

## Zielerreichung mittels Vermeidungskostenrechnung? Erweiterung der Vermeidungskostenrechnung zur Bewertung der Förderwürdigkeit von Dekarbonisierungsmaßnahmen im Verkehrssektor

VON DANIEL HERFURTH

### Abstract

Dieser Artikel hinterfragt die Vermeidungskostenrechnung als aktuell verbreiteten Bewertungsmechanismus für emissionsreduzierende Technologien im Verkehrssektor. In Anbetracht der quantitativ eindeutigen Zielvorgaben, die in der Folge der UN-Übereinkunft von Paris 2015 entstanden sind, ist die Vermeidungskostenrechnung nicht dazu geeignet, staatliche Förderentscheide für oder gegen einzelne Technologien argumentativ zu unterstützen.

Zwei alternative Bewertungsinstrumente werden daher vorgestellt, die beide das Konzept der Effektivität als Messgröße für Zielerreichung berücksichtigen, ohne dabei die Effizienz als Messgröße für privatwirtschaftliche Umsetzbarkeit zu vernachlässigen. Am Ende steht eine neue Formel – die „Effizienz-Plus-Formel“ – die der Vermeidungskostenrechnung hinsichtlich Genauigkeit und praktischer Anwendbarkeit in nichts nachsteht und hinsichtlich ihrer Eignung zur Unterstützung von Förderentscheidungen überlegen ist.

This article examines the current economic evaluation mechanism of emission-reduction technologies in the transport sector in the light of precise quantitative reduction targets initiated by the UN Paris Agreement in 2015. The state-of-the-art evaluation mechanism („Vermeidungskostenrechnung“) turns out to be inappropriate as a decision-making tool for technology subsidies and thus, two alternative evaluation mechanisms are presented here: Both heed the idea of emphasizing effectiveness as a central argument to measure target completion without neglecting efficiency as an argument of private actors' interest. This leads to a new formula („Efficiency Plus“) that is able to compete with the state-of-the-art mechanism in terms of accurateness and usability – and that is able to outrun the common mechanism in terms of suitability for decisions on state subsidies.

## Gliederung

- 1 Die Vorgabe aus Paris: Zielerreichung
- 2 Die Herausforderung: Geeignete Maßnahmen auswählen
  - 2.1 Der Maßnahmenkanon aus Vermeiden, Verlagern, Verbessern und Verstromen
  - 2.2 Zwei Intentionen – zwei Bewertungsinstrumente
  - 2.3 Vergleich der Bewertungsinstrumente in einem Rechenbeispiel
- 3 Die Lösungsansätze: Verbindung von Effektivität und Effizienz
  - 3.1 Lösungsansatz 1: Kombination von Effektivität und Effizienz
  - 3.2 Lösungsansatz 2: Integration von Effektivität in Effizienz
- 4 Schlussbetrachtung
  - 4.1 Vergleich der Lösungsansätze mit der Vermeidungskostenrechnung
  - 4.2 Rechenbeispiel: Lösungsansatz 2 und Vermeidungskostenrechnung

### 1 Die Vorgabe aus Paris: Zielerreichung

Mit dem Übereinkommen von Paris am 12.12.2015 hat sich die Weltgemeinschaft darauf verständigt, die Erderwärmung auf maximal 2 Grad gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter zu begrenzen (UN 2015). Dazu haben die Vertragsparteien Minderungsziele bezüglich der THG-Emissionen vorgelegt, mittels der sie der Vision einer weitestgehend dekarbonisierten Wirtschaft und Gesellschaft bis 2050 gerecht werden wollen. Alle Sektoren müssen dazu mit Emissionsminderungen beitragen. Für den Verkehrssektor in Deutschland wurde im Klimaschutzplan 2050 der BUNDESREGIERUNG (2016) ein Zwischenziel für 2030 und ein Gesamtziel für 2050 formuliert: Bis 2030 sollen die jährlichen, direkten THG-Emissionen von etwa 160 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq im Jahr 1990 um 40 % auf etwa 95 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq sinken. Bis 2050 sollen sie auf etwa 3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq sinken, was einer weitestgehenden Dekarbonisierung entspricht. Besonders zu betonen ist, dass es sich dabei zwar um ein langfristiges, jedoch sehr konkretes und quantitativ eindeutiges Ziel handelt.

Da das Ziel quantitativ eindeutig ist, muss sich jede Maßnahme daran messen lassen, welchen Anteil sie zur Zielerreichung beiträgt. Deshalb ist zunächst auf theoretischer Ebene zu fragen, welches Messinstrument geeignet ist, Maßnahmen hinsichtlich ihres Zielbeitrags zu bewerten. Sodann ist der Blick auf die Empirie zu lenken und zu fragen, welche Maßnahmen in der Dekarbonisierungsdebatte derzeit diskutiert werden. Daran anschließend wird die Empirie mit der Theorie zusammengeführt, wodurch die Schwächen der bisherigen Bewertungspraxis deutlich werden. Diese Überlegungen in Kapitel 2 bilden die

Basis für die Lösungsansätze, die in Kapitel 3 herausgearbeitet und in Kapitel 4 angewendet werden.

## 2 Die Herausforderung: Geeignete Maßnahmen auswählen

### 2.1 DER MASSNAHMENKANON AUS VERMEIDEN, VERLAGERN, VERBESSERN UND VERSTROMEN

Die Messung des Zielbeitrags setzt zwei Dinge voraus: Zum einen ein Ziel, zum anderen Maßnahmen, denen eine Wirkung mit Hinblick auf das Ziel jeweils einzeln zugerechnet werden kann.

Ökologisch motivierte Maßnahmenprogramme im Verkehr folgen traditionell dem Dreiklang aus *Vermeiden, Verlagern, Verbessern* (VVV) als handlungsleitendem Motiv (vgl. nur SCHMIED 2016). Die einfachste Lösung dazu wäre, das Verkehrsaufkommen zu reduzieren. Weniger Verkehr führt logischerweise auch zu weniger verkehrsbedingten Emissionen. Die Potentiale des Vermeidens sind jedoch sehr beschränkt, da sie mit teils massiver Verhaltenssteuerung einhergehen müssten, um wirkungsvoll zu sein. Durch eine sonst nur kleine Menge an vermiedenem Verkehr wird entsprechend auch nur eine (unzureichend) kleine Menge an CO<sub>2</sub>-Äq/a vermieden (UBA 2010). „Verlagern“ als zweite Maßnahme bedeutet, Verkehre auf Verkehrsträger mit geringeren Klimaauswirkungen zu lenken und dadurch die Menge an CO<sub>2</sub>-Äq/a zu verringern. „Verbessern“ schließlich bedeutet, dass alle Verkehrsträger durch technologischen Fortschritt selbst in der Lage sein werden, ihre jeweilige Menge an CO<sub>2</sub>-Äq/a zu verkleinern.

Andere Maßnahmen lösen sich von dem Ansatz, dem Kraftstoffverbrauch und den dadurch bedingten CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch VVV zu begegnen. Sie zielen vielmehr darauf ab, die Kraftstoffgewinnung von fossilen auf erneuerbare Quellen umzustellen. Zu den Maßnahmen, die dieser Maxime folgen, zählt der Umstieg auf Biokraftstoffe, die direkte Stromnutzung und die strombasierten Kraftstoffe (ÖKO-INSTITUT 2016). Da Biokraftstoffe eine ethisch ungünstige Konkurrenzsituation mit Nahrungsmitteln hinsichtlich des Anbaus erzeugen und zudem nicht frei von landwirtschaftlichen Emissionen sind, verbleiben im Wesentlichen folgende vier Maßnahmengruppen in der Diskussion: Vermeidung, Verbesserung, Verlagerung und „Verstromung“.

### 2.2 ZWEI INTENTIONEN – ZWEI BEWERTUNGSINSTRUMENTE

Wenn staatliche Stellen Technologien zur Emissionsreduktion fördern, so tun sie das als Treuhänder des gesellschaftlichen Ziels, die Grundlagen menschlichen Lebens auf der Erde zu erhalten. Dazu gehört auch die Eindämmung des Klimawandels via Emissionsreduktion.

Für die staatliche Stelle muss dabei wichtig sein, welchen Beitrag zur Erreichung des gesellschaftlichen Ziels eine zur Förderung vorgeschlagene Maßnahme leistet. Dieser Zielbeitrag ist die *Effektivität* einer Maßnahme: Sie beschreibt das Verhältnis der Wirkung einer einzelnen Maßnahme zum insgesamt zu bewirkenden Ziel (BECKMANN 2004)<sup>1</sup>. Ersteres ist im konkreten Fall die Menge an CO<sub>2</sub>-Äq, die pro Jahr durch die Maßnahme vermieden wird (die Wirkung der Maßnahme). Letzteres ist die insgesamt zu vermeidende Menge an CO<sub>2</sub>-Äq (das zu bewirkende Ziel). Somit lässt sich die Effektivität einer Maßnahme A zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung anhand folgender Formel ausdrücken:

$$\text{Effektivität}_A[\%] = \frac{\text{Vermiedene Menge}_A [\text{tCO}_2\text{Äq}]}{\text{Gesamt zu vermeidende Menge} [\text{tCO}_2\text{Äq}]}$$

In der vorherrschenden Argumentation auf Seiten der Privatwirtschaft wird regelmäßig den Maßnahmen im Bereich *Verbessern* Vorzug gegeben<sup>2</sup>. Dies mit dem Argument, dass Maßnahmen aus dem Bereich Verstromen zu teuer seien. Dabei wird „teuer“ im Sinne der *Vermeidungskostenrechnung* verstanden: Es wird die Frage gestellt, wie viel die Maßnahme pro vermiedener t CO<sub>2</sub>-Äq/a kostet.

Allgemeiner gesprochen handelt es sich dabei um eine *Effizienz*-Betrachtung<sup>3</sup>: Die Kosten einer Maßnahme (hier: Kosten der Implementation der Maßnahme) werden ihrem Nutzen (hier: ihre Menge an vermiedenen CO<sub>2</sub>-Äq/a) gegenüber gestellt. Damit erreicht man es, die *Kosten pro Einheit Nutzen* angeben zu können. Diese Form der Effizienz wird als *Vermeidungskosten* bezeichnet (HEDIGER 1991; FROHN ET AL. 1998) und lässt sich mit folgender Formel ausdrücken (FFE 2009)<sup>4</sup>:

$$\text{Vermeidungskosten}_A = \frac{\text{Implementationskosten}_A [\text{€}]}{\text{vermiedene Menge}_A [\text{tCO}_2\text{Äq}]}$$

Sie bildet die aktuell vorherrschende Argumentationsgrundlage der Privatwirtschaft, da eine effizienzgeleitete Entscheidung für eine Maßnahme nach herrschender Meinung knappe (Finanz-) Ressourcen „ihrer jeweils gesellschaftlich ergiebigsten Verwendung“ (MARTINI 2008, S. 188) zuführt. Aus Sicht der Kosteneffizienz schneiden Maßnahmen aus dem Bereich Verstromen regelmäßig schlecht ab, da sie nach gegenwärtigem Stand hohe Kosten zur Vermeidung pro t aufweisen. Dagegen sind manche Maßnahmen des *Verbesserns* vergleichsweise günstig umzusetzen.

<sup>1</sup> Vgl. auch DRUCKER 1963; DYCKHOFF UND AHN 2001; BREITMEIER UND HANSEL 2015.

<sup>2</sup> Vgl. nur MCKINSEY 2007; FORUM FÜR ZUKUNFTSENERGIEN 2010; PFLUGER UND RAGWITZ 2016.

<sup>3</sup> Vgl. MARTINI 2008; YOUNG UND LEVY 1999.

<sup>4</sup> Präziser ausgedrückt handelt es sich bei den Implementationskosten um *zusätzliche* Kosten der Maßnahme gegenüber dem Status Quo (MCKINSEY 2007; FFE 2009). Für die weiteren Ausführungen ist es jedoch nicht erheblich, ob der Bezugspunkt der Implementationskosten bei 0 oder bei einem Status Quo liegt; entscheidend ist für den Bewertungsmechanismus nur, dass die Methode einheitlich ist. Deshalb soll hier auf die *einfachste mögliche* Darstellung zurückgegriffen werden.

### 2.3 VERGLEICH DER BEWERTUNGSINSTRUMENTE IN EINEM RECHENBEISPIEL

Die Argumentation der Kosteneffizienz ist dann überzeugend, wenn es darum geht, einen fixen, zweckgebundenen Geldbetrag bestmöglich im Sinne des Zwecks einzusetzen. In knappen Worten: Die Bezugsgröße der Effizienz ist die finanzielle Ressource. Diese Entscheidungslogik ist also dann angemessen, wenn das Ziel mit einem fixen Höchstpreis, den es kosten darf, versehen ist. Das Übereinkommen von Paris ist jedoch nicht mit einem „Höchstpreis“ versehen, sondern stellt das *Ziel selbst* an vorderste Stelle<sup>5</sup>. Die angemessene Bewertung einer Maßnahme unter diesen Vorzeichen ist, wie in Kap. 2.2 vorgestellt, die *Effektivität*.

Nun ist es nicht ausgeschlossen, dass eine Maßnahme zugleich effizient und effektiv ist. Daher soll nun anhand eines Rechenbeispiels dargestellt werden, inwieweit Effizienz und Effektivität miteinander zusammenhängen. Dafür wird auf den Datensatz „Kosten und Potentiale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland – Sektorsperspektive Transport“ (MCKINSEY 2007) zurückgegriffen. Dieser Datensatz wurde ausgewählt, weil er die benötigten Teildaten zu Effizienz und Effektivität bietet und einen großen Umfang hat.

Die folgende Tabelle listet eine Reihe von Maßnahmen aus diesem Datensatz<sup>6</sup> und zeigt die dort ausgewiesenen Vermeidungskosten und Vermeidungspotentiale. Erstere stellen eine Effizienz-Betrachtung dar, letztere eine Effektivitäts-Betrachtung. Korreliert man beide Spalten, so erhält man Aufschluss über den Zusammenhang von Effizienz und Effektivität<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> Die Entscheidung war auch getragen von der wissenschaftlichen Erkenntnis, dass die *Gesamtkosten* der vollständigen Zielerreichung niedriger ausfallen als die Kosten einer teilweisen Zielverfehlung (IPCC 2014).

<sup>6</sup> Aus den Rohdaten wurden alle Maßnahmen entfernt, die Fehlstellen bei einzelnen Werten enthielten. Außerdem wurden Maßnahmen mit negativen Vermeidungskosten entfernt, da ihre Umsetzung auch ohne Förderung zu erwarten ist.

<sup>7</sup> Die Vermeidungskosten entsprechen direkt der Effizienz. Die Vermeidungspotentiale stellen nur den Zähler der Effektivität dar (vgl. Formeln in Kap. 2.2). Da der Nenner aber eine Konstante ist – nämlich das Gesamtziel im Verkehrssektor – ist die Bildung des Quotienten der Effektivität nicht erforderlich, um eine Korrelation mit der Effizienz durchführen zu können.

Maßnahme	Nr.	25	26	28	29	30	31	32	34	35	36	37	39	40	41	43
Vermeidungskosten	[€/t CO <sub>2</sub> -Äq]	40	40	30	90	100	140	170	200	320	330	360	750	770	920	1030
Vermeidungspotential	[Mt CO <sub>2</sub> -Äq]	0,3	0,4	0,9	0,7	0,1	1	5,8	0,6	0,4	0,3	1,6	0,4	1,4	1	0,7

Maßnahme	Nr.	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
Vermeidungskosten	[€/t CO <sub>2</sub> -Äq]	1030	1340	1380	1480	1680	1700	1800	1840	1970	2000	2000	2290	2490	3390
Vermeidungspotential	[Mt CO <sub>2</sub> -Äq]	0,4	0,9	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,9	0,9	0,3	0,2	3,8	3,4	0,7

Die Nummern der Maßnahmen ergeben sich aus der fortlaufenden Nummerierung der Rohdaten in McKinsey (2007, S. 60).

**Tabelle 1: Vermeidungskosten und Vermeidungspotentiale von Maßnahmen nach MCKINSEY 2007**

Die Analyse zeigt, dass effiziente Maßnahmen keinesfalls effektiv sein müssen: Im Datensatz beträgt die Korrelation der beiden Größen annähernd null<sup>8</sup>. Ein Vergleich der Extremwerte (beste Werte in hellgrau, schlechteste Werte in dunkelgrau) zeigt ebenfalls keine Übereinstimmung bei Effizienz und Effektivität.

Da einerseits die Effizienz das aktuell dominante Entscheidungskriterium für oder gegen die Implementation einer Maßnahme ist, und andererseits aber die Effektivität das Bewertungskriterium für die Erreichung des Ziels aus Paris ist, kann man zu dem Schluss kommen, dass die Erreichung des Ziels gefährdet ist.

Dies nicht etwa, weil das Ziel zu ambitioniert oder die Innovationskraft zu gering wäre – das ist nicht Gegenstand dieses Papiers – sondern weil die Zielerreichung im Kontext der Effizienz als alleiniges Entscheidungskriterium keine Rolle spielt.

Diese Praxis führt zu Entscheidungen, durch die zunächst sämtliche *Low Hanging Fruits* „geerntet“ werden, bevor man sukzessive zu „teureren“ Maßnahmen (= höhere Kosten pro t vermiedener CO<sub>2</sub>-Äq) übergeht. Bevor nicht alle Maßnahmen eines Effizienz-niveaus umgesetzt sind, besteht kein Anreiz, „teurere“ und aus Effizienz-Sicht „schlechtere“ Maßnahmen anzugehen. Es ist theoretisch nicht ausgeschlossen, dass die Summe der effizientesten Maßnahmen (angefangen vom besten Rangplatz 1 bis zu einem gewissen Rangplatz X) auch zu 100 % Effektivität führt. Die Erreichung des Paris-Ziels ist unter dieser Bewertungspraxis aber nur ein Nebenprodukt – und da es nicht explizit gemessen wird, auch nur ein Zufallsprodukt.

<sup>8</sup> Korrelationskoeffizient nach Pearson:  $r = 0,058$ . Das Ergebnis ist nicht statistisch signifikant, illustriert aber die Problematik der beiden Bewertungsinstrumente Effizienz und Effektivität.

### 3 Die Lösungsansätze: Verbindung von Effektivität und Effizienz

Die *effizienz-basierte Vermeidungskostenrechnung* gibt Einblick in die Kosten *pro* Einheit Nutzen, ohne zu berücksichtigen, *wie viele* Einheiten Nutzen die Maßnahme insgesamt leisten kann. Als alleiniges Entscheidungskriterium scheidet sie, wie oben gezeigt, aus. *Reine Effektivität* dagegen gibt das Verhältnis aus Nutzen und Ziel an, berücksichtigt aber keinerlei Kosten. Damit ist die reine Effektivität als alleiniges Entscheidungskriterium ebenfalls unvollkommen: Sobald mehrere Maßnahmen aus Sicht der Effektivität einwandfrei sind, bietet sie kein weiteres Differenzierungskriterium mehr, welche Alternative nun umzusetzen ist. Da aber jede dieser Maßnahmen für sich schon 100 % bewirkt, verbietet es sich logisch, in Ermangelung einer weiteren Differenzierung einfach mehrere Maßnahmen vollständig umzusetzen. Eine weitere Differenzierung nach der Stufe der reinen Effektivität ist also kein Extra, sondern logisch notwendig.

Beide Perspektiven führen bei isolierter Anwendung ansonsten zu *Inkrementalismus*: Bei der Effizienz-Betrachtung dadurch, dass viele kleine „Low Hanging Fruits“ geerntet werden, bei der Effektivitäts-Betrachtung dadurch, dass in Unkenntnis näherer Differenzierung sehr wahrscheinlich mehrere „erfolgsversprechende“ Wege parallel beschritten werden, was die Gefahr birgt, aufgrund hohem finanziellen Ressourcenverbrauch keinen dieser Wege zu Ende zu gehen und schließlich auch bei inkrementellen Ansätzen zu verharren.

Die folgenden Lösungsansätze zeigen zwei Wege auf, der *Inkrementalismusfalle* zu entkommen: Beide verbinden die Konzepte von Effizienz und Effektivität und gelangen so zu einem neuen Instrument zur Bewertung von Maßnahmen im Bereich des Paris-Ziels. Diese Bewertung ist insbesondere hilfreich für Maßnahmen, die sich marktmäßig nicht lohnen, aber möglicherweise zielführend sind und daher auf staatliche Förderung hoffen. Der erste Ansatz kombiniert die beiden Konzepte zu einem Ablaufschema (3.1), der zweite Ansatz integriert das Konzept der Effektivität in das Konzept der Effizienz (3.2).

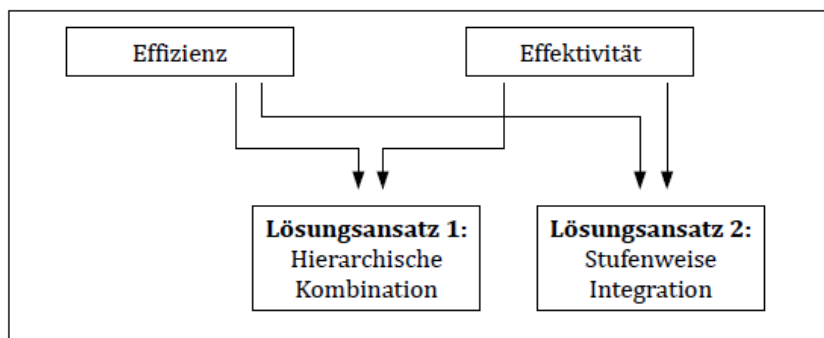


Abbildung 1: Übersicht über die Lösungsansätze

Beide Ansätze sind grundsätzlich gleichwertig und weisen spezifische Vor- und Nachteile auf, die in Kap. 4 in einem Zwischenfazit verglichen und abschließend in einem Rechenbeispiel als Alternative zur Vermeidungskostenrechnung einmal angewandt werden.

### 3.1 LÖSUNGSANSATZ 1: KOMBINATION VON EFFEKTIVITÄT UND EFFIZIENZ

Der erste Lösungsansatz kombiniert Effektivität und Effizienz dergestalt, dass die Bewertung einer Maßnahme erst nach Durchlaufen beider Formeln abgeschlossen ist: Zunächst stellen sich alle in Rede stehenden Maßnahmen der Effektivitätsbetrachtung. Sie wirkt wie eine „1. Runde“ oder ein Filter, der nur Maßnahmen zur „2. Runde“ zulässt, die 100 % Effektivität versprechen<sup>9</sup>. In der zweiten Runde müssen sich die verbliebenen Maßnahmen dann der Effizienz stellen. Die relativ effizienteste Maßnahme aus der zweiten Runde ist dann diejenige, die zur Umsetzung am geeignetsten ist. Der Zugang zur ersten Runde ist dabei von *Technologieoffenheit* geprägt, denn es geht darum, aus allen erdenklichen Technologien die geeignetste Maßnahme auszuwählen. Technologieoffenheit steht damit nicht in Konkurrenz zu Effektivität und Effizienz, sondern charakterisiert die Grundgesamtheit der Maßnahmen, aus denen ausgewählt wird. Das nachfolgende Schaubild verdeutlicht den Ablauf:

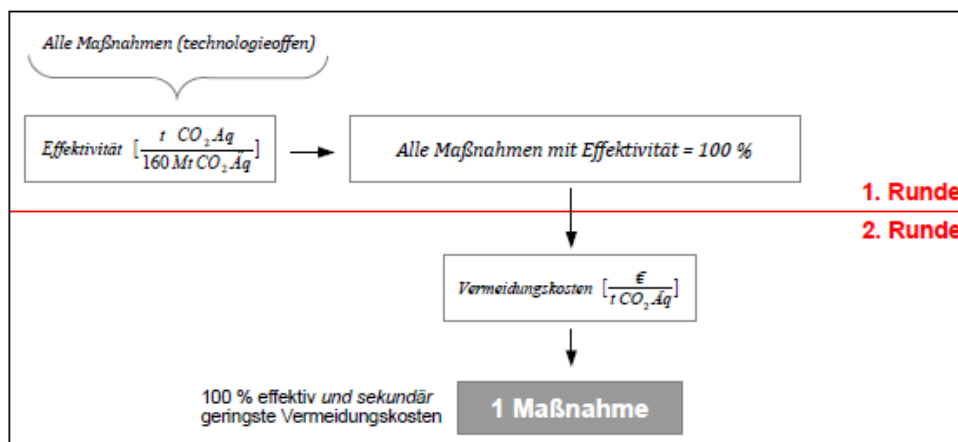


Abbildung 2: Ablaufschema Lösungsansatz 1

<sup>9</sup> Hiervon unberührt bleiben Maßnahmen des *Marktwirtschaftlichen Klimaschutzes*: Maßnahmen, die sich betriebswirtschaftlich bereits lohnen, werden von rational handelnden Unternehmen ohne Zutun des Staates am Markt etabliert. Sie bedürfen keiner Förderung und fallen daher auch nicht unter die Effektivitätsbetrachtung.



Mit diesem Ablauf können die Stärken beider Perspektiven genutzt werden: Die Effizienzbetrachtung ist in dieser Konstellation nicht mehr dem Vorwurf ausgesetzt, sie beachte das Ziel nicht, da ja nur noch Maßnahmen zur Disposition stehen, die in der vorausgehenden Effektivitätsbetrachtung der Rückkopplung mit dem Ziel standgehalten haben. Kurz gesagt: Es werden Kosten pro Einheit Nutzen betrachtet, aber nur unter den Maßnahmen, die alle zur Zielerreichung benötigten Einheiten Nutzen auch leisten können. Mit Hinblick auf den Anwendungsfall, die Erreichung der Paris-Ziele, bietet dieser Ansatz noch den Vorteil, dass die Formeln für Effektivität und Kosteneffizienz in Reinform verwendet werden; das heißt, es müssen zu keinem Zeitpunkt CO<sub>2</sub>-Äq monetarisiert werden<sup>10</sup>. Zugleich löst dieser Ablauf das oben besprochene Problem der reinen Effektivität als alleinigem Entscheidungskriterium: Durch die zweite Betrachtungsrunde mittels Effizienz wird eine Maßnahme als eindeutiger „Sieger“ identifiziert – deren Umsetzung dann in einem transformativen Prozess angegangen werden kann.

Dennoch bietet genau diese Zuspitzung auf eine einzige Maßnahme auch Nachteile: So ist es nicht mehr möglich, Maßnahmen**bü**ndel zusammenzufassen und gegenüber anderen Bündeln oder Einzelmaßnahmen abzuwägen<sup>11</sup>. Die Möglichkeit der Bündelung muss aber aus mindestens zwei Gründen gegeben sein: (1) Falls keine Einzelmaßnahme 100 % Effektivität zu leisten vermag<sup>12</sup>, oder (2) falls die Kombination mehrerer Maßnahmen zwingend erforderlich ist, etwa weil eine Maßnahme zwar rein technisch die gesamte Menge vermeiden könnte, aber nicht in allen Lebens-/Arbeitsbereichen eingesetzt werden kann. In diesen Fällen wäre der Anwender wieder auf den Vergleich von Effizienz-Effektivitäts-Paaren von verschiedenen Maßnahmen angewiesen, unter denen eine Rangbildung – eben wegen der zwei Dimensionen – schwierig ist.

### 3.2 LÖSUNGSANSATZ 2: INTEGRATION VON EFFEKTIVITÄT IN EFFIZIENZ

Dieser Ansatz nimmt die aktuell gängige *Vermeidungskostenrechnung* als Ausgangspunkt. Ihre Nachteile werden durch stufenweises Hinzufügen weiterer Komponenten abgemildert, ohne dabei die Schwächen des Lösungsansatzes 1 (Kap. 3.1) wieder integrieren zu müssen. Stufe 0 stellt dabei eine rein formale Transformation ohne inhaltliche Änderung der

---

<sup>10</sup> Das ist ein Vorteil, der im Zusammenhang mit dem zweiten Lösungsansatz noch von Bedeutung sein wird.

<sup>11</sup> Genauer gesagt: Es können nur a-priori-Bündel betrachtet werden, die genau so zusammengefasst wurden, dass sie die 100% Effektivität schaffen. Dadurch werden aber Maßnahmen vor der Bewertung so „präpariert“, dass sie in der Bewertungsmethode gut abschneiden, was keinen Erkenntnisgewinn liefert. Es kann sogar zu unerwünschten Nebeneffekten kommen: Wenn nämlich alle Maßnahmen nur zusammen 100 % effektiv sind, setzt die Bündelung im Ergebnis die Hürde der Effektivität außer Kraft und stellt die Rangordnung der Vermeidungskostenrechnung wieder her: Alle Maßnahmen sind *zusammen* zielerreichend, bewertet wird dann aber nur *ohne* Beachtung des *individuellen* Zielerreichungs-Potentials.

<sup>12</sup> Dann liefert der Ansatz formal keine Lösung, d.h. es gibt keine zweite Runde, da keine Einzelmaßnahme die erste Runde geschafft hat.

Vermeidungskostenrechnung dar, die Stufen 1 bis 3 ergänzen jeweils eine Komponente. Jede der Stufen 1 bis 3 bildet eine abgeschlossene Formel mit interpretierbarem Aussagegehalt. Dabei gilt, dass die Aussagekraft mit zunehmender Stufe aus theoretischer Sicht differenzierter wird, aus praktischer Sicht jedoch mit zunehmender Unsicherheit behaftet ist.

### Stufe 0 : Monetarisierung der Vermeidungskosten

Im ersten Schritt wird die Formel der *Vermeidungskosten* (vgl. Kap. 2.2) in ihren Kehrbuch umgewandelt:

$$\text{Vermeidungskosten.invers}_A = \frac{\text{Vermiedene Menge}_A [\text{tCO}_2\text{Äq}]}{\text{Implementationskosten}_A [\text{€}]}$$

Sodann wird die vermiedene Menge an CO<sub>2</sub>-Äq/a nicht mehr direkt, sondern in monetarisierter Form angegeben. Ab dieser Umwandlung wird der Quotient als (*reine Effizienz*) bezeichnet (BECKMANN 2004):

$$\text{Effizienz}_A = \frac{\text{Vermiedene Menge}_A [\text{€}]}{\text{Implementationskosten}_A [\text{€}]}$$

Inhaltlich hat sich keine Änderung der Aussagekraft ergeben: Es werden wie bei der reinen Vermeidungskostenrechnung nur Nutzen zu Kosten ins Verhältnis gesetzt. Diese Umwandlung schafft jedoch die Voraussetzung für die folgenden drei Erweiterungsstufen: Es ist eine dimensionslose Kennzahl entstanden, die sich nun leicht um weitere Komponenten ergänzen lässt, ohne dass sie uninterpretierbar wird<sup>13</sup>.

### Stufe 1: Integration eines Effektivitätsindikators

Wie die Vermeidungskostenrechnung setzt auch die reine Effizienz nur Nutzen ins Verhältnis zu den Kosten pro Einheit; das Ziel bleibt außen vor. Um dem zu begegnen, wird nun ein *Effektivitätsindikator* eingeführt, die *Restschädigung*. Sie fußt auf der Überlegung, dass zur Erreichung des Paris-Ziels insgesamt eine fixe Menge an CO<sub>2</sub>-Äq/a vermieden werden muss und gibt an, welche Menge (in monetarisierter Form) an CO<sub>2</sub>-Äq/a eine Maßnahme *trotz* ihrer Implementation *nicht* vermeiden kann. Je mehr eine Maßnahme vermeiden kann, desto *größer* ist ihre Effektivität – und desto *kleiner* die ihr zugeordnete Restschädigung. Die Restschädigung einer Maßnahme A berechnet sich wie folgt:

$$\text{Restschädigung}_A [\text{€}] = \text{Gesamt zu vermeidende Menge} [\text{€}] - \text{Vermiedene Menge}_A [\text{€}]$$

<sup>13</sup> Die Interpretation besteht bei Anwendung aus dem Vergleich der Kennzahl aus der Formel für eine Maßnahme mit den in gleicher Weise erzeugten Kennzahlen anderer Maßnahmen. Dieser Vergleich ist bei dimensionslosen Kennzahlen stets möglich.

Der Wert dieser Restschädigung wird der Maßnahme A nun als Kosten angelastet. Die Kennzahl der Formel wird als „Effizienz plus“ bezeichnet und berechnet sich wie folgt:

$$\text{„Effizienz plus}_A\text{“ (Stufe 1)} = \frac{\text{Vermiedene Menge}_A[\text{€}]}{\text{Implementationskosten}_A[\text{€}] + \text{Restschädigung}_A[\text{€}]}$$

Das ist auch berechtigt, denn volkswirtschaftlich betrachtet entstehen bei Implementation von ausschließlich Maßnahme A folgende Kosten: Diejenigen, die die Maßnahme selbst bei Umsetzung verursacht (etwa die Entwicklung, Herstellung und Verwendung eines Filters) – und diejenigen, die sich aus der schädigenden Wirkung der nicht vermiedenen Menge an CO<sub>2</sub>-Äq/a (in monetarisierter Form) ergeben. In der gleichen Logik kann jetzt auch die Bündelung von Maßnahmen vorgenommen werden<sup>14</sup>.

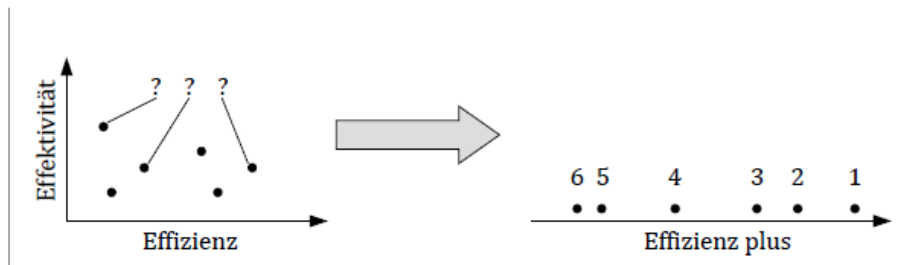
Mathematisch wirkt die Restschädigung wie ein „Strafzuschlag“: Sie vergrößert den Nenner. Damit wird die Kennzahl umso kleiner, je größer die Restschädigung der Maßnahme ist. Im Ergebnis wird dadurch eine Maßnahme mit großer Restschädigung im relationalen Ranking mit anderen Maßnahmen weiter unten stehen. Die Effektivität wird insofern abgebildet, als dass einer 0 % effektiven Maßnahme die gesamte zu vermeidende Menge als Restschädigung zugerechnet wird – ihre Kennziffer wird also recht klein. Umgekehrt fällt bei einer 100 % effektiven Maßnahme gar keine Restschädigung an, sodass ihre Kennziffer recht groß wird<sup>15</sup>. In manchen Extremsituationen kann es zu Verzerrungen in der Rangbildung kommen<sup>16</sup>, weshalb diese Erweiterung auch bewusst unter die Überschrift Effektivitätsindikator gestellt wurde. Die reine Effektivität bildet sie nicht ab.

Dennoch wurde durch diese Erweiterung das zentrale Manko des ersten Lösungsansatzes, nämlich die fehlende Anwendbarkeit im Falle nicht hundertprozentiger Effektivität einer jeden Maßnahme (vgl. Kap. 3.1), behoben: Jede Maßnahme, die durch eine beliebige Position auf einer zweidimensionalen Fläche charakterisiert wird (nämlich hinsichtlich der Dimensionen Effizienz und Effektivität) wird durch diese Formel mit einer einzigen Kennzahl versehen und damit in eine *eindimensionale, rangbildende Skala* integriert.

<sup>14</sup> *Vermiedene Mengen* und *Implementationskosten* werden jeweils addiert und dann eingesetzt. Die *Restschädigung* ergibt sich nun aus der *Gesamt zu vermeidenden Menge* abzüglich der addierten *vermiedenen Mengen* der einzelnen Maßnahmen.

<sup>15</sup> Mathematisch gesprochen strebt die „Effizienz plus“-Formel bei sinkender Restschädigung in Richtung der Formel für reine Effizienz.

<sup>16</sup> Etwa dadurch, dass eine Maßnahme mit profunder Restschädigung, aber extrem geringen Implementationskosten einen besseren (= größeren) Kennwert erhält als eine Maßnahme mit kaum Restschädigung aber höheren Implementationskosten, obwohl letztere doch effektiver ist. Dennoch fällt die Effektivität tendenziell stärker ins Gewicht, da eine Veränderung der Restschädigung auch die vermiedene Menge beeinflusst: Zähler und Nenner verändern sich gleichzeitig in gegenläufiger Richtung, sodass die Kennzahl stark beeinflusst wird. Eine Änderung der Effizienz schlägt sich nur in einer Änderung der Implementationskosten nieder, beeinflusst also nur den Nenner.



**Abbildung 3: Reduktionsleistung der “Effizienz plus”-Formel**

#### **Exkurs: Wirtschaftswissenschaftliche Perspektiven auf die Effizienz plus-Formel**

Probleme der Umweltschädigung können aus wirtschaftswissenschaftlicher Perspektive mittels der drei Größen *Schadenskosten*, *Reparaturkosten* und *Vermeidungskosten* greifbar gemacht werden (HEDIGER 1991). *Schadenskosten* sind dabei die Kosten der irreparablen Wohlfahrtsminderung durch Umweltschädigung, *Reparaturkosten* die Kosten der reparablen Wohlfahrtsminderung und *Vermeidungskosten* die Kosten der präventiven Verhinderung des Schadenseintritts.

Besondere Aufmerksamkeit verdient nun die Einordnung der *Restschädigung* aus der Effizienz plus -Formel in das Konzept der oben eingeführten drei Größen: Die Restschädigung könnte zwar auf den ersten Blick als Summe aus Schadens- und Reparaturkosten aufgefasst werden<sup>17</sup>. Jedoch handelt es sich dabei nicht um die Kosten desjenigen Schadens, der *statt* der Maßnahme zu tragen wären, sondern um die Kosten des Schadens, der *nach Änderung des Status Quo* (bewirkt durch Einsatz der Maßnahme) *noch verbleibt*. Die Restschädigung beschreibt damit keine *eigenen* *Schadenskosten* „anstelle“ der Maßnahme, sondern *verbleibende* Kosten und zählt damit nicht ins wirtschaftswissenschaftliche Konzept der Schadens- oder Reparaturkosten im engeren Sinne.

Des Weiteren handelt es sich bei der Restschädigung auch nicht um *Opportunitätskosten*. Das sind Kosten, die den Wert einer nicht realisierten Alternative der Maßnahme darstellen (FROHN ET AL. 1998). Der Grund liegt analog zur oben beschriebenen Einordnung der Restschädigung: Es handelt sich um einen *Differenzbetrag nach Realisierung* der Maßnahme, nicht etwa um einen *Konkurrenzbetrag statt Realisierung* der Maßnahme. Deshalb sind *Implementationskosten* und *Restschädigung* im Sinne der Effizienz plus-

<sup>17</sup> Der Ansatz der Restschädigung unterscheidet nicht danach, wie der Schaden getragen wird, etwa durch „Reparatur“ oder durch „Hinnahme“ der Schädigung. Entscheidend ist nur, dass er getragen werden muss.

Formel auch *keine* Opportunitäten zueinander. Sie können *nicht* gegeneinander abgewogen werden, sondern müssen aufaddiert werden.

Zuletzt soll die Restschädigung noch im Lichte des Konzepts der „Internalisierung externer Kosten“ betrachtet werden: *Externe Kosten* stehen im Zusammenhang mit der Realisierung der Maßnahme und vergrößern damit die Gesamtkosten der Maßnahme (HEDIGER 1991). Das trifft auf die Restschädigung zu; insoweit weist sie Eigenschaften der *externen Kosten* auf. Auch deshalb ist es legitim, diese Kosten der Maßnahme auch in der Effizienz-plus-Formel rechnerisch anzulasten.

Jedoch weist die Restschädigung zwei besondere Eigenschaften auf, die sie von gewöhnlichen externen Kosten unterscheidbar machen: Zum einen verhält sich ihr Betrag *gegenläufig* zur Realisierung: Je mehr realisiert wird, desto weniger Restschädigung fällt an. Zum anderen besitzt die Restschädigung mit der „Gesamt zu vermeidenden Menge“ einen *absoluten Bezugspunkt*. Da es sich bei diesem Bezugspunkt zugleich um das Ziel der Dekarbonisierung handelt, kann die Restschädigung als *Indikator der Effektivität* (Zielerreichungsbeitrag!) einer Maßnahme angesehen werden. Diese Interpretationsmöglichkeit geht über die Aussagekraft gewöhnlicher externer Kosten hinaus und macht die Restschädigung zu einer neuen Kategorie.

## Stufe 2: Integration von politische Steuerungskosten

Zur Erreichung des Paris-Ziels könnte es erforderlich sein, Maßnahmen zu bündeln (vgl. Kap. 3.1). Lösungsansatz 1 erlaubt die Bündelung, wie gezeigt, nur sehr eingeschränkt. Auf der bisherigen Entwicklungsstufe von Ansatz 2 (Stufe 1) ist die Bündelung zwar formal durch Addition der entsprechenden Größen für mehrere Maßnahmen möglich (s.o.). Dabei ist es aber auch möglich, durch unbegrenzte Bündelung die Restschädigung auf 0 zu fahren und die *Effizienz plus* künstlich zu steigern. Unbeachtet bleibt dabei, dass die Umsetzung von mehr statt weniger Maßnahmen sehr wahrscheinlich mit zunehmenden politischen Steuerungskosten verbunden ist, sodass eine unbegrenzte Bündelung nicht unbedingt der geeignetste Weg sein wird. Es ist daher erforderlich, die „Effizienz plus“-Formel um die *politischen Steuerungskosten a* zu ergänzen:

$$\text{"Effizienz plus}_A\text{" (Stufe 2)} = \frac{\text{Vermeidene Menge}_A[\text{€}]}{\text{Implementationskosten}_A[\text{€}] + \text{Restschädigung}_A[\text{€}] + a[\text{€}] * (n - 1)}$$

In dieser Erweiterung wird dem Nenner ein weiterer Summand hinzugefügt. Er besteht aus den politischen Koordinationskosten *a*, die den Umstand reflektieren, dass die Umsetzung von mehr als einer Maßnahme aufwendiger ist, als – wo möglich – mit nur einer einzigen Maßnahme das Ziel zu erreichen. Daher wird *a* auch nicht mit der Anzahl der Maßnahmen *n* multipliziert, sondern mit *(n-1)*. Sollte also nur eine Maßnahme allein bewertet werden, fällt *a* nicht an. Das ist auch zu rechtfertigen, denn mit *a* ist nicht der Teil der Implementationskosten gemeint, der bei einer beliebigen Maßnahme beim Staat anfällt (dann müsste das *a* auch bei jeder Maßnahme einen anderen Wert annehmen), sondern nur diejenigen Mehrkosten, die genau dadurch entstehen, dass mehr als eine Maßnahme verfolgt wird. Man denke dazu beispielsweise an den zusätzlichen Koordinationsbedarf bei

Förderprogrammen oder etwa die Etablierung von zwei neuen Infrastrukturen zum selben Zweck anstatt einer.

Mathematisch schafft dieser Summand einen weiteren Strafzuschlag, der aber erst bei  $n$  größer 1 zum Tragen kommt<sup>18</sup>. Für dessen Implikationen ist folgendes Gedankenexperiment hilfreich: Sollte eine Maßnahme, die allein zur Disposition steht, nicht ganz 100 % Effektivität bewerkstelligen, so entfällt bei ihrer Bewertung zwar der Strafzuschlag, sie wird aber eine Restschädigung aufweisen. Erreicht die Maßnahme zusammen mit einer zweiten aber die 100 %, so wird zwar  $a$  als Zuschlag fällig, es entfällt aber die Restschädigung. Dadurch sollte dann letztere Konstellation im Sinne der Zielerreichung die bessere Kennzahl erhalten. Die tatsächliche Rangbildung hängt hier maßgeblich vom Wert von  $a$  ab, der zu bestimmen ist.

### Stufe 3: Integration von Lernkurven

Alle bisherigen Entwicklungsstufen der Formel gehen davon aus, dass sich die *Implementationskosten* einer Maßnahme über Zeit *statisch* verhalten – ihre Effizienz also konstant bleibt. Es wird folglich angenommen, dass die Vermeidung von 1 t CO<sub>2</sub>-Äq/a mittels einer bestimmten Maßnahme stets dieselben Kosten verursacht – unabhängig davon, wie lange die Technologie bereits verfügbar ist. Dies ist in der Realität nicht zu vermuten. Vielmehr ist davon auszugehen, dass mit zunehmendem Wissen über eine Technologie Lern- und mit zunehmender Verbreitung Skaleneffekte eintreten werden, die die Technologie in ihrer Implementation tendenziell günstiger werden lassen. Somit handelt es sich bei der bisherigen statischen Betrachtung gewissermaßen um eine Implementation zu heute realisierbaren Preisen, die sich in Zukunft wahrscheinlich als Höchstpreise herausstellen werden. Diese Betrachtung bietet den Vorteil, dass Maßnahmen, die schon unter den ungünstigen heutigen Preisen in der Bewertung gemäß diesem Lösungsansatz (unabhängig davon, welche Stufe des Ansatzes) gut abschneiden, in Zukunft wahrscheinlich noch besser abschneiden werden.

Da solche *Lernkurven* ein sehr universelles Phänomen sind, stellt sich die Frage, ob man sie in einer zusätzlichen Erweiterung der Formel überhaupt berücksichtigen sollte. Denn im Zweifel würden aufgrund der Lernkurven alle Maßnahmen eine bessere Kennzahl erhalten, woraufhin die Rangfolge unter Umständen unverändert bliebe. Da Lernkurven aber *unterschiedlich steil* ausfallen können, kann es bei ihrer Berücksichtigung doch zu einer Veränderung der Rangfolge kommen. Deshalb wird im Folgenden eine weitere Modifikation der Formel vorgestellt:

$$\text{Effizienz plus}_A(\text{Stufe 3}) = \frac{\text{Vermiedene Menge}_A[\text{€}] * t}{\int \text{Implementationskosten dt}[\text{€}] + \text{Restschädigung}_A[\text{€}] * t + a[\text{€}] * (n - 1)}$$

<sup>18</sup>  $n \in \mathbb{N}$

Der dynamischen Änderung von Implementationskosten wird durch die Bildung eines Integrals (je Maßnahme) Rechnung getragen, welches die Implementationskosten vom ersten Jahr der Betrachtung bis zum Zieljahr 2050 aufsummiert. Zudem müssen die Werte der *vermiedenen Menge* und der *Restschädigung* mit der Anzahl Zeiteinheiten  $t$  multipliziert werden, über die das Integral integriert<sup>19</sup>.

Dadurch muss mit einer impliziten Annahme aller vorausgehenden Stufen gebrochen werden: Bisher stellten sämtliche Kennzahlen immer eine Art „Rangplatz pro Jahr“ dar, der aufgrund der Statik aller Inputgrößen aber *jährlich gleich vergeben* wurde. In der letzten Formel handelt es sich (durch die Integrale und Multiplikationen) aber um einen Gesamtrangplatz bei Betrachtung von  $t=x$  bis  $t=2050$ . Das bedeutet, dass die Rangplätze bei Betrachtung nur des Jahres 2050 sehr wahrscheinlich anders vergeben werden als heute. Die Integral-Betrachtung erlaubt es, die geeignetste Maßnahme/Maßnahmenbündel für die Zeit bis 2050 zu identifizieren. Diese Betrachtung ist zwar differenziert, bietet aber zwei Nachteile: Zum einen die Unsicherheiten, mit denen die zu unterstellenden Lernkurven belastet sind, zum anderen die nun mathematisch geöffnete Option, auch über 2050 hinaus zu integrieren und die Lernkurven weiter auszunutzen. Das wird zwar der Realität entsprechen, da das Paris-Ziel nicht nur bis 2050 erreicht sein muss, sondern ab 2050 auch aufrechterhalten werden muss, wobei weitere Lerneffekte im Technologieeinsatz natürlich auch nach 2050 zu erwarten sind. Wenn man sich auf diese Bedingungen aber einlässt, hängt die Kennzahl, die die Formel vergibt, auch – wenn nicht sogar überwiegend – davon ab, bis zu welchem Zeitpunkt integriert wird. Da das ganze Papier darauf abzielt, auf die Langfristigkeit des Paris-Ziels abzustellen, kommt man nun in argumentative Schwierigkeiten, wenn man gerade jetzt eine weitreichende Integration ablehnen würde. Im Extremfall ließe sich nun beispielsweise bis  $t=3000$  integrieren, was zu völlig anderen Rangplätzen *schon ab heute* führen könnte. Da eine derart weitreichende Vorhersage der Lernkurven aber als unseriös anzusehen ist – man aber gleichzeitig auch nicht bestimmen kann, ab welcher Zeitspanne die Vorhersage unseriös wird – soll an diesem Punkt von einer quantitativen Unterlegung der Lernkurven Abstand genommen werden.

Die Stufen 2 und 3 des zweiten Lösungsansatzes sind in ihrer Anwendung mit Unsicherheit behaftet, da weder das  $a$  noch die *Lernkurven* hinreichend bestimmt sind. Daher sind sie als Ausblick und Anregung zu verstehen, welche Überlegungen bei einer umfassenden Bewertung der Maßnahmen noch angestellt werden sollten. Sie können nur im Sinne einer *qualitativen Berücksichtigung* in das Formel-Ergebnis aus Stufe 1 einfließen. Sie dienen

---

<sup>19</sup> Es handelt sich dabei um eine Verzerrungskorrektur: Ließe man die Formel ohne die Multiplikationen mit  $t$  stehen, ergäben sich durch die starken, integralbedingten Zuschläge im Nenner zunächst sehr viel kleinere Kennzahlen, die in der Folge die Rangplätze unrichtig zuteilen könnten. Unrichtig deshalb, weil sich Rangplatzänderungen dann nicht nur durch bessere Lernkurven ergeben, sondern auch durch ein Missverhältnis von integrierten Kosten über mehrere Jahre im Nenner, die aber nur jährlichen vermiedenen Mengen im Zähler gegenüber ständen. Die Multiplikation bringt nun die Anzahl der im Integral betrachteten Jahre wieder in Einklang mit der Anzahl der bei vermiedener Menge und Restschädigung betrachteten Jahre.

nicht dazu, den politischen Entscheidungsprozess „ausrechenbar“ zu machen. Für alle weiteren Ausführungen wird dieser Lösungsansatz deshalb nur in Form der Effizienz-Plus-Formel auf Stufe 1 weiter berücksichtigt:

$$\text{"Effizienz plus}_A\text{" (Stufe 1) = \frac{\text{Vermiedene Menge}_A[\text{€}]}{\text{Implementationskosten}_A[\text{€}] + \text{Restschädigung}_A[\text{€}]}$$

## 4 Schlussbetrachtung

### 4.1 VERGLEICH DER LÖSUNGSANSÄTZE MIT DER VERMEIDUNGSKOSTENRECHNUNG

Welcher der beiden Lösungsansätze ist nun besser geeignet, als Alternative zur Vermeidungskostenrechnung zu fungieren? Zur Disposition stehen die „Hierarchische Kombination“ (Lösungsansatz 1, Kap. 3.1), sowie die „Stufenweise Integration“ (Lösungsansatz 2, Kap. 3.2; auch als „Effizienz plus-Formel“ eingeführt). Da dieser Aufsatz darauf abzielt, der Vermeidungskostenrechnung eine Alternative entgegenzustellen, müssen sich die beiden Lösungsansätze mit dem etablierten Vorgehen der Vermeidungskostenrechnung vergleichen. Die folgende Tabelle zeigt die Vor- und Nachteile im Überblick:

	Status Quo <i>Vermeidungskostenrechnung</i>	Lösungsansatz 1 <i>Hierarchische Kombination</i>	Lösungsansatz 2 <i>Stufenweise Integration</i>
1	+ Keine Monetarisierung	+ Keine Monetarisierung	- Monetarisierung nötig
2	- Keine Beachtung der Effektivität	+ (Strenge) Beachtung der Effektivität	+ (Weiche) Beachtung der Effektivität
3	+ Stets aussagekräftige Rangfolge	- Rangfolge bei Scheitern an Effektivitätshürde nicht bildbar	+ Stets aussagekräftige Rangfolge

**Tabelle 2: Vor- und Nachteile der Alternativen zur Vermeidungskostenrechnung**

Die Vorteile der Vermeidungskostenrechnung sind klar abgrenzbar: Sie benötigt (1) keine Monetarisierung und kommt (3) stets zu einer belastbaren Rangfolge an Maßnahmen, die als Handlungsempfehlung für die Privatwirtschaft dient und bisher auch als Förderempfehlung für den Staat genutzt wird. Allerdings beachtet die Vermeidungskostenrechnung (2) die Kosten pro Einheit als einzige Vergleichsgröße und lässt damit den Gedanken der Effektivität, der handlungsleitend für staatliche Technologieförderung ist, völlig außer Acht. Auch wenn deshalb die Tabelle bei allen drei Vorgehensweisen stets zwei Plus und nur ein Minus verzeichnet, ist es doch das Minus der mangelnden Beachtung der Effektivität (2), die die Vermeidungskostenrechnung diskreditiert.



Bei den beiden anderen Punkten (1) und (3) ergibt sich eine Überkreuz-Konstellation, sodass der eine weitere Abwägung getroffen werden muss: Ansatz 1 benötigt ebenfalls keine Monetarisierung, bildet aber durch die strenge, binäre Betrachtung der Effektivität unter Umständen keine aussagekräftige Rangfolge für Einzelmaßnahmen mehr. Ansatz 2 bildet eine aussagekräftige Rangfolge, auch für Einzelmaßnahmen, allerdings unter den Annahmen, die mit der Monetarisierung festgelegt wurden.

Da die Bildung einer Rangfolge – und damit einer Vergleichsmöglichkeit – für einzelne Maßnahmen für staatliche Förderentscheidungen wie für private Investitionsentscheidungen zentral ist, ist ein gewisses Plus bei Ansatz 2 zu sehen. Mit dem Hinweis darauf, dass die Unsicherheit bezüglich der Monetarisierung über Sensitivitätsrechnungen reduziert werden kann, lässt sich die Abwägung vollends zu Gunsten des Ansatzes 2 entscheiden.

#### 4.2 RECHENBEISPIEL: LÖSUNGSANSATZ 2 UND VERMEIDUNGSKOSTENRECHNUNG

Abschließend wird ein Rechenbeispiel unter Verwendung des Lösungsansatz 2 („Effizienz plus“-Formel) und der Vermeidungskostenrechnung (reine Effizienz) präsentiert. Als Datensatz wird wiederum auf die „Kosten und Potentiale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland – Sektorperspektive Transport“ (MCKINSEY 2007) zurückgegriffen, die bereits in Kapitel 2.3 zur Verdeutlichung des Unterschieds von Effizienz und Effektivität herangezogen wurden. Die Daten zur Effizienz bleiben hier völlig identisch – außer dass die Zeilendarstellung in eine Spaltendarstellung transponiert wird (Spalte A). Neu kommt nun ein Datenbereich mit errechneter „Effizienz plus“ dazu (Spalten E-M).

Da nun für die „Effizienz plus“-Formel monetarisiert werden muss, wird der Schädigungswert pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äq zunächst mit 100 € angenommen<sup>20</sup> (Spalten E-G). Als Sensitivitätsrechnung wird ergänzend auch ein Schädigungswert von 10.000 € / t (Spalten H-J) und von 1 € / t (Spalten K-M) angenommen. Die zu vermeidende Gesamtmenge an CO<sub>2</sub>-Äq im Verkehrssektor wird mit 98 Mt angenommen<sup>21</sup> (Spalte C).

Schließlich zeigt die nun folgende Tabelle nicht nur die Absolutwerte für beide Bewertungsinstrumente, sondern auch die Rangplätze, die sich daraus ergeben (Spalte N für die Effizienz; Spalten O-Q für die Effizienz plus mit den drei Monetarisierungsfaktoren 1 €, 100 € und 10.000 €). Die Berechnung folgt exakt den Formeln, wie sie in diesem Beitrag vorgestellt wurden (vgl. Kap. 2.2 und 3.2) und ist in der Zeile „Berechnung“ auch nochmals in Kurzform angegeben.

---

<sup>20</sup> So auch BAHRS und ZIMMERMANN 2013.

<sup>21</sup> Basiswert für 2030, entnommen aus BMUB 2016, S. 4. MCKINSEY (2007, S. 60) bezieht sich ebenfalls auf 2030.

Spaltenname	Input (darin: Effizienz)				Absolutwerte								Errechnung Effizienz plus				Rangplätze			
	A	B	C	D	Monetarisierungsfaktor: 100 €		Monetarisierungsfaktor: 10.000 €		Monetarisierungsfaktor: 10.000 €		Monetarisierungsfaktor: 1 €		N	O	P	Q				
	Vermeidungskosten (Effizienz)	Vermeidungspotential	zu vermeidende Gesamtschädigung	Implementationskosten	Vermeidene Menge (100 € / t CO <sub>2</sub> )	Restschädigung (100 € / t CO <sub>2</sub> )	Effizienz plus (mit 100 € / t CO <sub>2</sub> )	Vermeidene Menge (10.000 € / t CO <sub>2</sub> )	Restschädigung (10.000 € / t CO <sub>2</sub> )	Effizienz plus (mit 10.000 € / t CO <sub>2</sub> )	Vermeidene Menge (1 € / t CO <sub>2</sub> )	Restschädigung (1 € / t CO <sub>2</sub> )	Effizienz plus (mit 1 € / t CO <sub>2</sub> )	Rangplatz nach Effizienz (+ niedrigste Vermeidungskosten)	Rangplatz der Effizienz plus mit 100 € / t (+ höchste Effizienz plus)	Rangplatz der Effizienz plus mit 10.000 € / t (+ höchste Effizienz plus)	Rangplatz der Effizienz plus mit 1 € / t (+ höchste Effizienz plus)			
[€ / t CO <sub>2</sub> ]	[t CO <sub>2</sub> ]	[Mt CO <sub>2</sub> ]	[Mio. €]	[Mio. €]	[Mio. €]	[€ / t]	[Mio. €]	[€ / t]	[Mio. €]	[€ / t]	[Mio. €]	[€ / t]	#	#	#	#				
Berechnung	Input	Input	fa	A/B	B*100	(C*1.000.000-8)*100	E/(D+1)	B*10.000	(C*1.000.000-8)*10.000	H/(D+1)	B*1	(C*1.000.000-8)*1	K/(D+1)	na A	na G	na J	na M			
McKinsey 25	40	300.000	98	12	30	9.770	0,0031	3.000	977.000	0,0031	0,3	97,7	0,0027	2	21	21	7			
McKinsey 26	40	400.000	98	16	40	9.760	0,0041	4.000	976.000	0,0041	0,4	97,6	0,0035	2	17	17	5			
McKinsey 28	90	900.000	98	27	90	9.710	0,0092	9.000	971.000	0,0093	0,9	97,1	0,0073	4	8	8	3			
McKinsey 29	90	700.000	98	63	70	9.730	0,0071	7.000	973.000	0,0072	0,7	97,3	0,0044	4	12	12	3			
McKinsey 30	100	100.000	98	10	10	9.790	0,0010	2.000	979.000	0,0010	0,1	97,9	0,0009	5	28	28	14			
McKinsey 31	140	1.000.000	98	140	100	9.700	0,0102	10.000	970.000	0,0103	1,0	97,0	0,0042	6	6	6	4			
McKinsey 32	170	5.800.000	98	986	580	9.220	0,0568	58.000	922.000	0,0628	5,8	92,2	0,0054	7	1	1	2			
McKinsey 34	200	600.000	98	120	60	9.740	0,0061	6.000	974.000	0,0062	0,6	97,4	0,0028	8	14	15	6			
McKinsey 35	320	400.000	98	128	40	9.760	0,0040	4.000	976.000	0,0041	0,4	97,6	0,0018	9	18	18	9			
McKinsey 36	330	300.000	98	99	30	9.770	0,0030	3.000	977.000	0,0031	0,3	97,7	0,0015	10	22	22	10			
McKinsey 37	360	1.600.000	98	576	160	9.640	0,0137	16.000	964.000	0,0166	1,6	96,4	0,0024	11	4	4	8			
McKinsey 39	750	400.000	98	300	40	9.760	0,0040	4.000	976.000	0,0041	0,4	97,6	0,0019	12	19	19	12			
McKinsey 40	770	1.400.000	98	1.078	140	9.660	0,0130	14.000	966.000	0,0145	1,4	96,6	0,0012	13	5	5	11			
McKinsey 41	920	1.000.000	98	920	100	9.700	0,0094	10.000	970.000	0,0103	1,0	97,0	0,0010	14	7	7	13			
McKinsey 43	1030	700.000	98	721	70	9.730	0,0067	7.000	973.000	0,0072	0,7	97,3	0,0009	15	13	13	15			
McKinsey 44	1030	400.000	98	412	40	9.760	0,0039	4.000	976.000	0,0041	0,4	97,6	0,0008	15	20	20	16			
McKinsey 45	1340	900.000	98	1.206	90	9.710	0,0082	9.000	971.000	0,0093	0,9	97,1	0,0007	17	9	9	17			
McKinsey 46	1380	200.000	98	276	20	9.780	0,0020	2.000	978.000	0,0020	0,2	97,8	0,0005	18	24	24	18			
McKinsey 47	1480	200.000	98	296	20	9.780	0,0020	2.000	978.000	0,0020	0,2	97,8	0,0005	19	25	25	21			
McKinsey 48	1680	200.000	98	336	20	9.780	0,0020	2.000	978.000	0,0020	0,2	97,8	0,0005	20	26	26	23			
McKinsey 49	1700	500.000	98	850	50	9.750	0,0047	5.000	975.000	0,0051	0,5	97,5	0,0005	21	16	16	19			
McKinsey 50	1800	200.000	98	360	20	9.780	0,0020	2.000	978.000	0,0020	0,2	97,8	0,0004	22	27	27	24			
McKinsey 51	1840	900.000	98	1.656	90	9.710	0,0079	9.000	971.000	0,0093	0,9	97,1	0,0005	23	10	10	20			
McKinsey 52	1970	900.000	98	1.773	90	9.710	0,0078	9.000	971.000	0,0093	0,9	97,1	0,0005	24	11	11	22			
McKinsey 53	2000	300.000	98	600	30	9.770	0,0029	3.000	977.000	0,0031	0,3	97,7	0,0004	25	23	23	26			
McKinsey 54	2000	200.000	98	400	20	9.780	0,0020	2.000	978.000	0,0020	0,2	97,8	0,0004	25	28	28	27			
McKinsey 55	2290	3.800.000	98	8.702	380	9.420	0,0210	38.000	942.000	0,0400	3,8	94,2	0,0004	27	2	2	25			
McKinsey 56	2490	3.400.000	98	8.466	340	9.460	0,0190	34.000	946.000	0,0356	3,4	94,6	0,0004	28	3	3	28			
McKinsey 57	3390	700.000	98	2.373	70	9.730	0,0058	7.000	973.000	0,0072	0,7	97,3	0,0005	29	15	14	29			

Tabelle 3: Rechenbeispiel zu Lösungsansatz 2 („Effizienz plus“-Formel) und der Vermeidungskostenrechnung (reine Effizienz) nach Daten von MCKINSEY 2007

In der Analyse der Tabelle sind vor allem die Rangplätze (Spalten N-Q) interessant, da besonders die Top-Plätze handlungsleitend für Industrie und Staat sind. Dabei zeigt sich Folgendes: Zwischen der Bewertung nach der Vermeidungskostenrechnung (Spalte N) und nach Effizienz plus mit einer Monetarisierung von 100 € / t (Spalte O) zeigen sich erhebliche Unterschiede. Diese bleiben auch bestehen, wenn man die Monetarisierung auf 10.000 € / t erhöht (Spalte P). Senkt man die Monetarisierung dagegen auf 1 € / t (Spalte Q), so nähert sich die Effizienz plus-Bewertung allmählich an die Bewertung der Vermeidungskostenrechnung an. Dieses Phänomen ist nachvollziehbar, da dann, wenn die Restschädigung immer weniger ins monetarisierte Gewicht fällt, die Implementationskosten – und damit die zentrale Größe der Effizienz – stärker die Rangplatzvergabe beeinflussen. Dennoch können die Ergebnisse nach Effizienz plus als einigermaßen robust angesehen werden: Die hier vorgenommene Sensitivitätsrechnung ist ein absoluter Extremfall, der den

Literaturwert von 100 € / t um 900 % unter- bzw. überschreitet – im gewöhnlichen Test von +/- 20 % sind kaum Abweichungen zu beobachten.

In der Zusammenschau bedeutet das, dass das Erfordernis der Monetarisierung für die Effizienz plus-Formel in Grenzen<sup>22</sup> beherrschbar ist und damit eine praktisch anwendbare Alternative zur Vermeidungskostenrechnung entstanden ist. Da sie ansonsten – gerade wegen der Beachtung der Effektivität – der Vermeidungskostenrechnung überlegen ist (vgl. Kap. 4.1), präsentiert sich die Effizienz plus-Formel als neuartiges, aber dennoch handhabbares und zielführendes Instrument zur Bewertung von Technologien im Bereich der CO<sub>2</sub>-Vermeidung, die auf staatliche Förderung hoffen.

### Literaturverzeichnis

- Bahrs, Enno und Beate Zimmermann (2013): Optimierung der regionalen Bioethanolherstellung aus biogenen Reststoffen. Teilprojekt: Wirtschaftlichkeit der Bioethanolerzeugung unter Einbeziehung biogener Reststoffe. Hohenheim: Universität Hohenheim.
- Beckmann, Markus (2004): Controlling in der kommunalen Verwaltung: Anspruch und Realität eines rechnungswesenorientierten Controlling-Konzepts. Hamburg: Diplomica.
- Breitmeier, Helmut und Mischa Hansel (2015): Nicht-staatliche Akteure und die Effektivität und Legitimität des globalen Regierens. In: Zeitschrift für Außen- und Sicherheitspolitik. 8 (S2); S. 507-529.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit BMUB (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimapolitische Ziele und Grundsätze der Bundesregierung. Zusammenfassung. Webdokument: [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_kurz\\_f\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_kurz_f_bf.pdf).
- Bundesregierung (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimapolitische Ziele und Grundsätze der Bundesregierung. Webdokument: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/J-L/klimaschutzplan-2050.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/J-L/klimaschutzplan-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=5).
- Drucker, Peter F. (1963): Managing for Business Effectiveness. In: Harvard Business Review. 63; S. 53-60.

---

<sup>22</sup>In weiten Grenzen, die hier bewusst ausgetestet wurden.

- Dyckhoff, Harald und Heinz Ahn (2001): Sicherstellung der Effektivität und Effizienz der Führung als Kernfunktion des Controlling. In: Controlling und Management. 45(2); S. 111-121.
- Forschungsstelle für Energiewirtschaft FfE (2009): CO<sub>2</sub>-Verminderung in Deutschland. Teil I: Methodik und Zusammenfassung. Endbericht. Webdokument: [https://www.ffe.de/download/langberichte/FfE\\_CO2-Endbericht\\_komplett.pdf](https://www.ffe.de/download/langberichte/FfE_CO2-Endbericht_komplett.pdf).
- Forum für Zukunftsenergien (2016): Wie kann es gelingen, die Non-ETS-Sektoren stärker in das europäische Klimaschutzregime zu integrieren? Pressemitteilung vom 21.06.2016; Webdokument: [http://www.zukunftsenergien.de/fileadmin/user\\_upload/zukunftsenergien/Dokumente/PM-16-10-EEC24.pdf](http://www.zukunftsenergien.de/fileadmin/user_upload/zukunftsenergien/Dokumente/PM-16-10-EEC24.pdf).
- Frohn, Joachim, Ulrich Leuchtmann und Roman Kräussl (1998): Fünf makroökonomische Modelle zur Erfassung der Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen – eine vergleichende Betrachtung; Reihe: Beiträge zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen, Band 7; Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Hediger, Werner (1991): Opportunitätskosten der Umweltverschmutzung. Eine dynamische ökologisch-ökonomische Analyse. Zürich: Rüegger.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Martini, Mario (2008): Der Markt als Instrument hoheitlicher Verteilungslenkung. Tübingen: Mohr Siebeck.
- McKinsey & Company, Inc. (2007): Kosten und Potentiale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. Sektorperspektive Transport; McKinsey & Company, Inc.
- McKinsey & Company, Inc. (2007): Kosten und Potentiale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. Webdokument: [http://bdi.eu/media/presse/publikationen/Publikation\\_Kosten\\_und\\_Potentiale\\_der\\_Vermeidung\\_von\\_Treibhausgasemissionen\\_in\\_Deutschland.pdf](http://bdi.eu/media/presse/publikationen/Publikation_Kosten_und_Potentiale_der_Vermeidung_von_Treibhausgasemissionen_in_Deutschland.pdf).
- Öko-Institut (2016): Renewbility III. Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors. Webdokument: [https://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/Renewbility\\_III\\_Abschlussbroschuere.pdf](https://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/Renewbility_III_Abschlussbroschuere.pdf).

- Pfluger, Ben und Mario Ragwitz (2016): Energetische Biomassenutzung aus Sicht einer gesamtsystemischen Optimierung. Präsentation am 14.11.2016 in Berlin; Berlin: Fraunhofer ISI.
- Schmied, Martin (2016): Treibhausgas-Minderungspotentiale im Mobilitätsbereich: Fünf Thesen. Vortrag bei der DUH zu „Sektorenkopplung und Mobilität“ am 22.09.2016; Berlin: UBA.
- Umweltbundesamt UBA (2010): CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland. Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale. UBA Texte 05/2010. Webdokument:  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3773.pdf>.
- United Nations UN (2015): Paris Agreement. Webdokument:  
[http://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf).
- Young, Oran R. Und Marc A. Levy (1999): The Effectiveness of International Environmental Regimes. In: Young, Oran R. (Hrsg.): The Effectiveness of International Environmental Regimes. Cambridge (USA): Massachusetts Institute of Technology; S. 1-32.