



INATECH
DEPARTMENT OF SUSTAINABLE
SYSTEMS ENGINEERING

Integrated Sustainability Assessment and Optimization of Energy Systems

Claudia Sutardhio¹, Anke Weidlich¹, Tobias Naegler²

¹ University of Freiburg, Department of Sustainable System Engineering

² German Aerospace Center (DLR), Stuttgart



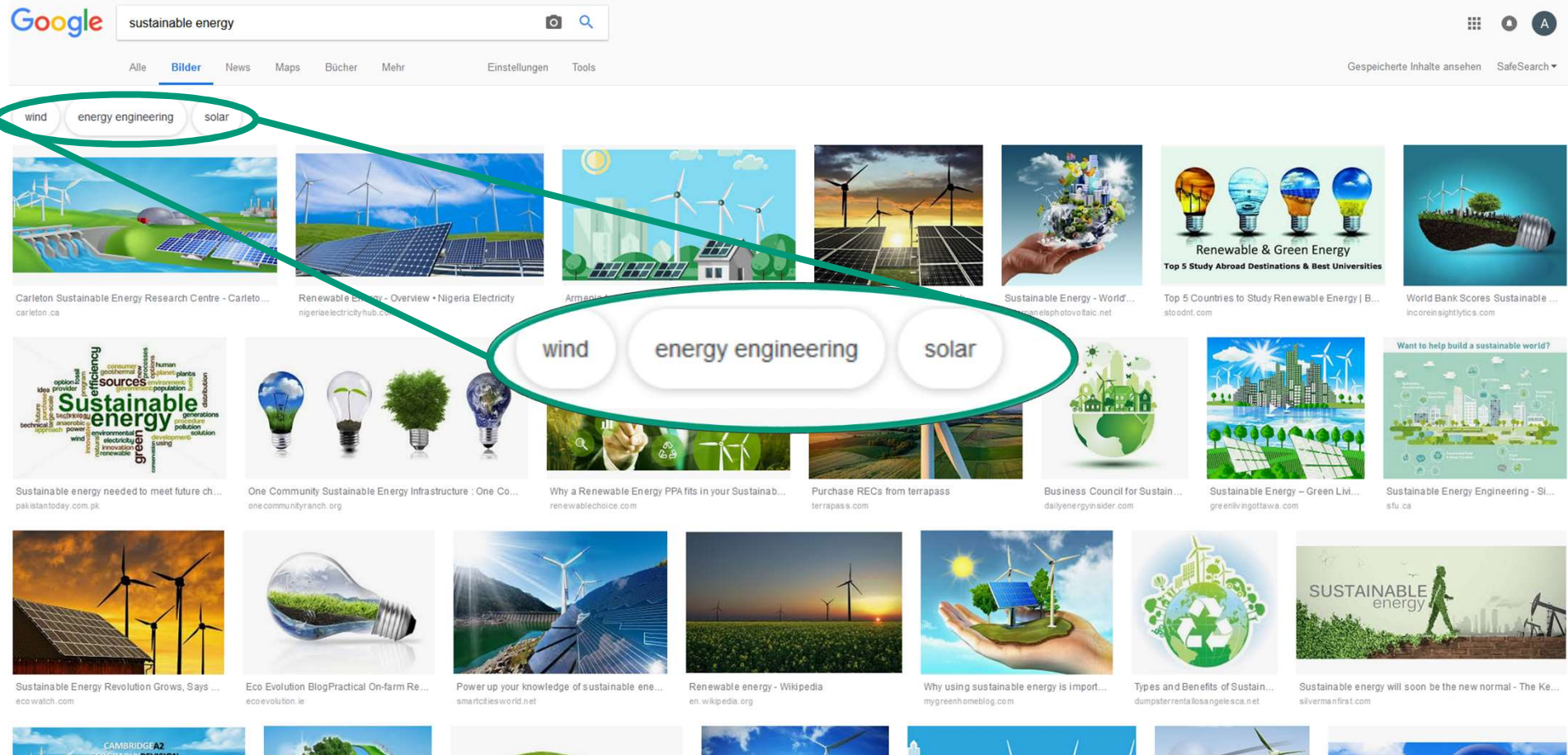
1 Zusammenfassung^{1, 2, 3, 4}

1.1 Die wichtigsten Ergebnisse

**Einvernehmliche⁵ Feststellung: Das gegenwärtige
Energiesystem ist nicht nachhaltig**

Joint statement: The current energy system is not sustainable

[German Enquête Commission „Sustainable Energy Supply under the Conditions of Globalization and Liberalization“, 2002]





INATECH

The InNOSys Project

- Research project on an *integrated sustainability assessment and optimization of energy systems*
- Jan 2018 – Dec 2020



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**
German Aerospace Center
Institute of Engineering Thermodynamics



INATECH

DEPARTMENT OF SUSTAINABLE
SYSTEMS ENGINEERING

ITAS

Institute for
Technology Assessment
and Systems Analysis



zirius



Center for Interdisciplinary Risk and Innovation Studies

GLIS

SPECIALISTS IN
EMPIRICAL ECONOMIC
RESEARCH

INEC



INSTITUTE FOR
INDUSTRIAL ECOLOGY
PFORZHEIM

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

on the basis of a decision
by the German Bundestag

UNI
FREIBURG



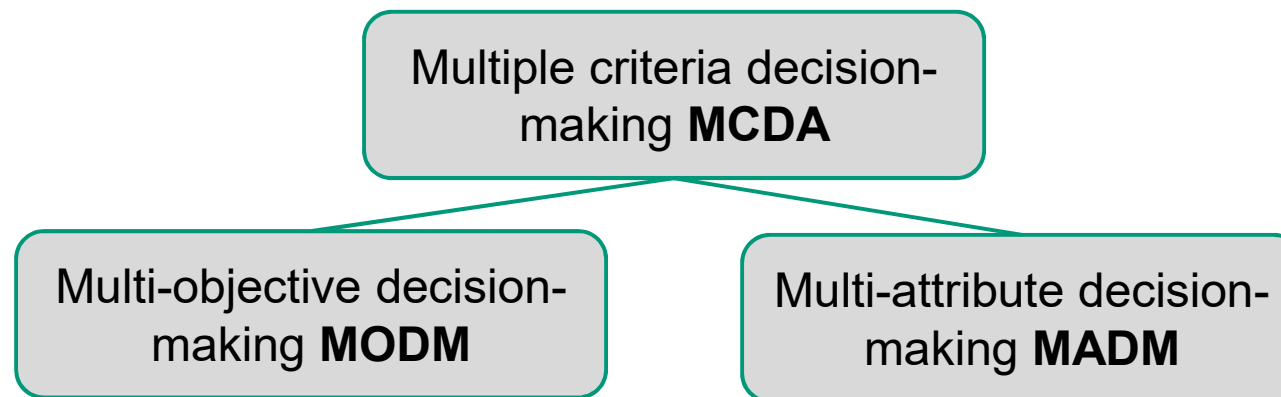
- Object of study: Scenarios for energy system transformation until 2050



- Objectives:
 - MADM sustainability assessment approaches for energy scenarios
 - MODM methods for deriving optimized pathways of energy systems (in Germany)

Multi-Criteria Decision Making

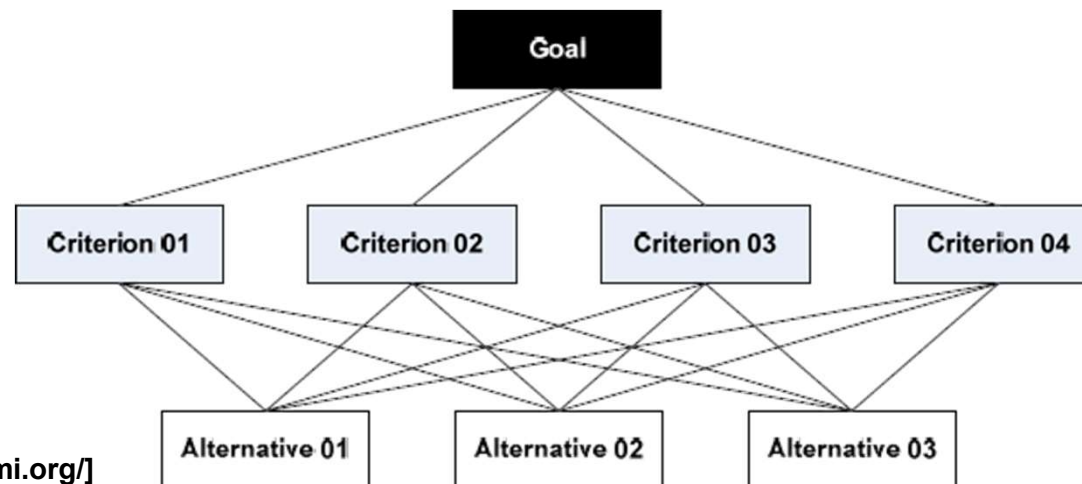
- Two sub-classes form the class of MCDA models



- MODM**: multiple, usually conflicting objectives
 - Aim: finding a feasible alternative that yields most preferred / satisfactory set of values for the objective functions
- MADM**: multi-attribute utility functions
 - Aim: make a choice among several alternatives



- Chosen MADM methods
 - Analytic Hierarchy Process
AHP
 - Technique of Order Preference by Similarity of Ideal Solution
TOPSIS
 - Preference Ranking Organization Methods for Enrichment of
Evaluations
PROMETHEE



[<https://www.pmi.org/>]

Indicator (Pre-)Selection

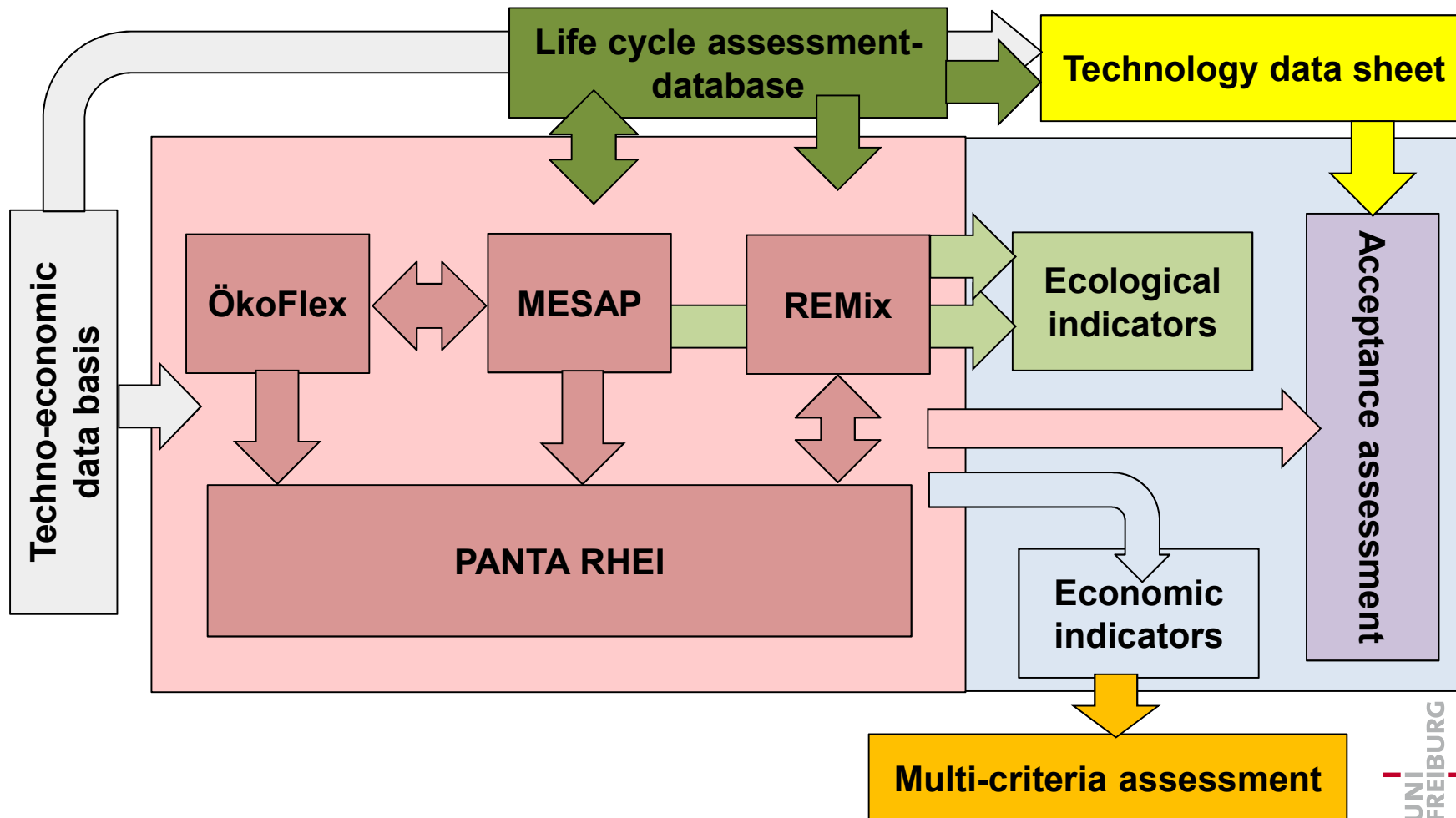
■ (Aggregated) indicators selected for focus groups

- Social
 - Quality of living
 - Distributional justice
 - Intergenerational justice
- Socio-economic
 - Employment effects installation
 - Employment effects O&M
- Economic
 - Levelized cost of electricity
 - Security of supply
- Ecological
 - CO₂ emissions
 - Land consumption
 - Respirable dust
 - Ecological toxicity
 - Resource consumption

Energy-Trans-Indikatoren
energiebezogene Feinstaub-Emissionen
energiebezogene Kadmium-Emissionen
energiebezogene Quecksilber-Emissionen
Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch
Primärenergieverbrauch
Endenergieverbrauch im Verkehrssektor
Modal Split im Verkehrssektor
Anzahl an Elektrofahrzeugen
Endenergieproduktivität der deutschen Wirtschaft
energiebezogene Treibhausgasemissionen
Volumen öffentlicher Darlehen für energiebezogene Investitionen
Energieimportabhängigkeit
Verhältnis von EE-Beschäftigten zu Beschäftigten insgesamt
Pro-Kopf-Endenergieverbrauch privater Haushalte
Endenergieverbrauch der Industrie
Endenergieverbrauch von GHD
Wertschöpfung durch den Erneuerbare-Energien-Sektor
monatliche Energieausgaben von Haushalten mit einem Netto-Monatseinkommen unter 1300 Euro
Endenergieverbrauch privater Haushalte zum Heizen (temperaturbereinigt)
installierte Kapazität regenerativer Kraftwerke
Anteil der Haushalte, die EE-Strom produzieren
Anbaufläche für Energiepflanzen
Internalisierungsgrad von energiebezogenen externen Kosten
energiebezogene Emissionen von säurebildenden Gasen
energiebezogene schädliche Feststoffabfälle
Menge an hochradioaktiven Abfällen, die noch nicht zu einem sicheren Endlager gebracht wurden
zusätzliche Indikatoren
Staatsdefizit
Schuldenstand
NO _x -Emissionen
NO ₂ -Emissionen
NM _{VOC} -Emissionen
Anteil EE-Strom an der Bruttostromerzeugung
Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche
Rohstoffproduktivität
Erwerbstätigenquote
Energieverbrauch pro Kopf
Energieverbrauch pro Wohnfläche
Verhältnis der Bruttoanlageinvestitionen zum BIP
BIP/Kopf
Energieverbrauch des Konsums
CO ₂ -Emissionen des Konsums
Nachhaltigkeitsstrategie für Deutschland (Basis SDGs)
Landbewirtschaftung: In unseren Kulturlandschaften umweltverträglich produzieren
2.1a Stickstoff-Überschuss
2.1b Ökologischer Landbau
Luftbelastung: Gesunde Umwelt erhalten
3.2a Emissionen von Luftschadstoffen (Index der nationalen Emissionen der Luftschadstoffe SO ₂ , NO _x , NH ₃)

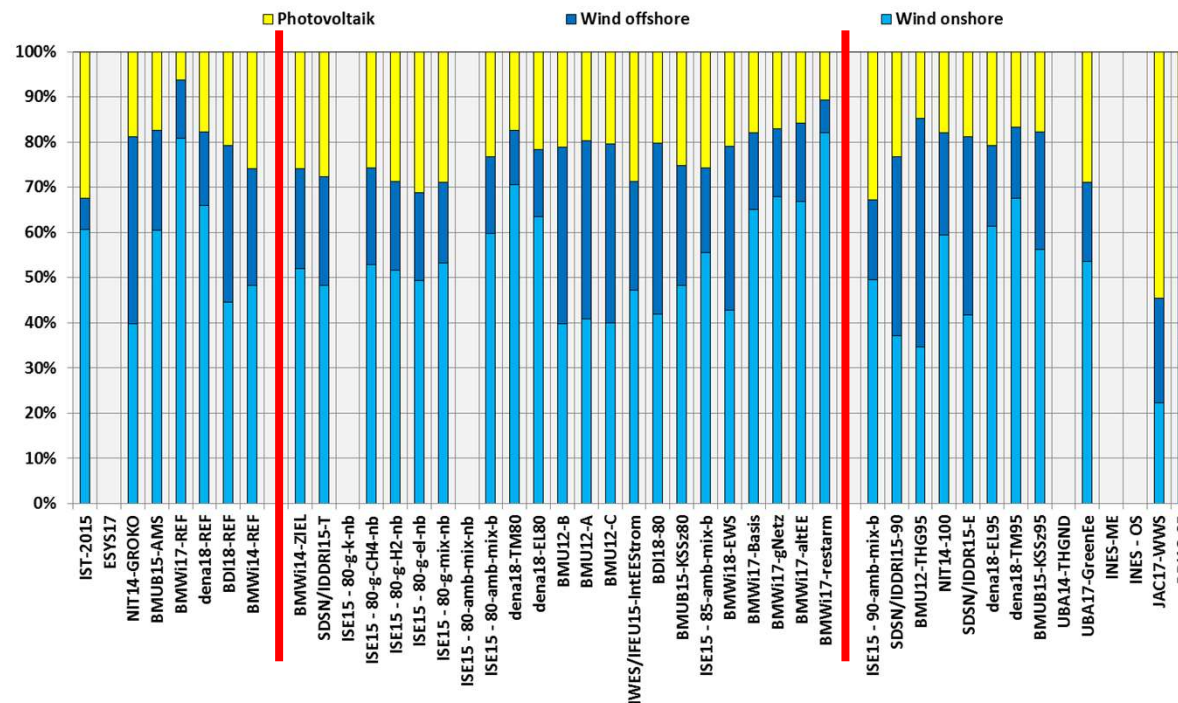
Basic Concept and Model Coupling

- Model used for analysis



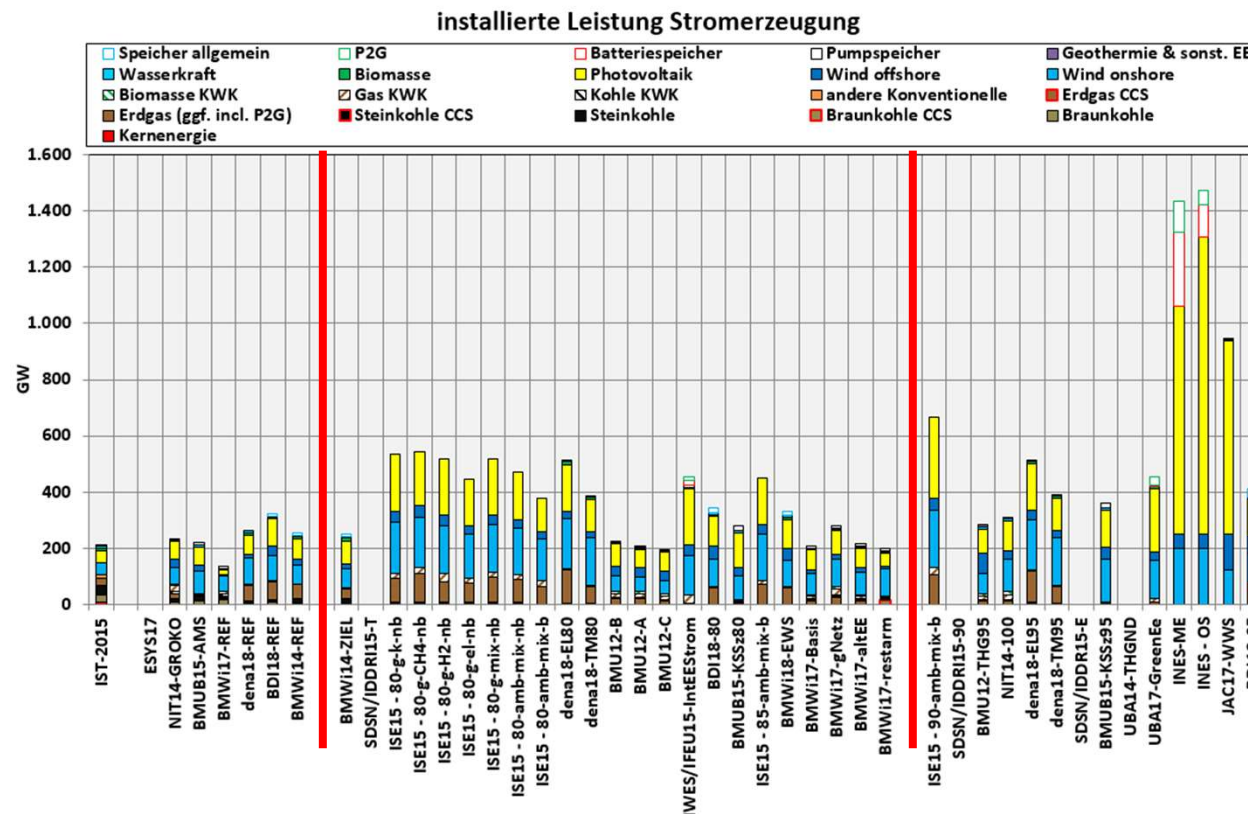
Scenario Classification

- Scenario sets: 80–90 % & 95 % CO₂ emission reduction target
- Average shares of generation capacity in the scenarios
 - 80–90 %: 54 % wind onshore, 23 % wind offshore, 23 % PV
 - 95 %: 48 % wind onshore, 29 % wind offshore, 23 % PV



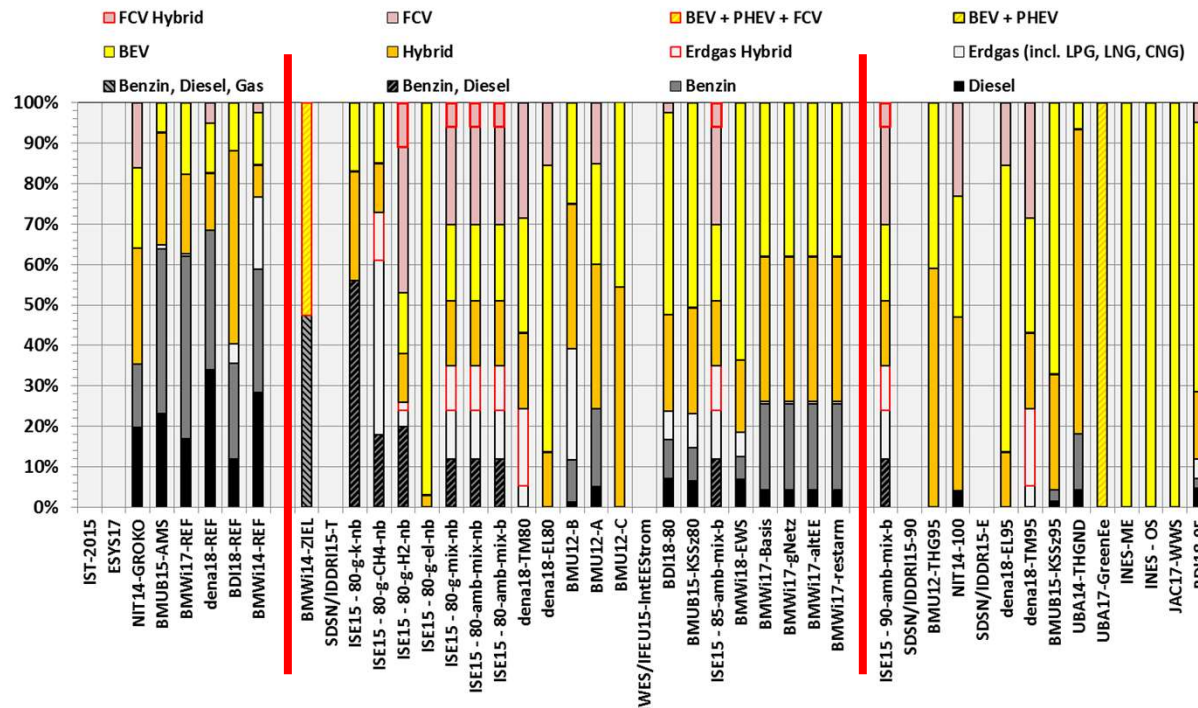
Differences in Scenarios

- Large differences in installed capacity across scenarios
 - 80–90 %: < 400 GW (all technologies)
 - 95 %: 400 – 1400 GW (all technologies)



Differences in Scenarios

- Individual mobility
 - 80–90 %: electric vehicles, hybrid vehicles s with biofuels, fuel cell vehicles, natural gas engines
 - 95 %: electric vehicles, hybrid vehicles with synthetic fuels, fuel cell vehicles





- Ten scenarios will be re-calculated for comparable results
 - Harmonized driving factors
 - Harmonized energy intensities
- Criteria weighting facilitated by focus groups
- MADM studies based on weights and selected indicators
- Optimized energy scenarios based on MODM method

EN | DE

InNOSys PROJEKT PARTNER AKTUELLES ERGEBNISSE KONTAKT

Sie sind hier: Startseite

InNOSys – Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung und -optimierung von Energiesystemen

Die politische Debatte über nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung vereint sich derzeit weitgehend auf das Erreichen der Klimaschutzziele bei vertretbaren Kostenbelastungen für Bürger und Industrie. Mit dieser Fokussierung werden zahlreiche Nachhaltigkeitsaspekte wie Ressourcenbedarf, gesellschaftliche Akzeptanz oder Emissionen im Lebenszyklus neuer Technologien ausgeblendet, die eine nationale Strategie der Bundesregierung jedoch im Blick haben muss, soll eine Transformation hin zu einem nachhaltigen Energiesystem realisiert und mittels politischer Maßnahmen gesteuert werden.

[Mehr lesen »](#)

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
GHS
INATECH
INEC
ITAS
zirius
UNI FREIBURG