

---

# 2030 年供暖转型

---

实现建筑领域中长期气候目标的关键技术

---

概述

---

Agora  
Energiewende



---

# 2030 年供暖转型

---

## 出版说明

---

### 研究摘要

2030 年供暖转型

实现建筑领域中长期气候目标的关键技术

### 委托方

Agora Energiewende  
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2  
10178 Berlin | Germany  
电话 +49 (0)30 700 14 35-000  
传真 +49 (0)30 700 14 35-129  
www.agora-energiewende.org  
info@agora-energiewende.de

### 项目负责人

Matthias Deutsch  
matthias.deutsch@agora-energiewende.de

### 研究单位

主要分析工作  
Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik (IWES)  
Königstor 59 | 34119 Kassel | Germany  
Norman Gerhardt、Fabian Sandau、  
Sarah Becker 博士、Angela Scholz

建筑供暖的发展和热泵集成

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)  
Gottschalkstr.28a | 34127 Kassel | Germany

Patrick Schumacher、Dietrich Schmidt 博士

衷心感谢 GIZ（德国国际合作机构）提供资金支持与建议。



翻译和排版: eubylon GmbH  
封面: iStock/bubutu-

**174/01-S-2017/ZH**

出版时间: 2020 年 1 月

请按此引用:

*Fraunhofer IWES/IBP (2017 年): 2030 年供暖转型。实现建筑领域中长期气候目标的关键技术。研究委托方 Agora Energiewende*

[www.agora-energiewende.de](http://www.agora-energiewende.de)

---

---

# 序言

---

尊敬的读者：

在德国政府 2050 年气候保护计划设定的众多目标中，有一项目标专门针对建筑行业：截止 2030 年，将温室气体年排放量减少到 7000 万至 7200 万吨二氧化碳。要实现此目标，需要在建筑供暖技术和保暖方面进行一场彻底的供暖转型。此转型将依赖三大基石：能源效率、低碳化区域供暖和本地可再生能源。如果德国要实现其环境目标，尤其是考虑到 2050 年的宏伟目标，目前尚不清楚这些措施的力度必须有多大。

为了回答此问题，我们委托弗劳恩霍夫风能和能源系统技术研究所 (IWES) 和建筑物理研究所 (IBP) 来确定脱碳所需的最低关键技术水平和方法。其研究结果表明，德国必须大力推进建筑绿色改造，推广热泵，扩大区域供暖，使建筑行业能源转型步入正轨。

我希望大家与我一样，在阅读本报告时受到启发。

此致敬礼！

Patrick Graichen

Agora Energiewende 主任

## 结论概览：

1

**供热行业需要逐步淘汰燃油：低成本、气候友好的建筑供暖组合很可能会包含 40% 的天然气、25% 的热泵和 20% 的集中供热，几乎不含燃油。**在此设定情景中，天然气的重要性与今天大致相同，但燃油供热几乎完全被热泵所取代。区域集中供热是另一个关键因素。到 2030 年，区域集中供热将主要依靠热电联产，但也将越来越多地依靠太阳能、深层地热能、工业废热和大型热泵。

2

**能源效率是决定性因素：要实现 2030 年的目标，用于建筑供热的能源使用量必须较 2015 年的水平下降 25%。**能源效率是脱碳的一大支柱，因为它帮助气候保护在经济上可负担的。提高建筑物的能源利用率需要每年 2% 的绿色改造率并结合较高的改造深度。但当前建筑现代化改造的趋势远远达不到这些目标。

3

**热泵缺口：根据目前的趋势，到 2030 年将安装约 200 万台热泵，但实际需要高达 500 万到 600 万台。**为了缩小这一差距，热泵必须尽早安装，不仅仅是新建筑，也包括老建筑在内的，例如，为了满足高峰需求，可采用含化石燃料锅炉的双系统。如果热泵可以灵活管理，到 2030 年将现有的蓄热式热水器换成高效的供热设备，则 500 万到 600 万台的热泵将只会带来需要火力发电厂满足的高峰需求的微小增加。

4

**用于热泵的可再生能源：到 2030 年，可再生能源必须至少占总电力消耗的 60%。**为了实现 2030 年的气候保护目标，供暖和交通部门的额外电力消耗必须由不会产生二氧化碳的能源来替代。但德国 2017 年的可再生能源法 (EEG) 中展望的新可再生能源容量不足以做到这一点。



---

## 概述

---

### 要实现 2050 年的能源转型目标，我们必须 在 2030 年达到什么样的水平？

按照 2050 年的目标，德国的温室气体排放量将在 1990 年的基础上减少 80% 到 95%，任重道远。如果只关注 2050 年，政客们就更有可能拖延采取必要措施。截止目前，德国 2030 年的中期气候目标主要集中在相对于 1990 年减少 55% 的温室气体总量，以及对未被欧盟碳排放交易体系（EU ETS）所涵盖的部分，相对于 2005 年减少 38%。<sup>1</sup>

这项研究为实现 2030 年目标提供了强有力的“保障”，为重要的目标数字制定了更清晰的框架，以及助力在 2030 年前的时间框架内启动必要的措施。它重点关注在 2030 年之前在电力和供热部门的交叉领域必须达到最低的关键技术应用水平。这些技术集中于建筑能效、供热网络和热泵方面。在本研究中，我们将深入分析最后两项。

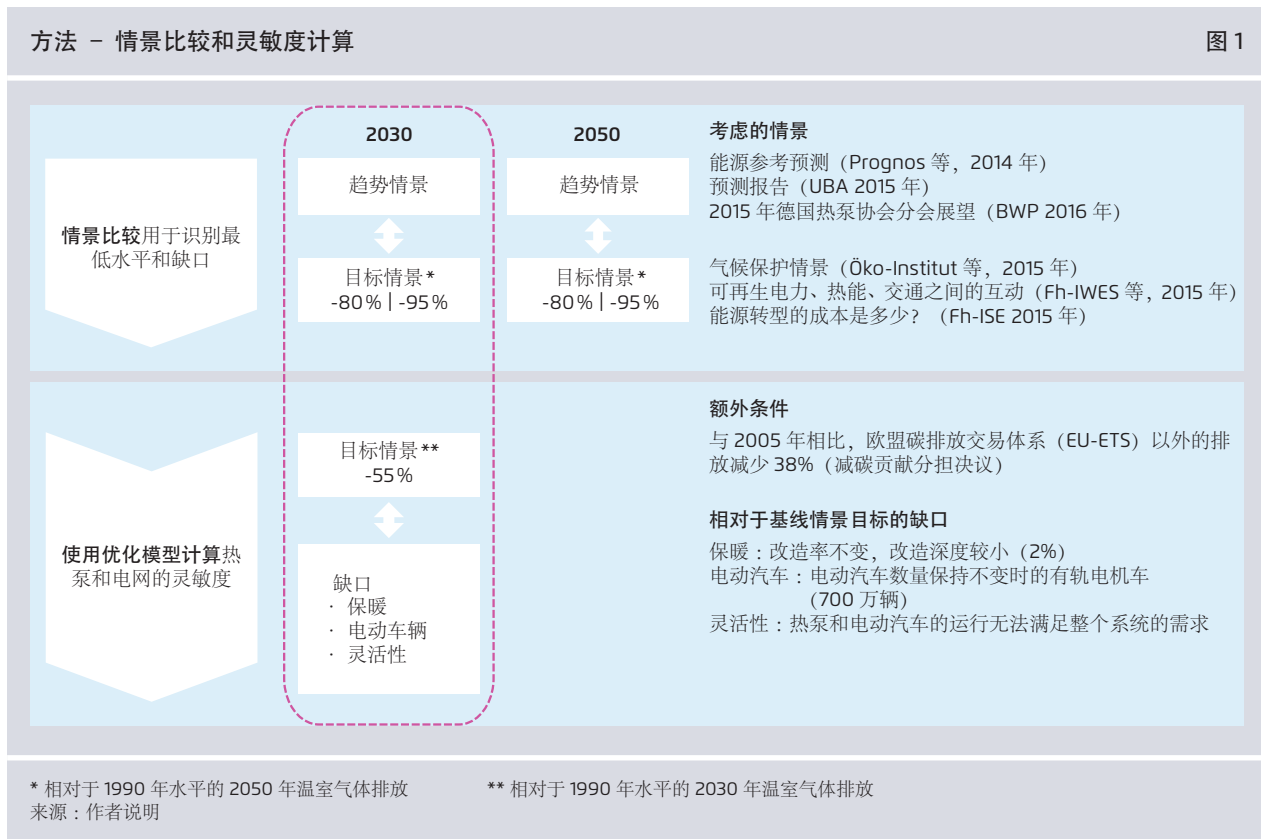
为了确定最低的应用水平，我们比较了温室气体减排 80% 至 95% 的目前目标情景（图 1）。得出 2030 年和 2050 年所需完成的任务范围，然后根据预测趋势进行评估，以识别缺口，尤其是可行的能源发展路径。也就是说，到 2030 年德国必须完成哪些任务，才有机会在 2050 年将温室气体排放量减少 95%？

第二步，使用能源系统优化模型进行 2030 年敏感性分析。这些敏感性分析用来确定，当关键技术表现不佳并需要在其他领域采取措施作为补充时，到 2030 年能否实现温室气体排放减少 55% 的最低目标。基准情景包括 2% 的绿色改造率，考虑到高绿色改造深度、700 万辆电动汽车、有轨电车的使用、热泵和电动汽车的部署，使整个能源系统受益。<sup>2</sup> 在敏感性计算中，参数的变化涉及建筑保温、电动汽车的普及以及热泵、电动汽车和电动卡车的灵活性。另一个条件是，到 2030 年，交通、农业和分散供热能源供应领域的温室气体排放减少 38%，这些领域都不受 EU ETS 的约束。

---

1 截至 2016 年底，2050 年气候保护计划增加了行业目标。本研究并未考虑这些目标（德国联邦政府 2016）。

2 电动卡车（包括电池动力卡车和插电式混合动力卡车）的耗能占所有卡车总能耗的 24%。



## 2050 年的气候中性建筑存量必须依赖于能源效率、分布式可再生能源和脱碳热网

德国目前关于建筑供暖的政治讨论集中在联邦政府提高建筑能效的战略上。<sup>3</sup> 这些讨论试图评估可再生能源的潜力和减少能耗的措施, 以找到可行的解决方案, 使建筑存量趋于实现“气候中立”。具体目标是, 到 2050 年将不可再生的一次能源消耗量在 2008 年的基础上减少 80%。

到目前为止, 政策制定者已经确定, 家庭和企业的热端能源消耗平均可以减少 40% 到 60%, 但考虑到目前的技术限制, 再进一步减少将非常困难。政府将对常见的三种可再生能源进一步发掘“现实可行”的潜力: 环境热能、太阳热能和生物质能。根据最新估计, 如果运用环境热能<sup>4</sup> 和热泵发电的潜力来扩充能源, 常见可再生能源每年产生的热量可达 197

至 447 太瓦时。<sup>5</sup> 剩余的热能消耗必须通过脱碳热能网络来实现。在建筑采暖行业, 减少温室气体排放的三大支柱都图 2 以减少 40% 的建筑采暖能耗为例进行了说明。偶有偏颇可能在所难免, 因为常见的一部分可再生热源可以合并在一起, 成为小规模分布式供暖系统的一部分, 在德语中称为“临近供暖 (Nahwärme)”。

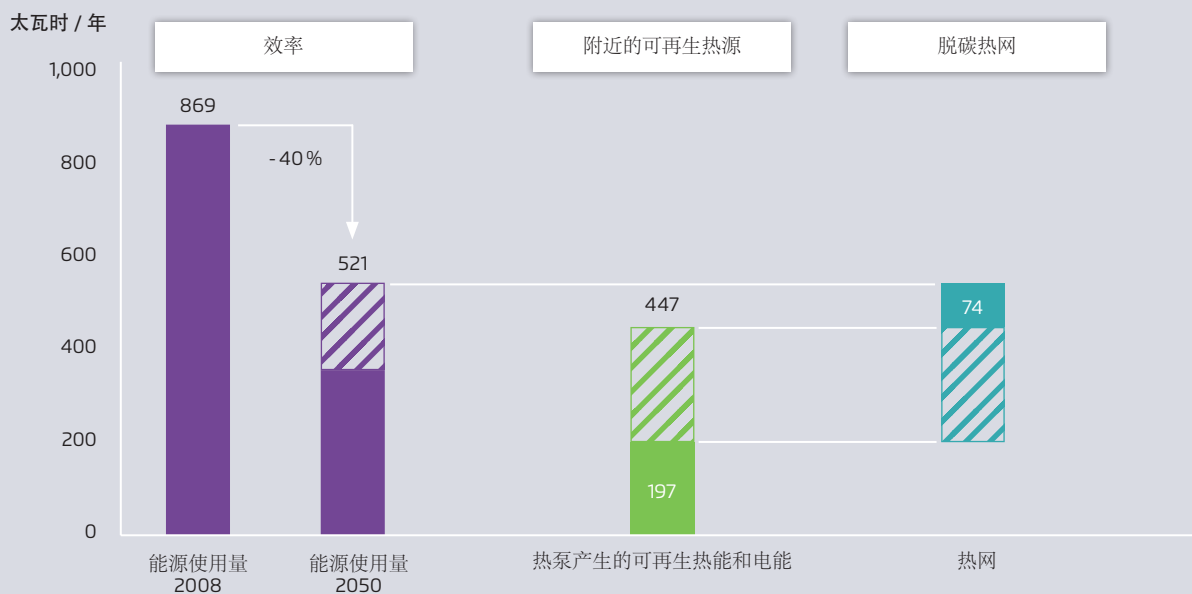
3 这些声明主要涉及建筑能效战略 (BMW 2015 年) 的背景文件 (Prognos、ifeu、IWU 2015 年)。

4 参见 ifeu (2016 年)

5 各类能源年度能量范围划分如下: 太阳能: 53 – 69 太瓦时; 生物质能: 69 – 139 太瓦时; 环境热能: 58 – 186 太瓦时。此外, 热泵发电预计每年达 17 – 53 太瓦时。

将建筑最终能源使用量减少 40% 的脱碳方案 (单位: 太瓦时 / 年)

图 2



阴影线区域表示效率和可再生能源的潜力范围。附近的一部分可再生能源也可以合并为小型分布式热网的一部分。根据 Prognos、ifeu、IWU (2015)、ifeu (2016) 以及作者对热泵发电的假设进行的计算。

### 建筑热效率和热网的当前进展还远远不够

能源效率是脱碳的支柱。实现气候政策目标的关键在于现有建筑的绿色改造。在进行比较的目标情景中,几乎所有的假设都是,到 2030 年,与 2008 年的水平(温度调整后)相比,热能消耗将大幅减少 40%,到 2050 年将减少 60%。但是,目前对热能的利用还达不到这些目标,距离温室气体排放比 2008 年的水平下降 95% 的目标更加遥远。

到 2050 年前温室气体排放相对于 1990 年的水平降低 95% 能够实现,但要从 2030 年的低水平一蹴而至 2050 年的高水平,并不现实。

热网在人口密集地区最有用,那里分散的可再生能源部署非常有限。在情景比较中,区域供热网络(德语所谓的远程供暖“Fernwärme”)的扩展,从今天占最终能源使用的 10% 左右,<sup>6</sup>到 2050 年占最终能源使用的 23% 左右,可以得到显著的改善(图 3),但还是非常有限,因为在所有情景中,大部分的供热市场的主流仍是分散式锅炉。在减排 80% 情景下,必要的热网共享可能会覆盖更大的范围。在减排 95% 情景下,回旋余地则小得多。到 2030 年,热网在建筑最终能源需求中的占比必须大大增加,以便

6 这还不包括农村地区的生物源分布式供暖系统。

为了使热网长期脱碳，必须降低供暖温度，使用深层地热能、大型太阳能热能装置和 / 或使用环境热能 / 废热利用（排水、工业、河流、污水等）和大型热泵。2030 年的敏感性计算表明，热网需要扩大到最终建筑能源使用的 15% 到 21% 之间。<sup>7</sup> 最明智的做法是，将这些能源与大规模太阳能热能结合，这在很大程度上取决于当地情况。（还需要更多的研究。）大型热泵系统对同时需要加热和冷却的系统有利可图，它们对热网的巨大潜能有待发掘。特别是，如果可以实现更高的热源温度和更高的效率，这些系统将很快能取得经济效益。目前在深层地热能领域有多个项目。相比之下，工业废热的利用则极为有限。

7 与2030年的情景相比，在此实现相关数值更高，因为在热网中增加的热电联产工厂数量更多，弥补了特定关键技术的不足。

**到 2030 年，德国需要 500 万到 600 万台热泵来减少 55% 的温室气体排放，到 2050 年至少减少 80% 的温室气体排放。**

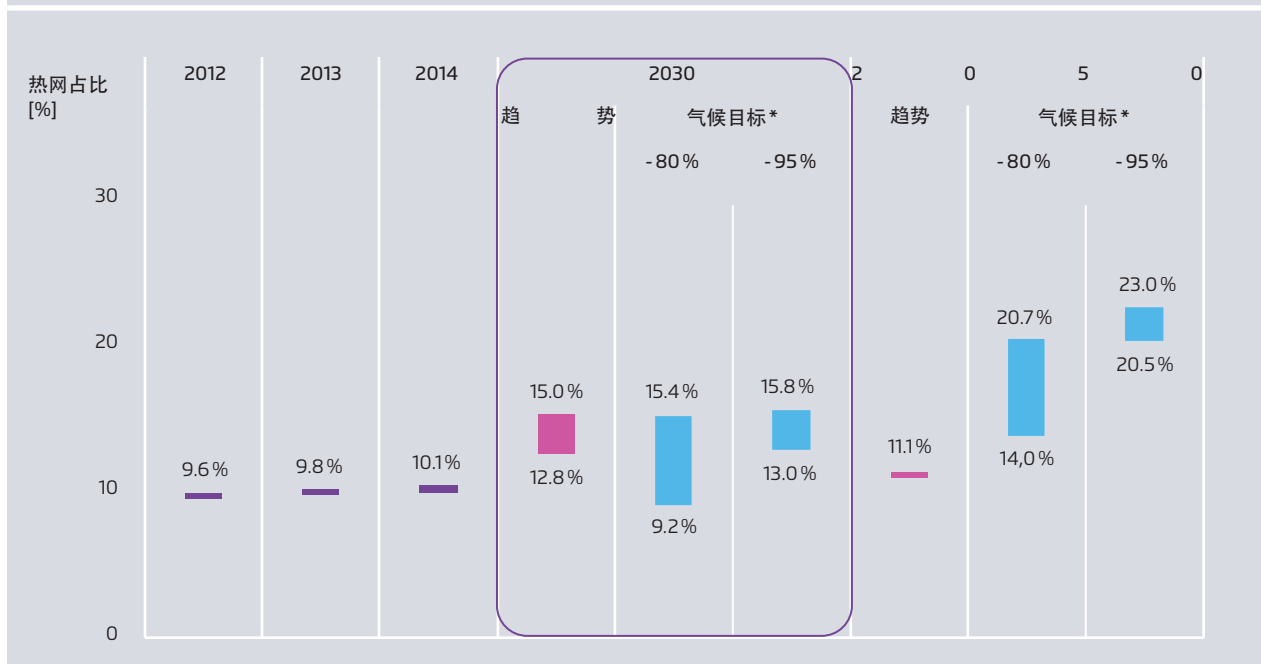
在所有的目标情景中，用于建筑供暖的分散式热泵是一项具有高 / 非常高的市场渗透率的关键技术。通过比较，趋势情景介绍了在当前监管框架下所面临的障碍。这导致在趋势情景水平与所需的 500 万至 600 万台热泵目标值之间存在大约 300 万至 400 万台热泵的缺口（图 4）。<sup>8</sup>

在趋势情景下，相对于如今的水平，热泵的销售额每年增长约 60%。为了达到平均目标情景，热泵的销量必须增长 5 倍。此处，我们必须区分新建筑和现有建筑。在新建筑项目中，必须按照节能规定满足一次能源标准（化石能源），使热泵在 2016 年以来市场电价上涨的情况下仍能发挥重要作用。在现有的建筑存量中，热泵在所有供暖系统中的份额目

8 500万台热泵的目标数量源自以下所述2030年敏感性的计算结果；600万台热泵的目标数量源自于2050年减排95%的气候目标。

情景比较中热网在建筑的最终能源使用中的占比（百分比）

图 3

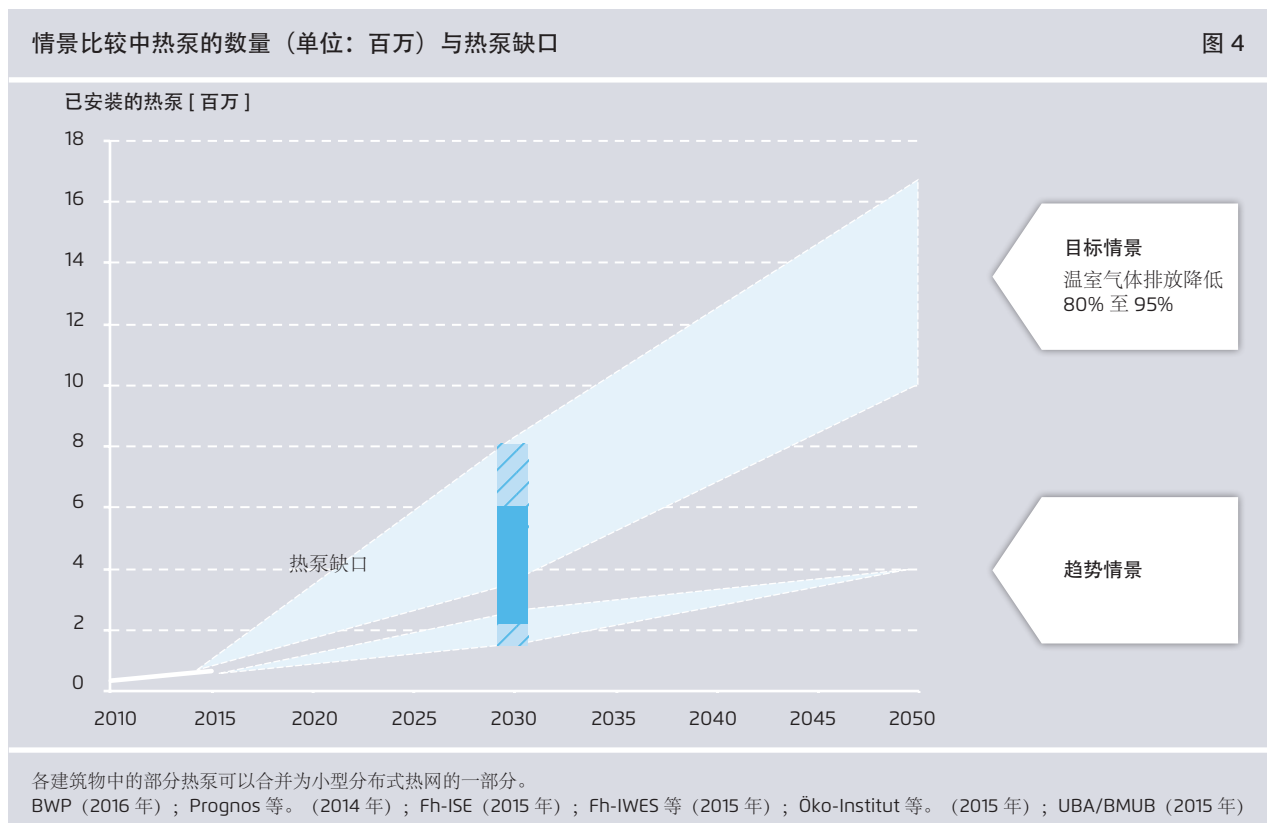


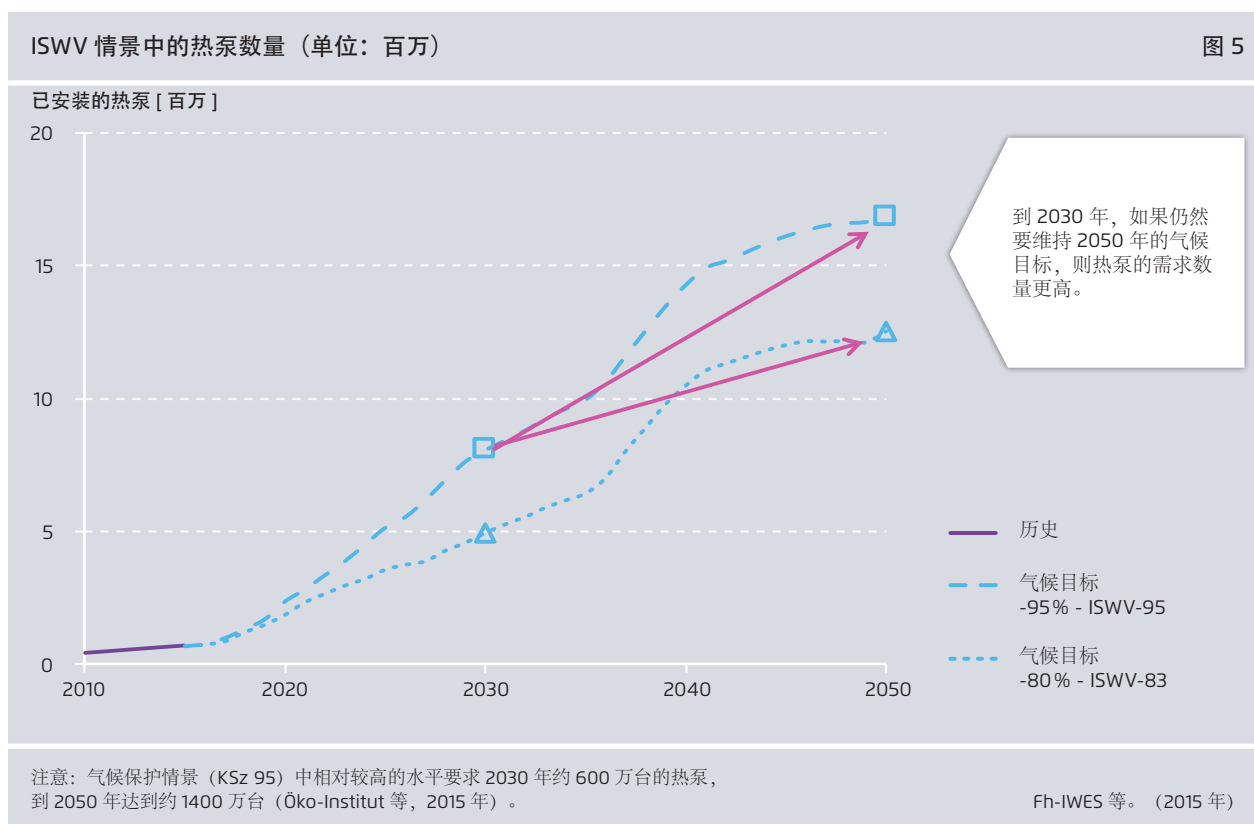
\* 降低 80% 的气候目标还包括减少 83% 和 85% 温室气体排放的情景。Prognos 等。(2014 年) ; Fh-ISE (2015 年) ; Fh-IWES 等 (2015 年) ; Öko-Institut 等。(2015 年) ; UBA/BMUB (2015 年)



前仅占 2%。通常，热泵市场的一部分也可以由小型分布式供暖系统覆盖，以供应较小的区域（例如，通过使用地面探测场）。在这里，分散式和网格式热泵之间的界限是模糊的。

考虑到目前的惯性和改变现有供暖系统的局限性，将温室气体的排放量从 80% 减少到 95% 仍有很长的路要走。图 5 中的圆点虚线表示转型的机会窗口。如果在设备的机械寿命结束之前没有更换供暖系统（这是供暖系统价值减计的一种措施），则需要 在 2030 年制定更大的最低热泵数量水平。通过对 ISWV-83 和 ISWV-95 的示例情景比较，可以看出，2030 年必须瞄准情景路径的上限，即大约 810 万台热泵。对于气候保护情景 KSz 80 和 KSz 95 中的类似考虑，表明到 2030 年约需要 580 万台热泵。总而言之，要实现到 2050 年温室气体排放量减少 95% 的目标，2030 年的最低热泵数量大约是 600 万到 800 万台。





## 到 2030 年, 使用热泵脱碳可以弥补建筑保温材料和电动汽车的不足

与 1990 年的水平相比, 温室气体排放减少 55%; 与 2005 年的水平相比, EU-ETS 范围之外的排放减少 38%, 这两个目标是否可行, 取决于各个行业的贡献。在供热领域, 建筑保温起着决定性作用; 在交通领域, 电动汽车发挥着重要作用。在 2030 年的基准情景中, 我们假设绿色改造率提高到 2%, 且实现高绿色改造深度、高电动汽车普及率——到 2030 年将达到 700 万辆, 无轨混合动力电车也将早日推出。此外, 新的电力消费者更具灵活性, 因为热泵安装了蓄热装置, 电动汽车采用有利于整个电力系统的充电方式。

要区分以下结果, 我们必须首先注意到, 在脱碳目标的背景下, 热泵的快速普及是随时间发展的供热组合中的一部分。至 2030 年这一目标年份, 在计算的基准情景中, 除热泵外, 还将大量增加分散式燃

气锅炉, 因为优化算法会尽力确定实现温室气体排放目标的最经济的解决方案。<sup>9</sup>

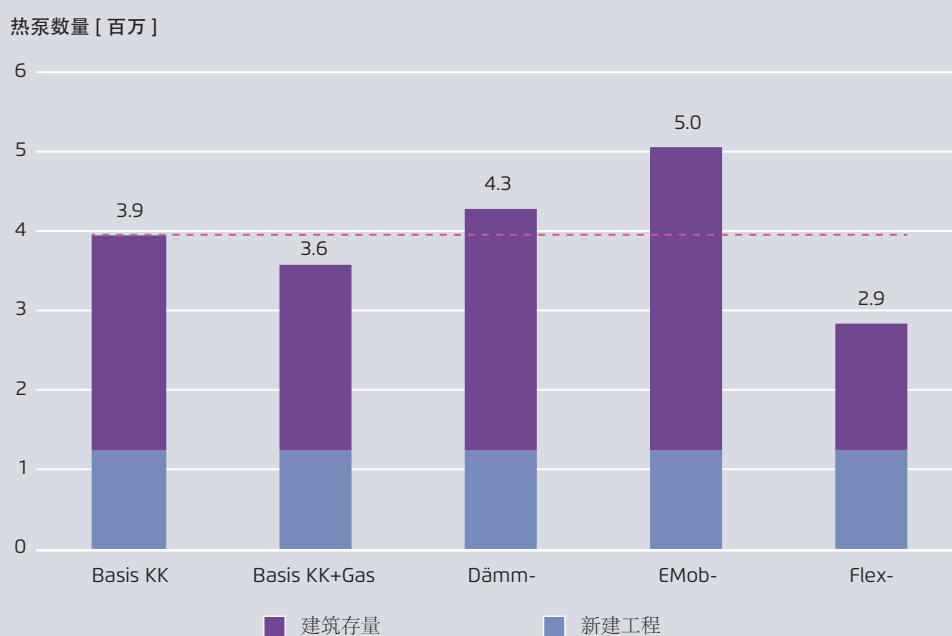
根据基准线计算 (“基准 KK”), 到 2030 年, 要实现减排目标, 大约需要安装 400 万台热泵 (图 6)。如果采用较低绿色改造深度 (“Dämm(-)”), 则热量消耗会增加。在这种情况下, 分散供热的脱碳将是一项巨大挑战。现有锅炉的排放水平是固定的, 限制了可用 CO<sub>2</sub> 的预算, 特别是在非 ETS 地区, 而高热量需求可以通过增加锅炉来满足。一方面, 这种压力将迫使区域供热项目增多, 将排放从分散的设施 (EU-ETS 范围之外) 转移到 ETS 覆盖范围。另一方面, 脱碳将越来越多地通过热泵实现, 特别是双气源热泵 (在需求高峰期与燃气锅炉结合使用)。这将使热泵的数量需求超过 400 万台。相应地, 新装燃气锅炉的数量将会减少。

<sup>9</sup> 更多细节, 请参见下一节关于 2030 建筑混合供暖的下一部分。

如果电动汽车 (“EMob(-)”) 普及率较低, EU-ETS 区域以外的二氧化碳预算将进一步受到限制。因此, 建筑供暖将需要更多的脱碳。燃气锅炉的增加数量将大大减少, 取而代之的是更多的区域集中供热和越来越高效的热泵, 即增加地源热泵的比重。到 2030 年, 热泵的数量将增加到 500 万台, 以确保满足 EU-ETS 以外的排放目标。

对 2030 年安装热泵数量的敏感性分析, 以及热泵的输出和能量 \*

图 6



2030 年的变化	基准情景		敏感性		
	Basis KK	Basis KK+Gas	Dämm-	EMob-	Flex-
假设	煤炭共识路径 (18.5 吉瓦来自燃煤发电厂)	煤炭共识路径 + 从煤炭改为天然气	较低的保暖标准	较低的电动汽车使用率	热泵和电动汽车没有分散的灵活性 **
最高需求 [ 吉瓦 ]	17	11	20	21	10
能源消费 [ 太瓦时 ]	36	22	42	43	16

\* 热泵包括地源热泵、单一气源热泵和混合气源热泵

\*\* 电动汽车充电不能使系统受益, 混合动力车不能切换到混动模式, 热泵缺少蓄热器

如果热泵和电动汽车缺乏灵活性 (“Flex(-)”), 热泵的数量将降至 300 万台以下。通过这种方式, 优化模型避免将缺乏灵活性的消费者纳入考量。相反, 该模式中的新集中供热解决方案将来自非 EU- ETS 区的排放转移到 EU-ETS 覆盖范围, 在那里通过增加燃气发电厂的部署更容易补偿排放。然而, 要实现更宏伟的减排目标, 这些供暖系统的电气化就变得不可或缺, 这种短期成本优化在长期时间内不会产生效益。从长远来看, 热泵和电动汽车等动力装置的灵活性对整合波动的可再生能源至关重要。灵活使用双热泵系统和无轨电车有助于减少高峰需求。

通常, 热泵会增加高峰需求。在此处考虑的敏感性分析中, 热泵所需的最高输出量范围介于 10 吉瓦到 21 吉瓦之间。总而言之, 敏感性分析计算表明了实现 2030 年气候目标所需满足的条件。鉴于建筑保温和电动汽车的发展前景存在不确定性, 德国必须力争在 2030 年将热泵安装数量稳定在最低水平, 以弥补这些领域的不足。500 万台热泵代表稳定的最低水平。

**到 2030 年, 气候友好型建筑的供暖组合将由 40% 的天然气、25% 的热泵和 20% 的热网组成。**

在采取节能措施后, 通过组合使用天然气、热泵、小型分布式供暖系统和区域供暖, 对家庭和商业建筑供暖所需的 547 太瓦时能源实现气候友好型覆盖。

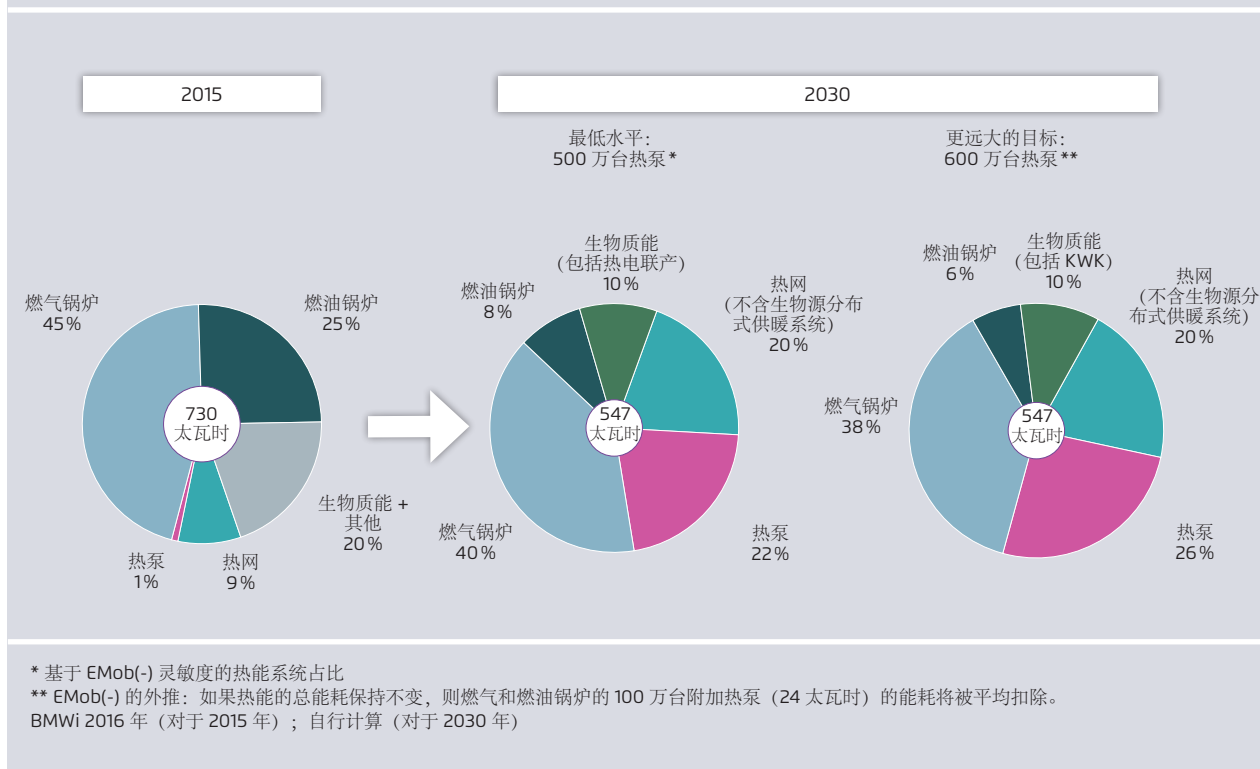
根据 2030 年 **500 万热泵** 的 EMob(-) 敏感性计算, 得出以下供热能耗占比 (图 7): 40% 来自燃气锅炉, 其中约一半必须在 2030 年之前加装到位; 22% 来自热泵, 其中一半以上为地源热泵, 不到三分之一为双气源热泵<sup>10</sup>; 20% 来自分布式供热系统; 10% 来自生物质, 包括生物源分布式加热系统; 8% 来自锅炉。与 2015 年的分布情况相比, 供暖总能耗约 730 太瓦时, 占比变化最大的是燃油供暖, 其二氧化碳的排放量最大。燃油占比从 2015 年的 25% 下降到 2030 年的 8%。同期, 燃气供暖系统的二氧化碳排放量仅下降 5%, 低于燃油。热泵和热网呈现最大的增加。

**更大的热泵目标——到 2030 年热泵安装数量达 600 万台——到 2050 年努力将温室气体排放量减少 95%。**此目标将进一步改变建筑物的供暖结构。下面, 假设总热量消耗保持不变, 用外推法来说明这些变化。如果从燃油和天然气中平均扣除额外热泵的额外能量, 结果就是图 7 右侧的分布, 其中 6% 来自燃油锅炉, 38% 来自燃气锅炉, 26% 来自热泵。

<sup>10</sup> “混合热泵”将两种类型的热发生器组合在一个单元中 (BDH 2014年)。

2015 年和 2030 年建筑物的供暖组合、热泵的两个不同目标及热能能耗的占比（按百分比）

图 7



### 到 2030 年，我们需要实现可再生能源占总用电量至少 60% 的目标

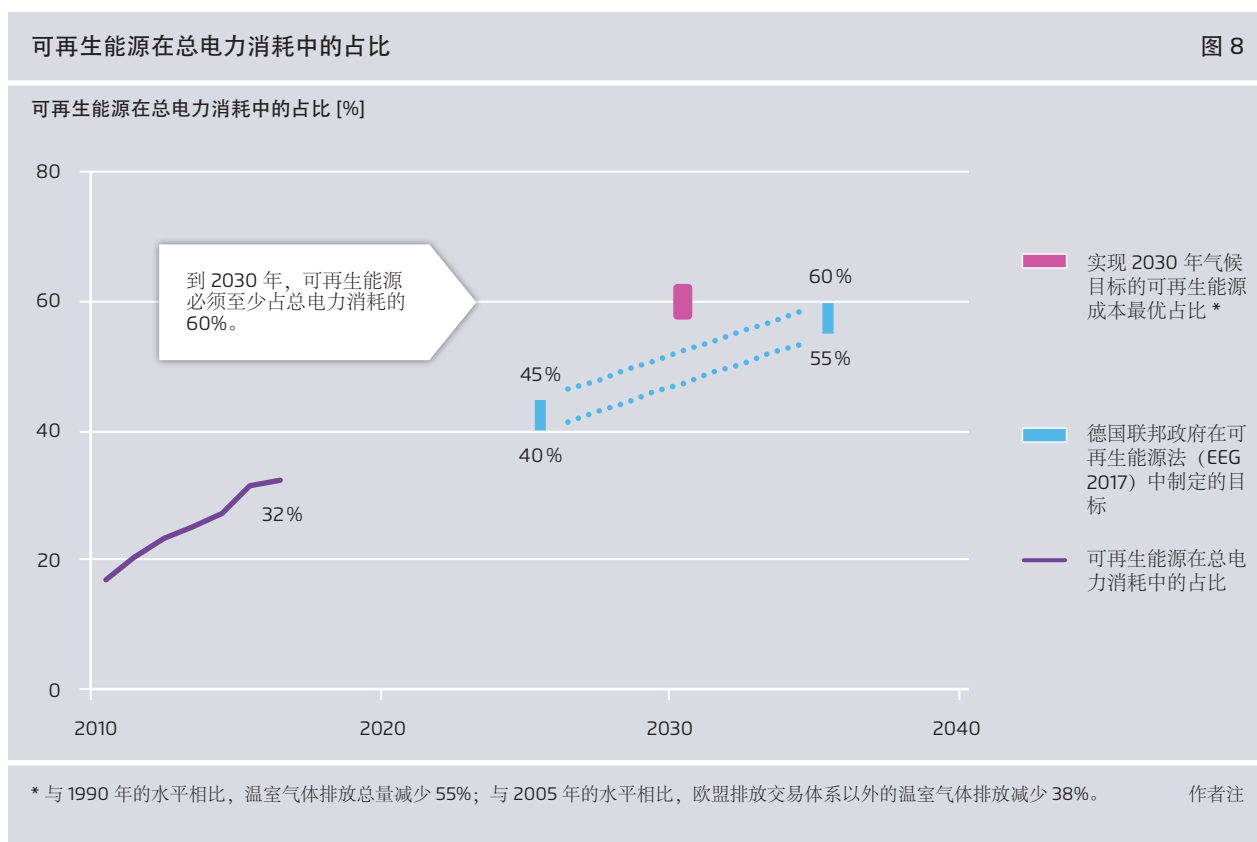
德国的目标是到 2030 年将温室气体排放量在 1990 年的基础上减少 55%。此外，欧洲目前关于应对气候变化的决议要求德国将其在 EU ETS 之外的温室气体排放量在 2005 年的基础上减少 38%。这里使用的模型考虑了这两个限制条件。还有其他一些输入参数可能影响 2030 年的结果。供应侧是燃煤发电站的产量要求、<sup>11</sup> 燃料价格假设和可再生能源成本。需求侧的主要因素是 32 太瓦时的净电力出口，<sup>12</sup> 其次是采暖和运输部门的新电力消费者，以及上述关于建筑能效和电动汽车方面的假设。

为了遵守规定的排放限制，可以在模型中使用各种脱碳方案，例如增加燃气发电厂和可再生能源。然后将根据这些方案选择最有利的组合。根据上述假设，2030 年的敏感性计算得出成本最优的可再生能源占总电力消耗的比例在 58% 到 62% 之间（图 8）。

结果显示，当前的可再生能源目标——到 2025 年从 40% 增加到 45%，到 2035 年从 55% 增加到 60%——不足以在降低成本的同时实现 2050 年的气候保护目标。因此，2030 年可再生能源法案（EEG）的目标必须提高到至少 60%。

11 这基于 Agora Energiewende（Agora Energiewende 2016 年）推荐的煤炭共识路径。

12 这是 2030 年欧洲电力市场模拟的预期结果。



## 热泵还是“绿色”天然气？

通过对能源系统目标情景的比较和敏感性计算得出相同的结论：热泵在未来供热中应发挥重要的作用。然而，能源政策讨论中的一些声音对此结论提出了质疑。一个被屡次提及的反对意见是快速、广泛地安装现代燃气冷凝锅炉将更快、更经济地减少二氧化碳的排放。为了解决这一争议，热泵面临的最重要挑战将会被再次提出，然后与燃气供暖系统进行比较。<sup>13</sup> 比较的标准是温室气体排放、能源效率和对峰值需求的影响。

虽然燃气锅炉的温室气体排放量不会随着时间的推移而改变，但随着可再生能源在发电行业中的占比日渐增加，热泵本已较低的排放强度也会更低。随着新的热能应用导致未来的电力需求上升，<sup>14</sup> 可再生能源发电量也需要相应地增加。为了跟上可再生电力的发展，天然气必须变得越来越“绿色”。<sup>15</sup> 因为生物质能的潜力有限，<sup>16</sup> 如果天然气要促进更广泛的脱碳，则不得不依赖于电转气。问题是在哪种应用中使用可再生电力：热泵还是电转气。

<sup>13</sup> 更多的技术细节参见 Fh-IWES/IBP (2017年) 附录 7.2 的 6.1 节。

<sup>14</sup> 热泵电力排放强度的更深入讨论请参见 3.4 节 (Fh-IWES/IBP 2017年)。

<sup>15</sup> 参见 BDEW 等。(2016年)。

<sup>16</sup> 参见 Fh-IWES/IBP (2017年) 第 3.1 章和 Fh-IWES (2015年)。

鉴于德国可再生能源的表观潜力有限，以及可预见的社会阻力，必须高度重视并充分利用来自可再生能源的每千瓦时电力，使其尽可能实现高能源效率。热泵（通过使用环境热）利用每千瓦时电能产生约 3 到 4.5 千瓦时的热能，但由于转换损失，“电转气”时，每千瓦时电能只能产生 0.24 到 0.84 千瓦时的热能。<sup>17</sup> 这些技术的产热率相差 4 到 19 倍。当然，电转气还有另外一个好处，就是可以长期储存。<sup>18</sup> 但即使考虑了热泵的季节性储热损失，结果也不会有很大变化。<sup>19</sup> 从效率的角度来看，在热泵系统中使用电力显然比使用电转气系统要好。

当同时运行大量热泵（或者，在未来，电动汽车）时，需要应对的一项重要挑战即**峰值需求的增加**。随着风电和光伏发电占比的增加，可再生能源发电的水平可能提高或降低（尽管风力涡轮机通常更适合在供暖期间满足热泵的电力需求）。这些波动包括无光伏和风电的时期，即所谓的“*Dunkelflauten*”。此外，当温度很低时，供热需求较高，而热泵则显得效率很低。

本研究中的模型尽可能地捕捉这些关系，以确定对峰值需求的影响。对于 2006 年的气象年，该模型模拟了每小时间隔波动的可再生能源发电，以及动态、外部温度相关的热泵性能系数，这些系数因技术和建筑类型而异。

高峰需求增加时，务必区分供应安全问题，即年度关键时间的输出储备，以及热电站在较长一段时间内的发电量，如无太阳能和风能期间。此处必须考虑三个相关案例：

1. 上述敏感性计算显示，到 2030 年，热泵发电需求的增加应该是可以承受的。事实上，热泵需要 21 吉瓦的额外峰值需求。但是考虑到目前直接电阻加热（尤其是流动加热器和夜间存储加热器）需要约 35 吉瓦的输出功率，将夜间存储加热器换成热泵或高效燃气锅炉可以使更多的热泵进入电力系统。
2. 2050 年，需求负荷的水平范围，取决于温室气体减排目标和剩余排放预算。由于到 2050 年的减排目标为 80%，电力部门可能会继续排放（少量）二氧化碳，因此，额外的燃气轮机可以以相对经济的方式满足峰值需求。<sup>20</sup>
3. 随着减排 95% 的更远气候保护目标，电力部门可能不会在 2050 年排放更多的二氧化碳，因为剩余的排放预算必须预留给非能源排放，而非能源排放很难脱碳。为了满足高峰需求，燃气发电厂必须依靠电转气。但是，由于较高的电转气损失，这种形式比天然气更昂贵。尽管如此，与其他可能的脱碳方案相比，这些额外的成本是微不足道的，因为每年只有几个小时的负荷时间。<sup>21</sup>

换句话说，热泵的需求峰值问题是可控的。相比之下，在天然气的应用过程中则不会发生此问题，因为天然气基础设施的尺寸足够大，可以承受这样的加热负荷。

17 FENES等（2015年，表A 2.5.1）。在分散式电转气设施中使用余热可以帮助提高产能（dena 2016年）。

18 此特点使得电转气成为一项非常重要的技术，可用于可再生能源占比很高的电力系统的长期储能（FENES等，2014年）。

19 参见Prognos、ifeu、IWU（2015年，表3-6）。

20 参见Fh-IWES/IBP（2017年）的附录7.3，它解释了燃气轮机相对于热泵的额外成本。

21 联合循环燃气轮机发电厂的电转气再转换每千瓦时只能产生0.3到0.38千瓦时的电能（FENES等，2015年，表A 2.5.1）。但是这些电能通过热泵能产生更多热能。只有几个小时的温度低于零摄氏度，气源热泵的性能系数（COP）低于2.5，同时可再生能源不会馈入电网，电转气再转换与热泵结合的效率比电转气与冷凝锅炉的结合更低。

对于热泵来说，最大的挑战可能是需要足够的**建筑能效**。也就是说，它们能否被广泛接受，取决于建筑物的热需求能否降低，尤其是现有建筑存量。在研究中，建筑热能的需求基于几个假设进行了模拟计算。例如，敏感性计算假定改造率上升到2%，同时具有较高的改造深度。如果在现实生活中不能相应地降低能耗，则技术要求也将无法满足热泵的大规模扩容。另一方面，完全的绿色改造无需在旧建筑存量中安装热泵。窗户和屋顶的现代化可以在这方面取得很大成就。如果安装了低温散热器，地暖也可有可无，因为低温散热器的性能只差一点点。此外，双气源热泵可以作为过渡型技术，与燃气或燃油锅炉相结合，在非常冷的时候，作为一种应对渐进式绿色改造的挑战的方法。为了避免锁定效应，安装设计应确保在广泛现代化建设后热泵输出足以建筑供热。此外，还有更创新的热泵技术——冰储槽与太阳能吸收器、高效导流蒸发器等的组合。<sup>22</sup>换句话说，有不同的方法使建筑材料与热泵兼容。

这项研究并未考虑许多热泵同时使用时**可能对分配网络带来的影响**。这可能导致在此使用的模型中未考虑在内的额外成本。然而，热能网络的扩张始终悬而未决，即使考虑到现有的天然气分配网络，也不太可能受到挑战。<sup>23</sup>

总而言之，在建筑供暖行业迅速增加热泵，似乎是减少电力部门温室气体的一种高效节能方式，并在需求高峰期间可以加以控制。它的致命弱点是，老式建筑需要最低程度的能源现代化改造以配套，而天然气锅炉则不需要。然而，天然气作为一种能源，也必须有助于**脱碳**，并随着时间的推移变得越来越“绿色”。这将提高天然气的成本，使得即使在使用天然气供暖的建筑中，也能提供充分的保温性能。从长期来看，在建筑材料中使用低碳燃气而不进行绿色改造，从成本角度来看没有什么意义。当涉及到建筑外观的绿色改造时，从增加天然气应用脱碳着手可能更容易。但仅凭这一点并不能确保实现2050年气候目标的低成本路径。如果绿色燃气能在脱碳建筑行业发挥作用，这可能是因为消费者的偏好。如果一部分民众更愿意继续用天然气供暖，而不是进行绿色改造或安装热泵，应该也被允许。但是，就像电能一样，天然气必须越来越绿色，在此过程中，它将变得更加昂贵。

天然气可以通过两种方式实现绿色：(1) 通过更严格的二氧化碳基准和供暖系统的一次能源因子，以及/或(2) 通过利用有限数量的可用生物质和电转气技术来增加越来越多的二氧化碳中性气体。

未来研究的问题是：从长远来看，哪条道路对大多数现有建筑更好，热泵还是绿色燃气？鉴于德国在可再生能源领域的地理场地竞争相当激烈，答案将在很大程度上取决于未来在国外生产氢和合成天然气等电转气产品并将其进口到德国的成本。另一个决定性因素是交通和工业领域的电改气消费者，而建筑供暖部门将不得不与之竞争，因为在某些情况下，这些竞争对手将比建筑供暖更难实现电气化。未来的研究需要更深入地探讨这些问题。

<sup>22</sup> 参见Fh-IWES/IBP（2017年）的6.1章节和附录7.2获取更多详情。

<sup>23</sup> 参见E-Bridget等。（2014年）。





---

## 参考文献

---

Agora Energiewende (2016 年) : 煤炭共识十一大原则 : 德国电力行业逐步脱碳方案 (精华版)。

[www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Kohlekonsens/Agora\\_Kohlekonsens\\_KF\\_EN\\_WEB.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Kohlekonsens/Agora_Kohlekonsens_KF_EN_WEB.pdf)

BDEW 等。(2016 年) : Dekarbonisierung mit Gas - Gas kann grün. Gemeinsamer Appell der Gaswirtschaft zum Klimaschutzplan 2050: 2016 年 10 月 31 日, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., [www.bdew.de/internet.nsf/id/A53C36647CA2AB63C125805D0031ADDA/\\$file/161028\\_KSP\\_Appell\\_percent\\_20der\\_percent\\_20Gaswirtschaft\\_final.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/A53C36647CA2AB63C125805D0031ADDA/$file/161028_KSP_Appell_percent_20der_percent_20Gaswirtschaft_final.pdf)

BDH (2014 年) : Bivalente Wärmepumpen-Systeme. Informationsblatt Nr. 57. März 2014. Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e. V. [www.bdh-koeln.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Infoblaetter/Infoblatt\\_Nr\\_57\\_Bivalente\\_Waermepumpensysteme.pdf](http://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_57_Bivalente_Waermepumpensysteme.pdf)

BMWi (2015 年) : Energieeffizienzstrategie Gebäude. Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand

BMWi (2016 年) : Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung, Endenergieverbrauch nach Anwendungsbereichen I und II, Deutschland, AG Energiebilanzen, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

德国联邦政府 (2016): 2050 年气候行动计划。德国政府气候政策的原则和目标。执行摘要。

[www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_kurz\\_f\\_en\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_kurz_f_en_bf.pdf)

dena (2016 年) : Potenzialatlas 电转气 : Klimaschutz umsetzen, erneuerbare Energien integrieren, regionale Wertschöpfung ermöglichen. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2016 年 6 月

E-Bridge 等。(2014 年) : Moderne Verteilernetze für Deutschland (Verteilernetzstudie), 最终报告, 该研究受托于联邦经济事务和能源部 (BMWi)。

FENES 等 (2014 年) : Stromspeicher in der Energiewende: Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienstleistungen und im Verteilnetz, study for Agora Energiewende, [www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2013/speicher-in-der-energiewende/Agora\\_Speicherstudie\\_Web.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2013/speicher-in-der-energiewende/Agora_Speicherstudie_Web.pdf).

英文摘要 : [www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2013/speicher-in-der-energiewende/Agora\\_Speicherstudie\\_EN\\_web.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2013/speicher-in-der-energiewende/Agora_Speicherstudie_EN_web.pdf)

FENES 等 (2015 年) : Bedeutung und Notwendigkeit von Windgas für die Energiewende in Deutschland, Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES) OTH Regensburg, Energy Brainpool, 该研究受托于绿色和平能源合作社, Regensburg/Hamburg/Berlin, [www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/Windgas-Studie\\_2015\\_FENES\\_GPE\\_lang.pdf](http://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/Windgas-Studie_2015_FENES_GPE_lang.pdf).

Fh-ISE (2015) : 能源转型的成本是多少? 到 2050 年德国能源体系转型的途径。

[www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/What-will-the-energy-transformation-cost.pdf](http://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/What-will-the-energy-transformation-cost.pdf)

Fh-IWES (2015 年) : Wie hoch ist der Stromverbrauch in der Energiewende? Energiepolitische Zielszenarien 2050 - Rückwirkungen auf den Ausbaubedarf von Windenergie und Photovoltaik. Fraunhofer IWES, im Auftrag von Agora Energiewende.

[www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Stromverbrauch\\_in\\_der\\_Energiewende/O86\\_IWES\\_Szenarienvergl\\_dt\\_WEB.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Stromverbrauch_in_der_Energiewende/O86_IWES_Szenarienvergl_dt_WEB.pdf)

---

Fh-IWES/IBP (2017 年) : Wärmewende 2030.  
Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor, study for Agora Energiewende

ifeu (2016 年) : Wie sieht der Wärmemix der Zukunft aus? Optionspfade und Abhängigkeiten. Präsentation von Peter Mellwig, Berliner Energietage 2016,  
[www.energietage.de/fileadmin/user\\_upload/2016/Vortragsfolien/312\\_Mellwig\\_Waermemix\\_Zukunft\\_Energietage2016.pdf](http://www.energietage.de/fileadmin/user_upload/2016/Vortragsfolien/312_Mellwig_Waermemix_Zukunft_Energietage2016.pdf)

Öko-Institut 等 (2015 年) : Klimaschutzszenario 2050, 2.Modellierungsrunde.  
[www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf](http://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf)

Prognos 等。(2014 年) : Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose  
[www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=7)

Prognos、ifeu、IWU (2015 年) : Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude, erstellt im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitforschung zur Erarbeitung einer Energieeffizienzstrategie Gebäude, study for Bundesstelle für Energieeffizienz

UBA (2015 年) : Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung 525/2013/EU (Emissions-Projektionsbericht).  
[www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/projektionsbericht-der-bundesregierung-2015/?tx\\_ttnews\[backPid\]=933](http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/projektionsbericht-der-bundesregierung-2015/?tx_ttnews[backPid]=933)

---

# Agora Energiewende 的出版物

---

## 英文版

### 可再生能源法案常见问题 – Energiewende: 新法律意味着什么?

关于《可再生能源法案 2017》、《电力市场法案》和《数字化法案》的 10 大问题和答案

### 降低欧洲可再生能源的融资成本

欧盟可再生能源成本降低机制 (“RES-CRF”) 的建议

### 完善短期电力市场，提升灵活性

五边能源论坛区的评估及改革选项

### 欧洲电力部门的能源转型：2015 年的情况

2015 年的发展回顾，2016 年展望

### 欧洲能源转型的务实电力市场设计

电力市场之星

### 煤炭共识十一大原则

德国电力部门逐步脱碳方案（精华版）

### 风能和太阳能的整合成本

增加风能和太阳能光伏发电对电力系统影响的争论综述

## 德语版

### FAQ EEG – Energiewende: Was bedeuten die neuen Gesetze?

Zehn Fragen und Antworten zu EEG 2017, Strommarkt- und Digitalisierungsgesetz

### Eigenversorgung aus Solaranlagen

Das Potenzial für Photovoltaik-Speicher-Systeme in Ein- und Zweifamilienhäusern, Landwirtschaft sowie im Lebensmittelhandel

### Elf Eckpunkte für einen Kohlekonsens

Konzept zur schrittweisen Dekarbonisierung des deutschen Stromsektors  
(Lang- und Kurzfassung)

### Der Klimaschutzbeitrag der Stromsektors bis 2040

Entwicklungspfade für die deutschen Kohlekraftwerke und deren wirtschaftliche Auswirkungen

### Wie hoch ist der Stromverbrauch in der Energiewende?

Energiepolitische Zielszenarien 2050 – Rückwirkungen auf den Ausbaubedarf von  
Windenergie und Photovoltaik

---

# Agora Energiewende 的出版物

---

## Ein Kraftwerkspark im Einklang mit den Klimazielen

Handlungslücke, Maßnahmen und Verteilungseffekte bis 2020

## Transparenzdefizite der Netzregulierung

Bestandsaufnahme und Handlungsoptionen

## Die Entwicklung der EEG-Kosten bis 2035

Wie der Erneuerbaren-Ausbau entlang der langfristigen Ziele der Energiewende wirkt

## Aktionsplan Lastmanagement

Endbericht einer Studie von Connect Energy Economics

## Die Sonnenfinsternis 2015: Vorschau auf das Stromsystem 2030

Herausforderungen für die Stromversorgung in Systemen mit hohen Anteilen an Wind- und Solarenergie

## Die Rolle des Emissionshandels in der Energiewende

Perspektiven und Grenzen der aktuellen Reformvorschläge

## Netzentgelte in Deutschland

Herausforderungen und Handlungsoptionen

## Erneuerbare-Energien-Gesetz 3.0

Konzept einer strukturellen EEG-Reform auf dem Weg zu einem neuen Strommarktdesign

## Stromspeicher in der Energiewende

Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienstleistungen und im Verteilnetz

## Energieeffizienz als Geschäftsmodell

Ein Umsetzungsmodell für Artikel 7 der europäischen Effizienzrichtlinie

## Power-to-Heat zur Integration von ansonsten abgeregeltem Strom aus Erneuerbaren Energien

Handlungsvorschläge basierend auf einer Analyse von Potenzialen und energiewirtschaftlichen Effekten

## Positive Effekte von Energieeffizienz auf den deutschen Stromsektor

Endbericht einer Studie von der Prognos AG und dem Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IEAW)

## 12 Thesen zur Energiewende

Ein Diskussionsbeitrag zu den wichtigsten Herausforderungen im Strommarkt, (Lang- und Kurzfassung)

所有出版物均可从我们的网站获取：[www.agora-energiewende.org](http://www.agora-energiewende.org)

## 我们如何完成能源转型？

我们需要哪些立法、倡议和措施助其成功实现？ Agora Energiewende 帮助德国做好充分准备，确保朝着完全脱碳电力行业的行动进程。作为一家智库平台，我们与主要的利益相关者合作，提升知识基础，促进观点的融合。

---



### **Agora Energiewende**

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2

10178 Berlin | Germany

电话 +49 (0)30 700 14 35-000

传真 +49 (0)30 700 14 35-129

[www.agora-energiewende.org](http://www.agora-energiewende.org)

[info@agora-energiewende.de](mailto:info@agora-energiewende.de)

