

Forschungsberichtsblatt

Entwicklung einer kombinierten Minderungsstrategie für Treibhausgase und die Massenluftschadstoffe SO₂ und NO_x

BWE 20006

A. Fleury, Dr. W. Fichtner, Prof. Dr. O. Rentz

Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP), Universität Karlsruhe (TH)

1 KURZDARSTELLUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE

Bisherige Emissionsminderungsstrategien für Luftschadstoffe wie SO₂ und NO_x sowie für Treibhausgase (THG) beachten bestehende Interdependenzen zwischen Emissionsminderungsmaßnahmen in der Regel nicht bzw. nur ungenügend. Zielsetzung dieses Forschungsvorhabens ist es daher, Auswirkungen bei der Minderung von Treibhausgasen auf andere Emissionen wie NO_x und SO₂ zu bestimmen, jeweils unter Berücksichtigung der relevanten energie- und umweltpolitischen Rahmenbedingungen. Mit dem PERSEUS-Modell für Baden-Württemberg wurden hierzu mit Hilfe von Szenarioanalysen künftige Entwicklungen analysiert.

Für den Fall, dass keine Emissionsminderungsvorgaben bestehen (Basis-Szenario), konzentriert sich die Nutzung der gesetzlich vereinbarten Reststromerzeugung aus Kernkraftwerken auf die ersten Jahren des Betrachtungszeitraums. Nach Nutzung der vorgegebenen Reststrommenge werden Kernkraftwerke in erster Linie durch Zubau von Steinkohlekraftwerken ersetzt. Infolge der Vergütung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes kommt es des weiteren zur verstärkten Nutzung von Windkapazitäten sowie zur direkten Nutzung von Abfall zur Stromerzeugung in Baden-Württemberg. Die modelltechnische Kopplung des Stromerzeugungssektors des Baden-Württemberg-Modells mit einem europäischen Strommarktmodell zeigt, dass aufgrund von Standortvorteilen Kraftwerkskapazitäten auf Kohlebasis vor allem außerhalb Baden-Württembergs zugebaut werden, was zu einem erhöhten Stromimport nach Baden-Württemberg führen wird. In der Industrie ist eine Steigerung des Strom- und Wärmebedarfs unterstellt, der vorwiegend mit Anlagen auf Basis von Steinkohle gedeckt wird, wodurch die Emissionen auch in diesem Sektoren steigen werden.

Wird demgegenüber eine konstante Obergrenze für CO₂-Emissionen ab dem Jahre 2008 unterstellt (Minderungsszenario), so wird im Energieversorgungssektor anstelle der Steinkohle verstärkt Erdgas in neu errichteten effizienten GuD-Anlagen zur Verstromung eingesetzt. Zudem wird der Einsatz von Kraftwerkskapazitäten auf Basis erneuerbarer Energien weiter ausgebaut. Eine zeitliche Verschiebung der gesetzlich limitierten Restnutzungsstunden für Kernkraftwerke in Perioden, für die Emissionsminderungsziele gelten, bewirkt eine Reduzierung der Emissionsminderungsausgaben in den ersten Jahren der Verpflichtungsperiode. Aufgrund des stärkeren Einsatzes der Kernkraftwerke im Jahre 2010 wird in dieser Periode

weniger Strom nach Baden-Württemberg importiert. Die Stromsparoptionen auf der Nachfrageseite spielen eine untergeordnete Rolle. Auch in der Industrie werden verstärkt Kraftwerksanlagen auf Basis von Erdgas eingesetzt; im Haushaltssektor zeigen die Modellergebnisse die Vorteilhaftigkeit von effizienten Dämmmaßnahmen, die teilweise auch bereits im Basisfall ohne Emissionsminderungsvorgaben umgesetzt werden. Die Modellergebnisse zeigen, dass eine CO₂-Minderung gemäß der Minderungsvorgabe von -21 % bezogen auf 1990 auch eine signifikante Minderung des Schadstoffausstoßes von SO₂ (ca. 40 %) und NO_x (ca. 20 %) mit sich bringt. Die Kosten der letzten geminderten Tonne CO₂ (Grenzkosten) bei einer CO₂-Minderungsvorgabe von 10 % in Bezug auf 1990 werden im Jahr 2010 einen Wert von ca. 37 Euro/t CO₂ und bei einer Minderungsvorgabe von 15 % in Bezug auf 1990 von ca. 48 Euro/t CO₂ erreichen.

Werden CO₂-, NO_x- und SO₂-Obergrenzen gleichzeitig vorgegeben, welche sich an den gegenwärtig angestrebten nationalen Zielen orientieren, so bedarf es in Baden-Württemberg weiterer Maßnahmen im Haushaltssektor und im Verkehrssektor, um die Ziele hinsichtlich der NO_x- und SO₂-Emissionen zu erreichen: Im Haushaltssektor durch baukonstruktive und haustechnische Maßnahmen (effizientere Dämmmaßnahmen) und im Verkehrssektor durch den früheren Ersatz von Fahrzeugen mit niedrigen NO_x-Emissionen sowie die Förderung von schwefelarmen Kraftstoffen. Wird ein CO₂-Zertifikatehandel zugelassen, werden Akteure in Baden-Württemberg in erster Linie Emissionsrechte erwerben, was zwar die Gesamtkosten der Minderungsverpflichtung mindert, die lokalen Emissionen (CO₂ insbesondere aber auch die lokal wirksamen Schadstoffe SO₂ und NO_x) aber erhöht. Im Energieversorgungssektor zeigen sich in diesem Szenario Entwicklungen, die eher mit den Strukturen ohne Vorgabe einer CO₂-Minderungsverpflichtung (Basis-Szenario) zu vergleichen sind, als mit dem Szenario der Erfüllung der Vorgabe ausschließlich innerhalb Baden-Württembergs (Minderungs-Szenario). Gegenüber der Realisierung der CO₂-Minderungsvorgabe ausschließlich in Baden-Württemberg lassen sich durch den Zukauf von Zertifikaten zwar Einsparungen in Höhe von rund 120 Mio. Euro pro Jahr erzielen, allerdings steigen die NO_x-Emissionen / SO₂-Emissionen im Jahre 2010 auch um ca. 5 % / 40 % bzw. im Jahre 2020 sogar um ca. 70 % / 95 %.

Schließlich werden im Rahmen dieser Studie Ansätze zur Bewertung der unterschiedlichen Treibhausgase (Global Warming Potential (GWP), Radiative Forcing (RF)) berücksichtigt. Bei Einsatz der GWP-Methodik zeigt sich, dass die Realisierung von Nicht-Treibhausgas-Minderungsmaßnahmen, insbesondere in der Landwirtschaft, es erlaubt, auf die Umsetzung teurerer CO₂-Minderungsmaßnahmen zu verzichten. Mit diesen Maßnahmen lassen sich im Vergleich zur Minderung der gleichen Menge an CO₂-Äquivalenten bei ausschließlicher Berücksichtigung von Kohlendioxid Einsparungen in Höhe von ca. 50 Mio. Euro pro Jahr erreichen. Des Weiteren zeigen die Modellanalysen, dass bei der Radiative Forcing Methode für die Betrachtungszeiträume nach dem Jahr 2040 keine Realisierung von CH₄-Minderungsoptionen erfolgt, da die am Ende der Untersuchungsperiode (2020) noch in der Atmosphäre vorhandenen Treibhausgase bis 2040 größtenteils durch natürlichen Prozesse abgebaut werden.

2 FORTSCHRITTE FÜR DIE WISSENSCHAFT UND/ODER TECHNIK DURCH DIE FORSCHUNGSERGEBNISSE

Die Forschungsergebnisse zeigen, dass kosteneffektive Maßnahmen in den emissionsrelevanten Sektoren eingesetzt werden können, die gleichzeitig unterschiedliche Emissionen mindern. Eine kombinierte Minderung der CO₂-Emissionen und der Schadstoffe NO_x und SO₂ findet bereits statt, wenn lediglich eine CO₂-Obergrenze vorgegeben wird. Werden neben einer CO₂-Restriktion auch NO_x- und SO₂-Obergrenzen entsprechend den nationalen Zielvorgaben integriert, müssen allerdings weitere Maßnahmen getroffen werden, um die Emissionsminderungsziele auch dieser Schadstoffe zu erreichen. Eine derartige integrierte Betrachtung fehlte bisher, obwohl eine vergleichbare Zielsetzung für die gesamte Bundesrepublik Deutschland bereits 1998 als Empfehlung in der Enquête Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ erhoben und zur Zeit in verschiedenen nationalen wie internationalen Gremien zur Luftreinhaltung aktiv diskutiert wird. Eine kombinierte Betrachtung verschiedener Emissionen erleichtert die Umsetzung von umweltpolitischen Strategien, da die Hidden Benefits einer regionalen Klimapolitik identifiziert und ausgewiesen werden bzw. die Strategien darauf ausgerichtet werden können, gleichzeitig positive Effekte auf verschiedene Umwelteinwirkungen auszuüben. Dies kann zu einer höheren Akzeptanz bei den betroffenen Akteuren führen.

Überraschenderweise zeigen die Ergebnisse, dass Stromsparoptionen auf der Nachfrageseite einen vergleichsweise geringen Anteil an Emissionsminderungsstrategien erbringen. Dies liegt unter anderem darin begründet, dass zur Reduzierung insbesondere der CO₂-Emissionen zuerst energieangebotsseitige Maßnahmen ergriffen werden. Aufgrund der neuen Angebotsstrukturen vermindern sich die spezifischen CO₂-Emissionen pro bereitgestellter Kilowattstunde, was auf die wirtschaftliche Effizienz von Maßnahmen zur CO₂-Minderung auf der Nachfrageseite einen relevanten Einfluss hat, da nun durch Stromeinsparmaßnahmen weniger CO₂-Emissionen vermieden werden können.

Innovativ ist auch der Ansatz bei der Identifikation von Synergieeffekten zwischen verschiedenen Gasen Auswirkungen aufgrund des Einsatzes flexibler umweltpolitischer Instrumente, insbesondere des stark diskutierten CO₂-Zertifikatehandels, zu berücksichtigen. Die Kopplung des entwickelten Modells für Baden-Württemberg an ein internationales Strom- und Zertifikatmarktmodell veranschaulicht, dass Emissionsrechte von Akteuren aus Baden-Württemberg gekauft werden würden, was zwar die Minderungsausgaben mindert, die lokalen Emissionen aber erhöht.

Da die Ergebnisse zu Treibhausgasminderungsstrategien u.a. von der Gewichtung der Treibhausgase abhängen, ist der Einfluss der beiden international diskutierten Bewertungsmethoden GWP und Radiative Forcing auf die Ergebnisse zu ermitteln. Die durchgeführte Analyse der Auswirkungen beider Ansätze auf Emissionsminderungsstrategien stellt eine weitere innovative Komponente des Projektes dar und kann deshalb in der nationalen wie internationalen Klimadiskussion neue Akzente setzen.

3 EMPFEHLUNGEN FÜR DIE PRAXIS

Energieversorgungssektor

Zur Erreichung der CO₂-Minderungsziele in Baden-Württemberg sollte anstelle der Steinkohle verstärkt Erdgas in neu zu errichtenden GuD-Anlagen zur Verstromung eingesetzt werden. Zudem sollte der Einsatz von Kraftwerkskapazitäten auf Basis erneuerbarer Energien weiter ausgebaut werden. Des Weiteren ist es für Energieversorgungsunternehmen sinnvoll, die Nutzung der Kernenergie im Rahmen der vorgegebenen Reststrommenge in die Perioden ab dem Jahr 2010 bzw. 2015 zu verlagern. Infolge der Verlagerung der Nutzung der Kernkraftwerke und dem Einsatz von Erdgas-GuD-Anlagen sowie Windkraftanlagen werden sowohl die SO₂- als auch die NO_x-Emissionen sinken. Neben diesen „traditionellen“ Optionen existieren auch eine Vielzahl innovativer Technologien, wie bspw. stationärer Brennstoffzellen, die zur Stromproduktion und dezentralen Wärmebereitstellung eingesetzt werden könnten und zur kombinierten Minderung von Treibhausgasen und Schadstoffemissionen beitragen würden. Die Modellergebnisse verdeutlichen allerdings, dass die spezifischen Investitionen dieser Technologien noch deutlich zu reduzieren sind bspw. durch weitere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.

Sollte es zu einem CO₂-Zertifikatehandel kommen, so werden (Energieversorgungs-) Unternehmen aus Baden-Württemberg im Wesentlichen als Käufer von Zertifikaten auftreten, da unter anderem aufgrund des Kernenergieausstieges die Kosten zur Realisierung der Minderungsvorgaben in Baden-Württemberg mit seinem hohen Anteil an Strom aus nuklearen Kapazitäten deutlich höher liegen als in anderen (Bundes-)Ländern. Infolge des hohen Anteils der CO₂-Minderungsverpflichtung, der durch Zertifikatekauf erbracht werden sollte, können dann aber in Baden-Württemberg Synergieeffekte zwischen der Minderung von CO₂-Emissionen und der Minderung von Schadstoffen wie NO_x und SO₂ nur in geringem Umfang realisiert werden. Andererseits lassen sich durch den Zukauf von Zertifikaten Einsparungen in Höhe von ca. 120 Mio. Euro pro Jahr erzielen, was dem damit verbundenen Anstieg der NO_x-Emissionen und SO₂-Emissionen gegenüberzustellen ist.

Private Haushalte

Um die CO₂-, NO_x- und SO₂-Minderungsziele in Baden-Württemberg einzuhalten, eröffnet der Haushaltssektor bedeutende Potenziale zur Emissionsreduktion. Neben Anpassungen des Verhaltens der Gebäudenutzer spielen baukonstruktive und haustechnische Maßnahmen eine wichtige Rolle zur Energieverbrauchs- und damit Emissionsminderung. Einerseits sollte verstärkt in Dämmmaßnahmen investiert werden, um den Heizenergieverbrauch weiter zu mindern, andererseits sollten effiziente Heizungsanlagen mit geringen CO₂-Emissionen installiert werden. Die im Haushaltsbereich bereits existierende Energiesparverordnung sowie das Klimaschutzprogramm können dazu beitragen, die skizzierten Entwicklungen zu forcieren.

Trotz steigender Gaspreise sollte verstärkt in Erdgas-Zentralheizungen mit Gebläsebrennern oder Brennwertkessel investiert werden und im Gegenzug die Raumwärmeversorgung auf Basis

von Heizölanlagen verringert werden. Bestehende Fernwärmenetze sollten weiter betrieben werden und Nahwärmenetze auf Basis von Erdgas oder Biomasse an geeigneten Standorten ausgebaut werden. Im Haushalts- und Kleinverbrauchersektor werden durch die Energiesparverordnung, die eine Minderung des Energiebedarfs in Neubauten von durchschnittlich etwa 30 % im Vergleich zum bisherigen Stand vorsieht, und das Klimaschutzprogramm im Gebäudebestand, das zinsgünstige Kredite für Energieeinsparungsmaßnahmen (Dämmung, Besserung der Haustechnik, usw.) vorsieht, bereits erste Anreize hierfür gesetzt.

Industrie

Im Industriebereich sollte verstärkt in mit Erdgas befeuerte Anlagen zur Wärme- und Stromerzeugung investiert werden, um den unterstellten Anstieg des Endenergiebedarfs in der Industrie von ca. 8 % zwischen 2000 und 2020 decken zu können. Die Einführung der Vergütung des produzierten Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) nach dem neuen KWK-Gesetz bietet einen ersten Anreiz, mehr in KWK-Anlagen zu investieren, was zu einer Effizienzsteigerung der Strom- und Wärmeversorgung und einer Senkung der CO₂-Emissionen aber auch der NO_x- und SO₂-Emissionen führen könnte.

Verkehr

Eine autonome Effizienzsteigerung der Fahrzeuge in diesem Sektor ist u.a. durch die Einführung von Euronormen oder Abkommen zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs zu erwarten. Allerdings werden die Fahrleistungen sowohl im Personenverkehr als auch im Gütertransport in den nächsten 20 Jahren weiter steigen. Hinsichtlich Minderungsmaßnahmen im Verkehrssektor stellt der Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen eine vielversprechende Option dar. Des Weiteren sollte die Elektrifizierung der Schienenstrecken vorangetrieben werden. Im Verkehrssektor führt die Einführung immer strengerer Euronormen zu einer bedeutenden Minderung der NO_x-Emissionen unabhängig von der Vorgabe einer CO₂-Obergrenze.

Landwirtschaft

Werden Nicht-CO₂-Treibhausgase, insbesondere CH₄ und N₂O, mitberücksichtigt, kann ein Teil der Minderungsvorgaben durch den Einsatz kosteneffizienter Maßnahmen für diese Treibhausgase realisiert werden, weshalb auf die Umsetzung teurerer CO₂-Minderungsmaßnahmen verzichtet werden kann. CH₄-Minderungsoptionen wie Biogasreaktoren zur energetischen Verwertung der Gülle in der Viehhaltung sowie die genetische Behandlung der gehaltenen Tiere sollten zum Einsatz kommen. Durch den hohen GWP-Faktor von N₂O sind auch Minderungsmaßnahmen für dieses Treibhausgas sinnvoll, insbesondere der Einsatz von Nitrifikationshemmern bei Stickstoffdüngern in der Landwirtschaft.