

SCIENTIFIC OPINION PAPER // NOVEMBER 2019

德国 2050 年温室气体中和

基于 RESCUE 研究的政策文件

German Environment Agency

Umwelt 
Bundesamt

版本说明

出版方:

德国联邦环境署 (Umweltbundesamt)
地址: Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
电话: +49 340-2103-0
邮箱: buergerservice@uba.de
网址: www.umweltbundesamt.de

作者:

Katja Purr, Guido Knoche, Eric Fee,
Jens Günther, Juliane Berger, Benno Hain

编辑:

部门 V1.2
气候与能源的策略和设想方案
Katja Purr

刊物链接 (pdf 格式):

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

图片来源:

Fotolia

版本:

截至 2019 年 11 月, Dessau-Roßlau

中文校对:

部门 PB3
国际合作
赵丽智

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。

SCIENTIFIC OPINION PAPER // November 2019

德国 2050 年温室气体中和

基于 RESCUE 研究的政策文件

目录

1	需要实现温室气体中和！	5
2	我们需要立即行动！	6
3	如何达成目标？－绿色设想方案.....	8
4	如何达成目标？－替换法.....	12
5	如何达成目标？－避免法.....	14
6	如何达成目标？－加强天然碳汇的建设.....	16
7	将行动扩展至德国以外地区！	18
8	参考文献.....	20

1 需要实现温室气体中和！

关键信息：

- ▶ 联合国政府间气候变化专门委员会（气专委）发布了《全球升温 1.5°C 特别报告》。据报告估算，若全球变暖超过 1.5°C，其后果将比此前的假设严重得多。本着全球团结和预防原则，全球气温上升应限制在 1.5°C 以内。
- ▶ 只有在本世纪中叶之前在全球范围内实现二氧化碳中和，才能按照《巴黎协定》的规定将全球平均气温上升幅度控制在 1.5°C 以内。因此，本世纪下半叶初就应实现全球温室气体中和，甚至净负排放。

尽管已实施多种气候保护措施，全球温室气体的排放量仍在持续上升。2017 年，燃烧化石燃料产生的二氧化碳排放量累计达到 370 亿吨，比 1990 年上升约 63%【EUCom, 2019 年】。地球存在九大承载极限，如今我们已经跨越四个，即气候变化、生物多样性、土地使用率和化学污染（磷和氮）【Rockström 等人，2009 年；Steffen 等人，2015 年】。

为应对这些挑战，世界各国主要通过共同商议的形式，确定了若干气候和环境保护目标，并将目标落实到缔约国国家框架内的法规、策略和方案中。迄今为止，《联合国气候变化框架公约》¹ 的 196 个缔约国中，已经有 185 个签署了《巴黎协定》，承诺将全球平均气温较工业化前水平升高幅度控制在远低于 2°C，最好在 1.5°C 之内【《巴黎协定》第二条第一款，2015 年】。为了实现上述目标，应当“.....在本世纪下半叶，实现温室气体源的人为排放和汇的清除之间的平衡”（《巴黎协定》第四条第一款，2015 年），即实现温室气体中和。同时，各方普遍认为，《巴黎协定》第二条规定的温度限制比 2010 年在墨西哥坎昆举行的第十六届缔约方会议（COP16）上商定的 2°C 的温升限制更为严格【Wachsmuth 等人，2018 年】。

随着《巴黎协定》的通过与 1.5°C 温升上限的确定，气专委应邀编写了一份特别报告，阐述了全球温度升高超过工业化前水平 1.5°C 的影响。该报告于 2018 年 10 月 8 日发布。

该报告的一个主要结论是，全球变暖超过 1.5°C 的后果将比此前的假设严重得多。目前，全球变暖 1°C 的影响已经非常明显。以此为基础进行线性外推，全球变暖 1.5°C 的实际影响要严重得多。本着全球团结和预防原则，报告的结果表明，全球温度升幅应限制在 1.5°C 以内，而不是“远低于 2°C”。

气专委的特别报告还显示，为了将温升幅度限制在 1.5°C 以内，必须在本世纪中叶（2045 年-2055 年）实现全球范围内的二氧化碳中和。到 2030 年，二氧化碳排放量需要比 2010 年减少 40% 至 60%。此外，2050 年后仅实现温室气体完全中和是不够的，甚至需要实现净负排放。也就是说应将甲烷和一氧化二氮等其他温室气体的排放量在全球范围内减少到绝对最低限度，这样从大气中清除的二氧化碳总量才能抵消此类温室气体的排放量。

在本世纪下半叶，需要额外清除二氧化碳来抵消届时过量排放的二氧化碳，因为全球二氧化碳排放的预算是有限的。如果在当今的水平上继续排放 10 年，将无法实现温升幅度限制在 1.5°C 以内的目标。确保二氧化碳汇的可利用性，将成为减少大气中温室气体含量的一个核心要素。然而，这种方法的作用存在着客观上限。此外，随着技术性二氧化碳清除措施的广泛使用，可持续性方面的风险也将增加。因此，我们越早减少温室气体的排放，采取二氧化碳清除措施的必要性以及相关风险就越低，需要权衡取舍的情况也就越少。

与二氧化碳相比，其他温室气体的排放量与其温室气体效应之间并非是线性关系，但在控制全球变暖的过程中仍需加以考虑。此外还存在其他与气候相关的人为效应，如空中交通的非二氧化碳效应，但以目前的研究状况，还无法准确量化。因此，可能有必要增加尚未量化的减排要求。

¹ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

2 我们需要立即行动！

关键信息：

- ▶ 采取行动时间越早、力度越大，我们在设计实现温室气体中和的转型道路方面就越有自由度。
- ▶ 今后几年内，全球和国家范围内的路线必须确定，以便在 2050 年之前实现全球二氧化碳中和。如果无法做到这一点，我们会越过一个临界点，到本世纪下半叶初将无法实现全球温室气体中和或净零排放的目标。
- ▶ 我们亟需采取行动，以确保在替代法、避免法和碳汇法之间取得良好的平衡，实现温室气体中和。

根据气专委的估计，如果将全球变暖限制在 1.5°C 的概率是 66%，则剩余的碳预算相当于 4,200 亿吨。然而，该值的不确定性很高，上下浮动范围为 4,000 亿吨【IPCC, 2018】。如果全球继续按照当今的水平每年排放 420 亿吨二氧化碳，那么这一预算在未来 10 年内将几乎完全耗尽。这凸显并加剧了采取行动的紧迫性。

一般来说，可以通过三种不同的策略，来影响温室气体在大气中的占比：

- ▶ 通过减少制成品的消耗（通过提高材料和能源的使用效率和节约使用）或减少活动，从而减少温室气体排放；
- ▶ 以温室气体密集程度较低的技术和产品取代密集程度较高的技术和产品；
- ▶ 碳汇的利用 —— 通过二氧化碳清除法（CDR），从大气中清除已经排放的二氧化碳。

这些策略对实现温室气体中和的潜在贡献是有限的，策略之间会相互影响，而且策略也会随着时间的推移而变化（如图 1 定性方法所示）。通过**避免法**实现的温室气体减排量原则上是有限的，因为很难想象在现代社会中完全放弃能源和交通工具的使用。然而，我们可以创造条件来避免出行（例如，将短距离出行纳入城市规划的考量）和提高能源效率（例如，对建筑进行更新改造，或使用高效技术）。此外，更健康的低肉量饮食方式将有助于减少牲畜数量，从而降低温室气体的排放。这些方法主要是以社会变化、个人可持续行为或渐进式规划²和监管³为基础，因此，要落实这些方法，就需要采取中期和长期的预防措施。如果减缓措施采取得太晚，则可能无法充分发挥出相应策略的潜力，从而降低了其对温室气体中和的潜在贡献（见图 1，绿色面积随着时间的推移而减少）。

替换温室气体密集型工艺和产品可以为缓解气候变化作出重大贡献。这包括在燃烧物、燃料、原料⁴和电力供应等方面完全转向可再生能源，研发低温室气体排放量的工艺技术和产品，如水泥替代品。然而，也需要明确，推迟行动将降低替换策略在温室气体中和方面的减排潜力。为确保这一策略的减排效果在 2050 年之前实现最大化，我们必须注意以下几个方面：

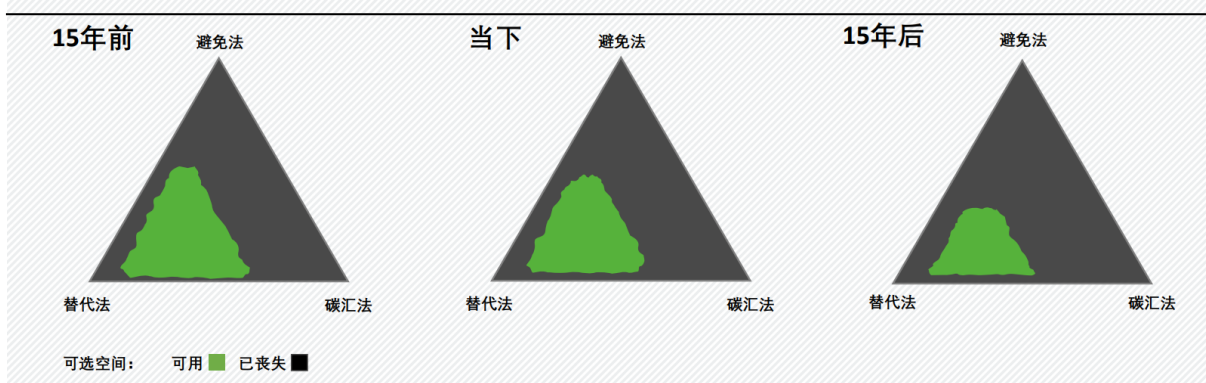
我们需要确定研发的需求，并尽早启动适当的项目。必须安装所需的基础设施，或对现有的基础设施进行改造，以适应新的要求。必须拓宽可再生能源的使用范围，妥善组织相关拓展工作，并在所有领域进行必要的投资。不过这种减缓策略本身并不足以实现温室气体的中和。根据现有的知识，在玻璃、石灰和水泥等行业，使用工业给料（如化学品）和原材料（如电极、焦炭等）仍然会产生温室气体。同样地，农业和用地结构改变所产生的温室气体排放也无法通过替代法而完全消除，并会长期存在。

² 例如紧凑型城市

³ 例如《欧盟生态设计指令》（European Ecodesign Directive）

⁴ 化工行业的非能源需求

图 1：到 21 世纪中叶实现温室气体中和，避免法、替代法和碳汇法的可选空间的定性描述



来源：Umweltbundesamt（德国联邦环境署）

自然碳汇和技术性碳汇的效果是有限的。例如，由于森林年龄结构的改变和气候变化，自然汇对缓解温室气体的潜在效果会随着时间的推移而变化。碳捕获和封存等技术性碳汇在全球范围内的适用规模有限，而且存在一定的环境风险。与避免法和替代法类似，也需要及时采取行动推广碳汇项目，否则自然碳汇对温室气体减排的潜在效果将会降低。

避免法和替代法对缓解温室气体的贡献越低，就越需要碳汇法做出更大的贡献。气专委在《1.5°C特别报告》也明确指出，从大气中清除二氧化碳存在客观限制，二氧化碳清除法一般会增加对土地、水和能源的资源需求，从而增加了可持续发展的不确定性。

3 如何达成目标？— 绿色设想方案

关键信息：

这些绿色设想方案表明：

- ▶ 在 2050 年之前，德国可通过不同途径实现温室气体中和，这些途径需要从大气中移除二氧化碳，但无需使用技术性的碳捕获与封存（CCS）。
- ▶ 为了限制温室气体的累计排放量，我们需要收紧中期目标（2030 年），但轻度收紧只能有限地促进气候保护，为此，我们需要采取迅速且大胆的行动。
- ▶ 将全球变暖限制在 1.5°C 以下，是一项全球性挑战。面对这项挑战，德国应当沿着全球 1.5°C 的温室气体减排路径发展。这就意味着到 2030 年，德国的温室气体排放量应比 1990 年至少减少 70%。

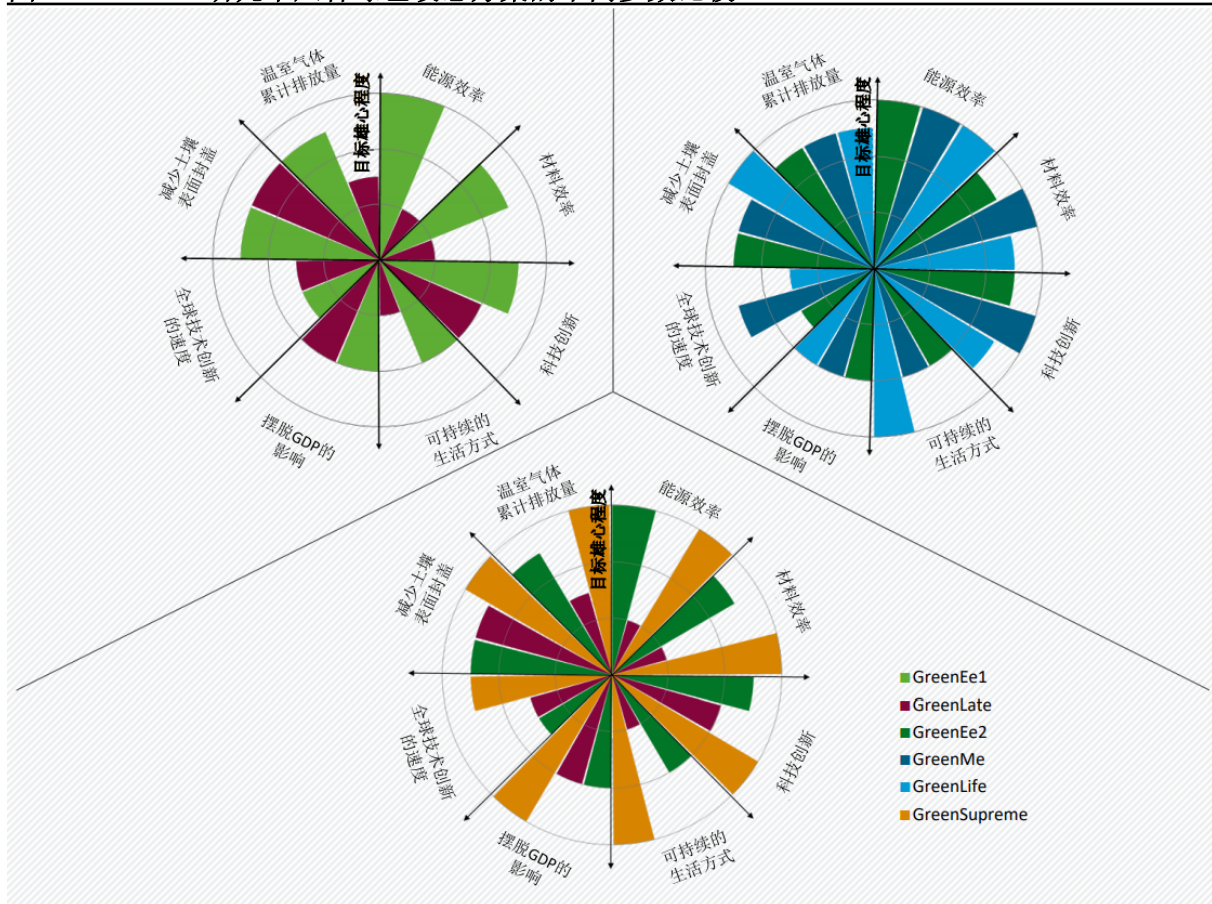
在《2050 年气候保护计划》中，德国政府确定了温室气体排放的里程碑式目标，即到 2030 年，温室气体排放量要比 1990 年至少减少 55%，同时也确定了为实现这一目标各行业所需做出的减排贡献，而实现“全面的温室气体中和”则被视为总体目标【德国联邦环境、自然保护及核能安全部，2016 年】。尽管德国通过签署《巴黎协定》作出了更严格的国际承诺【Wachsmuth 等人，2018 年】，但《2050 年气候行动计划》只是确认了《2010 年能源概念》【德国联邦政府，2010 年】中既定的温室气体减排目标区间，即到 2050 年温室气体排放量比 1990 年减少 80% 至 95%。德国政府在 2019 年 9 月公布了《2030 气候保护方案要点》【德国联邦政府，2019 年】，将“温室气体中和”作为德国到 2050 年的全新的环境行动框架。不过，2030 年之前目标的水平并没有变化。

在此背景下，考虑到气候保护和可持续资源管理之间已知的相互依存关系，本报告中提到的 RESCUE 研究《实现温室气体中和的资源节约型道路》【UBA，2019b】分析了六种绿色设想方案，描述了德国在 2050 年实现温室气体中和以及资源节约型社会的潜在转型路径。该研究报告概述了德国对全球气候保护和资源节约的任务的潜在贡献，并且依据不同的雄心程度，制定了不同的设想方案。在所有的绿色设想方案中，2050 年和 2030 年的温室气体排放水平与 1990 年相比，都相应至少降低 95% 和 55%。与此同时，对原材料的需求量则显著降低。如果考虑到德国境内的天然碳汇，那么到 2050 年，几乎所有设想方案中，温室气体中和的目标都可以实现。

GreenEe1 和 GreenLate 这两个设想方案的主要特征是一致的，都是德国生产能力总体上会不断提高，且产业以出口导向为主（见图 2）。然而，在转型过程中，这两种方案在减少温室气体排放与提高能源和材料效率这两个方面，目标宏大程度存在很大差异。在 GreenLate 方案中，德国从长期来看仍然会继续使用传统技术，如重型货物运输中的内燃机或供热中的燃气燃烧技术等。因此，GreenLate 方案的电气化水平较低，创新和实施方面行动迟缓。在温室气体减排方面，GreenLate 处于德国政府宏大目标区间的下限，即 2030 年之前减排 55%，2040 年之前减排 70%，2050 年之前减排 95%。而 GreenEe2、GreenMe 和 GreenLife 这三种方案假设了更为平衡的外贸形势。在这些方案，更可持续的生活方式，技术性气候保护和原材料效率相关的措施将具有更为显著的影响。与 GreenEe1 一样，GreenEe2 的重点是高水平的技术创新、高效“跨领域耦合技术”（sector coupling technologies）的整合、能源效率潜力的挖掘。GreenMe 方案中假设材料效率将会进一步提高。GreenLife 方案的特点是广泛推行更可持续的个人生活方式，例如，转向更健康的低脂饮食，或使用更多可维修、耐用、材料效率高的产品。GreenSupreme 方案不仅将所有有益的创新、技术措施和生活方式结合在一起，还假设其

整合和实施速度明显优于其他方案，以期实现温室气体累计排放量的降低。因此，在实现《巴黎协定》目标的道路上，这一方案也为国际气候保护工作做出了相应贡献。图 2 概述了六个绿色设想方案的特点。更多信息可参见 RESCUE 报告【UBA，2019b】。

图 2： RESCUE 研究中六种绿色设想方案的不同参数比较



来源：Umweltbundesamt（德国联邦环境署）

每种绿色设想方案都运用了影响大气中温室气体的比例的三种策略，即避免法、替代法和自然碳汇法。然而，在不同方案中，这些策略的具体实施程度不同，从而产生了一个包含所有温室气体减排措施的解决方案空间。

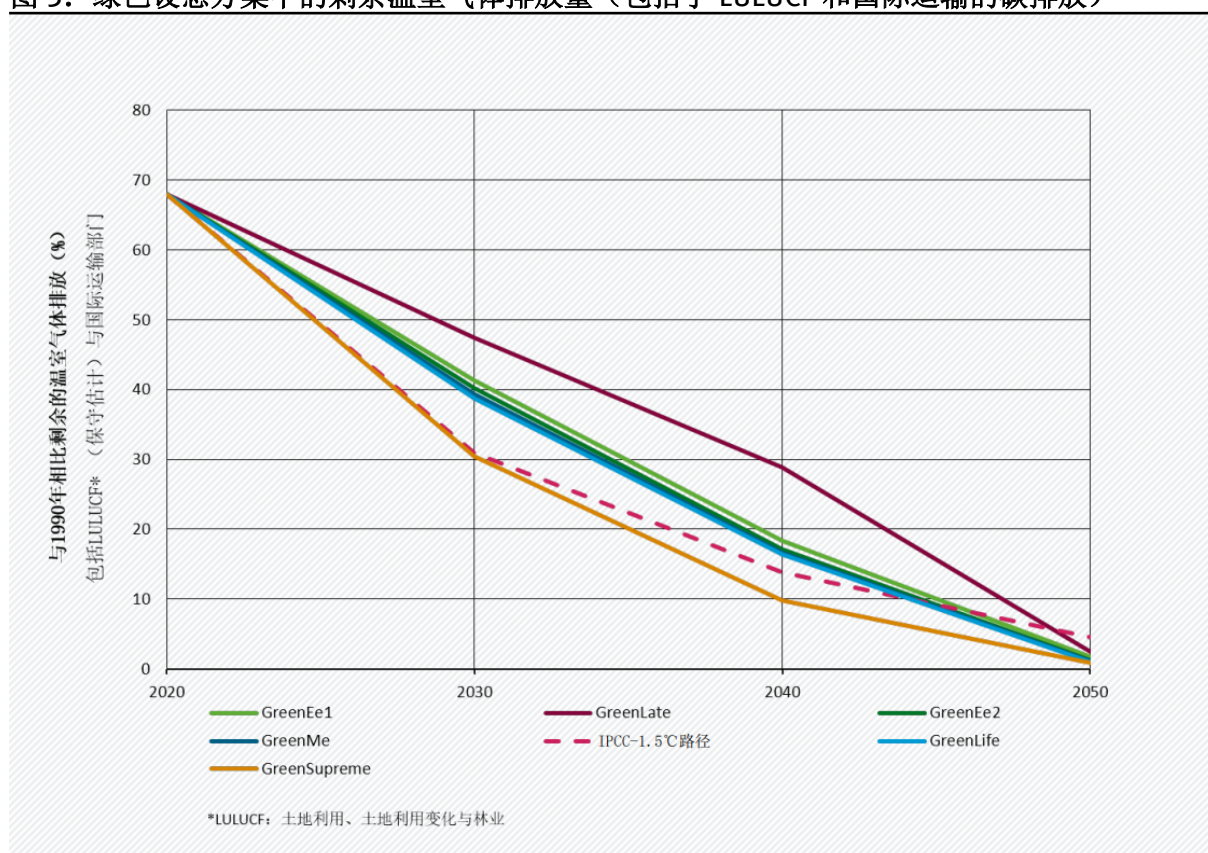
在所有六种绿色设想方案中，核心要素是要替代与化石燃料相关的温室气体排放（见第 4 节），通过这种方式能够完全消除与能源相关的温室气体排放。到 2050 年，整个能源供应（即电力、可燃物、燃料和原材料的供应）将完全基于可再生能源。此外，水泥等温室气体密集型产品被创新产品所取代，而其中有些产品仍不同程度地有待研发。

这六个方案也在不同程度上考虑了避免温室气体排放的其他手段，如环境友好型交通、可持续消费、可维修和节能产品、建筑物翻新和能源管理等（见第 5 节）。遵循德国营养学会指导的更健康的饮食结构，可促进牲畜数量减少，进而避免温室气体的排放。所有的绿色设想方案都不需要借助技术性碳汇（如碳捕获与封存）来达到其目标。方案中的自然碳汇（见第 6 节）都得益于可持续的森林管理和木材使用（如避免对森林残余物进行能源利用）以及可持续的土地利用（如中期内不考虑占用新土地）。通过避免种植能源作物与缩减畜牧业规模节省出来的土地资源可以进一步用于增强自然碳汇。

到 2050 年，GreenLate 和 GreenSupreme 方案中温室气体减排可分别达到 95%和 97%，这其中也考虑到了德国联邦政府的气候目标中设定的排放量。剩余的温室气体排放主要来自于农业，所占比例在 60%至 67%之间。根据现有的知识，一些与原材料相关的工业温室气体排放也仍将存在。在 GreenSupreme 中，这些工业温室气体排放量占 27%，在 GreenLate 中占 37%，主要源自水泥、石灰和玻璃工业。

如果考虑到自然汇的贡献和土地利用变化所产生的温室气体排放，GreenLife 和 GreenSupreme 这两个目标宏大的设想方案尤其表明，在不使用碳捕获和封存等技术汇的情况下，德国也可以实现温室气体中和。甚至按照 GreenLate 方案也基本可以实现 2050 年的净零排放。从这方面来说，加强天然碳汇是至关重要的，同时也有助于发挥与其他环境挑战以及自然保护的协同作用（见第 6 节）。

图 3：绿色设想方案中的剩余温室气体排放量（包括了 LULUCF 和国际运输的碳排放）



来源：根据【UBA, 2020a、2020b、2020c、2020d、2020e】和【IIASA, 2019 年】自行绘制的插图。

鉴于气候变化相关的全球挑战和国际承诺，温室气体中和路径的选择至关重要。如图 3 所示，与 1.5°C 的全球平均路径（气专委全球 1.5°C 路径）相比，GreenSupreme 设想方案最符合相应的要求。气专委全球 1.5°C 的平均路径【IIASA, 2019】是基于不同的全球 1.5°C 兼容路径，代表了全球社会和整体人为温室气体排放必须遵循的中位数转化路径。然而，这并不意味着每个国家都必须完全坚持遵循这条路径。根据《巴黎协定》，德国等富裕国家在气候保护方面应发挥突出作用【比较《巴黎协定》第 4 条第 1 款，UNFCCC, 2015】。德国的繁荣和经济表现依赖于温室气体密集型技术和化石能源，因此，相比于其他国家，德国应在限制人为温室气体排放方面做出较大的贡献。相关调查显示，从公平的角度来看，德国应该在 2035 年之前达到温室气体中和【气候分析，2018；Höhne 等，2019】。评估各缔约方公平分担相关工作是政治家们的特定职责。

为了更好地推动德国在全球范围内作出充足的贡献，德国不仅需要广泛且迅速地执行国家气候保护措施（**GreenSupreme** 等类似方案），而且还需要开展大规模的国际合作，资助并推动德国以外国家的气候保护措施的执行（见第 7 节）。

绿色设想方案表明，通过可持续发展意义上的根本性转型，德国可以实现温室气体中和。转型涉及到日常行动和经济活动的所有领域。

问题已不再是是否和何时做出特定贡献和实现特定发展，显然，我们现在就必须采取行动，需求侧和供给侧的每一项贡献都很重要。

4 如何达成目标？— 替换法

关键信息：

- ▶ 最迟应在 2050 年完全淘汰化石燃料的使用。
- ▶ 必须迅速推行逐步淘汰燃煤发电的计划，并应在 2030 年前完成该计划。
- ▶ 应在 2040 年前淘汰所有产业的煤炭使用。
- ▶ 陆上风力发电的年总发电量必须至少达到 4 吉瓦，最好达到 5.5 吉瓦。
- ▶ 光伏发电的年总发电量必须至少达到 3.5 吉瓦，最好达到 4.8 吉瓦。

1970 年至 2015 年期间，全球温室气体排放量从 27 吉瓦二氧化碳当量增加到了 51 吉瓦【气候行动追踪组织，2018 年】。1970 年至 2010 年期间，化石燃料燃烧和工业生产过程的温室气体排放量占排放总量的 78%。德国本土温室气体排放量从 1990 年的 12.51 亿吨减少到了 2017 年的 9.07 亿吨，减少了 28%【UBA，2018】。德国温室气体排放主要来源是化石燃料的固定和移动燃烧，这部分占了 2017 年二氧化碳排放量的约 88%。由于化石燃料的使用，初级原料的累计消耗量在稳步上升。

为了实现温室气体中和以及可持续资源管理，我们势必要在所有经济行业彻底淘汰化石燃料的使用。为了减少向大气层的累计排放，履行德国的国际义务，我们必须在 2030 年之前迅速淘汰燃煤发电，并在所有经济行业迅速推广，到 2040 年，所有经济部门都必须淘汰煤炭的使用。在很大程度上，用可再生能源替代化石燃料，在技术上是可行的。剩余的技术难题则应通过研发迅速解决。然而，我们必须以可持续和有效的方式使用可再生能源，并仔细监测其对新型关键材料（如金属）的需求，以避免潜在的负担转移。

因此，只能对生物质进行有限的可持续能源利用。农作物生物质与对土地的竞争（作为潜在的碳汇），以及对水、土壤、生物多样性和自然保护的负面影响相关联【UBA，2013 年】。残留林木的能源化利用必须与碳汇、生物多样性和其他环境和自然保护效益的增加相平衡。

必须扩大风能和光伏发电规模。为了限制他们对生产制造的需求以及降低与之相关的挑战和环境影响（如土地消耗、原材料需求等），必须贯彻能效措施，并进行高效的部门耦合，使电力能够应用于所有领域（即电力、燃料和原料/给料）。高效的部门耦合意味着尽可能直接使用可再生电力能源。

只有存在技术必要性时，才应使用可再生燃料，如航空运输、化工行业或少数工业生产过过程中。为达到这一目标，能源供应必须迅速向完全以可再生能源为基础的能源系统转型。

针对各部门的行动建议

除了关键信息中提出的要点外，还必须创造取代化石燃料所需的监管和经济框架条件（包括有效的二氧化碳定价），并在所有应用领域使用温室气体中性技术和低温温室气体排放技术。这将使各部门能够采取以下步骤（更多详情请参见 RESCUE 报告全文【UBA 2019b】）：

- ▶ 考虑到“Power to X”（电转 X）技术的替代潜力和减少温室气体的有效性，应该把此类气候友好型技术的整合作为最重要的优先事项。
- ▶ 德国应迅速加强与其他国家在 PtG/PtL（电转气/电转液）生产基地的研发、知识转让和实施方面的可持续伙伴关系。在早期阶段，就需要在全球范围内确定和开发有利的地点，以便推广可再生能源系统和基于电力的可再生能源燃料。
- ▶ 不应安装新的燃油供暖系统。从 2030 年起，也不应安装新的燃气供暖系统。
- ▶ 在技术可行的情况下，应直接使用可再生电力来替代化石燃料（例如，产生工艺过程用热）。
- ▶ 必须通过研发项目迅速做好准备工作，以便在化工行业中淘汰化石能源。在使用寿命长、回收率提高的背景下，化工行业的耐用产品必须尽快被可再生能源所取代。
- ▶ 德国以化石燃料为基础的氢经济（可能短期内的重点是石化行业）应从 2030 年开始调整，通过整合电解产氢技术，转向使用可再生能源。
- ▶ 为了有效地实现气候目标，最迟从 2040 年开始，进入市场的新车只能是电动汽车。在公路货运方面，轻型货车和总车重 12 吨以下的货车，必须采用电池电动驱动系统。对于总车重 12 吨以上的货车，需要采用架空电缆混合动力货车和架空电缆式电瓶货车系统，并要求在高频使用的高速公路路段迅速安装相应的基础设施。
- ▶ 应开发出替代性的低碳产品或零碳产品，并投放市场，以替代生产过程温室气体排放量高的传统产品（如水泥）。

5 如何达成目标？— 避免法

关键信息：

- ▶ 全社会需要在所有领域找到新的思维方式，以便在需求侧和供应侧培养环保行为。为此，有必要建立监管和经济框架，并在教育政策方面采取措施。
- ▶ 每个人都需要在日常行为中增强自身的责任意识，才能有效地减少能源和温室气体密集型产品的购买。

减轻温室气体排放不仅仅是一个技术问题。尽管在限制温室气体排放方面，化石能源载体的替代和用于产生温室气体排放工业过程（如钢铁生产）的替代性技术，都具有很大的潜力，但仅凭这些方法是不够的。技术手段只能有限地减少农业（特别是土地利用方面）的温室气体排放。因此，为了以可持续的方式履行国际义务和应对环境挑战，“避免法”这一策略至关重要。

每个人在生活的各个领域，即休闲、住房、通讯、交通和营养等方面，都会产生一定的需求，这些需求是由其欲望和消费行为所驱动的。这些需求会影响到特定服务和生产部门的发展。可持续的产品供应和消费行为会对温室气体密集型产品的消费和可再生能源替代化石燃料产生积极的影响。例如，根据德国营养学会的指导方针，更健康的饮食可以降低对肉类产品的需求，从而减少牲畜规模、温室气体排放以及对相关的水和肥料的进一步需求。

在转型道路上，终端能源需求是温室气体排放的重要来源，这包括用替代化石燃料和原材料所需的可再生能源总量、对能源进口的依赖以及对土地等资源的需求等等。所有部门的能源效率措施在这方面都起着重要作用，能源效率的提高有助于减少温室气体排放，特别是有助于将可再生能源纳入转型道路。

针对各部门的行动建议

这条温室气体减排道路尤其能够说明气候保护是对整个社会的挑战。社会和经济都需要在可持续发展的意义上进行根本性的转型 — 见关键信息。

与替代法相似的是，避免法需要监管和经济框架。这些框架促使人们快速反思他们的日常行动和经济活动⁵：

- ▶ 为了成功地向可持续生产和消费模式过渡，淘汰对污染环境行业的补贴非常重要。
- ▶ 考虑到相关的原材料需求，必须大胆地在所有经济部门迅速采取措施，以提高能源效率。必须实施监管措施和支持计划，推广节能技术，实现有效的能源管理。

为了避免温室气体的排放，需要在不同部门中采取以下措施：

- ▶ 在农业和土地利用方面，减少牲畜的数量对高效地保护气候起到了关键作用。然而，要想减少牲畜数量，人类必须改变自身的膳食营养模式，并根据德国营养学会的建议，将对动物产品的消费降低到健康水平。
- ▶ 在短期内，必须将建筑翻新率从目前的每年 1% 至少提高到 2.5%。

⁵ 更多信息请见 RESCUE 报告全文【UBA 2019b】

- ▶ 从当前开始，建筑物新建、翻修和更新改造的要求就应基本满足到 2050 年时对建筑的要求。
- ▶ 使用节能技术、能源管理、优化工艺和程序，在所有应用领域均利用余热，以此提高工业的能源效率 — 这种做法是可行的，也是必需的。
- ▶ 为了实现可持续的交通出行，必须尽快鼓励百姓减少交通出行并转向环境可持续的交通理念，其中包括建设短途交通。
- ▶ 货运交通应尽可能利用铁路和内河航道，为促进此进程，一方面可以提高公路替代方案的吸引力，另一方面可以通过增加环境成本相关收费，提高公路货运交通花费。
- ▶ 在取消空中交通税收优惠的同时，还需要扩大铁路网，以显著提高高密度人口地区的交通便利程度和各地区间的互联互通，从而避免在国内出行时乘坐飞机。

6 如何达成目标？— 加强天然碳汇的建设

关键信息：

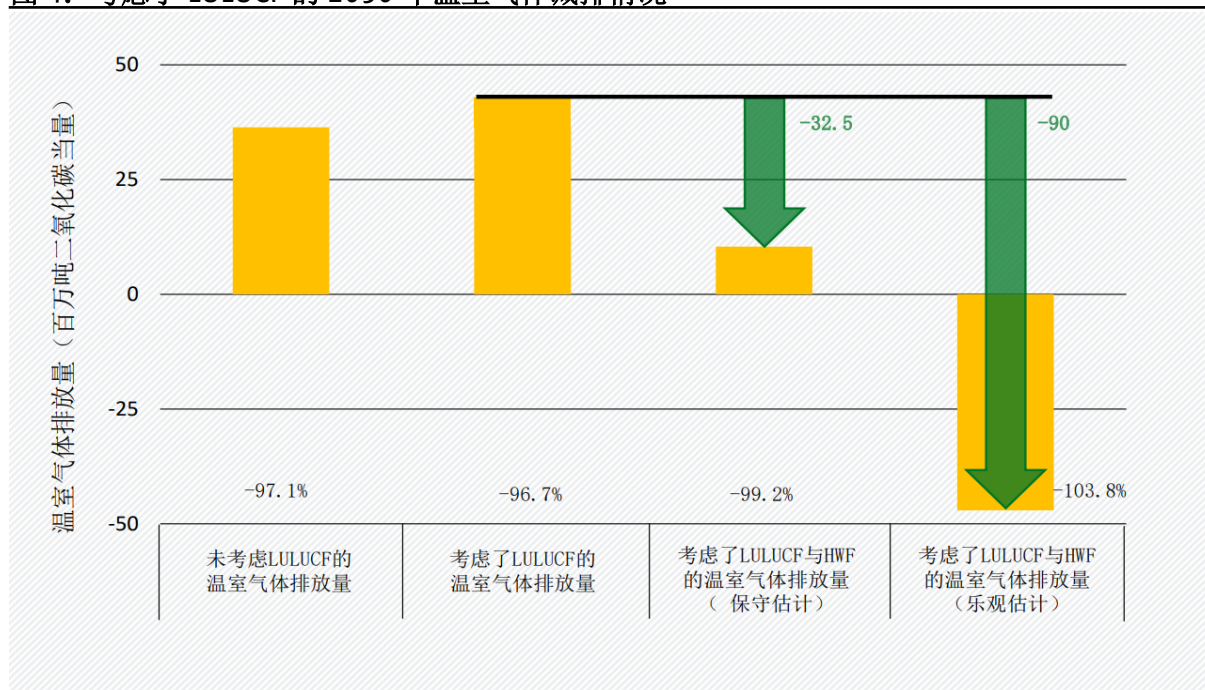
- ▶ 农业和林业中的可持续土地利用有助于通过自然方式从大气中清除碳，同时也可以发挥在生物多样性保护等其他环境挑战方面的协同作用。

除了替代法和避免法之外，还需要从大气中清除二氧化碳，来降低大气中的碳含量。气专委《1.5 °C 特别报告》中的所有 1.5 °C 的兼容设想方案中都包括碳汇。碳汇的作用是从大气中清除二氧化碳，并且其清除量按要求至少可抵消其他部门（如工业或农业等）无法避免的温室气体排放量。

如果替代法和避免法缓解温室气体的进展过于缓慢，则压力会转移至碳汇上，这可能导致或增加一些冲突，因为二氧化碳清除措施通常需要土地，同时，也在不同程度上需要水或能源等其他资源。根据现有的知识，目前正在讨论的大多数技术性二氧化碳清除措施及其后续封存，如海洋施肥和 BECCS（生物能源与碳捕集和封存），都会在环境和可持续发展方面造成风险【UBA, 2019a】。因此，碳汇不能取代表法和避免法，但似乎是一种必要的补充措施。

目前，为了可持续地从大气中清除二氧化碳，加强天然碳汇是一个行得通的方案。这可以通过可持续的土地利用来实现，例如土壤保持和腐殖质改良土地管理、保护和复湿沼泽、草原保护和可持续森林利用等。虽然碳汇是有限的，但其清除二氧化碳的潜力在国家层面上是有意义的，在全球层面上也是很重要的。此外，这还有助于适应气候变化和实现全球可持续发展目标，例如保护生物多样性。

图 4：考虑了 LULUCF 的 2050 年温室气体减排情况



注：LULUCF – 土地利用、土地利用变化和林业；
HWP – 伐木制品；
基准年还考虑了国际运输的能源型温室气体排放。

来源：来源：根据【UBA, 2020e】和【绿色和平组织, 2018】自行绘制的插图

在德国，应加强森林向混交林的转化，将防护林的比例提高到 7% 左右，通过这些方法来保护和加强森林作为天然碳汇的功能。除了森林碳汇外，还可以通过推广木材的层级应用，来扩大木制品的碳汇量。考虑到这些方案，根据最近使用森林开发和木材资源模型（WEHAM）模拟的“自然保护设想方案”【Oehmichen 等人，2018 年】，碳汇潜力至少能达到 3,200 万吨二氧化碳。这被认为是绿色设想方案中自然汇潜力的保守估计，因为 RESCUE 项目没有进行生态系统建模，而 WEHAM 设想方案中计算的木制品温室气体排放可能比绿色设想方案中的温室气体排放量大得多【UBA, 2019b】。如图 3 所示，结合其他部门的所有措施，德国的温室气体排放量在 2050 年之前可以减少 99.2%。德国绿色和平组织（Greenpeace）委托德国应用生态研究所（Öko Institut）进行的“德国森林愿景”研究，提供了更加乐观的估计【绿色和平组织，2018】。根据这项研究，多达 12% 的森林应被指定为保护区，从而使森林的净碳汇潜力达到 9,000 万吨二氧化碳。这可以帮助德国的温室气体排放量到 2050 年减少 103.8%（见图 3）。绿色设想方案中的总体假设措施，特别是 GreenSupreme 方案中的假设措施，超出了“自然保护设想方案”【Oehmichen 等人，2018 年】，但与“德国森林愿景”研究【绿色和平组织，2018 年】中的假设相差甚远。

天然碳汇的另一个潜力在于放弃生物质种植和对林木残余物的能源化利用。生物质的能源化利用应仅限于对气候保护有益的应用，如泥浆发酵等。

针对各部门的行动建议

天然碳汇可以抵消其他部门无法避免的温室气体排放。同时，天然碳汇也与生物多样性保护等其他环境政策领域有协同效应。除了替代法和避免法的相关措施之外，我们也应对天然碳汇的潜力加以挖掘，但它们不能取代这些措施（更多信息请参见 RESCUE 报告全文【UBA 2019b】）：

- ▶ 迫切需要积极对森林培育进行可持续转型。目前单一种植针叶林树种的比例很高，导致森林及其所提供的碳库容易受到气候变化的直接和间接的影响。相比之下，落叶混交林则表现出更强的抗逆性。
- ▶ 最迟应在 2050 年之前完成干涸湿地的“复湿”工作，并对其进行沼泽化种植。
- ▶ 为了改善环境、自然和生物多样性，应在中期内逐步停止对栽培生物质的能源化利用，并在长期内逐步停止对残留林木的能源化利用。

7 将行动扩展至德国以外地区！

关键信息：

- ▶ 德国国内能否成功实现温室气体中和，这取决于欧洲和全球是否遵循《巴黎协定》进行发展。
- ▶ 为应对全球变化，德国必须在 2050 年之前实现温室气体中和，并沿着全球 1.5°C 的路径减少其温室气体排放。但这也仅仅是德国为应对全球气候变化做出应有的贡献的一部分。
- ▶ 除了在国家层面加强气候行动外，德国还需要在国际上采取行动，确保其他国家在气候保护方面设定更高的中期目标，并且最迟在 2050 年之前实现温室气体中和。
- ▶ 一个可靠的、负责任的德国气候保护政策应当涉及到强有力的欧洲合作和有针对性的国际协作，以促进德国境外气候保护措施的有效实施。这里的重点应该是逐步淘汰化石能源载体，取消有害环境的补贴，保护和扩大自然碳汇。

绿色设想方案中提出，德国需要推动经济体系和生活方式的广泛转型，以实现温室气体中和的目标，而这一点在欧洲和全球发展中都有体现。《巴黎协定》是各国设计国家、国际和全球可持续的气候保护方案的指南。这意味着，所有的缔约方都需要沿着与 1.5°C 兼容的路径规划其发展。然而，鉴于目前的知识水平，在国家在国际层面上，只能对所需的转型进行有限的预测。《巴黎协定》指出，德国等富裕国家在气候保护方面起着突出的作用（《巴黎协定》第 4 条第 1 款，【UNFCCC, 2015 年】），这体现在这些国家的经济繁荣、技术能力以及温室气体排放的历史性发展等方面。自工业革命以来，德国等工业国家与欠发达国家相比，已排放了过高的温室气体。不过，在各国之间公正地分担责任，仍然是政治家们的专属职责。

针对上述情况，RESCUE 项目的“绿色设想方案”【UBA, 2019b】强调：到 2050 年在德国实现温室气体中和，同时沿着可持续和 1.5 °C 兼容的路径减少温室气体排放（比较第 3 节），这是一个宏大但又可行的目标。但是，这样的路径只能是德国为应对气候变化做出公正的贡献的基础。除了国家层面的转型之外，德国应承担更多责任，特别是在替代法、避免法和加强天然碳汇等策略方针方面，积极主动地促进欧洲和全球转型。

根据《巴黎协定》，气专委撰写的《1.5°C 特别报告》建议欧盟审查现有的长期目标，因为根据欧盟目前的经济和技术潜力，其对温室气体减排的贡献应远远高于之前确定的水平【Wachsmuth、Denishchenkova 等人，2019 年】。此外，欧盟委员会提出的《人人享有清洁地球》提案【EUCom, 2018】，在各国元首和政府首脑中开启了关于“2050 年气候中和”行动目标的讨论【EUCoun, 2019; UBA, 2019c】。德国是目前欧盟表现最好的国民经济体，其温室气体排放量约占欧盟总排放量的 20%【欧洲环境署，2019】，为了在德国实现温室气体中和，欧洲和德国气候保护政策的一体化是必然之举。

这种（欧盟和国内政策之间）环环相扣、紧密连接的局面必须以优先策略中的具体措施为基石，以便在中期内实现更大规模的温室气体减排，在长期内实现温室气体中和。作为朝着这个方向迈出的第一步，德国可以采取渐进式方法，提高欧盟 2030 年的气候目标，使之与可持续的 1.5°C 的全球平均温升相适应。为此，德国必须愿意作出重大贡献，并积极努力增加支持温室气体中和的欧盟成员国的数量，提高 2030 年的减排目标。此外，在短期内，德国应在成员国之间探讨是否有可能根据替代法、避免法和加强自然碳汇的策略方针，调整排放量交易机制、非碳排放交易部门的贡献，以及采用适用的立法框架和工具等，尽早有效地调整各国的减排贡献。

在国际层面，德国应倡导强化《联合国气候变化框架公约》中与缓解气候变化有关的工具，如绿色气候基金，根据《巴黎协定》第六条为市场机制制定强有力的、对环境无害的条

例，并推动德国以外的气候保护工作。可以增加对“REDD+ 波恩挑战”⁶和“千分之四倡议”⁷的投资，进一步加大投资力度，在全球范围内拯救和扩大自然碳汇。

德国还应该在 G20 和其他国家集团中推动已作出的决定的执行，如淘汰对环境有害的补贴【G20，2016 年】，并努力建立合作伙伴关系，采取针对具体行业的全球措施，如在全球范围内逐渐淘汰煤炭。只有所有利益相关方（进口商/出口商）都参与进来，才能实现社会上可接受的、公平的过渡，从而获得高度的认可。

除此之外，根据《巴黎协定》，德国必须在国际气候倡议框架内帮助其他国家收紧和执行其国家自主贡献预案。此外，德国应力争使得欧盟与其他国家之间的每项贸易协定均符合气候和资源保护的要求，尤其是要促进资源高效和温室气体中性产品的贸易。

⁶ 一个融资机制，旨在减少发展中国家森林砍伐和森林退化造成的排放。

⁷ 法国于 2015 年 12 月 1 日在第 21 届联合国气候变化大会（COP21）上发起的国际倡议，邀请所有合作伙伴在土壤碳封存方面提出或实施一些行动。

8 参考文献

德国联邦环境、自然保育及核能安全部（2016 年）：《2050 年气候保护计划——联邦政府气候保护政策原则及目标》. 下载：http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf (19.09.2017)

气候行动追踪组织（2018 年）. 全球排放时间序列（Global emissions time series）.

气候分析（2018 年）：根据《巴黎协定》1.5°C 的温升上限，为德国提供科学的煤炭退出路径，快速能源转型的机遇和效益。下载：https://climateanalytics.org/media/deutsch_extended_executive_summary_final.pdf (13.09.2019)

欧洲环境署（2019 年）：各国向 UNFCCC 和欧盟温室气体监测机制（欧盟成员国）发送的温室气体排放量和清除量的数据分析. 2017 年数据. 下载：<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer#tab-based-on-data> (12.09.2019)

欧盟委员会（2018 年）：《人人享有清洁地球 — 欧洲对繁荣、现代化、竞争力强和气候中立经济的长期战略愿景》. COM（2018 年）773 终版. 布鲁塞尔. 下载：https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf (21.11.2019)

欧盟委员会（2019 年）：全球大气研究排放数据库。下载：<https://edgar.jrc.ec.europa.eu/> (12.09.2019)

欧盟委员会（2019 年）：欧洲理事会会议（2019 年 6 月 20 日）结论. 布鲁塞尔. 下载：<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-9-2019-INIT/en/pdf> (21.11.2019)

G20（2016 年）：《G20 领导人公报》. 杭州峰会. 下载：https://www.consilium.europa.eu/media/23621/leaders_communiquehangzhousummit-final.pdf (16.09.2019)

德国联邦政府（2010 年）：17/3049 号印刷文件.《能源概念之环境友好型、可靠和负担得起的能源供应及 10 项立即行动方案 — 德国联邦政府的监测和中期报告》. 柏林.

德国联邦政府（2019 年）：《2030 年气候保护方案的要点》（基于气候内阁的版本）. 柏林. 下载：<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1673502/855f58eed07bcbbd697820b4644e83a7/2019-09-20-klimaschutzprogramm-data.pdf?download=1> (26.09.2019)

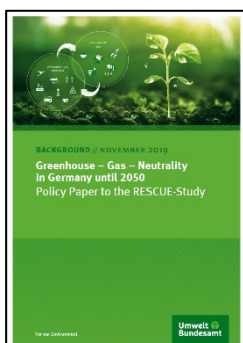
绿色和平组织（2018 年）：《德国森林展望：方法、假设和结果的说明》. 下载：<https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/20180228-greenpeace-oekoinstitut-forest-vision-methods-results.pdf> (22.11.2019)

Höhne, N., Emmrich, J., Fekete, H. & Kuramochi, T.（2019 年）：《1.5°C：德国必须做的事情》. 林德霍普路. 下载：https://newclimate.org/wp-content/uploads/2019/03/Deutschland_1.5_Web.pdf (13.09.2019)

IIASA（2019 年）：IAMC 1.5°C 情景探索机制. 国际应用系统分析研究所. 下载：<https://db1.ene.iiasa.ac.at/IPCCSR15DB/dsd?Action=htmlpage&page=welcom> (12.09.2019)

气专委（2018 年）：全球升温 1.5°C 特别报告. 关于全球升温高于工业化前水平 1.5°C 的影响以及相关的全球温室气体排放路径的《IPCC 特别报告》，背景是加强全球应对气候变化、加强可持续发展

- 和努力消除贫困。下载: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf (02.07.2019)
- Oehmichen, K., Klatt, S., Gerber, K., Polley, H., Röhling, S. & Dunger, K. (2018 年): 《森林发展和木材资源建模的备选方案: 木材优选、自然保护优先和趋势延续的方案制定、结果和分析》. 不伦瑞克. 下载: https://www.weham-szenarien.de/fileadmin/weham/Ergebnisse/Oehmichen_Die_alternativen_WEHAM-Szenarien_2018.pdf (09.09.2019)
- UBA 德国联邦环境署 (2013 年): 以可持续和节约的方式利用全球土地面积和生物量; 德绍-罗斯劳. 下载: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/globale_landflaechen_biomasse_bf_klein.pdf (11.09.2019)
- UBA 德国联邦环境署 (2018 年): 1990-2017 年德国大气排放报告趋势表. 德绍-罗斯劳. 下载: https://www.umweltbundesamt.de/data/climate/greenhouse_gas_emissions_in_Germany#textpart-1 (27.09.2019)
- UBA 德国联邦环境署 (2019 年 a): 必须确保从大气中清除二氧化碳的安全性和可持续性. 下载: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-entnahme-aus-der-atmosphaere-muss-sicher> (11.19.2019)
- UBA 德国联邦环境署 (2019 年 b): RESCUE — 实现资源节约型温室气体中和. 德绍-罗斯劳. 下载: www.uba.de/rescue
- UBA 德国联邦环境署 (2019 年 c): 欧洲委员会“人人享有清洁地球”战略愿景的深入分析报告. 中期报告. 代表联邦环境局: 中期报告. 气候变化 35/2019. 德绍-罗斯劳
- UBA 德国联邦环境署 (2020 年 a): 实现温室气体中和和资源节约型德国的转型进程— GreenEe. 气候变化 01/2020. 德绍-罗斯劳
- UBA 德国联邦环境署 (2020 年 b): 实现温室气体中和和资源节约型德国的转型进程— GreenLate. 气候变化 02/2020. 德绍-罗斯劳
- UBA 德国联邦环境署 (2020 年 c): 实现温室气体中和和资源节约型德国的转型进程— GreenMe. 气候变化 03/2020. 德绍-罗斯劳
- UBA 德国联邦环境署 (2020 年 d): 实现温室气体中和和资源节约型德国的转型进程— GreenLife. 气候变化 04/2020. 德绍-罗斯劳
- UNFCCC 《联合国气候变化框架公约》 (2015 年): 《巴黎协定》. 巴黎. 下载: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf (02.09.2019)
- Wachsmuth, J., Denishchenkova, A., Fekete, H., Parra, P., Schaeffer, M., Ancygier, A. & Sferra, F. (2019 年): 《巴黎协定》下基于公平性和成本效益的工作分享方法. 代表德国联邦环境署. 气候变化. 德绍-罗斯劳. 下载: http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5461729.pdf (10.10.2019)
- Wachsmuth, J., Schaeffer, M. & Hare, B. (2018 年): 根据《巴黎协定》和气专委 SR1.5, 欧盟减少温室气体排放的长期战略. 工作文件 S22/2018. 可持续性和创新. 卡尔斯鲁厄. 下载: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2018/WP22-2018_The_EU_long-term_strategy_to_reduce_GHG_emissions_WAJ.pdf (12.09.2019)



下载本手册（英文版）
链接：bit.ly/2dowYYI

www.facebook.com/umweltbundesamt.de
www.twitter.com/umweltbundesamt