



# MAGISTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Magisterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Die Umwelt-Kuznets-Kurve für CO<sub>2</sub> Emissionen – eine  
Paneldatenanalyse“

verfasst von / submitted by

Thomas Moser, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of  
Magister der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften (Mag. rer. soc. oec.)

Wien, 2022 / Vienna 2022

Studienkennzahl lt. Studienblatt /  
degree programme code as it appears on  
the student record sheet:

UA 066 951

Studienrichtung lt. Studienblatt /  
degree programme as it appears on  
the student record sheet:

Magisterstudium Statistik

Betreut von / Supervisor:

ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Erhard Reschenhofer



## Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung .....	1
2. Theoretische Grundlagen .....	2
2.1 Einführung .....	2
2.2 Erklärungen für die EKC .....	3
2.2.1 Scale Effect .....	3
2.2.2 Composition Effect .....	3
2.2.3 Technique Effect .....	4
2.3 Ökonometrisches Modell .....	5
3. Analyse .....	7
3.1 Daten und Modell .....	7
3.2 Stationarität und Kointegration .....	8
3.2.1 Stationarität .....	8
3.2.2 Kointegration .....	9
3.3 Ergebnisse .....	10
3.4 Ökonometrische Kritik .....	13
4. Schlussfolgerung .....	15
Abstract .....	16
Literaturverzeichnis .....	17

## Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1 – Form der EKC (Quelle: eigene Abbildung) .....	2
Abb. 2 – Spektralanalyse Österreich BIP, BIP <sup>2</sup> und BIP <sup>3</sup> .....	13
Abb. 3 – Spektralanalyse USA BIP, BIP <sup>2</sup> und BIP <sup>3</sup> .....	14

## Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1 – Resultate Stationaritätstests .....	9
Tabelle 2 – Resultate Hausmantests .....	10
Tabelle 3 – Regressionsergebnisse PR, RE, FE Modelle .....	11
Tabelle 4 – Regressionsergebnisse DOLS und FMOLS Schätzer .....	12

## 1. Einleitung

Aufgrund der weltweiten Verschlechterung der Umweltqualität haben sich viele Untersuchungen zum Ziel gesetzt, den Zusammenhang zwischen Umweltverschmutzung und wirtschaftlicher Entwicklung besser zu verstehen. Die Umwelt-Kuznets-Kurve (Environmental Kuznets Curve / EKC) Hypothese beschreibt den Zusammenhang der wirtschaftlichen Entwicklung, gemessen durch das Einkommen, und der Umweltverschmutzung mit einer inversen U-förmigen Kurve. Das heißt der Grad der Verschmutzung erhöht sich zuerst mit steigendem Einkommen bis zu einem bestimmten Level und fällt anschließend ab. Somit könnte Wachstum eventuell den Umweltschaden von wirtschaftlicher Aktivität verringern und daher keine Gefahr für die globale Nachhaltigkeit der Umwelt sein.

Die EKC ist benannt nach dem Nobelpreisträger Simon Kuznets (1955), welcher als Erster argumentierte, dass Einkommensungleichheit bis zu einem gewissen Einkommenslevel zunimmt und danach abfällt. Die dort gefundene inverse U-förmige Kurve wird nun in Zusammenhang mit Umweltverschmutzung betrachtet und trägt daher den Namen EKC. Ab Beginn der 90er Jahre, haben sich zahlreiche empirische Arbeiten damit beschäftigt, diesen Zusammenhang zwischen Verschmutzung und Einkommen zu erforschen.

In dieser Arbeit wird der Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub> Emissionen und Einkommen anhand von Paneldaten über einer Periode von 24 Jahren mit 116 Ländern untersucht. Neben dem Einkommen wird auch der Energieverbrauch pro Kopf als erklärende Variable in das Modell aufgenommen. Anhand dieses breiten Panels bestehend aus Staaten in unterschiedlichsten Entwicklungsstadien, erhoffe ich mir eine Antwort auf die Frage, ob dieser inverse U-förmige Zusammenhang zwischen Umweltverschmutzung und Einkommen existiert.

## 2. Theoretische Grundlagen

### 2.1 Einführung

Die EKC Hypothese beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Grad der Umweltverschmutzung und der ökonomischen Entwicklung eines Landes. Zuerst steigt die Umweltverschmutzung mit steigendem Einkommen, während sie ab einem gewissen Einkommenslevel wieder abnimmt. Man kann dies sowohl als Entwicklungskurve für ein einzelnes Land über die Zeit hinweg, als auch als stationären Querschnitt über mehrere Länder sehen. Die EKC wird durch eine inverse U-förmige Kurve dargestellt, auf der sich ein Wendepunkt befindet, ab welchem die Umweltverschmutzung pro Kopf mit gesteigertem Einkommen wieder abnimmt.

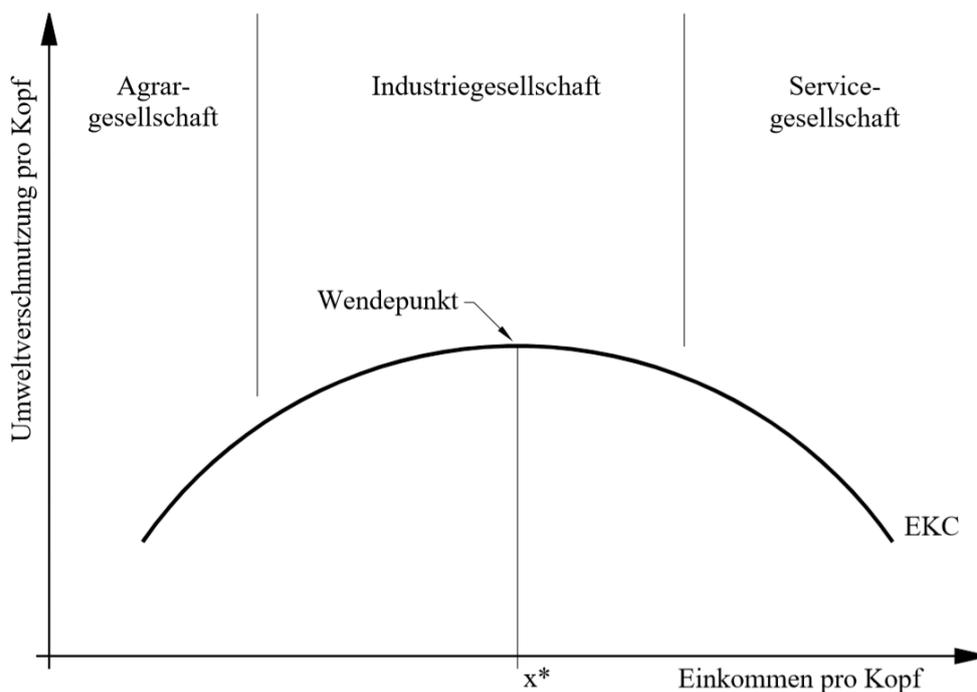


Abb. 1 – Form der EKC (Quelle: eigene Abbildung)

In Abb. 1 ist auf der vertikalen Achse die Umweltverschmutzung (z.B. jährliche Emission in kg pro Kopf) aufgetragen. Stellvertretend für den Entwicklungsstand bzw. den Wohlstand eines Staates ist das Einkommen pro Kopf auf der Horizontalen aufgetragen. Der Wendepunkt markiert, ab welchem Einkommen  $x^*$  der Grad der Umweltverschmutzung sinkt.

Für das Vorhandensein einer solchen inversen U-förmigen Kurve können mehrere Faktoren verantwortlich sein.

## 2.2 Erklärungen für die EKC

Die Qualität der Umwelt wird anhand von drei verschiedenen Kanälen durch das Wirtschaftswachstum beeinflusst. Diese werden Scale effect, Composition effect und Technique effect genannt (Grossman und Krueger, 1991).

### 2.2.1 Scale effect

Dieser Effekt sorgt für das Ansteigen der EKC und impliziert, dass bei gegebenem Input-Mix, Output-Mix und Technologiestand, der Ausstoß der Emissionen ansteigt, wenn der Produktionsausstoß erhöht wird (Stern, 2004). Die Zusammenstellung der zum Einsatz kommenden Ressourcen für die Produktion wird als Input-Mix beschrieben, während der Output-Mix die Zusammenstellung der erzeugten Güter einer Wirtschaft wiedergibt.

Der Scale effect hat einen negativen Einfluss auf die Umweltqualität. Erhöhter Output benötigt mehr Input und geht somit mit einem erhöhten Verbrauch von natürlichen Ressourcen im Produktionsprozess einher. Als Nebenprodukt entsteht damit bei erhöhtem Produktionsausstoß mehr Verschmutzung (Dinda, 2004).

### 2.2.2 Composition effect

Der Composition effect beschreibt den Zusammenhang des Wirtschaftswachstums mit der Veränderung der Struktur einer Wirtschaft über die Zeit.

Unterschiedliche Industrien verschmutzen mit verschiedenen Intensitäten. Der Output-Mix in einer Wirtschaft verändert sich typischerweise mit der wirtschaftlichen Entwicklung. Zu Beginn der Entwicklung steht der Wechsel von der Agrarwirtschaft hin zur Schwerindustrie, welcher zu einer ansteigenden Verschmutzung führt. Der spätere Wechsel von der Schwerindustrie zur Servicegesellschaft lässt die Verschmutzung sinken (Stern, 2004).

Durch internationalen Handel kann es zu einer Erhöhung von emissionsintensiven Produkten in einem Staat kommen, während es in einer anderen Nation zur Abnahme kommt, da sich diese in gewissen Industrien spezialisieren. Diese im Composition effect beschriebene Veränderung steht in Verbindung mit der Pollution Haven Hypothesis (PHH) und der Displacement Hypothesis. Die beiden genannten Hypothesen weisen keine fundamentalen Unterschiede auf und ähneln sich darin, dass sie sich auf komparative Vorteile im internationalen Handel beziehen. Bei den Hypothesen wird argumentiert, dass niedrige Umweltstandards ein komparativer Vorteil sind, und sich deshalb die Standorte der stark verschmutzenden Industrien in solche Länder verschieben (Dinda, 2004). Somit bereitet die PHH Argumente für jene, die die Erklärung der inversen U-förmigen Beziehung im Export der Verschmutzung von den Industrieländern hinzu zu den Entwicklungsländern sehen (Cole, 2004).

### 2.2.3 Technique effect

Der Technique effect findet sich sowohl in einer Veränderung des Input-Mix, als auch in der technologischen Verbesserung der Produktion wieder und hat einen positiven Einfluss auf die Umweltqualität. Eine technologische Verbesserung der Produktion führt bei gleichbleibendem Input an verschmutzenden Ressourcen zu mehr Output, und lässt somit die Emission pro produzierter Einheit sinken. Getrieben ist der Technique effect durch erhöhtes Umweltbewusstsein mit steigendem Einkommen. Sobald eine Nation einen ausreichenden Lebensstandard erreicht hat, wird den Vorzügen der Umwelt von der Bevölkerung mehr Wert beigemessen (Selden und Song, 1994). Arme Bevölkerungen haben wenig Nachfrage für Umweltqualität, da mit geringem Einkommen schon das Abdecken der Grundbedürfnisse schwierig ist. Sobald jedoch das Einkommen steigt, wird diese Nachfrage intensiviert. Konsumenten mit höherem Einkommen sind nicht nur bereit, mehr für grüne Produkte auszugeben, sondern können auch den Druck für strengere Regelungen zum Umweltschutz erhöhen. In den meisten Fällen, in denen Emissionen mit steigendem Einkommen verringert wurden, ist dies auf lokale und nationale Reformen, wie Umweltschutzgesetze und marktbasierende Anreize zur Verbesserung der Umweltqualität zurückzuführen (Dinda, 2004).

Veränderungen im Input-Mix schließt die Substitution von umweltschädlichen Inputs durch weniger schädliche ein, was zu einer Verringerung der Umweltverschmutzung führt.

Beispiele hierfür sind der Wechsel von Kohle zu Erdgas oder von Kohle mit hohem Schwefelanteil zu schwefelarmer Kohle (Stern, 2004). Veränderungen im Input-Mix werden oft aufgrund strengerer Regeln zum Umweltschutz vorgegeben.

Die EKC Hypothese vermutet, dass es einen Wendepunkt gibt, in welchem die negativen Auswirkungen des Scale effects, der in allen Entwicklungsstadien auftritt, durch die positiven Einflüsse des Technique und Composition effect überwogen werden (Vukina et al., 1999).

## 2.3 Ökonometrisches Modell

Der Fokus der EKC liegt auf dem Zusammenhang zwischen Umweltverschmutzung und Einkommen. Dabei wird das folgende Grundmodell verwendet, um verschiedene mögliche Beziehungen zu testen (Dinda, 2004):

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_1 x_{it} + \beta_2 x_{it}^2 + \beta_3 x_{it}^3 + \beta_4 z_{it} + \varepsilon_{it}$$

Die erklärte Variable  $y$  ist der Indikator für Umweltverschmutzung pro Kopf und als erklärende Variablen dienen das BIP pro Kopf,  $x$  und Potenzen dieser. Die zusätzliche Variable  $z$  steht für einen oder mehrere andere Effekte, die einen Einfluss auf die Verschmutzung haben und in das Modell aufgenommen werden können. Das Subskript  $i$  steht für das Land,  $t$  für die Zeit,  $\alpha$  ist eine Konstante,  $\beta$  ist der Koeffizient zu den erklärenden Variablen und  $\varepsilon$  steht für das Residuum.

Dieses Modell liefert uns die Möglichkeit verschiedene Formen der Beziehung zwischen Umweltverschmutzung und Einkommen zu betrachten:

- (i)  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$  stellt einen flachen Verlauf oder keine Beziehung zwischen  $x$  und  $y$  dar
- (ii)  $\beta_1 > 0$  und  $\beta_2 = \beta_3 = 0$  stellt eine monoton ansteigende Beziehung zwischen  $x$  und  $y$  dar

- (iii)  $\beta_1 < 0$  und  $\beta_2 = \beta_3 = 0$  stellt eine monoton fallende Beziehung zwischen x und y dar
- (iv)  $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$  und  $\beta_3 = 0$  stellt eine inverse U-förmige Beziehung wie die EKC dar
- (v)  $\beta_1 < 0, \beta_2 > 0$  und  $\beta_3 = 0$  stellt eine U-förmige Beziehung dar
- (vi)  $\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$  und  $\beta_3 > 0$  stellt eine kubisch polynomiale Form, bzw. eine N-Form dar
- (vii)  $\beta_1 < 0, \beta_2 > 0$  und  $\beta_3 < 0$  stellt eine gegenteilige N-Form dar

Aus einer inversen U-förmigen Beziehung wie der EKC (iv), kann der Wendepunkt wie nachfolgend aus den Koeffizienten des Modells berechnet werden:

$$x^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

### 3. Analyse

In diesem Kapitel widmen wir uns der empirischen Analyse, um den Zusammenhang zwischen Einkommen und CO<sub>2</sub> Emissionen zu erforschen. In vielen Studien werden weitere erklärende Variablen wie Energieverbrauch, Bevölkerungsdichte oder verschiedene Handelsindikatoren in das Modell aufgenommen. Anlehnend an mehrere Studien (z.B. Kasman et al 2015, Özokcu et al 2017) wird auch in dieser Arbeit der Energieverbrauch pro Kopf als zusätzliche erklärende Variable beigefügt.

Zu Beginn des Kapitels werden die Daten und das empirische Modell erläutert. Anschließend werden Stationaritäts- und Kointegrationseigenschaften der verwendeten Variablen geprüft. Das Ende des Kapitels beschäftigt sich mit den Ergebnissen von verschiedenen Modellen, sowie mit der Kritik an den ökonometrischen Methoden.

#### 3.1 Daten und Modell

In dieser Studie werden Paneldaten von 116 Ländern über den Zeitraum von 1991 bis 2014 untersucht. Durch die Verwendung einer großen Anzahl an Staaten finden sich Länder in verschiedenen Entwicklungsstadien mit deutlichen Unterschieden beim Einkommen sowie den CO<sub>2</sub> Emissionen wieder. Aufgrund der beschränkten Verfügbarkeit von Energieverbrauchs- und Emissionsdaten ist der untersuchte Zeitraum auf die Jahre 1991 bis 2014 limitiert.

Alle verwendeten Daten entstammen der Datenbank der Worldbank. Die CO<sub>2</sub> Emissionen pro Kopf sind in Tonnen, das Einkommen pro Kopf in US-Dollar und der Energieverbrauch pro Kopf sind in Kilogramm Öläquivalent bemessen. Zur Analyse werden wie im Großteil der Studien zu diesem Thema alle Daten in logarithmierter Form verwendet.

Das zur Verwendung kommende empirische Modell hat folgende Form:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_1 x_{it} + \beta_2 x_{it}^2 + \beta_3 x_{it}^3 + \beta_4 z_{it} + \varepsilon_{it}$$

Hier entspricht  $y$  der CO<sub>2</sub> Emission pro Kopf,  $x$  dem BIP pro Kopf, und  $z$  steht für den Energieverbrauch pro Kopf.

## 3.2 Stationarität und Kointegration

### 3.2.1 Stationarität

In der Analyse von Paneldaten werden zuerst Einheitswurzeltests durchgeführt, um die Stationaritätseigenschaften der relevanten Variablen zu identifizieren, wofür eine Anzahl an Methoden zur Verfügung steht. Im ersten Schritt werden zwei Einheitswurzeltests der ersten Generation, nämlich der Levin-Lin-Chu (LLC) Test und der Im-Pesaran-Shin (IPS) Test durchgeführt. Alle Tests werden mit maximal vier Lags ausgeführt, wobei die Wahl der Lags mit dem AIC und auch dem SIC Kriterium durchgeführt wurde, was jedoch an den Ergebnissen keine nennenswerten Unterschiede brachte. Die Nullhypothese ( $H_0$ : Existenz einer Einheitswurzel) kann mit Konstanten, welche die individuellen Effekte inkludieren, beim IPS-Test für alle Variablen nicht verworfen werden. Der LLC-Test unter Anwendung von Konstanten bringt gemischte Ergebnisse. Bei Anwendung der beiden Testverfahren mit Konstanten und linearem Zeittrend kann bei beiden Tests für alle Variablen die Nullhypothese verworfen werden. Somit können mit einem linearen Trend zusätzlich zu den individuellen Effekten auch Anzeichen von Stationarität in den untersuchten Zeitreihen gefunden werden.

Falls jedoch Querschnittsabhängigkeit gegeben ist, können Einheitswurzeltests der ersten Generation schlecht performen. Während ein durchgeführter Pesaran's CD Test die Nullhypothese Querschnittsunabhängigkeit nicht verwerfen kann, wird dies bei dem bias corrected scaled LM Test verworfen und erhalten somit gemischte Ergebnisse. Während bei Tests der ersten Generation Unabhängigkeit zwischen den Individuen angenommen wird, lassen Tests der zweiten Generation Abhängigkeiten zwischen diesen zu. Somit werden nun die Stationaritätseigenschaften mit dem Pesaran's CIPS Test, welcher ein Einheitswurzeltest der zweiten Generation ist, untersucht. Bei diesem Test wird sowohl mit Anwendung von Konstanten als auch mit einem zusätzlichen linearen Trend die Nullhypothese ( $H_0$ : Existenz einer Einheitswurzel) für alle Variablen nicht verworfen. Somit können auch unter zusätzlicher Anwendung eines linearen Trends die zuvor gefundenen Hinweise auf

Stationarität der Variablen nicht bestätigt werden. Da jedoch die ersten Differenzen aller Variablen bei den Einheitswurzeltests der ersten Generation als stationär befunden werden, wird von einer Integration erster Ordnung aller Variablen ausgegangen. Die Ergebnisse der ersten Differenzen beim Einheitswurzeltest der zweiten Generation sind stark von der gewählten Anzahl der Lags abhängig. Die in Tabelle 1 abgebildeten Werte wurden mit zwei Lags ermittelt und bringen gemischte Ergebnisse. Mit nur einem Lag werden aber alle Differenzen als stationär eingestuft, während bei drei und mehr Lags das Gegenteil der Fall ist.

Tabelle 1

Resultate Stationaritätstests

	IPS		LLC		Pesaran's CIPS	
	Konstante	Konst. und Zeittrend	Konstante	Konst. und Zeittrend	Konstante	Konst. und Zeittrend
y	-0,612	-4,739***	-3,800***	-6,284***	-1,649	-1,704
x	9,106	-4,712***	-0,251	-5,232***	-1,969	-1,825
x <sup>2</sup>	10,251	-4,180***	1,211	-5,266***	-1,940	-1,826
x <sup>3</sup>	11,700	-4,813***	3,218	-4,514***	-1,881	-1,793
z	0,507	-3,306***	-2,285**	-6,303***	-1,785	-1,749
$\Delta y$	-37,992***	-38,250***	-36,891***	-34,646***	-2,312***	-2,715***
$\Delta x$	-27,515***	-22,933***	-24,998***	-19,453***	-2,048*	-2,328
$\Delta x^2$	-26,634***	-23,219***	-24,166***	-19,631***	-2,026*	-2,290
$\Delta x^3$	-26,114***	-23,244***	-23,259***	-19,917***	-1,993	-2,253
$\Delta z$	-37,118***	-37,046***	-31,414***	-27,834***	-2,157**	-2,486

Notiz: \*\*\* 1% Signifikanzniveau, \*\* 5% Signifikanzniveau, \* 10% Signifikanzniveau

Notiz: Resultate IPS und LLC mit SIC Kriterium; Resultate CIPS mit 2 Lags

### 3.2.2 Kointegration

Zur Analyse der Kointegration in Paneldaten wird auf Residuen basierte Tests mit der Nullhypothese von keiner Kointegration zurückgegriffen. In der Studie von Wagner und Hlouskova (2010) wird der Pedroni Test als der verlässlichste Test beschrieben, weshalb dieser zur Anwendung kommt. Das Testergebnis des Pedroni Tests verwirft die Nullhypothese und lässt auf die Existenz von Kointegration schließen.

### 3.3 Ergebnisse

Einer der schwierigsten Teile in der Analyse ist die Modellselektion, da diese die Ergebnisse stark beeinflussen kann. Spezifisch für Paneldaten gibt es neben dem pooled regression (PR) Modell zwei andere Typen, nämlich das fixed effects (FE) und das random effects (RE) Modell. Diese unterscheiden sich hauptsächlich durch deren Annahmen an den Fehlerterm  $\varepsilon_{it}$ . Im PR Modell werden die meist unrealistischen Annahmen getroffen, dass der Fehlerterm unabhängig von den Individuen und der Zeit ist. Im FE Modell werden die Effekte als Parameter behandelt, während diese im RE Modell als unbeobachtete Zufallsvariable betrachtet werden. Ob Zeiteffekte und/oder individuelle Effekte vorliegen, wird anhand von F-Tests untersucht. Als Ergebnis kann die Nullhypothese von keinen individuellen Effekten auf allen Signifikanzniveaus verworfen werden, während dies bei den Zeiteffekten nur auf dem 10% Niveau möglich ist. Werden die individuellen Effekte und Zeiteffekte kombiniert, kann wie bei den individuellen Effekten zuvor, der F-Test auf allen Signifikanzniveaus verworfen werden. Diese Ergebnisse lassen schließen, dass die Resultate des PR Modells bestenfalls ineffizient sind und möglicherweise einen Bias beinhalten. Um zwischen dem FE Modell und dem RE Modell zu selektieren, werden Hausman-Tests durchgeführt. Sowohl mit beiden Effekten kombiniert als auch für jeden einzeln betrachtet sprechen die Ergebnisse der Hausman-Tests zugunsten des FE Modells. In Tabelle 2 ist ersichtlich, dass die Nullhypothese welche das RE Modell bevorzugt, bei allen Tests auf allen Signifikanzniveaus verworfen werden kann.

Tabelle 2  
Resultate Hausmantests

	RE vs. FE mit ind. Effekten	RE vs. FE mit Zeiteffekten	RE vs. FE mit Zeit- und ind. Effekten
Chi <sup>2</sup>	70,184***	1549,7***	17,799***

Notiz: \*\*\* 1% Signifikanzniveau, \*\* 5% Signifikanzniveau, \* 10% Signifikanzniveau

Somit wird im ersten Schritt die Regression mit einem FE Modell mit individuellen Effekten sowie mit Zeit- und individuellen Effekten gegenüber dem PR und RE Modell bevorzugt. Zur Betrachtung der Unterschiede in den Regressionsergebnissen finden wir in Tabelle 3 neben den beiden FE Modellen auch das PR Modell sowie das RE Modell mit individuellen Effekten. Sowohl im PR wie auch im RE Modell sind die Regressoren hochsignifikant.

Während die Koeffizienten dieselben Vorzeichen in beiden Modellen aufweisen, sind die Werte deutlich verschieden. Die beiden bevorzugten FE Modelle weisen hingegen sehr ähnliche Werte bei den Koeffizienten auf und sind zumindest am 10% Niveau signifikant. Die Vorzeichen aller Modelle implizieren eine N-Form der Kurve und somit ist die EKC Hypothese in diesen Modellen nicht valide.

Tabelle 3  
Regressionsergebnisse PR, RE, FE Modelle

	PR Modell	RE Modell mit ind. Effekten	FE Modell mit ind. Effekten	FE Modell mit ind. und Zeiteffekten
Konstante	-17,447*** (0,662)	-7,493*** (0,501)		
x	10,232*** (0,552)	2,974*** (0,424)	2,864*** (0,423)	2,725*** (0,424)
x <sup>2</sup>	-2,354*** (0,153)	-0,579*** (0,120)	-0,554*** (0,120)	-0,511*** (0,121)
x <sup>3</sup>	0,177*** (0,014)	0,033** (0,011)	0,031** (0,011)	0,026* (0,011)
z	1,065*** (0,016)	1,020*** (0,020)	0,990*** (0,021)	0,991*** (0,021)
F-Statistik bzw. Chi <sup>2</sup>	6938,87***	5101,28***	1006,26***	797,09***
Beobachtungen	2760	2760	2760	2760
Adj. R <sup>2</sup>	0,910	0,649	0,586	0,525

Notiz: \*\*\* 1% Signifikanzniveau, \*\* 5% Signifikanzniveau, \* 10% Signifikanzniveau

Notiz: Zahlen in Klammern bezeichnen den Standardfehler

Da bei vorherrschender Kointegration der FE Schätzer ineffizient ist, wird auch noch der DOLS (dynamic OLS, Kao und Chiang, 2000) sowie der FMOLS (fully modified OLS, Pedroni, 2000) Schätzer für unser Panel betrachtet. Der DOLS Schätzer inkludiert Leads und Lags der Variablen in die Regression. Für die Auswahl der Anzahl dieser wurde das AIC und SIC Kriterium betrachtet, welche jedoch gemischte Ergebnisse lieferten. In der Tabelle 4 finden wir die Ergebnisse mit einem Lead und zwei Lags für das DOLS Modell, wobei auch andere Annahmen an deren Anzahl sehr ähnliche Ergebnisse liefern. Bei Betrachtung der Ergebnisse des DOLS und FMOLS Modells (Tabelle 4) können wir erkennen, dass die Koeffizienten hochsignifikant sind und dieselben Vorzeichen aufweisen. Weiters sind die Werte der Koeffizienten in beiden Modellen sehr ähnlich.

Tabelle 4

Regressionsergebnisse DOLS und FMOLS Schätzer

	DOLS	FMOLS
Konstante	-17,834*** (2,992)	-18,011*** (1,647)
x	10,528*** (2,497)	10,656*** (1,373)
x <sup>2</sup>	-2,433*** (0,691)	-2,464*** (0,380)
x <sup>3</sup>	0,184** (0,063)	0,187*** (0,034)
z	1,076*** (0,072)	1,077*** (0,040)
Beobachtungen	2760	2760

Notiz: \*\*\* 1% Signifikanzniveau, \*\* 5% Signifikanzniveau, \* 10% Signifikanzniveau

Notiz: Zahlen in Klammern bezeichnen den Standardfehler

Wie schon bei den zuvor betrachteten Modellen kann auch mit DOLS und FMOLS die Hypothese der EKC nicht bestätigt werden, sondern es liegt auch hier eine N-Form der Kurve vor.

### 3.4 Ökonometrische Kritik

Von vielen Autoren wird Kritik an den empirischen EKC Studien aufgrund verschiedener ökonometrischer Probleme geäußert. Eine Hauptkritik an den Ergebnissen ist die Validität der verwendeten Daten von Umweltverschmutzung, da diese bekanntermaßen ungleichmäßig in der Erfassung und/oder schlecht in der Qualität sind (Stern et al., 1996). Zudem sind nicht genügend Daten für viele Länder über einen langen Zeitraum vorhanden. Neben der Datenqualität haben viele weitere Probleme Kritik auf sich gezogen. Frühere Studien inkludierten in deren Berechnungen potenziell nicht stationäre Variablen, welche jedoch Kointegrationseigenschaften erfüllen müssen, da sie ansonsten zu Scheinregressionen führen. Falls die Einheitswurzeltests eine Einheitswurzel für die Zeitreihen identifiziert haben, sollte diese für alle Reihen in derselben Ordnung integriert sein. Lee und Lee (2009) zeigen, dass BIP und CO<sub>2</sub> Emissionen eine Mischung aus stationären und nicht stationären Reihen sind und somit Einheitswurzeltests zu falschen Inferenzen führen, während die Kointegrationsanalyse eventuell eine ungeeignete Methode ist (Lee und Lee, 2009).

Ein weiterer Kritikpunkt liegt darin, dass in den Berechnungen das Quadrat und höhere Potenzen des BIPs wie separate integrierte Regressoren behandelt und Schätzmethoden für lineare kointegrierte Beziehungen verwendet werden. Potenzen sind jedoch nur Funktionen und Potenzen von integrierten Prozessen sind selbst nicht integrierte Prozesse, weshalb die verwendeten Schätzer nicht angemessen sind und die Evidenz einer EKC Beziehung überschätzen (Wagner, 2015). Aufgrund dieser Kritik wurde ein graphischer Vergleich zur Beurteilung des Integrationsgrades von BIP, BIP<sup>2</sup> und BIP<sup>3</sup> angestellt. Dafür wurden lange Zeitreihen des BIPs von Österreich (1870-2018) sowie der USA (1800-2018) gewählt und eine univariate Spektralanalyse durchgeführt.

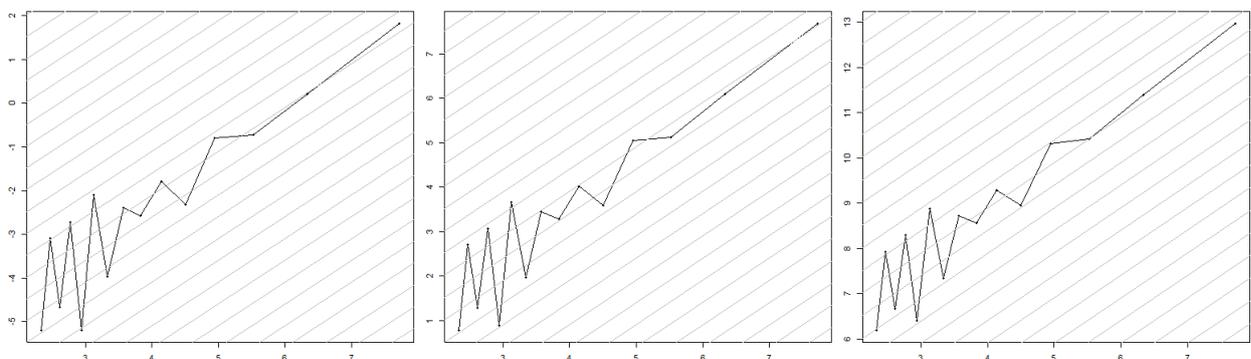


Abb. 2 – Spektralanalyse Österreich BIP, BIP<sup>2</sup> und BIP<sup>3</sup>

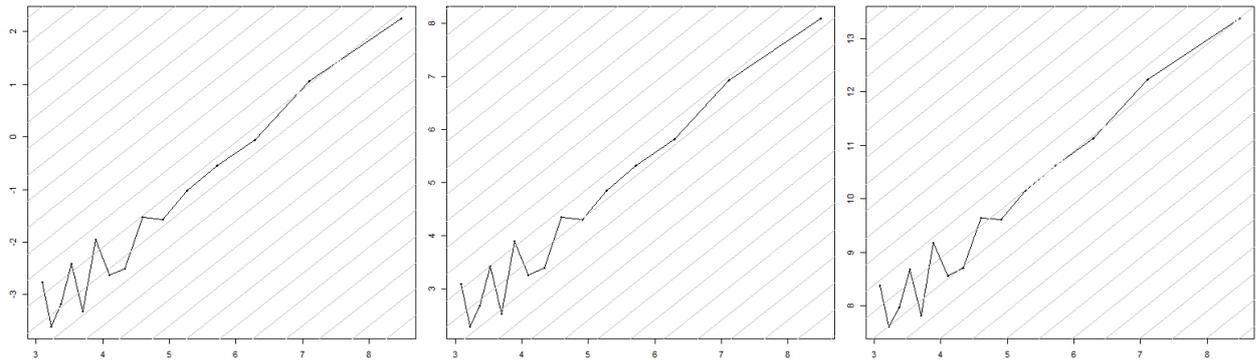


Abb. 3 – Spektralanalyse USA BIP, BIP<sup>2</sup> und BIP<sup>3</sup>

Die Vergleichslinien in Abb. 2 und Abb. 3 besitzen eine Steigung von 1 und repräsentieren die Hypothese einer Integration erster Ordnung. In den Grafiken ist zu erkennen, dass die Steigung aller untersuchten Variablen über das gesamte Frequenzspektrum nahe bei 1 liegt. Das Ergebnis der Spektralanalyse lässt sowohl für Österreich als auch für die USA den Schluss zu, dass auch BIP<sup>2</sup> und BIP<sup>3</sup> als integriert erster Ordnung gesehen werden können.

Weiters kritisiert wird die Kointegrationsanalyse der Zeitreihen. Die in den Studien meist zur Verwendung kommenden Kointegrationstests sind mit der Nullhypothese keine Kointegration ausgestattet. Würde man stattdessen umgekehrte Tests mit der Nullhypothese Kointegration verwenden, würden diese oft gegenteilige Aussagen liefern (Wagner et al, 2020).

## 4. Schlussfolgerung

In den hier untersuchten Paneldaten, bestehend aus 116 Ländern in verschiedensten Entwicklungsstadien betreffend Einkommen und CO<sub>2</sub> Emissionen, kann keine Beziehung in Form einer EKC gefunden werden. Die Ergebnisse sollten jedoch unter dem Vorbehalt, dass Potenzen von integrierten Prozessen selbst nicht integriert sind, wie auch einer eventuellen Vermischung von stationären und nicht stationären Zeitreihen und den weiteren beschriebenen Kritikpunkten betrachtet werden. Zusätzlich zum BIP wurde der Energieverbrauch pro Kopf als erklärende Variable berücksichtigt. Dieser ist in allen Modellen signifikant und hat wie zu erwarten einen negativen Einfluss auf die Emissionen. Es wurden verschiedene Modelle wie random und fixed effects aber auch DOLS und FMOLS untersucht. Die Vorzeichen der Koeffizienten in allen hier untersuchten Modellen lassen auf eine N-förmige Kurve schließen und lehnen die Hypothese der EKC ab. Somit kann mit Wirtschaftswachstum beziehungsweise höherem Einkommen kein Abnehmen der CO<sub>2</sub> Emissionen erwartet werden.

## Abstract

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Hypothese der Umwelt-Kuznets-Kurve für CO<sub>2</sub> Emissionen. Diese besagt, dass mit steigendem Einkommen ein Wendepunkt erreicht wird ab welchem die Emissionen mit weiter steigendem Einkommen abnehmen. Für die Analyse wurden Paneldaten von 116 Ländern über einen Zeitraum von 24 Jahren mit verschiedenen Schätzmethoden wie random effects, fixed effects, DOLS und FMOLS untersucht. Zusätzlich zum BIP wurde auch der Energieverbrauch als erklärende Variable in die Modelle mitaufgenommen. Berechtigte Kritik an den Daten und den verwendeten Modellen ergibt sich durch fehlende Stationarität und Integration der Zeitreihen. Das Ergebnis der Analyse verwirft die Hypothese einer Umwelt-Kuznets-Kurve und lässt kein Abnehmen der CO<sub>2</sub> Emissionen mit steigendem Einkommen erwarten.

## Literaturverzeichnis

Cole M., 2004. *Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages*. Ecological Economics 48, 71-81.

Dinda S., 2004. *Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey*. Ecological Economics 49, 431-455.

Grossman G., Krueger A., 1991. *Environmental impacts of the North American Free Trade Agreement*. NBER Working Paper No. 3914.

Kao C., Chiang M.H., 2000. *On the estimation and inference of a cointegrated regression in panel data*. Advanced in Econometrics (15), 170-222.

Kasman A., Duman Y. S., 2015. *CO<sub>2</sub> emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: A panel data analysis*. Economic Modelling 44, 97-103.

Kuznets S., 1955. *Economic growth and income inequality*. American Economic Review 45, 1-28.

Lee C. C., Lee J. D., 2009. *Income and CO<sub>2</sub> emissions: evidence from panel unit root and cointegration tests*. Energy policy 37 (2), 413-423.

Özokcu S., Özdemir Ö., 2017. *Economic growth, energy, and environmental Kuznets curve*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 72, 639-647.

Selden T., Song D., 1994. *Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution emissions?* Journal of Environmental Economics and Management 27, 147-162.

Stern D., Common M., Barbier E., 1996. *Economic growth and environmental degradation: The Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development*. World Development Vol. 24, No. 7, 1151-1160.

Stern D., 2004. *The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve*. World Development Vol. 32, No. 8, 1419-1439.

Vukina T., Beghin J., Solakoglu, E., 1999. *Transition to markets and the environment: effects of the change in the composition of manufacturing output*. Environment and Development Economics 4, 582-598.

Wagner M., 2015. *The environmental Kuznets curve, cointegration and nonlinearity*. Journal of Applied Econometrics 30 (6), 948-967.

Wagner M., Grabarczyk P, Hong S. H., 2020. *Fully modified OLS estimation and inference for seemingly unrelated cointegrating polynomial regressions and the environmental Kuznets curve for carbon dioxide emissions*. Journal of Econometrics 214 (1), 216-255.

Wagner M., Hlouskova J., 2010. *The performance of panel cointegration methods: Results from a large scale simulation study*. Econometric Reviews 29 (2), 182-223.

Pedroni P., 2000. *Fully modified OLS estimation for heterogeneous cointegrated panels*. Advanced in Econometrics (15), 93-130.