Supported by:

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

PAREMA
Partenariat énergétique Maroco-Allemand
Deutsch-Marokkanische Energiepartnerschaft

Royaume du Maroc
Ministère de l'Energie, des Mines et du Développement Durable
Département de l'Energie et des Mines

Etude sur les Opportunités et Priorités du "Power-to-X" au Maroc

Wolfgang Eichhammer, Stella Oberle, Michael Haendel, Inga Boie,
Till Gnann, Martin Wietschel, Benjamin Lux
Institut Fraunhofer pour la Recherche sur les Systèmes et l'InnovationISI

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Fraunhofer ISI

IRESEN Institut de Recherche en Energie Solaire et en Energies Nouvelles

Fraunhofer est la plus grande organisation pour la recherche appliquée en Europe

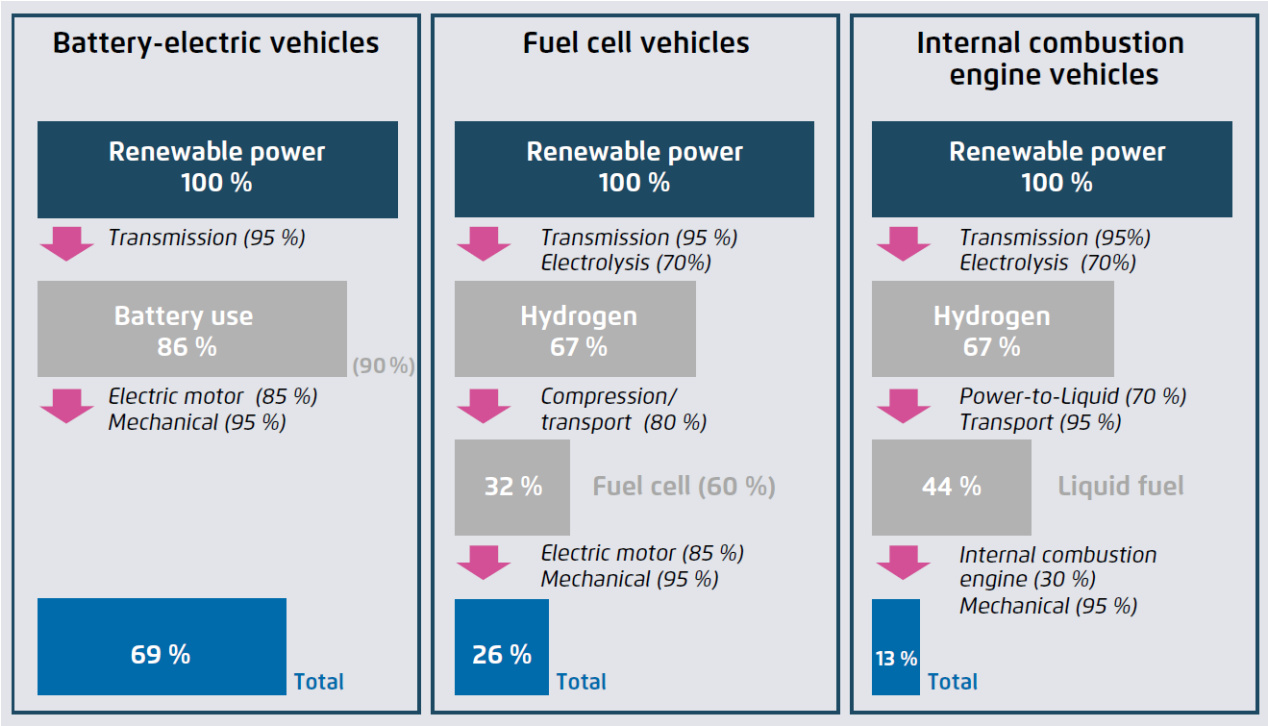
- 72 Instituts Fraunhofer / Centres de Recherche en Allemagne
- 25 000 employes (mainly natural or engineering science training)
- € 2.3 milliards de volume de recherches par an:
  - > 70% de revenu de contrat avec l'industrie et le secteur public (en competition)
  - < 30% financement de base par le gouvernement Allemand et la région de l'Institut
- Cooperations Internationales à travers des bureaux affiliés en Europe, États Unies, Asie et Proche Orient

Pourquoi le Power-to-X (PtX) est-il intéressant et nécessaire ?

- Qu'est-ce que le Power-to-X (PtX) et pourquoi est-ce intéressant ?
  - X peut prendre plusieurs formes : Power-to-Heat (PtG), Power-to-Gas (PtG), Power-to-Liquid (PtL), Power-to-Chemicals (PtC)
  - Les énergies renouvelables sont capables de produire de l'électricité à faible coût
  - Nécessité de remplacer les combustibles fossiles en raison du changement climatique
- Pourquoi le Power-to-X est-il nécessaire ?
  - L'électricité décarbonisée est LE vecteur d'énergie du 21ème siècle...mais ne peut pas être utilisée dans toutes les applications.

Pourquoi le PtX est-il problématique ?

- **Le PtX a généralement une faible efficacité de conversion**

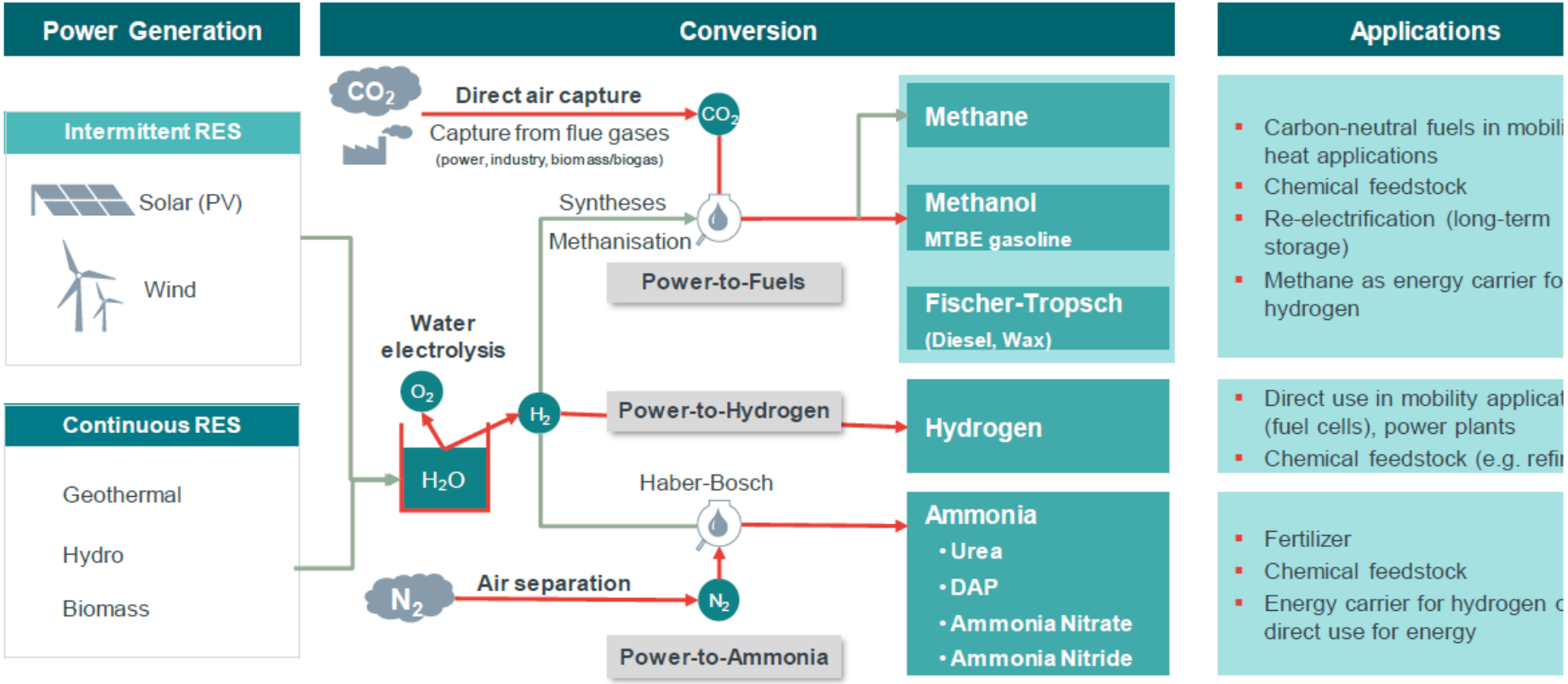


Source: Agora/Frontier Economics (2018)

Où le PtX est-il (probablement) absolument nécessaire ?

- Applications où le PtX est (probablement) sans alternative:
  - Chaleur industrielle, produits chimiques, trafic aérien international, transport maritime international,...
- Applications où le PtX est en concurrence avec les procédés d'électrification directe:
  - Transport ferroviaire, transport par camion longue distance, chauffage à basse température, chaleur industrielle,...
- Applications où le PtX n'a de sens que dans des cas individuels:
  - Voitures, circulation locale de camions, flexibilité du réseau électrique, zones de chaleur à basse température,...

PtX (X=vecteurs d'énergie chimique)



Supported by:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

PAREMA

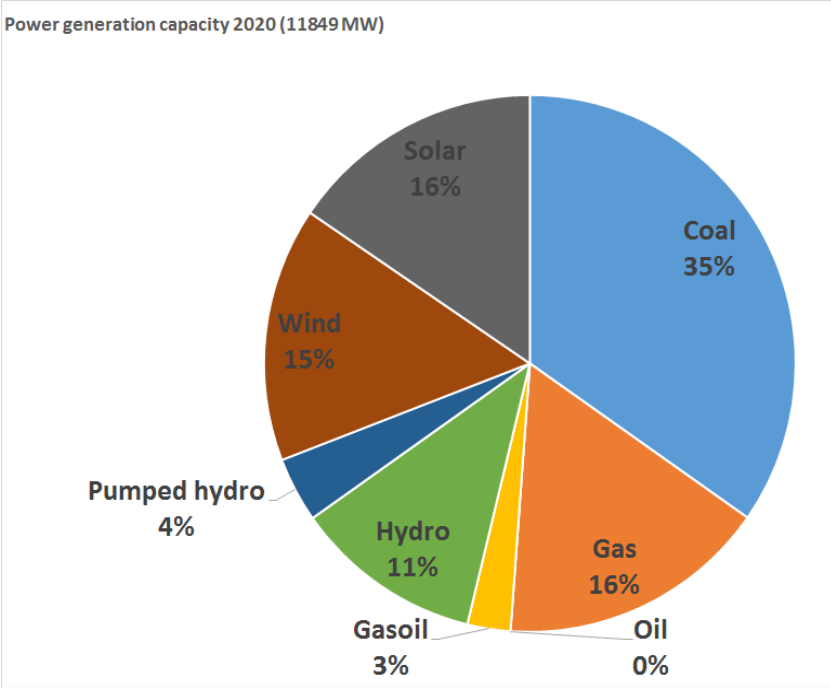
IRESEN

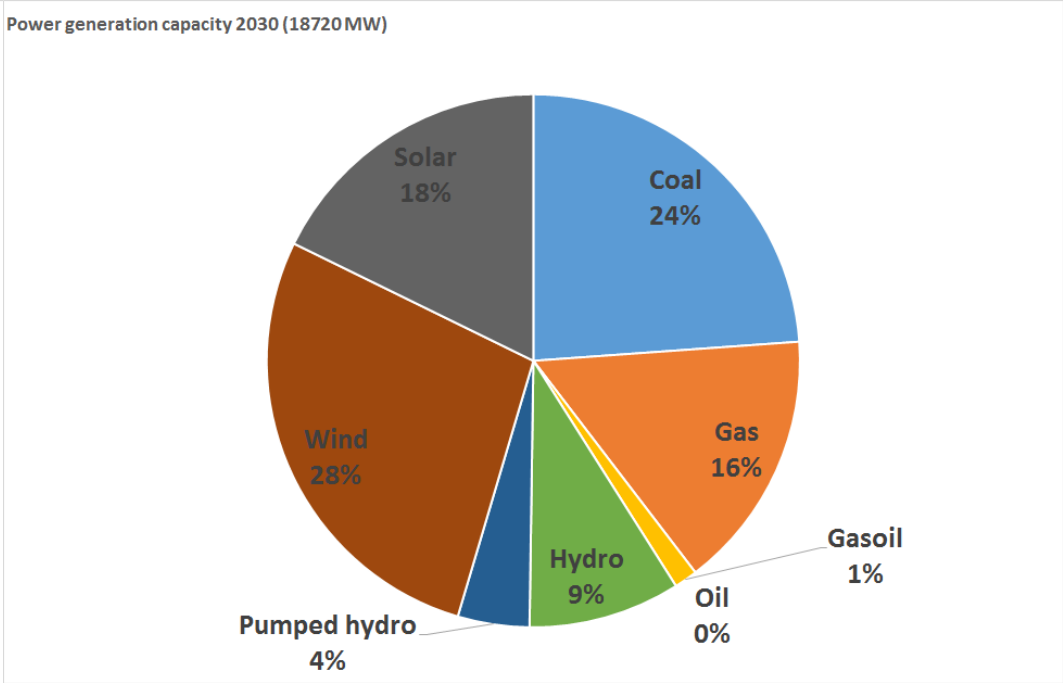
Fraunhofer ISI

Pourquoi le PtX est-il intéressant pour le Maroc ?

- Un potentiel exceptionnel en énergie éolienne et solaire, notamment dans le sud du pays
- Diminution du coût des technologies des énergies renouvelables
- Une stratégie ambitieuse pour les énergies renouvelables
- La proximité géographique stratégique du Maroc avec l'Europe en tant que client principal potentiel du PtX
- Bonnes bases pour les infrastructures portuaires et gazières actuelles et futures
- Importations évitées ; possibilités d'exportation

La stratégie ambitieuse du Maroc en matière d'ER : 2010 : 34% - 2020 : >42% - 2030 : >52% de la capacité*





* including pumped storage

Perspectives du PtX pour le Maroc - une discussion en 10 hypothèses

- Approche adoptée en raison des incertitudes (coût, performance technologique) sur le rôle futur possible du PtX dans le monde et au Maroc.
- Les hypothèses, étayées par l'analyse des connaissances actuelles et des incertitudes, contribuent à alimenter la discussion nécessaire.
- Notre étude cumule les preuves que nous connaissons à ce jour. Hypothèses formulées de telle sorte que - dans la perspective actuelle - l'hypothèse semble vérifiée, mais compte tenu des incertitudes.

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Supported by: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy
PAREMA Partenariat énergétique Maroco-Allemand Deutsch-Marokkanische Energiepartnerschaft
IRESEN Institut de Recherche en Energie Solaire et en Energies Nouvelles
Fraunhofer ISI

Principaux moteurs de la demande mondiale de PtX (1)

H1: Demande de PtX tirée par l'Accord de Paris pour atteindre une réduction de 95% des émissions de GES dans les pays développés (objectif de 1,5°C)

- Certaines études estiment le potentiel PtX mondial à 10-40000 TWh en 2050.
- Nos estimations : 320/726 TWh (2030) et 972/6180 TWh en 2050.
- Taille du marché 45/102 (2030) et 107/680 milliards d'euros par an (2050) (les marchés pétroliers aux prix actuels sont d'environ 2000 milliards d'euros par an)

H2: Peu de demande en PtX si les pays développés n'atteignent que 80%.

- Les utilisations finales difficiles qui demandent d'utiliser le PtX dans les scénarios à 95%, peuvent encore reposer sur certaines quantité de combustibles fossiles.
- Mesures d'adaptation nécessaires : efficacité limitée et coûts plus élevés
- Si le Maroc vise une stratégie PtX industrielle, il est dans son intérêt de soutenir des actions fortes en faveur du climat, conforme à la politique climatique actuelle du pays.

Principaux moteurs de la demande mondiale de PtX (2)

H3: Pays en développement - réduction des exigences en matière de réduction des GES; moins de pression pour introduire le PtX

- Accord de Paris : Le Maroc et les pays comparables devraient stabiliser les émissions aux niveaux actuels (réduction de 60/70 % par rapport au scénario de référence).
- Objectifs plus ambitieux: génèrent marché PtX dans le pays et facilitent les exportations.
- Cohérence entre objectifs climatiques à long terme et l'éventuelle stratégie industrielle PtX à refléter dans le cadre de la stratégie énergétique/climatique 2050 du Maroc.

H4: 100% d'ER dans le système électrique ne necessite pas du PtX

- L'optimisation du réseau électrique au Maroc permet de limiter les excédents
- Système électrique non optimisé : ER volatiles + production inflexible à base de charbon + retards dans l'expansion du réseau = coût de production plus élevé pour le pays.
- La production ER pour le PtX doit se faire « en top » d'ER pour satisfaire la demande électrique. Principe de l'efficacité énergétique d'abord: offre plus de possibilités au PtX.

La capacité du Maroc à capter une part substantielle de la demande mondiale de PtX (1)

H5: Le Maroc peut capter une part non négligeable de la demande de PtX

- Le potentiel des ER au Maroc peut couvrir la demande intérieure d'électricité + PtX
- Le pays peut capter de 2-4 % de la demande potentielle de PtX en 2030, l'expansion des ER étant le double de celle prévue pour atteindre l'objectif de 59 % d'ER.
- Ambitieux mais compatible avec les taux d'expansion historiques d'ER et l'ambition du pays en matière d'énergies renouvelables.

H6: Les exportations d'électricité vers l'Europe - pas un concurrent important pour les exportations de PtX

- L'exportation directe d'électricité est moins attrayante qu'autrefois, étant donné la forte baisse du coût des ER par rapport au coût de transport de l'électricité.
- L'interconnexion avec les voisins reste intéressante pour optimiser le réseau au Maroc.
- Produits PtX : produits à haute valeur ajoutée avec l'avantage d'un coût de l'électricité ER plus faible au Maroc, alors que le coût du transport présente une part plus faible.

La capacité du Maroc à capter une part substantielle de la demande mondiale de PtX (2)

H7: Les produits PtX peuvent, dans des conditions favorables, devenir économiques par rapport aux concurrents fossiles au-delà de 2030

- Diminution de l'écart de coût entre le PtX vert et le "X" des concurrents fossiles (leur coût de production augmente dû à la hausse du CO2 et du coût du carburant).
- Implique que les pays développés portent le prix du CO_2 à >90 €/t en 2050.
- L'économie dépend en outre des heures à pleine charge de l'électrolyse et de la production de PtX.
  - D'ici 2050, 4000 heures à pleine charge suffiront; ceci est compatible avec la production combinée solaire/éolienne de PtX non raccordée au réseau dans le sud du pays.
  - Avec l'énergie solaire à concentration (CSP) ou PV + batteries de stockage, on pourrait atteindre des heures à pleine charge plus élevées, mais à un coût ER plus élevé,.
- L'économie dépend également du coût du capital, car le PtX a un coût initial élevé.

La production d'ammoniac synthétique, une opportunité économique prometteuse pour le Maroc (1)

H8: la production d'ammoniac synthétique offre des opportunités au Maroc autant pour ses propres besoins que pour l'exportation

- Ammoniac : procédé à haute intensité énergétique/carbone pour les engrais et le stockage de l'énergie.
- Dans les deux applications, il y a des perspectives de croissance (x4 d'ici 2050).
- 50% de l'ammoniac d'origine fossile dans le monde pourrait être couverte en 2030 par des systèmes de tarification du carbone qui, combinés à la hausse des prix du gaz, pourraient entraîner une hausse des prix.
- Maroc : forte dépendance à l'égard de l'ammoniac importé en tant qu'intrants des engrais à base de phosphore (Ukraine, Trinidad % Tobaggo, USA…).
- D'ici 2030, ou quelque temps plus tard, l'ammoniac vert pourrait concurrencer l'ammoniac fossile dans des conditions favorables en ce qui concerne les heures de pleine charge et le coût en capital, surtout si l'ammoniac fossile est confronté au coût total du carbone.

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Supported by: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy
PAREMA Partenariat énergétique Maroc-Allemand Deutsch-Marokkanische Energiepartnerschaft
IRESEN Institut de Recherche en Energie Solaire et en Energies Nouvelles
Fraunhofer ISI

La production d'ammoniac synthétique, une opportunité économique prometteuse pour le Maroc (2)

H8 suite - stratégie en trois étapes

- Remplacer les importations par de l'ammoniac vert pour renforcer la fabrication locale d'engrais. Approche économique dans des conditions d'heures à pleine charge élevées pour l'électrolyse, de faibles taux d'intérêt et un coût modéré de l'électricité ER. D'ici 2030, environ 3 GW d'ER seront nécessaires pour produire 1 Mt d'ammoniac vert (importations actuelles au Maroc).
- Exporter de l'ammoniac propre vers les pays qui réduisent leurs émissions de gaz à effet de serre de 95 % en remplacement des procédés consommateurs d'ammoniac dans ces pays. D'ici 2030, le Maroc pourrait être en mesure de produire 1 à 2 Mt d'ammoniac vert supplémentaire pour l'exportation, compte tenu d'une expansion raisonnable d'ER.
- Exporter de l'ammoniac propre vers les pays qui réduisent leurs émissions de gaz à effet de serre de 95 % à des fins de production d'énergie. Il pourrait s'agir d'une stratégie viable et économique au-delà de 2030.

La production d'ammoniac synthétique, une opportunité économique prometteuse pour le Maroc (3)

H8 suite - configurations

- Éolien + PV en autonomie dans le sud du Maroc
  - très faible coût d'électricité ; aucun coût de connexion au réseau
  - environ 4500 heures à pleine charge
- Éolien + PV + CSP (ou PV + batteries) en autonomie dans le sud du Maroc
  - coût de l'électricité un peu plus élevé (en fonction de la dégressivité des coûts des CSP - désormais influencée par l'évolution en Chine) ; pas de coût de connexion au réseau
  - environ 6 à 8000 heures à pleine charge
- Éolien + PV + raccordement au réseau:
  - coût de l'électricité un peu plus élevé (coût de raccordement au réseau)
  - Le sud du Maroc à une certaine distance du réseau principal
  - environ 6 à 8000 heures à pleine charge
  - Contribution aux services d'équilibrage d'un réseau avec des parts d'ER élevées
- Près de la côte ou à l'intérieur des terres : Performance des ER, coût du transport, dessalement, dessalement, infrastructures....

Principes directeurs pour le développement du PtX au Maroc (1)

H9 Le développement de PtX doit s'accompagner d'un principe hiérarchique minimisant l'expansion nécessaire des ER

- Un principe "L'efficacité énergétique d'abord
- "Priorité aux énergies renouvelables" dans la poursuite de l'expansion du secteur de l'électricité (risque d'investissements échoués dans les cas de centrales gaz/charbon)
- Lorsqu'il y a des alternatives basées sur les ER avec des services similaires mais moins d'impacts, elles devraient être priorisées (utilisations électriques directes, ainsi que biomasses/biocarburants/biogaz durables compte tenu de leur disponibilité limitée).
- Applications PtX dans lesquelles le PtX n'a actuellement pas d'alternative
  - minimiser les impacts sur l'environnement (notamment l'utilisation du territoire en raison de la faible efficacité de la chaîne et de l'utilisation de l'eau)
  - le Maroc doit renforcer ces principes directeurs dans l'élaboration de sa stratégie énergétique 2050, en particulier s'il s'engage dans une stratégie très ambitieuse de réduction des GES avec ses propres besoins en PtX après 2030

Principes directeurs pour le développement du PtX au Maroc (2)

H10 Les critères de durabilité jouent un rôle important pour PtX au Maroc.

- Les critères de durabilité concernent en particulier :
  - origine du carbone dans le cas des vecteurs énergétiques synthétiques
  - consommation de terres
  - consommation d'eau
  - aucun chevauchement avec l'expansion des ER dans les pays concernés
- Le Maroc doit reprendre ces critères de durabilité dans l'élaboration de sa stratégie énergétique 2050, en particulier s'il s'engage dans une stratégie très ambitieuse de réduction des GES avec des besoins propres pour le PtX après 2030.
- Le Maroc devrait soutenir fermement le développement de tels critères de durabilité pour le PtX au niveau international. Il est dans l'intérêt du Maroc d'assurer le suivi de ces critères (risque d'investissements échoués, voir cas des biocarburants).

Prochaines étapes à court et moyen terme pour le PtX au Maroc (1)

Lier la stratégie énergie/climat 2050 et la stratégie PtX

1. Preparer la feuille de route pour une stratégie énergétique et climatique 2050 détaillée et d'objectifs énergétiques et climatiques 2050 pour le Maroc.

Développement d'une feuille de route hydrogène/PtX pour le Maroc

1. Elaboration d'une feuille de route pour l'hydrogène et les produits PtX dérivés pour le Maroc.
2. Elaboration d'une feuille de route d'infrastructure pour l'hydrogène et les produits PtX dérivés pour le Maroc.
3. Développement de critères de durabilité dans le cadre de la feuille de route hydrogène/PtX.

Prochaines étapes à court et moyen terme pour le PtX au Maroc (2)

Structures de gouvernance H2/PtX et marchés de l'électricité

5. Etude des structures de gouvernance d'une industrie marocaine de l'hydrogène et de l'ammoniac.
6. Etude de la conception du marché de l'électricité pour soutenir une industrie marocaine de l'hydrogène et de l'ammoniac.

RD&D et introduction sur le marché

7. Développement d'installations de R-D technologique et de démonstration d'une taille de plusieurs MW pour améliorer l'expérience en matière de technologies. Élaboration d'un plan d'introduction sur le marché.

Merci de votre ecoute! - شكرا جزيلا

Wolfgang EICHHAMMER
Responsable du Centre de Compétences Politique Énergétique et Marchés de l'Énergie
Institut Fraunhofer pour la Recherche dans les Systèmes et de l'Innovation ISI
Breslauer Strasse 48 | 76139 Karlsruhe | Germany

et

Université Utrecht, Institut Copernicus
Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht, Pays Bas

Tél. +49 721 6809-158 | Fax +49 721 6809-272
mailto: wolfgang.eichhammer@isi.fraunhofer.de
http://www.isi.fraunhofer.de

Back-up Slides for the 10 Hypotheses

IEA Projection Primary Energy Demand and impact on demand for PtX (➔ H1)

OECD Europe: New Policies Scenario

	Energy demand (Mtoe)							Shares (%)		CAAGR (%)
	1990	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2014	2040	2014-40
TPED	1 631	1 697	1 690	1 641	1 601	1 568	1 540	100	100	-0.4

OECD Europe: Current Policies and 450 Scenarios

	Energy demand (Mtoe)						Shares (%)		CAAGR (%)	
	2020	2030	2040	2020	2030	2040	2040		2014-40	
	Current Policies Scenario			450 Scenario			CPS	450	CPS	450
TPED	1 723	1 720	1 724	1 660	1 486	1 364	100	100	0.1	-0.8

Figure 11 Range of potential global PtX demand

Source: Frontier Economics

Source: IEA World Energy Outlook 2016; WEC/Frontier Economics (2018)

Supported by:

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

PAREMA

IRESEN

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Fraunhofer ISI

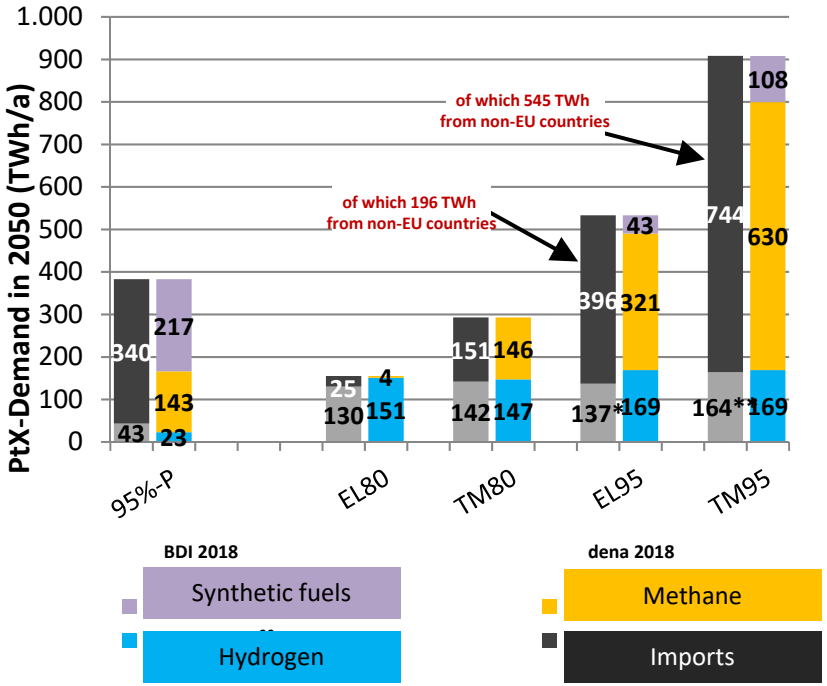
Demand Reduction of 50% is necessary and possible for reaching 1.5°C Scenarios (➔ H1)

Primary Energy Demand in Germany (TWh) – Long-term Scenarios 2050

	2008	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Mineral oil products	1.362	1.301	1.039	801	581	436
Hard coal	500	476	528	277	162	109
Lignite	432	420	317	221	67	4
Natural gas (fossil)	895	881	762	704	534	363
Nuclear energy	451	426	183	0	0	0
Renewable energy	319	393	556	634	817	882
Net electricity imports	-22	-18	-113	-46	-19	105
Other	58	70	79	60	41	25
Total primary energy	**3.994**	**3.949**	**3.351**	**2.650**	**2.184**	**1.923**
Reduction to 2008	*-*	*1%*	*16%*	*34%*	*45%*	***52%***

Frontier Economics/WEC (2018): *"Since Germany's energy demand is expected to be at least 75% of current demand in 2050 – even if the highest energy efficiency targets are achieved – the question as to how to meet this demand remains".*

PtX requirements are valuated differently.
PtX import is an important option in Germany (➔ H1)



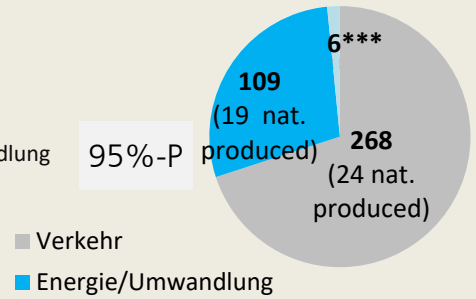
*53 GW installed electrolysis capacity in Germany (about 2,600 full load hours)
** 63 GW installed electrolysis capacity in Germany (about 2,600 full load hours)
*** for remaining oil and gas boilers in the building sector

Infobox

BDI 2018

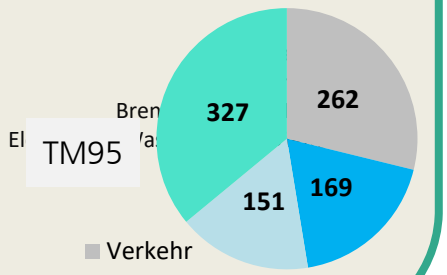
- Synthetische Brenn- und Kraftstoffe der Zielerreichung Treibhausminderung eingesetzt
- Für den Sektor Energie und Umwandlung (u.a. Fernwärme) werden 109 TWh an synth. Methan benötigt

Sectoral demand for PtX (TWh):



dena 2018

- Annahme für EL- und TM-Szenarien: dürfen neu entstehende von Wasserstoff (z.B. mit werden → bis 2050 steigt in Deutschland die Kapazität der Elektrolyseure auf ca. 60 GW an, in 2030 liegt die Kapazität bei 15 GW



Supported by:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

PAREMA

IRESEN

Fraunhofer ISI

Germany 95% Scenario Long-term Scenarios (2018) (➔ H1)

TWh	Total	Syn-fuels/synthetic methane	H2	Sustainable Biomass/-gas
Building	57			57
Transport	239	Share of 3 options open		
Industry	143	Share open	60	Share open
Service Sector	19			19
Transformation sector	50	Share open	50	Share open
Material use	94	Share open	61	Share open
		0-50	~ 170	<=400

Germany: Need for

- Syn-fuels/synthetic methane
- H2
- Sustainable biomass/-gas (taking into account available sustainable potentials)

in a 95% GHG reduction scenario. Partly competing options.

EW2

Own estimate of worldwide demand for H2 and Synthetic Fuels/Methane (➔ H1)

Potential demand PtX worldwide	2030	2050
Installed electrolyser capacity	55 - 126 GW	260 - 2865 GW
Volume H2 produced	267 - 605 TWh	810 - 5150 TWh
Potential amount of synthetic fuels/methane (assuming full conversion of H2, 80% efficiency)	320 - 726 TWh	972 - 6180 TWh
Market size (annual; only fuel sales, not equipment market)	45 – 102 Billion Euro	107 – 680 Billion Euro
For comparison: size of oil market at present prices is 2000 billion Euro annually		

EW3

Lower values for 80% GHG reduction and minimum uses of PtX; upper values for 95% GHG reduction and maximum uses of PtX

Source: Fraunhofer ISI (Wietschel et al.: Energy Technologies 2050; Frontier Economics (2018)

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Supported by: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

PAREMA Partenariat énergétique Maroco-Allemand Deutsch-Marokkanische Energiepartnerschaft

IRESEN Institut de Recherche en Energie Solaire et en Energies Nouvelles

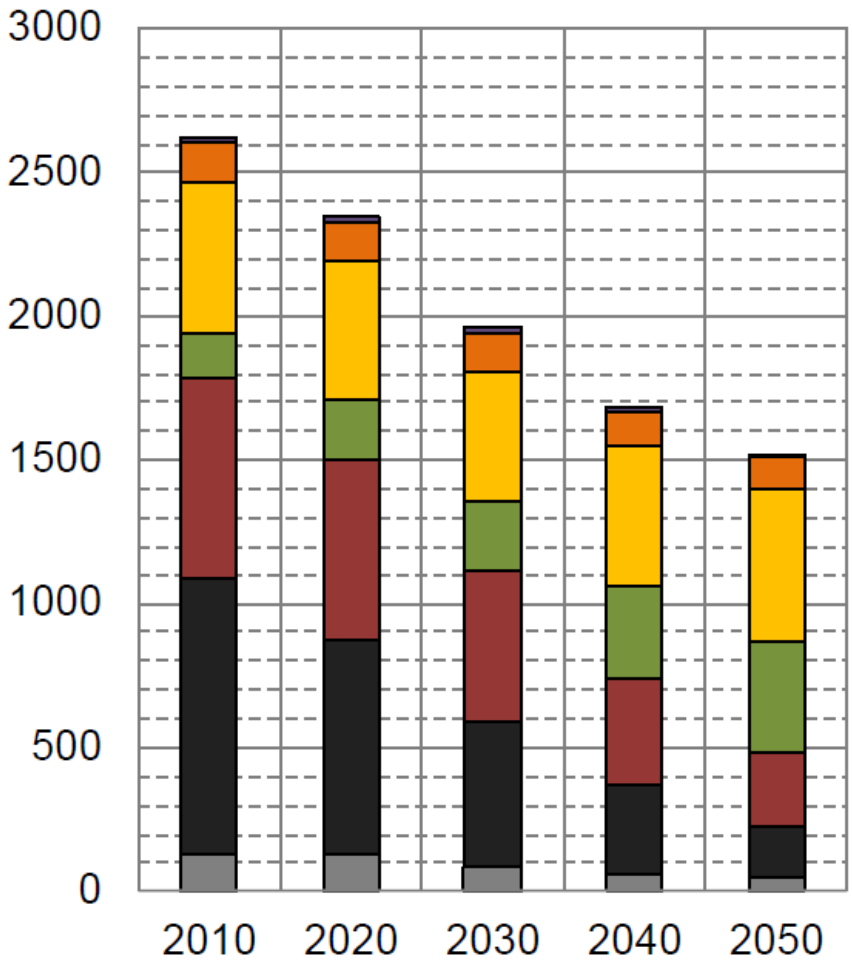
Fraunhofer ISI

Folie 27

EW2 Report Longterm-Szenarios - 95%
Eichhammer, Wolfgang; 22.11.2018

EW3 http://www.visualcapitalist.com/size-oil-market/
Eichhammer, Wolfgang; 26.11.2018

PtX requirements are valuated differently. PtX import is an important option in Germany. (➔ H2)

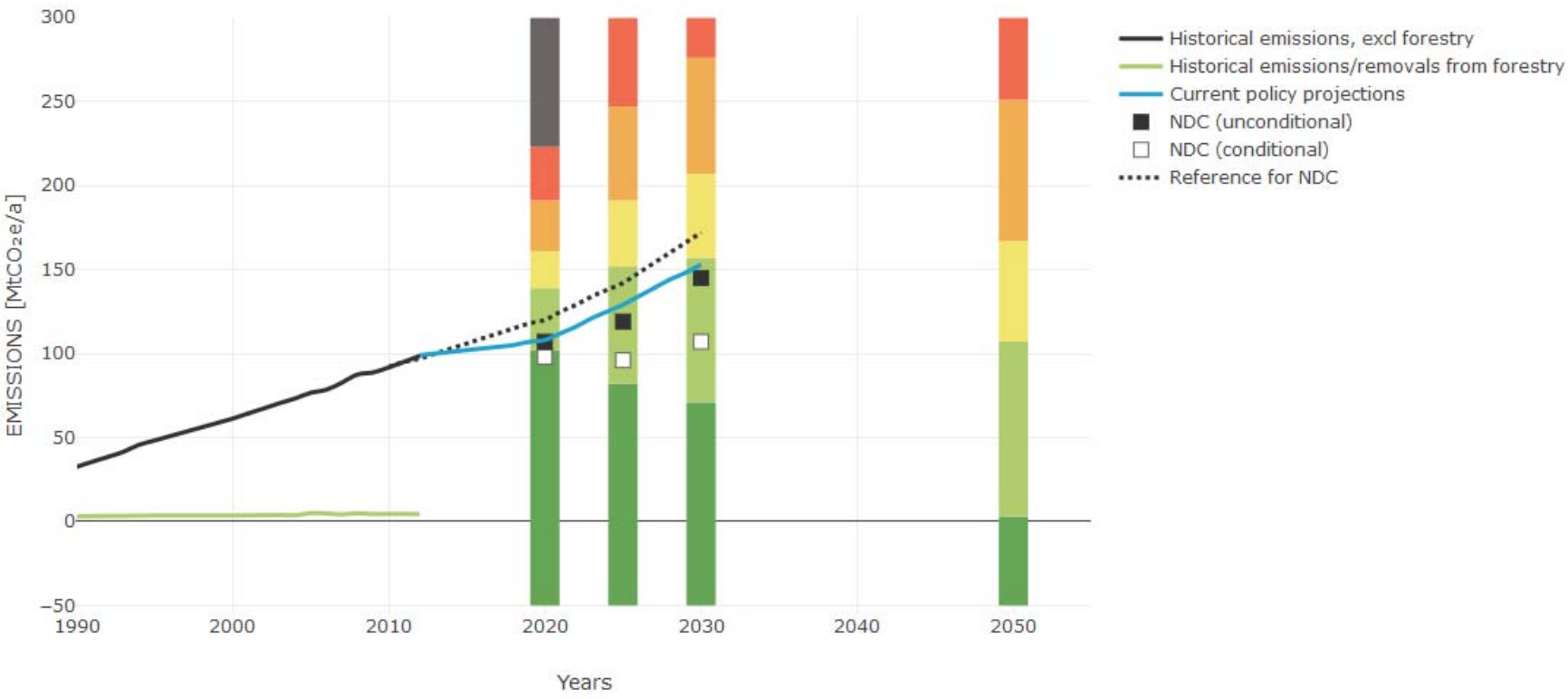


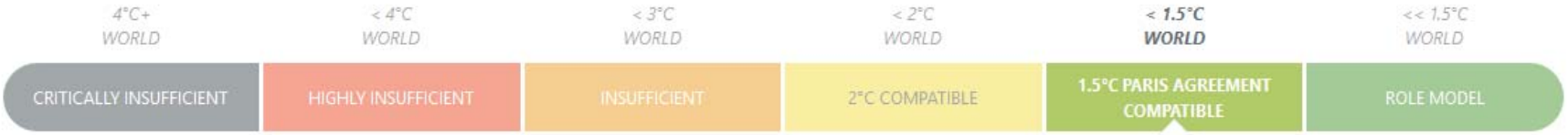
Final energy demand Germany, 80% GHG reduction, no PtX based on chemicals

- Other energy carriers
- Local and district heat
- Electricity
- Renewable energy sources
- Fossil gases
- Mineral oil products
- Coal

Source: Fraunhofer ISI – BMU Long-term scenarios (base scenario with 80% GHG reduction

Climate Action Tracker Morocco (➔ H3)





Energy Scenarios Morocco (➔ H4/H6)

- BMU Long-term Scenarios which includes EU-MENA region („low restriction scenario“: grid expansion, permitting, market integration of RES,...)

Power mix (MW)	2030	2050
Total installed capacity [MW]	**22,376**	**43,978**
Total installed RES capacity (incl. hydro) [MW]	**19,834**	**43,978**
RES share in installed capacity [%]	**89%**	**100%**
Wind onshore	9,714	16,908
Wind offshore	-	-
PV	4,468	13,412
CSP	4,335	12,340
Hydro	1,318	1,318
Gas CCGT	171	0
Gas OCGT	0	0
Hard Coal	2,370	0
Storage (pumped hydro)	466	466

- 100% RES in 2050, complete decarbonization,
- storage capacities remain constant
- Annual growth rate (2010-2030) wind: 19%/a, solar: 27%/a
- Annual growth rate (2010-2050) wind: 11%/a, solar: 18%/a

Energy Scenarios Morocco: Curtailment (➔ H4)

- BMU Long-term Scenarios (Fraunhofer ISI) which includes EU-MENA region („low restriction scenario“: grid expansion, permitting, market integration of RES,...)
- Exports and curtailment in Morocco

		2030	2050
flexible demand	Electricity demand, domestic [TWh]	- 75	- 130
net foreign import	Import-Export balance [TWh]	- 8	- 15
National Curtailment	Curtailment / Surplus generation [TWh]	- 1	- 5

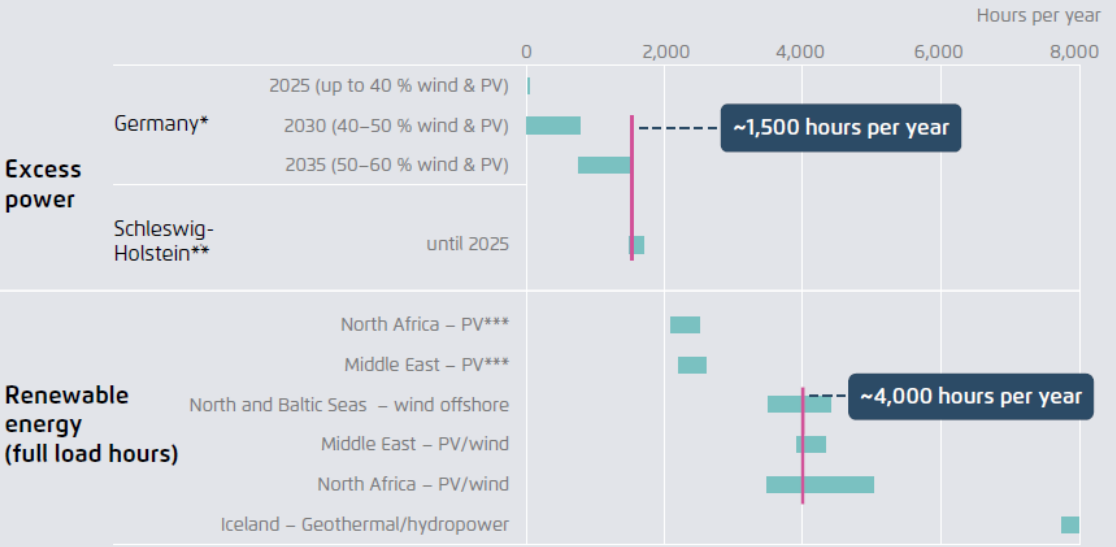
Findings on curtailment:

- optimized scenario has low curtailment / surplus generation even with very high RES share (but all scenario restrictions need to be considered, i.e. the results cannot be generalized)
- However, rather than working with a highly restricted electricity markets for high RES share, efforts should be made to remove restrictions such as barriers to grid expansion, permitting barriers etc.
- Limited amounts of curtailed electricity. Holds also for other scenarios, e.g. SET Roadmap

Availability of Excess RES Production Germany(➔ H4)

Excess renewables production in Germany versus the full-load hours of renewable electricity generation

Figure 4



* System balance surplus (negative residual load); based on 8 scenarios without a European power exchange by acatech et al. (2015). To reach the renewable production expansion targets in this period, wind and PV energy will have to be supplemented by biomass and hydropower.

** Maximum curtailment from grid bottlenecks through 2025 according to the wind power expansion targets of Schleswig-Holstein. This curtailment will cease after implementation of the planned grid expansion measures (ecofys/IWES 2014).

*** PV tracking systems.

Source: Frontier Economics (2018)

Possible RES Capacityies for Power Sector and PtX (MW) (➔ H5)

2030 Power Sector	2030 PtX	Share in world-wide PtX demand	Annual growth rate RES 2010 – 2030 (Power sector + PtX)
9.5 GW (52% target)	9.0 GW	1.9 - 4.2%	19% annually for wind 32% annually for solar
11.5 GW (65% target)	7 GW	1.4 – 3.3%	
18.5 GW (89% target)	-	-	

2050 Power Sector	2050 PtX	Share in world-wide PtX demand	Annual growth rate RES 2010 – 2050 (Power sector + PtX)
42.7 GW (100% target)	40 GW	1.0 - 6.2%	12.7% annually for wind 20% annually for solar

- At 2030 horizon possible trade-offs with reaching higher RES targets for power generation
- Higher annual growth rates may be possible but appear as quite ambitious

Energy Scenarios Morocco: Exports of Electricity (→ H6)

- BMU Long-term Scenarios which includes EU-MENA region („low restriction scenario“: grid expansion, permitting, market integration of RES,...)
- Exports and curtailment

		2030	2050
flexible demand	Electricity demand, domestic [TWh]	- 75	- 130
net foreign import	Import-Export balance [TWh]	- 8	- 15
National Curtailment	Curtailment / Surplus generation [TWh]	- 1	- 5

Findings:

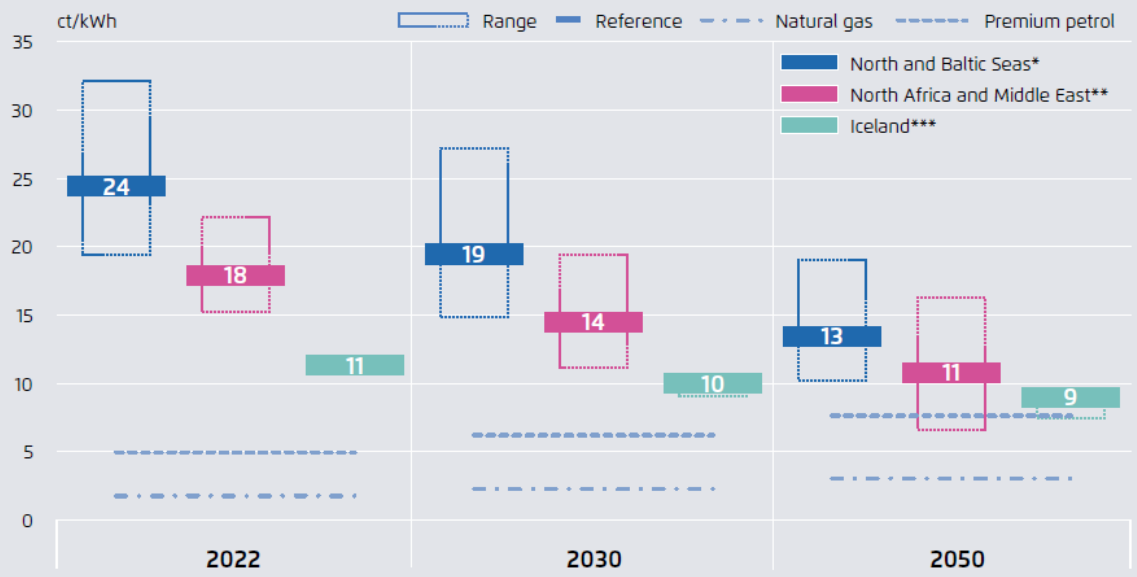
- optimized scenario has only moderate exports of electricity (15TWh in 2050) even with very high RES share → Assuming an optimized, connected EU-MENA electricity market, the export potential remains limited (but all scenario restrictions need to be considered, i.e. the results cannot be generalized)

Supported by:
Federal Ministry for Economic Affairs and Energy
PAREMA Partenariat énergétique Maroco-Allemand Deutsch-Marokkanische Energiepartnerschaft
IRESEN Institut de Recherche en Energie Solaire et en Energies Nouvelles
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Fraunhofer ISI

Cost of synfuels and synthetic methane (➔ H7)

Cost of synthetic methane and liquid fuels in cent$_{2017}$ per kilowatt hour final product (without network charges and distribution cost)

Figure 5



Note: Prices of natural gas and premium petrol are based on average values from scenarios by the World Bank and the IEA. Other cost reductions for PtG / PtL may result from advancements in PV, from battery storage that increases full load hours, and from especially large electrolysis facilities. Cost increases may result from higher cost of capital due to higher country risks.

* Offshore wind power
** PV and PV / wind systems
*** Geothermal / hydropower (total potential limited to 50 terawatt hours)

Note: 10 cents per kilowatt hour is equivalent to around 90 cents per liter of liquid fuel.

Own calculations based on Frontier Economics (2018), with weighted average cost of capital of 6% (values rounded).

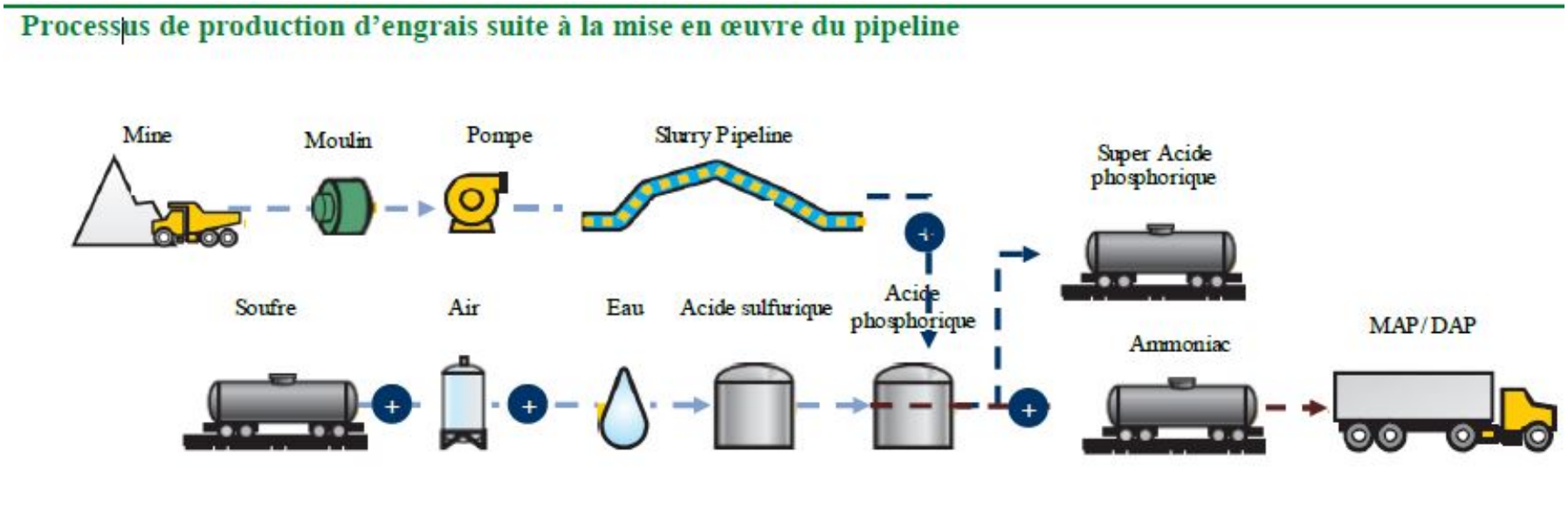
RES-based hydrogen cost for Morocco (➔ H7)

€/kg hydrogen	2015	2030	2050
Fossil-based hydrogen (SMR)	Europe: 1.8 €/kg US: 1.3 €/kg	2.3 €/kg (incl. carbon price 35 €/t CO_2)	3.45 €/kg (incl. carbon price 90 €/t CO_2)
Optimistic RES electricity generation cost from Agora/Frontier Economics (2018) for Morocco. Electricity price **excluding** connection cost of around 10 €/MWh. **8000 full load hours.**	3.5 €/kg RES production cost: 38 €/MWh	2.0 €/kg RES production cost: 23 €/MWh	1.2 €/kg RES production cost: 11 €/MWh
Pessimistic RES electricity generation cost from Agora/Frontier Economics (2018) for Morocco. Electricity price **excluding** connection cost of around 10 €/MWh. **8000 full load hours.**	4.0 €/kg RES production cost: 47 €/MWh	2.5 €/kg RES production cost: 33 €/MWh	1.9 €/kg RES production cost: 27 €/MWh
Optimistic RES electricity generation cost from Agora/Frontier Economics (2018) for Morocco. Electricity price **including** connection cost of around 10 €/MWh. **4000 full load hours.**	5.4 €/kg RES production cost: 48 €/MWh	3.3 €/kg RES production cost: 33 €/MWh	2.3 €/kg RES production cost: 21 €/MWh

Source: Own calculations, see Annex 2

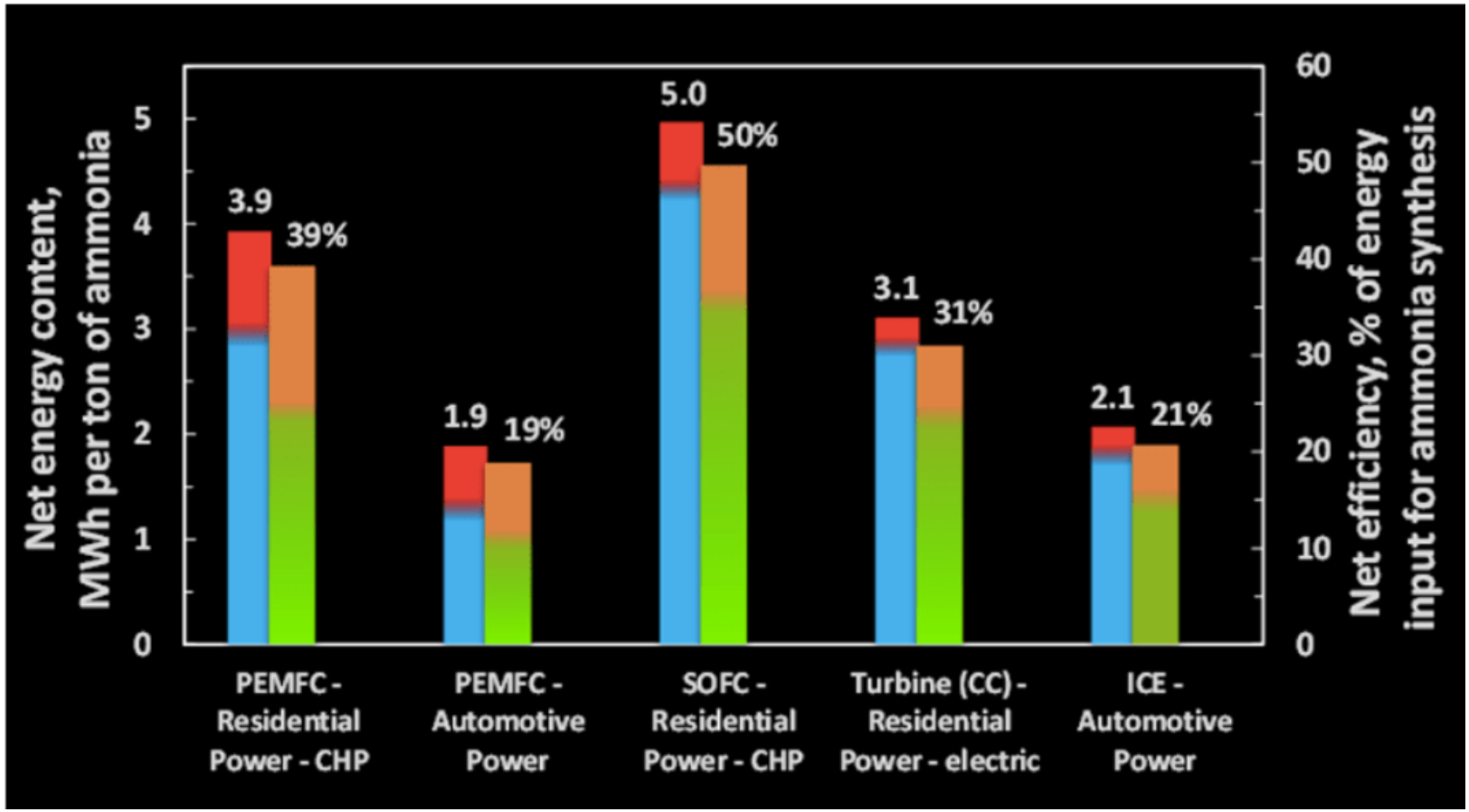
Fraunhofer ISI

Phosphate/Ammonia-based Fertilizers (➔ H8)



Source: OCP Group Annual Report

Round-trip Efficiency of Ammonia as a Renewable Energy Transportation Media (➔ H8)



Supported by:

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

PAREMA

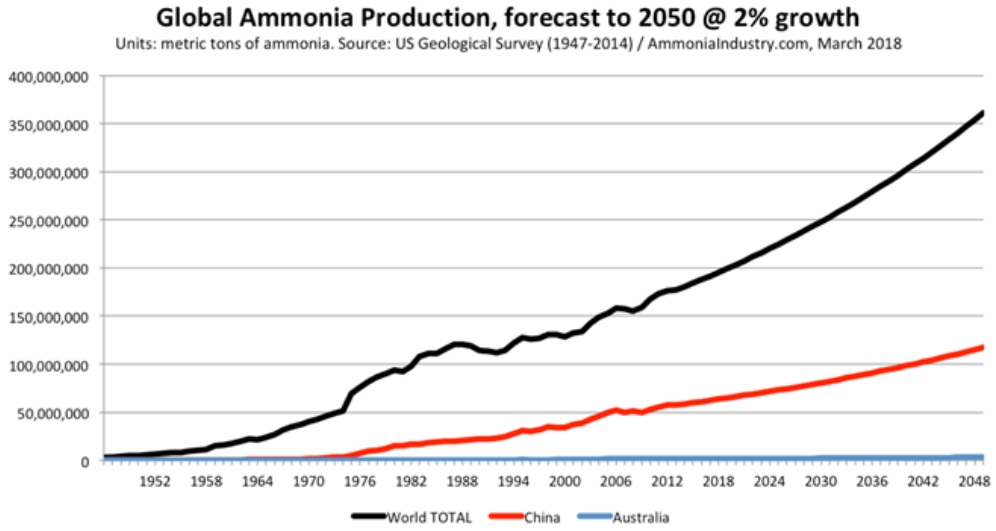
IRESEN

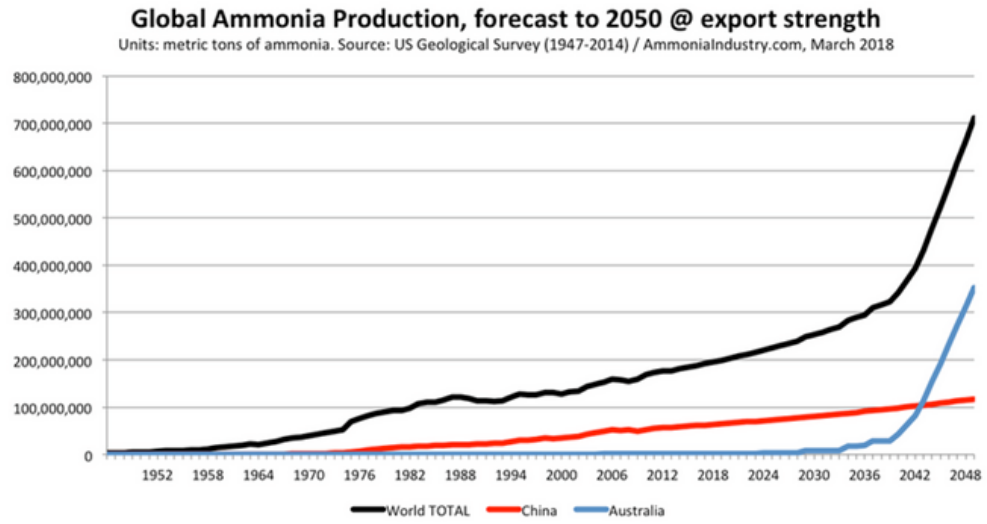
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Fraunhofer ISI

http://www.ammoniaenergy.org/round-trip-efficiency-of-ammonia-as-a-renewable-energy-transportation-media/

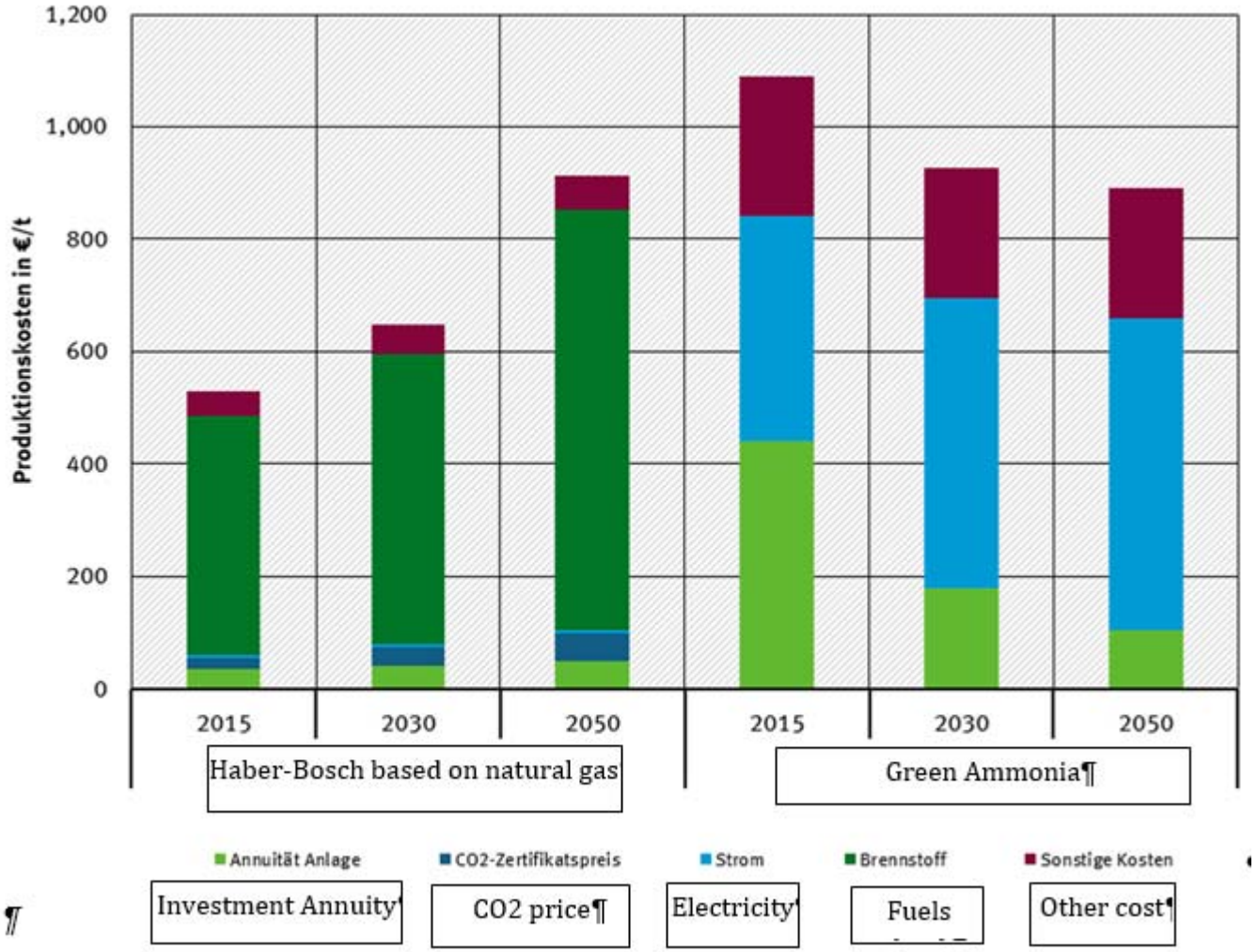
Possible growth in ammonia production up to 2050 due to increasing fertilizer use (upper figure) and due to the possible use of ammonia as an energy storage means (lower figure) (➔ H8)





Source: Brown, T. (2018)¶

Comparison of the specific production cost for ammonia production in Germany up to 2050 (95% GHG reduction requirement) (➔ H8)



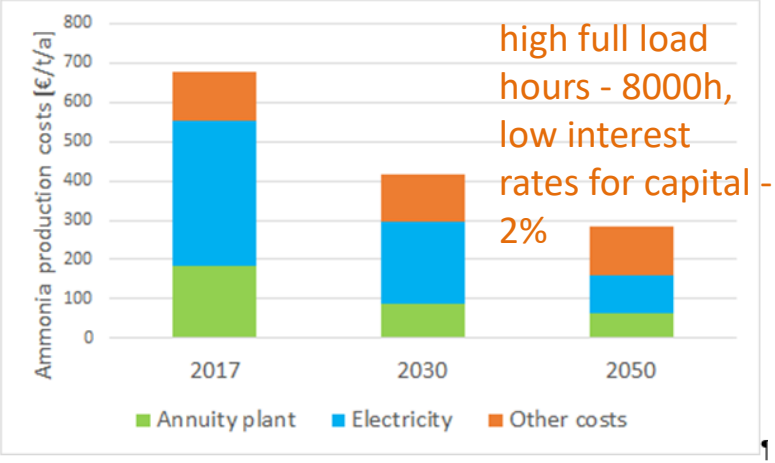
¶

Source: Fraunhofer ISI (2018)¶

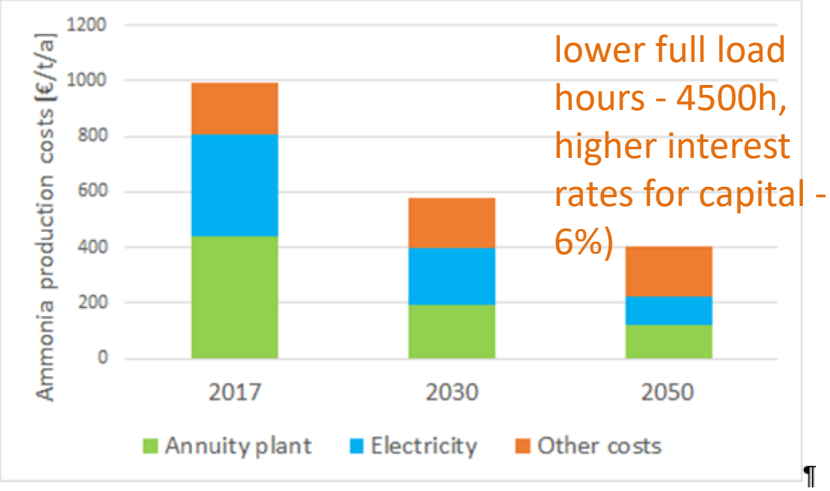
Fraunhofer ISI

Specific production cost for ammonia production in Morocco up to 2050 (under favorable conditions: left and less favourable conditions: right)(➔ H8)

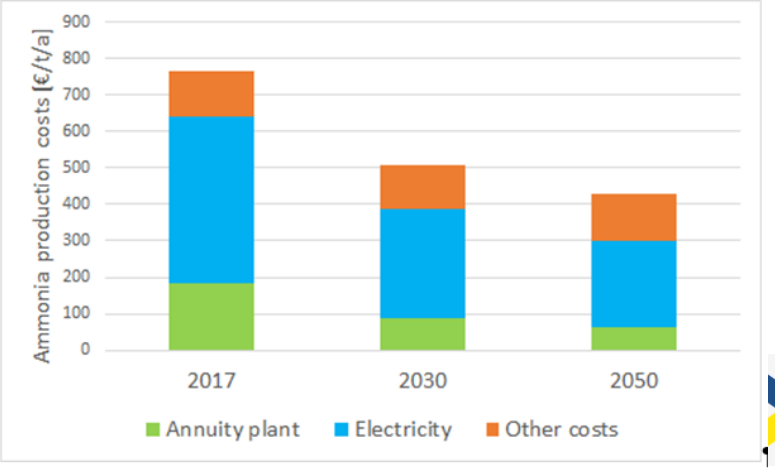
Optimistic development of RES cost (see Annex 3)



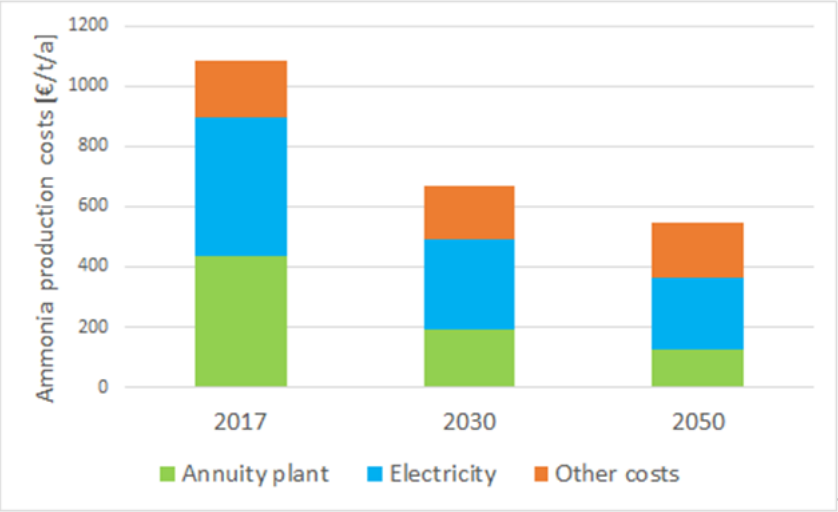
Optimistic development of RES cost (see Annex 3)



More moderate development of RES cost (see Annex 3)



More moderate development of RES cost (see Annex 3)



Source: own calculations

Source: own calculations

Overview of PtX technologies in different application areas (I) (➔ H9)

Field of application	Previous (fossil-based) technology	Direct electrification options	PtX-Technologies	Other renewable energy options
Transport				
Cars	Petrol and diesel engines Gas-powered vehicles	Battery-powered electric vehicles	Fuel cell vehicles Synthetic fuels	biofuels
Distribution by trucks (smaller size)	Petrol and diesel engines Gas-powered vehicles	Battery-powered electric vehicles	Fuel cell vehicles Synthetic fuels	Biodiesel, purified biogas
Heavy trucks	Diesel engines Gas-powered vehicles	Overhead contact lines on motorways	Fuel cell vehicles Synthetic fuels	Biodiesel, purified biogas
Rail transport	Electric drive Diesel engines	Electrification of non-electrified lines	Fuel cell vehicles Synthetic fuels	Biodiesel
Air transport	Turbines (kerosene)	No technologies foresee-able	Synthetic kerosene	Bio-based kerosene
Ship transport	Ship engines (heavy fuel oil, diesel), LNG in future	No technologies foresee-able	Fuel Cell Drive Synthetic Diesel Synthetic LNG	Biodiesel, purified biogas
Low-temperature heat for households, industry, trade, commerce and services				
Low temperature heat	oil, gas heating, district heating	Heat pumps, resistance heating	Synthetic gas	Biomass, -gas

Overview of PtX technologies in different application areas (II) (➔ H9)

Field of application	Previous (fossil-based) technology	Direct electrification options	PtX-Technologies	Other renewable energy options
Industry				
Industrial process heat	Gas burners Steam	Electrode boiler, Induction heating, Plasma process, Resistance heating	Synthetic fuels	Biomass, -gas
Steel (primary route)	Coke	Not possible	Hydrogen	Biomass, -gas
Refinery	By-product hydrogen, fossil hydrogen (mainly natural gas)	Not possible	Hydrogen	Biomass, -gas
Chemicals	Petroleum- and natural gas-based basic chemicals	Not possible	Synthetic raw materials	Biomass, -gas
Power supply				
Short-term stabilisation of the electricity grid, provision of flexibility	Flexible use of power plants Demand Side Management (DSM)/ Demand Side Response (DSR) Flexibilization of demand grid extension	Electricity storage (pump storage, batteries, ...)	Flexible mode of operation for electrolysis	Flexible power generation from biomass
Stabilisation of the electricity grid due to structural lack of renewable electricity generation (dark doldrums)	Flexible use of power plants Demand Side Management (DSM)/ Demand Side Response (DSR)	No technologies foreseeable	Synthetic gas for reconversion to electricity in power plants or fuel cells	Flexible power generation from biomass

Own presentation in Adaptation of: Ausfelder, F.; Dura, H.E. (Ed.): Options for a sustainable energy system with Power-to-X technologies. Challenges - Potentials - Methods - Impacts. 1st roadmap of the Kopernikus project "Power-to-X": Flexible use of renewable resources (P2X). Frankfurt a.M.: DECHEMA Society for Chemical Engineering and Biotechnology e.V.

PtX Direct Air Capture (➔ H10)

	Today	2030	2050
Direct air capture for PtG*	145	102	100
German cement industry		33	
Iceland cement industry		17	

* PV, North Africa, reference

Frontier Economics (2018)

Cost assumptions for CO2 production in Euro2017 per tonne of CO2

- Imported fossil carbon in PtX will be accounted for in a country's emission budget
- Frontier Economics (2018):
  - *"Shifting greenhouse gas emissions from one sector to another will just reduce the pressure to decarbonise. As a result, the sectors that benefit – for example, the buildings materials sector – have less incentive to innovate".*
  - "*Fossil CO2 from cement and steel production is a poor choice for PtL and PtG generation as well, even if regarded by many as a temporary solution*".
- Risks of DAC: High cost of DAC (uncertainties: previous cost estimates reached 500 Euro/t CO2); large footprint on land-use

PtX Direct Air Capture (➔ H10)

Banks of fans blow air through a carbon dioxide–capturing solution in this rendering of a direct air capture plant.
Carbon Engineering

http://www.sciencemag.org/news/2018/06/cost-plunges-capturing-carbon-dioxide-air

Background Slides: Advantages and Disadvantages of different PtX Technologies

	RES H2	RES Ammonia	Synthetic fuels/ Synthetic methane
Need for carbon	+	+	-
Need for water	-	-	-
Need for land	0	-	--
Experienced industry	+	+	+
Existing transport and distribution cycles	-	+	+
Change in infrastructures	-	+	+
Energy density	-	+	+
Chain efficiency	+	-	-
Toxicity	+	-	0

Synthetic fuels/Synthetic methane

The strong points

- No change in infrastructures
- Existing transport and distribution cycles
- Experienced industry
- High energy density

The weak points

- Low efficiencies
- Need for carbon
- Need for water
- Strong lobby who would like to produce large amounts

RES Hydrogen

The strong points

- No need for carbon
- Experienced industry
- Medium high efficiencies (compared to direct uses of electricity)

The weak points

- Change in infrastructures
- Transport and distribution cycles to be built up; though there is experience with hydrogen transport/distribu-tion at small scale
- Low energy density
- Need for water

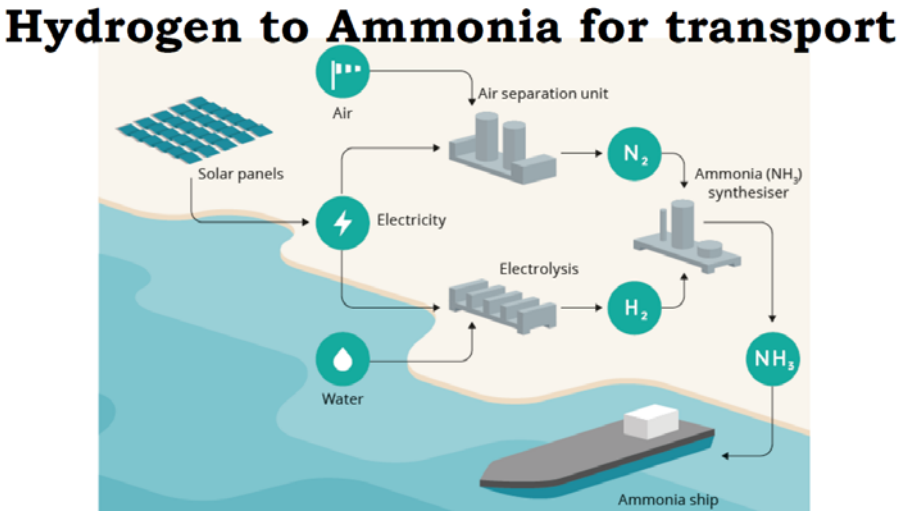
RES Ammonia

The strong points

- No need for carbon
- Experienced industry
- No change in infrastructures
- Transport and distribution cycles exist and well-experienced
- High energy density

The weak points

- Need for water
- Low efficiencies
- Toxic product



Supported by:
Federal Ministry for Economic Affairs and Energy
PAR
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Back-up Slides: International Trade of Morocco (based on UN Comtrade)

Morocco - International trade

- 60th largest export economy in the world.
- In 2016, Morocco exported $27.5B and imported $41.5B, resulting in a **negative trade balance of $14B**.
- The **top exports** of Morocco are Cars ($3.3B), Insulated Wire ($2.73B), Mixed Mineral or Chemical Fertilizers [a] ($2.08B), Phosphoric Acid ($1.21B) and Non-Knit Women's Suits ($1.21B).
- Its **top imports** are Refined Petroleum ($3.13B), Cars ($1.97B), Wheat ($1.15B), Petroleum Gas ($1.08B) and Insulated Wire ($891M).
- The **top export destinations** of Morocco are Spain ($6.16B), France ($4.72B), Turkey ($1.11B), Germany ($1.03B) and the United States ($1.02B).
- The **top import origins** are Spain ($6.76B), France ($5.18B), China ($3.77B), the United States ($2.55B) and Germany ($2.4B).

source: https://atlas.media.mit.edu/en/profile/country/mar/

[a] nitrogen, phosphorus, potassium

Back-up Slides: List of possible PtX R&D issues

7. **Technological R&D and demonstration plants of a reasonable size of several MWs which can enhance experience with technologies. Development of a market introduction scheme.:¶**
   - For any policy goals around hydrogen and ammonia to be achieved, further technology improvements as well as mass-market volumes are needed to drive cost-competitiveness in the broader energy system. ¶
   - If hydrogen is to become an internationally traded commodity, similar to LNG, supply chains will need to be demonstrated. R&D will be required across production, storage and transport to reduce the delivered cost.¶
   - Develop R&D and demonstration plants of a reasonable size of several MWs which can enhance experience with technologies, may in particular be required for:¶
     - Hydrogen electrolysis plants¶
     - Green Ammonia production technology and the links to fertilizer industry¶
     - Combustion technology for ammonia or reconversion to hydrogen for use in fuel cells¶
     - Direct air capture of CO_2 (DAC)¶
     - Combination of PtX with sea water desalination¶
     - Demonstration projects to supply hydrogen and ammonia to European countries¶
     - Research on linking electrolysis plants at the megawatt level with the power sector.¶
     - coupling of electrolysers with variable electricity supply (wind power plants, PV plants), because electrolysers are able to operate at very favourable partial loads.¶
   - Development of a market introduction scheme which could achieve already a certain market penetration of PtX products.¶

Fraunhofer ISI