SPECIALISTS IN
EMPIRICAL ECONOMIC
RESEARCH

11. INPUT-OUTPUT-WORKSHOP 2019

Tagungsband zum

11. Input-Output-Workshop Spezial 2019

Bochum

Anke Mönnig (Hrsg.)

Impressum

AUTOREN

Anke Mönnig (Hrsg.), moennig@gws-os.com

TITEL

Tagungsband zum 11. Input-Output-Workshop Spezial 2019 – Bochum

VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Die in diesem Papier vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung des Verfassers / der Verfasser und spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung der GWS mbH wider.

HERAUSGEBER DES TAGUNGSBANDES

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

ISSN 1867-7290

Vorwort

Sehr geehrte Teilnehmer des 11. I-O-Workshops, Kollegen und Interessierte an der Input-Output-Forschung,

2019 fand der 11. Input-Output-Workshop erstmalig in Bochum an der Hochschule Bochum statt. Der Workshop lief – wie jedes zweite Jahr – diesmal unter einem Spezialthema: Nachhaltigkeit. Zwei hervorragende Gastredner zu diesem Thema konnten gewonnen werden: Peter Hennicke vom Wuppertal Institut und Maaike Bouwmeester von Eurostat.

Zur großen Freude der Veranstalter – Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS), Hochschule Bochum und Universität Bremen – stieß der Workshop auf hohes Interesse in der nationalen und internationalen I-O-Community. Neben viele Abstracts mit hoher Qualität nahmen auch einige Gasthörer als interessierte Teilnehmer an dem Workshop teil.

Die Vorträge näherten sich dem Thema Nachhaltigkeit aus unterschiedlichen input-output-spezifischen Blickwinkeln. Während sich eine Vielzahl der Vorträge um Klima- und Energiethemen (u.a. Norihiko Yamano und Erik Dietzenbacher) drehten, wurde der Aspekt der Nachhaltigkeit aus der sozioökonomischen Perspektive (Marc Ingo Wolter) behandelt. Auch wurden neben monetären auch physische (Utz-Peter Reich) sowie um Umweltdaten erweiterte (Tobias Wendler) Input-Output-Tabellen verwendet und diskutiert. Themen wie Müll (Renato Paniccià) und Metallverbrauch (Hanspeter Wieland) wurden ebenfalls angesprochen. Nationale (Aizhan Samambayeva) wie regionale (Florian Bernardt) und globale Modellansätze (Kirsten Wiebe) wurden diskutiert. Darüber hinaus fanden auch theoretische Überlegungen (Jean-Francois Emmenegger) den Bezug zur Nachhaltigkeit.

Damit konnte der I-O-Workshop wieder ein breites Spektrum an Input-Output-relevanten Themen abfangen und zeigen, dass der Input-Output-Ansatz ein starkes Analysetool auch für Themen der Nachhaltigkeit ist.

Der vorliegende Tagungsband umfasst das Programm des I-O-Workshops mitsamt den zu den Vorträgen gehörenden Abstracts – soweit sie für die Veröffentlichung freigegeben worden sind. Einzelne Teilnehmer reichten dankenswerterweise eine erweiterte Ausführung ihres Vortrages zur Veröffentlichung in diesem Tagungsband nach. Wir wünschen viel Spaß bei Lesen und Nachschlagen der Beiträge. Die Präsentationen, Abstracts und ausgeführten Beiträge können auch auf der Homepage unter io-workshop.gws-os.com abgerufen werden.

2020 wird der Input-Output-Workshop zurück nach Osnabrück kommen – ausgerichtet von der GWS. Es wird sich um einen themenoffenen Workshop handeln, der dazu einlädt, aktuelle Themen in der Input-Output-Forschung vorzustellen und zu diskutieren. Mit Prof. Dr. Bart Los von der Universität von Groningen sowie Sascha Brede vom Statistischen Bundesamt konnten zwei Keynotespeaker gewonnen werden, die hochinteressanten Input in Bezug auf Verwendung und Erstellung von Input-Output-Tabellen einbringen. Der im März 2020 stattfindende Workshop verspricht schon jetzt, eine spannende Veranstaltung zu werden.

Abschließend möchte ich mich herzlich bei allen Vortragenden und Mitdiskutanten des 11. Input-Output-Workshops bedanken, die maßgeblich dafür verantwortlich waren, dass auch 2019 wieder ein mit viel Spirit und Engagement geladener Workshop gefüllt mit äußerst spannenden Input-Output-Themen durchgeführt werden konnte. Nicht zu vergessen sind die in gelockerter Atmosphäre verbrachten Abende, die dazu dienten, sich außerhalb universitärer Räume kennenzulernen und auszutauschen. Bochum lud zudem zu einer Besichtigung eines Bergbaumuseums ein, der den Strukturwandel im Ruhrgebiet nahegebracht hat.

An dieser Stelle nicht zu vergessen sind die Helfer im Hintergrund, die den reibungslosen Ablauf des Workshops gestützt haben. Hierfür gebührt dem gesamten Organisationsteam der Hochschule Bochum unter Leitung von Prof. Dr. Tobias Kronenberg und seinem Team den herzlichsten Dank. Dank gehört auch Inka Peters, ohne deren Hilfe die Zusammenstellung des Konferenzbandes auch dieses Jahr kaum möglich gewesen wäre.

Es freut sich auf ein spannendes neues Input-Output-Jahr 2020

Anke Mönnig Osnabrück, Januar 2020

Programm des 11. Input-Output-Workshops

DONNERSTAG, 14. MÄRZ 2019

09:00–10.00	REGISTRIERUNG | RAUM 3
10:10–11:10	KEYNOTE HENNICKE, P. | RAUM 1
11:00–11:15	BEGRÜẞUNG | RAUM 1
11:15–11:30	KAFFEEPAUSE | RAUM 3

SESSION 1		
	SESSION 1A | RAUM 1	SESSION 1B | RAUM 2
11:30–12:30	WENDLER, T. How green is green tech? An empirical analysis on the impact of environmental innovations in Europe	WIELAND, H. Constructing a stock-flow consistent physical input-output model to track life cycle-wide metal flows around the globe
	DE SCHUTTER, L. Assessing EU bioeconomy transitions in the coupled socialecological system with an environmentally extended input-output approach	WIEBE, K. Cross-border effects of climate change mitigation policies under different trade regimes

12:30–13:30	MITTAGESSEN

SESSION 2		
	SESSION 2A | RAUM 1	SESSION 2B | RAUM 2
13:30–14:30	YAMANO, N. Estimating Carbon Emissions embodied in Final Demand and Trade Using the OECD ICIO 2018	OWEN, A. Rethinking the Social Accounting Matrix Structure for Household Footprints

	DIETZENBACHER, E. Measuring the Effects of Energy Transition: A Structural Decomposition Analysis of the Change in Renewable Energy Use between 2000 and 2014	KRONENBERG, T. Carbon Footprints at the Regional Level and Why They Matter

14:30–15:00	KAFFEEPAUSE

SESSION 3		
	SESSION 3 | RAUM 1	MEASURING GREEN JOBS WITH INPUT-OUTPUT-MODELS: SPECIAL SESSION ON THE METHODOLOGY DEVELOPED BY THE ILO-GAINS COOPERATION | RAUM 2
15:00–16:30	WOLTER, M. I. Zielkonflikte nachhaltigerer Entwicklung und ein nachhaltigerer Arbeitsmarkt REICH, U.-P. Schein und Sein – zur theoretischen Konsistenz physischer Input-Output-Tabellen EMMENEGGER, J.-F. Sraffas Theorie der Kuppelproduktion als Werkzeug ökologischer Ökonomie	LA MARCA, M. Green Jobs assessment – the Handbook of the GAIN network LEHR, U. Green Jobs in MENA – similarities and differences BANNING, M. Socio-Economic Impacts of Renewable Energy and Energy Efficiency in Egypt”
17:30–18:40	BESUCH DES BERGBAUMUSEUMS	
20:00–22:00	ABENDESSEN	

FREITAG, 15. MÄRZ 2019

09:00–09:30	REGISTRIERUNG | RAUM 3

SESSION 3		
	SESSION 3A | RAUM 1	SESSION 3B | RAUM 2
09:30–11:00	BERNARDT, F. Pendlerströme als Indikator für sozioökonomische Nachhaltigkeit	Paniccià, R. A biregional waste input-output model
	FLAUTE, M. Ökonomische Modellierung von Klimafolgen und -anpassungsmaßnahmen – Herausforderungen und Ergebnisse	VARGAS, J. R. Input-output and sustainable Development in the tropics, yesterday and tomorrow
	MÖNNIG, A. Elektromobilität 2035 – Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Personenkraftwagen	SAMAMBAYEVA, A. The impact of greenhouses vegetable production – Case of the Virgin British Islands

11:00–11:30	KAFFEEPAUSE | RAUM 3

SESSION 4	
11:30–13:00	STEENGE, B. Input-Output Based Modelling of Resource Scarcity – Concepts and some History SCHOLZ, R. The Keynesian Multiplier in an Environmentally-Extended Multiregional Input-Output Framework LUTZ, C. How to catch the rebound effect in interindustry modelling

13:00–14:00	MITTAGESSEN | RAUM 3

14:00–15:15	KEYNOTE Bouwmeester, M. (EUROSTAT) | RAUM 1

15:15–15:30	ORGANISATORISCHES UND VERABSCHIEDUNG | RAUM 1
15:30–16:00	ABSCHIEDSKAFFEE | RAUM 3

Sraffas Theorie der Kuppelproduktion als Werkzeug ökologischer Ökonomie

Jean-François Emmenegger, Helmut Knolle
e-mail: jean-francois.emmenegger@unifr.ch
e-mail: helmut.knolle@bluewin.ch

Input-Output Workshop spezial, Universität Bochum, 14.-15.3.2019

Abstract: *In diesem Aufsatz wenden wir das Konzept der Kuppelproduktion, das Piero Sraffa (1898-1983) im zweiten Teil seines Buches* Warenproduktion mittels Waren (WmW) *[13] behandelt hat, auf Probleme ökologischer Ökonomie an. Sraffa betrachtet die Produktion einer Wirtschaft als zirkularen Prozess von fest gegebenen Perioden, typisch von Jahresperioden. Die Wirtschaft besteht aus n Sektoren, die gesamthaft genau n Waren erzeugen, wobei jeder Sektor mindestens eine Ware produzieren muss. Man hat also Multiprodukt-Zweige. Jeder Sektor kann von total n verschiedenen Waren eine Ware oder mehrere verschiedene Waren hervorbringen. Siehe auch Emmenegger et al [2].*

Wir illustrieren den Begriff der Kuppelproduktion durch eine Verallgemeinerung von Sraffas Ansatz; er betrachtet in (WmW, Par. 58) ein System von n Prozessen, die im ganzen n Waren produzieren, jeder Prozess produziert eine Ware oder mehrere Waren. Formal geht man von zwei reellen, *semi-positiven* $n \times n$ Matrizen, einer *Warenfluss* Matrix $\mathbf{S} = (s_{ij}) \geq \mathbf{0}$ und einer *Output* Matrix $\mathbf{F} = (f_{ij}) \geq \mathbf{0}$ aus, deren Elemente in *physischen Einheiten* angegeben sind. Das Element $s_{ij} \geq 0$ bezeichnet die Menge der Ware i, welche vom Sektor j bearbeitet wird, während $f_{ij} \geq 0$ die Menge der Ware i bezeichnet, welche vom Sektor j erzeugt wird. Man braucht noch einen *nicht-negativen Arbeitsvektor* $\mathbf{L} = (L_j) > \mathbf{o}$, wobei L_j die im Sektor j benötigte geeignet gemessene Gesamtarbeit bezeichnet. Mit den Spaltenvektoren[1] $\mathbf{s}_{.j} = [s_{1j}, s_{2j}, ..., s_{nj}]'$ und $\mathbf{f}_{.j} = [f_{1j}, f_{2j}, ..., f_{nj}]'$ beschreibt man die n Produktionsprozesse $(\mathbf{s}_{.j}, L_j) \to (\mathbf{f}_{.j})$. Damit erhält man das vollständige Produktionsschema,

$$
\begin{array}{rcl}
(s_{11},\ s_{21},\ s_{31},\ ...,\ s_{n1}, L_1) & \to & (f_{11},\ f_{21},\ f_{31},\ ...,\ f_{n1}), \\
(s_{12},\ s_{22},\ s_{32},\ ...,\ s_{n2}, L_2) & \to & (f_{12},\ f_{22},\ f_{32},\ ...,\ f_{n2}), \\
(s_{13},\ s_{23},\ s_{33},\ ...,\ s_{n3}, L_3) & \to & (f_{13},\ f_{23},\ f_{33},\ ...,\ f_{n3}), \\
(.....,\ .....,\ .....,\ ...,\ .....,\ ...) & \to & (.....,\ .....,\ .....,\ ...,\ .....), \\
(s_{1n},\ s_{2n},\ s_{3n},\ ...,\ s_{nn}, L_n) & \to & (f_{1n},\ f_{2n},\ f_{3n},\ ...,\ f_{nn}), \\
(\mathbf{S}', \mathbf{L}) & \to & (\mathbf{F}').
\end{array}
\tag{1}
$$

Die Matrizen müssen zwei Bedingungen erfüllen, siehe Bertram Schefold ([12], p. 50), damit eine Kuppelproduktion vorliegt. Die erste Bedingung $(B1)$ verlangt bei gegebenem $n \times 1$ Summenvektor $\mathbf{e} = [1, 1, .., 1]'$ einen nicht-negativen Überschussvektor $\mathbf{d} = (\mathbf{F} - \mathbf{S})\mathbf{e} \geq \mathbf{o}$ der Produktion. Die zweite Bedingung $(B2)$ verlangt lineare Unabhängigkeit der einzelnen Produktionsprozesse $(\mathbf{s}_{.j}, L_j) \to (\mathbf{f}_{.j})$, weshalb die Matrix $(\mathbf{F}' - \mathbf{S}')$ regulär vorausgesetzt werden muss, $\det(\mathbf{F}' - \mathbf{S}') \neq 0$.

Wir zitieren Sraffas abstrakte Definition von Basis- und Nicht-Basisprodukten für den Fall von *Kuppelproduktion*:

'In einem System von n Produktionsprozessesn und n Waren (einerlei, ob diese einzeln oder im Verbund erzeugt werden) ist eine Ware oder allgemeiner eine Gruppe von m miteinander verbundenen Waren (wobei m kleiner als n sein muss und gleich 1 sein mag) vom Ncht-Basisprodukt-Typ, wenn von den n Reihen (die durch die $2m$ *Mengen gebildet werden,*

[1]Das Zeichen Apostroph (′) is der Transpositionsoperator.

die in jedem Prozess vorkommen) nicht mehr als m Reihen unabhängig, die anderen Reihen aber Linearkombinationen von diesen sind.'

Es ist nicht leicht zu verstehen, warum Sraffas Definition (PCMC, Par 60) von *Basisprodukten* und *Nicht-Basisprodukten* in der *Kuppelproduktion* eine Verallgemeinerung von Sraffas Definition (Sraffa, Par. 6) für den entsprechenden Begriff der *Einproduktindustrien* ist[2]. Wir werden deshalb Schritt für Schritt vorgehen und uns an die Entwicklungen von Pasinetti [10], Steedman [14] und besonders Schefold [11] halten.

Das Konzept von *Basisprodukten* und *Nicht-Basisprodukten* in der *Kuppelproduktion* wurde auf der Grundlage der Definitionen in WmW von verschiedenen Ökonomen später weiter entwickelt und geklärt. Wir beginnen mit Bertram Schefold's [11] Darstellung.

1) Schefold's Definition von Basissystemen. Als Ausgangspunkt zur Charakterisierung von *Basisprodukten* und *Nicht-Basisprodukten* in der *Kuppelproduktionsanalyse* verwenden wir das algebraische Konzept von *reduziblen* und *irreduziblen* Matrizen, meisterhaft präsentiert von Schefold ([11], p. 58). Dazu braucht man Blockpartitionen von $n \times n$ Matrizen $\mathbf{S}$ und $\mathbf{F}$, $1 \leq m < n$. Man hat die $m \times m$ Matrizen $\mathbf{S}_{22}$ und $\mathbf{F}_{22}$,

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} \end{bmatrix} \;\Rightarrow\; \mathbf{S}' = \begin{bmatrix} \mathbf{S}'_{11} & \mathbf{S}'_{21} \\ \mathbf{S}'_{12} & \mathbf{S}'_{22} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F}' = \begin{bmatrix} \mathbf{F}'_{11} & \mathbf{F}'_{21} \\ \mathbf{F}'_{12} & \mathbf{F}'_{22} \end{bmatrix}. \tag{2}$$

Wir benötigen die transponierten Matrizen $\mathbf{S}'$, $\mathbf{F}'$. Dann können die $n \times 2m$ Matrizen $\begin{bmatrix}\mathbf{S}'_2 & \mathbf{F}'_2\end{bmatrix}$ definiert werden,

$$\mathbf{S}'_2 := \begin{bmatrix} \mathbf{S}'_{21} \\ \mathbf{S}'_{22} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F}'_2 := \begin{bmatrix} \mathbf{F}'_{21} \\ \mathbf{F}'_{22} \end{bmatrix} \;\Rightarrow\; \begin{bmatrix} \mathbf{S}'_2 & \mathbf{F}'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}'_{21} & \mathbf{F}'_{21} \\ \mathbf{S}'_{22} & \mathbf{F}'_{22} \end{bmatrix}. \tag{3}$$

Das Matrix Rangkriterium. *Es seien* $n, m \in \mathbb{N}_0$, $1 \leq m \leq n-1$. *Wenn es in einem Produktionssystem* $(\mathbf{S}', \mathbf{F}')$ *ein* $n \times 2m$ *Subsystem* $\begin{bmatrix}\mathbf{S}'_2 & \mathbf{F}'_2\end{bmatrix}$ *(3) gibt, für dessen Rang die Ungleichung* $\mathrm{Rang}(\begin{bmatrix}\mathbf{S}'_2 & \mathbf{F}'_2\end{bmatrix}) \leq m$ *gilt, dann hat man m Nicht-Basisprodukte und das Matrix Rangkriterium ist mit der Anzahl von m Basisprodukten erfüllt.*

Da das Matrix Rangkriterium, dank der linearen Abhängigkeit zwischen $\mathbf{S}'_{21}$ und $\mathbf{S}'_{22}$, respektive auch zwischen $\mathbf{F}'_{21}$ and $\mathbf{F}'_{22}$ erfüllt ist, impliziert Sraffas Begriff der *Nicht-Basisprodukte* innnerhalb der Kuppelproduktion die Existenz einer $(n-m) \times n$ Matrix $\mathbf{T}$, welche eine lineare Abbildung beschreibt. Diese Abbildung wird *Schefold Transformation* genannt und wird durch die Matrix $\mathbf{T}$ gemäss Gleichung (4) ausgeführt, siehe Schefold ([11], p. 58),

$$\begin{bmatrix} \mathbf{S}'_{21} & \mathbf{F}'_{21} \end{bmatrix} = \mathbf{T} \begin{bmatrix} \mathbf{S}'_{22} & \mathbf{F}'_{22} \end{bmatrix}. \tag{4}$$

Die *Nicht-Basisprodukte* entsprechen einer linearen Transformation der letzten m Zeilen $\begin{bmatrix} \mathbf{S}'_{22} & \mathbf{F}'_{22} \end{bmatrix}$, welche als Basis eines Vektorunterraumes zu begreifen sind.

Danach erstellen wir die Manara Matrix, siehe in Pasinetti [10], p. 12. Wir nennen sie die *Manara Transformationsmatrix*, welche in Schefhold's Darstellung lautet:

$$\mathbf{M} \equiv \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{n-m} & -\mathbf{T} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}_m \end{bmatrix}, \qquad \det(\mathbf{M}) = \det(\mathbf{I}_{n-m})\det(\mathbf{I}_m) = 1, \tag{5}$$

transformierend das Paar $(\mathbf{S}', \mathbf{F}')$ in ein Paar von Dreieck Blockmatrizen,

$$\mathbf{MS}' = \begin{bmatrix} \mathbf{S}'_{11} - \mathbf{TS}'_{12} & \mathbf{0} \\ \mathbf{S}'_{12} & \mathbf{S}'_{22} \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{MF}' = \begin{bmatrix} \mathbf{F}'_{11} - \mathbf{TF}'_{12} & \mathbf{0} \\ \mathbf{F}'_{12} & \mathbf{F}'_{22} \end{bmatrix}. \tag{6}$$

[2]In der Tat basiert dieser Begriff auf dem von Lev Semyonowich Pontrjagin (1908-1988) entwickelten Konzept der Beobachtung und Kontrolle von Systemen (L. S. Pontrjagin: Mathematische Theorie optimaler Prozesse. Oldenbourg Verlag, Wien 1964).

Die Matrizen $\mathbf{MS}'$ und $\mathbf{MF}'$ sind neue 'kanonische Formen' des Systems $(\mathbf{F}', \mathbf{S}')$, welche die lineare Abhängigkeit zwischen *Basisprodukten* und *Nicht-Basisprodukten* darstellen. Das ursprüngliche System $(\mathbf{F}', \mathbf{S}')$ wird folgender Transformation unterzogen:

Notation: *Wenn das System* $(\mathbf{F}', \mathbf{S}')$ *durch die Matrix* $\mathbf{M}$ *in das System* $(\mathbf{MF}', \mathbf{MS}')$ *transformiert wird, so sagen wir, dass* $(\mathbf{F}', \mathbf{S}')$ *eine* **M-Transformation** *erfährt.*

Schefold schreibt ([11], p. 59): *'Das kleinste solche System (mit dem grössten m)* $\begin{bmatrix}\mathbf{S}'_{11} - \mathbf{TS}_{21} & \mathbf{F}'_{11} - \mathbf{TF}'_{21}\end{bmatrix}$ *wird* **Basissystem** *heissen. Wenn es identisch mit dem System* $(\mathbf{S}', \mathbf{F}')$ *ist, heisst* $(\mathbf{S}', \mathbf{F}')$ *ein Basissystem.* Klarerweise, wenn $(\mathbf{S}', \mathbf{F}')$ ein Basissystem ist, dann ist $m = 0$ und $\mathbf{S}'_{22} = \mathbf{F}'_{22} = \emptyset$ erscheint als leere Matrix.

Das kleinste Basissystem $\begin{bmatrix}\mathbf{S}'_{11} - \mathbf{TS}_{21} & \mathbf{F}'_{11} - \mathbf{TF}'_{21}\end{bmatrix}$ enthält $n - m$ *Basisprodukte.* Die Matrix $\mathbf{S}_{22}$, respektive $\mathbf{F}_{22}$, enthalten die m *Nicht-Basisprodukte.*

Definition 1 : *(im Wesentlichen von Schefold adaptiert [11], p. 58). Schefold verwendet den Term 'System' für das geordnete Paar* $(\mathbf{S}', \mathbf{F}')$. *'Ein System* $(\mathbf{S}', \mathbf{F}')$ *ist ein Nicht-Basissystem, wenn eine Permutation der Spalten durchgeführt werden kann und eine Zahl* m *existiert, so dass die Matrix* $\begin{bmatrix}\mathbf{S}'_2 & \mathbf{F}'_2\end{bmatrix}$, *bestehend aus den letzten* m *Spalten* $1 \leq m \leq n-1$ *von* $\mathbf{S}'$ *und* $\mathbf{F}'$, *höchstens Rang* m *aufweist.'*

'Wenn das System $(\mathbf{S}', \mathbf{F}')$ *kein Basissystem ist, dann müssen* $n - m$ *Zeilen der* $n \times 2m$ *Matrix* $\begin{bmatrix}\mathbf{S}'_2 & \mathbf{F}'_2\end{bmatrix}$ *notwendigerweise linear abhängig sein von höchstens* m *anderen Zeilen.'*

Wenn $m = 0$ *ist, ist* $(\mathbf{S}', \mathbf{F}')$ *ein Basissystem, siehe das Matrix Rangkriterium.*

Sraffas Buch WmW wurde zu einer Zeit verfasst, als ökologische Probleme noch wenig Aufmerksamkeit auf sich zogen. Aber im Jahre 1983, als die ökologische Krise evident wurde, schlug Schefold ([12], p. 323) vor, Sraffas Theorie der *Kuppelproduktion* auf dieses Thema anzuwenden. Er erörterte die Frage der 'Stabilität des Weltklimas', die durch Reduktion des *Karbondioxid-Ausstosses* (CO_2) in die Erdatmosphäre verbessert werden kann. Aus diesem Grund muss die Verwendung von *fossilem Öl* verringert werden. Diese Ausage verleitet uns, Abfallprodukte und Nebenprodukte von *Produktionsprozessen* als Brennstoff in Elektrizitätswerken zu verwenden. Schefold sagt in der Tat ([11], p. 30): *'Dies ist ein Umweltproblem', aber es ist auch ein 'Problem der Kuppelproduktion'. Wenn alles Material in der Biosphäre rezykliert wird, so dass Exkremente von Arten die Nahrung anderer Arten sind, so resultiert die Produktion des Menschen sowohl in Konsumgüter als auch in Abfallgüter'.*

Beispiel 1 : *Als Illustration betrachten wir den Fall einer Ökonomie, die* $n = 3$ *Produkte erzeugt, wovon eines,* $m = 1$, *ein Nicht-Basisprodukt ist. Man zieht Sraffas elementares Weizen-Eisen Modell heran, das durch die Aufzucht von Rennpferden ergänzt wird:*

$$\begin{aligned} (\mathbf{S}', \mathbf{0}) &\rightarrow (\mathbf{F}'), \\ (280\ qr.\ Weizen,\ 12\ t.\ Eisen,\ 0) &\rightarrow (575\ qr.\ Weizen,\ 0,\ 0), \\ (120\ qr.\ Weizen,\ 8\ t.\ Eisen,\ 0) &\rightarrow (0,\ 20\ t.\ Eisen,\ 0), \\ (175\ qr.\ Weizen,\ 0,\ 9\ Rennpferde) &\rightarrow (0,\ 0,\ 10\ Rennpferde). \end{aligned} \tag{7}$$

Lösung von Beispiel 1: Um zu entscheiden, ob Rennpferde ein *Basisprodukte* oder ein *Nicht-Basisprodukt* sind, müssen wir die Matrizen $\mathbf{S}'_2$ and $\mathbf{F}'_2$ (3), p. 10, erstellen und deren Rang berechnen,

$$\mathrm{Rang}(\begin{bmatrix}\mathbf{S}'_2 & \mathbf{F}'_2\end{bmatrix}) = \mathrm{Rang}(\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 9 & 10 \end{bmatrix}) = 1 = m. \tag{8}$$

Wir bestätigen noch das Ergebnis mit der Berechnung der Pasinetti Matrix $\mathbf{H}$,

$$\mathbf{H} = (\mathbf{F}' - \mathbf{S}')^{-1}\mathbf{S}' = \begin{bmatrix} \frac{16}{7} & \frac{4}{35} & 0 \\ \frac{230}{7} & \frac{38}{21} & 0 \\ 575 & 20 & 9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{11} & \mathbf{0} \\ \mathbf{H}_{21} & \mathbf{H}_{22} \end{bmatrix} \Rightarrow m = 1. \tag{9}$$

So, damit sind Rennpferde *Nicht-Basisprodukte.* ▲

Wir fahren weiter und setzen lineare Unabhängigkeit der n Produktionsprozesse voraus, $\det(\mathbf{F} - \mathbf{S}) \neq 0$, zudem setzen wir *brutto integrierte Industrien*, $\det(\mathbf{F}) \neq 0$, voraus. Aus diesem Grund transformieren wir das Sraffa Preismodel der *Kuppelproduktion* mir Arbeit aber ohne Überschuss wie folgt um;

$$\mathbf{S}'\mathbf{p} + w \cdot \mathbf{L} = \mathbf{F}'\mathbf{p} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{u} = [u_1, ..., u_n]' := \frac{\mathbf{p}}{w} = (\mathbf{F}' - \mathbf{S}')^{-1}\mathbf{L}. \tag{10}$$

Der Vektor $\mathbf{u}$ heisst Vektor der *Arbeitswerte* (see Schefold [11], p. 75)[3].

Man betrachte die inverse Matrix $(h_{ij}) = (\mathbf{F}' - \mathbf{S}')^{-1}$. Wir bilden nun die n Vektoren $\mathbf{h}_{i\cdot} = \mathbf{e}_i(\mathbf{F}' - \mathbf{S}')^{-1}$. Dabei braucht man die Einheitsvektoren $\mathbf{e}_i$, $i \in \{1, ..., n\}$, einen Vektor für jede Ware i. Die Koeffizienten h_{ij} repräsentieren die *Werte pro Arbeitseinheit*, die durch die Ware i jeder der Waren j, $j \in \{1, ..., n\}$ beim Produktionsprozess zugeordnet werden und durch Multiplikation mit L_j und Aufsummierung schliesslich zum Arbeitswert u_i führen. So ergibt sich die quadratische Form,

$$u_i = \mathbf{e}_i(\mathbf{F}' - \mathbf{S}')^{-1}\mathbf{L} = \sum_{j=1}^{n} h_{ij} \cdot L_j = \mathbf{h}_{i\cdot}\mathbf{L}, \tag{11}$$

welche ein Skalarprodukt ist, das die Beiträge $h_{ij} \cdot L_j$ aufsummiert, welche die Arbeitswerte u_i der Waren i ergeben.

Definition 2 *:(Abfallgut). Eine Ware i heisst Abfallgut, wenn wenigstens eine der Komponenten des entsprechenden Zeilenvektors* $\mathbf{h}_{i\cdot} = \mathbf{e}_i(\mathbf{F}' - \mathbf{S}')^{-1}$ *negativ ist. Dieser wird mit dem Arbeitsvektor* $\mathbf{L}$ *skalar multipliziert und ergibt den Arbeitswert* $u_i = \mathbf{h}_{i\cdot}\mathbf{L}$.

In diesem Zusammenhang sollte man unterscheiden zwischen

- Abfallgut, das als solches eliminiert werden muss, wie etwa Nuklearabfälle,
- rezyklierbaren Abfallgütern, die als Waren zu den Produktionsmittel gewisser Industrien gehören, etwa Papier, gewisse Plastikwaren, Aluminiumbüchsen, usf. Ein klassisches Beispiel ist der Kuhmist, der als Düngemittel in der Landwirtschaft verwendet wird.

Beispiel 2 : *Man betrachte eine Ökonomie bestehend aus* $n = 4$ *Sektoren, respektive* $n = 4$ *Gütern, die durch die folgenden Matrizen gegeben ist. Die Zeilen stellen Prozesse dar,*

$$\mathbf{S}' = \begin{bmatrix} 20 & 0 & 50 & 30 \\ 10 & 0 & 50 & 60 \\ 30 & 0 & 10 & 10 \\ 40 & 0 & 40 & 50 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F}' = \begin{bmatrix} 100 & 1500 & 200 & 100 \\ 200 & 0 & 0 & 150 \\ 100 & 0 & 0 & 200 \\ 50 & 0 & 0 & 100 \end{bmatrix}. \tag{12}$$

[3] Der Vektor der *Arbeitswerte* $\mathbf{u}$ ist ein mathematischer Ausdruck, der zu einem weitläufigen Konzept der Arbeitswerttheorie gehört (AWT). Der Begriff *Wert* ist erschienen in frühen Werken der liberalen Ökonomen, wie Adam Smith und David Ricardo. Die *frühen liberalen Ökonomen* argumentierten, dass der ökonomische Wert eines Gutes oder einer Dienstleistung bestimmt ist durch den gesamten Wert der sozial notwendigen Arbeit, die notwendig ist, um das Gut zu produzieren. Der Vektor der *Arbeitswerte* $\mathbf{u}$, wie er hier definiert ist, drückt diesen Wert im Rahmen von Sraffas Kuppelproduktion aus.

Man hat auch den Arbeitsvektor $\mathbf{L} = [100, 200, 300, 100]'$ *und die Lohnrate* $w = 593/100$. *Es sind die Abfallgüter dieser Ökonomie und der Vektor* $\mathbf{u}$ *der Arbeitswerte zu bestimmen.*

Lösung des Beispiels 2: Man berechnet die Matrizen

$$\mathbf{F}' - \mathbf{S}' = \begin{bmatrix} 80 & 150 & 150 & 70 \\ 190 & 0 & -50 & 90 \\ 70 & 0 & -10 & 190 \\ 10 & 0 & -40 & 50 \end{bmatrix}, \; (\mathbf{F}' - \mathbf{S}')^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{71}{11'860} & \frac{-71}{11'860} & \frac{-43}{5'930} \\ \frac{1}{150} & \frac{-139}{177'900} & \frac{-1'699}{177'900} & \frac{841}{29'650} \\ 0 & \frac{-4}{2'965} & \frac{43}{5'930} & \frac{-149}{5'930} \\ 0 & \frac{-27}{11'860} & \frac{71}{11'860} & \frac{4}{2'965} \end{bmatrix}. \tag{13}$$

Man erkennt, dass alle Waren Abfallgüter sind, da alle Zeilenvektoren negative Komponenten enthalten. Wir berechnen dann den Vektor der *Arbeitswerte* mit der gegebenen Lohnrate $w = 593/100$,

$$\mathbf{u} = \frac{1}{w}\,(\mathbf{F}' - \mathbf{S}')^{-1}\mathbf{L} = \frac{100}{593}\,(\mathbf{F}' - \mathbf{S}')^{-1} \begin{bmatrix} 100 \\ 200 \\ 300 \\ 100 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{115}{593} \\ \frac{857}{1'779} \\ -\frac{360}{593} \\ \frac{875}{593} \end{bmatrix}. \tag{14}$$

Die Positivität der *Arbeitswerte* ist nicht garantiert, weil die Matrix $(\mathbf{F}' - \mathbf{S}')^{-1}$ nicht *semipositiv* ist. Wir sehen mit Gleichung (14), dass *Abfallgüter* negative *Arbeitswerte* und damit negative Preise induzieren können, $\mathbf{p} = w \cdot \mathbf{u} = [\frac{23}{20}, \frac{857}{300}, -\frac{18}{5}, \frac{35}{4}]'$.

Nun wollen wir auch die *Nicht-Basisprodukte* dieser Ökonomie bestimmen, da brauchen wir eine Permutationsmatrix, die die Zeilen austauscht,

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \tag{15}$$

Daraus ergibt sich,

$$\mathbf{S}'\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 20 & 30 & 50 & 0 \\ 10 & 60 & 50 & 0 \\ 30 & 10 & 10 & 0 \\ 40 & 50 & 40 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F}'\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 100 & 100 & 200 & 150 \\ 200 & 150 & 0 & 0 \\ 100 & 200 & 0 & 0 \\ 50 & 100 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \tag{16}$$

Dann bestimmen wir die Matrix $\begin{bmatrix} \mathbf{S}'_2 & \mathbf{F}'_2 \end{bmatrix}$ und ihren Rang,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{S}'_2 & \mathbf{F}'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 50 & 0 & 200 & 150 \\ 50 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 \\ 40 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \qquad \text{Rang} \begin{bmatrix} \mathbf{S}'_2 & \mathbf{F}'_2 \end{bmatrix} = m = 2. \tag{17}$$

Auch hier berechnen wir die Pasinetti Matrix $\mathbf{H}$, um die Anzahl von *Nicht-Basisprodukten* zu bestätigen,

$$\mathbf{H} = (\mathbf{F}'\mathbf{Q} - \mathbf{S}'\mathbf{Q})^{-1}\mathbf{S}'\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} -\frac{153}{593} & -\frac{15}{1'186} & 0 & 0 \\ \frac{125}{593} & -\frac{11}{1'186} & 0 & 0 \\ -\frac{475}{593} & -\frac{750}{593} & -1 & 0 \\ \frac{1'732}{1'779} & \frac{5'251}{3'558} & \frac{4}{3} & 0 \end{bmatrix}. \tag{18}$$

Es hat $m = 2$ *Nicht-Basisprodukte* und $n - m = 2$ *Basisprodukte.* ▲

Es macht Sinn in der Ökonomie die Abfälle und Restgüter sowie die Wiederverwertung von Beiprodukten innerhalb der Theorie der Kuppelproduktion zu studieren. So sind wir weit davon entfernt Sraffas Entwicklung (WmW, Kapitel VII) zur *Kuppelproduktion* als 'zu abstrakt' zu beurteilen. Wir werden die Kuppelproduktion zu sehr konkreten Problemen anwenden. Zum Beispiel werden wir Sraffas *Weizen-Eisen* Modell mit der Wiederverwertung von Eisenerz erweitern. Wir werden auch eine Alternative zum Schema des CO_2-Emissions-Handels entwickeln.

Wie wir wissen, ist die Theorie der *Kuppelproduktion* aber schwierig, weil neue Probleme auftreten:

a) es kann negative Preise geben,

b) die Begriffe *Basisprodukte* und *Nicht-Basisprodukte* müssen bei Kuppelproduktion über den algebraischen Begriff der 'linearen Unabhängigkeit definiert werden (PCMC, Par. 60), siehe dazu Definition 1, p. 11.

Nicht-Basisprodukte sind eine Verallgemeinerung der von Adam Smith und David Ricardo als Luxusgüter bezeichneten Waren, also typischerweise Gold und Diamanten. Wir entwickeln dazu folgendes Beispiel.

Beispiel 3 : *Man habe ein 3-Sektoren Modell, bestehend aus einem Weizen-, einem Eisen- und einem Diamantensektor. Wir nehmen an, dass die Eisenmine zusätzlich zu Eisen auch neue Diamanten produziert. Aus* 2 *kg Diamanten rechter Hand erzeugt die Eisenmine 3 kg Diamanten linker Hand. Die Diamantenmine produziert auch aus* 2 *kg Diamanten rechter Hand 3 kg Diamanten linker Hand.*

$$\begin{gathered}(\mathbf{S}', \mathbf{0}) \rightarrow (\mathbf{F}'),\\ (280\ qr.\ Weizen, 12\ t.\ Eisen, 0, 0) \rightarrow\ (575\ qr.\ Weizen, 0, 0),\\ (120\ qr.\ Weizen, 8\ t.\ Eisen, 2\ kg\ Diamanten, 0) \rightarrow (0, 10\ t.\ Eisen, 3\ kg\ Diamanten),\\ (60\ qr.\ Weizen, 4\ t.\ Eisen, 2\ kg\ Diamanten, 0) \rightarrow\ (0, 0\ , 3\ kg\ Diamanten).\end{gathered} \tag{19}$$

Man identifiziere die Matrizen **S**, **F**, *und erstelle das Matrixpaar* $\begin{bmatrix}\mathbf{S}' & \mathbf{F}'\end{bmatrix}$. *Man bestimme die Anzahl der Nicht-Basisprodukte und berechne die Preise nach dem Sraffa Preismodell, und zwar ohne Arbeitsvektor. Es hat Subsistenzlöhne. Weizen wird als Numéraire angenommen,* $p_1 = 1$.

Lösung des Beispiels 3: Man hat die folgende Warenflussmatrix und Output Matrix:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 280 & 120 & 60 \\ 12 & 8 & 4 \\ 0 & 2 & 2 \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 575 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 3 & 3 \end{bmatrix}. \tag{20}$$

Wir erstellen die Paarmatrix,

$$\begin{bmatrix}\mathbf{S}' & \mathbf{F}'\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 280 & 12 & 0 & 575 & 0 & 0 \\ 120 & 8 & 2 & 0 & 10 & 3 \\ 60 & 4 & 2 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix}. \tag{21}$$

Gemäss Sraffas Definition, wenden wir das *Matrix Rangkriterium* an. Diamanten sind in diesem Model ein *Nicht-Basisprodukt*, weil die Matrix, bestehend aus der 3.ten and 6.ten Spalte, den Rang $\begin{bmatrix}\mathbf{S}' & \mathbf{F}'\end{bmatrix}$,

$$\text{Rang}(\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2 & 3 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}) = 1, \tag{22}$$

hat. Damit lösen wir das Sraffa Preismodell:

$$\begin{array}{rcl} (1+R)(280p_1 + 12p_2) & = & 575p_1, \\ (1+R)(120p_1 + 8p_2 + 2p_3) & = & 10p_2 + 3p_3, \\ (1+R)(\ 60p_1 + 4p_2 + 2p_3) & = & 3p_3. \end{array} \tag{23}$$

Gemäss Sraffa kann das *Nicht-Basisprodukt* aus dem Gleichungssystem der Kuppelproduktion durch eine geeignete Transformation eliminiert werden, PCMC (Par. 61). Im vorliegenden Fall subtrahiert man die 3.te Gleichung von (23) von der 2.ten Gleichung. Man erhält folgendes Resultat:

$$(1+R)(60p_1 + 4p_2) = 10p_2. \tag{24}$$

Das System bestehend aus der ersten Gleichung von (23) und der Gleichung (24) ist im Wesentlichen das selbe als das System (7) ohne dritte Gleichung mit den Rennpferden. Man berechnet die Frobeniuszahl $\lambda_C = 0.8$, die Produktivität $R = 0.25$ und die Preise $p_1 = 1$, $p_2 = 15$. Man setzt diese dann in die 3.te Gleichung von (23) und erhält $p_3 = 300$. Man hat den Preisvektor $\mathbf{p} = [1, 15, 300]'$. ▲

Im vorhergehenden Beispiel spielen Diamanten die Rolle von fixem Kapital, welches den Produktionsprozess in der gleichen Menge verlassen, wie sie in ihn eingetreten sind.

Nun können wir das allgemeine Gesetz überprüfen, wonach ein technologischer Wandel in der Produktion der *Nicht-Basisprodukte* die Profitrate und die Preise der *Basisprodukte* nicht beeinflusst. In der Tat, wenn die Koeffizienten rechter Hand von p_3, und zwar der zweiten und dritten Gleichung von (23) um den gleichen Faktor verändert werden, so führt die oben getätigte algebraische Prozedur wiederum zur Gleichung (24), welche zusammen mit der ersten Gleichung von (23) die gleiche Produktivität und gleiche Preise von Weizen und Eisen ergeben.

2) Ein Modell mit Verwertung von Eisenschrott. Heute produziert unsere Wirtschaft riesige Quantitäten von Abfallgütern und von harmlosen wie giftigen Nebenerzeugnissen. Es ist sinnvoll, diese Nebenprodukte als Waren mit negativen Preisen zu betrachten. Dies ergibt eine interessante Alternative zum Konzept der 'Internalisierung externer Kosten', welches das Gegenstück der neoklassischen Umweltsökonomie ist. Sraffa selbst war es bei negativen Preisen unwohl; Er schrieb in WmW, Par. 50: *'... nur jene Produktionsmethoden [sind] praktikabel, bei denen unter den herrschenden Bedingungen ... nur positive Preise resultieren'.*. Jedoch, der grosse Vorteil der Theorie der Kuppelproduktion besteht genau darin, dass negative Preise auf ganz natürliche Weise auftreten mögen. Die Preise eines Nebenproduktes mögen vom negativen Bereich zum positiven Bereich wechseln, falls eine effiziente Wiederverwertungstechnik verfügbar wird.

Es könnte der Vorwurf auftreten, dass die von Sraffa beschriebene *Weizen-Eisen* Ökonomie nicht nachhaltig ist, weil sie Eisenschrott produziert und nur Eisen verwendet. In einer grünen Ökonomie würde Eisenschrott wieder verwertet. Lasst uns deshalb das Modell in folgender Art abändern. Wir nehmen an, dass die Eisenindustrie in einen Zweig aufgeteilt wird, der Eisen verwertet, und in einen weiteren Zweig, der Eisenschrott einzieht und wieder verwertet. Wir bezeichnen mit dem Buchstaben η die Effizienz des Rezyklierens ($\eta < 1$). Dies bedeutet, dass 1 Tonne Eisenschrott je η Tonnen Eisen ergeben. Wir betrachten folgendes

Beispiel 4 : *in Knolle [6]. Die Arbeitskräfte erhalten Subsistenzlöhne, die im Verhältnis* 1 : 1 *unter den Zweigen der Eisenbranche verteilt werden. Dann erstellen wir folgendes Modell, indem wir die Quantitäten von WmW, Par. 2, nehmen, wo der erste Sektor, so wie er ist, übernommen wird, und die Quantitäten des Eisensektors auf zwei Sektoren verteilt* *werden, der eine braucht Eisen, der andere braucht Eisenschrott als Produktionsmittel. Wir sehen von einem separaten Arbeitsvektor* $\mathbf{L}$ *ab:*

$$\begin{array}{rcl} (\mathbf{S}', \mathbf{0}) & \to & (\mathbf{F}'), \\ (280\ qr.\ Weizen\ ,\ 12\ t.\ Eisen,\ 0) & \to & (575\ qr.\ Weizen,\ 0,\ 12\ \ t.\ Schrott), \\ (60\ qr.\ Weizen,\ \ \ 4\ t.\ Eisen,\ 0) & \to & (0,\ 10\ t.\ Eisen,\ 0), \\ (60\ qr.\ Weizen,\ 0,\ 12\ t.\ Schrott, 0) & \to & (0,\ 12\eta\ t.\ Eisen,\ 0). \end{array} \tag{25}$$

Lösung von Beispiel 4: Wir identifizieren die Warenfluss Matrizen und Output Matrizen und setzen den Preisvektor $\mathbf{p} = [p_1, p_2, p_3]'$,

$$\mathbf{S}' = (s_{ji}) = \begin{bmatrix} 280 & 12 & 0 \\ 60 & 4 & 0 \\ 60 & 0 & 12 \end{bmatrix},\ \mathbf{F}' = (f_{ji}) = \begin{bmatrix} 575 & 0 & 12 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 12\eta & 0 \end{bmatrix},\ i, j = 1, .., 3. \tag{26}$$

Wenn der Handel zwischen den 3 Branchen fair ist, muss jede Branche die gleiche Profitrate haben. Wir bezeichnen mit p_3 den Preis für 1 Tonne Eisenschrott und mit R die uniforme maximale Profitrate, dann erfüllen die Preise und R folgende Gleichungen:

$$\begin{aligned} (1 + R)(280p_1 + 12p_2) &= 575p_1 + 12p_3, \\ (1 + R)(\ \ 60p_1 + \ \ 4p_2) &= 10p_2, \\ (1 + R)(\ \ 60p_1 + 12p_3) &= 12\eta p_2. \end{aligned} \tag{27}$$

Man braucht 4 Gleichungen für die 4 Unbekannten p_1, p_2, p_3, R. Wir setzen $p_1 = 1$ und verstehen damit Weizen als Numéraire. Das Preissystem (27) kann dann in Matrixform geschrieben werden, und zwar mit dem Preisvektor $\mathbf{p} = [1, p_2, p_3]'$ als *verallgemeinertes Eigenwertproblem*,

$$\mathbf{S}'\mathbf{p} = \lambda \mathbf{F}'\mathbf{p}, \qquad \lambda = \frac{1}{(1 + R)}. \tag{28}$$

Die Eigenwerte λ für welche ein Nicht-Null Preisvektor existiert, sind Lösungen des charakteristischen Polynoms $\det(\mathbf{S} - \lambda\mathbf{F}) = 0$. Hier, dank der speziellen Form der Matrizen $\mathbf{S}$ und $\mathbf{F}$ ergibt die Determinante bloss eine quadratische Gleichung in λ, nämlich,

$$P_3(\lambda) = \det(\mathbf{S} - \lambda\mathbf{F}) = a_2\lambda^2 + a_1\lambda + a_0 = (8'640\eta + 61'800)\lambda^2 - 58'320\lambda + 4'800. \tag{29}$$

Die Gleichung $\det(\mathbf{S} - \lambda\mathbf{F}) = 0$ hat zwei positive Lösungen $\lambda_1 > 0$, $\lambda_2 > 0$, Tabelle 1. Die maximale positive Lösung $\lambda_{max} = max\{\lambda_1, \lambda_2\} > 0$ ist zur Produktivität oder Ergiebigkeit $R = (1/\lambda_{max}) - 1$ der Ökonomie verbunden, welche auf (28) beruht. Zum Produktivitätsmass einer ganzen Wirtschaft, siehe Knolle ([4], 2010, p. 83). Die Tabelle 1 zeigt, wie die Produktivität R und der Preis von Eisenschrott p_3 in diesem Modell von der Effizienz η des Rezyklierens abhängen. Falls die Effizienz sehr tief ist, $\eta < 5/12$, werden die Preise von Schrott negativ, $p_3 < 0$; man findet für $\eta = 5/12$ den Preis $p_3 = 0$. Die Preise $p_3 > 0$ sind positiv für höhere Ergiebigkeit. In diesem Fall wird Weizen billiger im Vergleich zu Eisen, und zwar dank der Tatsache, dass die Farmer Eisenschrott zusätzlich zu Weizen verkaufen können. ▲

Dieses Beispiel zeigt, wie Sraffas Theorie angewandt werden kann, um Preise im Falle von Abfallgütern in ökonomischen Systemen zu berechnen, bei denen Rezyklieren eingebunden wird.

3) Ein alternatives CO_2 - Emissionshandelssystem. Jeder produktive Prozess, der CO_2 emittiert, kann als Kuppelproduktion mit CO_2 als Nebenprodukt betrachtet werden. Andererseits ist CO_2 zur Photosynthese von Pflanzen notwendig, das heisst, als Konversion

Effizienz des Rezyklierens η	Profitrate R	Eisenpreis p_2	Eisenschrottpreis p_3	Weizenpreis p_1
0.25	0.219	14.3	-2.07	1
$\frac{5}{12}$	0.25	15.0	0	1
0.5	0.266	15.4	1.08	1
0.8	0.322	16.8	5.19	1

Tabelle 1: Rezyklieren von Eisenschrott

von Sonnenenergie durch die Photosynthese der Pflanzen in Biomasse. Deshalb ist traditionelle Landwirtschaft, welche keine fossile Energie verwendet ein Absorptionssektor von CO_2. Dies führt zur Idee, CO_2 als *Ware* zu behandeln, welche zwischen Ausstoss (Erzeugern) und Absorption (Absorbierenden) gehandelt wird.

Neoklassische Ökonomen haben schon ein marktbasiertes Instrument vorgeschlagen um die Reduktion von Treibhausgasen in entwickelten Volkswirtschaften zu erreichen. Als wohlbekanntes Beispiel gilt das Emissionshandelssystem (EHS) [= Emissions Trading Scheme (ETS)] der Europäischen Union, welches seit 2005 operationsfähig ist. In diesem Handelsschema erschaffen die Regierungen *Emissionserlaubnisse* als künstliche 'Waren', welche zwischen EU-basierten Firmen gehandelt werden können. Aber der Stern Bericht gibt zu, dass es *'schwierig gewesen ist Knappheit auf dem EU EHS-Markt zu erreichen'* ([15], p. 374). Deshalb war der Preis der Emissionserlaubnisse im EU Handelssystem sehr tief. Er oszilliert zwischen 10 und 25 *EURO* pro Tonne CO_2 ([15], p. 372). Andrerseits liegen in der Schweiz die Staatsbeihilfen für CO_2-Reduktion zwischen 56 und 70 CHF pro Tonne CO_2 (NZZ, 18.9.2013).

Das EHS der EU behandelt *Treibhausgas Emissionen*, aber die Rolle der Wälder in Carbon Entziehung ist nicht eingerechnet. Das Kyoto Protokoll erwähnt des Waldklimas nicht im Art 12 des Dokumentes über den *Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung* (englisch Clean Development Mechanism, Abkürzung CDM). Hingegen an der UN-Klimakonferenz COP 6-2 in Bonn, 16.-27. Juli 2001, wurden schliesslich die notwendigen Beschlüsse zu technischen Detailfragen getroffen, damit das Kyoto-Protokoll durch Teilnehmerländer ratifiziert werden konnte. Aufforstung und Wiederaufforstung wurden im Dokument CDM aufgenommen, siehe Michaelova [7]. Auch später wurde das Thema an der UN-Klimakonferenz in Kopenhagen, 7.-18. Dezember 2009, besprochen, welche in der Entscheidung kulminierte, *'die Wichtigkeit der Emissionen in den Entforstungsprozessen und der Walddegradierung sowie die Rolle der Erhaltung und der nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder und des Ausbaus der Wälder als Kohlenstoffspeicher* festzulegen, siehe Bottazzi [1]. Aber bis zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine ökonomische Theorie, welche den CO_2-Ausstoss und die CO_2-Absorption verbindet.

In den 10 Jahren seit in Kraft treten hatte das EHS der EU nur wenig Einfluss auf die Preisbildung, während es das Auftreten etlicher Produkte mit dem Label 'CO_2-neutral' hervorrief. Deshalb schlagen wir folgende Definition vor:

> Produkte einer Firma mit CO_2-Ausstoss sind CO_2-neutral, falls die Firma einen Vertrag abgeschlossen hat, und zwar mit einer oder mehreren Firmen mit CO_2-Absorption, welche die Gesamtmenge des CO_2-Ausstosses der ersten Firma übernimmt. Die Zahlung dieser Dienstleistung muss gleiche Profitraten für *abstossende* wie für *absorbierende* Firmen erbringen.

Ein solches Handelssystem verlangt ein Rahmenwerk von starken internationalen Institutionen mit der Aufgabe, die Quantitäten der CO_2-Ausstösse und CO_2-Absorptionen zu messen und den Zahlungsfluss von den Emittenten zu den Absorbern zu kontrollieren. Dieses Thema wird hier nicht diskutiert. Es wird einfach angenommen, dass ein solches System existiert. Es wird gezeigt, dass Sraffas Theorie der Kuppelproduktion angewandt werden kann, um die negativen 'Preise' des CO_2 zu berechnen, welche den Geldtransfer von Emittenten zu Absorbern regelt und zwar so, dass gleiche Profitraten von allen Parteien garantiert sind. Mit einem abstrakten Beispiel illustrieren wir den Einfluss des CO_2-Handels auf die Wahl der Technologie und die Bestimmung der Preise.

Beispiel 5 *in Knolle [6]. Betrachten wir ein zirkulares Produktionssystem von 2 Waren W_1 und W_2 und 3 Prozesse mit konstanten Skalenerträgen[4]. Der Prozess 1 absorbiert CO_2 und produziert W_1. Dies könnte traditionelle Land- oder Forstwirtschaft sein. Die Prozesse 2a und 2b produzieren W_2, der erste mit tiefem Karboneinsatz, der andere mit hohem Karboneinsatz. W_1 ist ein notwendiges Konsumgut, während W_2 in gewöhnlicher Produktion aber*

Prozess 1	$(60\ W_1,\ 30\ W_2,\ 80\ CO_2)$	$\rightarrow$	$(100\ W_1,\ 0\ ,\ 0\ )$
Prozess 2a	$(15\ W_1,\ 25\ W_2,\ 0\ )$	$\rightarrow$	$(\ 0\ ,\ 50\ W_2,\ 30\ CO_2)$
Prozess 2b	$(10\ W_1,\ 25\ W_2,\ 0\ )$	$\rightarrow$	$(\ 0\ ,\ 50\ W_2,\ 50\ CO_2)$

Tabelle 2: Ein Emissions- und Absorptionsmodell von CO_2

auch als Luxusgut verwendet werden kann, wie dies bei vielen Produkten moderner Technologie der Fall ist. Löhne werden als Subsistenzlöhne für Arbeitnehmer betrachtet, so dass sie nicht explizite auftreten. Es wird angenommen, dass die Jahresproduktion wie folgt tabelliert werden kann:

Lösung des Beispiels 5: Auf dieser Stufe der Tätigkeit, können die Endnachfragen von 15 W_1 und 20 W_2 befriedigt werden, und das ganze emittierte CO_2 wird bei diesem Prozess 1 absorbiert, so dass W_2 im Sinne unserer Definition CO_2-neutral ist. Aber falls CO_2 als ungefährlich betrachtet wird, dann ist offensichtlich der Prozess $2b$ produktiver als der Prozess $2a$, welcher aktiviert werden würde. Um die Endnachfrage von W_2 zu befriedigen, wird die Aktivität des Prozesses $2b$ verdoppelt, so dass der CO_2-Ausstoss auf 100 ansteigen würde. Die Gleichungen für die Preise p_i von W_i, $(i = 1, 2)$ und die gleichförmige Profitrate R wären:

$$\begin{aligned}(1 + R)(60p_1 + 30p_2) &= 100p_1,\\ (1 + R)(20p_1 + 50p_2) &= 100p_2.\end{aligned} \tag{30}$$

Es sei W_1 der Numéraire, $p_1 = 1$. Man erhält die Produktivität $R = 0.25$ und den positiven Preis $p_2 = 2/3$.

Nun nehmen wir an, dass ein wie oben beschriebenes Handelssystem eingerichtet ist und haben 3 Prozesse. Schliesslich handeln wir mit CO_2 in der gleichen Art, wie mit einer anderen Ware W_1 und W_2. Ob der 'Preis' p_3 von CO_2 positiv oder negativ sein wird, ist vorher nicht bekannt. Wir nehmen an, dass die Zahlungen für CO_2 zu Beginn jedes Jahres erfolgen. Dann erhält man die Gleichungen für die Preise und die Profitrate:

$$\begin{aligned}(1 + R)(60p_1 + 30p_2 + 80p_3) &= 100p_1,\\ (1 + R)(15p_1 + 25p_2) &= 50p_2 + 30p_3,\\ (1 + R)(10p_1 + 25p_2) &= 50p_2 + 50p_3.\end{aligned} \tag{31}$$

[4]Konstante Skalenerträge besagen dass λ-fache Veränderung der Produktionsmenge eine λ-fache Veränderung des Faktor- oder Mittelleinsatzes verlangt.

Nach Identifizierung der Matrizen kann dieses System in Matrixform geschrieben werden:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 60 & 15 & 10 \\ 30 & 25 & 25 \\ 80 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 \\ 0 & 50 & 50 \\ 0 & 30 & 50 \end{bmatrix}, \quad \det(\mathbf{F}) = 100'000, \tag{32}$$

ergebend,

$$(1+R)\mathbf{S}'\mathbf{p} = \mathbf{F}'\mathbf{p}. \tag{33}$$

In diesem Fall ist die Matrix $\mathbf{F}$ regulär und besitzt eine Inverse. Somit haben wir *brutto integrierte Industrien*. Somit berechnen wir,

$$\mathbf{F}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{100} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{20} & -\frac{1}{20} \\ 0 & -\frac{3}{100} & \frac{1}{20} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_T = \mathbf{S}\mathbf{F}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{3}{5} & \frac{9}{20} & -\frac{1}{4} \\ \frac{3}{10} & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{4}{5} & 0 & 0 \end{bmatrix}. \tag{34}$$

Die Berechnung der Produktivität R und des Preisvektors geht über Eigenwerte und Eigenvektoren der Matrix $\mathbf{C}_T = \mathbf{S}\mathbf{F}^{-1}$. Man setzt also $\mathbf{C}_T'\mathbf{p} = (1/(1+R))\mathbf{p}$. Mit der bekannten Setzung $p_1 = 1$ finden wir: $R = 0.25$, $p_1 = 1$, $p_2 = 1.5$ und $p_3 = -0.3125$. ▲

Dieses Resultat zeigt, dass ein Handelssystem mit CO_2-Ausstoss, welches einen Absorptionsprozess enthält, eine Tief-Carbon Technologie profitabler als eine Hoch-Carbon Technologie erscheinen lassen kann. Aber dies verlangt eine substantielle Veränderung des Preissystems. Jene Waren, welche mit hohem CO_2-Ausstoss produziert werden, werden viel teurer sein, als jene, welche in einem System ohne Emissions-Handelssystem produziert werden.

Schlusswort. In den vergangenen Jahrtausenden, wurde die Produktion von CO_2 durch Atmung der Menschen und Tiere und die Verbrennung von Holz ausgeglichen, und zwar über den Konsum von CO_2 im Metabolismus der Pflanzen. Aber die Verbrennung von Fossilbrennstoffen stösst weltweit mehr CO_2 in die Atmosphäre aus als durch die Vegetation absorbiert werden kann. Sraffas Theorie begreift die Ökonomie als sich wiederholende jährliche Produktionszyklen. Sie liegt konzeptionell nahe an der ökologischen Wirtschaft, weil die sich wiederholenden Zyklen die unerwünschten Nebenprodukte als Produktionsmittel aufnehmen und diese wieder verwertet werden können, wobei die Produktivität des Gesamtsystems unter Kontrolle gehalten werden kann.

Literatur

[1] Bottazzi, Patrick et al., *Assessing sustainable forest management under REDD+ : A community-based labour perspective.*, Ecological Economics 93, p. 94-103, (2012).

[2] Emmenegger, J.-F., Chable D., Nour Eldin H. A., Knolle, H., *Sraffa and Leontief Revisited: Mathematical Models of a Circular Economy*, de Gruyter-Oldenbourg, München-Berlin, (Dezember 2019).

[3] Frobenius, G., *Über Matrizen aus nicht negativen Elementen*, Berliner Bericht, Seiten 456-477, (1912).

[4] Knolle, Helmut, *Vollbeschäftigung bei Nullwachstum: Für eine soziale und ökologische Wirtschaft*, Im Jahrbuch Denknetz / Réseau de Réflexion, hrsg. Hans Baumann et al., Verlag: edition 8, Postfach 3522, 8021 Zürich, (2010).

[5] Knolle, Helmut, *Und erlöse uns von dem Wachstum*, Eine historische und ökonomische Kritik der Wachstumsideologie, Pahl-Rugenstein, 2. erw. Auflage, (2011).

[6] Knolle, Helmut, *Die Wachstumsgesellschaft, Aufstieg, Niedergang und Veränderung*, Köln: Papyrossa, (2016).

[7] Michaelova, A. and Dutschke, M., *Will credits from avoided deforestation jeopardize the balance of the carbon market?* In: Palmer, Ch. and Engel, St. (eds.) Avoided deforestation. New York: Routledge (2009).

[8] Pasinetti, L. L., *Lectures on the Theory of Production*, The Macmillan Press Ltd, London and Basingstoke, (1977).

[9] Pasinetti, L. L., *A Mathematical Formulation of the Ricardian System*, in The Review of Economic Studies, 1959-1960, vol. 27, pp. 78-98, (1960).

[10] Pasinetti L. L. (Ed.): *Essays on the Theory of Joint Production*, Columbia Univ. Press, New York, (1980).

[11] Schefold, B., *Mr Sraffa on Joint Production and Other Essays*, Unwin Hyman, London, (1989).

[12] Schefold, B., *Sraffas Theorie der Kuppelproduktion. Ein Überblick.*, Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, pp. 315-340, (1983/4).

[13] Sraffa, P., *Warenproduktion mittels Waren*, Edition Suhrkamp 780, Erste Auflage, (1976).

[14] Steedman I., Basics, Non-Basics and Joint Production, The Economic Journal, Vol. 87, pp. 324-328, (June 1977).

[15] Stern, N., *The Economics of Climate Change*, The Stern Review, Cambridge University Press, (2007).