

欧盟循环生物经济战略 发展之路



Lauri Hetemäki, Marc Hanewinkel, Bart Muys,
Markku Ollikainen, Marc Palahí and Antoni Trasobares

序言
Esko Aho, Cristina Narbona Ruiz, Göran Persson and Janez Potočnik



作者

Marc Hanewinkel 弗莱堡大学环境自然资源学院 森林经济和森林经营教授

Lauri Hetemäki 欧洲森林研究所 (EFI) 副主任, 赫尔辛基大学 森林科学学院客座教授

Bart Muys 鲁汶大学地球环境科学学院 森林生态与森林管理教授

Markku Ollikainen 赫尔辛基大学经济管理学院 环境资源与环境经济教授, 芬兰气候委员会主席

Marc Palahí 欧洲森林研究所 (EFI) 主任

Antoni Trasobares 卡塔罗尼亚森林科学技术中心 (CTFC) 主任

顾问

Esko Aho 欧洲森林研究所 (EFI) 战略顾问, 芬兰前首相 (1991 - 1995)

Cristina Narbona Ruiz 西班牙核安全委员会顾问, 西班牙社会工人党主席, 前西班牙环境部部长 (2004 - 2008)

Göran Persson 欧洲森林研究所 (EFI) ThinkForest 论坛主席, 瑞典前首相 (1996 - 2006)

Janez Potočnik 联合国环境署国际资源委员会主席, 欧盟委员会前署长 (2004 - 2014), 斯洛文尼亚前欧盟事务部部长 (2002 - 2004)

ISSN 2343-1229 (印刷版)
ISSN 2443-1237 (网络版)

ISBN 978-952-5980-74-5 (印刷版)
ISBN 978-952-5980-73-8 (网络版)

主编: Pekka Leskinen
责任编辑: Rach Colling
制版: Grano Oy

免责声明: 免责声明: 本报告中的观点只代表作者本人,
不代表欧洲森林研究所。

建议引用标注: Hetemäki, L., Hanewinkel, M., Muys, B., Ollikainen, M., Palahí, M. and Trasobares, A. 2017. Leading the way to a European circular bioeconomy strategy. From Science to Policy 5. European Forest Institute.



目录

序言：发展循环生物经济的紧迫性.....	5
摘要.....	6
1. 简介：循环生物经济的必要性	9
1.1 背景	9
1.2 内容.....	9
1.3 什么是生物经济？	11
1.4 走向新范式：循环的生物经济.....	12
2. 生物经济战略.....	16
2.1 现有战略	16
2.2 战略的主要信息.....	17
2.3 新见解有哪些差距和需求？	18
2.4 最大限度地发挥协同作用并尽量减少权衡的政策	19
3. 成功发展循环生物经济的要求.....	21
3.1 背景.....	21
3.2 言论和社会包容的重要性.....	21
3.3 环境可持续性	21
3.4 研发、技术变革和技能.....	24
3.5 风险承担能力	24
3.6 监管环境与公私部门合作.....	25
4. 生物经济贡献潜力:案例.....	27
4.1 背景.....	27
4.2 经济和环境影响.....	27
4.3 建筑市场.....	27
4.4 纺织市场	30
4.5 塑料市场.....	30
4.6 服务的作用	32
5. 结论和政策影响.....	35
分析差距.....	35
解决可持续性.....	35
确保可持续增长.....	35
整合自然资本核算.....	35
倡导足够高的碳定价.....	35
增加研究、开发和创新投资.....	36
关注市场和服务.....	36
目标的优先性.....	36
主流的循环生物经济政策.....	36
创造一种言论.....	36
关键信息.....	37
参考.....	38



致谢

报告撰写者具备科学专业背景，力图依据科学知识提出论点。但鉴于报告战略性的属性，及有些问题仍缺乏科学论据，我们也依据专家自身知识对有些观点进行了分析。为更好支持报告政策分析及重点，我们很荣幸邀请到经验丰富的前政治家们作为本报告的“教父教母”，他们也为本报告撰写了序言。借此机会我们向以下各位对报告提供建设性建议和支持表示衷心感谢：Esko Aho（芬兰前首相），Cristina Narbona（西班牙前环境部部长），Göran Persson（瑞典前首相），以及Janez Potočnik（欧盟委员会前署长，斯洛文尼亚前欧盟事务部部长）。

外部评审专家们也为报告提供了有益的建议，包括Christian Patermann，欧盟委员会前主任，Mikael Hildén，芬兰环境研究所（SYKE）教授。我们对他们改进报告中提出的见解和建议表示衷心感谢，并理解他们对报告可能存在的错误不承担任何责任。本研究和报告由欧洲森林研究所（EFI）多边信托基金提供资金支持，该基金由奥地利，捷克共和国，芬兰，法国，德国，爱尔兰，意大利，挪威，西班牙和瑞典支持。Hetenäki先生也对芬兰科学院战略研究委员会FORBIO项目（no. 14970）提供的资金支持表示感谢。



序言：发展循环生物经济的紧迫性

*Esko Aho, Cristina Narbona Ruiz,
Göran Persson and Janez Potočnik*

人类发展历史中我们首次面临迫切解决单一、拥挤人类社会生态系统对地球资源的压力。世界和欧洲面临着史无前例而内在关联的挑战，这样的挑战在未来几十年中会日益加剧：对食物、水、原材料及能源需求不断增长，同时需要适应、减缓气候变化，并扭转环境退化，包括生物多样性流失，养分流失及土地退化。我们的经济模式需要系统转变，以确保社会经济发展满足不断增长人口的需求同时解决该严峻的挑战。

过去200年的工业时代建立了石化原料为基础的线性经济增长模式。我们看到全球社会前所未有的转变。工业时代带来了经济、人口增长以及社会与技术进步。过去50年全球经济加速增长，带动全球经济显著融合，并显著减少了贫困以及富裕与贫困国家间的不平等。但是，即使对于发达国家贫困和不平等问题也依然存在。

工业时代及经济加速发展也导致了与经济发展相关的环境退化率快速增长。通过将国民生产总值（GDP）增长指标与自然资本破坏指标比较更清楚印证了这点。世界发展已经超出了地球承载范围。“全球足迹网络（Global Footprint Network）指出，2015年，我们使用了超过地球可持续承载力1.6倍的资源。未来24年我们将需要2个地球的资源来满足目前经济系统运转。

全球和欧盟的社会环境已经改变。我们现在需要一个新概念来适应新变化，一个能将人类繁荣基础纳入地球承载力范围内的新经济发展模式。2016年是转折点：2030可持续发展日程及相关可持续发展目标（SDGs）得到广泛认可，巴黎气候协定开始生效。这些明确表达了转变经济发展模式以终结贫困，保护地球，确保人类福祉的全球政治意愿。

我们需要新概念体现这些国际协定，推动其实施。可循环生物经济模式就是这样的新概念—它建立在综合循环经济和生物经济概念基础上。目前这两个概念平行发展，但需要相互联系和促进。

2012年2月13日，欧盟委员会颁布了“为可持续发展创新：欧洲生物经济”战略。近年来许多欧盟成员国及全球不同国家已经建立了生物经济战略。欧盟2017年开始评估现有生物经济战略以反映未来发展。我们确信循环生物经济在解决包容性欧盟经济、政治和社会发展紧迫问题上具有非凡潜力。它将确保居民间经济更平等分配，及在地球承载力范围内的可持续发展。

转向可循环生物经济发展应当是解决经济增长伴随环境退化问题的长期战略。该战略应具有社会、经济及环境适应性。我们都应当从本世纪初第一代生物燃料发展中吸取经验和教训。科学与技术为生物经济时代奠定了基础。生物为基础产品不断出现并取代石化原材料如塑料，化学品，合成纺织品，水泥及其他许多原料。目前主要问题是如何将科学、技术的成功转化成规模经济模式的转变。如何确保传统产业如纺织品，石化产品，建筑部门，塑料生产部门加入甚至引领新经济模式以可持续方式转变？

我们欢迎欧洲森林研究所（European Forest Institute EFI）协调发布这份报告。报告通过联系联合国可持续发展目标（UN SDGs），巴黎气候协定以及包括循环经济在内其他最新发展，阐述了升级现有生物经济战略的主要需求。报告基于可持续性原则提出的战略性建议在欧洲制定新生物经济战略中应予以考虑。报告也提供了科学见解诠释森林资源作为生物资源基础所具备的潜力，及基于森林的解决方案如何帮助生物经济实现从局部到全面的转变。

摘要

2016年联合国可持续发展目标以及巴黎气候协定为全球未来几十年社会、经济发展提供了目标。目前关键问题是实现这些目标。我们认为迈向循环生物经济是答案必要组成部分。

全球达成广泛共识现有商业模式无法满足实现可持续发展目标的要求。政策，生产及消费习惯需要改变。全球性协定要求改变现有经济模式以涵盖自然资本并强调社会福祉。迈向循环生物经济是转变中必然构成要素，包括以可持续，资源有效及循环方式增加可再生非石化原料和产品。

报告分析了我们需要什么样的生物经济战略尤其在欧盟范围内。现有生物经济战略在示范需要用可循环生物质原料替代石化原料和产品以创建更可持续社会方面提供了有益帮助。生物经济促进可持续经济目标实现，并涉及许多具体行业和服务，如服装，房地产，健康，食品以及交通。

此外，作为可持续生计及消费基础，生物经济成为全球城市化过程中重要组成部分，并提供从食品，清洁水供应到游憩及城市制冷体系等多方面服务。

但是，许多战略如2012年以来欧盟的生物经济战略及行动计划在关注重点及覆盖范围上仍存在缺口，并由于近期变化及新倡议出现需要进一步升级。发展循环生物经济战略从长期看需要关键部门之间的跨部门合作，以及综合政策框架下政策之间的协调。生物经济需要成为经济系统有机构成部分，而不只强调其是乡村社区主要感兴趣的孤立部分。特别是结合生物经济与循环经济概念尤为重要。两者结合相比各自孤立更有说服力也更合理，并有利于更好实现社会目标。生物经济从局部到常态转变中我们需要重点关注以下优先领域。

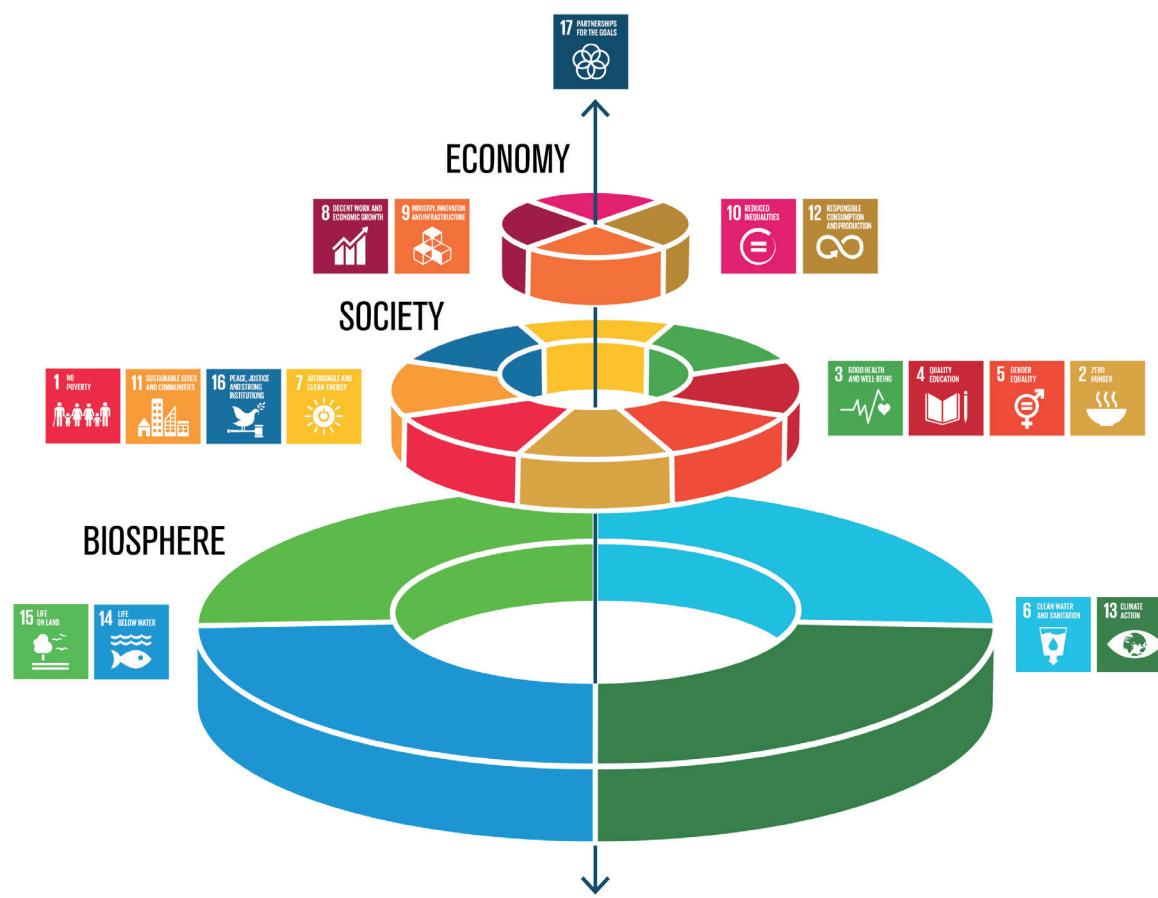


图1. 构成循环生物经济战略基础的可持续发展目标分层. 来源: Azote Images为斯德哥尔摩韧性中心制作.

对循环生物经济战略的主要建议

建立科学为基础循环生物经济重要性的解释

社会经济战略需要有关于其重要性的清晰解释。表明其如何帮助自然资本与经济模式结合以杜绝经济发展带来的环境退化，实现可持续发展目标。循环生物经济重要性解释应当对欧盟主要居民分布的高度城市化地区具有吸引力。在传统强调生物经济对乡村社区重要性之外，生物经济与城市的相关性及必要性也不断增长。清晰诠释生物经济重要性对赢得社会（投票者）长期参并支持循环生物经济政策和行动十分重要。“无论多巧妙，如果政策来自于少数人头脑而没有深入人心就没有成功机会。”¹

不要假设生物经济是可持续的

政策设计应支持可持续性所有层面。相比目前生物经济战略，应更多关注社会和环境领域。将循环生物经济直接与气候和环境政策（如解决海洋塑料废弃物不断增加）及其对循环生物经济发展带来的挑战与机遇相关联。寻求生物产品与生态系统服务（食物，生物多样性，游憩，水等）协调利益最大化，机会成本最小化。需要认识到我们不可能实现没有生物多样性的生物经济发展模式，因为生物多样性是自然资本的关键特征，也是任何生物产品或服务的基础。在现代社会通常需要生物经济发展模式支持生物多样性。

确定优先战略路径和主要推动环境

措施包括增加碳价格（税，有效排放交易体系(ETS) 并推动所有经济领域践行低碳发展之路，生物经济将在该过程中发挥重要作用。废除支持石化原料及产品消费和生产的补贴尤为紧急，也需要研究目前劳动力征税转向资源及能源消耗征税的可能。增加相应部门层面政策也需要关注（如在建筑，化学品，塑料，纺织品，化肥等行业）。提供长期政策支持引导更多资金投向这些部门并促进其更可持续发展。

投资研发与创新，发展新技术

创新不断增长，有效利用资源及过程、产品和服务可循环将是循环生物经济的基础。研发对飞跃式发展很重要，如结合新兴数字化技术与生物技术。支持基础科学和应用科学是关键，同时

¹ 引用自Henry Kissinger，美国前国务卿及政治科学家。在原文中，Kissinger先生主要针对外交政策，这里引用指适用所有政策

作为补充也需要支持企业创新。技能对循环生物经济成为主流十分重要。提升研究者，培训者，教育者，企业及公共管理部门之间联系也很重要。需要更新大学及技术应用教育机构课程，不仅是生物技术，生物工程及生物化学，也需要关注交叉学科包括经济，政治，环境及预测研究。

提供适合法规框架

合法规框架是推动石化产品经济转向循环生物经济的关键催化剂。这要求所有关键政策工具，如政府采购，设施发展与规划等相互协调满足战略需求并创造激励机制与环境。例如政府采购作为政策工具潜力巨大，目前政府采购占欧盟GDP的14%。推动政府采购政策优先采购可循环，生物基础产品与服务以贡献于资源循环闭合至关重要。关键目标是清晰、明确界定政府提供法规执行环境与企业部门实施投资、商业操作两者分别的作用。操作环境越复杂，对欧盟、成员国政府及企业间协调的要求就越高。

增强风险承担能力

新创新通常伴随高风险。循环生物经济需要政策减少或分担风险，也需要能承受高风险的融资机制如风险投资基金支持。例如，2016年欧盟发布泛欧风险投资基金，其中包括支持循环生物经济投资项目。绿色债券也成为支持循环生物经济投资日益重要的资金来源。政府部门可以支持高风险投资，特别是具有密集正效益溢出的项目。这些项目包括：减少知识分享风险的研发项目，或投资前沿试点项目、示范项目及投资支持初创期企业。最后，政策行动应当创造长期、稳定法律制度承诺和环境以支持循环生物经济产品作为石化产品替代品覆盖所有部门和价值链。

建立欧盟层面共同标准与规定

建立欧盟层面共同标准与规定对于新循环生物经济产品与服务发展极为重要。过往众所周知成功案例是欧盟1987年采纳的全球手机通信系统(GSM) 标准。新循环生物经济产品与服务将获益于这类统一标准。以木建筑行业为例，缺乏行业统一标准与规定（如防火规定）阻碍其在高层建筑中大规模推广使用。生物来源原材料和经加工的原材料通常不同于原始原材料，有可能要求适用不同安全标准。

强调生物为基础的服务

基于数字技术与大数据发展，生物基础产品相关服务如非物质权力，服务，设计，研发，咨询，市场营销，销售及管理等日益重要。其对商业机会，不同地理位置，价值链不同部分及技能

需求的影响值得进一步研究。此外，自然资源为社会提供重要生态系统服务功能，包括：文化服务（游憩，生态旅游，狩猎），管理服务（清洁空气，水土流失控制，气候变化减缓），及配置服务（饮用水，非木质林产品如蘑菇和浆果）。新循环生物经济战略应更多关注其发展所需的政策和行动，

充分利用森林提供的机会

林业部门的贡献在目前欧盟生物经济战略中还未得到充分理解。森林作为面积最大的可再生资源在创新并拓展已有生物经济思路上极具潜力。大多数情况下人们用传统视角看待森林及林业部门——主要包括木材，纸浆和纸及生物能源。林业部门本世纪内将经历快速和多元化发展增加部门的机会与重要性。例如林业部门已经开始向纺织，建筑，生物塑料，化学品，及智能包装领域渗透。与森林相关的服务如旅游，在很多区域也从次要产业发展为经济支柱产业。这些为森林贡献于循环生物经济发展提供了多样和不断增长的机会。



1. 简介：循环生物经济的必要性

1.1 背景

一直以来都有政治家、科学家、学者和活动家主张社会制度的根本变革，有些人甚至进行了试验。历史包括共产主义社会、乌托邦共同体和不同类型的独裁政权。但历史也表明，他们或多或少失败了。我们有充分的理由对那些主张在我们的社会制度中进行重大变革的人持一种保守的态度。目前看来，我们已经获得了全球认可的许可证。世界各国在 2015 年就 2030 年议程（可持续发展目标 SDG）和“巴黎气候协定”达成了一致意见。人们还普遍认为，现有商业模式，即迄今为止我们遵循的政策、生产和消费习惯，不会帮助我们实现这些目标。因此，这些协议和目标可以被解释为授权改变现有经济模式，或者我们如何促进社会福祉。这将不是一个容易或快速的过程。即使有坚定的承诺和行动，实现可持续发展目标和巴黎协议目标需要几十年的时间。它还要求所有经济部门和机构作出贡献。在这份报告中，我们认为，循环生物经济是促进这一转变的必要策略。

鉴于循环生物经济的广泛性，以及需要采取许多行动将其纳入我们社会的主流，我们在许多方面限制了我们的重点，以便能够在一份报告的范围内解决这个问题。第一，报告的重点主要是战略层面：

- 现有生物经济战略有哪些差距限制了支持全球协议和目标的可能性？
- 为什么要把生物经济和循环经济战略联系起来，而不是分别进行？
- 成功的循环生物经济战略需要具备哪些关键战略要素？

其次，我们通过与建筑、纺织和塑料行业相关的三个具体例子来说明循环生物经济的潜力。我们强调服务的重要性，经常在生物经济讨论中被遗忘。由于对森林部门在生物经济战略中的潜在作用的理解常常有限，并基于我们的专业知识，这些具体例子的重点是森林部门。然而，战略意义一般与循环生物经济相关，而不仅仅和森林部门有关。

1.2 内容

自工业革命以来，我们所依赖的以化石为根本的线性经济模式已经带来了实质性的全球社会经济和技术发展，但却以不断增加的资源消耗、全球环境恶化和前所未有的人为气候影响为代价。

工业时代提供了全球经济的融合，但却冒着牺牲我们星球安全运行空间的风险。

2015 年，得出为人类安全运行空间而确定的九个行星边界的研究结论，其中四个已经交织在一起：气候变化、生物圈完整性丧失、土地系统变化和生物地球化学循环改变（磷和氮）（Steffen 等人 2015 年，见图 2）。其中两个以及气候变化和生物圈完整性是“核心边界”，意味着它们的改变将把地球系统推向一个新的状态，而这个新状态将不能再维持我们目前的经济系统。

当考虑人口发展时，行星边界变得更加相关。今天，全球人口每年增加 8300 万人（德国数据），世界人口预计在 2030 年达到 85 亿（联合国 2015 年）。除此之外，主要社会经济动力将是全球中产阶级前所未有的扩张（Kharas 2017 年，见图 3）。如今，全球有 30 亿人属于中产阶级，预计未来每年将有 1.4 亿至 1.7 亿人加入这一行列。这意味着到 2030 年，全球中产阶级的人口将增加 20 亿。这提供了重大的商业机会，但也带来了巨大的环境和社会挑战。据估计，到 2030 年，世界将需要生产 50% 以上的粮食，而估计于 2010 年需要 50% 以上的能源和 30% 以上的淡水用以满足不断增长的人口和中产阶级的需求（联合国 2012 年）。

对消费品、住房、交通和包装等的需求也将大幅增加，这反过来亦将增加对原材料的需求。中产阶级对于形成更健康的食品、衣服、更方便的生活条件、流动性和住房的质量需求也将起着决定性的作用。为了减少其扩张的环境足迹，需要以新的方式设计经济和社会。此外，还需要通过全球化重塑和转变，使每个国家的中产阶级双赢，进而从中产阶级获得政治支持。政治家需要推进“包容性增长”，以便分配和保持全球化、技术变革和创新给整个社会带来的利益。

这些只是全球关键因素当中的一些。其他一些因素，如移民（随气候变化而增加）、数字化和城市化也将影响全球社会和市场。

在这种情况下，当前的经济模型通过假设无限的资源和下沉而出现系统性失败。它低估了其运作所产生的环境成本，以及自然资本对其长期生存能力的重要性（例如 Rockström 等人 2017 年；Helm 2015 年）。它无法为市场创造合适的激励机制，使其走向可在我门这个星球的自然可再生边界内繁荣发展的经济。需要改善经济繁荣和社会福祉，同时推进双重脱钩进程。这意味着资源使用（资源脱钩）和负面环境影响（影响脱钩）的比例减少。

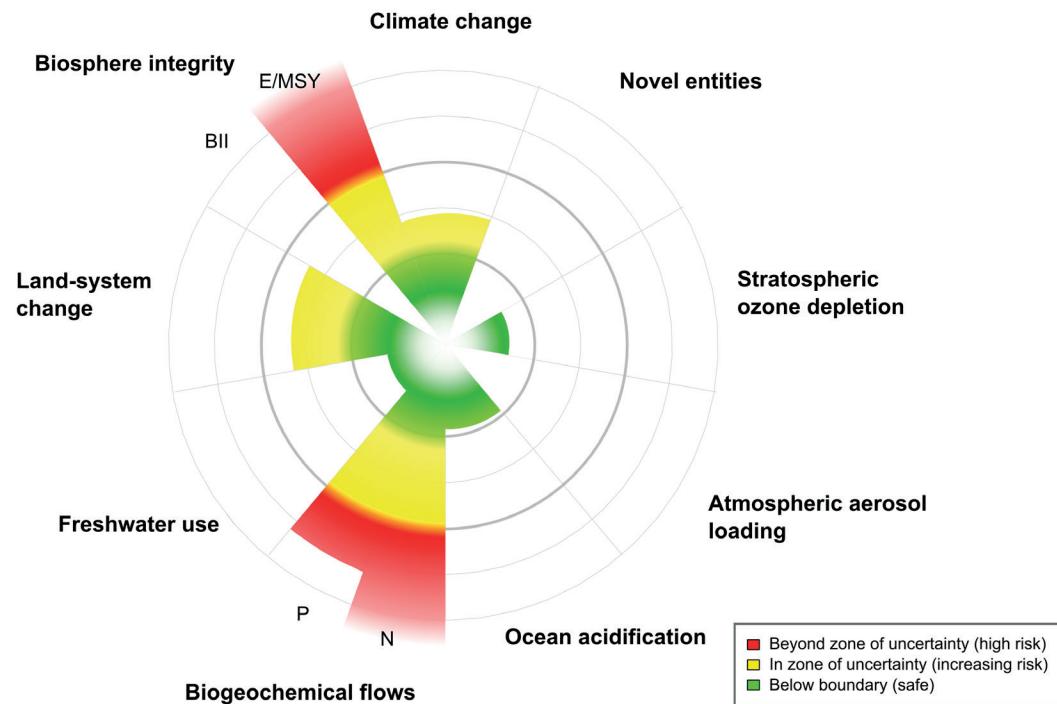


图 2。当前九颗行星边界的状态。绿色区域为安全运营空间，黄色为风险增加区域，红色为高风险区域。行星边界本身位于内部深灰色圆圈。来自：Steffen 等人(2015)。经美国艺术与科学院许可转载。

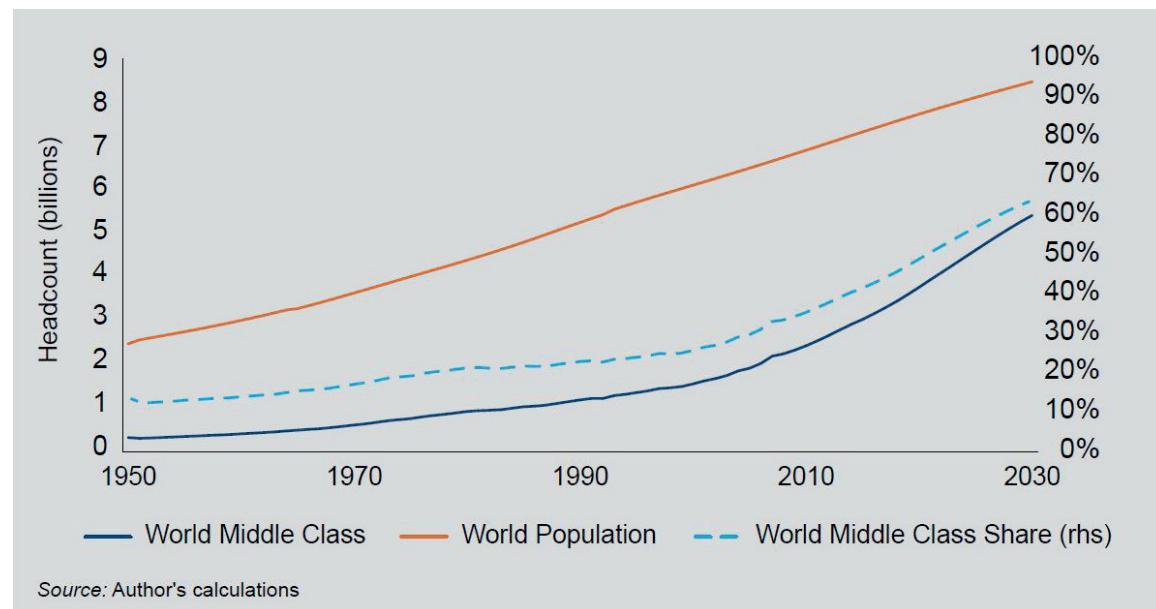


图 3。全球中产阶级的发展与展望来源：Kharas (2017)

在从化石经济到低碳经济的转换中，政策和媒体关注的重点往往是能源部门。然而，据估计，60–65% 的环境损害成本与材料生产有关，并且只有 35–40% 与能源有关（联合国环境署 2017 年）。这一事实强调了循环生物经济发展的必要

性。从长远来看，能源部门可能几乎完全脱碳，但建筑、纺织、化学和塑料部门依赖碳，因此依赖可再生和循环碳来减少其对环境的负面影响（联合国环境署 2017 年）。

1.3 什么是生物经济？

生物经济有许多定义，以及类似术语的使用，如以生物为基础的经济和绿色经济。在实践中，生物经济已经证明是一个不断变化的概念，并且可以用于许多目的。在本报告中，我们使用 2015 年全球生物经济峰会的定义：“生物经济是以知识为基础的生物资源的生产和利用、创新的生物过程和原则，以可持续地为所有经济部门提供商品和服务”。然而，我们的重点是两个关键方面：

- 生物经济在取代石化产品（例如石油塑料或纺织品）、不可再生材料（例如钢铁、混凝土）或不可持续生物产品（例如某些地区的棉花）方面的转变作用；
- 加强自然资本法对经济的作用，即更好地整合自然资源和维持生命的监管系统（如生物多样性、淡水供应）对经济发展的价值（Heilm 2016 年）。

第一部分在生物经济战略中已经被广泛理解，而后者则不然。自然资本的长期可持续生产依赖于森林作为欧洲大陆最重要的陆地生物基础设施的关键作用。森林是可再生生物资源的主要来源，而不是与粮食生产竞争。最后，尽管本报告没有特别提及，但我们意识到，将数字技术与生物技术相结合，可以为未来的生物经济提供重大进展。

生物经济涵盖了各种各样的产品和工业部门（和服务），如建筑、生物塑料、包装材料、食品配料、纺织品、化工、制药和生物能源。它还包括与生物制品相关的服务，如知识产权、咨询、研发、营销、销售、机械服务、管理等。休闲、旅游、供水等生态系统服务也是生物经济的一部分。尽管生物经济具有部门重要性，但考虑到其具有在社会上提供广泛的社会、经济和环境效应的充分潜力，生物经济应当从整体上进行考虑。其中包括：

1. 包容性经济增长和创造就业机会的创造

与石化资源相比，生物资源的使用为可持续和包容性的增长提供了更好的机会。通常，小部分人拥有石油资产和由此产生的收入。另一方面，欧盟有 1600 万私人森林经营主体，成员国（公民）拥有三分之一的森林面积。森林生物资源的分布、所有权和特征为包容性经济发展和就业提供了很大潜力，农村地区也是如此。在生物资源为少数人所拥有或缺乏运转良好的市场的情况下，有必要制定体制环境，以便实现包容性增长。

2. 气候友好型城市和工业部门的出现

城市人口占世界人口的一半，2014 年，欧盟 28 个成员国中有近四分之三居住在城市地区（欧盟统计局 2016 年）。城市占全球经济产出的 80% 以上，消耗的能源接近世界能源的三分之二，占全球温室气体排放量的 70% 以上（世界银行）。可持续发展目标（11 号）为可持续城市和社区制定了具体目标——“使城市具有包容性、安全性、适应性和可持续性”。循环生物经济可以是这个目标的重要贡献者。目前已经有纤维素、半纤维素、木质素和萃取物的生物质构建块，将来可能越来越多地成为许多领域和产品材料的基础。这种发展与城市地区的树木和森林的使用相结合，可以为发展适应气候变化的城市提供重要的以自然为基础的解决方案。

3. 欧洲的生物资本和环境可持续性

生物经济和生物多样性应该被看作事物的两面。生物多样性应被视为自然资本的重要组成部分，并作为优先事项予以重视和管理。生物多样性提高了生态系统的生产力和复原力（Liang 等人

2016 年）。其次，对生物经济的长期投资可以增强生物多样性和适应气候变化（Nabuurs 等人 2015 年）。现有的以化石为基础的线性经济通过其对气候变化、有毒废物和其他环境方面的影响来威胁生物多样性。对生物多样性保护投资应该是可持续生物经济的优先事项，其目的是在经济和生态之间建立积极的联系。

4. 能量与食物的协同作用

生物经济应确保与以森林、非粮食农业和废物生物量为基础的可持续可再生能源生产具有协同作用。它应该推进封闭的循环养分循环——需要回收养分（主要是磷和氮）并防止养分泄漏。必须避免生物生产产生的负面影响，例如扩大农业边界（砍伐森林、丧失宝贵的栖息地）以及向土壤、水体和大气中排放养分和农用化学品。生物经济必须通过更有效的肥料使用和养分循环来确保可持续的养分使用。它还可以帮助土壤的碳修复，例如将二氧化碳种回土壤中。再生农业技术可减少大气中的二氧化碳，同时提高土壤生产力，增强抗洪抗旱能力。技术包括全年种植农作物或其他覆盖物，以及结合作物、树木和畜牧业的农林业。在欧洲，不仅要在土壤中储存二氧化碳，而且要提高土壤肥力、减少干旱的影响以及提高抗侵蚀能力。

方框 1：自然资本：生物经济的重要概念

自然资本可以定义为世界自然资源的存量，包括地质，土壤，空气，水，森林和所有生物（有时也被称为绿色资本）。大自然之所以自然是因其对人类的免费。它是资本，因为它是对生产的一种投入，反过来又产生了一种有利于人类的商品和服务的流动。例如，可持续管理的森林可以提供无限量的新树木和木材，而过度使用这种资源将导致永久性衰退甚至灭绝。人类也从自然资本中获得了广泛的服务，通常被称为生态系统服务，使人类生活成为可能。最明显的包括我们所吃的食物，我们所喝的水，以及我们用于燃料、建筑材料、化学品、衣物等的生物量。这还包括许多不那么明显的生态系统服务，比如气候调节、森林提供的防洪设施，或者昆虫为农作物授粉。更无形的是文化生态系统服务，比如自然界的娱乐活动，或者我们从野生动物和自然环境中得到的灵感。

将自然视为一套资产的好处是，它可以在经济计算中被估价，因此它是值得人们注意的。它变得越稀缺，它就越应该被重视。然而，这些服务往往不能在市场上交换，因此没有货币价值。因此，它们的重要性也可能被忽视，尽管它们对于维持地球上的生命是必要的。自然资本会计方法的目的是使这些资产具有货币价值。虽然有些人原则上反对对自然界使用货币价值，但这样做很容易导致忽视社会决策中的自然资本，从而可能导致其耗尽。的确，全球倡导的生态系统和生物多样性经济学（TEEB 2017）的重点是“使自然的价值观可见”。生态系统和生物多样性经济学的主要目标是将生物多样性和生态系统服务的价值纳入各级决策的主流。“它的目标是通过一种结构化的评估方法来实现这一目标，这种评估方法有助于决策者认识到生态系统和生物多样性所提供的广泛利益，在经济方面展示其价值，并在适当的情况下在决策过程中获得这些价值。（TEEB 2017）。因此，生物经济的一个重要部分应该是考虑自然资本，对其进行衡量，并对其进行评估。（Costanza 等人1997a, 1997b; Helm 2015; De Perthuis & Jouvet 2015）。

1.4 走向新范式：循环的生物经济

可持续发展目标以及巴黎气候协定为全球未来几十年社会、经济发展提供了目标。关键问题是实现这些目标。我们认为，迈向循环生物经济是答案的必要组成部分。这是一项战略和工具，让我们能够实现可持续发展目标以及减缓和适应气候变化。

艾伦·麦克阿瑟基金会（Ellen MacArthur Foundation）所定义的循环经济是“一种通过设计实现修复和再生的经济，旨在让产品、部件和材料始终保持最高的效用和价值，区别于技术周期和生物周期”。循环经济的目标是为产品设计一个拆卸和再利用的循环，避免浪费。生物经济提供了用可再生和可生物降解的方案替代以化石为基础的、不可再生的和不可生物降解的材料的

可能性。它还可以为生物材料提供循环所不能提供的新的功能，如更长的寿命，更高的耐久性，更少或没有毒性等等。将循环经济和生物经济这两个概念结合在一起是有意义的，而且可以产生协同效应（Antikainen 等人2017 年）。

生物经济和循环经济本身并不意味着可持续性，它们必须是可持续的。因此，生物制品的生产不与粮食生产竞争，也不对其他生态系统服务（生物多样性、减缓气候变化、保护自然灾害等）产生负面影响是至关重要的。与此同时，循环经济需要减少对具有高环境足迹的化石和不可再生材料的依赖。创建协同效应的一个组成部分是评估生物质和生物可降解材料在循环经济中的表现，例如，在生产中再利用的难易程度，以及循环利用的可能性何时耗尽。这意味着，在规划新的生物制品时，它们应该在设计阶段考虑到可重用性和回收需求。



与以化石为基础的方案相比，以生物为基础的方案可以缓解气候变化、提高资源安全性，而且从本质上来说更具有再生和修复能力，因此更适合于循环设计。它包括用于生产肥料、化学品和能源的生物废弃物（如动物粪便、污水或其他生物副产品）的巨大潜力。此外，纳米浆等生物制品可用于增加当前废物流的循环性（通过更好和更少环境问题的废水处理），并减少环境破坏，如海洋和湖泊中的石油泄漏（Suopa järvi 等人 2017 年）。因此，生物经济可以帮助建立一种更少依赖不可再生资源、更容易循环、可循环和污染更少的经济。另一方面，循环经济可以使生物经济更有效地利用自然资源，恢复自然。生物经济和循环经济的概念明显相辅相成。然而，到目前为止，它们大多是并行开发的，需要进行战略性的组合。

关键信息

- 目前以化石为基础的线性经济模式已经使我们的社会跨越了一些地球边界，为人类创造了一个安全的工作空间。
- 循环生物经济对于能够生活在地球界内以及实现可持续发展目标和达成巴黎气候协议是必要的。
- 整合生物经济与循环经济战略。循环经济不仅仅是生物经济或循环经济。
- 以事实为基础的循环生物经济叙述对于社会特别是城市人口参与支持循环生物经济战略和政策执行所需的政策至关重要。
- 自然资本核算 是循环生物经济的重要手段。

Circular Bioeconomy: more than bioeconomy or circular economy

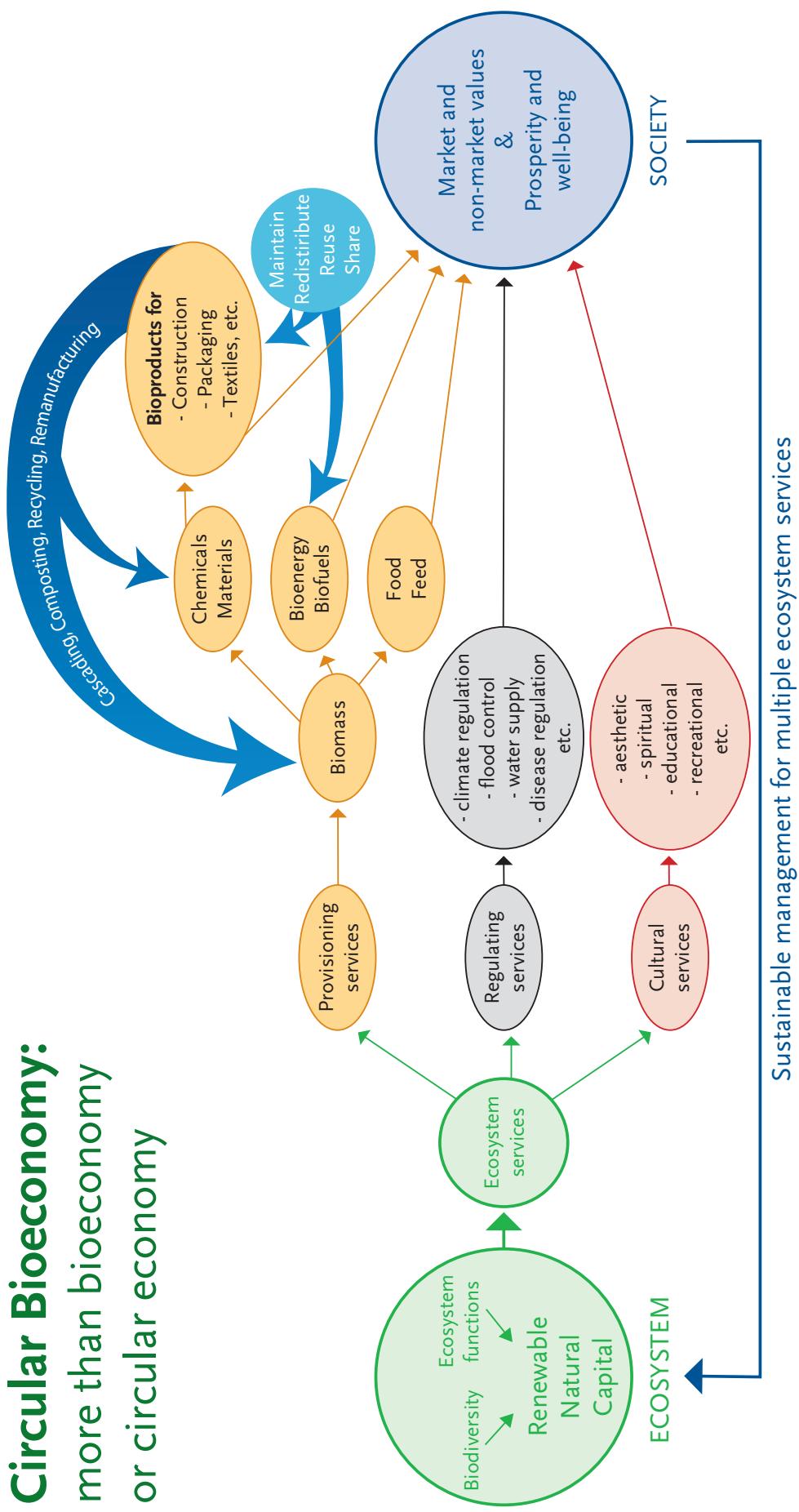


图 4。说明循环生物经济流动。来源：欧洲森林研究所²

生态系统服务的概念在千年生态系统评估 (MEA 2005) 定义为“人们从生态系统中获得的利益”，包括自然和人类福祉至关重要的自然资本。这些服务可分为临时服务、调节服务、文化服务或支持服务，也称为支持过程。生态系统服务对人类生活

方框 2：我们还需要另一个新概念吗？

鉴于生物经济、循环经济和绿色经济等类似可持续发展相关概念的供应已经令人困惑，另外一个新的循环生物经济概念会带来什么增值？

D' Amato 等人(2017) 使用机器学习分析，审查了近 2000 篇关于循环经济、绿色经济和生物经济的科学文章。在没有详细说明的情况下，结果表明，科学文献中的概念之间存在显著差异，例如，在强调的问题、某一特定概念被视为重要程度的区域差异（例如，在中国、欧洲和北美），以及用来证明概念的叙述。从科学和未来研究的角度来看，这些概念的确切定义、目的和区别是明确和重要的。在此背景下，新的循环生物经济概念的可能附加价值在于，它有助于将两个已经重要的概念和研究路线（生物经济、循环经济）合并，从而简化研究议程并发现概念之间的协同作用。

从政策和实践的角度来看，拥有几个不同但密切相关的概念来处理可持续发展问题当然是不受欢迎的——这很可能造成混乱。越精简越好。尽管在短期内引入另一个新概念可能会造成混乱，但从长期来看，它可以通过合并两个已经流行的概念来减少混乱。这也将有更多的实质性优势。

正如 D' Amato 等人(2017) 所示，在文献中，循环经济倾向于关注城市工业化进程和资源利用与经济产出脱钩，而生物经济则侧重于农村发展背景下的生物资源创新和土地利用实践。循环生物经济概念融合了这两种趋势，并将城市和农村社区联系起来，而这正是目前所缺失的。

如果生物经济主要侧重于开发生物基材料和能源，并且不考虑循环方面，那么它将面临过于“常规经营”情景的风险。循环意味着在产品或服务设计阶段已经解决了回收、可重复使用性和资源效率问题。这也增强了生命周期和价值链思维。其中一个含义是，生物经济企业需要将其思维扩展到传统重点之外，并寻求与不同参与者进行更广泛和多样化的合作。仅通过在企业对企业网络中运行，您无法满足循环性。您还需要考虑消费者以及如何在第一阶段使用结束时建立产品的回收和再利用。如何优化设计新生物产品的生命周期，以及如何使回收和再利用制度化运作以满足循环要求？同样，在制定政策时，政策制定者不仅可以推进所有可能的生物经济发展，而且还可以满足循环要求。

在欧盟背景下，生物经济与循环经济概念的融合可以创造行政和资源协同效应，并有助于减少“孤岛”的思想和运作。目前，生物经济是研究和创新总局的责任，循环经济是环境总局的责任。增强各局之间的协同作用可以推进循环生物经济，其实施和资源配置可能是若干总局的责任。

事实上，很可能会继续使用生物经济、循环经济、循环生物经济和绿色经济等类似概念。但在政策层面，通过将所有这些概念解释为寻求实现可持续发展目标和巴黎协定目标的工具，可以减少这种混乱。从这个意义上讲，尽管在行动方面有所不同，但这些概念都是一体化的。

2. 生物经济战略

生物经济概念在本世纪初在欧盟受到关注（例如，欧盟委员会，2002 年），经合组织关于生物经济的政策文件“生物经济到 2030 年——制定政策议程”（经合组织，2009 年）引起了更多全球关注。许多国家制定了自己的战略，更多的国家在其他政策文件中处理了生物经济问题。欧盟于 2012 年启动了生物经济战略，其若干成员国目前有自己的生物经济战略。本章简要介绍了这些策略及其主要信息并评估了这些策略的优缺点。

2.1 现有战略

德国生物经济委员会提供了生物经济战略的概述和综合 (Bioökonomierat 2015a 和 2015b)。从欧洲的角度来看，以欧盟和 G7（加拿大、法国、德国、意大利、日本、英国和美国）为中心的分析最为相关。Priefer 等人 (2017) 提供了一份有选择性但按时间顺序排列的世界生物经济战略清单（见表 1）。目前，近 20 个国家已经或正在制定专门设计的生物经济战略，预计这个数字还会增加。生物经济的重要性和特殊作用已被广泛认识。

此外，重要的是要注意全球生物经济峰会（2015 年，参见 El-Chichakli 等人 2015 年）

和欧洲生物经济利益相关者宣言（所谓的乌得勒支宣言，2016 年）的公报。2015 年，来自约 80 个国家的 700 多名专家参加了柏林首届全球生物经济峰会。生物经济国际咨询委员会的成员（来自全球各地的 37 位专家组成了峰会）概述了商定的原则和推进这些原则所需的步骤，并说明了如何将这些原则应用于个别可持续发展目标。

非常有趣的是，所有战略都对生物经济给出了各自的定义，并且在它们认为值得推广的部门和其他方面有所不同 (Bioökonomierat 2015 年；Priefer 等人 2017 年，Staffas 等人 2013 年)。为了实现两个极端，经合组织提供了一个狭义的政策策略，而德国的政策策略则是一个广义的定义。经合组织的战略指出：“生物经济可以理解为一个生物技术对经济产出的贡献相当大的世界”（经合组织，2009 年，第 8 页）。经合组织 (2016 年) 重申了这一定义，特别强调了先进生命科学在生物技术中的作用。德国的政策战略将生物经济理解为一个综合的社会转型，涉及多个行业，如农业、林业、园艺、渔业、动植物养殖、木材、造纸、纺织、化学和制药行业以及能源生产 (Priefer 等人 2017 年)。

所有战略都与广泛的社会目标有关，其中最重要的是，需要用可再生生物质替代工业和能源生产中的化石资源 (Priefer 2017 年)。大规模替

表一按时间顺序选择的生物经济战略。

国家	战略	年份
经合组织国家	到 2030 年的生物经济 – 制定政策议程	2009
欧盟	创新促进可持续增长 – 欧洲的生物经济	2012
荷兰	生物经济框架备忘录	2012
瑞典	瑞典研究与创新 – 生物经济战略	2012
美国	国家生物经济蓝图	2012
马来西亚	生物经济转型计划 – 丰富国家，保障未来	2013
南非	生物经济战略	2013
德国	国家生物经济政策战略	2014
芬兰	生物经济的可持续增长 – 芬兰生物经济战略	2014
西北欧国家*	西北欧国家生物经济的未来机遇	2014
法国	法国生物经济战略	2016
意大利	BIT – 意大利的生物经济	2016
西班牙	西班牙生物经济2030年战略	2016
挪威	熟悉的资源——超乎想象的可能	2016

*西北欧国家包括格陵兰岛，法罗群岛和冰岛。来源：Priefer 等人 2017. 作者将意大利，西班牙和挪威的战略添加到 Priefer 提供的表格中。



代可以实现向可持续经济的转变，从而解决了粮食安全、自然资源稀缺、气候变化和环境压力带来的挑战。同时，生物经济可以提供新的增长和就业机会。生物质是一种独特的碳源，因为它几乎可以替代化石燃料资源的所有可能产品（欧盟委员会 2012 年；Priefer 2017 年）。除了这些一般性和共同性的想法之外，这些战略还指出了不同的机会，并根据其现行工业和经济概况和国家的自然资源潜力设定它们的不同主要目标（Biokonomierat 2015a, 2015b）。

可持续性最初被认为是生物经济战略的动力之一，但他们大多将生物经济的可持续性作为目标。关于更大规模的生物经济的可持续性要求的讨论只是在最近才提出（Priefer 2017 年；Pfau 等人 2014 年）。这些担忧尤其包括导致以生物多样性为代价使用欧盟森林的风险生物经济，以及生物能源生产导致短期内二氧化碳排放量增加的事实（欧洲科学院科学咨询理事会（EASAC）2017；Fern 等人 2017；2017 年公开信）。问题的严重程度取决于如何推进和监测生物经济的发展（Nabuurs 等人 2015 年，Berndes 等人 2016 年，Wolfslehner 等人 2016 年）。

鉴于正在进行的讨论，实施或者确保可持续生物经济是非常重要的一个问题，或者如果不持续的话，它是如何可持续发展的？经合组织（2016 年）建议，重点应放在与生物经济生产中的农业和工业相关的权衡上，并且重点是可持续的生物质生产。总的来说，我们应该“少花钱多办事”，避免与食品生产竞争。经合组织还强调，我们应该明确生物能源和生物燃料的各种来源，因为它们在可持续性方面可能有所不同。经合组织的结论是，可持续性要求强调了创新的作用。最近的 2016 年欧洲共同体联合研究所生物经济报告（Ronzon 等人 2017 年）还提请注意生物经济的环境方面，指出“没有对生物资源的良好管理、尊重陆地和海洋上所有可再生资源和健康生态系统的再生水平，就不能设想可持续的生物经济。”（另见 2.3 和 2.4 节）。

2.2 战略的主要信息

所有战略的一般背景是，用生物材料替代化石资源能缓解气候变化。有效实施战略可以实现经济结构的深度变革、提高竞争力、提供增长和就业机会，同时改善环境质量。但要实现这些目标，生物经济必须区别于传统的农业、林业和渔业初级生产。生物经济在以生物为基础的生产中使用新的科学知识和新兴技术，并将自然资源转化为加工和服务业的可持续产品和服务（Biokonomierat 2015b）。

欧盟的战略乃基于广泛的生物经济概念，该概念为解决当前人类面临的严峻挑战提供了有益的基础，因为它包括利用成员国巨大的创新潜力将可再生资源和废物流转变为增值产品（欧盟委员会 2012 年）。欧盟的战略非常强调农业和粮食生产，这使战略的其他部分相形见绌。也就是说，欧盟生物经济战略依赖于三个明确定义的模块：

- 生物经济需要在研究、创新和技能方面进行投资；
- 生物经济只能建立在加强政策互动和利益相关者参与的基础上；
- 创建生物经济需要增强市场和竞争力。

成功实施生物经济战略能取得什么成果？根据我们的分析，欧洲的讨论通常指出：

经济增长和创造就业机会通过研究和创新，向生物经济的过渡有助于欧洲工业更新、开发新的可持续产品，并提高其在全球市场的竞争力。由于生物经济增加了先进工业（如森林、化工、制药和能源工业）的利润和就业，它促进了对生物质的需求，增加了农村地区的收入和就业，从而实现了更加平衡和社会上更加公平的经济增长。

化石资源的替代。更换化石燃料的需求变得更加迫切。生物经济在减少温室气体（GHG）排放方面发挥着至关重要的作用。新的生物制品有助于减少在电力生产、供暖和运输方面对煤炭、天然气和石油的依赖。它们促进了城市和农村地区的碳中性发展。虽然农村地区受益于生物质生产，但城市从新产品生产中获得了新业务。化石资源的替代能更好地抵御价格波动，而价格波动是化石资源的典型特征，并有助于企业创造更稳定的经济环境。

提高环境的可持续性。生物经济是基于对自然资源的可持续利用，并将其加工成高附加值产品。生物经济通过提高资源利用效率及促进资源的梯级利用，可节约原始资源。通过增加生物质生产的价值，生物经济通过将生物资源维持在良好状态而获取更大的利益。最后，生物经济旨在取代不可再生资源，这加强了经济的可持续性，并且通常也加强了资源安全，如能源安全。总的来说，生物经济提供了一个以可持续的方式重建工业和社会的机会。

总的来说，上述与生物经济相关的信息，为促进生物经济促进所有方面的可持续性以及经济、生态和社会的可持续性的论点提供了基础。然而，最近关于这些主张和生物经济战略实施的讨论，并没有把它们视为理所当然。

2.3 新见解有哪些差距和需求？

关于生物经济目标有一个相当强烈的共识，但如何在实践中实现这些目标是一个争论的主题，需要评估战略的长处和弱点。主要集中在欧洲，例如，Priefer 等人（2017 年），Pfau 等人（2014 年）、Ollikainen（2014 年）及 McCormick 和 Kautto（2013 年）确定了将现有理解纳入新见解的现有差距和需求。一般而言，这些差距尤其涉及诸如气候和生物经济的环境可持续性、对土地利用部门的可能影响（土地利用、土地利用变化及林业部门（LULUCF））、生物质供应的充足性以及森林和景观的娱乐设施等问题。

正如前面关于上述方面的全面讨论，他们几乎没有解决欧盟政策中一个新的重要因素：循环经济。³ 欧盟认为向循环经济的过渡对于发展可持续、低碳、资源节约和竞争激烈的欧洲经济至关重要。这项新举措对生物经济具有重要意义。2015 年，欧盟委员会采取了循环经济一揽子计划，其中包括对废物的修订立法提案。该计划和相关的行动计划包括减少垃圾填埋的长期目标，并增加关键废物流（如城市垃圾和包装垃圾）的再利用和再循环准备，并提出涵盖整个周期的措施：从生产和消费到废物管理和二级原材料市场。该行动计划包括欧盟的目标，即到 2030 年回收 65% 的城市垃圾和 75% 的包装垃圾。在塑料、建筑和拆除、食品废物、关键原材料以及生物质和生物基产品等若干优先领域，将制定鼓励生产者将绿色产品投入市场和支持回收和再循环方案的经济措施。

由于全球协议，生物经济获得了新进展：巴黎气候协议和联合国可持续发展目标（SDGs）。替代化石原料和促进可持续的循环生物经济可对实现这些协定的目标作出重大贡献。借鉴以往的文献、欧盟的循环经济政策和两个协议的目标，我们建议将欧盟和其他生物经济战略更紧密地联系起来，以遵循社会目标和政策。

气候和环境政策。许多战略似乎都认为生物经济的发展在气候和环境方面是可持续的。这种假设的原因是，与增加循环中碳储量的化石资源相比，使用生物质不会在碳循环中添加新的碳。然而，迄今为止，气候缓解和土地利用、土地利用变化及林业部门政策的联系一直很薄弱。显然，需要普遍和足够高的碳价格来促进生物经济发展，以及可能向森林经营主体补偿以增强碳汇。将气候政策扩展到林业部门的一个例子是新西兰

碳排放交易体系，森林土地所有者可以作为卖方参与排放交易计划；从他们的森林出售碳信用额。Nabuurs 等人（2017 年）提出了气候智能型林业（CSF）的概念，这对生物经济考虑也很有用。气候智能型林业是基于更广泛的方法，而不仅仅是在森林生态系统中储存碳。它考虑了整个森林和木材产品链的可持续气候减缓潜力，包括材料和能源替代以及当地情况的核算。它不仅旨在减轻气候变化，而且集中于森林健康和恢复力的基本先决条件，以及让森林适应气候变化的需要。它试图实现与例如生物多样性、生态系统服务和生物经济的其他森林功达成可能的协同作用。气候智能型林业通过减少或消除温室气体排放，调整和建立森林复原力，以及可持续地提高森林生产力和收入来解决多项政策目标。它强调需要重新定义生物经济的理解方式，并明确表明需要政府政策和使用有效的政策工具。

森林和森林部门的特殊作用。在欧盟及其成员国的生物经济战略中，森林和森林部门的作用大多被忽视（芬兰和瑞典除外），主要侧重于农业生物量。然而，森林是欧盟最大的生物基础设施，覆盖了约 40% 的土地面积。在欧盟的背景下，森林不与粮食生产竞争，如农业生产的生物质，森林提供了巨大的生物材料供应潜力。原则上，木材几乎可以取代所有由化石材料制成的产品（见第 4 章）。最重要的是，森林可以在生物经济中发挥双重作用：它们可以以一种促进森林成为碳汇和森林工业原料供应者的方式加以管理。森林工业的一个非常重要的特点是，它促进了对木材材料、侧流和废料各部分的资源有效的级联使用。在许多方面，森林工业是循环利用和许多循环经济思想的先驱。森林部门也具有提供包容性增长的潜力。欧盟拥有 1600 万私人森林土地所有者（超过农民），三分之一的森林为国家所有（纳税人）。与化石资源相比，森林创造的收入和财富可以扩散到更多的欧盟公民，更重要的是，也可以扩散到农村地区。鉴于上述事实，有必要使欧盟森林部门在生物经济战略中发挥比现行欧盟生物经济战略更为突出的作用。

为包括城市居民在内的所有公民提供来自乡村景观和森林的娱乐和生态系统服务。公民的福利是每个国家的最终目标。除了市场商品之外，可再生资源还提供了大量的非市场生态系统服务，如生物多样性和娱乐。在生物经济的战略和讨论中，这些重要的方面已经被大大忽略了。生物经济与生物多样性相辅相成是至关重要的：生物经济在保持生物多样性良好状态下是可行的；丰富的自然多样性有助于生物经济适应气候变化带来的森林环境变化，从而保障生物经济赖以生存的生物资本。这些战略也没有注意到自然旅游的重

循环经济的概念并不新鲜，例如德国自 1997 年起就有了循环经济法（Kreislaufwirtschaftsgesetz）。



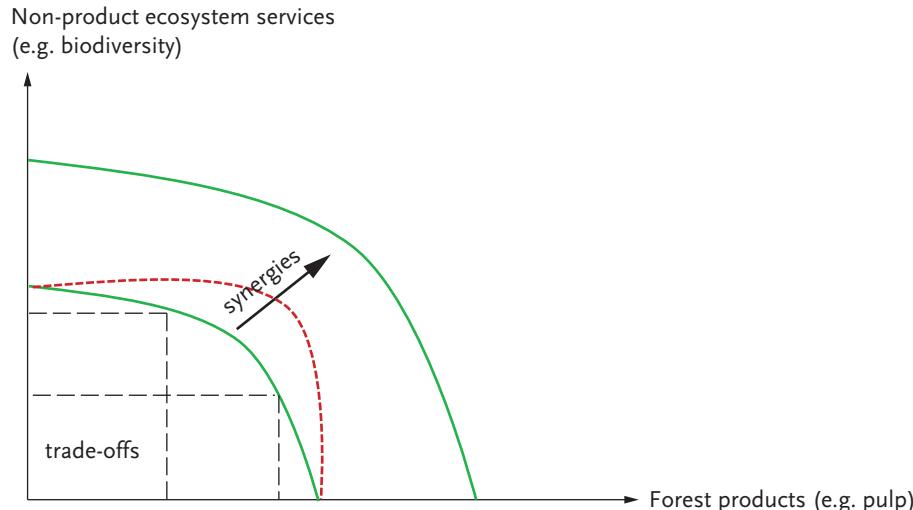


图5。通过权衡森林产品与非产品生态系统服务之间的协同作用例证以森林为基础的生物经济生产可能性边界。

纵轴描述了非产品生态系统服务（如生物多样性，水质，娱乐，旅游，碳汇），横轴描述了林产品（如纸浆，锯木，生物能）。图 5 说明了一种生物经济，它可以利用森林资源同时生产物质林产品和提供非产品生态系统服务，并可以选择两种生产类型的替代组合。绿色曲线或所谓的生产可能性边界表示对于给定量的投入（森林、资本、劳动力）的最大产出组合（例如生物多样性和纸浆）。边界的位置由技术约束和资源可用性决定。通过挑选绿线上的任何一点，人们可以在轴上读取森林产品和非产品生态系统服务的相应数量（见第 1.3 章）。红色虚线边界说明了不增加x轴和y轴端点，而是向外推动边界其余部分的情况。如果生物经济产生“更多来自更少”的情况，例如由于森林工业创新的协同作用，就可能发生这种情况。

要作用和经济贡献。自然旅游业需要日益老化的植被和具有高度生物多样性价值和文化价值的乡村景观。对许多国家来说，旅游业是建立在沿海的便利条件、乡村风景和原始古老的森林之上的。在生物经济战略中，需要更加平衡地对待生物量的工业和商业用途，并维持其他生态系统服务，例如生物多样性、景观和公民的森林设施。然而，在这个应用领域仍然缺乏实际的展示。

2.4 最大限度地发挥协同作用并尽量减少权衡的政策

生物经济战略和政策的目标应该是最大限度地发挥协同作用，最大限度地减少生物经济、生物多样性和减缓气候变化之间的权衡。协同作用和权衡的作用如图 5 所示，由 Heem Suki (2017 年) 改编而成。

从经济角度来看，当森林可以提供的产出之间存在权衡时，绿色曲线显示了森林生物经济生产的可能性边界。边界描述了有效地产生输出时的所有输出组合。当然，社会运作效率低下，可能处于生产可能性边界之下。

如图 5 所示，森林用于森林产品的程度越

高，社会能够提供生物多样性等生态系统服务的机会就越少，反之亦然。社会面临的挑战是找到两者的可持续结合。协同作用是至关重要的，因为它们可以将边界向外移动，从而减轻了权衡。在图 5 中，边界可能以两种方式向外移动：从多到多，或者从少到多。在这两种情况下都产生了更多的森林产品和非产品生态系统服务。边界的向外运动原则上可以通过三种方式实现：

- 技术变革（创新）和边做边学（例如更好的管理经验）；
- 增加生产投入（例如森林增长，植树造林）；
- 这两者的结合。

新的边界通常在短期内是不可能发生的。然而，从长远来看，当引入技术和创新，或者可以利用更多的生产投入时，移动是可能发生的。创新和技术进步（包括更好的机构和管理）是利用现有资源生产更多产品的关键。从多到越多的案例发生在：（例如）更好的森林管理措施加快森林生长的时候，或者将废弃土地分配给林业而可获取利益的时候。

图 5 说明了生物经济可以以不同的方式得到发展，因此，最好的办法是提供政策奖励，以帮

助最小化权衡和最大化生物经济不同组成部分之间的协同作用。通过提高森林管理的盈利能力以及可用的林地面积，促进良好的生物经济提高了保护生物多样性的可能性。但相反的情况也很重要。成功地适应气候变化和极端天气条件（森林火灾、风暴、害虫和其他灾害的增加）是为生物经济提供基础的必要条件。

因此，循环生物经济的一个关键问题是，如何利用政策来增强协同效应和降低权衡取舍？在这里，我们关注的是与整个生物经济相关的而不是与部门层面相关的总体扶持政策。例如，尽管可再生能源政策在过去对推进生物经济中的生物能源部门起到了重要作用，但我们在此不作讨论。相反，我们关注与创新、循环、生物多样性和土地利用有关的政策。这些政策应以协调和联系的方式推进，以产生政策协同和效率。

创新政策。鉴于生物技术和创新，特别是来自先进生命科学的生物技术和创新，是生物经济的核心，与一般创新政策的协同作用具有关键作用。总的来说，欧盟强调以下几个方面：熟练的劳动力、良好的商业环境、强有力的知识创造和传播系统、鼓励创业活动的政策以及注重治理和实施。教育、公众对研究和开发的支持以及创建技术集群都是具有促进生物经济发展潜力的例子。

循环经济。尽管生物质和生物制品被列为优先事项，但欧盟循环经济一揽子计划未能将循环经济与生物经济联系起来，尽管欧盟生物经济战略在 2012 年获得批准。如第一章所示，深入理解生物经济的一个主要任务是将生物经济和循环经济的概念统一为一个循环生物经济。

保护生物多样性。欧盟通过多种渠道促进生物多样性的保护和维护。它们都是在接受生物经济战略之前制定的，但在生物经济战略和生物多样性之间并没有建立真正的联系。最相关的文件和方案是《生物多样性公约》、《生境指令（1992 年）》下的《Natura 2000》和欧盟的《生物多样性战略》。总的来说，这些文件要求采取有效行动，制止生物多样性的丧失，保护最有价值的

栖息地，并加速向资源节约型和绿色经济过渡。如上所述，有效的生物经济战略必须应对生物多样性和生态系统服务。例如，近 50% 的 Natura 2000 栖息地是森林。有趣的是，欧盟的生物多样性战略还表明，基于可持续森林管理原则的森林管理计划是确保均衡提供多种商品和服务以及维持和增强生物多样性的关键手段。

土地使用政策。欧盟将在其气候政策中将碳汇纳入土地利用、土地利用变化和林业部门（LULUCF）。土地利用，土地利用变化和林业方案倾向于将气候政策视为一个孤岛，而不是将其与其他社会挑战和目标联系起来，并过分限制该部门的选择。然而，越来越多的人认识到，达到“巴黎协定”气候目标需要经济和社会发生根本变化，因此应该根据这一系统性变化（Rogelj 等人 2016 年）和土地利用来规划气候政策。有效的气候政策应该设法建立与其他社会政策目标的相互联系，并尽量减少它们之间的权衡。如果没有这一点，就有可能无法在政治上实施气候政策目标。

关键信息

- 现有的生物经济战略有助于表明需要促进使用可再生生物质来代替以化石为基础的原材料和产品，以创建更可持续的社会。
- 然而，由于近期的重大变化（如 2012 年的欧盟战略），许多战略都存在漏洞或需要更新。例如，它们由于将环境可持续性视为一个给定值而具有缺陷、它们没有将生物经济与循环经济以及若干相关政策（例如，气候政策）联系起来。此外，农业和粮食部门占主导地位，其代价是未能认识到以森林为基础的部门的潜力。
- 循环生物经济的一个关键问题是，政策如何能够帮助最大化协同作用，并最小化生物质生产和其他生态系统服务之间的权衡。
- 应以协调和联合的方式推进创新、循环经济、生物多样性和土地利用等一般扶持政策。



3. 成功发展循环生物经济的要求

3.1 背景

生物经济策略通常告知为什么生物经济是必要的，以及它提供什么样的机会（第 2 章）。但是，关键问题是如何实施（循环）生物经济战略。由于生物经济战略是由行动计划或负责支持战略实施的平台支持的，问题通常也是这样解决的。然而，鉴于循环生物经济的跨部门性质，以及我们认为它应该被纳入整个经济的主流，而不仅仅是一个部门，这显然需要采取大量不同类型的措施和行动。在这里，我们关注一些我们认为是主要优先事项的关键扶持措施。选择这些优先级的标准是基于作者的观点，以及我们从前言作者那里得到的建议。

3.2 言论和社会包容的重要性

言论对于社会参与不同的运动和变化越来越重要 (Davidson 2016)。在心理学、认知科学、政治学和社会学等领域，越来越多的研究表明，人们不会通过纯粹的理性过程来做出决定，情绪和一系列认知偏差也很重要。言论是指导个人决策和行为的心理模型和社会信仰和实践的核心，对于实现变革至关重要。要使循环经济发展取得成功并付诸实践，必须能够讲出吸引大多数人（投票者）的言论。

根据欧盟统计局的数据，被定义为城市、城镇和郊区的建筑区为欧盟 28 国近四分之三 (72.4%) 的人口提供了住所，预计这一比例将来还会增加。如果没有这些城市居民的参与和支持，很难看出循环生物经济如何能够成功。然而，林业和生物经济在生物经济战略和政治言论方面中往往以吸引农村人口的方式得到发展：更多的农村就业机会和生活在农村地区的森林经营主体的收入。欧盟有一项农村发展政策，该政策由欧洲农村发展农业基金资助，2014 年至 2020 年价值 1000 亿欧元。同样，许多欧洲国家政府都制定了农村计划，以改善农村地区的生计。如果城市人口完全了解循环生物经济，他们可能很容易将其与这些类型的农村计划联系起来。挑战在于，与欧盟共同农业政策一样，城市公民可能会批判性地看待它。简言之，也许这些政策被视为从他们的口袋里拿走税收收入来支持农村人民。要使循环生物经济长期取得成功，就需要改变这种观点。需要一种循环的生物经济言论，吸引城市人口并得到其支持。

言论重要也有另一个原因。人们可能不一定明白生物经济的意义，特别是在大多数人口没有直

接林业经验的欧洲国家，或者对木材和森林如何以许多方式进入其日常生活的理解有限。需要以森林为基础有关生物经济的循证言论，并且以一种能吸引城市人口的方式来讲述。这种言论在不同的地区和城市可以是不同的东西，详细阐述这些地区重要的具体特征。言论应该讲述森林的可再生、循环的性质，以及木材和森林如何从早到晚以许多不同的、重要的功能和形式进入城市人口的日常生活。如果不使用木材，就意味着要使用其他材料，这些材料通常是不可再生的或以化石为基础的，难以回收（循环利用），因此从长远来看可能是不可持续的。或者，它可以是（例如）一个可持续管理的森林如何帮助支持城市的清洁水供应的言论。

言论的一个必要部分也是社会包容性。这关系到资源的所有权，以及循环生物经济的收入和工作福利如何传播到一个社会中。在欧洲，有 1600 万私人森林经营主体，三分之一的欧洲森林土地归国家，即公民所有。通常，这种森林所有权向大量小型私人森林经营主体的扩散被视为对生物经济和有效森林管理以及木材市场的挑战。事实上，这显然是一个问题。然而，从另一个角度来看，它有助于增加社会对该部门的包容和接受度。特别是当与化石资源的所有权相比时，情况确实如此。一般来说，在欧盟，很少有人拥有石油，天然气或煤炭资产，或从这些产生的收入流中获益。原则上，对于以森林为基础的生物经济而言，实现更具包容性的增长的条件似乎比以化石为基础的经济要好得多。此外，欧盟森林提供多种非木材产品和服务，例如捕获欧盟 10% 的二氧化碳排放、生物多样性、旅游和娱乐、清洁水和其他监控功能。这些益处可以与生物产品协同作用产生，并可以增加基于森林的生物经济的社会包容性。

重要的是让包括城市人口在内的所有社会都参与进来，并且更加注意不要给人们留下只关心农村人口和森林部门的印象。问题不在于城市和农村哪个更重要，而在于城市和农村生活之间的联系，以及他们之间相互需要对方。最后，无论言论是什么，它都必须得到科学事实的支持，否则它很可能失去其可信度，从而失去其权力。

3.3 环境可持续性

可持续发展需要成为生物经济的核心。可持续发展始于 20 世纪末期，其核心是寻求经济、社会和环境的和谐。现在认为它支持了整个人类社会繁荣和福祉的经济发展，但处于当地、区域和

全球范围内的特定环境范围内 (Griggs 等人 2013 年)。这种人类发展的新方法可以与生态系统及其生物多样性产生协同作用 (Muys 2013 年)，并将其转化为可持续发展目标 (见第 1 章和第 2 章)。

历史表明，市场不会自动导致或产生可持续性。需要制定政策以避免资源枯竭和市场可能创造的其他不必要的外部因素，并将重点放在未在市场上交易的生态系统服务上。特别是，需要政策来监测、评估和确保生物经济的可持续性。这样做可以避免不必要的后果，循环的生物经济可以为人类和我们的地球创造巨大的机会。

循环生物经济的第一个基本特征是，环境可持续性问题在早期阶段得到解决，例如在生产链和消费模式的设计阶段。这意味着公司和政府除了利用市场和技术问题之外，还要利用现有的关于环境方面的最佳知识和信息来解决潜在的可持续性问题。新产品/材料的可持续研发包括筛选潜在的高环境风险或不可接受的负担。从历史中汲取的教训表明，这种筛选可以使用预测工具，可以带来显著的环境效率和业务收益。在过去，有一些有前途的新技术的例子，这些新技术后来证明对人类或环境有害，如滴滴涕、氟氯化碳或石棉水泥。公共当局的监管作用是应用预防性原则来促进可持续的进展。

循环生物经济的另一个本质是从摇篮到摇篮的生命周期思想。在产品和服务的整个生命周期中，从资源提取到生产过程再到使用阶段，以及最终在新产品中多次重复使用再循环资源，应避免潜在的环境影响。在生命结束时，避免废弃物，例如，通过利用能量气化和回收灰烬作为肥料或建筑材料来处理木材制品。生命周期思维可以通过刺激工业共生，赋予废物价值，高价或禁止处置的政策成为主流。

生命周期中的环境问题要么与投入相关 (即由自然环境中的资源提取引起)，要么与产出相关 (即由在生产、使用或寿命结束期间向自然环境的排放引起)。与投入有关的环境风险与生物经济紧密相关，因为生物经济本质上依赖于生物资源 (如生物量)，并依赖于需求旺盛的土地资源来增长。挑战在于以可持续的方式使用这些稀缺资源。

生物资源的巨大资产是它们是可再生的——它们在被收割后一次又一次地重新生长。而石油、金属矿石或磷酸盐等非生物资源的情况并非如此，一旦丰富的矿藏被耗尽，它们的开采就会永远停止。但是生物资源可再生的条件是它的可持续利用，即不让资源基础灭绝。但这需要管理。例如，在森林中，它需要通过将森林中保持的生物量保持在足够高的水平以确保其持续增长

来管理采伐。这种可持续利用的原则并不像看上去那么简单，但是森林科学有着悠久的工具开发发展历史，以在复杂、高度变化的景观中调查、监测和预测每年允许砍伐的森林。

通过对储备充足的森林进行估值的政策，比如对森林经营主体进行碳价格或碳封存补偿，可以最好地避免不可持续的采伐。在这些措施生效之前，还需要采取其他措施。事实上，欧盟和一些国家正在计划控制措施，以控制固体生物质的生物能源利用。一个具有成本效益的替代方案可以是压力测试，检查持续产量的常规工具 (例如采伐许可证、管理计划、认证计划等) 在各地区和国家的准备及运行情况。这样的压力测试也可能成为生物经济所需的创新可持续性指标之一 (Wolfslehner 等人 2016 年)。

与投入相关的其他类别是土地使用影响。用以生物为基础的资源代替化石资源会导致土地稀缺性的增加，这将提高土地价格，并可能增强土地使用选择之间的潜在冲突。一个众所周知的土地利用选择冲突的例子是，当美国玉米乙醇补贴导致粮食短缺和 2007–2008 年全球粮食价格危机时，出现了粮食与燃料的辩论。事实上，分配问题是任何以土地为基础的经济所固有的，但是可以通过支持土地使用优化以及考虑环境和社会问题的适当政策和管理来解决。

可持续性的挑战导致了对土地利用的特别关注。土地节约和土地共享，两种截然不同的可持续土地管理实践方法正在被提倡 (Phalan 等人 2011 年)。根据土地分离方法，土地的一部分被“搁置”。越来越多的科学证据表明，全球和区域内有相当数量的土地需要主要处于非管理状态，以确保生物多样性保护 (例如，保护空间对于生物经济至关重要；Lefvre 等人 2014 年) 以及全球生态系统服务 (如气候稳定和陆地上的降雨再循环)。在可持续的生物经济中，这并非是失去土地，因为它有助于地球系统恢复让所有人受益，同时提供许多当地共同利益，如生态旅游和自然界高价值产品的受控水平。

根据土地共享方法，也有越来越多的证据表明，由于多种原因，土地利用集约化已达到极限 (Ripple 等人 2017 年)。在林业中，这主要发生在通过单一栽培人工林造成土壤贫瘠、虫害暴发和气候压力的地方，所有这些都影响系统的恢复力和生物生产的基础。为了解决该情况，研发和政策努力试图将农业和林业从高投入最高产出转向中投入高产出或低投入高多样性系统 (Matson 等人 1997 年，Tilman 等人 2006 年)。最近关于生物多样性在支持生产力、生产复原力和生态系统多功能性方面的功能作用的研究需要有机会从基础研究进一步发展到可行的土地管



理系统 (Liang 等人 2016 年; van der Plas 等人 2016 年)。

未来的循环生物经济可以通过土地利用优化来解决与土地利用相关的风险，解决多种生态系统服务之间的权衡和协同作用（见图 5），根据当地需求，针对景观规模的土地共享和土地分离选择的巧妙组合和机会 (Grau 等人 2013 年; Pedroli 等人 2013 年)。通过这种方式，可以维持和管理具有高生物多样性的森林，从而在气候变化条件下表现出更大的适应能力（见方框 3）。在保持土地利用率低下的同时，在欧洲，林业在创造人类价值方面具有悠久的传统。增强生物量收获（例如生物能源的收获）为保护开放生境物种 (van Meerbeek 等人 2016 年)、森林防火和森林适应气候变化引起的干旱提供了重要机会。

至于与产出相关的环境问题，以生物为基础的产品比以化石为基础的产品具有明显的优势。以生物为基础的产品通常毒性较小且可生物降解，这有利于它们的再利用、再循环和处理。生物经济产品在减缓全球变暖方面也有其固有的有益特性。首先，生物材料可以像森林一样储存碳，

通常随着产品寿命的延长而增加效益 (Brunet-Navarro 等人 2016 年)。鼓励根据生物材料的级联使用设计良好的生命周期评估 (LCA)，其中在生命周期结束前将材料多次回收到新产品中，可以导致更多的碳固存、更多的能源替代和每单位资源投入更多的附加值，这些都是向循环经济过渡的关键特征。简而言之，循环生物经济需要关注其优势，即生物材料的多样性及其应用、基于生物精矿的资源高效系统和非物质生态系统服务（如旅游、环境管理），并避免过分强调一个细分领域，如生物能源细分领域。有必要创造一个公平的竞争环境。

总之，生物经济的出现是对自然资源及其生态系统服务对人类可持续发展的关键价值的明确认识 (Costanza 等人 1997a, b)。然而，到目前为止，生物经济的发展主要是以技术和经济为导向。本节表明，发展生物经济有多种途径，而且并非所有途径都具有相同的可持续发展潜力。因此，需要在可持续性研究方面投入更多资金，以设计政策、工具、指标和监测系统，以支持真正循环和可持续的生物经济的发展。

方框 3：适应气候变化的重要性

依赖生态系统不断提供原材料的生物基经济特别容易受到环境条件变化的影响，特别是气候变化。如果没有适当的措施来适应气候变化，就不可能对生物资源进行可持续管理，也不可能通过碳储存或替代来缓解气候变化的影响。这适用于所有生态系统，如森林，也适用于农业系统和渔业。在此，我们以林业为例，基于对气候变化对森林的经济影响的研究 (Hanewinkel 等人 2013 年)，但类似的战略也应适用于农业和渔业。

目前森林对气候变化的三种一般适应战略是 (Bolte 等人 2009 年)：(a) 保护森林结构，(b) 积极适应，(c) 被动适应。森林结构的保护，即常规经营法 (a) 假设气候变化的低负面影响，对气候压力的高抵抗力以及保守干预措施提高稳定性的可能性很高。被动适应 (c) 意味着停止管理干预并在演替动态和物种迁移方面自发适应。这两种策略只适用于较温和的气候情景 (a) 或经济重要性较低的森林生态系统 (c)。对于欧洲集约化管理的森林，积极适应 (b) 似乎是最合适的策略，特别是在假设未来气候都属“高质量”时。主动适应策略包括引入更适合干旱和温暖条件的新物种，并且对可能增加的病虫害影响表现出更高的抵抗力。主动适应还意味着维持或增加将来使用的物种的遗传适应能力 (Lindner 等人 2010 年) 使用各种遗传适应策略，如辅助迁移，传统或分子育种和基因保护 (Fady 等人 2016 年)。应采用改进的种子迁移指南，以防止使用适应不良的种子来源。除了具体的辅助迁移外，还应采用种内辅助迁移，定义为种源有目的地迁移到未来更适应的地区。诸如生产时间变化和间伐制度等森林措施，采用强化病虫害监测系统进行火灾和虫害管理是整体适应战略的重要组成部分。为了通过一系列区域适应措施来保护森林生态系统减缓气候变化的可能性，最近讨论了“气候智能林业” (Nabuurs 等人 2016 年)。农业也实施了类似的概念。

3.4 研发、技术变革和技能

为了使欧洲循环生物经济能够支持可持续发展目标和巴黎协定及更具体的欧盟政策目标，显然目前的产品和技术还不够。我们需要创造新的、更高效的、可持续的、更循环的生物技术、产品与服务。这些资源的来源和基础将是研发创新。

本世纪以来，支持发展以森林为基础的新技术和产品而进行的研发工作取得了进展。例如，传统的森林工业公司愿意将这些作为其新战略的一部分 (Näyhä 和 Pessonnen 2013)。因此，已经出现了新的基于森林的产品，例如替代塑料的包装产品、更环保的纺织材料、工程化的基于木材的元件和模块、以及第二代生物柴油 (第 4 章)。然而，我们仍处于新的以生物为基础的产品和技术开发的早期阶段，并加快和扩展我们需要研发投资的过程。

尽管工业战略发生了变化，但在一些国家，研发投入仍处于低水平，在一些情况下，例如在传统的主要森林工业区域（如北欧和北美），以森林为基础的工业甚至在下降。存在的原因很多，包括传统的研发投入水平低，森林工业对国民经济的相对贡献下降，企业重组，行业盈利能力下降，对短期问题的关注，成本削减以及研发部门用于长期业务增长和可持续发展的优先次序不足。对于中小型 (SME) 公司来说，低研发投入往往是一个更大的问题，这些公司通常是木制品（例如锯木，胶合板）生产商。这需要改变，以便在更大程度上实现创新和新的商业机会。这种情况也提高了新的参与者的重要性，例如初创企业、化工、纺织、消费品和建筑公司，以及额外的资源和投资。

到目前为止，生物经济研究一直非常关注生物技术、工程和化学 (Lovri'c 和 Mavšar 2017 年)。由于需要开发新的创新产品，这是可以理解的。然而，关于与生物经济相关的市场、政策和社会可持续性的研究一直处于非常低的水平，给人们一种其重要性尚未被充分理解的印象（另见 3.3）。例如，Horizon 2020 提供了大约 38 亿欧元的资金，用于支持 2014–2020 年期间生物经济的研究和创新，但是社会经济生物经济研究处于相对低的水平，其中大部分资金用于与技术有关的研究 (Lovri_c&M) AVSAR 2017)。现在，新的生物经济产品已经进入市场，越来越需要了解与之相关的市场-政策-社会发展 (Hetenipaki & Hurmekoski 2016)。例如：

- 不同产品的市场前景和竞争优势是什么？它们的价值链应该位于哪个区域？
- 不同地区的生物质资源市场供应前景如何？
- 对未来的就业趋势和技能要求有何影响？

- 新产品和工艺对环境可持续性和生命周期的影响是什么？
- 我们怎样才能最好地把循环性的观点纳入产品和过程呢？
- 我们如何利用数字技术、大数据和人工智能来优化、识别和欣赏新的途径和价值链，处理数据，并创建指标来监测生物经济可持续性的所有方面？

需要评估不断变化的法规、消费行为、贸易模式、二氧化碳和能源价格、其他可持续能源技术的发展、生物质资源等的影响，以更好地掌握它们可能对整个循环生物经济系统产生的影响。此外，应建立持续的预测和扫描机制，以便根据未来发展和不断变化的条件指导活动。

相关研发还需要开发合适的技能和人才。技术和社会历史表明，范式的转变——向循环经济的转变也意味着——需要新的技能和人才。循环生物经济将包括日益多样化的活动，这些活动乃以许多不同领域和来源所产生的知识为基础。我们需要投资合适的技能和人才来管理这些知识。例如，欧洲的大学在可持续森林生物经济方面还没有足够的硕士课程。与生物经济有关的希望和战略与我们没有为其需求培训足够的人员这一事实之间存在差距。

新的研发也需要在实践中应用，并且需要建立一个跨越科学和实践的平台。为此，欧盟委员会于 2017 年 7 月启动了一个新的生物经济知识中心 (BKC)，以更好地用科学证据支持欧盟和国家决策者和利益相关者。生物经济知识中心主要不是产生知识，而是从广泛的科学学科和生物经济来源中收集、构建和提供可获取的知识。它以委员会的内部科学服务联合研究中心 (JRC) 为基础。这个知识中心非常受欢迎。然而，即使在欧盟层面，也不足以实现科学政策接口，更不用说欧洲的成员国和非欧盟国家了。支持政策制定的科学证据也应用于分析欧盟政策，其优势和劣势，包括可能的替代方案。然而，作为一项内部服务，即使有需要，联合研究中心很难批评和提议改变欧盟政策。生物经济知识中心的工作是有价值的，但也需要以科学为基础的政策支持工作来支持，这种支持工作独立于欧盟委员会，但能够以更广泛的知识库来卓有成效地支持它，并且具有分析和提供与欧盟政策有关的影响的能力。

3.5 风险承担能力

新的投资和创新是循环生物经济发展的必要条件，但它们也涉及高风险。可以预料的是，相当一部分新的商业创新可能会失败。失败并不一定



意味着投资是错误的或无用的，因为社会可以从失败中吸取教训，更好地理解什么条件和方向是必要的。但是循环经济需要政策减少或分担风险，也需要能承受高风险的融资机制，如风险投资基金支持。例如，2016 年欧盟发布泛欧风险投资基金，其中包括支持循环经济投资项目（欧洲委员会 2016a）。

另一个有前景的是绿色债券（欧盟委员会 2016B；经合组织 2017 年）。自 2007 – 08 年以来，出现了专门被视为“绿色债券”的债券市场。这些与常规债券的区别在于他们承诺使用筹集的资金来为“绿色”项目/资产或业务活动提供融资或再融资。绿色债券市场增长非常迅速，年度发行量从 2011 年的 30 亿美元增加到 2016 年的 950 亿美元。据估计，2016 年全球年度绿色债券发行量从 70 亿美元到 1000 亿美元不等（经合组织 2017 年）。根据经合组织（2017 年），绿色债券可为绿色投资提供若干重要利益，包括：

- 提供额外的绿色融资来源；
- 通过解决期限错配来实现更长期的绿色融资；
- 提高发行人的声誉，明确环境战略；
- 提供潜在的成本优势；
- 促进传统棕色行业的“绿化”；
- 为负责任的长期投资者提供新的绿色金融产品。

然而，不断发展的绿色债券市场仍然面临着一系列具体的挑战和障碍，而且有几项政策措施可以解决（见经合组织 2017 年）。

政府部门可以支持高风险投资，特别是除了直接支持一个商业案例之外还具有密集正效益溢出影响的项目。这些项目包括：减少知识分享风险的研发项目，或投资前沿试点项目、示范项目。另一个重要工具可能是公共采购政策。公共部门每年花费大约 1.8 万亿欧元，约占欧盟国内生产总值的 14%（InnProBio 2017 年）。采购原则倾向于支持市场上最便宜的替代品。这通常意味着传统的产品和服务包括很少的创新（如有）。可以重新设计公共采购政策，以包括风险承担，并根据循环经济促进产品和服务，同时促进创新。欧盟委员会的公共采购创新解决方案（PPI）寻求促进创新解决方案在市场上的传播（欧盟委员会 2017 年）。在循环生物经济中，许多这些应用和解决方案可能与公共部门密切相关。

解决风险问题的一种方法，特别是针对中小企业，是寻找大小公司之间的共生关系或“商业生态系统”，例如芬兰的 Metsä Group Äänekoski 生物制品或生物精炼厂（Palahí 和 Hetemäki 2017）。该工厂于 2017 年 8 月开始运营，投资额为 12 亿欧元。虽然这是一个具体的案例，但在描述生

物经济在欧洲其他地方可能采取的总体方向方面是很有趣的。循环经济理念旨在高效率地处理产品，减少浪费，并尽可能长时间地保持产品、材料和资源的经济价值。Äänekoski 生物精炼厂的核心是纸浆生产，在其周围有一个生产活动的生态系统和许多中小型企业，这些企业生产的产品包括：电、热、蒸汽、运输沼气、木材建造用胶合板、木材复合器具以及农业和森林肥料。有机副产物，例如由木材剥皮产生的有机副产物，将用作土壤屋顶材料和土壤改良剂。从本质上讲，一家公司的废物是其他公司的原材料。生物精炼厂的生产工艺完全以可再生能源为基础，是一种重要的净能源发生器。分析生物炼制在实践中的发展，对其他类似工程有借鉴意义。

欧洲投资银行（EIB）调查了以生物为基础的工业（BBI）投资的障碍，发现 77% 的项目（43 个项目中有 33 个）面临融资问题（Leoussis 和 Brzezicka 2017 年）。此外，“所有报告获得融资问题的受访者中，79% 的人表示，私人金融市场参与者缺乏兴趣与以生物为基础的工业的特殊性和相关的缺乏理解有关”。这表明欧洲投资银行融资存在系统性障碍。欧洲投资银行建议制定一项新的欧盟风险分担金融工具，专门用于生物经济，并可能采取主题投资平台的形式，可以动员不同来源的公私资本。

主要挑战是与市场（需求）前景相关的风险，以及与监管环境相关的不确定性。首先意味着对新的生物经济产品的需求仍然比现有产品更不确定。后者涉及影响未来市场的法规是否众所周知、一致和长期稳定的不确定性。这些是欧盟和会员国层面的许多研究多年来提出的问题，但似乎尚未得到解决。只有通过支持新的发展才能实现变革，有必要贬低“旧的”，效率较低的解决方案（Kivimaa 和 Kern 2016 年）。政策行动应显示出长期的监管承诺，以支持生物经济替代以化石为基础的产品，以整个产品部门（现在偏向于生物能源）和价值链为目标，同时允许自由市场力量充分运作（Leoussis 和 Brzezicka 2017 年）。

有趣的是，欧洲投资银行报告没有涉及生物经济服务，也没有讨论与可持续性相关的可能投资风险。第一代生物燃料的教训是，这些问题可能很重要，也需要加以解决。市场不会自动解决外部性问题。

3.6 监管环境与公私部门合作

在 20 世纪 80 年代和 90 年代，使欧洲成为世界上最先进和最成功的移动电话区域的最重要因素是什么？通常给出的答案是，欧盟 1987 年

采纳的全球手机通信系统（GSM）标准（Temple 2010 年）。一组由 13 个欧洲国家组成的小组决定在全欧洲范围内开发和部署一套通用的移动电话系统，并通过了欧盟规则，使全球手机通信系统成为强制性标准。根据这一决定，来自欧洲各地的移动运营商开始投资新的全球手机通信系统网络。不到一年，整个欧洲都落后于全球手机通信系统，这是一个罕见的统一和速度的例子。例如，美国没有共同的标准，缺乏有效的手机操作环境的有利条件，在发展上落后于欧洲。

这对于循环生物经济发展的教训是，应当为新产品与服务设计欧洲级别的共同标准和条例。以木建筑行业为例（第 4 章），缺乏行业统一标准与规定（如防火规定）阻碍其在高层建筑中大规模推广使用木建筑（Hurmekoski 2016 年）。欧洲将受益于共同的生物市场环境，具有一定的共同规则和标准化，可以显著降低业务风险并促进研发。

共同监管和标准化显然也是欧盟与成员国政府之间合作的必要性的例子，也是商业和政府合作的一个例子。企业的运营环境越复杂，就越需要这种类型的合作。例如，开发清洁技术或人工智能和机器人（也用于循环生物经济）就属于这种情况。但是，政府本身不应该是商业运营商，而应该是促进者。它在为新兴企业创建支持架构方面具有必要且不可或缺的作用。这需要欧洲循环生物经济有意义和有效率地发展。欧盟如何设计政策和合作平台，使社会能够从可持续的循环生物经济中获得最大利益？也有人试图为理想的生物经济发展提供质量标准，例如北欧部长理事会（2017）的北欧生物经济标准。

关键信息

- 循环生物经济战略需要循证地描述循环生物经济，并促使欧洲城市和农村人口参与进来，以支持其实施。
- 循环生物经济认识到自然资本在社会经济发展中的重要作用，因为它基于对生物资源及其多样性的维护和管理，以及对来自自然的可再生资源的可持续利用。
- 没有适当的措施来适应气候变化，生物资源的可持续管理就不可能如循环经济所预见的那样。
- 我们需要创造新的、更高效的、可持续的、更循环的生物技术、产品与服务。对这些的必要但不充分的要求是增加研发创新和投资。
- 为了筹集资金用于具有开拓性但具有风险的循环生物经济投资，需要风险投资、绿色债券和公共采购政策。Biomill 生态系统（例如 Äänekoski）有助于促进大型跨国公司与中小企业之间的协同效应，也可以降低风险，特别是对中小企业而言。长期、稳定的政策环境是减少循环生物经济投资的不确定性和风险的关键。
- 欧盟层面对新的生物经济产品与服务的共同监管和标准化可以加速循环生物经济的发展。这需要欧盟与成员国政府之间以及企业与政府之间的合作。

4. 生物经济贡献潜力: 案例

4.1 背景

在生物经济战略中, 以森林为基础的部门的潜力往往涵盖在农业部门中。但是, 有些地区以森林为基础的生物经济在区域战略中受到关注(例如, 北欧国家), 这些地区也可能显示其他一些地区的潜力。在本章中, 我们将重点关注来自森林部门的生物经济实例, 以突出其潜力。

木材有四个主要组成部分: 纤维素、半纤维素、木质素和提取物。纤维素和木质素是地球上有机聚合物最丰富的来源之一。森林生物经济利用木材的这四种成分来生产建筑材料、化学品、生物燃料、热能、动力、生物塑料、包装材料、食品、牲畜饲料、配料、纺织品、健康和药品等。经常被遗忘但重要的是, 以森林为基础的生物经济还包括与森林直接相关的服务(如娱乐、自然旅游、供水、狩猎等)以及与森林管理, 木材加工和林产品相关的服务(研发、推广、咨询、营销、销售、非物质权利、维护服务等(Hetemäki 2014 年; Nähäetal 等人 2015 年))。

4.2 经济和环境影响

据联合研究中心称, 2014 年, 欧盟 28 国生物经济年营业额约 2.2 万亿欧元, 雇员人数为 1860 万(联合研究中心 2017 年)。这个数字包括生物经济项下的一切, 例如: 食品、饮料、烟草、林业、渔业和农业部门。如果我们将数据缩小到以森林为基础的生物经济是主要贡献者的行业, 但也包括一些农业和废物为基础的生产的行业, 我们有以下行业: 以生物为基础的电力; 生物燃料; 以生物为基础的化学品、药品和塑料; 造纸和造纸业生产; 以生物为基础的纺织品; 木材制品和家具; 林业。2014 年这些行业的营业额为 7000 亿欧元, 就业人数为 430 万。⁴2014 年, 仅欧盟纸浆和纸张及实木产量的营业额约为 3,000 亿欧元, 就业人数为 150 万欧元(欧盟统计局)。这两个行业占“森林型”生物经济部门营业额的 43%, 占就业人数的 35%。然而, 很难获得以森林为基础的制造和服务活动总额的精确指标, 因为它们往往被归入许多行业和部门, 而不仅仅是森林行业。

⁴该营业额等于 2014 年以下八家欧洲公司巨头的营业额总和: 空客, 拜耳, 德国电信, 菲亚特, 雀巢, 西门子, 沃达丰集团和大众汽车。他们在 2014 年共雇佣了 210 万人。(来源: 金融时报欧洲 500 强)。

为了说明新兴森林产品的潜在市场影响, 我们将考虑三种情况: 木材建设、森林纺织品和生物塑料(更多例子, 见 Hetemipaki, 2014 年; 经济事务和就业部, 芬兰, 2017 年)。我们想知道, 如果欧洲木制品在目前主要由水泥、合成纤维和石化产品主导的全球建筑、纺织和塑料市场上占有 1% 的市场份额, 会对经济和原木消费产生什么影响。这个“1% 解决方案”显然是一个假设的解决方案, 也基于非常粗略的估计。市场份额显然可能更小或更大, 单位价格在很大程度上取决于价格所指的产品价值链的哪个阶段。然而, 试图量化潜在影响是有说服力的。表 2 显示, 这可以为欧洲以木材为基础的生物经济创造 100 – 600 亿欧元的收入(取决于所作的假设)。这将相当于欧盟森林产业目前总营业额的 3% – 20%。额外的工业原木用量至少为 8300 万立方米, 占 2016 年欧盟工业原木总产量的 23% (3.55 亿立方米, 数据为粮农组织统计数据库)。

4.3 建筑市场⁵

欧盟 28 国建筑行业具有重大的经济和社会意义—其营业额为 5810 亿欧元, 2015 年就业人数为 360 万(欧盟统计局)。没有数据可用于计算木材建筑的份额。然而, 根据我们的估计(基于欧盟统计局数据), 其营业额为 850 亿欧元, 就业率为 680000。⁶换言之, 其占营业额的 15%, 占建筑业总建筑业就业人数的 19%。

木质传统上用于单体家庭建筑: 在欧盟, 大约 8-10% 的单体家庭建筑有木质框架。然而, 从北欧国家超过 80% 到南欧一些国家几乎无足轻重, 这在区域上有所不同。随着近年来工程木制品(EWP) 的出现, 木材也越来越多地用于大规模建筑, 例如多层住宅建筑、办公楼、学校、医院以及工业和体育馆。特别是, 采用胶合层压木材(glulam) 和交叉层压木材(CLT) 元素和模块的预制生产使这种发展成为可能。

然而, 仍然存在对木材作为建筑材料的误解, 包括火灾危险以及强度和耐久性问题。这些观念往往不符合现代木材建造标准。的确, 工业木材建设可以解决建筑部门面临的许多压力, 包括: 效率、环境影响以及工人的安全和便利。木材作

⁵ 本案例主要基于 2017 年的 Hurmekoski。木材建筑如何减少环境恶化? 欧洲森林研究所。http://www.efi.int/files/images/publications/efi_hurmekoski_wood_construction_2017_oct.pdf
这些数字是基于假设木材产品制造(不包括家具)总活动的 70% 是与木材建筑有关的。据欧盟统计局数据, 木制品制造业(家具业除外)的营业额为 1210 亿欧元, 2015 年欧洲 28 国的就业人数为 973000 欧元。

为一种材料具有许多其他可能的好处，包括装配精度，震颤安全性（适用于地震多发区域）和良好的隔热性，以及裸木表面对室内空气质量对人体健康的可能有益影响（湿度缓冲，柔美的声学，缓解压力的气氛）。

木材建筑的经济竞争力在地区和市场之间有所不同。在木框架多层市场中，与已有方法相比，木质建筑实践的平均成本仍然高出几个百分点。这在一定程度上是由于国家建筑法规对材料的不平等对待。然而，在未来，人们可以期待木建筑变得具有成本竞争力，这是由于通过不断积累的试点项目的学习，并最终实现标准化的现代木材施工技术。

特别是从循环生物经济的角度来看，木材建筑提供了巨大的潜力。欧洲建筑业占能源消费总量的 42%，占温室气体排放总量的 35%，占提取材料的 50% 和用水量的 30% (Hurmekoski 2017 年)。研究文献认识到用木质产品替代最普通的建筑材料可能对环境有利 (Sathre 和 Gustavsson 2009 年)。关于木材建设对环境影响的结果总是得出这样的结论：与现有的做法相比，以木材为基础的建设做法造成的环境负担较小。特别是木材建筑可以减少与建筑产品制造相关的能源消耗和二氧化碳排放，有助于减少整体材料的使用，从而减少浪费的数量，降低运输重量和成本。

以木材为基础的产品通过两种主要机制促进减缓气候变化：碳储存和替代。首先，用木材替代钢铁、混凝土和其他在制造过程中使用更多能源

的产品，可以避免更大的化石燃料消耗和随之产生的二氧化碳排放（替代）。此外，使用锯木残渣进行生物能回收可以改善木制品的能量平衡。第二，树木通过光合作用将二氧化碳封存到森林中，并在产品的生命周期期间将碳储存在木质产品中（储存）。

建筑物的大部分排放是由于它们的使用造成的，特别是由于加热和冷却。虽然建筑材料的选择可能对建筑物的能源效率没有决定性的影响，但是存在基于木材的解决方案，例如用于能源立面的革新。然而，随着能源效率要求的提高以及未来能源生产中燃料组合的不断变化，建筑产品制造中二氧化碳排放的相对重要性可能会上升。

建筑业是造成自然资源枯竭的最重要部门之一。建筑的资源密集性意味着循环思维对该行业越来越重要。从“废物等级”的角度来看，木材建造最明显的贡献可能是，用木框架代替混凝土框架大大减少了建筑的总材料投入，即由于木材重量比混凝土轻 4-5 倍，避免了使用更多的材料。木质结构框架可将建筑材料总消耗量减少一半，结构框架重量减少 70% (Pasanen 等人 2012 年)。更轻的结构框架还可以减少对基础的材料输入。此外，木质构件和模块的工业预制提供了一种有效的方法，可以最大限度地减少施工现场的浪费。

与建筑物有关的最重要的废物流是在建筑物的翻新及拆卸过程中产生的。欧盟废物框架指令 (2008/98 /EC) 规定，到 2020 年，70% 的无害建筑和拆除废物必须准备好再利用、再循环或进行

表二例如假设不同行业的森林产品占 1% 的市场份额

市场	建筑（水泥/混凝土）	塑料	纺织品	总量
2050 年全球市场规模	> 5000 万吨	1124 万吨	250 万吨	6374 万吨
增长率假设	很快达到峰值	2050 年 4 倍	2050 年 4 倍	
价格* (单位价值)	80–2 650 欧元/吨	650–1 580 欧元/吨	600–2 300 欧元/吨	
以森林为基础的 1% 解决方案 (欧洲森林材料占全球市场份额的 1%)				
生产	13.7 万吨	11.2 万吨	2.5 万吨	27.4 万吨
收入	~10–360 亿欧元	~70–180 亿欧元	~15–60 亿欧元	~10–60 亿欧元
木材使用	68 万立方米	(没有主要用途 – 基于测流)	15 万立方米	>83 万立方米

表格根据 Hurmekoski 等人 (2017 年) 的未发表的手稿修改，新型木制品市场，欧洲森林研究所。

*根据芬兰海关统计数据；**木材密度 (500 千克/立方米) 与混凝土 (1850 千克/立方米) 不同 – 替代相同体积 (立方米) 的混凝土所需的木材数量减少 3-4 倍 (立方米)。



图 6。在温哥华 (UBC) 建造 Brock Commons 学生宿舍，这是世界上最高的交叉层压木材 (CLT) 建筑，高 53 米。在许多国家，建筑法规仍然根据过时的法规限制木材建筑的高度。照片来源：<https://www.naturallywood.com/>

其他材料回收。在引入该指令时，欧盟 27 国的建筑垃圾回收率平均为 63%，而木材的回收率为 30%，各国之间存在显著差异。三分之一的拆除木材直接用于能源生产，从废物等级的角度来看，这被认为是最不利的选择。寻找更有效的拆除木材回收方案将是一项挑战，部分原因还在于木材的化学浸渍或使用油基胶、油漆和其他材料混合物。在这方面的一个重要方面是级联使用，这意味着在燃烧之前延长生产循环中木材的寿命，例如在以下应用顺序中：梁>地板>窗框>定向刨花板>纤维板>燃烧 (Vis 等人2016 年)。

欧盟的木材采购是建立在可持续森林管理原则的基础上的。因此，木材建筑与全球森林砍伐无关，这主要是由于发展中国家的土地使用竞争造成。木材建设可为积极森林管理提供激励，以便维持森林的长期碳汇，因为森林经营主体出售木材的收入大部分来自大直径原木。但是，木材结构可能增加的原材料影响可以保持适度。据估计，即使在欧洲所有建筑的木材建设中，理论上 100% 的市场份额，也将转化为 4 亿立方米的木

材直接需求 (Hurmekoski 2017 年)。这相当于欧盟森林年增长量的 50% 左右，比 2016 年欧盟工业原木总产量增加 4500 万立方米。根据现实的假设，增加的木材建设对木材资源需求的影响仍然相对较小：例如，由于占 20% 的市场份额，欧盟的圆木需求增加大约为 5,000 万立方米。

木制品的制造还产生了森林残留物和侧流原材料，例如木片、锯末和树皮，它们用于生产可替代化石原料的木质板、生物能源和生化物。欧盟 28 国的这些侧流产品的数量目前每年超过 1 亿立方米。

总之，欧盟和成员国层面有一系列政策可以提高建筑行业的可持续性和资源效率。这些项目可以直接或间接支持在建筑中使用较少的环境负担的材料，如木材。欧盟建筑指令（2011 年欧盟官方期刊）没有提到这些需求。因此，第一步需要为建筑市场创造一个公平的竞争环境，消除国家建筑法规中木材建筑不必要的管制和成本负担。由于某些国家已经出现这种情况，与其他国家分享这些经验是有益的。

4.4 纺织市场⁷

纺织业是世界上最大的工业之一，对纺织纤维的需求正在迅速增长。2015 年，全球纺织纤维产量约为 9000 万吨，是 1990 年产量的两倍多（国际人造丝织物和合成纤维委员会 2017 年）。在全球纺织纤维市场中，2015 年合成纤维（主要是聚酯纤维）占 69%，棉花占 23%，人造纤维素纤维（MMCF）占 7%（国际人造丝织物和合成纤维委员会 2017 年）。由于人口和收入的增长，预计到 2030 年，全球纺织品需求将增长到 1.3 亿吨以上（Hämmerle 2011 年），到 2050 年将增长到 2.5 亿吨以上。（Alkhagen 等人 2015 年）。

尽管全球增长前景看好，但预计棉花生产将停滞不前，因为粮食生产日益需要的可耕地有限，以及棉花生产所需的大量灌溉。根据世界自然基金会的说法，生产1公斤棉花需要 20000 升以上的水，相当于一件 T 恤和一条牛仔裤（世界自然基金会，1999 年；另见 Antikainen 等人 2017 年）。棉花灌溉约占全球用水的 3% (H·M·Melle 2011 年)。另一方面，需要逐步淘汰油基合成纺织纤维。此外，由于比合成纤维具有更好的水分管理（吸收）性能，纤维素纤维往往更方便用户（Hämmerle 2011 年）。这些因素导致对人造纤维素纤维的高需求（图 7）。鉴于最近新纤维素纤维的开发是成功的，人造纤维素纤维的生长速度甚至可能高于图所示（Alkhagen 等人 2015 年）。

纤维素纤维（如木质纤维）的需求在未来几十年可能会显著增加。事实上，已经有证据证明了这一点。人造纤维素纤维的原料被称为溶解浆，其本世纪的全球产量增加了一倍以上，从 2000 年的 290 万吨增加到 2016 年的 630 万吨，达到木浆总产量的 3.5%（粮农组织统计数据库）。大约 75% 的溶解纸浆用于粘胶生产，随后用于纺织工业，其余用于高度变化的高端市场。由于溶解浆单价接近 1,000 美元/吨，目前市场规模约为 60 亿美元。从欧洲来看，溶解纸浆主要出口到中国和印度，那里是全球大部分纺织品生产的地方。随着全球纺织品需求的不断增长，越来越多的纸浆厂可能被改造成生产用于纺织工业的溶解浆。

人造纤维素纤维市场以粘胶为主，占有 96% 的份额（Vehviläinen 2015 年）。Viscose 创建于十九世纪晚期。除了一些技术性能（例如，变皱）之外，它还有一个主要缺点，即在生产过程中使用有毒化学品（二硫化碳）。然而，最近，

已经开发了几种替代的人造纤维素纤维技术来减轻当代粘胶的缺点。除了一种新兴技术之外，所有技术都基于使用危害较小的溶剂来溶解纸浆，通常还会提高技术性能。

粘胶、棉花和涤纶之间环境影响评估的结论基本上取决于对不同标准的重视程度，这可能会有很大的差异，特别是在企业自己进行的生命周期评估研究中（Viitala 2016 年）。（Shen 等人 2010 年）认为所有的人造纤维素纤维（除了一些例外）都比主要竞争产品具有更好的环境特性。人造纤维素纤维的水足迹比棉花少 10-20 倍（Shen 等人 2010 年）。然而，棉花的内在能量低于现代人造纤维素纤维（Shen 等人 2010 年）。假设的能源生产形式会影响到产品在二氧化碳排放方面的比较。总之，人造纤维素纤维可以有显著的环境效益。特别地，新的木质再生纤维（例如，IONCELL-F Spinnova）可以克服现代粘胶的一些缺点，从而实现甚至更好的环境效益。（Judl 等人 2016 年）。

全球日益增长和更加富裕的人口将越来越需要服装。与合成或棉基纺织品相比，木质纤维素纤维纺织纤维可以为此提供更可持续的原材料来源。然而，仍然需要在木质纤维上进行研发创新，以通过去除使用危险化学成分使其更环保（Michud 等人 2016 年）。此外，考虑到这将是一种非饲料和非粮食供应来源，甚至有助于增加可用于农业的土地（通过减少对棉花生产的需求），有理由推进以木材为基础的纤维素纺织生产。通过 Spinnova 技术，一些新闻认为人们可以用 6000 万立方米的木材取代全球棉花产量（2014 年为 2500 万吨）。其他人估计需要 1000 万立方米才能取代 10% 的全球棉花市场（Uusipuu 2017 年）。

4.5 塑料市场⁸

森林生物质已经走到了今天，未来可能更是如此，这是各种化学品和产品的原料。在这里，我们只关注一类应用，即塑料。塑料是典型的有机聚合物，但也可能含有其他物质。市场上的大部分塑料是合成的，通常是从石化产品中提取的，用于包装、PET 瓶、托盘、容器和服装等产品（图 8）。然而，一些是由非合成的可再生材料精制而成，例如半纤维素和纤维素，它们是最丰富的天然聚合物。根据世界经济论坛，塑料产量在过去 50 年中迅速飙升，从 1964 年的 1500 万吨增加到 2014 年的 3.11 亿吨，预计到 2050 年翻

⁷ 本分节主要根据 Hurmekoski 等人（2017 年）。新型木制品市场，未出版手稿。森林部门多样化：新型木制品的作用。欧洲森林研究所。

⁸ 本分节主要根据 Hurmekoski 等人（2017 年）。新型木制品市场，未出版手稿。森林部门多样化：新型木制品的作用，欧洲森林研究所。

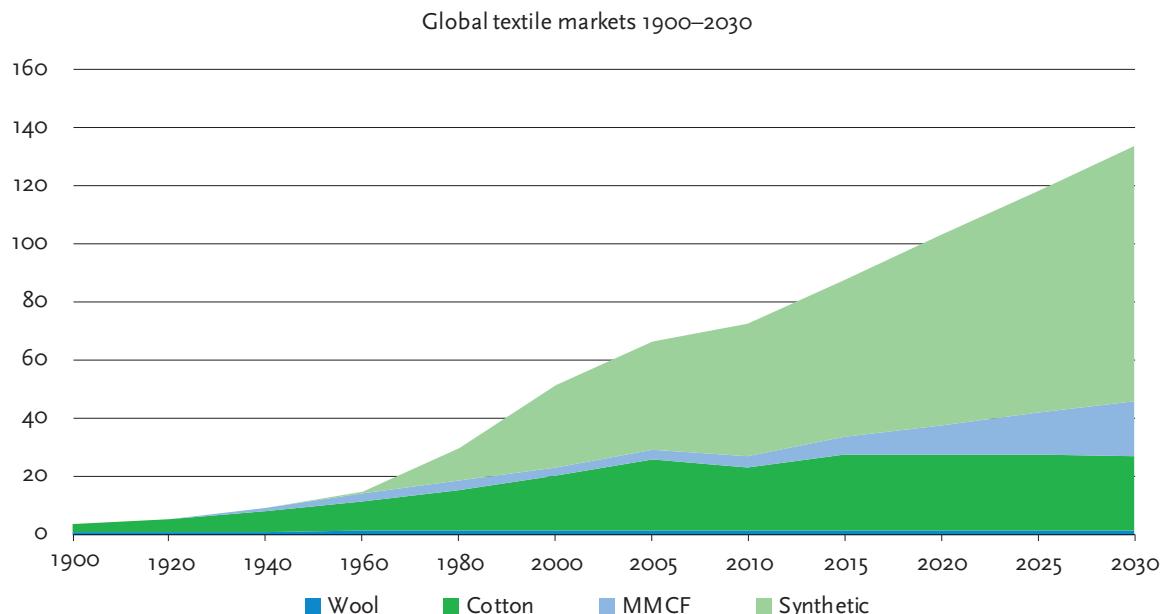


图7。全球纺织品市场的演变和展望。来源：*Hämmerle (2011 年)*。

两番，达到 11 亿吨（2016 年世界经济论坛）。在所有塑料中，包装是最重要的子部门，占塑料总使用量的 26%。

石化塑料的生产和使用与主要的环境可持续性挑战，二氧化碳排放，生态系统（如海洋）中不可降解的塑料废物和废物问题有关。据估计，32% 的塑料包装逃避了收集系统，并且通过降低诸如海洋和湖泊等重要自然系统的生产率而产生了巨大的经济成本（2016 年世界经济论坛）。在欧洲，在所有消费塑料中，2014 年有 29.7% 被回收，39.5% 被燃烧，30.8% 被填埋（欧洲塑料工业协会 2016 年）。在像往常一样的情况下，到 2015 年海洋预计每吨鱼含有一吨塑料，而到了 2050 年，塑料比鱼多。根据世界经济论坛，塑料包装的环境外部性成本，加上其生产的温室气体排放相关成本，每年至少为 400 亿美元。

塑料的三重环境问题（扰乱生态系统、产生垃圾填埋场、造成二氧化碳排放）使它成为需要很快找到替代品的关键材料。立即采取的行动应该是大力增加塑料的回收和再利用。然而，还需要逐渐用对环境危害较小的材料替代塑料。一个有希望的解决方案是使用森林生物塑料。

循环生物经济的设计需要在整个生命周期方面重新思考塑料供应链的所有方面（Prieto 2016 年）。在这种情况下，重要的是要认识到生物塑料不一定是可生物降解的，而是可以降解的。生物塑料大致可分为两类：耐久性和生物可降解性。例如，可口可乐 PET 植物瓶是一种耐用的生物塑料，它是传统石化 PET 瓶的替代品。植物

瓶采用植物材料制成，含有高达 30% 的乙醇，不会被分解，但可以像 PET 瓶一样回收利用。可生物降解的生物塑料，如 PLA（聚乳酸）与今天的绝大多数塑料不同，在环境中自然分解或可能堆肥。石化塑料可能会降解成越来越小的碎片，但大多数不会分解或被周围环境吸收。然而，在大多数情况下，生物可降解生物塑料（如 PLS）只会在高温工业堆肥设施中分解，而不会在普通家庭堆肥仓中分解。更符合循环生物经济的做法是将重点放在由森林生物质（或植物材料）制成的可循环再利用的耐用生物塑料上。由此，有价值的能量和材料投入可以在生产周期中保持更长时间。建造一种适合现有基础设施的生物塑料，而不是从零开始建造一种全新的可降解塑料堆肥基础设施，这样做也会更具成本效益。然而，两种方案有可能最终都必须解决塑料的环境可持续性问题。

显然，生物塑料可以支持可持续循环生物经济的运动。然而，鉴于生物塑料本身并不一定是最环保的，但它可以是可持续的，政策和法规将在引导其走向最佳路径方面发挥重要作用。例如，回收和再利用对于石油塑料和生物塑料都是至关重要的，如果没有法规，这将不能够充分地进行。在经济和环境可持续性方面，政策对于引导多样化的生物塑料部门走上最优的发展道路也很重要。

生物塑料的经济竞争力和市场潜力是什么？看来，最容易进入的市场将是所谓的“滴入式”生物化学品，如聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）、

Different plastics for different needs

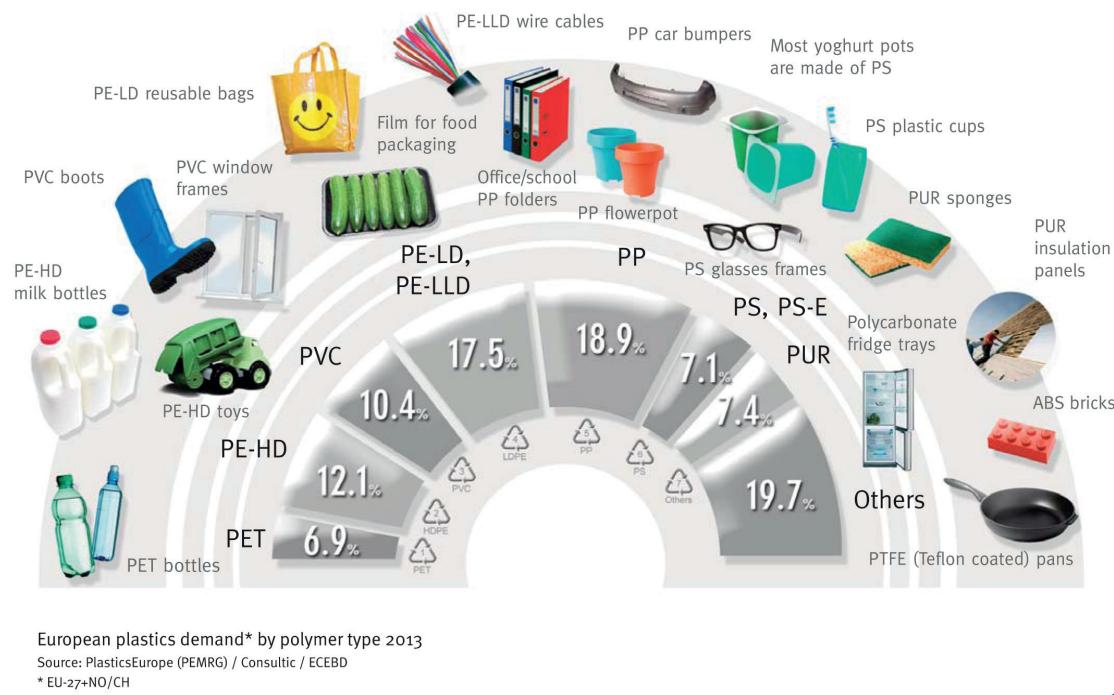


图 8。欧洲塑料需求采用聚合物类型。来源：欧洲塑料工业协会 (PEMRG) / Consultic / ECEBD

16

乙烯、丙烯(PE)和二甲苯，化学成分与石油化工产品相同，但具有生物来源成分。紧随其后的是新型聚合物，如 PHA 和 PLA，自 2014 年以来市场增长率很高，预计增长到 2020 年 (Prieto 2016 年)。这些化学品具有直接适应现有应用的特性，它们的需求主要取决于价格和环境足迹。滴入式生物化学制品行业很可能处于强劲扩张的边缘 (De Jong 等人 2012 年)。市场分析显示，每年的潜在增长率在 10% 至 30% 之间。2013 年欧洲塑料需求为 4600 万吨，营业额为 3200 亿欧元，就业人数超过 145 万 (塑料制造商为 134,000，其余为塑料转换) (欧洲塑料工业协会 2016 年)。

塑料的耐久性最初被认为是一种优点；然而，这种耐久性造成了环境问题。对于生物滴入式塑料来说，耐久性也是一个问题，从循环经济和可持续性的角度来看，这可能会阻碍这些材料的循环利用。在此背景下，生物塑料的废弃物管理是未来循环经济最重要的问题之一 (Prieto 2016 年)。为了解决这一问题，出现了生物降解和生物勘探相结合的战略。根据这些发展动态，生物塑料的废物管理需要由政策制定者进行标准化和监管 (Prieto 2016 年)。

4.6 服务的作用

欧盟生物经济战略将以下问题视为重大机遇或挑战：

- 确保食品安全；
- 可持续管理自然资源；
- 减少对不可再生资源的依赖；
- 减缓和适应气候变化；
- 创造就业，保持欧洲竞争力 (Wolfslehner 等人 2017 年)。

因此，该战略主要解决了新的生物制品、生物能源和原材料使用等问题。这意味着只分析了生物质自然资源部门中非常有限的部分。自然資源，特別是森林和森林部門可以提供許多不同類型的服務。

以森林为基础的文献区分了三种服务类别：1) 与森林有关的服务，2) 与林业有关的服务，3) 与工业有关的服务 (Näyhä 等人 2015 年)。与森林有关的服务是与森林直接相关的服务，例如自然旅游和娱乐、狩猎、蘑菇和浆果采摘、土壤和水服务以及森林中的碳固存。与林业有关的服务



图 9。森林生态系统服务的例子。照片: Eeva Oinonen.

可包括咨询服务、森林管理规划、森林清查、行政管理、治理、研发和教育。与工业有关的服务是与森林产品制造相关的服务，例如产品创新、研发和实际生产过程、总部功能以及产品本身的物流和营销。在这方面，工业是指从事森林产品生产的所有工业活动；所以，包含森林工业，例如机械和工程工业、能源工业、化学工业和食品工业。

对生物经济战略中的服务缺乏重视的主要原因可能是对以森林为基础的服务所能提供的经济、就业和自然资本管制职能缺乏了解。它们不像传统的已上市的林产品（如纸浆和纸张、锯材、胶合板）或新兴产品那样具体和明显（见上面的例子）。其中一个原因是缺乏数据，难以量化其作用，以及对支持生物经济的自然资本的作用仍然缺乏了解。

林业（制造业）和林业（初级生产）包括若干在官方统计中无法直接感知和衡量的服务活动。与森林有关的服务也有明显的测量问题。在制造业中，服务功能通常嵌入到生产过程中，官方统计数据并未显示产品价值链中不同服务（任务）的增值和创造就业机会。

来自森林的市场商品和服务包括例如木材、木材燃料、浆果和蘑菇；非市场商品和服务包括例如水保护、土壤保护、健康保护、生物多样性保护、气候调节、旅游、娱乐、体育活动、精神服务、文化服务和历史服务（Wolfslehner 等人 2017 年）。

Näyhä 等人回顾。（2015）的综述指出，有必要开发服务和任务的知识、数据库和指标，以便更好地评估服务在自然资源部门中的作用。例如，确定并量化产品价值链或生态系统服务中特定服务任务的重要性十分的重要。服务概念和现象的模糊性使人们很难注意到在以森林为基础的部门中的服务及其未来潜力。主要是由于缺乏数据和信息，在森林为基础的部门也没有对服务的前瞻性研究。但是，鉴于它们在经济增值和创造就业方面的重要性日益增加，能够评估其未来发展并将其与森林产品和林业前景研究联系起来非常重要，例如由联合国欧洲经委会-粮农组织定期进行的研究（例如欧洲经委会/粮农组织，2011 年）。还缺乏对全球、国家或公司层面的服务发展政策和战略的影响的分析。研究和“言论”可以帮助使这些服务更加可见，并帮助决策者认识到它们，即使它们从未完全出现在市场上。

总之，应更好地把以森林为基础的服务理解为循环生物经济的一个组成部分。有必要更新生物经济战略、商业模式和政策，以便从将来服务可能产生的增值和就业潜力中获益。由于关于以森林为基础的部门服务的数据非常少，这一因素限制或让定量统计或建模方法的使用成为不可能，因此特别需要定性的系统预见方法（Näyhä 等人 2015 年）。此外，还需要编制数据和指标，以便更好地量化和监测服务的作用，从而帮助进行投资规划。

关键信息

- 在生物经济战略中，以森林为基础的部门往往隐藏在农业部门的阴影中。造成这种情况的一个原因可能是，人们认为森林部门只与部门本身有关，而人们对其更大的跨部门相关性和社会潜力仍然知之甚少。
- 目前，以森林为基础的产品被用于主要和正在发展的部门，如建筑部门、塑料部门和纺织品部门。这些部门目前主要是环境问题的原材料，而以木材为基础的产品往往提供了一种更可持续的选择。
- 现代木结构（EWP）在以前没有见过的领域（如高层建筑）提供了新的创新解决方案。与（例如）混凝土相比，木材建筑的优点是：较低的能源消耗，更好的二氧化碳减排平衡，更快和更好的受控预制建筑工艺，更易于循环和级联。
- 与合成或棉基纺织品相比，木质纤维素纤维纺织纤维可以为纤维提供更可持续的原材料来源。
- 塑料的三重环境问题（扰乱生态系统、产生垃圾填埋场、造成二氧化碳排放）使它成为需要很快找到替代品的关键材料。木质纤维越来越引起人们的兴趣，而我们仅处于这一增长趋势的开端。
- 在现有的生物经济策略中，服务的潜力没有得到很好的利用。森林为基础的服务提供多样化和不断增长的经济和就业潜力。在新的循环生物经济战略中，服务应与产品处于同等水平。



5. 结论和政策影响

全球商定的 2030 年《可持续发展议程》及其《可持续发展目标》和《巴黎气候协定》（2015 年）确定了欧洲国家所承诺的目标和框架。这些目标意味着更具体的次级目标，例如减少二氧化碳、适应气候变化、尽可能的减少化石资源的使用、发展城市和农村地区、创造新的市场和就业机会、以及发展所有可能层面的更可持续的经济的目标。欧盟和欧洲国家已经设立了航标，让它们能够导航到这些全球协定绘制的目的地。我们认为循环生物经济将是实现这一目标的关键战略和工具。

正是在这种大背景下，我们为欧洲循环生物经济战略制定了结论和建议：

分析差距

在更具体的层面上，需要反思 2012 年发布的欧盟生物经济战略，以及与之有关的相关行动计划和实际措施。许多欧洲国家也有特定的国家或地区生物经济战略。它们在何时启动、由哪种类型的策略和行动支持、以及它们的具体目标是什么几个方面表现出很大的异质性。显然，这些策略和行动近年来带来了积极的影响。在这些战略的帮助下，关于生物经济、其潜力及其在欧洲发展的一般知识已经取得了进展。

但是运营环境和知识已经发生了变化。可持续发展目标和巴黎协议提出了新的需求，同时与生物经济相关的科学知识和实践经验也取得了进展。我们需要分析在这些变化的环境下，生物经济战略的必要成分是什么，以及当前经营战略中的差距。在本报告的范围内，我们只能在战略层面上处理并提请注意若干有限的关键问题。其他的研究和工作是必要的细节补充和支持（见例如 Wikel 2017）。

解决可持续性

循环生物经济战略不应以可持续性为前提，而应明确的解决可持续性。人们已经担心生物经济可能产生负面影响。一些研究人员和非政府组织对其环境可持续性提出了质疑，并对其可能以生物多样性为代价的欧盟森林开发或短期内可能导致更多的二氧化碳排放的生物能源表示关切（欧洲科学院科学咨询委员会 2017 年；Fern 等人 2017；2017 年公开信）。这些观点是可以理解的，也是需要考虑的重要因素，尤其是考虑到过去存在的可持续性问题。

科学界对这些问题的看法也各不相同，其影响

在很大程度上取决于如何推进和监测生物经济发展（Nabuurs 等人 2015 年，Berndes 等人 2016 年，Wolfslehner 等人 2016 年；Palahi 2017 年）。目标应该是最大限度地发挥协同作用，最大限度地减少生物经济、生物多样性和减缓气候变化之间的权衡。循环生物经济有助于支持生物多样性和气候缓解，而生物多样性和气候缓解是成功的循环生物经济所必需的。

确保可持续增长

经济增长与自然资本状况的改善之间可以产生协同效应。Helm (2015) 认为：“低增长或零增长有两个主要缺陷：不一定可取的；但这永远不会发生。因此，增长的速度不是问题，增长的质量才是问题。它需要推动真正可持续的经济增长，而不是过去常见的那种不可持续的增长。一个基本的要求是，不能利用可再生资源，使其无法再生，即成为不可再生。当然，环境可持续增长还有许多其他要求，而循环生物经济战略应该解决推进这些增长所需的政策。”

整合自然资源核算

理解和重视自然和生态系统在循环生物经济中发挥的作用也是一项基本需要。这里的关键方法是推进自然资本核算并将其整合为循环生物经济。这里的关键方法是推进自然资本核算，并将其整合成循环的生物经济。对它进行核算不容易：如何将生物多样性的多个维度整合到一个共通的、可衡量的指标中（比如二氧化碳），并据此确定一个价值（价格）？但是，在经济核算体系和统计中获得自然资本的价值会有所帮助（Helm 2015 年；Sukhdev 等人 2010 年；生态系统与生物多样性经济学 2017 年）。如果能够很好的做到这一点，市场和政策可能更容易解决环境的可持续性问题。“自然资本资产核查”等方法已经可以帮助决策者了解自然资本资产当前和未来表现的变化将如何影响人类福祉和循环生物经济（英国自然资本资产工具）。循环生物经济战略或其行动计划可以纳入这些战略。

倡导足够的碳定价

与生物经济相关的政策至少已经取得了部分的成功。例如，欧盟气候政策（Delbeke 和 Vis, 2015 年）尽管仍有许多工作要做，但有资料表明已经取得了很多成就，例如，打破了欧盟

在 GDP 增长与二氧化碳排放之间的联系。然而，适当的二氧化碳排放价格将是循环生物经济的重要推动力。欧盟 2017 年 8 月二氧化碳的排放配额 (ETS) 的价格低于 6 欧元/吨。这远低于布鲁塞尔麦当劳的一个汉堡包价格（8 欧元）。显然，二氧化碳价格需要大幅上涨才能开始对生产者和消费者行为产生重大影响。从经济学和过去的历史来看，有大量证据表明，价格（税收）如何能造成消费者和生产者行为的巨大变化。

与此相关的是需要停止对化石燃料生产的补贴。最近，国际货币基金组织的经济学家估计化石燃料补贴的真实成本 (Coady 等人 2017 年)，据了解不仅包括直接补贴成本，还包括间接环境成本，如全球变暖和空气污染造成的死亡，在 2013 年占全球 GDP 的 6.5%。化石燃料的四大补贴国是中国、美国、俄罗斯和欧盟（2,950 亿美元）。关键是政策制定者和公众需要意识到化石燃料补贴的真实成本，因为化石燃料的定价低于其真正的社会成本。

可持续发展目标和巴黎协定表明，世界各国都把环境作为优先目标。现在需要的是他们也在政策层面上这样做。实施导致足够高的二氧化碳价格的政策，取消化石燃料补贴，将是实现可持续发展目标和《巴黎协定》目标的重要一步。因此，提倡这些措施也应该成为循环生物经济战略的一个关键部分。

增加研究、开发和创新投资

需要增加研究、开发和创新 (R&D&I) 以加强循环生物经济的基础。在整个创新网络中，需要增加资金，例如基础研究、应用研究、教育（更适合循环生物经济研究的课程）以及新产品和服务的试点。此外，还需要有平台将科学知识与政策制定和行动联系起来。通常，瓶颈不在于缺乏研究，而在于缺乏综合知识，并以一种与政策制定相关的格式和决策者能够吸收的形式构建信息。在研究背景下，不仅生物技术、工程和化学科学需要资金，社会和环境科学、社会可持续性和前瞻性研究也越来越需要资金。

关注市场和服务

在生物产品市场开发方面，生物经济战略的重点一直放在支持新产品开发上。以森林为基础的部门愿景和战略文献一直着迷于这样一个事实，即从森林生物量中，一个人原则上可以生产我们今天所生产的所有产品，这些产品都是用化石为基础的原材料生产的。然而，现在越来越多的产品进入市场或接近进入市场，需要重点关

注。“关键问题似乎不是森林生物量是由什么构成，而是在什么规模、何地、由什么驱动？”（Hetenäki 和 Hurmekoski 2016 年）但除了产品之外，服务的作用还应得到更好的理解和提高，并应加强森林和社会的恢复力。它们将成为一个成功的循环生物经济的组成部分。

目标的优先性

一个好的策略对战略要解决的问题和它想要达到的目标有现实的判断。关键问题是目前的生活方式不可持续，其目标是帮助实现联合国可持续发展目标和巴黎协定的目标。其次，战略需要关注最重要的问题并找到解决它们的工具。它不是提供无穷无尽的建议清单，以实现世界级的创新、技术驱动、智能环境解决方案、资源效率等；也不应提供一长串新的倡议、平台、基金和机构改革。很少有人会不同意这些观点，但这恰恰是问题所在：这是对所有人和所有事的承诺，而不是战略。设定有限数量的优先目标和实现目标的工具。要部署策略，还需要一个行动计划。本文档和其他支持文档可以提供更多详细信息。如果政府支持循环生物经济战略，包括总理在内的主要大臣必须做出承诺，以获得优先权。还需要一个监测实现战略目标和确保发展可持续性的进展的系统。

主流的循环生物经济政策

显然，循环生物经济及其战略与不同领域的许多政策有联系。例如，所有与自然资源相关的政策、数字信息政策、创新政策、研发政策、增长政策等。开始更详细地列出所有这些并不富有成效，而关键的一点是，循环生物经济需要以某种方式纳入主流并与所有政策相协调。这涉及到在一个系统层面上创新，而不仅仅是提高系统或一个部门的组件的性能。

创造一种言论

需要将生物经济视为城市地区的一项关键战略，而不仅仅是农村地区的一项关键战略，而传统上往往如此。这也与生物经济的社会接受度和包容性有关。如果一个城市人口看不到它与自己的相关性，循环的生物经济就不会成功。为了支持社会参与，需要一个基于事实的循环生物经济言论及其有效的沟通。

循环生物经济的重要性（及其战略）及其迫切性也可以通过一个可能不切实际的假设问题来看待。问题是：在我们采取行动之前，我们是否需



要一场非常严重和残酷的灾难，如气候变化灾难和自然资本的重大损失——或者我们现在采取行动？如果我们现在就采取行动，一个必要的（尽管还不够充分的）行动工具就是推进循环生物经济。政客们的艺术和责任是向选民兜售这一点，以确保连任，从而确保这条道路的长期延续。为此，需要形成一种以事实为基础的循环生物经济言论，它具有社会吸引力和长寿性。“无论多巧妙，如果政策来自于少数人头脑而没有深入人心就没有成功机会。”⁹

关键信息

- 循环生物经济战略将是帮助实现《2030 年可持续发展议程》和《巴黎气候协定》的关键工具。
- 循环生物经济有助于支持生物多样性和气候缓解，而生物多样性和气候缓解是成功的循环生物经济所必需的。
- 要推进循环生物经济，需要付出比当前水平更高的二氧化碳排放成本。与此相关的是需要立即停止对化石燃料的生产的补贴。2013 年，欧盟化石燃料补贴的实际成本（包括直接补贴成本和间接环境成本）接近 3000 亿美元（Coady 等人 2017 年）。
- 需要增加研究、开发和创新的投资以加强循环生物经济的基础。
- 除了促进生物制品的发展外，服务的作用还应得到更好的理解和提高。服务将成为一个成功的循环生物经济不可或缺且日益重要的组成部分。
- 亦需要将生物经济视为城市地区的一项关键战略，而不仅仅是农村地区的一项关键战略，而传统上往往如此。如果一个城市人口看不到生物经济相关性，循环的生物经济就不会成功。为了支持社会参与，需要一个以事实为基础的循环生物经济言论及其有效的沟通。

引用自 Henry Kissinger，美国前国务卿及政治科学家。在原文中，Kissinger 先生主要针对外交政策，这里引用指适用于所有政策。

参考

- Alkhagen, M., Samuelsson, Å., Aldaeus, F., Gimåker, M., Östmark, E., Swerin, A. 2015. Roadmap 2015 to 2025. Textile materials from cellulose. RISE - Research Institutes of Sweden.
- Antikainen, R. et al. 2017. Renewal of forest based manufacturing towards a sustainable circular bioeconomy. Reports of the Finnish Environment Institute 13/2017. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/186080>
- Berndes, G., Abt, B., Asikainen, A., Cowie, A., Dale, V., Egnell, G., Lindner, M., Marelli, L., Paré, D., Pingoud, K. and Yeh, S., 2016. Forest biomass, carbon neutrality and climate change mitigation. From Science to Policy 3. European Forest Institute.
- Bioökonomierat - German Bioeconomy Council, 2015a. Bioeconomy Policy. Synopsis and Analysis of Strategies in the G7. A Report from German Bioeconomy Council. *Bioökonomierat*: Berlin, Germany.
- Bioökonomierat - German Bioeconomy Council 2015b. Bioeconomy Policy (Part II). Synopsis of National Strategies around the World. *Bioökonomierat*: Berlin, Germany.
- Bolte, A., Ammer, C., Löf, M., Madsen, P., Nabuurs, G-J., Schall, P., Spathelf, P. and Rock, J., 2009. Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24, 473 - 482.
- Brunet-Navarro, P., Jochheim, H., and Muys, B., 2016. The effect of increasing lifespan and recycling rate on carbon storage in wood products from theoretical model to application for the European wood sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1 - 13.
- CIRFS, 2017. World Man-Made Fibres Production, European Man-made Fibres Association CIRFS. <http://www.cirfs.org/KeyStatistics/WorldManMadeFibresProduction.aspx>, visited March 8, 2017.
- Coady, D., Parry, I., Sears, L. and Shang, B., 2017. How large are global fossil fuel subsidies? *World Development*, vol. 91, issue C, 11 - 27.
- Communiqué Global Bioeconomy Summit, 2015, Making Bioeconomy Work for Sustainable Development. http://gbs2015.com/fileadmin/gbs2015/Downloads/Communique_final.pdf
- Costanza, R., Cumberland, J.H., Daly, H., Goodland, R. and Norgaard, R.B., 1997a. An Introduction to Ecological Economics. CRC Press, 288 p.
- Costanza, R., et al., 1997b. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253 - 260.
- D'Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, M., Lähtinen, K., Korhonen, J., Leskinen, P., Matthies, B.D. and Toppinen, A., 2017. Green, Circular, Bio economy: a comparative analysis of sustainability concepts. *Journal of Cleaner Production* (accepted for publication).
- Davidson, B., 2016. The role of narrative change in influencing policy. <https://onthinktanks.org/articles/the-role-of-narrative-change-in-influencing-policy/>
- De Jong, E., Higson, A., Walsh, P., and Wellisch, M., 2012. Biobased chemicals value added products from biorefineries. IEA Bioenergy, Task42 Biorefinery.
- Delbeke, J. and Vis, P. (eds.), 2015. EU Climate Policy Explained. Routledge.
- De Perthus, C. and Jouvet, P-A. (2015). Green Capital: A New Perspective on Growth. Columbia University Press. 288 p.
- EASAC - the European Academies' Science Advisory Council, 2017. Multi-functionality and sustainability in the European Union's forests. EASAC policy report 32, April 2017.
- El-Chichakli, B., von Braun, J., Lang, C., Barben, D. and Philp, J., 2015. Policy: Five cornerstones of a global bioeconomy. *Nature*. 14 July 2016, vol 535.
- European Bioeconomy Stakeholders Manifesto, 2016. <https://lumencms.blob.core.windows.net/site/30/Manifest.pdf>
- European Commission, 2002. Life Sciences and Biotechnology: A strategy for Europe; COM (2002)27; European Commission: Brussels, Belgium, 2002.
- European Commission, 2012. Innovating for Sustainable Growth. A Bioeconomy for Europe. European Commission, Brussels, Belgium 2012.

- European Commission, 2016a. EIF and European Commission launch Pan-European Venture Capital Fund(s)-of-Funds programme. http://www.eif.org/what_we_do/equity/news/2016/efsi_pan-european_venture_capital_funds_of_funds.htm
- European Commission, 2016b. Study on the potential of green bond finance for resource-efficient investments. <http://ec.europa.eu/environment/enveco/pdf/potential-green-bond.pdf>
- European Commission, 2017. Public Procurement of Innovative Solutions - webpage, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/public-procurement-innovative-solutions>
- CIRFS, 2016. Urban Europe. 2016 Edition. <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7596823/KS-01-16-691-EN-N.pdf>
- Grau, R., Kuemmerle, T., and Macchi, L., 2013. Beyond ‘land sparing versus land sharing’: environmental heterogeneity, globalization and the balance between agricultural production and nature conservation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(5), 477 – 483.
- Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M.C., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kanie, N., and Noble, I., 2013. Sustainable development goals for people and planet. *Nature* 495, 305 – 307.
- Fady, B., Cottrell, J., Ackzell, L., Alía, R., Muys, B., Prada, A., and González-Martínez, S. C., 2016. Forests and global change: what can genetics contribute to the major forest management and policy challenges of the twenty-first century? *Regional Environmental Change*, 16(4), 927 – 939.
- Fern, Birdlife Europe and Transport & Environment, 2017. What impact has the Renewable Energy Directive had on EU forests? [http://www.fern.org/sites/fern.org/files/briefingLULUCFjune2017%20\(2\).pdf](http://www.fern.org/sites/fern.org/files/briefingLULUCFjune2017%20(2).pdf)
- Hanewinkel, M., Cullmann, D.A., Schelhaas, M.J., Nabuurs, G.-J., and Zimmermann, N.E., 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change* 3: 203 – 207. doi: 10.1038/nclimate1687
- Hämmerle, F.M., 2011. The Cellulose gap (the future of cellulose fibers). *Lenzinger Berichte* 89, 12 – 21.
- Helm, D., 2015. Natural Capital: Valuing The Planet. Yale University Press. 296 p.
- Hetemäki, L., 2014 (ed.). Future of the European Forest-Based Sector: Structural Changes Towards Bioeconomy. EFI What Science Can Tell Us, No. 6, 108 p.
- Hetemäki, L., 2017. Future of forest industry in bioeconomy. Lecture, Managerial economics and business strategy in forest industry -course, University of Helsinki, 16 February 2017. https://www.researchgate.net/publication/313824231_Future_of_forest_industry_in_bioeconomy
- Hetemäki, L. and Hurmekoski, E., 2016. Forest products markets under change: review and research implications. *Current Forestry Reports*, vol. 2, no. 3; 177 – 188.
- Hurmekoski, E., 2016. Long-term outlook for wood construction in Europe. Ph.D. Thesis, University of Eastern Finland. <https://dissertationesforestales.fi/article/1994>
- Hurmekoski, E., 2017. How can wood construction reduce environmental degradation? European Forest Institute. European Forest Institute.
- Hurmekoski, Jonsson, Korhonen, Hetemäki and Leskinen, 2017. Diversification of the forest sector: Role of new wood-based products. Unpublished manuscript, European Forest Institute.
- InnProBio, 2017. Biobased Products and Services in the Circular Economy Fact Sheet No. 4.
- Joint Research Center (JRC) 2017. <http://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/BIOECONOMICS/index.html#section-top>
- Judl, J., Hildén, M., Antikainen, R., Temmes, A., Kuisma, M. and Peck, P., 2016. The renewal of forest-based industries needs to focus on environmental opportunities and challenges. Tekes Policy Brief 10/2016. <https://www.tekes.fi/globalassets/global/ohjelmat-ja-palvelut/kampanjat/innovaatiotutkimus/policybrief-10-2016.pdf>
- Kharas, H., 2017. The unprecedented expansion of the global middle class. An update. Global Economy & Development. Working paper 100. February 2017. Brookings Institute.

- Kivimaa, P. and Kern, F., 2016. Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions. *Research Policy* 45, 205 - 217.
- Lefèvre, F., et al., 2014. Considering evolutionary processes in adaptive forestry. *Annals of Forest Science*, 71(7), 723 - 739.
- Leoussi, J. and Brzezicka, P., 2017. Access-to-finance conditions for Investments in biobased Industries and the Blue Economy. European Investment Bank, Luxembourg, June 2017.
- Liang, J., et al., 2016. Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science*, 354(6309).
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M.J., Marchetti, M., 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For. Ecol Manage* 259, 698 - 709.
- Lovrić, M., and Mavšar, R., 2017. Synthesis on forest bio-economy research and innovation in Europe. Study carried out by European Forest Institute for the SCAR Strategic Working Group on forests and forestry research and innovation. October 2017.
- Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G., and Swift, M. J., 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277(5325), 504 - 509.
- McCormick K. and N. Kautto, 2013. The Bioeconomy in Europe: An Overview. *Sustainability* 5: 2589-2608.
- Michud, A., Tanttu, M., Asaadi, S., Ma, Y., Netti, E., Kääriainen, P., Persson, A., Berntsson, A., Hummel, M., and Sixta, H., 2016. Ioncell-F: ionic liquid-based cellulosic textile fibers as an alternative to viscose and Lyocell. *Text. Res. J.* 86, 543 - 552.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Ministry of Economic Affairs and Employment, Finland, 2017. Wood-Based Bioeconomy Solving Global Challenges. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79985/TEM_oppaat_2_2017_Wood_based_Bioeconomy_Solving_Global_challange_29052017web.pdf
- Muys B., 2013. Sustainable development within planetary boundaries: a functional revision of the definition based on the thermodynamics of complex social-ecological systems. *Challenges in Sustainability* 1 (1), 41 - 52.
- Nabuurs, G-J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Lindner, M., Nesbit, M., Ollikainen, M. and Savaresi, A., 2015. A new role for forests and the forest sector in the EU post-2020 climate targets. From Science to Policy 2. European Forest Institute.
- Nabuurs, G-J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Hetemäki, L., Lindner, M., and Ollikainen, M., 2017. Mitigation effects of EU forests could nearly double by 2050 through Climate Smart Forestry. (submitted manuscript).
- Näyhä, A. and Pesonen, H.-L., 2013. Strategic Change in the Forest Industry Towards the biorefining business, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 81, No. 1, pp. 259 - 271.
- Näyhä, A., Pelli, P. and Hetemäki, L., 2015. Services in the forest-based sector - unexplored futures, *Foresight*, Vol. 17, Issue 4; 378 - 398.
- Nordic Council of Ministers, 2017. Nordic Bioeconomy 25 Cases for Sustainable Bioeconomy.
- OECD, 2009. The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda. Main Findings and Policy Conclusions. OECD, Paris.
- OECD, 2016. Building a sustainable bioeconomy: a framework for policy. DSTI/STP/BNCT(2016)14.
- OECD, 2017. Mobilising Bond Markets for a Low-Carbon Transition, Green Finance and Investment, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264272323-en>
- Official Journal of the European Union, 2011. Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0305&from=EN>



- Ollikainen, M., 2014. Forests in Bioeconomy – Smart Green Growth for the Humankind. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29: 360 – 366.
- Open Letter, 2017. Scientific basis of EU climate policy on forests. September 25, 2017. https://drive.google.com/file/d/0B9HP_Rf4_eHtQUpyLViZE8zQWc/view
- Palahí, M., 2017. Open letter “Forestry combating climate change: an inconvenient truth?” 28 September 2017, European Forest Institute. http://www.efi.int/files/attachments/press_releases/open_letter_from_efi_director_marc_palahi_forestry_combating_climate_change_-_an_inconvenient_truth_28092017.pdf
- Palahí, M. and Hetemäki, L., 2017. Forests and forest-based products, in T. Ronzon et al. (2017). Bioeconomy Report 2016. JRC Scientific and Policy Report. EUR 28468.
- Pasanen, P., Korteniemi, J., and Sipari, A., 2012. Passiivitason asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälki. Tapaustutkimus kerrostalon ilmastovaikutuksista. Bionova Consulting, Sitran selvityksiä 63.
- Pedroli, B., et al., 2013. Is energy cropping in Europe compatible with biodiversity? – Opportunities and threats to biodiversity from land-based production of biomass for bioenergy purposes. *Biomass and Bioenergy*, 55, 73 – 86.
- Pfau S., J. Hagens, B. Dankbaar and A. Smits, 2014. Visions of Sustainability in Bioeconomy Research. *Sustainability* 6: 1222 – 1249.
- Phalan, B., Onial, M., Balmford, A., and Green, R. E., 2011. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science*, 333(6047), 1289 – 1291.
- PlasticsEurope, 2016. Plastics – the Facts 2016. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Brussels, Belgium.
- Priefer C, Jörissen J, and Frör O., 2017. Pathways to Shape Bioeconomy. *Resources* 6: 1 – 23.
- Prieto, A., 2016. To be, or not to be biodegradable... that is the question for the bio - based plastics. *Microbial Biotechnology*, 9(5): 652 – 657.
- Ripple, W.J., Wolf, C., Galetti, M., Newsome, T.M., Alamgir, M., Crist, E., Mahmoud, M. I. and Laurance, W.F., 2017. World Scientists’ Warning to Humanity: A Second Notice. *Bioscience*, in press
- Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Schellnhuber, H. J., 2017. A roadmap for rapid decarbonization. *Science*, Volume 355 Issue 6331.
- Rogelj, J., den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., Winkler, H., Schaeffer, R., Sha, F., Riahi, K. & Meinshausen, M., 2016. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 ° C. *Nature* 534, 631 – 639 (30 June 2016).
- Ronzon, T. et al., 2017. Bioeconomy Report 2016. European Commission JRC Scientific and Policy Report. EUR 28468.
- Sathre, R., and Gustavsson, L., 2009. A state-of-the-art review of energy and climate effects of wood product substitution, Växjö University, Report No. 57.
- Shen, L., Worrell, E., and Patel, M.K., 2010. Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. *Resour. Conserv. Recycling* 55, 260–274.
- Staffas L, Gustavsson M and McCormick K., 2013. Strategies and policies for the bioeconomy and biobased economy: an analysis of official national approaches. *Sustainability* 5: 2751–2769.
- Steffen et al., 2015. Planetary Boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* Vol. 347 no. 6223.
- Sukhdev, P. W., Schröter-Schlaack, H., Nesshöver, C., Bishop, C., and Brink, J., 2010. The economics of ecosystems and biodiversity: mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB (No. 333.95 E19). UNEP, Geneva, Switzerland.
- Suopajarvi, T., Sirviö, J.A. and Liimatainen, H., 2017. Cationic nanocelluloses in dewatering of municipal activated sludge. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2016.11.021>

- TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) 2017. <http://www.teebweb.org>
- Temple, S., 2010. Inside the Mobile Revolution. A Political History of GSM. 2nd Edition. Copyright © Stephen Temple 2010. <http://www.gsmhistory.com/wp-content/uploads/2013/01/Inside-a-Mobile-Revolution-Temple-20101.pdf>
- Tilman, D., Hill, J., and Lehman, C., 2006. Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. *Science*, 314(5805), 1598–1600.
- UK Natural Capital Asset Tool. <http://neat.ecosystemsknowledge.net/NCAC-tool.html>
- UNECE/FAO 2011. European Forest Sector Outlook Study (EFSOS II), UNECE Timber Committee, FAO European Forestry Commission, 107p.
- UNEP, 2017. Resource Efficiency: Potential and Economic Implications. A report of the International Resource Panel.
- United Nations, 2012. United Nations World Water Development Report 4. UNESCO, UN-Water, WWAP. March 2012.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015. World Population Prospects: The 2015 Revision, World Population 2015 Wallchart. ST/ESA/SER.A/378.
- Uusipuu, 2017. Ympäristöystävälinen vaihtoehto puuvillalle. <http://www.uusipuu.fi/ratkaisu/ymparistostavallinen-vaihtoehto-puuvillalle>
- Van Der Plas, F. et al., 2016. Jack-of-all-trades effects drive biodiversity – ecosystem multifunctionality relationships in European forests. *Nature communications*, 7, 11109.
- Van Meerbeek, K., Ottoy, S., Andrés García, M., Muys, B., and Hermy, M., 2016. The bioenergy potential of Natura 2000 – a synergy between climate change mitigation and biodiversity protection. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(9), 473–478.
- Vehviläinen, M., 2015. Wet-spinning of cellulosic fibres from water-based solution prepared from enzymetreated pulp, Tampere University of Technology, Publication; Vol. 1312.
- Viitala, E.-J., 2016. Liukosellun lupaus. *Metsätieteen aikakauskirja*, 3–4/2016. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff16/ff163181.pdf>
- Vis M., U. Mantau, B. Allen (eds.), 2016. Study on the optimised cascading use of wood. No 394/PP/ENT/RCH/14/7689. Final report. Brussels 2016. 337 pages
- Winkel, G. (ed.), 2017. Towards a sustainable European forest based bioeconomy – assessment and the way forward. What Science Can Tell Us, no. 8, European Forest Institute.
- Wolfslehner, B., Linser, S., Pülzl, H., Bastrup-Birk, A., Camia, A. and Marchetti, M., 2016. Forest bioeconomy – a new scope for sustainability indicators. From Science to Policy 4. European Forest Institute.
- Wolfslehner, B., Prokofieva, I. and Mavsar, E. (eds., 2017 *forthcoming*). Non-Wood Forest Products in Europe: Seeing the forest around the trees. EFI What Science Can Tell Us, No. 9.
- World Bank: <http://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>
- World Economic Forum, 2016. The New Plastics Economy. Rethinking the future of plastics. January 2016.
- WWF, 1999. The Impact of Cotton on Fresh Water Resources and Ecosystems. https://www.google.fi/search?q=The+Impact+of+Cotton+on+Freshwater+Resources+and+Ecosystems&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b&gfe_rd=cr&ei=KcGNWcnnN_Lk8AfUgJzoDg



我们生活在一个加速变化和前所未有的全球挑战的时代：能源安全，自然资源稀缺，生物多样性丧失，化石资源依赖和气候变化。然而，挑战也需要新的解决方案并提供新的机会。森林和基于森林的部门的交叉性质为解决这些相互关联的社会挑战提供了坚实的基础，同时支持了欧洲循环生物经济的发展。

欧洲森林研究所是一个公正的、以科学为基础的国际组织，为更好地制定政策提供最好的森林科学知识和信息。欧洲森林研究所为决策者，决策者和机构提供支持，汇集跨境科学知识和专业知识，以加强科学政策对话。

本研究和报告由欧洲森林研究所（EFI）多边信托基金提供资金支持，该基金由奥地利、捷克共和国、芬兰、法国、德国、爱尔兰、意大利、挪威、西班牙和瑞典支持。