

# Energiesystemanalysen – Bedeutung und Leistungsfähigkeit

Workshop „Methodische Grundsatzfragen  
bei der interdisziplinären wissenschaftlichen Politikberatung  
zur Energiewende und Sektorkopplung“  
07. Juli 2018

Dr. Christian Dieckhoff, NOW GmbH

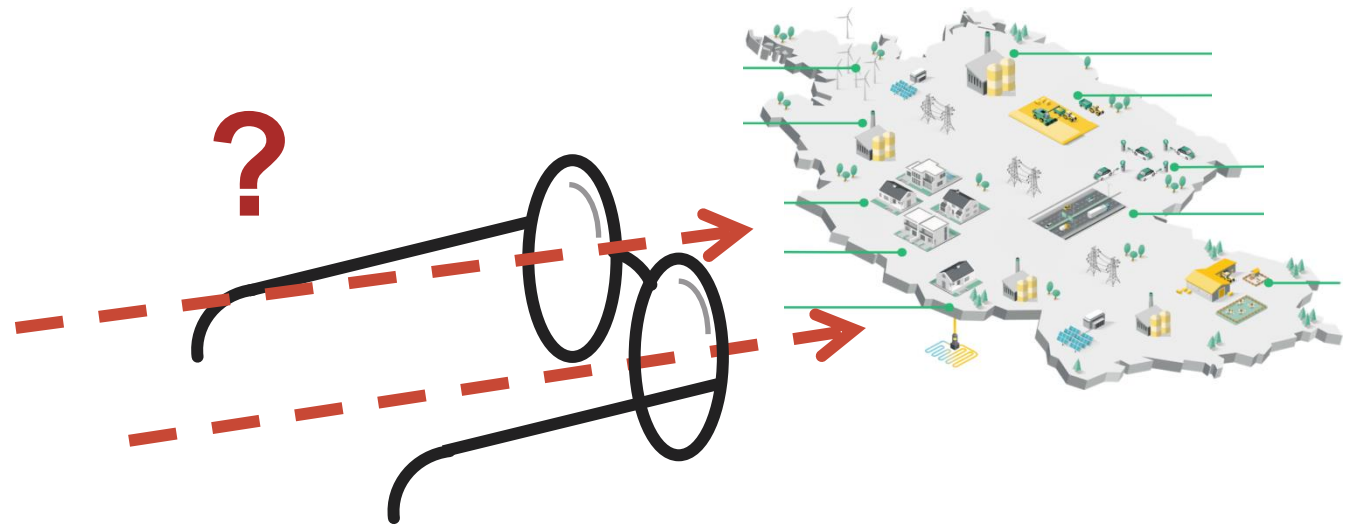
# INHALT

## Leitfrage:

Wie blickt die Energiesystemanalyse auf den Gegenstand Energiesystem und dessen Transformation?

## Aufbau

1. Einführung
2. Was ist ein Szenario?
3. Wie wird ein Energieszenario berechnet?
4. Schlüsse aus Szenarioanalysen
5. Fazit



# EINFÜHRUNG ENERGIESYSTEMANALYSEN

- Beschreibung möglicher Entwicklungen des Energiesystems
- Aufzeigen von Systemzusammenhängen
- Handlungsalternativen beurteilen

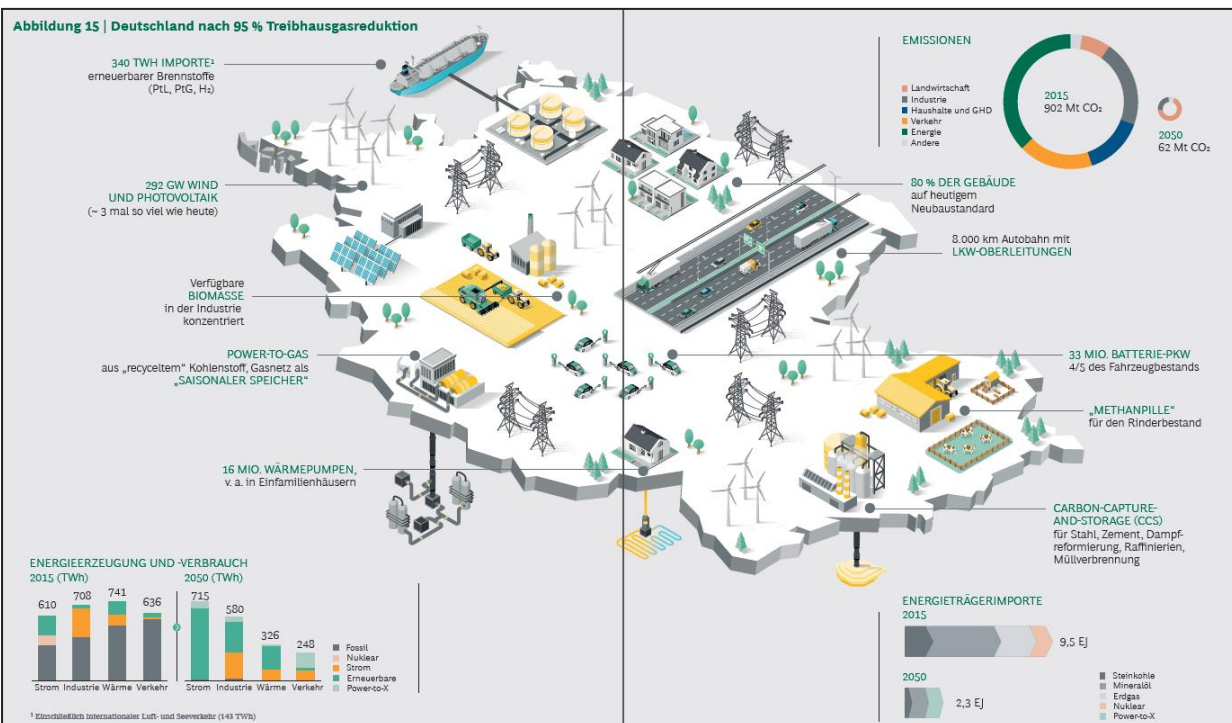
- Grundlage: Modell des Energiesystems
- Ergebnisse in Form von Szenarien

- Politik- und Unternehmensberatung
- Energiepolitische Debatte



# EINFÜHRUNG

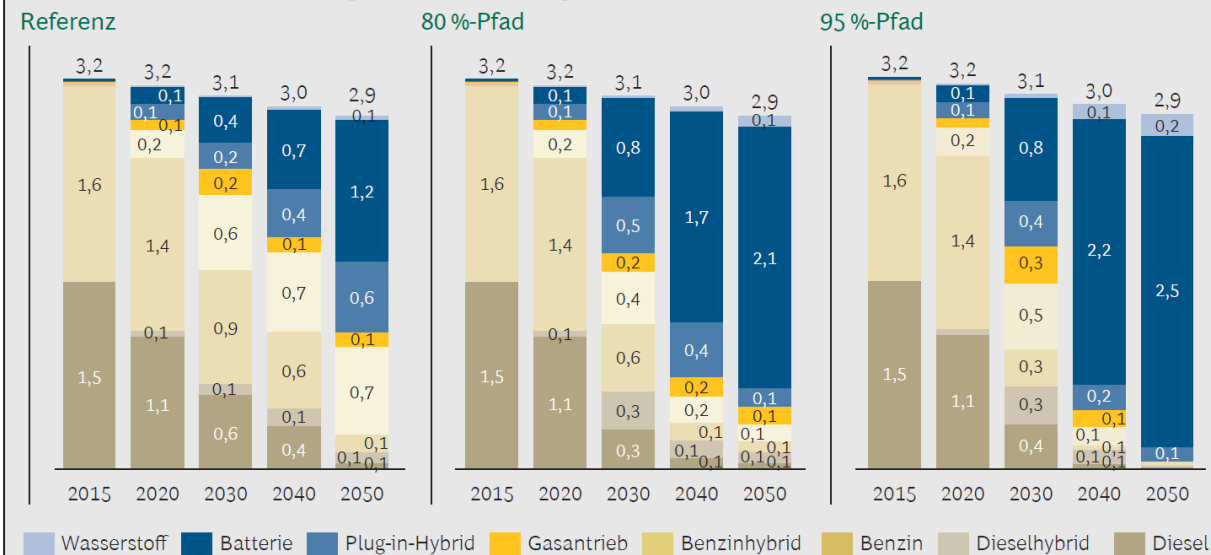
## BEISPIEL: PROGNOSE (2018) „KLIMAPFADE FÜR DEUTSCHLAND“



### MEHR E-MOBILITÄT IN BEIDEN KLIMAPFADEN, MIT UNTERSCHIEDLICHEN GESCHWINDIGKEITEN

#### ABBILDUNG 45 | Neuzulassungsstruktur von Pkw nach Klimapfaden

(Mio. in Deutschland neu zugelassene Fahrzeuge)



Quelle: Prognos; BCG

---

# Was ist ein Szenario?

# WAS IST EIN SZENARIO?

## PROGNOSETYPEN

**Prognose = Aussage über die Zukunft**

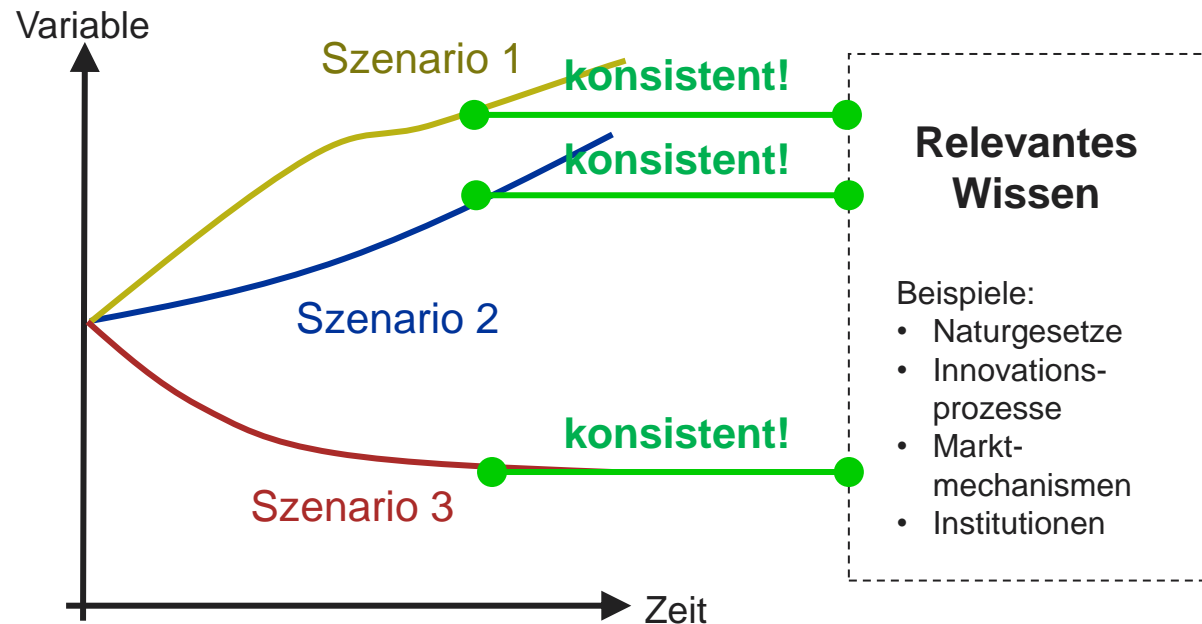
**Drei Typen** von Prognosen:

- a) Deterministische Prognose** (gemeinhin „Prognose“)  
Beispiel: „Morgen wird um 7.30 Uhr die Sonne aufgehen.“
- b) Wahrscheinlichkeitsprognose** (Probabilistische Prognose)  
Beispiel: „Morgen wird es mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% regnen.“
- c) Möglichkeitsprognose** (Possibilistische Prognose)  
Beispiel: „Es ist möglich, dass es morgen regnet.“  
→ **Szenario!**

- Das verfügbare Wissen entscheidet, welchen Typ von Prognose wir treffen können!
- **Typischer Weise in Energiesystemanalyse: nur Szenarien begründbar**

# WAS IST EIN SZENARIO? WAS HEIßT „MÖGLICH“?

**Szenario = mögliche** zukünftige Entwicklung eines Systems



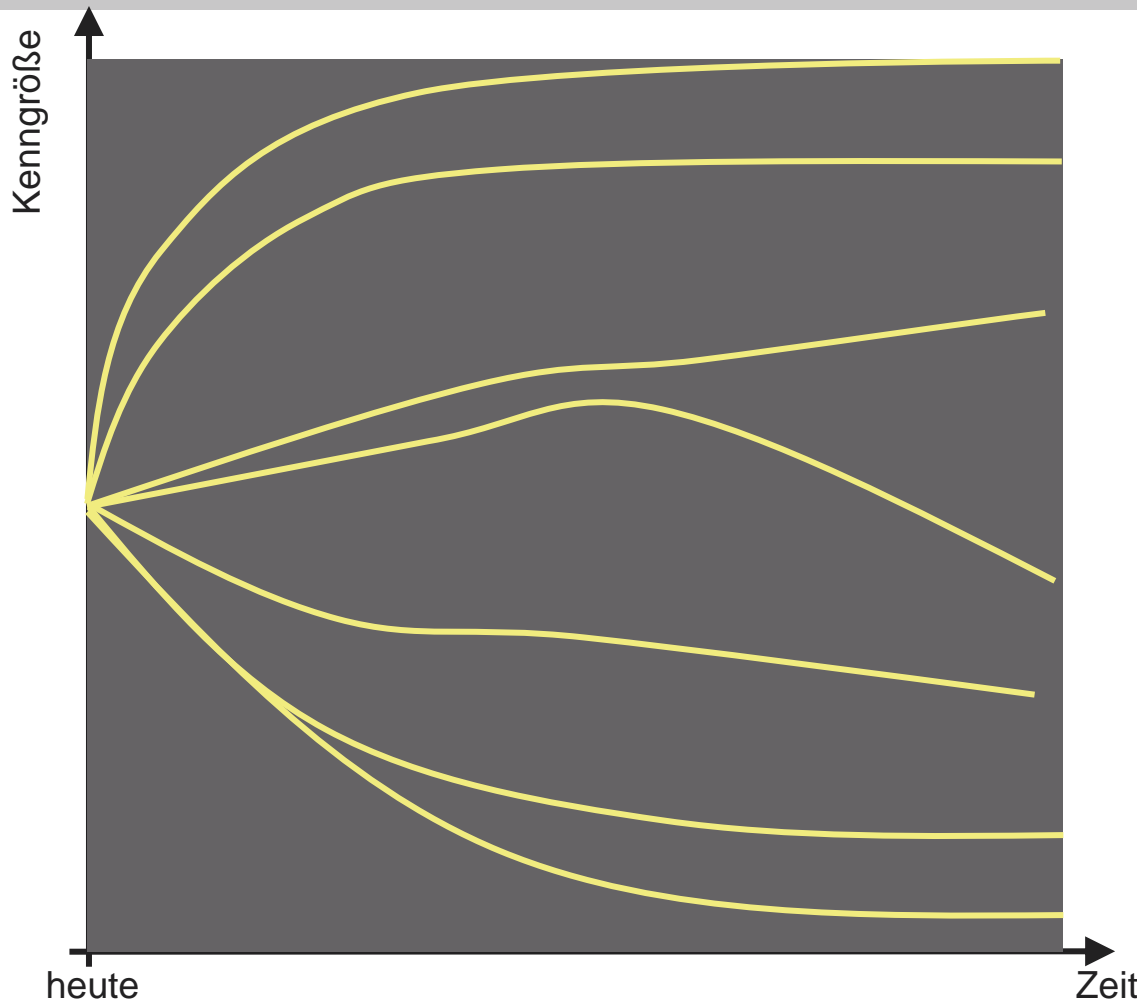
Epistemische Interpretation von Möglichkeit:

- **möglich = konsistent** (logisch widerspruchsfrei) **mit dem relevanten Wissen**
- möglich  $\neq$  vorstellbar!

- **Anspruch eines Szenarios:** Entwicklung ist konsistent mit relevantem Wissen
- Szenarien können sich auf **unterschiedliches Wissen** beziehen
- „Relevanz“: fallabhängig, potentiell umstritten

# WAS IST EIN SZENARIO?

## SZENARIEN IM MÖGLICHKEITSRAUM

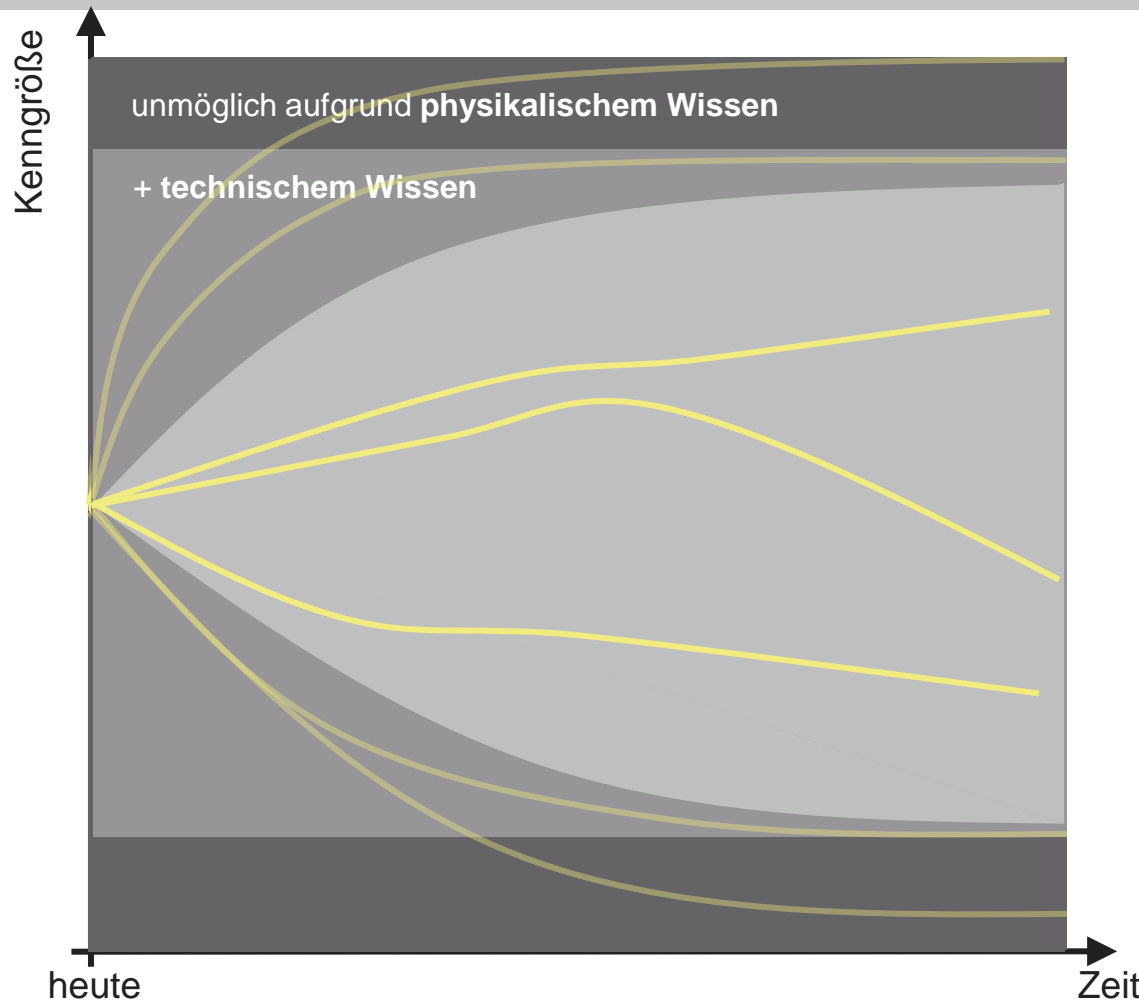


- Disziplinen schränken Möglichkeitsraum mit ihrem Wissen ein
- **Ziel Energieszenarioanalyse: Nachweis der Konsistenz mit physikalischem, technischem, (ökonomischem), ((sozialwissenschaftlichem, politikwissenschaftlichem)) Wissen**
- **Aber:**
  - In der Praxis wird der Raum nicht systematisch bestimmt
  - sondern es werden gleich relativ wenige Szenarien berechnet
  - Hinzu kommen also Auswahlkriterien dafür, welche Bereiche im Raum (oder Szenarien) überhaupt untersucht werden.



# WAS IST EIN SZENARIO?

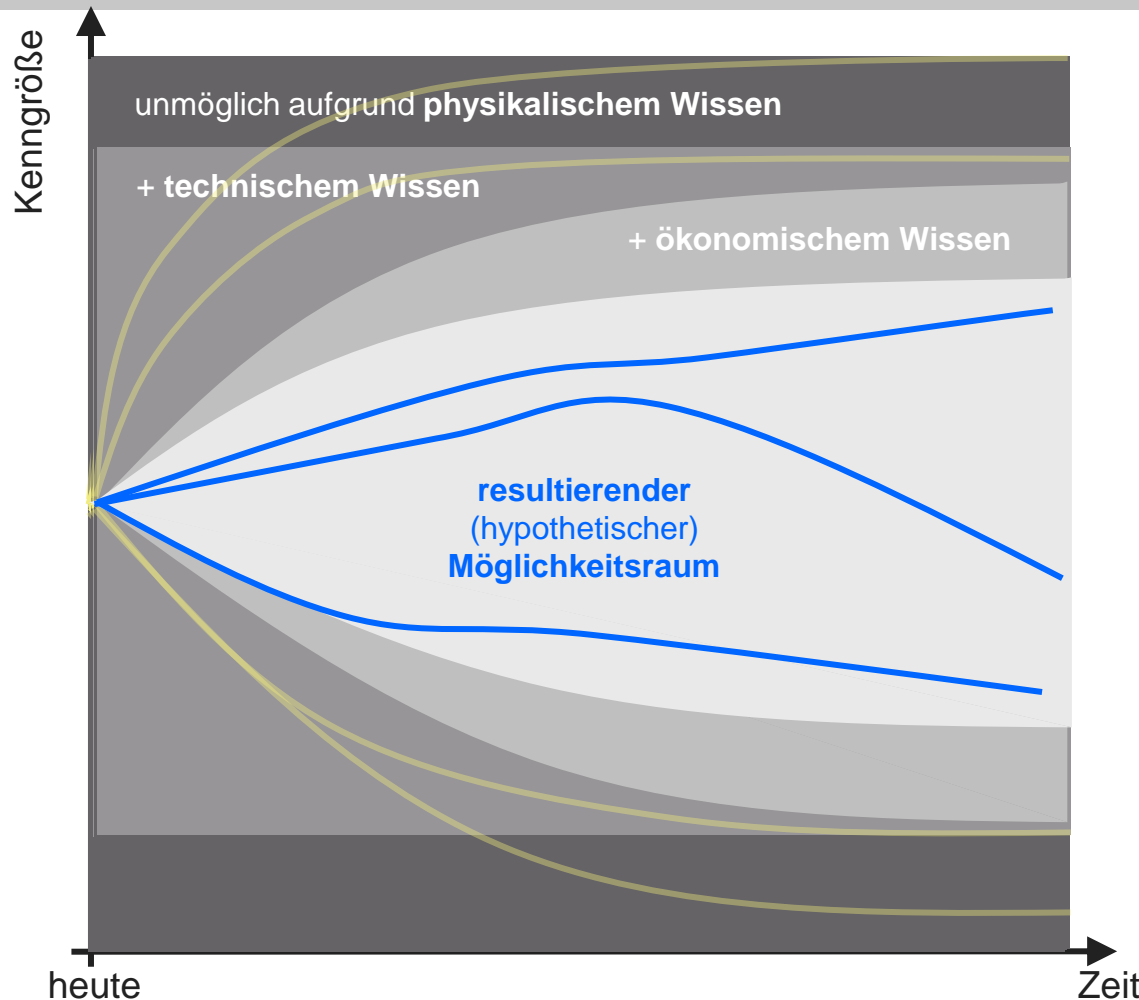
## SZENARIEN IM MÖGLICHKEITSRAUM



- Disziplinen schränken Möglichkeitsraum mit ihrem Wissen ein
- **Ziel Energieszenarioanalyse: Nachweis der Konsistenz mit physikalischem, technischem, (ökonomischem), ((sozialwissenschaftlichem, politikwissenschaftlichem)) Wissen**
- **Aber:**
  - In der Praxis wird der Raum nicht systematisch bestimmt
  - sondern es werden gleich relativ wenige Szenarien berechnet
  - Hinzu kommen also Auswahlkriterien dafür, welche Bereiche im Raum (oder Szenarien) überhaupt untersucht werden.

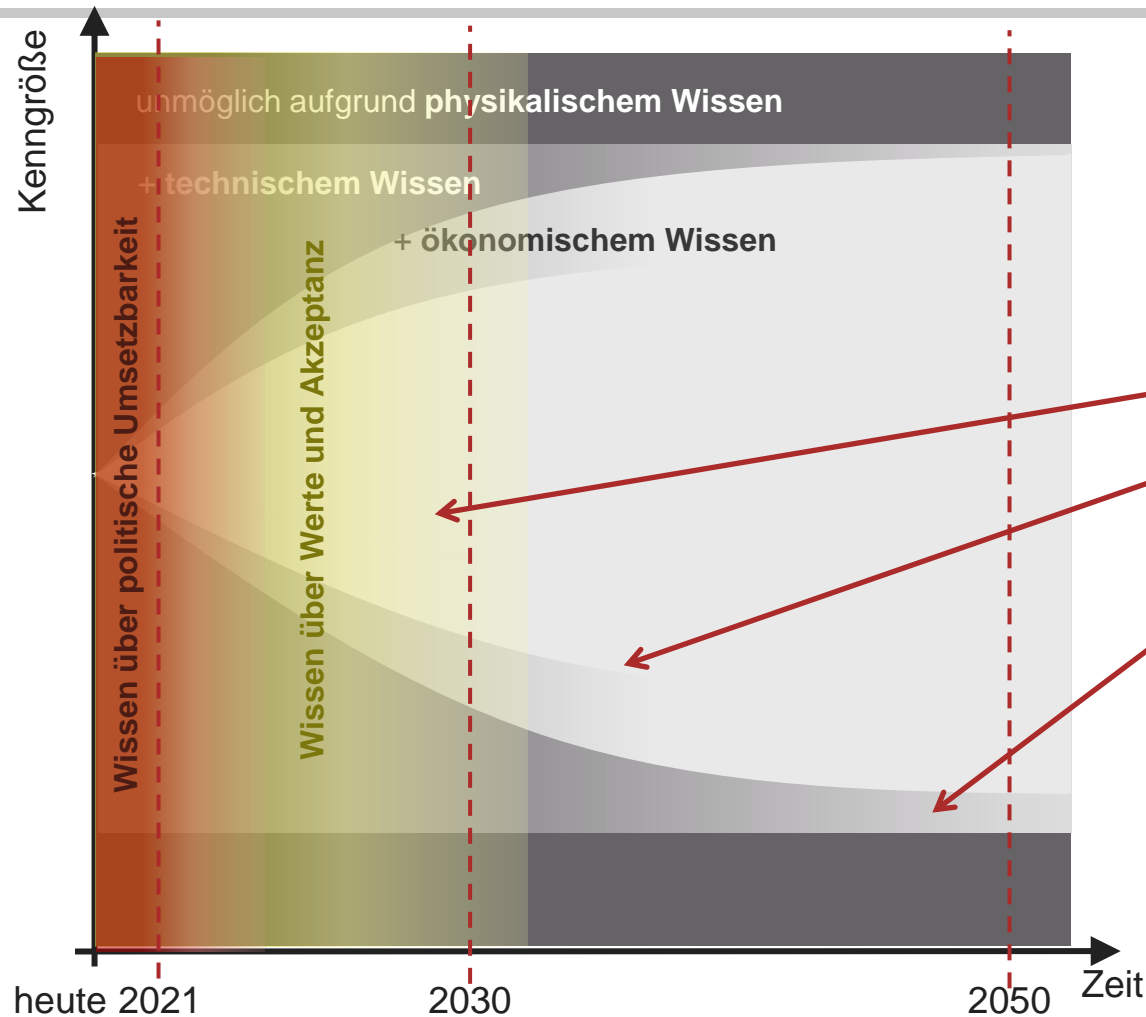
# WAS IST EIN SZENARIO?

## SZENARIEN IM MÖGLICHKEITSRAUM



- Disziplinen schränken Möglichkeitsraum mit ihrem Wissen ein
- **Ziel Energieszenarioanalyse: Nachweis der Konsistenz mit physikalischem, technischem, (ökonomischem), ((sozialwissenschaftlichem, politikwissenschaftlichem)) Wissen**
- **Aber:**
  - In der Praxis wird der Raum nicht systematisch bestimmt
  - sondern es werden gleich relativ wenige Szenarien berechnet
  - Hinzu kommen also Auswahlkriterien dafür, welche Bereiche im Raum (oder Szenarien) überhaupt untersucht werden.

# WAS IST EIN SZENARIO? SZENARIEN IM MÖGLICHKEITSRAUM



**Unterschiedliche  
Prognosehorizonte der  
Disziplinen bzw.  
Wissensbereiche?**

**(„Verblässen“ der  
Grenzen?)**

---

# Wie wird ein Szenario berechnet?

# WIE WIRD EIN SZENARIO BERECHNET?

## Rechenprozess

Modellierer\*in legt numerische **Annahmen** für **exogene** Variablen  $X$  fest.

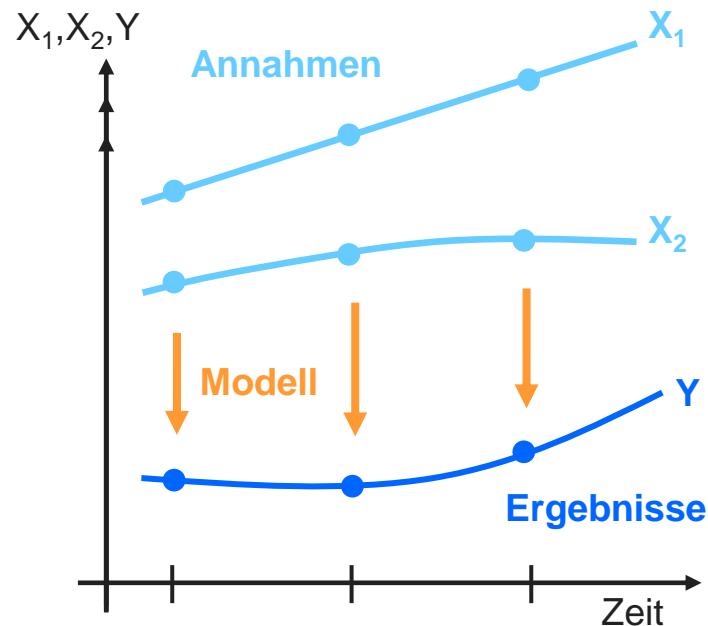


**Modell**  $Y=f(X)$   
berechnet die...



...numerischen **Ergebnisse** für **endogenen** Variablen  $Y$ .

## Szenario



## Argumentation

**Annahmensatz konsistent**  
mit rel. Wissen (= möglich)

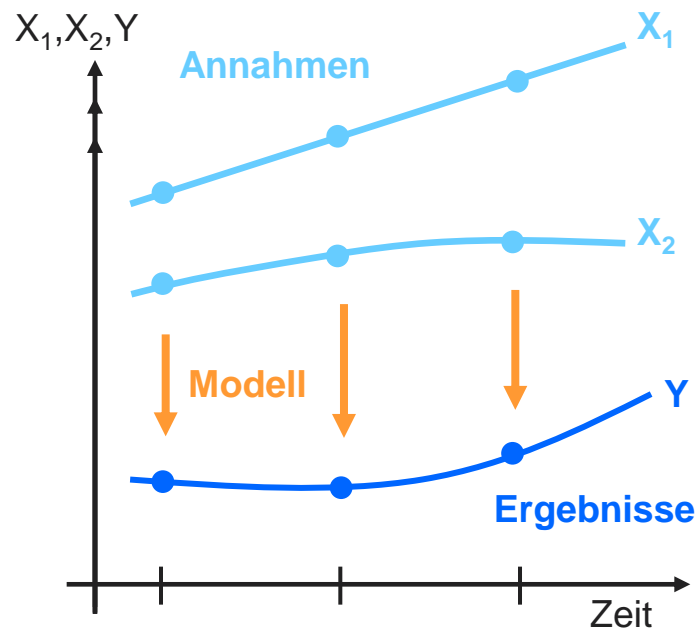
**Modell ist adäquat**

**Also: Ergebnisse konsistent**  
mit rel. Wissen (= möglich)

**Also: Szenario konsistent**  
mit rel. Wissen (= möglich)

# WIE WIRD EIN SZENARIO BERECHNET?

## Szenario



## Argumentation

**Annahmenset konsistent**  
mit rel. Wissen (= möglich)

**Modell ist adäquat**

**Also: Ergebnisse konsistent**  
mit rel. Wissen (= möglich)

**Also: Szenario konsistent**  
mit rel. Wissen (= möglich)

## ...im Folgenden...

→ **Welches Wissen** geht hier jeweils in der **Energiesystemanalyse** ein

→ Welche **Unsicherheiten** bestehen?

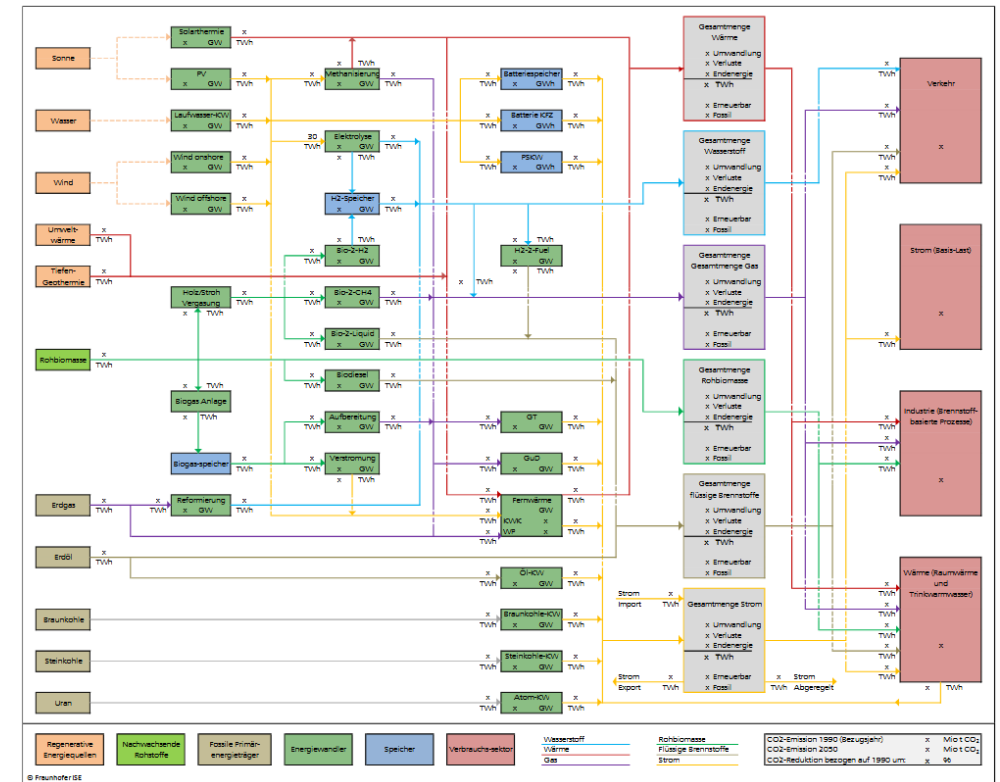
→ Welche **Schlüsse** werden aus **mehreren Szenarien** gezogen?

# WIE WIRD EIN ENERGIESZENARIO BERECHNET? MODELLE IN DER ENERGIESYSTEMANALYSE

Wichtigster Typ: **Bottom Up – Optimierungsmodelle mit perfect foresight**

- **Bottom-Up:**
  - Repräsentation durch Energie- und Emissionsströme und Umwandlungstechnologien
  - Technologien stark differenziert, u.a. charakterisiert durch Parameter Wirkungsgrad, Lebensdauer, Kosten (=Annahmen)
- **Optimierungsmodell: kostenminimale Technologiezusammensetzung** unter best. Randbedingungen
  - Interpretation: **zentraler Planer** oder partielles Gleichgewicht
- **Typische Randbedingungen:** CO<sub>2</sub>-Ziele, Ausbaupotentiale, Energienachfrage (= Annahmen)
- **Perfect foresight:** Intertemporale Optimierung
  - Interpretation: **zentraler Planer kennt zukünftige Entwicklung der Annahmen**, z.B. Kostenentwicklung

Beispiel: **Modell REMod-D (FhG-ISE)**



Palzer, A. (2016): „Sektorübergreifende Modellierung und Optimierung eines zukünftigen deutschen Energiesystems...“, S.16

# WIE WIRD EIN ENERGIESZENARIO BERECHNET? WELCHES WISSEN, WELCHE UNSICHERHEITEN?

## Physikalisch-technisches Wissen

Wissensbereich	Art des Wissens / der Unsicherheit
<b>Technologien</b> und deren techn. Eigenschaften	Enge Wertespannen
<b>Physikalische Eigenschaften</b> Energiesystem (z.B. Energieerhaltung)	Gewissheit
<b>Wechselwirkungen der Technologien</b> (z.B. Speicherbedarf bei fluktuierender Einspeisung)	Gewissheit (?)

## Argumentation

Annahmenset konsistent mit phys./techn. Wissen

Modell ist phys./techn. adäquat

Also: Szenario konsistent mit phys./techn. Wissen (= physikalisch-technisch möglich)

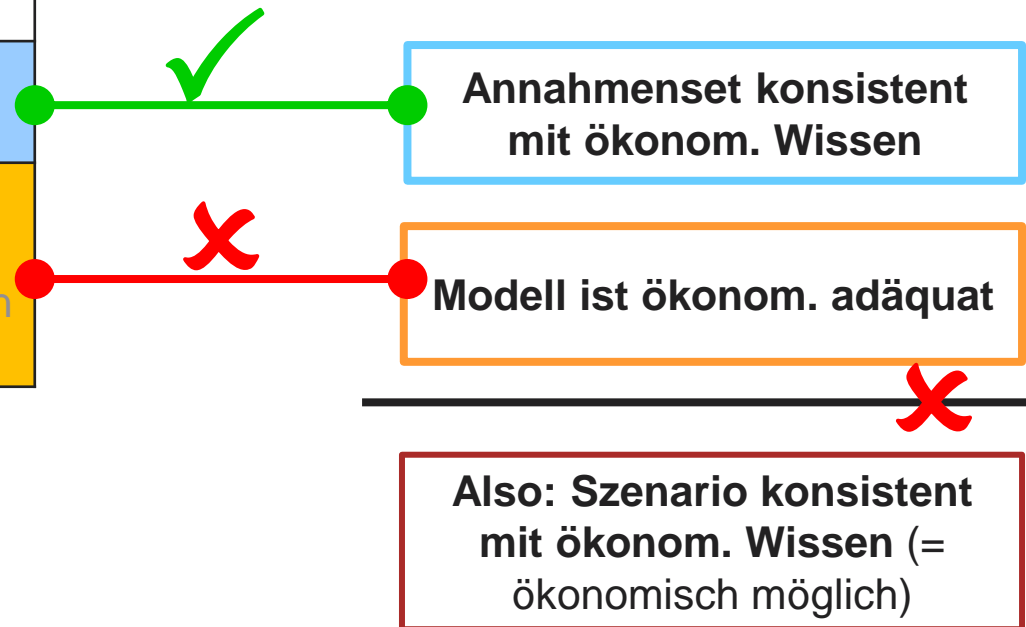


# WIE WIRD EIN ENERGIESZENARIO BERECHNET? WELCHES WISSEN, WELCHE UNSICHERHEITEN?

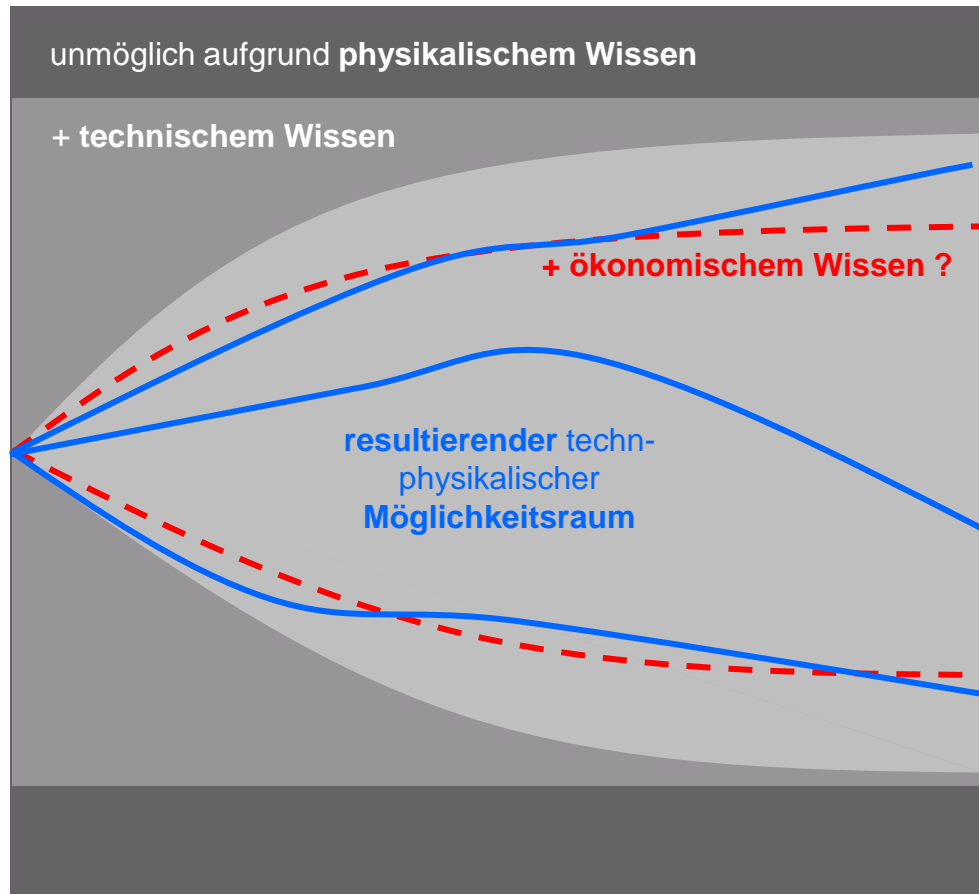
## Ökonomisches Wissen

Wissensbereich	Art des Wissens / der Unsicherheit
Kostenannahmen für Technologien	Große Wertespannen (?)
Ökonomisches Entscheidungskalkül: Optimierung unter perf. foresight	Empirisch: falsch Trutnevyte, E. (2016): Abweichung von 9-23% der berechneten von den tatsächlichen Systemkosten

## Argumentation



# ALSO: WAS SAGEN UNS ENERGIESZENARIEN (NICHT)?



## Also

- Energiesystemmodelle: physikalisch-technisch adäquat, aber ökonomisch inadäquat
- **Energieszenarien: physikalisch-technisch mögliche Entwicklungen** (in großem Möglichkeitsraum!)
- **Wir wissen nicht, ob sie ökonomisch möglich sind** (weil die Schlussfolgerung nicht klappt)
- Über ihre soziale/politische Möglichkeit sagt eine Energiesystemanalyse (im Kern) nichts aus

## Aber

- liefern sie Grenzfälle für ökonomischen Möglichkeitsraum?
- Mögliche Lösung: andere Modelle verwenden?
- Mögliche Lösung: Modellannahmen selbst variieren („near optimal scenarios“ Trutnevyete)

---

# Schlüsse aus Szenarioanalysen

# SCHLÜSSE AUS SZENARIOANALYSEN EFFEKTE VON HANDLUNGSMOGLICHKEITEN I

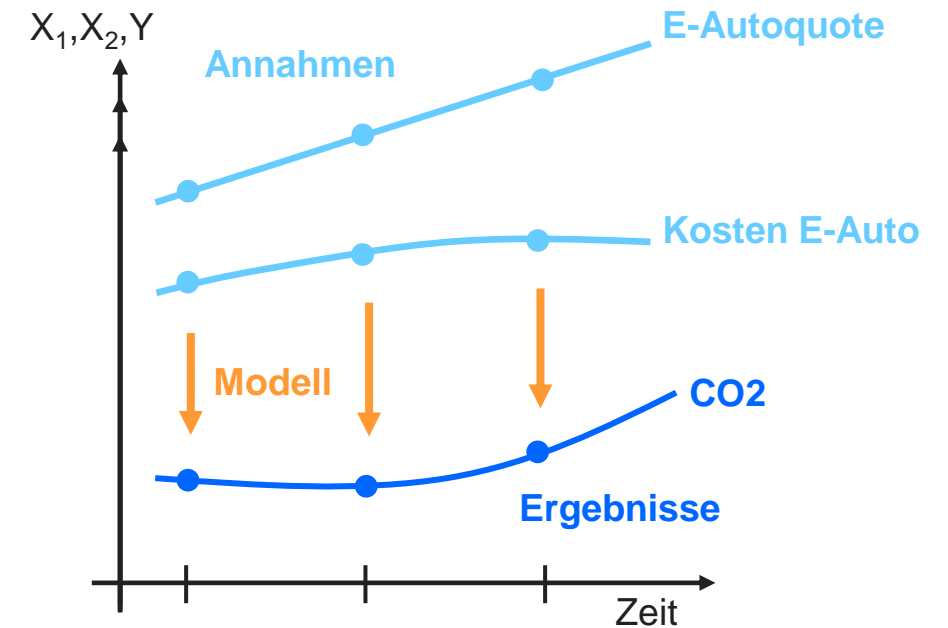
- Die Annahmen für einen Teil der Variablen „repräsentieren“ Maßnahmen
- Variation dieser Maßnahmen zwischen Szenarien

## Beispiel

- **Szenario 1: Anteil E-Autos wird über eine fixe Quote**
- Szenario 2: Verbot Verbrenner
- **Schlussfolgerung: Wenn E-Auto-Quote, dann CO<sub>2</sub> gemäß Szenario 1; Wenn Verbot Verbrenner, dann CO<sub>2</sub> gemäß Szenario 2**

## Aber

- Keine Schlussfolgerung, sondern Narrativ für Annahmewahl?
- Oder **Fehlschluss**, wenn Unsicherheiten der anderen Variablen nicht beachtet werden

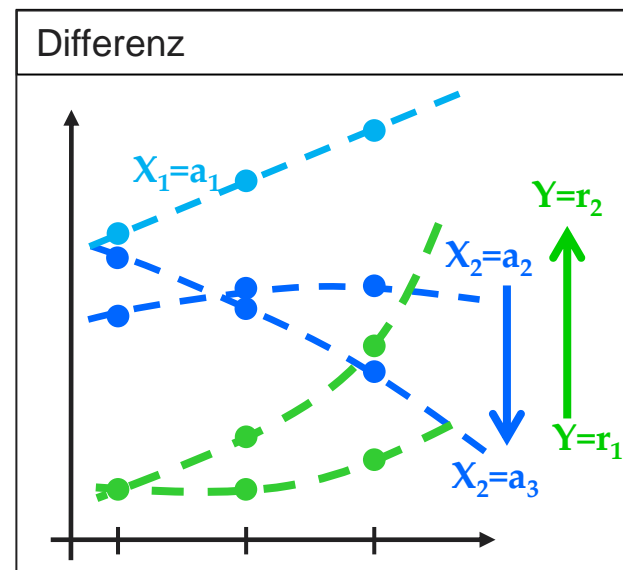
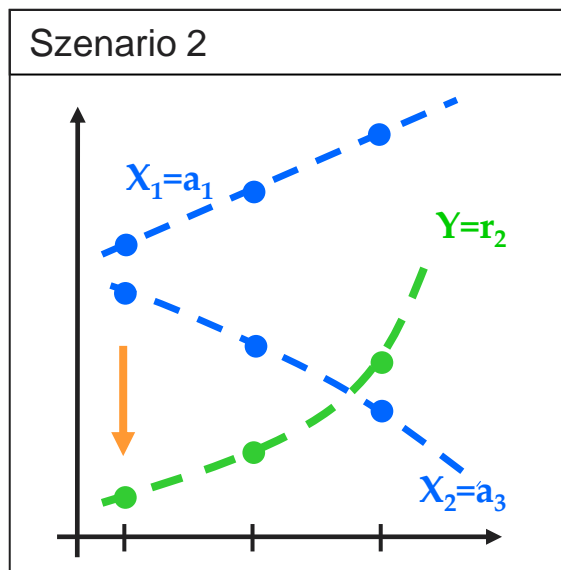
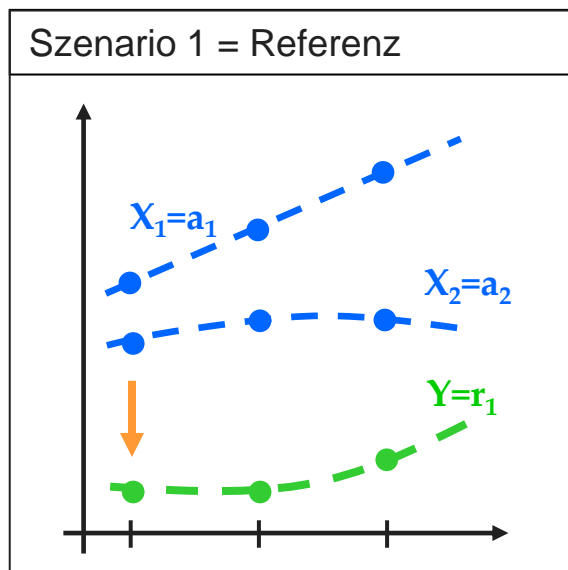


# SCHLÜSSE AUS SZENARIOANALYSEN

## EFFEKTE VON HANDLUNGSMOGLICHKEITEN II

### Differenz zweier Modellläufe mit und ohne Maßnahme

- Referenz-Szenario: ohne Maßnahme (=BAU-Annahmen)
- Szenario 2: Annahmen für einen Teil der Variablen „repräsentieren“ Maßnahmen
- Schlussfolgerung: Maßnahme hat Effekt in Höhe der Differenz



### Aber:

Schluss gilt nur wenn Unsicherheiten der anderen Variablen variiert werden

# SCHLÜSSE AUS SZENARIOANALYSEN

## ROBUSTE MAßNAHMEN

### Robuste Maßnahmen

- Berechnung von mehreren Szenarien (oder Meta-Analyse)
- Diagnose: in allen betrachteten Szenarien ist eine bestimmte Maßnahme vorteilhaft
- **Schlussfolgerung: Maßnahme ist robust (und sollte umgesetzt werden)**

### Aber

- **Gilt nur, wenn alle relevanten Szenarien untersucht wurden**

# SCHLÜSSE AUS SZENARIOANALYSEN

## NOTWENDIGE MAßNAHMEN

### Notwendige Maßnahmen

- Berechnung von mehreren Szenarien (oder Meta-Analyse), z.B. mit unterschiedlichen Klimazielen
- Diagnose: Bestimmte Technologie nur im Szenario mit starken Klimazielen (z.B. PtX)
- **Schlussfolgerung: Technologie (ihre Förderung) ist notwendig für starke Zielerreichung**

### Aber

- systematische Analyse des Möglichkeitsraums nötig
- Gilt nur, wenn kein Szenario gefunden wird, dass ohne Technologie das Ziel erreicht
- (auch denkbar: es ist eigentlich „hinreichende“ Maßnahme gemeint)

# FAZIT

- Energieszenarien: physikalisch-technisch mögliche Entwicklungen
- Status bzgl. ökonomischem Wissen unklar (bei Optimierungsmodellen)
- In der Praxis Auswahl weniger Szenarien aus großem Möglichkeitsraum
- unklar, ob das die relevanten sind
- Auswahlkriterien unklar, ggf. versteckt normativ
- Robustheitsschlüsse & Co. stehen auf wackeligen Füßen

**Also: Energieszenarien sind (bei heutiger Praxis) in Entscheidungsbegründung mit Vorsicht zu genießen!**

- Institutionenökonomisches, politik- und sozialwissenschaftliches Wissen weitgehend nicht beachtet, allenfalls bei Wahl der Annahmen

**Also: Es gibt eine „Lücke“ zwischen Ergebnissen der Energiesystemanalyse und der Antwort auf die Frage, was unter realen Bedingungen auf welche Weise umgesetzt werden kann.**



# MEINE FRAGEN AN DEN WORKSHOP

- **Wie die Lücke in der interdisziplinären Kooperation schließen?**
- Welche **Rolle** sollten **Energieszenarien in der Entscheidungsbegründung** haben?
- Wie müsste die **Modellierungspraxis** dazu **angepasst** werden? (Szenarien bis 2050 überhaupt hilfreich? Einfachere, schnelle lösende Modelle, um Möglichkeitsraum systematisch auszuleuchten)
- Wie sollte im **Zusammenspiel Wissenschaft und Politik** entschieden werden, welche Szenarien die relevanten sind?
- (Wie weit trägt epistemische Interpretation von Möglichkeit? Was ist mit „praktischer Machbarkeit“?)

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Christian Dieckhoff  
[christian.dieckhoff@now-gmbh.de](mailto:christian.dieckhoff@now-gmbh.de)  
Tel.: 030-311611636

## Referenzen

- Acatech, Leopoldina und Union der Akademien [Hrsg.] (2016): **Consulting with Energy Scenarios**. Requirements for science-based policy consulting. Position Paper. München (online)
- Fishedick, M. und Grunwald, A. (Hg.): **Pfadabhängigkeiten in der Energiewende – Das Beispiel Mobilität**. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft (Analyse); (online)
- Gregor Betz (2010): **What's the Worst Case?** In: Analyse & Kritik, 32/01, S. 87-106.
- Dieckhoff, Christian (2015): **Modellierte Zukunft. Energieszenarien in der wissenschaftlichen Politikberatung**, Bielefeld: transcript.
- Dieckhoff, Christian; Appelrath, Hans-Jürgen; Fishedick, Manfred; Grunwald, Armin; Höffler, Felix; Mayer, Christoph; Weimer-Jehle, Wolfgang (2014): **Zur Interpretation von Energieszenarien**. Berlin ([online](#))
- Dieckhoff, C. und Leuschner, A. (Hg.) (2016): **Die Energiewende und ihre Modelle. Was uns Energieszenarien sagen können – und was nicht**. Bielefeld: transcript-Verlag.
- Hansson, S.O., and Hirsch Hadorn, G. (eds.) (2016) **The Argumentative Turn in Policy Analysis**. Cham: Springer International Publishing.
- Trutnevyte, E. (2016) "Does cost optimization approximate the real-world energy transition?", *Energy*, 106, 182–193.