

IMPULSE

효율적인 에너지전환

회복력과 기후보호를 위한 네 가지 방안

➔ 출처 표기:

Agora Energiewende (2025): Effiziente Energiewende. Vier Hebel für Resilienz und Klimaschutz.

<https://www.agora-energiewende.de/publikationen/effiziente-energiewende>

Impulse

효율적인 에너지전환 - 회복력과 기후보호를 위한 네 가지 방안

연구 주관

Agora Energiewende

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin

T +49 (0)30 700 14 35-000

www.agora-energiewende.de

info@agora-energiewende.de

프로젝트 총괄

Fabian Huneke

fabian.huneke@agora-energiewende.de

Mira Wenzel

mira.wenzel@agora-energiewende.de

저자

Fabian Huneke, Mira Wenzel, Philipp Godron, Anna Kraus, Katharina Hartz, Mareike Herrndorff, Moritz Zackariat (이상 Agora Energiewende); Mathias Koch, Jasper Eitze (이상 Agora Industrie); Johanna Wietschel, Fanny Tausendteufel (이상 Agora Verkehrswende).

감사의 인사

많은 동료들의 헌신이 있었기에 이 프로젝트가 가능했다. 적극적으로 지원해준 Julia Blasius, Janne Görlach, Dr. Jahel Mielke, Roman Rudnik, Alexandra Steinhardt, Lena Tropschug (이상 Agora Energiewende); Dr. Julia Metz (Agora Industrie); Marion Vieweg (Agora Verkehrswende)에게 진심으로 감사드린다.

서문

독자 여러분께

1990년 이후 독일의 온실가스 배출량은 거의 50% 감소했습니다. 이로써 기후중립을 향한 여정의 절반을 이룬 것입니다. 이제 중요한 것은 전기화, 유연성, 시스템 비용 절감, 재생에너지 확대를 보다 강력하게 지속하는 것입니다. 이를 통해 저렴한 전력을 확보하고, 독일의 화석연료 수입 의존도를 낮추며, 국내 산업을 강화하고, 지속적인 기후보호를 이룰 수 있을 것입니다.

독일 연방정부가 미래의 에너지 공급에 관한 결정권을 가지고 있다는 점은 분명합니다. 전력 수요라는 것은 단순히 외부적 요인이 아니라 우리의 정치적 의지를 반영합니다. 기후보호를 강화하고, 산업의 경쟁력을 유지하며, 미래의 상황에 맞

게 에너지를 공급하려면 전력 수요는 그만큼 증가할 것입니다. 이를 위해 우리는 올바른 조치를 취해야 합니다. 중요한 것은 지난 몇 년간의 긍정적인 성과를 강화하고, 난방, 수송, 산업부문에서 전기화를 더욱 활발히 추진하는 것입니다. 이를 위해서는 산업계와 시민 모두에게 계획의 안정성을 보여줘야 합니다. 지금이 바로 후반전을 위한 방향을 설정해야 할 시점입니다.

유익한 자료가 되기를 기대합니다!

Agora Energiewende
Director
Julia Blasius

→ 한 눈에 살펴보는 주요 결과

- 1** **독일은 1990년 대비 온실가스 배출을 거의 절반으로 줄임으로써 기후중립 달성을 위한 절반의 진전을 이뤘다. 이는 특히 풍력과 태양광의 빠른 확대에 힘입은 결과이다.** 그러나 건물, 교통, 산업부문의 기후중립 기술 보급에서는 역동성이 부족하다. 전기 모빌리티의 더딘 확대와 난방 및 산업부문에서 천연가스 사용을 고수하는 연방정부의 정책으로 인해 독일 정부의 정책 방향은 에너지와 산업 측면에서 뒤쳐질 위험에 직면해 있다.
- 2** **전력 기반 기술로의 전환은 이미 국제적인 추세로, 독일은 이를 전략적으로 활용해야 한다.** 전력망 강화, 유연성 확보, 전기화를 통해 연방정부는 모든 부문에서의 전환을 촉진하고 회복력과 경쟁력을 강화할 수 있다. 이는 독일의 화석연료 수입 의존도를 낮추고 미래 기술에 관한 국내 시장을 강화할 것이다. 이에 따라 2030년 전력 수요는 약 700TWh까지 증가할 것으로 예상된다.
- 3** **비용 효율적인 에너지전환을 위해서는 전력망과 재생에너지 투자를 내일로 미루는 것이 아니라 지금 당장 실행하여 비용 절감을 꾀해야 한다.** 법적으로 정해진 보급 계획에 따라 풍력과 태양광을 꾸준히 확대하면 2030년 전력 도매 단가를 최대 23% 낮출 수 있다. 이와 동시에, 전력 공급의 유연화, 대지 태양광과 지붕 태양광의 집중적 확대 등을 통해 시스템 비용을 줄일 수 있는 가능성 또한 존재한다.
- 4** **네 가지 전략적 실행 방안에 초점을 맞춘다면, 에너지전환의 후반전을 성공적으로 시작할 수 있다.** 재생에너지의 적극적인 확대, 유연한 전력 소비를 위한 인센티브, 효율적인 전력망 확충, 그리고 전력망의 지능적인 운영을 결합한다면, 현대적이고 비용 효율적이며 회복력 있는 에너지 시스템을 구축할 수 있다. 이를 통해 전력 소비자인 가정과 기업이 장기적으로 혜택을 누리게 될 것이다.

목차

요약문	5
1 기후중립을 향한 여정의 중간 지점	6
1.1 성공적인 재생에너지 확대, 그러나 추가적인 노력이 필요한 전기화	6
1.2 섹터 커플링: 중요성과 장애요인	8
1.3 2030년까지의 전력 수급 전망	11
1.4 공급 안정성	14
1.5 에너지전환을 위한 법적·정책적 제도의 효과	16
2 효율적인 에너지 정책을 위한 네 가지 방안	21
2.1 모든 부문에서 비용 효율적인 전기화 달성	21
2.2 전력 수급의 유연성 증대	24
2.3 비용 효율적인 전력망 현대화 달성	26
2.4 재생에너지 확대의 비용 효율성 강화	28
3 지금까지의 에너지전환 정책에서 얻은 세 가지 교훈: 재생에너지 확대, 공급 안정성, 계획 안정성	29
3.1 재생에너지 확대 정책 약화의 폐해	29
3.2 독일의 수입 의존도: 경제와 공급 안정성에 있어서의 위험 요소	31
3.3 신뢰할 수 있는 방향성이 필요한 에너지전환 투자	31
참고문헌	33

요약문

독일은 온실가스 배출량의 거의 절반을 이미 줄임으로써 기후중립을 향한 여정의 중간 지점을 지나고 있다. 그러나 2025년 상반기에는 배출량이 소폭 증가하는 추세를 보이고 있다. 비록 2%의 작은 증가 폭이지만, 이는 교통, 건물, 산업부문에서의 기후중립 기술로의 전환이 재생가능한 전력의 가용성과 밀접하게 연관되어 있음을 보여준다. 미래의 전력 수요 전망은 경제 회복에 대한 기대, 미래 기술의 보급 정도, 기후보호 목표와 이에 관련된 정치적 비전과 기대를 반영한다. 즉, 미래 전력 수요는 정치적 의지의 표현이며, 그 수요는 독일 정부가 필요한 정책과 규제 조치를 얼마나 일관되게 실행하는가에 따라 달라질 수 있다는 것이다. 최근의 국제적 흐름은 경제적인 이유로 이미 많은 지역에서 재생에너지가 확대되고 전기화가 확산되고 있음을 보여준다.

Agora Energiewende의 분석에 따르면, 전기화를 가속하고 재생에너지를 계획대로 보급하면 (재생에너지 보급이 늦어지고 전기화 정도가 낮은 시나리오에 비해) 2030년 약 3,600만 톤의 이산화탄소 배출을 추가로 줄일 수 있다. 동시에 2030년 화석연료 수입 절감액은 연간 70억 유로에 이를 것으로 전망된다. 현재 독일은 연간 약 800억 유로 상당의 화석연료를 수입하고 있다(1.2장 참조). 이 경우 독일의 전력 수요는 2030년 약 700TWh까지 늘어날 것이다(1.3장 참조). 재생에너지 확대는 기후중립, 경쟁력, 그리고 회복력 있고 비용 효율적인 에너지 시스템을 위한 기반이다. 이를 실행하기 위해서는 네 가지 핵심 방안이 필요하다.

첫째, 교통, 건물, 산업부문에서 비용 효율적이면서도 적극적인 전기화를 추진해야 한다. 전기 활용 기술이 화석연료 이용 기술 대비 더 경제적인 옵션이어야만 전환을 위한 동기가 발생한다. 이를 위해서는 연합정부 합의문(향후 4년간의 국정 운영 방향을 담은 연방정부 참여 정당 간의 합의 문서-번역자 주)에 명시된 「부담 완화 패키지(Entlastungspaket)」를 신속히 시행하고, 새로운 전기화 설비의 운영 비용의 핵심 요소인 전기요금을 지속적으로 낮추는 조치를 마련해야 한다. 동시에 사회적 측면도 고려해야 하는데, 난방 시스템 교체나 전기차 구매 과정에서 차별이 발생해서는 안 된다. 또한, 새로운 기술에 대한 과감한 투자와 독일 내 해당 산업의 경쟁력 유지를 위해서는 무엇보다 계획의 안정성과 일관된 정책 추진이 필요하다(2.1장 참조).

둘째, 수요와 공급 모두에서 더 많은 유연성을 확보하는 것이 중요하다. 배터리 저장장치, 전기자동차, 히트펌프는 수요와 공급, 그리고 전력망의 통합에 기여할 막대한 잠재력을 제

공한다. 변동형 전기요금과 변동형 전력망 수수료를 통해 화력발전 기반 설비의 수요를 줄이는 것이 가능하다. 이를 위해서는 대형 히트펌프, 대형 배터리 저장장치, 전력-열 변환설비(power-to-heat)를 신속하고 충분하게 전력망에 연결해야 한다. 이 과정에서 설비용량 입찰을 포함한 디지털 방식의 계통연계 관리 체계가 결정적 역할을 할 것이다. 동시에 산업과 발전부문에서의 수소 이용을 계획 가능하게 만들기 위해서는 녹색선도시장(Green Lead Market)이 필요하다(2.2장 참조).

셋째, 비용 효율적이고 현대적인 전력망 인프라가 필요하다. 이를 위해서는 자본 비용을 낮추기 위한 경제적인 망 건설 공법과 정부의 지분 참여, 변동형 전력망 수수료 도입 등을 포함한 종합적인 대책이 필요하다. 지능적인 유연화 조치는 전력망의 수요를 줄여 비용 절감으로 이어진다. 특히 배전망은 성공적인 전기화와 분산형 재생에너지 설비의 통합에 필수적이다. 현 21대 독일 국회는 디지털화, 유연성, 효율성에 더욱 집중하여 진정한 전력망 현대화를 추진할 기회를 갖고 있다(2.3장 참조).

넷째, 회복력 있는 기후 중립적 에너지 공급의 기반으로 효율적인 재생에너지 확대가 필요하다. 여기서 중요한 점은 전력 수요가 얼마나 빠르게 증가하든 현재의 확대 속도를 유지해야 한다는 것이다. 재생에너지 전력 공급이 증가하면 2030년 전력 도매시장 가격을 최대 23%까지 낮출 수 있어, 가정과 산업부문에서 전기자동차, 히트펌프와 같은 전력 기반 기술로의 전환을 더욱 매력적으로 만들 것이다. 풍력발전의 경우, 이미 30GW 이상이 허가를 받았고 50GW 이상의 프로젝트가 준비 중인데, 시장에 기반한 제도의 강화를 통해 효율적이고 비용 경제적으로 에너지 시스템에 통합될 수 있는 막대한 규모이다. 태양광 확대에 있어서는 비용 경제성이 가장 좋은 옵션인 대규모 지붕 태양광과 대지 태양광에 집중해야 한다. 해상풍력의 경우, 특히 유럽 이웃 국가와의 긴밀한 협력을 통해 15-20GW를 추가 개발하는 것이 중요한데, 이는 해상풍력의 효율성, 회복력, 경제성을 개선하는데 기여할 것이다(2.4장 참조).

1 기후중립을 향한 여정의 중간 지점

1.1 성공적인 재생에너지 확대, 그러나 추가적인 노력이 필요한 전기화

독일은 1990년 이후 연간 온실가스 배출량을 거의 절반으로 줄였다. 이 감축의 대부분은 에너지 부문에서 이루어졌는데, 주로 풍력과 태양광의 확대 덕분이다. 독일 연방정부가 「기후 보호법(Klimaschutzgesetz)」에 따라 2030년까지 총 배출량을 약 2억 톤 추가 감축하여 4억 5,700만 톤의 온실가스 배출 목표를 달성하려면 교통, 건물, 산업 등 에너지를 소비하는 부문에서의 진전이 필요하다. 이를 위해서는 더 빠른 전기화와 재생에너지의 지속적인 확대가 필요하다. 세계 시장의 역동성 덕분에 정책적 지원 없이도 풍력과 태양광 발전시설, 전기 모빌리티, 히트펌프에 대한 투자는 가능하겠지만, 그 속도는 현저히 느려질 것이다. 독일은 전력 시스템에서의 재생에너지 비중에서는 눈에 띄는 진전을 이루었지만, 수요 부문의 전기화에서는 유럽 이웃 국가들, 경제력이 강한 미국의 일부 주, 중국 지방정부에 비해 현저히 뒤처져 있다. 전기차나 히트펌프 같은 기후중립 기술에 대한 국내 시장이 취약하면 독일 산업의 경쟁력 약화로 이어질 것이다. 분명한 전기화 정책, 전력, 열, 수소 인프라에 대한 투자, 가스 인프라 폐지 로드맵을 통해 소비자에게 계획 수립의 안정성을 제공하고 2030년 이후의 장기적인 산업 경쟁력을 강화해야 할 것이다.

독일의 온실가스 배출량은 1990년부터 2024년까지 48% 감소하여 6억 4,900만 톤으로 줄었다. 이에 따라 온실가스 배출 세계 6위였던 독일은 2023년 12위로 내려갔지만(JRC, 2024), 여전히 유럽에서는 압도적으로 가장 많이 배출하는 국가이다. 또한 인구 1인당 연간 배출량은 8.26톤으로, 여전히 세계 평균보다 25% 많다. 동시에 온실가스 배출로 인한 막대한 비용은 최근 몇 년간 더욱 뚜렷하게 드러났다. 2012년부터 2021년까지 독일에서 발생한 극단적 기상 현상으로 인한 피해액은 960억 유로에 달했는데, 이는 2002년~2011년 기간 대비 두 배 이상 증가한 것이다(Prognos, 2022). 향후 25년간 기후변화로 인해 세계 평균 소득이 최소 19% 감소할 것으로 전망된다(Kotz, 2024). 이러한 비용은 연방정부의 예산에도 직접적으로 영향을 미칠 것이다. 전문가 위원회에 따르면, 독일은 EU의 「기후보호지침」을 초과하는 온실가스를 2030년까지 누적 2억 2400만 톤 배출할 것으로 전망되는데, 독일 내에서 어떠한 부가가치 창출 없이 배출권 구매 비용으로만 최대 340억 유로를 지불해야 할 것이다.

1.1.1 재생에너지 확대를 통한 배출량 감축

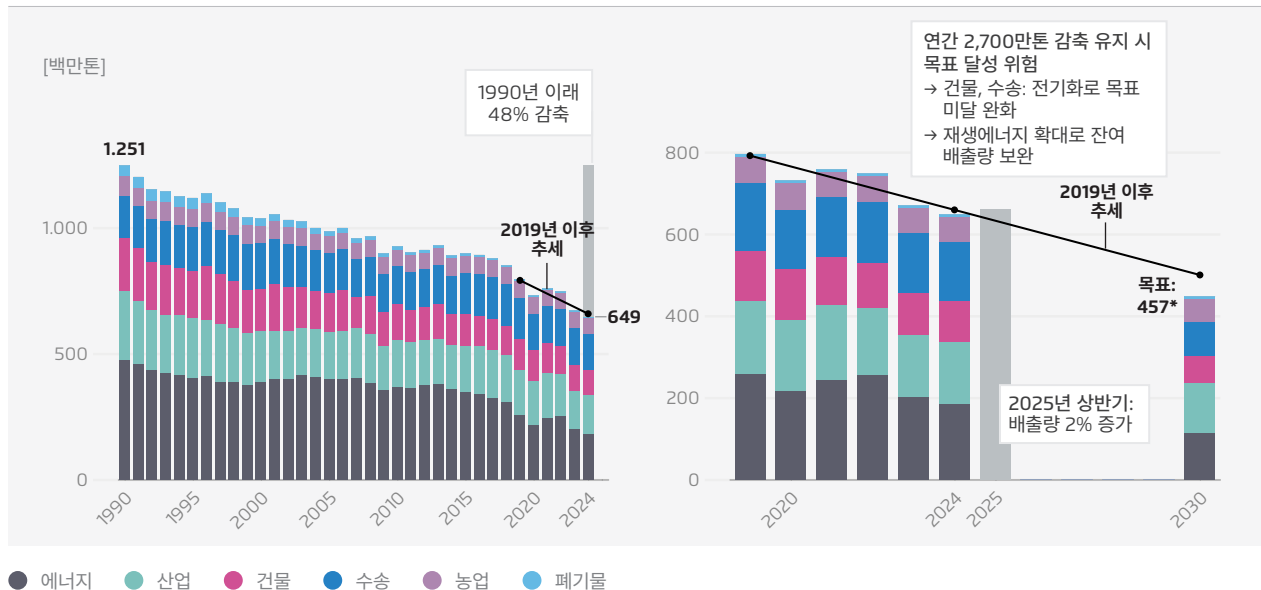
독일은 배출량 감축을 통해 지구 온난화와 그 결과인 극단적 기상 현상의 빈도를 줄이는데 기여하고 있다. 유럽뿐만 아니라 전 세계 다른 국가들에 미치는 정치적 영향력 또한 매우 중요하다. 이는 풍력발전과 태양광발전의 성장 과정에서 특히 두드러졌는데, 현재 독일에서는 재생가능에너지로 생산되는 전력이 전체 전력 생산량의 절반 이상을 차지하고 있다. 지난 25년간 독일의 정책은 해당 기술의 발전과 막대한 비용 절감에 결정적인 영향을 미쳤다. 오늘날 풍력발전과 태양광발전은 전 세계적으로 중요한 탈탄소화 기술로 인정받고 있다. 2015년부터 2020년 사이 중국의 풍력발전, 태양광발전 설치 용량은 유럽을 추월했다. 2023년 풍력발전과 태양광발전 비중이 30%를 초과한 지역을 살펴보면, 독일 외에도 유럽 6개국, 중국 4개 성, 미국 10개 주가 여기에 포함됐다. 2024년 한 해 동안 중국은 277GW의 태양광발전과 79GW의 풍력 발전을 설치하여, 처음으로 신규 석탄발전 설치량을 추월했다. 2024년 중국의 온실가스 배출량은 전년 대비 0.7% 증가에 그쳤는데, 이는 전년도 4.5% 증가율과 대비된다(Agora Energy China & Agora Energiewende, 2025). 이러한 성과는 독일의 선도적 역할 없이는 불가능했을 것이다.

배출량을 더욱 줄이기 위해서는, 한편으로는 전력부문에서 재생에너지 보급을 지속적으로 추진해야 하며, 다른 한편으로는 수요 부문의 전기화, 즉 교통, 건물 난방, 산업 공정에서 전기를 사용하는 것인데, 많은 경우 전기 사용이 가장 경제적인 탈탄소화 방안이기 때문이다. 기후문제 전문가 위원회는 전망 보고서에 대한 평가에서, 독일의 이전 '신호등 연장'의 기후정책이 지속된다면 2030년까지 배출 목표를 달성할 수 있을 것으로 전망했지만, 이는 코로나 팬데믹과 화석연료 가격 위기로 인한 경제 부진으로 배출량이 크게 감소한 상황이기에 가능하다고 지적했다. 그러나 실제로는 2030년 국가 온실가스 배출량 65% 감축 목표는 물론, 유럽의 「노력분담체계(Effort Sharing Regulation. EU 배출권거래제에 적용되지 않는 건물, 수송 등에 대한 회원국의 온실가스 감축 의무 명시-역자 주)」에서의 수송과 건물부문에 대한 국가적 의무 감축 목표도 달성하지 못할 것으로 예상된다. 또한 2030년 이후의 감축 목표는 강력한 추가적인 정책적 추진력이 있어야만 달성될 수 있다고 평가했다.

AG Energiebilanzen(1971년 설립된 민간 기관으로 현재 3개의 에너지산업협회와 5개의 연구기관이 회원으로 참여하고 있다. 매년 에너지 관련 통계를 발표한다-역자 주)의 2025년

온실가스 배출 감축 추이 (1990년~2024년 성과, 2025년 상반기 추정치, 2030년 목표)

그림 1



UBA (2025) Datentabelle zu den Treibhausgasemissionen. 1. Halbjahr 2025, AGEb (2025) Primärenergieverbrauch gegenüber 1. Halbjahr 2024를 기반으로 Agora Energiewende 작성. * 독일 기후보호법에서 도출된 목표 경로 (토지이용 및 토지이용변화, 임업은 제외)

상반기 잠정 배출량 추정치에 따르면, 배출량은 2024년 상반기에 비해 2% 증가한 것으로 나타났다.¹ 배출량 증가의 주요 요인은 1분기 추운 날씨로 인해 천연가스와 난방유 소비가 증가한 점과 풍력과 수력 발전량이 적어 전력부문에서 천연가스 사용이 증가한 반면, 석탄 사용량은 동일하게 유지되었기 때문으로 분석된다. 여기에 휘발유와 경유의 판매 증가가 더해졌다. 에너지 집약적 산업의 저조한 생산과 태양광 확대 덕분에 배출량 증가폭을 줄일 수 있었다. 월별 재생에너지 발전 비중은 부분적으로 50% 미만으로 떨어졌으나(Agora Energiewende, 2025a), 2025년 6월에는 71%를 기록했다. 이러한 상반기 실적은 재생에너지 설비 확대와 수요 부문의 전기화라는 두 가지 요소가 결합되어야만 지속가능한 배출량 감축이 가능하다는 점을 보여준다.

11.2 가장 경제적인 배출 감축을 위한 핵심 전략으로서의 전기화

온실가스 배출을 줄이는 핵심적인 방안은 전기화, 즉 석유나 가스와 같은 화석연료 대신 재생가능에너지로 생산된 전기를 사용하는 것이다. 산업, 건물, 교통 등 모든 에너지 수요 부문

을 위한 전기 기술이 존재한다. 이는 기술적으로 검증되었을 뿐만 아니라 경우에 따라서는 화석연료 기반의 대안보다 효율적이고 장기적으로도 더 경제적이다. 전기화가 배출량 감축을 위한 가장 손쉽고 경제적인 전략이라는 점은 이미 여러 기후중립 시나리오에서 광범위하게 합의된 내용이다(BCG/BDI, 2025; E.ON, 2025; Aurora/EnBW, 2025; Ariadne, 2025; Umweltbundesamt, 2025; Fraunhofer ISI, 2024; Fraunhofer ISE, 2024). 그러나 독일의 최종에너지 소비에서 전력이 차지하는 비중은 약 20%로, 다른 유럽 국가, 미국, 중국, 이 분야 선도국인 노르웨이에 비해 매우 낮은 수준이다. 2024년 중국에서 배터리 전기자동차는 신규 등록 차량의 47%를 차지했으나, 독일에서는 약 20% 수준에 불과하다(VDA, 2025a; Agora Verkehrswende, 2025b). 2025년 상반기 배터리 전기자동차의 신규 등록 대수는 약 25만 대였다(VDA, 2025b). 히트펌프와 지역난방은 노르웨이와 스웨덴 등 유럽 북부 지역에서 난방의 표준으로 자리 잡았다. 독일에서는 2025년 상반기에 처음으로 가스난방보다 히트펌프 설치량이 더 많았으나, 전체 난방에서 차지하는 비중은 여전히 낮은 편이다(BDH, 2025a).

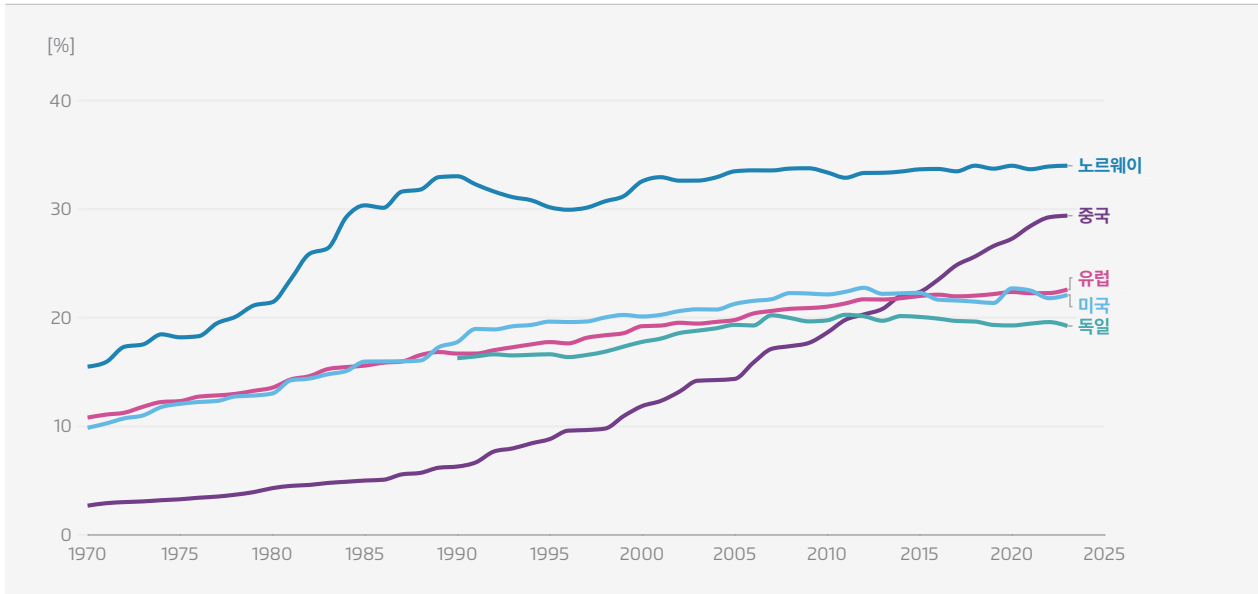
부문별 주요 기술

→ 건물: 오늘날 히트펌프는 기존 건물에서도, 심지어 에너지 리모델링 공사를 안 하거나 최소한으로 이루어진 경우에도 효율적인 난방을 제공할 수 있다. 대부분의 경우 기존 난방기와도 잘 연동되며, 가스보일러보다 전체적으

1 에너지 관련 배출량은 약 3% 증가(AG Energiebilanzen, 2025: <https://ag-energiebilanzen.de/anstieg-des-energieverbrauchs-schwaecht-sich-ab/>)했으나, 산업 공정 관련 온실가스 배출량은 감소하여 전체적으로 약 2% 증가한 것으로 추정.

최종에너지 소비에서 전력이 차지하는 비중 (1970년~2023년)

그림 2



Agora Energy China (2025) China's energy transition and climate status report를 기반으로 Agora Energiewende 작성

로 더 저렴한 비용으로 열을 공급한다(Öko-Institut und Fraunhofer ISE, 2022). 지역난방에서 대형 히트펌프는 지열, 수자원, 폐열을 이용해 상당한 잠재력을 발휘할 수 있다(Agora Energiewende und Fraunhofer IEG, 2023). 히트펌프와 전기보일러를 통해 여름철에 경제적으로 계간 축열조에 열을 저장할 수 있는데, 이는 전기 이용 난방기의 경제성을 높일 뿐만 아니라 에너지 시스템 관점에서도 합리적이다. 열 저장을 위해 저렴한 태양광 전력을 주로 사용하는데, 이를 통해 태양광발전의 출력 제한을 피할 수 있다.

→ **수송:** 독일 수송부문 배출량의 약 2/3는 여객 운송에서, 1/3은 도로 화물 운송에서 발생한다. 따라서 전기 승용차와 트럭은 교통부문의 핵심 기술이다. 전기차는 현재 내연기관 차량에 비해 주행 거리가 더 길며 운영 비용 또한 점점 낮아지고 있다. 특히 개인 충전 인프라를 이용할 경우 이러한 장점은 더욱 커진다. 주행 거리가 길수록 배터리 전기 트럭도 디젤 트럭보다 더 경제적이다. 킬로미터당 에너지 소비량이 현저히 낮기 때문에 전기 구동 방식은 기업의 운영 측면에서나 국가 경제 측면에서도 기후중립에 있어 가장 효율적인 옵션이다(Agora Energiewende, 2025b; Agora Verkehrswende, 2022).

→ **산업:** 산업용 공정 열은 여전히 대부분 천연가스 연소를 통해 생산된다. 대형 히트펌프, 전극보일러(Electrode boiler), 전기로(Electric Arc Furnace) 등 현재의 검증된 전기 기술이 공정 열 생산에 활용될 수 있다. 특히 최대 500°C까지의 온도 범위에서 대형 히트펌프와 전극보

일러는 화석연료 기반 기술에 비해 더 많은 장점을 제공하는데, 이 기술은 효율적으로 작동하며 더 적은 1차에너지를 필요로 하기 때문에 결과적으로 기업의 경쟁력을 향상시킨다(Agora Industrie und FutureCamp, 2022). 산업 설비에 대한 투자 주기는 상당히 긴 편이지만, 대부분의 설비가 향후 몇 년 안에 새로운 투자를 필요로 하기 때문에 전력 기반 솔루션으로 전환하기에 적절한 시기이다.

수송과 건물부문의 에너지 수요가 증가하고 분산형 발전설비가 확대되면서 전력망 확충에 대한 투자가 늘어나고 있다. 이를 방지하면 2035년까지 전력망 수수료가 약 30% 상승(Agora Energiewende, 2025d)하여 건물과 수송부문의 전기화를 정체시킬 수 있으므로, 이러한 상황을 예방하기 위한 적절한 대응책이 필요하다. 전기화를 지속적으로 추진하면서도 전력망 비용을 낮춘다면, 전력망 수수료는 안정적으로 유지될 것이다.

1.2 섹터 커플링: 중요성과 장애요인

기후 중립적인 전력 시스템은 모든 부문에서의 성공적인 기후보호를 위한 토대이다. 재생가능에너지원에서 생산된 전력은 건물, 수송, 산업 공정에 기후 친화적인 에너지 공급을 가능하게 한다. 이를 위한 전제 조건은 전기 이용 솔루션이 경제적으로도 유리해야 한다는 것이다. 즉, 경제적 이점을 가져야 한다는 것이다. 저렴한 전기요금, 신뢰할 수 있는 이산화탄소 가격 책정, 맞춤형 투자 인센티브를 통해 이러한 경제적 이점을

마련할 수 있다. 동시에 재생가능에너지 확대는 화석연료 수입에 대한 의존도를 낮추고 에너지 시스템의 위기 대응력을 강화하며 예측 가능하게 만든다.

1.2.1 의존도 감소를 통한 더욱 안정적인 에너지 시스템 구축

전력 기반 에너지 시스템은 단순히 배출량을 줄이는 데 그치지 않고, 독일의 에너지 수입 의존도를 낮추며, 글로벌 석유 가스 시장의 급격한 가격 변동에 따른 충격으로부터 더 효과적으로 독일을 보호한다. 2022년 러시아의 우크라이나 침공으로 인한 에너지 위기는 수입에 의존하는 경제가 지정학적 혼란에 얼마나 민감하게 반응하는지를 생생히 보여주었다.

Agora Energiewende는 전력 수요가 크지만 「재생에너지법」에 따른 재생에너지 확대 계획이 원활히 추진된 시나리오와 전력 수요가 작지만 재생에너지 보급이 억제된 시나리오를 비교했다. 2030년의 전기화와 재생에너지 확대 속도 차이에 따른 영향 분석 결과, 야심찬 전기화(전기차를 870만대에서 1,370만 대로, 히트펌프를 410만대에서 600만 대로 확

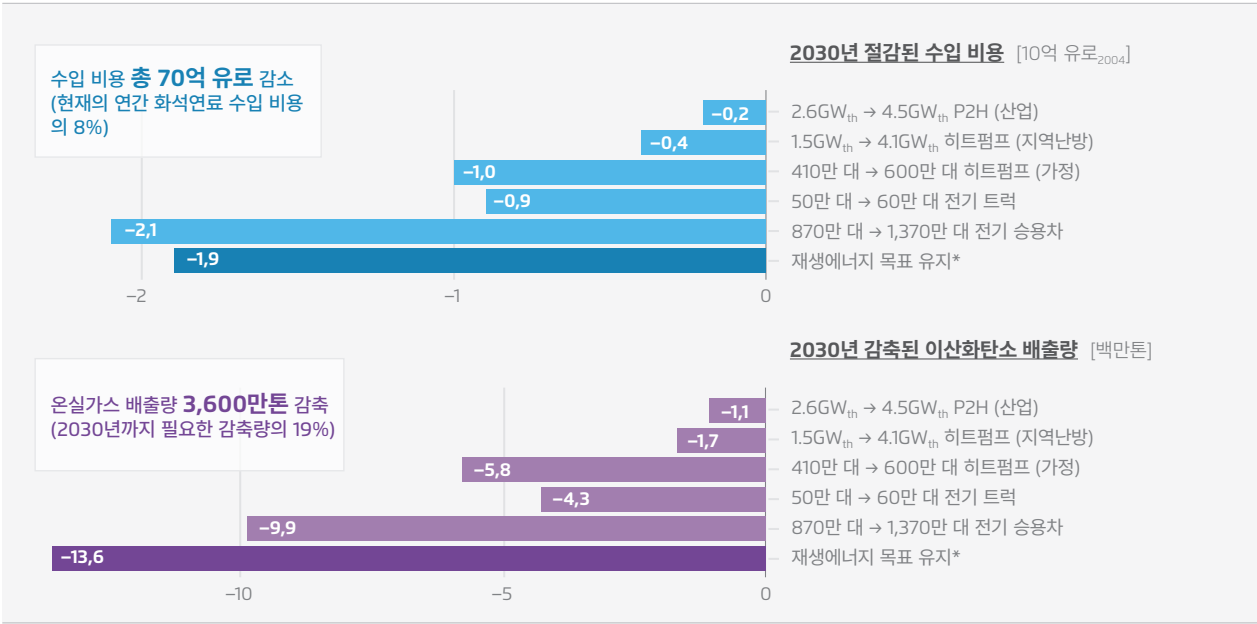
대)를 추진하고 「재생에너지법」에 따른 풍력, 태양광발전확대 목표를 달성² 할 경우, 2030년 한 해에만 화석연료 수입 감소로 약 70억 유로를 절감할 수 있다. 이는 현재의 화석연료 수입 비용의 약 8%에 해당한다(그림 3 참조). 한편, 덜 야심찬 정책은 3,600만 톤의 온실가스를 추가로 배출하는데, 이는 2030년까지 필요한 배출 감축량의 약 19%에 해당한다.

풍력과 태양광의 확대를 통해 독일 전체 에너지 수요의 더 많은 부분을 국내 자원으로 충당할 수 있다. 결과적으로 석유와 가스의 불안정한 세계 시장 가격에 대한 취약성을 줄여주고 특정 공급국이나 공급 경로에 대한 의존도를 줄일 수 있다. 따라서 전력 기반 에너지 시스템은 외부 위기에 대한 전략적 보호 장치 역할도 수행한다.³

2 전기차 1,370만 대(기존 870만 대), 전기 트럭 60만 대(기존 50만 대), 히트펌프 600만 대(기존 410만 대), 대형 히트펌프 4.1GW(기존 1.5GW), 산업용 전력-열 변환설비(power-to-heat) 4.5GW(기존 2.6GW).
3 최근 Kiel 경제연구소(IfW Kiel)는 EU의 석유 소비를 1유로 줄일 때 37센트의 '안보정책적 보너스'가 발생한다고 밝혔다(IfW Kiel, 2025: Die sicherheitspolitische Dividende von Klimapolitik, <https://www.ifw-kiel.de/de/publikationen/die-sicherheitspolitische-dividende-von-klimapolitik-34009/> 참조).

신속한 전기화와 재생에너지 보급을 통한 화석연료 수입 회피: 온실가스 배출량 및 비용 절감 효과 (2030년)

그림 3



Aurora Energy Research und Agora Energiewende (2025): Erneuerbare Energien senken Strompreise unabhängig von der Nachfrage를 기반으로 Agora Energiewende 작성. 참고: 독일 내 배출량만 포함하며, 전력 수입 변화로 인한 상류 공급망, 배출 효과, 수입 효과는 고려하지 않음. * 법에 따른 재생에너지 확대 경로와 재생에너지 보급이 제한된 경로(태양광 -58GW, 풍력 -24GW)를 비교한 결과

1.2.2 전력 기반 솔루션의 시장 성공을 위한 여건

전력 기반 솔루션은 화석연료 기반 기술보다 설치와 운영 비용 측면에서 전반적으로 더 경제적이어야만 시장에서 자리를 잡을 것이다. 따라서 시장이 주도하는 전기화를 위해서는 설비의 구매 가격 외에도 전기와 화석연료 간의 가격 차이를 고려해야 한다. 화석연료의 가격은 도매시장에서의 거래 가격 외에도 온실가스 가격, 가스망 수수료, 관련 세금에 크게 좌우되며, 전기 가격은 전력거래소 도매 가격 외에도 전력망 수수료, 각종 부가금, 관련 세금 등의 부대 비용에 의해 결정된다. 에너지 정책은 이러한 가격 구성 요소와 에너지원 간의 가격 비율에 결정적이고 직접적인 영향을 미친다. 여기서 두 가지 온실가스 가격 체계가 핵심적인 조정 수단이라 할 수 있는데, 전력 시스템과 산업부문에서는 EU ETS I을 통해 온실가스 가격이 책정되며, 2027년부터는 난방과 수송부문의 온실가스 가격 책정을 위해 ETS II가 추가로 시행될 예정이다. 이러한 온실가스 배출권 가격은 화석연료 발전소, 난방 시스템, 차량의 운영 비용에 직접적인 영향을 미치므로, 신뢰할 수 있는 온실가스 가격 메커니즘은 전력 기반 솔루션에 대한 장기적 투자 계획의 안정성을 확보하는데 결정적인 역할을 할 것이다.

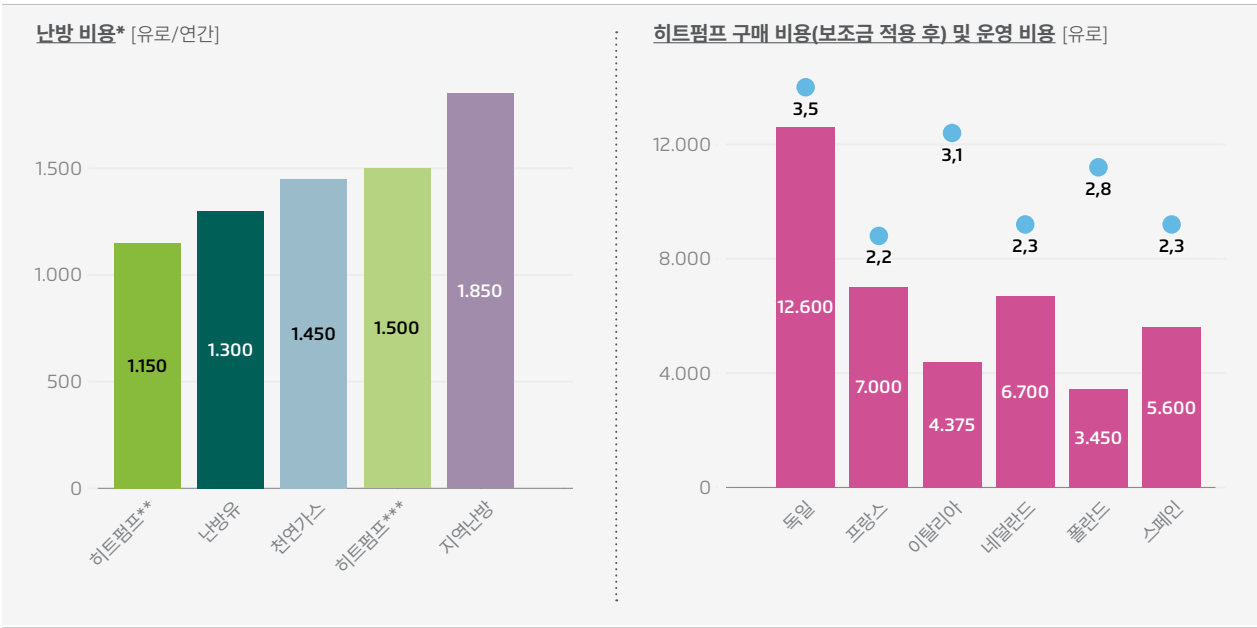
전기와 화석연료 간의 가격 차이

현재 다세대 주택 한 가구의 연간 난방비는 천연가스를 사용할 경우 약 1,450유로, 난방유를 사용할 경우 약 1,300유로이다(그림 4 참조).⁴ 특별한 히트펌프 전기요금제 없이 히트펌프로 난방할 경우의 비용은 약 1,500유로로, 약간 더 비싸다. 히트펌프 전기요금제(기존 약 35센트/kWh → 27센트/kWh)를 적용하면 히트펌프의 비용이 가장 저렴하다. 다만 히트펌프 전기요금제를 이용하려면 별도의 계량기 설치에 따른 추가적인 비용이 발생하며, 스마트 미터 보급이 부진하여 변동형 전기요금제를 시행하는 경우는 매우 드물다. 그림에서 지역난방 비용이 더 높게 나타나는 이유는 개별 난방 시스템과는 달리 지역난방과의 초기 연결 비용이 포함되었기 때문이다. 히트펌프의 경우, 프랑스, 네덜란드, 스페인 등에서의 초기 구매 비용과 비교하면, 독일에서는 상당한 보조금이 있음에도 불구하고 약 12,600유로로 다른 국가들에 비해 현저히 높은 수준임을 알 수 있다(LCP Delta, 2025). 천연가스 보일러의 초기 구매비용이 평균 약 16,000유로이므로 히트펌프 보조금을 받을 경우 약간의 이점이 있지만, 보조금 없이 히

4 난방 습관의 차이를 고려하지 않고 평균 에너지 가격으로 분석. 실제 비용은 크게 달라질 수 있다.

난방 비용 비교 (2024년)

그림 4



왼쪽: Agora Energiewende (2025). *다세대 주택 내 평균 주거 단위(96m²) 기준. **히트펌프 전기 요금제 적용시, ***가정용 전기 요금제 적용시. 지역난방의 경우 초기 연결 비용이 난방 비용에 이미 반영되었으나, 다른 난방 솔루션의 경우 추가로 발생. 가스 가격, 히트펌프 전기 요금, 가정용 전기 요금은 Verivox, 난방유 가격은 esyoil, 지역 난방 가격은 열가격투명성플랫폼 Preistransparenzplattform Wärme 참조.
오른쪽: LCP Delta (2025)

트펌프를 구매한다면 약 36,000유로를 지불해야 한다(Verbraucherzentrale Energieberatung, 2025).⁵

자동차의 경우에도 전기차 운영 비용이 더 저렴하지만, 특히 소형차 부문에서는 내연기관 차량에 비해 구입 비용이 더 비싸다. 2024년 기준 100km 주행 시 연료비는 경유 12유로, 휘발유 14유로였지만, 충전 비용은 가정이나 직장에서 충전할 경우 7유로로 훨씬 저렴했다(Agora Energiewende 2025b). 공공 충전소에서 충전하는 비용은 100km당 11유로로 경유 주유 비용과 거의 비슷했다. 총비용 관점에서 보면, 운영 비용 절감 효과는 에너지 소비가 많은 고가 차량에서만 크게 두드러졌다. 소형차의 경우, 비싼 구입 비용이 전기차의 운영비 이점을 압도했다(Agora Verkehrswende, 2024).

1.3 2030년까지의 전력 수급 전망

경제 성장이 부진하고 전기화 정도가 미미한 상황에서 최근 다수의 에너지 산업계, 정계 관계자들이 미래의 전력 수요를 전망하면서 재생에너지 확대 속도를 늦출 것을 요구하고 있다. 그러나 이러한 논의는 미래의 전력 수요를 정확히 예측할

수는 없지만 정치적 여건에 의해 전력 수요가 좌우될 수 있다는 점을 간과하고 있다. 또한 기술의 발전 속도를 고려할 때 상당한 가속 효과를 무시할 수 없다는 점, 전기화의 중요성을 고려하면 오히려 재생에너지 확대가 필요하다는 점도 이 논의에서 다루이지 않았다(각각의 필요한 조치에 대해서는 2장을 참조).

1.3.1 전력 수요 전망

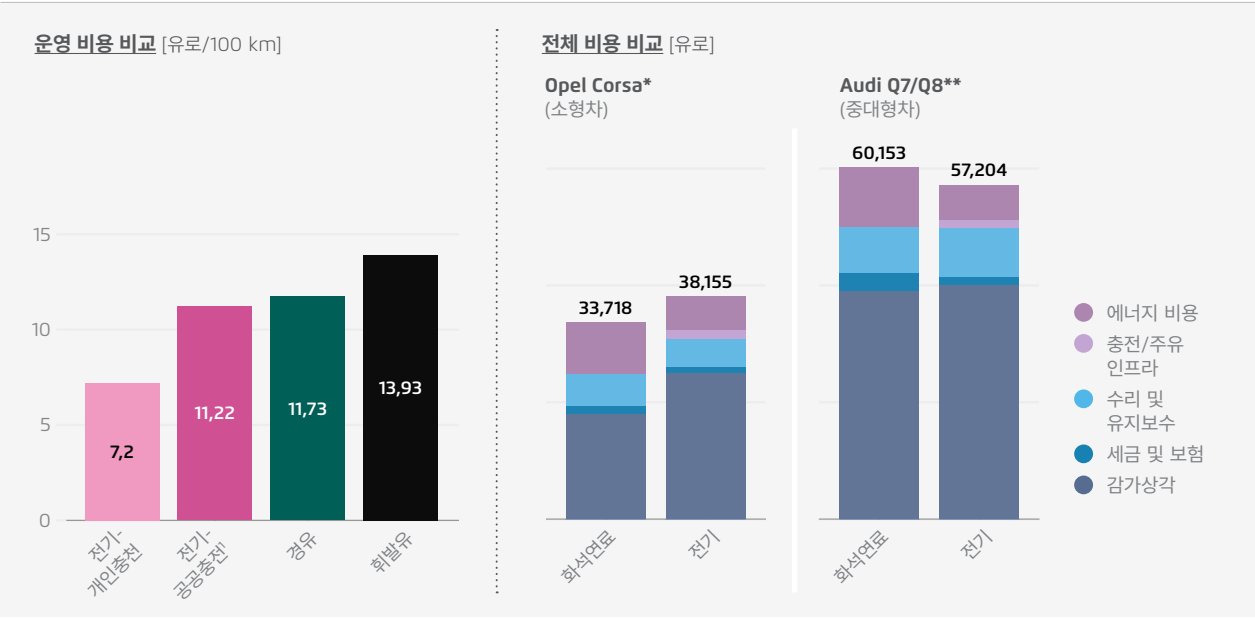
우리는 Agora의 독일 기후중립 시나리오(Klimaneutrales Deutschland)에서 도출된 전력 수요에 대한 타당성을 최근의 동향과 추세를 바탕으로 검증했다. 이 과정에서 수요를 하향 조정하게 하는 요인(산업 생산 감소, 전기화 지연)과 상향 조정하게 하는 요인(추가 데이터센터, 보다 저렴하고 많은 ESS, 건물 냉방 증가)을 모두 고려했다. 이러한 변화 요인을 고려할 때, 2030년의 총 전력 수요는 701TWh로, 이는 2024년 Agora가 발표한 독일 기후중립 시나리오(Agora Think Tanks, 2024)보다 26TWh 적은 수치이다.

2030년 전력 수요 전망을 수정한 근거는 아래와 같다.

5 현재의 평균값. 구매 비용은 제품과 사양에 따라 크게 달라질 수 있다.

차량 비용 비교 (2024년)

그림 5



왼쪽: Agora Energiewende (2025) Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2024. 가정: 100km당 소비량은 전기 17.6kWh, 휘발유 7.7리터, 경유 7리터. '공공 충전: 완속 충전과 급속 충전의 평균값'
오른쪽: Agora Verkehrswende (2025). 가정: 5년 보유, 15,000km 주행 거리, 가정에서 충전(태양광발전 제외), 충전 후 방해행위에 대한 수수료는 고려하지 않음. *Opel Corsa 1.2 DI Turbo GS / Opel Corsa Electric (50kWh) GS; ** Audi Q7 45 TDI quattro Tiptronic (5인승) / Audi Q8 e-tron 50 advanced quattro

기준점: 기후중립 시나리오 작업 이후 2023년과 2024년의 실제 총 전력 수요는 감소 추세를 보였다. 2025년 상반기 실적을 바탕으로 2025년의 추세를 전망하면 전력 수요가 거의 일정하게 유지될 것으로 예상된다(-0.6%). 따라서 2025년 전력 수요는 기존 시나리오의 예상치보다 약 50TWh 낮을 것이다.

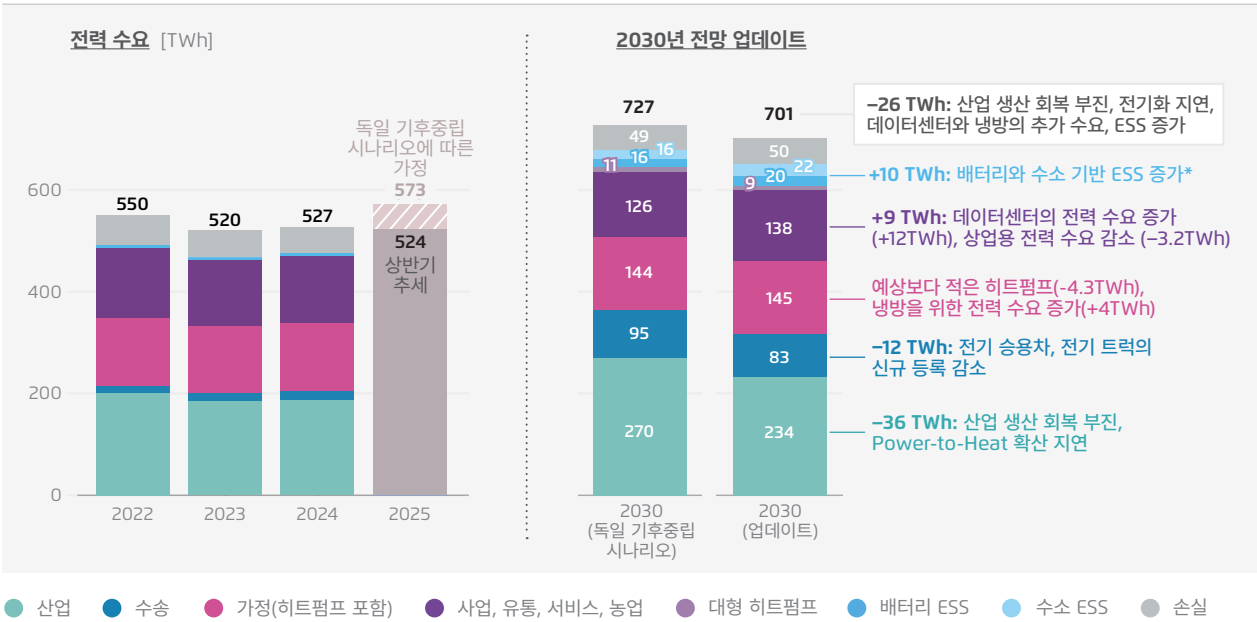
산업: 2019년부터 2021년까지의 추세와 비교하면, 2024년 산업용 전력 수요는 25TWh 감소했다. 산업 정책 차원의 생산 회복 노력(산업용 전기요금 인하, 전기세 인하, 특별 감가상각(기업의 취득 또는 제조 비용의 최대 40%를 취득/제조 후 첫 5년 이내에 공제하는 제도-역자 주))의 효과가 나타나고 산업용 열 생산에서 천연가스에서 전기로의 전환이 시작되면, 연간 전력 수요는 2030년까지 46TWh 증가하여 총 234TWh에 달할 전망이다. 이는 Agora의 독일 기후중립 시나리오보다 36TWh 적은 규모이다. 여기에 지역난방 공급을 위한 대형 히트펌프용 전력 약 9TWh가 추가될 것이다. 또한 BDI/BCG의 연구에 따르면, 2035년 산업 전력 수요는 2024년 대비 80TWh 증가할 것으로 예상된다(BDI/BCG, 2025).

건물, 상업, 서비스, 가정부문에서는 히트펌프를 통한 난방 수요 증가, 건물 내 냉난방 시스템 확대, 데이터센터 증설로 인해 전력 수요가 증가한다. 이러한 증가분은 기기 효율 향상에

따른 전력 소비 절감 효과만으로는 상쇄되지 않는다. 그러나 히트펌프의 전력 수요는 판매량 감소로 인해 시나리오 예측보다 다소 느리게 증가할 전망이다. 2024년에는 난방 기기, 특히 히트펌프 판매 시장이 급격히 위축되어 판매량이 약 20만 대에 그쳤다(BDH, 2025a). 2025년 상반기에는 히트펌프 판매량이 증가했는데, 전년 대비 55% 증가하여 처음으로 천연가스 보일러를 추월했다(BDH, 2025b). 그러나 시나리오에서 가정용 수치까지는 도달하지 못할 것으로 예상된다. 따라서, 시나리오에서 가정용 히트펌프(대형 히트펌프 제외)의 전력 수요는 2030년 4TWh 감소할 것이다. 30°C 이상의 고온을 기록하는 폭염일이 증가함에 따라 건물의 냉방 수요는 증가하여, 냉방 시스템의 가동률과 설치 대수 모두 증가할 것이다(+4TWh). 특히 바닥난방 또는 송풍난방 기능을 갖춘 히트펌프는 냉방에도 활용 가능하다(변동형 전기요금제에 대한 대책은 2.2.1장 참조). 늘어나는 데이터센터의 전력 수요(+12TWh)는 부분적으로 인공지능 및 클라우드 컴퓨팅 활용 애플리케이션에서 기인하는데, 일반적으로 대규모 코로케이션(colocation)과 하이퍼스케일(hyperscale) 데이터센터가 대부분을 차지한다. 이러한 데이터센터는 폐열을 발생시키지만, 이를 활용하기 위한 열 공급망은 아직 부족하다(건물부문의 전기화 대책에 대해서는 2.1.2장을 참조).

전력 수요 (2019년~2025년 실적, 2030년 전망)

그림 6



2025년까지의 데이터: AGEB(2025) Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Bundesnetzagentur (2025) Netzengpassmanagement를 기반으로 Agora Energiewende 작성, 2030년 데이터: Agora Energiewende (2025) Szenario Klimaneutrales Deutschland. 분석의 기초로 Agora Energiewende (2024)의 2022년 에너지 통계를 바탕으로 작업. *재생가능에너지법(EEG)에 따라 전력 수요에 포함

수송: 전기차의 시장 확대는 기후 정책의 핵심 축이자 독일 자동차 산업의 경쟁력 확보에 필수적인 요소이다. 올해 상반기 신규 등록 전기 승용차 비율은 약 18%로 지난해보다 증가했지만, 수송부문을 2045년까지 기후중립 경로로 이끌기에는 턱없이 부족한 수준이다. 글로벌 전기 모빌리티 시장의 역동성을 고려할 때, 전기차 신규 등록 대수가 급격하게 증가할 가능성은 있다. 이러한 배경에서 2030년 전력 수요는 95TWh에서 83TWh로 감소할 것으로 예상된다. 2030년 화물 운송 분야의 전기 차량 전환율은 약 41%로, 여객 운송분야와 함께 전력 소비 추세에 결정적인 영향을 미칠 것이다.

배터리/전해조: 배터리와 전해조의 전력 수요는 Agora의 기후중립 시나리오 대비 12TWh 증가할 것이다. 대부분은 에너지 저장 목적이지만, 전해조로 만들어진 수소의 일부는 산업공정의 원료로도 사용된다.⁶ 배터리 저장장치 비용의 급격한 하락과 하루 중 전력 가격의 큰 변동성은 단기간 중간 저장을 위한 전력 저장장치의 가치를 높인데, 배터리 저장시설의 계통연계 신청이 다수 접수된 것이 이를 잘 보여준다(1.4 장 참조). 30GW의 대용량 배터리 시설이 설치되면, 현재의 양수식 발전소를 포함한 전력 수요는 20TWh까지 증가할 것

이다. 현재 계획에 따르면 2030년까지 최대 4.6GW의 수전해 장치가 설치될 것인데, 독일 북부에서 진행 중인 새로운 풍력 프로젝트를 통해 상당한 양의 전력이 저렴하게 공급될 것이다. 전력망 확충이 성공적으로 이루어지더라도 "병목 지점 이전 단계에서" 전력량을 줄이려는 시도는 매우 의미있다. 발전계약 대신 활용이라는 논리로 볼 때, 독일 북부의 수전해 장치는 가동률이 매우 높은 풍력 전력을 활용할 수 있는 확장 가능한 옵션으로, 약 22TWh의 전력 수요를 이끌어 낼 것이다.⁷

전력 시스템의 손실은 다음 두 가지 효과가 상쇄되기 때문에 일정하게 유지될 것이다. 화석연료 발전량 감소로 인해 발전소 자체 소비 전력 수요가 7TWh 감소하는 반면, 전체적으로 늘어난 송전 전력량으로 인한 계통 손실이 증가할 것이다.

1.3.2 풍력발전, 태양광발전 보급 전망

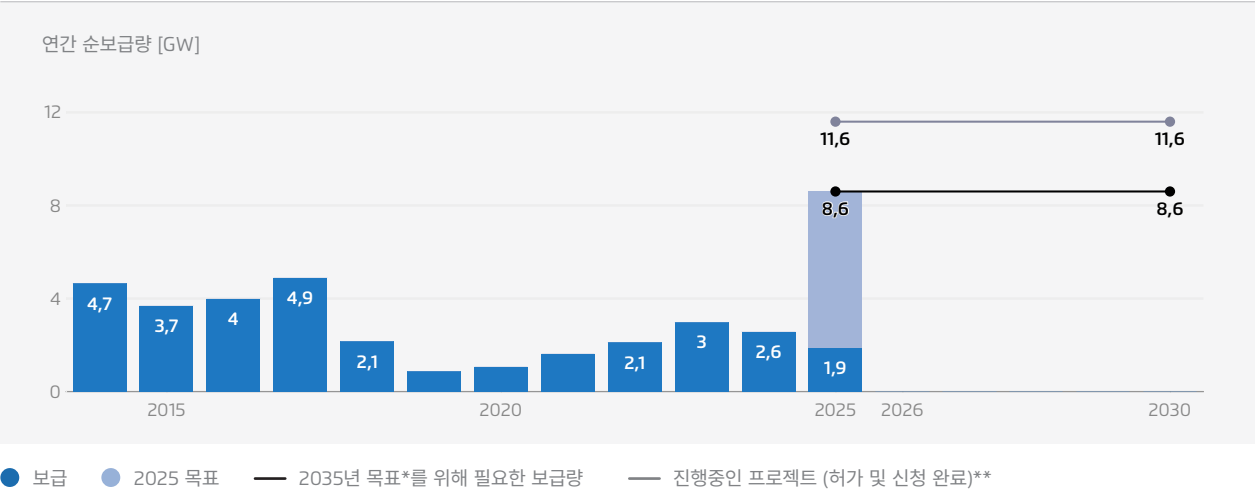
풍력과 태양광발전은 기후 중립적인 전력 시스템의 핵심 축을 이룬다. 태양광발전과 육상풍력 모두 지난 몇 년간 새로운 대규모 프로젝트가 추진되면서 강력한 성장 동력이 형성되었다. 태양광의 경우 지난해 약 17GW가 새롭게 설치되었고, 풍

6 '재생에너지법'에 명시된 총 전력 소비에 대한 에너지 통계 값은 양수발전소의 전력 소비를 포함하며, 대용량 배터리의 전력 소비도 이에 상응하여 다루어진다.

7 Aurora와 Agora Energiewende (2025)는 4,800시간의 가동시간을 가정하고 있는데, 이는 전해조의 경제성을 위해 필요한 최소한의 가동률이다.

육상풍력 보급 추이 (2014년~2025년 실적, 2030년 보급 목표) 및 허가/신청된 설비 용량 (2025년 8월 기준)

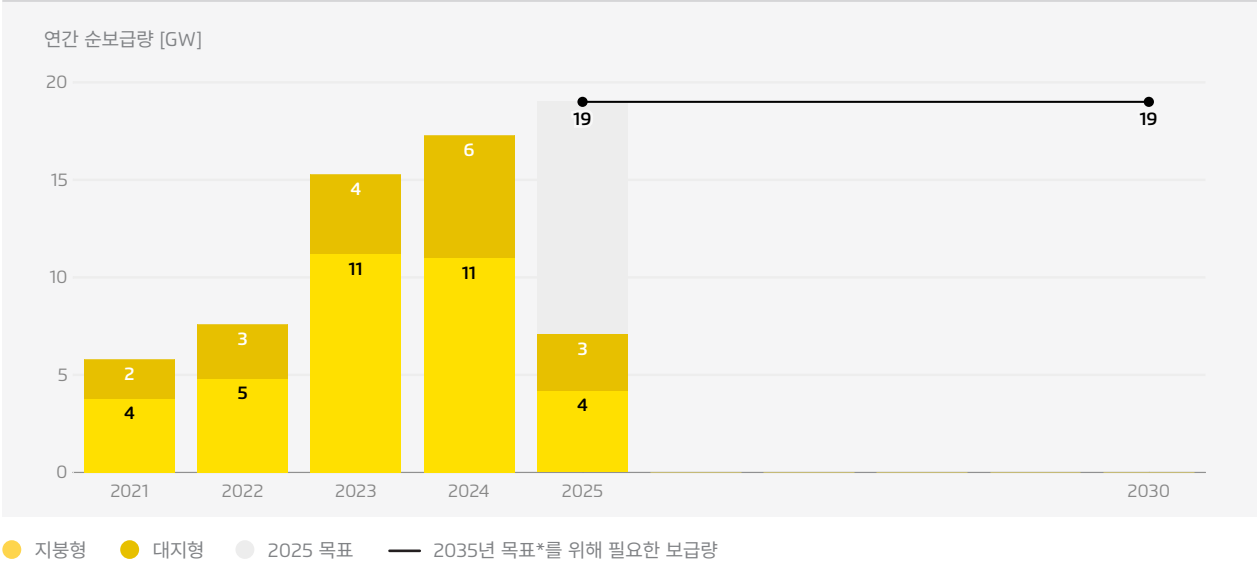
그림 7



Bundesnetzagentur (2025) Marktstammdatenregister Stand August 2025: Statistik zur Stromerzeugungsleistung ausgewählter erneuerbarer Energieträger, goal100 (2025) Windenergie Monitor Deutschland를 기반으로 Agora Energiewende 작성. * 재생에너지법 4.1조에 짝수 년도의 보급 목표 제시, 여기서는 2030년 목표가 계산 기준으로 사용 **2025년 8월 8일 현재 허가 및 신청된 용량(각각 31GW, 50GW)에 해체가 예상되는 12GW를 6년에 걸쳐 균등하게 분배한 수치

태양광발전 보급 추이 (2010년~2024년 실적, 2025년 추정, 잠정) 및 2030년 기후목표 달성을 위한 경로

그림 8



Bundesnetzagentur (2025) Marktstammdatenregister Stand August 2025를 기반으로 Agora Energiewende 작성. * 재생에너지법 4.3조에 적수 년도의 보급 목표 제시, 여기서는 2030년 목표가 계산 기준으로 사용

력의 경우 허가 신청이 급증했고 최근 입찰에서 진정한 경쟁이 벌어지는 현상을 통해 그 동력을 확인할 수 있다. 「재생에너지법」 목표인 육상풍력 115GW와 태양광 215GW 보급은 지속적인 성장세를 유지한다면 달성 가능하다. 해상풍력의 경우, 계통연계 건설 지연으로 인해 2030년 목표는 1-2년 정도 지연될 것으로 예상된다.

2023년과 2024년에는 전력구매계약(PPA) 중심의 시장 기반 투자의 비중이 상당히 컸다. 그러나 태양광발전 설비의 급격한 증가와 동시에 수요 증가세가 둔화되면서 태양광발전의 시장 가치가 크게 하락했고, 이에 따라 소비자들이 PPA를 체결하려는 유인도 줄어들었다. 2025년 5월과 6월, 전력 거래소 평균 전력 가격이 6-7센트/kWh인 반면, 태양광발전의 전력거래소 거래 가격은 겨우 2센트/kWh에 불과했다. 7월에는 네거티브 전력 가격 시간대가 줄어들면서 태양광발전의 거래 가격이 다시 6센트/kWh까지 상승했다. 최근 개정된 「재생에너지법」 51조와 「태양광피크법(Solarspitzen-gesetz)」은 네거티브 가격 발생시의 전력 생산 문제를 다루고 있다. 태양광 발전시설 운영자와 판매업체는 네거티브 가격으로 인한 손실 위험에 대응하기 위해 발전제약을 시행하거나 배터리와 연계된 계통연계 장치를 공동으로 사용하는 등의 대응을 강화하고 있다.

해상풍력의 경우, 2030년 30GW 보급 목표 달성이 1-2년 지연될 것으로 예상된다. 지난 몇 년간의 입찰에서 해상풍력 부지 사용권과 계통연계 접속권이 경매되었는데, 지난 6월 입

찰에서는 비사전조사부지에 대한 입찰가가 크게 하락했고 2025년 8월 1일 실시된 사전조사부지에 대한 입찰은 실패로 끝났다. 이는 전력 수요와 가격 변동성에 대한 불확실성 속에서 차액계약(contracts for difference, CfDs)과 같은 투자 안정 장치가 필요하며 경매 제도 또한 개선되어야 함을 의미한다(Agora Energiewende, NERA, 2024).

1.4 공급 안정성

에너지 시스템의 **공급 안정성**은 재론의 여지가 없는 매우 중요한 가치이다. 그러나 이는 단순히 전력을 수요에 맞게 안정적으로 공급하는 것만을 의미하는 것이 아니라, 더 포괄적인 차원의 회복력, 즉 에너지 수입에 대한 의존도까지 포함하는 개념으로 이해하는 것이 중요하다.

화석연료 수입을 재생에너지로 대체하면 석유와 천연가스 수입 의존도와 이에 따른 상당한 에너지 비용을 줄일 수 있다. 에너지 수입을 줄이는 것은 점점 더 중요한 지정학적 의미를 갖는다. 현재 화석연료를 수입하는 데 연간 약 800억 유로(Öko-Institut, 2025)를 지불하고 있는데, 대부분 석유와 천연가스(89%)가 차지한다. 그러나 기후중립 에너지 시스템에서는 전기화 과정에서 수입 석유제품과 천연가스를 국내에서 생산되는 재생에너지로 대체함으로써 2045년까지 에너지 원 수입을 약 85% 줄일 수 있다(1.2.1장 참조)(Agora Think Tanks, 2024).

저장장치, 전해조, 전기자동차는 전기 가격을 낮추고 공급 안정성을 높일 수 있는 유연성을 제공한다. 그러나 누적 설치용량 11GW에 달하는 가정용 저장장치는 일반적으로 개별 가정의 자체 소비만을 최적화한다. 대용량 배터리 저장장치의 경우 투자자들이 300GW 이상의 계통연계를 요청했으나, 계통연계를 어떻게 할당하고 전력망 친화적으로 운영할지에 대해서는 원칙이 마련되지 않았다. 독일의 전력 계량 중 스마트 계량기의 비율은 2.8%에 불과(2025년 3월 31일 기준)하기 때문에, 대다수의 개인과 상업 소비자들은 변동형 전기요금제를 이용할 수 없다. 독일 북부에서는 전해조를 활용함으로써 풍부한 풍력 전력을 효율적으로 활용하는 것이 이론적으로 가능하지만(Agora Energiewende, 2025c), 지역별로 동일한 전기 가격 때문에 투자자의 관심을 끌기에는 경제적 유인이 부족하다. 수주 또는 수개월에 걸친 부하의 이동은 계간 지중 저장시설(seasonal earth basin storage facilities)과 같은 지역난방용 열 저장장치를 가능하게 할 수 있지만, 덴마크와 달리 독일에서는 규제 장벽으로 인해 이 기술이 거의 활용되지 않고 있다.

공급 안정성을 확보하기 위해서는 급전이 자유로운 발전소가 반드시 필요하다. 그러나 이러한 조치가 저장장치와 수요 유연성의 경제성을 훼손해서는 안 된다. 현재는 재생에너지의 가용성이 낮을 때, 특히 석탄과 가스발전소가 수급 균형을 맞추고 있다. 석탄 폐지 계획과 전력 수요의 증가 추세에 따라 발전소에 대한 추가 투자가 필요한데, 새로운 발전소는 열 공급망의 에너지 공급원으로도 활용될 수 있다. 새로운 발전소의 규모는 유연성 자원을 통한 일시적 부하 감소 등과 같은 대안적인 옵션이 얼마나 마련되는가에 따라 달라질 것이다. 독일 정부는 2030년까지 20GW 규모의 가스발전소 건설을 위한 입찰 계획을 발표했다. Agora의 독일 기후중립 시나리오는 2030년까지 최대 10GW 수준의 훨씬 적은 수요를 예상하는데, 유럽의 공급 안정성 관련 주요 연구인 ERAA(Entso-E, 2024) 역시 2035년이 되어야 독일의 신규 발전소 수요가 20GW에 이를 것으로 전망하고 있다. 신규 발전소 건설을 신속히 추진하기 위한 적절한 제도적 틀을 마련하는 것이 중요하지만, 동시에 다른 유연성 옵션을 잠식해서는 안 될 것이다. 모든 발전소에 필요한 보조금은 최종적으로 소비자가 부담하는 부담금을 통해 마련되기 때문에 전기요금 인상으로 이어지며 한편, 저장장치 등이 제공하는 긍정적 효과가 재생에너지의 시장 가치를 약화시킬 수도 있으므로, 결국 「재생에너지법」 기금(EEG-Konto: 재생에너지로 생산된 전기에 대한 보상금과 해당 전기를 전력 시장에서 판매하여 얻은 수입 간의 차액을 보전하기 위한 특별 계정으로, 네 개의 송전망 운영사가 관리-역자 주)을 통한 추가적인 지원의 필요성이 늘어날 것이다. 또한 2035

년부터 2040년 사이에 가스발전소를 녹색수소⁸를 이용하는 무배출 운영으로 전환하기 위한 명확한 경로를 제시하는 것이 중요하다(2.4장 참조).

송전망은 새로운 발전소, 저장시설, 대규모 소비자를 연결하고 전력의 장거리 이동을 가능케 하는 핵심 기반 시설이다. 높은 수준의 공급 안정성을 유지하고 구조적인 전력망 병목 현상을 극복하기 위해서는 송전망 확충이 시급하다. 지난 25년간 송전망은 화석연료 발전소뿐만 아니라 재생에너지 발전소도 성공적으로 연계하여, 2025년 6월 기준 재생에너지 발전 비중이 71%에 달했다(Agora Energiewende, 2025a). 연방정부는 「연방수요계획법(Bundesbedarfsplangesetz)」과 「전력망개발계획(Netzentwicklungsplan)」을 통해 연방네트워크청(Bundesnetzagentur)과 함께 확충 목표를 위한 제도적 틀을 마련하여 계획의 안정성을 확보하고 있다. 이를 바탕으로 송전망의 전환 과정이 본격화되고 있다. 2020년부터 2024년까지 송전망에 대한 연간 투자 규모는 평균 70억 유로였다. 「전력망개발계획」에 따르면 송전망 확충에 필요한 투자 규모는 2030년대까지 연평균 200억 유로로 증가한 후 다시 감소할 것으로 전망된다(Agora Energiewende, 2025d). 특히 해상풍력 발전단지를 위한 계통연계 및 송전망에 대한 투자가 큰 비중을 차지한다.

새로운 송전선 완공이 지나치게 오래 걸렸던 지금까지의 문제는 「계획법」 개정을 통해 해결되었다. 연방회계감사원(Bundesrechnungshof) 평가에 따르면, 송전망 확충이 「송전망개발계획」보다 7년이나 지연되었기 때문(Bundesrechnungshof, 2024)에 이러한 조치가 시급히 필요했다. 최근에는 인허가 절차 등에서 상당한 진전이 있었는데, 이는 송전망 확충 프로젝트의 실행이 본격적으로 속도를 내고 있음을 보여준다(Agora Energiewende, 2025a).

8 가스발전소의 배출량 감축을 위한 다양한 기술(수소, 합성연료, CCS(탄소 포집 및 저장), 탄소 포집이 장착된 화석연료로 생산된 수소 등)이 존재한다. 녹색수소(또는 그 파생품)만이 기후 중립적이며 화석연료 의존을 피할 수 있지만, 대량의 재생가능한 전기가 필요하다. CCS를 장착한 발전소는 지역 차원에서 배출량을 줄이지만, 에너지원의 채굴, 운송 및 포집 과정에서 여전히 무시할 수 없는 탄소 발자국을 남긴다. 또한 포집 과정은 효율이 낮아 천연가스 소비를 증가시킨다. 경제적으로 CCS 장착 발전소의 높은 자본 비용과 수소발전소의 높은 연료 비용 사이의 관계는 복합적인 양상을 보인다. 운전 시간이 2,500-3,000시간을 초과하는 고가동을 조건에서는 CCS 장착 발전소가 위치에 따라 녹색수소 대비 경쟁력을 가질 수 있으나, 중간 및 저가동을 조건에서는 수소를 연료로 하는 가스발전소가 유리할 것이다. 경제적 관점에서 이산화탄소 포집, 수송 및 저장 비용과 수소 가격이 두 개의 핵심 변수이지만, 예측이 쉽지 않거나 예측 범위가 매우 넓다. CCS 장착 발전소가 향후 충분한 가동 시간을 확보할 가능성은 낮다. 저장시설과 유연성 자원을 포함한 기후중립 시나리오에서는 겨울철 몇 주 동안만 이러한 발전소가 필요하기 때문이다. 기술적·경제적 불확실성, 높은 투자 비용, CO₂를 위한 추가 운송 인프라 구축, 그리고 천연가스를 위한 인프라 유지의 필요성을 고려할 때, 발전소 분야에서 CCS는 효과적인 옵션이 아니다.

배전망과 관련한 핵심적인 과제는 새로운 소비자, 저장장치, 발전기 간의 계통연계 증가 수요를 비용 효율적이고 신속하며 안정적으로 구현하는 것이다. 2020년부터 2024년까지 배전망에 대한 연간 투자액은 평균 66억 유로였지만, 2025년부터 2030년까지는 평균 약 156억 유로로 크게 증가할 것으로 예상된다(Agora Energiewende, 2025d). 이 부문에서도 전력망 운영은 경제적으로 매력적이어야 하며, 충분한 자본의 뒷받침을 받아야 한다. 송전망 사업자들은 2012년부터 공동으로 「전력망개발계획」을 발표하고 협의해 왔는데, 지난해부터는 주요 배전망 사업자들도 「전력망개발계획」에 그들의 계획을 명시하고 있다. 이를 통해 고전압 수준, 지자체의 열공급계획과 같은 다른 수요 부문과의 긴밀한 연계가 가능했다. 가스 공급망에 대한 투자는 30억 유로에서 0유로로 단계적으로 축소되는 반면, 열 공급망에 대한 투자는 거의 동일한 규모로 증가할 예정이다. 스마트 계량기 보급과 더불어 「전기·가스공급법(Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung)」 14a조 개정을 통해 저전압 수준에서도 효율적인 전력망 운영을 위한 디지털화 추진이 가능해졌다. 그러나 스마트 계량기 보급은 매우 더디게 진행되고 있으며, 전력망 실태 조사에서 설정된 목표도 충분치 못해 변동형 요금제와 변동형 전력망 수수료의 도입이 이뤄지지 않고 있다(2.3장 참조).

1.5 에너지전환을 위한 법적·정책적 제도의 효과

에너지전환은 참여 주체들이 현대적인 발전, 저장, 송전, 전력 소비 기술에 투자하고 효율적으로 활용하는 데 있어 경제성

이 있어야만 성공할 수 있다. 또한 참여 주체들의 관점에서 계획의 안정성이 담보되는 신뢰할 수 있는 제도적 틀이 필수이다. 지금의 독일에서는 여러 긍정적 요인뿐만 아니라 상당한 장애요인도 존재하는 등 복합적인 양상이 나타나고 있다. 발전 사업자, 저장시설 운영자, 전력망 운영자, 다양한 소비자 그룹의 관점에서 중요한 요소를 아래에서 살펴본다.

1.5.1 발전 사업자의 관점

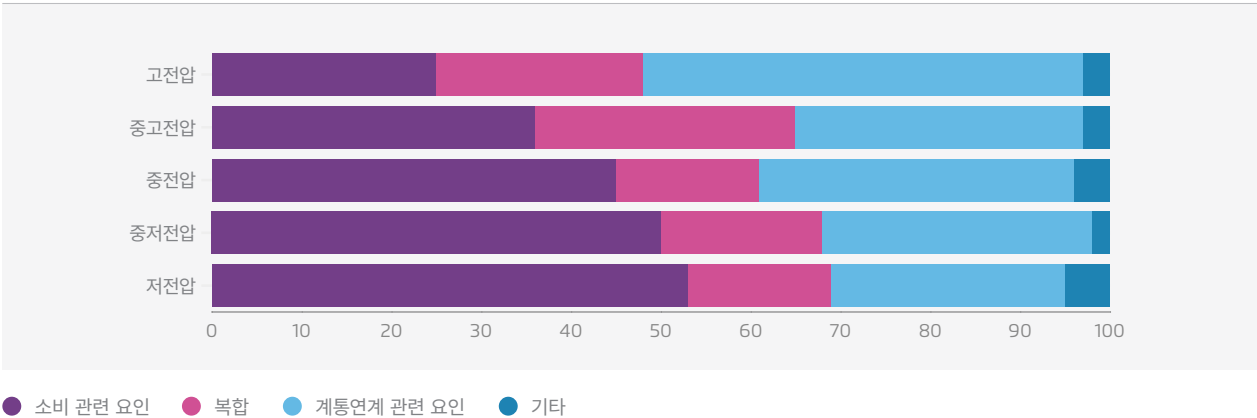
기회

「재생에너지법」의 지원 체계 덕분에 지난 20년간 풍력, 태양광 기술은 비용과 효율성 측면에서 엄청난 발전을 이루었다. 예를 들어, 태양광 전력의 매입 가격은 kWh당 54센트에서 약 5센트로 감소했다. 「재생에너지법」은 재생에너지에 대한 투자의 계획 가능성을 제공하고 저렴한 자본 접근을 용이하게 한다. 또한 빠르게 성장중인 전력구매계약(PPA) 시장은 다양한 시장 중심적인 금융 옵션을 제공하고 있다. 유럽 규정에 따라 2026년 말 재생에너지법의 지원제도가 종료될 예정인데, 이에 따라 차액계약(CfDs)이 활성화될 것으로 예상된다(2.2장 참조).

명확한 기후보호 목표와 풍력, 태양광 등의 보급 로드맵은 투자자와 제조업체 모두에게 장기적인 계획 수립을 가능케 한다. 계획과 인허가 절차를 가속화하기 위한 법률 개선, 주/지자체 차원의 행정 절차를 간소화하려는 노력은 긍정적인 효과를 가져왔다.

2033년까지의 배전망 확충 추진 요인

그림 9



Bundesnetzagentur (2025) Update: Verteilernetze bis 2045를 기반으로 Agora Energiewende 작성. 참고: 배전망 운영자가 각각의 주요 추진 요인을 제시

과제

한편, 보조금 규정, 전력망 수수료, 세금 문제에 관한 근시안적 개선과 새로운 시장에 관한 규제의 불확실성은 에너지 생산에 대한 투자를 지속적으로 저해하고 있다. 이에 관한 대표적인 사례로는 ① 2012년 태양광발전의 급격한 매입 가격 인하(그 이전에는 지나치게 높은 매입 가격을 너무 오랫동안 유지해 왔었다), ② 재생에너지 설치 가능한 부지의 지정 부족, ③ 2017년부터 2022년까지의 기간 동안 풍력발전 인허가 지연, ④ 최근의 수소가스 발전소와 같은 신기술에 대한 불분명한 규제를 들 수 있다. 이러한 배경 때문에 신규 천연가스 발전소 건설을 위한 입찰제도를 논의하는 과정에서 보조금을 노리는 잠재적 투자자들은 관망하는 자세만 취하고 있다. 또한 계통연계까지의 긴 대기 시간과 승인 과정의 투명성 부족도 투자를 어렵게 만든다.

1.5.2 저장시설 운영자의 관점

기회

배터리 저장장치의 급격한 가격 하락은 2020년대에 대규모 배터리 저장시설뿐만 아니라 지붕 태양광발전 시스템과 연계된 ESS 설치 붐을 일으켰다. 불과 몇 년 만에 가정용 ESS 설치 용량은 11GW(2025년 7월 기준, RWTH Aachen, 2025)로 증가하여 양수발전소의 설비용량을 넘어섰다. 이러한 저장장치는 일반적으로 자가 소비 최적화를 위해 이용되는데, 가정용 ESS를 통해 지붕 태양광발전 시스템의 자가 소비 비율을 기존 30~40%에서 약 두 배 가량 높일 수 있다(Fraunhofer ISE, 2025).

대용량 배터리는 전력 시장 안정화에 성공적으로 활용되고 있다. 현재 300GW 이상의 계통연계 신청이 접수되었는데, 이 중 3분의 1은 배전망에 속한다. 송전망에서는 24GW 설치가 예상되며, 여기에 배전망의 대형 배터리와 지붕 태양광발전 확대와 연계된 가정용 ESS의 상당한 신규 보급 잠재력이 더해질 전망이다(IEA, 2024). 대용량 배터리 저장장치는 10년간 전력 소비에 대한 전력망 수수료가 면제되는 혜택을 받는데, 배터리 사이클수를 고려할 때 이 기간은 기술적 수명과 거의 일치한다. 그러나 이는 반대로 계통연계에 아무런 영향을 줄 수 없는 소비자들이 계통연계 및 사용 비용을 부담하게 되는 결과를 낳는다.

과제

가정용 ESS와 점차 확대되는 대규모 배터리 저장장치는 소비자 관점에서 전력 공급을 동적으로 동기화하고, 적절한 인센티브를 통해 전력망 이용을 개선할 수 있음에도 불구하고, 적절한 규제 체계가 부재하여 이러한 장점이 제대로 구현되지 않고 있다.

- 배터리 저장장치는 기술적으로 병목 현상을 해소하는 데 기여할 수 있음에도 불구하고, 지역별 차등 전기요금제가 없으면 일시적으로 병목 현상을 악화시킬 것이다. 결과적으로 전력망 운영자는 운영 제한으로 대응하게 되어, 이는 배터리 비즈니스 모델에 부정적인 영향을 미친다.
- 투명하고 효율적인 계통연계 할당 절차가 마련되지 않아 대용량 배터리 저장장치는 수년간 전력망 접속 승인을 기다리고 있다. 예를 들어, (태양광발전소의 경우와 같이) 전력망에 조건부로 접속하는 경우에 관한 통일된 규정이 부재하다.
- 발전 설비의 계통연계를 규정하는 시행령에는 망 운영자가 대규모 배터리와 발전소의 우선순위, 품질, 동시성 문제를 어떻게 처리할지에 관해 불충분하게 규정하고 있다.

1.5.3 전력망 운영자의 관점

기회

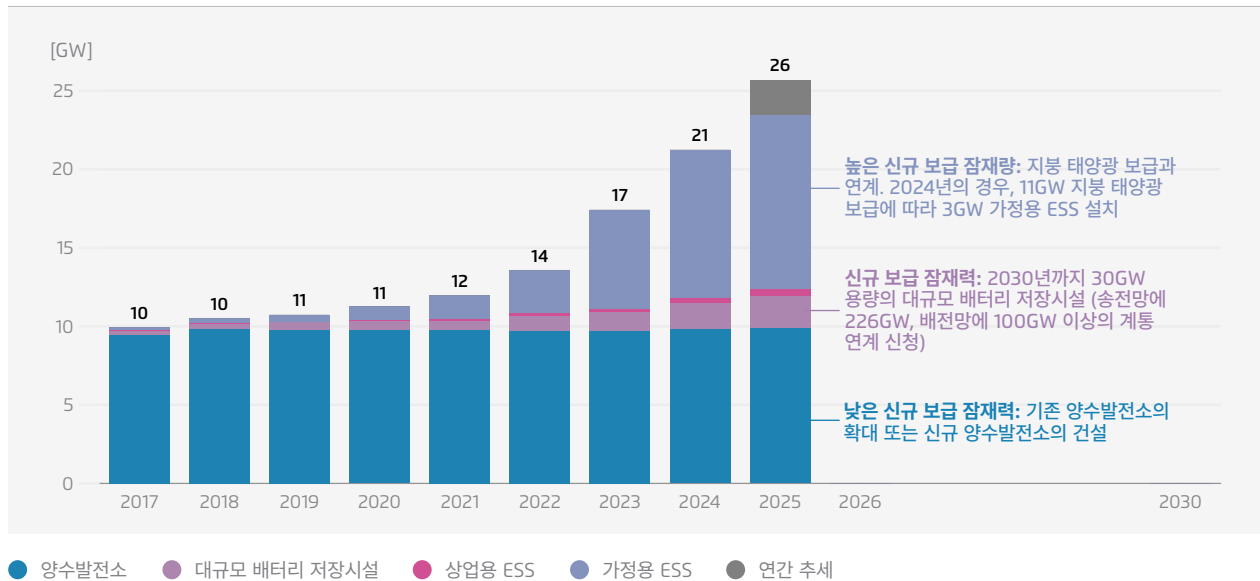
재생에너지 설비의 전력망 통합은 수년에 걸쳐 지속적으로 개선되어 왔다. 민법상 우선적 또는 즉각적인 계통연계에 대한 권리가 보장됨에 따라 재생에너지 투자자들에게 상당한 수준의 계획 안정성이 확보되었다. 송전망 단계에서는 2년 주기로 업데이트되는 「전력망개발계획」이 이러한 통합에 기여한다. 이는 최종적으로 「연방수요계획법」에 따라 신규 송전선 건설이 확정되는 절차를 규정한다. 또한 「해상전력망개발 계획」과의 연계, 가스/수소 통합 시나리오 마련을 통해 에너지원 전반에 걸쳐 일관성을 높일 것이다. 지난해 주요 배전망 사업자들이 처음으로 「배전망확대계획」을 수립함으로써 배전망 확대 수요에 대한 투명성도 향상되었다. 아울러 최근의 「계획법」 개정으로 인해 신규 송전선로 건설이 가속화되기도 했다.

과제

변동형 전력망 수수료 체계, 배전망의 디지털화, 스마트 계량기 보급 확대는 전력망 운영의 비용 효율성을 높이기 위한 핵심 도구로 기능한다. 그러나 현행 규제 체계는 필요한 하드웨어, 소프트웨어, 운영상의 조정을 최대한 신속하게 구현하도록 하는 등의 강력한 품질 규제를 통한 효율성 유인책을 충분하게 제공하지 못하고 있다. 대신 여전히 투자(CAPEX)에 초점이 맞춰져 있다. 변동형 전력망 수수료 도입과 디지털화를 통해 전력망 확대 수요를 줄이거나, 예를 들어 신규 사용자의 계통연계를 신속하게 추진하여 전력망 비용을 더 많은 주체에 분산시키는 등의 인센티브가 부재하다. 또한, 특히 수많은 소규모 전력망 운영자를 위해 협업 또는 운영 관리 통합을 통해 규모의 경제 효과를 활용하는 방안도 부재하다. 현재의 제도적 틀에서는 스마트 그리드나 유연성 자원 같은 신기술이 전력망 확충에 대한 투자와 경제적으로 동등하게 평가되지 않는다. 경제적 압박이 부족한 것이다. 예를 들어, 계통연

저장시설 설치 추이 (2017년~2025년 7월 실적, 이후 추세) 및 2030년 보급 전망

그림 10



Bundesnetzagentur (2025) Kraftwerksliste, PSG RWTH Aachen (2025) Battery Charts를 기반으로 Agora Energiewende 작성. 참고: 독일 전력망에 직접 연계된 오스트리아와 룩셈부르크에 위치한 3.1GW 규모의 양수발전소 포함

계 수요에 대한 투명성 부족과 사업자별로 분산된 전력망 관리로 인해 불필요한 노동력의 투입이 가중되고 있다. 예를 들어 계통연계 경매를 위한 중앙 플랫폼이 부재하여, 데이터센터나 배터리 저장시설 운영자 같은 신규 계통연계 희망자들은 연계 가능한 지점에 대한 정보를 얻기 위해 개별 배전망 운영자에게 계통연계 신청을 반복적으로 제출하고 있다.

1.5.4 히트펌프와 관련한 주택 소유자의 관점

기회

최근 몇 년 사이 주택 소유자는 히트펌프를 대체 난방 시스템으로 인식하고 있다. 신축 건물에서는 2022년부터 이미 절반 이상의 주택에 히트펌프가 설치되었으며, 2025년 상반기에는 전체 시장에서 처음으로 가스보일러보다 히트펌프 판매량이 더 많았다(BDfH, 2025b). 또한 연방정부의 「건물 효율화 지원 프로그램(Bundesförderung für effiziente Gebäude)」을 통한 난방설비 교체와 건물 리모델링 지원도 히트펌프 구매를 뒷받침하고 있다. 특히 히트펌프 전기요금이 적용되는 지역에서는 히트펌프가 더 많은 경제적 이점을 제공한다(1.2.2장 참조). 이는 가스 공급망 수수료 인상, 난방용 에너지원에 대한 온실가스 가격 책정이 가스 난방비 상승으로 이어지기 때문이기도 하다. 모든 지자체는 2028년 중반까지 해당 지역의 「열공급계획(Wärmeplanung)」을 마련해야 하는데(이미 많은 지자체가 이를 확정했다), 이 덕분에 주

택 소유자들은 열 공급원 선택에 있어 보다 명확한 방향성을 얻을 수 있다.

과제

「건물에너지법(Gebäudeenergiegesetz)」과 히트펌프를 둘러싼 정치적 갈등과 언론 기사가 이어져 주택 소유자들이 상당히 불안했는데, 이로 인해 기존 건물에서의 히트펌프 보급 확대에 필요한 추진력이 아직은 본격적으로 형성되지 못했다. 이를 가로막는 주요 장애요인은 여전히 존재한다. 저소득층을 위한 지원 제도가 아직 충분치 않고, 히트펌프를 운영하기에는 전기요금이 여전히 너무 비싸다. 또한 기존의 히트펌프 전기요금제를 이용하려면 추가 계량기 비용을 지불해야 하고, 스마트 계량기의 보급 속도가 너무 느려 변동형 전기요금제를 활용할 수도 없다. 「기후전환기금(Klima- und Transformationsfonds. 2011년 도입된 독일 연방정부의 에너지 전환, 기후보호 자금 조달을 위한 특별 기금으로 2024-2027년 기간 동안 2,118억 유로 책정-역자 주)」으로 전기 세금을 유럽 최저 수준으로 낮추는 대신 여전히 가스 저장시설의 부담금을 보조하는 것은 규제상의 불일치를 보여준다. 여기에 더해, 현재 약 56%의 가구가 가스로 난방(BDEW, 2025)을 하고 있는 상황에서 가스 공급 폐지와 관련해 해결해야 할 문제도 여전히 존재한다. 여기서 가스 공급업체와 가스를 소비하는 가구 사이에 불확실성이 발생한다. 우선, 법적으로 가스 공급망을 철거할 수 없는 경우가 많아, 점점 줄어드는 가스 소비 가구들이 더 비싸게 가스 공급망 수수료를 지불할 뿐만 아

나라 가스 공급망 운영자가 비경제적으로 인프라를 유지해야 한다. 또한 가스 연결을 중단할 경우, 공급 중단에 따른 비용을 누가 부담해야 하는지에 대해 법적·경제적 불확실성이 존재한다(BWP, 2025).

1.5.5 지역난방 운영자의 관점

기회

지역난방의 재생에너지 전환이 가속화되고 있고, 지자체의 「열공급계획」에서 다양한 기후 친화적 열원이 논의되고 있다. 많은 지자체가 「열공급계획」 수립에 착수하면서 지역 차원의 열 전환 논의가 촉발되고 지역 주체들이 활발하게 활동하고 있다. 2022년에 시작된 연방정부의 「효율적 지역난방 지원 정책(Bundesförderung für effiziente Wärmenetze)」은 지역난방 확대, 열원 전환 계획 수립에 크게 기여했다. 2026년 예산안에서 지원 예산이 확대된 것은 업계에 긍정적인 신호를 주었다. 더 나아가 연방정부 합의문에 명시된 공공 및 민간 자본의 투자 활성화, 지역난방 규제 및 소비자 보호 조치의 개선 역시 지역난방의 확대와 전환을 촉진하고 있다.

과제

지난 몇 년간의 진전에도 불구하고, 지역난방의 야심찬 확대와 전환을 위해 필수적인 투자가 아직은 이뤄지지 않고 있다. 앞으로 필요한 투자 규모는 지난 몇 년간의 투자 규모를 훨씬 초과하는데, 대부분의 경우 지역난방 운영자의 내부 자금 조달로 감당하기 어렵다(Dena, 2025). 추가 자본을 조달하는 일은 자기자본이든 외부자본이든 간에, 매우 다양한 형태의 지역난방 운영자에게 다양한 과제를 안겨주고 있다. 예를 들어 다수의 소규모 운영자는 외부 자본을 조달할 인적 자원과 경험이 부족하다. 또한 모든 기업의 입장에서 지역난방 운영은 재정적으로 상당히 위험한 사업으로 간주된다는 것이다. 특히 미래 지역난방 이용 고객의 규모에 대한 불확실성이 이러한 위험 정도를 가중시킨다(Agora Energiewende, Prognos, GEF, 2024). 지자체의 「열공급계획」이 방향성을 제시하더라도, 그 실행은 의무 사항이 아니다. 또한 지역난방 확대에 시간적 압박이 존재한다. 충분한 소비 가구를 신속하게 확보하지 못할 경우 소비자는 다른 열 공급 솔루션을 선택할 가능성이 높는데, 이는 지역난방 확대의 경제성을 위협한다. 열 공급을 재생에너지로 전환하는 데에는(대부분의 경우 대형 히트펌프가 사용될 전망) 분산형 열 공급과 마찬가지로 전력망과 가스 가격의 불균형이 문제로 작용할 것이다. 그리고 열 공급설비의 탄력적 운영을 위한 적절한 인센티브가 부족하다. 요금뿐만 아니라 「열병합발전법(Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz)」의 지원 체계도 여전히 걸림돌로 작용하고 있다.

1.5.6 차량 소유자의 관점

기회

다른 유럽 국가들과 비교했을 때 독일의 승용차 중 전기차 비중은 약 3.5%로, 중간 수준에 위치한다.⁹ 2024년 구매 지원금("환경 보너스 Umweltbonus")이 종료되면서 신규 등록 대수가 크게 감소한 후, 올해는 2024년 대비 소폭 증가했는데, 주요 원인은 특히 2025년의 유럽 차원의 차량 이산화탄소 배출 규제 때문이다. 전기 트럭 등록 대수에서도 독일은 유럽에서 중간 수준에 머물러 있다. 한편, 충전 인프라는 현재의 전기차 수요를 충족할 만큼 확보되어 있는데, 전기차 1대당 3kW의 충전 용량을 제공해야 한다는 「대체 연료 인프라 규정(Alternative Fuels Infrastructure Regulation)」의 요구 사항을 이미 충족하고 있다. 또한, 「에너지경제법(EnWG)」 14a 조에 따라 스마트 충전을 위한 중요한 기반이 이미 마련됐다.

과제

현재의 전기차 신규 등록 증가세로는 기후보호에 필요한 기여를 기대하기에는 턱없이 부족하다. 여기에는 다양한 원인이 있다. 전기차 구매 보조금의 갑작스러운 종료와 함께 e-fuel(태양광이나 풍력 등 재생에너지를 활용해 물을 전기 분해해서 수소를 생산하고 여기에 이산화탄소나 질소를 합성해서 만드는 새로운 연료-번역자 주)에 대한 재논의, 내연기관 차량 퇴출 제도의 폐기로 인해 2024년에는 완전 전기차의 신규 등록이 크게 감소했으며, 회복 속도도 더딘 상황이다. 차량 구매시, 향후 정책, 기술, 운영 비용, 충전 인프라 가용성, 충전 비용 등에 대한 불확실성이 여전히 존재한다. 따라서 저렴한 완전 전기차 모델이라 할지라도 높은 투자 비용과 공공 급속 충전소의 높은 요금으로 인해 개인이 이용하기에는 비슷한 내연기관 모델보다 오히려 더 비싼 경우가 많다.

현재 충전 인프라는 충분하지만, 계통연계의 지연으로 추가 확충이 부분적으로 느리게 진행되고 있다. 또한 계통연계와 이용 비용 때문에 잠재적 투자자와 운영자는 투자를 망설이고 있다. 이는 특히 전기 트럭 충전 인프라에 필요한 고출력 전력 공급 부문에서 결정적인 장애 요인으로 작용한다.

또한 양방향 스마트 충전을 위한 준비가 부족하다. 지능형 계량기(스마트 미터)의 확충은 더디게 진행되고 있다. 이 때문에 전력망 상태를 파악하거나 소비자에게 변동형 요금제를 제공할 수 없는데, 이 두 가지 모두 공급 가능한 재생에너지 전력과 전력망 상황에 따라 전기차를 탄력적으로 충전하기 위해 필수적인 요소이다.

9 <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/interactive-map>

1.5.7 산업체의 관점

기회

정부 지원 정책은 전환의 가속화에 중요한 동력을 제공한다. 연방정부의 「산업 및 기후보호 지원제도(Bundesförderung Industrie und Klimaschutz)」, 연방정부의 「경제부문 에너지 및 자원 효율성 지원제도(Bundesförderung Energie und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft)」와 같은 프로그램, 「유럽 공동 이익을 위한 주요 프로젝트(Important Projects of Common European Interest)」와 같은 이니셔티브, 기후차액계약제도(Climate CfDs) 등은 탈탄소화를 위한 재정적 인센티브를 창출하고 기술 중립적 혁신 프로세스를 촉진함으로써 미래 기술 분야에서 산업의 경쟁력을 강화한다. 또한 투명성 및 라벨링 시스템의 도입은 새로운 시장 잠재력을 창출하는데, 철강협회가 개발하고 정부가 지원하는 라벨인 「저배출 철강 표준(Low Emission Steel Standard)」을

예로 들 수 있다. 이는 녹색선도시장으로 가는 중간 단계 역할을 할 수 있으며 저배출 제품의 가시성을 높이는 데 기여한다.

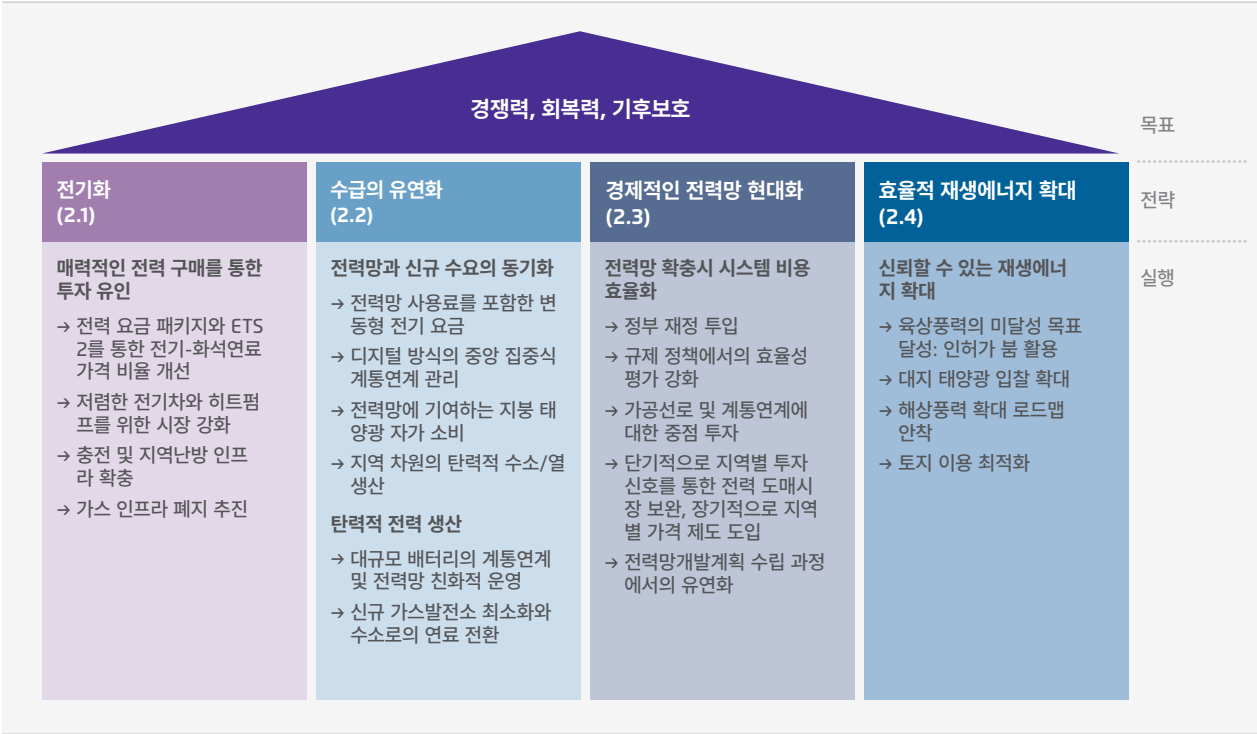
과제

산업부문의 주요 장애 요인은 장기적인 정책의 불확실성에 있다. 산업 생산 공정의 긴 투자 주기를 고려할 때, 정책 목표의 신뢰성, 특히 2045년까지의 기후 목표 유지가 매우 중요하다. 기후 친화적 기술에 대한 투자를 위해서는 수십 년 동안 이 기술의 지속가능성을 담보하는 계획 안정성이 필요하기 때문이다. 기존의 시장 기반 통제 정책인 유럽 배출권거래제(ETS)와 독일의 「연료배출권거래법(Brennstoffemissionshandelsgesetz)」은 기후 중립적 산업 생산을 위한 핵심적인 제도이다. 그러나 이 제도의 효과는 유럽 차원에서의 신뢰할 수 있는 제도 설계와 장기적인 제도 강화뿐만 아니라 기후 중립적 생산에 대한 실질적인 투자 인센티브를 제공하는 세부 조치에 달려 있다.

2 효율적인 에너지 정책을 위한 네 가지 방안

2025년 이후의 에너지전환을 위한 실행 전략

그림 11



Agora Energiewende (2025)

비용 효율적이고 회복력 있으며 기후 중립적인 에너지 시스템을 구축하기 위해서는 전환의 후반부에 전력 생산과 수요를 지능적으로 연계하는 것이 중요하다. 이를 위한 길은 역동적인 전기화, 유연성 활용, 비용 효율적인 전력망 현대화, 그리고 재생에너지의 효율적인 확대를 통해 만들어질 것이다. 이러한 전략은 매력적인 전력 가격을 보장하고, 공급 안정성을 강화하며, 비용을 최소화하고, 경제를 활성화할 것이다. 동시에 에너지전환 투자 자금 조달을 위한 일관된 계획이 필요하다. 정부 재정은 무엇보다 인프라 부문에 집중되어야 하며, 기존의 에너지전환 기술에 대한 자금 조달 공백을 해소해야 한다. 또한 전체 투자의 80% 이상을 차지할 민간 투자를 충분히 유도할 수 있는 제도적 환경을 조성하는 것이 중요하다.

2.1 모든 부문에서 비용 효율적인 전기화 달성

2.1.1 단기적인 「부담 완화 패키지」를 통한 전기요금 인하

전기화를 위해서는 안정적으로 저렴한 전기요금이 필요하다. 재생에너지 확대(2.4장 참조)는 모든 소비자에게 중요한 가격 요소인 전력 도매 가격을 지속적으로 낮추기 위한 핵심 조치이다. 또한 전기화를 강화하기 위해서는 연합정부 합의 문서에서 발표된 단기 「부담 완화 패키지」의 이행 역시 중요하다.

→ 전기화의 토대

전기화에 속도를 내기 위해서는 소비자들이 전기를 기반으로 하는 차량, 난방, 산업용 열을 비용 효율적이고 편리하게 사용할 수 있다는 신뢰를 가져야 한다. 이는 기본적으로 아래의 세 가지 사항을 의미한다.

전기차, 히트펌프, 산업 공정용 전기식 증기 발생기를 위한 투자 수단은 소비자의 다양한 요구에 맞게 설계되어야 하며, 이를 통해 새로운 비화석연료 활용 기술에 대한 접근이 가능해져야 한다. 리모델링 지원은 에너지 비효율적인 건물에 집중되어야 하며, 난방과 전기자동차에 대한 지원은 사회 계층별로 차등 적용되어야 한다. 산업 투자를 위한 특별감가상각(2025년 7월부터 기업이 태양광 발전설비 구입 비용의 최대 30% 세금 공제, 법인 전기차 구입 연도에 최대 75%까지 감가상각 가능-역자 주)과 기후차액계약제도의 지속적인 시행은 중소기업 단위를 통해 확대되어야 한다.

운영 단계에서는 예측 가능하고 화석연료 가격 대비 저렴한 전력이 필수적인데, 이러한 조건이 충족되어야 전기 활용이 표준 옵션으로 자리 잡을 수 있다. 온실가스 배출권거래제인 ETS 2의 시행과 가스 공급 폐지 가능성은 기존 기술로부터의 전환을 용이하게 할 것이다. 또한 전력의 부대비용을 단기적으로 낮추는 일련의 조치들이 전기 활용 기술의 매력을 높여 전환을 가속화할 수 있을 것이다.

정부 주도의 인프라 확충은 신속하고 안정적인 전력 공급과 소비자 접근성 개선의 기반이다. 에너지 공급 기업은 지역난방 공급망에 투자할 수 있어야 하며, 가스 공급망 폐쇄를 논의하고 이를 추진해야 한다. 전기 트럭을 위한 적절한 전기 충전소와 전력망이 필요하며, 새로운 대형 히트펌프와 전기보일러는 신속하게 전력망에 연결되어야 한다. 따라서 정부는 자체 예산을 통해 저렴한 자본 접근을 용이하게 해야 하며, 연방네트워크청은 효율적인 망 운영과 지자체별 망 운영자와의 협력을 위한 보다 강력한 인센티브를 마련해야 한다.

권고 사항:

- **전기와 관련한 세금을 유럽 최저 수준으로 인하**하면 모든 전기 소비자의 부담을 덜고 전기 활용 기술과 관련된 비용을 낮출 수 있다.
- **송전망 수수료에 대한 연방정부 보조금은 단기적으로 요금을 낮추는 수단이지만, 중기적으로는 구조적 조치로 대체되어야 한다.** 단기 조치는 특히 중견 기업의 전기화에 도움이 되는데, 중견 기업들은 전력망 수수료 할인 혜택을 받지 못하는데, 송전망 수수료가 전체 전력망 수수료에서 큰 비중을 차지하기 때문이다. 그럼에도 구조적 조치(2.3장 참조)가 필요한데, 약 60억 유로가 투입되는 연방 보조금은 매년 증가할 것으로 예상되는데 2030년대 중반까지는 이 보조금을 대체해야 하기 때문이다.
- **망 확충 자금 조달을 위한 부과금**은 중기적으로 전력망 수수료 체계에 통합되어야 한다.
- **가스발전소 보조금 재원을 위한 추가 전력 부과금**은 완전히 폐지하거나 최소한으로 줄여야 한다.
- **특정 사용자 집단에 대한 기존의 전력망 수수료 인하 혜택을 다시 검토**하여, 전기화 그 자체로 망 확충 비용이 더 많은 주체에게 분산되는 결과로 이어져야 한다(Agora Energiewende und RAP, 2025).

2.1.2 2030년까지 건물 난방부문 전기화를 가속하는 방안

효과적인 가격제를 통해 2030년까지 건물 난방의 전기화를 가속화할 수 있다. 여기에는 장기적으로 매력적인 전기요금(예: 저렴한 히트펌프 전기요금, 지역난방을 위한 대형 히트펌프 포함)과 화석연료에 대한 온실가스 가격 책정이 포함된다. 여기에 더해 사회 계층별 보조금 차등 지원이 뒷받침되어야 한다(Agora Energiewende, 2025c). 또한 「건물에너지법(Gebäudeenergiegesetz)」의 65% 규정(신축 건물의 난방에 재생에너지 비중이 최소 65% 이상이어야 하는 규정-역자 주)을 유지해야 하며, 소비자는 온실가스 가격 상승이 미치는 영향(Agora Energiewende, 2025b)과 더운 여름철 냉방 및 에어컨의 수요 증가의 필요성에 대해 충분한 안내를 받아야 한다.

권고 사항:

- **모두가 비용 지불이 가능한 열 전환을 만들어야 한다.** 연방정부의 「건물 효율화 지원 프로그램(Bundesförderung für effiziente Gebäude)」은 개인 가구와 주택 기업을 대상으로 집중적으로 시행되어야 하는데, 난방 시스템 교체 외에도 특히 비효율적인 건물의 효율성 개선을 지원하여 난방비 지출을 줄여야 한다. 또한 지원금의 계층별 차등

적용도 필요하다. 반면, 신축 건물에 재정을 지원하는 것은 기후보호 효과를 기대하기 어려운데, 신축 건물의 건축 기준이 이미 매우 높기 때문이다(Agora Energiewende, 2025e).

- **재생에너지 65% 의무 기준을 유지함으로써 기후 친화적인 난방과 냉방을 의무화해야 한다.** 이는 계획의 안정성, 난방 산업의 경쟁력 확보, 기후보호를 달성하기 위한 핵심 사항이다. 난방 시스템 선택 시 점점 더 더워지는 여름철의 건물 내 냉방 및 에어컨 수요 증가를 고려해야 한다.
- **EU 건물 규정을 법적으로 이행해야 하는데,** 특히 온실가스 제로 건물, 기존 비주거용 건물에 대한 최소 기준, 기존 주거용 건물의 1차에너지 절감을 포함해야 한다.
- **기후 친화적인 주거를 위해서는 경제적 인센티브가 필요하다.** 장기적으로는 매력적인 전기요금(예: 저렴한 히트펌프 전기요금, 지역난방에서의 대형 히트펌프에도 적용)과 온실가스 가격 책정을 통해 재생에너지 난방 시스템의 운영 비용을 낮출 수 있다. 또한 가정 소비자가 천연가스 공급망의 연결 해제 비용을 부담하지 않도록 법적으로 보호하는 방안이 마련되어야 한다. 현재 일부 가스 사업자는 소비자의 연결 해제 비용을 공급망 수수료에 법적으로 확실하게 전가하지 못하고 있어 개별 소비자의 경제적 위험을 초래하는 경우가 실제 벌어지고 있다.

→ **지자체 차원에서 지역난방을 확대하고 가스망 폐쇄를 가능하게 해야 한다.** 구체적으로 이는 지역난방 확대에 대한 지원 확대, 임대 주택 보급, 소비자 보호 강화, 지자체 및 지역 에너지공사의 자금 조달 능력 강화 등을 의미한다(Agora Energiewende, Prognos, GEF, 2024). 또한 2025년 7월 「지열에너지가속화법(Geothermie-Beschleunigungsgesetzes)」 초안에 명시된 바와 같이, 열 저장장치에 대해서도 공공의 이익에 우선함을 확인한 것은 매우 중요한 진전이다. 가스 공급망 폐쇄를 위해서는 천연가스 공급업체와 소비자 가구 모두를 높은 비용으로부터 보호하기 위한 명확한 법적 체계가 필요하다(Agora Energiewende, 2023).

2.1.3 2030년까지 수송부문의 전기화 가속 방안

개인과 기업이 전기 모빌리티로 전환하는 것을 더 매력적으로 만들기 위해서는 신뢰할 수 있는 제도적 틀과 맞춤형 지원이 필요하다. 구매 지원금을 통한 직접적인 인센티브, 공공 장소에서의 충전 인프라 구축, 중대형 상용차를 위한 차고지 충전 인프라 구축, 유럽 차원의 법적 제도적 뒷받침 등은 수송부

→ 지자체의 에너지 인프라 사업 파이낸싱

과제: 지자체의 인프라 사업 파이낸싱은 에너지전환의 성공에 핵심적 요인이다. 그러나 지자체 에너지 공급업체는 인프라 자금 조달에서 종종 한계에 부딪히는데, 이들의 불리한 조건과 벤처 캐피탈 시장에 대한 접근성 제한이 투자를 가로막는다. 또한 과거에는 수익성이 높았던 천연가스 사업의 수익이 감소하는 한편, 전력과 지역난방 공급망에 대한 투자를 강화해야 하는 과제를 안고 있다. 단순히 규제 자본 수익률을 높이는 방식으로는 소비자에게 전력망 비용을 증가시켜, 결과적으로 전기화 속도를 늦추는 요인이 될 것이다.

첫 번째 해법은 에너지 공급 기업들이 각자의 인프라 프로젝트에서 협력하는 것이다. 개별 프로젝트를 묶어서 진행하면 규모의 경제 효과를 달성하고 위험을 분산시킬 수 있는데, 이 두 가지 모두 기관 투자자 유치를 위한 핵심 전제 조건이다. 특히 기존의 복잡한 공급 구조에서 인프라 확충 프로젝트를 다른 사업 부문과 법적으로 분리함으로써, 자금 조달 가능성을 높이고 전략적 파트너십을 구축하는데 용이할 것이다.

두 번째 해법은 자기 자본 강화에 초점을 맞추는 것인데, 이는 기업의 투자 역량을 좌우하는 결정적인 요소이기 때문이다. 미래의 투자 수요는 에너지 공급업체의 내부 자금 조달 능력을 훨씬 초과할 것으로 전망되는데, 적어도 투자의 대부분이 완료될 때까지는 이러한 현상이 나타날 것이다(dena, 2025 참조). 예를 들어, 연방정부와 주 정부의 직접 보조금 또는 민간 자금을 모으는 맞춤형 펀드 모델을 통해 추가적인 자기자본을 확보해야 한다. 오직 추가 자기자본을 통해서만 외부자금을 비용 효율적으로 동원할 수 있으며, 대규모 투자가 가능해진다.

세 번째 해법은 정부 보증을 통해 외부 자본을 조달하는 것이다. 투자 위험에 대한 맞춤형 보증 장치를 통해 재정적 여건이 취약한 지자체 에너지 공급업체가 지열 시추 또는 산업 폐열 활용과 같은 사업을 추진하도록 만들어야 한다. 정부의 지급 보증은 이들의 대출 접근성을 개선할 것이다.

문의 전기화에 필요한 추진력을 제공하여 이 부문의 2045년 기후중립 목표 달성에 기여할 것이다.

권고 사항:

- **계획의 안정성 확보:** 기후 친화적인 차량에 대한 투자를 위해서는 개인과 법인, 자동차 산업, 충전용 전력 공급업체 모두에게 계획의 안정성을 보장하는 제도적 장치가 필요하다. 이를 위해 야심차고 신뢰할 수 있는 차량 온실가스 배출량 기준의 지속적 적용과 「연료배출권거래법(Brennstoffemissionshandelsgesetz)」에 따른 국가 온실가스 가격을 유럽연합의 수송 및 건물부문 배출권거래제(ETS2)로 전환하는 것이 핵심적인 역할을 할 것이다.
- **전기차 전환 가속화:** 저렴하고 에너지 효율적인 전기 승용차에 대한 사회적으로 균형 잡힌 지원을 통해 개인이 보다 쉽게 구매할 수 있도록 만들어야 한다. 이때 신차뿐만 아니라 중고차, 구매와 리스 방식 모두를 고려해야 한다. 체감적(degressive) 감가상각, 국가 보증 등의 혁신적인 금융 수단을 통해 법인 차량의 전기화를 가속하기 위한 인센티브를 마련해야 한다. 기후 중립적 버스와 차고지 충전 인프라 구축을 위한 맞춤형 지원 프로그램을 통해 대중교통의 전기화를 앞당길 수 있다.
- **자가 충전설비 이외에서도 저렴한 충전 서비스 제공:** 공공 공간에서의 자동차 충전은 지나치게 높은 충전 요금을 지불해야 했다. 이를 해결하기 위해서는 공공 충전 시장에서 경쟁을 촉진할 필요가 있다. 예를 들어, 간편(Adhoc) 요금제(사전 회원가입 없이도 요금 지불이 가능한 제도-역자주) 강화, 전기 모빌리티 공급업체에 대한 차별 없는 충전 인프라 접근권 보장 등이 그 방안이 될 수 있다.
- **전기 트럭 충전 인프라:** 승용차에 비해 전기 트럭 충전 인프라 확충은 아직 초기 단계에 머물러 있다. 고속도로 인근의 공공 접근이 가능한 사유지 또는 차고지에 트럭 충전 인프라를 구축하기 위한 지원이 필요하다.
- **양방향 충전 지원:** 스마트 양방향 충전(smart charging), 즉 차량 배터리의 선택적 충전 및 방전은 에너지전환과 수송전환 모두에 있어 상당한 비용 절감 잠재력을 갖고 있다. 이를 위해서는 전력망 상태를 파악하고 소비자와 기술 설비에 가격 신호를 전달할 수 있는 스마트 계량기의 빠른 보급이 필요하다.

2.1.4 2030년까지 산업부문의 전기화를 가속하는 방안

산업의 전기화를 촉진하고 화석연료 수입 의존도를 낮추기 위해서는 정책적 조치와 규제 장벽 완화(1.5장 참조)의 조치가 필요하다. 특히, 가스 가격 대비 저렴한 전력 가격, 필요한 전력망에 대한 안정적인 접근이 핵심이라 할 수 있다. 또한 전

력 기반 생산 공정의 높은 투자 비용과 운영 비용을 줄여야 한다. 전력망 수수료 감면을 위한 전제 조건으로 일정량 이상의 전력 구매를 요구하는 등의 잘못된 인센티브는 방해가 되므로, 이를 대신해 유연성을 장려해야 한다. 과도기적 해결책으로 산업용 전기요금제 도입을 통해 경쟁력을 향상시켜야 한다(Agora Think Tanks, 2024).

권고 사항:

- **CAPEX 및 OPEX 지원:** 가속 감가상각과 같은 재정적 투자 인센티브, 중소기업에 포함한 기후차액계약제도의 지속적 시행을 통해 전력 기반 생산 공정의 높은 투자 비용과 운영 비용을 절감하고 기업의 위험 요소를 줄일 수 있다. 이를 통해 계획의 안정성이 개선될 것이다.
- **ETS1을 통한 온실가스 가격 책정**은 저탄소 또는 무탄소 기술의 경쟁력 개선에 있어 매우 중요하다. 무상 배출권 할당 종료, CBAM 도입, CCS를 위한 일관된 규제 개발이 중요하다.
- **탄력적 전력 소비 유도:** 전력망 수수료 감면을 위한 전제 조건으로 일정량 이상의 전력 구매를 요구하는 것과 같은 잘못된 유인책을 제거함으로써 전기 집약적 기업의 전기 소비에 대한 최소한의 유연성을 유도할 수 있다. 이는 구조적으로 산업계를 위한 보다 저렴한 전기요금제 도입을 가능케 할 수 있다.
- **과도기적 해결책으로서의 산업용 전기요금 할인:** 산업체의 경쟁력을 향상시키기 위한 향후 몇 년간의 과도기적 해결책으로서, 새로운 EU 보조금 규정 범위 내에서 전기요금을 할인하는 것이 합리적이다. 중장기적으로는 재생에너지 확대에 의해 전기요금이 지속적으로 낮아질 전망이다.

2.2 전력 공급의 유연성 증대

2.2.1 전력망과의 연동을 통한 전력 수요 최적화

배터리 저장장치, 전기자동차, 히트펌프와 같은 새로운 수요의 등장으로 전력 수요의 유연성 잠재력이 크게 증가하고 있다. 변동형 전기요금제, 변동형 전력망 수수료는 향후의 수요를 발전과 계통 용량에 동기화하는 데 결정적인 역할을 할 것이다. 이는 천연가스나 수소를 기반으로 한 열 공급 수요를 최소화하고 전력망 인프라를 보다 효율적으로 활용하는 데 도움이 될 것이다. 이러한 잠재력의 좋은 예로는 변동형 전기요금제와 전력 시장 참여 확대를 통해 보다 활성화될 가정용 태양광 ESS 시스템을 들 수 있다.

대형 히트펌프, 대형 배터리 저장장치, 수소 생산용 전해조와 열 저장장치를 갖춘 전력-열 변환설비(power-to-heat)와 같은 새로운 전력 수요가 탄력적으로 운영되도록 하려면, 충분한 규모의 신속한 계통연계가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 용량 입찰을 통한 디지털 방식의 계통연계 관리 체계, 용량과 성능의 안정적인 확충이 핵심적으로 중요하다. 탄력적 수소 생산의 본격적인 시작을 위해서는 철강 산업과 발전소에서 수소 활용 계획의 안정성을 보장하기 위한 맞춤형 지원 정책과 녹색선도시장이 추가로 필요할 것이다.

권고 사항:

- **변동형 전기요금제, 변동형 전력망 수수료:** 가정에서 전기차, 히트펌프, 가정용 ESS를 사용함으로써 2035년부터 연간 100TWh의 전력 수요를 유연화하여 전력 시스템에서 48억 유로를 절감할 수 있다. 변동형 전기요금제는 이러한 가정에서의 유연성을 활성화하고, 변동형 전력망 수수료와 결합하여 재생에너지를 전력 시스템에 비용 효율적으로 통합하는 동시에 전력망 확충 수요를 줄이는 데 기여할 것이다. 그러나 이는 스마트 계량기의 보급을 통해서만 구현될 수 있다.
- **산업계를 위한 전력망 수수료 인하는 일정량 이상의 전력 구매 대신 탄력적인 전력 구매 방식과 단계적으로 결합되어야 한다.** 또한 재생에너지 공급량이 많은 시간대의 구매 피크는 연간 최대 전력(전력망 수수료 산정 기준)에 더 이상 포함되지 않아야 한다. 전력-열 변환설비(power-to-heat)의 경우, 대형 보일러나 대형 히트펌프를 이용해 대형 열 저장시설에 열을 저장하여 수주 또는 수개월에 걸쳐 부하를 분산시키는 장점이 있으나, 기존 제도로 인해 이 기술의 보급에 어려움이 있다.
- **계통연계 신청, 계통연계 용량 확충은 디지털 방식으로 추진되어야 한다.** 중앙 플랫폼¹⁰은 적절한 기준을 설정하고, 다양한 전압 수준의 포괄적인 모니터링을 가능하게 하며, 계통 운영자 간의 협력을 지원한다. 계통연계 용량 입찰은 계통연계를 효율적이고 비용 효율적으로 실현하기 위한 적절한 수단이다.
- **독일 북부에서의 수소 생산을 통해 일시적인 재생에너지 생산 피크를 탄력적으로 활용할 수 있으며, 철강 산업과 발전소에서의 수소 사용 지원 정책과 녹색선도시장의 정책 조합으로 초기 경제성 격차를 해소해야 한다.** 철강 산업과 발전소에서의 수소 사용에 대한 맞춤형 지원 없이는 수소 경제가 마련될 수 없다. 선도시장을 통해 그린수소로 생산된 상품에 대한 구매 수요를 높일 수 있다. 온실가스 가격

제와 선도시장이 수소 사용을 경제적으로 만들 때까지는 맞춤형 지원과 보장 정책을 통해 과도기 동안의 비용 격차를 해소해야 한다.

- **수소 운송관 운영자와 수소 제조업체에 대한 구속력 있는 구매 약속을 통해 전해조의 탄력적 전력 소비를 가능하게 할 수 있다.** 수소 핵심 네트워크 구축 및 생산 프로젝트에 대한 지원책 외에도, 생산된 수소를 구매하는 핵심 고객이 필요하다. 제철소와 더불어 특히 발전소가 바로 그 고객이다. 따라서 DRI 설비(직접환원제철 설비)와 가스발전소에 대한 지원 제도에서는 수소 사용에 대한 기술적 옵션(H₂-ready)을 마련할 뿐만 아니라 실제 수소 전환을 의무화하는 것이 필요하다. 수소 사용은 초기에는 느리게 시작하여 2030년대에 걸쳐 점차 가속화되는 S자 곡선 형태로 전개될 것이다.

2.2.2 비탄력적 수요 급증 시 발전소와 저장시설이 공동으로 공급 안정성을 보장하는 방안

탄력적 소비를 위한 인센티브는 부하 피크를 줄이고 공급 안정성을 높인다. 그러나 무정전 전원 공급은 탄력적으로 활용 가능한 발전으로만 보장되므로, 추가 조치가 필요하다. 대용량 배터리는 통합적이며 탄력적 계통연계 조건을 통해 계통에 신속하게 연결될 수 있는데, 대용량 배터리가 계통 친화적으로 작동하고 경제성이 제한되지 않을 경우에만 가능하다. 중기적으로는 지역별 차등 요금제의 도입이 계통 및 시장 친화적 운영을 유도하는 가장 효과적인 수단일 것이다. 석탄 화력발전소가 2030년까지 폐지됨에 따라, 소위 "둔켈플라우테(dunkelflaute. 어둡고 바람이 없어 재생에너지 전력 생산이 적은 상태-역자 주)" 시간대에 전력 공급 안정성을 확보하기 위해서는 최대 10GW의 신규 가스발전 설비가 필요하다. 이때 유의할 점은 기술중립적 용량 시장이 아직 확립되지 않은 과도기 동안에는 중앙집중식 입찰을 통해 신규 발전설비 용량을 확보해야 하는데, 이 입찰은 수소로의 원료 전환을 위한 신뢰할 수 있는 계획 기반을 제공해야 한다는 것이다.

권고 사항:

- **계통연계와 운영을 보다 효과적으로 관리하면서 동시에 배터리 저장장치에 대한 투자 붐을 활용:** 배터리 저장장치는 통합적이며 탄력적인 계통연계 제도를 통해 신속하게 전력망에 연결되고, 이에 대해 공정한 건설 비용 분담금을 납부해야 한다. 이를 위해서는 전력망 운영자를 위한 표준 제도가 필요한데, 이 제도는 한편으로는 소위 "충방전 곡선" 범위를 초과하는 상황에서의 운전 방식(redispach, 재급전)에 대한 개입의 필요성과 범위를 정의함으로써 전력망 운영에 기여할 것이다. 다른 한편으로는, 이러한 표

¹⁰ 계통연계 신청이 증가하고 특히 각기 다른 위치에서 반복적으로 요청되는 경우가 많아지면서, 망 운영자들은 점점 더 큰 압박을 받고 있다. 대부분은 이용 가능한 전력망 용량에 대한 정보 부족 때문에 이러한 현상이 나타난다.

준 제도는 총방전 곡선이나 예상보다 이른 게이트 클로저(gate closure)¹¹로 인한 수익 손실에 대한 보상 청구권을 규정함으로써 투자의 경제성을 보장할 것이다.

- **Best Case: 지역별 차등 전기요금제는 전력 저장 시점뿐만 아니라 저장 장소도 결정한다.** 지역별 전기요금제가 도입되면 전력 가격은 현재 전력 시장의 “수급” 정보와 전력망의 “망 부하” 정보와 연동된다. 이러한 가격 정보를 통해 저장시설 운영자의 경제적 이익은 단순히 수급의 변동을 조정하는 데 그치지 않고 송전망을 안정화하는 데에서도 찾을 수 있다. 비록 연합정부 합의문에서 당분간 하나의 전력 시장을 유지하기로 했더라도, 연방정부는 지역별로 차별화된 가격 체계를 어떻게 구축할 수 있을지에 관한 유럽 차원의 로드맵 마련에 착수해야 한다.
- **발전소 확충 전략의 일환으로 시행되는 임시 입찰을 통해 2030년까지 발전소 건설의 초기 단계 가속화에 기여할 수 있다.** 화석연료인 석탄을 화석연료인 천연가스로 대체하는 데 머물지 않도록 하기 위해, 이 입찰에서는 다음의 세 가지 사항을 고려해야 한다.

- 첫째, 가스발전소 입찰은 배터리, 유연성 바이오매스 발전소, 수요 유연성 등과의 유연성 경쟁을 가능한 한 방해해서는 안 된다. 이는 매우 소규모의 입찰 또는 모든 기술에 대한 개방 입찰을 의미한다.
- 둘째, 천연가스 발전소는 신뢰할 수 있는 시점에 수소로 연료를 전환하여, 수소의 핵심 고객이 되어야 한다.
- 셋째, 수소로의 연료 전환 규정 때문에 발전소 건설이 지연되어서는 안 된다.

→ **분산형 용량 메커니즘을 통해 전력 공급업체가 고객에게 공급 안정성을 보장하도록 의무화함으로써, 시장 기반 메커니즘이 수요 확보의 핵심이 되어야 한다.** 2030년대 비탄력적 수요의 정점 수준과 이러한 수요를 충족시키기 위한 이상적인 기술 조합에 대해서는 논의의 여지가 있다.

2.3 비용 효율적인 전력망 현대화 달성

전력망 확충과 관련해서는 상당한 비용 절감 잠재력이 존재하는데, 이를 활용하여 비용 상승을 제한할 수 있다. 이를 위해서는 비용 효율적 건설 공법 채택, 자본 비용 절감을 위한 정부 참여, 변동형 전력망 수수료로 구성된 정책 패키지가 필요하며, 과도기적으로는 보조금 제도를 활용해야 한다. 동시

11 게이트 클로저(Gate Closure)는 전력시장 참여자나 전력시장 책임자가 특정 에너지 시장에서 거래 내역이나 입찰을 제출하는 시점을 의미한다. 정확한 게이트 클로저 시간은 거래소나 계통 운영자가 정할 수 있다.

→ 기후중립을 위한 탄소 포집 및 저장(CCS)의 역할

탄소 포집 및 저장(CCS)은 실현 가능성과 비용에 관한 리스크 때문에 전환 가능성이 전혀 없는 분야에서만 온실가스 감축에 기여할 수 있을 것이다. 시멘트 클링커(Clinker) 생산, 석회 산업, 폐기물 소각 등이 이러한 분야에 포함된다. 중장기적으로는 대기 중 탄소 제거(Carbon Removals)를 위해서도 CCS가 필요할 것이다. 반면 발전소 분야에서는 수소 또는 합성연료 발전소의 전환 가능성은 상대적으로 리스크가 적는데, 초기 투자 비용이 높지 않고, 온실가스 운송을 위한 망이 필요 없으며, CCS 과정(화석연료 채굴, 운송, 온실가스 포집)에서 발생하는 잔여 배출이 없기 때문이다.

그렇다면, 무엇을 해야 하는가?

이산화탄소 저장과 운송에 관련한 문제 해결: 아직까지 이산화탄소 저장과 운송에 관한 문제는 거의 해소되지 않았는데, 이것이 CCS 기술의 확산에 핵심적인 장애물로 작용하고 있다. 북해에서의 이산화탄소 저장 시범 프로젝트 일부는 상당한 비용 증가에 직면해 있다. 또한 이 프로젝트는 6년에서 13년의 준비 기간을 필요로 하기 때문에, 가용 용량이 매우 느리게 증가할 것이다. 이산화탄소 운송망에 대해서도 경로, 규모, 재정적 안정성에 대한 계획이 아직까지 명확하지 않다. 이러한 모든 미해결 문제들에 대해 시급한 정책적 조치가 필요하다. 동시에 이는 CCS가 온실가스 저감에 있어 쉽게 이용 가능한 대안이 아니라는 점을 분명히 보여준다.

2030년대 이후 CCS 핵심 응용 분야에 대한 전망: 이를 위해서는 시의적절한 이산화탄소 운송망 계획과 안전 규제가 필요하다. 운송망은 핵심 응용 설비의 위치에 맞춰 구축되어야 하며, 미래의 탄소 제거(Carbon Removals)를 고려한 규모로 설계되어야 한다. 따라서, 이러한 응용 분야를 위한 제한적인 수준의 저장 용량을 고려해야 한다.

에, 전력망 확충 계획의 개발과 표준화를 통해 선제적인 인프라 계획을 수립해야 하는데, 이는 계통연계를 가속화하고 투명성을 확보하며 타 부문(수송, 난방)과의 연계성을 개선할 것이다. 또한 정책 개선을 통해 디지털화, 유연성, 대체 솔루션을 위한 인센티브를 마련해야 하며, 전체 비용에서의 효율성을 개선해야 한다. 추가적으로, 정부의 지분 참여와 신용 보증을 통해 망 운영자의 자금 조달 비용을 낮추고 투자를 가속화할 수 있다. 장기적으로는 지역별 차등 요금제 도입을 포함하여 전력 시장을 개선하는 것이 전력망 부하를 완화하는 가장 효율적인 수단일 것이다.

배전망은 성공적인 전기화와 분산형 재생에너지 설비와 저장 장치의 통합을 위한 핵심 요소이다. 따라서 배전망 현대화를 실질적으로 촉진하는 것이 현 독일 국회의 핵심 과제 중 하나이며, 관련 산업계, 정치권, 규제 기관이 협력하여 이를 최우선 과제로 추진해야 한다. 배전망 분야의 발전 방향은 다음과 같은데, 정부의 자본 참여를 통한 전력망 확충 프로젝트에 대한 책임 강화, 소규모 전력망 운영자 간 공동 프로젝트 기업 설립 등 협력 확대, 계통연계 용량 계획과 경매를 포함한 중앙집중식의 효율적인 계통연계 관리가 그것이다. 규제 체계는 효율성 평가를 통해 신속한 네트워크 확충, 확충 회피 솔루션, 협력과 디지털화 등을 통해 경제적 이익으로 더욱 발전될 수 있도록 설계되어야 한다.

권고 사항:

- **전력망 확충에 있어 비용 절감 잠재력을 효과적으로 활용하면 전력망 비용 증가를 제한할 수 있다. 증가하는 전력 소비량을 분산함으로써 전력망 수수료를 안정적으로 유지할 수 있다.** 이를 위해서는 지중선로 대신 가공선로 건설, 송전망 운영자의 자본 비용 절감을 위한 연방정부 참여, 변동형 전력망 수수료 도입 등 일련의 조치가 필요하다. 과도기적으로 2037년까지 총 350억 유로 규모의 국가 보조금을 추가로 투입함으로써 망 수수료를 안정적으로 유지할 수 있다(Agora Energiewende, 2025d). 또한 육상풍력과 태양광발전 단지 위에 송전망을 건설하는 등의 방안으로 추가적인 비용 절감을 꾀할 수 있다.
- **전력망 확충 계획은 미래를 내다보는 전력망 확충을 가능하게 하여 신속한 계통연계, 부문간 인프라 계획 수립, 비용의 투명성 제고를 보장한다.** 2024년에 처음 공개된 약 80개 주요 배전망 운영자의 「배전망확충계획」은 배전망 운영자들이 2045년 기후중립 달성을 위해 배전망을 어떻게 강화할 것인지에 대한 전망을 처음으로 보여줬다. 이 계획에는 향후 5년 및 10년간의 구체적인 조치가 포함됐다. 향후에는 「전력망확충계획」을 더욱 발전시키고, 단일화하며, 구속력을 강화하고, 소규모 전력망 운영자까지 대상을 확대해야 한다. 이를 통해 장기적으로 전략적 전력망 계획 수

립의 중요한 기반을 마련하여, 교통용 충전 인프라나 지역 난방 인프라 등 다른 인프라와의 협력을 촉진하고, 정치, 경제, 사회에 대한 투명성을 강화할 수 있을 것이다.

- **송전망 건설 허가 절차 가속화 범위에 배전망 최고 전압 수준(110 kV)까지 포함해야 한다.** 「전력망확충계획」은 이 전압 수준의 질적·양적 확충 필요성을 처음으로 제시함으로써 성공적인 전력망 확충에 있어 그 중요성을 강조할 수 있다. 「계획법」의 개혁은 이미 송전망에서의 효과로 이어졌는데(Agora Energiewende, 2025b), 110 kV 배전망의 확충을 가속화할 수도 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다.
- **신속한 망 확충, 디지털화 가속, 대안적 솔루션 인센티브를 위한 제도 개선: 현재의 규제는 스마트 그리드, 유연성과 같은 신기술을 충분히 반영하지 않고 있다.** 그 결과, 기존 확충 방식에 비해 대안적 솔루션은 덜 매력적으로 여겨진다. 망 확충을 위한 투자 인센티브는 존재하지만, 확충 의무 불이행 시의 제재 조치가 부족하다. 연방네트워크청은 NEST 프로세스(유럽사법재판소의 판결에 따라 전력망 수수료의 규제 권한이 연방네트워크청으로 이관됨에 따라 마련한 새로운 규제 체계의 원칙. Netze(망), Effizient(효율), Sicher(안전), Transformatiert(전환)의 약어-역자 주)에서 "에너지전환 역량" 기준을 강화하고, 위의 사항들이 반영되도록 효율성 평가 시 총비용을 기준으로 삼아야 한다(Agora Energiewende und RAP, 2024).
- **효율적인 계통연계 관리를 통해 사용 가능한 망 용량에 대한 보다 투명한 파악과 접속 신청 간의 자원 효율적 결합이 가능하다.** 가용 연계 용량을 표시하는 디지털 지도는 프로젝트 기획자와 망 사용자에게 연결이 가능한 위치를 한눈에 파악할 수 있게 해주며, 여러 위치에 대한 중복 신청을 줄여준다(예를 들어, Westnetz의 SNAP 포털(westnetz.de, 2025) 또는 영국 NIUM 포털(ukpowernetworks.opendatasoft.com, 2025)). 계통연계 용량 경매는 연계 용량을 투명하게 하는 데 도움이 될 뿐만 아니라, 전력망 운영자의 행정 부담을 줄이고 최상의 경우 전력망 확충에서 시너지 효과를 창출한다(예를 들어, LVN과 Bayernwerk의 재생에너지 통합 파일럿 프로젝트 "전원 공급 콘센트"(lew-verteilnetz.de, 2025)).
- **송전망 프로젝트 실행에서의 시간적 유연성.** 법적으로 구속력 있는 연방수요계획을 수립하는 기반이 되는 「송전망 개발계획」의 핵심 근거는 바로 전력의 수급 전망이다. 추가적인 계획 및 인허가 과정에서 전력 수요 변화로 인해 송전선로가 나중에 필요하게 될 경우, 송전망 운영자가 실제 투자를 몇 년 뒤로 연기하는 것이 가능해야 하며, 이로 인해 불이익을 받지 않아야 한다.
- **송배전망 투자에 대한 정부의 자본 참여와 대출 보증은 비용 절감을 위한 핵심 수단이다.** 연방정부는 2027년부터 송전망 사업자에 대한 지분 참여를 단기적으로 확대하는 등

과 같은, 망 확충과 미래 에너지 시스템의 핵심 인프라 현대화에 필요한 자금 조달 비용을 현저히 절감할 수 있는 방안을 구체적으로 검토해야 한다(Agora Energiewende, 2025d; Dezernat Zukunft, 2025). 그리고 배전망 운영자를 위해 지분 모델이나 기타 자본 비용 경감 방안을 어떻게 설계할 수 있을지 검토해야 한다. 정부 차원의 대출 보증 또는 저금리 대출 제공은 보완적 또는 대안적으로 투자를 가속화하고 자본 비용을 절감할 수 있다(Dezernat Zukunft, 2024).

→ **지역별 요금제 도입:** 지역별 차등 전기요금은 전력망의 효율적 운영과 공급 안정성에 기여한다. 비록 연합정부 합의 문에서는 단일의 전력 도매 요금제를 유지하기로 규정했지만, 독일 정부는 유럽 파트너들과 협의하여 지역별 차등 요금 체계에 대한 로드맵을 마련해야 한다. 첫 단계로 독일의 전력 도매시장은 목적에 부합하는, 지역별로 차별화된 투자를 통해 보완되어야 한다(Agora Energiewende und Fraunhofer IEE, 2025). 현재의 대규모 배터리 저장장치 건설 붐 역시 이러한 가격 체계를 통해서만 효율적인 시스템 통합으로 이어질 것이다(2.2장 참조).

2.4 재생에너지 확대의 비용 효율성 강화

독립적이고 기후 중립적인 에너지 공급을 달성하기 위해서는 풍력, 태양광발전소에서 생산되는 전력이 반드시 필요하다. 전력 수요 증가의 정확한 속도와는 무관하게, 전력 공급량 확대 경로를 유지하는 것이 합리적인데, 이는 전기요금을 낮추고 전기화를 특히 매력적으로 만들기 때문이다. 재생에너지 보급 확대와 전력 수요 간의 연계성을 높이기 위해서는 시장 기반 투자 수단을 강화해야 한다. 이는 특히 급속한 성장세를 보이는 풍력 프로젝트에 해당하는데, 이미 허가 받은 용량이 30GW 이상이며 신청서를 제출한 용량도 50GW 이상에 달한다. 이 잠재력의 상당 부분이 이번 정부 임기 내에 효율적으로 시장에 통합된다면, 특히 바람이 강한 겨울철에 소비자 전기요금 인하와 에너지 독립성에 큰 기여를 할 것이다. 추가적인 옵션으로는 보다 비용 효율적인 대지 태양광과 대형 지붕 태양광에 더 집중하고, 해상풍력의 경우 특히 "마지막" 15-20GW를 위해 유럽 이웃 국가와의 협력을 모색함으로써 그림자 효과와 연계 비용에 대한 부담을 완화하는 것이다.

권고 사항:

최저 비용 기술인 육상풍력과 대지 태양광을 확대하는 것은 전력 가격의 지속가능성을 위한 핵심 요소이다. 차액계약제도(CfDs)를 전력구매계약(PPAs)과 연계함으로써 시장 통합을 개선할 수 있다. 명확한 전기화 인센티브(2.1장 참조)와 재생가능한 전력의 탄력적 사용을 위한 요금제도(2.2장 참조)는

이러한 설비의 재정적 타당성을 강화하는 동시에 정부 예산 부담을 경감시킨다(Agora Energiewende, 2025f). 그러나 이를 위해서는 가정과 산업, 저장시설에 올바른 가격 신호를 전달해야 한다(Agora Energiewende und Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., 2023).

→ **태양광 확대 목표를 비용 효율적으로 달성하면서도 지붕 태양광의 수용성, 부지 수요 문제, 지리적으로 분산적인 보급 확대를 고려하기 위해서는 제도의 개선이 필요하다.** 이를 통해 지붕 태양광의 비중을 약 40%로 안정화하고, 입찰 물량 확대를 통해 대지 태양광의 비중을 60%로 높일 수 있다. 지붕 태양광의 경우 규모가 크고 비용 효율적인 설비에 집중하는 것이 합리적이며, 또한 현장에서의 직접 소비 및 저장 시스템 활용을 시급히 개선해야 한다. 이는 태양광발전 설비를 보유한 소비자에게 시간과 상황에 따른 변동형 전력망 수수료와 연계된 변동형 전기요금제를 도입함으로써 달성할 수 있다. 기존의 기준 가격 매입제도 대신 간단한 공급 프리미엄을 통해 비용 최적화된 지붕 태양광 설치를 유도하고 직접 판매를 정착시켜야 한다.

→ **최근 많은 주에서 나타나는 에너지전환의 '중추' 육상풍력의 역동적인 성장세를 지속적으로 유지해야 한다.** 이를 위해서는 「풍력부지기여법(Windflächenbeitragsgesetz)」을 통한 광범위한 부지 제공과 독일 남부 및 중부에서도 프로젝트가 가능하도록 기준수익 모델을 유지하는 것이 필요하다.¹² 그렇지 않으면 전력망 수요 증가로 시스템 비용이 상승할 수 있다. 이러한 제도유지와 지역별 차등 전기요금제로의 전환은 북부에서 남부로 풍력 전력을 보내기 위해 송전망을 확충해야 하는 비용 비효율적 불균형을 방지할 것이다.

→ **「재생에너지법」에 계획된 260TWh의 풍력 전력을 생산하면 겨울철 전력 공급 안정화에 기여하고 화력발전소 수요를 줄일 수 있다.** 그림자 효과와 계통연계 비용을 획기적으로 줄이는 것이 중요한데, 2030년 이후의 독일 배타적 경제수역 이용 계획에 유럽 차원의 해상풍력 부지 관리 체계가 보완됨으로써 발전 설비의 전력 생산량과 계통연계 비용의 최적화가 가능할 것이다. 이를 통해 발전 설비를 해안에서 멀리 떨어진 소위 '오리 부리'(Entenschnabel, 독일 북해 연안에서 북서쪽으로 이어지는 배타적 경제수역 내의 대륙붕 구역-역자 주) 대신 해안 가까이에 건설할 수 있으며, 동시에 그림자 효과도 줄일 수 있다. 2GW 규모의 계통연계 시스템에 2.4GW 발전 용량을 '초과'하여 건설하면 계통연계 비용을 절감할 수 있다.

¹² 현지 전력 가격 분석(Agora Energiewende und Fraunhofer IEE, 2025)에 따르면, 독일 남부와 중부의 송전망 노드에 공급되는 풍력발전은 북부에 설치된 것에 비해 시스템 가치가 최대 14% 더 높은 것으로 나타났다.

3 지금까지의 에너지전환 정책에서 얻은 세 가지 교훈: 재생에너지 확대, 공급 안정성, 계획 안정성

지난 몇 년간의 에너지 정책을 살펴보면, 재생에너지 확대를 위한 비용 효율적인 투자와 공급 안정성을 위해서는 엄격한 목표 설정, 계획의 안정성, 효율적인 인허가 절차가 얼마나 중요한지 알 수 있다. 미래를 대비한 에너지 정책 방향을 설정하기 위해서는 과거의 실패와 성공 사례에서 교훈을 얻어야 한다. 다음 사례들이 이를 잘 보여준다.

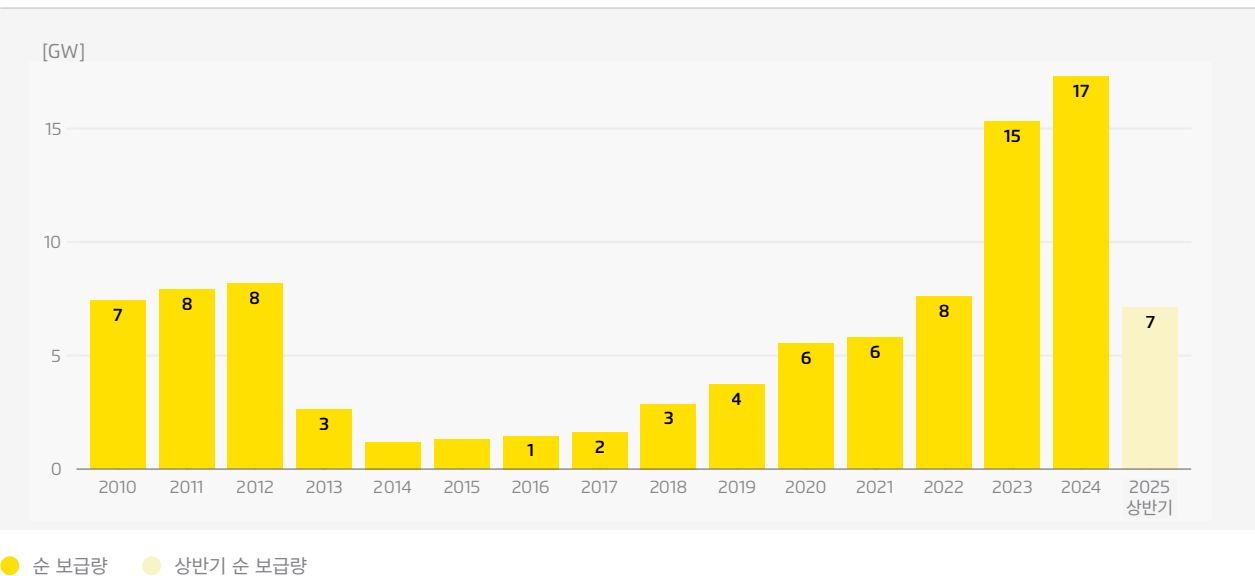
3.1 재생에너지 확대 정책 약화의 폐해

2010년대와 같은 풍력, 태양광 보급 목표의 급격한 감소가 재발하는 것은 반드시 피해야 한다. 태양광, 풍력 보급의 '호황기' 이후 2010년대 들어 보급이 급격히 위축되면서, 투자자의 정책 예측에 대한 신뢰가 지속적으로 약화되고 장기적으로는 보급의 지연과 비용의 증가가 나타났다. 그러나 이러한 사례는 기술의 시장 성숙도 발전에 맞추어 지원 정책을 지속적으로 투명하게 발전시키는 것이 얼마나 중요한지 보여준다. 선제적인 정책 조정은 투자 결정의 기반 역할을 하며, 즉흥적인 제도 개선이 부정적인 결과로 이어지는 것을 방지한다.

태양광발전의 경우, 2012년 연방정부가 극히 단기간에 시행한 상당한 감축 조치로 인해 태양광 산업의 심각한 시장 침체를 초래했다. 몇 주 만에 태양광 전력 매입 가격이 최대 30%까지 삭감되었고, 보급 목표는 하향 조정되었으며, 52GW의 보급 상한선이 설정되었다. 그 결과 연간 설치량은 8,000MW 이상(2012년)에서 약 1,200MW(2014년)로 약 85% 감소했다. 5년 동안 극히 낮은 수준의 보급이 이루어졌는데, 매우 낮게 조정된 보급 목표에도 미치지 못했다. 10년이 지난 2022년이 되어서야 2012년 수준의 보급 규모를 회복했다. 되돌아보면, 태양광발전의 기술적·경제적 발전은 지원 체계의 발전 속도를 앞질렀다. 업계와 정치권은 2012년 직거래 도입을 통해 보다 나은 재생에너지의 전력 시장 통합에 합의했고, 2014년이 되어서야 입찰을 통한 경쟁 확대를 도입하기로 했다. 지속적인 전환을 조직하기에는 이러한 시장 통합 요소들이 너무 늦게 도입되었다. 이로 인해 발전량이 크게 증가한 해에는 보급 비용이 너무 비쌌고, 갑작스러운 정책 변화 이후 투자자들의 신뢰가 사라졌다. 이러한 침체의 결과는 태양광 설비 보급의 상당한 후퇴뿐만 아니라 독일 태양광 산업에 심각한 영향을 미쳤다. 태양광 분야 고용 인원은 2011년 157,000명에서 2017년 40,000명 미만으로 감소했다(BMWE, 2023).

태양광발전 설비 순 보급량 (2010년~2025년)

그림 12



Bundesnetzagentur (2025) Marktstammdatenregister Stand August 2025를 기반으로 Agora Energiewende 작성.

풍력발전의 경우, 2017-2018년 시장 역시 정치적 요인으로 인해 급격히 위축되었다. 2017년에는 약 6,500MW(육상 및 해상)의 풍력발전이 추가되었으나, 2020년에는 약 1,600MW에 그쳤다. 2017년부터 2020년까지의 극적인 감소는 정치적 결정과 규제 정책 부재의 직접적인 결과였다. 풍력 산업 종사자 수는 164,500명(2016년)에서 122,000명(2020년)으로 감소했다(Bundesverband Windenergie, 2025). 기준가격 매입 제도에서 입찰 제도로의 변화가 있었으나, 이러한 제도 변화가 풍력 산업 침체에 미친 영향은 극히 일부에 불과했다. 오히려 소극적인 정치적 의지, 현저히 낮은 수준의 풍력 부지 입찰 면적, 그리고 극도로 긴 인허가 절차(지역 주민의 수용성 부족으로 인해 인허가 절차에 신뢰성이 떨어지기도 했다) 등이 풍력 프로젝트의 개발을 방해했다. 그 결과 제조업체들의 매출 급감, 일자리 감소, 수많은 제조업체들에 경제적 어려움이 발생했으며, 이는 제조업체의 혁신 역량까지 저해했다. 신뢰 손상의 영향은 오늘날까지 이어지고 있는데, 풍력 보급 목표가 상향되었음에도 신규 투자는 목표 수준에 훨씬 못 미치고 있다.

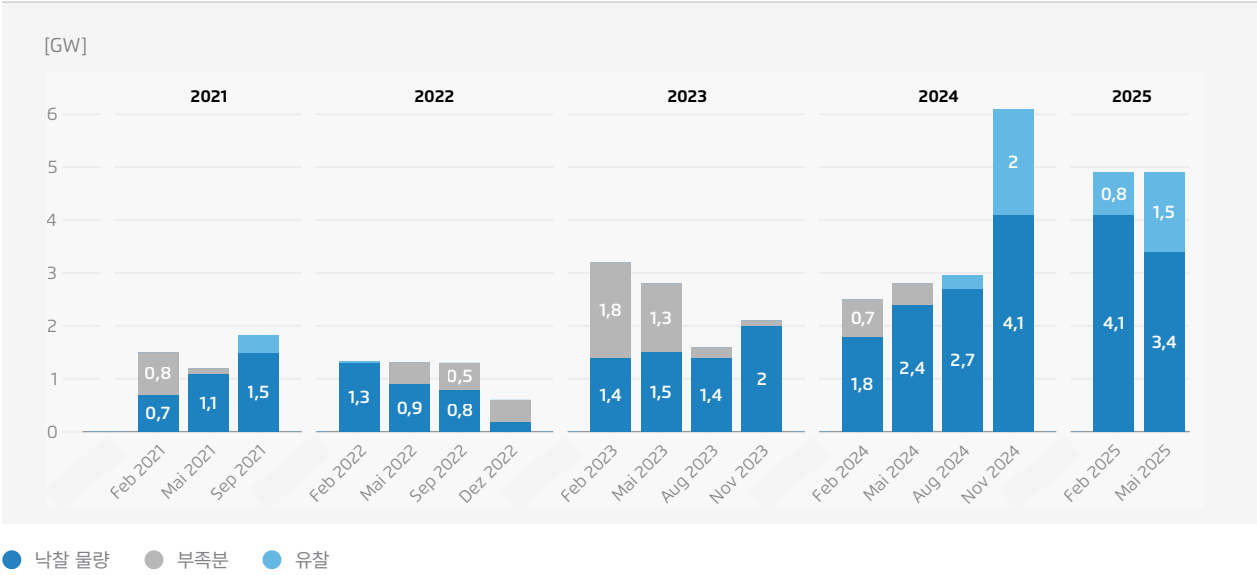
낮은 입찰 물량에도 불구하고 2018년 5월부터 2024년 5월까지 진행된 29건의 입찰 중 24건이 미달로 남았다. 이는 실제 신규 설치량의 축소뿐만 아니라 경쟁 부족으로 인해 낙찰가는 더 높게 형성되는 결과를 초래했다. 이 기간 동안 평균 낙찰가는 입찰 상한가에 매우 근접했다. 2024년 8월 이후에야 이러한 추세가 바뀌었는데, 승인된 프로젝트 수가 현

저히 증가한 현상이 이를 잘 보여준다. 약 3-4GW 이상의 훨씬 많은 입찰 물량에도 불구하고 지난 4차례의 입찰에서는 초과 응찰이 이뤄졌다. 입찰 상한가는 7.35cent/kWh로 동일했지만, 평균 낙찰가는 불과 9개월 만에 7.33cent/kWh에서 6.83cent/kWh로 7% 하락했다.

최근 들어서는 노르트라인-베스트팔렌(Nordrhein-Westfalen) 주가 육상풍력의 성장을 이끌고 있다. 불과 2년 만에 신규로 허가 받은 풍력발전 용량이 2022년 0.9GW에서 2024년 3.8GW로 4배 이상 증가했다. 2024년 노르트라인-베스트팔렌 주에서 허가 받은 풍력발전은 독일 전체 허가 물량의 30%를 차지했다. 2025년에도 매우 많은 허가를 받음으로써 이 추세는 지속되고 있다. 이 사례는 명확한 정치적 우선순위 설정과 단호한 정치적·행정적 조치를 결합한 계획의 안정성이 어떻게 투자 붐을 촉발할 수 있는지를 보여준다. 주요 요인으로는 EU의 2022년 비상조치 규정에 따라 독일 전역에서는 풍력발전이 “공공 이익에 우선”하는 인프라로 정의되었고, 주정부가 명확한 보급 목표(2027년 말까지 신규 풍력발전기 1,000기 설치)를 밝혔으며, 보급 장애 요인 제거를 위한 장관급 태스크포스를 설치했고, 재해 지역 등을 풍력발전 설치 가능 부지로 지정했으며, 주 환경부와 기초 지자체간 협력을 강화했기 때문이다. 그 결과 인허가 기간이 약 25개월에서 평균 17개월로 단축되었으며, 일부 프로젝트의 경우 9개월에 불과했다(Fachagentur Wind, 2025; land.nrw, 2025). 이러한 긍정적인 변화는 전국적으로 나타나고 있는데, 2025년 바이

육상풍력 입찰 결과 (2021년~2025년)

그림 13



Bundesnetzagentur (2025) Beendete Ausschreibungen/Statistiken를 기반으로 Agora Energiewende 작성.

에른(Bayern) 주에서는 이미 약 600MW 규모의 프로젝트가 허가를 받았고, 바덴-뷔르템베르크(Baden-Württemberg) 주는 신규 신청 프로젝트 수에서 1위를 차지하고 있다.

3.2 독일의 수입 의존도: 경제와 공급 안정성에 있어서의 위험 요소

지정학적 불확실성 시대의 공급 안정성과 경쟁력. 러시아의 우크라이나 침공은 화석연료 수입에 대한 높은 의존도를 가진 독일 경제 모델의 위험성을 명확히 드러냈다. 러시아는 2022년 6월부터 천연가스 수출을 점진적으로 줄여 9월부터는 완전히 중단했다. 에너지 공급 안정성을 유지하기 위해서는 비싼 비용으로 천연가스 대체 공급원을 찾아야만 했다. LNG 구매와 가스 소비 절약을 통해 11월 중순까지 천연가스 저장고를 완전히 채울 수 있었지만, 그 사이 화석가스의 시장 가격은 10배 치솟아 전력 가격을 사상 최고치로 끌어올렸다. 석탄과 석유 가격도 일시적으로 급등했다. 에너지 가격은 소비자에게 전가되었으며, 10% 이상으로 치솟은 인플레이션의 주요 원인이 되었다. 가스 가격 억제 조치와 유니퍼(Uniper) 유럽에서 가장 큰 천연가스 소매상으로, 러시아의 가스 공급 중단 사태 때 파산 위기에 직면·역자 주) 구제를 위해 수십억 유로의 정부 지원이 필요했다. 특히 화학, 유리, 금속, 비료 산업 등 에너지 집약적 산업의 생산은 부분적으로 중단되어야 했으며, 이는 에너지 집약적 생산 시설을 에너지 비용이 저렴한 국가로 이전해야 한다는 논쟁을 촉발했다. 산업계는 지금까지도 천연가스 부족과 LNG 수입 가격 상승의 충격에서 벗어나지 못하고 있다. 경제성, 공급 안정성, 환경 친화성이라는 에너지 경제의 세 가지 목표를 고려할 때, 천연가스 발전소는 상당한 연료 수입 의존도 때문에 전력 공급의 안정성에 기여하는 바가 제한적이라는 것이 확인되었다.

2024년 화석연료의 도매 가격은 안정화되었지만, 일부는 여전히 높은 수준을 유지했다. LNG 가격을 기준으로 하는 유럽 천연가스 가격은 2024년에도 화석연료 가격 위기 이전보다 두 배 이상 높은 수준을 유지했다. 미국과 EU 간의 최근 무역 협정에서 EU가 3년 내에 미국으로부터의 에너지 수입을 7,500억 달러로 3배 늘리기로 했는데, 이것이 실제로 어떻게 실행될지에 대한 문제를 떠나, 지정학적 무역 압박을 통한 화석 에너지의 도구화가 강화되고 있음을 보여준다. 이러한 의존성은 향후 독일 경제의 회복력을 크게 저해할 것이다.

이러한 양상은 화석연료 의존이 기후 정책적 관점에서만 문제가 되는 것이 아니라 경제적·지정학적 위험이며, 자립적이고 기후 중립적인 에너지 경제 시스템이라는 목표와 명백히 상충됨을 보여준다. 재생에너지 확대가 전력 가격의 수준과 안정성에 미치는 영향에 대해서는 이미 포괄적으로 분석되

었다. 국제에너지기구(IEA)는 2021년부터 2023년까지 태양광과 풍력발전의 보급이 없었다면 2023년 평균 도매 전력 가격이 15% 더 높았을 것이며, 이로 인해 유럽연합 전체의 전력 공급 비용이 약 1,000억 유로 증가했을 것이라고 추정했다(IEA, 2023).

케임브리지 대학이 최근 발표한 유럽 전역의 재생에너지 확대 효과를 분석한 연구에 따르면, 계획에 따른 재생에너지 확대는 전력거래소의 가격과 가격 변동성을 각각 3분의 1씩 감소시키는 것으로 나타났다(Navia Simon, D., Diaz Anadon L., 2025). 보다 가속화된 전기화를 통해서 폭넓은 에너지 소비자에게 가격 안정화의 긍정적 효과를 제공하는 것이 가능하다. 동시에 에너지전환을 통해 2019년 약 2,500TWh였던 에너지 수입량의 85%를 2045년까지 줄일 수 있다(Agora Think Tanks, 2024). 1.2.2장에서 설명한 바와 같이, 전기화와 재생에너지 확대를 보다 빠르게 추진할 경우 2030년 화석연료 수입 비용에서만 약 70억 유로(현재 화석연료 수입 비용의 8%)를 절감할 수 있다.

3.3 신뢰할 수 있는 방향성이 필요한 에너지전환 투자

불분명하거나 모순된 정책 목표와 투자에 필요한 안정적인 제도적 틀이 부족했던 탓에 지난 몇 년간 여러 산업 분야에서 투자에 대한 관망을 초래하거나 심지어 계획된 프로젝트가 취소되기도 했다.

수송부문에서는 전기 모빌리티 시스템에 대한 수년 간의 논의, 2023년 구매 지원금인 “환경 보너스”의 단기적 폐지, 그리고 유럽 차원의 2035년 내연기관 차량 퇴출 계획에 대한 의문 제기 등으로 인해 독일 자동차 제조업체들은 전기 모빌리티에 대한 투자를 게을리했으며, 이는 다른 나라에 비해 여전히 낮은 독일의 전기차 수요로 나타나고 있다. 국내 수요 부진은 독일 자동차 제조업체들이 외국 경쟁사들에 비해 경쟁력을 크게 상실하는 데 기여했는데, 주요 시장인 중국, 미국, 유럽에서의 독일 자동차 제조업체의 배터리 구동 차량 시장 점유율은 내연기관 차량에 비해 현저히 낮다(IEA, 2025). 따라서 최근의 긍정적인 변화, 특히 폭스바겐 그룹의 전기차 시장 점유율 증가 현상이 독일의 규제 환경과 지원 정책에 대한 또다른 불확실성 때문에 저해되지 않도록 만드는 것이 그 어느 때보다 중요하다.

건물부문에서도 특히 「건물에너지법」을 둘러싼 장기적인 정치적 논쟁이 난방 설비 시장에 불확실성을 초래했다. 2023년 히트펌프 판매량이 약 35만 대로 사상 최고치를 기록한 후(특히 러시아의 우크라이나 침공 이후 화석가스에서 독립하려는

소비자들의 요구에 힘입어), 2024년에는 20만 대 미만으로 급감했다(BDH, 2025a). 정치적 환경에 대한 불확실성, 불분명한 지원 제도, 그리고 지자체의 「열공급계획」 수립의 지연은 난방 시장의 위축으로 이어졌다. 이는 제조업체에도 영향을 미쳤는데, 예를 들어, 히트펌프 제조업체인 슈티벨 엘트론(Stiebel Eltron)은 2024년 단축 근무를 시행해야 했고, 바이란트(Vaillant)는 감원을 발표했다(Spiegel, 2024). 2025년 시장 회복에도 불구하고 히트펌프 판매량은 연간 50만 대 보급 목표에 훨씬 못 미칠 전망이다(BDH, 2025b).

산업부문에서도 불확실성이 시급한 투자를 가로막고 있다. 베이커 킬리(Baker Tilly)의 2025년 2월 연구에 따르면, 산업체의 약 39%와 에너지 공급업체의 38%가 현재 투자를 보류하고 있다고 답했는데, 주요 원인으로 미래 기술에 대한 불확실성과 특히 향후 법적 상황 및 지원 체계에 대한 불확실성이 지적되었다(Bakertilly, 2025). 아르셀로미탈(ArcelorMittal)은 브레멘(Bremen)과 아이젠히텐슈타트(Eisenhüttenstadt) 공장의 수소 기반 탈탄소화 계획을 중단했으며, 티센크루프(Thyssenkrupp)는 경제적 이유로 뒤스부르크(Duisburg)에 계획 중인 그린철강 시범 프로젝트가 위태로운 상황이라고 밝혔다. 이러한 선도적 프로젝트 외에도, 전력-열 변환설비(power-to-heat)를 통한 산업 공정열의 탈탄소화 또한 정체 상태에 있다. 기술적으로는 가능하지만, 명확히 정의된 전환 경로의 부재, 초기 투자에 대한 법적 기준 부족과 지원 프로그램의 결여로 인해 소중한 시간이 허비되었고, 이는 화석연료 수입에 대한 지속적인 의존으로 이어졌다(Agora Industry, FutureCamp, 2022). 이러한 부진은 다른 나라와의 비교에서도 드러난다. 독일은 전체 에너지 수요에서 전력이 차지하는 비중이 수년 동안 약 20%로 정체되어 있는데, 이는 EU나 미국의 평균보다 낮은 수치이다. 특히 아시아 국가와의 비교가 두드러지는데, 대표적으로 중국은 지난 10년 동안 전력 비중을 약 10% 포인트 끌어올려 거의 30%에 도달했다(ember-energy.org, 2025).

핵심적인 교훈은 다음과 같다. 구속력 있고 신뢰할 수 있는 제도와 강력한 내수 시장 없이는 독일 산업이 미래 지향적인 설비와 제품에 투자하고 해당 지역의 경쟁력을 지속 가능하게 확보하기 어렵다는 것이다.

참고문헌

Agora Energiewende (2023): *Ein neuer Ordnungsrahmen für Erdgasverteilnetze. Analysen und Handlungsoptionen für eine bezahlbare und klimazielkompatible Transformation.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-06_DE_Gasverteilnetze/A-EW_291_Gasverteilnetze_WEB.pdf

Agora Energiewende (2025a): *Agorameter.* Verfügbar unter: https://www.agora-energie-wende.de/daten-tools/agorameter/live/chart/power_generation_price/01.07.2024/30.06.2025/monthly

Agora Energiewende (2025b): *Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2024. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2025.* Verfügbar unter: https://www.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2025/2024-18_DE_JAW24/A-EW_351_JAW24_WEB.pdf

Agora Energiewende (2025c): *Lokale Strompreise – Wie die Integration der Netzrealität in den Strommarkt gelingt und Kosten senkt.* Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/lokale-strompreise>

Agora Energiewende (2025d): *Stromnetzentgelte – gut und günstig. Ausbaukosten reduzieren und Entgeltsystem zukunftssicher aufstellen.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2025/2025-10_DE_Stromnetzentgelte/A-EW_370_Stromnetzentgelte-gut-und-g%C3%BCnstig_WEB.pdf

Agora Energiewende (2025e): *Soziale Wärmewende. Wie Wohngebäude sozialverträglich klimaneutral werden.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-17_DE_Soziale_Waermewende/A-EW_374_Soziale_Waermewende_WEB.pdf

Agora Energiewende (2025f): *Ein neues Investitionsinstrument für Wind- und Solaranlagen. Wie marktliche Anreize und staatliche Absicherung den Weg in ein klimaneutrales Stromsystem ebnen können.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2024/2024-12_DE_Markt%C3%B6ffnender_CfD/A-EW_356_Investitionsinstrument_Wind_Solaranlagen_WEB.pdf

Agora Energiewende, Fraunhofer IEG (2023): *Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland. Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie.* Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/roll-out-von-grosswaermepumpen-in-deutschland>

Agora Energiewende und Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (2023): *Haushaltsnahe Flexibilität nutzen. Wie Elektrofahrzeuge, Wärmepumpen und Co. die Stromkosten für alle senken können.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-14_DE_Flex_heben/A-EW_315_Flex_heben_WEB.pdf

Agora Energiewende und Fraunhofer IEE (2025): *Lokale Strompreise. Wie die Integration der Netzrealität in den Strommarkt gelingt und Kosten senkt.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-15_DE_Nodal_Agorameter/A-EW_355_Lokale_Strompreise_WEB.pdf

Agora Energiewende, Agora Industrie und Guidehouse (2024): *Wasserstoffimporte Deutschlands – Welchen Beitrag können Pipelineimporte in den 2030er Jahren leisten?* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-34_IND_H2_Imports_DE/A-EW_331_H2_Imports_WEB.pdf

Agora Energiewende und NERA Economic Consulting (2024): *Meer-Wind für Klimaneutralität. Herausforderungen und notwendige Maßnahmen beim Ausbau der Windenergie auf See in Deutschland und Europa.* Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/meer-wind-fuer-klimaneutralitaet>

Agora Energiewende, Prognos, GEF (2024): *Wärmenetze: klimaneutral, wirtschaftlich und bezahlbar – Wie kann ein zukunftssicherer Business Case aussehen?* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-18_DE_Business_Case_Waermenetze/A-EW_335_Businesscase_Waermenetze_WEB.pdf

Agora Energiewende, RAP (2024): *Reaktion zu den Eckpunkten der Weiterentwicklung des Regulierungsrahmens für Strom- und Gasnetzbetreiber.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2024/2024-08_DE_Stellungnahme_Anreizregulierung/A-EW_Stellungnahme_Anreizregulierung_WEB.pdf

Agora Energiewende, RAP (2025): *Allgemeine Netzentsgeltsystematik Strom (AgNeS) – Stellungnahme zur Rahmenfestlegung der Bundesnetzagentur.* Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2025/2025-16_DE_Agnes_Stellungnahme/A-EW_Stellungnahme_AgNeS_WEB.pdf

Agora Energy China & Agora Energiewende (2025): *China's Energy Transition and Climate Status Report.* Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.org/publications/china-energy-transition-and-climate-status-report>

Agora Industry, FutureCamp (2022): *Power-2-Heat: Gas savings and emissions reduction in industry.* Verfügbar unter: https://www.agora-industry.org/fileadmin/Projekte/2021/2021-05_IND_DE-P4Heat/A-EW_277_Power-2-Heat_EN_WEB.pdf

Agora Think Tanks (2024): *Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung.* Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/klimaneutrales-deutschland-studie>

Agora Verkehrswende (2022): *Schnellladen fördern, Wettbewerb stärken. Finanzierungsmodelle für den Aufbau von öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur für Pkw.* Verfügbar unter: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2022/Ladeinfrastruktur/Agora-Verkehrswende_Schnellladen-foerdern-Wettbewerb-staerken.pdf

Agora Verkehrswende (2024): *E-Auto und Verbrenner im Gesamtkostenvergleich – Infografiken zu den kumulierten Gesamtkosten für ausgewählte Fahrzeugmodelle nach fünf Jahren Nutzung.* Verfügbar unter: <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/e-auto-und-verbrenner-im-gesamtkostenvergleich>

Agora Verkehrswende (2025a): *Kabinetttstück Verkehrswende. Empfehlungen für ressortübergreifenden Klimaschutz im Verkehr als Wegbereiter für Wettbewerbsfähigkeit und soziale Gerechtigkeit.* Verfügbar unter: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2025/Kabinetttstueck%BCck-Verkehrswende/121_Kabinetttstueck-Verkehrswende.pdf

Agora Verkehrswende (2025b): *Marktentwicklung von E-Autos. Infografiken zu den Neuzulassungen elektrischer Pkw in Deutschland.* Verfügbar unter: <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/marktentwicklung-von-e-autos>

Ariadne (2025): *Report: Die Energiewende kosteneffizient gestalten – Szenarien zur Klimaneutralität 2045.* Verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/report-szenarien-zur-klimaneutralitaet-2045/>

Aurora Energy Research und Agora Energiewende (2025): *Erneuerbare Energien senken Strompreise unabhängig von der Nachfrage.* Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/erneuerbare-energien-senken-strompreise-unabhaengig-von-der-nachfrage>

Aurora/EnBW (2025): *Decarbonisation of the German Power System: Our Study Shows Savings Potential of Between €300 and €700 Billion by 2045.* Verfügbar unter: <https://auroraer.com/resources/aurora-insights/market-reports/decarbonisation-of-the-german-power-system-our-study-shows-savings-potential-of-between-e300-and-e700-billion-by-2045>

Bakertilly (2025): *Energy study: Uncertainty slows down investments by industry and utilities in Germany.* Verfügbar unter: <https://www.bakertilly.de/en/post/energy-study-uncertainty-slows-down-investments-by-industry-and-utilities-in-germany>

BCG/BDI (2025): *Energiewende auf Kurs bringen – Impulse für eine wettbewerbsfähigere Energiepolitik.* Verfügbar unter: https://energiewende.bcg.com/home/?utm_medium=email&utm_source=email&utm_campaign=energiewende&utm_description=organic&utm_topic=sustainability&utm_geo=de&utm_content=press

BDEW (2025): *Beheizung des Wohnungsbestandes in Deutschland.* Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/beheizung-des-wohnungsbestandes-in-deutschland/>

BDH (2025a): *Absatzentwicklung Deutschland 2024.* Verfügbar unter: https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Downloads/PresseMeldungen/Absatzentwicklung_Waermemarkt_Deutschland_2024.pdf

BDH (2025b): *Marktentwicklung Deutschland 1. Halbjahr 2025.* Verfügbar unter: https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Downloads/PresseMeldungen/Marktentwicklung_Waermemarkt_2025-06.pdf

BMWE (2023): *Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien 2000 bis 2022.* Verfügbar unter: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/E/ee-beschaeftigte-2000-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Bundesverband Windenergie (2025): *Windenergie in Deutschland – Zahlen und Fakten.* Verfügbar unter: <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/>

Bundesrechnungshof (2024): *Sonderbericht zur Umsetzung der Energiewende im Hinblick auf die Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Umweltverträglichkeit der Stromversorgung.* Verfügbar unter: https://www.bundesrechnungshof.de/SharedDocs/Downloads/DE/Berichte/2024/energiewende-volltext.pdf?__blob=publicationFile&v=4

BWP (2025): *Kostentragung für Stilllegung oder Verplombung des Gasanschlusses.* Verfügbar unter: <https://www.waermepumpe.de/presse/news/details/gasanschluss-kuendigung-neues-rechtsgutachten-sieht-dringenden-handlungsbedarf-fuer-neue-bundesregierung/>

Dena (2025): *dena-Verteilnetzstudie II: Weichenstellung bei Verteilnetzbetreibern für Klimaneutralität – eine spartenübergreifende Perspektive.* Verfügbar unter: <https://www.dena.de/infocenter/dena-verteilnetzstudie-ii/>

Dezernat Zukunft (2024): *Effekte staatlicher Beteiligungen auf den Stromnetzausbau.* Verfügbar unter: https://dezernatzukunft.org/wp-content/uploads/2025/02/20250207_Stromnetzfinanzierung-V1.2.pdf

Dezernat Zukunft (2025): *Stromnetzausbau: Kapital mobilisieren, Netzentgelte reduzieren.* Verfügbar unter: <https://dezernatzukunft.org/wp-content/uploads/2025/06/Koelschbach-Ortego-2025-Stromnetzausbau.pdf>

Ember-energy.org (2025): *The electrification imperative.* Verfügbar unter: <https://ember-energy.org/latest-insights/the-electrification-imperative/>

Entso-E (2024): *ERAA 2024 Edition – Key Takeaways.* Verfügbar unter: <https://www.entsoe.eu/eraa/2024/>

E.ON (2025): *The Energy Playbook – How to save 1.5 Trillion € until 2050.* Verfügbar unter: <https://www.eon.com/en/about-us/politics/the-energy-playbook.html>

Fachagentur Wind (2025): *Status des Windenergieausbaus an Land im 1. Quartal 2025.* Verfügbar unter: https://www.fachagentur-wind-solar.de/fileadmin/Veroeffentlichungen/Wind/Daten/FA_Wind_und_Solar_Windenergie-Situation_Q1-2025.pdf

Fraunhofer ISE (2024): *Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem.* Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wege-zu-einem-klimaneutralen-energiesystem.html>

Fraunhofer ISE (2025): *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland.* Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>

Fraunhofer ISI (2024): *Langfristszenarien.* Verfügbar unter: <https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/dokumente/>

IEA (2023): *How much money are European consumers saving thanks to renewables?* Verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-june-2023/how-much-money-are-european-consumers-saving-thanks-to-renewables>

IEA (2024): *Germany 2025 – Energy Policy Review.* Verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/germany-2025>

IEA (2025): *Global EV Data Explorer.* Verfügbar unter: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>

IfW Kiel (2025): *Die sicherheitspolitische Dividende von Klimapolitik.* Verfügbar unter: <https://www.ifw-kiel.de/de/publikationen/die-sicherheitspolitische-dividende-von-klimapolitik-34009/>

Institute of Energy Economics at the University of Cologne (2025): *Optimierte Netzanschlüsse von Wind und PV.* Verfügbar unter: <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/optimierte-netzanschluesse-von-wind-und-pv/>

JRC (2024): *GHG emissions of all world countries.* Verfügbar unter: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2024?vis=ghgtot#emissions_table

Kotz, M., Levermann, A. & Wenz, L. (2024): *The economic commitment of climate change.* Nature 628, 551–557. Verfügbar unter: <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07219-0>

LCP Delta (2025): *Analysis of the EU heating market.* Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.org/publications/analysis-of-the-eu-heating-market>

Land.nrw (2025): *Nordrhein-Westfalen ist bundesweit Vorreiter beim Windenergieausbau – Ausbaudynamik hält auch in 2025 an.* Verfügbar unter: <https://www.land.nrw/pressemitteilung/nordrhein-westfalen-ist-bundesweit-vorreiter-beim-windenergieausbau-ausbaudynamik>

Lew-verteilnetze.de (2025): *Die Einspeisesteckdose.* Verfügbar unter: <https://www.lew-verteilnetz.de/einspeisesteckdose>

Luderer, G., Bartels, F., Brown, T., & al., Koper-nikus-Projekt Ariadne (2025): *Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045.* Verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/publikation/report-szenarien-zur-klimaneutralitaet-2045/>

Navia Simon, D., Diaz Anadon, L. (2025): *Power price stability and the insurance value of renewable technologies.* Verfügbar unter: <https://www.nature.com/articles/s41560-025-01704-0>

Öko-Institut (2025): *Kosten der Energieimporte nach Deutschland und Europa.* Verfügbar unter: <https://michaelbloss.eu/files/upload/dokumente/hintergruende/Studie%20-%20Energieimporte%20Kosten.pdf>

Öko-Institut und Fraunhofer ISE (2022): Durchbruch für die Wärmepumpe. Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-04_DE_Scaling_up_heat_pumps/A-EW_273_Waermepumpen_WEB.pdf

Prognos (2022): Übersicht vergangener Extremwitterschäden in Deutschland, Seite 12. Verfügbar unter: https://www.prognos.com/sites/default/files/2022-07/Prognos_KlimawandelfolgenDeutschland_%C3%9Cbersicht%20vergangener%20Extremwittersch%C3%A4den_AP2_1.pdf

RWTH Aachen (2025): Battery Charts. Verfügbar unter: <https://battery-charts.rwth-aachen.de/>

Spiegel (2024): Wärmepumpenhersteller Vaillant baut Hunderte Stellen ab. Verfügbar unter: <https://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/vaillant-waermepumpen-hersteller-streicht-hunderte-stellen-a-69e22083-aac4-482b-8ec2-ba2fa2695be5>

Ukpowernetworks.opendatasoft.com (2025): Network Infrastructure and Usage Map (NIUM). Verfügbar unter: <https://ukpowernetworks.opendatasoft.com/pages/network-infrastructure-usage-map/>

Umweltbundesamt (2025): Treibhausgas-Projektionen 2025 für Deutschland (Projectionsbericht 2025). Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgas-projektionen-2025-fuer-deutschland>

VDA (2025a): Die Elektromobilität weltweit auf dem Vormarsch – 17 Millionen E-Autos weltweit abgesetzt. Deutschland hinter China und den USA drittgrößter Elektro-Pkw-Markt weltweit. Verfügbar unter: <https://www.vda.de/de/themen/elektromobilitaet/marktentwicklung-europa-international>

VDA (2025b): Produktion und Markt im Juni 2025 – Pkw-Produktion wächst im Juni. Pressemitteilung. Verfügbar unter: https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/2025/250703_PM_Pkw-Produktion_waechst_im_Juni

Verbraucherzentrale Energieberatung (2025): Entwicklung der Heiztechnikpreise. Verfügbar unter: <https://verbraucherzentrale-energieberatung.de/heizen/neue-heiztechnik/entwicklung-heiztechnikpreise/>

Westnetz.de (2025): SNAP – Schnelle Netzanschlussprüfung. Verfügbar unter: <https://www.westnetz.de/de/einspeisen/snap-online-portal.html>

Windguard (2020): Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land – Entwicklung, Einflüsse, Auswirkungen. Verfügbar unter: https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/veroeffentlichungen/2020/Volllaststunden%20von%20Windenergieanlagen%20an%20Land%202020.pdf

Wissenschaftlicher Arbeitskreis für Regulierungsfragen (2025): Stellungnahme zur zukünftigen Regulierung von Strom- und Gasnetzen in Deutschland. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/WAR/Pressemitteilung23_7_2025.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Publikationen von Agora Energiewende

Auf Deutsch

Soziale Wärmewende

Wie Wohngebäude sozialverträglich klimaneutral werden

Stromnetzentgelte – gut und günstig

Ausbaukosten reduzieren und Entgeltsystem zukunftssicher aufstellen

Factsheet Investitionen für den Klimaschutz

Eine Einordnung zur öffentlichen Mittelverwendung

Erneuerbare Energien senken Strompreise unabhängig von der Nachfrage

Eine Analyse der Effekte des geplanten Ausbaus von Wind- und Solarenergie bis 2030 auf die Strompreise sowie der Auswirkungen auf die Förderkosten über das EEG-Konto

Factsheet EU-Klimaziele

Eine Einordnung zur europäischen Klimaschutzverordnung (Effort Sharing Regulation)

Lokale Strompreise

Wie die Integration der Netzrealität in den Strommarkt gelingt und Kosten senkt

Kurs auf Zielerreichung

Weichenstellungen für die Klima- und Energiepolitik der 21. Legislaturperiode

Factsheet Grüngasquote

Einordnung für die 21. Legislaturperiode

Factsheets Klima und Energie

Einordnung für die 21. Legislaturperiode

Ein neues Investitionsinstrument für Wind- und Solaranlagen

Wie marktliche Anreize und staatliche Absicherung den Weg in ein klimaneutrales Stromsystem ebnen können

Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2024

Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2025

Klimaneutrales Deutschland

Von der Zielsetzung zur Umsetzung – Vertiefung der Szenariopfade

Investitionen für ein Klimaneutrales Deutschland

Finanzbedarfe und Politikoptionen

Alle Publikationen finden Sie auf unserer Internetseite: www.agora-energiewende.de

Publikationen von Agora Energiewende

Auf Englisch

A socially just heat transition

How residential buildings in Germany can become climate neutral

A new investment instrument for onshore wind and solar PV

How market incentives and state guarantees can pave the way to a climate-neutral electricity system in Germany

Making the most of green electricity

Key principles for identifying flexibility gaps in the power system

Climate-neutral Germany (Study)

From target-setting to implementation

The carbon price for buildings and road transport

A concept for the transition from national to EU emissions trading

Boosting the clean heat market

A policy for guiding the transition of the EU heating industry

Climate-neutral Germany (Executive Summary)

From target-setting to implementation

Enabling a just coal transition in Kazakhstan

Opportunities, challenges and strategic pathways

Investing in the Green Deal

How to increase the impact and ensure continuity of EU climate funding

EU climate policy between economic opportunities and fiscal risks

Assessing the macroeconomic impacts of Europe's transition to climate neutrality

Low-carbon hydrogen in the EU

Towards a robust EU definition in view of costs, trade and climate protection

9 Insights on Hydrogen – Southeast Asia Edition

12 Insights on Hydrogen – Brazil Edition

Alle Publikationen finden Sie auf unserer Internetseite: www.agora-energiewende.org

출판 정보

Agora Energiewende는 독일과 유럽을 비롯한 전 세계의 성공적인 에너지전환을 위해 과학적이며 정치적으로 실현 가능한 해법을 모색합니다. Agora Energiewende는 경제적 정치적 이해관계와 상관없이 독립적으로 활동합니다. 우리의 유일한 책무는 기후보호를 위한 행동입니다.

Agora Energiewende
Agora Think Tanks gGmbH
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2
10178 Berlin | Deutschland
T +49 (0) 30 7001435-000

www.agora-energiewende.de
info@agora-energiewende.de

번역: 정유선
감수: 염광희 (Agora Energiewende)
한국어 버전 디자인: Nature Rhythm
표지사진: FlamingoImages | iStock

390/11-I-2025/KR
Version 1.0, December 2025



해당 보고서의 독일어 버전은
위의 QR 코드로 다운로드 받을 수 있습니다.



이 보고서는 CC-BY-NC-SA 4.0를 따
르고 있습니다.