

Mark Sommer, Ina Meyer, Kurt Kratena

Neue Energieszenarien 2050 für Österreich

Neue Energieszenarien 2050 für Österreich

Die vorliegende Studie entwickelt und analysiert neue Energieszenarien für Österreich bis zum Jahr 2050 unter Berücksichtigung der internationalen Klimapolitik nach der UNO-Klimakonferenz in Paris 2015 ("COP21"). Nach UNFCCC-Definition werden ein WEM-Szenario ("with existing measures", mit Maßnahmen bis Mai 2016) und ein WAM-plus-Szenario ("with additional measures", mit zusätzlichen Maßnahmen) modelliert. In den Szenarien werden Auswirkungen von unterschiedlichen Klima- und energiepolitischen Maßnahmenbündeln auf Energieverbrauch und Wertschöpfung analysiert. Das WAM-plus-Szenario quantifiziert die Auswirkungen zusätzlicher, ambitionierter ("plus") Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, des Einsatzes erneuerbarer Energieträger und des technologischen Wandels, die den langfristigen Zielen der UNO-Klimakonferenz in Paris zur Verringerung der Treibhausgasemissionen entsprechen. Neben Innovationen und Kostenverbesserungen in den Bereichen Energieeffizienz und erneuerbare Energie werden Verhaltens- und Lebensstiländerungen energierelevanter Nachfragemuster und gezielte Infrastrukturinvestitionen abgebildet. Das WAM-plus-Szenario ist ein weltweites Klimaschutzszenario, das ein weltweites Engagement zur Erreichung der Ziele des Pariser Klimaabkommens widerspiegelt. Die Szenarien werden durch Koppelung mehrerer technologieorientierter sektoraler Bottom-up-Modelle der Projektpartner (Österreichische Energieagentur, TU Wien, TU Graz, Umweltbundesamt) mit dem Top-down-Modell WIFO.DYNK (dynamisches neu-keynesianisches Modell) modelliert. Das WEM-Szenario ergibt eine leichte absolute Entkopplung von Wirtschaftsleistung und Energieverbrauch bei einem durchschnittlichen jährlichen realen BIP-Wachstum von 1,5%. Ambitionierter Klimaschutz bewirkt im WAM-plus-Szenario ein durchschnittliches jährliches BIP-Wachstum von 1,7% (zu konstanten Preisen) bei einem deutlichen Rückgang der Energienachfrage in den wichtigsten Sektoren.

New Energy Scenarios 2050 for Austria

The new energy scenarios for Austria up to the year 2050 take into account the international climate policy after the UN Climate Change Conference in Paris in 2015 ("COP21"). According to the UNFCCC definition, a WEM scenario ("with existing measures", with measures until May 2016) and a WAM-plus scenario ("with additional measures") are modelled. The scenarios analyse the effects of different climate and energy policy packages on energy consumption and added value. The WAM-plus scenario quantifies the impact of additional, ambitious ("plus") measures to increase energy efficiency, renewable energy use and technological change that meet the long-term goals of the UN Climate Change Conference in Paris to reduce greenhouse gas emissions. In addition to innovations and cost improvements in the areas of energy efficiency and renewable energy, behavioural and lifestyle changes in energy-relevant demand patterns and targeted infrastructure investments are depicted. The WAM-plus scenario is a global climate protection scenario that reflects a global commitment to achieving the goals of the Paris Climate Agreement. The scenarios are modelled by coupling several technology-oriented sectoral bottom-up models of the project partners (Austrian Energy Agency, Vienna University of Technology, Graz University of Technology, Federal Environmental Agency) with the top-down model WIFO.DYNK (dynamic New Keynesian model). The WEM scenario results in a slight absolute decoupling of economic output and energy consumption at average annual real GDP growth of 1.5 percent. Ambitious climate protection in the WAM-plus scenario yields an average annual GDP growth of 1.7 percent (at constant prices) with a significant decline in energy demand in the most important sectors.

Kontakt:

Mag. Mark Sommer: WIFO, 1030 Wien, Arsenal, Objekt 20, mark.sommer@wifo.ac.at

Dipl.-Vw. Dr. Ina Meyer: WIFO, 1030 Wien, Arsenal, Objekt 20, ina.meyer@wifo.ac.at

Univ.-Doz. Dr. Kurt Kratena: WIFO, 1030 Wien, Arsenal, Objekt 20, kurt.kratena@wifo.ac.at

JEL-Codes: C52, C54, C67 • **Keywords:** Energienachfrage, Szenarien, ökonomische Modelle

Der vorliegende Beitrag basiert auf einer Studie von WIFO und Centre of Economic Scenario Analysis and Research (CESAR) im Auftrag des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus: Ina Meyer, Mark Sommer, Kurt Kratena, Energy Scenarios 2050 for Austria (Mai 2018, 61 Seiten, 40 €, Download kostenlos: <https://www.wifo.ac.at/www/pubid/61089>).

Begutachtung: Mathias Kirchner • **Wissenschaftliche Assistenz:** Katharina Köberl (katharina.koerberl@wifo.ac.at)

1. Einleitung

Energieszenarien bieten einen Rahmen für eine konsistente Analyse künftiger Perspektiven des Energieverbrauches, einschließlich verschiedener Kombinationen von Technologieoptionen und Politikmaßnahmen zur Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft sowie deren Auswirkungen auf Wirtschaftsleistung, Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen. Das WIFO hat soeben neue Energieszenarien für Österreich bis zum Jahr 2050 unter Berücksichtigung der internationalen klimapolitischen Ziele nach der Pariser Klimakonferenz 2015 (COP21) berechnet. Das Klimaziel

von Paris, den weltweiten Temperaturanstieg gegenüber dem Niveau vor Beginn der Industrialisierung auf deutlich unter 2°C zu begrenzen, soll die größten und potentiell unumkehrbaren Klimarisiken vermeiden. Dies erfordert u. a. eine rasche Abkehr von der Nutzung fossiler Energiequellen und damit ein Umschwenken auf eine CO₂-freie Wirtschaftsweise (IPCC, 2014). Die Gruppe der Industrieländer strebt demnach eine Verringerung ihrer Treibhausgasemissionen um 80% bis 95% 1990/2050 an¹⁾.

Modelliert wurden ein WEM-Szenario ("with existing measures") und ein WAM-plus-Szenario ("with additional measures") nach Definition des United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Das WEM-Szenario schreibt bisherige Trends fort unter Berücksichtigung von bis Ende Mai 2016 umgesetzten klima- und energiepolitischen Maßnahmen. Das WAM-plus-Szenario bildet die mittel- bis langfristigen Vorgaben der europäischen Klimapolitik mit dem Ziel einer Verringerung der Treibhausgasemissionen in Österreich bis 2050 um mindestens 80% gegenüber 1990 ab.

Zur Simulation dieser Szenarien koppelte das WIFO eine Reihe von technologisch orientierten Bottom-up-Modellen mit dem ökonomisch ausgerichteten Top-down-Modell WIFO.DYNK (Umweltbundesamt, 2017). Der vorliegende Bericht umfasst ausschließlich die Ergebnisse aus dem WIFO-Modell. Da dieses sich auf die Entwicklung der Energienachfrage konzentriert und die CO₂-Emissionen in Österreich nur teilweise erfasst, wird hier in weiterer Folge nicht auf die CO₂-Emissionen eingegangen²⁾.

2. Modellbasierte Analyse

Die Szenarien für ökonomische Variable und Variable des österreichischen Energiesystems wurden mit dem WIFO.DYNK-Modell ("Dynamic New Keynesian") der österreichischen Wirtschaft berechnet, welches mit einer Reihe von Bottom-up-Modellen zu energieintensiven Sektoren verbunden wurde. Das Modell WIFO.DYNK ist ein Hybrid eines ökonometrischen Input-Output-Modells (EIO) und eines Gleichgewichtsmodells (CGE) und durch die Integration von Rigiditäten und institutioneller Reibung bzw. Trägheit charakterisiert. In der Simulation langfristiger Effekte beschreibt das Modell ähnlich wie CGE-Modelle einen expliziten Pfad hin zum langfristigen Gleichgewicht. Der Term "New Keynesian" bezieht sich auf die Annahme der Etablierung von Vollbeschäftigung in der langen Frist, welche aufgrund der Rigiditäten kurzfristig nicht erreicht wird. Diese Rigiditäten sind etwa Liquiditätsbeschränkungen der privaten Haushalte (abgeleitet aus der Permanenten Einkommenshypothese) und Lohnverhandlungen (abgeleitet vom Wettbewerb auf dem Arbeitsmarkt). Eine umfassendere Beschreibung des Modells WIFO.DYNK findet sich in der zugrundeliegenden Studie Meyer – Sommer – Kratena (2018) sowie in Sommer – Kratena (2017) und Kratena – Sommer (2014).

Dank des hohen Detailgrades und der konsistenten Darstellung von Produktion (62 Branchen bzw. Gütergruppen) und Nachfrage (47 Kategorien des privaten Konsums) sowie insbesondere der konsistenten Integration der österreichischen Energiebilanz in das ökonomische Modell durch Verknüpfung von physischen und monetären Strömen beruhen die Ergebnisse zu den wirtschaftlichen Treibern des Energieverbrauchs (BIP, Fahrzeugbestand, Wohnungsbestand, Effizienz der Bestände usw.) nicht auf Annahmen, sondern werden im Modell endogen bestimmt. Zugleich bewirken diese Verknüpfungen automatische Rückkoppelungen von Veränderungen im Energiesystem auf das ökonomische System und bilden somit auch Rebound-Effekte ab.

Das DYNK-Modell ist mit mehreren in der Studie verwendeten Bottom-up-Modellen in den wesentlichen energieverbrauchenden Sektoren verbunden:

¹⁾ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_de.

²⁾ Die Berechnung der Emissionen wurde vom Umweltbundesamt durchgeführt. Ergebnisse zu den CO₂-Emissionen sind dem Studienbericht Umweltbundesamt (2017) zu entnehmen.

- Das für Szenarien von Strom- und Wärmebedarf und -erzeugung aus Kraftwerken verwendete Bottom-up-Modell (TIMES) der Austrian Energy Agency (AEA) bildet eine große Bandbreite an Erzeugungs- und Umwandlungstechnologien ab und ist über nachfrageseitige Treiber (Input Stromnachfrage aus DYNK) und technologischen Wandel (Input Stromerzeugungstechnologie für DYNK) mit WIFO.DYNK verknüpft.
- Die Eisen- und Stahlerzeugung wird vom Umweltbundesamt (UBA) in mehrere Bottom-up-Technologien disaggregiert, deren Auswirkungen auf die Input-Output-Struktur des DYNK-Modells ökonomische Effekte nach sich ziehen.
- Im Transportsektor wird der private Transportbedarf aus DYNK, insbesondere Größe und Struktur des Fuhrparkes, mit den Bottom-up-Transportmodellen und den Datensätzen der TU Wien (Modell MARS) und TU Graz (Modelle GEORG und NEMO) verknüpft. Technologische Veränderungen induzieren bottom-up Nachfrageeffekte und ziehen damit gesamtwirtschaftliche Änderungen nach sich (Input für DYNK).
- Im Gebäudesektor erfolgt eine Verknüpfung der privaten Wohnungsnachfrage aus DYNK (Bestand an Eigentums- und Mietwohnungen) mit dem disaggregierten Datensatz und dem Modell des Wohnungssektors der TU Wien (Modell INVERT-EE von e-think und EEG). Wie im Fall des Transportes induzieren Bottom-up-Änderungen gesamtwirtschaftliche Effekte durch Nachfrageänderungen.

Neben den Datensätzen und den dahinter liegenden Annahmen aus den Bottom-up-Modellen, die als "exogene" Parameter in das WIFO.DYNK einfließen, spielen Annahmen und Datensätze aus internationalen Quellen eine Rolle. Diese gelten für alle Teilmodelle des integrierten Modellkonsortiums gleichermaßen und beeinflussen die jeweiligen Ergebnisse. Auf diese Annahmen wird im Folgenden näher eingegangen.

3. Das WEM-Szenario – "with existing measures"

Das WEM-Szenario beschreibt energieökonomische Trends und die bis zum 30. Mai 2016 in Österreich ergriffenen Maßnahmen der Energie- und Klimapolitik. Die Annahmen für dieses Szenario wurden aus einschlägigen internationalen Publikationen sowie aus Quellen österreichischer Stakeholder entnommen. Eine wichtige Quelle sind etwa die Positionen für Subventionen und Steuern entsprechend dem österreichischen Stabilitätsprogramm zum genannten Stichtag.

Die wichtigsten exogenen Daten umfassen die Bevölkerungs- und die Haushaltsentwicklung sowie die Energiepreise und den Euro-Dollar-Wechselkurs. Energiepreisannahmen wurden aus den jüngsten weltweiten (IEA) oder europäischen (PRIMES-Modell) Energieszenarien entnommen.

Übersicht 1: Entwicklung der Energiepreise auf dem Weltmarkt im WEM-Szenario

		2015	2020	2030	2050	2015/2030	2030/2050
						Durchschnittliche jährliche Veränderung in %	
Real (zu Preisen von 2015)							
Rohöl	€ je Barrel	49	77	96	111	+ 4,4	+ 0,7
Erdgas	€ je MMBtu	6	8	10	11	+ 2,5	+ 0,7
Kohle	€ je t	51	64	92	108	+ 3,9	+ 0,8
CO ₂	€ je t	8	15	34	88	+10,0	+ 4,8
Nominell							
Rohöl	€ je Barrel	49	84	125	206	+ 6,2	+ 2,5
Erdgas	€ je MMBtu	6	9	12	20	+ 4,3	+ 2,5
Kohle	€ je t	51	70	119	200	+ 5,6	+ 2,6
CO ₂	€ je t	8	16	44	163	+11,7	+ 6,6

Q: IEA (2016), PRIMES-Ergebnisse, WIFO-Berechnungen. MMBtu . . . million British thermal unit.

Demnach steigen die realen Preise von Rohöl kontinuierlich (Rohöl 2015: 49 € je Barrel, 2020: 77 €, 2030: 96 €, 2050: 111 €). Der Rohölpreis erhöht sich relativ zu dem von Kohle und Erdgas am stärksten. Die Bildung eines europäischen Gasmarktes mit ver-

schiedenen Hubs und neuen, flexiblen Transportmöglichkeiten (Pipelines, Flüssiggasleitungen) sorgt für eine Entkoppelung des Gaspreises von den Preisen von Rohöl und Kohle (Erdgas 2015: 6 € je million British thermal unit – MMBtu, 2020: 8 €, 2030: 10 €, 2050: 11 €). Die Entwicklung der Energiepreise beeinflusst die Preise energiehaltiger Güter und damit die Konsumnachfrage. Angenommen werden zudem das Weiterbestehen des Europäischen Emissionshandelssystems und ein realer Anstieg der Preise von CO₂-Zertifikaten bis 2050 auf 88 € je Tonne.

Für die Bevölkerungsentwicklung – als Determinante für die Zahl der Haushalte und ihre Energienachfrage – wird ein nichtlineares Wachstum mit abnehmendem Zuwachs angenommen (2050 rund 9,6 Mio. Einwohner und Einwohnerinnen).

Weitere Modellannahmen beziehen sich auf die Maßnahmen der österreichischen Energie- und Klimapolitik, wobei Veränderungen der Energieeffizienz und die Energieträgersubstitution im Bereich von langlebigen Konsumgütern wie Kraftfahrzeugen oder von Heizsystemen eine entscheidende Rolle spielen:

- Die Autoflotte erreicht 2050 einen Bestand von 660 Pkw je 1.000 Einwohner und Einwohnerinnen mit einem Anteil an Elektrofahrzeugen von 60%. Die Energieeffizienz von Verbrennungsmotoren wird nicht wesentlich gesteigert.
- Im Raumwärmebereich verringern sich vor allem die heizölbetriebenen Systeme deutlich, während Solar- und Umgebungswärme zum bevorzugten Versorgungstyp avanciert.
- In der Stromproduktion setzt sich der Trend zu Photovoltaik und Windkraftwerken fort. In Summe decken beide Technologien 2050 25% des heimischen Stromverbrauches ab.

3.1 Ergebnisse des WEM-Szenarios für die Gesamtwirtschaft

Neben den oben beschriebenen Einflussgrößen sind die wesentlichen Treiber der Wirtschaftsdynamik die Entwicklung der Faktorproduktivität und die Integration der österreichischen Wirtschaft in den Weltmarkt (Nachfrage nach österreichischen Exportprodukten). Diese Variablen wurden so adjustiert, dass ein durchschnittliches Wachstum des Bruttoinlandsproduktes von 1,5% p. a. (zu konstanten Preisen) erzielt wird. Die einzelnen Sektoren entwickeln sich dabei unterschiedlich dynamisch: Der produzierende Bereich expandiert am stärksten (2015/2050 rund +70%) vor Handel und Dienstleistungen (+60%), Verkehrsleistungen (+55%) sowie Landwirtschaft und Bergbau (+30%). Detaillierte Branchenergebnisse sind der zugrundeliegenden Studie zu entnehmen (Meyer – Sommer – Kratena, 2018).

3.2 Ergebnisse zum Endenergieverbrauch

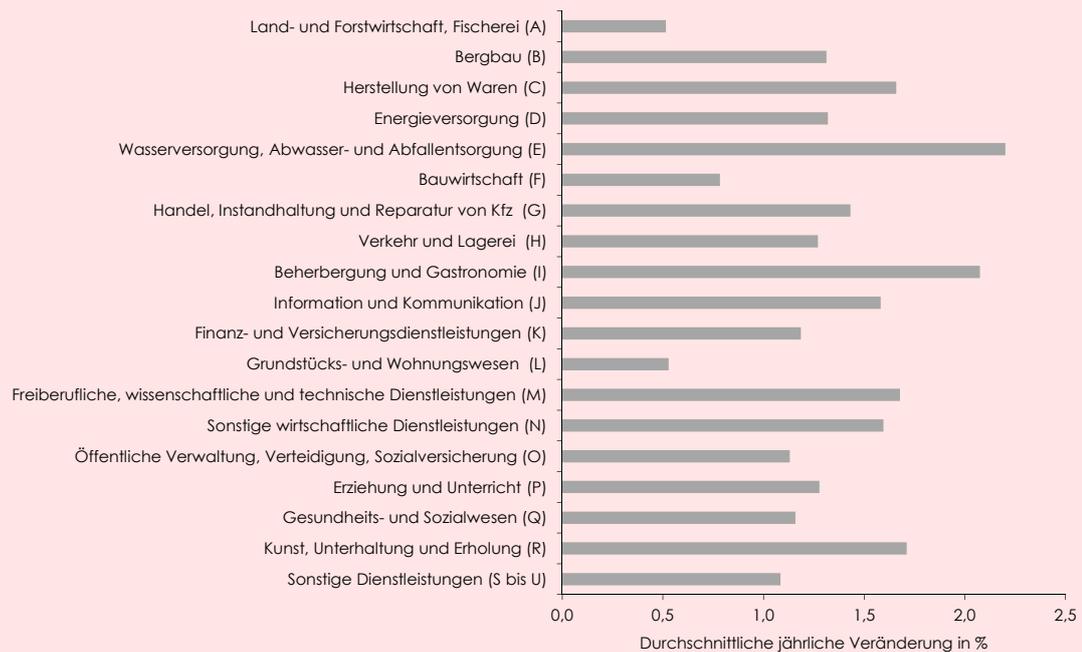
Der gesamte Endenergieverbrauch stagniert im WEM-Szenario, da der Anstieg im produzierenden Sektor durch den Rückgang der Energienachfrage im Haushaltsbereich ausgeglichen wird.

Die Ergebnisse für den Transportsektor insgesamt zeigen einen leicht abnehmenden Energieverbrauch. Für den privaten Verkehr ergibt sich ein Rückgang von rund 165 PJ (2017) auf 115 PJ (2050), trotz leicht steigender Transportleistung (Zahl der zurückgelegten Tonnenkilometer), der im Wesentlichen eine Elektrifizierung des Verkehrssektors widerspiegelt. Insgesamt bleibt Dieselkraftstoff jedoch die Hauptenergiequelle (Abbildung 2).

Die Haushaltsenergienachfrage insgesamt (ohne Verkehrsleistungen) sinkt anfangs leicht, weil die Nachfrage nach Raumwärme abnimmt (Steigerung der Effizienz der Gebäudehülle). Dem steht ein Anstieg des Bedarfes an elektrischem Strom wegen der Ausweitung der privaten Elektromobilität (die in dieser Studie den privaten Haushalten zugerechnet wird) gegenüber, sodass sich der Trend ab den 2040er-Jahren umkehrt.

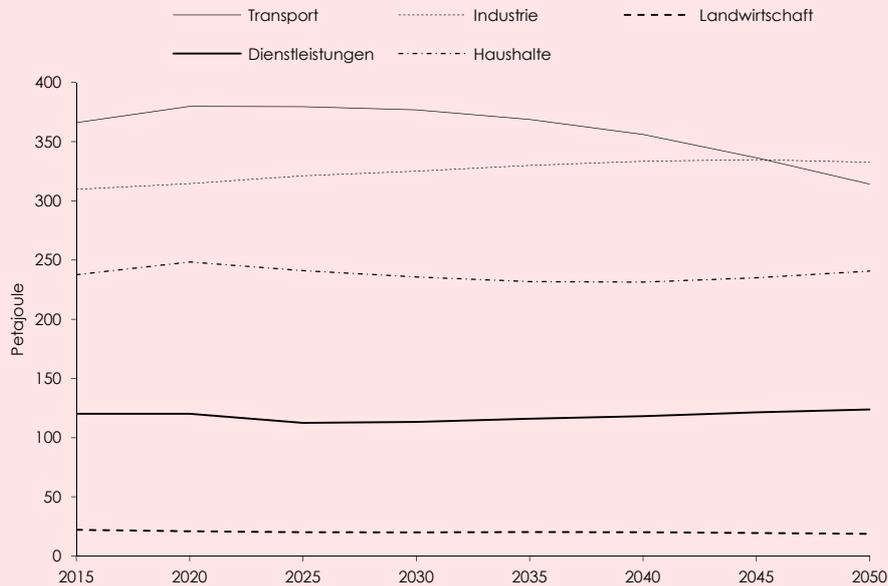
Die hinterlegte Steigerung der Energieeffizienz, die auf der Entwicklung in der Vergangenheit basieren, reichen in den Industriebranchen kurz- und mittelfristig nicht aus, um die aus dem Wirtschaftswachstum generierte Zunahme der Energienachfrage zu kompensieren. Langfristig allerdings ergibt sich eine Stabilisierung, die in den Dienstleistungsbranchen über den ganzen Zeitraum anhält.

Abbildung 1: Wertschöpfungswachstum im WEM-Szenario nach Branchen 2015/2050, real



Q: WIFO-Berechnungen.

Abbildung 2: Endenergienachfrage der Wirtschaftssektoren im WEM-Szenario



Q: WIFO-Berechnungen.

3.3 Entkoppelung der Wirtschaftsleistung vom Energieverbrauch

Insgesamt ergibt sich im WEM-Szenario eine geringfügige absolute Entkoppelung von Wirtschaftsleistung und Energieverbrauch: Bei einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate des BIP von 1,5% (zu konstanten Preisen) sinkt das Niveau der Endenergienachfrage leicht.

4. Das WAM-plus-Szenario – "with additional measures"

Das WAM-plus-Szenario orientiert sich an den mittelfristigen und langfristigen Vorgaben der europäischen Klimapolitik mit dem Ziel einer Verringerung der Treibhausgasemissionen bis 2050 gegenüber dem Basisjahr 1990 um 80% bis 95%. Da spezifische Politikmaßnahmen zur Dekarbonisierung (Carbon Capture and Sequestration – CCS), wie sie etwa in der Energy Roadmap 2050 der EU (Europäische Kommission, 2012) herangezogen werden, von dieser Studie nicht abgedeckt werden oder für Österreich (Kernkraft) nicht relevant sind, muss das WAM-plus-Szenario eine signifikante Senkung des Energieverbrauches in allen Sektoren und auf allen Ebenen der Energienutzung (Endenergie, Transformation, Verluste) erzielen und alle Potentiale der Nutzung erneuerbarer Energieträger (unter Berücksichtigung von Umweltbelastungen) ausschöpfen. Neben technologischen Innovationen und Kostenverbesserungen im Bereich der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energieträger umfasst dies insbesondere auch Verhaltens- und Lebensstiländerungen bezüglich energierelevanter Bedarfsmuster.

Für die Erreichung nationaler Ziele ist ein gemeinsames Verständnis darüber, wie man das Energiesystem erfolgreich umwandelt, die Wirtschaft dekarbonisiert sowie soziale und politische Hemmnisse im Übergangsprozess überwindet, von zentraler Bedeutung. Die Konzeption des WAM-plus-Szenarios, der eine breite Beteiligung von relevanten Stakeholdern zugrunde liegt, gilt als ein wichtiger Baustein eines bewusstsensbildenden Kommunikationsprozesses für einen durchgreifenden Klimaschutz, wie er auch für die österreichische Klima- und Energiestrategie von Relevanz ist (BMNT – BMVIT, 2018).

Zu den wichtigen Treibern in diesem Szenario zählt ein Strukturwandel vor allem in Bezug auf zielgerichtete Infrastrukturinvestitionen, denn die Infrastruktur bestimmt durch ihre Langlebigkeit den Energieverbrauch der nächsten Dekaden, produziert somit Pfadabhängigkeiten und hat darüber hinaus eine zentrale Funktion für die Stabilität und Funktionsfähigkeit von Energienetzen (Strom, Gas, Fernwärme), Gebäuden und Transportsystemen und für die Wirtschaftsleistung.

Das WAM-plus-Szenario sieht ein weltweites Engagement für die Erreichung der Ziele des Pariser Klimaabkommens vor. Alle nationalen Akteure von Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern streben in diesem Szenario eine Begrenzung der weltweiten Erwärmung deutlich unter +2°C (bzw. vorzugsweise +1,5°C) gegenüber dem Niveau vor der Industrialisierung an. Weltweite Maßnahmen zum Klimaschutz bedürfen eines steilen und deutlichen Anstieges der Energie- und CO₂-Preise, die nach dem Kohlenstoffgehalt der einzelnen Energieträger bemessen werden.

Das WAM-plus-Szenario bedarf wesentlicher Veränderungen in Bezug auf das Verhalten der Wirtschaftsakteure und die ökonomischen Strukturen (Technologien und Produktionsprozesse) sowie die energetische Qualität der Bestände (wie z. B. Gebäude, Fahrzeuge und Elektrogeräte). Die Verbesserung der Energieeffizienz (Energieeinsatz je Produktionseinheit oder Einheit einer Energiedienstleistung) spielt eine strategische Rolle und kann durch einen Strukturwandel zu neuen Produkten, Dienstleistungen und Materialien, neuen Produktionsprozessen und Verbesserungen allgemeiner Technologien (Dampferzeugung, Motoren usw.) getragen werden. Zugleich sind Maßnahmen erforderlich, die die Ressourcennutzung dämpfen und damit die Ressourceneffizienz steigern, wie die Verlängerung der Lebensdauer von Produkten, die Verbesserung der Reparaturfähigkeit, die Steigerung von Recycling, Teilen und Mieten von Produkten (Sharing Economy), die mit neuen Geschäftsmodellen einhergeht. Die Sanierung von Gebäuden ist ein zentraler Bestandteil einer Energieeffizienzstrategie ebenso wie organisatorische Reformen des Verkehrs durch Neu-Kombination von Mobilitätsmöglichkeiten und alternativen Technologien.

Ein weiterer strategischer Sektor in diesem Szenario ist die Stromerzeugung. Aufgrund von Investitionen in das Netz können die inländische Stromproduktion gesteigert und das Netzmanagement optimiert werden. Diese Entwicklung hilft, die Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen einzudämmen und das Potential verschiedener fluktuierender erneuerbarer Energieträger nutzbar zu machen.

4.1 Annahmen für das WAM-plus-Szenario

Im WAM-plus-Szenario übersteigen die Preise von Rohöl, Erdgas und Kohle ab 2025 die Energiepreise des WEM-Szenarios, da externe Effekte eingepreist und die CO₂-Preise politisch fixiert werden. Kohle, der kohlenstoffintensivste der drei fossilen Brennstoffe, verteuert sich relativ am stärksten auf 167 € je Tonne 2050 bzw. nach Einpreisung des CO₂-Preises auf 718 € je Tonne³⁾. Trotzdem ist Kohle auf Euro-Basis je Energieeinheit billiger als Erdöl und Erdgas⁴⁾. Der Rohölpreis erhöht sich bis 2050 um etwa 250% (+440% nach CO₂-Preisauflschlag); der Preis von Erdgas weist auch aufgrund des relativ niedrigen Kohlenstoffgehaltes die niedrigste Trajektorie auf (bis 2050 +151% bzw. +320% nach CO₂-Aufschlag).

Übersicht 2: Entwicklung der Energiepreise auf dem Weltmarkt im WAM-plus-Szenario

		2015	2020	2030	2050	2015/2030	2030/2050
		Durchschnittliche jährliche Veränderung in %					
Real (zu Preisen von 2015)							
Rohöl	€ je Barrel	49	77	96	172	+ 4,4	+ 2,9
Erdgas	€ je MMBtu	6	8	10	16	+ 2,5	+ 2,7
Kohle	€ je t	51	64	92	167	+ 3,9	+ 3,0
CO ₂	€ je t	8	15	40	200	+11,2	+ 8,0
Nominell							
Rohöl	€ je Barrel	49	84	125	320	+ 6,2	+ 4,7
Erdgas	€ je MMBtu	6	9	12	30	+ 4,3	+ 4,5
Kohle	€ je t	51	70	119	310	+ 5,6	+ 4,8
CO ₂	€ je t	8	16	52	371	+12,9	+ 9,8

Q: IEA (2016), PRIMES-Ergebnisse, WIFO-Berechnungen. MMBtu . . . million British thermal unit.

Das WAM-plus-Szenario sieht eine Transformation des Kapitalstockes zu deutlich höherer Energieeffizienz und geringerem Verbrauch fossiler Brennstoffe vor, und zwar durch Investitionen von Industrie, Bauwirtschaft und Verkehrssektor in die Energieeffizienz.

Im Gebäudebereich (Wohngebäude und gewerbliche Gebäude) werden erhebliche Investitionen in Sanierung, Neubau und neue Heizungsanlagen überwiegend durch Regulierungsmaßnahmen ausgelöst ("Sanierungsplan" für Gebäude, "Austauschplan" für Heizungsanlagen; durchschnittlich 400 Mio. € p. a.).

Die Bottom-up-Modelle für den Verkehrssektor ergeben einen geringeren Fahrzeugbestand je Kraftstoffart (Benzin, Dieselöl) als im WEM-Szenario, weil sich Elektroantriebe durchsetzen: Der Anteil elektrisch betriebener Pkw beträgt ab 2045 100%. Dies ist das Ergebnis eines Portfolios von Maßnahmen zur Eindämmung der individuellen motorisierten Mobilität, vor allem in Städten. Der Schwerpunkt der energiebezogenen Verkehrspolitik richtet sich auf die Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln sowie auf das Radfahren und zu Fuß Gehen. Eine weitere wichtige Maßnahme ist die Substitution der bestehenden Flatrate-Autobahnvignette durch ein System, das Mobilitätsdienstleistungen auf allen Straßen erfasst. Die Erlöse aus dieser Abgabe kompensieren Einnahmenverluste im Staatshaushalt, die aus der erhöhten Kohlenstoffbesteuerung und der damit einhergehenden Dämpfung der Nachfrage nach Benzin und Dieselmotorkraftstoff entstehen. Als Konsequenz aller simulierten Maßnahmen verringert sich die Transportleistung erheblich.

Auch im Güterverkehr erhöht sich durch die Maßnahmen im WAM-plus-Szenario der Anteil elektrischer Antriebe (Verschiebung des Modal Split zu einem höheren Anteil des Schienenverkehrs, Zunahme von Elektroantrieben auf der Straße). Durch die simulierten Maßnahmen werden beträchtliche Investitionen des öffentlichen Sektors

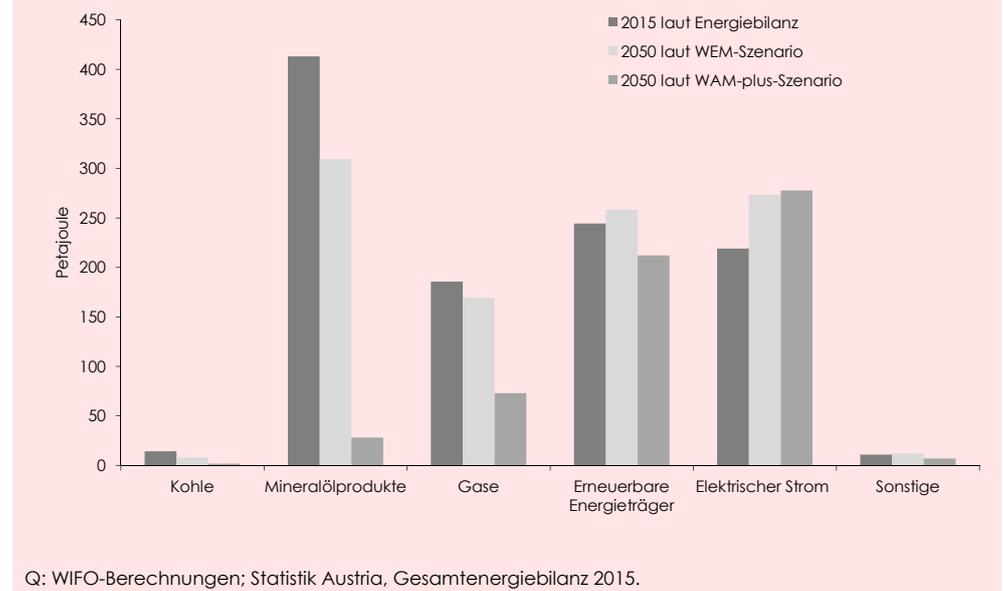
³⁾ Je Euro Erhöhung des CO₂-Preises erhöhen sich übertragen die Energieträgerpreise auf Basis des CO₂-Gehaltes um 0,48 € je Barrel Rohöl, 0,057 € je MMBtu Erdgas und 2,75 € je Tonne Kohle.

⁴⁾ 2050 Rohöl 311 € je Barrel Öleinheiten, Erdgas 198 €, Kohle 191 € (aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde auf € je Barrel Öleinheiten umgerechnet, entspricht etwa 6,4 GJ).

und der Eisenbahnunternehmen ausgelöst. Eine Begrenzung der besonders energieineffizienten Kurzstreckenflüge bewirkt eine Verlagerung von 33% des Luftverkehrs (in Personenkilometern) auf die Bahn.

Eine Elektrifizierung der Verkehrswirtschaft bewirkt nur durch Strukturveränderungen in der Strom- und Wärmeerzeugung einen erheblichen Rückgang der Treibhausgasemissionen. Für gegebene Energiepreise und Unterstützungsmaßnahmen wird das Potential von erneuerbaren Energieträgern im WAM-plus-Szenario daher weitestgehend ausgeschöpft. Das betrifft insbesondere den Ausbau von Wind- und Photovoltaikkapazitäten sowie teilweise den Ausbau von Wasserkraft. Der Überschuss der Stromimporte über die Exporte kann in diesem Szenario – basierend auf den Berechnungen der AEA – eliminiert werden (Abbildung 3).

Abbildung 3: Endenergienachfrage nach Energieträgern



Das WAM-plus-Szenario umfasst die Nutzung von Energieeinsparungspotentialen in verschiedenen Industriebranchen. Diese werden vor allem durch einen intraindustriellen Strukturwandel zu neuen Produktionsprozessen getragen, durch den sich der Energiebedarf und der Energieträger-Mix ändern (Abbildung 3). Gegenüber dem Ausgangsniveau der Simulationen 2015 ergibt sich schon im WEM-Szenario eine Verlagerung von Mineralölprodukten und Gasen⁵⁾ zu erneuerbaren Energieträgern und elektrischem Strom. Im WAM-plus-Szenario wird der rückläufige Trend des Verbrauches fossiler Energie durch die hinterlegten Maßnahmen verstärkt. Die energiesparenden Entwicklungen haben in diesem Szenario trotz Elektrifizierung vieler Bereiche einen ähnlich hohen Endenergieverbrauch an Strom und durch den Rückgang des Raumwärmebedarfes sogar einen niedrigeren Bedarf an erneuerbaren Energieträgern zur Folge.

4.2 Ergebnisse des WAM-plus-Szenarios für die Gesamtwirtschaft

Die simulierten beträchtlichen Investitionen in die Gebäudesanierung, die Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie und die Verkehrsinfrastruktur geben der österreichischen Wirtschaft einen bedeutenden Wachstumsimpuls, ebenso die Investitionen in energiesparende Technologien und Prozesse in der Fertigung. Finanziert werden diese Investitionen durch eine Verlagerung von Finanzmitteln aus anderen Investitionen (im Falle des Transports) bzw. durch die Bereitstellung von Mitteln aus bereits geplanten Investitionsplänen (Stromnetz) sowie zum Teil durch Fördermaßnahmen, die partiell auch bremsende Effekte auf die österreichische Wirtschaft ausüben.

⁵⁾ Gase umfassen hauptsächlich Naturgas aber auch – in geringem Maße – Kokereigas und Gichtgas.

Insgesamt sorgt der energiesparende technologische Fortschritt kombiniert mit der Substitution fossiler durch erneuerbare Energieträger für zusätzliche makroökonomische Impulse, die im DYNK-Modell direkte, indirekte und induzierte Effekte in der Volkswirtschaft auslösen. So lösen die kostensparenden Effekte (Senkung des Energieaufwandes für Heizung und für Mobilität durch Steigerung des Anteils von Elektroautos usw.) Einkommenseffekte aus, die positiv auf die Wirtschaft zurückwirken (Rebound-Effekt). Insgesamt ergeben die Simulationen mit dem DYNK-Modell im WAM-plus-Szenario eine geringfügige positive makroökonomische Wirkung als Summe aller Branchen- und Rohstoffeffekte: Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des BIP beträgt 1,7% gegenüber 1,5% im WEM-Szenario (zu Preisen von 2015).

Abbildung 4: Wertschöpfungswachstum im WAM-plus-Szenario nach Branchen, real



Q: WIFO-Berechnungen.

Im Vergleich zum WEM-Szenario wird das Wachstum im Bergbau am stärksten gedämpft, in erster Linie wegen der Abnahme des Rohölbedarfes (Abbildung 4). Hingegen wächst die Wertschöpfung der Energieversorgung stärker, da die Elektrifizierung der Produktion und der Mobilität eine deutliche Nachfragesteigerung verursacht.

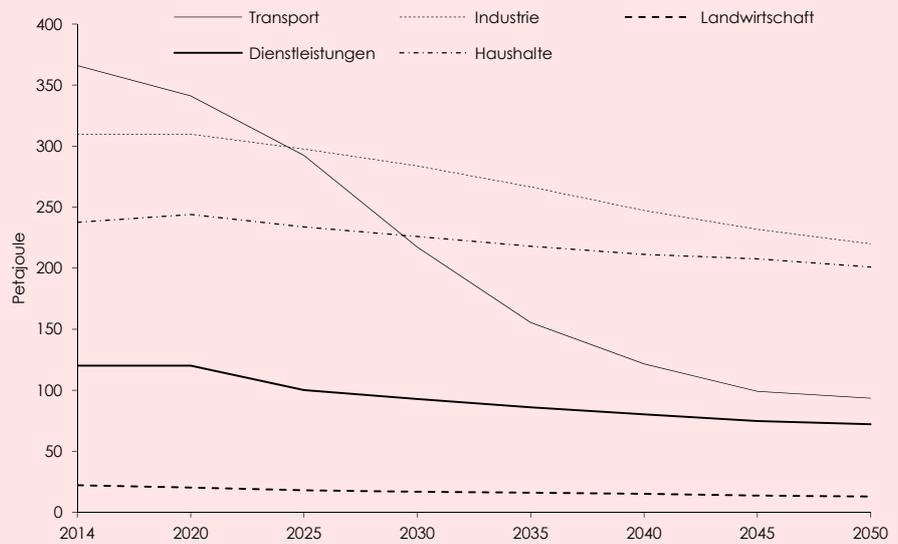
4.3 Ergebnisse zum Endenergieverbrauch

Die im WAM-plus-Szenario simulierten Maßnahmen sind eine Kombination aus energiesparendem technologischem Fortschritt und Energieträger-Shifts, getrieben durch Investitionen. Die wichtigste Energieträgerverschiebung erfolgte im Transportsektor – von fossilen Brennstoffen hin zu Elektrizität. Parallel dazu verändert sich der Anteil der einzelnen Verkehrsträger an der – insgesamt sinkenden – Mobilitätsnachfrage. Zusammen mit einem Rückgang des Endenergieverbrauches für Raumwärme und -kühlung und andere haushaltsbezogene Anwendungen ergibt sich daraus insgesamt eine Verringerung der Endenergienachfrage der privaten Haushalte. Dennoch steigt deren Strombedarf erheblich, obwohl die Nachfrage für andere Zwecke (Geräte und Heizung) und auch die Pkw-Fahrleistung (nach Inputdaten des UBA) sinken. Durch den Anstieg des Anteils erneuerbarer Energieträger an der Stromerzeugung wird ein wichtiger Teil dieses zusätzlichen Strombedarfs durch nichtfossile Energieerzeugung bereitgestellt.

Im WEM-Szenario stagniert der Energiebedarf der wichtigsten aggregierten Sektoren. Im WAM-plus-Szenario nimmt er deutlich ab, am stärksten im Verkehrssektor. Die

Produktion aller verarbeitenden Sektoren wächst stärker als im WEM-Szenario, während ihr Energiebedarf deutlich gesenkt wird (Abbildung 5).

Abbildung 5: Endenergienachfrage der Wirtschaftssektoren im WAM-plus-Szenario

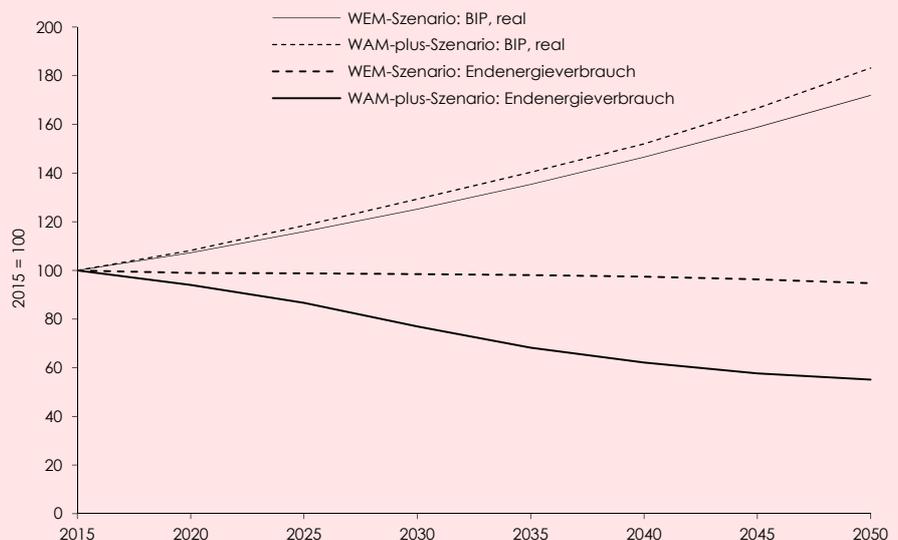


Q: WIFO-Berechnungen.

4.4 Entkoppelung der Wirtschaftsleistung vom Energieverbrauch

Die absolute Entkoppelung von Energieverbrauch und Wirtschaftsleistung ist im WAM-plus-Szenario ein allgemeines und weitverbreitetes Phänomen (Abbildung 6). Die Energieintensität verringert sich um 3,4% p. a. (bei einem durchschnittlichen jährlichen BIP-Wachstum von 1,7%), stärker als in der Vergangenheit jemals beobachtet – auch nach massiven Energiepreisschocks wie in den 1970er-Jahren (Kratena – Meyer – Sommer, 2015). Nach dieser historischen Erfahrung kann eine Senkung der Energieintensität je BIP-Einheit um mehr als 2% p. a. nur durch eine Kombination vielfältiger energiepolitischer Maßnahmen erreicht werden (wie sie eben im WAM-plus-Szenario angenommen wird).

Abbildung 6: BIP-Wachstum und Endenergieverbrauch im WEM-Szenario und WAM-plus-Szenario



Q: WIFO-Berechnungen.

Das WAM-plus-Szenario bildet somit eine Kombination von Maßnahmen ab, die eine absolute Entkoppelung des Energieverbrauches bei gleichzeitig wachstumstreibenden Faktoren in allen Bereichen der Wirtschaft bewirken (Abbildung 6).

5. Schlussbemerkungen

Um die Ziele der internationalen Klimapolitik nach der UNO-Klimakonferenz in Paris 2015 ("COP21") zu erreichen, bedarf es eines umfangreichen klima- und energiepolitischen Maßnahmenbündels, wie es für die österreichische Wirtschaft exemplarisch im vorliegenden WAM-plus-Szenario ("with additional measures") abgebildet wurde. Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit können demnach gemeinsam gefördert werden, wenn alle Akteure das Ziel einer weltweiten Verringerung der Treibhausgasemissionen konsistent verfolgen. Wesentliche Treiber dieser Wirtschaftsdynamik sind eine Erhöhung der CO₂-Preise und die dadurch ausgelöste Zunahme der Investitionen in eine dekarbonisierte Wirtschaftsweise. In der Folge kommt auch eine Verhaltensänderung der privaten Haushalte in Bezug auf energieeffiziente Produkte in Gang.

Das hier untersuchte Szenario WAM plus deckt sich teilweise mit den Strategien der kürzlich veröffentlichten Klima- und Energiestrategie der Österreichischen Bundesregierung (BMNT – BMVIT, 2018) und quantifiziert mögliche Effekte einer Umsetzung dieser Strategie auf Wirtschaftsleistung und Energieverbrauch.

Für die tatsächliche Umsetzung eines solchen Szenarios, das die Vermeidung eines gefährlichen Klimawandels anstrebt, bedarf es über alle politischen Ressorts und auf allen föderalen Ebenen eines übergeordneten, konsistenten Ansatzes, der neben der Wirtschaftlichkeit gleichermaßen die Klimaverträglichkeit von Investitionen und Infrastrukturmaßnahmen garantiert. Eine internationale CO₂-Preispolitik ist dabei ein zentrales Instrument, um sowohl Verzerrungen der internationalen Wettbewerbsfähigkeit zu verhindern als auch klimafreundliches Handeln von Haushalten zu stimulieren.

6. Literaturhinweise

- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT), Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), #mission2030. Die Klima- und Energiestrategie der Österreichischen Bundesregierung, Wien, 2018.
- Europäische Kommission, Energy Roadmap 2050, (COM2011) 885, Luxemburg, 2012, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Genf, 2014, S. 151ff.
- International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2016, Paris, 2016.
- Kratena, K., Meyer, I., Sommer, M., "Long-term Climate Mitigation and Energy Use in Austria – The Impact of Carbon and Energy Prices", in Kreiser, L., Andersen, M. S., Olsen, B. E., Speck, St., Milne, J. E., Ashiabor, H. (Hrsg.), "Carbon Pricing: Design, Experiences and Issues", Critical Issues in Environmental Taxation, 2015, (15), S. 127-140, http://dx.doi.org/10.4337/9781785360237_00021.
- Kratena, K., Sommer, M., "Model Simulations of Resource Use Scenarios for Europe", WWWforEurope Deliverable, 2014, (5), <https://www.wifo.ac.at/www/pubid/47503>.
- Kratena, K., Sommer, M., Eysin, U., Rose, K., Energieszenarien 2050. Herausforderungen an die österreichische Energiewirtschaft, WIFO, Wien, 2014, <https://www.wifo.ac.at/www/pubid/47185>.
- Meyer, I., Sommer, M., Kratena, K., Energy Scenarios 2050 for Austria, WIFO und CESAR, Wien, 2018, <https://www.wifo.ac.at/www/pubid/61089>.
- Sommer, M., Kratena, K., "The Carbon Footprint of European Households and Income Distribution", Ecological Economics, 2017, 136, S. 62-72, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800916303627>.
- Sommer, M., Kratena, K., Meyer, I., Kirchner, M., Energieszenarien 2030/2050: Energieökonomische Auswirkungen der Realisierung von Effizienzpotenzialen in Industrie und Haushalten, WIFO, Wien, 2017, <https://www.wifo.ac.at/www/pubid/60784>.
- Umweltbundesamt, Energie- und Treibhausgasszenarien im Hinblick auf 2030 und 2050, Wien, 2017, http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/publikationen/publikationssuche/publikationsdetail/?pub_id=2250.