

Energiewende in Dänemark - Pionierland für Sektorenkopplung

Dr. Stephanie Ropenus

AWES 2018
13. ÖSTERREICHISCHES WINDSYMPOSIUM

15. MÄRZ 2018



Agora Energiewende – Wer wir sind



Think Tank mit etwa 30 Mitarbeitern
unabhängig und überparteilich

Projektdauer 2012 - 2021

Gesellschafter und Haupt-Finanziers:
Stiftung Mercator & ECF

Aufgabe: Die Energiewende in
Deutschland und weltweit zur
Erfolgsgeschichte machen

Methoden: Analysen, Studien,
Expertenaustausch, Dialog der
Entscheidungsträger, Rat der Agora

Agenda



1) Das dänische Stromsystem und die Integration der Windenergie

2) Die dänische Energiewende – Ziele und Strategie

3) Sektorenkopplung – Chance zur Flexibilisierung des Energiesystems

4) Ausblick

© S. Ropenus, privat

Agenda

Windenergie
Middelgrundten

**Müllverbrennungs-
anlage**
Amagerbakke

Kraft-Wärme-Kopplung
Amagerværket



1) Das dänische Stromsystem und die Integration der Windenergie

2) Die dänische Energiewende – Ziele und Strategie

3) Sektorenkopplung – Chance zur Flexibilisierung des Energiesystems

4) Ausblick

© S. Ropenus, privat

Parallele Energiewenden: Beispiel Dänemark - Deutschland Warum „Lessons Learned“ aus Dänemark?



Dänemark – den grønne omstilling

- Ziel: 100% EE-Anteil bis 2050 (Energiesystem unabhängig von fossilen Brennstoffen).
- 50% Windenergie-Anteil am Bruttostromverbrauch bis 2020.
Bereits in 2017 neuer Rekord: 43,6% (davor 42% in 2015 als vorheriger Rekord)!

→ Transformation von einem Energiesystem basierend auf fossilen Brennstoffen zu einem Energiesystem mit steigenden Anteilen fluktuierender EE-Erzeugung.

- Hohe Integration von Strom- und Wärmesektor, große Rolle von Windenergie und Biomasse.

Deutschland – die Energiewende

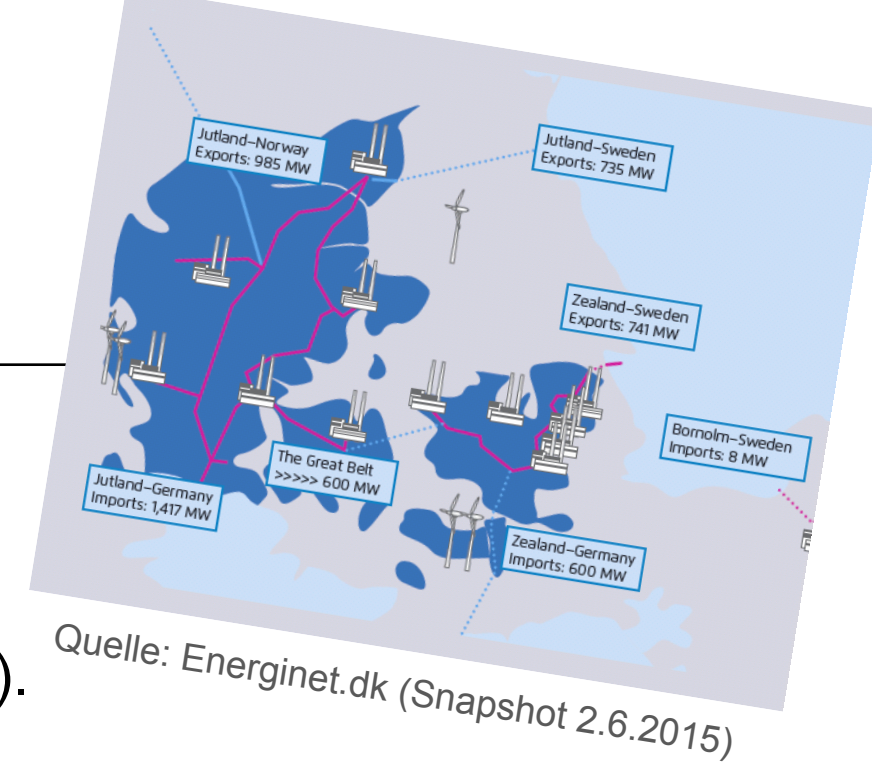
- Ziel: Erneuerbare-Energien(EE)-Anteil am Bruttostromverbrauch $\geq 80\%$ in 2050.
- Zwischenziele für EE-Anteil im Stromsektor: 65% bis 2030, um zusätzlichen Strombedarf im Verkehr, Gebäude und Industrie zu decken (Entwurf KoaV).

→ Transformation von einem Energiesystem basierend auf fossilen Brennstoffen zu einem Energiesystem mit steigenden Anteilen fluktuierender EE-Erzeugung.

- Windenergie und Solar-PV als die tragenden Säule der Energiewende.

Das dänische Stromsystem auf einen Blick

- Stromverbrauch: ca. 33 TWh/Jahr (2016: 34 TWh).
- Höchstlast: ca. 6 GW Mindestlast: ca. 2,3 GW
- 5,52 GW Windenergie und ca. 800 MW Solar-PV (2017).
- Ca. 54% des Stroms basiert auf Erneuerbaren Energien.
- Interkonnektoren zu Schweden, Norwegen und Deutschland: 6,4 GW
(+ Kriegers Flak – Combined Grid Solution mit 400 MW ab Ende 2018
+ das COBRACable zwischen DK & NL mit 700 MW im Jahr 2019).
- Rund 60% der thermischen Stromerzeugung erfolgt über Kraft-Wärme-Kopplung.
- 23.-30. Juni 2017: eine Woche Stromversorgung in West-DK ohne zentrale Kraftwerke.



Windintegration in Dänemark

3 große Herausforderungen

1. Den Wert des durch Wind und Solar-PV erzeugten Stroms auch in Zeiten hoher Einspeisung sicherzustellen.
 - Statt Einspeisemanagement Flexibilitätsoptionen nutzen.
2. Ausreichend gesicherte Erzeugungskapazität in Zeiten von geringem Winddargebot.
 - Niedrige Börsenpreise und Merit Order Effekt.
3. Fluktuierende Windstromerzeugung ausgleichen.
 - Kurzfristiger Ausgleich bei Abweichungen von Einspeiseprognose.

Flexibilitätsoptionen

- Effiziente Nutzung der Interkonnektoren für grenzüberschreitenden Stromaustausch
- **Integration von Strom- und Wärmesektor**
- "Systemfreundliche" Auslegung der Windenergieanlagen
- Neue Strategie für Bereitstellung von Systemdienstleistungen
- Flexible Nachfrage und Smart Grids



Agenda



1) Das dänische Stromsystem und die Integration der Windenergie

2) Die dänische Energiewende – Ziele und Strategie

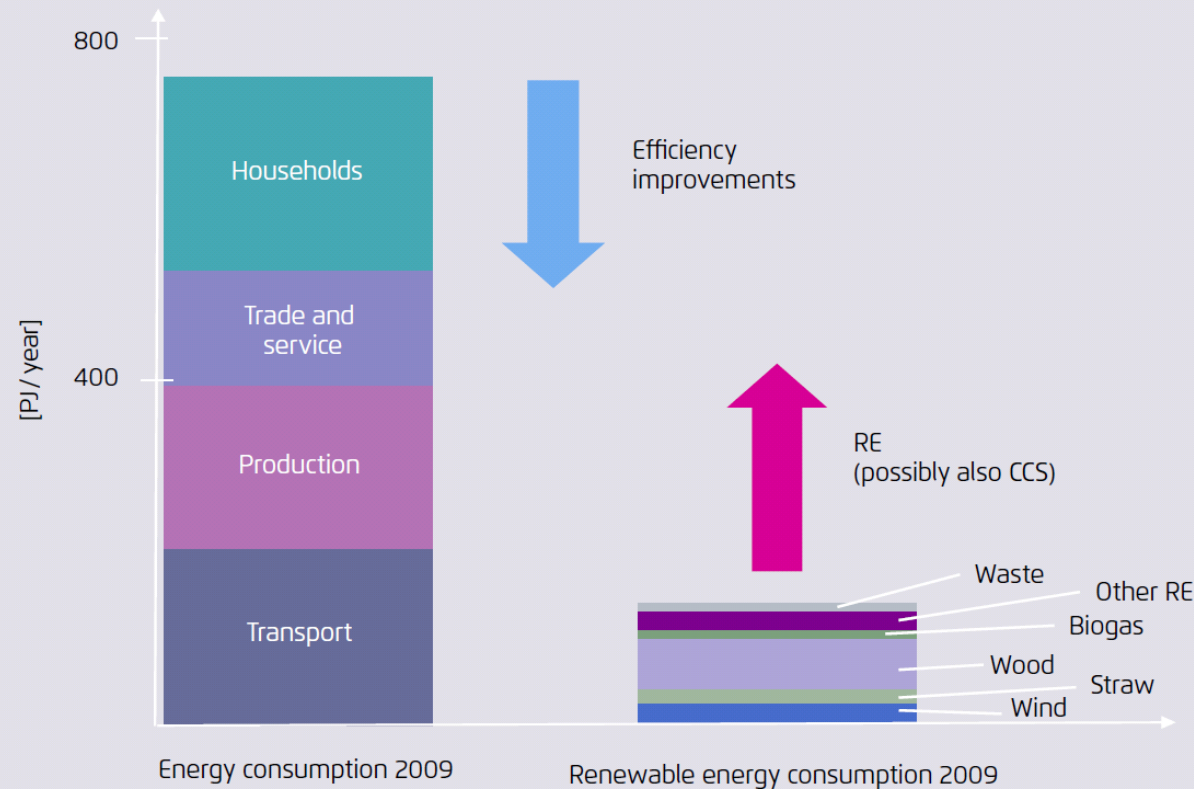
3) Sektorenkopplung – Chance zur Flexibilisierung des Energiesystems

4) Ausblick

© S. Ropenus, privat

Energistrategi 2050

2 Säulen: Energieeffizienz und Erneuerbare Energien



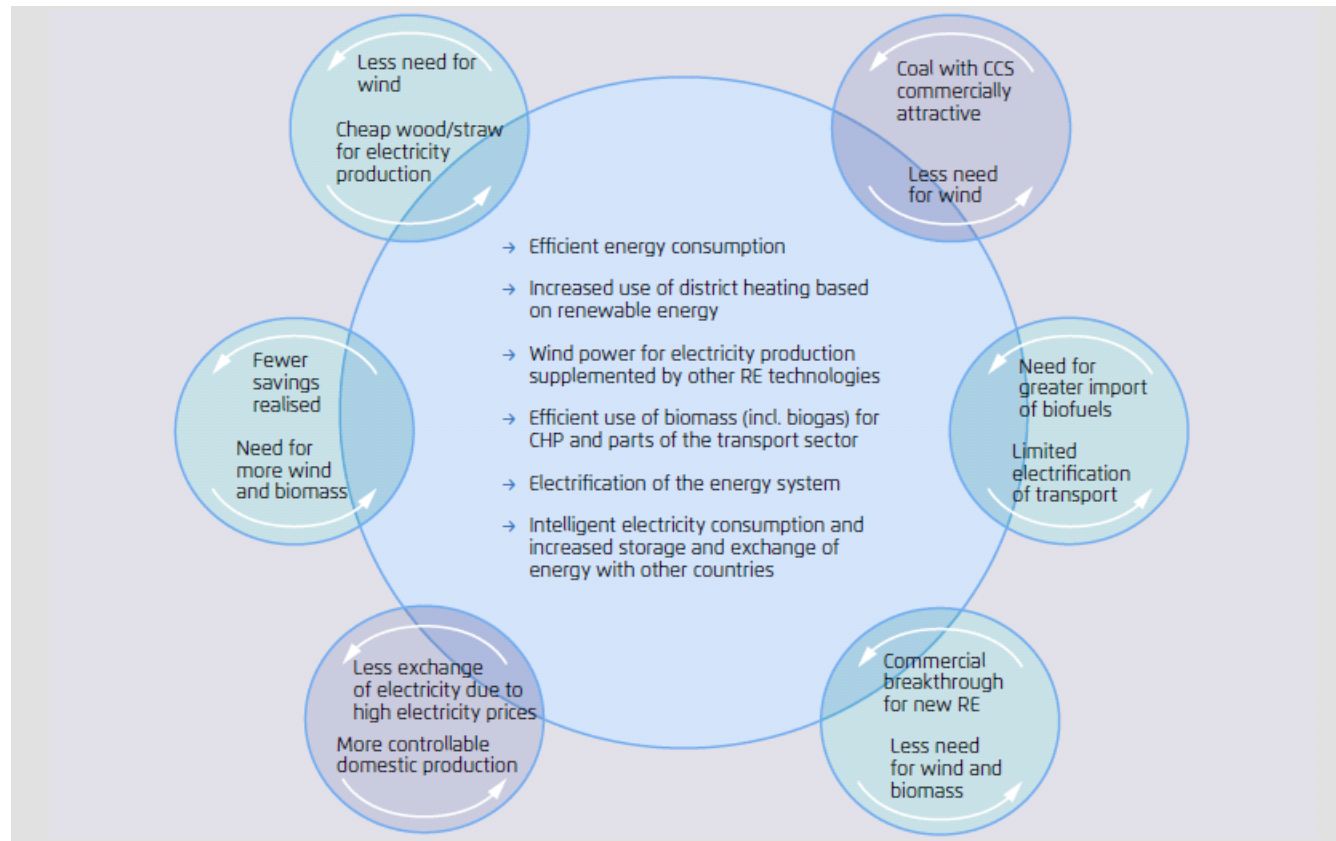
→ Es gibt 2 Arten von Stromnachfrage

„klassische Nachfrage“ und
„neue Nachfrage“ induziert
durch Elektrifizierung.

→ Mit zunehmender Elektrifizierung der
anderen Energiesektoren (E-Mobilität,
Power-to-Heat, Elektrokessel, elektrisch
betriebene Wärmepumpen) wird die
„neue Nachfrage“ steigen.

Danish Energy Strategy 2050

Wie sieht das Energiesystem der Zukunft aus?



Energistrategi 2050

- Zum jetzigen Zeitpunkt ist unbekannt, wie das Energiesystem im Jahr 2050 aussehen wird.
- Wieviel **Windenergie** und wieviel **Biomasse**?
- **Eingebaute Flexibilität** der dänischen Energiestrategie.
- Historie der **Energi Aftaler** ("Energievereinbarungen"). *Energiaftale 2012* läuft 2020 aus.
- **Konkrete Initiativen** zum Erreichen der lang-, mittel- und kurzfristigen Ziele.

Agenda



1) Das dänische Stromsystem und die Integration der Windenergie

2) Die dänische Energiewende – Ziele und Strategie

3) Sektorenkopplung – Chance zur Flexibilisierung des Energiesystems

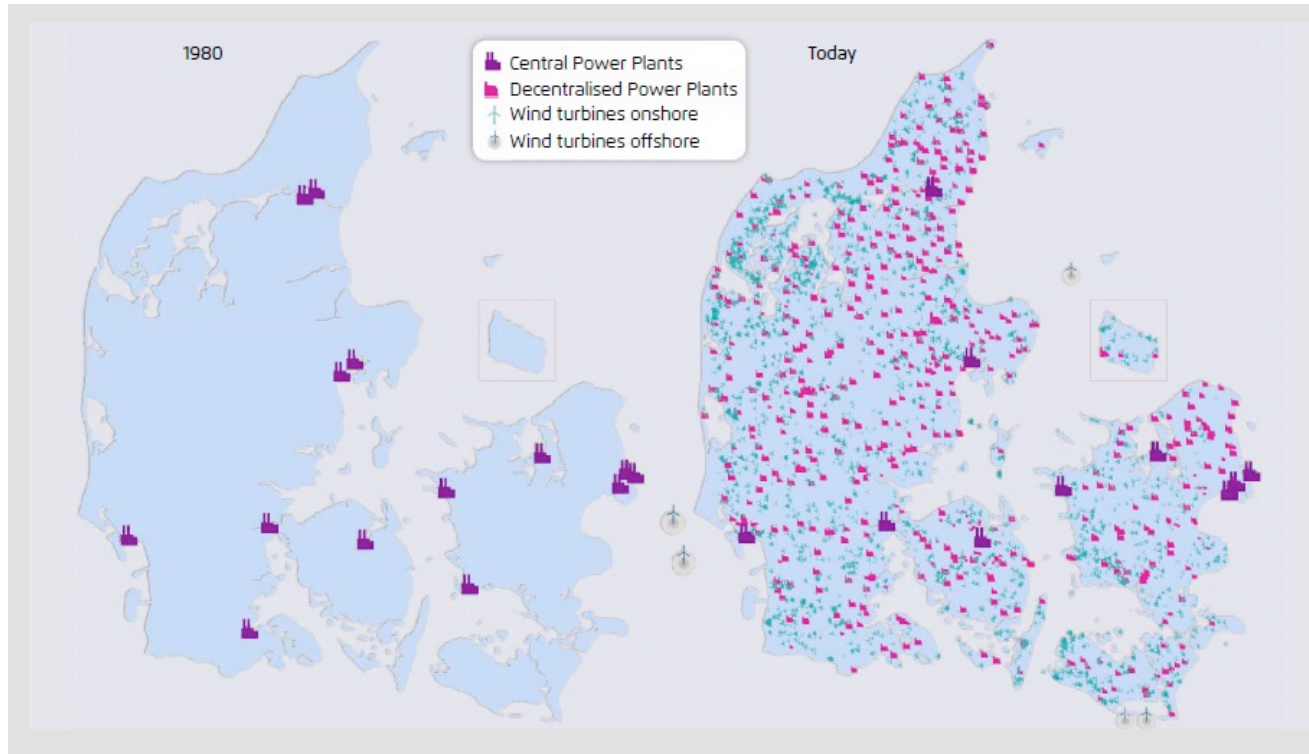
4) Ausblick

© S. Ropenus, privat

Dänemark als Pionier – ein Blick zurück und auf heute:

- Energieeffizienz als großer Treiber für KWK seit Mitte der 1970er
- 1980 bis heute: Von „zentral“ zu „dezentral“

Von zentraler zu dezentraler Erzeugung: 1980 und heute



Mit der freundlichen Genehmigung von Energinet.dk für Agora & DTU (2015).

Historisch

1903: erste KWK-Anlage

1920/30er: Fernwärmesystem (v.a. Abwärme), Ausweitung bis in die 1970er Jahre v.a. in Städten

1973/74: Ölkrise führt zu Ausweitung der KWK in kleinere Städte

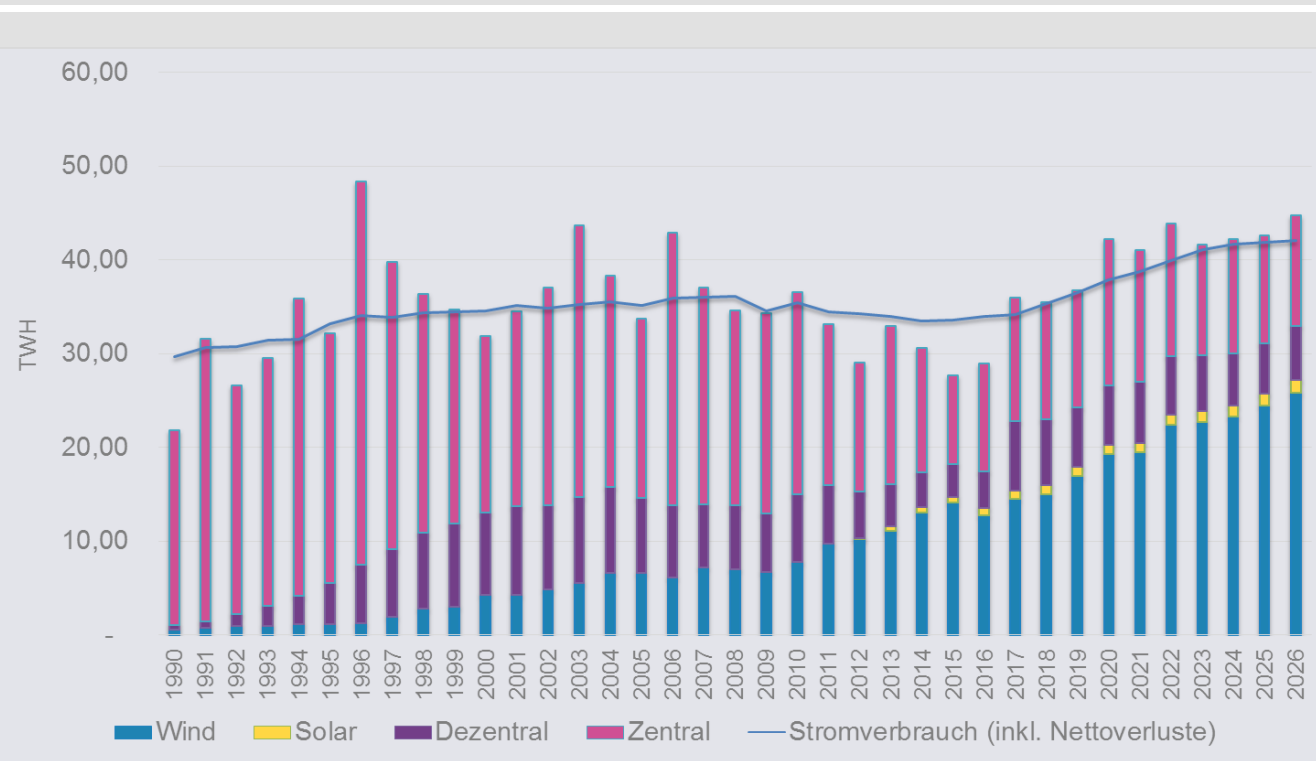
1979: erstes Wärmegesetz (integrierte kommunale Planung, regionale Wärmepläne).

1990er: Konvertierung von Heizkesseln zu KWK sowie von der Befeuerung mit Kohle zu Gas und/oder Biomasse (Stroh, Holzhackschnitzel).

Heute hat Dänemark **16 zentrale KWK-Anlagen**, die mit Kohle, Erdgas, Öl und Biomasse befeuert werden (rund 4 GW). Rund **1.000 dezentrale KWK-Anlagen** (industrielle und lokale Strom- und Wärmeerzeugung), die mit Erdgas, Abfällen, Biogas und Biomasse befeuert werden (ca. 2,5 GW). Die Leistung wird bis 2020 reduziert.

Verflechtung von Strom & Wärme in Dänemark: Hoher Anteil von Kraft-Wärme-Kopplung

Stromerzeugung und -verbrauch in Dänemark



Baggrundsdata til Miljørapport, Energinet (2017)

1986 „KWK-Vereinbarung“*: neuer Fokus auf den Zubau dezentraler KWK-Anlagen.

Wärmewende

Seit 2013: keine Öl- und Gasheizungen in neuen Gebäuden.

Ab 2016: keine neuen Ölheizungen in Bestandsgebäuden, wenn Anschluss an Fernwärme- oder Erdgasnetz besteht.

Stromwende

„Biomasse-Vereinbarung“ 1993:

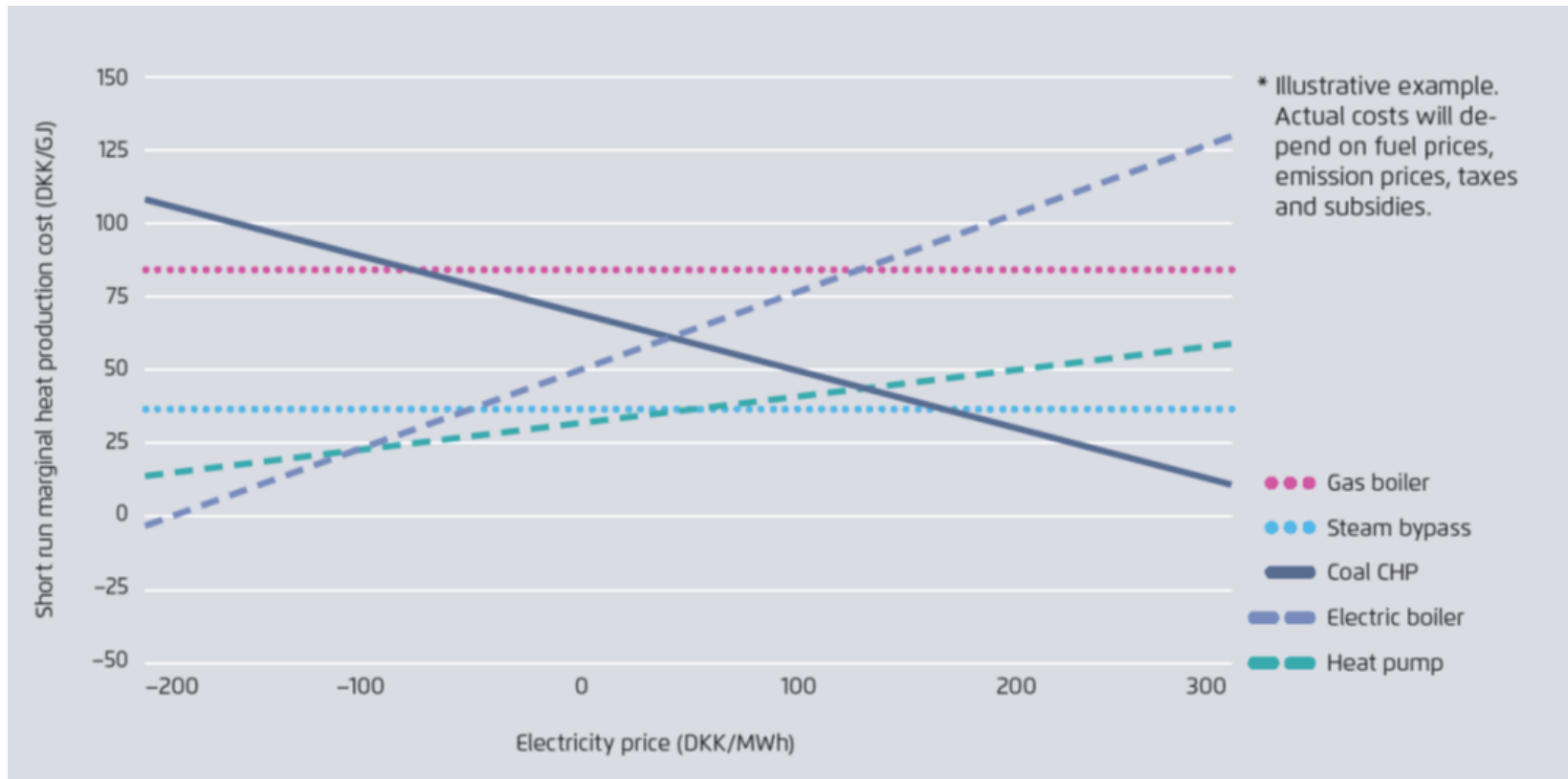
Mindestanteile von Biomasse in zentralen KWK-Anlagen.

Kohleausstieg: Konvertierung von KWK-Anlagen zu Biomasse.

Flexibilisierung von KWK zur Integration der Windenergie.

Windenergie und Kraft-Wärme-Kopplung: Herausforderung oder Chance?

Flexibilisierung der Fahrweise von KWK-Anlagen



Ea Energy Analysis im Auftrag von Agora Energiewende (2015)

- Priorisierung und Einsatz von KWK und anderen Heizquellen in Abhängigkeit von der Systembilanz (Strompreis).
- Seit 2005: dezentrale KWK-Anlagen > 5 MW müssen Stromproduktion zu Marktpreisen verkaufen (Förderung unabhängig von erzeugter Strommenge). *Grundbeløb* fällt Ende dieses Jahres weg (2018).
- Steuerlicher Anreiz für stromnetzoptimierenden Einsatz von Elektrokesseln.
- **Wärmepumpen:** "Reisegruppe" für Nutzung großer WPs für dezentrale Kraftwerke/Fernwärme zur Integration der Windenergie; "Wärmepumpen-Abonnement" für Haushalte bis Ende 2019.

Strom und Wärmesektor...

Die dänische Wärmeversorgung basiert zu rund 65% auf „grüner Energie“

Wärme (Brennstoffe)

Biomasse (34%)

- Hackschnitzel 14%, Pellets 10%, Stroh 9%, Biogas 1%

Erdgas (24%)

Abfall (22%)

- Biologisch abbaubar 11%, nicht-biologisch abbaubar 9%, Holzabfall 2%

Kohle (15%)

Öl (2%)

Dansk Fjernvarme (2016)

Sektorkopplung

(Wind) Power to Heat

Wärmepumpen (1:4
Strom zu Wärme)

(Wind) Power to Heat

Elektrokessel
400 MW für dänische
Fernwärme (1:1
Strom zu Wärme)

Kraft-Wärme- Kopplung

Zentrale Wärmeversorgung erfolgt über Fernwärme (Fernwärmeanteil: 60 Prozent) oder über Erdgasnetz.

Dezentrale Wärmeversorgung erfolgt über Ölheizungen (aber Energy Agreement 2012: Ausstieg!), Wärmepumpen und Biomassekessel.

Neue Entwicklung: **Solare Fernwärmeversorgung** hat sich im Jahr 2016 fast verdoppelt.

Agenda



1) Das dänische Stromsystem und die Integration der Windenergie

2) Die dänische Energiewende – Ziele und Strategie

3) Sektorenkopplung – Chance zur Flexibilisierung des Energiesystems

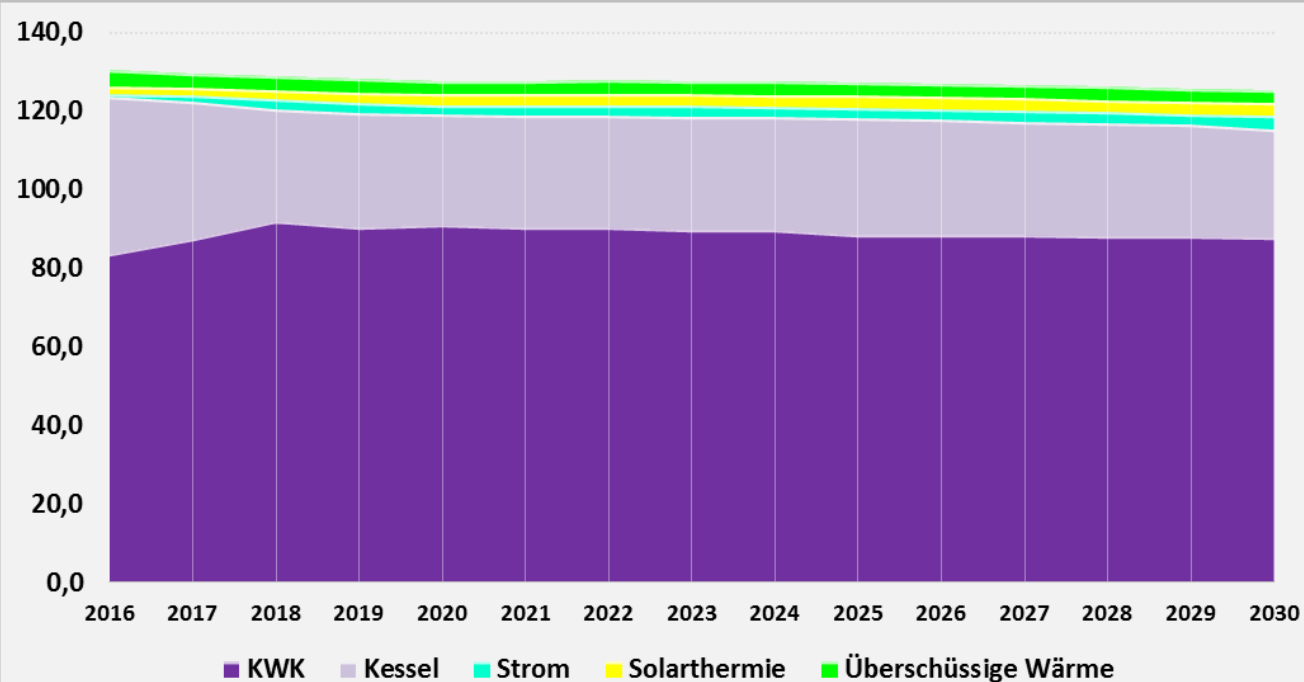
4) Ausblick

© S. Ropenus, privat

Künftige Entwicklung der Strom- und Fernwärmeerzeugung?

Basisfremskrivning: Frozen Policy Scenario

Fernwärmeerzeugung [PJ]



Basisfremskrivning 2017, Energistyrelse (März 2017)

- **Bis 2020:** EE-Anteil von 72% des Stromverbrauchs (heute: 56%) und 71% des Fernwärmeverbrauchs (heute: 51%) erwartet (*Basisfremskrivning 2017*).
- **Von 2020 bis 2030:** Der EE-Anteil fällt (Strom: 62%, Wärme: 67%) aufgrund des steigenden Stromverbrauchs und künftigen Wegfalls der Förderung von Onshore-Windenergie(?).
- **Fragen der Auswirkungen**
 - ... der steigenden Nachfrage,
 - ... des künftigen Zubaus an Windenergie,
 - ... der Preissensitivitäten (Biomasse, ETS).
- Biomasse: Konvertierung KWK ⇔ Power-to-Heat
- Entwicklung der KWK-Stromproduktion
- Effizienzsteigerungen ⇔ Fernwärme

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

www.agora-energiewende.de



**Tusind tak for jeres
opmærksomhed!**

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

Haben sie noch Fragen oder Kommentare? Kontaktieren
sie mich gerne:

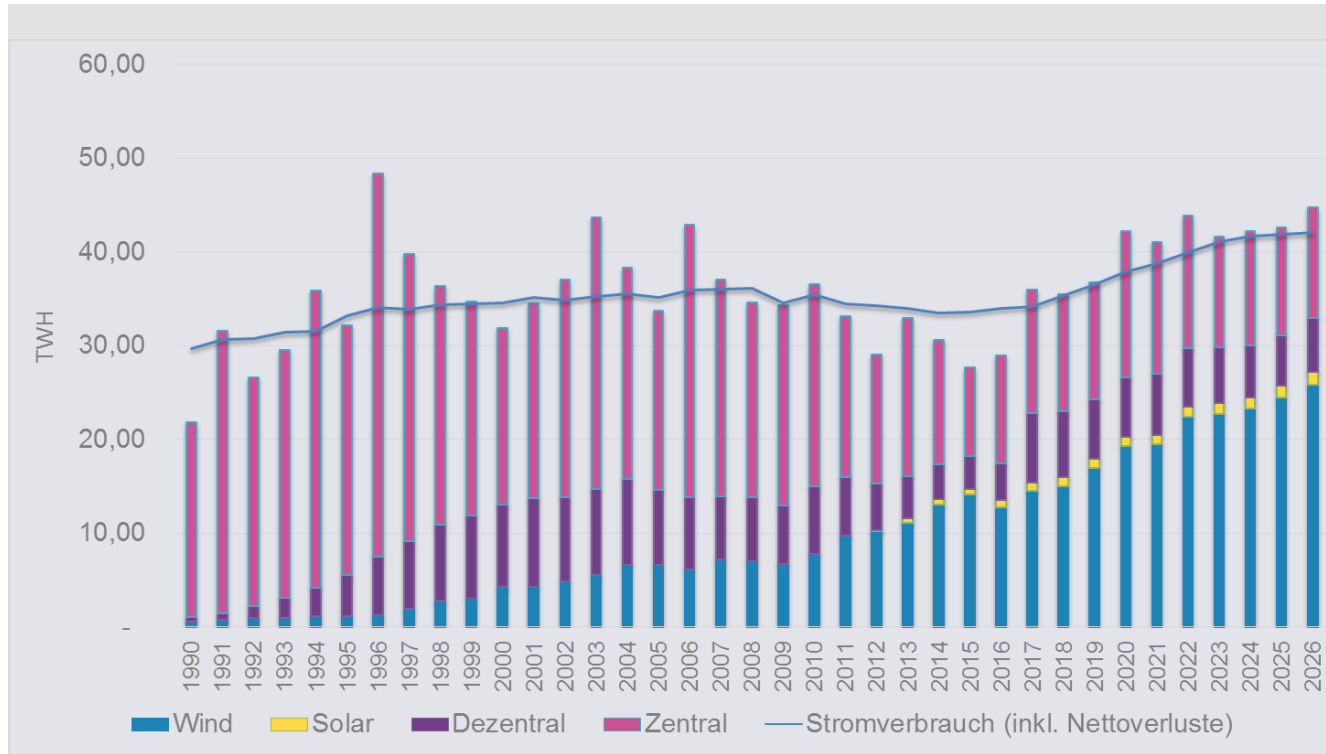
stephanie.ropenus@agora-energiewende.de

Agora Energiewende ist eine gemeinsame Initiative der
Stiftung Mercator und der European Climate Foundation.



Stromerzeugung in Dänemark: Windenergie und hoher Anteil von Kraft-Wärme-Kopplung

Stromerzeugung und -verbrauch in Dänemark



Baggrundsdata til Miljørapport, Energinet (2017)

Der Windenergie-Anteil in 2017 betrug 43,6% (13,9 TWh). **Frage der Integration von Windenergie: Wie kann das System flexibilisiert werden?**

Hoher Anteil von **Kraft-Wärme-Kopplung**: Chance und Herausforderung zugleich.

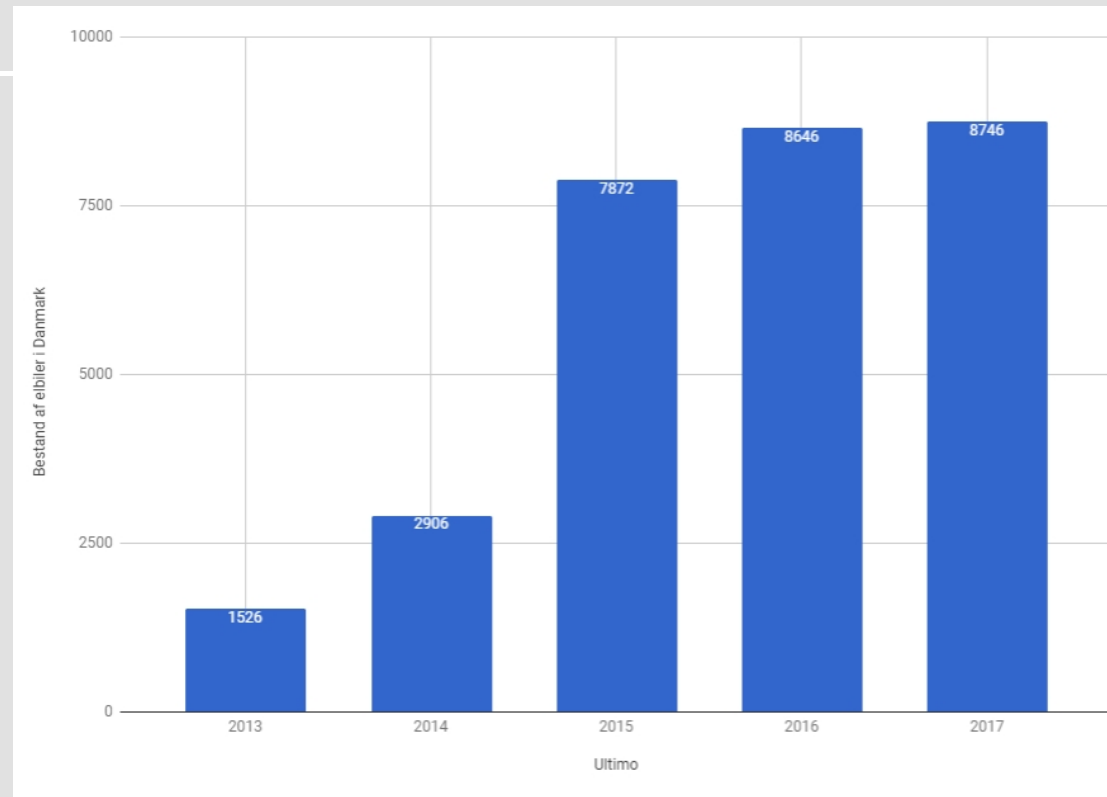
Weit über 5.000 Windenergieanlagen: 4,23 GW Onshore (ca. 80% davon in West-DK) und rund 1,29 GW Offshore.

... und es gibt knapp 100.000 PV-Anlagen (800 MW).

Back Up

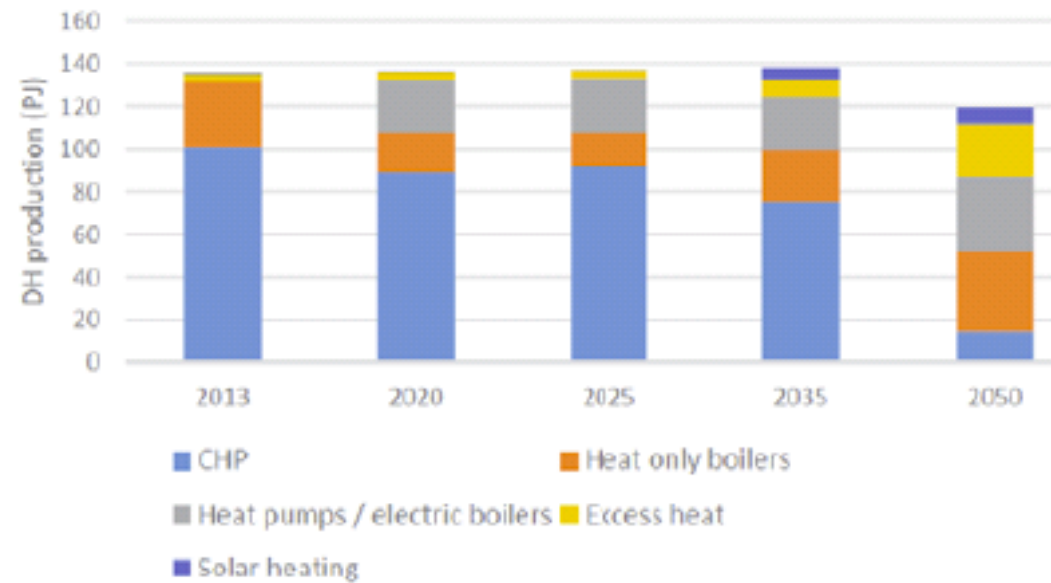


Entwicklung der Elektroautos in Dänemark



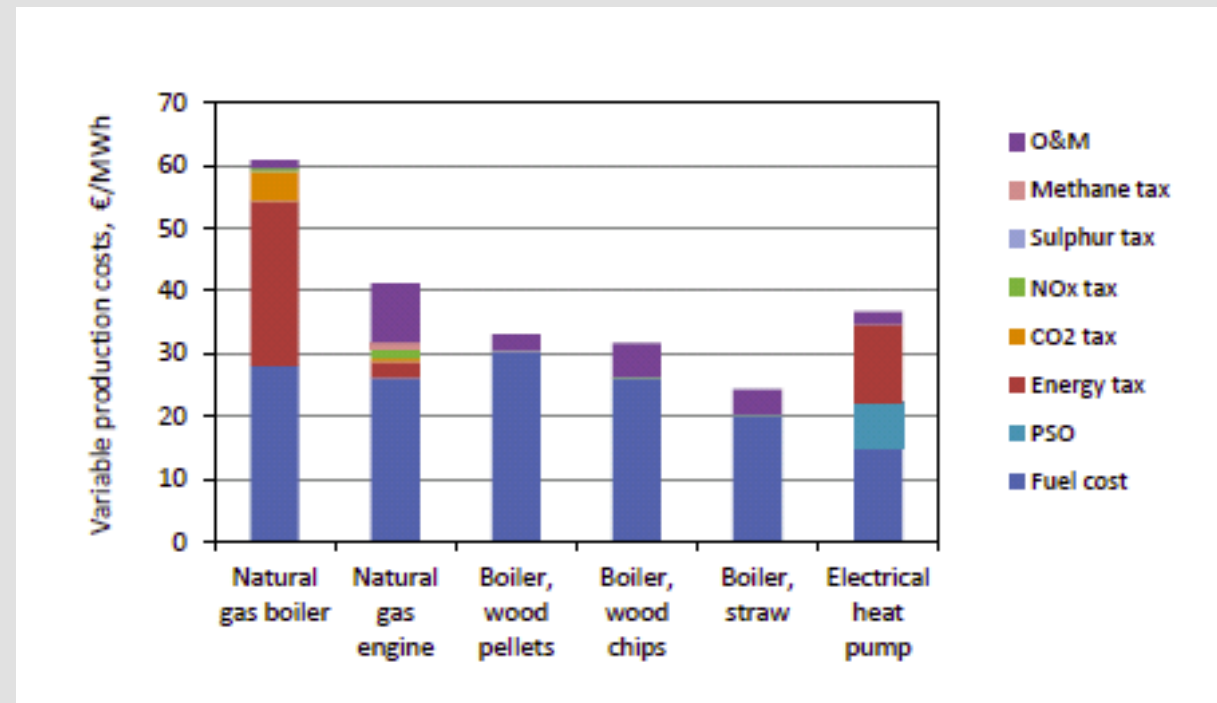
Danske Bilimportører

Geschätzte künftige Fernwärmeerzeugung (Windszenario)



Energistyreelse

Kosten für Fernwärmeerzeugung



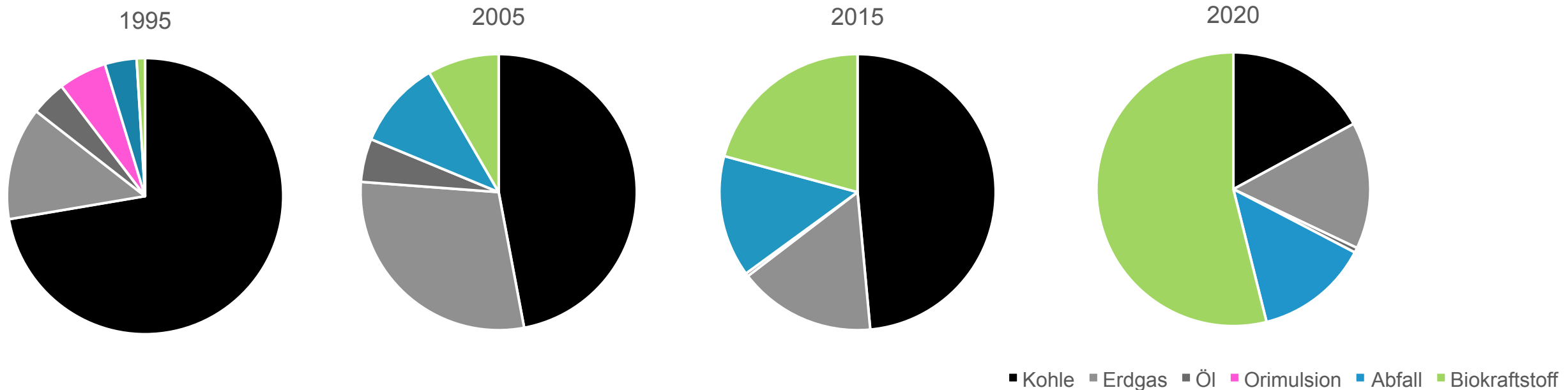
Energistypreise

Die dänischen EE-Ziele: Eine sektorübergreifende Energiewende...

Unter
vorheriger
Regierung

	2020	2030	2035	2050
Grundsätzliche Ziele	Reduktion der Treibhausgasemissionen um 40% gegenüber 1990.			Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen in allen Energiesektoren.
Erneuerbare Energien	35% EE-Anteil insgesamt.			100% Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen.
Stromsektor	50% Windenergie am Bruttostromverbrauch.	Realisierung des Kohleausstiegs.	100% EE-Anteil im Stromsektor.	100% Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen.
Wärmesektor		Abschaffung von Ölbrennern.	100% EE-Anteil im Wärmesektor.	100% Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen.
Energieeffizienz	Reduktion des Bruttoenergieverbrauchs um 4% gegenüber 2006. Reduktion des Nettoenergieverbrauchs um 12% gegenüber 2006.			
Verkehrssektor	10%-Anteil von Biokraftstoffen.			100% Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen.

Entwicklung der Brennstoffe im dänischen Energiemix - sektorübergreifend



Wärmewende

Seit 2013: keine Öl- und Gasheizungen in neuen Gebäuden.

Ab 2016: keine neuen Ölheizungen in Bestandsgebäuden, wenn Anschluss an Fernwärme- oder Erdgasnetz besteht.

Sektorübergreifende Energieszenarien für ein „fossil-freies Dänemark“ bis 2050

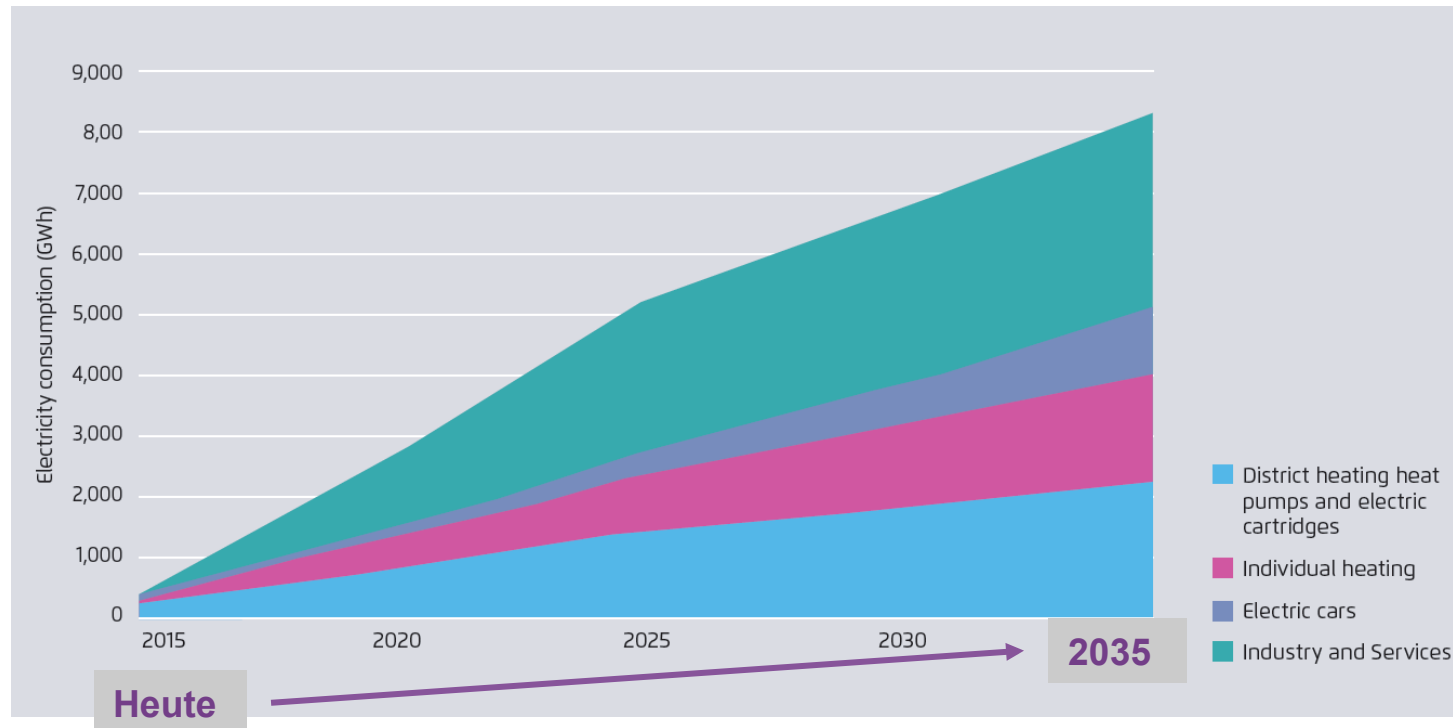
- **Wind-Szenario**: Bioenergie $\approx$ dänische Ressourcen.
 - **Bio+Szenario**: Kohle/Öl/Gas ersetzt durch Bioenergie.
 - **Biomasse-Szenario**: Ein Kompromiss.
 - **Wasserstoff-Szenario**: Minimiert Biomasse.
 - **Fossiles Szenario**: zum Vergleich (nicht BAU).
-
- ❖ *Große Energieeinsparungen in allen Szenarien.*
 - ❖ *Starke Elektrifizierung in Wind- und Biomasse-Szenarien. Nur moderat in Biomasse- und fossilem Szenario.*



Quelle: http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/dokumenter/publikationer/downloads/energiscenarier_-_analyse_2014_web.pdf

Smart Grids und flexible Nachfrage

- Änderungen der Stromtarife, um flexible Nachfrage zu integrieren.
- Zugang für kleine Akteure zu Märkten für Systemdienstleistungen.



DataHub

Beispiel der Entwicklung von Potenzialen flexibler Nachfrage

KEBMIN (2013), Smart Grid Strategy

Interconnectors to neighboring countries

Interconnections from East Denmark (DK 2) to	
Sweden	• 4 AC connections (two at 400 kV and two at 132 kV) • Export capacity of up to 1,700 MW • Import capacity of up to 1,300 MW
Germany	• Kontek interconnector (400 kV DC) • Capacity: 600 MW
Interconnections from West Denmark (DK 1) to	
Sweden (Konti-Skan)	• Konti-Skan (two 285 kV DC connections) • Export capacity from Jutland (DK): 740 MW • Import capacity: 680 MW
Sweden (from Bornholm)	• AC connection (60 kV seacable) • Capacity: 60 MW
Norway	• Skaggerak (4 DC connections with 2 at 250 kV, one at 350 kV) • Capacity: 1,700 MW (see also explanation in text)
Germany	• 4 AC connections from the Danish town Kassø (two at 400 kV and one at 220 kV) and Ensted Power Station (220 kV) + one 150 kV connection from Ensted Power Station to Flensburg • Import capacity: 1,500 MW • Export capacity: 1,780 MW (depending on congestions in surrounding grids)
Interconnector from Western Denmark to Eastern Denmark	
From Jutland-Funen to Zealand	• Great Belt Power Link (400 kV DC connection) • Capacity: 600 MW

Energinet.dk

Danish Energy Policy

Energy Strategies and Energy Agreements

- Political instrument of *Energiaftaler* (Energy Agreements) and consensual approach (e.g. elaboration of Market Model 2.0 initiated by TSO Energinet.dk – in cooperation with other stakeholders and interest organizations). History with minority governments, but nevertheless continuity and stability of energy policy.
- **Energy Strategy 2050**, adopted in February 2011 (Venstre-Konservativ): an integrated and comprehensive approach!
- *Regeringsgrundlaget* and *Vores Energi*, autumn 2011 (Socialdemokratiet-Radikale Venstre-Socialistisk Folkeparti): ambitious **2035 / 2030 targets** continue previous policy.
- **Energiaftale 2012**: milestones and concrete initiatives for 2020.
- Now: election in June 2015 (Venstre). Lars Christian Lilleholt is new Energy, Utilities and Climate Minister.
- **Future?** => broad Energy Commission.

Systemdienstleistungen

Regelenergie

- Seit 2002 erlaubt der integrierte nordische Markt für Regelenergie NOIS (Nordic Operational Information System) grenzüberschreitenden Zugang zu Anbietern von Regelenergie.
- Seit 2011: Öffnung des Regelenergiemarktes für Windenergieanlagen.

→ 2 Märkte: Leistungs- und Arbeitsmarkt

Regelleistungsmarkt:

Leistungspreis + Arbeitspreis

17:00 Uhr am Vortag

Regelenergiemarkt:

nur Arbeitspreis

45 Minuten vor Einsatzstunde

Einkommen

Gate Closure

- **Strategie für Bereitstellung von Systemdienstleistungen 2011** zur Senkung des Must Run-Sockels.