

# ドイツのエネルギー政策と 自動車産業

—Dieselgateは発覚してよかったのか—

福澤啓臣

Dr. Hiroomi Fukuzawa

- **Energiewende**

- 

**エネルギー・ヴェンデ（転換）**

# エネルギーの三つの部門

- 電気

- 熱（暖房）

- 交通

- エネルギー供給及び消費構造の転換

# 具体的な目標

- 化石燃料減少（CO<sub>2</sub>排出削減）

- 脱原子力

# 直接の動機

- 石油危機（1970年代）
- チェルノブイリの原発事故（1986年）

フリッツ・ハーバー研究所/核分裂発見  
(現ベルリン自由大学)

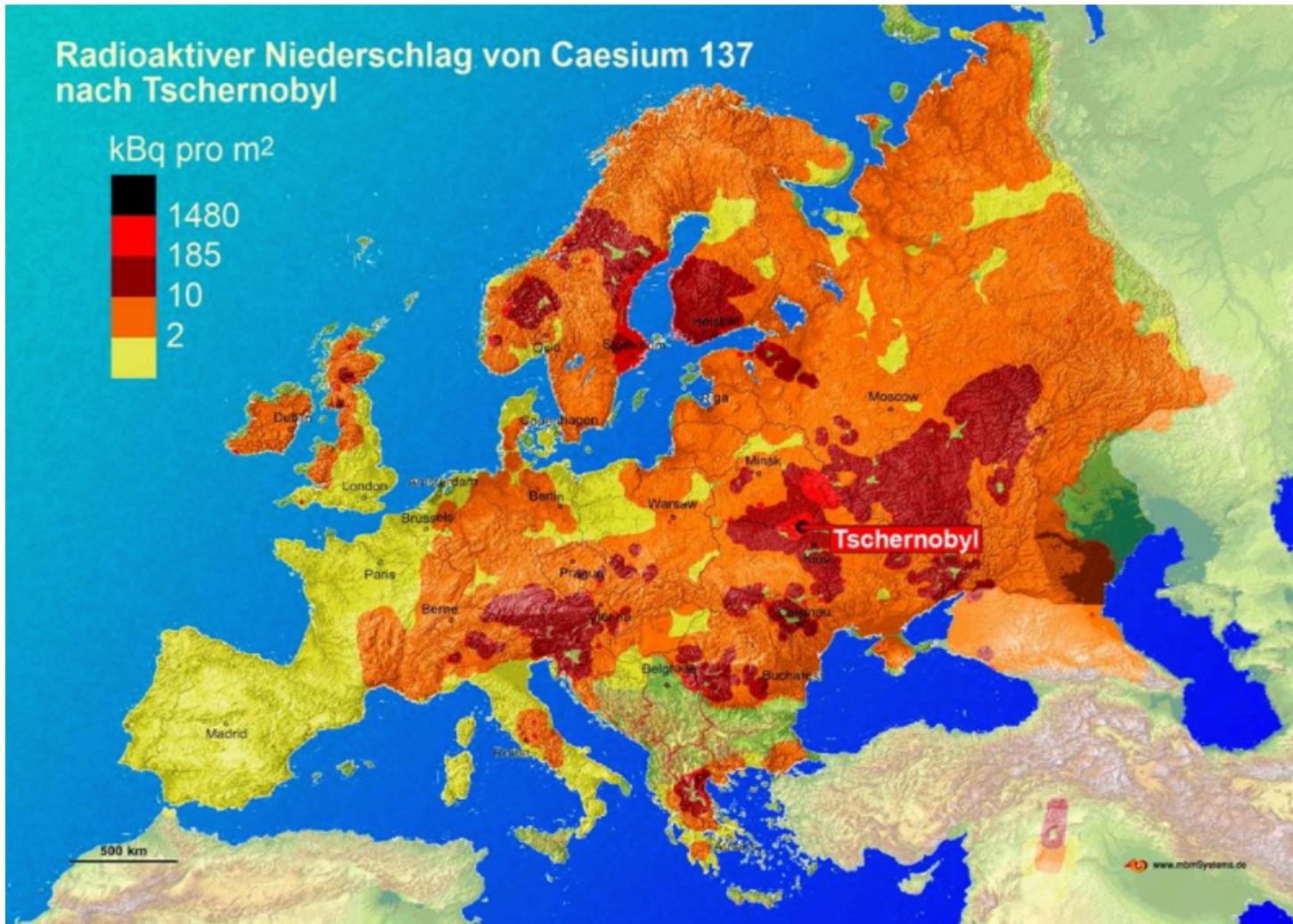


# 原子力エネルギーの歴史を振り返って

- 1938：ベルリンで核分裂を発見Otto Hahn, Lise Meitner, Fritz Straßmann
- ウラン235は1グラムで石炭3トン分のエネルギーを放出
- 1941：マンハッタン計画（原爆製造）
- 1945：原子爆弾：広島と長崎（ドイツの身代わり）
- 1953：核エネルギーの平和利用宣言（国連でアイゼンハワー）
- 1960年以来：原子力発電所建設（19基）
- 1972：「成長の限界」ローマクラブ
- 1973～80：石油危機

1986年4月26日：チェルノブイリ原発事故





# チェルノブイリ訪問（2016年4月）



# 新石棺



# チェルノブイリ・ホテル（16km地点）



# プリピチャ市の観覧車



# サマシヨール（マリアさん） 84歳



# 反・脱原子力エネルギーの歴史（1）

- 1970年代に反原発運動 (Wyhl, Freiburg)
- 緑の党（1983年に連邦衆議院：5%条項）
- 1986年4月26日：Tschernobylの原発事故とドイツ人
- 多数の反原発市民団体誕生
- ゴアレーベン：核廃棄物中間貯蔵所
- フランスで処理された使用済燃料を鉄道で運ぶ
- 農民、全国から若者・市民が駆けつける
- 機動隊の過剰警備
- 高速増殖炉：1971 - 1985 - 1991（放棄・廃炉）

ゴアレーベン

Gorleben





# 農民はトラクターに乗って反対デモ



# 機動隊に囲まれて





# 羊も動員



# キャスク運搬貨車



鐵路に鉄の鎖で自分の体を縛り付けて抵抗



## 反・脱原子力エネルギーの歴史（2）

- **2000**：シュレーダー・フィッシャー（赤緑）政権最初の脱原発
- 原発の稼働期間：**32年**
- **2010年10月**：メルケル首相・脱原発を覆し、稼働期間**12年延長**
- **2011年3月11日**：福島第一事故とメルトダウン
- **2011年5月末**：メルケル首相・脱原発に急旋回
- **2022年**にすべての原発の稼働停止
- 現在**8基**の原発稼働
- **2031**：核廃棄物最終処分所選びの基準決定
- **2051**：核廃棄物最終処分開始（ワンススルー方式）



# アッセ鉱山：核廃棄物処分場



整頓好きなドイツ人ばかりとは限らない



## 再生可能エネルギー（電力）の歩み

- 再生可能エネルギー促進法：1990年
- FIT（固定価格買い取り制）導入：2000年
- 再エネ電力優先受給
- メリットオーダー（市場：限界費用の安い電力から売られる）
- 電力市場自由化（EUの圧力）：2005年
- 発電・送電・配電分離
- 市民団体による再エネ発電所設立多数（主に太陽光）
- 2014年：FITから市場直接販売（市場プレミアム）へ
- 2017年：公募入札制(4～5Cent/kwh)と目標回廊制

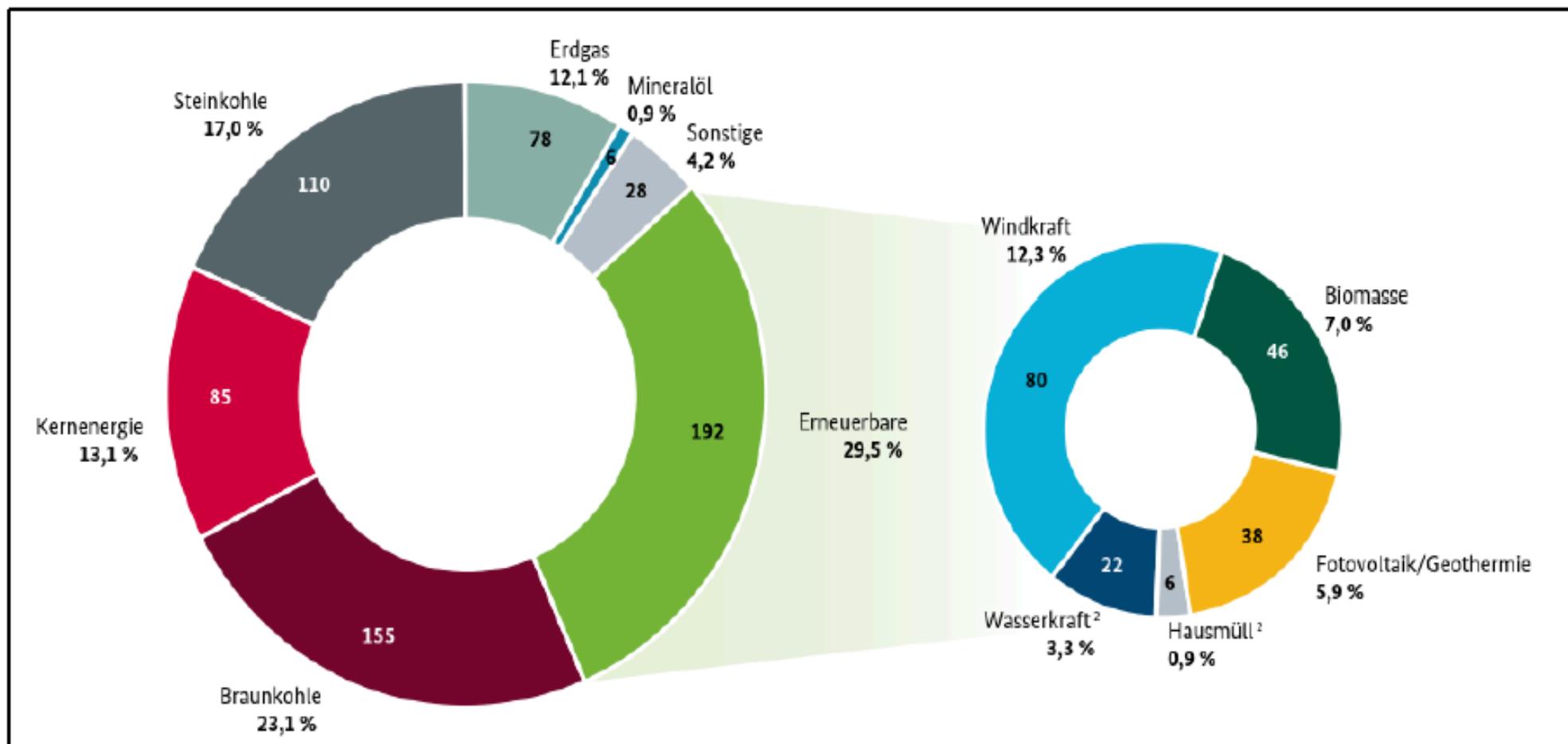


図 23：再生可能エネルギーによる発電量割合（2016 年）

出所：連邦経済エネルギー省、「Energiesaten」、2017 年

# 川口マーン恵美氏

- **20年前**に電力自由化を始めたドイツでは電気代は下がらず、平均的な家庭で負担している再エネ賦課金は、すでに月々**21ユーロ（2700円）**に達している。その横で、増え続ける再エネの尻拭いばかりさせられる**電力会社は、配当金もろくに出せないほど落ちぶれてしまった。**
- このようなドイツを評価しているのは**日本の野党**だけである。
- （日本原子力学会誌、2017年5月9日記。Vol.59、No.8）

# 市民による再エネ促進

表 4 太陽光発電事業の投資元

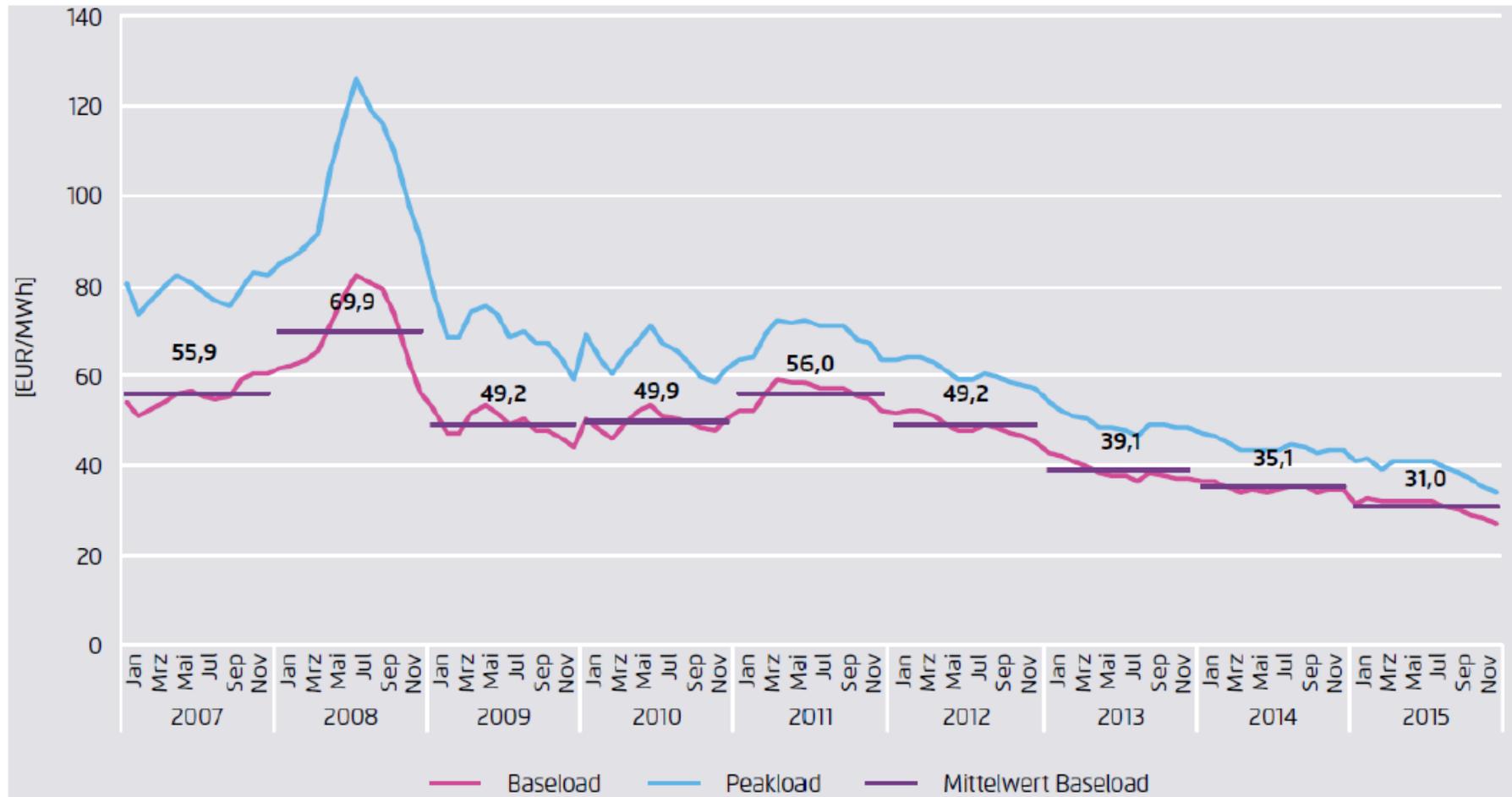
	太陽光発電設備容量 (2012 年末)	2012 年に稼働した太陽 光発電設備
市民エネルギー	15.5GW (48%)	40 億 3000 万ユーロ (30.4%)
その内 —狭い意味での市民エネルギー	15.3GW (47%)	39 億 6000 万ユーロ (29.9%)
機関投資家	15.7GW (49%)	85 億ユーロ (64%)
電力会社	1.1GW (3.5%)	7 億ユーロ (5%)
合計	32.4GW	133 億ユーロ

出所：Institut für ZukunftsEnergieSysteme、「Nutzeneffekte von Bürgerenergie」、2015 年

# 再エネ発展を支える組織

- Energie-Genossenschaften (エネルギー公益法人)
  - Energie-Stadtwerke (エネルギー都市公社)
  - e.V.= eingetragener Verein (登録公益法人)
  - 例：Stadtwerke München
- 
- 太陽光発電への投資 (2012)
  - **市民エネルギー** **48%**
  - **電力会社** **3.5%**

# 近年のドイツ卸売電力市場価格の推移



# ドイツの電力取引

- 相対取引 (直接取引 : OTC = Over the Counter : 最も多い)
- ライプツヒ市場 (独、仏、墺の電力 : 先物 : 6年先まで)
- パリ市場 (独、仏など5カ国の電力取引 : 2日間)
- ベースロード (1日の基本需要) 取引
- ピークロード (8時から20時まで) 取引
- オフピークロード (20時から24時まで) 取引
- 電力卸値は再エネのためにどんどん安くなっている。
- **天気予報が重要**

# パリのスポット電力取引所の日データ

EPEXINTRADAY <span style="float: right;">More +</span>						
CONTINUOUS						
Delivery Day : 25/10/2017						
	Index (€/MWh)		Daily Volume (MWh)		Monthly Volume (MWh)	
	Base	Peak	Exchange	OTC	Exchange	OTC
DE/AT	33.81	38.13	↗ 131,481	↘ 109	3,118,512	4,591
FR	59.99	66.65	↘ 16,285	↘ 0	346,351	6,516
NL	42.72	50.88	↘ 3,271	0	114,677	0
BE	63.28	75.00	↘ 3,500	0	78,616	0
CH	63.52	66.75	↗ 7,686	0	133,308	450

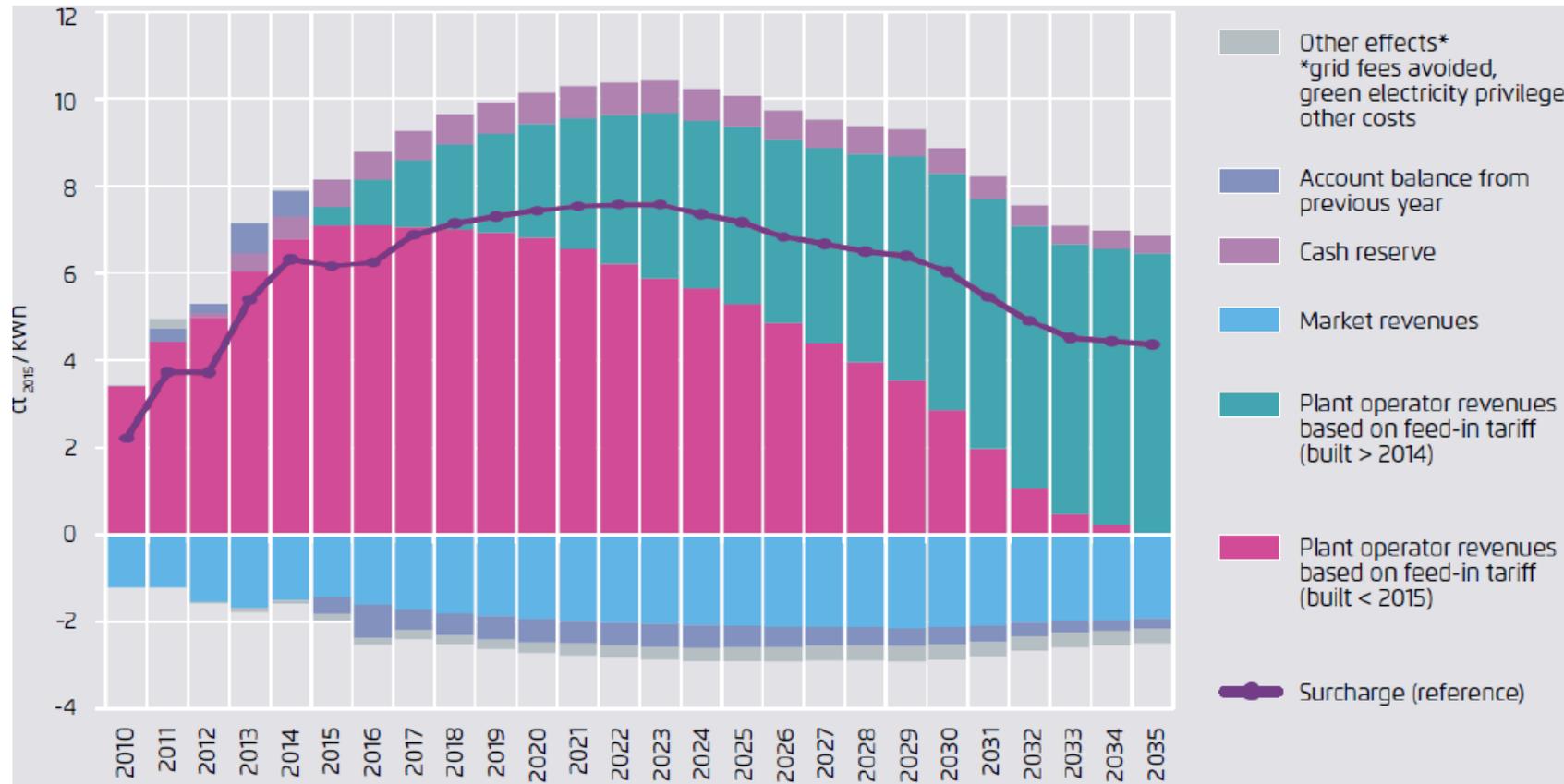
  

AUCTION						
	Price (€/MWh)		Day	Volume (MW)		Delivery Day
	Base	Peak		Month	Month	
15-minute Call DE	↘ 28.40	↘ 33.78	↘ 68,349	1,731,854	1,731,854	27/10/2017

## ドイツ家庭電気料金の内訳 (30セント/kWh)

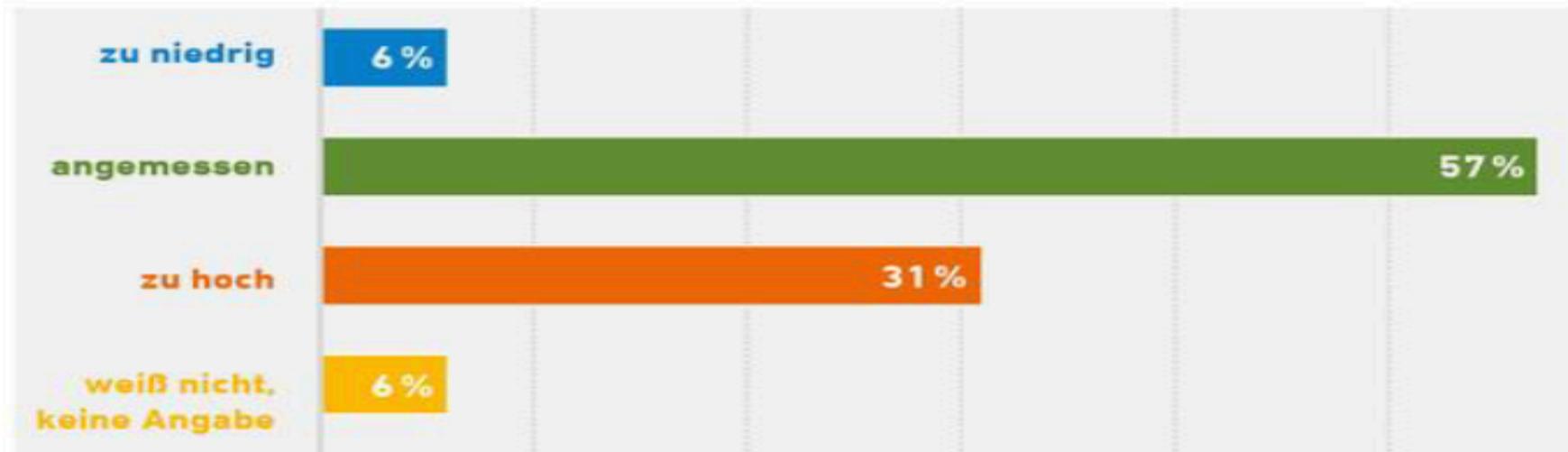
• 1) 24.9%は発電料とマージン	: 7.5	: 9
• 2) 22.1%は送配電線とメーター	: 6.6	: 7.92 (円)
• 3) 22%は固定価格買取 (FIT)	: 6.6	: 7.92
• 4) 16%は消費税	: 4.8	: 5.76
• 5) 7.2%は電気税	: 2.16	: 2.59
• 6) 7.8%はその他	: 2.34	: 2.81
• 合計	30	35
• 日本		24円 (2013)

# 再エネ賦課金の推移



## Angemessenheit der EEG-Umlage

Der Ausbau der Erneuerbaren Energien im Strombereich wird über den Strompreis finanziert. Zurzeit bezahlt ein typischer 3-Personen-Haushalt mit 3.500 Kilowattstunden Jahresverbrauch rund 84 Euro pro Monat für Strom. Darin sind etwa 18 Euro Umlage für die Förderung von Erneuerbaren Energien enthalten. Halten Sie diesen Beitrag für Erneuerbare Energien für ...?



Quelle: Umfrage von TNS Emnid im Auftrag der Agentur für Erneuerbare Energien, 1.006 Befragte  
Stand: 8/2015



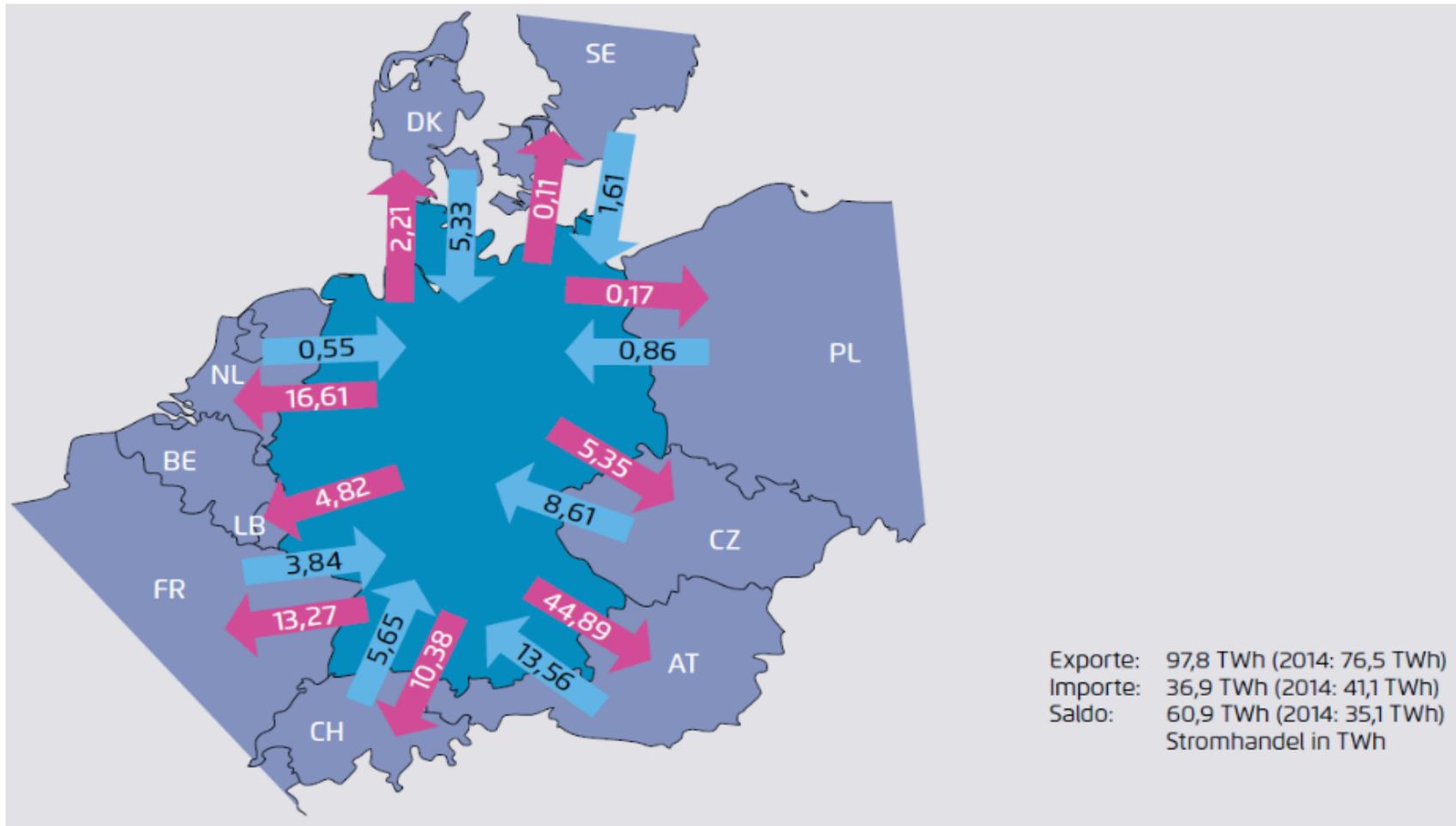
AGENTUR FÜR  
ERNEUERBARE  
ENERGIEN  
unendlich-viel-energie.de

図 40 EEG 賦課金に対する意見

## 三好範英（のりひで）氏：読売新聞

- 1) ドイツの電気料金の高騰。20年から25年まで上がる。
- 2) 電気の安定供給が危うくなっている。北から南への送電網建設が進まない。さらに外国に頼っている。
- 3) 需給のバランスが崩れそうになった時は、「給電指令」。その補償が必要。消費者にしわ寄せがくる。
- 4) CO2排出が一向に減らない。2020年までに1990年比で90%の削減は達成できない
- 5) 電気自動車を2020年までに百万台という目標は全く達成できない。
- 6) エネルギー転換は全く合理的な判断に基づいて始めたことではない。イデオロギー的な動機に基づいて始めた。ドイツ人は合理的な判断よりもロマン主義的な性格がもともと強かったのだ。
- （日本原子力学会誌、2017年5月10日記、No.59. Vol.8）
- \*マーン氏も三好氏も脱原発を全く評価していない。当然と言えば当然だが。

# ドイツと隣国の電力輸出入状況



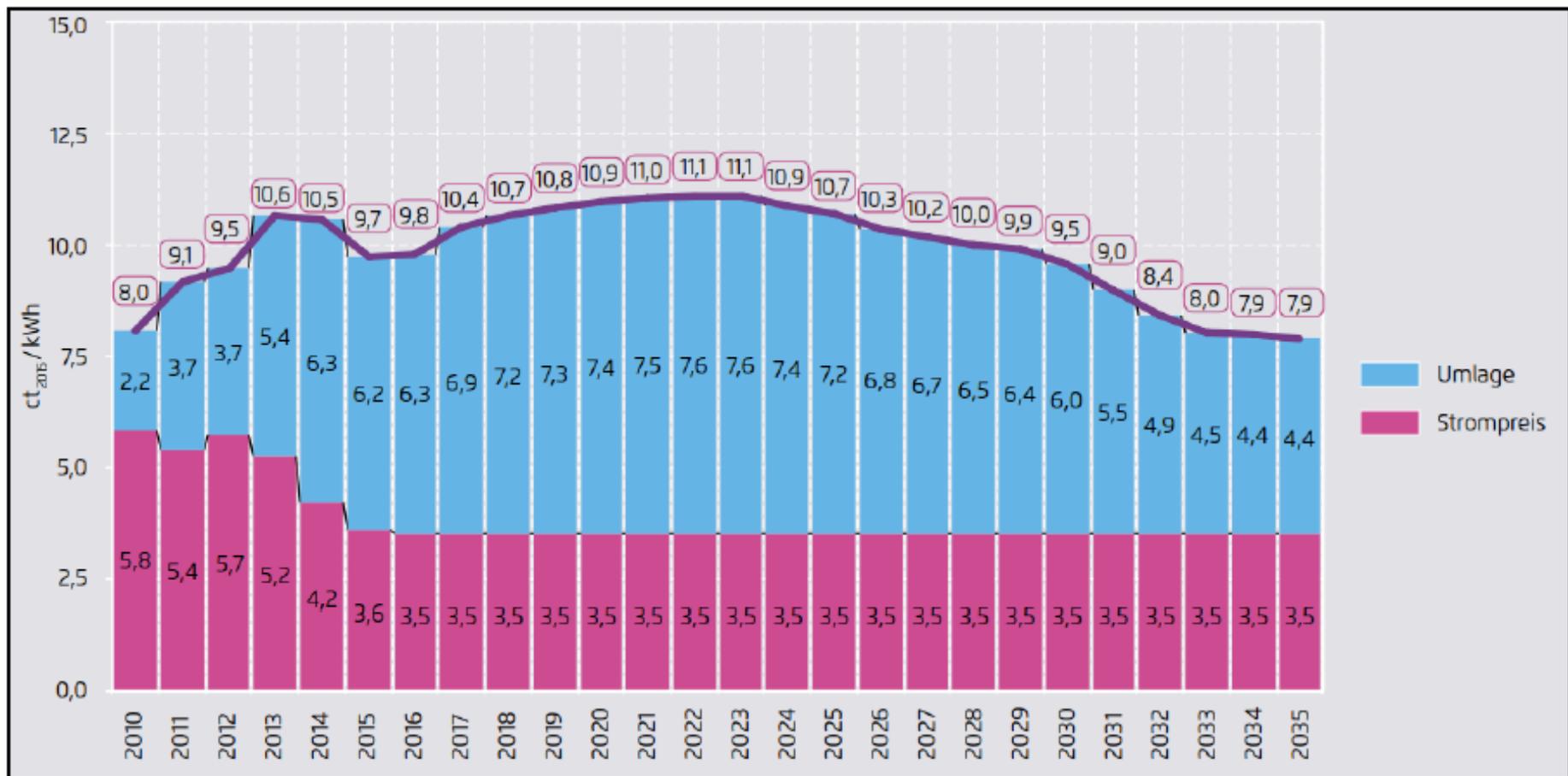


図 35 電気代の推移予測 (2010~2035年)

出所：Agora Energiewende、「Die Entwicklung der EEG-Kosten bis 2035」、2015年

注：EEG 賦課金と Phelix Base Year Future の合計

目先の利益（日本？）、先行投資（ドイツ？）

- **Generationsgerechtigkeit**: 世代間の公平
- **Generationssolidarität**: 世代間の連帯

# 電力消費に占める再エネ比率の伸び

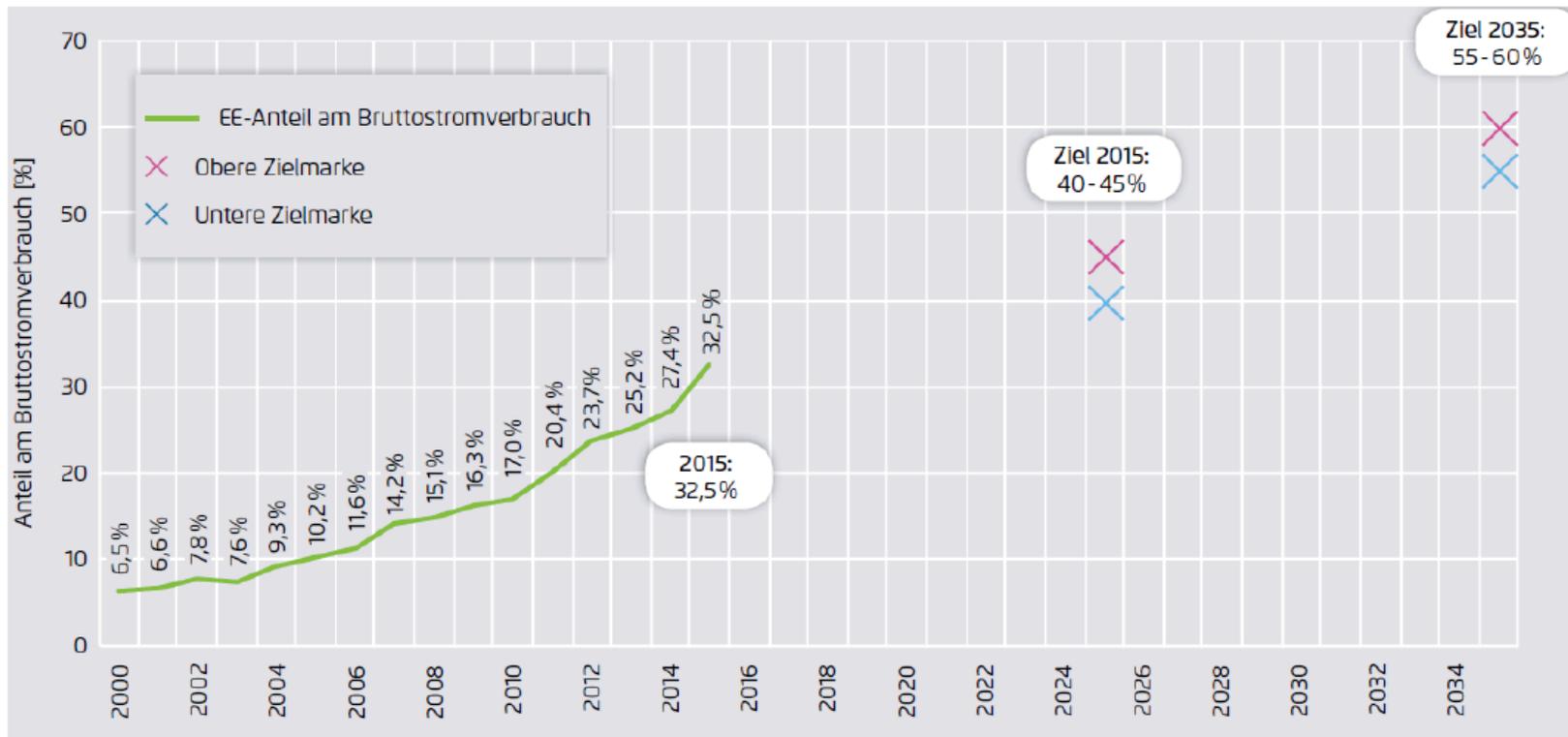
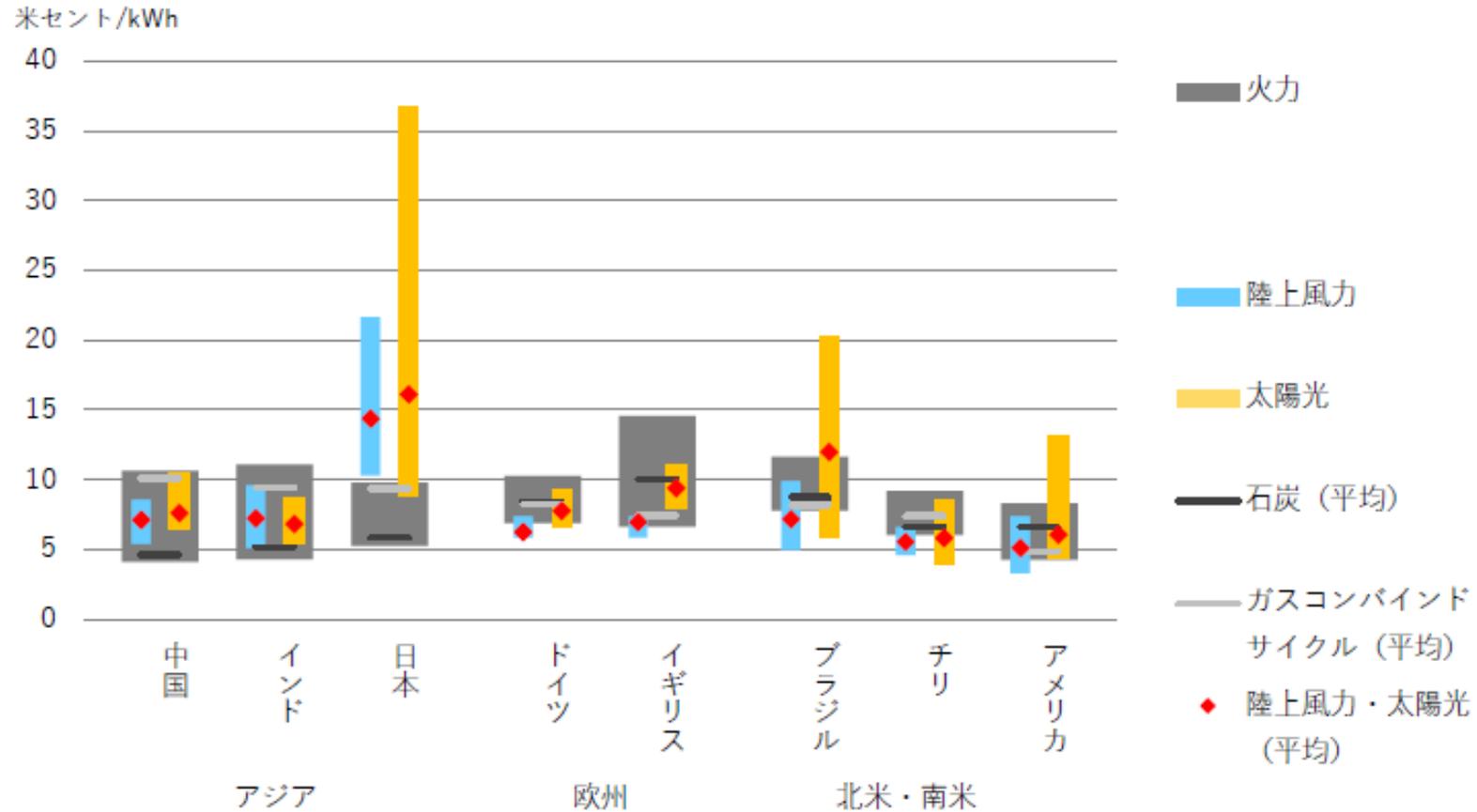


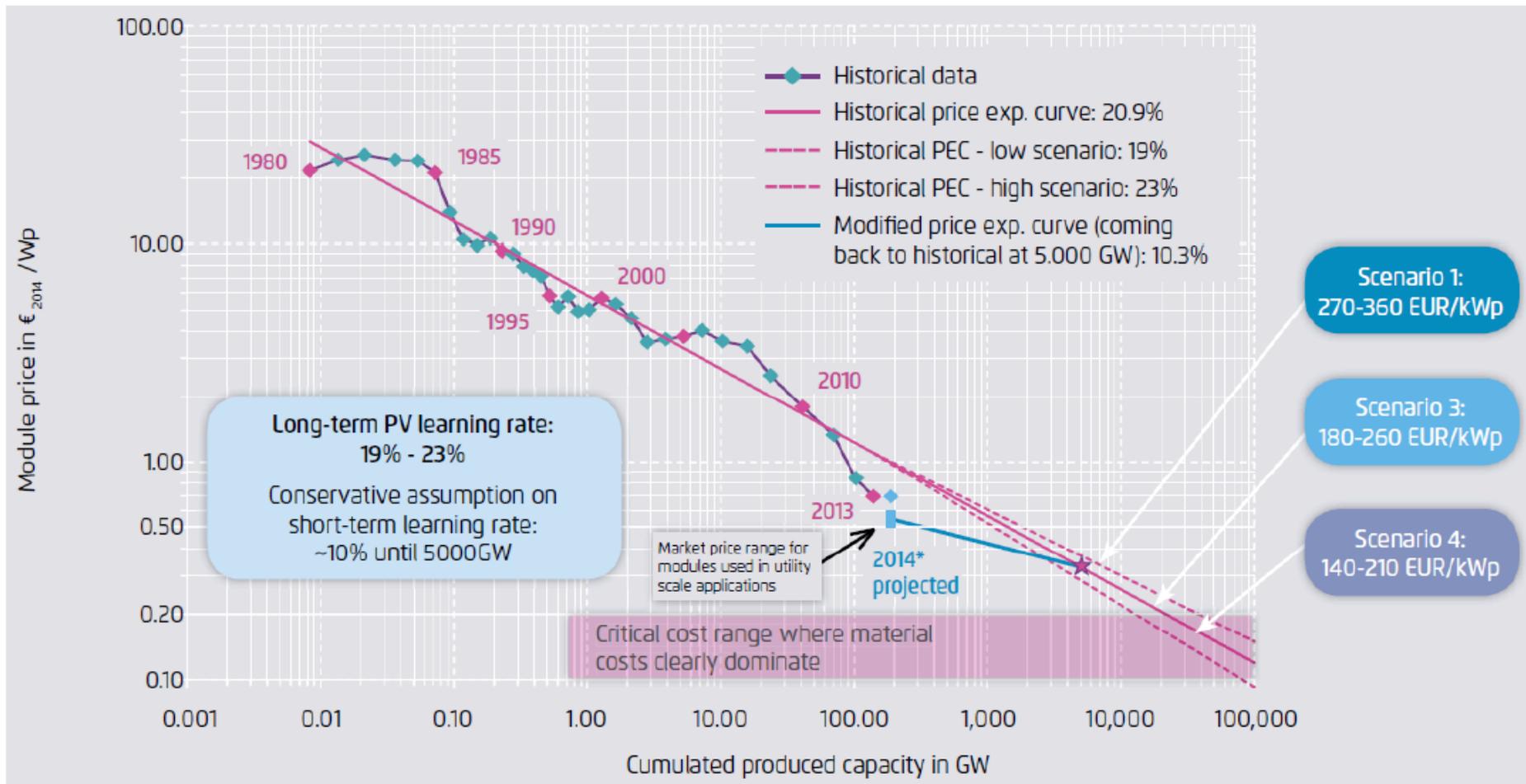
図 3：世界の主要国における発電コストの比較（LCOE、2017 年上期）



注：火力には石油火力発電を含まない

出典：BNEF [Levelized Cost of Electricity] April 2017

# 太陽光発電の「歴史的学習曲線」



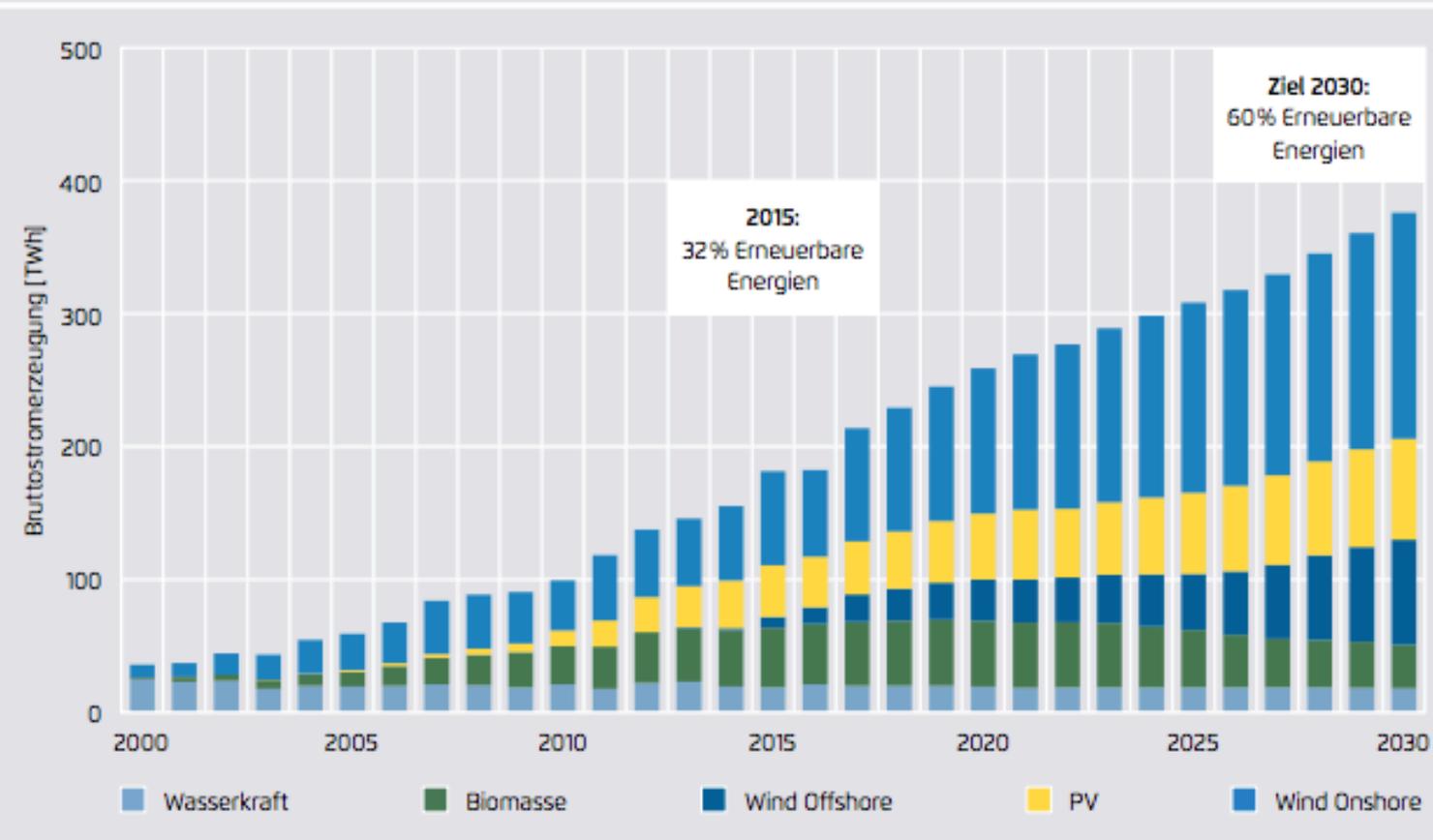
# 学習効果と学習曲線

- **学習曲線**：累積生産量が2倍になるとき、生産コストや生産に要する時間が一定割合だけ低下する。
- 太陽光発電の学習曲線：約20%で、製造規模が**倍**になるときにコストが**20%**下がる。
- 太陽光パネルの変換効率：**20%**を超える。
- 風力発電のコストも急激に下がっている(4-5 Cent/kWh)。
- **原発は学習効果がないどころか、高騰し続けている。**



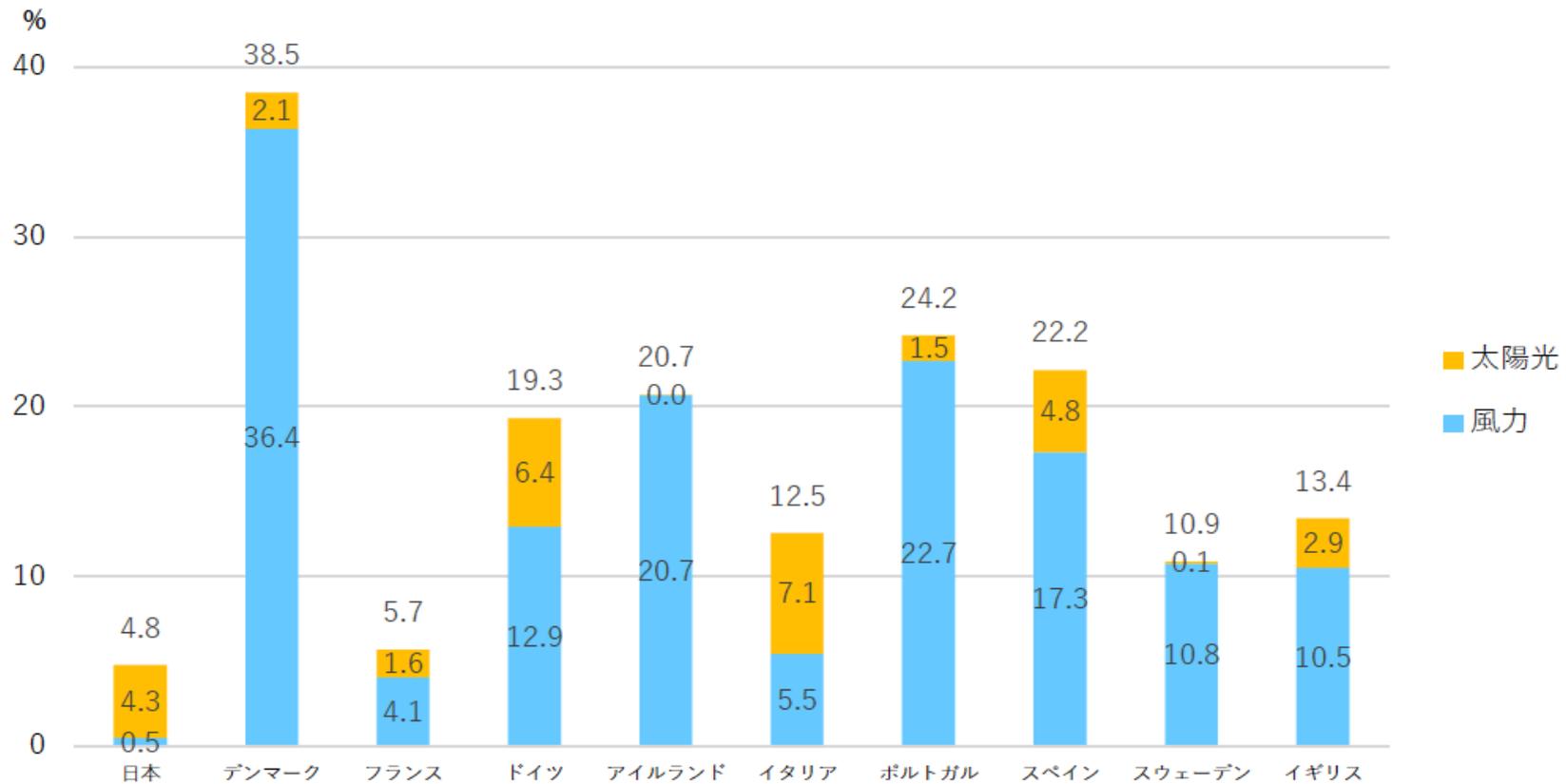
Im Zentrum stehen Wind und Solar: Die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien wird sich bis 2030 in etwa verdoppeln

Abbildung 21



AGEB (2017b), eigene Berechnungen auf Basis Öko-Institut (2017a)

図 4：欧州の主要国と日本の太陽光・風力発電の比率（2016 年）



出典：IEA 『Electricity Information 2017』

表 1 ドイツのエネルギー関連目標

目標	2020年	2030年	2040年	2050年
温室効果ガス削減 (1990年比)	40%削減	55%削減	70%削減	80～95%削減
再生可能エネルギー比率 (最終エネルギー消費)	18%	30%	45%	60%
再生可能エネルギー電力比率	35%	50%	65%	80%
1次エネルギー削減率 (2008年比)	20%	年率2.1%で改善		50%
電力消費削減率 (2008年)	10%			25%

出所：ドイツ連邦政府、「エネルギーコンセプト」、2010年

# 再エネ優等生のドイツ

- ただし、脱原子力+電力に限る
- 現在：風力・バイオマス・太陽光
- 将来：風力・太陽光
- 2030：50～55%
- 2040：65%
- 2050：80%(65～70兆円)

# ドイツは2030年までに36%代替できるか

	2016	2030
• 原子力	13%	0
• 褐炭	23%	0
• 石炭	17%	0
• 合計	53%	
• <b>再エネ</b>	<b>34%</b>	<b>55%</b>
• 原子力と褐炭をやめる→36%減少→再エネ70% (必要)		
• できる：その差 <b>15%</b> を8%電力余剰+省エネでカバーする？		

WENDE

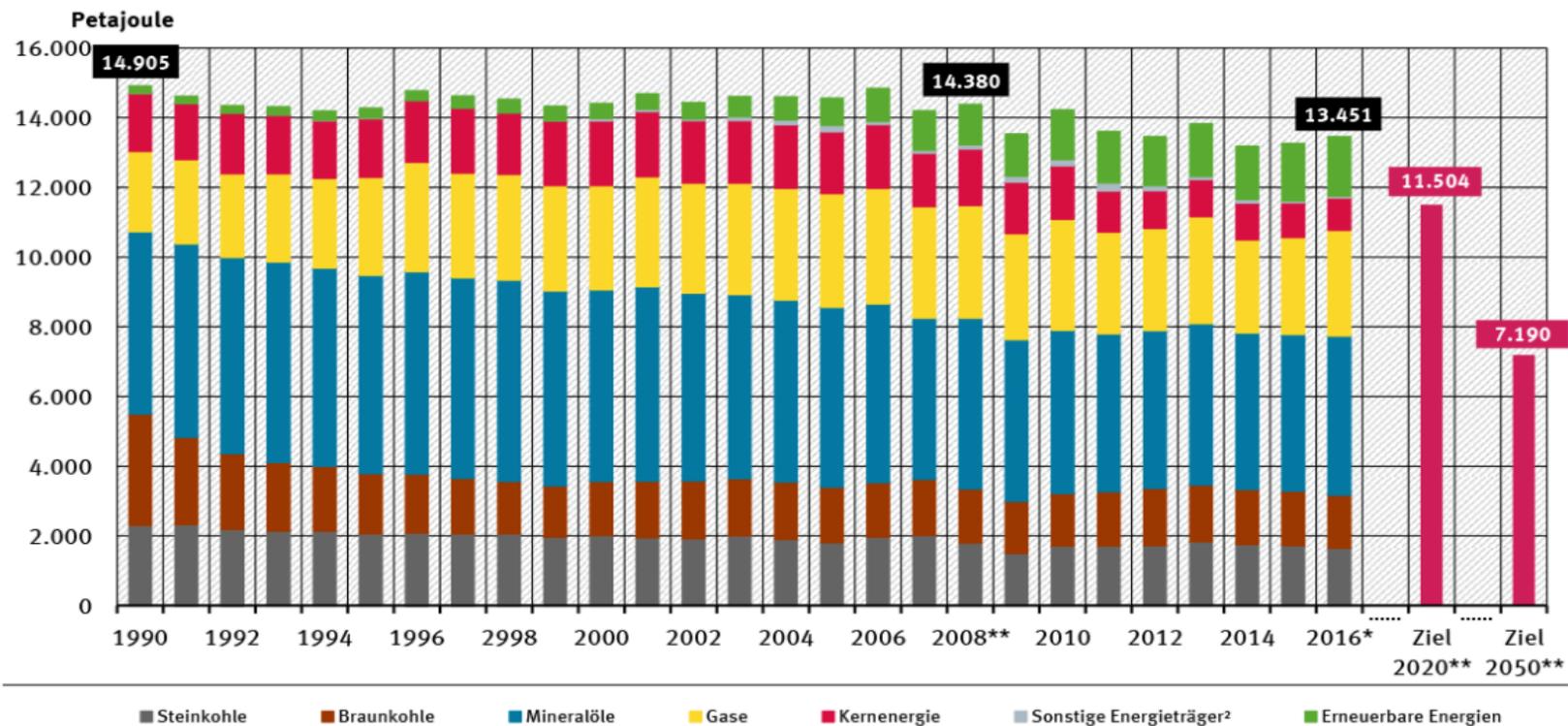


# パリ協定（CO2）とドイツ

- 2015年：温室効果ガス排出削減（平均気温上昇2度未満）
- 2020年までに1990年レベルを40%以下に下げる（現在28%: 達成不可能）。
- 2050年までに95%に下げる。
- エネルギー・ヴェンデの電力は成功。
- ただし、エネルギー全体では石炭（褐炭国産）が問題。
- 交通分野ではディーゼル車で下げられると言われていた。
- 交通が問題。

# 第一次エネルギー：原料別消費

Entwicklung des Primärenergieverbrauchs<sup>1</sup> nach Energieträgern mit politischen Zielen



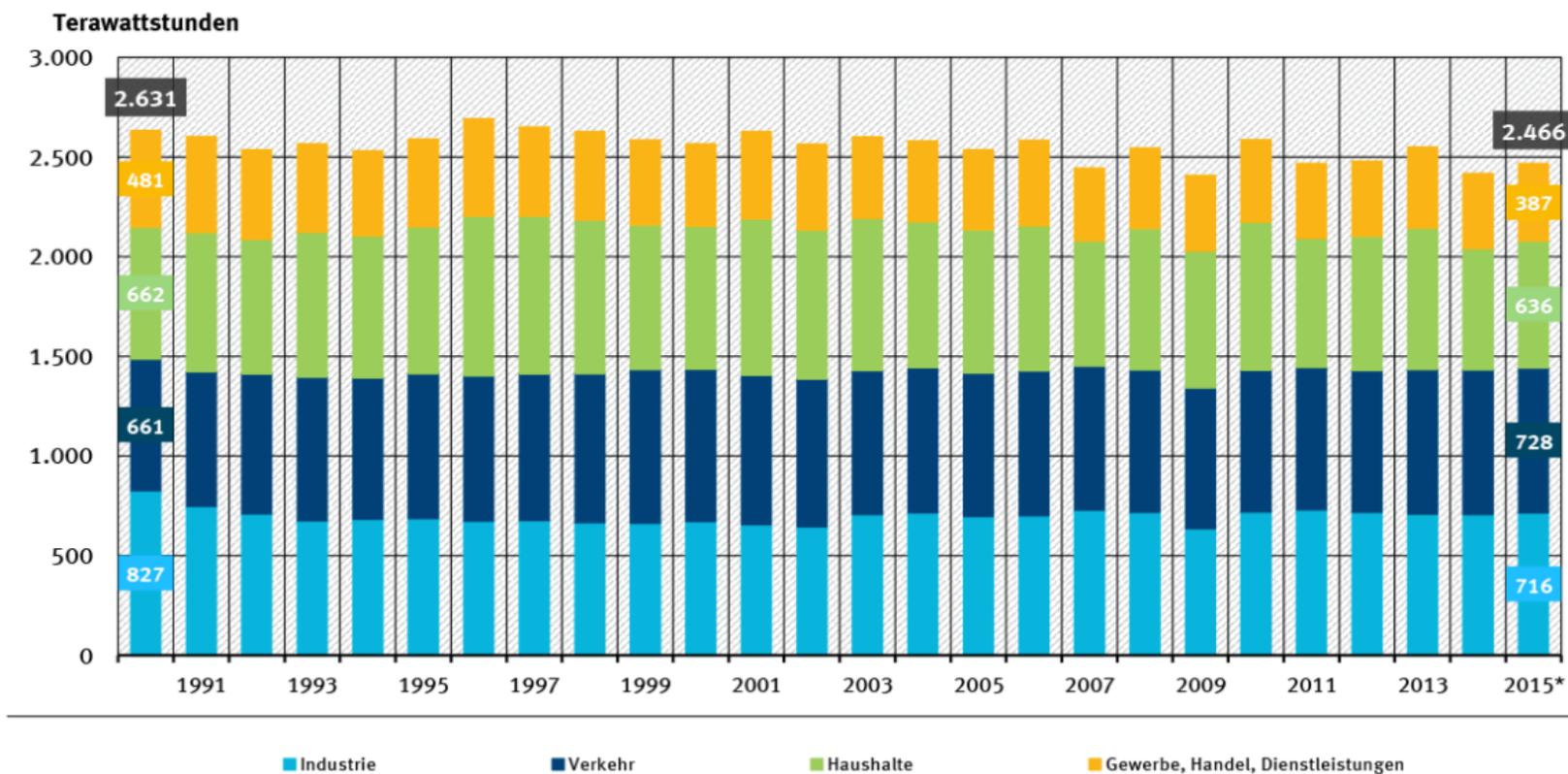
<sup>1</sup> Berechnungen auf der Basis des Wirkungsgradansatzes

<sup>2</sup> Sonstige Energieträger: Grubengas, Nichterneuerbare Abfälle und Abwärme sowie der Stromaustauschsaldo

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2016, Stand 09/2017

# 第一次エネルギー：消費分野別

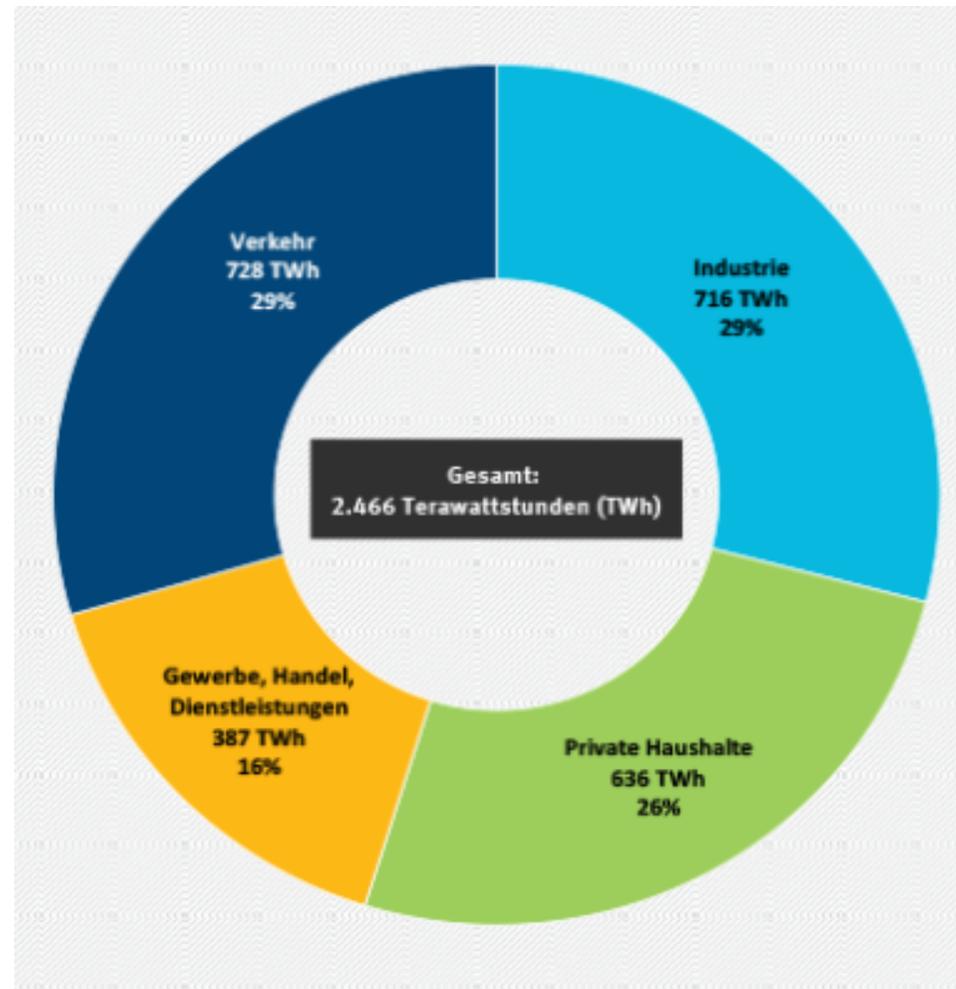
Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Sektoren



Endenergieverbrauchs nach Sektoren

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2015, Stand 07/2016

# 第一次エネルギー：消費分野別



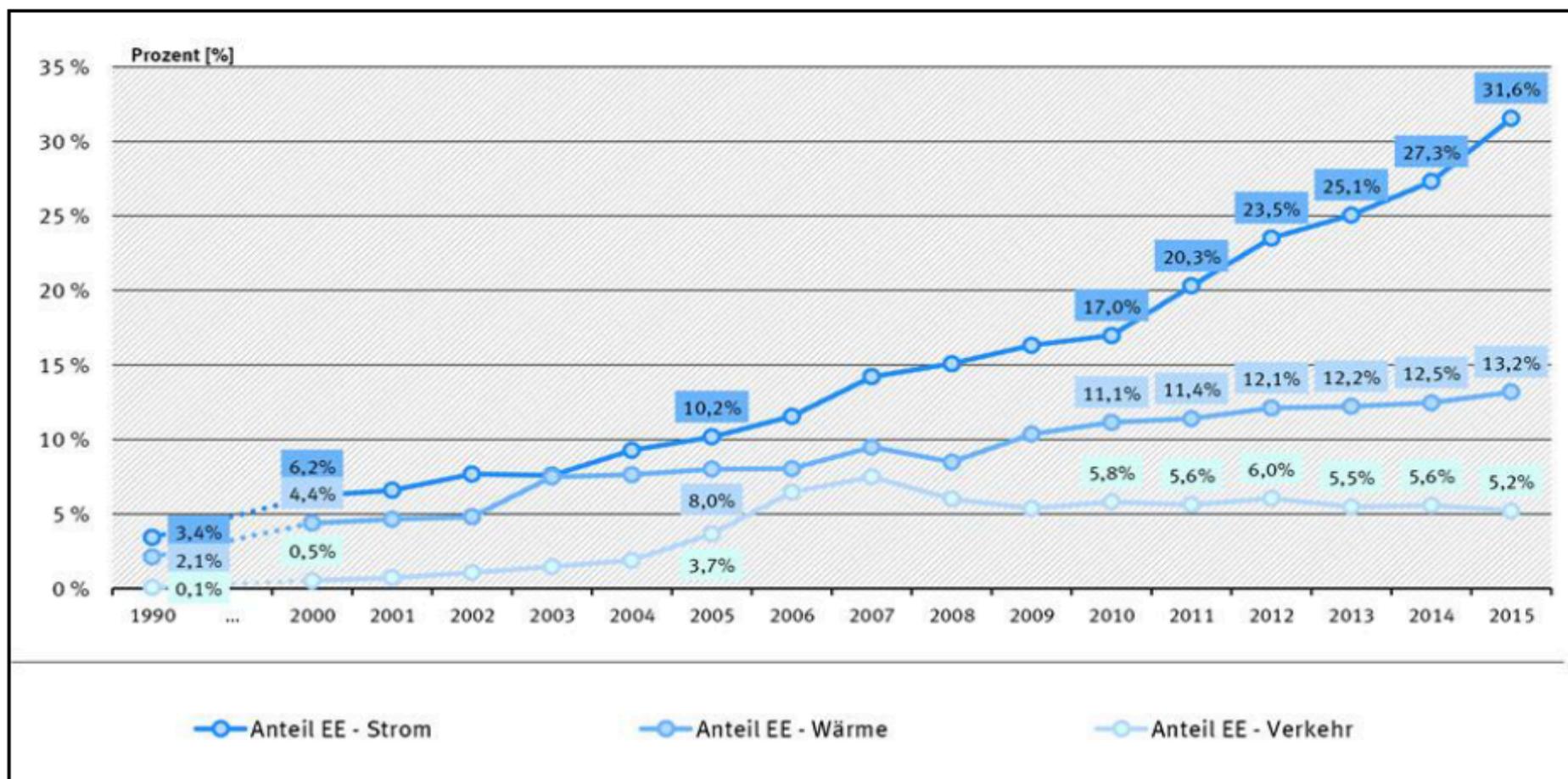


図 24：電力・熱・交通における再エネ割合（1990～2015年）

出所：連邦環境庁、「Erneuerbare Energien in Zahlen」、2016年

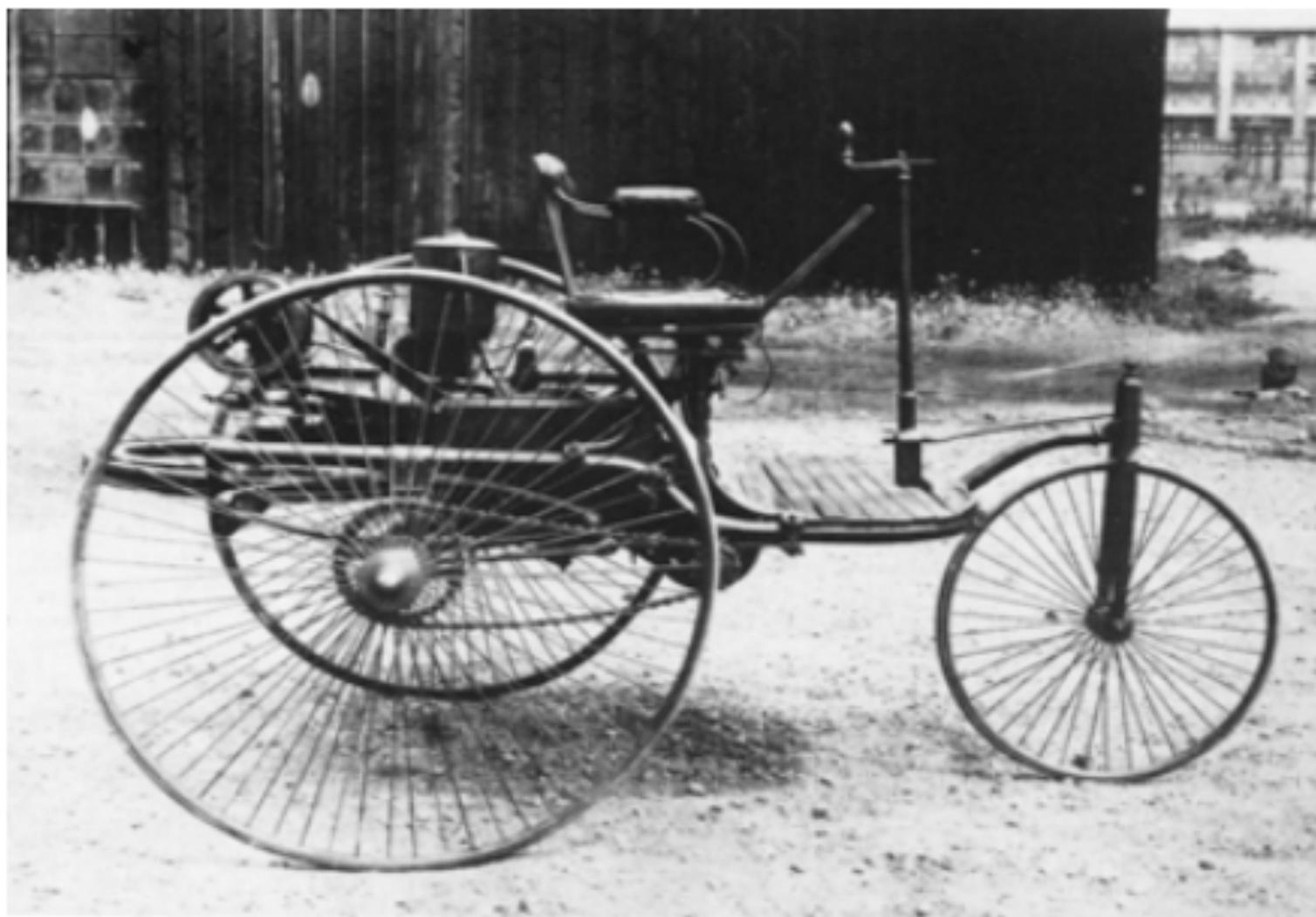
# 今世紀の挑戦

- 化石燃料を再生可能エネルギーで代替する。
- 原子力エネルギーを全廃し、核廃棄物最終処理をする。

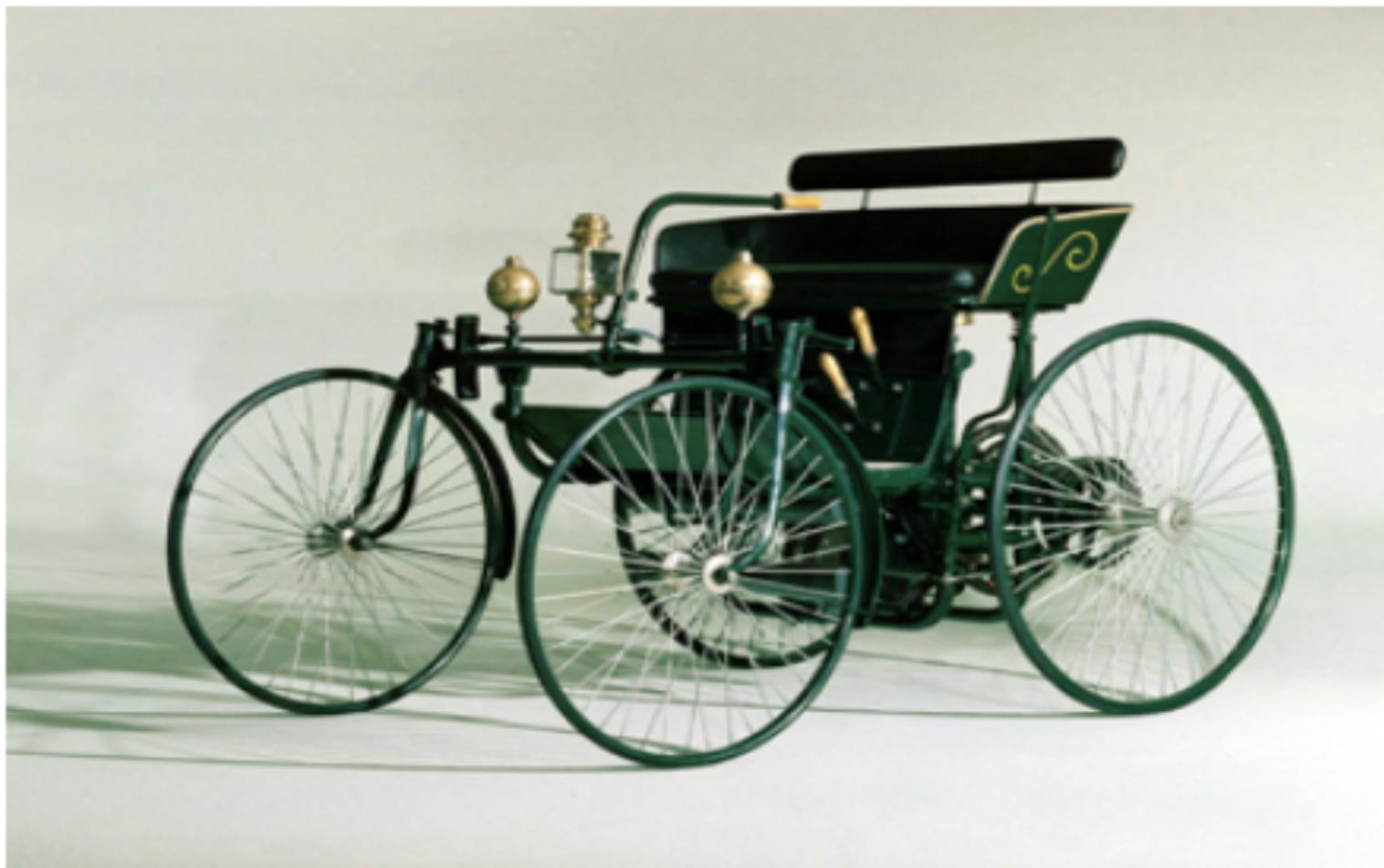
# ドイツと自動車

# ドイツは自動車エンジンの母国

- **1877**：ニコラウス・アウグスト・**オットー**（内燃機関）
- **1885**：カール・**ベンツ**（ガソリン自動車）
- **1893**：ルドルフ・**ディーゼル**（ディーゼル・エンジン）
- **Motor**（エンジンと電動モーター）
- ガソリンとディーゼルの違い：点火装置ある・なし
- ドイツは自動車エンジンの**母国**：**140年**の歴史



ベンツ・パテント・モートルヴァーゲン(1885年)



ダイムラー・シュトウルラートヴァーゲン(1889年)

## 1.2. ディーゼル・エンジンの長所と短所

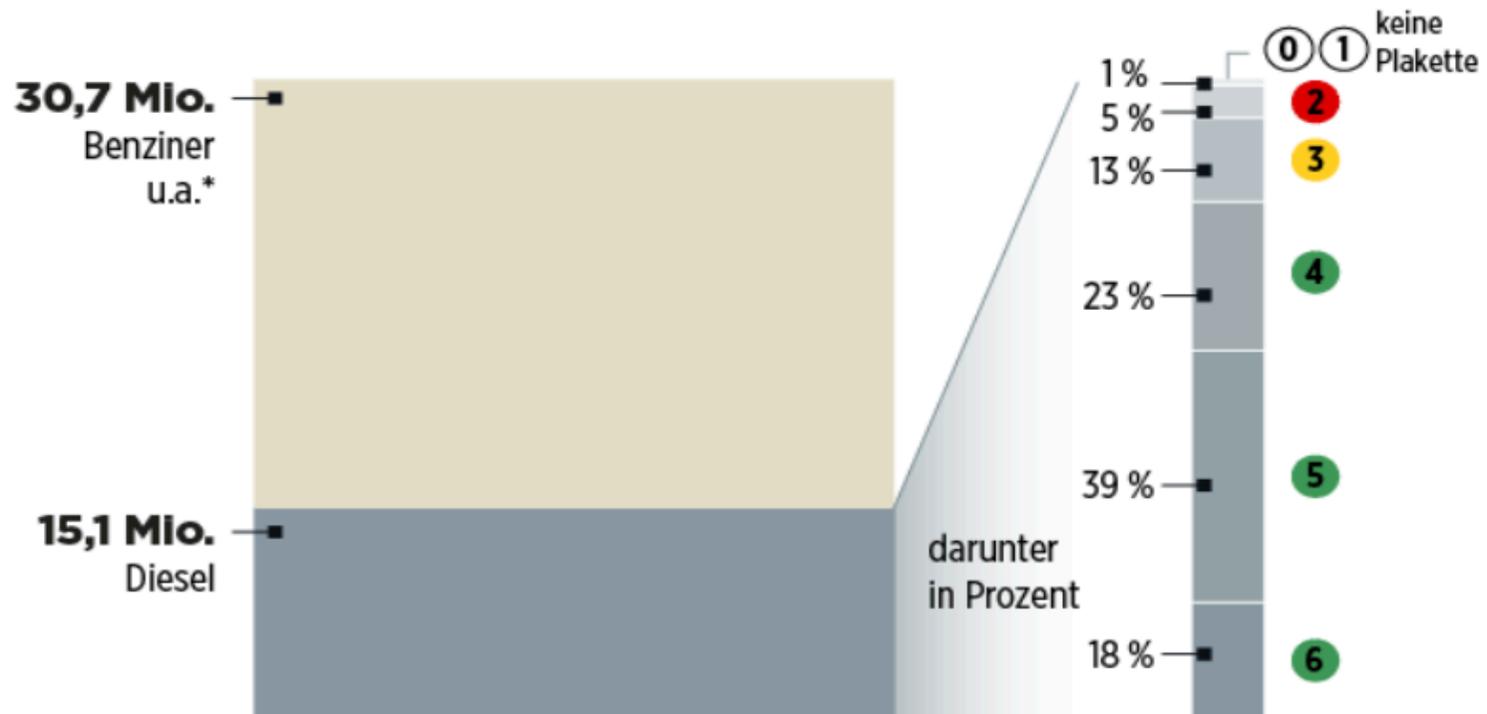
- 質の悪い燃料でも問題ない。
- 燃費がいい。
- エンジンの長期間使用
- CO<sub>2</sub>（二酸化炭素）の排出量がガソリン車より約20%少ない。
- 質実剛健型のドイツ人向き。
  
- **短所：NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）とPM（粒子状物質）が出る。**

# Deutschlands Diesel

Jeder dritte PKW in Deutschland ist ein Diesel

45,8 Millionen PKW insgesamt

Schadstoffklasse (Euro-Norm)



info.BILD.de | Quelle: dpa; \*auch Gas, Elektro, Hybrid; rundungsbedingte Differenz

# Dieseldgate：米国で発覚

- 2014年から2015年にかけて（排出ガス値がおかしい）
- NOx（窒素酸化物）：ラボテストと路上テストで違う
- VW: Passat（5～20倍） & Jetta（15～35倍）
- VW社のマネージャーは直ちに不正ソフトを認める
- 路上走行になると、NOx浄化装置を切ってしまう
- 7千億円補償金などを支払。全部で3兆円かかる。
- James R. Liang技術部長：3年4ヶ月の実刑判決+20万\$ 罰金
- マネージャーのOliver Schmidt氏：7年の実刑判決+40万\$ 罰金

# ドイツにも悪い奴はいる！

- 不正ソフトは**ボッシュ（社）**。ただし、使用は法律違反と通告。
- 連邦運輸省も走行テストを支持し、問題ないとされていた。
- **大気汚染のために大都市では走行禁止問題が浮上。**
- 首相官邸でのディーゼル・サミット：**ソフト（150€）**取替。
- NOx浄化装置（1500€）の取り付けはしない。
- ドイツではVWとAudiの技術責任者が未決勾留中。

## CO2排出量抑制の目論見崩れる

- ドイツ政府は、交通部門のCO2排出量抑制はディーゼル車でのりきれると目論んでいたが、このDieselgateで崩れる。
- でも、ドイツにとっては崩れてよかった？

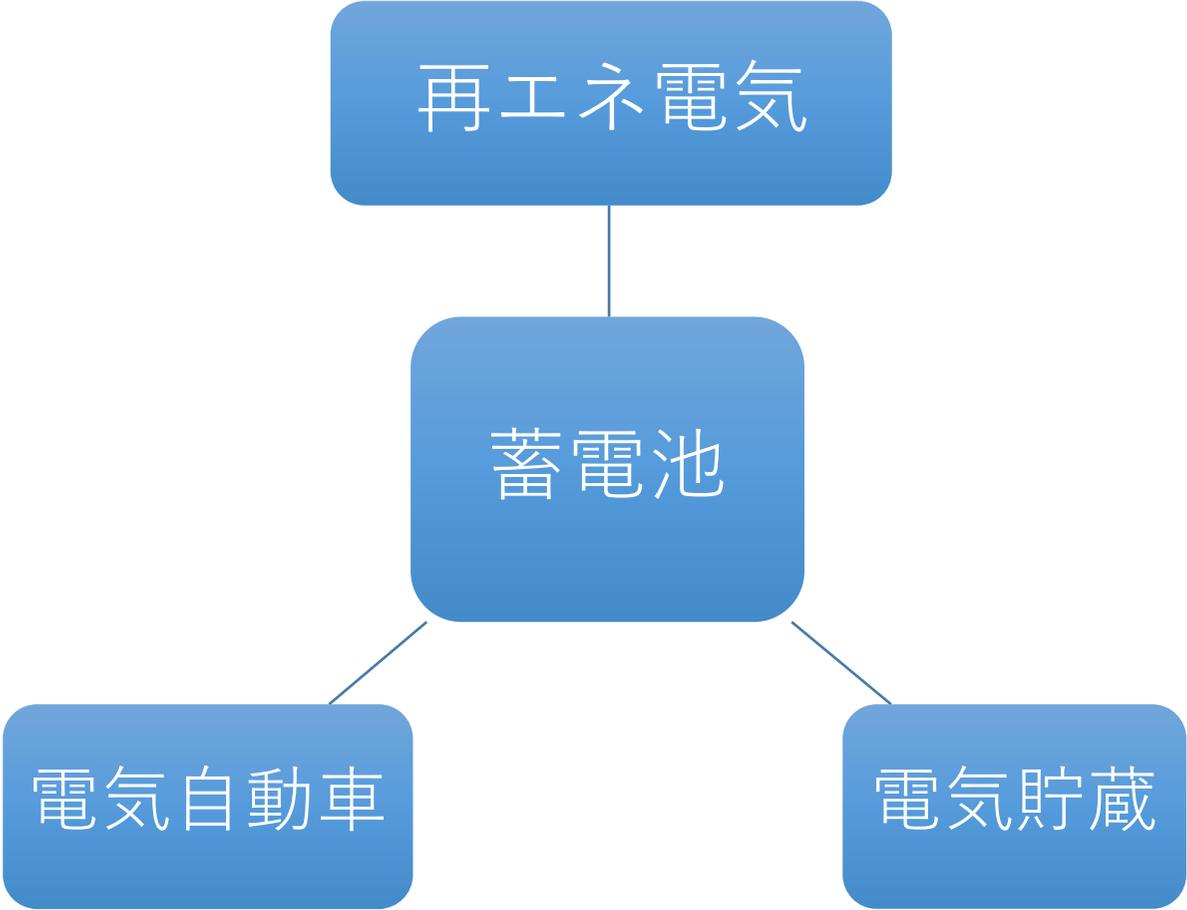
# 自動車社会の問題

- 世界の自動車数：13億台
- エネルギーの無駄使い（エンジンの効率：約20～30%）
- 世界で650万人が空気汚染のために死亡
- 毎年100万人が自動車事故で死亡
- 毎年1500万人が負傷
- 地球温暖化の大きな原因の一つ
- 土地の無駄使い（道路と駐車場のスペース）

## EV化の落とし穴

- 電気がクリーンではないとEV車もクリーンではない。

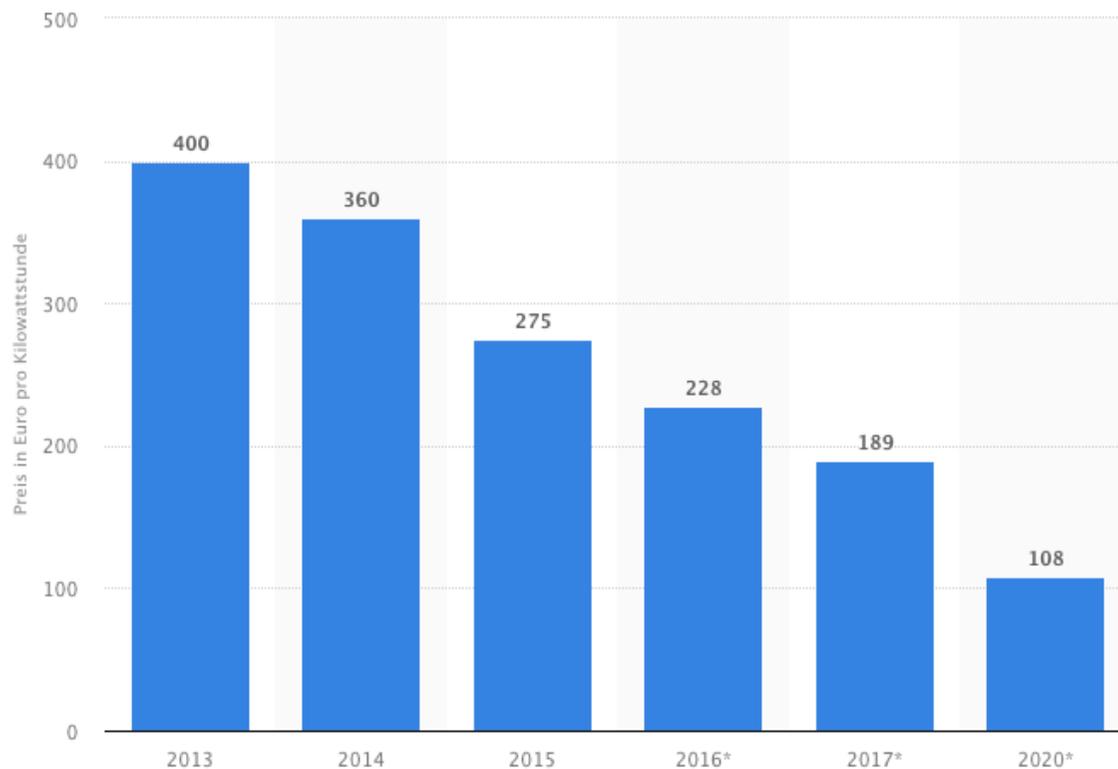
# •蓄電池が握る産業の将来



# リチウム・イオン二次電池 (LiB)

- 1991年にソニーが発明、販売
- スマホ、EV車、電動工具
- 定置用蓄電池：電圧平準化と電力貯蔵用
- メーカー：パナソニック、サムソン、LG, BYD、テスラなど
- LiBの学習曲線：25%
- 1 kWh=100 € が限界と言われている

# Weltweite Preisentwicklung für Lithium-Ionen-Batterien von 2013 bis 2020 (in Euro/kWh)



© Statista 2017

## INFORMATIONEN ZUR STATISTIK

Die Statistik zeigt die Preisentwicklung von [Lithium-Ionen-Akkus](#) von 2013 bis 2020. Die Werte von 2013 bis 2015 stellen Ist-Werte dar, die Zahlen ab 2016 wurden hochgerechnet. So lag der Preis im Jahr 2015 mit 275 Euro pro Kilowattstunde rund 25 Prozent unter dem Vorjahrespreis. Bis zum Jahr 2020 wird von der Quelle prognostiziert, dass die Preise auf 108 Euro pro Kilowattstunde sinken werden.

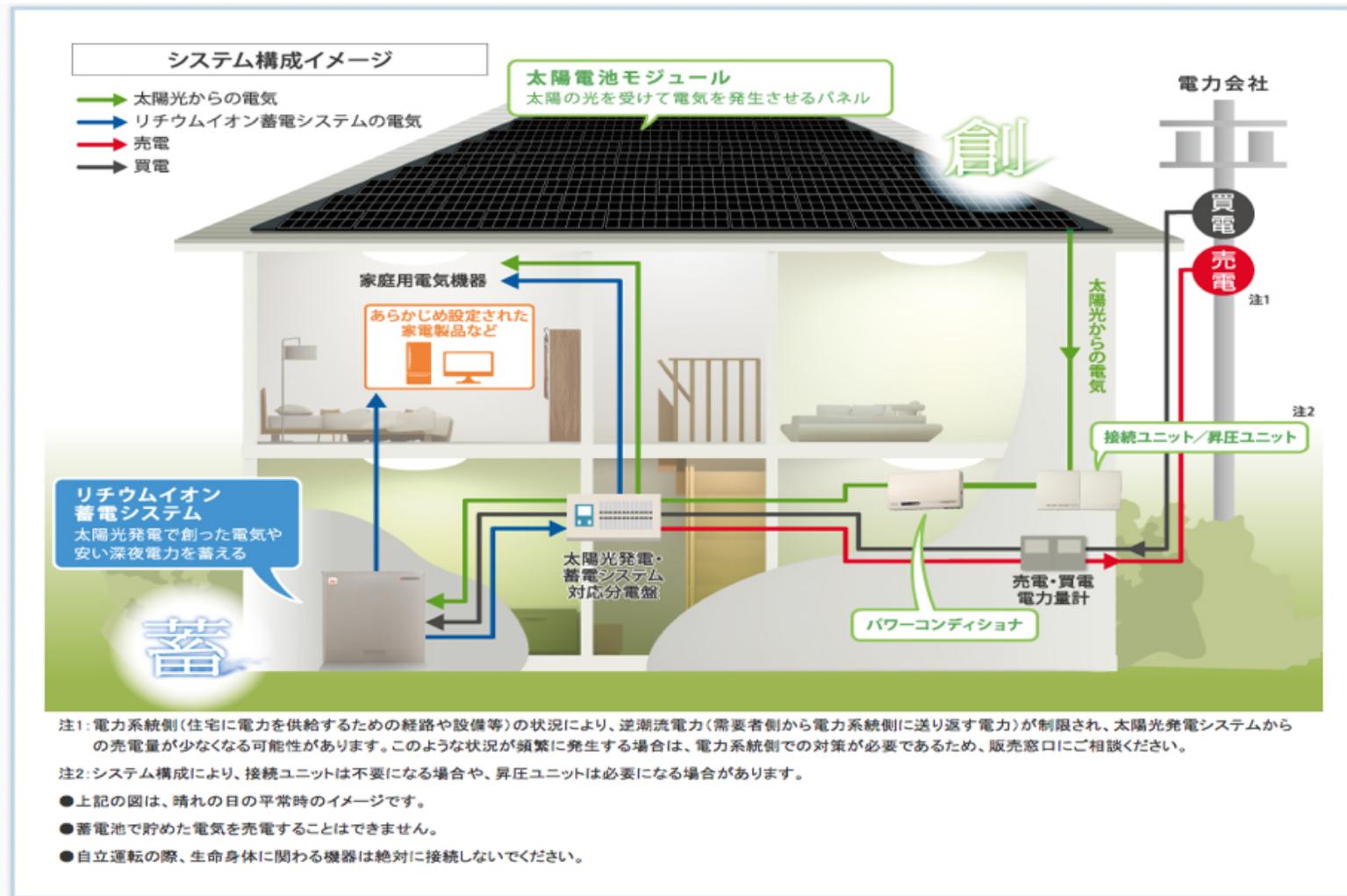
## SONDERFUNKTIONEN

Download als ...

- Grafik (PNG) +
- Excel (XLS) +
- PowerPoint (PPT) +
- PDF-Dokument +

Chart-Optionen

- Einstellungen +
- Drucken +
- Update per E-Mail +



# Feldheim-Batteriespeicherzentrum



# Nissan Leaf



# Tesla Model 3

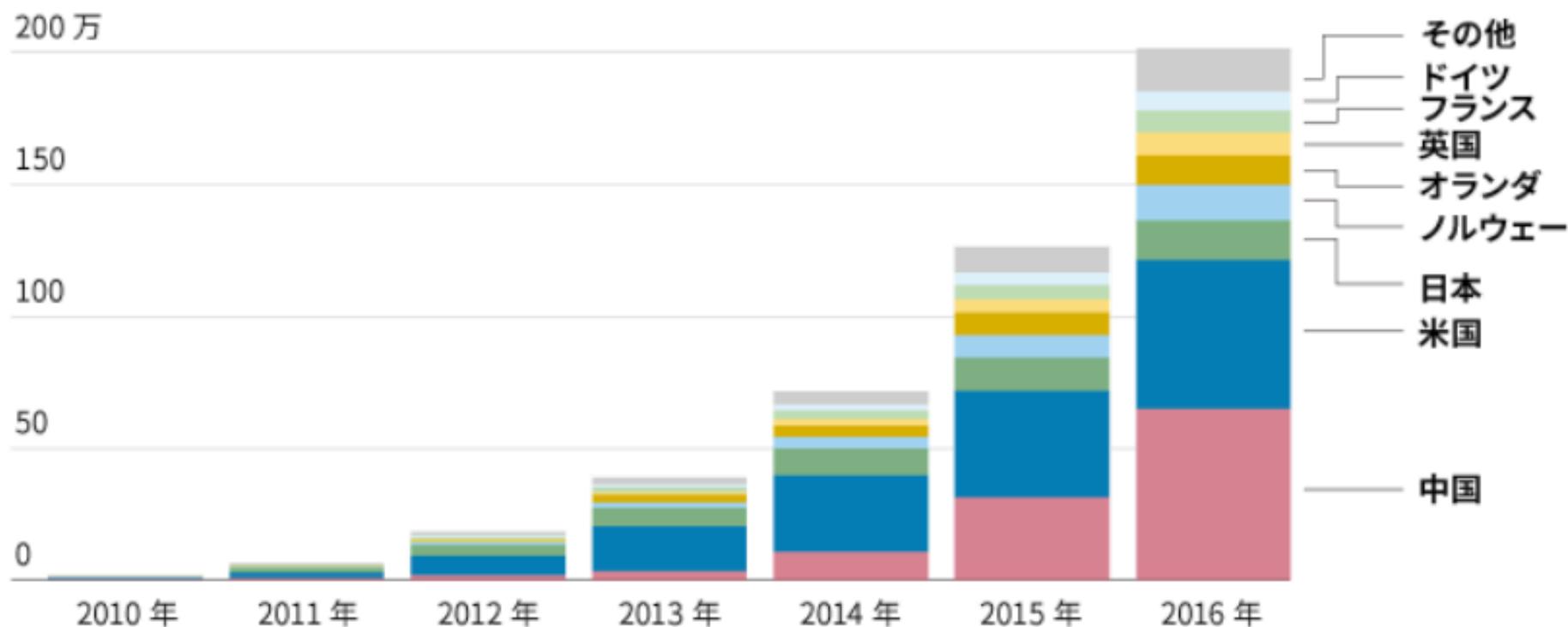


## e. GO Life



## バッテリーとプラグインハイブリッド車の累計台数

2010年以降の累計売り上げ台数から推定



出典：国際エネルギー機関 (IEA)

C. Hughes、照井裕子 (2017年7月26日作成)

# 中国市場の圧力

- 共産党の決定：2020年までに10%以上のEV+HV車
- 奨励金：100万円以上
- 背景には大気汚染がある
- 大気汚染のひどい日にはナンバー制によって走行許可
- EV車は除く
- 大都市では車のナンバーは抽選制
- EV車は即もらえる
- BYDなどの中国自動車メーカーはEV車なら日欧米の先行メーカーに追いつき、追い越すことができる。
- BYDはLiB電池の製造も手がける

# ドイツ国内の動向

- 電気スポット網充実化に取り組み中
- 奨励金：EV車（4000€）：HV車（2000€）
- ドイツ・ポスト：4.7万台の配車をEV化
- ドイツのDHLが配達用に自前のEV車生産・販売
- 市内バスと貨物トラックのEV化
- ベンツ社がザクセン州のKamenzにLiB製造巨大工場建設中
- ただし、組み立てのみでセルはアジアから輸入
- VW社はバッテリー生産には乗り出さないとミュラー社長

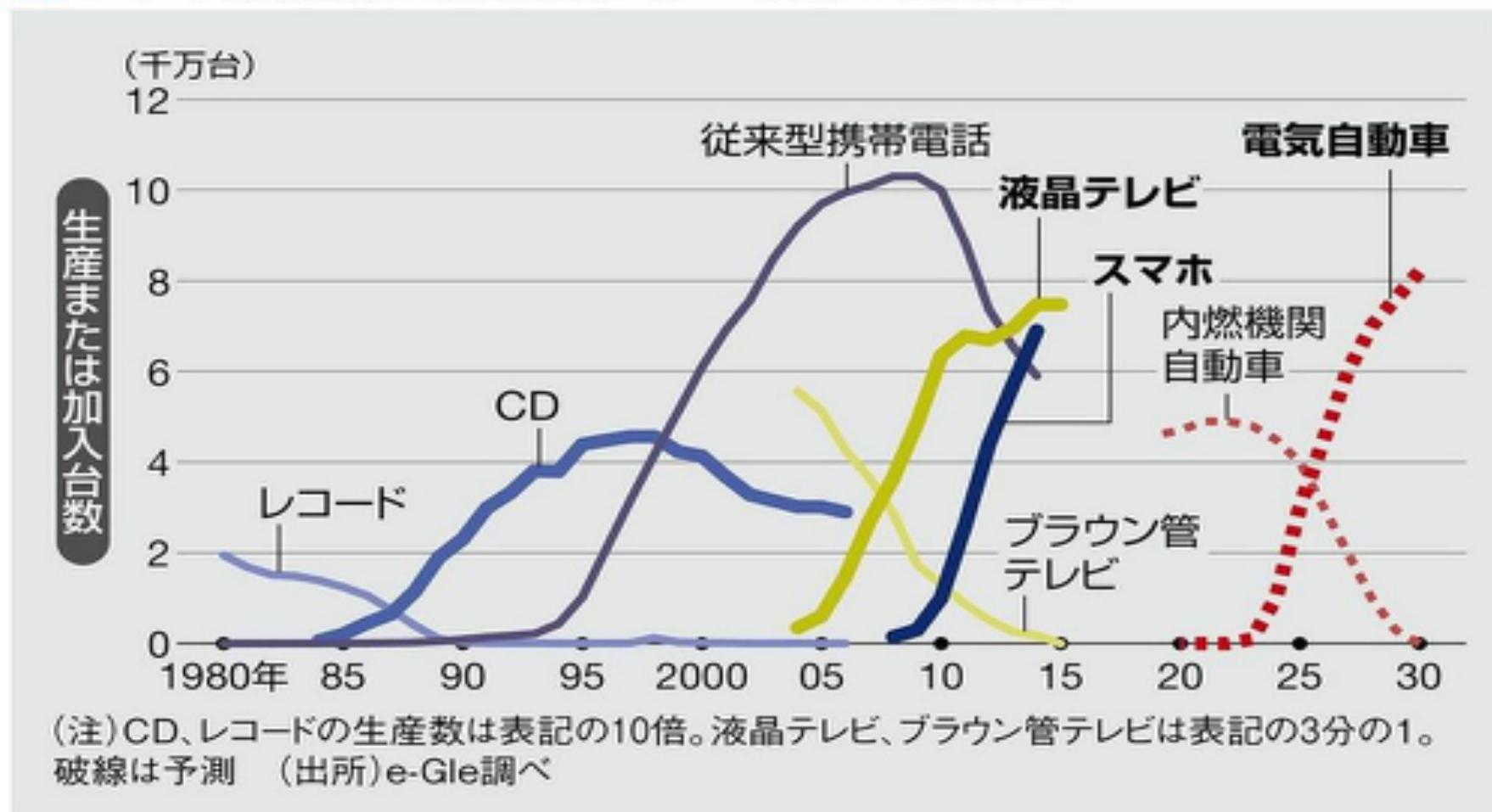
## 断絶(Disruption)

- 既存のビジネスモデル、または市場全体が、革新的な技術あるいはビジネスモデルによって置き換えられるか、撃退されるプロセス

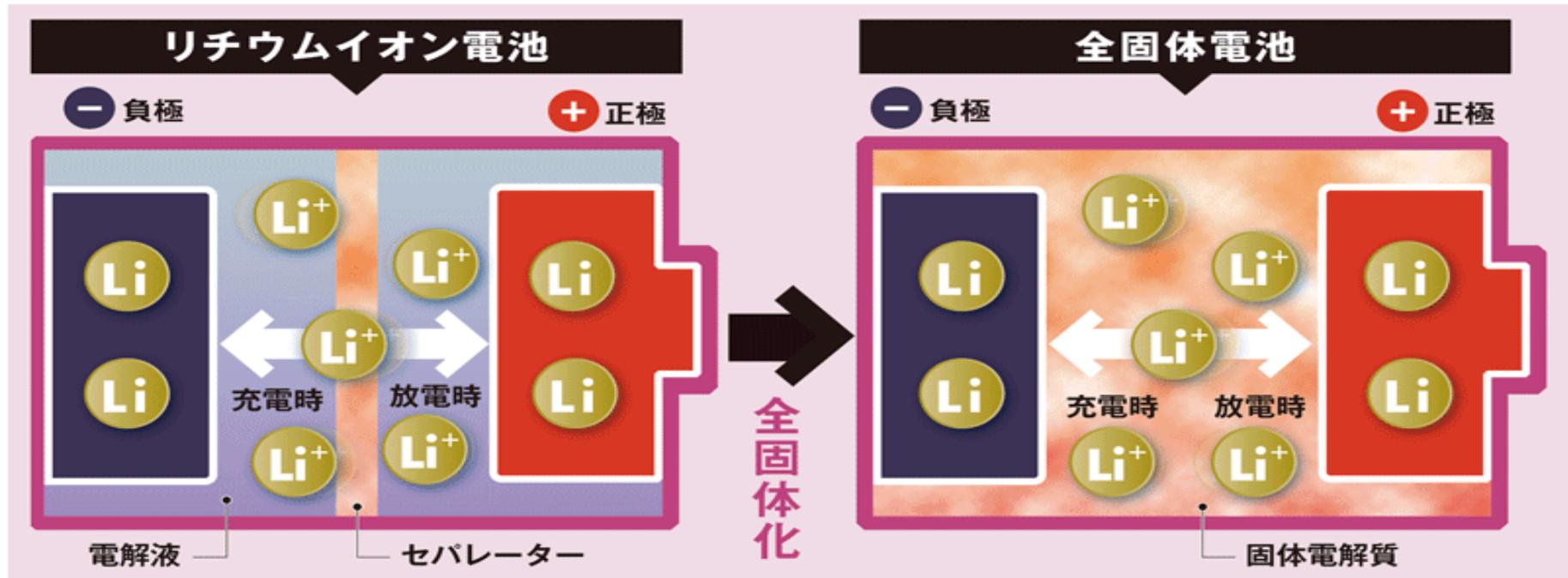
# 断絶(Disruption)の例

- Tony Seba (Stanford University)氏による
- 1900年：ニューヨークの目抜き通りは馬車ばかり
- 1913年：自動車ばかり（環境汚染の廃絶？）
- ヘンリー・フォードのT型モデル
- 1904年：組み立て時間：一台**14時間**
- 1913年：ベルトコンベヤ式で**1時間33分**
- 1910年：約2万台：一台**850ドル**
- 1921年：100万台：一台**300ドル**
- 1927年：**1500万台生産**

## ■ 7年で新技術に置き換わる — 技術の転換速度 —



## EVの課題克服？リチウムイオン電池の後釜



リチウムイオン電池の課題を克服

●リチウムイオン電池と全固体電池の構造

**リチウムイオン電池** 電解質は有機溶媒で可燃性があり、漏出リスクなど安全性に課題を持つ。ただ、生産手法が確立しており、大規模生産で量産効率は高まる

**全固体電池** 電解質を固体材料に置き換えたことで安全性を高めた。材料の改良が進み、リチウムイオン電池に匹敵するイオン伝導率を持つ試作品も

# 全固体電池がDisruptionを引き起こすか

- 危険な電解液ではなく、安全な固体の電解質
- 充電時間は数分
- 走行距離が倍になる
- エネルギー密度が高い
- 小型化
- 寿命も長い
- トヨタとダイソンがブレークスルーに成功
- 2020年か2022年には車に搭載可能？

# EV車の断絶は？

- 中国の動向
- LiBの価格下落
- 全固体バッテリーの登場はいつか(Toyota & Dyson)
- 自動運転 (LIDAR)の進歩
- **2040年**：英仏はエンジン車販売禁止

## Glück im Unglück?

- VW社のDieselgateは発覚してよかった。

# ドイツへの影響

- ドイツの自動車産業の直接就業者：80万人
  - 2030年にどこまで減るか：40万人就業者？
  - 国民所得の10%？
  - 全国民所得の20%
  - 自動運転とカーシェアリング
  - 車の所有の激減
  - 断絶が完了するのは2030年か、2040年か。
- 
- ドイツの自動車会社経営陣と政治家は2040年と見ている。

# 社会変革

- 就業人口の急激な減少
- 失業者の増加
- 基本収入(basic income)の導入
- ドイツ = 409ユーロ + アパート + 暖房費
- フィンランドの試み = 1000ユーロ
- スイス国民投票で否決 = 2300ユーロ
- 余暇の増加
- (ドイツの金属労連の要求 = 週28時間労働)

# 今世紀の課題・挑戦

- 化石燃料を再生可能エネルギーで代替する。
- 原子力エネルギーを全廃し、核廃棄物最終処理をする。