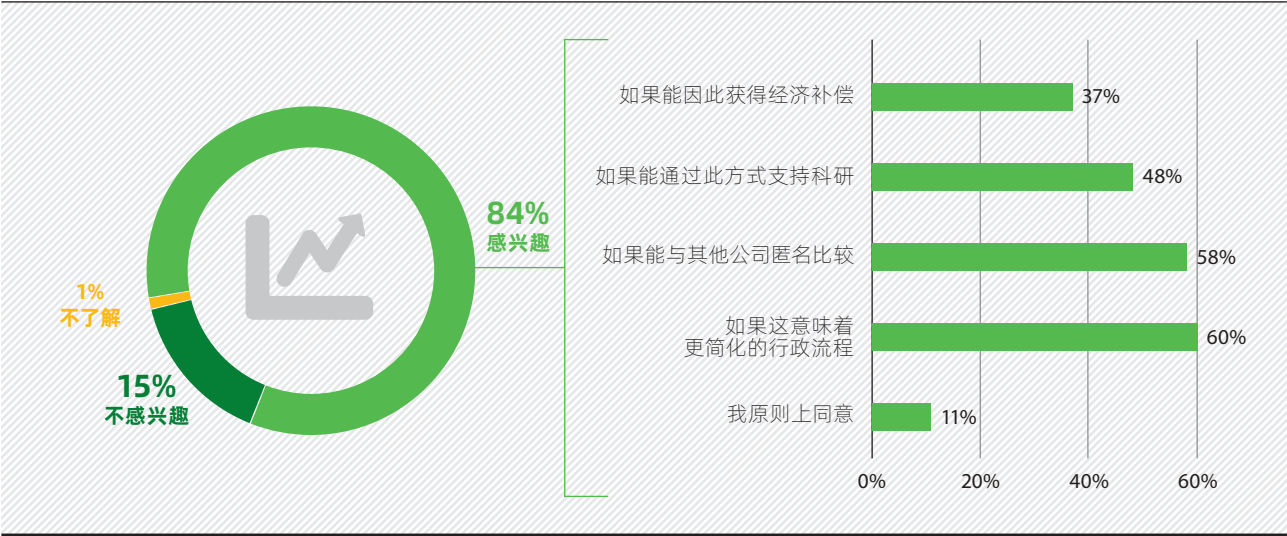
未来, 可精准调配的资源使用无疑蕴藏着环境保护的巨大潜力。例如, 精细农作有利于更为精准地播种, 精确施肥 (同时减少施肥量), 以及更高效地控制农田的灌溉, 从而降低肥料、农药和动力燃料的用量, 减少环境的负担。

另一方面, 农业与其他领域一样面对着数字化的种种挑战, 包括数据主权、数据保护和负面社会影响的问题。因此, 在全社会范围的讨论和在立法过程中, 应始终将农业纳入考量范畴。

将数字化运用到哪种类型的农业, 这是在改善农业环境影响的过程中起到关键作用的一大问题。若一味不问利弊的推行, 数字化只会让单纯关注效率和产出、损害环境的农业生产方式愈演愈烈。极端情况下, 节约的资源甚至会导致密集农作的规模进一步扩张 (回弹效应)。倘若在数字化管理中不明确强调应降低农业所造成的环境影响, 未来农业用地的多样性将遭到削弱。此外, 肥料用量过度的现象之所以存在, 往往并非源于肥料的控制不够精准, 而是归因于超过土地比例的过度密集型饲养。这个问题无法借助数字化来解决。另一方面, 数字转型也的确为造就一个农业产出稳定、兼具生态功能的农业系统提供了丰沃的土壤。借助可反映地貌、营养成分、土壤状态和气候的可用数据, 即便是非常复杂或小规模种植系

图 6

农业领域对数字应用的兴趣



资料来源：德国信息经济、通讯和新媒体协会 (Bitkom) 的研究项目

统，我们也能轻松对之了如指掌。轮作、间作和土地耕作方法能以最佳方式适配当地的实际条件。轻便机器人可自动完成工作步骤，同时减少土地耕作对环境造成的伤害。未来在实现对田间单株植物的准确识别后，我们能够在促进农作物生长的同时，保留无害的杂草，根除有害的伴生植物。而在畜牧业方面，更为完善的数字化控制下的动物健康系统可减少药物的使用，从而降低对环境的干预和负面影响。

德国联邦环境署的行动方案和政策

数字化只能成为改善农业环境影响的工具，带动必要的农业结构转型，建立多功能、可持续、适配周围生态系统的农业体系。与此同时，进一步的发展不得为少数大企业所左右，不能以这些公司的经济目标（部分目标相互矛盾）为推动力量。

为了防止形成市场垄断，避免农户对于少数几家肥料、种子和技术企业集团的依赖，必须在传感技术、数据传输、数据处理和决策支持领域确保有多样化的参与方积极参与。除此

之外，农场主也应当获得技术专有知识方面的培训和进修机会，加深他们对数字技术的认识。要长效实现上述目标的前提是设立关于数据主权的明确法规和私营企业规定，建设服务于大数据 (Big Data) 的独立基础设施，开展独立研究，提供咨询和资质培训服务，建立开放型的数据模式，以及在农村地区保证稳定的网络覆盖。

4.11 资源节约的水管理4.0



数字化现状及其发展

“水管理4.0”概念涵盖了水管理领域中大数据、模拟技术或人工智能等数字技术所形成的各类变革。水管理包括超过百个泵站组成的、用以调控大城市水务和废水系统的复杂网络。数字化在建设可持续和资源节约型水管理体系方面可以发挥重要的作用，有助于应对这一系列的未来挑战。正因为应用范围十分广泛，目前还无法估算出数字化在该领域可为公民和环境带来福祉的潜力大小。

借助智能水表，在为水厂和污水处理厂的泵和机组配备数字化基础设施后，我们可以发现水供给和废水处理供给网络及消费者所面对的可能问题，并通过按需控制显著提高上述设备的能效。

在谈水管理的数字化进程时，同样绕不开跨部门数据收集和数据使用的全面变革问题。举个例子，水管理领域的集成式数据采集能够提供关于地下水营养成分更为细致的信息。数字化为该领域提供的多维度解决方案仍在起步阶段，还未真正实施或还未着手实施。

环保方面的机遇和挑战

水管理如今面临着气候变迁、人口变化和与时俱进的技术革新所带来的新挑战。挑战包括暴雨灾害,以及须从废水中去除的新的污染物质。现今的供水和下水系统设计应当尽可能灵活,能够根据短期变化做实时调整,并结合预测做好应对准备。为此,下水系统、水处理、降水与流域管理领域的各类基础设施应当联网,形成一个整体系统。

该系统须包含所有必需的元素,并将它们有机地连接起来。此外,地方基础设施也应考虑如何将“水管理4.0”系统集成到其他新型的城镇结构中,或者让两者连接成为网络。水管理与农业等其他领域的结合一样十分重要,这决定了数字化是否能为改善环境做出贡献。要完成上述任务,除了可信的数据基础、信息技术工具、智能和联网的设备控制系统之外,数据保护和系统保护也非常关键。随着系统复杂性的不断提高,上述问题的重要性与日俱增。

德国联邦环境署的行动方案和政策

数字化能够改善资源使用,促进水管理的绿色发展。在此重要的一点是,水管理的发展不能将邻近产业(例如农业)和部门挂钩挡在门外。须确保水管理目前取得的骄人成绩即便在面对未来挑战(灾害性降水增多,人口变迁)时依旧得以续写,并且能够进一步提高效率和实现更大范围的普及。与此同时,水管理的相关数据应服务于能源部门或城镇空间的改进措施,或在其他行政管理层面找到用武之地,同时也可以考虑在此基础上创建新型服务。环保政策可以通过设立跨部门的数据应用框架条件和定义使用目标,为实现上述目标奠定坚固的基石。德国联邦环境署在此担负着协调的任务,应在不同利益集团中间扮演中间人的角色。

4.12 数字环保教育与可持续发展教育



数字化现状及其发展

传统的环境教育遵循着一个理念，即：教育人们如何带着责任意识对待环境和自然资源。1992年在里约热内卢举行的世界大会上诞生了《21世纪议程：联合国可持续发展》

(UN, 1992)，环境教育随之发展，现已根植于国际教育运动“可持续发展教育”(ESD)之中。联合国教科文组织在最新发布的ESD文件《可持续发展教育》(UNESCO, 2019)中定义了到2030年可持续发展相关教育的开展流程。除了接触和认识各种不同的生活现实、改善经济增长和可持续性两者的平衡关系之外，数字技术也成为规划的重要组成部分。例如，课堂教学领域的智能解决方案有助于节约能源。当然，数字化并没有卸下教师肩上的责任：须重点关注节能这一基本原则本身。新技术是通往目标道路上的有利工具，但使用的前提是，我们应当带着批判性的眼光审视这些技术是否满足可持续性的要求。

可持续发展教育首先应当赋能于人，让可持续性的意识根植在生活方式中，塑造未来的能力是可持续发展教育的核心。环境教育和可持续发展教育已经在传统的教育领域深埋下根基，如：学校组织的实践项目周活动、校外教育机构举办的非正式宣传活动。

德国联邦政府“全球环境变化”科学咨询委员会(WBGU)在关于“大转型”的专家意见报告(WBGU, 2011)中也强调了研究和教育机构开展转型和变革教育的重要性。除了教授以可持续性为导向的知识之外，旨在保护气候的数字技术及这类技术的研发、应用、评判和普及也应纳入教学内容之中。在此，我们必须考察数字产品及服务可能产生的全球性和社会效应，以及它们对于气候的影响，同时开发新型的可持续数字解决方案。

这一点非常重要，因为教育正因数字化进程而经历着巨变。教学工作越来越多地走到了线上：

网课、大规模在线开放课程、网络研讨会、虚拟学院、Moodle课程、学习类的应用程序App和校园云(HPI, 年份不详)只是数字化教学环境的几个例子。信息检索也逐步向线上转移，借助搜索引擎、网络数据库或者线上图书馆。以上种种为数字化的环境教育和可持续教育开拓了丰富多样的应用领域。幼儿园、中小学、大学和休闲娱乐场所都可以使用数字化的教学产品。路德维希堡师范学院、班贝格大学和德国青年旅社管理中心的项目“觅得多样性——利用移动媒体探索生物多样性”项目(<https://biodivlb.jimdo.com/>)为下榻

青年旅社的青少年和儿童提供智能手机和平板电脑上的生物多样性游戏。线上游戏《景观消消乐》以游戏的方式讲述了可持续的土地使用 (<https://www.letsmap.de/letsmap/index.php>)。

在成人教育和进修课程领域,数字化通过线上课程和数字教育项目呈现了数字环境教育和可持续发展教育的新天地。

环保方面的机遇和挑战

我们看到了改善环境的契机,也看到了其潜藏的风险。数字教育服务一方面让更多人能够接触到环境教育并从中受益,在理想情况下,用户能够增长见闻。然而,这类数字服务需要消耗更多的资源。机构必须添置或更换新的信息通信技术设备,《德国数字协定》(BMBF, 2019) 也指出了技术更新的必要性。同时还必须改进和稳定宽带网络的访问。上述措施都将增加材料和能源的消耗量。但另一方面它也能节约材料,因为数字服务可以替代我们原先使用的一部分材料,从而达到节省木材、水资源和能源的效果。目前,关于数字化、数字环境教育及其对环境的影响这三者的研究项目寥寥无几。通过数字化措施来评价教学和个性发展,这一点也十分重要。

德国联邦环境署的行动方案和政策

未来几年的研究重点主要放在两大问题上:一、教育数字化所形成的生态损益核算,二、新的数字和线上课程专家并没有经过专业的师范教育,因此需增强教学部分,以达到平衡。我们建议在此可以借鉴创意学、神经生物学和脑科学的跨学科方法。有人会问,二进制编程中的学习是否真能培养面对转型和对

待不确定性时所需的塑造能力和多义性理解能力,这样的学习是否会造就非黑即白的无差别思维模式? 各类研究指出,学习是创造意义和开发自我评价系统的一种积极的脑过程 (Gebauer等人, 2005)。只有这样才能提高和发展社会能力,其中就包括对于尝试和即兴创作的欲望和信息。

认识到数字媒体和应用在教育领域带来的裨益之余,我们不能把数字化简化为技术配置和技术驾驭,而应该将“数字化引领社会变革”作为专业话题来探讨,并积极参与这场转型的塑造。因此,环境教育数字转型的各种形式和矛盾都需要我们批判性的探索。

这意味着,应从生态设计、淘汰废弃和简约消费等资源节约的角度来看数字教育技术,并将这些议题融入学习内容,与学生一同探讨这类话题。另一项挑战在于如何让数字化转型符合联合国的“可持续发展目标”(UNESCO, 2019)。例如,怎样的数字环境教育才能兼顾环境保护和向所有人平等开放的可及性(不让任何人掉队),最终实现自身的可持续?

(在存在相应技术前提条件的情况下)学校的环境教育应充分利用数字化带来的各种可能,同时也须加强学生的数字能力。因为只有当学生理解了技术背后的机制,他们才能追问这些技术的可持续性问题。教师的数字能力一样需要得到加强,同时也有必要与教师一同探讨和评价可持续发展教育的适用性。总的来说,我们应充分反思数字环境教育和可持续发展教育,将技术潜力与教学结合为有机的整体。

5

**服务于环保政策和
行政管理的数字化**



服务于环保政策和行政管理的数字化

数字化不仅为第四章聚焦的环境政策行动领域带来了环境和气候保护方面的机遇和风险。在对数字化做整体性的探讨时,政府环保部门本身也是数字化行动目标的一部分,这是因为数字化也改变了环境政策与行政管理部门的工作方式,牵涉其在数字化世界中高效开展工作的问题。

这些部门不仅应在自身工作中利用好数字化创造的机会,也应将其利用在与市民的沟通上。在这方面,数字化为稳定持续且可信的数据收集、分析和评价创造了新的可能。与此同时,虚拟现实和增强现实等数字技术不仅保

证公众可以获取环境相关的信息,还提供了信息获取的新体验,从而促进了对话,加强了人们的环保意识。

然而:数字化不仅仅只是工具,环保部门必须始终在工作中贯彻可持续发展的理念。要做到这一点,所有进程都应从一开始就关注环境保护的问题。另外,环保部门须审视自身的工作方式,从数据采集到数据分析利用再到对外宣传的过程中,应始终注重环境保护、数据保护和公民参与,并积极建立可持续的工作模式。其中最为主要的是环境监测和环境信息,以及“电子政务”领域。

5.1 数字化、环境监测与信息



数字化现状及其发展

环境监测及信息系统一般需要收集、筛选和分析大量的数据。随着数字化的发展,上述任务越来越多地依靠数字技术来完成。在环境监测和环境信息的数字化方面已有基本的法律框架,其中包括《环境信息法》(UIG, 第1条第1款)、《信息自由法》(IFG, 第11条第3款)、《电子政务法》及《开放数据法》(EGovG, 第12a条),以及旨在实施所谓《INSPIRE欧盟空间信息基础设施建设指令》(欧盟指令2007/2/EG)的《地理数据访问法》(GeoZG, 第1条)。此外,还存在一系列欧盟专业指令和各国相应的实施法案。国家和欧盟层面的框架立法

重点关注欧洲范围内的地理数据基础设施建设,“传感器观测服务”(SOS)几乎实时地在线上传输测量网络(例如联邦和联邦州的空中测量网络)的数据。地理数据基础设施负责监测数据提供和利用的统一和简化。未来,远程卫星遥感技术将在环境监测的数字化过程中发挥更大的作用。欧盟哥白尼计划(Copernicus-Program)中的“哨兵卫星系列”(Sentinel)及与之挂钩的各项服务如今已在输送大量重要的信息。

这些信息有助于检验农业等领域欧盟指令的遵守情况。环境监测领域的数字化(比如通过欧盟空间信息基础设施建设指令)确保了数

据在欧洲范围内的可比性。数据提交逐渐告别了欧盟国家主动提供的模式,而是由欧盟委员会或者欧盟环境署来“提取”。卫星远程遥感具有地区覆盖面大和复现率高的特点,无需对数据进行额外的处理。

环保方面的机遇和挑战

尽管环境监测和环境信息一直以来都依赖数据(数字信息),但是数字化对环境监测进一步发展的贡献是不言而喻的。随着远程遥感系统的传感技术、小型卫星、带有微型传感器的无人机技术、无线和移动传感网络及系统的发展,市民知识普及活动(市民科学)的开展,以及(自动化)数据分析、评价和展示方案的改进,对环境参数进行全球性持续采集将成为可能。但不可控制的小型卫星是潜在问题,这类小型卫星一开始的设计就注定它们将作为“宇宙垃圾”滞留在运行轨道中,对其他飞行器造成威胁。

数字化有助于提高环境信息和知识传播的效率,扩大传播的影响范围,可以有针对性地传播到相应的目标群体。环境信息可以通过社交某媒体网络或智能(家居)助手更快地使消费者知悉。未来,新型的网络工具将使环境信息的呈现朝着互动、叙事、综合主题和个性化的方向发展。增强现实和虚拟现实等技术革新(通过虚拟现实眼镜将信息以数字形式呈现在视野之内)能够让环境信息的感知有更高的质量。

然而,新的传播渠道也可能造成用户信息过载。若信息深入用户的日常生活,他们可能会觉得自己遭到了操纵,被左右了思想和行动。(环境)信息的私人供应商涌现,加剧了竞争,这也是不小的挑战。

德国联邦环境署的行动方案和政策

联邦环境署针对环境监测确定了一系列不同的行动方案。第一项任务是借助数字技术有针对性地采集环境相关的数据,同时提高数据的质量。卫星传感器的进一步发展在此起到了非常重要的作用。更高的分辨率和更广阔的光谱频道结合了相应的原位信息后,能够进一步改善环境监测的质量。

此外,德国联邦环境署的网站上已经有较多的环境信息(电子版手册和联邦环境署的网上数据库),提供了所有环境主题相关的信息。我们在此用一些例子直观地说明。在德国联邦环境署的网站上,公众可以找到德国环境核心指标的概览,以及当前空气污染物浓度的详细信息。2019年夏天还将推出一款环境空气质量的App应用程序。“项目集锦”(Tatenbank)一栏则汇聚了全国各地的气候保护项目,收录了大批旨在应对气候变迁的最佳实践案例。污染物排放和排向索引及专门为此设立的网站“www.thru.de”整合了不同来源的污染物排放、垃圾处置和排放信息。

我们的目标是向公众和决策者更快、更高效地提供现有信息。为此,我们采取了一项重要举措,通过国际项目来实现欧洲范围内统一的环境监测,比如在实施欧盟空间信息基础设施建设指令(INSPIRE, EU-RL 2007/2/EG)

的过程中,为欧洲建立统一的地理数据基础设施。INSPIRE指令旨在在欧洲范围内统一数据的采集和评价。

到目前为止,欧洲国家仍然各自为政,采用不同的方法。然而,一旦遇到紧急事件,人们需要尽可能迅速地完成任务信息的跨国传输。例如2010冰岛的火山爆发事件,许多国家都依赖于天气和环境空气质量的数据。在缺少统一标准的情况下,各国决策者需要花费大量时间来解读所需的数据。为了能在类似情境下更为迅速地采取行动,欧盟须建立统一的环境监测标准。德国联邦环境署也参与了该项目。

第三,数字化可以加强有针对性的监测。在德国国内,德国地理平台(Geoportal Deutschland)以地图服务和元数据的形式提供了联邦环境署地理数据基础设施(<https://gis.uba.de/website/umweltzonen/index.html>)的环境监测结果。联邦环境署同样也活跃在世界的环境监测舞台上,因为上述数据也会传输到GEOSS门户(全球地球观测系统)。在哥白尼欧盟地球观测计划中,卫星数据的当前体量估计为每年10PB(DLR,年份不详),这些待处理的庞大数据量需要云解决方案的助力。

如果负责数据处理的计算中心满足绿色环保信息技术的规定,这将对二氧化碳减排起到积极的作用(参见行动领域:“环境兼容和资源

节约型的信息与通信技术”)。这方面的主要挑战包括如何确保数据质量,解决巨大数量数据的处理,以及高效计算中心、算法和软硬件产品的开发和运营。

第四,数字化能够让数据的提供和传播做到因人而异,有的放矢,在与社会人群的对话中加入新的理念和内容。德国联邦环境署将在其信息服务中逐步补充新功能和新的信息内容。机构的研究计划重视用户期待和用户体验,从而确保影响范围的最大化和针对不同用户群体的信息传播实现最优化。此外,中期研究计划(包括具体的应用实例)将分析虚拟现实和增强现实在环境信息传播方面的潜力。德国联邦环境署已经通过自身的网站和社交媒体平台与公民、科学家、决策者和其他目标群体开展交流,向他们介绍机构的工作情况并提供环境信息。

第五,联邦环境署以不同的媒介形式,提供充足、有理有据和可信的数据及分析结果,以抵御公共讨论和辩论中蓄意操纵和错误信息(比如社交机器人,社交媒体中以偏概全或不充分的信息)的风险。第六,便捷的数据访问和数据可比性可简化环境法规的执法,降低数据获取的花费,也让数据解读更为简单。此外,公众也能更便捷地参与环境相关的决策。

5.2 电子政务和公民参与



数字化现状及其发展

“电子政务”(E-Government)的名称表示,数字化不单单影响着企业和市民社会,也逐步改变了公共行政,以及行政部门与个体之间的相互关系。改变之一是技术解决方案的应用,包括线上展示平台、数据和文档的接口、电子邮件联系、社交媒体和电子办理流程。但电子政务的目标远远不止于此。

电子政务旨在设立通畅的数字流程,更快、更高效、更安全和更经济地完成公共政务。流程变得更迅捷,交流更简便通畅,行政的整体质量和效率由此得到提升。而对于公民和企业而言,他们有了与公共管理部门联络的新途径。因此,电子政务除了提升效率之外,也创造了参与政策设计(数字民主)和提高民主决策过程及行政管理行为透明度的新可能。电子政务是德国联邦政府数字化战略的核心组成部

分。《电子政务法》(德国联邦议会公报, BT-Drucksache 17/11473)是一部旨在促进电子行政管理和修订其他规定的法案,它连同2013年起针对联邦、联邦州和地方的其他法律规定一起构成了行动基础,旨在简化和促进行政管理过程中的电子通信,提供更为便捷、用户友好和更为高效的数字行政服务。该法案的核心主要包括::

- ▶ 规定行政部门必须建立电子通信渠道,包括电子结算;
- ▶ 通过发布电子官方通告和公告单履行信息发布义务;
- ▶ 规定必须对流程做文档记录和分析的义务;
- ▶ 规定行政部门必须建立可读数据库,并管理相应的“开放数据”。

环保方面的机遇和挑战

行政部门的数字现代化改革能够有效助力环保措施的落实。据德国联邦政府称,用电子账单代替纸质账单这一项措施就能减少一半相关的二氧化碳排放,每年在联邦层面可以减排大约6000吨二氧化碳(德国联邦议会公报, BT-Drucksache 17/11473)。

通过整合行政服务、优化行政流程和改善管理方面的合作,也能够减少对环境的负面影响。比如:

- ▶ 环境法规的执法和履行环境政策的报告义务改为统一的线上登记流程(例如“流程数据加速器P23R”的发展);

- 为公民、科学界和企业提供数字信息服务和平台,促进公民科学项目的开展及项目的联网;
- 制定方案,以改善公民在立法过程的政治参与及协助工作。

重要的是,在为电子政务的整体架构寻找解决方案时,须考虑到现有宪法原则及欧洲和国家的法律基础,这类解决方案至少能够减少既有的模拟和数字双结构,保障用户友好性、数据主权与安全 (Maas, 2018)。

德国联邦环境署的行动方案和政策

数字化有助于实现便捷的公众参与。采用数字服务后,公众能够更为简便地获得评估环境相关决策所需的信息,例如借助《环境影响评估法》规定的线上公开信息。

联邦环境署在一些执法过程中为申请人和责任方提供基于网络的解决方案,帮助他们履行义务(比如德国排放贸易管理局 (DEHSt),《德国电池法》(BattG)和《德国废弃电子电气设备法》(ElektroG),原产地证明登记簿 (HKNR))。另外,德国联邦环境署也为联邦政府环评部门的审批流程提供支持,加强公众参与。联邦环境署借助联邦层面的环境影响评估门户 (www.uvp-portal.de),与联邦审批部门进一步完善该门户网站。公众参与的线上形式为公众发表意见提供了便捷的途径。

数字化有助于地方上的环保和环保规划措施的实施,包括地方政府的土地管理和地方气候变迁应对效应的模拟。联邦环境署将在未来几年为地方政府继续开发更多的数字服务,包括开设网站“www.aktion-fläche.de”,建设“城

镇仪表盘”(urban dashboard),开发针对气候应对活动的、跨政府部门的数字支持和集成式的控制和评价模式。

移动应用(“App”)的规划和开发是数字服务的一大分支。除了已经推出的主要针对专业用户的危险物质防控App之外,还可以考虑为普通民众和消费者设计移动应用服务,或者设计一款嵌入气候数据的App,加强关于气候变化问题的民众意识。这款App应用程序一旦与个人行为联系到一起,就能计算出个人的资源消耗足迹,针对个人的环保行为提出专门的建议。

环保部门在2019年初组织了由德国联邦环境、自然保护和核安全部倡议的“黑客松 (Hackathon)”活动,该活动的受众为积极致力于环保的青少年。这项举动无疑是联邦政府开拓的一条创新之路。旨在开发为环境减负的应用,尤其是移动应用程序App的设计和开发。政府部门已计划继续组织类似的活动。

未来,德国联邦环境署也将在电子政务领域加强数字化间接环境效应的早期识别、观察、评价和设计工作,进一步确保数字化有的放矢地发展和合规的设计,加强环境保护和环保政策的立法。这也包括深入考察环境保护和(不足的)数据保护之间的关系,以及是否应设立更具法律保障和用户友好性的、公开透明的许可模式,将其作为自动化读取和获得行政管理数据的依据。

6

展望



展望

数字化对于环境保护及其政策而言,利弊兼具。目前有关数字化的社会讨论大多只聚焦于经济和法律方面,而联邦环境署希望能加强公众对数字化在环境方面影响的认识。

我们致力于识别数字化的发展趋势和潜能,确定其在各个领域所蕴藏的机遇和风险。数字化逐渐融合不同的领域(例如耦合的基础设施),产生矛盾的环境效应(比如智能测量表的节能效果vs控制技术所需的原材料和能源)。因此,必须考虑各趋势的共同作用及其相互影响。在此基础上,我们可以通过环境政策塑造可持续的数字化,将其有的放矢地运用于环境保护。

数字化对于联邦环境署而言并非陌生的领域,联邦环境署已在开展一系列的活动。我们在研究工作、科学的政策咨询和执法过程中一直坚持数字化的战略思想,在环境署提供的信息和数据服务及其他活动中都在践行数字化的应用。

在该领域继续开展能力建设也是一大重要任务。联邦环境署认为,数字能力(“数字素质”)是本机构所有员工未来必须具备的关键能力。

数字化具有多样性和复杂性,发展十分迅速。我们将致力于加强与经济界、科学界和公民社会的交流,充分利用数字化提供的契机,将其服务于可持续的发展,同时避免数字化对环境产生危害。

7

参考文献



参考文献

Anderson, M (2017): How to beat traffic. In: Science, 2017, 357(6346), American Association for the Advancement of Science, Washington DC, 36–37

Behrendt, S; Scharp, M (2015): “Horizon Scanning” und Trendmonitoring als ein Instrument in der Umweltpolitik zur strategischen Früherkennung und effizienten Politikberatung – Konzeptstudie. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 106/2015. Dessau-Roßlau. Available to download at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_106_2015_horizon_scanning_und_trendmonitoring_als_instrument_in_der_umweltpolitik.pdf

Bitkom (2016): Digitalisierung in der Landwirtschaft. Available to download at: <https://www.bitkom.org/sites/default/files/pdf/Presse/Anhaenge-an-Pls/2016/November/Bitkom-Presskonferenz-Digitalisierung-in-der-Landwirtschaft-02-11-2016-Praesentation.pdf>, Last accessed: 26 May 2019

Bitkom (2018): Jahrespressekonferenz vom 14.02.2018: <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/Bitkom-Charts-Jahres-Pressekonferenz-Konjunktur-14-02-2018-final.pdf>, Last accessed: 24 March 2021

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2019): Verwaltungsvereinbarung DigitalPakt Schule 2019 bis 2024. Berlin

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2016): German Resource Efficiency Programme II (ProgRes) – Programme for the sustainable use and conservation of natural resources. Berlin

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019a): Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. 2. Aktualisierte Auflage. Berlin

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019b): Umwelt in Algorithmen! Eckpunkte für eine umweltpolitische Digitalagenda des BMU. Berlin

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015): Bericht zum Forschungsbedarf – Runder Tisch Automatisiertes Fahren AG Forschung. Berlin

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): Mobilität in Deutschland – MiD. Ergebnisbericht. Berlin

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2014): Energieeffiziente IKT in der Praxis – Planung und Umsetzung von Green IT Maßnahmen im Bereich von Büroarbeiten und Rechenzentren. Berlin

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2015): Digitale Strategie. Berlin

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2018): Sharing Economy in Germany. Berlin

BSI – Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (n.d.): UP Kritis Öffentlich-Private Partnerschaft zum Schutz Kritischer Infrastrukturen in Deutschland. Berlin

BSIG – Gesetz zur Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme (IT-Sicherheitsgesetz) vom 17. Juli 2015 (BGBl. I S. 2821), zuletzt geändert durch Artikel 3, Absatz 7 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I p. 3154)

BT-Drs. – Bundestagsdrucksache 19/7286 (22.01.2019): Die Rolle der Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Uwe Schulz, Joana Cotar, Uwe Kamann, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der AfD – Drucksache 19/6375

Bundesregierung (2014): Legislaturbericht. Digital Agenda 2014–2017. Berlin

Bundesregierung (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016. Berlin

Bundesregierung (2017): Nationales Programm für nachhaltigen Konsum – Gesellschaftlicher Wandel durch einen nachhaltigen Lebensstil. 2. Aktualisierte Auflage. Berlin

Bundesregierung (2018): Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung. Berlin

Bundesregierung (2019): Nachhaltiger Konsum im Kontext der Digitalisierung. Berlin

BimSchV – Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. April 2000 (12. BimSchV, zuletzt geändert durch Artikel 1 a der Verordnung vom 8. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3882) CDU; CSU; SPD (2018): Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD: Ein neuer Aufbruch für Europa – Eine neue Dynamik für Deutschland – Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. 06. März, 2018. Berlin

Cisco (2019): Cisco Visual Networking Index – Forecast and Trends, 2017–2022 White Paper. Available to download at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>, Last accessed: 26 May 2019

DBV – Deutscher Bauernverband (2016): Landwirtschaft 4.0 – Chancen und Handlungsbedarf. Available to download at: <https://media.repro-mayr.de/06/661106.pdf>, Last accessed: 26 May 2019

Debating Europe (2018): Wird künstliche Intelligenz unsere Gesellschaft verändern? In: Debating Europe, Onlineausgabe. <https://www.debatingeurope.eu/de/2018/05/07/wird-kunstliche-intelligenz-unsere-gesellschaft-verandern/#.XH-T7YepWRs>, Last accessed: 26 May 2019

DESTATIS – Statistisches Bundesamt (2019): Wirtschaftsrechnungen Private Haushalte in der Informationsgesellschaft – Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/IT-Nutzung/Publikationen/Downloads-IT-Nutzung/private-haushalte-ikt-2150400187004.pdf?__blob=publicationFile&v=4, Last accessed: 26 May 2019

DE-UZ – Umweltzeichen Richtlinie 2015/161 durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, des Umweltbundesamtes, der Jury Umweltzeichen und der RAL gGmbH vom Februar 2015 zum energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (n. d.): Team: ESA und Copernicus Bodensegmentprojekte. https://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-5387/8999_read-16749/, Last accessed: 26 May 2019

EgovG – E-Government-Gesetz vom 25. Juli 2013 (BGBl. I S. 2749), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. Juli 2017 (BGBl. I p. 2206)

Ellen MacArthur Foundation; Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit; Deutsche Post Stiftung; McKinsey Center for Business and Environment (2015): Growth within – A Circular Economy Vision for a Competitive Europe. Available to download at: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf

EU Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council des Rates of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)

EU Regulation 2006/1907/EC of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006

European Commission (2017): Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Mid-Term Review on the implementation of the Digital Single Market Strategy – A Connected Digital Single Market for All. Brussels

G.A. Res. 70/1 (2015): Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E

Gao, P; Kass, H.W; Mohr, D; Wee, D (2016): Disruptive trends that will transform the auto industry. Commissioned by the McKinsey Global Institute. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/disruptive-trends-that-will-transform-the-auto-industry>, Last accessed: 26 May 2019

Gebauer, K; Hüther, G. (2005): Kinder brauchen Wurzeln: Neue Perspektiven für eine gelingende Entwicklung. 5. Auflage, Patmos-Verlag, Ostfildern.

GeoZG – Geodatenzugangsgesetz vom 10. Februar 2009 (BGBl. I p. 278), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. November 2012

Greenblatt, J.B; Shaheen, S (2015): Automated Vehicles, On-Demand Mobility, and Environmental Impacts. In: Current Sustainable/Renewable Energy Reports, 2015, 2(3), Cham Springer International, NY, NY, 74–81.

HDE – Handelsverband Deutschland (2019): Online Monitor 2019. Available to download at: https://einzelhandel.de/index.php?option=com_attachments&task=download&id=10168, Last accessed: 26 May 2019

Hintemann, R; Clausen, J (2014): Rechenzentren in Deutschland – Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation. 1. Auflage. Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit, Berlin

Hintemann, R; Hinterholzer, S (2018): Smarte Rahmenbedingungen für Energie- und Ressourceneinsparungen bei vernetzten Haushaltsprodukten Kurzstudie im Auftrag des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND). – Available to download at: https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/07/energiewende_studie_vernetzte_produkte.pdf, Last accessed: 26 May 2019

HPI – Hasso Plattner Institut (n. d.): Die Schul-Cloud einfacher Zugang zu digitalen Unterrichtsmaterialien Ein Pilotprojekt zur Modernisierung des Schulunterrichts. – Available to download at: https://hpi.de/fileadmin/user_upload/hpi/dokumente/publikationen/projekte/schul-cloud_beschreibung_website.pdf, Last accessed: 26 May 2019

Hu, Z; Li, C; Cao, Y; Fang, B; He, L; Zhang, M (2014): How Smart Grid Contributes to Energy Sustainability. In: Energy Procedia, 2014, 61, Elsevier, Amsterdam, 858–861.

IFG – Freedom of Information Act of 5 September 2005 (BGBl. I p. 2722), as amended by article 2 paragraph 6 of the Act of 7 August 2013 (BGBl. I p. 3154)

ISO 20140 – Automation systems and integration – Evaluating energy efficiency and other factors of manufacturing systems that influence the environment. German edition 2013-05

Langsdorf, S; Hirschnitz-Garbers, M (2014): Die Zukunft im Blick – Trendbericht für eine vorausschauende Ressourcenpolitik. Trendbericht 2014. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau. Available to download at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/die_zukunft_im_blick_trendbericht.pdf

Litman, T (2018): Autonomous Vehicle Implementation Predictions – Implications for Transport Planning. Commissioned by the Victoria Transport Policy Institute. Victoria, BC. Available to download at: <https://www.vtpi.org/avip.pdf>, Last accessed: 26 May 2019

Ludmann, S (2018): Ökologie des Teilens – Bilanzierung der Umweltwirkungen des Peer-to-Peer Sharing. PeerSharing Arbeitsbericht 8. Im Auftrag des Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. Berlin. Available to download at: https://www.peer-sharing.de/data/peersharing/user_upload/Dateien/Oekologie_des_Teilens_Arbeitspapier_8_.pdf

Maas, A (2018): Zukunft E-Government – Vorschläge für eine bürgerfreundliche und sichere Digitalisierung der Verwaltung. Im Auftrag der Bundesdruckerei. Berlin. Available to download at: <https://www.bundesdruckerei.de/system/files/dokumente/pdf/Studie-Zukunft-E-Government.pdf>

OECD (2017): Economic Features of Chemical Leasing. Series on Risk Management No. 37, Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD. Available to download at: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/The%20Economic%20Features%20of%20Chemical%20Leasing.pdf>, Last accessed: 26/06/2019

Pohl, C; Spinnreker, D; Keilholz, P (2016): Wasserwirtschaft 4.0 digitalisiert, modelliert und visualisiert Gewässersysteme. In: Wasser und Abfall, 2016, 4, Springer Vieweg, Wiesbaden

Pratsch, L.W (1975): Mass Transit Designed by the User. In: Transportation, 1975, 4, Springer US, NY, NY, 403–417
 Rat für Nachhaltige Entwicklung (Hrsg.) (2017): Chancen der Kreislaufwirtschaft für Deutschland – Analyse von Potenzialen und Ansatzpunkten für die IKT-, Automobil- und Baustoffindustrie. Available to download at: https://www.nachhaltigkeitsrat.de/wp-content/uploads/migration/documents/RNE-Accenture_Studie_Chancen_der_Kreislaufwirtschaft_04-07-2017.pdf

Schaller, B (2018): The New Automobility – Lyft, Uber and the Future of American Cities. Available to download at: <http://www.schallerconsult.com/rideservices/automobility.pdf>, Last accessed: 26 May 2019

UBA – German Environment Agency (pub.) (2015): Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen "Obsoleszenz". Zwischenbericht – Analyse der Entwicklung der Lebens-, Nutzungs- und Verweildauer von ausgewählten Produktgruppen. Dessau-Roßlau. Available to download at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_10_2015_einfluss_der_nutzungsdauer_von_produkten_auf_ihre_umwelt_obsoleszenz_17.03.2015.pdf

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018a): Die Zukunft im Blick – 3D-Druck Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen. Dessau-Roßlau. Available to download at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fachbroschuere_3d_barrierefrei_180619.pdf

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018b): Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit. Dessau-Roßlau. Download at: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kennzahlen-indikatoren-fuer-die-beurteilung-der>

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018c): Recht und Rechtsanwendung als Treiber oder Hemmnis gesellschaftlicher, ökologisch relevanter Innovationen – untersucht am Beispiel des Mobilitätsrechts (RechtSInnMobil). Dessau-Roßlau. Available to download at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/uba_flyer_rechtsinnmobil_umpbefg_2-7-2018_pb2.pdf

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018d): Urbaner Umweltschutz – Die strategische Forschungsagenda des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau. Available to download at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/broschuere_urbaner_umweltschutz_final.pdf

UIG – Umweltinformationsgesetz vom 27. Oktober 2014 (BGBl. I S. 1643), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 17 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I p. 2808)

UN – United Nations (1992): United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992 Agenda 21. Available to download at: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>

UNESCO – United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (2019): SDG 4 – Education 2030 Part II – Education for Sustainable Development beyond 2019. Available to download at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366797>, Last accessed: 26 May 2019

VCI – Verband der Chemischen Industrie (2017): Chemie 4.0 – Wachstum durch Innovation in einer Welt im Umbruch. Kurzfassung. Im Auftrag von Deloitte Deutschland, München. Available to download at: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/vci-deloitte-studie-chemie-4-punkt-0-kurzfassung.pdf>, Last accessed: 26 May 2019





VDI ZRE – Zentrum Ressourceneffizienz (2017): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. Berlin. Available to download at: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf

de Vries, A (2018): Bitcoin's Growing Energy Problem. In: Joule, 2018, 5, Elsevier, Amsterdam, 801–805

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2011): World in Transition – A Social Contract for Sustainability. Available to download at: <https://www.wbgu.de/en/publications/publication/world-in-transition-a-social-contract-for-sustainability>, Last accessed: 26 May 2019

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2019): Towards our Common Digital Future. Summary. Berlin: WBGU



 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt
 www.youtube.com/user/umweltbundesamt
 www.instagram.com/umweltbundesamt/