

Ökonomische Effekte der Wasserstoffstrategie

Impaktanalyse

Kurzstudie

Ökonomische Effekte der Wasserstoffstrategie Impaktanalyse

Mai 2020

C. Helmenstein, A. Kleissner

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

**Economica Institut für Wirtschaftsforschung
Economica Institute of Economic Research**

Economica Institut für Wirtschaftsforschung
Liniengasse 50-52
1060 Wien
Österreich
T: +43 676 3200-400
E: office@economica.at
W: www.economica.at

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
2	Methodik.....	8
2.1	<i>Satellitenkonten</i>	8
2.1.1	Satellitenkonten in der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung	8
2.1.2	Input-Output-Tabellen.....	10
2.1.3	Erstellung des Satellitenkontos Wasserstoff	12
2.2	<i>Impaktanalyse.....</i>	14
2.2.1	Grundlagen der Input-Output-Analyse.....	14
2.2.2	Wertschöpfungseffekte	15
	Beschäftigungseffekte	16
2.2.3	Multiplikative Effekte	16
3	Ökonomische Effekte aus Investitionen.....	17
3.1	<i>Investitionen.....</i>	17
3.1.1	Investitionskosten gesamt.....	18
3.1.2	Investitionskosten in Österreich	19
3.2	<i>Bruttowertschöpfung</i>	22
3.3	<i>Beschäftigung</i>	26
4	Ökonomische Effekte aus dem laufenden Betrieb	28
4.1	<i>Kostenkomponenten</i>	28
4.1.1	Fixkosten.....	29
4.1.2	Variable Betriebskosten.....	29
4.1.3	Abschreibungen.....	30
4.1.4	Gesamtkosten.....	31

4.2	<i>Bruttowertschöpfung</i>	32
4.3	<i>Beschäftigung</i>	34
Appendix: Methodik		35
A1	<i>Der Aufbau von Input-Output-Tabellen</i>	35
A4	<i>Fragestellungen der Input-Output-Analyse</i>	38
5	Literaturverzeichnis	41
6	Abbildungsverzeichnis	42
7	Tabellenverzeichnis	43

1 Einleitung

Die Erforschung und Testung neuer Methoden zur Gewinnung und -speicherung von Wasserstoff ist europaweit in vollem Gange. Österreich hat dazu während seiner EU-Ratspräsidentschaft mit der „Hydrogen-Initiative“ den Startschuss gegeben, andere EU-Mitgliedstaaten zu einem Umdenken in Richtung Klimawende und Modernisierung motiviert und die erforderliche Zusammenarbeit zwischen Politik und Wirtschaft angeregt.

Österreichs ehrgeiziges Ziel, Wasserstoffnation Nummer Eins zu werden, dient als Vorbild für andere Akteure und weckt sichtbar das Interesse für die Entwicklung neuer Technologien nicht nur im eigenen Land, sondern ebenso in ganz Europa. Durch die flankierende Unterstützung und laufende Koordination auf europäischer Ebene sollen die teilnehmenden Staaten und deren Unternehmen in einem sinnvollen Ausmaß miteinander konkurrieren und sich hauptsächlich durch ambitionierte gemeinsame Pläne ergänzen und wechselseitig voranbringen.

Aktuelle Studien zeigen, dass das Feld der Wasserstofftechnologien auf technischer Seite zwar schon gut erforscht ist, darüber hinaus auch einiges bereits in Planung begriffen ist, die Umsetzung aber noch hinterherhinkt. Vielversprechend aus österreichischer Perspektive ist, dass die Industrie das Bergen des Fortschrittspotentials als Gemeinschaftsprojekt betrachtet und Unternehmen wie Voestalpine, Verbund, Siemens und andere bereits gemeinsam daran arbeiten. Dies demonstriert die Verantwortung bedeutender Pioniere beim Thema Klimaschutz wie auch bei der Weiterentwicklung erneuerbarer Energien. Davon kann eine Vorbildwirkung auf andere potenzielle Partner aus Politik, Forschung und Wirtschaft ausgehen.

Essenziell sind politische Rahmenbedingungen, welche größtenteils mit dem Erneuerbaren Ausbau Gesetz (EAG) umgesetzt werden. Präzise Termine für Zwischenziele spornen an – allerdings müssen sie technologisch und wirtschaftlich auch erreichbar sein – und verhindern ebenso wie der europäische Wettbewerb das Stehenbleiben auf bereits Errungenem, denn ein weiteres Voranschreiten bei Forschung und Entwicklung ist allein schon im Interesse nachfolgender Generationen notwendig.

Falls eine Kopplung der Sektoren Wirtschaft/Industrie, Gebäude/Raumwärme und -kühlung sowie Mobilität/Verkehr über die Verwendung von elektrischer Energie und Wasserstoff gelingt, lässt dies eine effektive und effiziente klimafreundliche Zukunft erahnen.

Die hier vorliegende Studie beleuchtet, welche ökonomischen Effekte mit der Umsetzung eines der Kernelemente einer österreichischen Wasserstoffstrategie, d.h. mit der Errichtung und dem Betrieb von Elektrolyseanlagen von 1 GW Kapazität bis 2030, verbunden sind. Insbesondere stellt sich die

Frage, ob Österreich aufgrund seiner technologischen Kompetenz eine Wasserstoffstrategie auch überdurchschnittlich stark in heimische Wertschöpfung übersetzen wird können.

Die Berechnung von Bruttoproduktionswert, Wertschöpfung und Beschäftigung – sowohl aus dem Bau als auch dem Betrieb der Elektrolyseanlagen – basiert auf der Input-Output-Analyse. Diese wiederum bedient sich sogenannter Input-Output-Tabellen, wie sie in Österreich von der Statistik Austria bereitgestellt werden. Für die konkrete Fragestellung wäre es zwar möglich, aber unzureichend, die Berechnungen auf Basis der letztverfügbaren Input-Output-Tabelle für 2016 durchzuführen. Denn es handelt sich bei Elektrolyseanlagen um den Einsatz neuer Technologien, die in dieser Form in bereits bestehenden Tabellen natürlich nicht berücksichtigt werden konnten, die aber auch nicht dem Branchendurchschnitt des Bauwesens (für die Bauphase) oder der Energiedienstleistungen (für die Betriebsphase) entsprechen. Es ist daher erforderlich, ein sogenanntes Satellitenkonto Wasserstoff zu erstellen. Dabei handelt es sich um Erweiterungen bestehender Input-Output-Tabellen um die hier interessierenden Technologien, nämlich die Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL), die Alkalische Elektrolyse (AEL) und die Hochtemperatur-Elektrolyse (HTEL), sowohl für die Bau- aber auch Betriebsphase. In einem ersten Schritt wurden dazu die erforderlichen Investitionssummen (Kapitel 3.1) abgeschätzt. Darauf aufbauend wurden die Satellitenkonten im Rahmen der Input-Output-Tabellen, als Basis der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, modelliert und bis 2030 fortgeschrieben, um in weiter Folge die ökonomischen Effekte auf Wertschöpfung und Beschäftigung (entlang der gesamten heimischen Wertschöpfungskette) für die Bauphase (Kapitel 3.2 und 3.3) und die Betriebsphase (Kapitel 0) zu berechnen. Bei allen Ergebnissen ist stets zu berücksichtigen, dass die künftigen Entwicklungen im Bereich der Wasserstofftechnologien noch mit großer Unsicherheit behaftet sind.

2 Methodik

Um berechnen zu können, welchen wirtschaftlichen Beitrag eine Wasserstoffstrategie in Österreich künftig leisten wird, bedarf es weit mehr als nur einer Abschätzung der Gesamtinvestitions- sowie Betriebskosten und deren Übersetzung in Wertschöpfungs- und Beschäftigungsgrößen. Dieser Ansatz, wie er klassischerweise mittels Input-Output-Analyse verfolgt wird, würde im konkreten Fall zu kurz greifen. Methodisch handelt es sich um eine wesentlich komplexere Aufgabe, gilt es doch, eine technische Neuerung möglichst detailgetreu in die bestehenden Input-Output-Tabellen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung zu übersetzen. Hierfür wird im Rahmen dieser Studie erstmalig ein sogenanntes Satellitenkonto Wasserstoff entwickelt, eine Erweiterung der bestehenden Input-Output-Tabellen, in welcher die Wasserstoff-spezifischen Charakteristika für den Bau von Elektrolyseanlagen aber auch deren Betrieb erfasst werden (Kapitel 2.1.3). Erst wenn dieses Satellitenkonto in die letztverfügbare Input-Output-Tabelle integriert ist, können die Effekte auf Bruttoproduktionswert, Bruttowertschöpfung und Beschäftigung mittels Input-Output- bzw. Impakt-Analyse (Kapitel 2.2) berechnet werden.

2.1 Satellitenkonten

Die traditionelle amtliche Statistik vermag die volkswirtschaftlichen Verflechtungen des Baus oder Betriebs einer Elektrolyseanlage nicht oder nur unzureichend darzustellen, da die hierfür erforderlichen Daten noch nicht oder nur auf einem sehr verallgemeinernden Aggregationsniveau der Bauwirtschaft oder der Energiedienstleistungen vorhanden sind. Zur Erfassung der monetären Größenordnung und zur Erstellung einer Datenbasis bietet sich daher als geeigneter Ansatz die Entwicklung eines Satellitensystems „Wasserstoff“ – ähnlich dem Tourismus-, Kultur- oder Sport-Satellitenkonto – sowie dessen Implementierung in die für Österreich bestehende Input-Output Tabelle an.

2.1.1 Satellitenkonten in der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung

Für bestimmte Fragestellungen gesellschaftlichen und ökonomischen Interesses bedarf es einer Disaggregation jener Daten, die in den Ausgangstabellen – etwa der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung – aufgrund des zu hohen Aggregationsgrads für bestimmte Fragestellungen nur schwer zu interpretieren oder unzureichend sind. So kann zudem eine Übersichtlichkeit der Daten für diese Bereiche gewährleistet werden. Daher werden ergänzend zur Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung so genannte Input-Output-Tabellen erstellt. Diese Tabellen stellen die Verflechtung der einzelnen Wirtschaftsbereiche einer Volkswirtschaft sowie deren Beiträge zur Wertschöpfung dar. Die Gliederung erfolgt nicht, wie in der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, nach institutionellen Gesichtspunkten (Unternehmen, private und öffentliche Haushalte), sondern nach funktionellen Gesichtspunkten, wodurch die Ströme einzelner Güter und Gütergruppen von der Produktion bis hin zur Verwendung

deutlich gemacht werden können. Insbesondere können sämtliche Vorleistungsströme exakt dargestellt werden. Diese detaillierte sektorale Gliederung des Modells ist allerdings mit dem Nachteil verbunden, dass die Abbildung der volkswirtschaftlichen Verflechtungsstrukturen aufgrund des enormen Erhebungs- und Verarbeitungsaufwands nur zeitlich verzögert bereitgestellt werden kann. Die aktuellste Fassung einer Input-Output-Tabelle für Österreich stammt aus dem Jahr 2016.¹

Diese Input-Output Tabellen liefern somit wichtige Informationen zur Berechnung der Vorleistungseffekte, für Fragestellungen wie die Gegenständliche sind aber selbst diese Tabellen nicht detailliert genug. Um diese, nicht im benötigten Detaillierungsgrad bzw. bisher noch gar nicht dargestellten, Informationen sichtbar machen zu können, wurden tiefer gegliederte Input-Output Tabellen entwickelt, die einen bestimmten Bereich genauer darstellen. Da diese Erweiterungen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung und der Input-Output Tabellen die Basistabellen thematisch „umkreisen“, werden sie auch als Satellitenkonten bezeichnet.

Eine allgemeine Definition des Satellitensystems findet sich in Haslinger²:

„Ein Satellitensystem ist ein in regelmäßigen Abständen auszuweisendes, konsistentes System monetärer und nicht monetärer Messgrößen, die hinlänglich genau, detailliert und umfassend Vorgänge und Zustände bzw. Zustandsänderungen nachweisen sollen, die in einem Sinnbezug bzw. Zusammenhang zu einem wichtigen gesellschaftlichen Anliegen stehen. Die monetären Messgrößen sollen dabei mit dem Zentralsystem verknüpft sein“.

Eine weitere Definition stammt von Stahmer³, welcher Satellitensysteme als „[...] spezifische Datensysteme sieht, deren Konzepte auf die jeweilige Thematik zugeschnitten sind, die aber mit den traditionellen Gesamtrechnungen eng verknüpft werden, um Analysen im gesamtwirtschaftlichen Zusammenhang zu ermöglichen.“

Um die Daten des Satellitensystems mit der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung verknüpfen zu können, ist es notwendig, auf gleiche Definitionen, Bewertungsgrundsätze und Abgrenzungen zu achten sowie eine der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung entsprechende Sektorengliederung zu verwenden.

¹ Statistik Austria (2020).

² Haslinger (1988), S. 66

³ Stahmer (1991) S. 45

Die Anwendungsmöglichkeiten von Satellitensystemen sind vielfältig: Im Vordergrund steht die Darstellung des Ist-Zustandes eines Teilbereiches der Volkswirtschaft (Dokumentationsfunktion). Darüber hinaus können Satellitensysteme – wenn sie regelmäßig mit den aktuellsten Daten fortgeschrieben und aktualisiert werden – auch als Prognose-, Planungs- und Kontrollinstrumente eingesetzt werden. Bei der Wahl der Thematik gibt es grundsätzlich keine Einschränkungen. Erstellt werden Satellitensysteme beispielsweise für ganze Wirtschaftsbereiche (Tourismus, Sport, Kultur, Gesundheit, Umwelt,...), einzelne Wirtschaftssektoren (Lebensmittelindustrie, Bahnindustrie, Automobilwirtschaft, ...), für einzelne Unternehmen (Bahn, Post, Banken,...) oder aber auch einzelne Technologien, wie im konkreten Fall.

Für Satellitenkonten (Satellitensysteme) gilt:

- Satellitenkonten bleiben mit der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung verknüpft. Bestimmte Definitionen, Abgrenzungen, Bewertungsgrundsätze u.ä. werden aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung übernommen.
- Bei der Erstellung von Satellitenkonten werden auch Informationen abseits der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung berücksichtigt. Auch nichtmonetäre, fiktive oder alternativ bewertete Informationen können innerhalb eines Satellitensystems analysiert werden, jedoch müssen diese Abweichungen bzw. Erweiterungen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung als solche gekennzeichnet und dokumentiert werden.

Satellitenkonten stellen somit notwendige Erweiterungen der Einsatzfähigkeit der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung dar. Durch deren vollständige Kompatibilität mit der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung wird ein Vergleich volkswirtschaftlicher Kennzahlen des Baus und Betriebs von Elektrolyseanlagen (insbes. Bruttoproduktionswert, Bruttowertschöpfung, Beschäftigungsgrößen) mit makroökonomischen Aggregaten anderer Wirtschaftszweige oder der Gesamtwirtschaft möglich.

2.1.2 Input-Output-Tabellen

Die Arbeit mit Input-Output Tabellen sowie deren Analyse (Kapitel 2.2) ist heute eine der am häufigsten angewandten Methoden der empirischen Wirtschaftsforschung. Bei diesen Input-Output Tabellen handelt es sich grundsätzlich um ein System linearer Gleichungen, das die Verteilung des Bruttoproduktionswertes auf die Volkswirtschaft beschreibt.

Eine Input-Output Tabelle besitzt Matrizenstruktur (Abbildung 1). Die Zeilen geben die Verteilung eines Outputs auf die Volkswirtschaft an, d.h. wie viel ein Sektor an die anderen Sektoren als Input und an die Endnachfrage liefert. In weiteren zusätzlichen Zeilen wird die Wertschöpfung nach Wertschöpfungskategorien sowie Importe nach Inputsektoren gegliedert. Die Spalten geben an, wie viel Input zur Erzeugung des Outputs benötigt wird, d.h. wie viel ein Sektor an Input von anderen inländischen

Sektoren oder aus dem Ausland als Vorleistung bezieht und wie viel Wertschöpfung im Laufe des Produktionsprozesses generiert wird. In zusätzlichen Spalten steht die Endnachfrage. Hier werden die Verkäufe eines jeden Sektors an die verschiedenen notiert.

Die Input-Output-Tabelle kann somit in drei Teiltabellen gegliedert werden, die üblicherweise als Quadranten bezeichnet werden (Quadrant 4 ist nicht besetzt):

Quadrant 1: Der eigentliche Kern der Input-Output-Tabelle, welcher die Lieferungen und Bezüge der einzelnen Sektoren (d.h. die Vorleistungen) zum Gegenstand hat;

Quadrant 2: die Endnachfrage;

Quadrant 3: Wertschöpfung und Import.

Abbildung 1: Aufbau einer Input-Output-Tabelle

		Vorleistungslieferungen				Endnachfrage			Lagerveränderungen, Investitionen	Exporte	Gesamtverwendung
		Gut 1	Gut 2	Gut 3		Privater Konsum	Staatlicher Konsum				
	Gut 1	1	2	1	4	5	0	5	6	3	18
	Gut 2	3	17	10	30	10	0	10	10	2	52
	Gut 3	0	10	10	20	5	5	10	5	7	42
	Heimische Vorleistungen	4	29	21	54 / 54	20	5	25	21	12	112
Vorleistungsimporte		1	0	2	1						
Vorleistungen gesamt		5	29	23	55						
	Abschreibungen	1	2	3	6						
	Steuern	3	4	3	10						
	Personalkosten	6	12	8	28						
	Gewinne	2	2	3	7						
Bruttowertschöpfung		12	20	17	51						
Produktionswert		17	49	40	106						
Importe		1	3	2	6						
Gesamtoutput		18	52	42	112						

Quelle: Economica.

Um den ersten Quadranten der Tabelle, auch Vorleistungstabelle genannt, mit Daten zu füllen, benötigt man Informationen bzgl. der Austauschbeziehungen von Produkten zwischen den verschiedenen Sektoren. Diese Austauschbeziehungen nennt man auch interindustrielle bzw. intersektorale Ströme. Diese werden für eine bestimmte Zeitperiode (üblicherweise ein Jahr) gemessen und in Geldeinheiten angegeben.

Unter Endnachfrage versteht man jene Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen, die nicht als Inputs im Produktionsprozess verwendet werden. Die Endnachfrage unterteilt man in fünf große Bereiche:

- Konsumausgaben der privaten Haushalte,
- Investitionen,
- Lagerveränderungen,
- die Staatsausgaben
- und die Exporte.

Die ersten vier Komponenten werden häufig unter dem Begriff der „inländischen Endnachfrage“ zusammengefasst, während die Exporte auch als „ausländische Endnachfrage“ bezeichnet werden.

Die Wertschöpfungsmatrix zeigt, zeilenweise gelesen, die Verteilung der Wertschöpfungskomponenten auf die Sektoren und, spaltenweise gelesen, die Zusammensetzung der Wertschöpfung eines bestimmten Sektors. Die Komponenten der Wertschöpfungsmatrix setzen sich – vereinfacht ausgedrückt – zusammen aus der Entlohn für Arbeit (Löhne und Gehälter) und Kapital (Abschreibungen, Gewinne).

2.1.3 Erstellung des Satellitenkontos Wasserstoff

Vereinfacht ausgedrückt bedarf es zur Erstellung eines Satellitenkontos Wasserstoff und der Implementierung in die Input-Output-Tabelle einer Anpassung der Vorleistungskoeffizienten und Wertschöpfungskomponenten bzw. daraus abgeleitet der technischen Koeffizienten und einer Überführung in die IOT in Form separater Zeilen und Spalten, einmal für die Investitions-/Bau- und einmal für die Betriebsphase.

Graphisch lässt sich dies als Erweiterung der bestehenden Input-Output-Tabelle darstellen (Abbildung 2). Während für die Bau-/Investitionsphase eine separate Modellierung in der Bauwirtschaft (mit allen dazugehörigen Komponenten entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette) erfolgen muss, wird in der Betriebsphase eine Erweiterung des Sektors der Energiewirtschaft notwendig. Befüllt werden die einzelnen Zellen zunächst produktionsseitig (d.h. spaltenweise), wobei hier mittels Sekundärdatenrecherche zunächst die einzelnen Komponenten zu bestimmen sind, die von Relevanz sind, und darauf aufbauend deren Größenordnung festgelegt wird (zu den Komponenten und Größenordnungen vergleiche Kapitel 3.1.1 für die Bau- und Kapitel 4.1 für die Betriebsphase).

Da derzeit drei unterschiedliche Technologien Verwendung finden, die sich hinsichtlich erforderlicher Komponenten und Kostenstruktur unterscheiden, wurde davon Abstand genommen, einen Satelliten als Durchschnitt der drei Technologien zu modellieren.

Stattdessen wurden drei separate Satellitenkonten, jeweils eines für die

- Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL),
- die Alkalische Elektrolyse (AEL) und die
- Hochtemperatur-Elektrolyse (HTEL)

erstellt, um auch künftig ausreichende Flexibilität zu haben, um beliebige Linearkombinationen dieser drei Technologien zu modellieren.

Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung einer Erweiterung der Input-Output-Tabelle durch Wasserstoff-relevante Komponenten der Investitions-/Bau- und Betriebsphase

		Vorleistungslieferungen						Endnachfrage			Lagerveränderungen, Investitionen	Exporte	Gesamtverwendung
		Gut 1'	Gut 2'	Gut 3	Investition H ₂	Betrieb H ₂		Privater Konsum	Staatlicher Konsum				
	Gut 1'	1	1	1	0	1	4	3	0	3	3	1	11
	Gut 2'	1	11	10	1	2	25	6	0	6	7	1	39
	Gut 3	0	10	10	0	0	20	5	5	10	5	7	42
	Investition H ₂	0	0	0	0	0	0	2	0	2	3	2	7
	Betrieb H ₂	0	3	0	1	1	5	4	0	4	3	1	13
Heimische Vorleistungen		2	25	21	2	4	54 / 54	20	5	25	21	12	112
Vorleistungsimporte		1	-3	2	0	1	1						
Vorleistungen gesamt		3	22	23	2	5	55						
	Abschreibungen	1	1	3	0	1	6						
	Steuern	2	2	3	1	2	10						
	Personalkosten	3	11	8	3	3	28						
	Gewinne	1	1	3	1	1	7						
Bruttowertschöpfung		7	15	17	3	7	51						
Produktionswert		10	37	40	7	12	106						
Importe		1	2	2	0	1	6						
Gesamtoutput		11	39	42	7	13	112						

Quelle: Economica.

Anmerkung: Zellenwerte sind exemplarisch und frei erfunden. Dargestellt werden soll insbesondere, dass die Summe der aufgeteilten Zellen wieder den Wert aus der ursprünglichen IOT ergibt.

Im zweiten Schritt sind diese technischen Koeffizienten um eine möglichst realitätsgetreue Darstellung der Außenhandelsverflechtungen zu ergänzen. Besondere Bedeutung ist hierbei den Importen zuzumessen, da der Anteil der Importe sich unmittelbar auf die indirekten Effekte im Inland auswirkt. D.h. es ist für alle Vorleistungskomponenten jener Anteil, der nicht am heimischen Markt verfügbar ist bzw. sein wird (wertvolle Informationen hierzu lassen sich aus der Patentanalyse ableiten), zu quantifizieren und in der Zeile „Importe“ zu verbuchen.

In einem dritten Schritt ist zu überprüfen, inwieweit sich eine ändernde Nachfrage auf die Produktionsseite durchschlagen wird. Dies lässt sich im Wesentlichen in den entsprechenden Zeilen der

Endnachfrage modellieren, wobei anzumerken ist, dass die hier getroffenen Annahmen vor allem aus der Literatur abgeleitet sind.

Im vierten Schritt werden die Tabellen inklusive der bereits integrierten Satellitenkonten für die Jahre 2025 und 2030 fortgeschrieben. Endnachfrageänderungen und prognostizierte Preisentwicklungen für Energie sind hier, den aktuellsten Prognosen folgend, mitzuberechnen.

Im letzten Schritt werden Szenarien definiert, welche sich als Linearkombination der drei unterschiedlichen Technologie-Szenarien zusammensetzen.

Alle angeführten Schritte werden jeweils separat für die Betriebs- und Bau-/Investitionsphase durchgeführt, da es sich um grundlegend unterschiedliche Voraussetzungen handelt. Damit ist das Modell derart flexibel gestaltet, dass diverse Simulationsrechnungen, aber auch künftige Anpassungen an reale Entwicklungspfade möglich sind.

2.2 Impaktanalyse

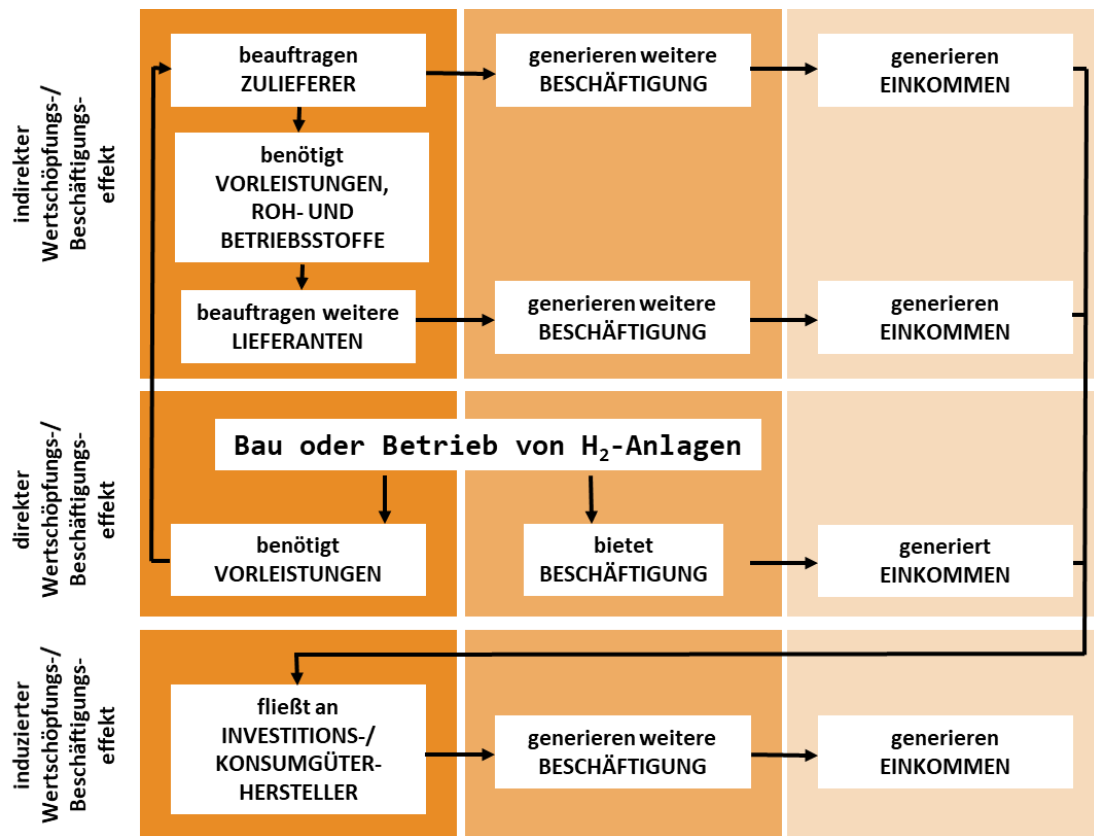
2.2.1 Grundlagen der Input-Output-Analyse

Das im Rahmen dieser Studie erstellte Satellitenkonto Wasserstoff hat zum Ziel, die durch den Bau und Betrieb der Elektrolyseanlagen ausgelösten Effekte in einer konsistenten Form, gemäß den Richtlinien der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, abzubilden. Hierfür wird eine Impaktanalyse durchgeführt, die im ersten Schritt die direkten Effekte von Bau und Betrieb quantifiziert.

Von den direkten Effekten sind die sonstigen wirtschaftlichen Beiträge abzugrenzen, die durch wirtschaftliche Aktivitäten entlang der gesamten Wertschöpfungskette Wasserstoff generiert werden. Diese sonstigen Effekte lassen sich in drei Kategorien (Abbildung 3) unterteilen:

- Die Wertschöpfung, welche in der Volkswirtschaft durch die Vorleistungsnachfrage der mit dem Bau und Betrieb von Elektrolyseanlagen verbundenen Wirtschaftszweige ausgelöst wird (die so genannten indirekten Effekte),
- die Bruttoinvestitionen (Veränderungen des Kapitalstocks) und
- die ausgelösten Einkommenseffekte (mit dem Bau und Betrieb erzielte Lohneinkommen, welche zu Konsum- und Investitionsausgaben führen).

Abbildung 3: Direkte, indirekte und induzierte Effekte



Quelle: *Economica*.

Während die Berechnung der direkten Effekte ohne Modell möglich ist, können die indirekten Effekte entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette nur mittels Input-Output-Analyse quantifiziert werden. Aus der klassischen Formel: $X = (I - A)^{-1}Y$, welche die Grundlage jeder Input-Output-Analyse darstellt, ist es der Term $(I - A)^{-1}$, auch bekannt als Leontief-Inverse, mit welchem alle Effekte im Bereich der Vorleistungen erfasst und quantifiziert werden können.

2.2.2 Wertschöpfungseffekte

Die Wertschöpfung eines Sektors berechnet sich als Gesamtproduktion abzüglich der benötigten (heimischen und importierten) Vorleistungen. Zur Quantifizierung der direkten Wertschöpfungseffekte benötigt man detaillierte Informationen zu den Ausgaben. Zieht man vom Produktionswert die für Vorleistungen aufgewendeten Ausgaben ab, so erhält man den direkten Bruttowertschöpfungseffekt. Auf Basis der Leontief-Inversen können die indirekten Wertschöpfungseffekte ermittelt werden.

Beschäftigungseffekte

Die Berechnung der direkten Beschäftigungseffekte erfolgt, abhängig vom vorhandenen Datenmaterial, mittels unterschiedlicher Verfahren:

- Methode 1 berechnet die Effekte auf Basis des durchschnittlichen Personalaufwands eines Sektors pro Jahr.
- Methode 2 hingegen geht von der allgemein üblichen Beschäftigungsstruktur der jeweiligen Branche (des jeweiligen Sektors) im Verhältnis zur Bruttowertschöpfung, d.h. von der Produktivität im konkreten Sektor, aus.

Ein dabei nicht zu vernachlässigender Faktor ist die Auslastung der Kapazitäten in den entsprechenden Sektoren: Der volle Beschäftigungseffekt wird sich nur bei einer bereits 100-prozentigen Auslastung und einer entsprechenden Aufstockung der Kapazitäten entfalten; in allen anderen Fällen kommt es aber zu einer Absicherung bereits vorhandener Arbeitsplätze und einer weiteren Auslastung der Kapazitäten. Darüber hinaus besteht bei nicht permanent anfallender Nachfrage häufig die Tendenz, diese eher in Form von Überstundenleistungen und Sonderschichten als durch die Neueinstellung von Arbeitskräften zu bedienen.

Die Beschäftigungseffekte werden üblicherweise sowohl in Kopf-Größen, als auch in Vollzeitäquivalent-Jahresarbeitsplätzen ausgewiesen.

2.2.3 Multiplikative Effekte

Von den ursprünglich getätigten Ausgaben werden Folgerunden- bzw. Multiplikatoreffekte induziert, da jedes Unternehmen für die Herstellung seiner Produkte bzw. Dienstleistungen Halbfabrikate sowie Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe von anderen Branchen benötigt. Um von den Erstrundeneffekten auf die Höhe dieser Folgerundeneffekte schließen zu können, verwendet man aus der Leontief-Inversen abgeleitete Multiplikatoren. Die Höhe der Multiplikatoren hängt in erster Linie von der Struktur der wirtschaftlichen Verflechtungen der primär angeregten Sektoren mit den übrigen Sektoren der Wirtschaft ab, d.h. vor allem davon, an wen die Personal- und Sachausgaben fließen und wie diese in Folgeaufträgen weitergegeben werden. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Vorleistungen sowohl aus dem Inland als auch aus dem Ausland bezogen werden können. Primäre Effekte für Österreich gehen aber nur von jenem Teil der laufenden Ausgaben und Investitionen aus, der nicht durch Importe ins Ausland abfließt.

3 Ökonomische Effekte aus Investitionen

3.1 Investitionen

Grundlage aller Berechnungen zu den ökonomischen Effekten aus Investitionen bilden die im Zeitraum 2020 bis 2030 zu erwartenden Investitionskosten. Diese gilt es daher in einem ersten Schritt zu erheben, wobei auffällt, dass die in der Literatur angeführten Werte einer starken Schwankungsbreite unterliegen. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass Studien zu unterschiedlichen Zeitpunkten erstellt wurden, sodass in diesem Rahmen nur auf die aktuellsten Studien Bezug genommen werden soll, die auch eine möglichst konsistente Fortschreibung der Kosten bis 2030 gewährleisten. Ein weiterer Grund liegt darin, dass die Investitionskosten von der Anlagengröße abhängen und Skaleneffekte dazu führen, dass die durchschnittlichen Investitionskosten mit steigender Anlagengröße abnehmen, wobei nicht in allen Studien auf diese Größeneffekte Bezug genommen wird und stattdessen nur Durchschnittswerte verwendet werden. Als dritter Grund ist anzuführen, dass es unterschiedliche Technologien in unterschiedlichem Reifegrad und Kostendimension gibt, die es zu berücksichtigen gilt. Zu unterscheiden sind im Wesentlichen

- die Alkalische Elektrolyse (AEL),
- die Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL) und die
- Hochtemperatur-Elektrolyse (HTEL).

Die *Alkalische Elektrolyse* ist die älteste und am weitesten verbreitete Technologie mit einer Technologiereife, die sie bereits heute relativ günstig verfügbar macht. Skaleneffekte können in den nächsten Jahren weitere Kostensenkungen evozieren.

Die *Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse* hingegen steht gerade erst am Start, was eine Kommerzialisierung anbetrifft. Hier werden erhebliche Kostensenkungspotenziale erwartet, die so stark ausfallen könnten, dass die Kosten mittel- und langfristig mit den Herstellungskosten der AEL vergleichbar wären.

Noch nicht im großen Maßstab verfügbar ist die *Hochtemperatur-Elektrolyse*. Hier wird noch intensivst geforscht, zumal dieser das Potenzial einer disruptiven Technologie mit enormen Kostensenkungspotenzialen zugeschrieben wird.

Auch wenn in Österreich derzeit nur Installationen mit AEL- und PEMEL-Technologie geplant sind, wird das Satellitenkonto bereits jetzt mit Informationen zur Hochtemperatur-Elektrolyse gespeist, für den Fall, dass diese Technologie in den nächsten zehn Jahren doch stark an Bedeutung gewinnen sollte.

3.1.1 Investitionskosten gesamt

Folgt man den Ausführungen der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW GmbH)⁴, welche die Ergebnisse bereits vorhandener Studien zusammenfassen und mit einer Primärdatenerhebung ergänzen, so kann man die Herstellungskosten nach Technologie ausgedrückt in Relations zur Wasserstoff Produktionsrate (€ pro Nm³/h) oder die auf die Anschlussleistung bezogenen Investitionskosten (€/kW) ausweisen. Die Werte werden für 2020 abgebildet und – unter Berücksichtigung der zu erzielenden Skaleneffekte sowie der Weiterentwicklung der Technologie – auf 2030 fortgeschrieben. Anzumerken ist, dass die Werte für die AEL- und PEMEL-Technologie gut abgeschätzt werden können, wohingegen bei HTEL noch große Unsicherheiten bestehen. Aufgrund noch nicht absehbarer Entwicklungen wird für diese Studie ein technologieneutraler Zugang gewählt und eine gleichmäßige Aufteilung zwischen AEL und PEM Kapazität bis 2030 angenommen und von Annahmen bezüglich HTEL Kapazitäten abgesehen. Ausgehend von den tatsächlichen Einsatzfeldern und Standorten der Anlagen kann diese Aufteilung bis 2030 variieren.

Die, der Berechnung der Investitionskosten zugrunde gelegten, Werte sind folgender Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 1: Herstellungskosten bis 2030 nach Technologien, in Euro/(Nm³/h) und Euro/kW

	in Euro/(Nm ³ /h)		in Euro/kW	
	heute	2030	heute	2030
PEMEL	7050	4000	1470	810
AEL	4250	3000	920	690
HTEL	8900	1750	2300	460

Quelle: *Economica*, NOW.

Die Installationsleistung bis 2030 beläuft sich auf insgesamt 1 GW (Tabelle 4). Legt man die Aufteilung nach Marktanteilen, wie in Tabelle 2 dargestellt, auf die, gemäß Wasserstoffstrategie zu installierende, Leistung um, erhält man Tabelle 3.

Die insgesamt in Österreich installierte Leistung wird in Tabelle 4 kumuliert dargestellt.

⁴ NOW (2018) S. 40ff.

Tabelle 2: Marktanteile nach Technologie

	heute	2025	2030
PEMEL	86%	50%	50%
AEL	14%	50%	50%
HTEL	0%	0%	0%

Quelle: Economica, BMK.

Tabelle 3: Jährlich neu installierte Leistung in Österreich, nach Jahren, in MW

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Summe
PEMEL (MW)	4	7	10,5	15	25	35	45	60	75	95	125	496,5
AEL (MW)	1	8	12,5	15	25	35	45	60	75	95	125	496,5
HTEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe (MW)	5	15	23	30	50	70	90	120	150	190	250	993

Quelle: BMK.

Tabelle 4: Installierte Gesamtkapazität in Österreich, nach Jahren, in MW

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PEMEL (MW)	6	10	17	27,5	42,5	67,5	102,5	147,5	207,5	282,5	377,5	502,5
AEL (MW)	1	2	10	22,5	37,5	62,5	97,5	142,5	202,5	277,5	372,5	497,5
HTEL												
Kumuliert (MW)	7	12	27	50	80	130	200	290	410	560	750	1000

Quelle: BMK.

Multipliziert man diese Werte mit den Herstellungskosten, so gelangt man schließlich zu folgender Tabelle, die zu einem Gesamtinvestitionsvolumen von 989,53 Mio. Euro (nominell), davon 585,3 Mio. Euro für die PEMEL- und 404,23 Mio. Euro für die AEL-Technologie führt.

Tabelle 5: Investitionskosten, nach Jahren, in Mio. Euro

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Summe
PEMEL (MW)	5,88	10,29	15,44	22,05	36,75	39,90	51,30	68,40	85,50	108,30	101,25	545,06
AEL (MW)	0,92	7,36	11,50	13,80	23,00	28,18	36,23	48,30	60,38	76,48	86,25	392,38
HTEL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe	6,80	17,65	26,94	35,85	59,75	68,08	87,53	116,70	145,88	184,78	187,50	937,44

Quelle: Economica.

3.1.2 Investitionskosten in Österreich

Um die ökonomischen Effekte der Investitionen in Österreich zu quantifizieren, werden nur jene Beträge, die in Österreich ausgegeben werden, berücksichtigt. Das Gesamtinvestitionsvolumen ist folglich um die aus dem Ausland importierten Teile zu reduzieren.

Um diese Importe abschätzen zu können, verwendet man üblicherweise Importquoten aus der nationalen Input-Output-Tabelle der Statistik Austria. Die hier für die Bauwirtschaft als Durchschnitte angeführten Werte würden eine spezielle Investition, wie sie der Bau einer Elektrolyseanlage darstellt, allerdings nur unzureichend abbilden. Für die Modellierung wird daher auf einer weiter disaggregierten Stufe, auf Ebene der erforderlichen Einzelkomponenten, eruiert, ob diese Komponenten im Inland

bezogen werden können oder importiert werden müssen. Die in dieser Studie angenommenen Werte für die einzelnen Komponenten wurden auf Basis von Expertengesprächen festgesetzt. Im Zuge einer nationalen Forcierung der heimischen Wasserstofftechnologie - etwa über eine Teilnahme an einem Important Project of Common European Interest (IPCEI) zu Wasserstoff – könnte künftig auch ein größerer Teil der Komponenten durch nationale Produktion gedeckt werden. Die hier ausgewiesenen Werte sind daher als Minimumwerte zu interpretieren.

Die wesentlichen Komponenten, die es zu unterscheiden gilt, sind:

- Stack,
- Stromversorgung,
- Gasreinigung und
- Peripherie.

Die gesamten Investitionskosten verteilen sich, abhängig von Technologie und Betrachtungszeitpunkt, wie in Tabelle 6 angeführt, wie folgt auf diese einzelnen Komponenten:

Tabelle 6: Anteil der Komponenten an den Gesamtkosten, 2020 und 2030, anteilig in Prozent

	AEL		HTEL		PEMEL	
	heute	2030	heute	2030	heute	2030
Stack	45%	42%	30%	30%	49%	43%
Stromversorgung	24%	26%	30%	30%	16%	20%
Gasreinigung	16%	12%	20%	20%	13%	13%
Peripherie	15%	20%	20%	20%	22%	24%

Quelle: NOW, 2018.

Zu Verschiebungen zwischen den Anteilen kommt es dabei durch unterschiedliche Potenziale, die Kosten einzelner Komponenten in den kommenden 10 Jahren zu verändern. So ist zu erwarten, dass sowohl bei der AEL- als auch bei der PEMEL-Technologie, die Stackkosten an Bedeutung verlieren, die Stromversorgungskosten und Kosten der Peripherie aber vergleichsweise höher ins Gewicht fallen werden.

Hinsichtlich der Abhängigkeit von Importen zeigen sich bei allen Technologien vergleichbare Muster: ist anzunehmen, dass die Stacks zu 95 Prozent aus dem Ausland bezogen werden. Hinsichtlich der Gasreinigung ist anzunehmen, dass diese zur Hälfte aus Österreich, zur Hälfte aus dem Ausland bezogen wird. Stromversorgung und Peripherie können zur Gänze in Österreich abgedeckt werden und erfordern keine Importe.

Die anteiligen Kosten der einzelnen Komponenten und deren Importabhängigkeit berücksichtigend ergeben sich damit folgende Investitionskosten, die in Österreich wertschöpfungswirksam werden:

Tabelle 7: Investitionskosten in Österreich, nach Technologie und Jahren, in Mio. Euro

PEMEL	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Stack	0,14	0,25	0,38	0,54	0,90	0,92	1,18	1,57	1,97	2,49	2,18
Stromversorgung	0,94	1,65	2,47	3,53	5,88	7,18	9,23	12,31	15,39	19,49	20,25
Gasreinigung	0,38	0,67	1,00	1,43	2,39	2,59	3,33	4,45	5,56	7,04	6,58
Peripherie	1,29	2,26	3,40	4,85	8,09	9,18	11,80	15,73	19,67	24,91	24,30
Summe	2,76	4,83	7,25	10,35	17,25	19,87	25,55	34,06	42,58	53,93	53,31

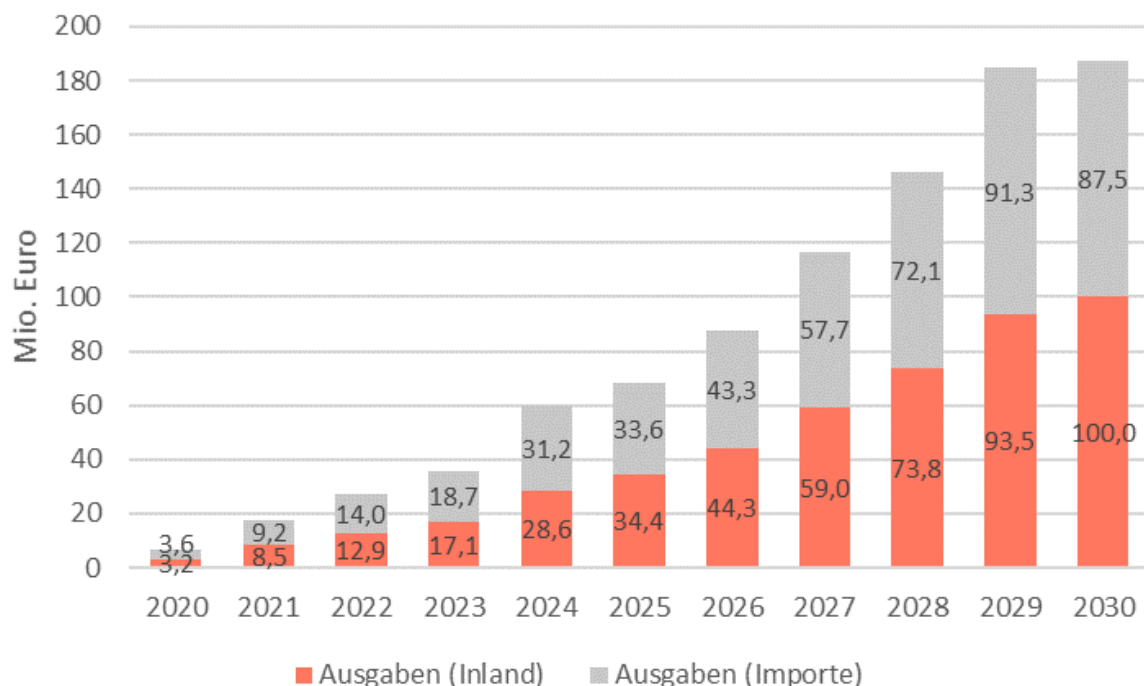
AEL	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Stack	0,02	0,17	0,26	0,31	0,52	0,61	0,79	1,05	1,31	1,66	1,81
Stromversorgung	0,22	1,77	2,76	3,31	5,52	7,04	9,06	12,08	15,09	19,12	22,43
Gasreinigung	0,07	0,59	0,92	1,10	1,84	1,97	2,54	3,38	4,23	5,35	5,18
Peripherie	0,14	1,10	1,73	2,07	3,45	4,93	6,34	8,45	10,57	13,38	17,25
Summe	0,45	3,62	5,66	6,80	11,33	14,56	18,72	24,96	31,20	39,52	46,66

Quelle: Economica.

Von den insgesamt 937,44 Mio. Euro werden folglich 51 Prozent im Inland wertschöpfungswirksam, 49 Prozent fließen bereits im direkten Effekt ins Ausland ab.

Vergleicht man die Importanteile über die Jahre, so zeigt sich, dass der Importanteil von 52,7 Prozent im Jahr 2020 auf 46,7 Prozent im Jahr 2030 sinkt. Einen graphischen Vergleich liefert Abbildung 4, in welcher die gesamten Investitionskosten auf In- und Ausland aufgeteilt werden. Die Herstellung von Elektrolyseanlagen würde somit, ausgehend von einem sehr hohen Importanteil von mehr als der Hälfte, künftig tendenziell an Bedeutung für die heimische Wirtschaft gewinnen, nicht nur aufgrund des steigenden Investitionsvolumens, sondern auch wegen der sinkenden Importe. Dies gilt besonders für die zweite Hälfte des kommenden Jahrzehnts.

Abbildung 4: Investitionskosten heimisch vs. Importe, nach Jahren, in Mio. Euro



Quelle: Economica.

3.2 Bruttowertschöpfung

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Investitionen in Elektrolyseanlagen lässt sich anhand zweier Kennzahlen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung ausdrücken: zum einen mit der Bruttowertschöpfung, zum anderen lässt sich die Relevanz anhand der Effekte auf den Arbeitsmarkt (Kapitel 3.3) ableiten.

Die Wertschöpfung, als wesentliche Kennzahl der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, stellt sich als Gesamtwert der im Produktionsprozess erzeugten Waren und Dienstleistungen (Bruttoproduktionswert) abzüglich des Wertes der im Produktionsprozess verbrauchten, verarbeiteten oder umgewandelten Waren und Dienstleistungen (Vorleistungen) dar. Mit anderen Worten, misst die Bruttowertschöpfung jenen Betrag, der für die Entlohnung der Produktionsfaktoren Arbeit (Löhne und Gehälter) und Kapital (Gewinn, Fremdkapitalzinsen und Abschreibungen) zur Verfügung steht. Zur Quantifizierung der direkten Wertschöpfungseffekte benötigt man zunächst nur Informationen zur Höhe und Herkunft der Ausgaben. Zieht man von den Gesamtausgaben die für Vorleistungen aufgewendeten Ausgaben ab, so erhält man den direkten Bruttowertschöpfungseffekt.

Vom gesamten Investitionsvolumen der Jahre 2020 bis 2030 in Höhe von 937,4 Mio. Euro werden 475,2 Mio. Euro in Österreich wirksam. Diese wiederum führen zu einer direkten, in Österreich

ausgelöst, Bruttowertschöpfung in Höhe von 191,0 Mio. Euro. Diese wird im Wesentlichen in den Sektoren⁵ 27 (Elektrische Ausrüstungen), 41 (Hochbau) und 28 (Maschinen) ausgelöst.

Rechnet man weiters jene Effekte hinzu, die durch Vorleistungskäufe entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette ausgelöst werden, sogenannte indirekte Effekte, hinzu, kommen weitere 116,4 Mio. Euro dazu. Berechnet werden diese Effekte nicht aus der nationalen Input-Output-Tabelle und deren Inverse, sondern direkt aus dem Wasserstoff-Satellitenkonto und deren invertierten Vorleistungsmatrix, um die Verflechtungen im Modell, dem verfügbaren Datenmaterial entsprechend, möglichst realitätsgetreu abbilden zu können.

Nochmals 60,5 Mio. Euro Wertschöpfung werden durch die Konsum- und Investitionsausgaben der Beschäftigten ausgelöst, sodass sich der gesamte Wertschöpfungseffekt (als Summe aus direktem, indirektem und induziertem Wertschöpfungseffekt) in Österreich auf 367,9 Mio. Euro beläuft.

Eine weitere wichtige Kennzahl ist der sogenannte Wertschöpfungsmultiplikator, definiert als Quotient aus totalem und direktem Wertschöpfungseffekt und damit eine Art Maß für den volkswirtschaftlichen Hebel einer Aktivität. Im konkreten Fall beläuft sich der Multiplikator auf 1,93, was derart zu interpretieren ist, dass ein Euro an Wertschöpfung, der unmittelbar im Bau der Elektrolyseanlage ausgelöst wird, zu weiteren 93 Cent Wertschöpfung in anderen Sektoren in Österreich führt. Ein vergleichsweise hoher Multiplikator, der sich aber im Wesentlichen aus dem recht niedrigen direkten Wertschöpfungsanteil bei gleichzeitig hohen Vorleistungen zurückführen lässt.

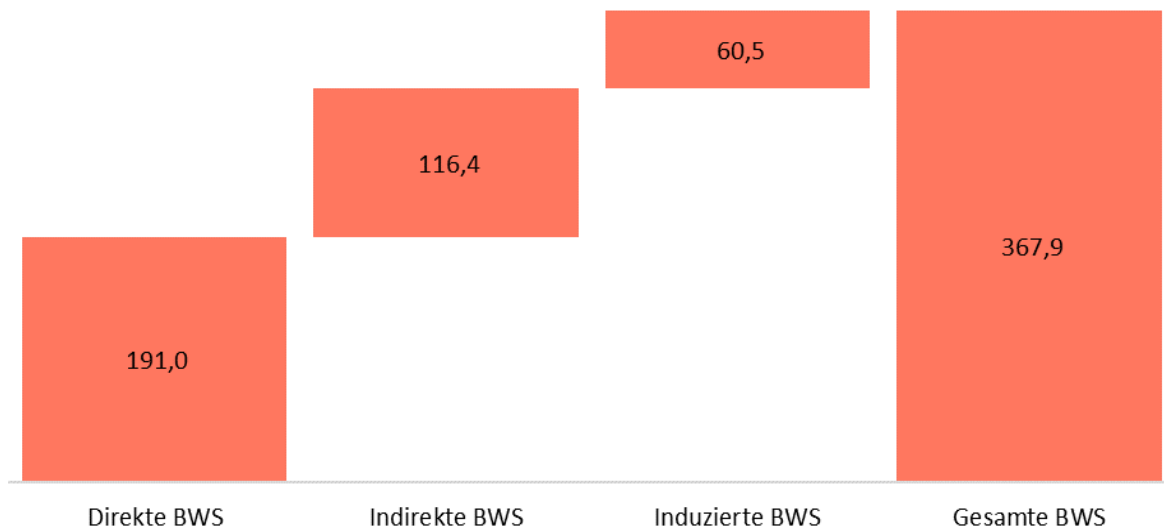
Der Ausgabenmultiplikator ist ebenfalls eine wichtige Kennzahl und eine Maßzahl dafür, wie viel des investierten Geldes wieder im Inland wertschöpfungswirksam wird. Setzt man den gesamten Wertschöpfungseffekt mit dem Investitionsvolumen in Beziehung, so ergibt sich ein Ausgabenmultiplikator von 0,39, was – verglichen mit dem österreichweiten Durchschnitt über alle Branchen von rund 60% - gering ausfällt, sich aber aus dem hohen Importanteil erklären lässt. Der niedrige Ausgabenmultiplikator relativiert sich allerdings, wenn man diesen beispielsweise mit dem für Investitionen in Windkraft ausgewiesenen Ausgabenmultiplikator von 0,28⁶ oder für Photovoltaik mit 0,37⁷ vergleicht.

⁵ Aufbauend auf der international gültigen Klassifikation der Wirtschaftsgüter nach CPA.

⁶ Vgl. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/publikationen/schriftenreihe-2019-20-marktentwicklung-innovative-energiotechnologien-2018.php>, berechnet als 108 Mio. Euro Bruttowertschöpfung durch 380 Mio. Euro Investitionsvolumen.

⁷ Vgl. für Deutschland: https://www.fiw.rwth-aachen.de/neo/fileadmin/pdf/render/Jenniches_S._Schneider_J._Wertschoepfung.pdf, S. 54, abgeleitet aus 94.813 Euro Wertschöpfung aus 281.632 Investitionsvolumen.

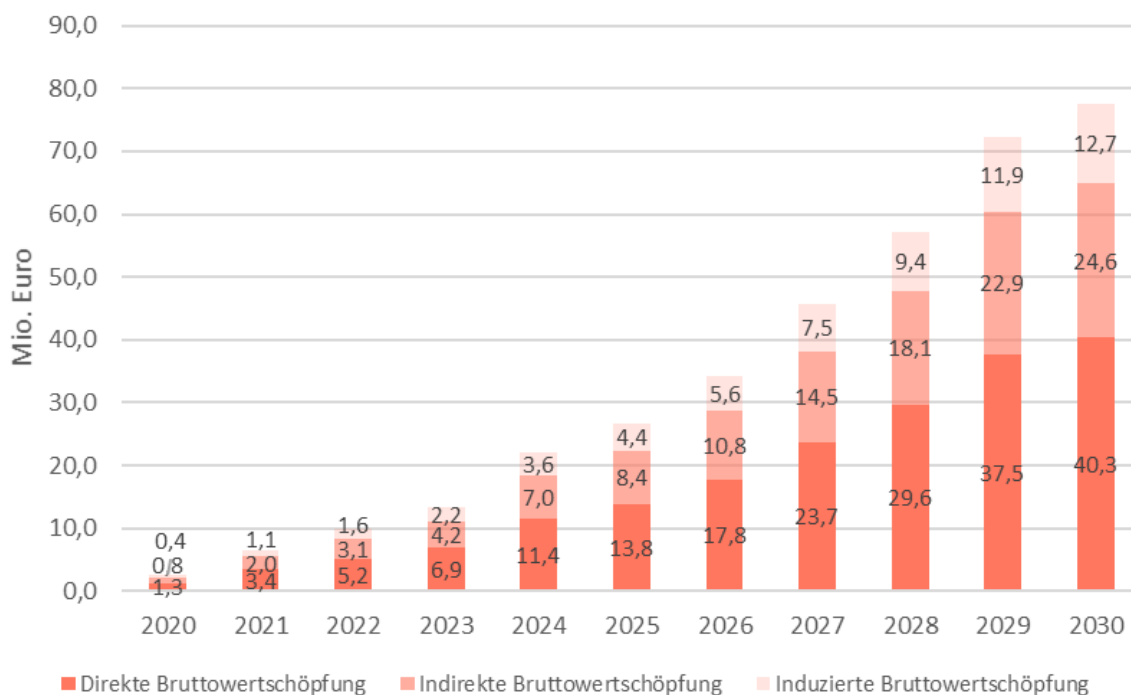
Abbildung 5: Bruttowertschöpfung 2020-2030, in Mio. Euro



Quelle: Economica.

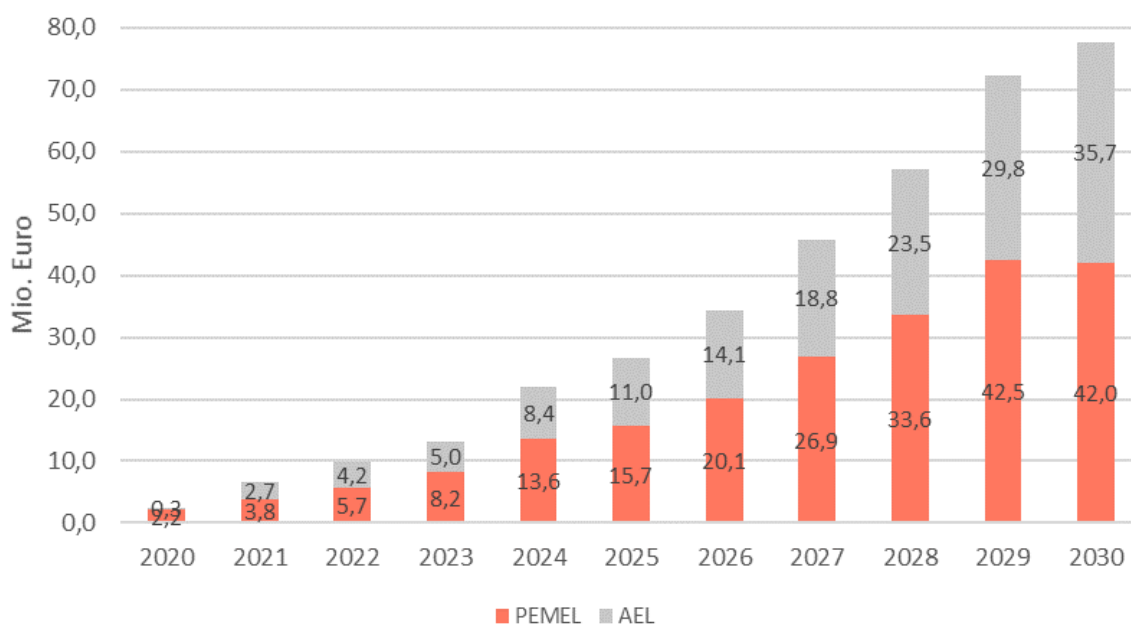
Die Wertschöpfungseffekte können auch nach den einzelnen Jahren, wie in Abbildung 6, oder nach Technologie, wie in Abbildung 7, dargestellt werden.

Abbildung 6: Die Entwicklung der Bruttowertschöpfung, nach Jahren, in Mio. Euro



Quelle: Economica.

Abbildung 7: Bruttowertschöpfung, nach Technologie und Jahren, in Mio. Euro



Quelle: Economica.

Mit einem Investitionsvolumen in Anlagen mit der PEMEL-Technologie in Höhe von 545,06 Mio. Euro werden demnach 214,3 Mio. Euro Wertschöpfung ausgelöst. Bei der AEL-Technologie stehen Investitionen 392,38 Mio. Euro im Verhältnis zu gesamten Wertschöpfungseffekten von 153,6 Mio. Euro.

3.3 Beschäftigung

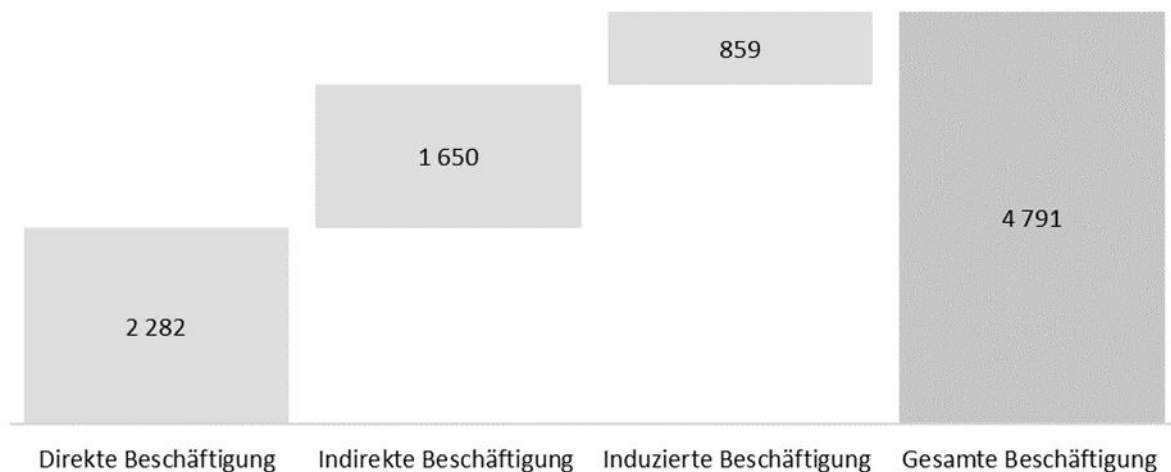
Aufbauend auf den Wertschöpfungseffekten können dann die korrespondierenden Beschäftigungseffekte bestimmt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit werden diese nicht in Köpfen, sondern in Vollzeit-äquivalent-Jahresbeschäftigungsplätzen ausgewiesen. Wie zuvor erfolgt dies ebenfalls nach direkten, indirekten und induzierten Effekten getrennt. Mutatis mutandis lässt sich auch der Beschäftigungsmultiplikator ausweisen.

Durch Investitionen in den Bau von Elektrolyseanlagen können in der Dekade von 2020 bis 2030 unmittelbar 2.282 Beschäftigungsverhältnisse (in VZÄ) geschaffen bzw. abgesichert werden. Der Gesamteffekt an Beschäftigten (VZÄ) beläuft sich auf 4.791 und setzt sich wie folgt zusammen:

- Direkter Beschäftigungseffekt: 2.282
- Indirekter Beschäftigungseffekt (in Zulieferbetrieben): 1.650
- Induzierter Beschäftigungseffekt (Einkommenseffekte): 859.

Noch höher als der Wertschöpfungsmultiplikator fällt folglich der Beschäftigungsmultiplikator mit 2,1 aus. Mit jedem gesicherten Arbeitsplatz während des Baus von Elektrolyseanlagen wird somit mehr als ein weiterer Arbeitsplatz österreichweit abgesichert. Bezogen auf das Investitionsvolumen bedeutet dies, dass mit einer Million Euro an Investition gut Arbeitsplätze in Österreich abgesichert werden.

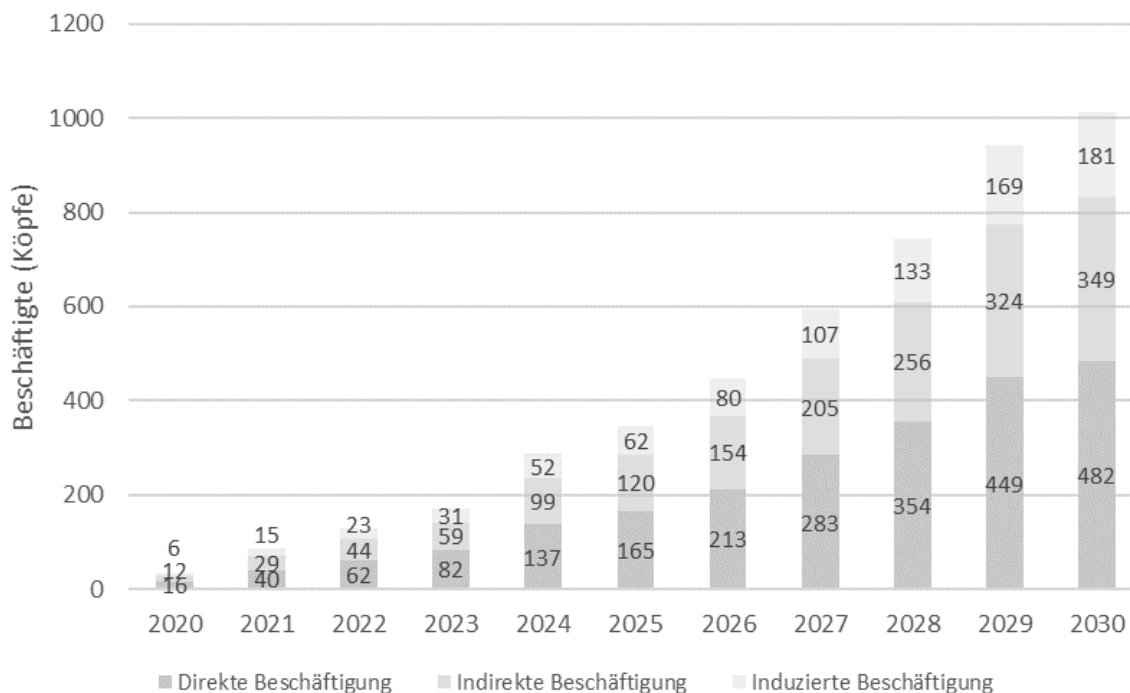
Abbildung 8: Beschäftigungseffekte, in Vollzeitäquivalent-Arbeitsplätzen, 2020-2030



Quelle: Economica.

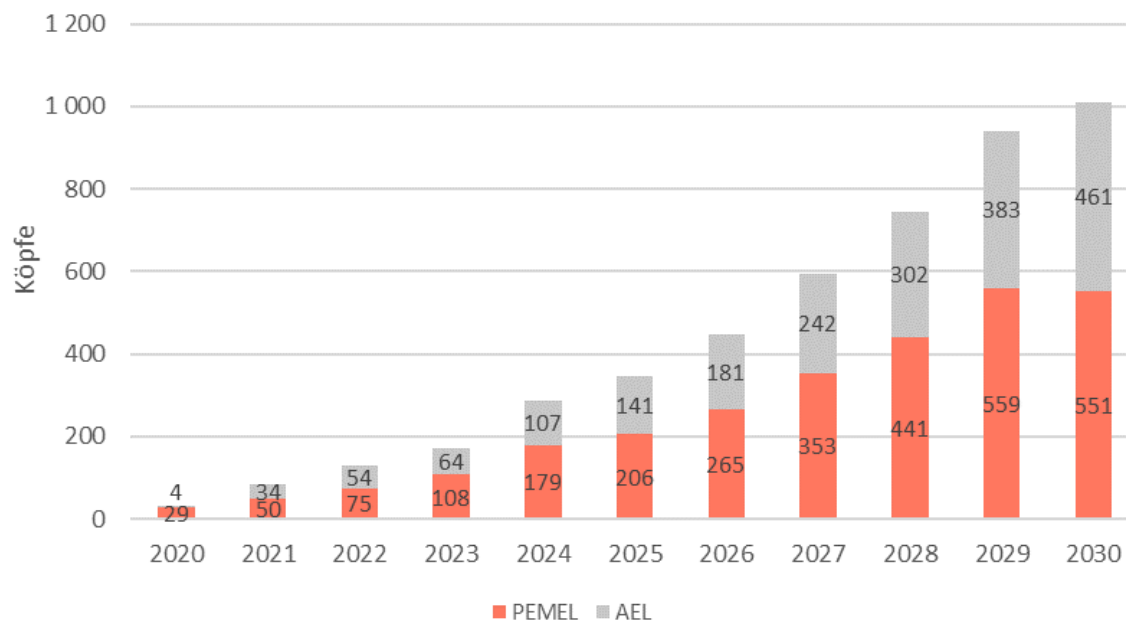
Abbildung 9 stellt die Beschäftigungseffekte wiederum nach den einzelnen Jahren dar. die Entwicklung der Beschäftigungseffekte über das kommende Jahrzehnt dar.

Abbildung 9: Beschäftigungseffekte, in Vollzeitäquivalent-Arbeitsplätzen, nach Jahren



Quelle: Economica.

Abbildung 10: Beschäftigungseffekte, in Vollzeitäquivalent-Arbeitsplätzen, nach Technologie, nach Jahren



Quelle: Economica.

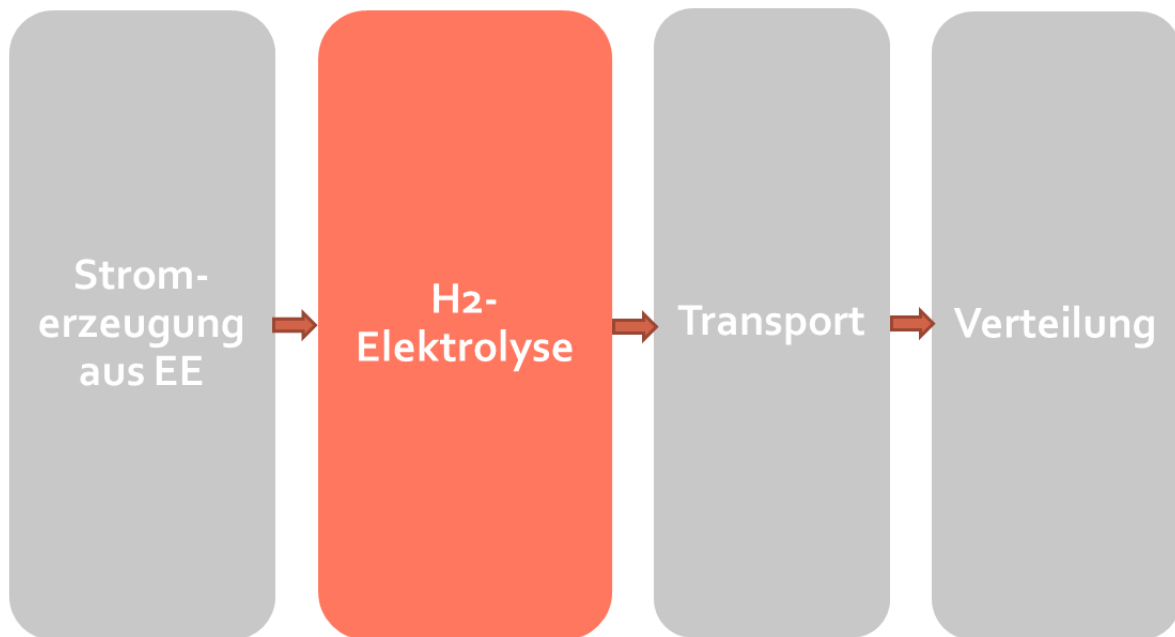
Teilt man die Effekte nach verwendeter Technologie auf, so lassen sich insgesamt 2.816 Jahresbeschäftigungsplätze in Vollzeitäquivalenten auf die PEMEL- und 1.974 Jahresbeschäftigungsplätze auf die AEL-Technologie zurückführen.

4 Ökonomische Effekte aus dem laufenden Betrieb

Während sich der Bau von Elektrolyseanlagen mit Daten aus der Literatur (aufbauend auf unterschiedlichen Technologien, Größen und Zeitpunkten sowie die zu erwartenden Kostendegressionen berücksichtigend) noch verhältnismäßig gut abbilden lässt, sind der Betrieb derselben Anlage und die damit verbundenen ökonomischen Effekte auf Wertschöpfung und Beschäftigung wesentlich ungewisser, da empirische Evidenz zu den Kosten noch kaum und wenn, dann in keiner gesicherten Qualität und in für Österreich übertragbaren Form, verfügbar ist.

Wichtig ist, in die Berechnungen die gesamte Wertschöpfungskette, d.h. alle Wertschöpfungsstufen der H₂-Erzeugung, einfließen zu lassen. Das beinhaltet die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen, die Wasserstoffelektrolyse sowie nachgelagert den Transport und die Verteilung des Wasserstoffs.

Abbildung 11: Wertschöpfungsstufen von H₂ entlang der gesamten Wertschöpfungskette



Quelle: Economica.

4.1 Kostenkomponenten

Um in weiterer Folge Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte quantifizieren zu können, müssen zunächst die Gesamtkosten des laufenden Betriebs abgeschätzt werden. Hierfür werden zunächst die einzelnen Kostenpositionen, unterteilt in Fixkosten, variable Kosten und Abschreibungen, die mit unterschiedlichen Unsicherheiten und Schwankungsbreiten behaftet sind, dargestellt.

4.1.1 Fixkosten

Die zu kalkulierenden Fixkosten im laufenden Betrieb werden in der Literatur auf 3 Prozent der CAPEX, d.h. der Investitionsausgaben, festgelegt. Hiervon fließen 2 Drittel in Personal- und ein Drittel in die Materialkosten. Analog zu den zuvor angeführten Investitionsvolumina führt dies bis 2030 zu fixen Betriebskosten der Anlage für Personal in Höhe von 18.940 Euro und Materialkosten von 12.630 Euro pro installiertem MW.

Tabelle 8: Fixe Betriebskosten für Personal, nach Jahren, in Mio. Euro

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PEMEL	0,18	0,29	0,50	0,81	1,25	1,98	2,78	3,81	5,18	6,89	9,05	11,08
AEL	0,02	0,04	0,18	0,41	0,69	1,15	1,71	2,44	3,40	4,61	6,14	7,87
HTEL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUMME	0,19	0,33	0,68	1,22	1,94	3,13	4,50	6,25	8,58	11,50	15,19	18,94

Quelle: Economica.

Tabelle 9: Fixe Betriebskosten für Material, nach Jahren, in Mio. Euro

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PEMEL	0,12	0,20	0,33	0,54	0,83	1,32	1,86	2,54	3,45	4,59	6,04	7,39
AEL	0,01	0,02	0,12	0,28	0,46	0,77	1,14	1,63	2,27	3,07	4,09	5,24
HTEL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUMME	0,13	0,22	0,46	0,82	1,29	2,09	3,00	4,16	5,72	7,67	10,13	12,63

Quelle: Economica.

4.1.2 Variable Betriebskosten

Zu den variablen Kosten im laufenden Betrieb einer Elektrolyseanlage zählen die Strombezugskosten. Diese Kosten sind, angesichts der stark unterschiedlichen Prognosen, die künftige Entwicklung der Stromkosten betreffend, mit hoher Unsicherheit behaftet und sollen daher in den weiterführenden Darstellungen auch stets separat dargestellt werden, zumal es sich hierbei auch um die, alle Betriebskosten dominierende, Kostenkomponente handelt.

Tabelle 10: Energieverbrauch in kWh/Nm³ nach Technologie und Jahr

	Energieverbrauch (kWh/Nm ³)	
	heute	2030
PEMEL	4,8	4,75
AEL	4,2	4,2
HTEL	3,8	3,6

Quelle: Economica.

Unter der vereinfachenden Annahme von 4000 Volllaststunden pro Jahr und einem Strompreis von durchschnittlich 45 Euro pro MWh⁸, ergeben sich bis 2030 beachtliche Beträge, die für Strom zur Gewinnung von Wasserstoff aufgewendet werden müssen. Da die Wasserstoffstrategie erneuerbaren Wasserstoff forciert, gilt dies insbesondere für erneuerbaren Strom.

Tabelle 11: Stromkosten pro installiertem MW⁹ nach Technologie und Jahr, in Euro

	Stromkosten pro installiertem MW	
	heute	2030
PEMEL	288 000	285 000
AEL	252 000	252 000
HTEL	228 000	216 000

Quelle: Economica.

So würden in der Ausbaustufe mit 1000 MW an Kapazitäten jährliche Stromkosten von mehr als einer viertel Million Euro pro MW installierter Elektrolysekapazität anfallen.

Tabelle 12: Variable Betriebskosten bzw. Strombezugskosten, nach Jahren, in Mio. Euro

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PEMEL	1,73	2,88	4,90	7,92	12,24	19,44	29,52	42,48	59,76	81,36	107,59	143,21
AEL	0,25	0,50	2,52	5,67	9,45	15,75	24,57	35,91	51,03	69,93	93,87	125,37
HTEL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUMME	1,98	3,38	7,42	13,59	21,69	35,19	54,09	78,39	110,79	151,29	201,46	268,58

Quelle: Economica.

4.1.3 Abschreibungen

Verglichen mit den Strombezugskosten können die jährlichen Abschreibungen, ausgehend vom Investitionsvolumen und der Lebensdauer der Stacks (vergleiche Tabelle 13) gut abgeschätzt werden.

⁸ Aktueller Marktpreis lt. E-CONTROL für das 1. Quartal 2020. Steigende Preise, die bis 2030 EU-weit erwartet werden (vgl. auch <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/steigende-strompreise-bis-2030-studie-von-eu-kommissar-oettinger/5964462.html>), werden nicht berücksichtigt.

⁹ Am Beispiel von PEMEL heute werden die Stromkosten folgendermaßen berechnet: Leistung von 1 MW bei 4000 Stunden ergibt 4000 MWh bzw. 4 Mio. kWh. 3 kWh entsprechen einem Nm³ H₂, ergibt folglich 1,33 Mio. Nm³. Multipliziert mit einem Bedarf von 4,8 kWh/Nm³ ergibt dies 6,4 Mio. kWh oder 6400 MWh. Multipliziert mit Kosten von 45 Euro/MWh ergibt dies 288.000 Euro pro installiertem MW.

Tabelle 13: Lebensdauer von Stacks, 2020 und 2030, in Stunden und Jahren

	in Betriebsstunden		in Jahren	
	heute	2030	heute	2030
PEMEL	42000	62000	4,8	7,1
AEL	58000	65000	6,6	7,4
HTEL	20000	50000	2,3	5,7

Quelle: Economica.

Bei einer Abschreibung der Anlage auf 25 Jahre und einer Reinvestition in Stacks in einem zeitlichen Intervall, das den oben genannten Werten entspricht, ergeben sich Abschreibungskosten in Höhe von jährlich bis zu knapp 38 Mio. Euro im Jahr 2030. Anzumerken ist, dass sich die Lebensdauer der Stacks mit der Zeit weiter verbessern wird. Abhängig vom Reifegrad der Technologie wird sich so die Lebensdauer für die PEMEL-Technologie um fast 50 Prozent, für die AEL-Technologie um immerhin 12 Prozent erhöhen.

Tabelle 14: Abschreibungskosten, nach Jahren, in Mio. Euro

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PEMEL	0,35	0,59	1,00	1,62	2,50	3,97	5,57	7,62	10,35	13,77	18,11	22,16
AEL	0,04	0,07	0,37	0,83	1,38	2,30	3,43	4,88	6,81	9,22	12,28	15,73
HTEL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUMME	0,39	0,66	1,37	2,45	3,88	6,27	8,99	12,49	17,16	23,00	30,39	37,89

Quelle: Economica.

4.1.4 Gesamtkosten

Fügt man alle zuvor genannten Einzelkomponenten zusammen und vernachlässigt weitere Vertriebs- und Verteilungskosten, so ergeben sich die Werte, wie in Tabelle 15 angeführt, für die Gesamtkapazitäten oder wie in Tabelle 16 ausgewiesen, wenn man die Leistung in Euro pro MWh angeben möchte.

Tabelle 15: Kosten des laufenden Betriebs, nach Technologie und Jahren, in Mio. Euro

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PEMEL	2,32	3,86	6,56	10,62	16,41	26,06	38,80	55,18	77,02	104,32	137,76	180,14
AEL	0,31	0,63	3,13	7,05	11,75	19,58	30,28	44,04	62,38	85,30	114,34	151,59
HTEL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUMME	2,63	4,49	9,70	17,67	28,16	45,64	69,08	99,21	139,39	189,62	252,10	331,73

Quelle: Economica.

Tabelle 16: Kosten des laufenden Betriebs, in Euro/MWh, nach Technologie und Jahren

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PEMEL	96,50	96,50	96,50	96,50	96,50	96,50	94,62	93,52	92,79	92,31	91,23	89,62
AEL	78,33	78,33	78,33	78,33	78,33	78,33	77,65	77,26	77,01	76,85	76,74	76,18

Quelle: Economica.

Alternativ werden die Kosten für den laufenden Betrieb in Tabelle 17 ohne Stromkosten dargestellt. Hier wird angenommen, dass der benötigte Strom keine Kosten verursacht, da dieser beispielsweise aus Überkapazitäten gespeist wird. Vergleicht man die Ergebnisse mit und ohne Stromkosten, so erkennt man sehr deutlich, dass rund 87 Prozent der gesamten laufenden Kosten auf den Strombezugs-kosten beruhen.

Tabelle 17: Kosten des laufenden Betriebs, in Euro/MWh, nach Technologie und Jahren

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PEMEL	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50	22,62	21,52	20,79	20,31	19,98	18,37
AEL	15,33	15,33	15,33	15,33	15,33	15,33	14,65	14,26	14,01	13,85	13,74	13,18

Quelle: Economica.

4.2 Bruttowertschöpfung

Da bis 2030 keine verallgemeinernden Annahmen dazu getroffen werden können, welcher Strom beim Betrieb der Elektrolyseanlagen künftig verwendet werden wird¹⁰ (Strom aus dem Inland vs. importierter Strom), macht es Sinn, die direkten Wertschöpfungseffekte zunächst nur für jenen Teil der Kosten zu berechnen, die stromunabhängig sind.

Bis 2030 steigert sich die jährliche Wertschöpfung aus dem Betrieb auf 37,89 Mio. Euro. Indirekte Effekte zu berechnen ist derzeit noch fast unmöglich, würde dies doch erfordern, über alle benötigten Vorleistungen Herkunftsort und Kosten zu kennen. Dies wiederum wäre zu stark Annahmen-getrieben,

¹⁰ Zu berücksichtigen ist, dass der nationale Strombedarf bis 2030 zu 100 % aus erneuerbarem Strom (bilanziell) zu decken ist (Ziel gemäß NEKP). Elektrolyseanlagen sollen daher insbesondere forciert werden, um strategisch systemdienliche Energiespeicherung von erneuerbaren Energien durchzuführen und diese in anderen Anwendungsfeldern (Industrie, Mobilität...) zu nutzen sowie zu dekarbonisieren. Für Elektrolyseanlagen per se sollen bis 2030 keine zusätzlichen erneuerbaren elektrischen Erzeugungskapazitäten installiert werden.

sodass die Quantifizierung indirekter Effekte (noch) nicht möglich ist. Induzierte Effekte sind in dieser Betrachtung vernachlässigbar, da die ausgelösten Beschäftigungseffekte in ihrer Dimension nicht besonders hoch ausfallen.

Um dennoch einen ungefähren Richtwert geben zu können, ist anzumerken, dass der Ausgabenmultiplikator (definiert als Quotient aus totalem Wertschöpfungseffekt und Ausgaben¹¹) stark schwanken kann und Werte von 0,12 bzw. 12% (wenn der benötigte Strom zur Gänze importiert werden muss, was einem Wertschöpfungsabfluss ins Ausland entspricht) bis hin zu 0,82 oder 82 Prozent (wenn ausschließlich heimischer Strom verwendet wird, womit die Wertschöpfung im Inland generiert wird) erreichen kann. Ähnliche Schwankungsbreiten sind auch für einzelne Windkraftträder zu erwarten, nämlich abhängig davon, ob das Windrad aus Österreich kommt oder importiert werden muss.

Wirtschaftlich wird ein derartiger Betrieb daher künftig nur sein können, wenn dieser bei hoher Auslastung und günstigem Strom operiert, wobei anzumerken ist, dass die erforderlichen Mengen an Strom über reinen Überschussstrom in der geplanten Größenordnung (derzeit) nicht realisierbar wären, sodass es hier parallel auch eines Ausbaus von Stromerzeugungslangen und damit weiterer Investitionen bedürfte.

Tabelle 18: Direkte Bruttowertschöpfung aus laufendem Betrieb, nach Jahren, in Mio. Euro

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PEMEL	0,53	0,88	1,50	2,43	3,75	5,95	8,35	11,43	15,53	20,66	27,16	22,16
AEL	0,06	0,11	0,55	1,24	2,07	3,45	5,14	7,31	10,21	13,83	18,42	15,73
HTEL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUMME	0,58	0,99	2,05	3,67	5,82	9,40	13,49	18,74	25,74	34,49	45,58	37,89

Quelle: Economica.

¹¹ Der Ausgabenmultiplikator kann folglich Werte zwischen Null (0%) und Eins (100%) annehmen. Je höher der Ausgabenmultiplikator, desto mehr Wertschöpfung wird in Österreich generiert. Je höher der Importanteil, desto geringer fällt im Allgemeinen der Ausgabenmultiplikator aus, da in diesem Fall die Wertschöpfung im Ausland ausgelöst wird.

4.3 Beschäftigung

Der Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Wasserstoff ist wenig beschäftigungsintensiv, wie auch folgende Abbildung zeigt. Rund 165 Beschäftigte wären hier im Ausbaustadium von 2030 tätig. Für die indirekten Effekte gilt Ähnliches wie bei den Wertschöpfungseffekten, nämlich dass Aussagen dazu ohne detailliertere Informationen zu den Wertschöpfungsketten unmöglich sind.

Tabelle 19: Direkte Beschäftigung (Köpfe) aus laufendem Betrieb, nach Jahren

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PEMEL	2	3	4	7	11	17	24	33	45	60	79	97
AEL	0	0	2	4	6	10	15	21	30	40	54	69
HTEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUMME	2	3	6	11	17	27	39	55	75	100	133	165

Quelle: Economica.

Appendix: Methodik

A1 Der Aufbau von Input-Output-Tabellen

Die Arbeit mit Input-Output-Tabellen sowie deren Analyse ist heute eine der am meisten angewandten Methoden der Ökonomie. Bei diesen Input-Output-Modellen handelt es sich grundsätzlich um ein System linearer Gleichungen, von denen jede die Verteilung eines Industrieprodukts auf die Ökonomie beschreibt. Das folgende Kapitel dient dazu, einen kurzen Überblick über die Grundstruktur von Input-Output Tabellen zu verschaffen und darüber hinaus in die, auch in den weiteren Kapiteln dieser Arbeit verwendete, Notation einzuführen.

Die Input-Output-Tabelle besteht grundsätzlich aus Reihen und Spalten. Die Reihen geben die Verteilung eines Outputs auf die Ökonomie an, d.h. wie viel ein Sektor an die anderen Sektoren als Input und an die Endnachfrage liefert. In weiteren zusätzlichen Reihen vermerkt man Wertschöpfung sowie Importe. Die Spalten geben an, wie viel Inputs zur Erzeugung des Outputs benötigt werden. In zusätzlichen Spalten steht die Endnachfrage. Hier werden die Verkäufe eines jeden Sektors an die verschiedenen Endnachfragekomponenten notiert.

Die Input-Output-Tabelle kann in 3 Teil-Tabellen unterteilt werden, die üblicherweise Quadranten genannt werden:

Quadrant 1: die Vorleistungstabelle und damit der eigentliche Kern der Input-Output-Tabelle, welcher die Lieferungen und Bezüge der einzelnen Sektoren (d.h. die Vorleistungen) zum Gegenstand hat

Quadrant 2: die Endnachfrage

Quadrant 3: Wertschöpfung und Import

Um den ersten Quadranten der Tabelle, auch Vorleistungstabelle genannt, mit Daten zu füllen, benötigt man die Austauschbeziehungen von Produkten zwischen den verschiedenen Sektoren. Diese Austauschbeziehungen nennt man auch interindustrielle bzw. intersektorale Ströme. Diese werden für eine bestimmte Zeitperiode (üblicherweise 1 Jahr) gemessen und in Geldeinheiten angegeben. In diesem Quadranten werden, wenn gesondert ausgewiesen, auch die Importe, die mit „M“ abgekürzt werden, in einer eigenen Zeile berücksichtigt.

Unter Endnachfrage versteht man jene Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen, die nicht wieder als Inputs im Produktionsprozess verwendet werden. Die Endnachfrage unterteilt man in vier große Bereiche:

- Konsumenten bzw. Haushalte, bezeichnet mit „C“
- Private Investitionen, abgekürzt mit „I“
- die Staatsausgaben („G“)
- und die Exporte, bezeichnet mit „E“.

Die ersten drei Komponenten werden häufig unter dem Begriff der „inländischen Endnachfrage“ zusammengefasst, während die Exporte auch als „ausländische Endnachfrage“ bezeichnet werden. Die Endnachfrage selbst wird mit „Y“ abgekürzt und definiert sich wie folgt:

$$Y_i = C_i + I_i + G_i + E_i$$

Diese Gleichung gilt für jeden Sektor i, $i = 1, \dots, n$.

Die Wertschöpfungsmatrix zeigt, zeilenweise gelesen, die Verteilung der Wertschöpfungskomponenten auf die Sektoren, spaltenweise gelesen die Zusammensetzung der Wertschöpfung eines bestimmten Sektors. Die einzelnen Komponenten der Wertschöpfungsmatrix sind insbesondere

- die Zahlungen für die Arbeit, bezeichnet mit „L“
- und weitere Komponenten wie sonstige Produktionsabgaben, Abschreibungen, Betriebsüberschuss, die im Weiteren unter „N“ zusammengefasst werden sollen.

Die Wertschöpfung selbst wird mit „W“ abgekürzt und definiert sich wie folgt als:

$$W_i = L_i + N_i$$

Führt man nun all diese Elemente zusammen, so erhält man eine Tabelle mit folgender Grundstruktur (vergleiche Abbildung 12).

Abbildung 12: Aufbau einer Input-Output-Tabelle

	Sektor 1		Sektor n	Endnachfrage	Gesamt-ver- wendung
Sektor 1	z_{11}		z_{1n}	Y_1	X_1
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Sektor n	z_{n1}		z_{nn}	Y_n	X_n
Importe	M_1		M_n	M_Y	M
Werts- chöpfung	W_1		W_n		
Brutto-pro- duktions- wert	X_1		X_n		

Quelle: *Economica*.

Man schreibt: z_{ij} als Vorleistungen (Ströme) von Sektor i zu Sektor j

Y_i als gesamte Endnachfrage in Sektor i

X_i als Gesamtverwendung / Bruttoproduktionswert von Sektor i

Nimmt man an, dass die betrachtete Wirtschaft aus n Sektoren besteht, dann setzt sich der Output X_i folgendermaßen zusammen:

$$X_i = z_{i1} + z_{i2} + \dots + z_{in} + Y_i \quad , i = 1, \dots, n$$

Diese Gleichung zeigt die Verteilung des Outputs von Sektor i auf die anderen Sektoren (verwendete Vorleistungen) und die Endnachfrage Y_i im Sektor i. Diese Gleichung lässt sich für jeden einzelnen Sektor $i = 1, \dots, n$ aufstellen.

Nimmt man nun weiters an, dass die interindustriellen Ströme von i nach j vom Gesamtoutput des Sektors j in einer bestimmten Periode abhängen, dann lässt sich das Verhältnis von Input zu Output folgendermaßen definiert:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} = \frac{\text{Inputstrom}}{\text{Output}}$$

Diese $n \times n$ Verhältnisse nennt man technische Koeffizienten, auch Input-Output-Koeffizienten oder direkter Input-Koeffizient genannt. Der Input-Bedarf eines jeden Sektors kann mittels der technischen Koeffizienten als lineare Funktion des Outputs ausgedrückt werden, sodass gilt:

$$X_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n + Y_1$$

A4 Fragestellungen der Input-Output-Analyse

Die der Input-Output-Analyse zugrundeliegende Fragestellung ist folgende: Wenn die Nachfrage eines bestimmten Sektors für ein Jahr vorhergesehen werden kann, wie viel Output muss dann von den anderen Sektoren produziert werden, um diese Nachfrage zu decken?¹²

Um eine derartige Frage beantworten zu können, bedarf es zunächst eines Gleichungssystem mit n Gleichungen für alle Sektoren, wie es bereits im vorangegangenen Kapitel dargestellt wurde.

Weiters sind bekannte Größen: die Endnachfrage sowie die technischen Koeffizienten. Gesucht werden die Werte X_1 bis X_n . Dazu geht man folgendermaßen vor:

Es werden alle X auf eine Seite gebracht, sodass man folgendes Gleichungssystem erhält:

$$X_1 - a_{11}X_1 - a_{12}X_2 - \dots - a_{1n}X_n = Y_1$$

$\mathbb{N}$

$$X_n - a_{n1}X_1 - a_{n2}X_2 - \dots - a_{nn}X_n = Y_n$$

¹² Vgl. Franz A. (1993) S. 241 ff.

Danach fasst man die entsprechenden X-Variablen zusammen (d.h. X_1 in Gleichung 1, X_2 in Gleichung 2 usw.) und erhält:

$$(1 - a_{11})X_1 - a_{12}X_2 - \dots - a_{1n}X_n = Y_1,$$

$$\vdots$$

$$-a_{n1}X_1 - a_{n2}X_2 - \dots + (1 - a_{nn})X_n = Y_n$$

Man erhält demnach ein System linearer Gleichungen in n Unbekannten, für welche man die Matrizen-Schreibweise verwendet:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \Lambda & a_{1n} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ a_{n1} & \Lambda & a_{nn} \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} X_1 \\ \mathbf{M} \\ X_n \end{bmatrix} \quad \text{und} \quad Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ \mathbf{M} \\ Y_n \end{bmatrix}$$

Die Matrix A ist hier die Matrix der Technischen Koeffizienten, welche es ermöglicht, die Effekte von bestimmten Veränderungen in der Endnachfrage auf den Bruttooutput zu bestimmen. X und Y sind Spaltenvektoren des Bruttooutputs sowie der Endnachfrage. In Matrizenform lautet die Output-Gleichung dann folgendermaßen:

$$X - AX = Y$$

Um nun den gesamten Effekt einer Änderung der Endnachfrage zu bestimmen, ist es notwendig, nicht nur die direkten Auswirkungen zu messen, sondern auch die indirekten Effekte von zusätzlichen Lieferungen dieser Inputs an andere Sektoren der Ökonomie. Um solche Effekte quantifizieren zu können, bedarf es der Einführung der Einheitsmatrix I, einer quadratischen Matrix, welche auf der Hauptdiagonalen Einsen, sonst aber nur Nullen enthält. Die Gleichung wird dann folgendermaßen formuliert:

$$(I - A)X = Y$$

(I-A) wird üblicherweise als die Leontief-Matrix bezeichnet. Die Lösung für den Bruttooutput als Funktion der Endnachfrage berechnet sich dann als:

$$X = (I - A)^{-1} Y$$

$(I-A)^{-1}$ wird üblicherweise auch als die Leontief-Inverse bezeichnet. Sie wird vor allem für Multiplikatoreffekte der sektoralen Endnachfrage verwendet und ihre einzelnen Elemente zeigen, wie viel

monetäre Einheiten Lieferungswert des Zeilenvektors für eine monetäre Einheit Endnachfrage im Spaltenvektor erforderlich sind.

Bezeichnet man die Elemente der Leontief-Inversen mit α_{ij} , dann erhält man folgendes Gleichungssystem:

$$X_1 = \alpha_{11}Y_1 + \alpha_{12}Y_2 + \dots + \alpha_{1n}Y_n$$

M

$$X_n = \alpha_{n1}Y_1 + \alpha_{n2}Y_2 + \dots + \alpha_{nn}Y_n$$

So erhält man durch einfache Multiplikation mit der Endnachfrage den notwendigen Output – die Abhängigkeit des Outputs von der Endnachfrage wird mittels dieser Darstellung recht deutlich.¹³

¹³ Richardson H. (1979) S. 180 ff.

5 Literaturverzeichnis

FCH, Fuel Cells / Hydrogen Joint Undertaking (2019) Hydrogen Europe Technology Roadmap until 2030, Brussels.

FCH, Fuel Cells & Hydrogen Joint Undertaking (2014) Multi-Annual Work Plan 2014 – 2020, Brussels.

Franz A. (1993) Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung. Das statistische System der Makroökonomie, Österreichisches Statistisches Zentralamt, Wien

IEA, International Energy Agency (2019) The Future of Hydrogen Report. Seizing today's opportunities. Technology report. Report prepared for the G20 prepared for the G20, Paris.

NOW, Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2018) Studie IndWEde Industrialisierung der Wasser Elektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin.

Pattan Bruno (1993) Satellite systems: principles and technologies.

Richardson (1979) Regional and Urban Economics, Pitman

Stahmer C. (1995) Satellitensystem für Aktivitäten der privaten Haushalte, in: Seel B. / Stahmer C. Haushaltsproduktion und >Umweltbelastung. Ansätze einer Ökobilanzierung für den privaten Haushalt, Frankfurt/Main, Campus Verlag

Statistik Austria (2020) Input-Output Tabelle, Wien.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufbau einer Input-Output-Tabelle	11
Abbildung 2:	Vereinfachte Darstellung einer Erweiterung der Input-Output-Tabelle durch Wasserstoff-relevante Komponenten der Investitions/Bau- und Betriebsphase	13
Abbildung 3:	Direkte, indirekte und induzierte Effekte	15
Abbildung 4:	Investitionskosten heimisch vs. Importe, nach Jahren, in Mio. Euro	22
Abbildung 5:	Bruttowertschöpfung 2020-2030, in Mio. Euro.....	24
Abbildung 6:	Die Entwicklung der Bruttowertschöpfung, nach Jahren, in Mio. Euro.....	25
Abbildung 7:	Bruttowertschöpfung, nach Technologie und Jahren, in Mio. Euro	25
Abbildung 8:	Beschäftigungseffekte, in Vollzeitäquivalent-Arbeitsplätzen, 2020-2030	26
Abbildung 9:	Beschäftigungseffekte, in Vollzeitäquivalent-Arbeitsplätzen, nach Jahren.....	27
Abbildung 10:	Beschäftigungseffekte, in Vollzeitäquivalent-Arbeitsplätzen, nach Technologie, nach Jahren...	27
Abbildung 11:	Wertschöpfungsstufen von H2 entlang der gesamten Wertschöpfungskette	28
Abbildung 12:	Aufbau einer Input-Output-Tabelle	37

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Herstellungskosten bis 2030 nach Technologien, in Euro/(Nm ³ /h) und Euro/kW	18
Tabelle 2: Marktanteile nach Technologie	19
Tabelle 3: Jährlich neu installierte Leistung in Österreich, nach Jahren, in MW	19
Tabelle 4: Installierte Gesamtkapazität in Österreich, nach Jahren, in MW	19
Tabelle 5: Investitionskosten, nach Jahren, in Mio. Euro.....	19
Tabelle 6: Anteil der Komponenten an den Gesamtkosten, 2020 und 2030, anteilig in Prozent.....	20
Tabelle 7: Investitionskosten in Österreich, nach Technologie und Jahren, in Mio. Euro	21
Tabelle 8: Fixe Betriebskosten für Personal, nach Jahren, in Mio. Euro	29
Tabelle 9: Fixe Betriebskosten für Material, nach Jahren, in Mio. Euro	29
Tabelle 10: Energieverbrauch in kWh/Nm ³ nach Technologie und Jahr.....	29
Tabelle 11: Stromkosten pro installiertem MW nach Technologie und Jahr, in Euro.....	30
Tabelle 12: Variable Betriebskosten bzw. Strombezugskosten, nach Jahren, in Mio. Euro.....	30
Tabelle 13: Lebensdauer von Stacks, 2020 und 2030, in Stunden und Jahren	31
Tabelle 14: Abschreibungskosten, nach Jahren, in Mio. Euro.....	31
Tabelle 15: Kosten des laufenden Betriebs, nach Technologie und Jahren, in Mio. Euro	32
Tabelle 16: Kosten des laufenden Betriebs, in Euro/MWh, nach Technologie und Jahren	32
Tabelle 17: Kosten des laufenden Betriebs, in Euro/MWh, nach Technologie und Jahren	32
Tabelle 18: Direkte Bruttowertschöpfung aus laufendem Betrieb, nach Jahren, in Mio. Euro	33
Tabelle 19: Direkte Beschäftigung (Köpfe) aus laufendem Betrieb, nach Jahren	34

C. Helmenstein, Kleissner, A.

Ökonomische Effekte der Wasserstoffstrategie. Impaktanalyse

Projektbericht / Research Report