

Prof. Dr. Andreas Bett
1. Juli 2022, Freiburg

Herausforderungen bei der Energiewende

Agenda

1. **Wo komme ich her?**
2. **Transformation des Energiesystems**
3. **Integrierte Photovoltaik**

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

Seit über 40 Jahren betreiben wir Forschung für die Energiewende



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

Institutsleiter

Prof. Dr. Hans-Martin Henning
Prof. Dr. Andreas Bett

Mitarbeitende rund 1400

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Das Leitbild

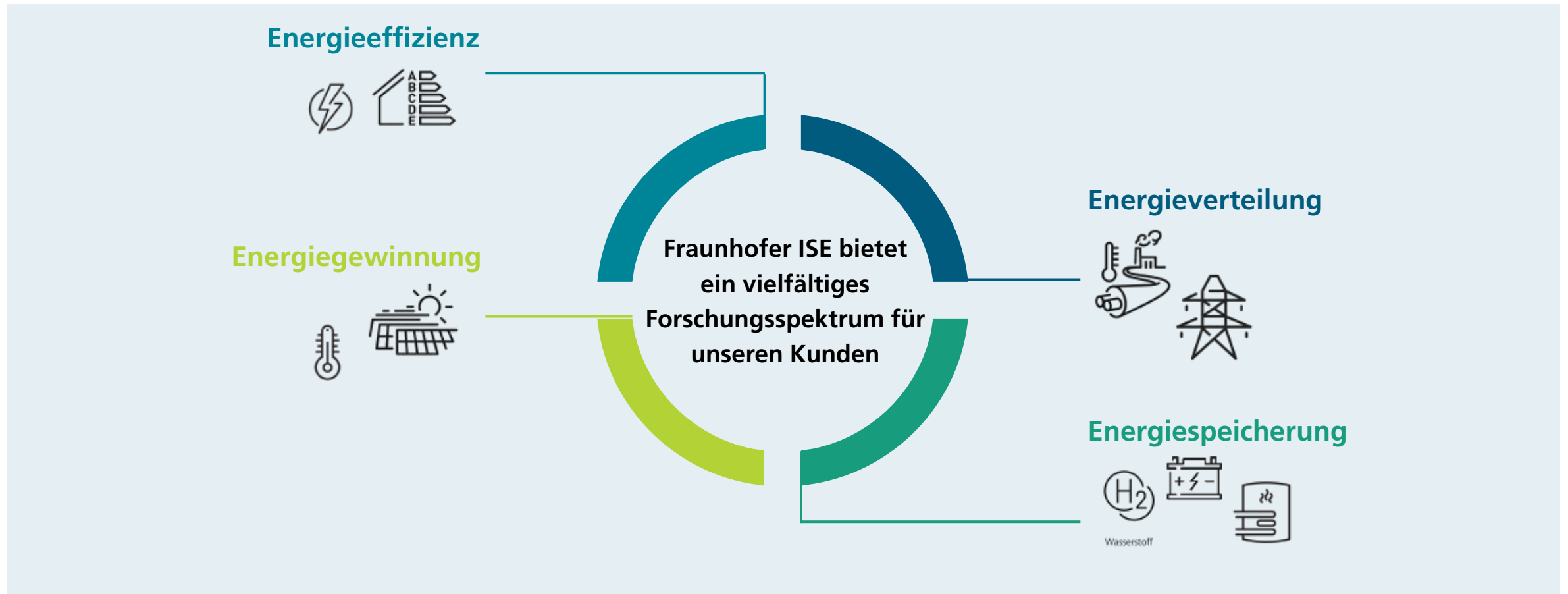


Unsere Vision

Die Sicherung der Lebensgrundlage heutiger und zukünftiger Generationen sowie der Erhalt unserer natürlichen Umwelt sind unser Antrieb. Mit unseren richtungsweisenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten nehmen wir international eine führende Rolle im Bereich erneuerbarer Energiesysteme und -technologien ein. So leisten wir einen wesentlichen Beitrag für eine nachhaltige, wirtschaftliche, sichere und sozial gerechte Energieversorgung weltweit – hin zur ausschließlichen Nutzung von erneuerbaren Energien.

Forschungsschwerpunkte des Fraunhofer ISE

Das größte Solarforschungsinstitut in Europa



Unsere Geschäftsfelder



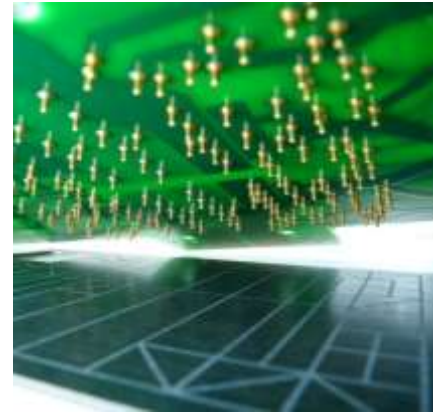
Photovoltaik



**Energieeffiziente
Gebäude**



**Solarthermische
Kraftwerke und
Industrieprozesse**



**Wasserstoff-
technologien und
Elektrische
Energiespeicher**



**Leistungselektronik,
Netze und
Intelligente Systeme**

Fotos: © Fraunhofer ISE

Forschung



Elektrische
Energiespeicherung (Prof.
Bessler)



Elektromobilität (Prof.
Klöffer, Prof. König)



Energieeffiziente
Gebäudetechnik (Prof.
Pfafferott)



Energiesysteme und
Energiewirtschaft (Prof.
Hartmann)



Intelligente
Energienetzwerke (Prof.
Gasper, Prof. Schmidt)



Photovoltaiktechnik und
Pflanzenkohle (Prof. Kray)



Partnerschaften, Kooperationen, Allianzen und Mitgliedschaften



Die am 14. November 2014 gegründete Allianz **TriRhenaTech** → wird von den Hochschulen Furtwangen, Karlsruhe, Kaiserslautern und Offenburg, der Alsace Tech mit Elitehochschulen im Elsass, und der Fachhochschule Nordwestschweiz getragen. Ziel dieser Allianz ist es, einen gemeinsamen Ansatz des Bildungs-, Forschungs-, Entwicklungs- und Technologietransfers im Bereich der angewandten Wissenschaft in der trinationalen Metropolregion Oberrhein zu fördern.



Das deutsch-französisch-schweizerische Oberrheingebiet stellt sich für seine Bewohnerinnen und Bewohner als gemeinsamer Lebensraum dar. In diesem haben sich die vier Teilgebiete Elsass, Nordwestschweiz, Südpfalz und Baden zur **Trinationalen Metropolregion Oberrhein** → zusammengeschlossen, die große kulturelle Vielfalt, hohe Lebensqualität sowie einen international starken Wirtschafts- und Wissens-Standort bietet. Die Hochschule Offenburg engagiert sich in der Trinationalen Metropolregion Oberrhein als wichtiger Träger der wissenschaftlichen Zusammenarbeit in der Region.



Das vom Landwirtschaftsministerium geförderte Projekt "**DIGIHUB Südbaden**" → agiert als regionaler Knotenpunkt für die Gebiete "Südlicher Oberrhein" und "Hochrhein". Es ist Anlaufstelle für kleine und mittelständische Unternehmen zu Themen der Digitalisierung.



Die **Hochschulallianz für den Mittelstand** → (HafM) ist ein bundesweiter Verbund von Hochschulen, der sich als Netzwerk zwischen Wirtschaft und Wissenschaft versteht und Ziel verfolgt, auf das Potenzial von Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) aufmerksam zu machen. Die HafM vertritt die Idee eines akademischen Studiums, das sich eng an den Bedürfnissen der mittelständischen Wirtschaft orientiert, sowie einer anwendungsorientierten Forschung, die Lösungen für zentrale technologische und gesellschaftliche Fragen erarbeitet. Die Hochschule Offenburg ist der HafM zum 1. Juli 2016 beigetreten.



Die **European University Association** → (EUA) vertritt über 800 Universitäten und nationale Hochschulrektorenkonferenzen aus 48 europäischen Ländern. Ihre Mission besteht darin, die Entwicklung eines kohärenten Bildungs- und Forschungssystems auf europäischer Ebene zu fördern.



Das "**Regionale Innovationszentrum für Energietechnik**" →, kurz RIZ Energie genannt, ist Teil des regionalen Entwicklungskonzepts der Wettbewerbsregion Südlicher Oberrhein, das unter der Federführung des Vereins Klimapartner Oberrhein im Rahmen des Wettbewerbs "**Regionale Wettbewerbsfähigkeit durch Innovation und Nachhaltigkeit - RegioWIN**" → erarbeitet wurde. RegioWIN selbst ist ein wesentliches Programmelement der EFRE-Strategie (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung) des Landes Baden-Württemberg für die Förderperiode 2014-2020 und wurde bereits 2013 durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst und dem Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz aufgelegt.

Es gibt etwas zu feiern!



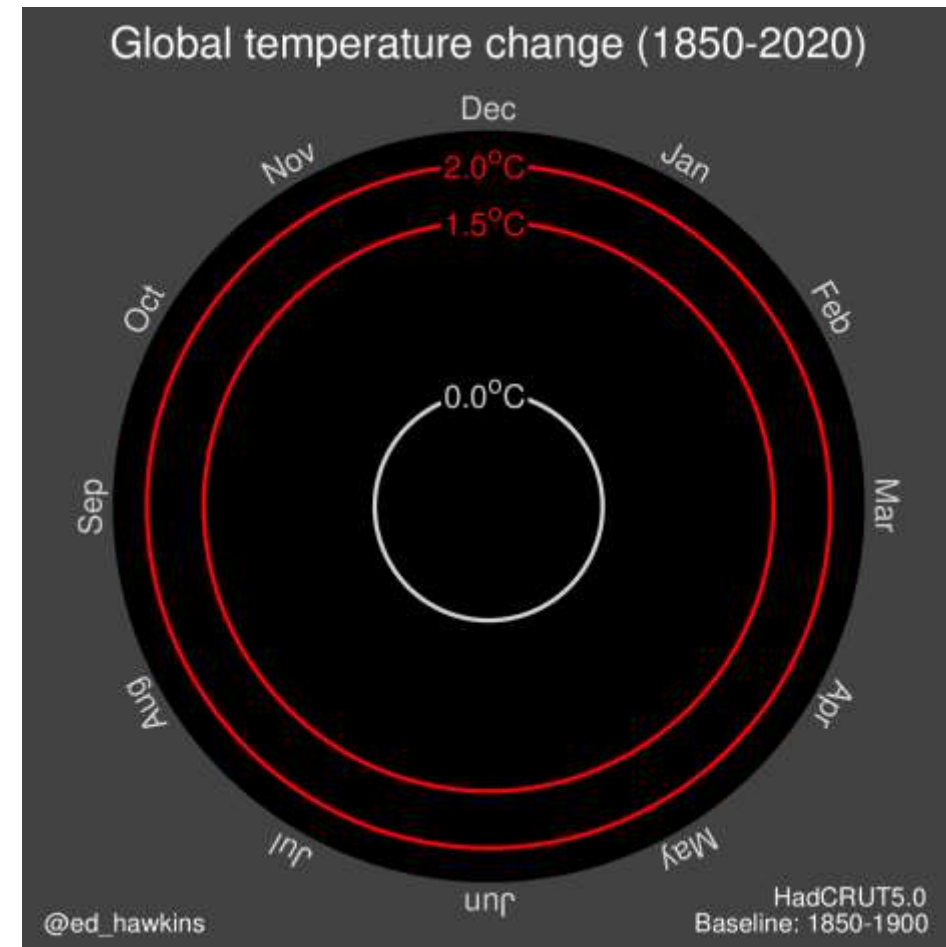
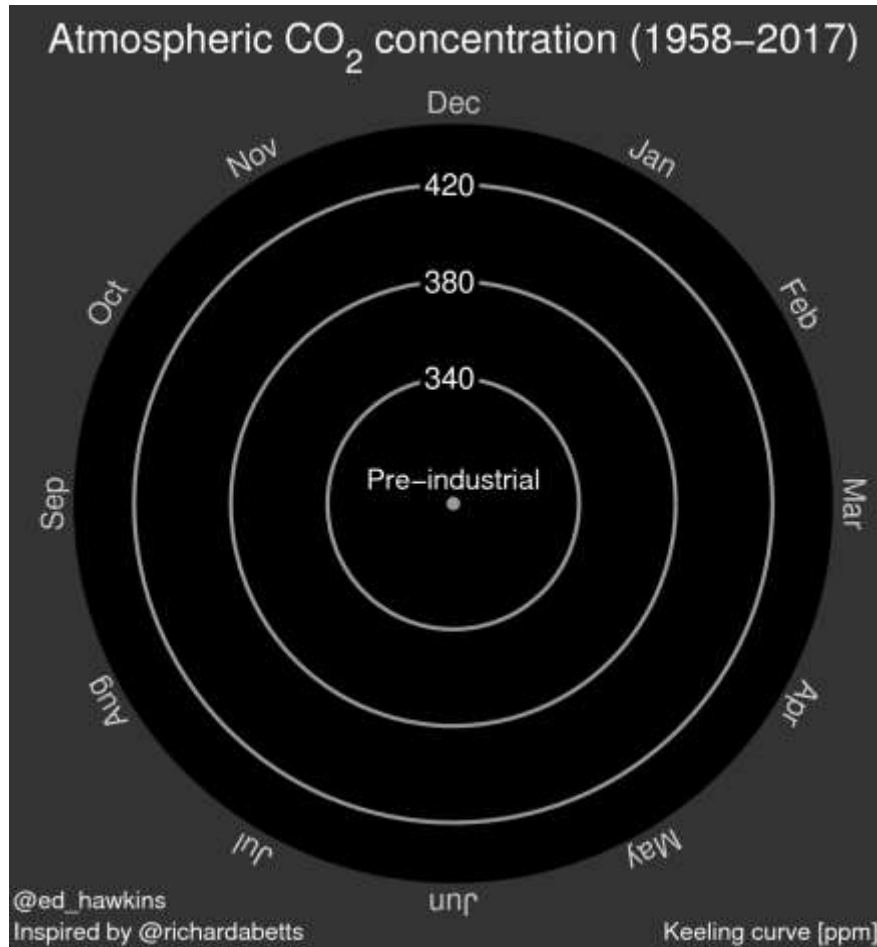
Verankert in der Region!

10 Jahre INES

Herzlichen Glückwunsch!!!

Es bleibt noch viel zu tun, um einem der größten Herausforderungen der Menschheit zu begegnen:
Klimawandel!

CO₂ Entwicklung und Auswirkungen auf die Temperaturerhöhung



Dem Klimawandel begegnen

Der Handlungsdruck steigt

Treibhausgase und Klimawandel



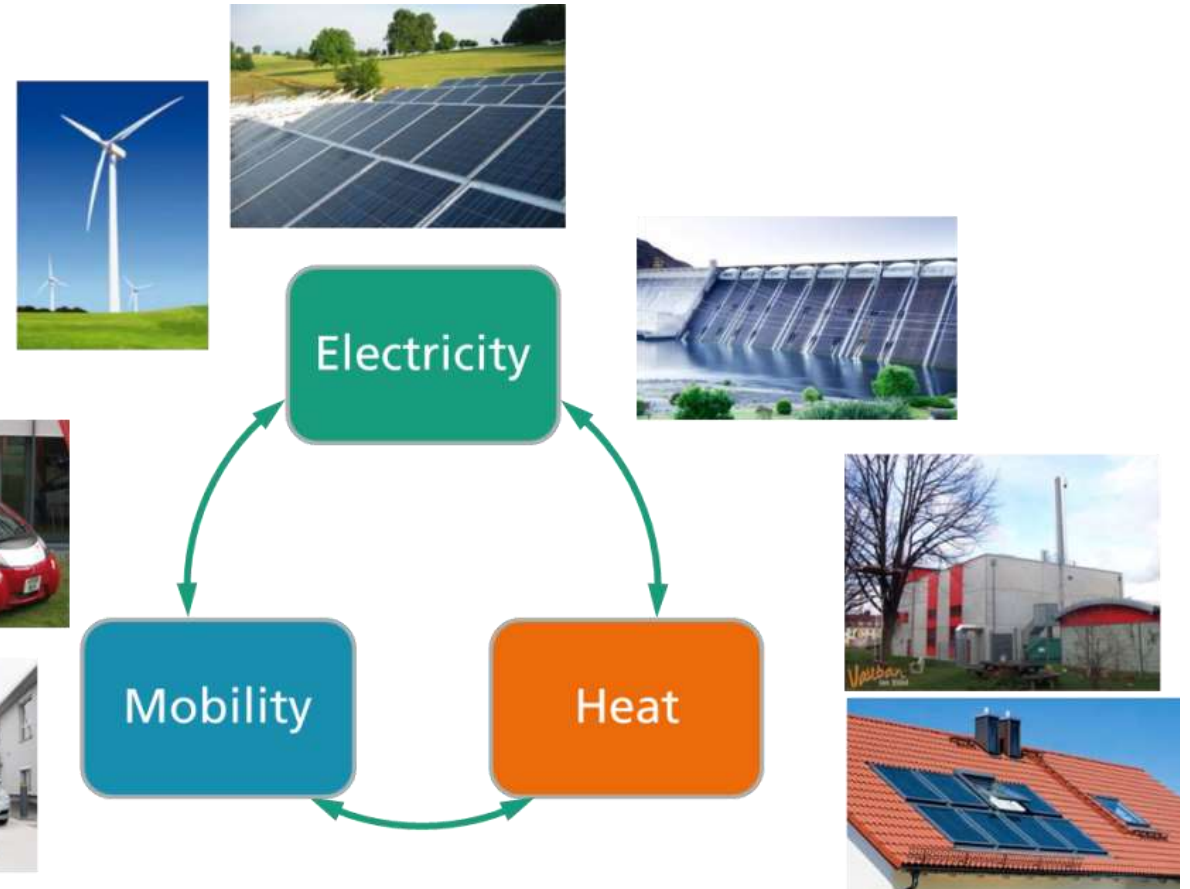
Energieimporte und Versorgungssicherheit



Collage: Shutterstock.com/FotoIdée und pikepicture

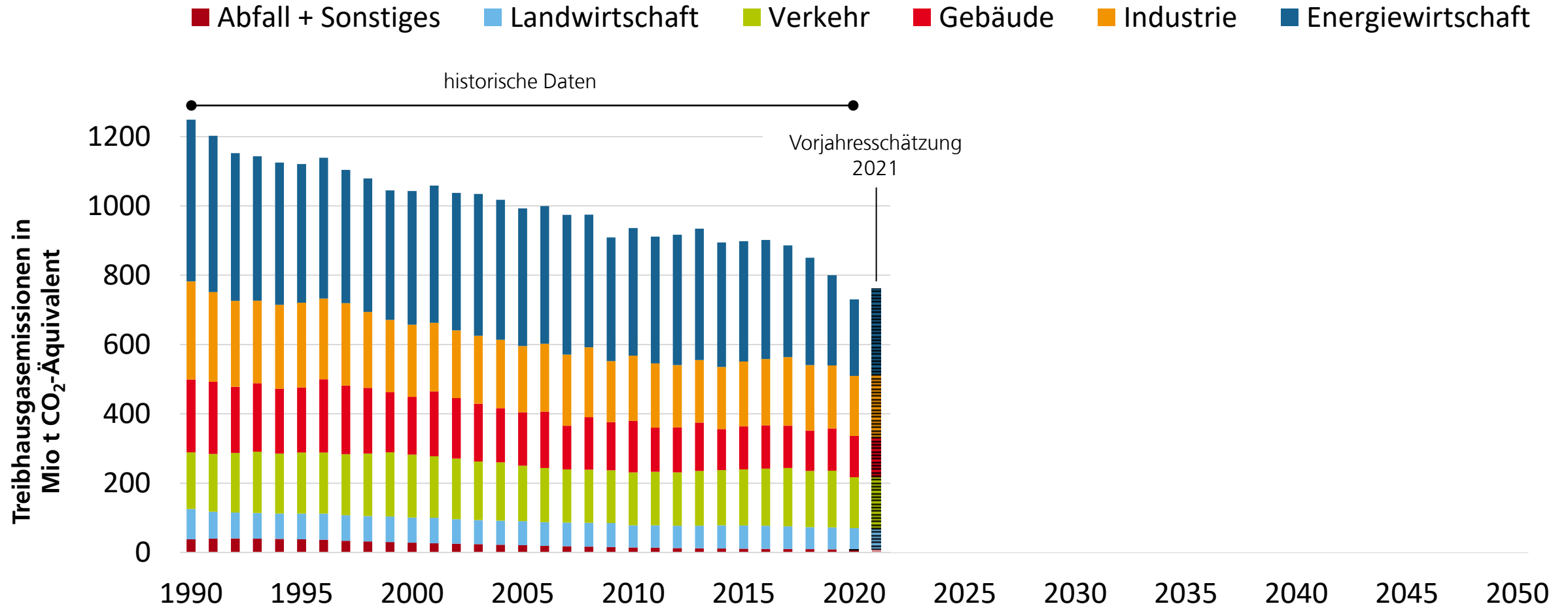
Szenarien-Rechnungen für Deutschland am Fraunhofer ISE

CO₂-Reduktion in allen Sektoren notwendig!



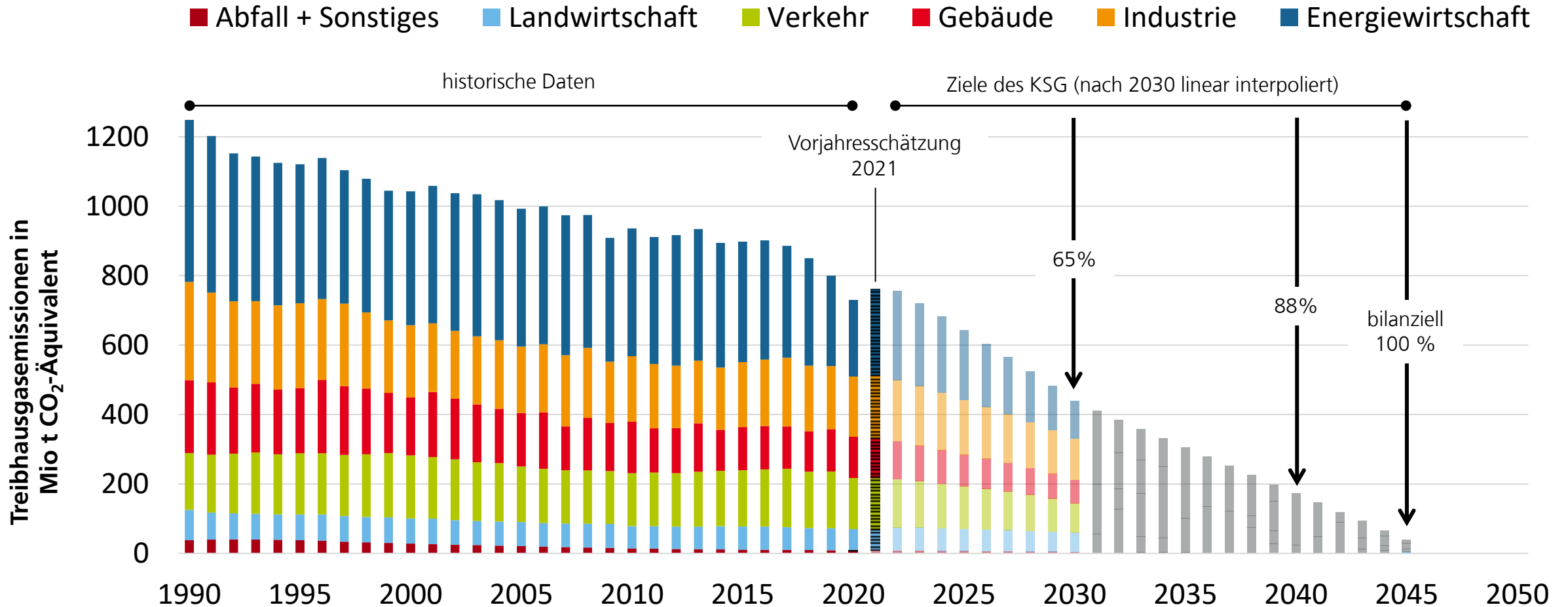
Ausgangslage

THG-Emissionen Deutschlands – Historie



Ausgangslage

THG-Emissionen Deutschlands – Historie und Zielwerte Bundes-Klimaschutzgesetz



Systemanalyse – Methodik

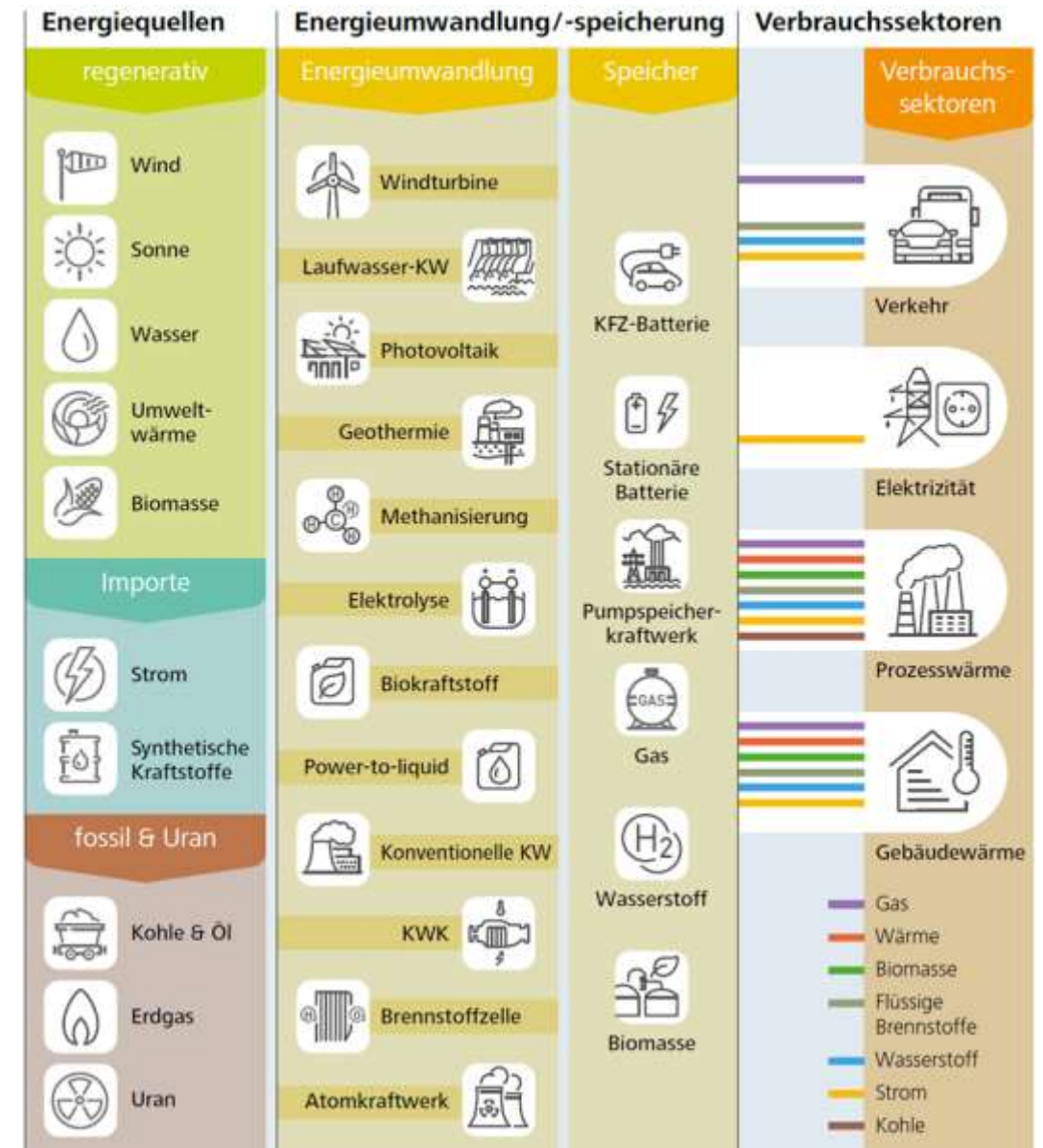
Systemanalyse – Methodik

Modell zur Simulation und Optimierung der Entwicklung nationaler Energiesysteme

Einbeziehung aller Verbrauchssektoren und Energieträger

stundengenaue Modellierung

Minimierung der Transformationskosten



Systemanalyse – Methodik

Zugrundeliegende Annahmen



Reduktion energiebedingter CO₂-Emissionen um 100 % bis zum Jahr 2045 (gegenüber dem Wert von 1990)



Ausstieg aus der Kernenergie 2022



Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2035



Anstieg der Kuppelleistung für den Stromimport von 17 GW_{el} auf 40 GW_{el}

Ergebnisse der Energiesystemanalyse

Annahmen für vier Energiewelten/Szenarien

Referenz

- –

kosten-
optimaler
Pfad

Beharrung

- Verkehr: verbleibend hoher Anteil von Verbrennungsmotoren bei PKW-Neuzulassungen
- Gebäude: weiterhin viele Gaskessel bei Neuinstallationen, weniger Sanierungen; geringere Sanierungsrate

Beharrung auf
konventionellen
Technologien

Inakzeptanz

- Reduktion der Ausbaupotenziale für Windenergie
- Geringerer Netzausbau für Stromimporte
- Kein Einsatz von Oberleitungs-LKW

massive
gegebene
und

**Reduktion energiebedingter
THG-Emissionen entsprechend
Klimaschutzgesetz (2045 klimaneutral)**

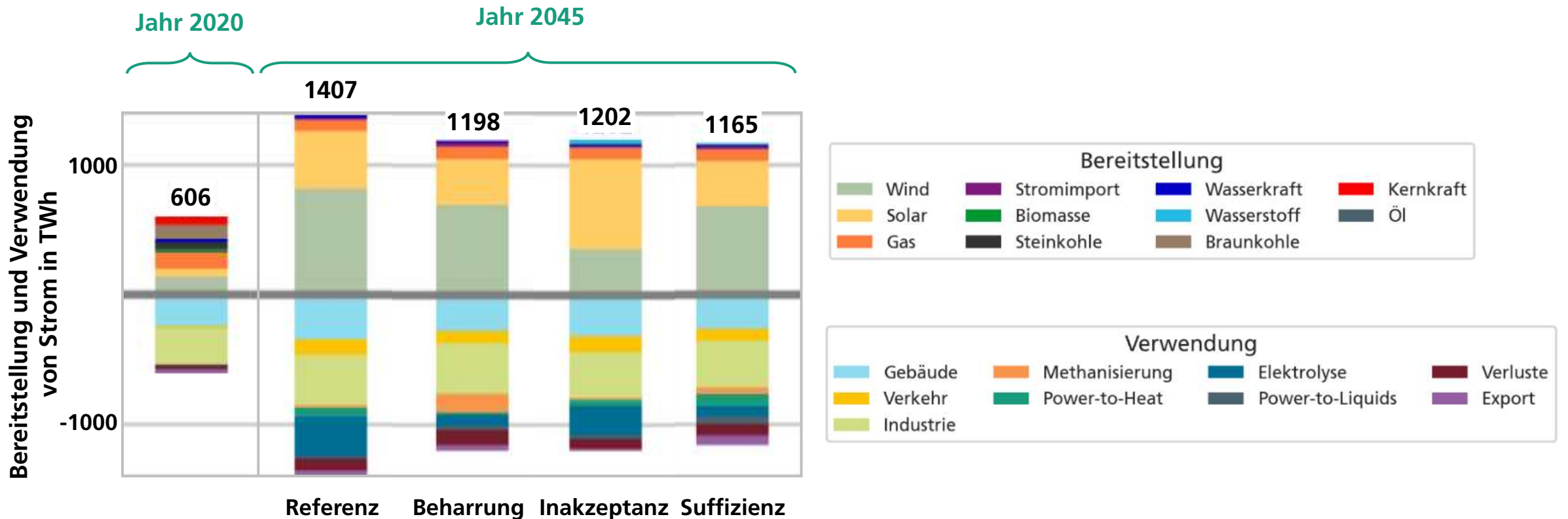
Suffizienz

- Rückgang des Energieverbrauchs in allen Sektoren (z.B. weniger gefahrene km, Abnahme der Stromnachfrage)
- Erhöhte Flexibilität bei Autobatterien (V2G, G2V)

Energieeinsparungen
und Verhaltens-
änderungen

Ergebnisse der Energiesystemanalyse

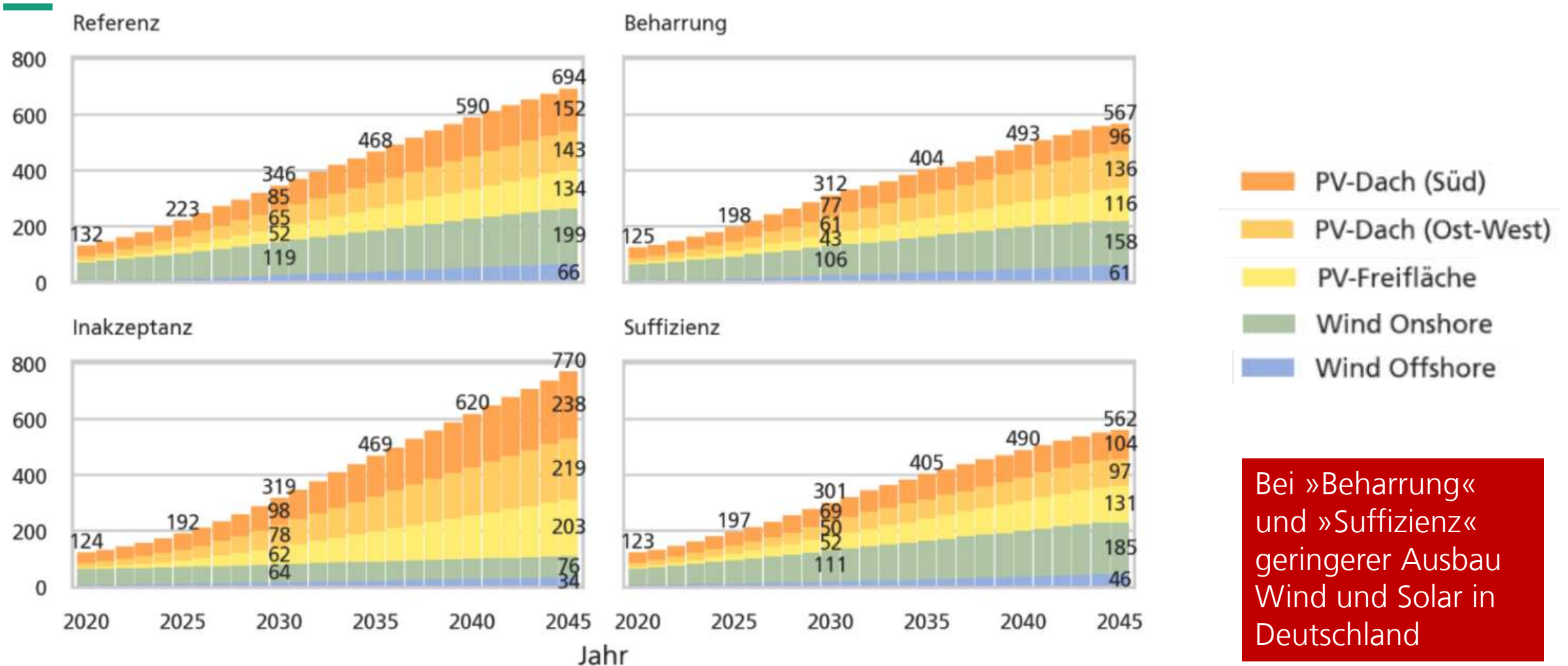
Bereitstellung und Verwendung von Strom: Steigerung von 600 TWh auf 1200 bis 1400 TWh



Ergebnisse Systemanalyse

Ausbau Solar und Wind

Siehe auch:
www.energy-charts.de
 Szenarien



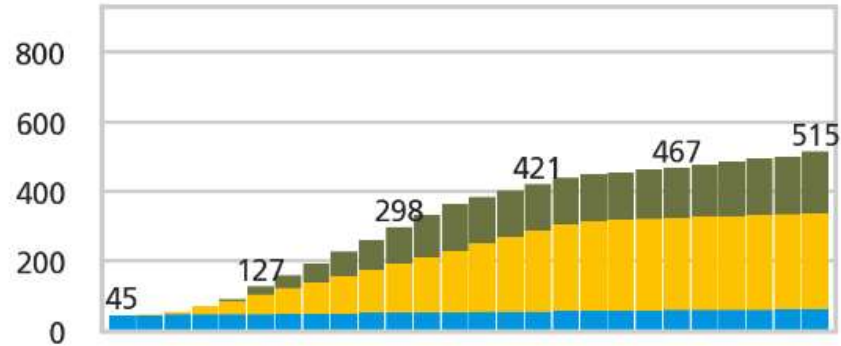
Bei »Beharrung«
 und »Suffizienz«
 geringerer Ausbau
 Wind und Solar in
 Deutschland

Ergebnisse der Energiesystemanalyse

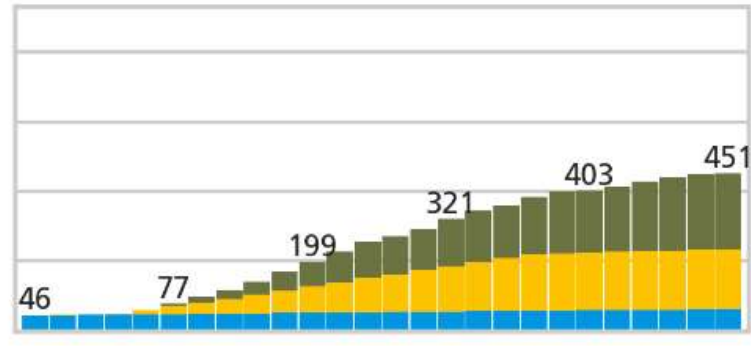
Installierte Kapazität von Kurzzeit-Speichern

Installierte Kapazität von Speichern in GWh

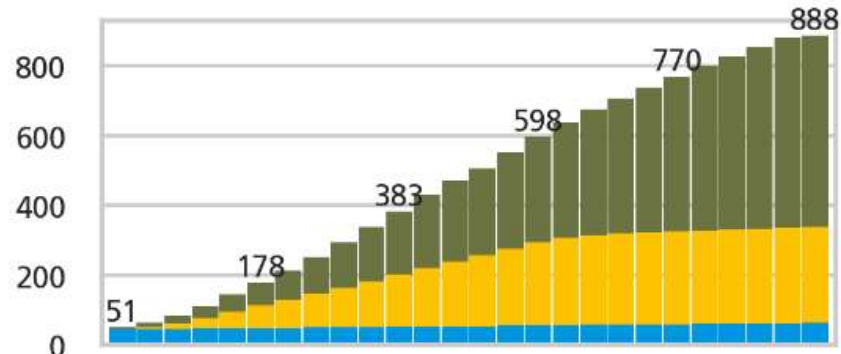
Referenz



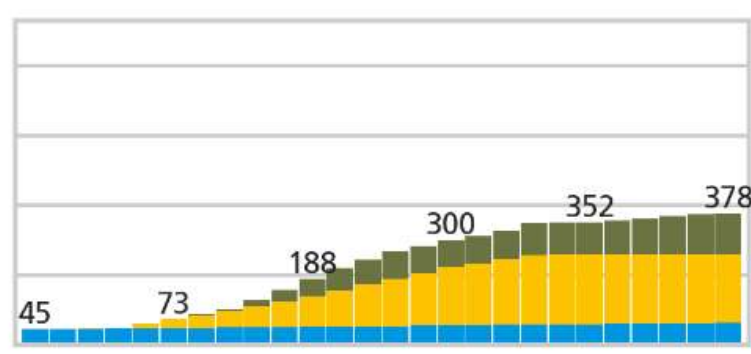
Beharrung



Inakzeptanz



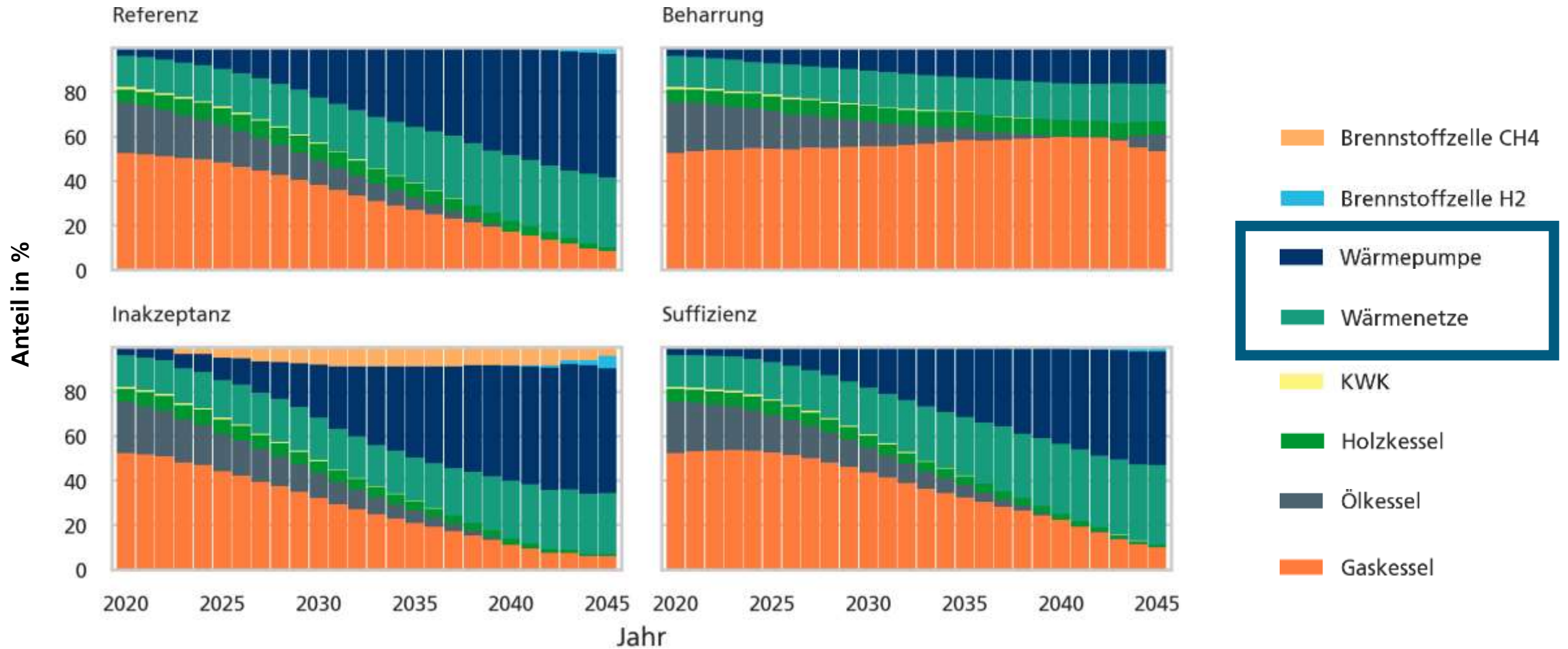
Suffizienz



- stationäre Batterien
- mobile Batterien
- Pumpspeicherkraftwerke

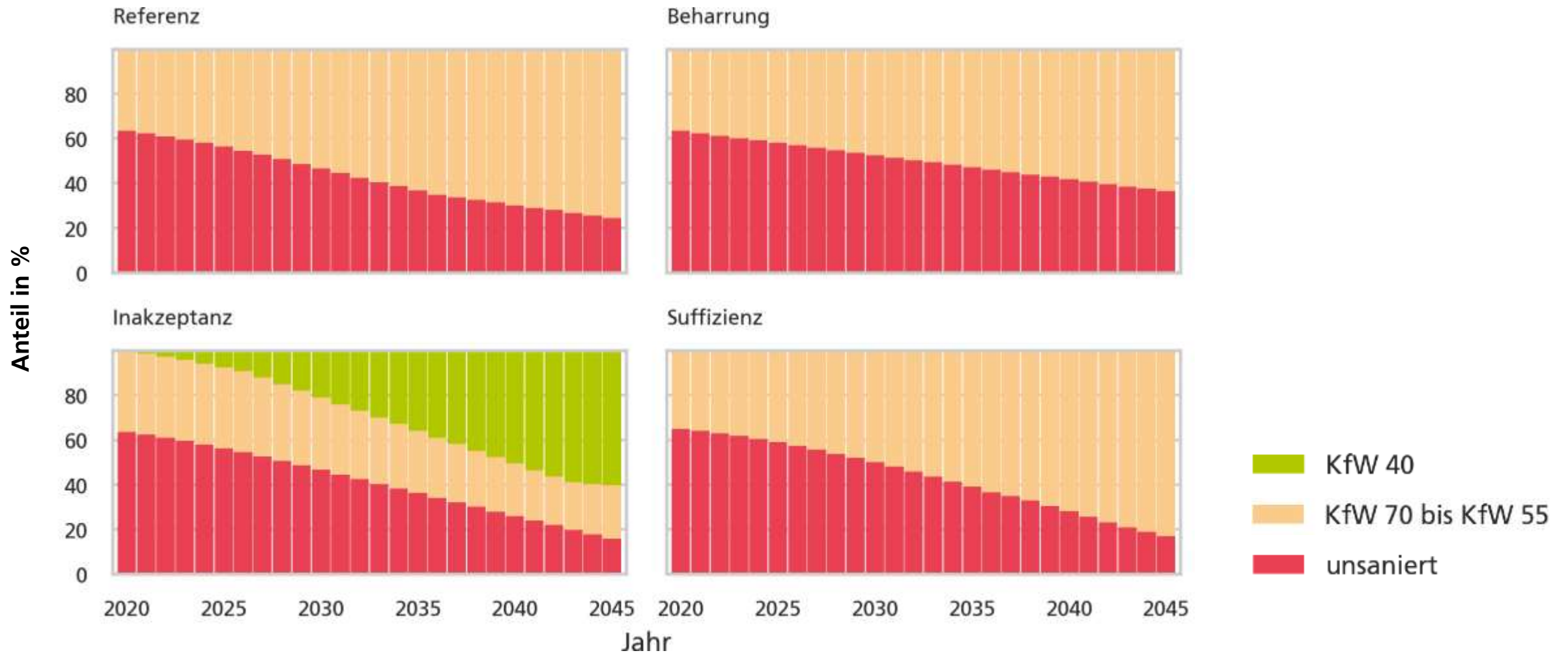
Ergebnisse Systemanalyse

Gebäudesektor: Heizsysteme



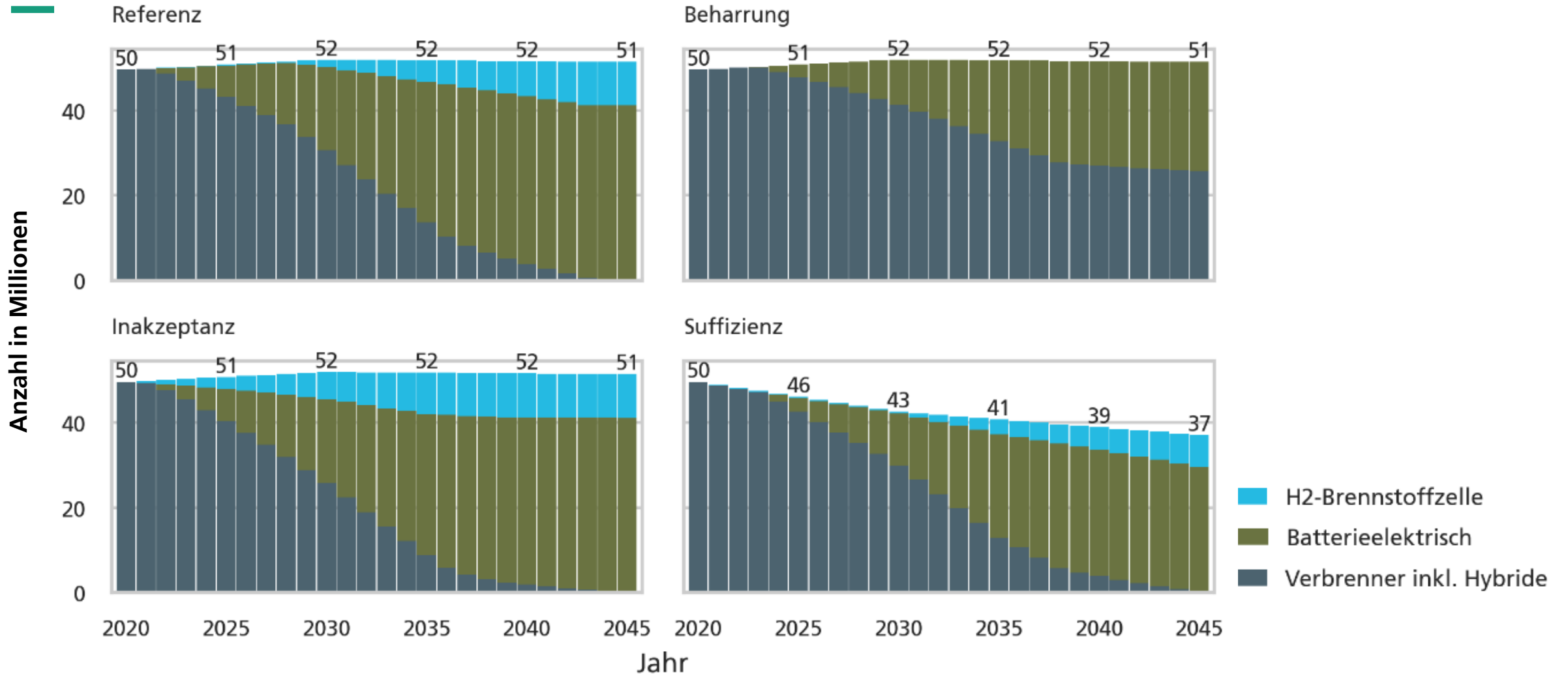
Ergebnisse Systemanalyse

Gebäudesektor: Sanierung



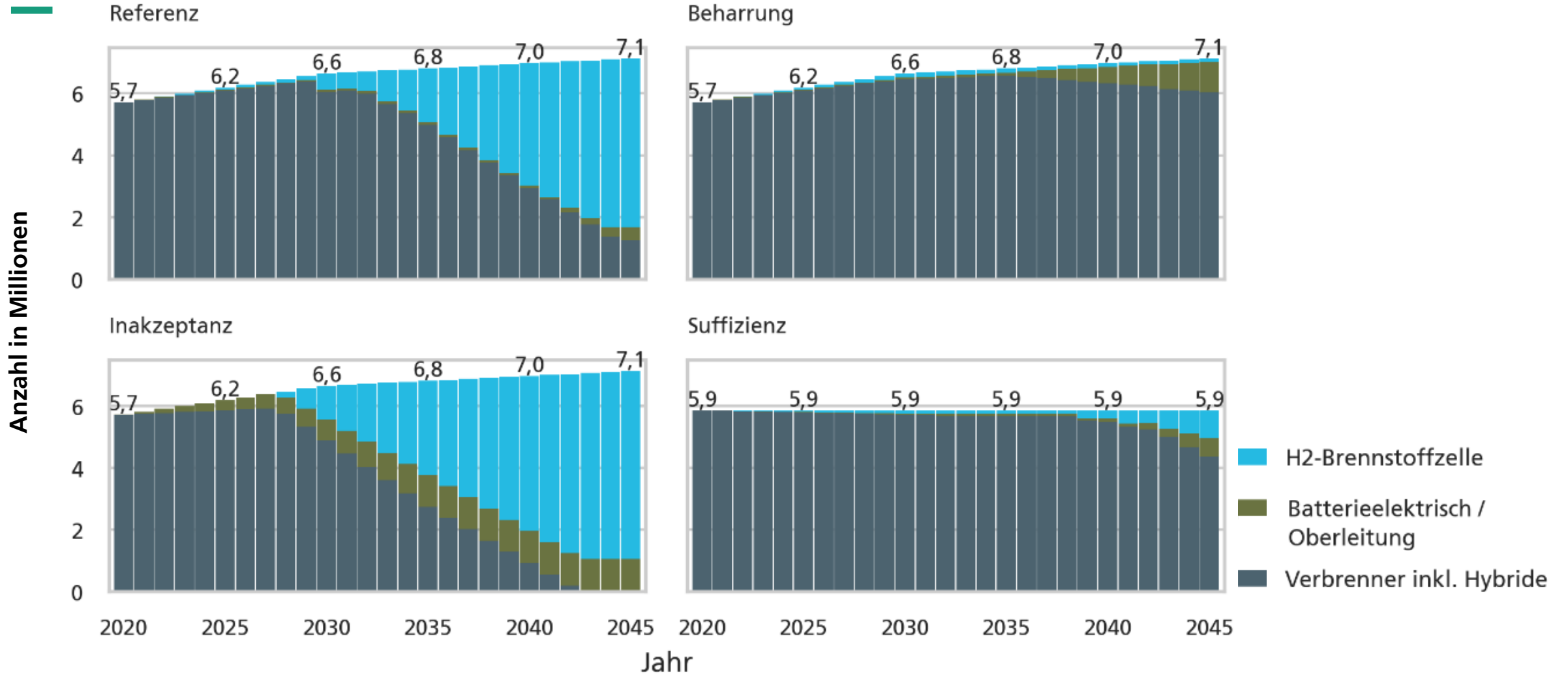
Ergebnisse Systemanalyse

Entwicklungen für PKWs



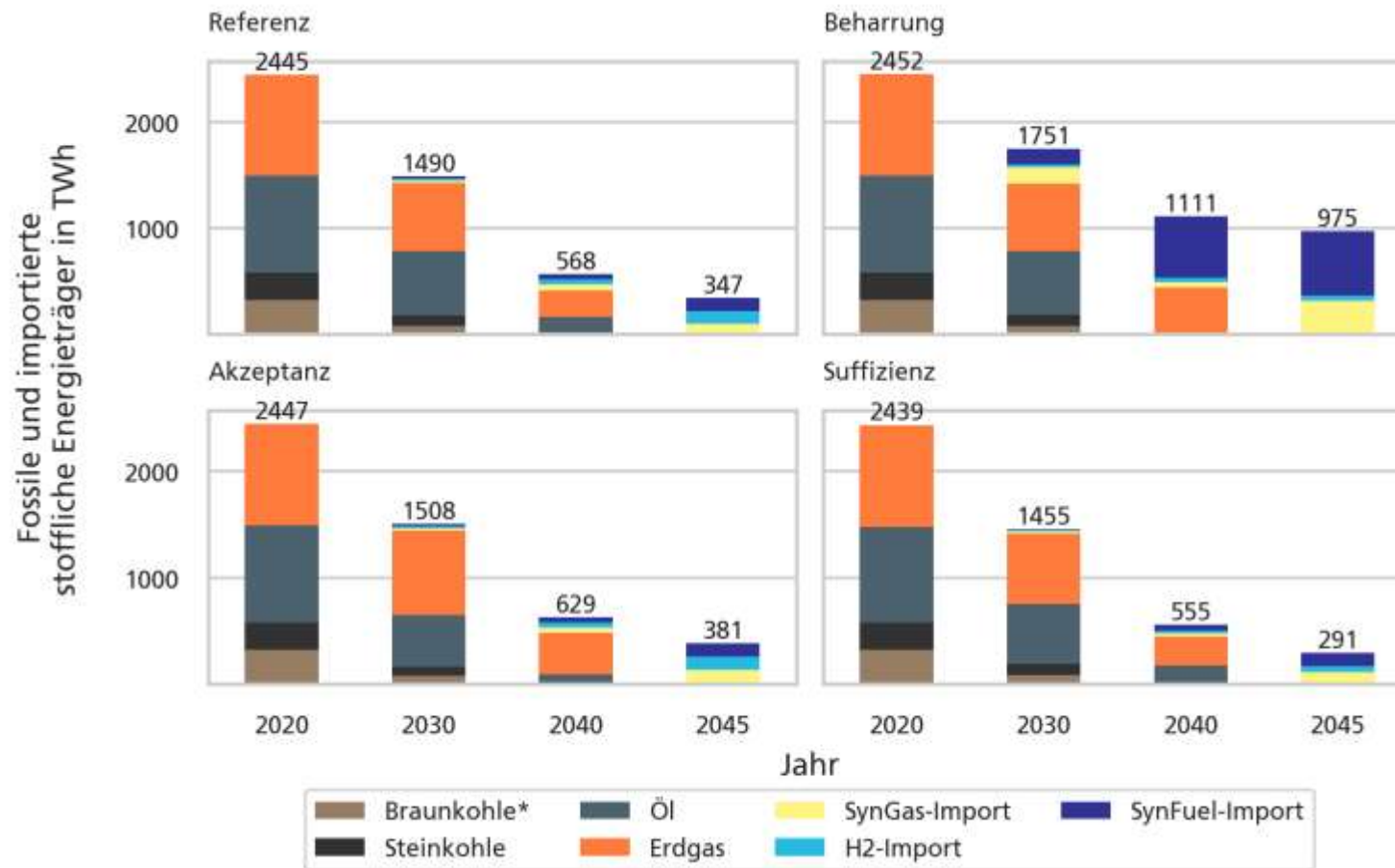
Ergebnisse Systemanalyse

Entwicklungen für LKWs



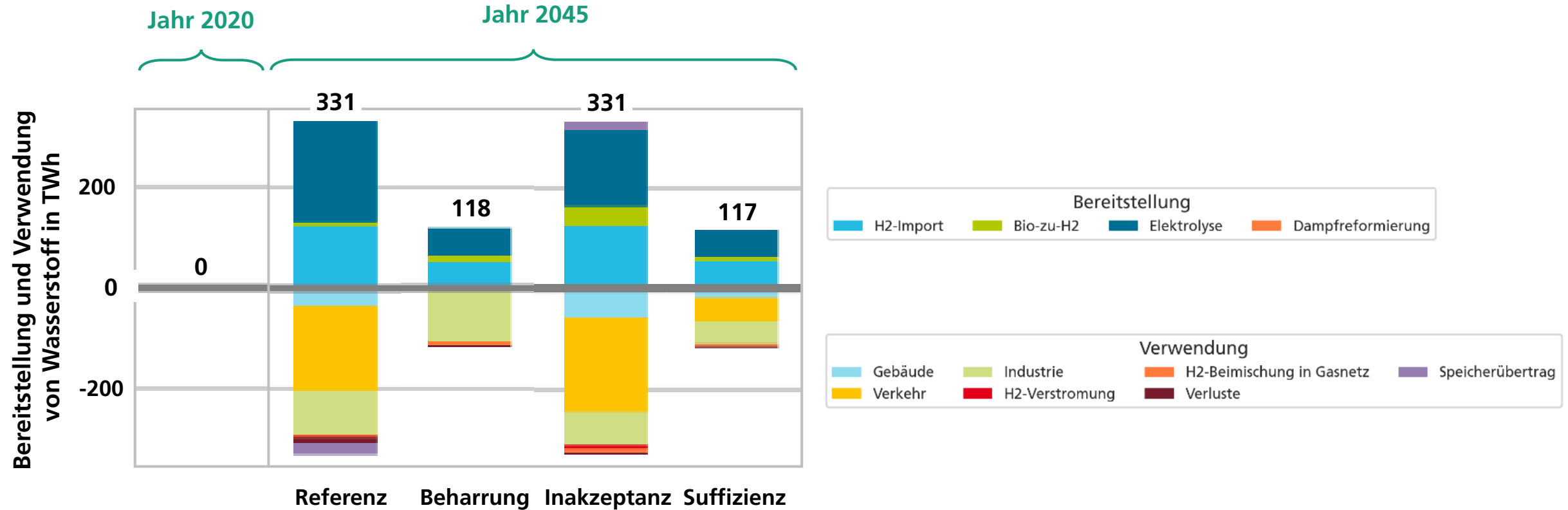
Ergebnisse der Energiesystemanalyse

Importe von Energieträgern



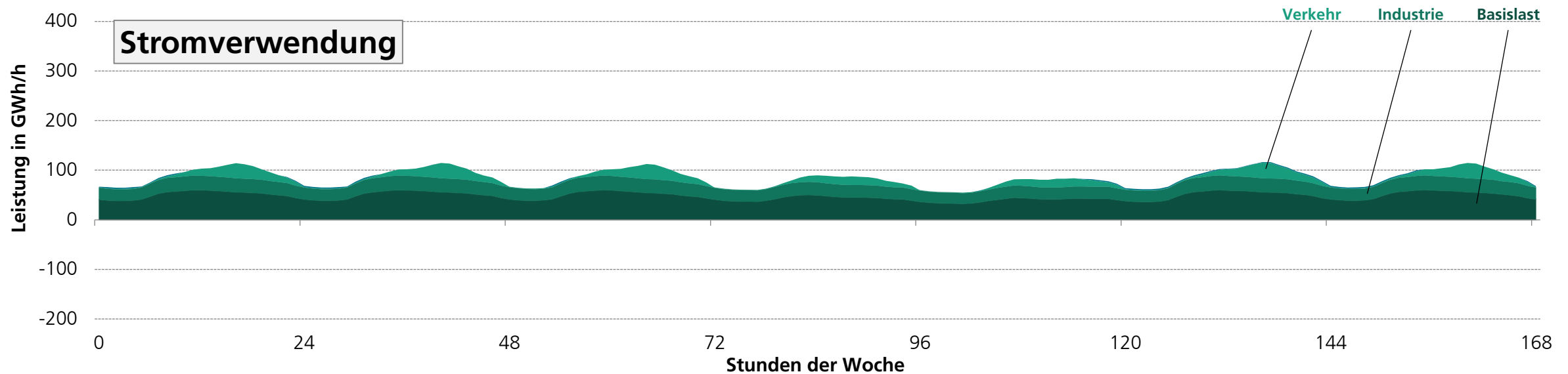
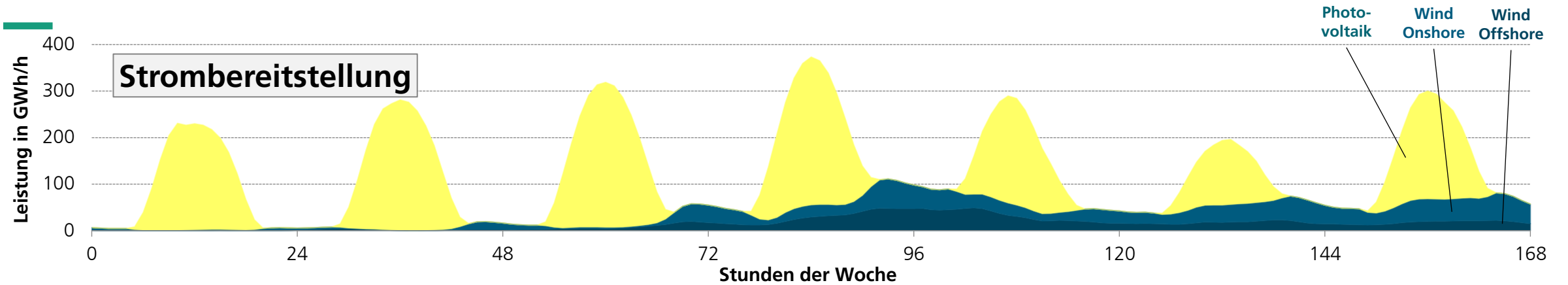
Ergebnisse der Energiesystemanalyse

Bereitstellung und Verwendung von Wasserstoff



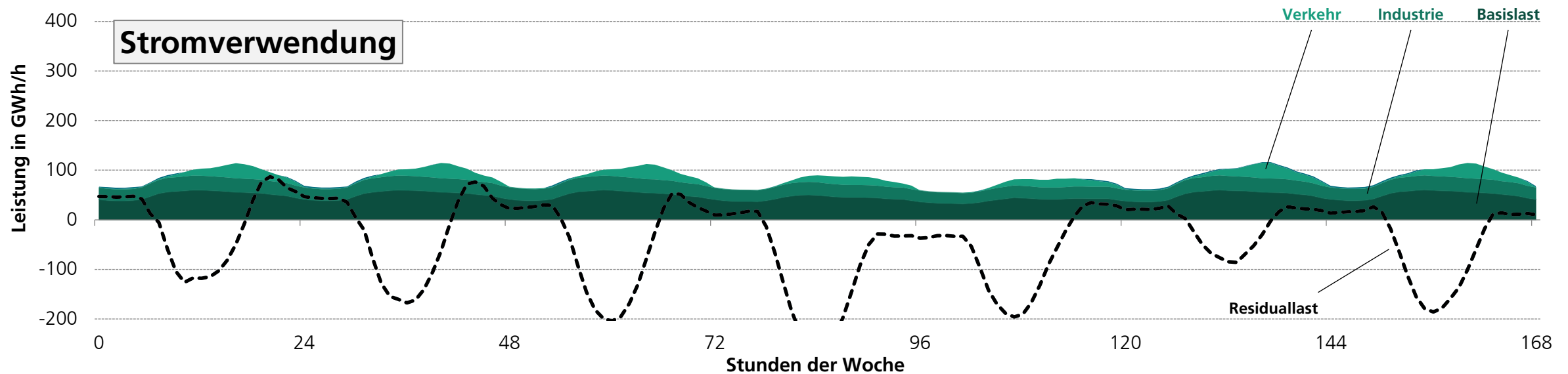
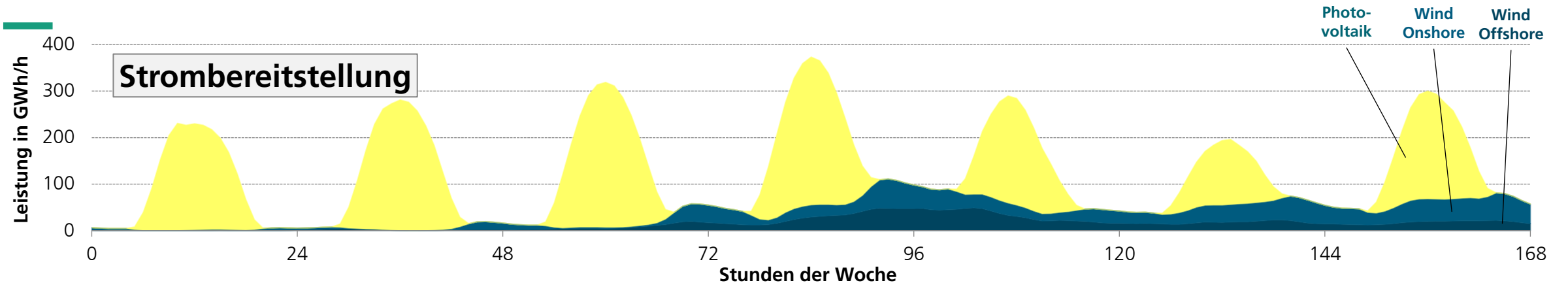
Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2045

Referenz-Szenario



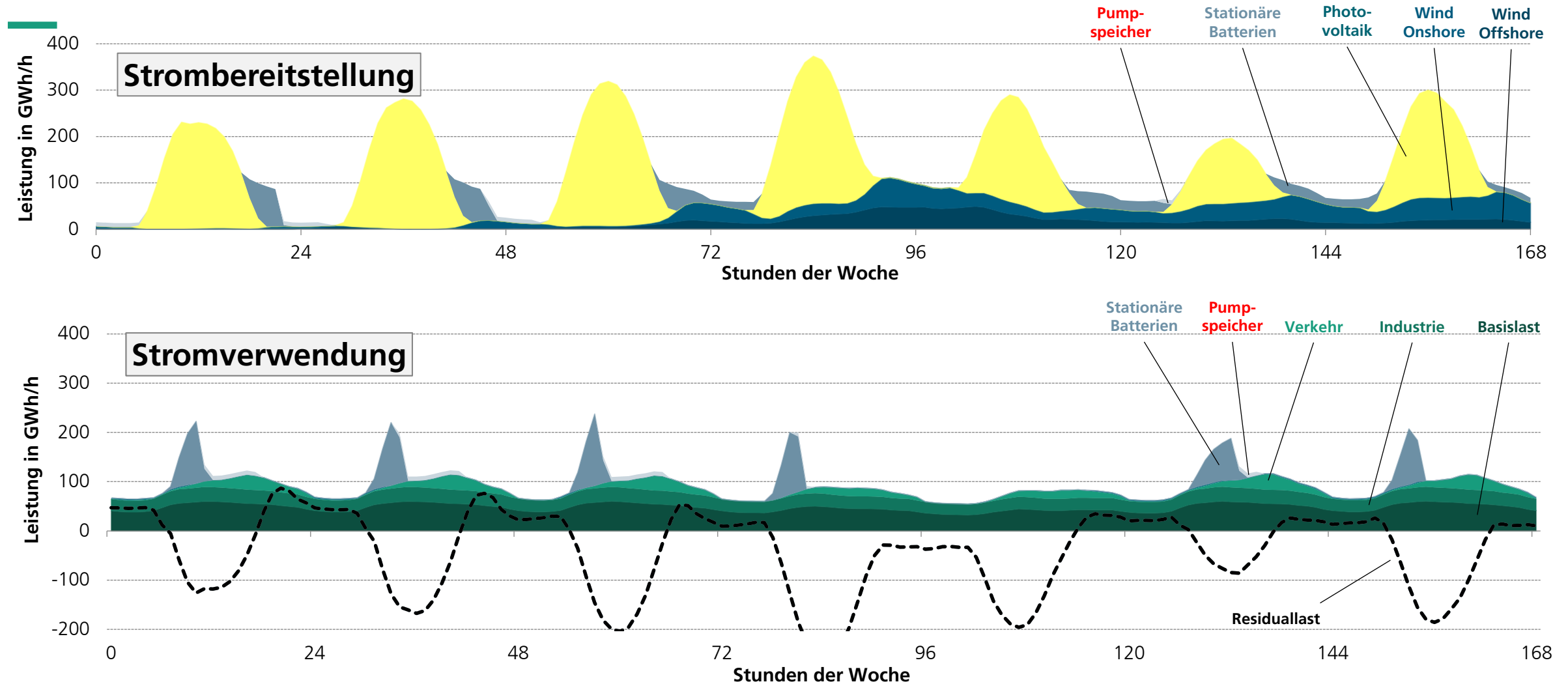
Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2045

Referenz-Szenario



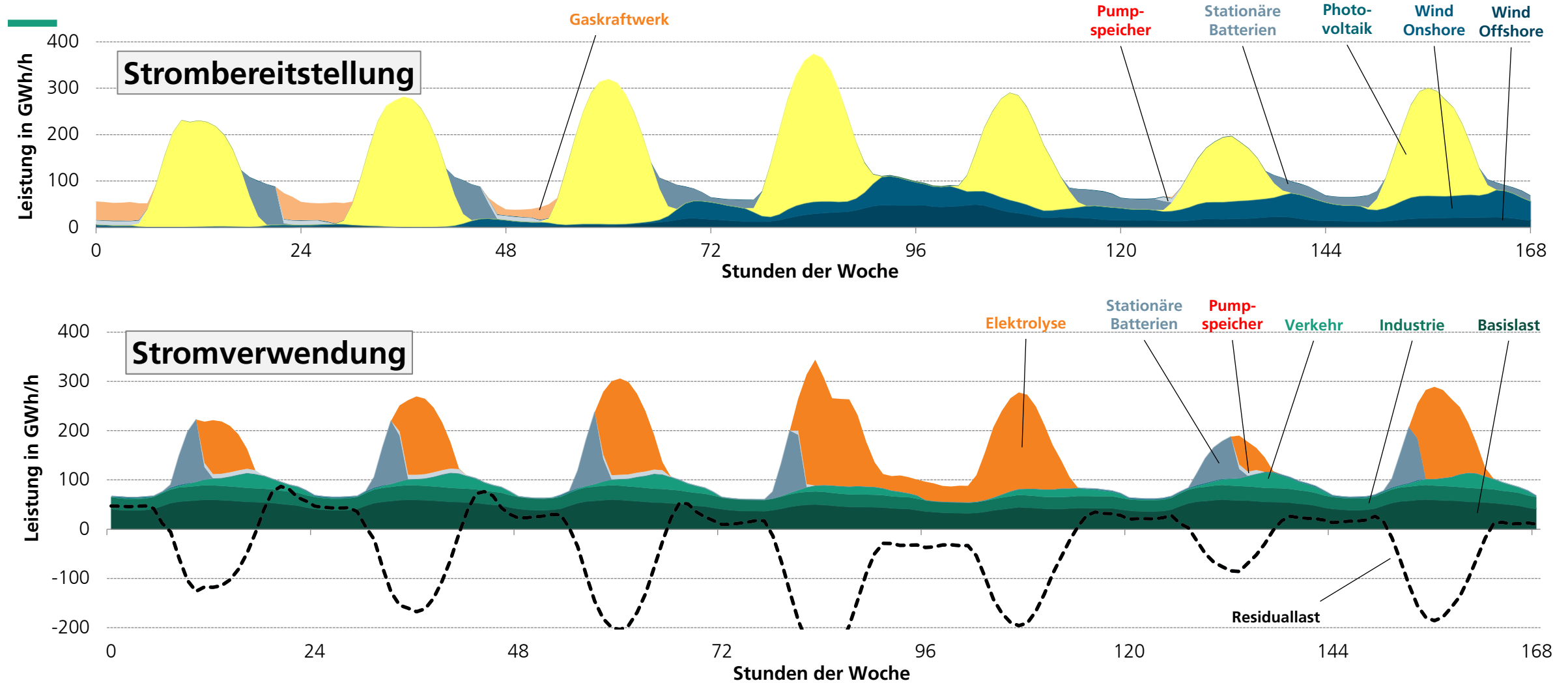
Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2045

Referenz-Szenario



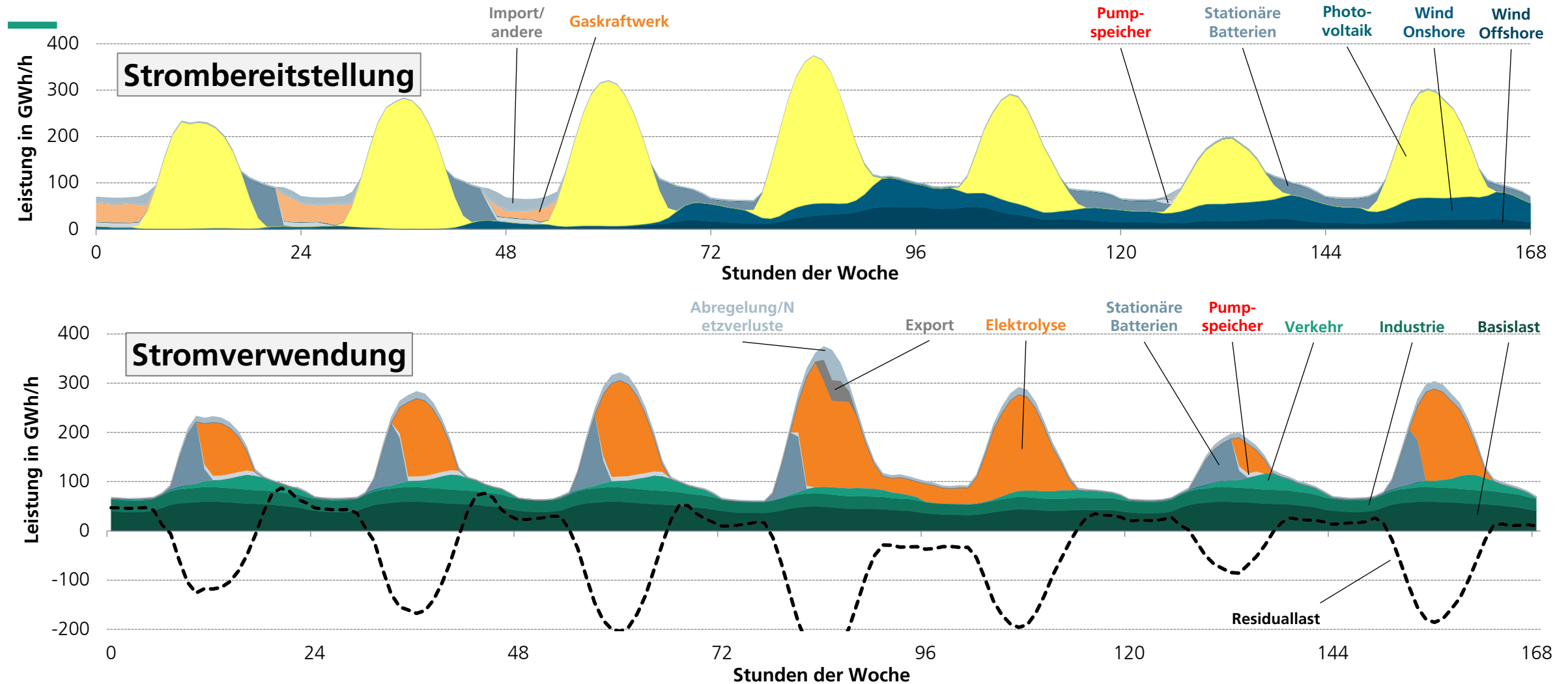
Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2045

Referenz-Szenario



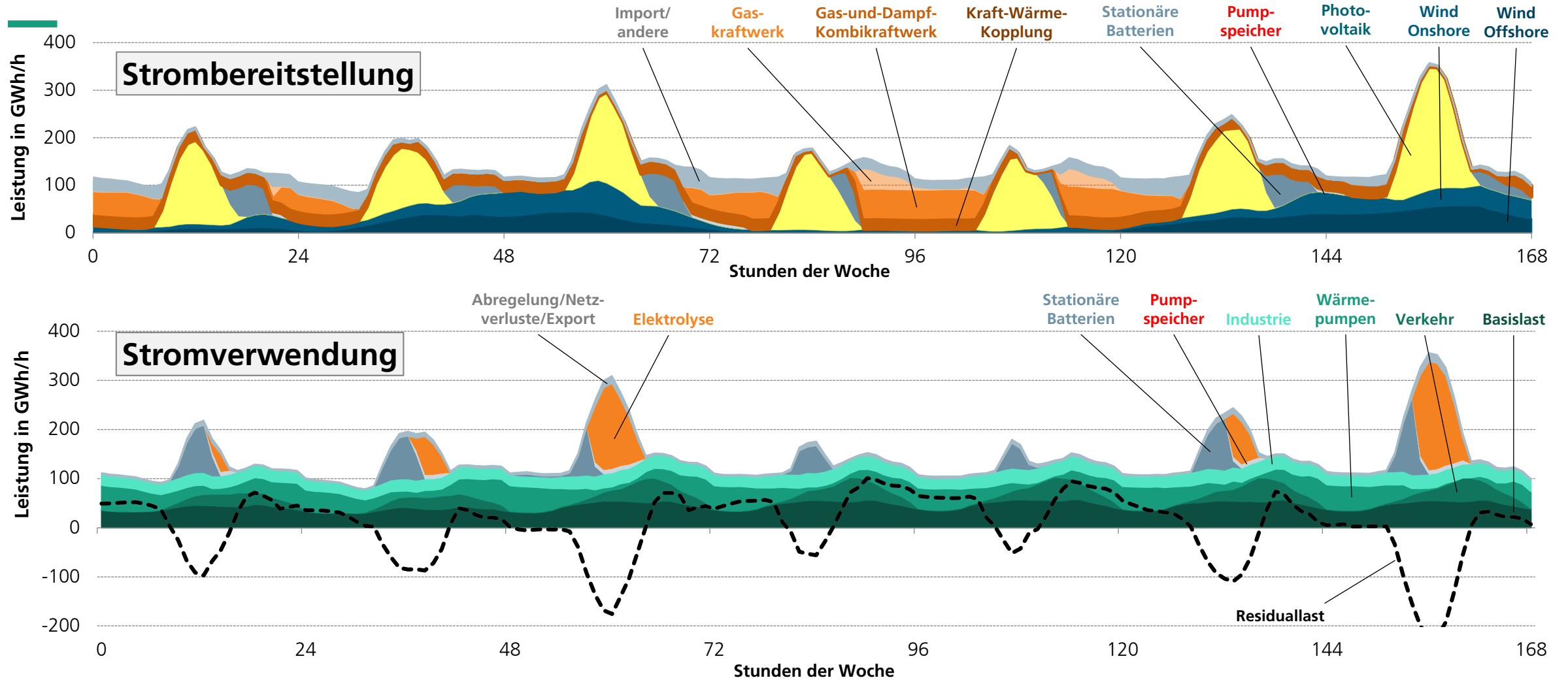
Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2045

Referenz-Szenario



Beispiel Zeitverlauf Winterwoche 2045

Referenz-Szenario



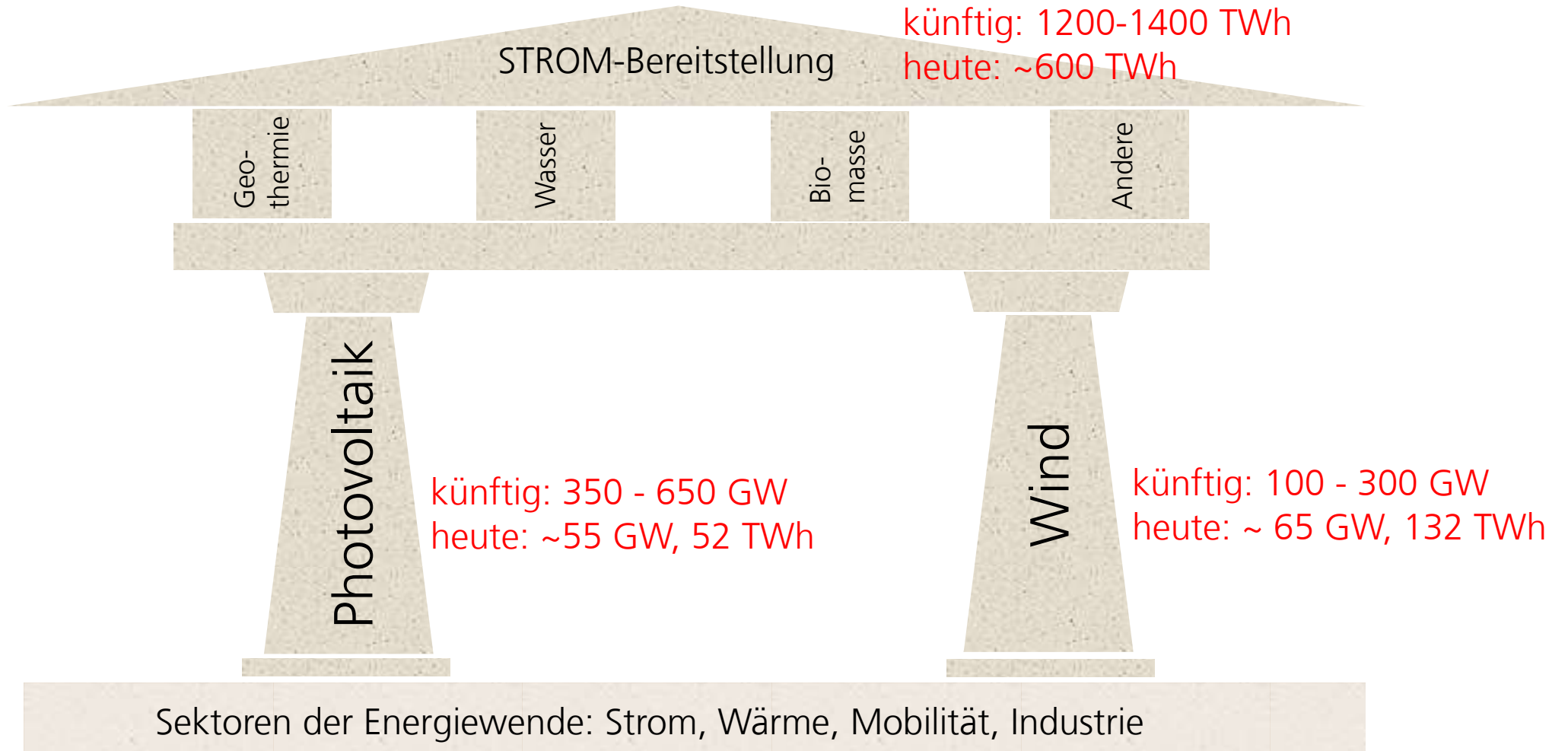
Beispiel Zeitverlauf Winterwoche 2045

Referenz-Szenario



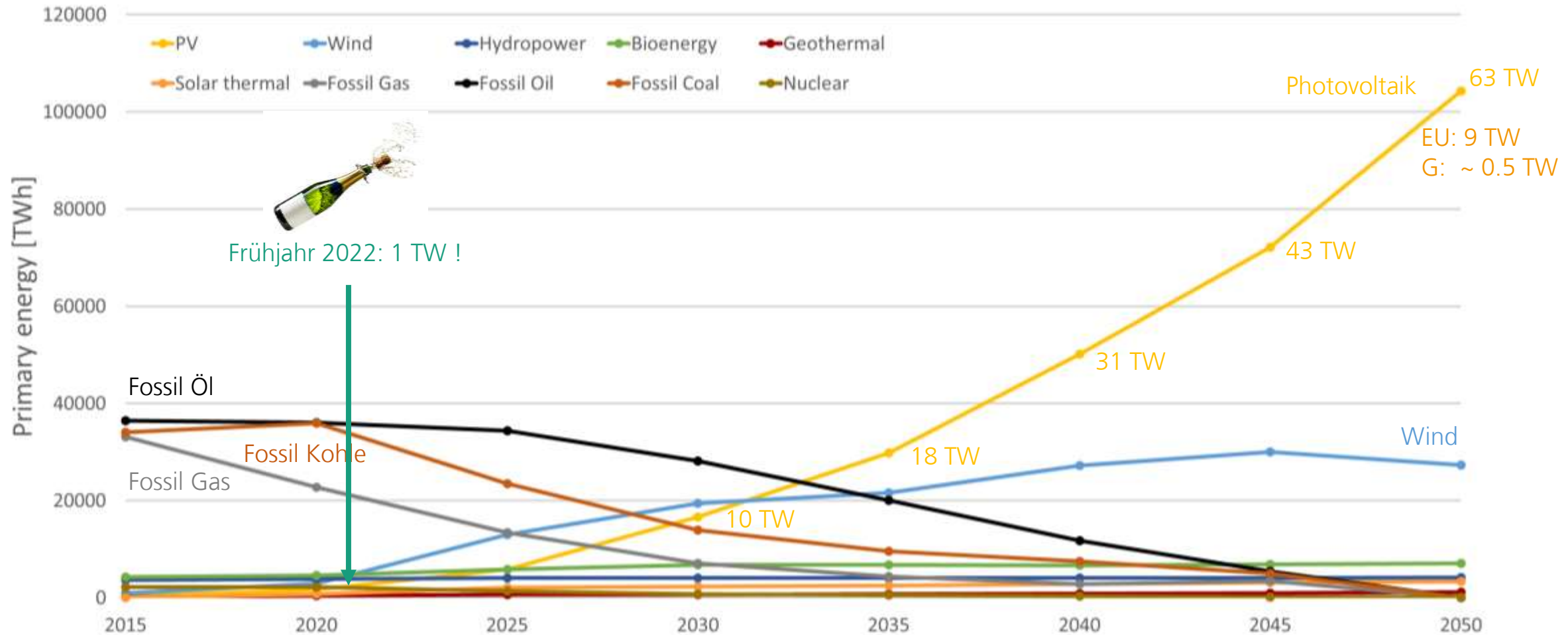
Das Gebäude zur Energiewende

Werte für Deutschland



Die globale Energiewende: CO₂-frei in 2050

Photovoltaik: Riesige Mengen sind erforderlich!



Preis-Erfahrungskurve für PV-Module

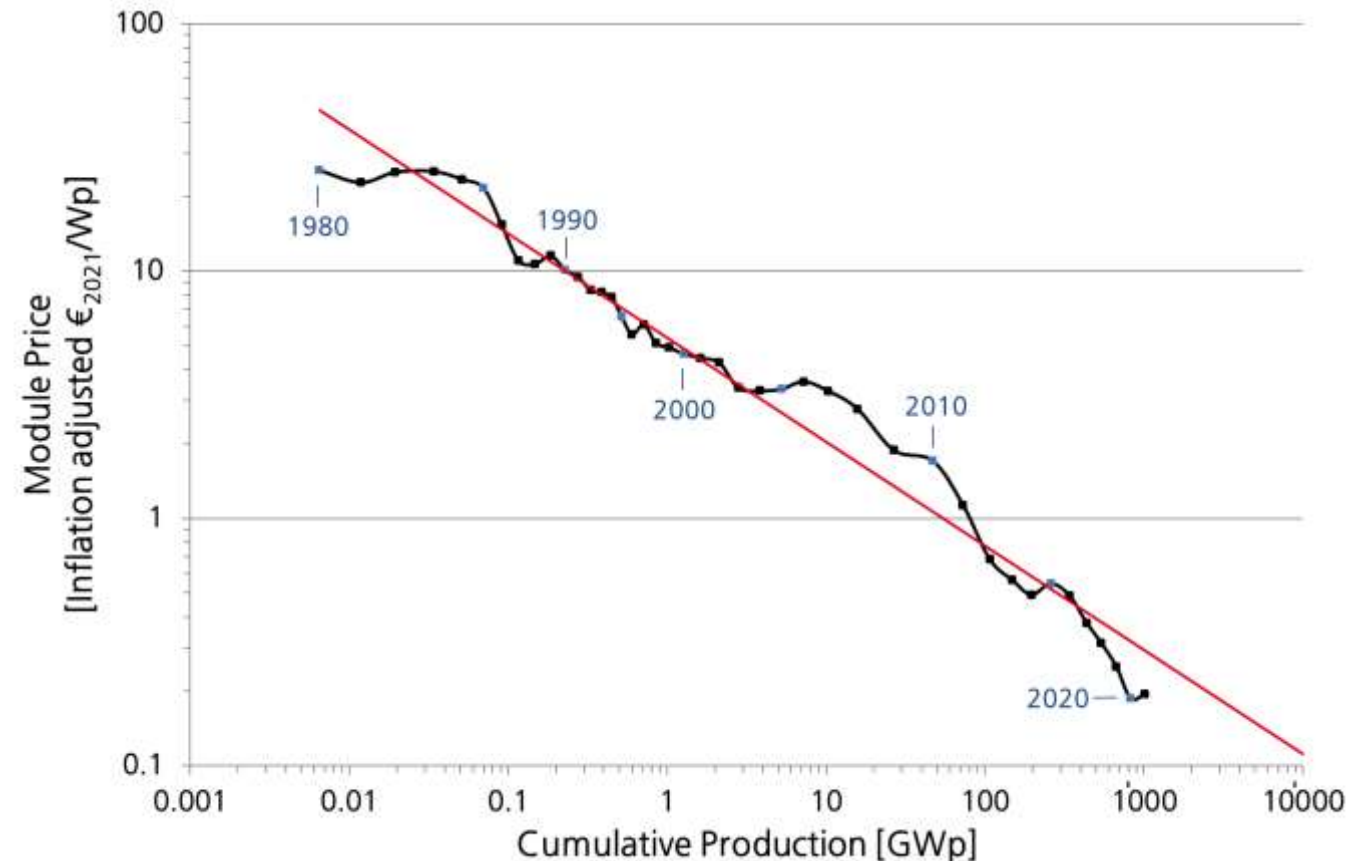
Aller eingesetzter PV Technologien

- **Lernrate:**
Bei jeder Verdopplung der kumulierten Produktion; wurde im Mittel der letzten 40 Jahre der Modulpreis um 25 % reduziert.
- **Herausforderungen**

Verbesserung der Effizienz der Produkte

Reduktion der Produktionskosten

Nachhaltige Produktion entlang der Wertschöpfungskette



Data: from 1980 to 2010 estimation from different sources: Strategies Unlimited, Navigant Consulting, EUPD, pvXchange; from 2011: IHS Markit; Graph: PSE 2022; Average PV module selling price for 2021 still subject to slight change.

Photovoltaik und Flächen

Freiflächen und Doppelnutzung von Flächen

Bedarf ~ 500 GW PV (~550 TWh*)

Bei Freiflächen:

1 GW ~ 1000 Hektar = 10 km²
→ ~ 5000 km² freie Fläche

Bei Agri-PV und Biotope:

1 GW ~ 1700 Hektar = 17 km²
→ ~ 8500 km² Fläche

Deutschland: 357.581 km²

50,7 % Landwirtschaft

29,8 % Wald

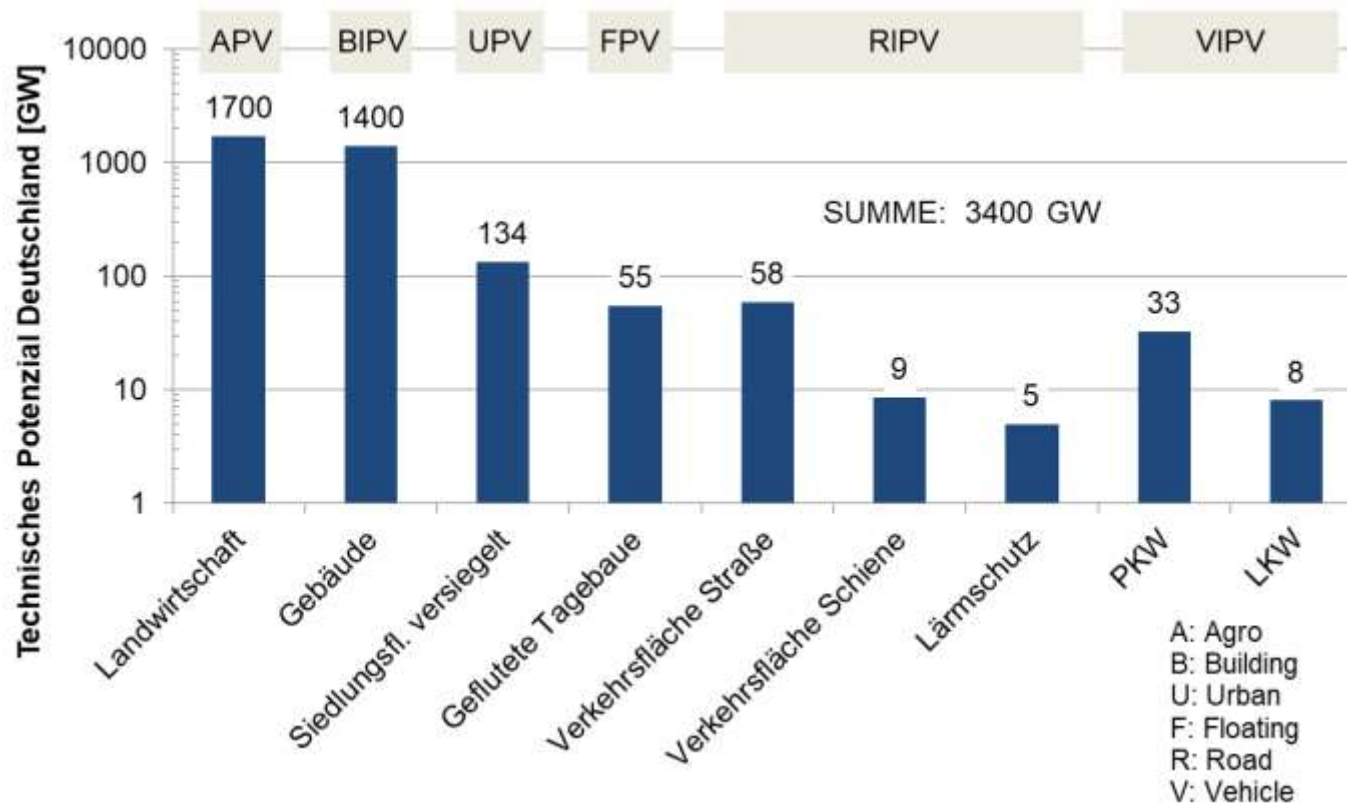
14,4 % Siedlung und Verkehr



*1 kW installierte Leistung liefert ca. 1100 kWh/a; bei idealer Aufstellung
1 kW installierte Leistung an einer Fassade liefert ca. 650 kWh/a

PV-Zubau kann auf vielen Flächen erfolgen

Flächenpotenziale



Technisches Potenzial:

Berücksichtigung technischer, infrastruktureller und ökologischer Einschränkungen

Photovoltaik und Flächen

Impuls zur Diskussion landwirtschaftliche Nutzung und PV-Nutzung

Silomais wird über Biomasse verstromt

Silomais wird auf einer Fläche von ca. 1 Million Hektar angebaut.

→ Stromertrag von 18,7 Megawattstunden pro Hektar

Ein Solar-Biotop würde ca. 600 Megawattstunden pro Hektar liefern (Faktor 32).

Eine Renaturierung von 1 Mio. Hektar durch die Einrichtung von Solar-Biotopen entspricht einem technischen Leistungspotenzial von ca. **600 GW**

→ ausreichend für die PV-Versorgung in Deutschland

NABU und BSW-Solar definieren Standards für naturverträgliche Solarparks

Solarparks können Flächen ökologisch aufwerten, sind der Naturschutzbund und der Bundesverband Solarwirtschaft überzeugt. Ein gemeinsames Papier legt jetzt Kriterien fest, anhand derer sich bemessen lässt, ob eine Photovoltaik-Freiflächenanlage dem Natur- und Artenschutz dient.

5. MAI 2021 RALPH DIERMANN

<https://www.pv-magazine.de/2021/05/05/nabu-und-bsw-solar-definieren-standards-fuer-naturvertraegliche-solarparks/>

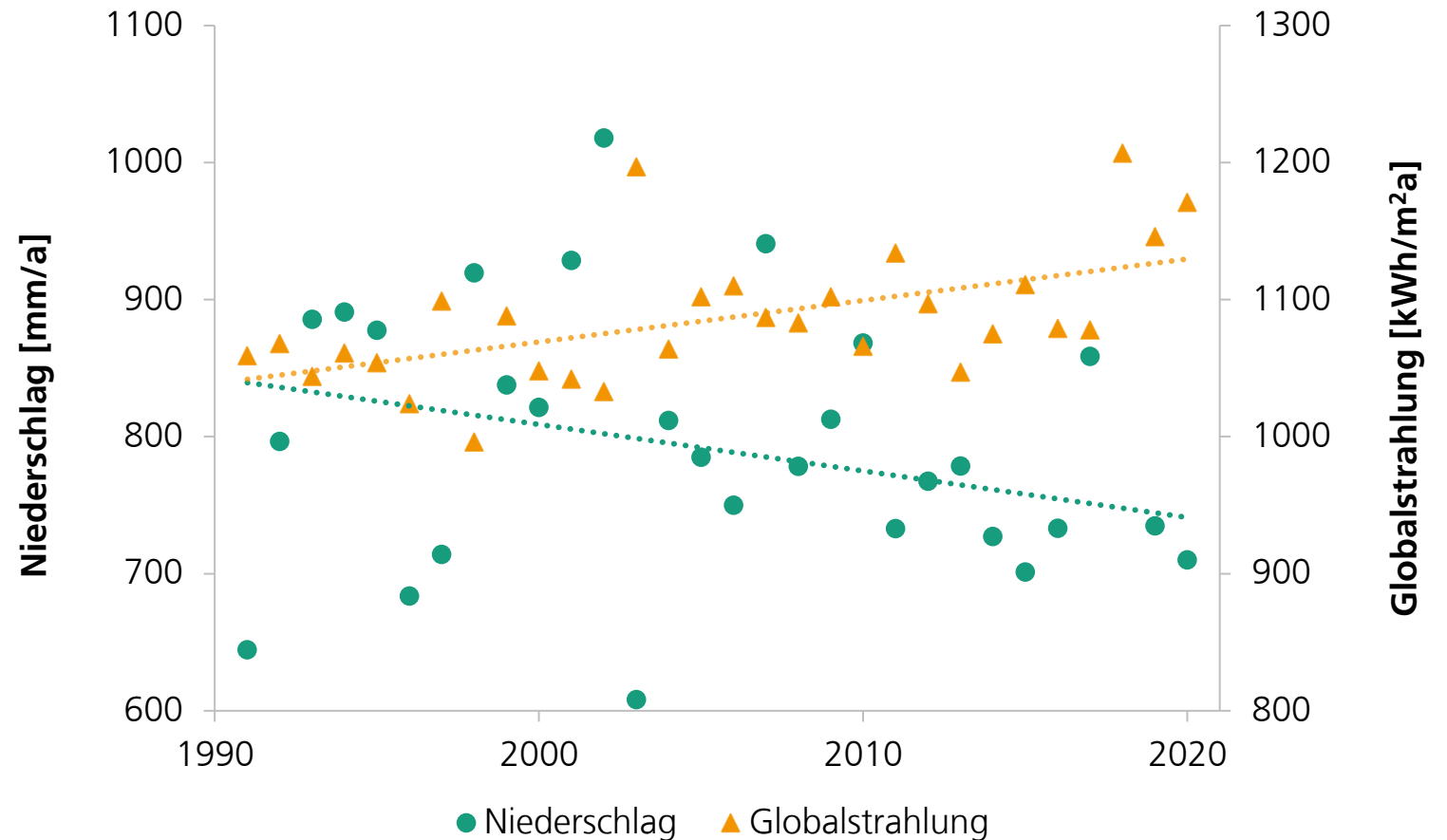
Aktuelle Herausforderungen in der Landwirtschaft

Zwischen Klimawandel und Landnutzungskonflikten

- **Landnutzungskonflikte**
- **Klimawandel**
 - steigende Temperaturen und Globalstrahlung
 - abnehmende Niederschläge (insbesondere im Frühjahr)
 - Wetterextreme
 - häufige und lange Trockenperioden
 - starke Regenereignisse, manchmal auch Hagelstürme

➤ **einige Kulturpflanzen müssen geschützt werden**

➤ **Agri-PV als Strategie zur Verringerung von Ertragsverlusten und –schwankungen**



Quelle: DWD

Beispiel für Akteursanalyse: Agri-PV Obstbau

Erste Pilotstudie im Apfelanbau in Deutschland

Projektlaufzeit: April 2020 – März 2025

Ort: Bio-Obsthof Nachtwey in Gelsdorf (RP)

Thema: Feldversuche an 8 verschiedenen Apfelsorten

Installierte Leistung: 257 kWp

Technologie: transparente PV-Module, nachgeführt vs. nicht nachgeführt

Projektschwerpunkte: Lichtmanagement, Anlagendesign, Landschaftsästhetik, Wirtschaftlichkeit, Pflanzenwachstum, Synergieeffekte, **Sozialverträglichkeit**



Doppelnutzung von Flächen

PV-Fahrbahn (RIPV) und Schwimmende PV (FPV)



Solarradweg 200 m² Fläche, 12 MWh/a Strom,
Solmove Technologie (WDR 2018)



Schwimmende 750 kW PV-Anlage in Renchen auf
dem Baggersee Maiwald
(Erdgas Südwest, 2019)

Bauwerkintegrierte PV (BIPV)



Bauwerkintegrierte PV, unsichtbar, blendfrei
(ISE-Labor)



Bauwerkintegrierte PV (ISE-Labor)

Bio-inspirierte photonische Strukturen für die Photovoltaik

MorphoColor© PV Module für die Integration in Autos



Zusammenfassung

Die Energiewende ist eine Herausforderung

Strom wird die wichtigste Primärenergiequelle: Es werden 1200 – 1400 TWh Strom benötigt, die durch Photovoltaik (ca. 450 GW) und Windanlagen (ca. 260 GW) bereitgestellt werden.

Die Integration von Solarzellen in alle denkbaren Flächen bietet ausreichend Potenzial!

Weitere notwendige Bedarfe:

(elektrische) Speicher, Wärmepumpen, grüner Wasserstoff, Netzausbau

Akzeptanz in der Bevölkerung





Dem Klimawandel kann begegnet werden!

Das INES wird dabei eine wichtige Rolle spielen – weiterhin viel Erfolg!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Prof. Andreas Bett

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

www.ise.fraunhofer.de

andreas.bett@ise.fraunhofer.de