



IW-Policy Paper 8/19

CO₂-Reduktion im Verkehr

Was kann Deutschland von Schweden lernen?
Thomas Puls / Thilo Schaefer

Köln, 19.09.2019

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Zusammenfassung | 2 |
| 1 Einleitung | 3 |
| 2 CO₂ im Verkehr: Schweden und Deutschland im Vergleich | 3 |
| 2.1 Schweden erzielt am aktuellen Rand eine deutlich bessere Performance | 3 |
| 2.2 Sehr unterschiedliche Entwicklung zwischen Pkw und Lkw | 4 |
| 3 Unterschiede in der Entwicklung des Endenergieverbrauchs | 6 |
| 4 Biodieseleinsatz macht den Unterschied | 7 |
| 4.1 Woher kommt der Biodiesel? | 9 |
| 5 Der entscheidende Schritt: Steuervorteile für Biokraftstoffe | 10 |
| 6 Lässt sich das schwedische Modell auf Deutschland übertragen? | 13 |
| 6.1 Die Deutsche Option wäre Power to Liquid | 14 |
| 6.2 Rechtliche Rahmenbedingungen | 16 |
| 6.3 Steuerlich geförderte Einführung von PtL in Deutschland: Ein Gedankenspiel | 17 |
| Literatur | 19 |
| Abbildungsverzeichnis | 20 |

Zusammenfassung

In der aktuellen Klimadebatte wird Schweden oft als Vorbild für Deutschland genannt. Schweden hatte bereits im Jahr 1991 eine CO₂-Steuer eingeführt und hat diese seither kontinuierlich erhöht. Heute hat Schweden nicht nur die weltweit höchsten Steuersätze auf den CO₂-Ausstoß, sondern auch sichtbare Erfolge bei der Reduktion der Emissionen vorzuweisen. Deshalb wird der schwedische Ansatz häufig als potenzielles Vorbild in der aktuellen Debatte um die richtigen Instrumente zur Reduktion der Emissionen in Deutschland genannt. Insbesondere die Emissionen des Straßenverkehrs gehen hierzulande kaum zurück. Bei genauerem Blick auf das schwedische Modell zeigt sich, dass die Einführung der Steuer allein nicht den Rückgang der Emissionen erklären kann. Das liegt auch daran, dass bei Einführung der CO₂-Steuer andere Steuern und Abgaben auf Energieträger deutlich gesenkt wurden. Zudem sind die Emissionen im Verkehrsbereich erst seit dem Jahr 2010 deutlich gesunken, was mit einem Hochlauf des Einsatzes von Biokraftstoffen zusammenfällt. Dazu kam es, als Schweden eine Steuerbefreiung auf eben diese Biokraftstoffe eingeführt hatte. Demnach hat erst das Zusammenspiel aus CO₂-Bepreisung, einer emissionsarmen Alternative in Form von Biokraftstoffen und deren Befreiung von der Besteuerung zu einer merklichen Reduktion der Emissionen geführt.

Ist ein solcher Instrumentenmix auch für die deutsche Klimapolitik im Verkehr ein sinnvoller und erfolgversprechender Ansatz? Zunächst zeigt die schwedische Entwicklung, dass die Einführung einer CO₂-Steuer per se nicht garantiert, dass ein bestimmtes Reduktionsziel erreicht wird. Ein wichtiger Faktor ist die Verfügbarkeit emissionsarmer Alternativen. Bislang gilt in Deutschland in erster Linie Elektromobilität als Lösungsansatz zur Reduktion der verkehrsbedingten Emissionen. Allerdings fehlt es noch an der notwendigen Ladeinfrastruktur und aufgrund begrenzter Reichweiten und hoher Preise an Käufern dieser Fahrzeuge. Schweden hat auf alternative Kraftstoffe in Form von Biokraftstoffen gesetzt. Ein erheblicher Teil der nötigen Rohstoffe kommt jedoch aus Palmölprodukten, die aus Süd-Ost-Asien importiert werden. Angesichts des um ein Vielfaches höheren Bedarfs an alternativen Kraftstoffen in Deutschland ist der dafür notwendige sehr viel höhere Anteil von Biokraftstoffen kaum vorstellbar.

Deutlich größeres Potenzial liegt in synthetischen Kraftstoffen, die durch die Umwandlung von erneuerbar erzeugtem Strom hergestellt werden können. Synthetische Kraftstoffe haben den Vorteil, in bestehenden Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben die Emissionen senken zu können. Allerdings liegen deren Erzeugungspreise aktuell deutlich über denjenigen von Biokraftstoffen, sodass auch bei einer Kombination aus CO₂-Bepreisung und Steuerbefreiung des Beimischungsanteils kein Preisvorteil der emissionsärmeren Kraftstoffe entsteht. Selbst wenn bis 2030 eine deutliche Kostensenkung bei der Herstellung synthetischer Kraftstoffe gelingt, erreichen Kraftstoffe mit Beimischungsanteil nur mit entsprechender steuerlicher Begünstigung in etwa das Niveau der konventionellen Kraftstoffe. Ähnlich wie bei der Elektromobilität ist angesichts der bislang fehlenden Wettbewerbsfähigkeit zunächst eine zusätzliche Förderung vonnöten, beispielsweise für den Aufbau der nötigen Erzeugungsinfrastruktur, in Form einer verpflichtenden Beimischungsquote oder einer gezielten Förderung zur Senkung der Preisdifferenz.

Aus ökonomischer Sicht wünschenswert ist, dass batterieelektrische Antriebe und alternative Kraftstoffe gleichermaßen die Chance haben, sich als Alternativen zu etablieren.

1 Einleitung

Der deutsche Verkehrssektor ist weit davon entfernt, die ihm vorgegebenen Emissionsziele zu erreichen. Aus diesem Anlass diskutiert die Politik, mit welchen Maßnahmen der CO₂-Ausstoß im Straßenverkehr gesenkt werden kann. Im Rahmen dieser Debatte wird immer wieder Schweden als Erfolgsbeispiel genannt. Dabei wird die These vorgebracht, dass Schweden es durch eine hohe CO₂-Steuer geschafft habe, die Emissionen des Verkehrs zu reduzieren und gleichzeitig ein hohes Wirtschaftswachstum zu erreichen.

Tatsächlich haben die Skandinavier bereits im Jahr 1991 zusätzlich zur bestehenden Energiesteuer eine CO₂-Steuer eingeführt und diese kontinuierlich erhöht. Aktuell beträgt sie etwa 115 Euro pro Tonne und ist damit die höchste CO₂-Steuer der Welt. Im Vergleich zu 1990 sind die Emissionen des schwedischen Verkehrssektors um etwa 11 Prozent gesunken. Diese Zahlen legen zunächst einen Zusammenhang zwischen Steuer und Emissionsrückgang nahe. Angesichts der geringen Preiselastizität der Nachfrage im Verkehr ist jedoch zu hinterfragen, welche Rolle die CO₂-Steuer tatsächlich im schwedischen Erfolgsmodell spielt.

Damit stellt sich die Frage, welche Faktoren zu dieser Emissionsreduktion geführt haben und ob sie sich auf Deutschland übertragen lassen. Im folgenden Beitrag sollen geprüft werden, inwieweit die schwedischen Emissionssenkungen primär der CO₂-Steuer zugeschrieben werden können und welche Faktoren ebenfalls eine Rolle gespielt haben könnten. Abschließend wird untersucht, ob und wenn ja wie das schwedische Modell auf Deutschland übertragen werden kann.

2 CO₂ im Verkehr: Schweden und Deutschland im Vergleich

Unter den Staaten der EU 15 nimmt Schweden die Spitzenposition bezüglich der Reduktion von CO₂-Emissionen im Verkehrsbereich ein. Das gilt auch für die Emissionen des Straßenverkehrs, die typischerweise über 90 Prozent der Verkehrsemissionen eines Landes ausmachen. Damit eine Regulierung eine messbare Wirkung auf die absoluten Emissionen des Verkehrs haben soll, muss sie vor allem im Straßenverkehr wirken. Somit ist es angebracht, im Folgenden vor allem die Entwicklung im Straßenverkehr in den Fokus zu nehmen.

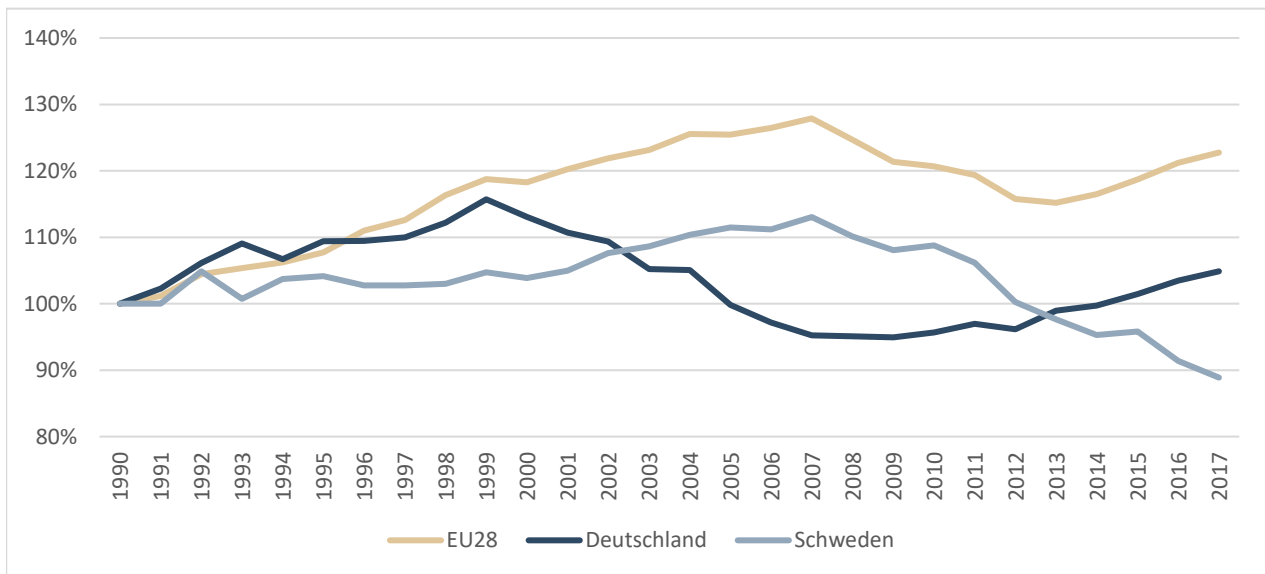
2.1 Schweden erzielt am aktuellen Rand eine deutlich bessere Performance

Im Zeitraum 1990 bis 2017 sanken die Emissionen des schwedischen Straßenverkehrs um etwas mehr als 11 Prozent. Deutschland verzeichnete hingegen einen Anstieg um etwas mehr als 4 Prozent. Diese Zahlen erzählen aber nur einen kleinen Teil der Geschichte, wie ein Blick auf Abbildung 2-1 zeigt. Tatsächlich sind die Emissionsentwicklungen in den beiden Ländern sehr

unterschiedlich verlaufen. Deutschland verzeichnete in den 1990er Jahren einen dynamischen Anstieg der Emissionen, während Schweden nur ein langsames Wachstum aufwies. In Anbetracht von Ereignissen wie die Wiedervereinigung, der Schaffung des EU-Binnenmarktes und der EU-Erweiterung um Österreich überrascht die hohe Dynamik in Deutschland nicht. Die Politik der 1990er Jahre war ganz wesentlich auf eine engere wirtschaftliche Verflechtung mit den Nachbarstaaten ausgerichtet und das führte in Deutschland zu deutlich mehr Verkehr.

Abbildung 2-1: Seit 2010 sinken die schwedischen Emissionen

CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs; 1990 = 100



Quelle: EEA, 2019 (v22)

Allerdings änderte sich die Lage mit der Jahrtausendwende. Die deutschen Emissionen erreichten 1999 ihren Höhepunkt und schrumpften danach deutlich, während die schwedischen Emissionen ihr Wachstum beschleunigten. Im Jahr 2007 erreichte Schweden sein Emissionsmaximum mit einem Plus von 13 Prozent gegenüber 1990. Deutschland verzeichnete im gleichen Jahr eine Reduktion von 5 Prozent gegenüber 1990. Die globale Wirtschaftskrise der Jahre 2008 und 2009 wirkte dann sehr unterschiedlich auf die Emissionen des Straßenverkehrs in den beiden Ländern. In Deutschland kam die Reduktion der Emissionen zum Stillstand und ab 2010 legten sie kontinuierlich wieder zu. In Schweden hingegen kam es bis 2010 zu einem moderaten Emissionsrückgang, der sich dann deutlich beschleunigte und bis zum Ende des Betrachtungszeitraums weiterlief. Festzuhalten ist aber, dass die Emissionsreduktionen in Schweden eine relativ neue Entwicklung sind. Erst im Jahr 2013 erzielte Schweden eine größere Emissionsreduktion als Deutschland. Seither öffnet sich die Schere aber sehr schnell. Dies legt den Schluss nahe, dass die entscheidenden Maßnahmen auch erst in diesem Zeitraum wirksam wurden. Dies spricht gegen einen prägenden Einfluss der bereits 1990 eingeführten CO₂-Steuer, es sei denn, sie wäre etwa um das Jahr 2010 herum deutlich reformiert worden.

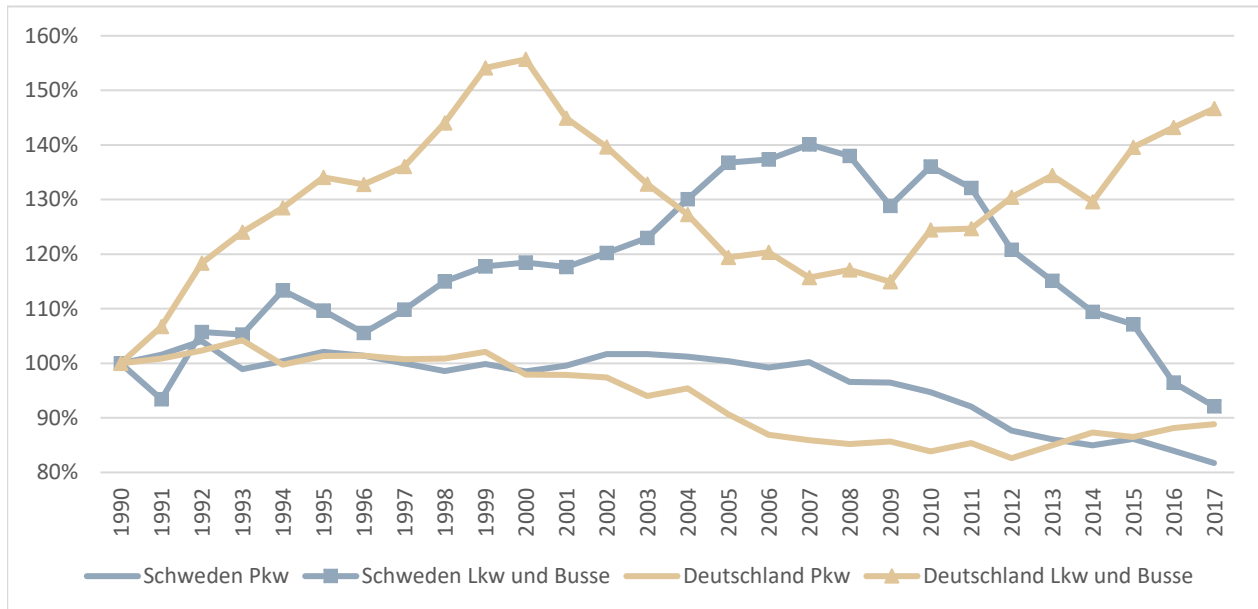
2.2 Sehr unterschiedliche Entwicklung zwischen Pkw und Lkw

Die Emissionskataster (EEA, 2019) erlauben es, die Emissionsentwicklung des Straßenverkehrs zu differenzieren. Um die entscheidenden Faktoren für die unterschiedlichen Entwicklungen in

Deutschland und Schweden besser eingrenzen zu können, bietet es sich an, die Emissionen von Pkw und schweren Nutzfahrzeugen (SNfz) gesondert zu betrachten (s. Abbildung 2-2).

Abbildung 2-2: Große Schwankungen im Güterverkehr

CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs nach Einsatzgebieten – 1990 = 100



Quelle: EEA, 2019 (v22)

Es ist offensichtlich, dass die unterschiedlichen Emissionsentwicklungen in Deutschland und Schweden ganz wesentlich auf den Güterverkehr zurückzuführen sind. Deutschland verzeichnet hier ein Emissionswachstum von fast 47 Prozent gegenüber 1990, während Schweden eine Reduktion um 10 Prozent erreichte. Die Unterschiede im Pkw-Bereich sind dagegen schon fast zu vernachlässigen. Die Daten zeigen auch klar, dass insbesondere die deutsche Emissionsentwicklung der letzten 25 Jahre von den Emissionen der Nutzfahrzeuge geprägt wurde. Aber auch für Schweden lässt sich eindeutig sagen, dass die rasante Emissionsreduktionen seit 2010 stark auf die Nutzfahrzeuge zurückzuführen sind, deren Emissionen um fast ein Drittel sanken, wobei es ab dem Jahr 2010 zu einer drastischen Trendänderung kam, die bis heute anhält.

Wirtschaftliche Schwäche kann diese Entwicklung nicht erklären. Das schwedische Bruttoinlandsprodukt wuchs zwischen 1990 und 2017 um etwa 77 Prozent, das deutsche nur um etwa 44 Prozent und auch nach 2010 verzeichnete Schweden ein höheres Wachstum als Deutschland. Damit bleiben drei Möglichkeiten über, um die Emissionsreduktion im schwedischen Straßengüterverkehr zu erklären. Eine Veränderung des Modal Split, eine Reduktion der Transportintensität der schwedischen Wirtschaft oder eine massive Verringerung der CO₂-Emissionen pro Tonnenkilometer durch klimafreundlicheren Straßengüterverkehr. Verkehrsverlagerung auf die Schiene lässt sich schnell ausschließen, da die Transportleistung der Bahn in Schweden nach 2010 um fast 10 Prozent gefallen ist, während die der Straße um gut 18 Prozent gewachsen ist (EU Kommission, 2019). Damit ist auch eine geringere Transportintensität auszuschließen, da die Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr weiter gestiegen ist. Somit verbleibt der klimaefiziente Straßenverkehr als Erklärung für die Emissionsentwicklung.

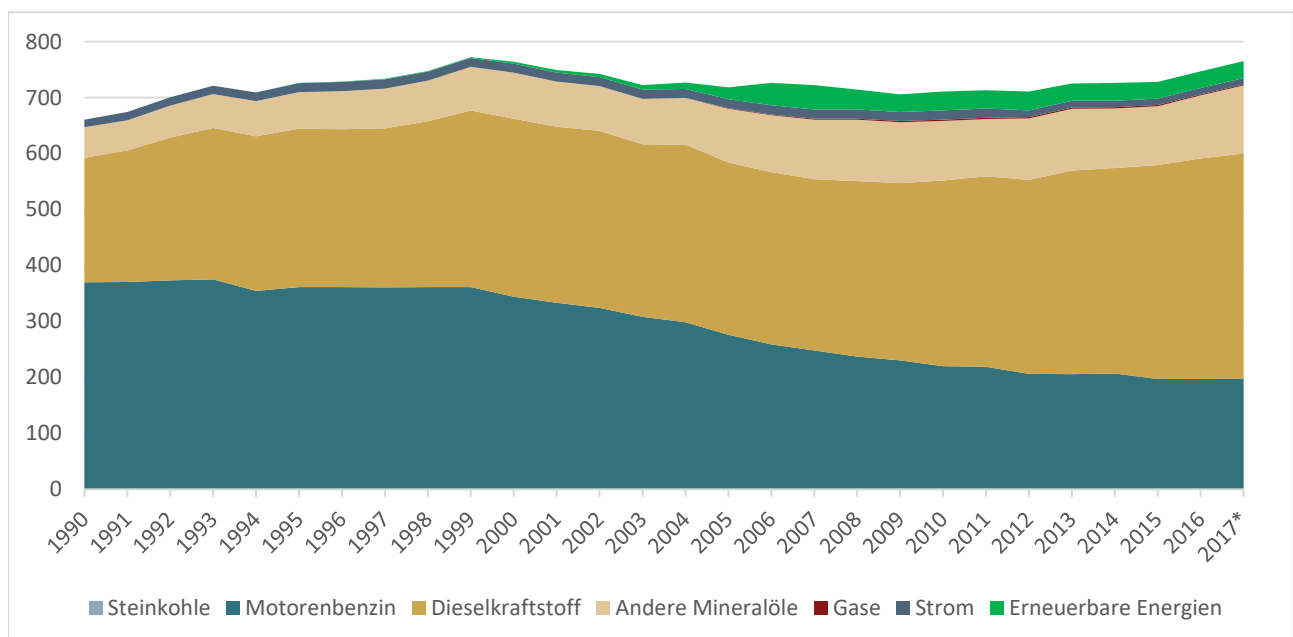
3 Unterschiede in der Entwicklung des Endenergieverbrauchs

Ein klimaeffizienterer Transport kann zwei Ursachen haben. Entweder ist der Energiebedarf zur Abwicklung der steigenden Transportmenge gesunken oder die Zusammensetzung der verwendeten Primärenergieträger hat sich geändert.

In Abbildung 3-1 ist die Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr für Deutschland dargestellt. Sie zeigt einen Anstieg um mehr als 15 Prozent zwischen 1990 und 2017. Nach einem Rückgang ab dem Jahr 2000 steigt er seit dem Jahr 2009 wieder an. Der Anstieg des Endenergieverbrauchs war also deutlich stärker als der Emissionsanstieg (s. Abbildung 2-1). Dies dürfte ganz wesentlich auf den deutlich sichtbaren Wechsel vom Benzin hin zum Diesel zurückzuführen sein. Zudem ist auch der Absatz von Kraftstoffen für die Luftfahrt angestiegen, was unter Andere Mineralöle fällt. Erneuerbare Energien spielen mit einem Anteil von 4 Prozent im Jahr 2017 eine untergeordnete Rolle. In absoluten Zahlen erreichten erneuerbare Energien im Jahr 2017 einen Betrag von 30 TWh, was ein deutlicher Rückgang gegenüber dem Höchststand von 44 TWh im Jahr 2007 ist. Hier zeigt sich insbesondere die Skepsis gegenüber Biokraftstoffen in Deutschland, die sich unter anderem auch bei der E10 Einführung manifestierte.

Abbildung 3-1: Verkehr in Deutschland: Wechsel von Benzin zu Diesel

Endenergieverbrauch nach Energieträgern in TWh

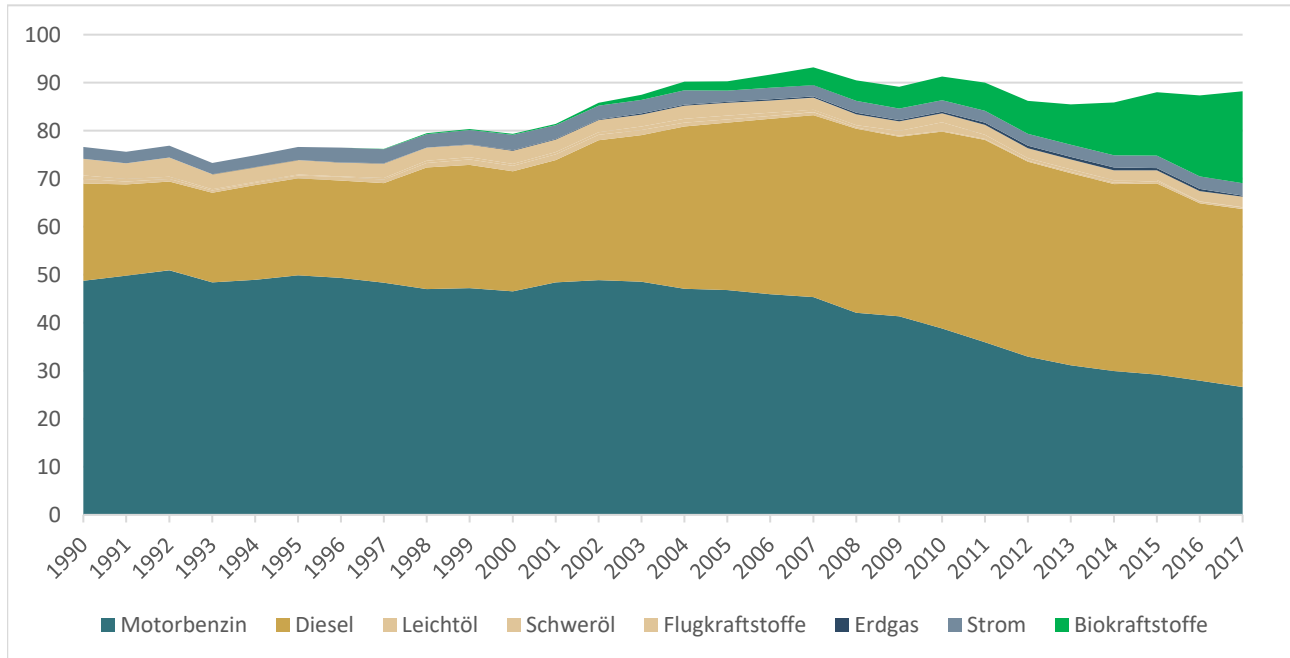


Quelle: AGEB, 2018, Tabelle 6.4

Das Bild für Schweden (s. Abbildung 3-2) sieht deutlich anders aus. Zunächst mal ist ersichtlich, dass der Endenergieverbrauch des Verkehrs in Deutschland fast das 9-fache des schwedischen Pendantes beträgt. Seit 1990 ist der Wert in Schweden um gut 15 Prozent gewachsen, seit 2009 aber minimal gefallen.

Abbildung 3-2: Verkehr in Schweden: Wechsel von Benzin zu Biokraftstoff

Endenergieverbrauch nach Energieträgern in TWh



Quelle: Statens Energimyndigheten, 2019a; Tabelle 5.1

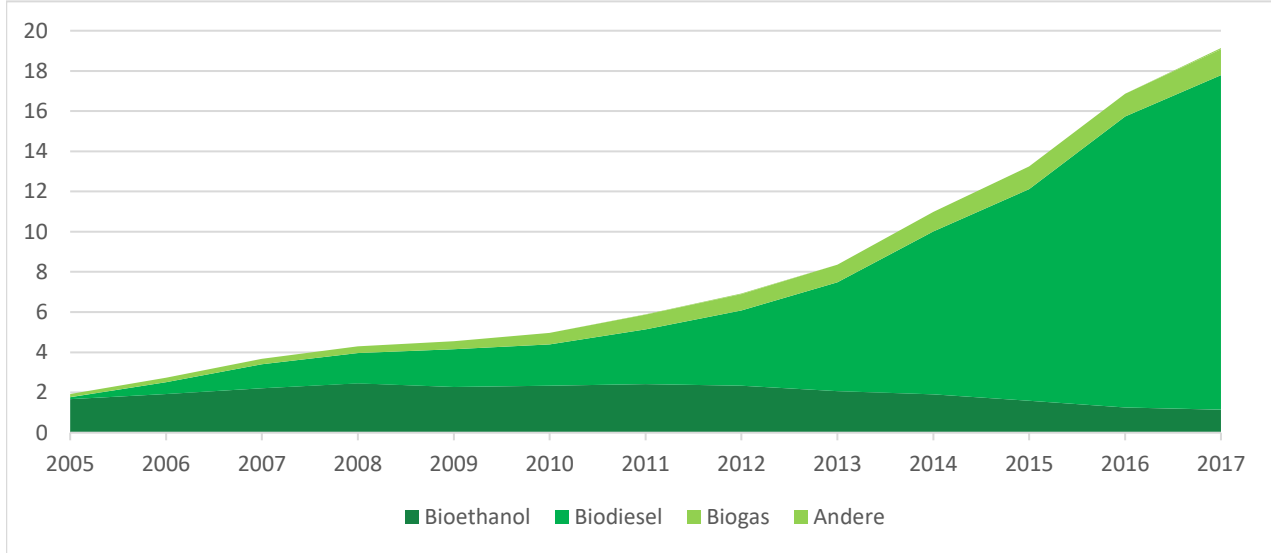
Der Gesamtanstieg des Endenergieverbrauchs ist also dem in Deutschland sehr ähnlich, resultiert aber aus sehr unterschiedlichen zeitlichen Entwicklungen. Die deutliche stärkere Emissionsenkung in Schweden ist somit nur über eine stärkere Dekarbonisierung der Energieträger zu erklären und tatsächlich zeigt die Abbildung deutlich, wo der Schlüssel zu den Emissionsreduktionen im Verkehrssektor Schwedens liegt: Im Einsatz von Biokraftstoffen. In Schweden hatte Biomasse im Jahr 2017 einen Anteil von fast 22 Prozent am Endenergieverbrauch des Verkehrs. Vor allem aber fällt der Emissionsrückgang ab 2010 mit einer drastischen Ausweitung des Einsatzes von Biokraftstoffen zusammen. Im Jahr 2010 wurden im schwedischen Verkehr Biokraftstoffe mit einem Energiegehalt von 5 TWh eingesetzt. Im Jahr 2017 waren es über 19 TWh. Zudem zeigt die Abbildung, dass es in Schweden seit 2010 nicht zu einem vermehrten Deseleinsatz kam. Das und die Tatsache, dass insbesondere die SNfz ihre Emissionen reduzierten, weist deutlich darauf hin, dass die schwedischen Emissionsreduktionen durch den Einsatz von Biodiesel zustande gekommen sein müssen.

4 Biodieseleinsatz macht den Unterschied

Diese These lässt sich leicht durch die Daten der schwedischen Energieagentur bestätigen. Wie in Abbildung 4-1 zu sehen, steigt ausschließlich der Biodieseleinsatz an und dass obwohl Biodiesel noch im Jahr 2005 praktisch nicht im Markt existent war. Der Einsatz von Biodiesel hat sich allein zwischen 2010 und 2017 von 2,1 TWh auf 16,6 TWh gesteigert. Beim Ethanol, welches 2005 noch praktisch der einzige Biokraftstoff im schwedischen Markt war, ist der Einsatz seither um fast ein Drittel gesunken.

Abbildung 4-1: Schlüsselfaktor Biodiesel

Einsatz verschiedener Biokraftstoffe in Schweden, in TWh

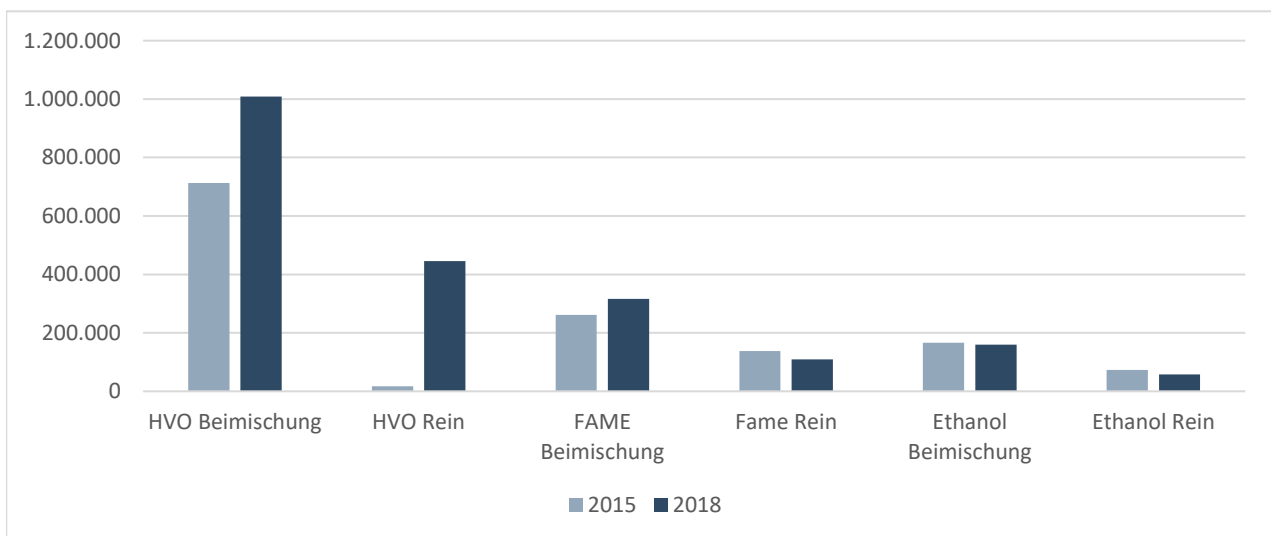


Quelle: Statens Energimyndiget, 2019a, Tabelle 5.2

Die schwedische Statistik ermöglicht weitere Differenzierungen nach Typ des eingesetzten Biokraftstoffes und nach dem Verbrauch von Biokraftstoff als Beimischung oder reinen Kraftstoff. Die entsprechenden Daten sind in Abbildung 4-2 zusammengetragen und auch sie sprechen eine eindeutige Sprache. Zum einen ist ersichtlich, dass Beimischungen der Hauptweg dafür sind, die Biokraftstoffe in den Markt zu bringen. Wohl noch bedeutsamer ist aber, dass der schwedische Biodiesel erhebliche Unterschiede zu den in Deutschland gebräuchlichen Sorten aufweist.

Abbildung 4-2: Trend geht zum HVO-Biodiesel

Einsatz von Biokraftstoffen in m³



HVO: Hydrogated Vegetable Oil; FAME: Fatty Acid Methyl Ester

Quelle: Statens Energimyndigheten, 2019b, 19

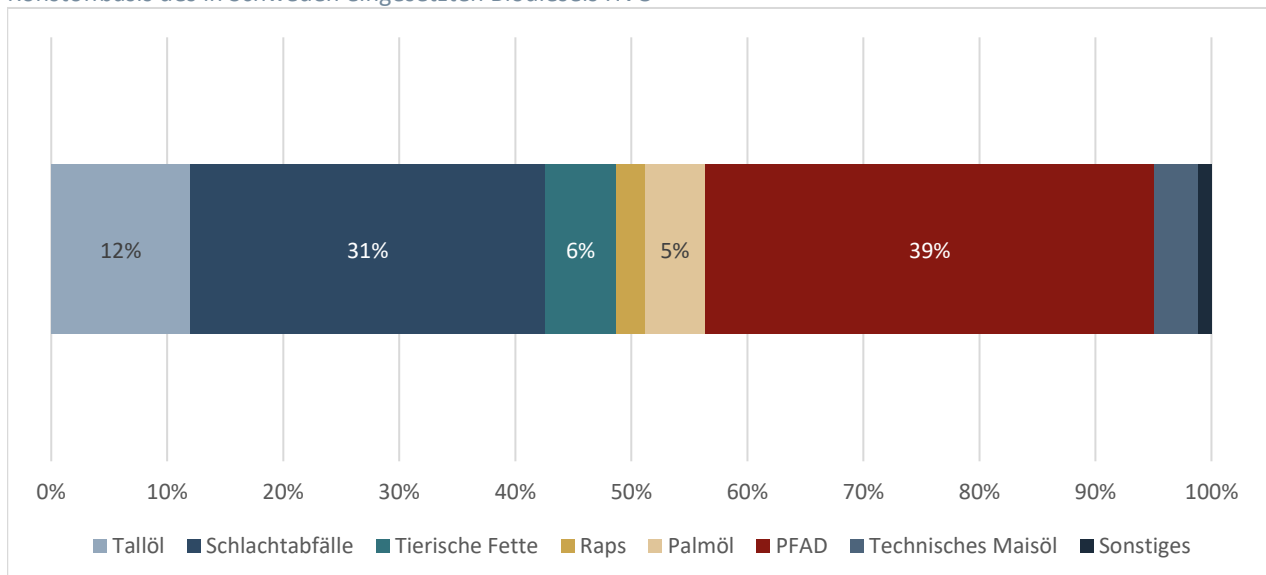
In Deutschland wird Biodiesel in der Regel durch die Umesterung von Pflanzenölen erzeugt (Puls, 2006, 48 ff.). Das Ergebnis ist ein Fettsäuremethylester (FAME). Dieser Stoff ist seit langem im Markt und wird typischerweise mit Biodiesel gleichgesetzt. In Schweden spielt FAME aber nur noch eine Nebenrolle. Die Masse des Biodiesels dort besteht aus HVO (Hydrogenated Vegetable Oil). Die Herstellung dieses Kraftstoffes unterscheidet sich erheblich von FAME. Unter Zugabe von Wasserstoff werden organische Moleküle in Kohlenwasserstoffketten zerlegt, welche heute im fossilen Dieselkraftstoff enthalten sind.¹ Zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass die Bezeichnung Pflanzenöl hier etwas veraltet ist. Für die HVO-Produktion lassen sich auch tierische Fette oder Schlachtabfälle nutzen. Die Rohstoffbasis ist also breiter, als beim klassischen FAME.

4.1 Woher kommt der Biodiesel?

In Deutschland haben Biokraftstoffe einen relativ schlechten Ruf. Hauptgrund hierfür ist die „Tank oder Teller“ Frage. Biokraftstoffe werden hierzulande für Nahrungsmittelmangel in einigen Ländern mitverantwortlich gemacht. Mindestens genauso viele Vorbehalte resultieren daraus, dass eine Verbindung zwischen dem Biodieseleinsatz in Europa und der Rodung des Regenwaldes zugunsten von Palmölplantagen gezogen wird. Insbesondere der Rohstoffimport aus Indonesien und Malaysia wird heftig kritisiert. Die Art der Rohstoffe und ihre Herkunft wären für einen Einsatz in Deutschland sehr wichtig, weshalb der Frage nachzugehen ist, wo der schwedische HVO-Biodiesel herkommt.

Abbildung 4-3: Palmölprodukte und Schlachtabfälle bilden die Rohstoffbasis

Rohstoffbasis des in Schweden eingesetzten Biodiesels HVO



Quelle: Statens Energimyndigheten 2019a, Tabelle 8.5

Die in Schweden zur HVO Produktion verwendeten Rohstoffe sind in Abbildung 4-3 aufgeschlüsselt. Dabei lassen sich zwei dominante Quellen identifizieren. Die wichtigste Rohstoffquelle waren im Jahr 2017 Palmölprodukte. Zertifiziertes Palmöl machte zwar nur 5 Prozent der Rohstoffbasis für die HVO-Produktion aus, aber weitere 39 Prozent entfallen auf Palmölfettsäure-Destillat (PFAD). PFAD ist ein ranziges Fett, welches als Nebenprodukt bei der Palmölproduktion

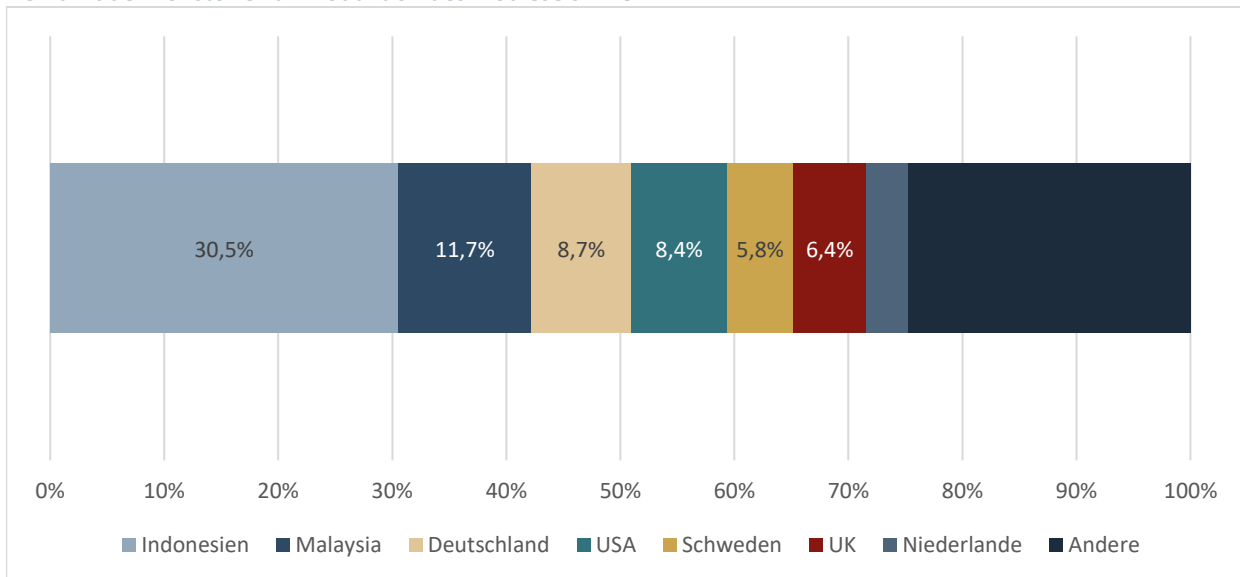
¹ Für weitergehende Informationen über Herstellung und stoffliche Eigenschaften siehe Neste Corporation, 2016.

anfällt und entfernt werden muss, wenn das Palmöl als Lebensmittel verwendet werden soll. Es wird in der schwedischen Statistik als Abfallstoff klassifiziert und gilt damit als nachhaltiger Rohstoff. Die nach Palmölprodukten wichtigste Rohstoffquelle ist tierischen Ursprungs. Schlachtabfälle und tierische Fette machen mehr als ein Drittel der Rohstoffbasis für HVO aus. Erwähnenswert ist auch noch das Tallöl. Hierbei handelt es sich um ein Produkt, welches bei der Zellstoffproduktion abfällt. In Summe gelten damit über 80 Prozent der in Schweden verwendeten Rohstoffe als Abfall und werden als nachhaltig klassifiziert.

Der hohe Anteil von Palmölprodukten zeigt bereits, dass ein Großteil der Rohstoffe zur HVO Produktion importiert werden muss. In Abbildung 4-4 wird die Rohstoffbasis des Schwedischen HVO-Biodiesels nach Herkunftsländern aufgeschlüsselt. Heimische Rohstoffe spielen eine völlig untergeordnete Rolle, während über 40 Prozent aus Indonesien und Malaysia stammen. Hierbei handelt es sich logischerweise um die verwendeten Palmölprodukte. Auch Deutschland und die USA steuern jeweils fast 9 Prozent der Rohstoffe bei, wobei es mit hoher Wahrscheinlichkeit um Maisöl und Schlachtabfälle gehen dürfte.

Abbildung 4-4: Hohe Importabhängigkeit der schwedischen Biokraftstoffe

Herkunft der Rohstoffe zur Produktion des Biodiesels HVO



Quelle: Statens Energimyndigheten, 2019a, Tabelle 8.6

In Summe ist aber festzuhalten, dass die Rohstoffversorgung der schwedischen HVO-Produktion zu großen Teilen aus genau den Quellen stammt, welche die deutsche Öffentlichkeit als problematisch ansieht. Das und die Tatsache, dass der deutsche Bedarf etwa das 9-fache des schwedischen ausmachen würde, weckt Zweifel an einer Übertragbarkeit dieses Erfolgskonzepts.

5 Der entscheidende Schritt: Steuervorteile für Biokraftstoffe

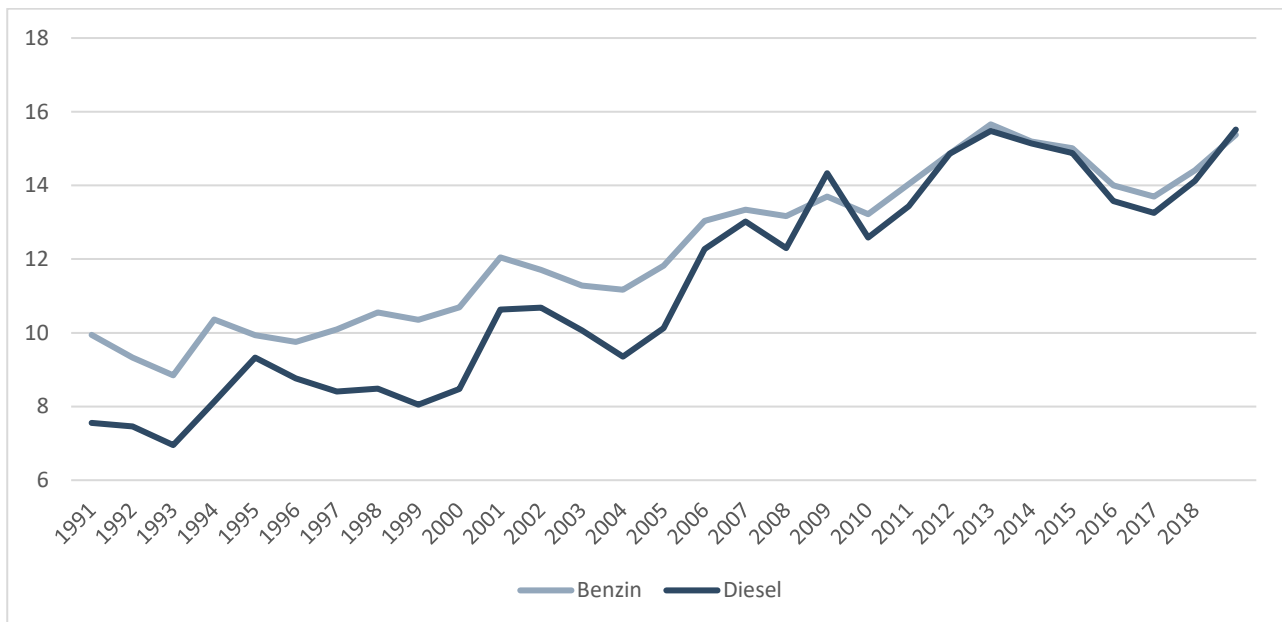
Der entscheidende Faktor zur Senkung der Emissionen war offensichtlich die Einführung von HVO-Biodiesel in den schwedischen Kraftstoffmarkt. Hier besteht eine hohe zeitliche Koinzidenz. Für die bereits 1990 eingeführte CO₂-Steuer kann ein solcher eindeutiger Zusammenhang

nicht abgeleitet werden. Es wäre aber dennoch falsch, sie für wirkungslos zu erklären, denn die CO₂-Steuer dürfte einen erheblichen Einfluss auf die Preise von Diesel und Benzin gehabt haben. Das könnte wiederum die relative Attraktivität des Biodiesels so erhöht haben, dass er so erfolgreich eingeführt werden konnte. Um hier zu einer besseren Einschätzung kommen zu können ist es also notwendig, einen Blick auf die Besteuerung der Kraftstoffe und die daraus resultierenden Kraftstoffpreise in Schweden zu werfen.

Hierbei rücken zunächst die Preise für Kraftstoffe in Schweden in den Fokus. In Abbildung 5-1 ist die reale Preisentwicklung für Diesel und Benzin abgetragen. Die Daten ergeben auch in diesem Fall ein klares Bild, da die Zeiten der sehr starken realen Preissteigerungen nicht mit denen übereinstimmen, in denen die Emissionen des Straßenverkehrs in Schweden sanken.

Abbildung 5-1: Kraftstoff in Schweden: Preise auf dem Niveau von 2012

Reale Preise (2018) inklusive Steuern in Kronen (SEK) pro Liter



Quelle: Statens Energimyndighet, 2019a, Tabelle 5.5

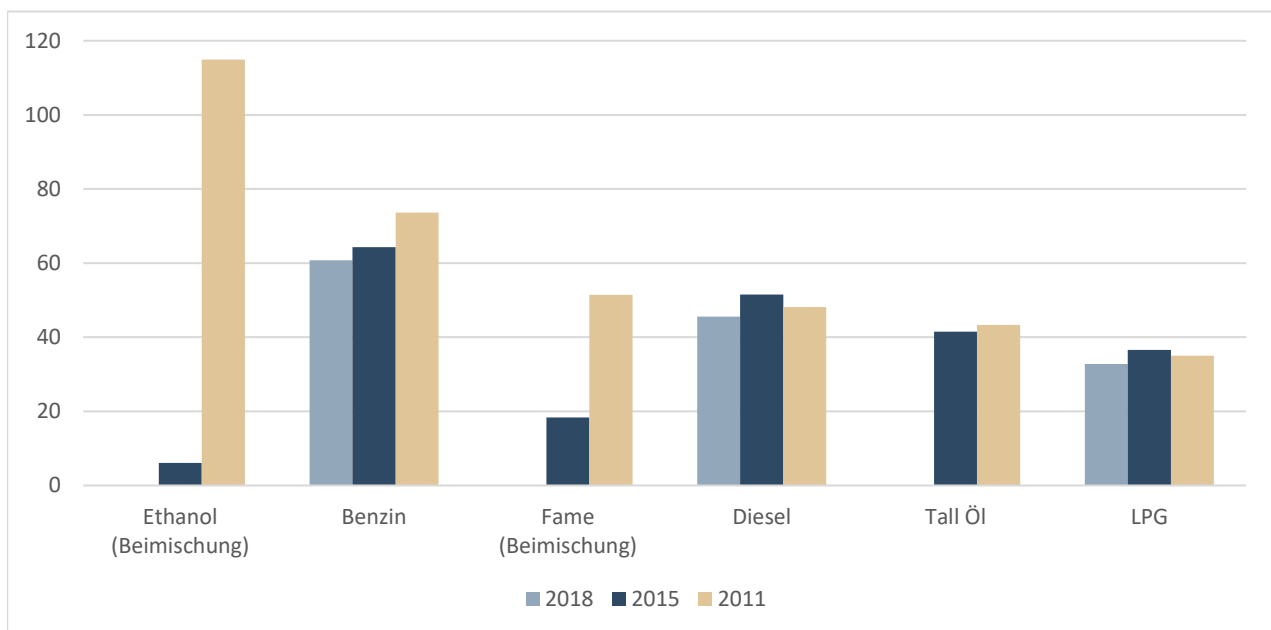
An dieser Stelle sei an Abbildung 2-1 erinnert, die für Schweden einen Emissionsanstieg um mehr als 13 Prozent zwischen 1990 und 2007 zeigte. In diesem Zeitraum stieg der reale Dieselpreis in Schweden um über 70 Prozent. Bei Benzin betrug die reale Preissteigerung im gleichen Zeitraum etwa 34 Prozent. Zwischen 2011 und 2017 sanken die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs in Schweden bei minimal fallendem Endenergieverbrauch (s. Abbildung 3-2) um etwas mehr als 16 Prozent. Der Emissionsrückgang ist also auf die Dekarbonisierung der Energieträger zurückzuführen und nicht auf sinkenden Absatz. Auch die Preissignale spielten keine Rolle, denn der reale Dieselpreis sank im Zeitraum zwischen 2011 und 2017 um etwa 1,5 Prozent und auch Benzin verbilligte sich. Der günstigere Zapfsäulenpreis ist dabei auf den fallen Ölpreis auf dem Weltmarkt zurückzuführen, denn die Steuern auf Kraftstoffe stiegen weiter an. Wie sich die Preisanstiege ab 2018 auswirkten, lässt sich heute noch nicht sagen, da die CO₂-Statistik noch nicht so weit reicht. Vor diesem Hintergrund scheint aber die reale Verteuerung der Kraftstoffe

keinen gravierenden Einfluss auf die Emissionen gehabt zu haben. Dieser Befund passt zu der immer wieder beobachteten geringen Preiselastizität des Verkehrs. Das der Preisanstieg den Emissionsanstieg gedämpft hat, ist wahrscheinlich. Aber der Effekt lässt sich hier nicht isolieren.

Damit bleibt die These, dass die Besteuerung die Preisrelationen zwischen den Kraftstoffen verändert hat. Um dies zu verifizieren ist zunächst festzustellen, welchen Besteuerungen die verschiedenen Kraftstoffe unterlagen. In Abbildung 5-2 sind die Steuern auf fossile Kraftstoffe und Beimischungen abgetragen. Reine Biokraftstoffe waren im gesamten Betrachtungszeitraum von der CO₂-Steuer zu 100 Prozent befreit. Energiesteuer wurde zeitweise je nach Stoff in geringem Maß erhoben. Die Besteuerung von Beimischungen hat sich hingegen stark verändert. Im Jahr 2011 galt auch für Beimischungen eine Steuerbefreiung. Der gewährte Abschlag auf Energie- und CO₂-Steuer wurde aber ab 2015 schrittweise und je nach Biokraftstoff unterschiedlich reduziert. Im Jahr 2018 lief dann die steuerliche Förderung von Beimischungen aus (Skattverket, 2019). Eine Ausnahme hiervon ist die Steuerbefreiung von HVO als Beimischung. Hier betrug der Steuerabschlag bis Mitte 2018 volle 100 Prozent und wurde dann gestrichen. Seither werden alle Beimischungen den Steuersätzen des konventionellen Hauptstoffs unterworfen, die sich 2018 (ohne Mehrwertsteuer) auf 6,7 Kronen pro Liter Benzin und 4,7 Kronen pro Liter Diesel belaufen. Das führt bei Ethanol dazu, dass es gemessen am Energiegehalt sogar höher besteuert wird als Benzin.

Abbildung 5-2: Auslaufen der Steuerbefreiung für Beimischungen

Energie- und CO₂-Steuern auf Kraftstoffe in Schweden; Angaben in Öre pro kWh



Anmerkung: Angaben exklusive der Mehrwertsteuer von 25 Prozent

Quelle: Statens Energimyndigheten 2011; Statens Energimyndigheten 2015; Statens Energimyndigheten 2019a, Tab. 13.2

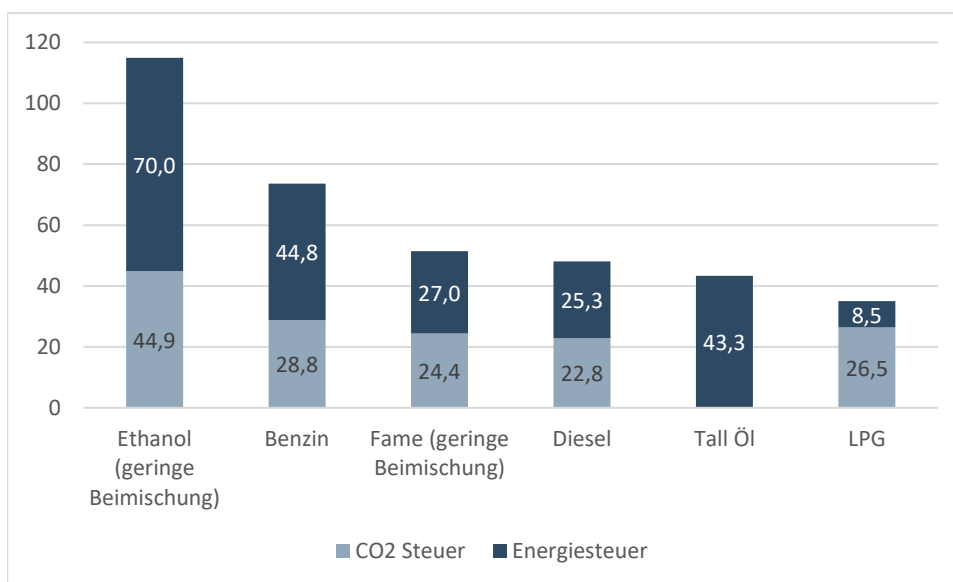
Wie sich das Auslaufen der steuerlichen Förderung der Beimischung auf die CO₂-Emissionen auswirkt, ist noch nicht statistisch erfasst. Es ist aber zu erwarten, dass die Beimischung, soweit sie über EU-Vorgaben herausgeht, wohl weitgehend eingestellt wird. Dadurch dürfte sich dann das weiterhin steuerfreie Angebot von reinen Biokraftstoffen ausweiten.

Festzuhalten ist aber, dass die Markteinführung der Biokraftstoffe erst durch Steuerbefreiungen ermöglicht wurde. Durch den Steuernachlass wurden Biokraftstoffe günstiger als die konventionellen Kraftstoffe, die wiederum durch die CO₂-Steuer verteuert wurden. Über diese steuerlichen Rahmenbedingungen hat also auch die CO₂-Steuer durchaus einen Beitrag zur Emissionsreduktion im schwedischen Straßenverkehr geleistet.

Um für diesen Wirkzusammenhang eine grobe Abschätzung machen zu können, wird in Abbildung 5-3 die Steuerlast auf Kraftstoffe in Schweden in die Komponenten Energie- und CO₂-Steuer zerlegt. Es zeigt sich, dass die Energiesteuer in der Regel den höheren Beitrag zur Gesamtsteuerlast auf die Kraftstoffe leistet.

Abbildung 5-3: Energie- und CO₂-Steuer sind ähnlich gewichtet

Angaben in Öre pro kWh - Ohne Mehrwertsteuer



Quelle: Statens Energimyndigheten, 2019, Tab. 13.2

Die Ausnahmen sind LPG, welches aber keine relevante Rolle in Schweden spielt und reines Talöl. Beim Diesel sind die Unterschiede zwischen Energiesteuer und CO₂-Steuer ziemlich gering, beim Benzin hingegen sehr hoch. Auch hier lässt sich kein Beleg dafür finden, dass die CO₂-Steuer einen zentralen Beitrag zur schwedischen Erfolgsgeschichte geleistet hat. Sie hat den steuerlichen Rahmen mitgeprägt, aber mehr eben auch nicht.

6 Lässt sich das schwedische Modell auf Deutschland übertragen?

Aus den in den voranstehenden Kapiteln gemachten Beobachtungen kann der Schluss gezogen werden, dass es nicht zielführend ist, die Emissionsentwicklung im schwedischen Verkehrssektor pauschal auf die dortige CO₂-Steuer zurückzuführen. Das schwedische Erfolgsmodell besteht

vielmehr aus mehreren Bausteinen, die erst im Zusammenspiel Emissionsreduktionen ermöglichen haben. Diese Komponenten sind:

1. CO₂- und Energiesteuern. Die Einführung und Erhöhung dieser Steuern haben die Preisrelationen zwischen fossilen und biogenen Kraftstoffen verändert. Es erscheint plausibel, dass die reale Verteuerung insbesondere von Diesel auch den Emissionsanstieg zwischen 1990 und 2007 gebremst hat. Mit der Emissionsreduktion ab dem Jahr 2010 stehen sie aber nur mittelbar im Zusammenhang, da die Kraftstoffpreise zu jener Zeit gefallen sind.
2. Bereitstellung einer CO₂-freien Kraftstoffalternative. Der Reduktionseffekt kam erst in dem Moment zustande, indem den Konsumenten eine CO₂-freie Energieform geboten wurde, die in großer Menge verfügbar war und die Mobilitätswünsche nicht einschränkte. Wichtig war auch, dass die Alternative Diesel ersetzte, da auch in Schweden der Güterverkehr der Bereich des Straßenverkehrs ist, wo die Energieverbräuche steigen.
3. Förderung der Alternative durch Steuerbefreiung. Dass sich der Markt für HVO-Biodiesel so rasant entwickelte, ist ganz wesentlich darauf zurückzuführen, dass die Einführung – die auch hohe Investitionen in Produktionsanlagen erforderte – durch Steuerbefreiungen flankiert wurde.

Damit steht nun die Frage im Raum, ob es möglich ist, alle drei Komponenten in Deutschland einzuführen und damit eine ähnliche Emissionsreduktion wie Schweden zu erreichen.

Die Einführung einer CO₂-Steuer ist mit einem entsprechenden Beschluss des Parlaments möglich. Dabei kann eine CO₂-Steuer als zusätzlicher Aufschlag auf fossile Brennstoffe eingeführt werden oder es könnte als erster Schritt ein Teil der Energiesteuer in eine CO₂-Steuer umgewandelt werden, die man dann schrittweise erhöhen würde. Auf diese Weise könnte man einen einheitlichen CO₂-Preis für die Non-ETS-Sektoren einführen, ohne einen plötzlichen Preisschock bei bestimmten Produkten – beispielsweise Heizöl – auszulösen. Dabei ist aber zu beachten, dass die eigentliche Energiesteuer nicht unter die europäische Mindestbeteuerung gesenkt werden darf. Während eine CO₂-Steuer mit entsprechendem politischem Willen umsetzbar ist, ist der Befund für die beiden anderen Bausteine des schwedischen Systems nicht so eindeutig.

6.1 Die Deutsche Option wäre Power to Liquid

Wie in Kapitel 3 dargestellt, hat Deutschland einen fast neunmal so hohen Endenergieverbrauch im Verkehr wie Schweden. Heute werden im deutschen Verkehrssektor etwa 4 Prozent des Endenergieverbrauchs durch Erneuerbare Energien gedeckt. In Schweden haben Biokraftstoffe einen Anteil von 22 Prozent. Wenn Deutschland eine ähnliche Quote erreichen möchte, müsste es den Endenergieverbrauch in Form von Erneuerbaren Energien im Verkehrssektor von heute 30 TWh auf etwa 170 TWh steigern.

In Anbetracht dieses Energiebedarfs erscheint eine Umstellung auf Biokraftstoffe vergleichsweise unrealistisch. Das gilt auch, wenn auf einen fortschrittlicheren Biodiesel wie HVO gesetzt wird. Obwohl die Rohstoffbasis für diesen Kraftstoff recht breit aufgestellt ist, scheint es

unrealistisch, den deutschen Bedarf nach schwedischem Vorbild im Wesentlichen über Palmölprodukte und Schlachtabfälle zu decken. Die Verfügbarkeit der nötigen Rohstoffmengen wäre für die in Deutschland zu erwartende Nachfrage ohne weiteres gar nicht gegeben.

Es kommt erschwerend hinzu, dass Biokraftstoffe in der deutschen Öffentlichkeit einen vergleichsweise schweren Stand haben. Das zeigte sich nachdrücklich bei der Einführung von E10 Benzin im Jahr 2011. Der Marktanteil dieser Kraftstoffsorte liegt unter 13 Prozent und damit weit unter den Erwartungen. Das hatte zum einen damit zu tun, dass viele Autofahrer besorgt waren, ob der neue Kraftstoff vielleicht Motorschäden verursachen könnte. Zum anderen gab es aber auch eine heftige Debatte unter der Überschrift „Tank oder Teller“, die der Akzeptanz von Biokraftstoffen in Deutschland schwer geschadet hat. Verschärft wurde diese Einstellung durch Berichte aus Indonesien und Malaysia, wo der Regenwald zugunsten von Ölpalmenplantagen gerodet wird. Diese Bilder sind tief in das öffentliche Bewusstsein eingedrungen und dürften eine wesentliche Erklärung dafür sein, warum der Einsatz von erneuerbaren Energien im deutschen Verkehr in den letzten zehn Jahren deutlich zurückgegangen ist.

Gegen die Übernahme der Biokraftstoffstrategie sprechen mengenmäßige Verfügbarkeit der nötigen Rohstoffe und die Akzeptanz in der Bevölkerung. Damit bleibt eigentlich nur eine Alternative übrig, wenn Deutschland das schwedische Modell kopieren wollte und das ist die Markteinführung von synthetischen Flüssigkraftstoffen, auch bekannt als PtL (power to Liquid).

Synthetische Kraftstoffe werden im Prinzip aus Strom hergestellt. Die elektrische Energie wird in mehreren Umwandlungsschritten unter Zugabe von CO₂ in einen flüssigen Kraftstoff umgewandelt, der chemisch extrem reinem Diesel (oder Benzin) entspricht. Dabei können erneuerbarer Strom und CO₂ aus der Umgebungsluft verwendet werden. Unter dieser Prämisse ist PtL – anders als Biokraftstoffe – vollkommen CO₂-frei. Die verfügbare Menge wird lediglich durch die vorhandene Strommenge und die Kapazität von Produktionsanlagen vorgegeben. Zudem kann das Endprodukt problemlos im heutigen Fahrzeugbestand eingesetzt werden. Das gilt sowohl für Beimischungen als auch für reines PtL. Es somit praktisch die einzige Methode, mit der die Emissionen des heutigen Fahrzeugbestands reduziert werden können, ohne die Mobilität der Autofahrer spürbar einzuschränken.

Ein wesentlicher Nachteil des PtL-Konzepts besteht darin, dass bei jedem Umwandlungsschritt etwas von der ursprünglich eingesetzten Primärenergie verloren geht. Über die gesamte Kette vom Strom hin zur eigentlichen Bewegung eines Fahrzeugs (Well-to-Wheel) gehen 80 bis 90 Prozent der eingesetzten Energie verloren. Es kommt erschwerend hinzu, dass die nötige Technologie zur Herstellung von PtL zwar vorhanden, aber derzeit nur in Vorführanlagen verfügbar ist. Die Kapazitäten müssten komplett neu aufgebaut werden. Es wären also sehr hohe Anschubinvestitionen nötig und ein Markthochlauf vor dem Jahr 2025 erscheint wenig realistisch. Zudem sind die Produktionskosten stand heute in der Größenordnung von 3,5 bis 4,0 € pro Liter anzusiedeln (vgl. Tab. 6-1). Verschiedene Studien gehen aber davon aus, dass sich die Produktionskosten deutlich senken lassen. Die in Tabelle 6-1 aufgeführten unteren Preisgrenzen lassen sich am ehesten an sonnenreichen Standorten in Südeuropa oder Nordafrika erreichen.

Tabelle 6-1: Prognosen für PtL Erzeugerpreise

Angaben in Euro pro Liter Dieseläquivalent in Preisen von 2015; ohne Steuern und Abgaben

| Studie | 2015 | 2020 | 2030 | 2050 |
|----------------|------|-------------|-------------|-------------|
| Frontier, 2018 | | 1,09 – 1,88 | 0,92 – 1,90 | 0,79 – 1,32 |
| Prognos, 2018 | 4,96 | 2,33 | 1,03 – 1,83 | 0,75 – 1,41 |
| Dena, 2018 | 4,48 | | | 1,26 |

Quelle: Frontier, 2018; Prognos et. al. , 2018; Dena, 2018

Die Erzeugerpreise für PtL werden auf absehbare Zeit deutlich über denen von konventionellen Kraftstoffen liegen. Die Markteinführung müsste dementsprechend von Steuerbefreiungen begleitet werden. Der dritte Baustein des schwedischen Modells wäre also auch für eine Übertragung auf Deutschland von elementarer Bedeutung. Aber auch bei vollständiger Steuerbefreiung ist davon auszugehen, dass die Kosten für PtL noch über denen von konventionellen Kraftstoffen liegen. Hier liegt ein Unterschied zu Schweden, wo Biokraftstoffe dank der Steuerbefreiung für die Konsumenten günstiger waren als fossile Kraftstoffe. Das und die Tatsache, dass Produktionskapazitäten erst nach und nach aufgebaut werden können, spricht dafür, dass eine PtL-Einführung im Rahmen einer Beimischungsquote geschehen müsste. Die Beimischung würde dabei aber mit großer Wahrscheinlichkeit zu höheren Kraftstoffpreisen führen. Wie stark dieser Effekt ausfällt hängt an zahlreichen Faktoren, wie der Beimischungsquote, den Erzeugungspreisen für PtL, dem Ölpreis und der Höhe des Steuernachlasses, der auf PtL gewährt werden müsste. Das spricht dafür, auch über weitergehende Förderungen nachzudenken, damit das Ziel einer Verbreitung des CO₂-freien Kraftstoffs erreicht werden kann.

Unabhängig von den preislichen Nachteilen des PtL ist festzuhalten, dass heutige Studien (Prognos/BCG, 2019) zeigen, dass die deutschen Klimaziele im Verkehrssektor für das Jahr 2030 nur unter Einsatz von CO₂-freien Kraftstoffen erreichbar sind, was die Nutzung von synthetischen Kraftstoffen miteinschließt.

6.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die für die Übernahme des schwedischen Modells notwendige steuerliche Förderung von PtL ist rechtlich nicht unproblematisch. Eine Steuerbefreiung für synthetische Kraftstoffe würde eine Änderung des deutschen Energiesteuergesetzes erfordern, was aber nur innerhalb der Grenzen der EU-Energiesteuerrichtlinie möglich ist. Eine Energiesteuerermäßigung für PtL würde voraussetzen, dass dies als Pflicht oder als Wahlrecht in der Energiesteuerrichtlinie vorgesehen ist. Dies ist jedoch in der geltenden Energiesteuerrichtlinie bisher nicht der Fall. Somit wäre zunächst die Neuregelung einer Steuerermäßigung in der EU-Energiesteuerrichtlinie notwendig und erst danach kann eine Umsetzung im nationalen Energiesteuergesetz erfolgen.

Eine solche Änderung fällt unter das Einstimmigkeitsprinzip in der europäischen Union und dürfte damit kurzfristig kaum möglich sein. Das lehrt die bisherige Erfahrung. Die letzte Debatte zur Anpassung der Richtlinie dauerte vier Jahre und endete ohne Ergebnis. Einen Ausweg könnte eine Ausnahmeregel in Art. 19 der Energiesteuerrichtlinie bieten. Danach kann der europäische

Rat „zusätzlich zu den Bestimmungen der vorstehenden Artikel, insbesondere der Artikel 5, 15 und 17, [...] einstimmig auf Vorschlag der Kommission einen Mitgliedstaat ermächtigen, auf Grund besonderer politischer Erwägungen weitere Befreiungen oder Ermäßigungen einzuführen“. Ein solcher Beschluss erscheint derzeit nicht unmöglich, aber ob die Ausnahmeregel wirklich für eine steuerliche Förderung von PtL herangezogen werden kann, lässt sich an dieser Stelle nicht abschließend klären und müsste unter Heranziehung von Experten geprüft werden.

6.3 Steuerlich geförderte Einführung von PtL in Deutschland: Ein Gedankenspiel

Während die Einführung einer CO₂-Steuer prinzipiell denkbar ist, sind bei den anderen Bausteinen erhebliche Hürden zu überwinden. Die Bereitstellung eines CO₂-freien Kraftstoffes kann in Deutschland aufgrund der hiesigen Marktstruktur am ehesten über synthetische Kraftstoffe erfolgen. Noch sind sie in der Herstellung allerdings deutlich teurer als Biokraftstoffe und bislang existieren keine nennenswerten Produktionskapazitäten. Einen Teil des Preisnachteils könnte man über eine Steuerbefreiung von PtL ausgleichen, wenn es gelingt, dafür eine Genehmigung auf europäischer Ebene zu erwirken. Eine Steuerbefreiung wird aber voraussichtlich nicht ausreichen, um die Kostennachteile von PtL auszugleichen. Daher wären weitere Instrumente, wie eine verpflichtende Beimischungsquote oder zusätzliche Förderungen, zu prüfen. Diese Zusammenhänge lassen sich hier im Rahmen eines Gedankenspiels skizzieren.

In Deutschland wird die Einführung einer CO₂-Steuer auf fossile Kraft- und Brennstoffe diskutiert, die bis zum Jahr 2030 bis zu einem Aufschlag von 180 Euro pro Tonne CO₂ steigen könnte. In ähnlicher Weise denkbar ist ein Emissionshandel in den Bereichen, die nicht dem bestehenden europäischen Emissionshandelssystem EU-ETS, das bereits in den Sektoren Industrie und Energiewirtschaft gilt, unterliegen. Denkbar ist dafür ein Preiskorridor, der allzu große Ausschläge der Preise für Emissionsrechte einhegen soll und in gleicher Höhe ein Maximum festlegen könnte. Ein Preisaufschlag von 180 Euro pro Tonne CO₂ würde die Preisrelationen zwischen konventionellen und emissionsarmen Kraftstoffen deutlich zugunsten letzterer verschieben. Schließlich würde der CO₂-Aufschlag entsprechend geringer ausfallen oder ganz wegfallen. Im Falle einer Beimischung von emissionsfreien synthetischen Kraftstoffen würde also der Beimischungsanteil nicht dem Aufschlag unterliegen, sondern nur der verbleibende konventionelle Kraftstoffanteil. Zusätzlich könnte der Beimischungsanteil – ähnlich wie in Schweden – zumindest befristet komplett von der Energiesteuer befreit werden. Unter Annahme eines Erzeugungspreises von 1,78 Euro pro Liter für PtL und eines bis 2030 moderat auf 81 Dollar pro Barrel gestiegenen Ölpreises würde der Diesel-Tankstellenpreis inklusive CO₂-Aufschlag sowohl für rein konventionelle Kraftstoffe als auch für solche mit zehnprozentigem PtL-Beimischungsanteil bei etwa 2 Euro pro Liter liegen. Durch den höheren Erzeugungspreis bleibt der Kraftstoff mit PtL-Beimischung trotz Steuerbefreiung noch ungefähr 1 Cent pro Liter teurer.

In den Jahren zuvor ist mit einem deutlich höheren Erzeugungspreis für PtL zu rechnen, so dass auch eine Steuerbefreiung und der CO₂-Aufschlag – anders als bei Biokraftstoffen – für rein konventionelle Kraftstoffe die Mehrkosten nicht ausgleichen können. Um PtL zur Beimischung als Kraftstoff am Markt zu etablieren, wäre deshalb eine zusätzliche Förderung notwendig, schon allein zum Aufbau der entsprechend notwendigen Produktionskapazitäten für synthetische Kraftstoffe. Dazu sind verschiedene Optionen denkbar. Zum einen könnten analog zur

Verpflichtung der Beimischung von Biokraftstoffen Quoten zur verpflichtenden PtL-Beimischung festgelegt werden, die mit der Zeit ansteigen. Zum anderen könnte per Umlage auf den Preis der herkömmlichen Kraftstoffe PtL gezielt gefördert werden. Auch denkbar wären Investitionsbeihilfen zum Aufbau der Produktionskapazitäten, um den Markthochlauf und die damit zu erwartende Kostendegression zu beschleunigen.

Die schwedische Entwicklung zeigt, dass wettbewerbsfähige Alternativen vorhanden sein müssen, die eine Einsparung von Treibhausgasemissionen bewirken. Unterschiedliche Nutzungsprofile und Mobilitätsbedarfe sprechen dafür, nicht nur Elektromobilität, sondern auch alternative Kraftstoffe zu fördern, zumal letztere auch den Fahrzeugbestand adressieren können.

Literatur

AGEB – Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, 2018, Auswertungstabellen 1990 – 2017, https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ausw_30jul2018_ov.xls [22.08.2019]

Dena – Deutsche Energieagentur, 2018, E-Fuels – The potential of electricity based fuels for low emission transport in the EU https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9219_E-FUELS-STUDY_The_potential_of_electricity_based_fuels_for_low_emission_transport_in_the_EU.pdf [22.08.2019]

EEA – European Environment Agency, 2019 National emissions reported to the UNFCCC and to the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (v22), <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/national-emissions-reported-to-the-unfccc-and-to-the-eu-greenhouse-gas-monitoring-mechanism-15> [22.08.2019]

EU Kommission, 2019, Statistical Pocketbook 2018, https://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2018_en [04.09.2019]

Frontier Economics / Institut der deutschen Wirtschaft, 2018, Synthetische Energieträger – Perspektiven für die deutsche Wirtschaft und den internationalen Handel, Köln

Neste Corporation, 2016, Neste Renewable Diesel Handbook, https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf [04.09.2019]

Prognos / BCG – Boston Consulting Group, 2019, Analyse Klimapfade Verkehr 2030, https://www.prognos.com/uploads/tx_atwpubdb/20190219_Analyse_BCG_Prognos_Klimapfade_Verkehr_2030.pdf [22.08.2019]

Prognos / Fraunhofer Umsicht / DBFZ, 2018, Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende, Berlin

Puls, Thomas, 2006, Alternative Antriebe und Kraftstoffe, IW-Analysen Nr. 15, Köln.

Skattverket, 2019 Skattbefrielse för biodrivmedel, <https://www.skatteverket.se/foretagochorganisationer/skatter/punktskatter/energiskatter/energiskatterpabranslen/skattebefrielseforbiodrivmedel.4.2b543913a42158acf800021393.html> [22.08.2019]

Statens Energimyndighet, 2011, Energy in Sweden 2011, <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=2609> [22.08.2019]

Statens Energimyndighet, 2015, Energy in Sweden 2015, <https://www.business-sweden.se/globalassets/invest-new/data-center/energy-in-sweden-till-webben.pdf> [22.08.2019]

Statens Energimyndighet, 2019a, Energy in Sweden 2019, <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/statistik/energilaget/energy-in-sweden-2019.xlsx> [22.08.2019]

Statens Energimyndighet, 2019b, Drivmedel 2018, <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/hallbara-branslen/publikationer/drivmedel-2018.pdf?ResourceId=5753> [22.08.2019]

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 2-1: Schwedens Fortschritte sind neueren Datums..... | 4 |
| Abbildung 2-2: Treiber der nationalen Entwicklung ist der Lkw | 5 |
| Abbildung 3-1: Verkehr in Deutschland: Wechsel von Benzin zu Diesel..... | 6 |
| Abbildung 3-2: Verkehr in Schweden: Wechsel von Benzin zu Biokraftstoff..... | 7 |
| Abbildung 4-1: Schlüsselfaktor Biodiesel | 8 |
| Abbildung 4-2: Trend geht zum HVO..... | 8 |
| Abbildung 4-3: Palmölprodukte und Schlachtabfälle bilden die Rohstoffbasis | 9 |
| Abbildung 4-4: Hohe Importabhängigkeit | 10 |
| Abbildung 5-1: Kraftstoff in Schweden: Preise auf dem Niveau von 2012 | 11 |
| Abbildung 5-2: Auslaufen der Steuerbefreiung für Beimischungen | 12 |
| Abbildung 5-3: Energie- und CO2-Steuer sind ähnlich gewichtet | 13 |