

Energie und Klimaschutz: Einige grundsätzliche Betrachtungen

Andreas Veigl

DI Andreas Veigl, Untere Weißgerberstraße 10, 1030 Wien. Tel: +43 650 501 54 65.
E-Mail: info@andreasveigl.at; Web: www.andreasveigl.at

Kurzfassung: In diesem Beitrag werden einige grundsätzliche Überlegungen angestellt, welche Pfade bei Energiewende und Klimaschutz in Österreich eingeschlagen werden können, um einen fairen Beitrag zur Begrenzung der globalen Klimaerwärmung im Sinne des Paris Agreements zu leisten. Die Analyse zeigt, dass historisch das Wirtschaftswachstum den deutlichste Treiber der steigenden Energieverbräuche und CO₂-Emissionen darstellt, die durch Verbesserungen der Energie- und Kohlenstoffintensitäten bei weitem nicht kompensiert werden können. Legte man die höchsten in einem Fünfjahreszeitraum seit 1970 erzielten Verbesserungsraten an, blieben notwendige Emissionsziele bis 2050 selbst bei mäßigem BIP-Wachstum unerreichbar. Das liefert Argumente dafür, die Konzentration auf Wachstum zu hinterfragen und Energiewende sowie Klimaschutz nicht ausschließlich als technische Aufgabe zu begreifen.

Keywords: Klimaschutz; Kaya-Dekomposition; Energieintensität; Kohlenstoffintensität

1 Einleitung

Zur Begrenzung der negativen Folgen des globalen Klimawandels müssen die Emissionen von Treibhausgasen (THG) dramatisch gesenkt werden. Laut Empfehlung des IPCC müssen Industriestaaten ihre Emissionen von Treibhausgasen (THG) bis 2050 gegenüber 1990 um 80 bis 95 Prozent senken. Das ist in etwa gleichbedeutend mit der im *Paris Agreement* formulierten Übereinkunft zur Dekarbonisierung bis Mitte des 21. Jahrhunderts.

In diesem Beitrag werden einige grundsätzliche Überlegungen angestellt, welche Pfade bei Energiewende und Klimaschutz in Österreich eingeschlagen werden können, um das Energiesystem bis 2050 zu dekarbonisieren und damit einen fairen Beitrag zur Begrenzung des Klimawandels zu leisten und nicht zuletzt die international eingegangene Verpflichtung des *Paris Agreements* zu erfüllen.

Den mit Abstand größten Anteil an den THG-Emissionen Österreichs machen energiebezogene CO₂-Emissionen aus, 2013 beträgt ihr Anteil 85 % (Umweltbundesamt 2015). Damit entspricht die Reduktion dieser Emissionen auf null eine Reduktion der gesamten THG-Emissionen auf rund 15 % des Niveaus von 1990.

Im Folgenden werden historische Trends seit 1970 bzw. 1990 bis 2013 analysiert, um Hinweise für mögliche Entwicklungen bis 2050 abzuleiten.

2 Analyse historischer Trends

Im ersten Schritt werden, einer Analyse von Handrich et al. (2015) folgend, die Trajektorien dieser CO₂-Emissionen, des Bruttoinlandsverbrauchs von Primärenergie (BIV) und des fossilen Primärenergieverbrauchs in Bezug auf die Wirtschaftsentwicklung der letzten 25 Jahre aufgezeichnet, siehe Abbildung 1.

Wie in allen folgenden Betrachtungen werden die Energieverbrauchswerte der Energiebilanz 2015 entnommen (Statistik Austria 2015a), die Emissionen aus Umweltbundesamt (2015) und die Wirtschaftsentwicklung aus Zeitreihen der Statistik Austria und des WIFO (zitiert nach WKO 2015). Als Bevölkerungsstatistik wird Statistik Austria (2015c) herangezogen.

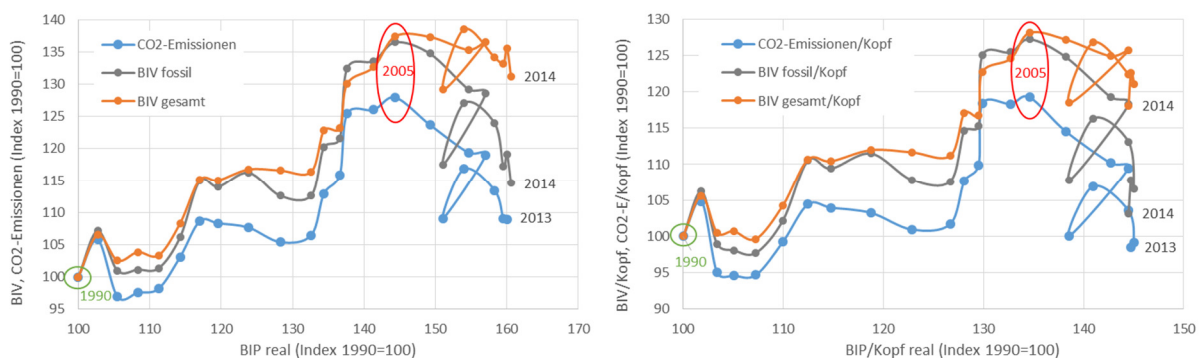


Abbildung 1: Trajektorien des Bruttoinlandsverbrauchs (BIV gesamt), des Bruttoinlandsverbrauchs an fossiler Energie (BIV fossil) und der CO₂-Emissionen in Österreich gegenüber dem realen BIP, 1990-2014. Links: Entwicklung der absoluten Werte. Rechts: Entwicklung der Pro-Kopf-Werte. Quelle: Eigene Darstellung

Es ist offensichtlich, dass der Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen bis 2005 stark ansteigen. Erst ab dann findet eine gewisse Entkopplung statt, die im Wesentlichen auf den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien zurückgeht, der gesamte Primärenergiebedarf sinkt nur leicht, während sein fossiler Anteil deutlich abnimmt.

2.1 Dekomposition der energiebedingten CO₂-Emissionen

Die Dekomposition der energiebedingten CO₂-Emissionen gemäß der Kaya-Dekomposition ist eine in der Literatur häufige angewendete Methode (vgl. Raupach et al. 2007, Blanco et al. 2014 oder Sussams et al. 2015). Dabei werden die Veränderungen der Emissionen in die Effekte der Entwicklungen von Bevölkerungszahl, Pro-Kopf-BIP, Energieintensität des BIP und die CO₂-Intensität des Energieverbrauchs zerlegt. Die Kaya-Identität ist eine spezielle Formulierung der allgemeinen IPAT-Identität (Ehrlich & Holdren 1971), die beschrieben wird als

$$I = P \times A \times T$$

Sie drückt aus, dass sich die Auswirkungen anthropogenen Handelns auf die natürliche Umwelt (*Impact*, I) aus einer Multiplikation der Größe der Bevölkerung (*Population*, P), ihres Wohlstands (*Affluence*, A) und der eingesetzten Technologien (*Technology*, T) errechnet. Das bedeutet, dass etwa ein Sinken eines der drei Terme P, A oder T, ceteris paribus, ein proportionales Sinken des Impacts I zur Folge hat.

- I steht dabei für eine Umweltauswirkung. Inhaltlich ist I nicht festgelegt, beliebige „Pressures“ können damit ausgedrückt werden, seien es Entnahmen von Rohstoffen oder Emissionen in die natürliche Umwelt.

- P steht in der Regel für die Größe der Bevölkerung.
- A kann je nach Anwendungsfall sehr unterschiedlich repräsentiert sein, meist wird er als BIP/Kopf ausgedrückt.
- Der Term T kann eine Vielfalt von von Triebkräften ausdrücken. Generell beschreibt er, wie stark der Einfluss menschlichen Handelns auf die natürliche Umwelt pro Kopf und Geldeinheit ist, beschreibt also die Art und Weise, wie die Gesellschaft konsumiert bzw. produziert.

In der Ausformulierung von IPAT als Kaya- Identität werden als Impact I die energiebezogenen CO₂-Emissionen modelliert in Abhängigkeit der Bevölkerungszahl P und des Pro-Kopf-BIP als Affluence A. Der Technologie-Term T wird in eine Komponente der Energieintensität des BIP und eine CO₂-Intensität des Energieverbrauchs aufgespalten:

$$CO_2\text{Emissionen} = \text{Bevölkerungszahl} \times \frac{BIP}{\text{Bevölkerungszahl}} \times \frac{BIV}{BIP} \times \frac{CO_2\text{Emissionen}}{BIV}$$

Bzw., abgekürzt:

$$CE = P \times A \times EI \times CI$$

Darin ist

CE	Energiebezogene CO ₂ -Emissionen in t pro Jahr
P	Bevölkerungszahl in Mio.
A	Pro-Kopf-BIP in EUR/Kopf
EI	Primärenergieintensität des BIP in MJ/EUR
CI	Kohlenstoffintensität des Primärenergieverbrauchs in t CO ₂ / TJ

Die Dekomposition wird nach der Logarithmic Mean Divisia Index Methode (LMDI) durchgeführt. Sie hat den Vorteil, dass kein unerklärter Residualterm verbleibt (vgl. Ang & Liu 2001 bzw. Ang 2005). Die Differenz zwischen den CO₂-Emissionen zum Zeitpunkt T und dem Startpunkt 0 kann in der additiven LMDI-Dekomposition angesetzt werden als Summe von

$$\Delta CE_{gesamt} = CE_T - CE_0 = \Delta CE_P + \Delta CE_A + \Delta CE_{EI} + \Delta CE_{CI}$$

mit den Summanden

$$\begin{aligned} \Delta CE_P &= \frac{CE_T - CE_0}{\ln CE_T - \ln CE_0} \times \ln \left(\frac{P_T}{P_0} \right) && \text{Effekt der Befölkerungsänderung} \\ \Delta CE_A &= \frac{CE_T - CE_0}{\ln CE_T - \ln CE_0} \times \ln \left(\frac{A_T}{A_0} \right) && \text{Effekt der Veränderung des Pro-Kopf-BIP} \\ \Delta CE_{EI} &= \frac{CE_T - CE_0}{\ln CE_T - \ln CE_0} \times \ln \left(\frac{EI_T}{EI_0} \right) && \text{Effekt der Veränderung der Energieintensität} \\ \Delta CE_{CI} &= \frac{CE_T - CE_0}{\ln CE_T - \ln CE_0} \times \ln \left(\frac{CI_T}{CI_0} \right) && \text{Effekt der Veränderung der CO}_2\text{-Intensität} \end{aligned}$$

Die Dekomposition erfolgt dabei jeweils für die Phasen 1990-2005 und 2005-2013, da sich diese Phasen wie beschrieben deutlich voneinander unterscheiden.

Das Ergebnis in Abbildung 2 zeigt, dass das Pro-Kopf-BIP mit einem Anstieg von 42 % im Zeitraum 1990-2013 den höchsten Beitrag zum Anstieg der CO₂-Emissionen liefert, die Bevölkerungszunahme weitere 12 %; diese Effekte können durch die Verbesserung der

gesamtwirtschaftlichen Energieintensität und der Reduktion der CO₂-Emissionen des Primärenergiebedarfs nicht kompensiert werden. Dabei unterscheiden sich die beiden Phasen deutlich:

- 1990-2005 steigen die Emissionen aufgrund des BIP-Wachstums um fast 34 %, durch die wachsende Bevölkerung um weitere 8 %, jeweils bezogen auf 1990. Diese Effekte können durch die Verbesserung der Primärenergieintensität des BIP und die Kohlenstoffintensität des Primärenergieverbrauchs bei weitem nicht kompensiert werden, die Emissionen steigen um 28 %.
- 2005-2013 erfolgt eine gewisse Trendwende: Die Emissionen sinken, erreichen jedoch 2013 ein Niveau das 9 % über jenem von 1990 liegt. Die beschleunigte Substitution fossiler mit erneuerbaren Energieträgern führt zu einer Senkung der CO₂-Emissionen um 17 % relativ zu 2005, während die die Energieintensität des BIP eine Reduktion um knapp 14 % bewirkt. Die Effekte der deutlich niedrigeren BIP-Wachstumsraten in diesem Zeitraum und der wachsenden Bevölkerung können damit deutlich überkompensiert werden.
- Während seit dem Jahr 2005, dem „all-time-high“ der CO₂-Emissionen eine absolute Entkopplung vom BIP nachgewiesen werden kann, ist die für den längere Zeitraum seit 1970 nicht möglich.

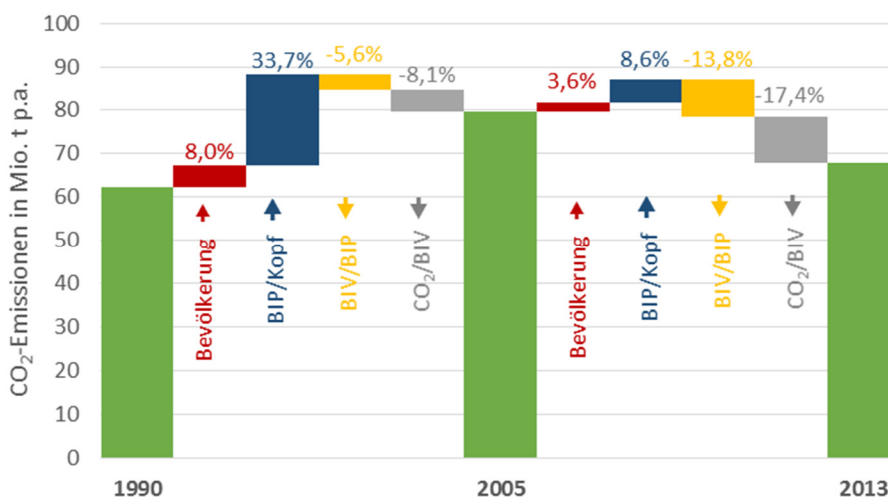


Abbildung 2: Kaya-Dekomposition der CO₂-Emissionen 1990-2005 und 2005-2013 in Effekte der Faktoren Bevölkerung, reales Pro-Kopf-BIP (BIP/Kopf), Primärenergieintensität des BIP (BIV/BIP) und CO₂-Intensität des Primärenergieverbrauchs (CO₂/BIV). Prozentsätze bezogen auf 1990. Quelle: Eigene Darstellung.

2.2 Historisch beobachtete Veränderungsdaten

Im nächsten Schritt werden die historischen Veränderungsdaten der einzelnen Komponenten der Kaya-Identität analysiert. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Veränderung des Pro-Kopf-BIP und die technischen Faktoren der Primärenergieintensität des BIP und die CO₂-

Intensität des Primärenergieverbrauchs gelegt. Außerdem wird der Beobachtungszeitraum auf 1970 bis 2013 ausgeweitet¹. Abbildung 3 zeigt die Entwicklungen.

Für die einzelnen Komponenten werden jeweils die Maxima und Minima, die Mittelwerte und die maximalen und minimalen 5-Jahres-Mittelwerte gebildet. Letztere deswegen, da für längerfristige Trends in der folgenden Szenariobildung weniger die maximal beobachtete Veränderungen einer Komponente in einem einzelnen Jahr aussagekräftig ist, sondern Veränderungsraten, die für einen etwas längeren Zeitraum aufrechterhalten werden können.

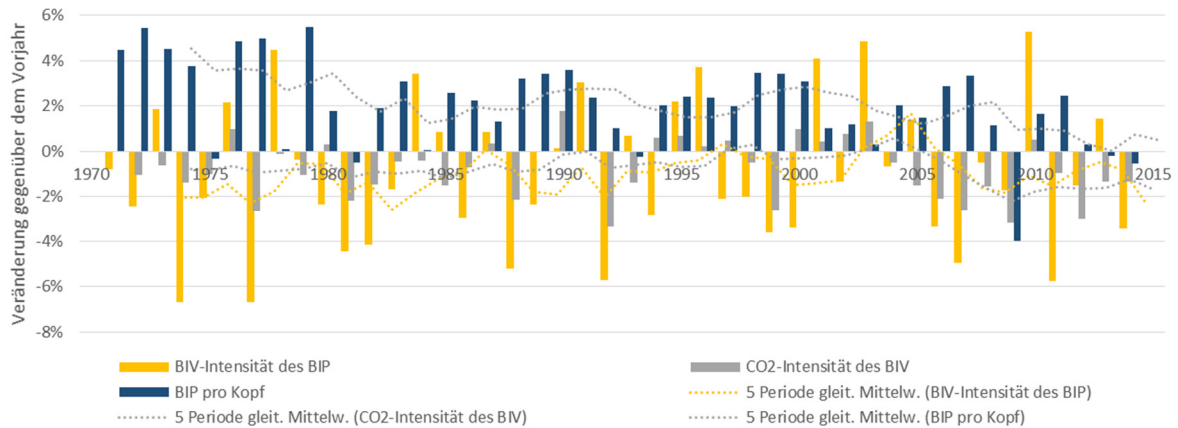


Abbildung 3: Jährliche Veränderungen der Primärenergieintensität des BIP, der CO₂-Intensität des Primärenergieverbrauchs und des Pro-Kopf-BIP, 1970-2013. Quelle: Eigene Darstellung

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt: Es zeigt sich, dass im langjährigen Schnitt Verbesserungen der Energieintensität (PEV/BIP) von nur -1,0 % p.a. erreicht wurden – die beste in einem Fünfjahreszeitraum erreichte Intensitätsreduktion liegt bei -2,2 % p.a. Ähnlich das Bild für die CO₂-Emissionsintensität des Primärenergieverbrauchs (CO₂/PEV): im Mittel sinkt sie um -0,8 % p.a. mit dem besten 5-Jahres-Mittel bei -2,6 % p.a.

Tabelle 1: Veränderungsdaten in % pro Jahr der einzelnen Parameter im Zeitraum 1970-2013. Quelle: Eigene Berechnungen

	BIP/Kopf	PEV/BIP	CO ₂ /PEV	CO ₂
Max	5,5%	5,3%	1,8%	7,9%
Min	-4,0%	-6,7%	-3,4%	-8,5%
Mittelwert	2,1%	-1,0%	-0,8%	0,6%
Max. 5-Jahres-Mittel	3,6%	1,7%	0,6%	3,5%
Min. 5-Jahres-Mittel	0,0%	-2,6%	-2,2%	-2,6%

¹ Die CO₂-Emissionen für die Jahre vor 1990 werden abgeschätzt anhand der Primärenergieverbräuche (Statistik Austria 2015a) und mittleren Emissionsfaktoren, abgeleitet aus Umweltbundesamt (2014).

3 Szenarien für die Zukunft

Im letzten Schritt werden einige Szenarien für die Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen bis 2050 betrachtet. Dazu werden Annahmen zu unterschiedlichen Entwicklungen für die Komponenten der Kaya-Identität angenommen bzw. kalkuliert, die einen Fächer möglicher Entwicklungen aufspannen.

Auf Basis aktueller Zahlen würde die Erreichung des Ziels einer Senkung der THG-Emissionen um 80 bis 95 % bis 2050 bedeuten, dass die CO₂-Emissionen auf Null reduziert und das Energiesystem damit de facto vollständig dekarbonisiert werden müsste, da 2013 die Emissionen von CH₄ und N₂O in der Landwirtschaft² und die Emissionen von F-Gasen über 10 Mio. t_{CO₂-eq} und damit über 13 % der THG-Emissionen bezogen auf 1990 ausmachen. Nur in dem Ausmaß, in dem auch Emissionen anderer THG als CO₂ reduziert werden, könnten daher 2050 energiebezogene CO₂-Emissionen im System verbleiben.

3.1 Annahmen

Die Annahmen für die Szenarien sind in Tabelle 2 dargestellt und setzen sich wie folgt zusammen:

- Die Szenarien 1 bis 4 sind explorative Szenarien: Unter der Annahme, wie sich einzelne Komponenten bzw. Treiber entwickeln, werden Pfade der CO₂-Emissionen bis 2050 abgeschätzt.
- Szenario 5 und 6 sind Zielszenarien: Hier werden die Intensitätsentwicklungen³ so weit verändert, dass sich die energiebedingten CO₂-Emissionen auf ein Minimum reduzieren. Dabei wird angenommen, dass 2050 die energiebedingten Emissionen bis auf einen Rest von 2 Mio. t CO₂ abnehmen, der auf die energetische Nutzung nicht-erneuerbarer Abfälle zurückgeht (vgl. Veigl 2015).
- Allen Szenarien gemeinsam ist die angenommene Bevölkerungsentwicklung. Gemäß der Hauptvariante der Bevölkerungsprognose 2015 der Statistik Austria wird davon ausgegangen, dass die österreichische Wohnbevölkerung von 8,45 Mio. im Jahr 2013 auf 9,63 Mio. im Jahr 2050 steigt (Statistik Austria 2015b); das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 0,35 % p.a.
- Für das Bruttoinlandsprodukt wird einerseits in Szenario 1 und 2 ein Wachstum des pro-Kopf-BIP in der Höhe des Durchschnitts der Jahre 1970-2013 angenommen, das sind 1,62 % pro Jahr; das entspricht einer durchschnittlichen BIP-Wachstumsrate von knapp 2 % pro Jahr; andererseits wird das Pro-Kopf-BIP in Szenario 3 und 4 bis 2050 konstant gehalten, das BIP steigt also im Ausmaß der Bevölkerungszuwachses.
- Für die Primärenergieintensität werden ebenfalls zwei Varianten betrachtet: In Szenario 1 und 2 wird von einer Veränderung von -0,72 % p.a. ausgegangen, das entspricht dem Mittelwert der Verbesserung im Zeitraum 1990-2013. Szenario 3 und 4

² Zuzüglich „Sonstige“, siehe Statistik Austria (2015)

³ In den Szenarien 5 und 6 werden Energie- und CO₂-Intensität zusammengefasst, d.h. nicht zwischen den Möglichkeiten Energieeffizienz und CO₂-ärmeren Energieträgern differenziert, weil die Verfügbarkeit erneuerbarer Energiepotenziale nicht berücksichtigt wird. Dies erfolgt erst im nächsten Schritt.

bilden eine Intensitätsverbesserung von -2,2 % p.a. ab, das ist die günstigste 1970-2013 beobachtete Rate über einen Fünfjahreszeitraum.

- Die Reduktion der Kohlenstoff-Intensität des Primärenergieverbrauchs orientiert sich ebenfalls an den historischen Werten: Szenario 1 und 2 enthalten wieder den historischen Durchschnitt 1990-2013 von -0,95 % p.a., die Szenarien 3 und 4 die maximalen in einem Fünfjahreszeitraum von 1970-2013 erreichten Reduktionsraten von 2,6 % p.a.

Tabelle 2: Veränderungsraten der Komponenten der Kaya-Identität in den Szenarien bis 2050 in Prozenten pro Jahr. Quelle: Eigene Berechnungen

Szenario	Bev. % p.a.	BIP/Kopf % p.a.	BIV/BIP % p.a.	CO ₂ /BIV % p.a.	CO ₂ % p.a.	CO ₂
1	0,35%	1,62%	-0,72%	-0,95%	0,29%	
2	0,35%	0,00%	-0,72%	-0,95%	-1,31%	
3	0,35%	1,62%	-2,20%	-2,60%	-2,86%	
4	0,35%	0,00%	-2,20%	-2,60%	-4,41%	
5	0,35%	1,62%	-10,85%		-9,08%	
6	0,35%	0,00%	-9,40%		-9,08%	
	Mio.	EUR/Kopf	MJ/EUR	t/TJ	Mio. t	gg. 1990
1	9,63	65.661	3,57	33,42	75,42	+21%
2	9,63	36.226	3,57	33,42	41,61	-33%
3	9,63	65.661	2,05	17,93	23,20	-63%
4	9,63	36.226	2,05	17,93	12,80	-79%
5	9,63	65.661	-10,85%		2,00	-97%
6	9,63	36.226	-9,40%		2,00	-97%

3.2 Ergebnisse

Mit den beschriebenen Annahmen ergeben sich in den Szenarien folgende Entwicklungen, die in Tabelle 2 und Abbildung 4 dargestellt sind:

- In Szenario 1, in dem sämtliche Trends des Zeitraums 1990-2013 bis 2050 fortgeschrieben werden, ergeben sich steigende CO₂-Emissionen um +21 % gegenüber 1990.
- Szenario 2 unterscheidet sich von Szenario 1 durch das verringerte Wirtschaftswachstum. Das Ergebnis zeigt zwar sinkende CO₂-Emissionen, jedoch nehmen sie bis 2050 nur um 33 % gegenüber 1990 ab.
- Mit der historischen BIP-Wachstumsrate aber deutlich höheren Verbesserungsrate der Intensitäten ergeben sich in Szenario 3 deutlich sinkende Emissionen; insgesamt nehmen sie um 63 % gegenüber 1990 ab.
- Demgegenüber sinken die Emissionen in Szenario 4 mit niedriger BIP-Wachstumsrate um 79 % gegenüber 1990, das Ziel wird dennoch deutlich nicht erreicht.
- In den Zielszenarien 5 und 6, in denen die Emissionen annahmegemäß bis 2050 auf 2 Mio. t CO₂ sinken, müsste diese 2013 bis 2050 im Jahresschnitt um über 9 % sinken. Die Verbesserungsrate der Intensitäten müssten – zusammengefasst – jährlich durchschnittlich -10,85 % bzw. -9,40 % betragen, je nach angenommener

Wirtschaftsentwicklung. Beides sind Werte, die im Zeitraum 1970 bis 2013 in keinem einzigen Jahr – geschweige denn über einen längeren Zeitraum – erreicht wurden.

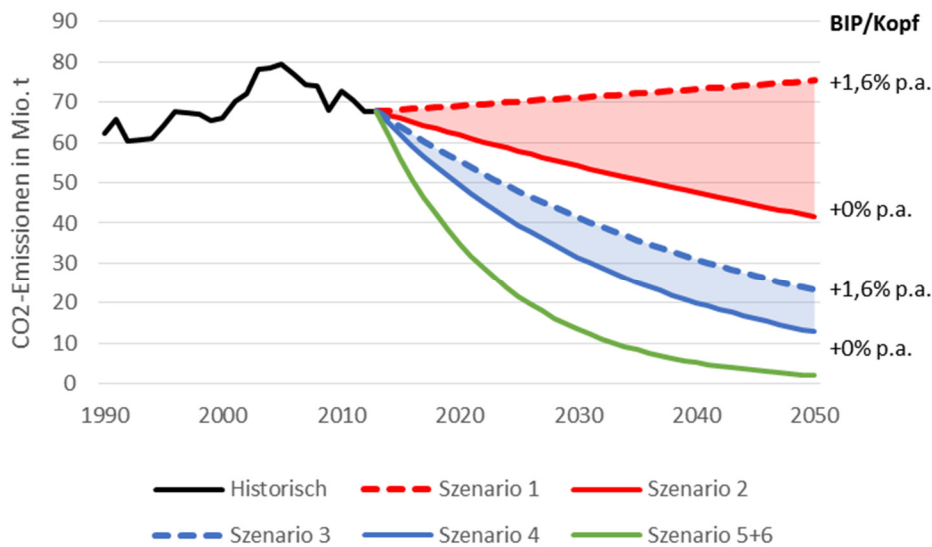


Abbildung 4: Szenarien für die Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen. Rot: dargestellt mit historischen Mittelwerten der Intensitätsverbesserungsraten, blau mit den maximal beobachteten 5-Jahres-Durchschnitten. Grün: Entwicklung in den Zielszenarien. Farblich unterlegt ist der Bereich eines Wachstums des Pro-Kopf-BIP zwischen 0 % p.a. und dem historischen Durchschnitt von 1,62 % p.a. Quelle: Eigene Darstellung.

Anhand der Szenarienergebnisse ist bereits ersichtlich, dass in den nächsten 35 Jahren jedenfalls deutlich höhere Raten für die Senkung der Energieintensität des BIP (= Entkopplung) und der Umstellung der Energieversorgung von fossilen auf erneuerbare Energieträger (= Substitution) erzielt werden müssen, als über längere Zeiträume in der Vergangenheit seit 1970.

3.3 Entkopplung und Substitution

Versucht man diese beiden Effekte zu separieren, so muss eine Annahme über die verfügbare erneuerbare Primärenergie in Österreich im Jahr 2050 getroffen werden. Zur Abschätzung dieser Größe werden Szenariostudien von Bliem et al. (2011), Christian et al. (2011) und Streicher et al. (2010) herangezogen, die auch im Österreichischen Sachstandsbericht Klimawandel (vgl. Stagl et al. 2014) analysiert wurden. Zusätzlich wird auf Veigl (2015) zurückgegriffen, wo auf Basis eben dieser Studien Abschätzungen für die ökologisch nachhaltigen Primärenergiepotenziale getroffen werden. Alle diese Studien gehen davon aus, dass der Energiebedarf Österreichs 2050 de facto vollständig auf Basis erneuerbarer Energieträger gedeckt werden und dieser Jahresbedarf an erneuerbarer Primärenergie bilanziell in Österreich aufgebracht werden kann. Dabei stellen die Studien im Wesentlichen energetische Mengen-, jedoch keine Leistungsbilanzen auf.

Der Quervergleich zwischen diesen Arbeiten zeigt, dass technische Potenziale für erneuerbare Primärenergie von bis zu 1.300 PJ gesehen werden, 2050 als nutzbar werden erneuerbare Primärenergieträger in der Größenordnung von max. 700 bis 950 PJ gehalten. Die verglichenen Szenarienergebnisse weisen dabei eine Häufung der Obergrenze zwischen

700 und 800 PJ auf und ergeben sich nicht zuletzt auch aufgrund verschiedener technologischer Pfade in der Energieaufbringung⁴.

Um 2050 das Ziel von nur mehr 2 Mio. t energiebedingter CO₂-Emissionen zu erreichen, muss nun der Primärnergieverbrauch so weit gesenkt werden, dass er mit den verfügbaren erneuerbaren Primärenergien und den restlichen im System verbleibenden nicht-erneuerbaren Abfällen, gedeckt werden kann. Tabelle 3 zeigt die Mengenverhältnisse, die Zeile „BIV gesamt“ enthält dabei die maximal verfügbare Primärenergie 2050 und damit auch den Zielwert des Bruttoinlandsverbrauchs.

Tabelle 3: Varianten von Primärenergieaufbringung und -verbrauch 2050 und der daraus resultierenden durchschnittlichen Veränderungsraten. Quelle: Eigene Berechnungen

		2013	2050	2050	2050	2050
BIV erneuerbar	PJ	417	700	800	900	1.000
BIV fossil	PJ	964	30	30	30	30
BIV gesamt	PJ	1381	730	830	930	1030
Veränderung 2013-2050 erneuerbar	% p.a.		1,4%	1,8%	2,1%	2,4%
Veränderung 2013-2050 fossil	% p.a.		-9,0%	-9,0%	-9,0%	-9,0%
Veränderung 2013-2050 gesamt	% p.a.		-1,7%	-1,4%	-1,1%	-0,8%

Damit ergeben sich in Abhängigkeit der BIP-Entwicklung und des 2050 abdeckbaren Bruttoinlandsverbrauch die in Tabelle 4 dargestellten notwendigen Reduktionsraten der Primärenergieintensität und der Kohlenstoffintensität:

- Bei einer Wachstumsrate des Pro-Kopf-BIP von 1,62 % p.a. (Szenario 5) müsste die CO₂-Intensität des BIP jährlich um knapp 11 % gesenkt werden.
 - Je nach verfügbarer erneuerbarer Primärenergiemenge – und damit maximal möglichem Bruttoinlandsverbrauch – liegt die notwendige Reduktion der Primärenergieintensität zwischen 2,8 und 3,7 % pro Jahr. Zum Vergleich: Die 1970-2013 in einem 5-Jahres-Zeitraum maximal beobachtete Rate beträgt 2,6 % p.a. Es müsste also in den nächsten 35 Jahren eine durchschnittliche Effizienzsteigerung erreicht werden, wie sie in den vergangenen 45 Jahren durch keinen 5-Jahreszeitraum hindurch beobachtet werden kann.
 - Selbiges zeigt sich punkto Senkung der Kohlenstoffintensität der Primärenergie: Die notwendigen jährlichen Raten zwischen 7,4 und 8,3 % p.a. liegen sogar mehr als doppelt so hoch wie die im besten Einzeljahr zwischen 1970 und 2013 erreichte.
- Unter der Annahme, dass das Pro-Kopf-BIP im Zeitraum 2013 bis 2050 konstant bleibt (Szenario 6) wäre eine Reduktion der CO₂-Intensität des BIP um 9,4 % p.a. erforderlich.
 - Die Primärenergieintensität des BIP müsste zwischen 1,2 und 2,1 % jährlich abnehmen. Diese Werte liegen innerhalb der Bandbreite zwischen dem

⁴ Die Werte stimmen in ihrer Höhe auch gut mit den Ergebnissen aus Haas et al. (2008) überein, wo ökonomische Analysen und Szenarien zur künftigen Bedeutung verschiedener nachhaltiger Energietechnologielinien entwickelt werden, die Technologie-Interaktionen, Lerneffekte und exogene Einflussgrößen mit berücksichtigen.

beobachteten Mittelwert 1970-2013 und dem besten Wert in einem 5-Jahres-Zeitraum innerhalb dieses Intervalls. Damit scheint dieses Erfordernis wesentlich einfacher realisierbar.

- Die Dekarbonisierung des Primärenergieverbrauchs müsste jedoch mit den gleich hohen Raten erfolgen wie in der oberen Variante.

Tabelle 4: Notwendige Verbesserungsraten der Energie- und CO₂-Intensität zur Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen auf 2 Mio. t im Jahr 2050. Variiert wird dabei die Wachstumsrate des Pro-Kopf-BIP und die 2050 nutzbare erneuerbare Primärenergie.

Szenario	BIP/Kopf	BIV erneuerb.	BIV/BIP	CO ₂ /BIV	CO ₂ /BIP
	% p.a.	PJ	% p.a.	% p.a.	% p.a.
5	1,62%	700	-3,70%	-7,42%	-10,85%
		800	-3,37%	-7,74%	
		900	-3,07%	-8,03%	
		1000	-2,80%	-8,28%	
6	0,00%	700	-2,14%	-7,42%	-9,40%
		800	-1,80%	-7,74%	
		900	-1,50%	-8,03%	
		1000	-1,23%	-8,28%	

4 Schlussfolgerungen

In diesem Beitrag wird versucht, anhand der Analyse historischer Daten prinzipiell mögliche Pfade für die Dekarbonisierung des österreichischen Energiesystems bis 2050 auszuloten.

Es kann gezeigt werden, dass der Zeitraum 1990 bis 2013 in zwei Phasen zerfällt: 1990 bis 2005 ist durch ein Ansteigen sowohl des Bruttoinlandsverbrauchs von Primärenergie als auch der energiebedingten CO₂-Emissionen gekennzeichnet. Die Kaya-Dekomposition zeigt dass die in diesem Zeitraum gewachsene Bevölkerung mit einem Anstieg von 8 %, das gewachsene BIP mit fast 34 % zum Anstieg der Emissionen beitragen, jeweils bezogen auf 1990. Diese Effekte können durch die Verbesserung der Primärenergieintensität des BIP und die Kohlenstoffintensität des Primärenergieverbrauchs bei weitem nicht kompensiert werden, die Emissionen steigen um 28 %. In der Phase ab 2005 erfolgt eine gewisse Trendwende: Die Emissionen sinken, erreichen jedoch 2013 ein Niveau das 9 % über jenem von 1990 liegt. Die beschleunigte Substitution fossiler mit erneuerbaren Energieträgern führt zu einer Senkung der CO₂-Emissionen um 17 % relativ zu 1990, während die die Energieintensität des BIP eine Reduktion um knapp 14 % bewirkt. Die Effekte der deutlich niedrigeren BIP-Wachstumsraten in diesem Zeitraum und der wachsenden Bevölkerung können damit deutlich überkompensiert werden. Während also seit dem Jahr 2005, dem „all-time-high“ der CO₂-Emissionen eine absolute Entkopplung vom BIP nachgewiesen werden kann, ist dies für den längere Zeitraum seit 1970 nicht möglich.

Werden anhand historisch beobachteter Veränderungsdaten von Pro-Kopf-BIP, Primärenergieintensität (BIV/BIP) und Kohlenstoffintensität (CO₂/BIV) zusammen mit dem prognostizierten Bevölkerungszuwachs Szenarien für die Entwicklung der CO₂-Emissionen bis 2050 gebildet, so können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Selbst in Szenarien mit konstantem Pro-Kopf-BIP ist eine de-facto-Dekarbonisierung des BIV nur dann erreichbar, wenn die technischen Faktoren – also die Energie- und Kohlenstoffintensität – ceteris paribus kontinuierlich und deutlich über das historisch erzielte Maß hinaus verbessert werden können.
- Wird der Bruttoinlandsverbrauch 2050 mit dem nachhaltig verfügbaren Angebot an erneuerbarer Primärenergie (zuzüglich einer kleinen Menge verbleibender fossiler Abfälle) begrenzt, können diese Effekte in einen Effekt der Entkopplung und einen der Substitution dekomponiert werden.
- Es zeigt sich – neben dem Erfordernis hoher Ausbauraten für erneuerbare Energien und hohen Substitutionsraten fossiler Energien – das Erfordernis der massiven Senkung der Energieintensität des BIP, das umso höher ausfällt, je höher die angenommenen BIP-Wachstumsraten liegen.
- Damit erschwert ein weiteres Wachstum des Pro-Kopf-BIP die notwendige Dekarbonisierung des Energiesystems, da es Intensitätsverbesserungsraten erforderlich macht, die teilweise deutlich über die seit 1970 erreichten Werte hinausgehen müssen. Damit müssen sie auch über die während der beiden Ölkrisen der 1970 Jahre und die Hochpreisphase ab 2004 bzw. ab 2011 hinausgehen.

Daraus kann gefolgert werden, dass Energiewende und Klimaschutz nicht lediglich als technisch bzw. techno-ökonomisch zu lösendes Problem gesehen werden sollte. Selbst wenn die Energieeffizienz deutlich angehoben werden kann verbleibt die Gefahr von Reboundeffekten, die erreichte Effizienzsteigerungen durch höheres Wirtschaftswachstum und Energiemehrverbrauch wieder zunichtemachen. Das Paradigma notwendigen BIP-Wachstums stellt damit die notwendige Dekarbonisierung infrage.

Literatur und Datenquellen

Ang BM (2005). *The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide*. Energy Policy 33 (2005) 867–871

Ang BW, Liu FL (2001). *A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation*. Energy 26 (2001) 537–548

Blanco G, Gerlagh R, Suh S, Barrett J, de Coninck HC, Diaz Morejon CF, Mathur R, Nakicenovic N, Ofosu Ahenkora A, Pan J, Pathak H, Rice J, Richels R, Smith SJ, Stern DI, Toth FL, Zhou P (2014). *Drivers, Trends and Mitigation*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer O et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Bliem M, Friedl B, Balabanov T, Zielinska I, (2011). *Energie [R]evolution Österreich 2050* (Projektbericht; Studie im Auftrag von EVN, Greenpeace Zentral- und Osteuropa und Gewerkschaft vida). Institut für Höhere Studien (IHS), Wien.

Christian R, Feichtinger R, Christian R, Bolz R, Windsperger A, Hummel P, Weish P, Pfnier E, (2011). *Zukunftsfähige Energieversorgung für Österreich*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung Nr. 13/2011, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.

Eurostat (2015). *Eurostat Datenbank*. Unter <http://ec.europa.eu/eurostat/de/data/database> [30.11.2015]

Haas R, Kranzl L, Müller A, Corradini R, Zotz M, Frankl P, Menichetti E (2008). *Szenarien der gesamtwirtschaftlichen Marktchancen verschiedener Technologielinien im Energiebereich*. Wien

Handrich L, Kemfert C, Mattes A, Pavel F, Traber T (2015). *Turning Point: Decoupling Greenhouse Gas Emissions from Economic Growth*. Published by Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin.

Raupach MR, Marland G, Ciais P, Le Quéré C, Canadell JG, Klepper G, Field CB (2007). *Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions*. Proceedings of the National Academy of Sciences 104, 10288–10293

Stagl S, Schulz N, Kratena K, Mechler R, Pirgmaier E, Radunsky K, Rezai A, Köppl A (2014). *Transformationspfade*. In: *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14)*. Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, S. 1025–1076.

Statistik Austria (2015a). *Energiebilanzen Österreich 1970-2014*, Wien.

Statistik Austria (2015b). *Pressemitteilung: 11.159-219/15*. Unter http://www.statistik.at/web_de/presse/105677.html [30.11.2015]

Statistik Austria (2015c): *Jahresdurchschnittsbevölkerung seit 1952 nach Bundesland. Statistik des Bevölkerungsstandes*. Erstellt am 11.06.2015. Wien

Streicher W, Haas R, Hausberger S, Oblasser S, Schnitzer H, Steininger KW, Tatzber F, Titz M, Heimrath R, Kalt G, Damm A, Wetz I (2010). *Energieautarkie für Österreich 2050*

(Feasibility Study, Endbericht No. B068644, abgewickelt über den Klima- und Energiefonds.)
im Auftrag des österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und
Wasserwirtschaft (Lebensministerium), Wien.

Sussams L, Leaton J, Drew T (2015). *Lost in Transition: How the energy sector is missing
potential demand destruction*. Carbon Tracker Initiative, London

Umweltbundesamt (2014). Austria's National Inventory Report – Submission under the United
Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol

Umweltbundesamt (2015). *Emissionstrends 1990–2013 – Ein Überblick über die Verursacher
von Luftschadstoffen in Österreich (Datenstand 2015)*. Report REP-0543, Wien

Veigl A (2015). *Energiezukunft Österreich. Szenario für 2030 und 2050*. Im Auftrag von
GLOBAL 2000, Greenpeace und WWF

WKO (2015). *BIP und Wirtschaftswachstum*. Aktualisierung: August 2015