

25 Klimawandel: Die optimale CO₂-Steuer

Der Klimawandel ist ein allgegenwärtiges, viel debattiertes und globales Problem. Die Forschungen hinsichtlich des Klimas, seiner Entwicklung und seiner Steuerung werden in allen Lebensbereichen vorangetrieben. Eine aktuelle politische Maßnahme zur Bekämpfung des Klimawandels ist die Einführung einer CO₂-Steuer. Für die Umsetzung einer CO₂-Steuer spielt die Mathematik eine zentrale Rolle.

Leon Hoffe und Benjamin Leonhardt sind Master-Studenten im Studiengang Wirtschaftsmathematik an der Bergischen Universität Wuppertal. Im Rahmen Ihrer Bachelorarbeiten befassten Sie sich mit analytischen und numerischen Verfahren zur Bestimmung der optimalen Bepreisung einer CO₂-Steuer.

Verantwortlich für das Klima auf unserer Erde ist der Treibhauseffekt. Ausgelöst wird der Treibhauseffekt durch die Treibhausgase. Bei ihnen handelt es sich unter anderem um Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O). Seit der industriellen Revolution nimmt die Konzentration der Treibhausgase in der Luft stetig zu. Dementsprechend steigt auch die globale Mitteltemperatur seit der Industrialisierung immer weiter an. Das Ausmaß des Klimawandels ist mittlerweile so groß, dass er in diversen Bereichen der Weltbevölkerung wahrgenommen wird. Erkenntlich wird dies durch politische Übereinkommen wie das Pariser Klimaabkommen, welches 2015 verabschiedet wurde. Zudem wird das Ausmaß in Nachrichten und sozialen Medien oder durch weltweite Fridays-for-Future-Demonstrationen immer präsenter. Die überwiegend jugendlichen Teilnehmer der Demonstrationen setzen sich für schnelle, umfassende und effiziente Klimaschutz-Maßnahmen ein. Nur so kann das Ziel des Pariser-Abkommens, den globalen Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100 unter 2° C zu halten, erfüllt werden. Es hat extreme Konsequenzen, die die Lebensverhältnisse der Menschen und Tiere beeinträchtigen, wenn die Temperatur über diesen Grenzwert hinaus ansteigt. Zum Beispiel treten Hitzewellen, Stürme, Hochwasser und andere Extremwetterereignisse in erhöhter Frequenz und Intensität auf.

Um das 2° C-Ziel zu erreichen, ist bereits in verschiedenen Ländern eine CO₂-Steuer als Klimaschutz-Maßnahme eingeführt worden. Doch wie genau hält eine solche Steuer den Klimawandel auf? Für die CO₂-Steuer ist ein Preis festgelegt, der für jede Tonne CO₂-Emissionen von Unternehmen und Privatpersonen entrichtet werden muss. Die Kosten, die so durch die Steuer entstehen, motivieren die Emittenten von Treibhausgasen dazu die ausgestoßene Menge zu verringern. Beispielsweise macht sich die Steuer durch höhere Preise für Heiz- und Kraftfahrstoffe bemerkbar. Aus diesem Grund steigt der Verbraucher auf umweltschonende Alternativen wie Wärmepumpen, Elektromobilität und die Nutzung von erneuerbaren Energien um. Je höher der Preis, desto mehr Alternativen erweisen sich als lukrativ. Je mehr umweltschonende Alternativen genutzt werden, desto größer ist die Menge, um die die jährlichen CO₂-Emissionen reduziert werden.



Abbildung 29: Unser Beitrag zum Klimawandel: die rauchenden Schornsteine der Industrieanlagen. (Quelle: Pixabay, Pexels)

Aufgrund von Messungen und Datenerhebungen ist bekannt, wie viel CO_2 noch emittiert werden darf, bis der maximale Temperaturanstieg von 2°C erreicht ist. Wenn mehr CO_2 -Emissionen entstehen, muss die Weltbevölkerung mit den angesprochenen Konsequenzen des Klimawandels rechnen. Um diese zu verhindern, wäre es naheliegend den Preis der CO_2 -Steuer exorbitant hoch festzulegen. Das würde den Umstieg auf umweltschonende Alternativen in allen Anwendungsgebieten erzwingen und eine ausreichende Verringerung der CO_2 -Emissionen gewährleisten. Dadurch wäre dem Klima geholfen, aber zu welchen Kosten? Kein Staat, kein Unternehmen und keine Privatperson wird für die Rettung des Planeten in Kauf nehmen, sein finanzielles Wohlergehen aufzugeben. Aus diesem Grund steht in der CO_2 -Steuer-Thematik nicht nur die Erfüllung des Pariser Abkommens im Vordergrund, sondern auch die Vermeidung von unnötigen Kosten. Diese zusätzliche Bedingung stellt die Schwierigkeit bei der Festlegung des optimalen Preises für eine CO_2 -Steuer dar. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass nicht nur ein konstanter Preis für die Steuer gesucht wird, sondern ein „Preispfad“, da der Preis der CO_2 -Steuer von Jahr zu Jahr voneinander abweichen kann.

Daraus ergibt sich folgende Problemstellung: Es wird der Preispfad einer CO_2 -Steuer gesucht, der hoch genug angesetzt ist, um ein Klimaziel, wie das angesprochene 2°C -Ziel des Pariser Abkommens, zu erfüllen. Weiterhin soll der Preispfad so gering wie möglich sein, um unnötige Kosten bei Unternehmen und Endverbrauchern zu vermeiden. Der Preispfad einer CO_2 -Steuer, der dieses Problem löst, wird daher als „optimaler

Preispfad der CO₂-Steuer“ bezeichnet.



Abbildung 30: Jugendliche protestieren auf einer Fridays for Future Demonstration. Sie fordern „Planet über Profit“ (Schildinschrift). Aber wieso sich für eins entscheiden? Mit Hilfe der CO₂-Steuer ist beides möglich. (Quelle: Markus Spiske, Pexels)

Der Zusammenhang zwischen der Mathematik und dem Aufhalten des Klimawandels erscheint nicht offensichtlich. Mit Hilfe mathematischer Methoden ist es aber möglich, den gesuchten Preispfad für eine CO₂-Steuer zu bestimmen. Bei dieser Art von Problemstellung sprechen Mathematiker von einem Optimierungsproblem. Dazu zählen unter anderem Maximierungs- und Minimierungsprobleme, wie sie aus der Schule bekannt sind. In diesem Fall handelt es sich um Letzteres, denn es geht darum, die Kosten, die durch die CO₂-Steuer anfallen, zu minimieren. Die Bedingung, dass außerdem ein Klimaziel erfüllt werden soll, stellt eine zusätzliche Restriktion des Minimierungsproblems dar. Durch den Preis der CO₂-Steuer können die Emissionen so gesteuert werden, dass die Restriktion eingehalten wird. Deswegen handelt es sich bei der Bestimmung des optimalen Preispfades für eine CO₂-Steuer, um genauer zu sein, um ein Problem der *optimalen Steuerung*.

Es existieren mehrere mathematische Verfahren, um die gegebene Problemstellung zu lösen. Diese lassen sich in analytische und numerische Verfahren aufteilen. Die analytische Lösung liefert eine fundamentale Grundidee für die numerische Lösung und beschreibt die theoretische Darstellung eines Preispfades für die CO₂-Steuer. Für die konkrete, realitätsnahe Berechnung eines Preispfades sind große Datenmengen notwendig. Dazu gehören die Emissionsdaten der vergangenen Jahre, um Prognosen für

die Zukunft aufzustellen. Außerdem sind die Daten relevant, die den Einfluss der umweltfreundlichen Technologien auf die jährlichen CO₂-Emissionen darstellen. Aufgrund dieser umfassenden Mengen an Daten werden in der Praxis die Algorithmen der numerischen Verfahren häufig auf dem Computer programmiert. Das hat den Vorteil, dass betrachtete Szenarien flexibel sind und die Daten zu den CO₂-Emissionen und über die umweltfreundlichen Technologien fortlaufend anpassbar sind. Zudem können die Programme jederzeit durch neue relevante Faktoren erweitert werden. Beispielsweise ist es möglich, Lernfaktoren wie das Learning-over-Time einzubauen. Dadurch wird berücksichtigt, dass die Technologien, die die CO₂-Emissionen mindern, aufgrund exogener Faktoren, wie dem allgemeinen technischen Fortschritt, günstiger werden.

Der optimale Preispfad einer CO₂-Steuer kann auf diese Weise für beliebige Szenarien berechnet werden. Dadurch ist es theoretisch möglich, den Klimawandel aufzuhalten. In der Praxis würde das eine Zusammenarbeit aller Länder der Welt voraussetzen, um eine globale CO₂-Steuer einführen zu können. Das ist aber aufgrund geographischer, politischer und gesellschaftlicher Aspekte nicht möglich. Außerdem sind die Datenmengen, die für ein reales und weltweites Szenario erforderlich sind, zu komplex und unvollständig. Aus diesen Gründen kommt die CO₂-Steuer bisher nur in einzelnen Ländern zum Einsatz. Auch auf nationaler Ebene basieren die Berechnungen eines optimalen Preispfades auf Hochrechnungen und vielschichtigen Datenmengen. Trotzdem liefert der optimale Preispfad wichtige Anhaltspunkte und dient politischen Entscheidungsträgern als Orientierungshilfe bei der Festlegung der jährlichen Preise einer CO₂-Steuer.

Der Forschungsbereich rund um den Klimawandel ist zukunftsweisend. Die Erfolge und Erkenntnisse auf diesem Gebiet entscheiden über unser Leben und das der zukünftigen Generationen auf diesem Planeten. Die CO₂-Steuer ist eine erfolgversprechende Maßnahme, um positiven Einfluss auf den Klimawandel zu nehmen. Es bleibt spannend, welche Länder sich ebenfalls dazu entschließen, solch eine Steuer einzuführen. Aufgrund der Aktualität der CO₂-Steuer-Thematik können die Auswirkungen und Resultate dieser Maßnahme in den nächsten Jahren verfolgt werden.