

Technische Universität Kaiserslautern

25. Juli 2019

***8 Jahre nach Fukushima: Die japanische Energiepolitik - ist Wasserstoff die Lösung?***

***Japans Aufbruch in die „Wasserstoffgesellschaft“***

*Dipl.-Ing. Kurt K. Heinz  
„TÜV emeritus“, Tokyo*



# Übersicht

Seite

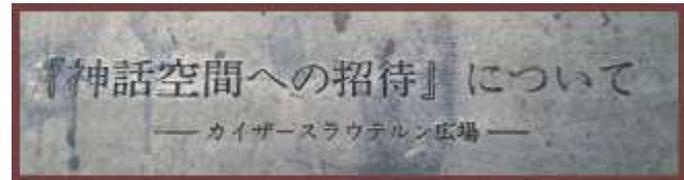
<b>Teil A</b>	<b>Geschmolzene Träume oder Das Generationenprojekt</b>	9
	<i>Saulus zu Paulus</i>	
	<i>Fukushima Daiichi „Tanklager“</i>	10
	<i>Evakuierung oder Die Heimatvertriebenen</i>	13
	<i>Menschengemachte Katastrophe oder Wo bleibt die Gerechtigkeit?</i>	23
	<i>Wer entfernt wann den geschmolzenen Kernbrennstoff? oder Das Generationenprojekt</i>	25
	<i>Dekontaminierung oder Entgiftung der Heimat</i>	33
	<i>Kein Neubau von AKWs im Inland oder Wird Export von AKWs die japanische Nuklearindustrie retten?</i>	39
<b>Teil B</b>	<b>Wasserstoff-Gesellschaft oder Ende der fossilen Brennstoff-“Kultur“</b>	47
	<i>METIs Wasserstoffstrategie 2019</i>	48
	<i>IEA (Internationale Energieagentur) Report</i>	64
	<i>Pressestimmen: Handelsblatt, FINANCIAL TIMES, CNBC</i>	
	<i>Wasserstoffrat (Hydrogen Council)</i>	
	<i>Wasserstofftankstellen oder Wie zähmt man den flüchtigen Stoff?</i>	70
	<i>Toyota als Souffleur oder Die treibende “Wasserstoffkraft”</i>	71
<b>Teil C</b>	<b>Wasserstoff überall oder Raum für technologische Fortschritte</b>	74
	<i>Brennstoffzellen-Technologien</i> <i>PEMFC, DMFC, SOFC, AFC, MCFC, PAFC</i>	
	<i>Wasserstoffherzeugung</i> <i>Power-to-X</i>	83
	<i>Wasserstoff-Verwendung</i> <i>ENE-Farm</i>	90
<b>Zusammenfassung: Die Steinzeit ...</b>		

# Kaiserslautern in Japan...

mit Gernot Rumpf



Kaiserslautern Platz in  
Tokyo, Bunkyo-ku



Einladung zur mystischen Welt...

”



## ...und Japan in Kaiserslautern

- Städtepartnerschaft Bunkyo-ku, seit 1989
- Japanischer Garten, eröffnet 2000
- Technische Universität & Science Alliance  
vielfältige Verbindungen nach Japan  
Praktikanten, Absolventen
- Koinobori, Riesen-Karpfen über Kaiserslautern,  
2006

## TÜV Rheinland in Japan

- Deutschland in Japan 2005/2006
- UNESCO Welterbe Rheinland-Pfalz  
2007/2008
- Exkursionsbetreuung



TÜV Rheinland Japan Ltd., Hauptverwaltung  
Shin Yokohama

# 想定外

*sō tei gai*

*das Denken – permanent - außerhalb*

***unvorstellbar***

## Vortrag vor acht Jahren



### Krise in Japan:

Nach Jahrtausend-Erdbeben, Tsunami, Kernschmelze:  
Radioaktive Kontamination

- TÜV Rheinlands Erfahrungen vor Ort
- Neue Aufgaben im Strahlenschutz

Technische Universität  
Kaiserslautern  
8. Juli 2011

## Vortrag vor drei Jahren



Foto: 2.3.2016

### Alltag in Japan:

>100.000 Bewohner heimatlos („Flüchtlinge“).  
Riesige Gebiete durch radioaktive Verseuchung  
unbewohnbar und abgesperrt.

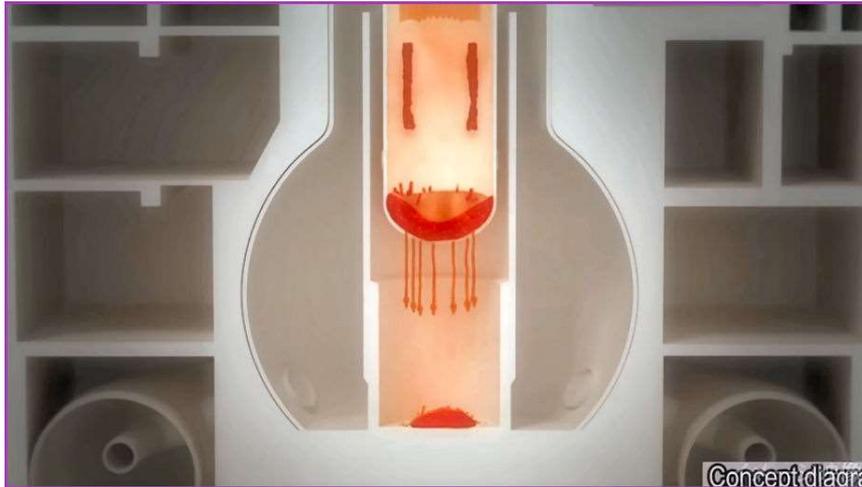
Dekommissionierung der zerstörten Reaktoren bis zum Jahr  
2070?

### TÜV Rheinlands Erfahrungen vor Ort

- Presseberichte
- Erneuerbare Energie
- Situation der Kernenergie
- Lebensmittel / Strahlenbelastung / Erkrankungen

Technische Universität  
Kaiserslautern  
11. Juli 2016

**Vortrag, 25. Juli 2019**  
**8 Jahre nach Fukushima**  
**Die japanische Energiepolitik - Ist Wasserstoff die Lösung?**



**Teil A**

**Geschmolzene Träume**

**oder**

**Albtraum für 200 Jahre?**

- *Statusbericht zu den Aufräumarbeiten im havarierten Atomkraftwerk*
- *Export von AKWs gescheitert*



**Teil B**

**Wasserstoff-Gesellschaft**

**Hydrogen Society**

- *METI Programm*
- *Wasserstoffrat*
- *IEA Studie*
- *Aktueller Stand der Energiewende in Japan*
- *Pressestimmen*

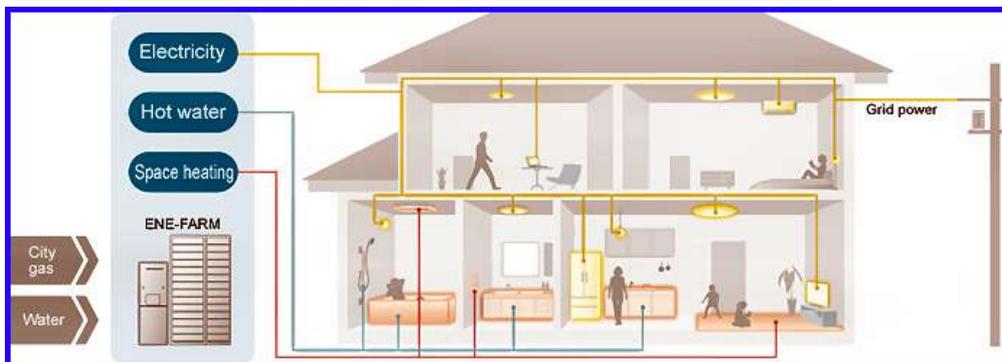
## Vortrag am 25. Juli 2019



### Teil C

Raum für technologische Fortschritte

- Brennstoffzellen-Technologien  
*PEMFC, DMFC, SOFC, AFC, MCFC, PAFC*
- Wasserstofferzeugung  
*Power-to-X*
- Wasserstoff-Verwendung  
*ENE-Farm*



11. Juli 2016

Technische Universität Kaiserslautern



Dipl.-Ing Kurt K. Heinz

## Teil A Geschmolzene Träume *oder* Das Generationenprojekt

Naoto Kan, Premierminister a.D. (bis 2.9.2011)

- Zitat: *Knapp am Untergang vorbei.*

Junichiro Koizumi, Premierminister a.D. (2001 - 2006)

- Zitat: *Kernkraft als sichere, billige und saubere Energiequelle ist eine einzige Lüge.*



Pressekonferenz mit Naoto Kan, Finanzminister, „Saulus“, 12.04.2010



Pressekonferenz mit Junichiro Koizumi, „Paulus“, 08.09.2016

- **Vor Fukushima Katastrophe:** 30% der elektrischen Energie aus Kernreaktoren erzeugt;
- Unstrittiger Plan von Koizumi und Kan, Anteil auf 40% (oder mehr) zu erhöhen;
- „Kernenergie genießt nationale strategische Priorität“.
- **Nach Fukushima Katastrophe:** Kan und Koizumi erbitterte Kernkraftgegner, aber ohne nennenswerten politischen Einfluss.

## **Statusbericht zu den Aufräumarbeiten im havarierten Atomkraftwerk**



### **„Tanklager“ Fukushima**

- 1 Mio. Tonnen (Feb 2019) mit radioaktivem Tritium verseuchtes Wasser in 994 Tanks;
- Wassermassen behindern Rückbau des AKW;
- Bei starkem Erdbeben Sicherheitsrisiko
- Ablassen ins Meer in kleinen Mengen ungefährlich (laut TEPCO);
- Radioaktives Jod 129 (HWZ 15,7 Mio. Jahre) mit 62 Becquerel/Liter (Grenzwert 9 Bec/l) enthalten;
- **Widerstand durch lokale Fischer**

*1000 riesige Wassertanks*

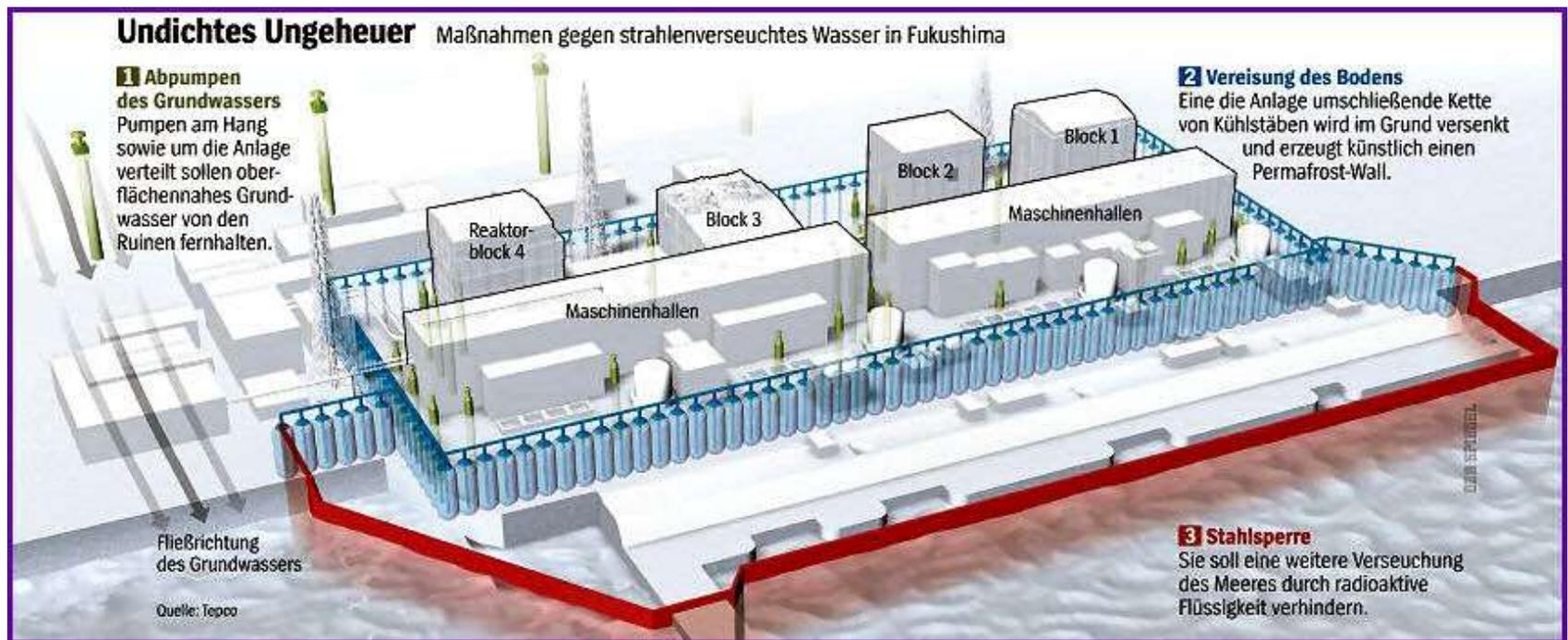


*Fukushima Daiichi, Juni 2018*

*Reuters: 7. März 2018*

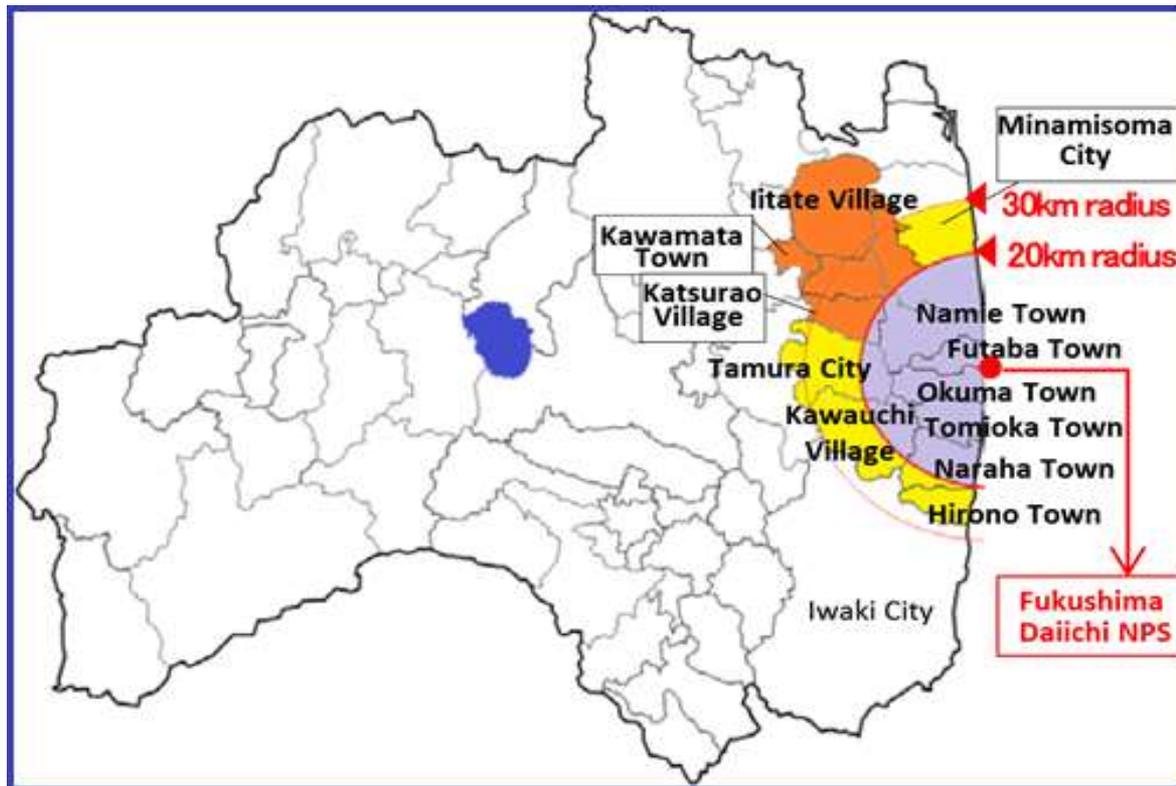
*TEPCOs 'Eiswand' kann Fukushimas giftige Wasseransammlung nicht einfrieren.*

- *Mit öffentlichen Mitteln in Höhe von 34,5 Milliarden Yen (324 Millionen US-Dollar) versenkte TEPCO etwa 1.500 mit Sole gefüllte Röhren in einer Tiefe von 30 Metern in einem Umkreis von 1,5 Kilometern um vier Reaktoren der Anlage.*
- *Jährliche Betriebskosten: 1 Milliarde Yen (9,1 Millionen US-Dollar)*



*Darstellung: Der Spiegel, Juli 2017*

## Evakuierung *oder* Die Heimatvertriebenen



### Die Sperrzonen

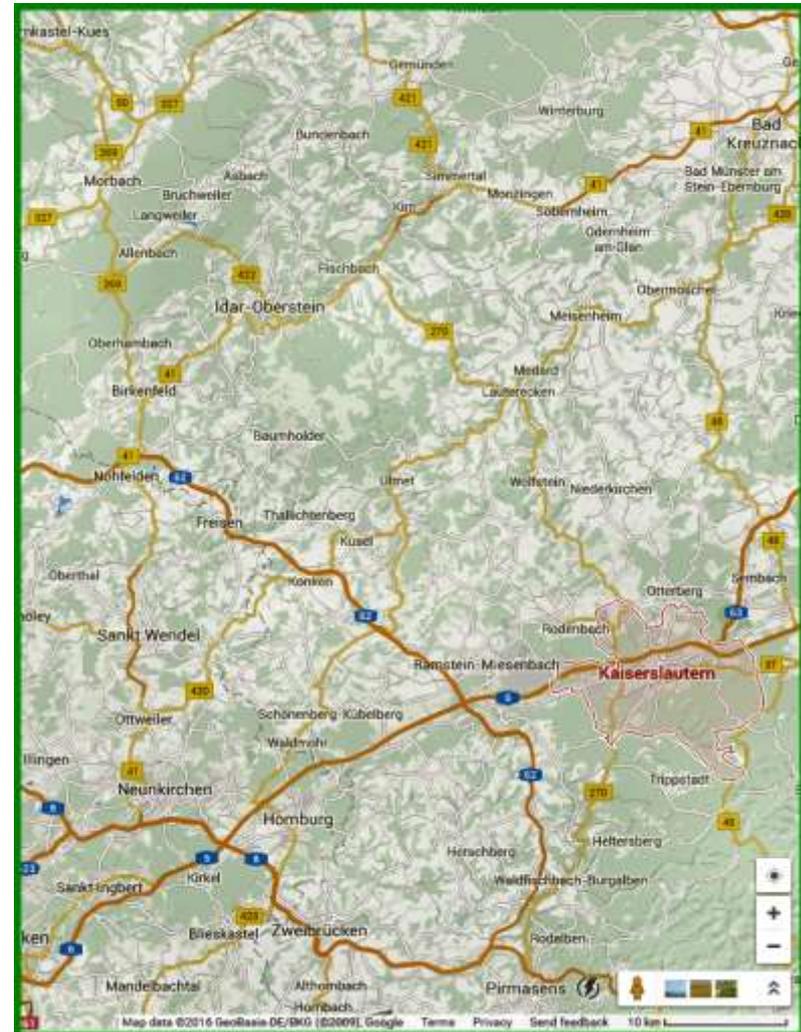
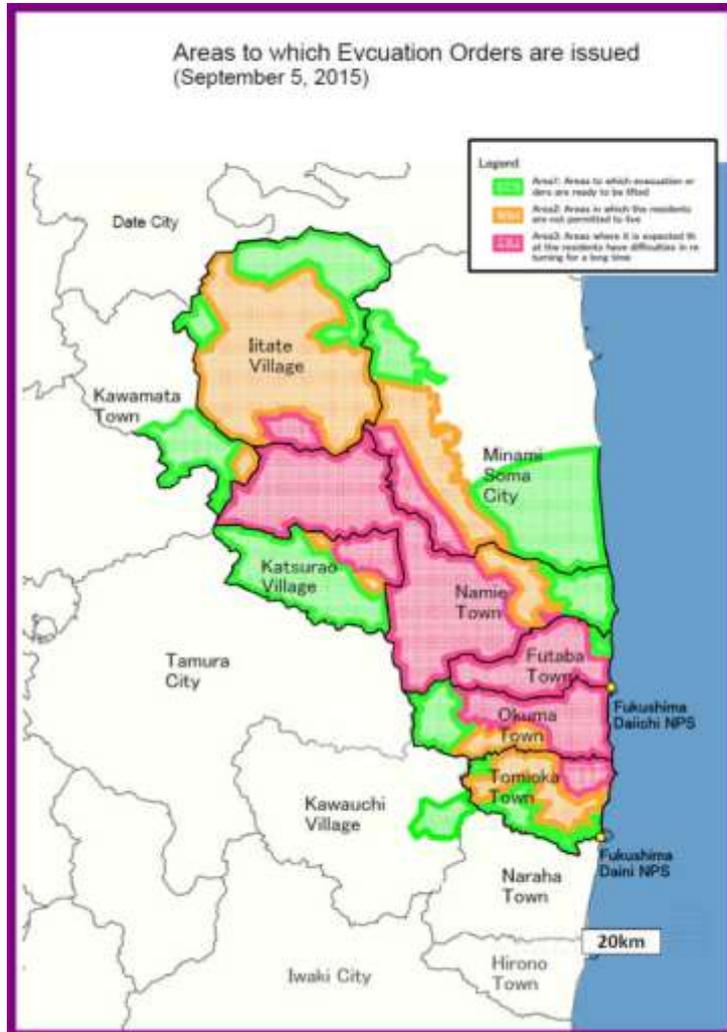
Ländliche Region, gebirgig, viel Wald, kleine Städte, Industrieansiedlung, Landwirtschaft  
160.000 Bewohner unmittelbar nach der Katastrophe evakuiert,  
noch immer 40.000 ausgeschlossen

„Atomare Verseuchung schädigt und tötet langsam, macht aber sofort viele heimatlos“.

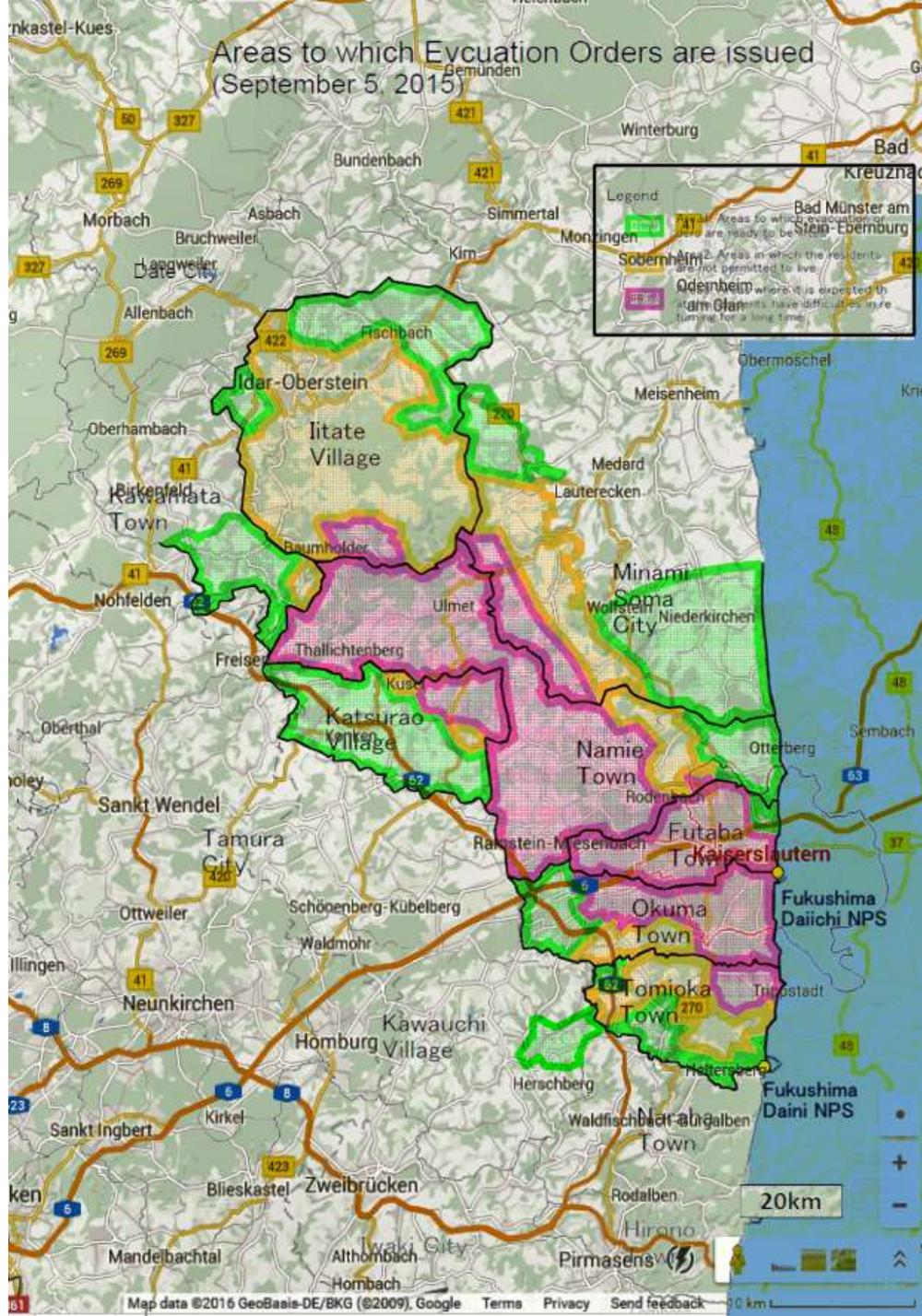
...im selben Maßstab:

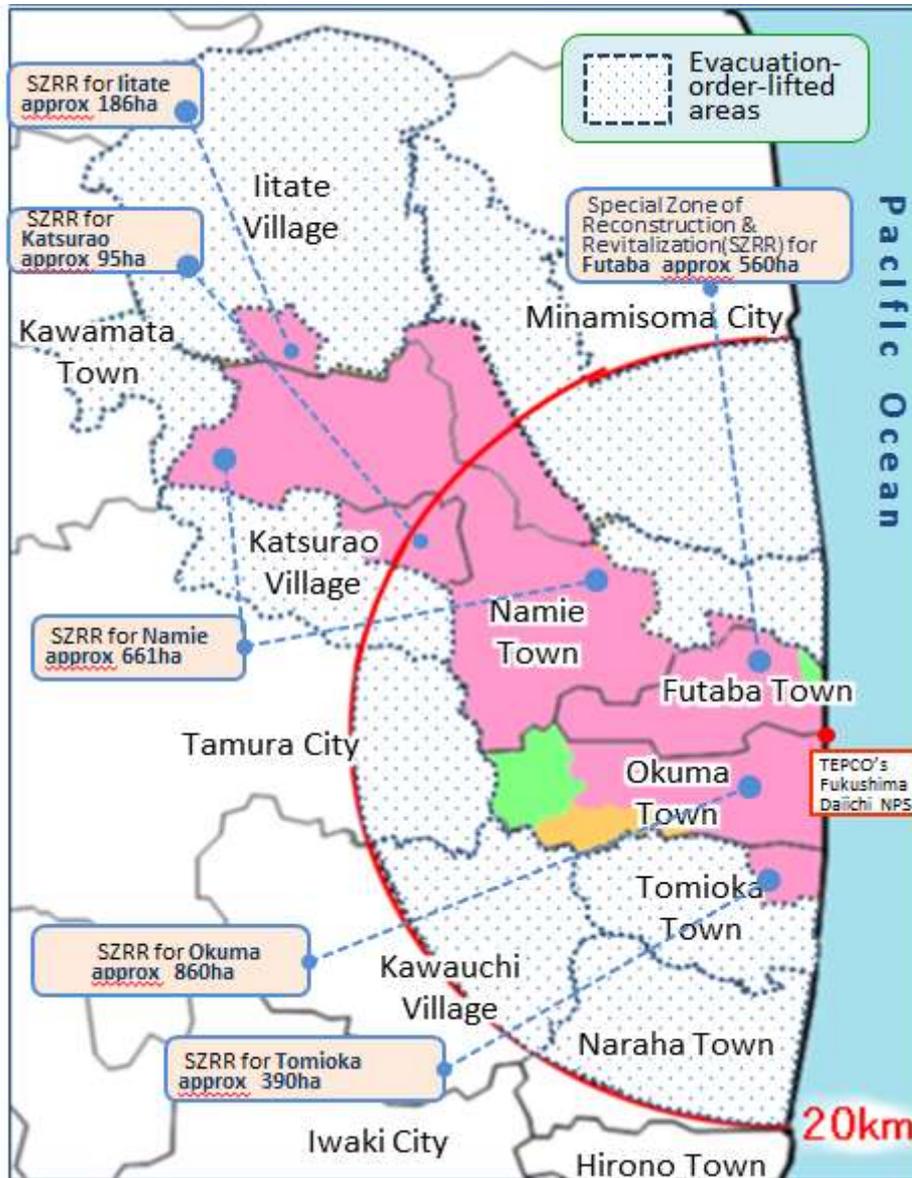
## **kontaminierte Zonen in Fukushima 2011**

**Pfalzkarte**



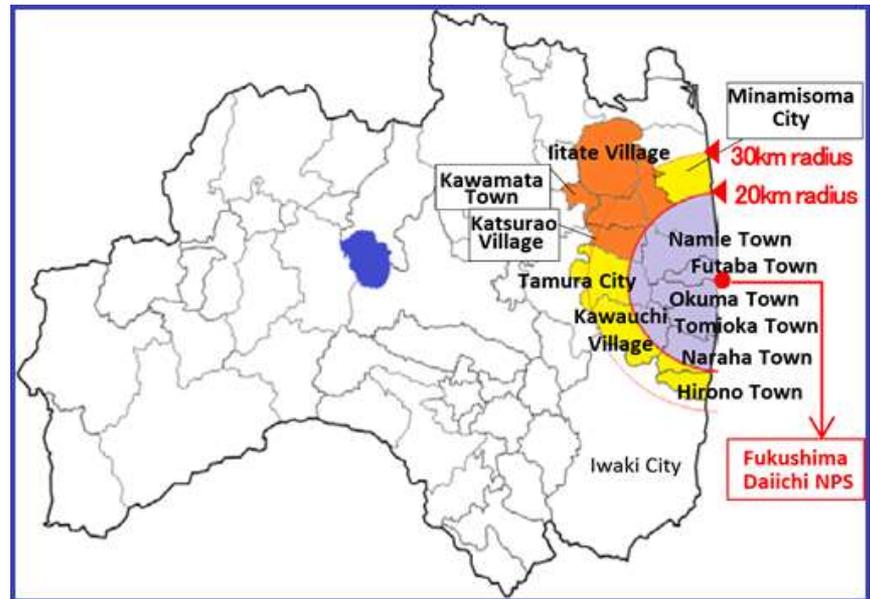
# Areas to which Evacuation Orders are issued (September 5, 2015)



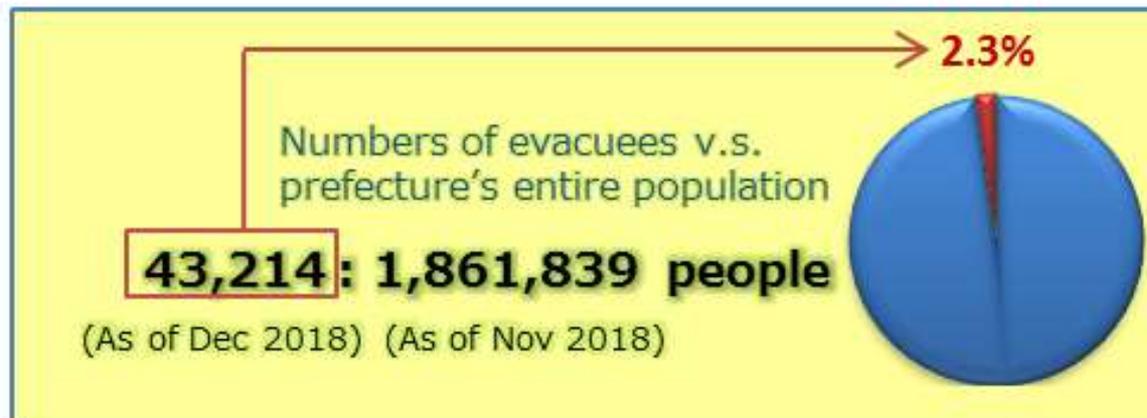
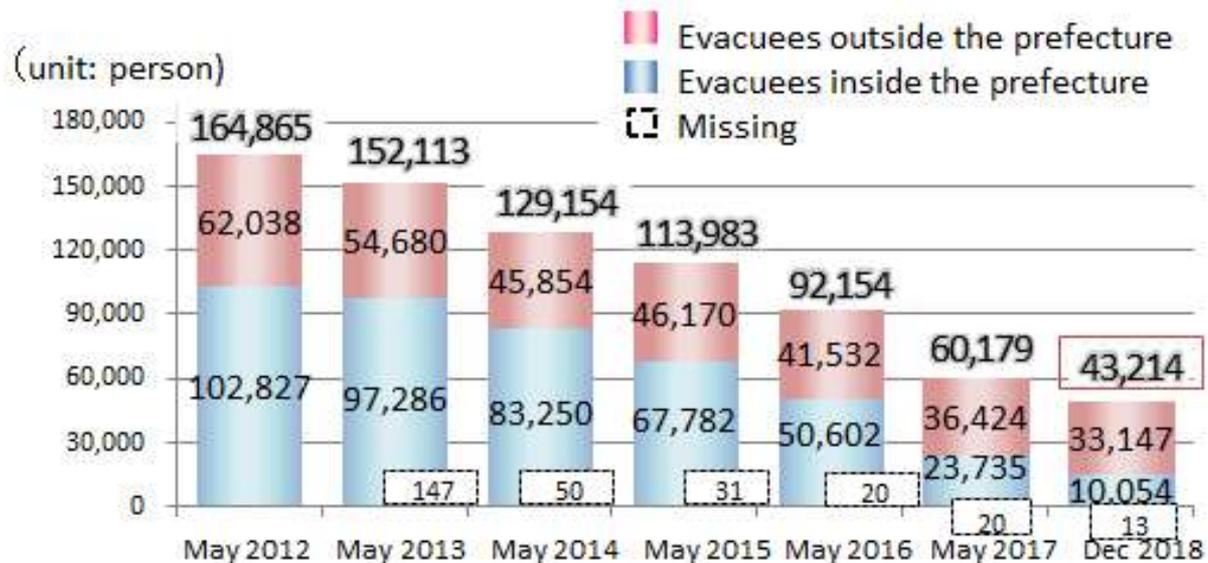


**Evacuation-Designated zones : About 2.7% of the whole Fukushima Prefecture area (Apr 1 2017)**

Difficult-to-Return zone	<ul style="list-style-type: none"> <li>Annual integrated doses are over 50mSv.</li> <li>Entry is prohibited with some exceptions.</li> <li>Lodging is prohibited.</li> </ul>
Restricted residence zone	<ul style="list-style-type: none"> <li>Annual integrated doses are between 20 and 50 mSv.</li> <li>Entry is permitted, and business operation is partially permitted.</li> <li>Lodging is prohibited with some exceptions.</li> </ul>
Evacuation order cancellation preparation zone	<ul style="list-style-type: none"> <li>Annual integrated doses are below 20 mSv.</li> <li>Entry is permitted, and business operation is permitted.</li> <li>Lodging is prohibited with some exceptions.</li> </ul>



*Präfektur Fukushima 2017*





Zugang verboten  $1,53\mu\text{Sv/h} = 13\text{mSv/a}$



***Fukushima Sperrzone (exclusion zone)***



***Verbotzone (restricted area)***

*„Kernkraft - Wohlstand  
für Gesellschaft und  
Stadtentwicklung“*

genshiryoku yutaka na shakai to  
machizukuri



*„Kernkraft – Energie für  
eine leuchtende  
Zukunft“*

genshiryoku akarui mirai no enerugi





*Verbotszone (restricted area)*

*Nord-Süd-Autobahn wieder eröffnet + Photovoltaik als neues Produkt*

## ***Menschengemachte Katastrophe *oder* Wo bleibt die Gerechtigkeit?***

*Foto: Top-Management TEPCO vor und während der Fukushima Nuklearkatastrophe*



*Tsunehisa **Katsumata** (79), Chairman; Ichiro **Takekuro** (73), VP; Sakae **Muto** (68), VP*

## *Menschengemachte Katastrophe*

In einem Parlamentsbericht ein Jahr nach der Katastrophe heißt es, Fukushima sei **eine von Menschen verursachte Krise**, die durch Japans Kultur des „**reflexiven Gehorsams**“ und der „**Zurückhaltung, Autoritäten anzuzweifeln**“ verursacht wurde; es handle sich also um ein **Desaster „made in Japan“** (Leiter der Kommission: Kiyoshi Kurokawa).

Nach der verheerenden „Weihnachts-Tsunami-Flutwelle“ in Indonesien (26.12. 2004, 230.000 Tote) gab es unter der aktiven Mitwirkung von Japan IAEA-Empfehlungen (International Atomic Energy Agency) für eine Tsunami-Katastrophen-Prävention. TEPCO hat keine umgesetzt.

Keine Staatsanwaltschaft hat bisher Anklage gegen TEPCO-Verantwortliche erhoben.

Der Fall wurde vor das Bezirksgericht Tokio gebracht (Feb. 2016), nachdem eine aus Geschädigten bestehende „Anlagekommission“ entschieden hatte, die drei vor Gericht zu stellen.

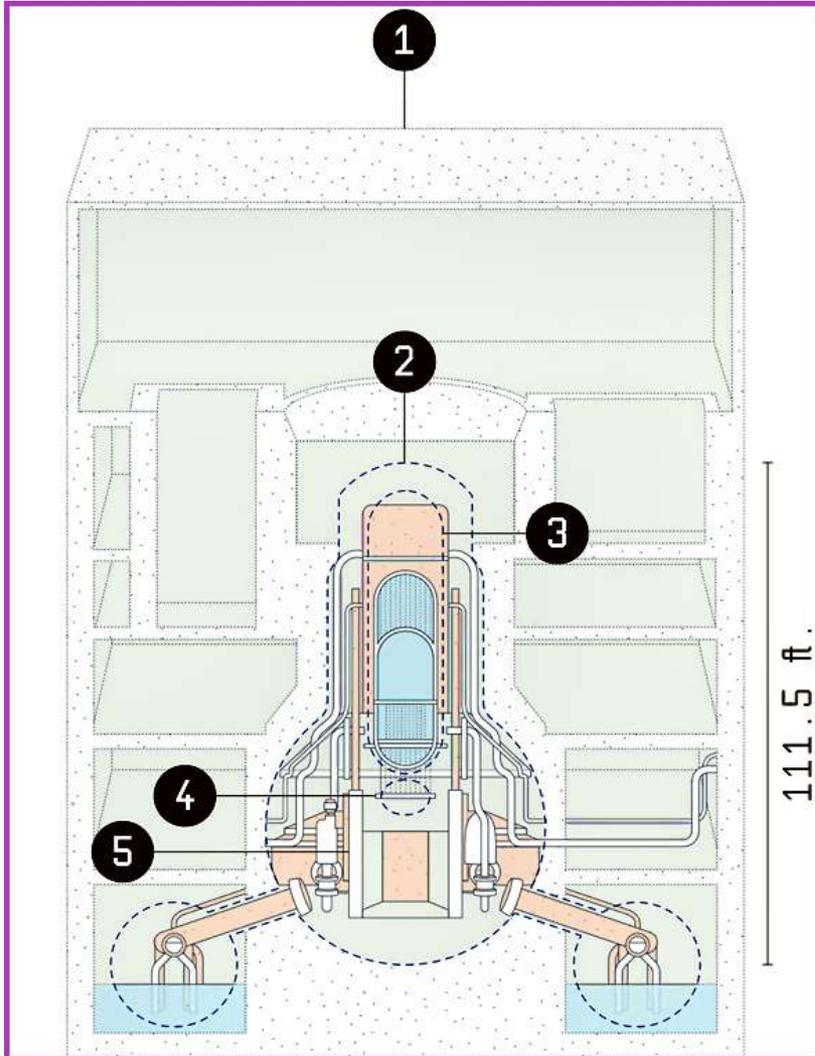
Die Anklage gegen die Ex-Chefs hängt mit dem Tod von mehr als 40 Krankenhauspatienten zusammen, die hastig aus dem Gebiet von Fukushima evakuiert wurden und später starben.

Die drei Top-Manager werden wegen grobe fahrlässiger Körperverletzung mit Todesfolge angeklagt. Sie plädieren auf „nicht schuldig“.

Die als Staatsanwälte dienenden Anwälte fordern für jeden der Angeklagten eine Freiheitsstrafe von fünf Jahren.

Ein Urteil wird am 19. September 2019 erwartet.

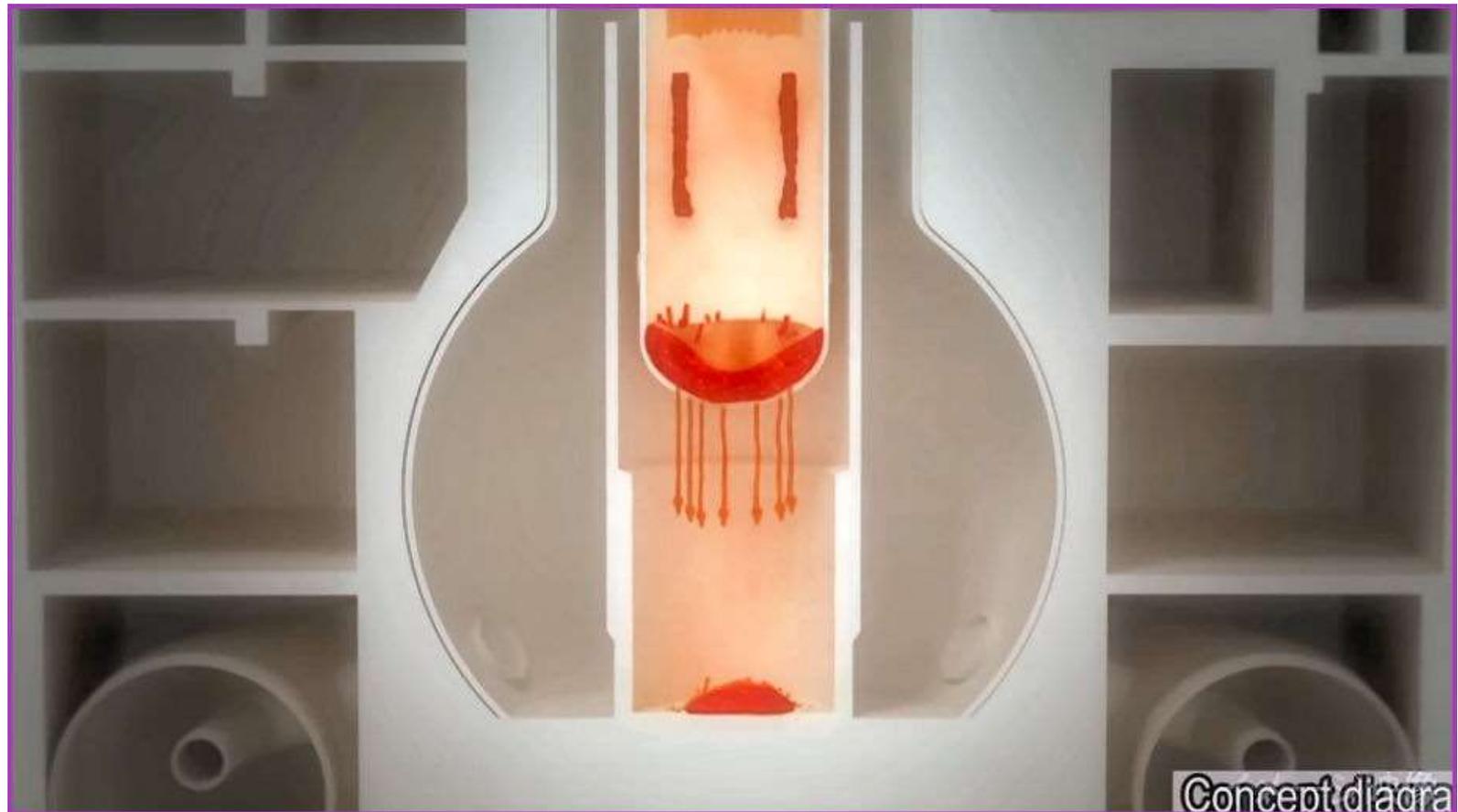
# Wer entfernt wann den geschmolzenen Kernbrennstoff? *oder* Das Generationenprojekt

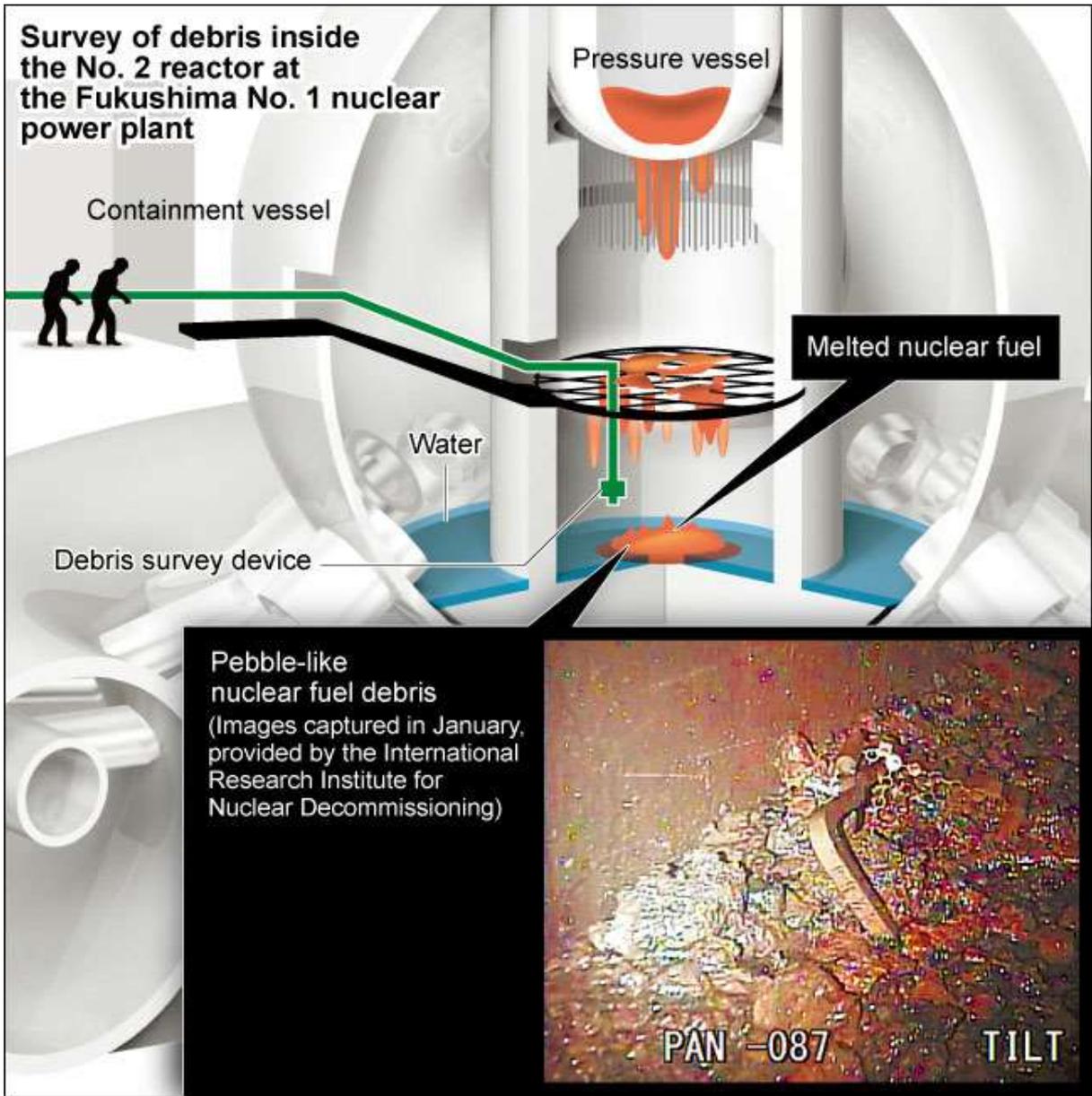


- 1 Reaktorgebäude
- 2 Sicherheitsbehälter
- 3 Reaktor-Druckbehälter
- 4 Moderatorstäbe
- 5 Betonpodest

*Zustand im Inneren der havarierten Reaktoren ist weitgehend unbekannt.*

- *Wieviel Kernbrennstoff im Druckbehälter verblieben, wieviel am Boden des Sicherheitsbehälters?*
- *Strahlung extrem hoch (über **530Sv/h** gemessen in Reaktor 2), tötet Menschen innerhalb von Minuten.*
- *Roboterkameras sollen Informationen liefern.*
- *Abschirmung von Objektiv und Sensor praktisch unmöglich.*







*Zum Vergleich: Baugleicher Reaktor in Fukushima Daini  
Raum unterhalb der Moderatorstäbe*

## Upcoming investigation

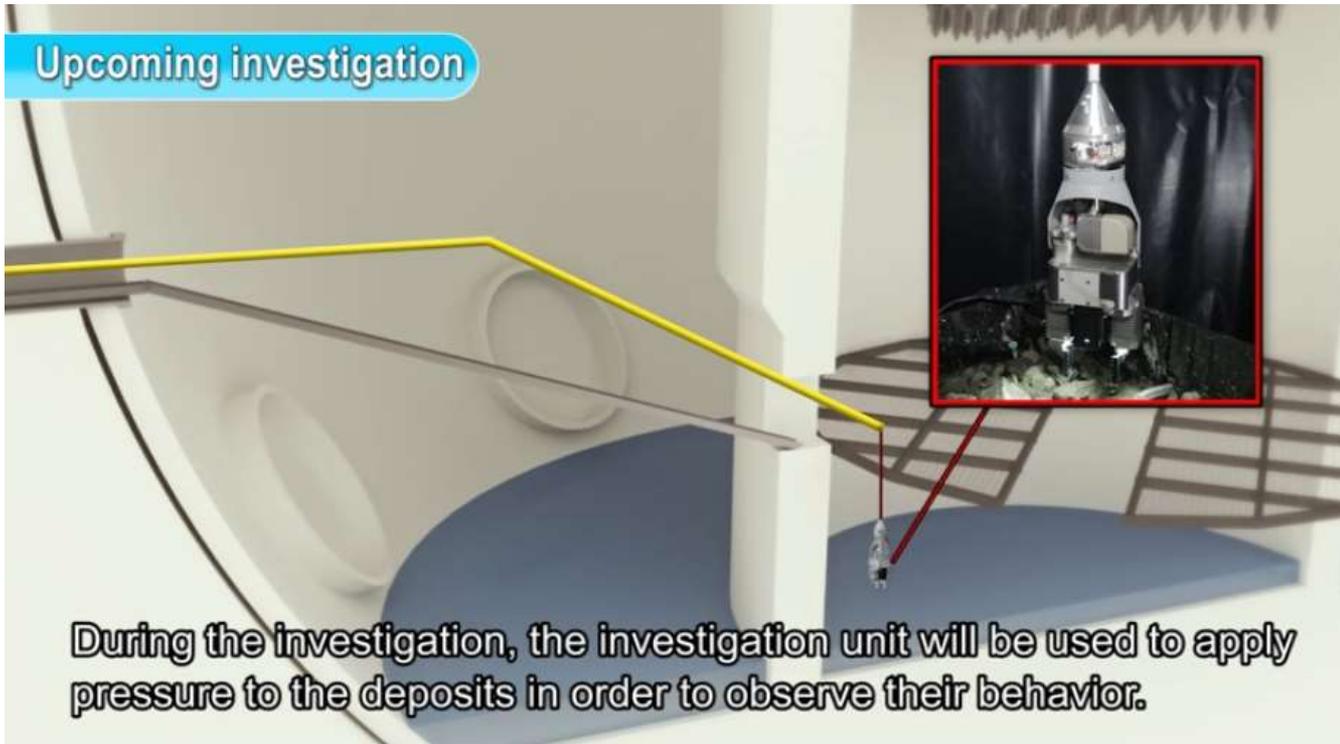


Image source :

International Research Institute for Nuclear Decommissioning

Bottom of the Unit 2 PCV



Roboter 2019

Overview of the investigation unit

about 30cm long

about 10cm wide

about 1kg weighs

It is about 30cm long by about 10cm wide and weighs 1kg.

Overview of the investigation unit

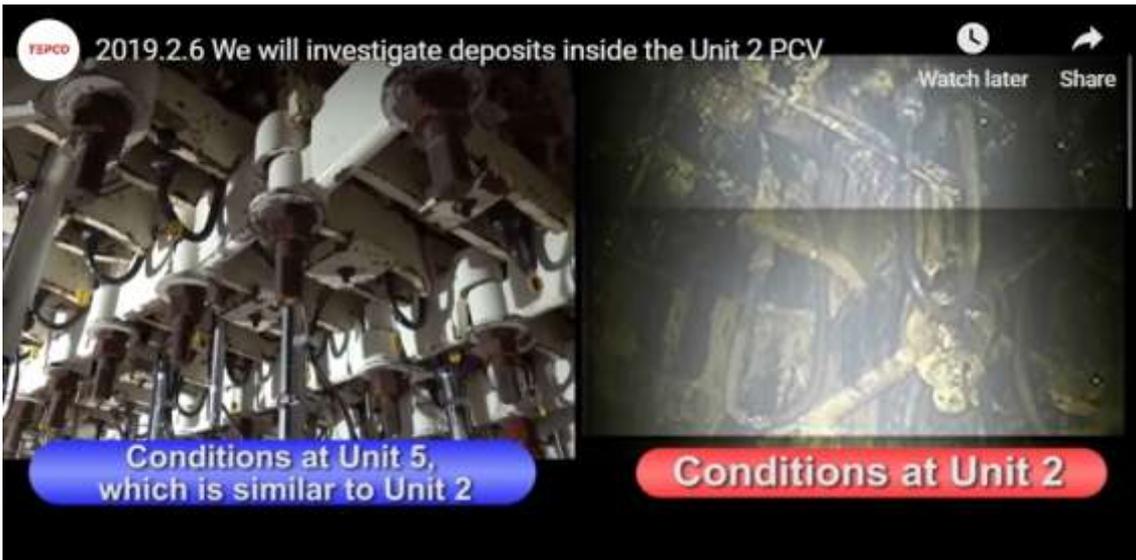
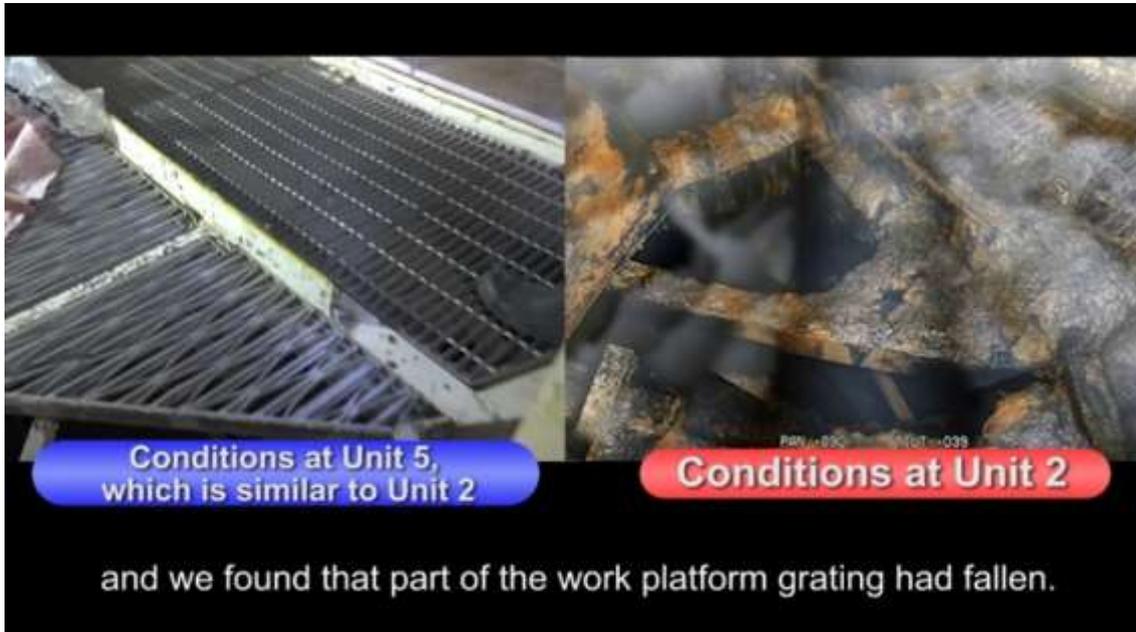
Dosimeter, Temperature gauge

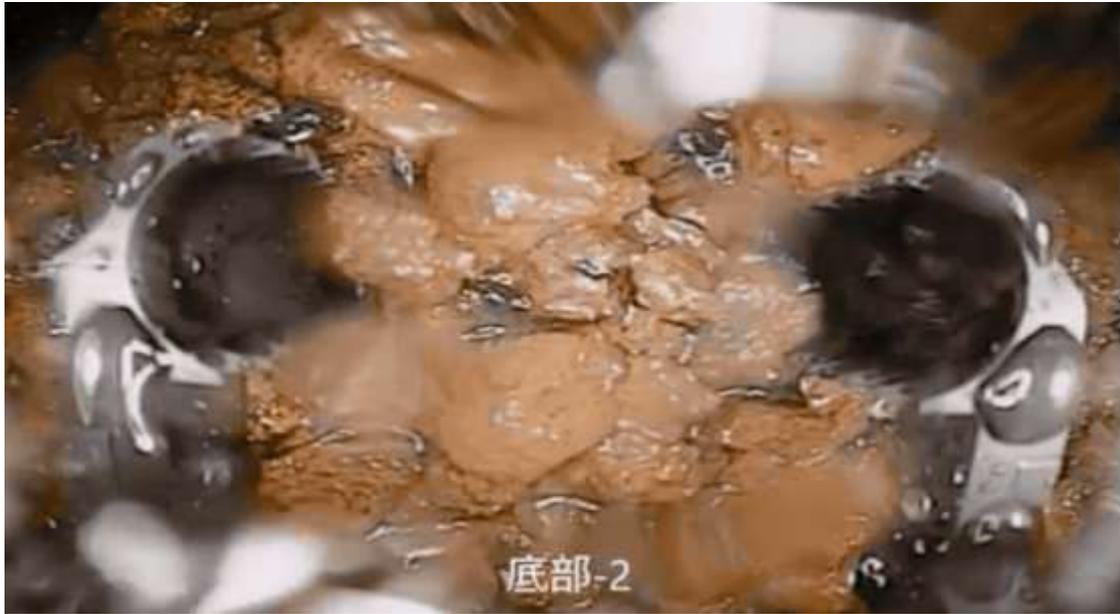
Light

Camera

A camera, lights, dosimeter and temperature gauge are mounted on the unit.

13. Feb 2019





底部-2



*Safety is our top priority.*

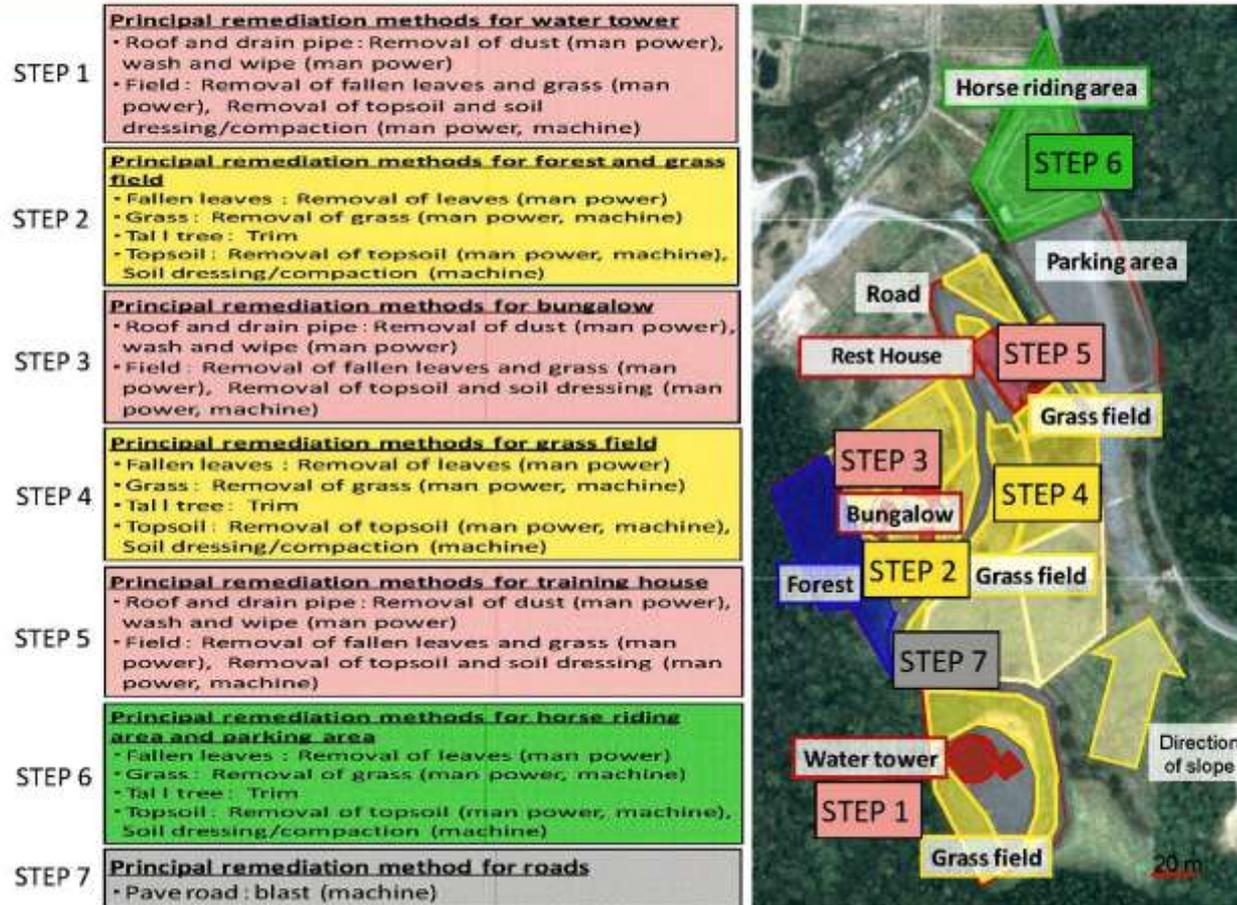
TEPCO

**Dekontaminierung oder Entgiftung der Heimat**  
(Sanierung ,remediation' 修復 shuufuku) in Regionen mit  $\geq 20\text{mSv/a}$



# Remediation plan

Model area in  
Minami Soma city



Beispiel für Sanierungsplan (remediation plan)



*unzählige Säcke voller Erdreich*



*Riesige Mengen von Mutterboden wurden entfernt. Dem Boden wurde Kalium zugesetzt, um das radioaktive Cäsium zu verdrängen und zu verhindern, dass es über die Wurzeln in die Pflanzen gelangt.*

*Quelle: [The Washington Post](#), Simon Denyer, 20. February 2019*

## *The Washington Post, Simon Denyer, 20. February 2019*

- *Die Regierung und TEPCO sagen, dass die Stilllegung des Kernkraftwerks selbst 30 oder 40 Jahre dauern könnte, und schätzen, dass die Sanierung 22 Billionen Yen (200 Milliarden US-Dollar) kosten wird. Im Jahr 2015 erklärte der Fukushima Daiichi Betriebsleiter der Londoner **THE TIMES**, dass die technologischen Herausforderungen bei der Entfernung von Hunderten Tonnen geschmolzenen radioaktiven Brennstoffs aus drei Reaktoren eine Dekommissionierungsdauer von **200 Jahren** bedeuten könnte.*
- *Weiterhin verbieten mindestens 24 Länder und Territorien einige Produkte aus Fukushima. Taiwan, Südkorea und China verhängen nach wie vor ein vollständiges Lebensmittelimportverbot. Die Vereinigten Staaten verbieten Fukushima-Produkte wie Pilze, Blattgemüse und Brokkoli. Fischer fahren nur noch zwei Tage in der Woche aufs Meer: Fisch aus Fukushima, der einst auf dem Fischmarkt von Tokyo einen hohen Stellenwert hatte, ist heute kein Thema mehr.*
- *Das Japan Center for Economic Research, ein konservativer Think Tank, schätzt, dass die Sanierungsrechnung „**cleanup bill**“ 50 bis 70 Billionen Yen (**460 bis 640 Milliarden US-Dollar**) betragen könnte.*

## Viele AKWs *aber* Kernenergie in der Sackgasse

- 42 betriebsbereite Atomreaktoren im ganzen Land
- **Toshiba**, Akquisition von **Westinghouse** (2006) für 5,4 Mrd. US\$
- **GE Hitachi Nuclear Energy** (2007)
- 'Erwartungen' der USA,
  - Joint Nuclear Energy Action Plan, 2007
- **Export von AKWs**
  - von USA
  - **Rokkasho Wiederaufbereitungsanlage**, 25 Mrd. US\$ Investition, seit 3 Jahrzehnten im Bau, Inbetriebnahme zum 25. Mal verschoben, neu: 2021
- **47 Tonnen Plutonium auf Lager;**  
*zum Vergleich: Deutschland: 6t*



## **Kein Neubau von AKWs im Inland *oder* Wird Export von AKWs die japanische Nuklearindustrie retten?**



- *Hitachi kauft britische Nuklearfirma in 2012*
- *Bau von 2 AKWs auf Anglesey Island in Wales geplant.*
- *Wegen extrem hoher Kosten und fehlender Investoren in Japan; Rückzug von Hitachi.*
- <http://www.hitachi.com/New/cnews/month/2019/01/190117.html>
- *Verlust für Hitachi: 300 Milliarden Yen (2,4Mrd. Euro)*

*Weiterer erfolgloser persönlicher Einsatz von PM Abe :*

- *November 2018: Toshiba gibt britisches AKW-Vorhaben Moorside in Grafschaft Cumbria auf.*
- *Toshiba-Tochter NuGeneration abgewickelt, kein Käufer.*
- *2018: Reaktorprojekt von Mitsubishi Heavy Industries und Framatome in Türkei wegen überhöhter Kosten gestoppt.*
- *2017: Auftrag in Estland für Hitachi AKW, Projekt auf Eis.*
- *2016: Regierung Vietnam storniert AKW-Auftrag an Hitachi; Begründung: Nuklearenergie nicht ökonomisch, da günstigere Quellen vorhanden.*

*Fazit: Alle Exportgeschäfte unter hohen Verlusten gescheitert. Aber METI gibt offiziell nicht auf ...*

## **Toshiba - Westinghouse Bankrott**

- **24. März 2017: Muttergesellschaft Toshiba gibt bekannt, dass Westinghouse Electric Company Insolvenz nach Chapter 11 beantragt;**
- **Verluste in Höhe von 9 Mrd. US\$ aus Kernreaktorbauprojekten (vier AP1000 Reaktoren in zwei Projekten, Vogtle in Georgia and VC Summer in South Carolina);**
- **Insolvenz von Westinghouse bringt Toshiba in existenzelle Krise;**
- **Toshiba muss Geschäft mit Speicherchips (Tafelsilber!) für 18 Mrd. US\$ verkaufen, um Bilanz zu stützen;**
- **Toshiba Rückzug aus allen AKW Bauprojekten;**
- **Jan. 2018: Westinghouse vom Hedgefund Brookfield Business Partners u.a. für US\$ 3,68 Mrd. übernommen;**
- **17.6.2019: Kooperation von Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation („Toshiba ESS“) und AECOM USA bei Dekommissionierung von AKWs in Japan.**

## Perspektiven

vor 2011:

- 54 kommerzielle Reaktoren an 17 Standorten

landesweit 2012:

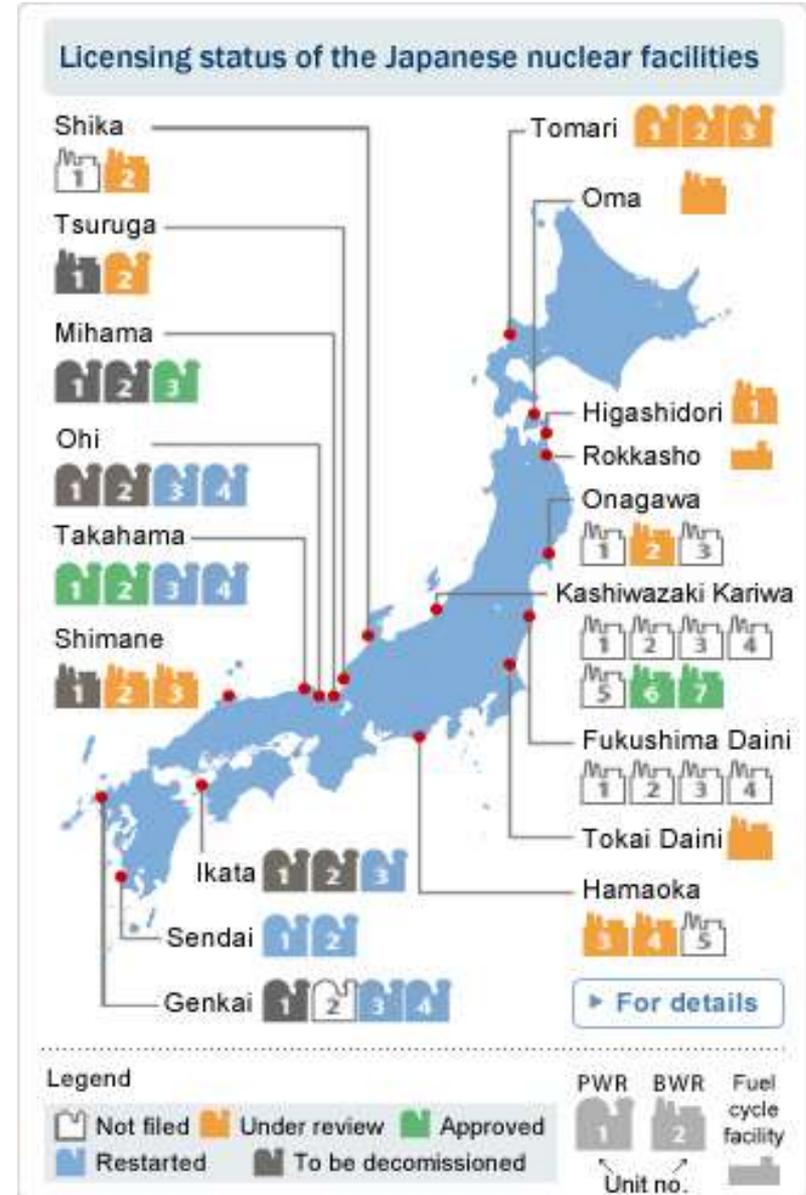
- alle Reaktoren abgeschaltet

landesweit 2016:

- 2 Reaktoren in Kyushu  
Sendai in Betrieb

landesweit 2019

- 9 Reaktoren in Betrieb
- 5 mit Betriebsgenehmigung
- 13 unter Beantragung
- 14 keine Beantragung
- 9 zur Dekommissionierung



Status 2019

## Japan's aging nuclear power infrastructure

(reactors used for at least 30 years)

	REACTOR (PREFECTURE)	POWER OUTPUT (IN MILLIONS OF KILOWATTS)	YEARS OF USE
Kansai Electric Power	Oi No. 1 (Fukui) → To be scrapped	1.18	38
	Oi No. 2 → To be scrapped	1.18	37
	Takahama No. 1 (Fukui) → Life to be prolonged	0.83	42
	Takahama No. 2 → Life to be prolonged	0.83	41
	Takahama No. 3	0.87	32
	Takahama No. 4	0.87	32
	Mihama No. 3 (Fukui) → Life to be prolonged	0.83	40
Other utilities	Japan Atomic Power Tokai No. 2 (Ibaraki)	1.10	38
	Kyushu Electric Power Genkai No. 2 (Saga)	0.56	36
	Shikoku Electric Power Ikata No. 2 (Ehime)	0.57	35
	Tokyo Electric Power Fukushima Daini No. 1 (Fukushima)	1.10	35
	Tokyo Electric Power Fukushima Daini No. 2	1.10	33
	Tohoku Electric Power Onagawa No. 1 (Miyagi)	0.52	33
	Kyushu Electric Power Sendai No. 1 (Kagoshima)	0.89	33
	Tokyo Electric Power Fukushima Daini No. 3	1.10	32
	Tokyo Electric Power Kashiwazaki-Kariwa No. 1 (Niigata)	1.10	32
	Kyushu Electric Power Sendai No. 2	0.89	31
	Japan Atomic Power Tsuruga No. 2 (Fukui)	1.16	30
	Tokyo Electric Power Fukushima Daini No. 4	1.10	30
	Chubu Electric Power Hamaoka No. 3 (Shizuoka)	1.10	30

**Stand Okt. 2017**

## Comparison of Primary Energy Self-Sufficiency Ratios of Major Countries (2014)

■ Coal 
 ■ Crude oil 
 ■ Natural gas 
 ■ Nuclear power 
 ■ Hydro

■ Renewable energy, etc. (Geothermal power, Wind power, Solar power, etc.)

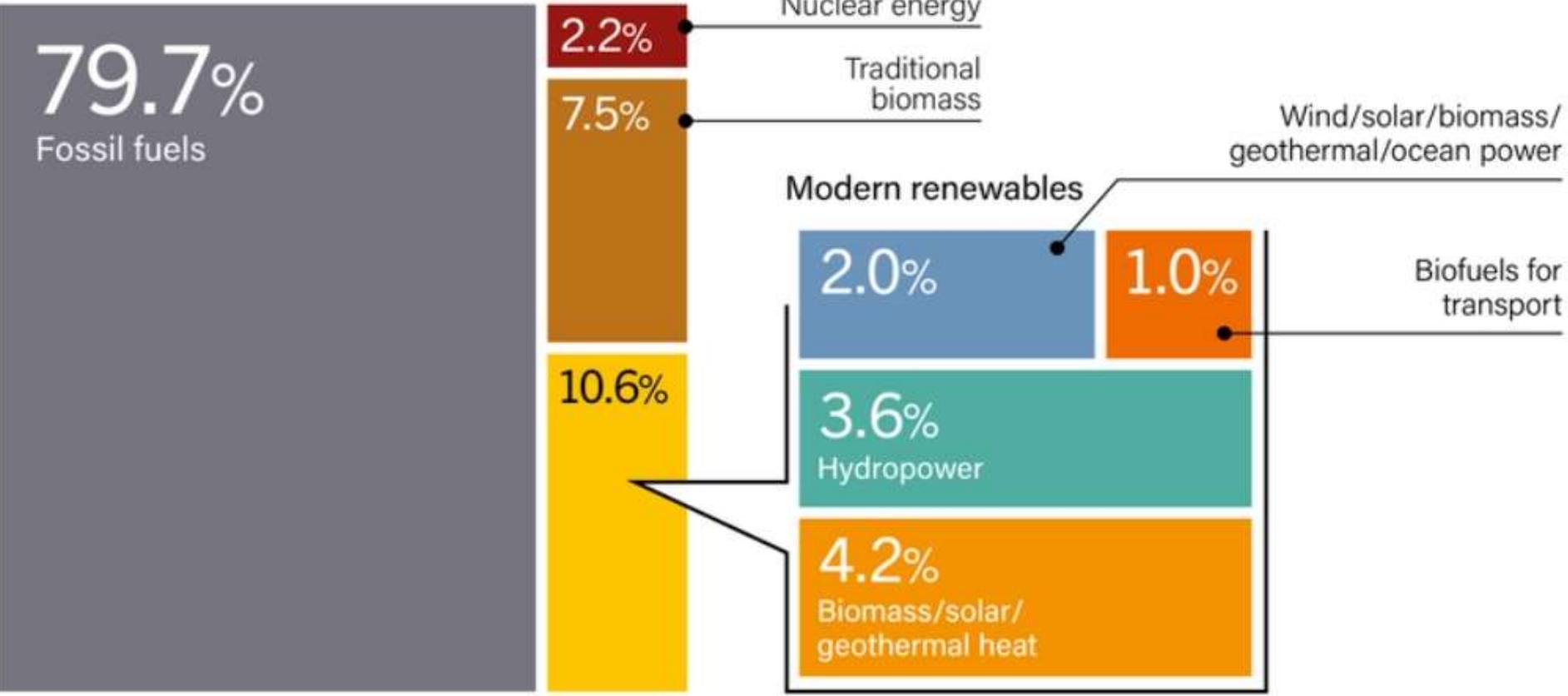


  
 2010  
 Self-Sufficiency  
 Ratio  
**19.9%**

A low energy self-sufficiency ratio results in dependence on other countries for resources. Because of this, it's easy to be affected by the influence of international situations when securing resources, which raises concerns over stable energy supply.

  
 2014  
 Self-Sufficiency  
 Ratio  
**6.0%**

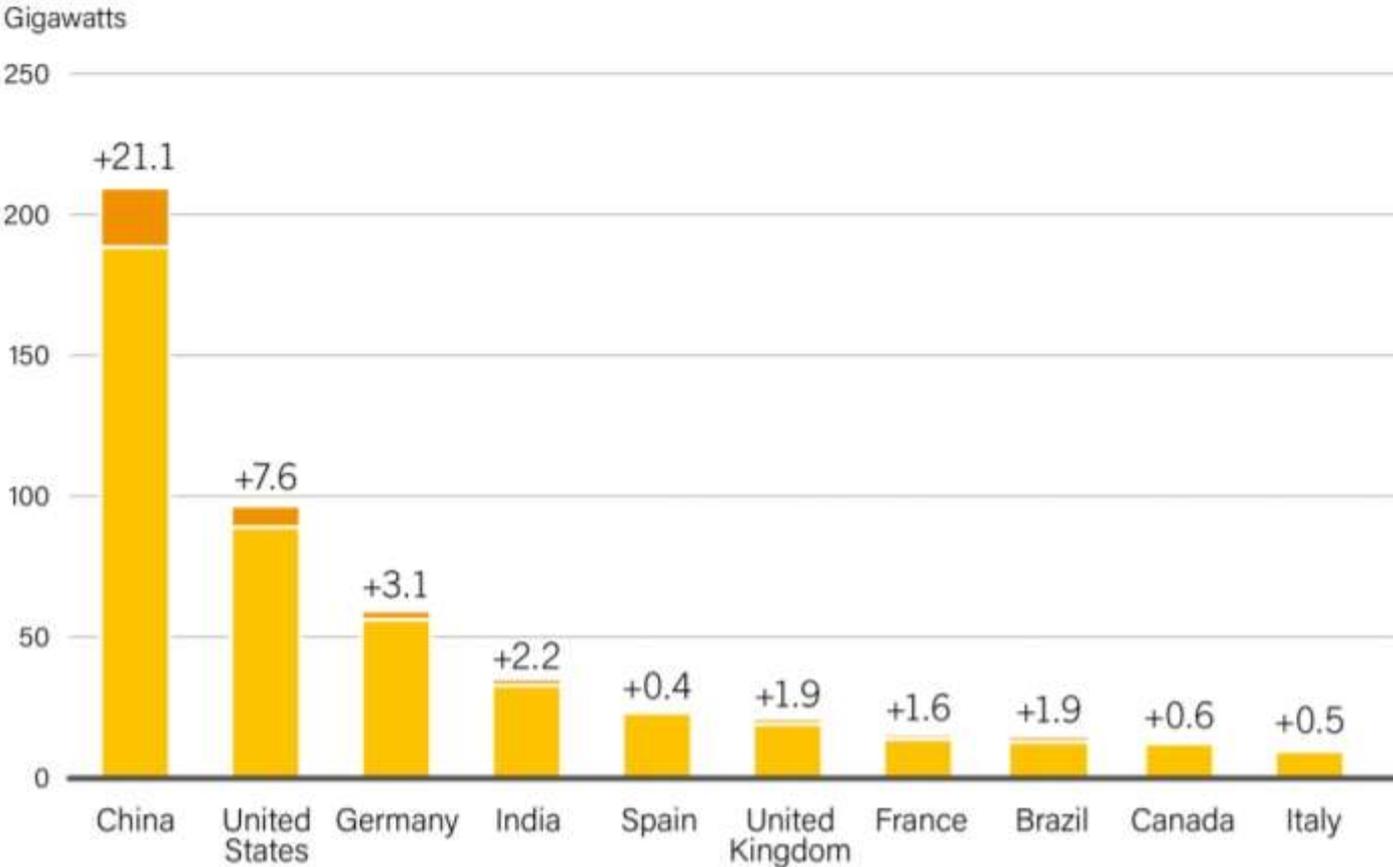
# Estimated Renewable Share of Total Final Energy Consumption, 2017



Note: Data should not be compared with previous years because of revisions due to improved or adjusted data or methodology. Totals may not add up due to rounding.

Source: Based on OECD/IEA and IEA SHC.

# Wind Power Capacity and Additions, Top 10 Countries, 2018

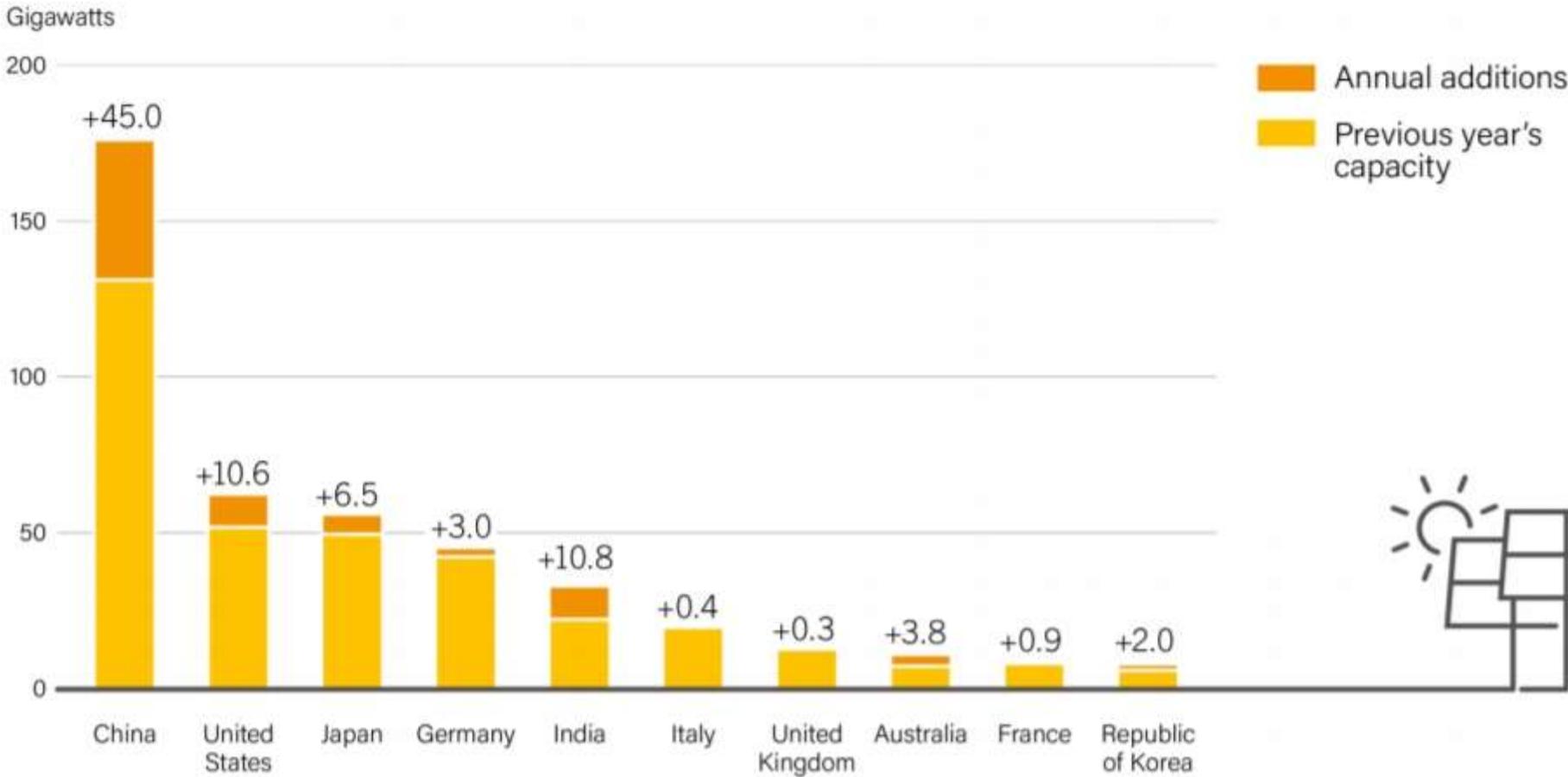


Annual additions  
Previous year's capacity



Note: Additions are net of decommissioning.

# Solar PV Capacity and Additions, Top 10 Countries, 2018



Note: Data are provided in direct current (DC).  
Data for India are highly uncertain.

## Teil B

### Wasserstoffgesellschaft / Hydrogen Society

### oder Ende der fossilen Brennstoff-“Kultur“

Yōichi Masuzoe, der Gouverneur von Tokyo, Austragungsort der Olympiade 2020, verkündet 2016:

*Die Olympischen Spiele 1964 in Tokio hinterließen als Erbe das Hochgeschwindigkeitszugsystem Shinkansen. Die bevorstehenden Olympischen Spiele hinterlassen eine Wasserstoffgesellschaft als Vermächtnis. Die Regierung der Metropolregion Tokio arbeitet bereits daran, dies zu verwirklichen.*

Die Regierung handelt (*Japan Times/Kyodo News*)

*Premierminister Shinzo Abe hat die Minister am Dienstag (11. April 2017) gebeten, bis Ende des Jahres eine grundlegende Strategie für die Schaffung einer emissionsfreien „Wasserstoffgesellschaft“ zu formulieren und gleichzeitig größere Anstrengungen zu unternehmen, um die Nutzung erneuerbarer Energien zu verstärken.*

*Es wird erwartet, dass die Regierung ein System zur Beschleunigung des Baus von Wasserstofftankstellen schafft, mit dem Ziel, bis 2020 40.000 Fahrzeuge mit Wasserstoffbrennstoffzellen auf die Straße zu bringen, auch durch Gesetzesänderungen.*

# **Challenges for Japan's Energy Transition**

## **- Basic Hydrogen Strategy -**

February 26  
2019

Masana Ezawa

Agency for Natural Resources and Energy (ANRE),  
Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), Japan

---

# Mission/ Background

## ● Japan's Responsibility for Energy Transition

### ⇔ Energy trilemma

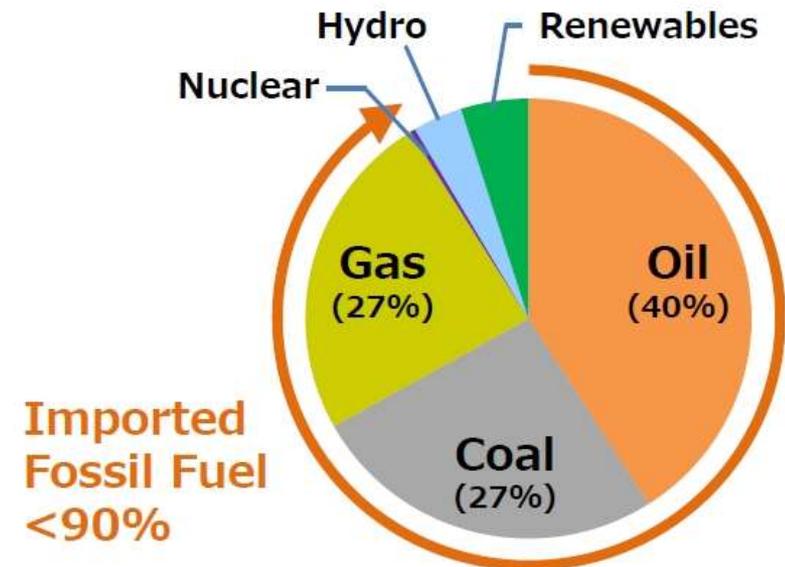
- ✓ **E**nergy security
- ✓ **E**nvironment (Sustainability)
- ✓ **E**conomic affordability (Cost)

} **3"E" + Safety**

## ● Measures;

- ✓ Energy saving
- ✓ Renewable energy
- ✓ Nuclear energy
- ✓ CCS + Fossil fuels
- ✓ **Hydrogen**

**Japan's Primary Energy (FY2016)**



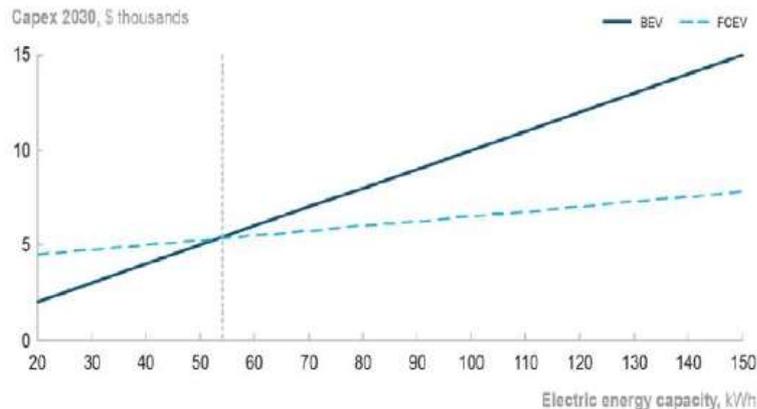
# Why Hydrogen?

## ● Contribution to 3"E"

- ✓ Contribute **de-carbonization** (**E**nvironment)
  - ✓ Mitigate **dependence on specific countries** (**E**nergy security)
  - ✓ Enable to utilize **low cost feedstock** (**E**conomic affordability)
- + **Japan's edge in technology** since 1970s

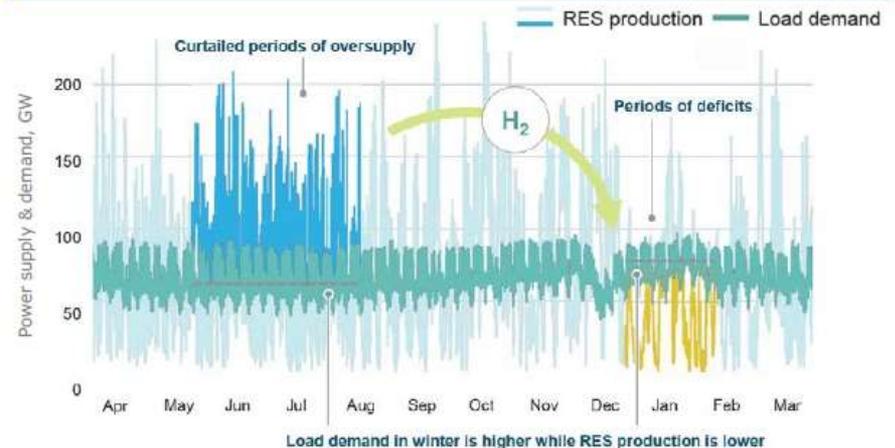
## ● Roles of H<sub>2</sub> in Electrified Mobility/ Generation Mix

### Powertrain Costs Analysis for FCEVs & BEVs



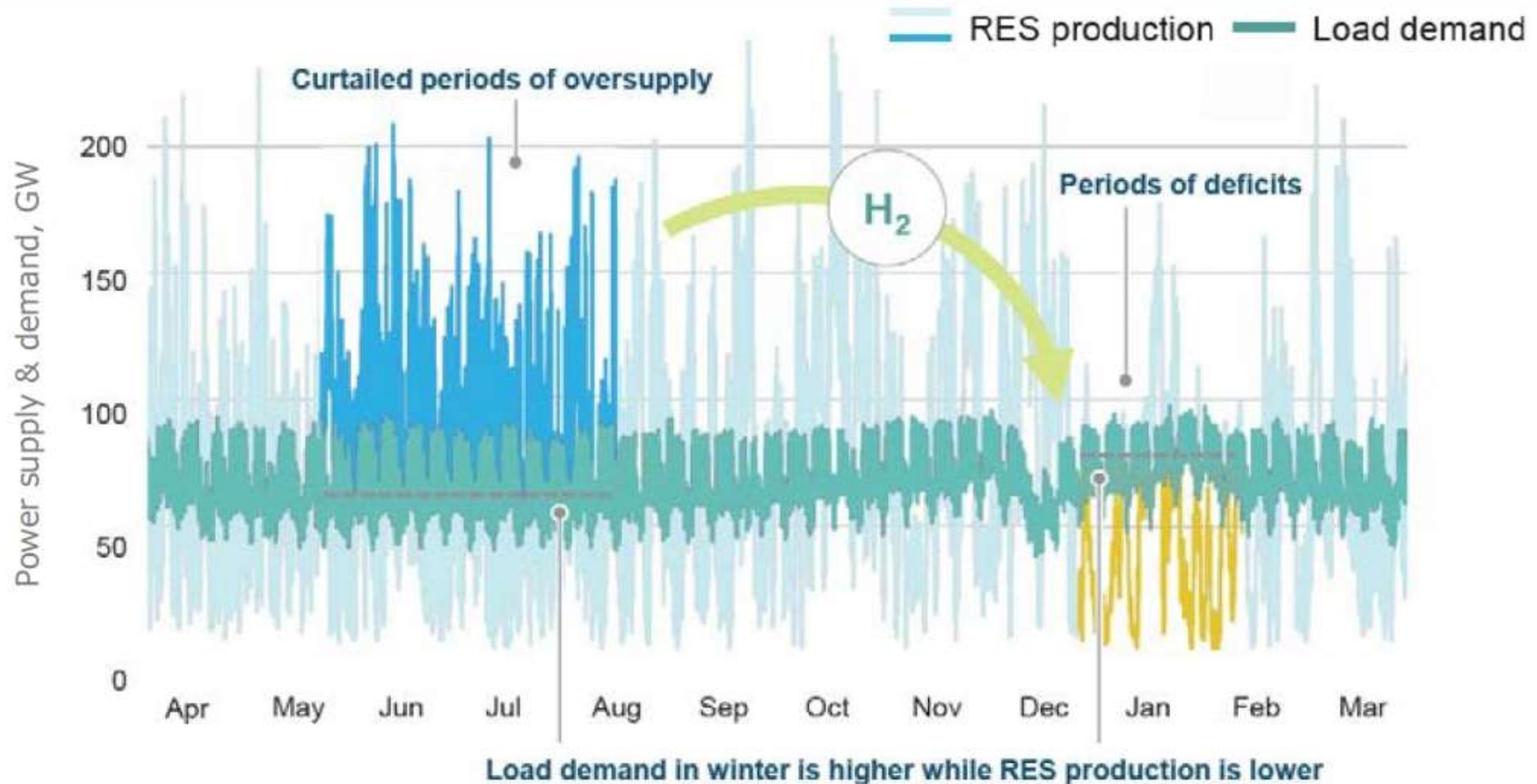
Source: "Hydrogen Scaling Up", Hydrogen Council (2017)

### Power Supply & Demand Simulation for Germany in 2050



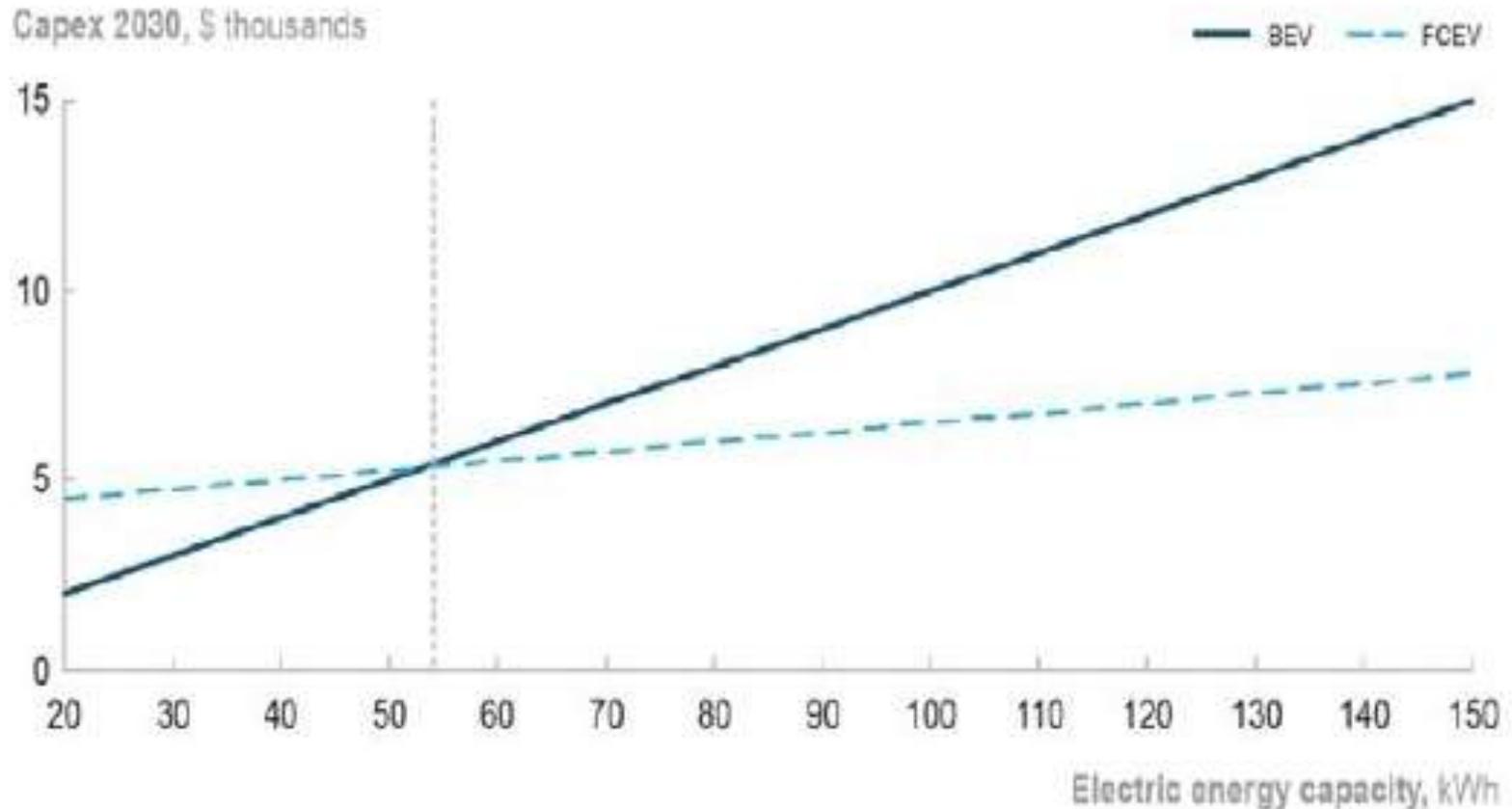
Source: "How Hydrogen Empowers the Energy Transition", Hydrogen Council (2017)

# Power Supply & Demand Simulation for Germany in 2050



Source: "How Hydrogen Empowers the Energy Transition", Hydrogen Council (2017)

# Powertrain Costs Analysis for FCEVs & BEVs



Source: "Hydrogen Scaling Up", Hydrogen Council (2017)

Capex (capital expenditure) vs. Energy capacity

# Strategy

## ● “Basic Hydrogen Strategy” (Prime Minister Abe’s Initiative)

- ✓ World’s first national strategy
- ✓ 2050 Vision: position H<sub>2</sub> as a new energy option (following Renewables)
- ✓ Target: make H<sub>2</sub> affordable (\$3/kg by 2030 ⇒ \$2/kg by 2050)



### 3 conditions for realizing affordable hydrogen

- 【Supply】 { ① **Inexpensive feedstock** (unused resources, renewables)  
                  ② **Large scale H<sub>2</sub> supply chains**
- 【Demand】 ... ③ **Mass usage** (Mobility ⇒ Power Generation ⇒ Industry)

## ● Key Technologies to be Developed



# Direction of Activities to Realize a "Hydrogen Society"

## Production

## Transportation and supply (supply chain)

## Use

### Domestic fossil fuels

City gas  
LP gas

Reforming

Byproduct hydrogen

Future

### Overseas unused energy

Brown coal

Gasification

CCS

Byproduct hydrogen

Overseas renewable energy

Water electrolysis

### Renewable energy

Solar power

Water electrolysis

Wind power

\*Use hydrogen as a means of energy storage (absorb fluctuations in intermittent RES)

— City gas pipeline/LPG supply network —  
— Liquefied hydrogen lorry —  
- - - Hydrogen pipeline - - -

- Installation of 113 stations nationwide
- Promotion of regulatory reform for cost reduction

Hydrogen station

- Demonstration of the world's first international hydrogen supply chain in 2020

Large-scale hydrogen ocean Transportation network

- Demonstration of large-scale power-to-gas @Fukushima/aiming for use in the 2020 Tokyo Olympic and Paralympic Games

- 2,900 vehicles installed
- 40,000 vehicles by 2020

Fuel cell vehicles (FCV, FC bus, etc.)

Transportation

- Entered service in Tokyo in March 2017
- 100 buses by 2020

- Over 270,000 units installed

Fuel cell cogeneration (e.g. Ene-Farm)

- For Business and Industry use, some models have already been launched in 2017

Power generation

Future

Hydrogen power generation (CO<sub>2</sub>-free thermal power plants)

- Combined heat and power supply using hydrogen cogeneration in Kobe in early 2018

Use in the industrial sector (Power-to-X)

Other

# Scenario



Supply



Volume (t/y)	200	4k	300k	5~10m
--------------	-----	----	------	-------

Cost (\$/kg)	~10		3	2
--------------	-----	--	---	---

Demand

Gene-ration

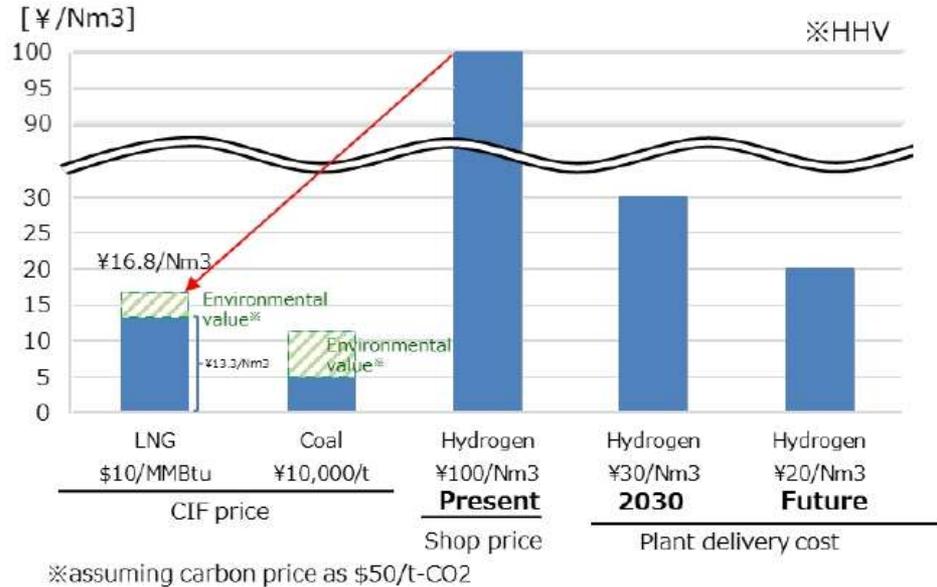
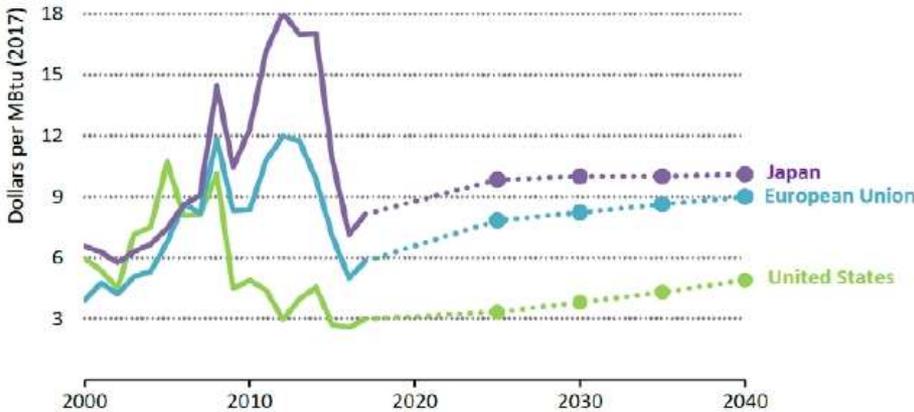
Mobility

Large Power Plant	-- (RD&D) ----->	1GW	→	15~30GW
FC CHP*	274k ——— 1.4m ——— 5.3m	→	Replace Old Systems	
*Primary energy: natural gas.				
HRS	100 ——— 160 ——— 320 ——— (900)	→	Replace Filling Stations	
FCV	2.9k ——— 40k ——— 200k ——— 800k	→	Replace Conventional Mobility	
FC Bus	5 ——— 100 ——— 1.2k	→		
FC FL	140 ——— 500 ——— 10k	→		
Industry Use	----- (RD&D) ----->	Expand H <sub>2</sub> Use		

# Hydrogen Cost Targets

- In order to achieve grid parity, Hydrogen cost is needed to be lower than price of natural gas.
- Target of hydrogen importing cost in Japan has to be ¥ 13/Nm<sup>3</sup> in future (US\$1.3/kg, equivalent to US\$10/MMBtu).

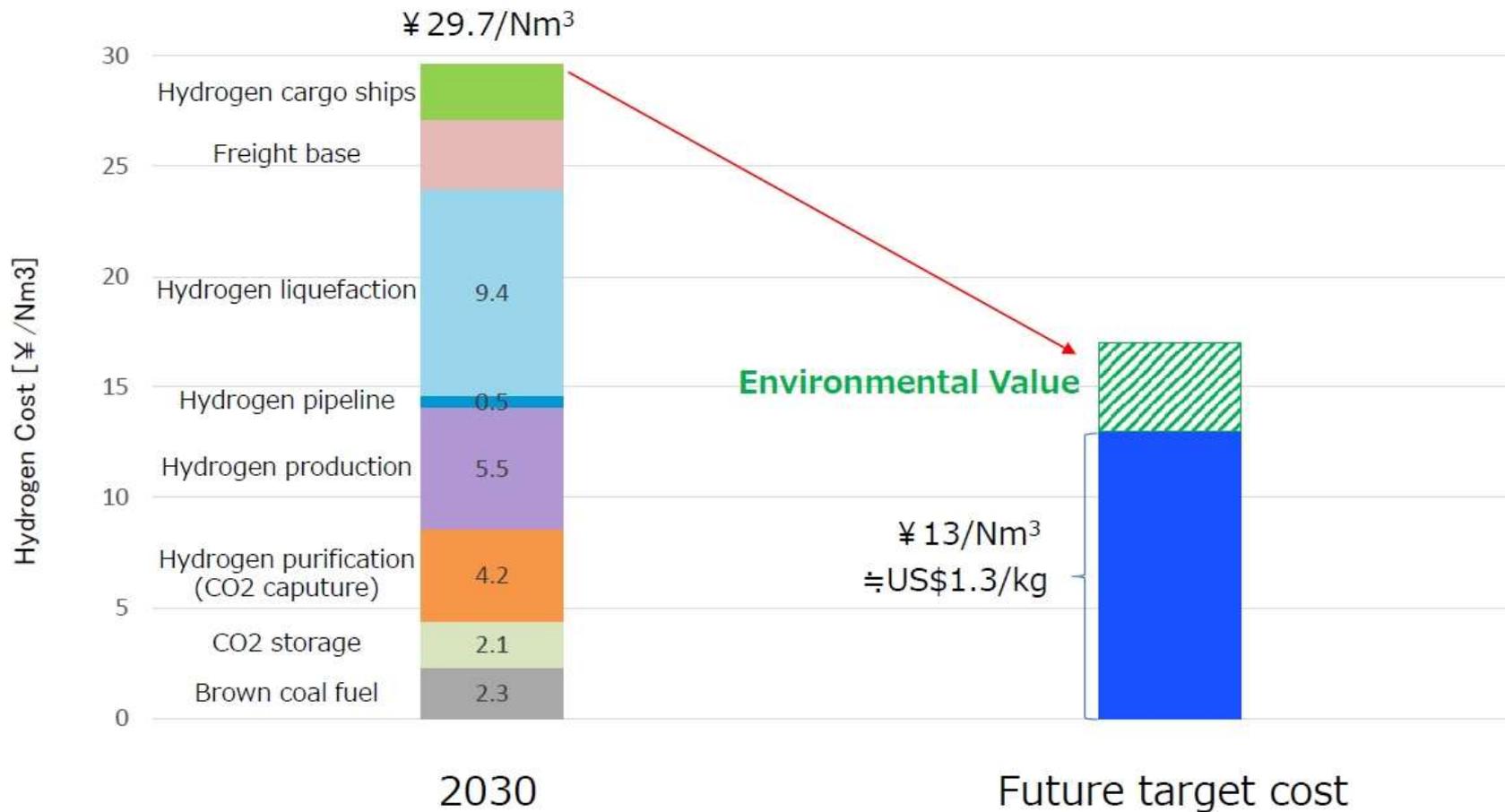
Natural gas prices in key regions in the New Policies Scenario



from World Energy Outlook 2018 (IEA)

# Hydrogen Cost Perspective of the Supply Chain Project

- Target cost of hydrogen supply in 2030 is ¥ 30/Nm<sup>3</sup>.
- Natural gas price is unpredictable, however further cost reduction is needed.



# Ongoing Projects (Supply-side)

## International H<sub>2</sub> Supply Chain

### Japan-Brunai Pilot Project

2020~ AHEAD

Off-gas



Steam Methane Reforming



Hydrogenation\*  
(TOL→MCH)



Chemical Tanker



Dehydrogenation\*  
(MCH→TOL)



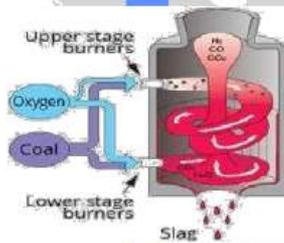
### Japan-Australia Pilot Project

2020~ HySTRA

Brown Coal + CCS



Gasification



Liquefied H<sub>2</sub> Carrier\*



Loading Facility\*



## Power-to-gas

### Fukushima Renewable H<sub>2</sub> Project

2020~ FHER FUKUSHIMA HYDROGEN ENERGY RESEARCH FIELD



Power-to-Gas Plant\*



Electrolysis System (Alkaline)



\* Image

# Ongoing Projects (Demand-side)

## H<sub>2</sub> Mobility

### H<sub>2</sub> Station Network

2013~

\*113 Stations  
by November 2018



### H<sub>2</sub> Applications

2016~



FC Bus

X 100 in 2020



FC Truck Demo

## H<sub>2</sub> Power Generation

### H<sub>2</sub> Co-generation Demonstration Project



Hydrogen Gas Turbine (1MW class)

2018~



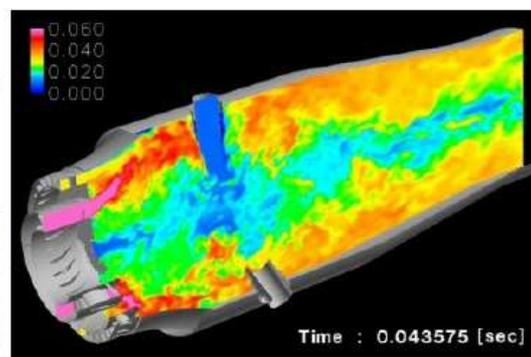
### Joint Venture for H<sub>2</sub> Infrastructure Development

2018~

### R&D of H<sub>2</sub> Burner Systems



For Power Generation  
<500MW



Burning Simulation  
(H<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>)

# Hydrogen Energy Ministerial Meeting

- Date / Place : October 23<sup>rd</sup>, 2018 / Dai-ichi Hotel Tokyo
- Organized by : METI , New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)
- Participants : 300 people including representatives from 21 countries, regions, international organizations, etc.\*

\*Japan, Australia, Austria, Brunei, Canada, China, France, Germany, Italy, the Netherlands, New Zealand, Norway, Poland, Qatar, South Africa, Korea, United Arab Emirates, United Kingdom, United States, European Commission, IEA Participants :

## PROGRAM

- Ministerial Session
- Industry and International Organization Session
  - Plenary Session: Potential of Hydrogen Energy for Energy Transition
  - Session 1: Expansion of Hydrogen Use - Mobility & H<sub>2</sub> Infrastructure -
  - Session 2: Upstream & Global Supply-chain for Global Hydrogen utilization
  - Session 3: Renewable Energy Integration & Sectoral Integration

## Tokyo Statement

We share the view that hydrogen can be a key contributor to the energy transitions underway to clean energy future and an important component of a broad-based, secure, and efficient energy portfolio. Also, we confirmed the value of collaborating on the following four agendas on “Tokyo Statement” to achieve a “Hydrogen Society” .

- ◆ Harmonization of Regulation, Codes and Standards
- ◆ Study and Evaluate Hydrogen’s Potential
- ◆ International Joint R&D emphasizing Safety
- ◆ Communication, Education and Outreach



# The Future of Hydrogen



Seizing today's opportunities

- *Treffen der G20 Industrie- und Wirtschaftsminister in Karuizawa, 15. und 16. Juni 2019; mit dabei: Wasserstoffrat (**Hydrogen Council**)*
- *Treffen der G20 Staats- und Regierungschefs in Osaka, 28. und 29. Juni 2019*

Report prepared by the IEA  
for the G20, Japan

## G20 IN JAPAN: HYDROGEN TAKES CENTRE STAGE

G20 in Japan: Hydrogen Takes Centre Stage Marking the start of the 2019 G20 Summit in Japan, the mountain resort of Karuizawa was abuzz last weekend with discussions on how to solve the biggest issues facing the international energy community. At a time when hydrogen technologies are gaining unprecedented momentum and support from governments and...

#HydrogenNow



## G202019 JAPAN

### #HydrogenNow

*Investing in the Energy Transition*

SATURDAY, 15 JUNE 2019, 09:00 – 18:00 (JST)  
Karuizawa, Nagano Prefecture, Japan

**Hydrogen  
Council**

Wasserstoffrat (Hydrogen Council), Juni 2019



Deutsche Steering Member: Audi, BMW, Bosch, Daimler, Linde, thyssenkrupp  
Deutsches Supporting Member: Liebherr

## Executive Summary

- **Es ist an der Zeit, das Potenzial von Wasserstoff zu nutzen**, um eine **Schlüsselrolle für eine saubere, sichere und umweltfreundliche Umwelt und erschwingliche Energiezukunft** zu spielen. Auf Ersuchen der japanischen Regierung unter ihrer G20 Präsidentschaft hat die Internationale Energieagentur (IEA) diesen wegweisenden Bericht erstellt, um den aktuellen Stand von Wasserstoff zu analysieren und Hinweise für seine zukünftige Entwicklung zu geben ...
- **Wasserstoff kann bei der Bewältigung verschiedener kritischer Energieprobleme helfen**. Es bietet Möglichkeiten zur **Dekarbonisierung einer Reihe von Sektoren** - einschließlich Fernverkehr, Chemie sowie Eisen und Stahl -, in denen es schwierig ist, die Emissionen sinnvoll zu reduzieren ...
- **Wasserstoff ist vielseitig**. Bereits heute verfügbare Technologien ermöglichen es Wasserstoff, **Energie auf unterschiedliche Weise zu erzeugen, zu speichern, zu bewegen und zu nutzen**. Eine Vielzahl von Brennstoffen kann Wasserstoff produzieren, einschließlich erneuerbarer Energien, Kernkraft, Erdgas, Kohle und Öl ...
- **Mit Wasserstoff können erneuerbare Energien einen noch größeren Beitrag leisten**. Wasserstoff ist einer der führenden Optionen für die **Speicherung von Energie aus erneuerbaren Quellen** und vielversprechende Optionen für die kostengünstigste Speicherung von Strom über Tage, Wochen oder sogar Monate ...
- **In der Vergangenheit gab es Fehlstarts für Wasserstoff. Derzeit könnte es anders sein**. Die jüngsten Erfolge bei Photovoltaik-, Wind-, Batterie- und Elektrofahrzeugen haben gezeigt, dass politische und technologische Innovationen die Kraft haben, eine **globale saubere Energieindustrie aufzubauen** ...
- **Wasserstoff kann viel umfangreicher verwendet werden**. Heutzutage wird Wasserstoff hauptsächlich zur Öltraffination und zur Herstellung von Düngemitteln verwendet. Damit er einen wesentlichen Beitrag zu einer sauberen Energiewende leistet, muss er auch **in Bereichen wie Verkehr, Gebäude und Energieerzeugung** eingesetzt werden, in denen er derzeit fast völlig fehlt.

## Herausforderungen

- **Die Erzeugung von Wasserstoff aus kohlenstoffarmer Energie ist derzeit kostspielig.** Die IEA-Analyse ergab aber, dass die Kosten für die Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbarem Strom bis 2030 um 30% sinken könnten ...
- **Die Entwicklung der Wasserstoffinfrastruktur verläuft schleppend** und hemmt die breite Akzeptanz. Die Wasserstoffpreise für Verbraucher hängen in hohem Maße davon ab, wie viele Tankstellen es gibt. Um dies in Angriff zu nehmen, ist wahrscheinlich eine Planung und **Koordinierung erforderlich, die nationale und lokale Regierungen, die Industrie und Investoren zusammenbringt.**
- **Wasserstoff wird heute fast ausschließlich aus Erdgas und Kohle gewonnen,** ... aber seine Produktion ist für die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich, die denen Indonesiens und des Vereinigten Königreichs zusammen entsprechen ...
- **Vorschriften begrenzen derzeit die Entwicklung einer sauberen Wasserstoffindustrie.** **Regierung und Industrie müssen zusammenarbeiten,** um sicherzustellen, dass bestehende Vorschriften kein notwendiges Investitionshindernis darstellen. Der Handel wird von gemeinsamen internationalen Standards für die Sicherheit des Transports und der Lagerung großer Mengen Wasserstoff und für die Rückverfolgung der Umweltauswirkungen verschiedener Wasserstoffversorgungen profitieren.

## Entscheidendes Jahr: Gelingt Wasserstoff endlich der Durchbruch?

Handelsblatt, *Martin Kölling*, 16.06.2019



*Der globale Wasserstoffrat (Hydrogen Council) tritt bei der G20-Tagung der Energieminister auf. Gastgeberland Japan fördert den Vorstoß – in Deutschland herrscht aber noch Skepsis.*

- *Karuizawa 8.+ 9. Juni 2019: Wasserstoffrat präsentiert FCEV LKW*
- *Wasserstoffrat (Hydrogen Council), vor zwei Jahren auf dem Weltwirtschaftsforum in Davos von BMW, Daimler und der Linde-Gruppe mitgegründet, von 13 auf mehr als 60 Firmen gewachsen;*
- *Jetzt auch Bosch-Konzern dabei; Serienfertigung von Brennstoffzellen bekannt gegeben. G20-Tagung der Umwelt- und Energieminister*
- *Ministerpräsident [Shinzo Abe](#) hat die Wasserstoffwirtschaft neben den großen Themen Klimaschutz und Plastikmüll mit auf die Umweltagenda der G20 gesetzt.*
- *Japan: mit der Wasserstoffwirtschaft neue, global wettbewerbsfähige Industrien aufbauen und die Energiesicherheit des Landes erhöhen.*
- *IEA International Energy Agency: Wasserstoffwirtschaft im kommenden Jahrzehnt zuerst auf große Häfen und Transportkorridore fokussieren. Hohe Nachfrage im Güterverkehr schafft Versorgung mit sauberem Wasserstoff; bestehende Infrastruktur wie Gaspipelines nutzen und internationalen Hydrogenhandel per Schiff aufbauen.*
- *Japan: Plan der Regierung sieht vor, dass Brennstoffzellenautos 2025 nur noch etwas mehr als Hybridautos kosten sollen*

# FINANCIAL TIMES

Robin Harding, 17. Juni 2019

## Japans Wasserstofftraum: Game Changer oder viel heiße Luft?

*Das Land muss die Infrastruktur für seine Emissionsminderung aufbauen*

- *Braunkohle in Australien zu kostengünstigem Wasserstoff vergasen, Kohlendioxid unter Tage zurückpumpen; außerdem Projekte in Brunei, Norwegen und Saudi-Arabien zur Beschaffung von Wasserstoff.*
- *Wasserstoff in riesigen Tankschiffen nach Japan transportiert und an ein landesweites Tankstellennetz verteilt.*
- *Falls erfolgreich, bietet Wasserstoff eine Möglichkeit, **Japans Transportsektor vollständig zu entkarbonisieren** mit Kraftstoff von zuverlässigen strategischen Verbündeten.*
- *Automobilindustrie erhält Wettbewerbsvorteil gegenüber internationalen Konkurrenten.*
- *Problem: diese visionäre Infrastruktur existiert noch nicht.*
- *Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass Japan den Wasserstofftraum aufgibt.*
- *Tetsuya Kaneko, Senior Consultant am Nomura Research Institute: "**Ich denke, Japan ist die am weitesten fortgeschrittene Nation der Welt für Wasserstoff. Warum? Weil Japan so wenige andere Möglichkeiten hat, seine CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren.**"*

Handelsblatt, 24.06.2019

## Japan's Wasserstoffstrategie zeigt, wie Industriepolitik funktioniert

Japan geht bei der Förderung von Wasserstoff strategisch vor – mit Erfolg. Das Vorgehen ist wegweisend, auch für die Industriepolitik in Deutschland.



Martin Kölling

- Experten loben implizit Japans Strategie, nicht zuerst auf die Massenherstellung von „grünem“ Wasserstoff zu warten, sondern möglichst schnell Nachfrage und eine globale Lieferkette aufzubauen.
- Bis 2030 soll die Nachfrage gesteigert werden auf 800.000 Brennstoffzellenautos im Transportwesen und 5,3 Millionen fest installierte Brennstoffzellen für die Heißwasser- und Stromgewinnung im Wohnsektor.
- Regierungschef Abe wirft sich als Chefverkäufer der Japan AG ins Zeug. So drastisch wie beim Wasserstoff ist er jedoch bisher nie aufgetreten.
- Die Regierung in Tokio weiß, dass nur durch einen globalen Boom genug Wasserstoff für das energiehungrige Land produziert werden kann.
- Ob diese Industriepolitik der kreativen Bewahrung langfristig bessere Resultate erzielt als die kreative Zerstörung, in der neue Unternehmen etablierte Spieler verdrängen, ist allerdings eine offene Frage.
- Japans Konservative glauben nicht an die Selbstheilungskraft des Markts.

## Wasserstofftankstellen *oder* Wie zähmt man den flüchtigen Stoff?



Anzahl in Japan (Quelle: METI): **113**; Plan: **160** bis 2020, **320** bis 2025  
(Stand Nov. 2018)

Anzahl in Deutschland: **71**; Plan: **100** bis 2020, **400** bis 2025  
(Stand Juni 2019)

Quelle: [www.automobil-produktion.de](http://www.automobil-produktion.de)  
BTW: in KL keine; nächste in Mannheim

### Anmerkung:

- SAE J2600 (Society of Automotive Engineers) und sein ISO-Äquivalent für die Wasserstoffdüse und die FCEV-Fahrzeugaufnahme sind im Wesentlichen identisch und für 35MPa und 70MPa weltweit harmonisiert.

## H2 Tankstellen in Japan und Deutschland



### ➤ Errichtungskosten

- *in Japan: ca. 400 Mio. Yen (ca. 3,2 Mio. Euro)*
- *in D: ca. 1 Mio. Euro (Bauvorhaben von EU zu 50 Prozent gefördert)*

### ➤ 1 kg Wasserstoff

- *in Japan ca. 1100 Yen/kg*
- *bei H2 Mobility 9,50 Euro*

### ➤ Reichweite: ca. 100km/kg;

**BEV: Batteriegewicht: ca. 100kg für 85km Reichweite**

- *Beispiel Tesla S: Batteriekapazität: 100kWh, Batteriegewicht 700 kg, Reichweite 600km; Verbrauch: ca. 20kWh/100km*

**FCEV: schwerer Wasserstofftank, Verbrauch ca. 1kg Wasserstoff/100km**

- *Beispiel Toyota Mirai: FC Gewicht ca. 40kg, 2 Tanks à 45kg; Druck: 70Mpa (700bar); Inhalt: je 2,5kg; Batterie: 1,6kWh; Wasser-“Produktion“: ca. 6 l/100km*

**Toyota als Souffleur *oder* Die treibende “Wasserstoffkraft”**



**IOC Präsident Thomas Bach mit Toyota Präsident Akio Toyoda; daneben: Toyota Mirai FCV  
November 2018; Thema: Toyotas Mobilitätsinnovationen**

**Quelle: IOC**

## **Ankündigung durch Toyota Executive VP Terashi Shigeki am 7. Juni 2019:**

Fünf Jahre früher als noch 2017 geplant will Toyota die Hälfte seiner Automobilproduktion auf elektrifizierte Fahrzeuge umstellen ...

*TOKYO - Toyota beschleunigt seine Pläne zur Einführung von Elektrofahrzeugen, setzt sich ein neues Ziel, 5,5 Millionen Elektrofahrzeuge innerhalb von fünf Jahren zu verkaufen, und strebt an, bis zum nächsten Sommer eine **Festkörperbatterie** (solid state battery) zu entwickeln, um auf die "plötzliche Zunahme" von Elektrofahrzeugen vorbereitet zu sein.*

*Toyota will jetzt bis 2025 rund 5,5 Millionen herkömmliche benzinelektrische Hybride, Plug-in-Hybride, Elektrofahrzeuge und Wasserstoffbrennstoffzellenfahrzeuge verkaufen. Knapp 1 Million davon könnten reine Elektrofahrzeuge sein.*

*Shigeki Terashi, Executive Vice President von Toyota, erläuterte die neue Roadmap in einem Briefing am 7. Juni über die EV-Pläne des Unternehmens. Im Dezember 2017 hatte das Unternehmen angekündigt, bis 2030 so viele Elektrofahrzeuge verkaufen zu wollen, fünf Jahre später als der revidierte Ausblick.*

<https://europe.autonews.com/>



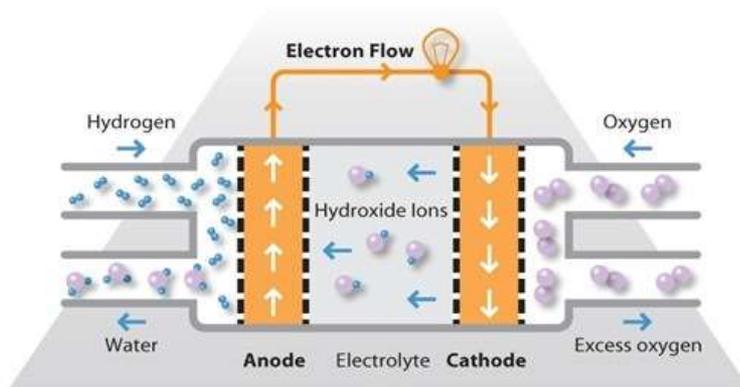
Tim Hornyak, 26.02.2019

## Wie Toyota Japan mit seinem milliarden schweren Vorstoß hilft, eine Gesellschaft mit Wasserstoff als Brennstoff aufzubauen.

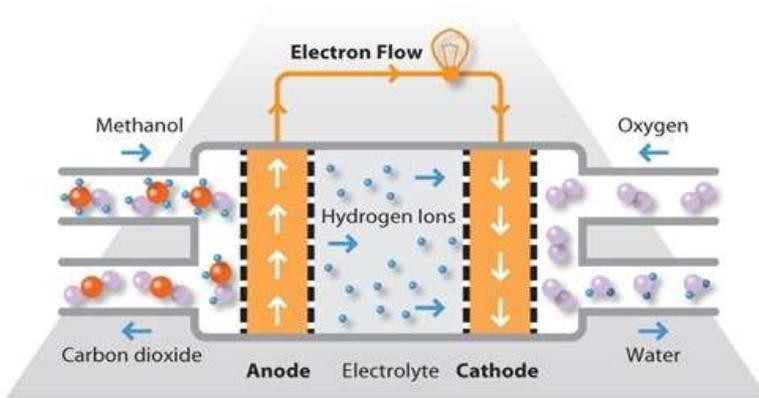
- *Da nur ein Bruchteil des Nuklearsektors in Betrieb ist, setzt Japan auf Wasserstoff, um seine Wirtschaft zu befeuern und die Abhängigkeit von ausländischen Öl- und Gasimporten zu beenden.*
- *Toyota versucht, eine Veränderung herbeizuführen. In Zusammenarbeit mit dem niederländischen Institut für Energie-Grundlagenforschung entwickelt das Unternehmen ein Gerät, das mithilfe von Sonnenlicht Wasserstoff aus Wasserdampf erzeugt.*
- *Der Autohersteller stellte auf der Consumer Electronic Show (CES), Las Vegas, mit Paccar den Prototyp eines Wasserstoff-Brennstoffzellen-LKW vor.*
- *Toyota und Honda verkaufen wasserstoffbetriebene Autos und haben sich zusammengeschlossen, um die Zahl der Wasserstofftankstellen im ganzen Land deutlich zu erhöhen.*
- *Bis 2050 will Toyota den weltweiten durchschnittlichen Kohlendioxid ausstoß seiner neuen Fahrzeuge im Vergleich zu 2010 um mindestens 90 Prozent senken.*

## Teil C

### Wasserstoff überall *oder* Raum für technologische Fortschritte



- Kategorie: **PEMFC** Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle (Proton Exchange Membrane)
- Brennstoff: reiner Wasserstoff
- Elektrolyt: saure Polymermembran auf Wasserbasis
- Elektroden (Katalysator): Platinbasis
- Betriebstemperatur: unter 100°C
- Anwendung: dynamische Leistungsanforderungen, z.B. PKW



- Kategorie: **DMFC** Direktmethanol-Brennstoffzelle
- Brennstoff: Methanol
- Elektrolyt: Polymermembran
- Elektroden (Katalysator): Platin-Ruthenium
- Betriebstemperatur: 60°C bis 70°C
- Anwendung: portable elektronische Geräte



## Proton Exchange Membrane Fuel Cell

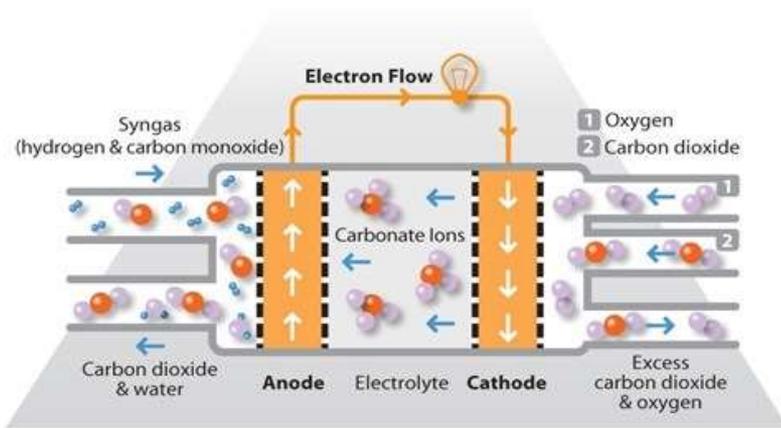
Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs) use a polymer membrane for its electrolyte and a precious metal, typically platinum, for its catalyst. What distinguishes these fuel cells from others is PEMFC's ability to operate at cooler temperatures relative to other types of fuel cells, between 80 to 200 degrees Fahrenheit. Pure hydrogen gas is the typical fuel for PEMFCs Due to their use of precious metals and lower operating temperatures.

PEMFCs operate between 40% to 60% efficiency and are capable of handling large and sudden shifts in power output. PEMFCs are well-suited for cars and other specialty vehicles such as forklifts that need to quickly start up or accelerate. Additionally, PEMFC's can be scaled in stationary applications for use in telecommunications, data centers, and residential markets.

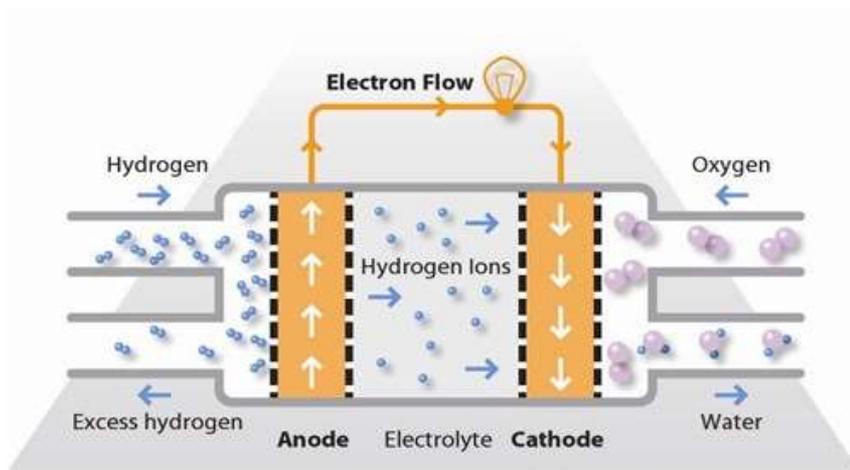


## Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)

Much like PEMFCs, Direct Methanol Fuel Cells (DMFCs) use a polymer membrane as an electrolyte and commonly a platinum catalyst as well. However, unlike PEMFCs, DMFCs draw hydrogen from liquid methanol, rather than use direct hydrogen fuel. DMFCs also run at relatively cool temperatures, between 125 and 250 degrees Fahrenheit. . Applications of DMFCs range from small electronics, such as battery chargers and laptops, to larger applications like stationary power for telecommunications backup.



- **Kategorie:** *SOFC Festoxidbrennstoffzellen (Solid Oxide)*
- **Brennstoff:** *Synthesegas aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid*
- **Elektrolyt:** *Yttriumoxid stabilisiertes Zirkoniumoxid*
- **Elektroden:** *Keramik*
- **Betriebstemperatur:** *800°C bis 1000°C*
- **Anwendung:** *Generatoren 10 – 100kW, Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)*
- **Wirkungsgrad:** *über 80% bei KWK*



- **Kategorie:** *AFC Alkalische Brennstoffzellen (Alkaline)*
- **Brennstoff:** *Wasserstoff*
- **Elektrolyt:** *Kaliumhydroxid*
- **Elektroden (Katalysator):** *Nickel*
- **Betriebstemperatur:** *70°C*
- **Anwendung:** *Weltraum, NASA*
- **Wirkungsgrad:** *bis 60%*



## Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)

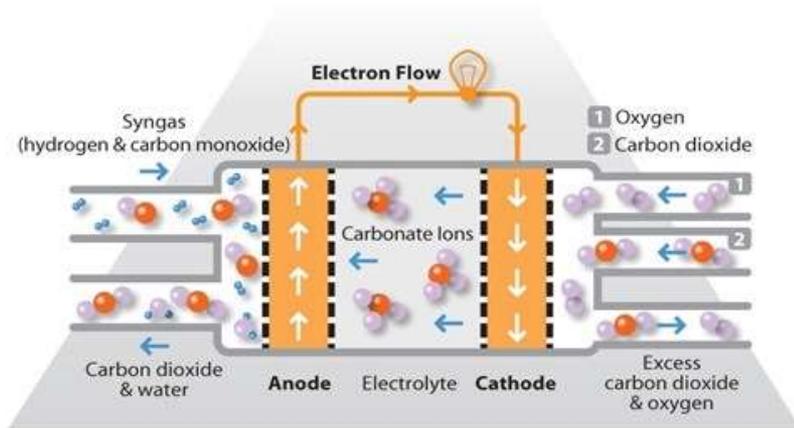
SOFCs are the highest temperature fuel cells, operating at about 1800 degrees Fahrenheit. SOFCs use a dense layer of ceramic as an electrolyte, which at high temperatures allows for the conductivity of oxygen ions. Similar to the MCFCs, SOFCs also use a non-platinum catalyst utilizing internal reformation, and are commonly fueled by natural gas. Through this process, SOFCs can achieve electrical efficiencies of 50% to 60%, and 70%-80% in CHP applications. SOFCs are being used in a range of applications, from small residential auxiliary power units supplying heat and power to homes, to large-scale stationary power generators for larger buildings and businesses.

Foto: [Fuel Cell and Hydrogen Energy Association \(FCHEA\)](#)

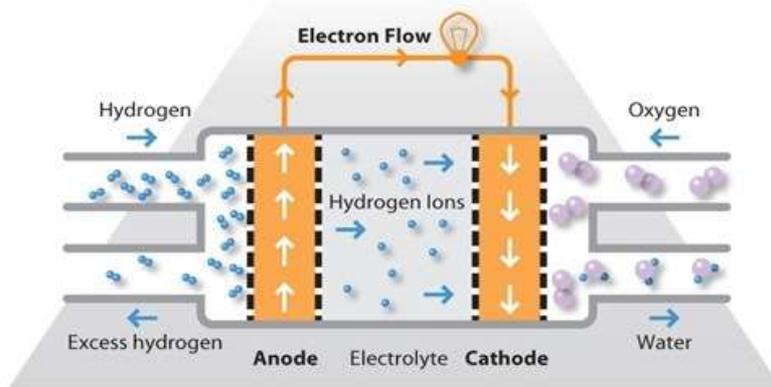


## Alkaline Fuel Cell (AFC)

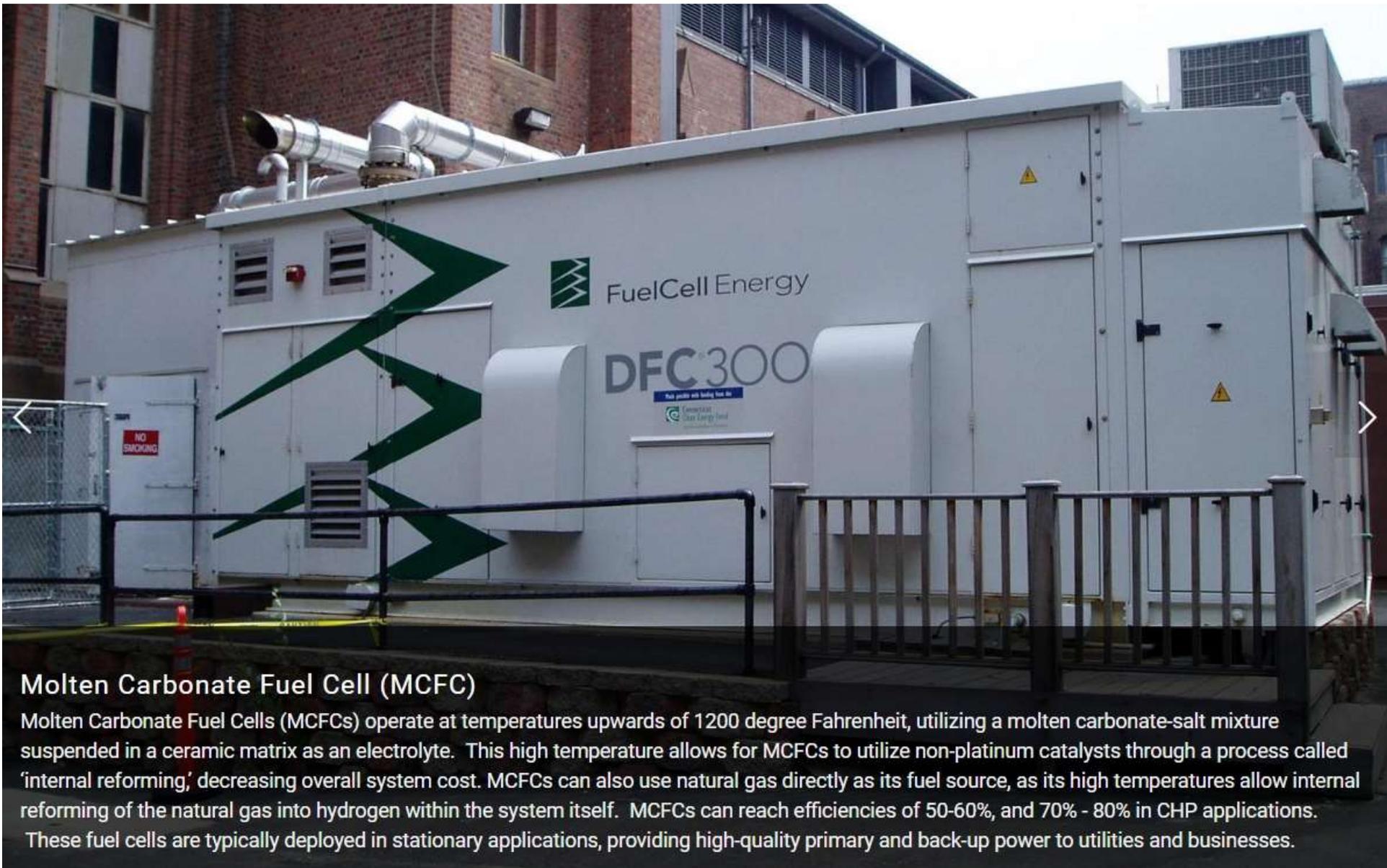
AFCs are best known for their roles in the NASA Apollo mission to provide both water and electricity to the crew. These fuel cells use porous electrolytes saturated with an alkaline solution and have an alkaline membrane as the name suggests. The AFC is one of the most efficient types of fuel cells, with a potential of 60% electrical efficiency, and 80% to 90% in CHP applications. AFCs use hydrogen as a fuel source, though are highly sensitive and can fail when exposed to carbon dioxide, which is why they are primarily used in controlled aerospace and underwater applications.



- Kategorie: **MCFC** Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen (Molten Carbonate)
- Brennstoff: aus Kohle gewonnenes Brenngas, Methan oder Erdgas
- Elektrolyt: suspendiertes geschmolzenes Karbonatsalz in poröser Keramikmatrix
- Elektroden: Keramik **Betriebstemperatur: 650°C**
- Anwendung: Kraftwerke im MW-Bereich
- Wirkungsgrad: über 80% bei KWK



- Kategorie: **PAFC** Phosphorsäure-Brennstoffzellen (Phosphoric Acid )
- Brennstoff: Wasserstoff
- Elektrolyt: Phosphorsäure in Siliziumkarbid Struktur
- Elektroden (Katalysator): Platin auf Kohlenstoff
- Betriebstemperatur: 180°C
- Anwendung: Kraftwerke im 100 bis 400kW-Bereich, große Fahrzeuge (Bus, LKW)
- Wirkungsgrad: über 80% bei KWK



### Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)

Molten Carbonate Fuel Cells (MCFCs) operate at temperatures upwards of 1200 degree Fahrenheit, utilizing a molten carbonate-salt mixture suspended in a ceramic matrix as an electrolyte. This high temperature allows for MCFCs to utilize non-platinum catalysts through a process called 'internal reforming,' decreasing overall system cost. MCFCs can also use natural gas directly as its fuel source, as its high temperatures allow internal reforming of the natural gas into hydrogen within the system itself. MCFCs can reach efficiencies of 50-60%, and 70% - 80% in CHP applications. These fuel cells are typically deployed in stationary applications, providing high-quality primary and back-up power to utilities and businesses.

Foto: Fuel Cell and Hydrogen Energy Association (FCHEA)



## Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)

PAFCs use a liquid phosphoric acid and ceramic electrolyte and a platinum catalyst. These fuel cells operate physically similar to the PEM fuel cell and at similar efficiency level. However, PAFCs run at a higher temperature, allowing them to handle small amounts of fuel impurities. PAFCs are typically used in a cogeneration mode to not only produce electricity, but also heat to be captured to assist heating and cooling. PAFCs are often seen in high-energy demand applications, such as hospitals, schools and manufacturing and processing centers.

Foto: Fuel Cell and Hydrogen Energy Association (FCHEA)

## Wasserstoffherzeugung

Vier Hauptquellen für die kommerzielle Produktion von Wasserstoff weltweit:

Erdgas	48%
Öl	30%
Kohle	18%
Elektrolyse	4% („grüner“ Wasserstoff)

Elektrolyseur mit „100% Effizienz“ verbraucht **39,4 kWh** zur Erzeugung von 1 kg (142 MJ/kg) Wasserstoff.

In der Praxis: rotierender Elektrolyseur bei 15 bar Druck verbraucht **50kWh** pro kg (180 MJ) Wasserstoff und weitere **15 kWh** (54 MJ) für Kompression  
Effizienz: 78,8% bzw. 60%

**SPIEGEL ONLINE, 14. Juli 2019**

**Grüner Wasserstoff als Klimaschützer**

### Der Sauberstoff

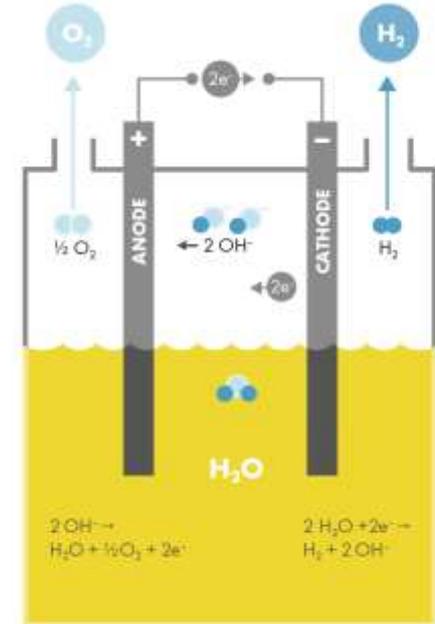
Wasserstoff, hergestellt aus Ökostrom, ist für die Industrie nahezu die einzige Möglichkeit, klimaneutral zu wirtschaften. Der Aufwand für Stahlwerke und Raffinerien wäre enorm, und die Hürden sind hoch.

*Anmerkung: ... **Zementindustrie** nicht zu vergessen ...*

# Power-to-X

Umwandlung und Speicherung von überschüssiger erneuerbarer Energie

X = Gas (Ammoniak, Methan, Wasserstoff, Syngas, ...), Chemikalien, Kraftstoff, Wärme



About I<sup>2</sup>CNER

Research Divisions

Research

Seminars / Symposiums

Events

PR

Career Opportunities

Access

For Visitors

Links

Movie Contents



Upcoming events

**SEMINAR SERIES**  
**Schedule**



**2019 I<sup>2</sup>CNER Annual Symposium**

Energy Transitions and the Role of CCS  
toward a Carbon-Neutral Energy Society

Jan. 31, 2019

**Thank you for your participation!**

I<sup>2</sup>CNER focuses on science that underline technologies that hold promise for dramatic reductions in carbon emissions in the next 20 to 40 years. Our targets are ambitious, but by leveraging resources and intellectual talent from Japan and the rest of the world, we are optimistic that we can succeed.

[>>more](#)

News



- ▶ 2019.06.18  
<Press Release> Want effect policy? Ask the locals

- ▶ 2019.06.04  
Prof. Yasuyuki Takata appointed as the President of The Heat Transfer Society of Japan

Seminars & Symposiums



- ▶ 2019.07.03  
**NEW** The 4th I<sup>2</sup>CNER Seminar Series will take place: Prof. Tetsu Tatsuma (2019.7.17)
- ▶ 2019.06.26  
**NEW** "Kyushu-US Students Perspectives on International Exchange and Research" will take place.(2019.7.31)

# International Institute for Carbon-Neutral Energy Research



## 持続可能な低炭素社会に向けた水素のポテンシャル 世界はPower to Gas からPower To Xへ

*Das Potenzial von Wasserstoff für eine nachhaltige Gesellschaft mit  
geringem Kohlenstoffausstoß*

*Internationales Forschungsinstitut für CO<sub>2</sub>-neutrale Energie der Kyushu-  
Universität*

九州大学 カーボンニュートラルエネルギー国際研究所  
WPI 招聘教授

**Katsuhiko Hirose**



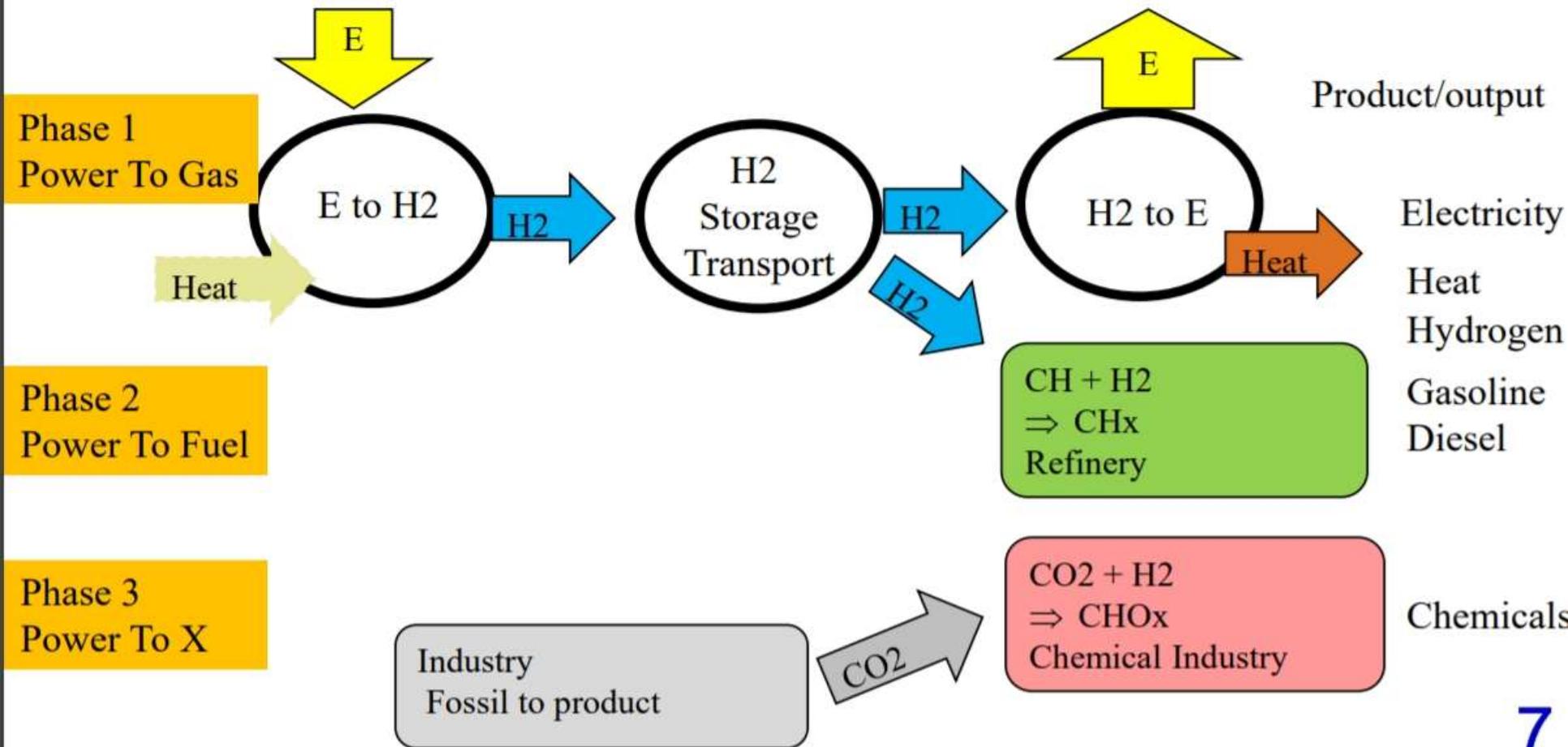
**KYUSHU UNIVERSITY**



# Power to X

## Key to Make Society Sustainable

Renewable hydrogen to make the industrial operations sustainable



# Future vision HyGrid (Hybrid Grid)

## minimum use of fossil energy and maximum use of renewables





## Forschung

### WASSERSTOFFKRAFTSTOFF AUS DÜNNER LUFT

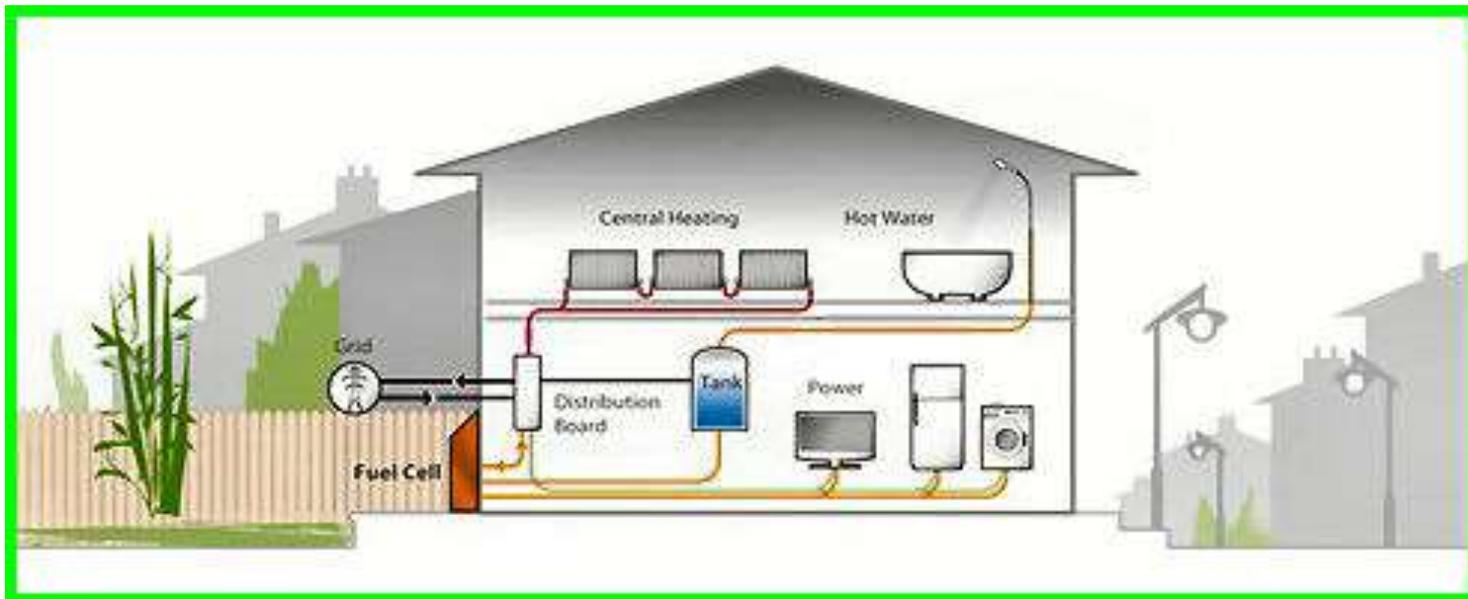
12. Februar 2019

Es klingt nach Magie: Sie setzen ein spezielles Gerät der Luft aus, setzen es dem Sonnenlicht aus und es produziert kostenlos Kraftstoff. Das ist der Grundgedanke der Grundlagenforschung, die das niederländische Institut für grundlegende Energieforschung **DIFFER** in Zusammenarbeit mit **Toyota Motor Europe** (TME) durchführt. Ziel der Partnerschaft ist es, ein Gerät zu entwickeln, das Wasserdampf aufnimmt und mit Hilfe der Sonnenenergie direkt in Wasserstoff und Sauerstoff aufspaltet. Der Forschungsvorschlag LIFT (Launchpad für innovative Zukunftstechnologien) wurde jetzt mit einem Zuschuss des NWO ENW PPS Fund (*Dutch Research Council*) ausgezeichnet.

## FC EXPO Technical Conference Program

Spread and Development Trend of ENE-FARM and Residential Fuel Cells  
2019-03-01

ENE-FARM  
STROM UND HEISSWASSER  
PANASONIC UND TOKYO GAS  
Brennstoffzelle für zu Hause





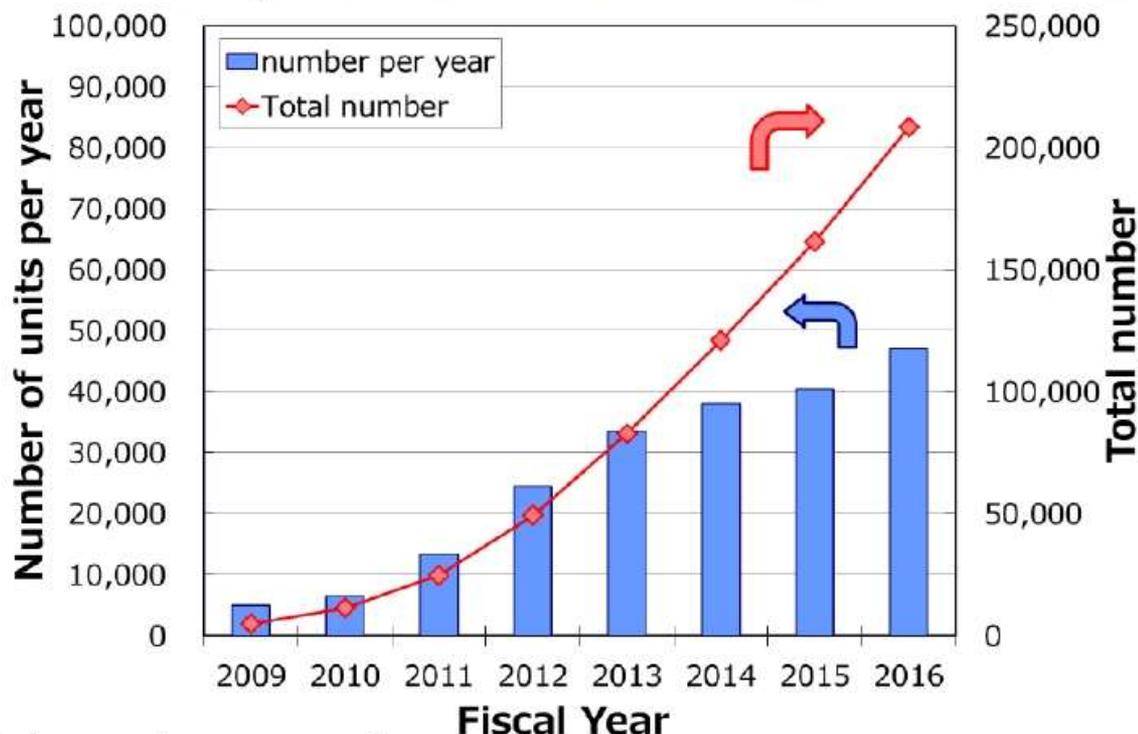
- Entwicklung seit 2009, METI-Projekt ENE-Farm
- In Japan über 200,000 Einheiten in Betrieb, in Deutschland 5700 (Quelle: KfW bundeseigene Förderbank)
- Brennstoff Stadtgas (Methan), Wasserstoff über “Reformer” erzeugt, 40% weniger CO<sub>2</sub> Ausstoß
- Wechsel von Gas-Brennwertheizung auf Brennstoffzellenheizung einfach;
- Kooperationen: Panasonic u. Viessmann; Bosch - AISIN Seiki SOFC Japan
- **Neu:** 6. Generation mit Wasserstoffbetrieb ab 2021; 5 kW; 97% Wirkungsgrad; Kosten: ca. 1 Mio. Yen (8000 Euro)  
Quelle: WASSERSTOFF FÜR BRENNSTOFFZELLE ZUHAUSE

# Status of the Ene-Farm in Japan

The home FC system, Ene-Farm, have been sold since 2009.

About 47,000 units were installed in 2016.

Over 200,000 units have been installed in Japan.



**PEFC systems**  
**Tokyo Gas**  
**with Panasonic**



**SOFC systems**  
**Osaka Gas with Aisin**

Advanced cogeneration and energy utilization center JAPAN

<https://panasonic.biz/appliance/FC/>

<http://www.aisin.co.jp/cogene/enefarm.html>

**“End of stone age was  
not due to the lack of stone”**

**Die Steinzeit ging nicht zu Ende, weil es keine Steine mehr gab.**

**The technological innovation and new idea  
change the society.**

**石器時代が終わったのは  
石が無くなったわけではない！**

**技術革新と新しいアイデアが社会を変えるのだ**