

Agora
Energiewende



독일의 기후중립 전략

산업의 탈탄소화 - 현황과 과제

Kwanghee Yeom, Wido Witecka
BERLIN/SEOUL, 26 NOVEMBER 2021



Agora Energiewende

- **Think Tank and Policy Lab**
- Round about **100 energy transition experts**
- **Independent** and non-partisan with diverse financing structure
- **Our Vision** - A prosperous and **carbon neutral global economy** by 2050
- **Policy advise** to deliver **clean power, heat and industries** – in Germany, Europe and around the Globe
- **Headquarter in Berlin**, with offices in Brussels, Beijing and Bangkok



Our global partners: The International Network of Energy Transition Think Tanks

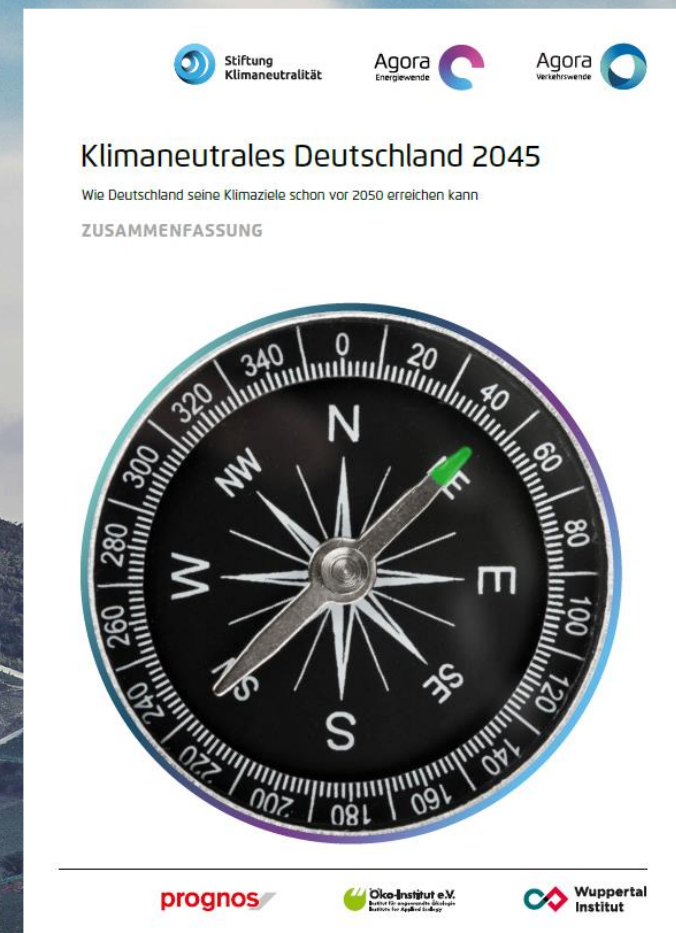


INETTT
International
Network of
Energy Transition
Think Tanks

Agora
Energiewende



The role of Agora in policy debates



Agora
Energiewende



독일 정부의 기후보호 정책



기후보호법 제정과 현재 위험 결정 (1)

- 독일의 기후보호 노력 – 그러나 제도화에 한계
 - 중장기 온실가스 감축 목표 설정('10): '50년까지 '1990년 대비 80~95% 온실가스 감축
 - Climate Action Plan 2050('16.11): 파리협정에 따라 “2050년까지 대략적으로 온실가스 배출 중립”
 - 법제화 대신 재생에너지법, 에너지산업법 등 기존의 법령에 온실가스 감축 목표 명시
 - 참고: 영국 세계 최초로 온실가스 감축 목표를 명시한 기후보호법 제정('08년)
- 독일 기후보호법 제정('19.12)
 - 시민사회 반발, 기업의 반발 등 많은 논란속에 법 제정
 - '30년까지의 단기 대책만 명시

기후보호법 제정과 헌재 위헌 결정 (2)

→ 독일 헌법재판소의 위헌 판결(`21.4.29)

- 기후보호법에 대해 청소년, 청년 등이 헌법소원 제기(`20)
- 헌재의 위헌 판결: “30년까지 단기 대책만 명시한 현행 기후보호법은 미래세대의 자유권을 침해하므로 위헌. 정부는 과학적 연구 결과에 따라 `22년 말까지 확실한 기후보호법을 제정할 것”
 - 기후보호는 인류의 권리
 - 헌법(기본법)은 모든 세대에 걸쳐 공평하게 적용되어야 함
 - 기후변화는 실재하며, 법률은 이를 대비해야 함
 - 법률은 과학에 근거해야만 하며, 온실가스 배출 중립을 위한 일관성이 있어야 함
 - 기후보호는 현재 뿐 만 아니라 미래에서도 재판에서 다뤄질 수 있음
 - 기후보호는 기본권 보호의 한 부분

→ 독일 정부의 신속한 법률 개정 착수(`21.5)

- 탄소중립 시기 조정(`50 → `45), `30년 감축목표 상향(55% → 65%)
- 그러나, 세부 대책은 미정: 새로운 정부의 과제 (사민당-녹색당-자민당)



Agora
Energiewende



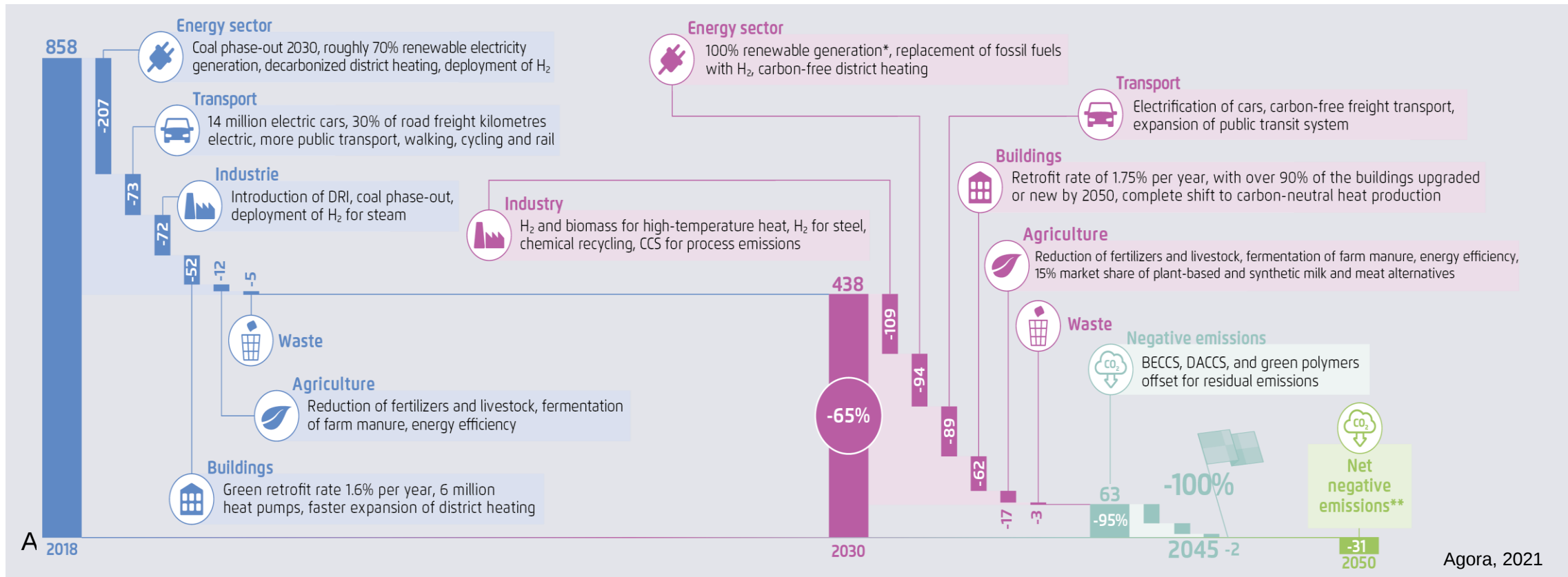
Agora Energiewende의 독일 탄소중립 전략



Agora의 2045 탄소 중립 시나리오

(1) 2030 목표 상향 (2) 2045까지 95% 이상 감축 (3) 잔여 배출은 CCS로 상쇄

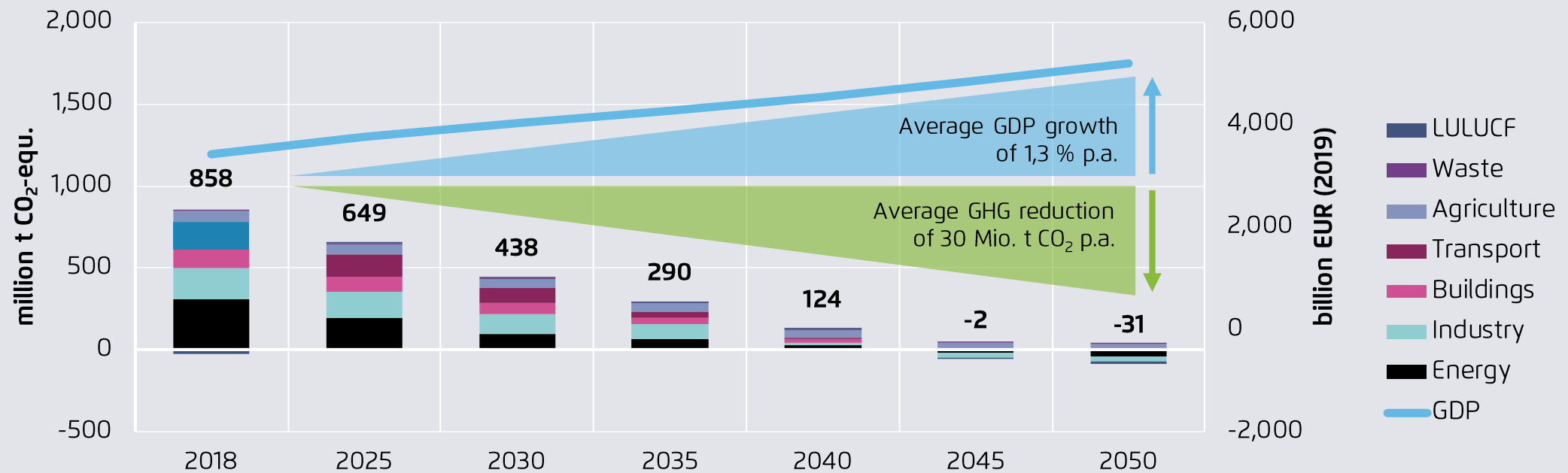
각 부문별 탄소 중립 전략 (GHG emissions in mio. t CO₂-eq.)



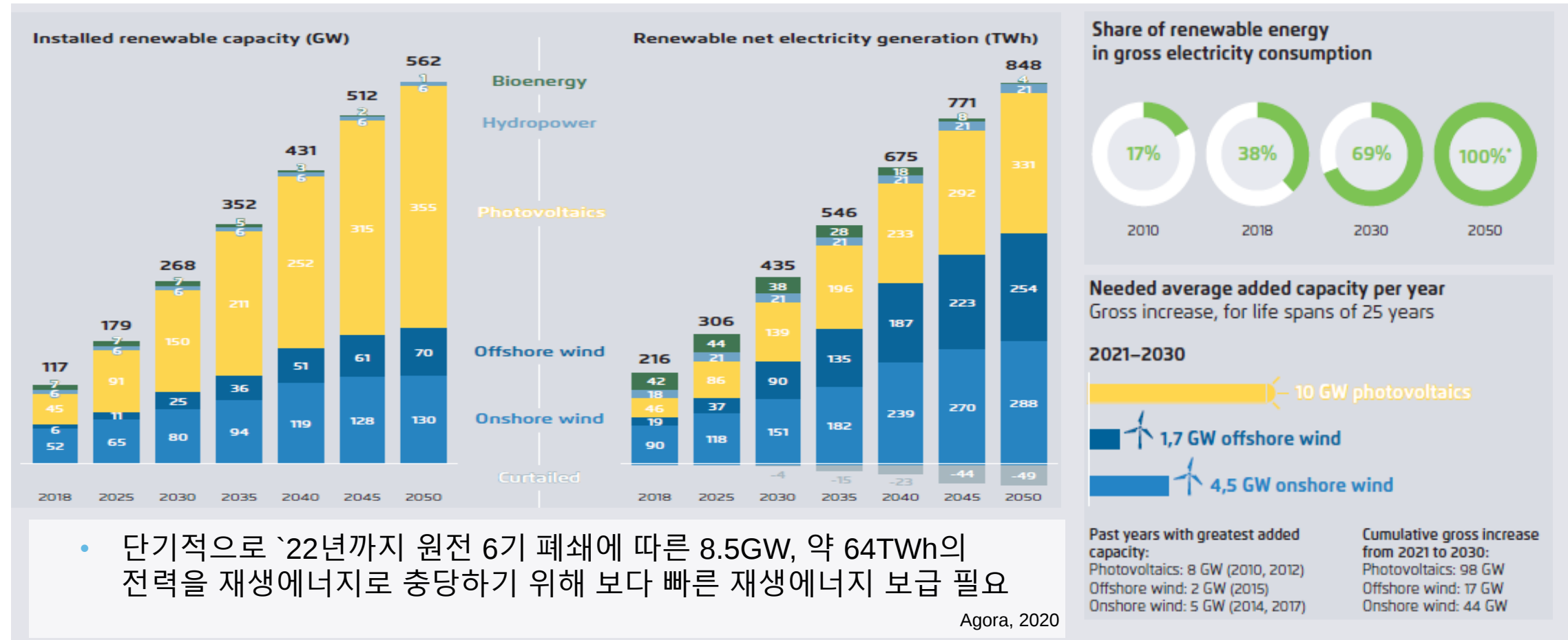
성장 시나리오

연간 1.3%의 경제 성장, 산업구조 유지, 연간 750억 유로 추가 투자

2045 탄소중립 시나리오의 주요 지표

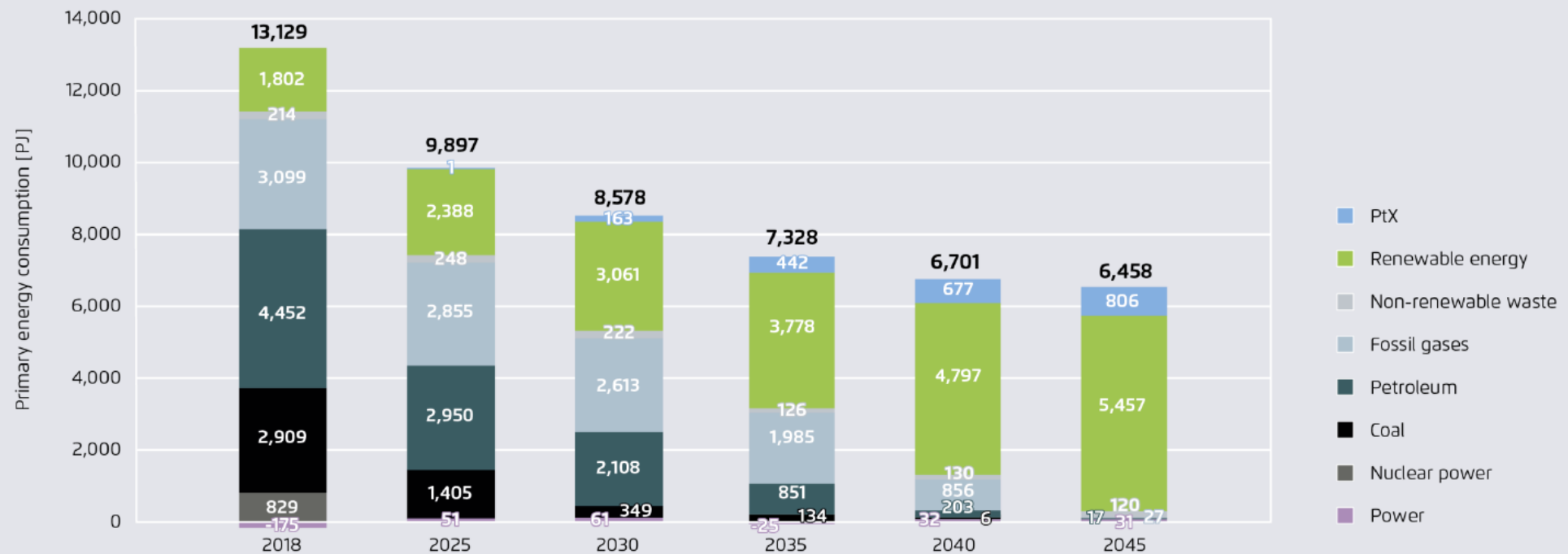


전략1 – 재생에너지 확대



전략2 – 에너지 효율화

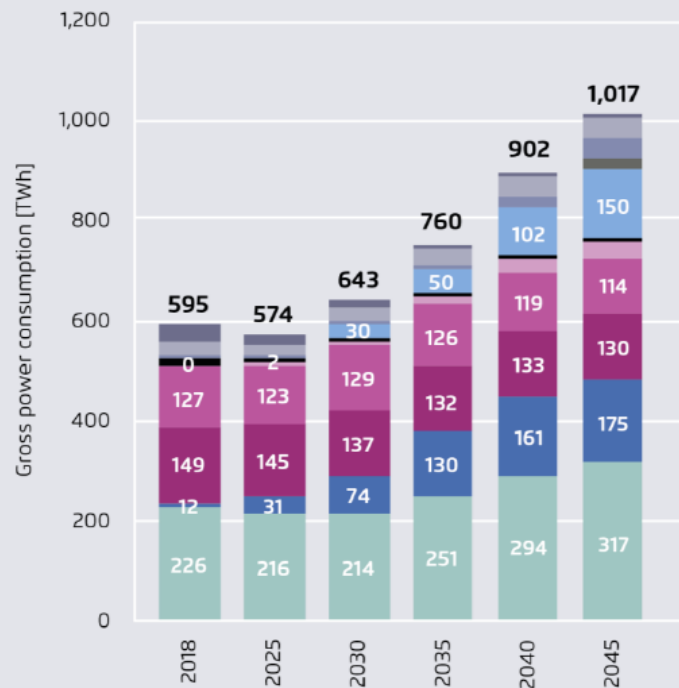
2045년까지 에너지 소비 50% 감축 (특히 난방)



Agora, 2021

전략3 – 전력화

수송, 난방, 산업, 수송, 히트펌프, 전기보일러 등



H₂/CO₂

2030

Production 19 TWh H₂



5,6 million heat pumps, efficient electric appliances, efficient lighting, decline in direct electric heating



Heat pumps, efficient lighting



25% of vehicle kilometers travelled in road freight with batteries and overhead lines, 14 million electric cars



Electrified process heat, electricity-based steam production, efficient cross-sectional technologies

2045

96 TWh H₂, 20 Mt CO₂ DAC

14 million heat pumps, increased use for cooling and ventilation, efficient heat pumps, decline of direct electric heating, efficient appliances

Heat pumps, efficient lighting

80% of vehicle kilometers travelled in road freight with batteries and overhead lines, 36 million electric vehicles

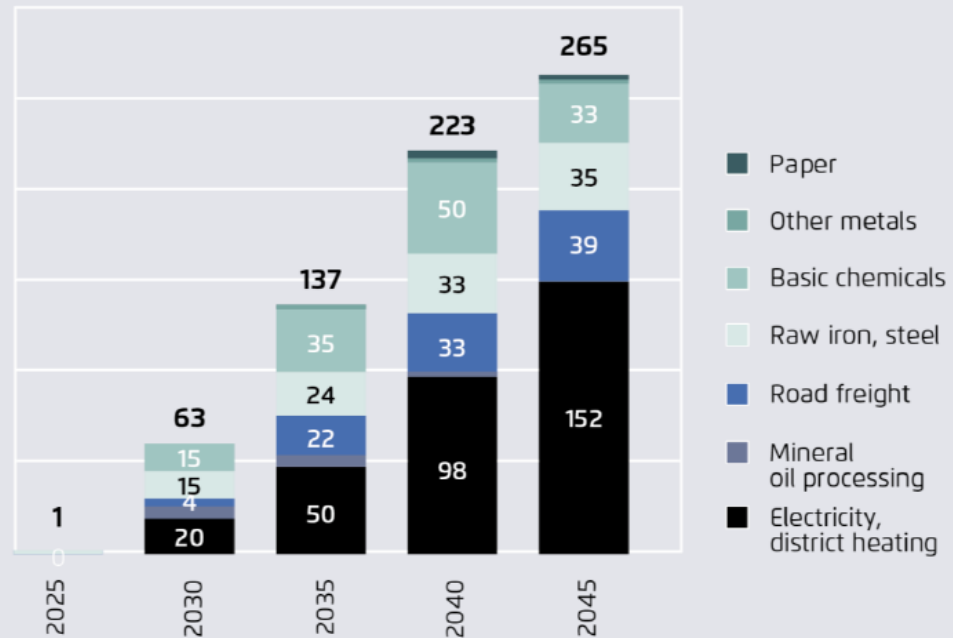
Electrification of process heat, CO₂ capture, electricity-based steam production in electric boilers and high-temperature heat pumps

- Power station consumption
- Other losses
- Storage
- DAC
- Electrolysis (H₂)
- Other forms of conversion
- District heat generation
- HH
- BTS
- Transport
- Industry

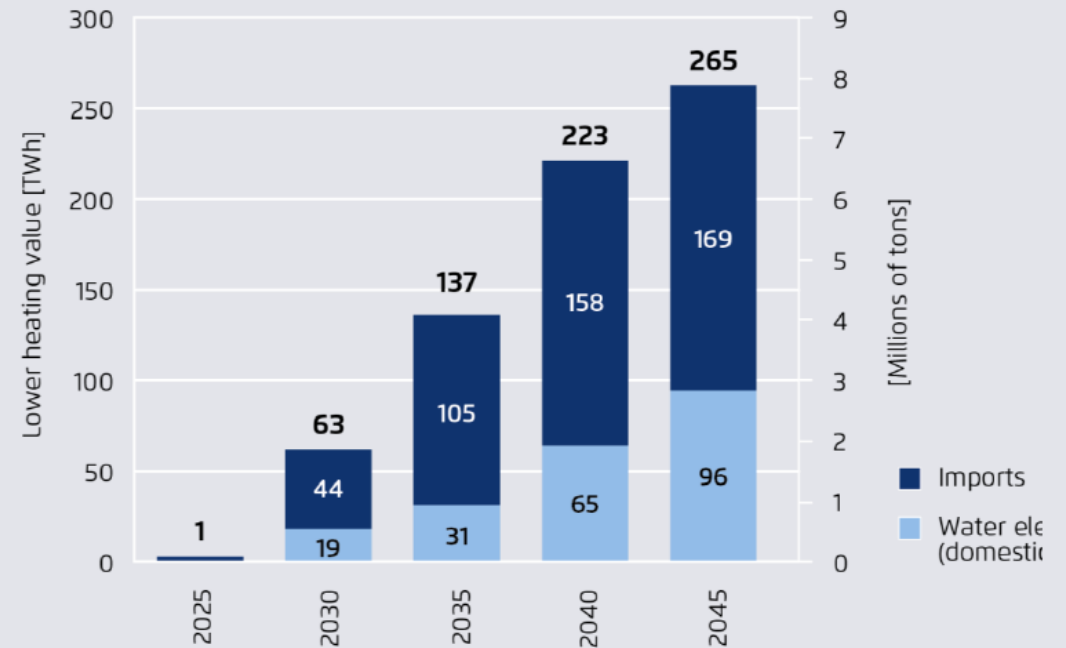
전략4 – 수소

에너지 시스템의 공급 안정성 확보, 산업부문의 기후중립 전환

Hydrogen demand



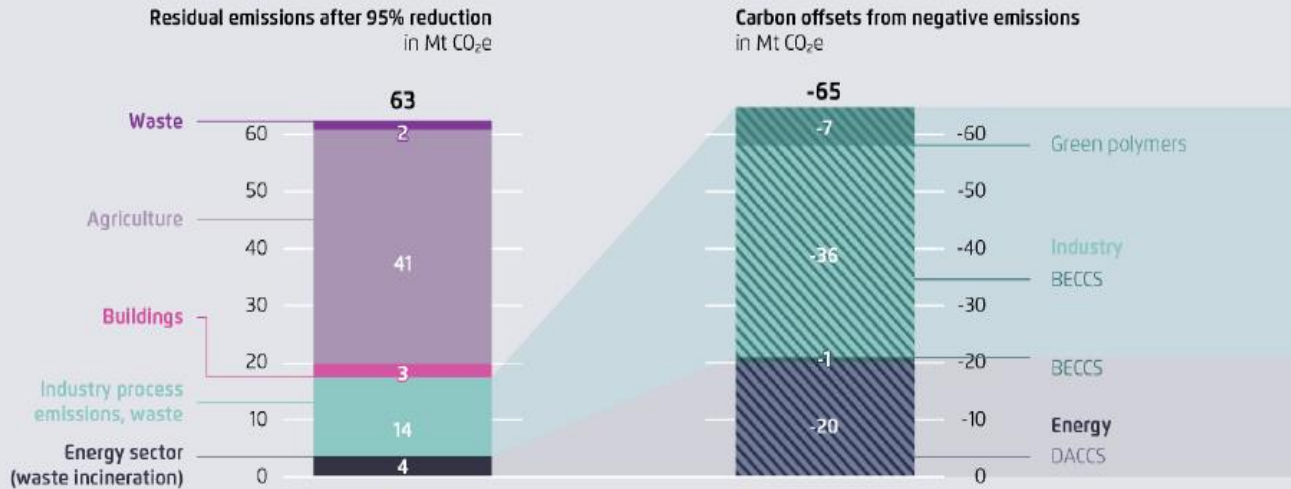
Hydrogen generation



Agora, 2021

전략5 – CCS

2030년 이후 CCS 인프라 확충 (노르웨이로의 CO2 운송 등)



→ 철강: BECCS

- 고온열 및 야금용 탄소공급: 현장에서의 우드칩 가스화

→ 화학: BECCS

- 스팀 공급: 현장에서의 우드칩 가스화

→ 공정

- 석회석 제산 과정에서 CO₂ 발생
- 탄소화합 원료 또는 부산물질의 공정 관련 산화

→ 잔여물질의 에너지 활용

- 대체 연료 이용 (시멘트, 석회)
- '전여' 화학물질의 연소

Agora, 2021



Wuppertal
Institut

Agora
Energiewende

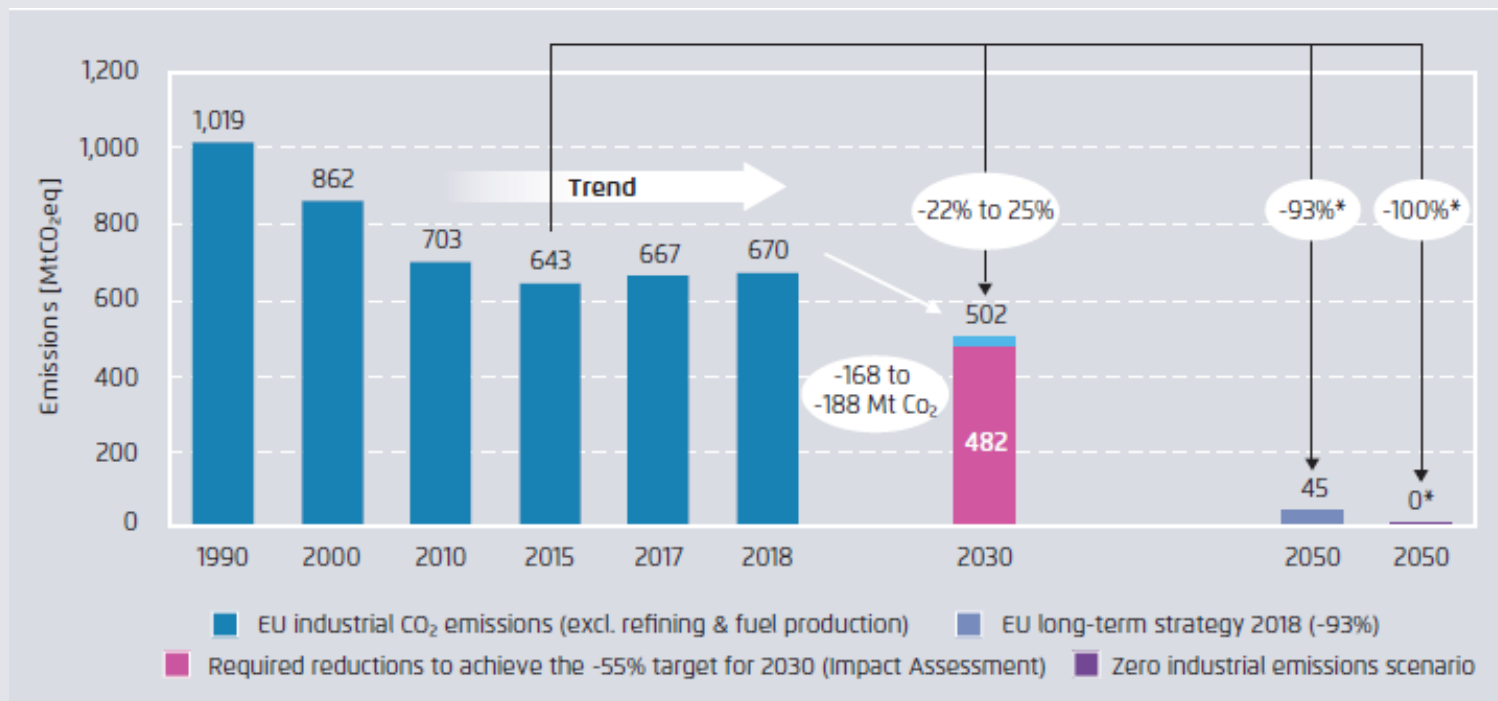


산업부문 탄소중립 모델링의 원칙



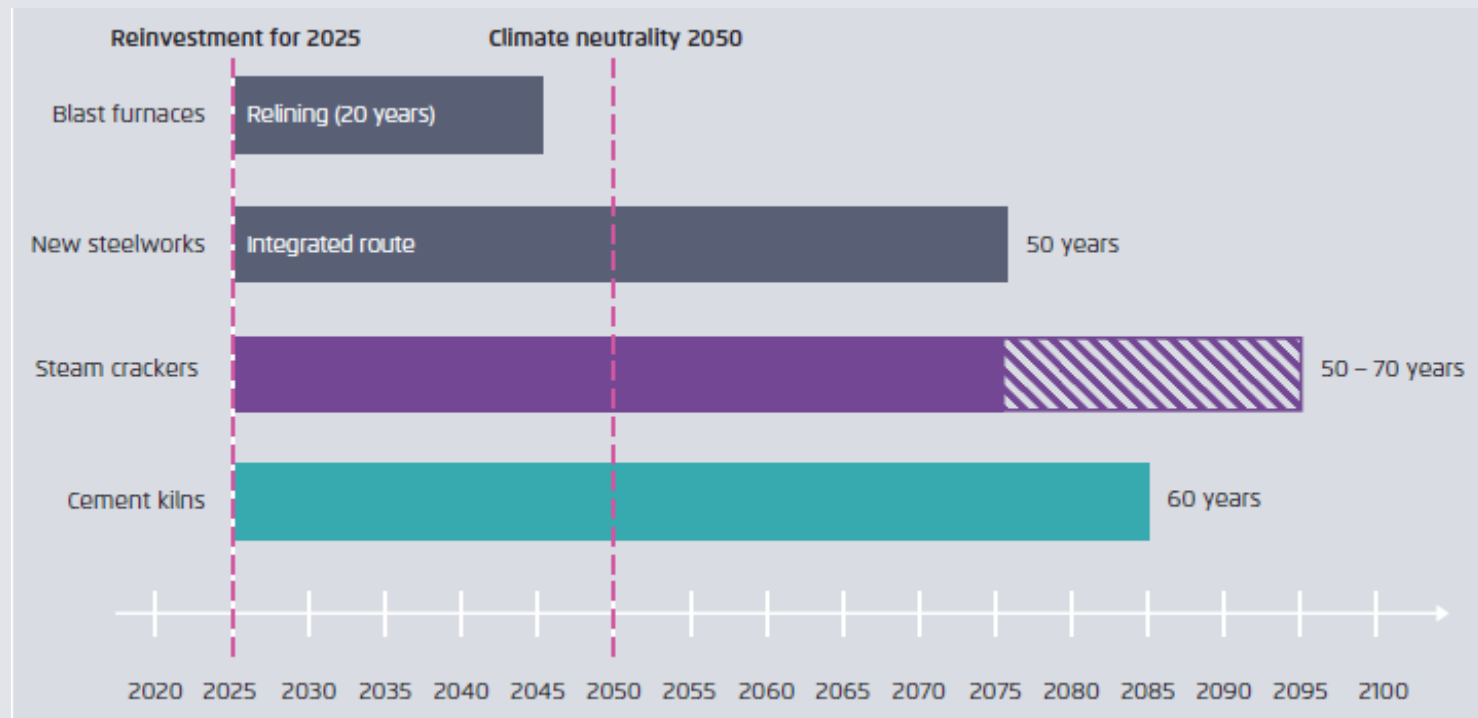
1. 에너지 효율화의 한계 - breakthrough technologies 필요

EU27개 회원국의 산업부문 온실가스 배출량 및 2030/2045 전망



Agora Energiewende, 2021

2. 주요 설비의 수명 고려시, 2050년까지 단 1차례의 투자만 필요



Agora Energiewende / Wuppertal Institute, 2021

3. 핵심 탈탄소화 기술의 도입

Required reinvestment and earliest possible market readiness for key low-carbon technologies

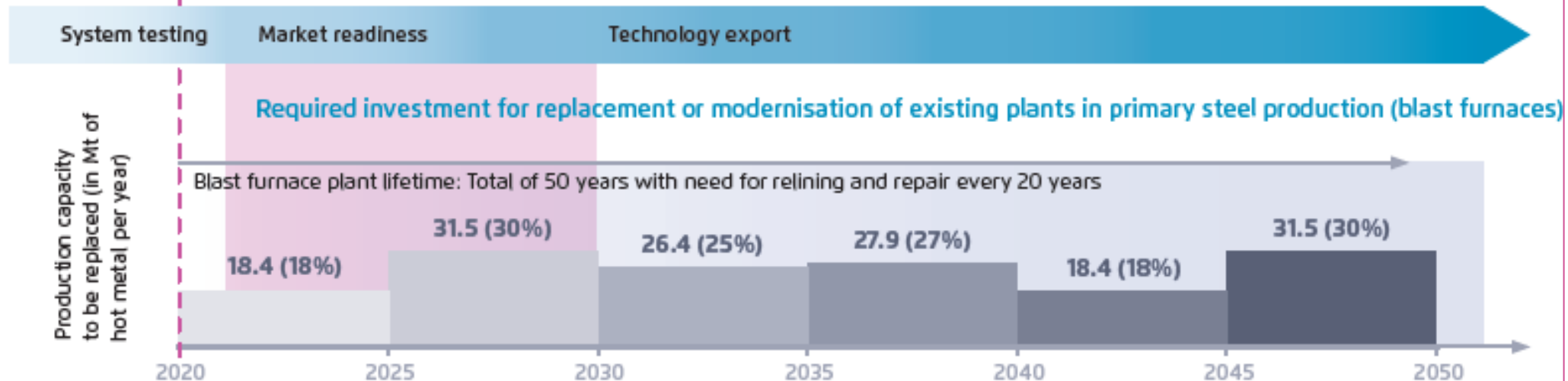
Status quo:

Natural Gas DRI: (TRL 8-9)

H2 DRI: (TRL 5-6)

Earliest possible large-scale application (TRL 9)

Initially, DRI will likely use Natural Gas DRI and gradually convert to H2



기술성숙도(TRL : Technology Readiness Level)
(기술성숙도평가(TRA) 업무지침)

- TRL 1 : 기본원리 이해
- TRL 2 : 기술개념 형성 및 응용분야 식별
- TRL 3 : 주요 기능에 대한 분석/실험 또는 특성에 대한 개념입증
- TRL 4 : 실험실 환경에서 구성품 또는 실험용 조립품 수준의 성능 입증
- TRL 5 : 유사 운영환경에서 구성품 또는 실험용 조립품 수준의 성능 입증
- TRL 6 : 유사 운영환경에서 체계/부체계 모델 또는 시제품의 성능시험
- TRL 7 : 운영환경에서 체계 시제품의 성능 시험
- TRL 8 : 시험 및 시범을 통해서 실체계의 완성 및 입증
- TRL 9 : 성공적인 임무 운영을 통한 실체계의 입증

기타 주요 원칙

- 과거의 에너지 효율화 접근법에 근거한 top-down 방식의 한계
- 대안으로, 각 세부 산업별 bottom-up 모델링에 근거한 CO2 배출 및 에너지 소비 산출이 적합. 특히, 철강, 화학, 시멘트 업종
- 산업체의 위치, 재투자 사이클, 주요 업종의 최종에너지 소비가 중요
- 설비의 수명(20~50년) 고려시, 기존의 최고 기술 대비 한계 효율 개선 접근은 lock-in 효과 및 좌초자산 문제 발생 가능
- 기후중립을 고려한 각각의 재투자 사이클 고려시, 기술의 상용화, 인프라, 에너지 수요 등을 종합적으로 살필 필요
- 이용 분야가 다양한 기존의 대표적 효율화 기술(펌프, 압축기, 조명 등)은 top-down 접근 가능



Wuppertal
Institut

Agora
Energiewende

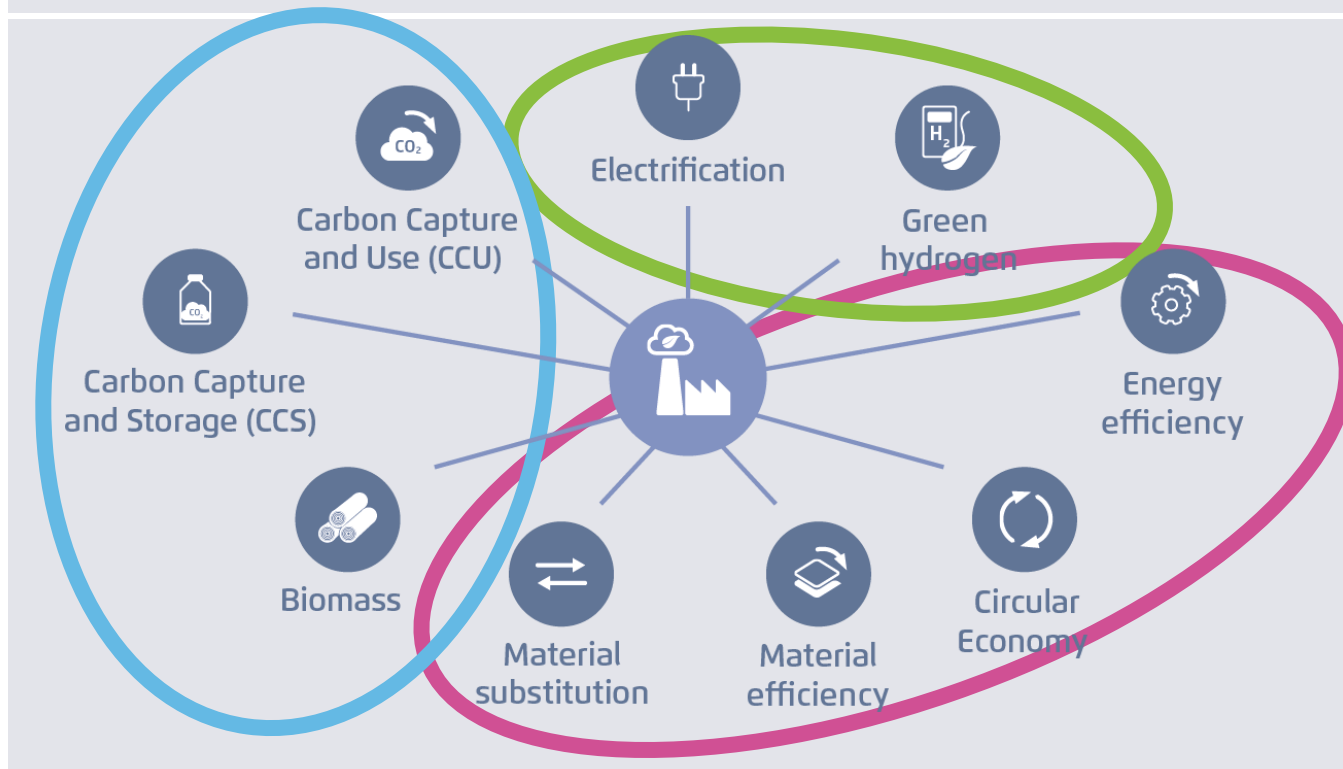


산업부문의 기후중립을 위한 전략 및 기술



전략의 조합

산업부문의 기후중립을 위한 전략들

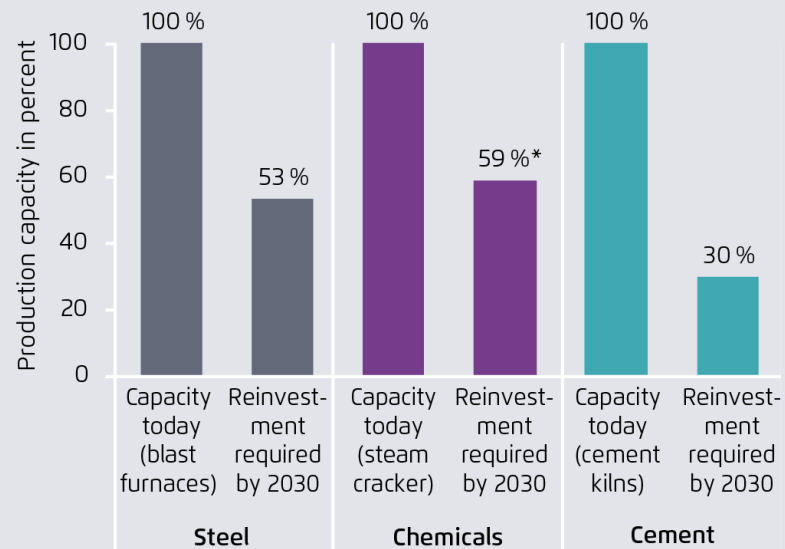


Source: Agora Energiewende, 2019

- (녹색) 재생에너지 전력의 직/간접 이용**
 - 녹색전력의 직접 이용
 - 그린수소를 활용한 녹색전력의 간접 이용
- (빨간색) 자원 효율화 및 순환 경제**
 - 순환 경제
 - 에너지 효율화
 - 자재 효율화
 - 자재 대체
- (파란색) 탄소 사이클의 종료**
 - Carbon Capture and Storage (CCS)
 - Carbon Capture and Use (CCU)
 - 지속가능한 바이오매스를 통한 BECCS

2030년 이전 독일 에너지 다소비 산업의 재투자 필요

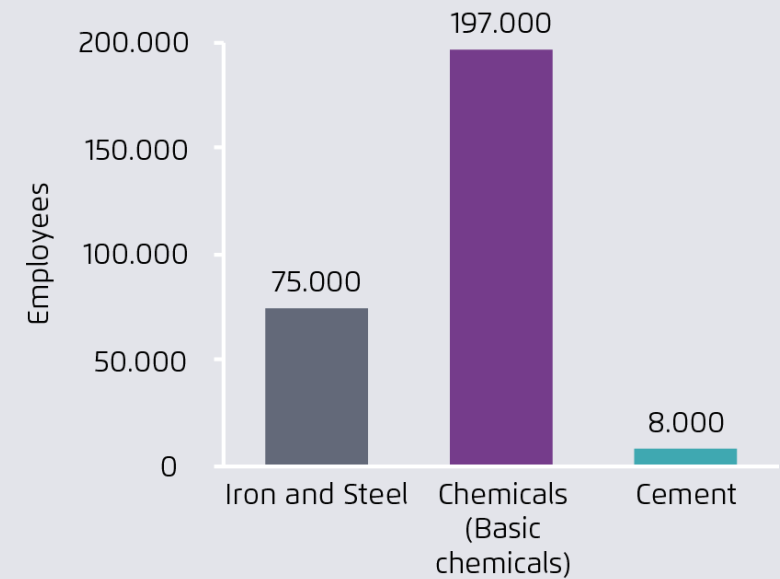
2030년 이전 독일 산업계의 재투자 수요 (1차 생산량)



* Steam crackers are normally maintained and modernised continuously so that they are not completely replaced at one time. However, the need for reinvestment gives a rough impression of the need to modernise existing facilities.

Source: Wuppertal Institute, 2019

2018년 독일 관련 산업의 직접 고용



Source: Statistisches Bundesamt, 2018

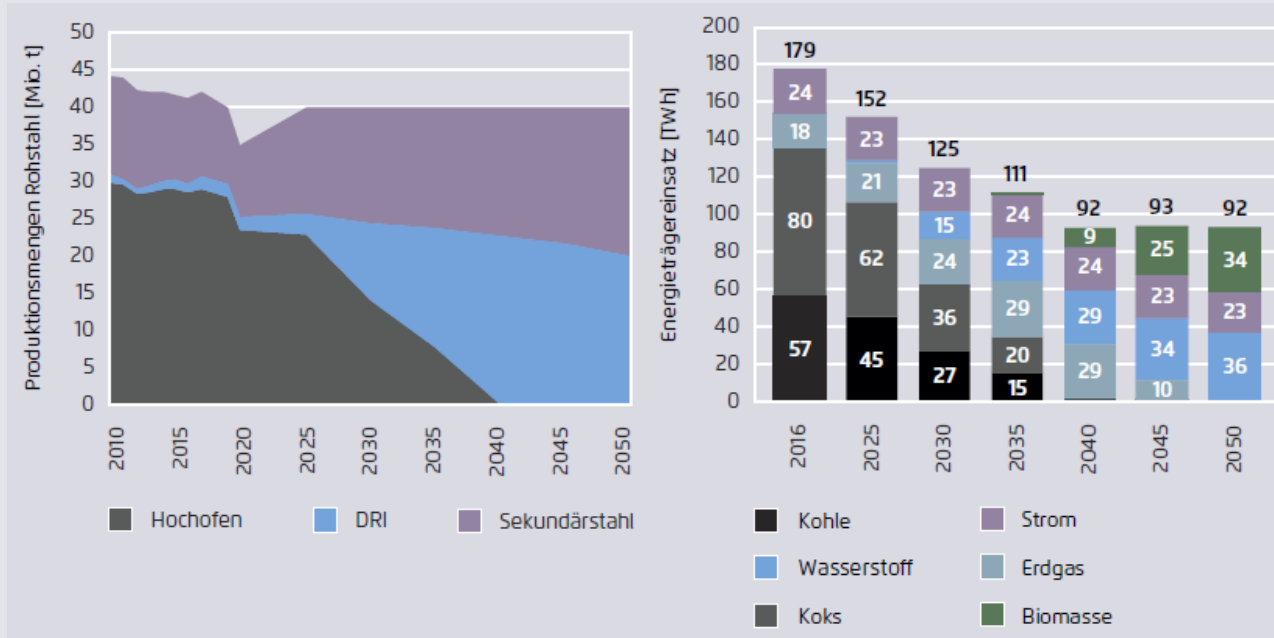
기후중립을 위한 핵심 기술은 이미 존재 또는 2030년 이전 상용화 가능

Breakthrough technologies for climate neutrality that are available before 2030		
Steel	Key technology	Earliest possible market readiness
	Direct reduction with hydrogen and smelting in the electric arc furnace	● before 2025 (initially with natural gas)
Chemicals	Key technology	Earliest possible market readiness
	Heat and steam generation from power-to-heat	● From 2020
	Green hydrogen from renewable energies	● 2020-2030
	Methanol-to-olefin/-aromatics route	● ● ● 2025 – 2030
	Chemical recycling	● ● 2025 – 2030
Cement	Key technology	
	CO ₂ capture with the oxyfuel process (CCS)	● 2025 – 2030
	CO ₂ capture in combination with electrification of the high temperature heat at the calciner	● ● 2025-2030

- 모든 기초 자재 부문의 저탄소 기술 이미 존재
- 일부는 2030년 이후 상용화 가능
- EU 에너지 인프라 전환을 위해 필요한 기술:
 - 재생에너지 기반 전력망
 - 수소 생산 및 운반
 - CO₂ 운반 및 제거

독일의 철강 산업의 전환 로드맵

철강 원자재 생산 및 1차에너지 소비



Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität

- 기존 고로는 수명 연장 대신 DRI로 교체, 그린수소 조달시까지 천연가스 이용
- 2030년까지 11 Mt의 DRI-전기로 설비 건설(투자비 85억 유로)
- 천연가스가 수소 수요의 80%까지 대체. 최종에너지 소비는 중고철의 높은 비중(2050년 50%)로 인해 감소
- 석탄 및 코크스는 마지막 고로가 교체되는 2040년 사용 종료
- 탄소 및 에너지원으로서의 합성가스(H₂, CO, CO₂) 생산을 위해 2030년부터 바이오매스 활용
- Bio-CCS는 산소 고로에 이용. 모든 1차 제철 사이트는 수소 및 CO₂ 운반 인프라에 연결

독일 기초 화학 산업의 전환: 석유 정제를 대체하기 위해 대안 원료 필요

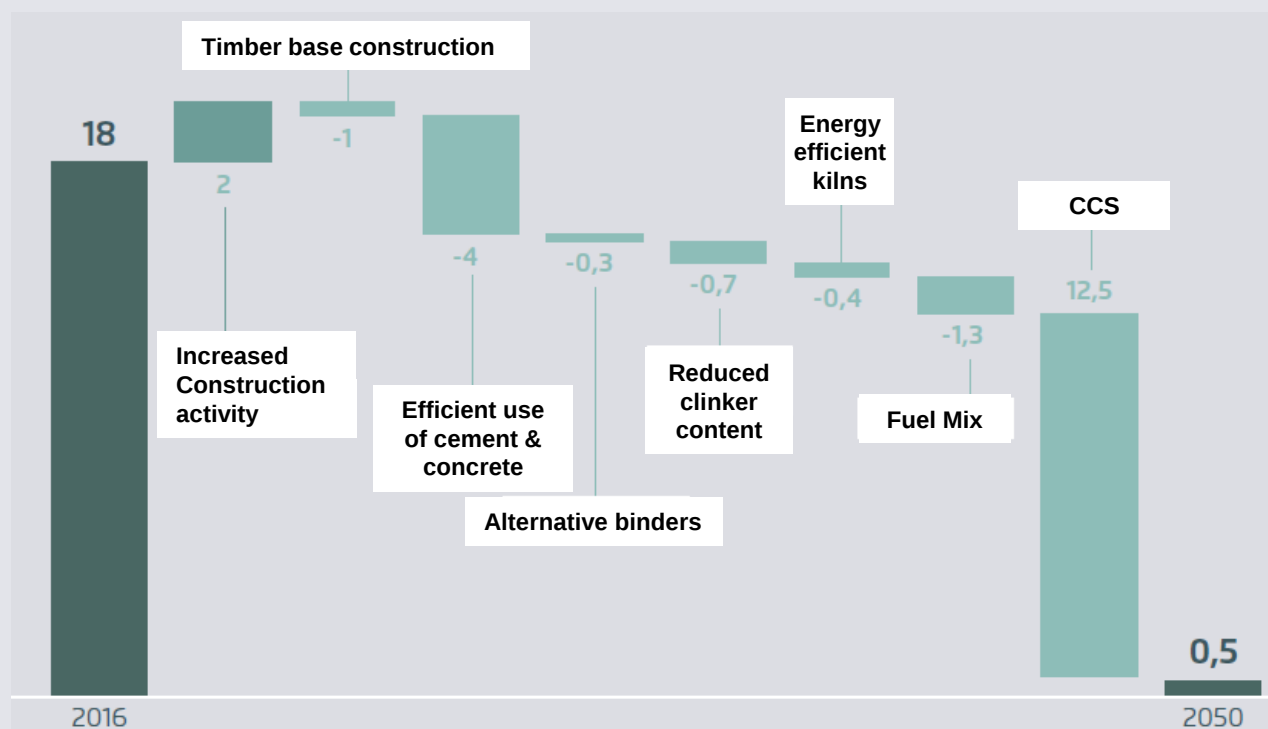
제조법 및 원료 수급에 따른 HVC-생산



Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2020)

독일의 시멘트 산업 전환: 자재 대체, 효율화 및 CCS 필요

시멘트 산업의 CO2 저감 전략 (Mt CO2e)



Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität

기후중립 전환을 위해서는 클링커 및 시멘트의 효율적 이용 및 CCS 필요

- 2030년 이후 건설 수요 증가에도 불구하고, 자재의 효율화를 통해 클링커 및 시멘트 수요 저감 가능
- 그러나, 클링커는 대체 불가. 따라서, 공정 및 연료에 따른 배출을 제거하기 위해서는 CCS 필요
- 산소연료(oxy-fuel)의 재투자 및 개선은 2030년 이후 가능
- 95%이상의 CO2 포집 및 바이오 연료의 부분적 이용을 통해 CO2 배출을 거의 제로로 줄이는 것이 가능



Wuppertal
Institut

Agora
Energiewende

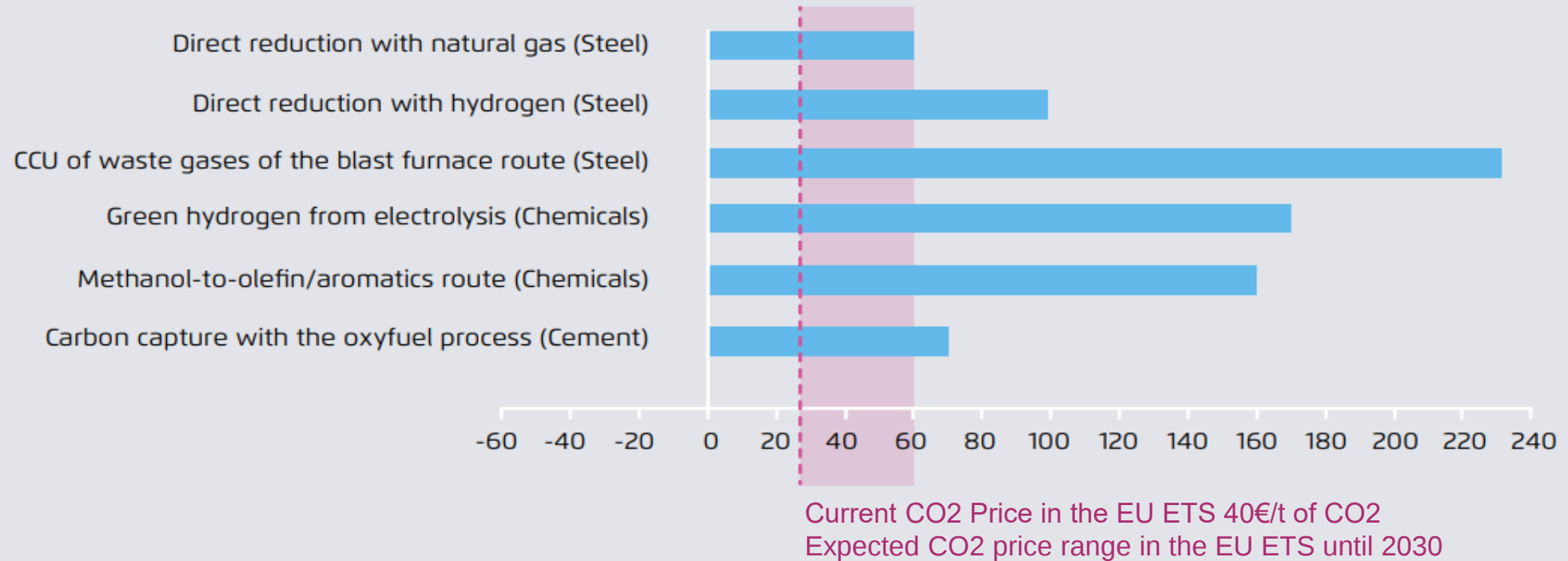


정책 제안



주요 저탄소 기술의 탄소 저감 비용은 예상 탄소 비용을 상회

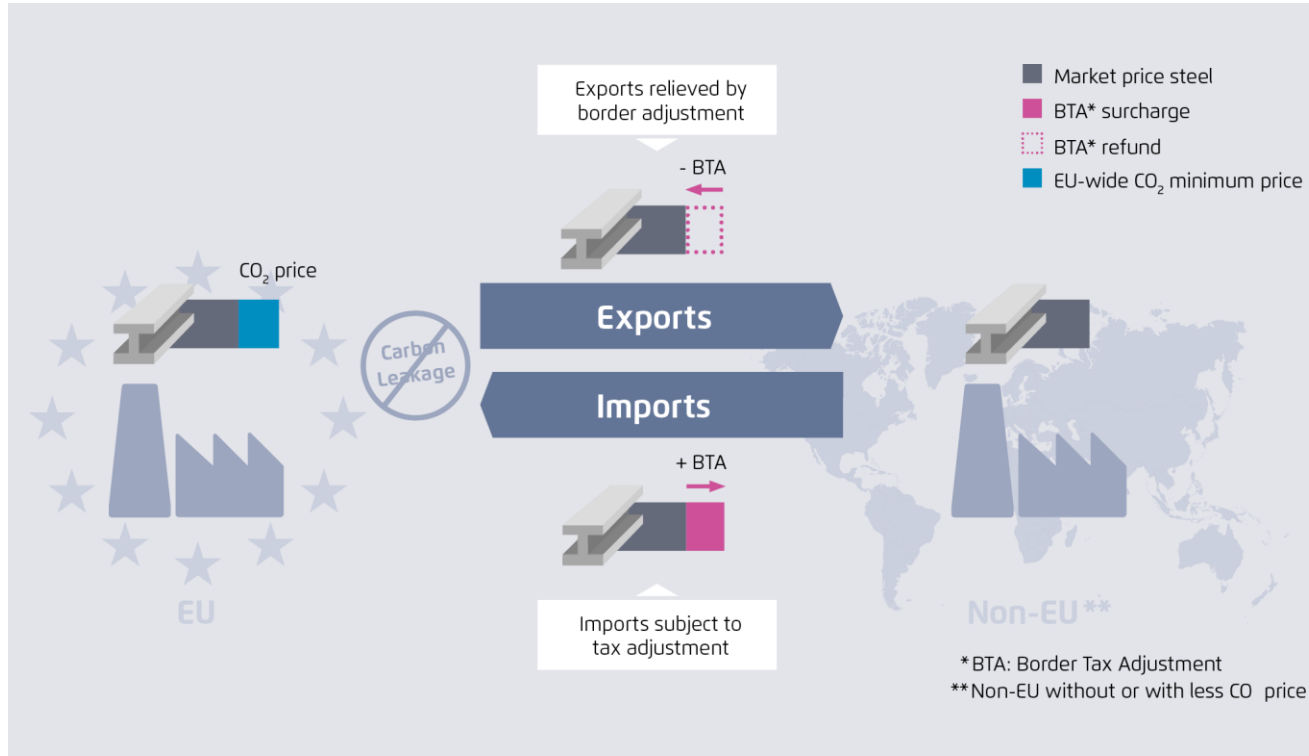
주요 기술의 CO2 저감 비용



Agora Energiewende/Wuppertal Institute, 2019

EU-ETS의 높은 CO₂ 가격 및 CBAM 도입 필요 - 그러나, 산업 현장을 유인하기에는 여러 장벽 존재

EU-ETS의 높은 CO₂ 가격 및 CBAM



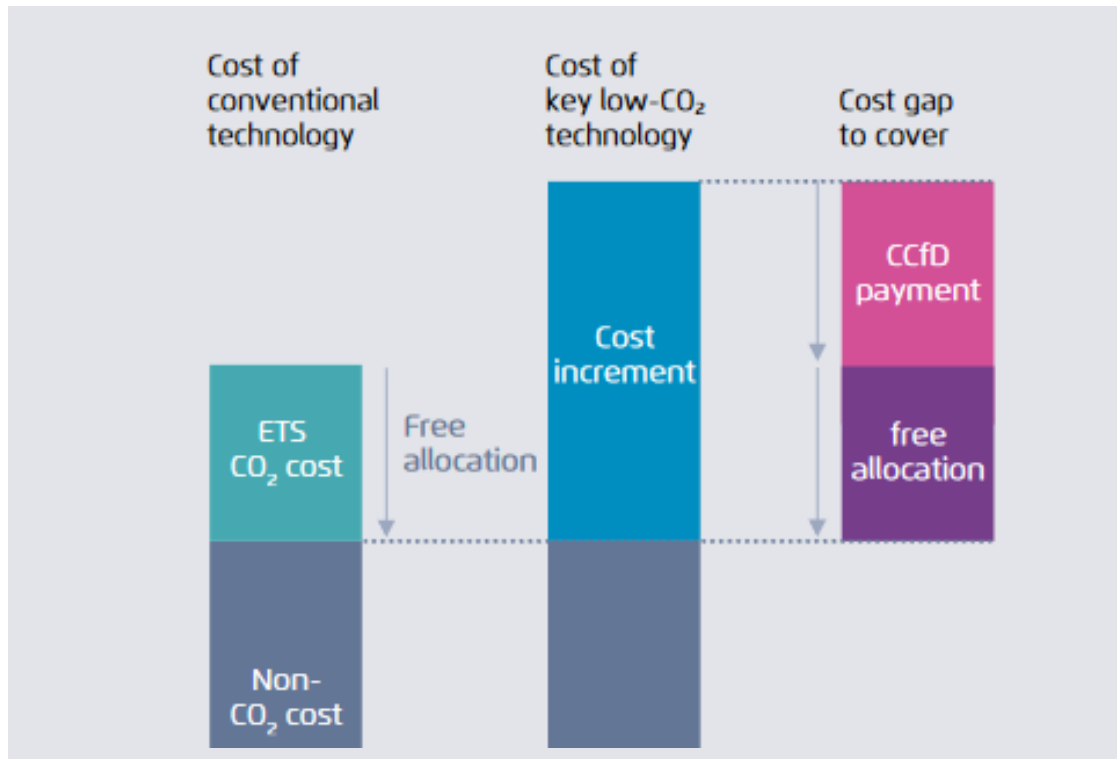
Source: Agora Energiewende, 2019

EU Green Deal의 하나로 탄소국경조정 논의 중, 그러나 EU의 원자재 산업의 전환을 지원하기에는 충분치 못할 수도:

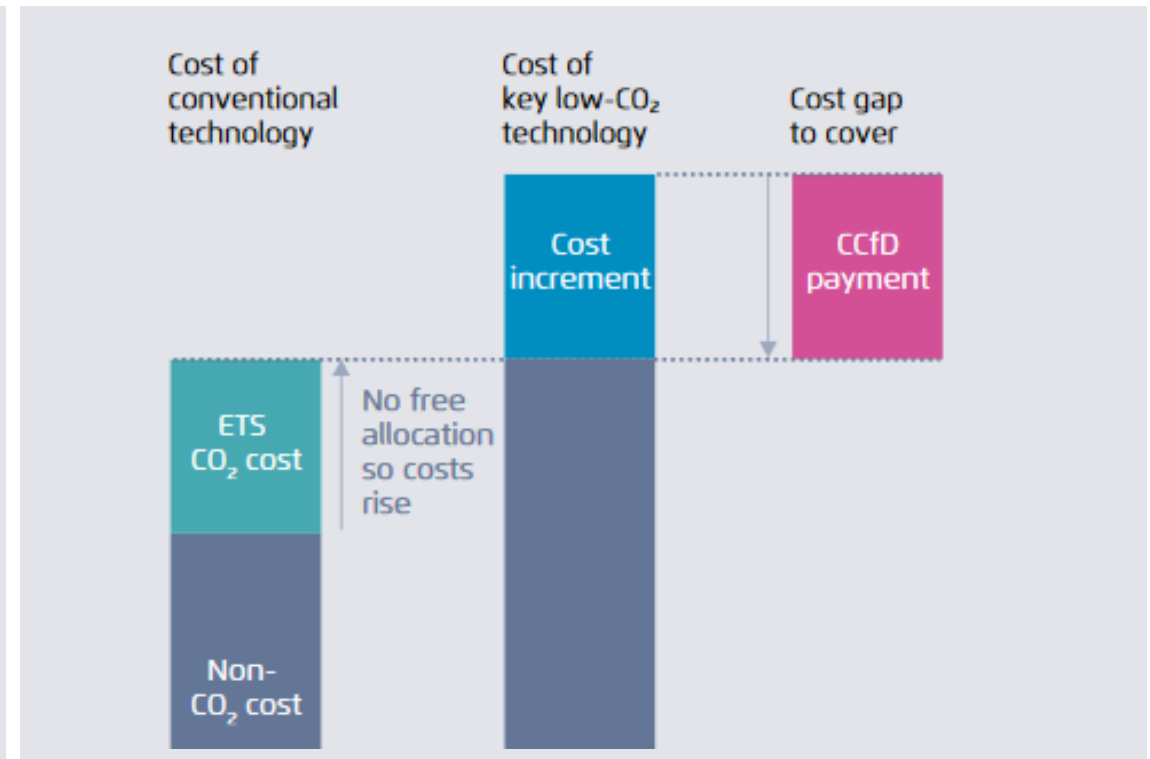
- CBAM 도입 이후에도, 탄소가격은 전환을 위한 투자를 유도하기에 불충분할 전망
- 역외 산업의 온실가스 배출 자료에 관한 투명성, 타당성, 수용성을 확보하기에 어려움
- CBAM 도입은 기존 국제 통상법과의 충돌 가능성
- 제도 도입에 따른 보복 조치에 대한 우려
- 제도 도입의 지연은 산업계의 투자 지연으로 연결

탄소차액지원계약(CCfD: Carbon contracts-for-difference) 필요

Scenario 1: 무상할당과의 조합



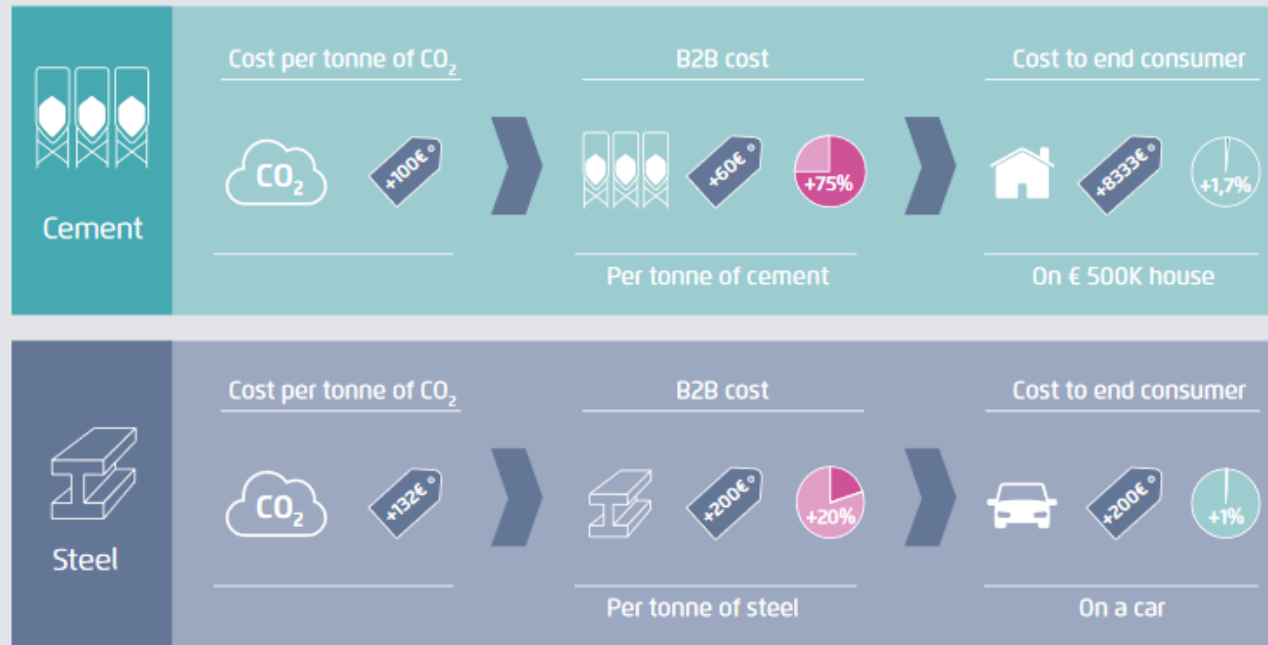
Scenario 2: CBAM과의 조합 (유상할당시)



Agora Energiewende (2020): A Clean Industry Package for the EU: Making sure the European Green Deal kick-starts the transition to climate-neutral industry

효과적이며 비차별적 기후부과금 도입으로 CCfD 지원 가능

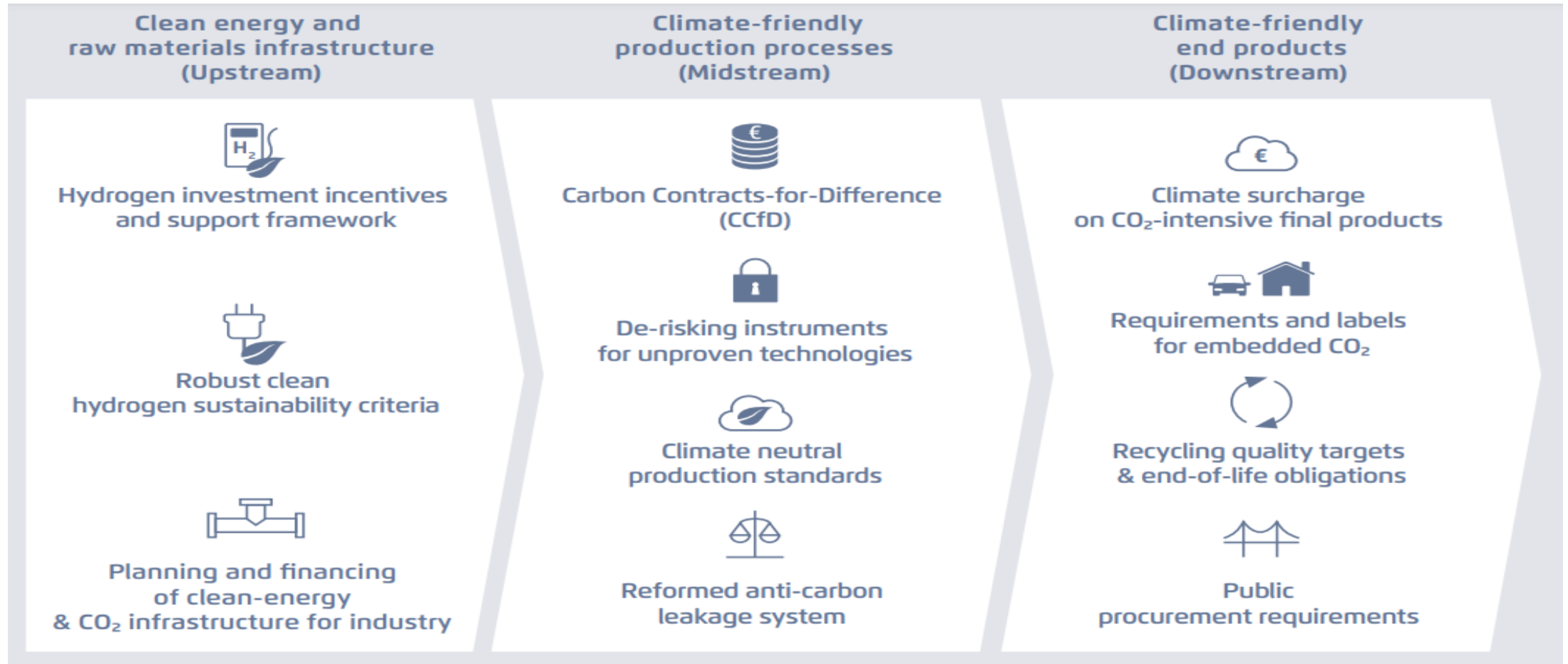
제품의 생산 과정에서의 탄소 가격 변화



Agora Energiewende, 2020

- 원자재 산업의 온실가스 감축 비용은 높으나, 최종 제품의 가격 인상에는 매우 제한적
- 산업부문의 기후중립 전환을 지원하기 위해서는 신뢰할 수 있는 수익 창출 경로가 마련될 필요
- 에너지 다소비 원자재를 사용하는 최종 제품에 대해 자재 가격 인상분 만큼의 기후부과금(climate surcharge)을 도입하는 것은 제도 시행이 용이하며 비차별적
- 기후부과금은 국가 단위 또는 EU 단위로 부과 가능: EU가 제안한 플라스틱 세금이 대표적인 예

산업부문의 탈탄소화를 위한 정책 패키지 필요



Agora Energiewende
Anna-Louisa-Karsch-Str.2
10178 Berlin

T +49 (0)30 700 1435 - 000
F +49 (0)30 700 1435 - 129
www.agora-energiewende.de

✉ Please subscribe to our newsletter via
www.agora-energiewende.de
🐦 www.twitter.com/AgoraEW



Thank you for your attention!

Questions or Comments? Feel free to contact me:

kwanghee.yeom@agora-energiewende.de
wido.witecka@agora-energiewende.de

