

Ermittlung der Feinstaubemissionen in Baden-Württemberg und Betrachtung möglicher Minderungsmaßnahmen (BWE 20005)

Thomas Pregger & Rainer Friedrich

*Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart
Heßbrühlstraße 49a, 70565 Stuttgart*

1. Kurzbeschreibung des Forschungsergebnisses

Die Analyse von Emissionsquellen und ihren Emissionsbeiträgen ist für die Entwicklung von Luftreinhaltestrategien eine wesentliche Voraussetzung. Insbesondere bei den primären Feinstaubemissionen bestehen hier noch erhebliche Kenntnislücken. Im Rahmen des Projekts wurden Verbesserungen und Erweiterungen der Ermittlung von Feinstaubemissionen in Baden-Württemberg erreicht und eine detaillierte Emissionsdatenbasis für PM, PM₁₀ und erstmals auch für die Feinstaubfraktion PM_{2,5} erarbeitet. Diese Daten wurden als Grundlage für eine möglichst detaillierte Identifizierung relevanter Quellen und die Betrachtung der Wirksamkeit von möglichen technischen Maßnahmen zur Emissionsminderung am Beispiel Baden-Württembergs genutzt.

Für Baden-Württemberg errechnen sich für das Jahr 1998 ohne die Aufwirbelung von Straßenstaub in der Summe Jahresemissionen für PM von etwa 25,3 Gg, für PM₁₀ von 15,1 Gg und für PM_{2,5} von 11,1 Gg. Besonders bedeutende Prozesse für die Entstehung von Feinstäuben sind der Betrieb von Dieselmotoren im Verkehr, die Verfeuerung von festen Brennstoffen und einige Prozesse in der Primärindustrie, wie das Brechen, Mahlen, Klassieren von Gestein, die Zementherstellung, Raffinerien, Eisen- und Stahlgießereien, Papier- und Pappenherstellung und Lackierereien. Des weiteren ist ausgehend vom derzeitigen Kenntnisstand auch der Staubaufwirbelung im Straßenverkehr ein relevanter Beitrag zur Emissionssituation in Baden-Württemberg zuzuordnen. Die Emissionsabschätzung mit Hilfe einer modifizierten empirischen Gleichung der US EPA liefert hohe PM₁₀-Emissionen, die bei etwa einem Drittel der Emissionen aller anderen anthropogenen Quellen liegen. Die Unsicherheiten dieser ersten Abschätzung sind hoch. Der Straßenstaub führt möglicherweise auch zu bedeutenden PM_{2,5}-Emissionen. Hierzu existieren bislang allerdings nur wenige verwendbare Messdaten.

Auch für ausgewählte Inhaltsstoffe emittierter Partikel (Pb, Cd, Cr, As, PAK, BaP, PCDD/F) wurde der Stand des Wissens zusammengestellt und Abschätzungen der Emissionen in Baden-Württemberg vorgenommen. Hier bestehen ebenfalls große Kenntnislücken und sind weitere Forschungsarbeiten wünschenswert. Offene Fragestellungen sind einerseits größenspezifische Anteile einzelner Inhaltsstoffe oder Stoffklassen und andererseits die Löslichkeit staubgebundener Inhaltsstoffe.

Die Projektion der Emissionen ins Jahr 2010 liefert ein Referenzszenario für die nachfolgende Betrachtung von Minderungspotenzialen. Es ergibt sich eine Reduktion für Gesamtstaub um etwa 15 %, für PM_{10} um 26 % und für $PM_{2,5}$ um 33 % gegenüber 1998, sofern die Staubaufwirbelung des Verkehrs unberücksichtigt bleibt. Wird dieser Prozess mit eingerechnet, ergibt sich eine Reduktion der Emissionen für Gesamtstaub nur um 6 %, für PM_{10} um 16 % und für $PM_{2,5}$ um 28 %. Wesentlich geringere Emissionen im Vergleich zu 1998 ergeben sich bei den Dieselmotoren im Straßenverkehr aufgrund der EURO 3- und EURO 4-Grenzwerte. Reduktionen sind auch bei den Abgasemissionen der Ottomotoren, des sonstigen Verkehrs und der sonstigen Fahrzeuge, bei den genehmigungsbedürftigen Anlagen und den Kleinf Feuerungen zu erwarten. Die stationären Quellgruppen nehmen gegenüber dem Verkehr an Bedeutung zu. Die Dieselmotoremissionen des Straßenverkehrs bleiben aber relevant, wobei der Anteil der PKW gegenüber den schweren Nutzfahrzeugen wesentlich größer wird. Die Bedeutung der sonstigen Fahrzeuge und mobilen Geräte wird gegenüber dem Straßenverkehr deutlich zunehmen.

Die Betrachtung von technischen Minderungsmaßnahmen und ihrer Wirksamkeit ergibt eine Reihe von spezifisch sehr wirksamen Maßnahmen. Hierbei wurden nur Optionen berücksichtigt, die auch in der Lage sind, Nanopartikel bzw. ultrafeine Stäube ($< 0,1 \mu m$ Durchmesser) zu mindern. Minderungspotenziale wurden für ausgewählte wirksame Maßnahmenoptionen und relevante Quellgruppen ausgehend von Emissionsdaten des Referenzszenarios für 2010 quantifiziert.

Für Dieselmotoren werden Partikelfilter und der Ersatz mit Erdgasmotoren als wirksamste Optionen gesehen, die auch schon mittelfristig die Emissionssituation in Baden-Württemberg deutlich verbessern können. Dieselpartikelfilter haben erhebliche Minderungspotenziale, sowohl beim Einsatz in Neufahrzeugen als auch bei der Nachrüstung von Altfahrzeugen. Diese Maßnahme ist sehr wirksam bei Fahrzeugen im Straßenverkehr und auch bei sonstigen Fahrzeugen in der Landwirtschaft, der Industrie und den Baumaschinen. Insbesondere im Straßenverkehr können Erdgasmotoren und Neufahrzeuge mit Dieselpartikelfilter ein ähnliches Minderungspotenzial erreichen. Bei den schweren Nutzfahrzeugen und

den sonstigen Fahrzeugen hat aufgrund der relativ hohen mittleren Fahrzeuglebensdauer für die Emissionssituation im Jahr 2010 die Nachrüstung mit Partikelfilter das weitaus größte Potenzial.

Nicht nur beim Verkehr, sondern auch bei den stationären Quellen lassen sich bedeutende Minderungspotenziale ableiten. Wirksame sekundäre Maßnahmen für stationäre Anlagen stellen vor allem verbesserte Gewebe- und Elektrofilter dar, die auch für die Abscheidung von ultrafeinen Partikeln gut geeignet sind. Für bestehende Filteranlagen sind Nachrüstungen zur verbesserten Partikelabscheidung und die Optimierung des Anlagenbetriebs wirksam. Bei genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen und industriellen Produktionsprozessen ergibt die Annahme einer erreichbaren Feinstaub-Abscheiderate von 99 % ein erhebliches Minderungspotenzial. Allein durch diese zwei Strategien - Dieselpartikelfilter bzw. Erdgasmotoren im Verkehr und Filteranlagen entsprechend dem Stand der Technik bei genehmigungsbedürftigen Anlagen - lässt sich unter Voraussetzung der getroffenen Annahmen eine mögliche Emissionsminderung für das Jahr 2010 von etwa einem Drittel der Gesamtemissionen von PM_{10} und $PM_{2,5}$ darstellen.

Weitere Minderungen können insbesondere für Feuerungsanlagen durch spezifisch sehr wirksame primäre Maßnahmen, wie Technologie- und Brennstoffsubstitutionen oder Energieeinsparungen erreicht werden. Die Umsetzung dieser primären Maßnahmen ist durch ökonomische Faktoren eingeschränkt und kann nur langsam erfolgen. Diese Optionen können aber mögliche wirksame Bestandteile einer langfristigen Minderungsstrategie darstellen. Vielversprechend ist hier vor allem die Substitution des Steinkohleeinsatzes durch gasförmige Brennstoffe bei Großfeuerungen. Aber auch bei Industriefeuerungen und Kleinf Feuerungen können hiermit deutliche Minderungen erreicht werden. Beim Verkehr können langfristig auch alternative Antriebstechnologien eine wesentliche Rolle spielen, sofern ausreichend günstige Rahmenbedingungen bestehen und wettbewerbsfähige Fahrzeuge auf dem Markt sind.

Für weitere, möglicherweise bedeutende Prozesse können noch keine Aussagen zu möglichen Minderungspotenzialen gemacht werden. Dies betrifft insbesondere diffuse Emissionen aus der Industrie (Abluft aus Dachreitern und anderen Hallenöffnungen) und die Aufwirbelung von Straßenstaub im Straßenverkehr. Weitere Erkenntnisse über die Feinstaubemissionen dieser Prozesse sind hierzu erforderlich.

2. Welche Fortschritte ergeben sich in Wissenschaft und/oder Technik durch Ihre Forschungsergebnisse?

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde systematisch der Stand des Wissens zu prozessspezifischen primären Partikelemissionen, ihren Feinstaubanteilen und ausgewählten Inhaltsstoffen erarbeitet, dokumentiert und zur Identifizierung relevanter Quellen genutzt. Hierbei wurden erstmals auch die $PM_{2,5}$ -Emissionen für Baden-Württemberg detailliert dargestellt. Damit liegen nun auch verbesserte Grundlagen für die Erstellung von räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Emissionsdaten als Eingangsdaten für atmosphärische Modellierungen und integrierte Bewertungsmodelle vor. Ausgehend von den ermittelten detaillierten Emissionsdaten für das Basisjahr 1998 wurde mit einem prozessspezifischen Ansatz eine Trendprojektion in das Jahr 2010 vorgenommen. Damit steht erstmals eine Datenbasis einerseits zur Beurteilung der zu erwartenden Emissionssituation zum Zeitpunkt der Gültigkeit der zweiten europäischen Immissions-Grenzwertstufe für PM_{10} und andererseits für ein fundiertes Referenzszenario für die Abschätzung von weitergehenden sektoralen Minderungspotenzialen zur Verfügung.

Ausgehend von diesen Datengrundlagen und einer Untersuchung der spezifischen größenselektiven Wirksamkeit von möglichen technischen Maßnahmenoptionen sind erste Abschätzungen von Minderungspotenzialen bei relevanten Quellgruppen erfolgt. Hierzu wurden Fallannahmen für die Implementierung und Wirksamkeit von Maßnahmen getroffen. Unter Voraussetzung der getroffenen Annahmen können so Empfehlungen für eine zukünftige Minderungsstrategie basierend auf einer umfassenden sektorübergreifenden Analyse gemacht werden.

3. Welche Empfehlung ergibt sich aus dem Forschungsergebnis für die Praxis?

Aus den detaillierten Emissionsdaten lässt sich ableiten, welche Quellgruppen hohe Beiträge liefern und daher bei einer weitergehenden Minderungsstrategie im Mittelpunkt stehen. Auch im Jahr 2010 werden Dieselmotoren im Straßenverkehr und bei sonstigen Fahrzeugen (Landwirtschaft, Industrie und Baumaschinen) trotz der dann bereits erreichten Minderungen eine wesentliche Rolle spielen. Ebenfalls bleiben Feuerungsanlagen (genehmigungsbedürftige und Kleinf Feuerungen) vor allem für feste Brennstoffe und Prozesse in der Primärindustrie wichtige Emittenten, bei denen weitergehende Minderungsbetrachtungen ansetzen sollten.

Die Verknüpfung der Emissionsdaten mit der spezifischen Wirksamkeit von möglichen technischen Maßnahmen ermöglicht Empfehlungen für eine zukünftige

Minderungsstrategie, die hauptsächlich die Luftreinhaltepolitik auf bundes- und europäischer Ebene betreffen. Hierbei sollten nur Optionen berücksichtigt werden, die auch in der Lage sind, Nanopartikel bzw. ultrafeine Stäube zu mindern, da die Wirkungsforschung verstärkt diese Fraktionen mit den gesundheitlichen Effekten in Zusammenhang bringt. Durch diese Anforderung werden vor allem die thermischen Prozesse fokussiert. Für Dieselmotoren sind Partikelfilter oder der Ersatz mit Erdgasmotoren die wirksamsten Optionen, die auch schon mittelfristig die Emissionssituation deutlich verbessern können. Dies gilt sowohl für den Straßenverkehr als auch für die sonstigen Fahrzeuge, insbesondere in der Land- und Bauwirtschaft. Bei den schweren Nutzfahrzeugen und den sonstigen Fahrzeugen ist aufgrund der relativ hohen mittleren Fahrzeuglebensdauer für die Emissionssituation im Jahr 2010 die Nachrüstung weitaus wirksamer als die Ausrüstung von Neufahrzeugen. Mittelfristig sind zur Ausschöpfung dieses Minderungspotenzials Konzepte für eine möglichst effiziente Nachrüstung des Fahrzeugbestandes oder eines Teils davon zu entwickeln. Als langfristige Strategie ist die Ausrüstung aller neuen Dieselmotoren im Verkehr mit einem Partikelfilter anzustreben. Die Kosten sind vertretbar in Anbetracht der hohen Wirksamkeit und werden mit steigendem Produktionsvolumen weiter abnehmen. Zur konsequenten Einführung dieser Technologien sind strengere Partikelgrenzwerte auf europäischer Ebene ab EURO 4 erforderlich. Für die Nachrüstung sind finanzielle Anreize z. B. über Steuernachlässe denkbar. Als Bestandteil einer langfristigen Minderungsstrategie können auch alternative Antriebstechnologien wesentliche Emissionsminderungen bewirken. Sofern ausreichend günstige Rahmenbedingungen geschaffen werden können, werden etwa ab dem Jahr 2020 große Potenziale gesehen.

Nicht nur beim Verkehr, sondern auch bei den stationären Quellen ergeben sich bedeutende Minderungspotenziale, sofern ein Feinstaub-Abscheidegrad von 99 % als Stand der Technik bei Gewebe- oder Elektrofiltern vorausgesetzt wird. Die konsequente Umsetzung des Standes der Technik kann z. B. über entsprechende Grenzwerte bezüglich der Feinstaubemissionen (PM_{10} und $PM_{2,5}$) oder Anforderungen an den Fraktionsabscheidegrad von Filteranlagen im Rahmen der Verordnungen zur Durchführung des BImSchG oder der TA Luft, sowohl für Neuanlagen als auch Altanlagen erreicht werden. Eine optimierte Abreinigung kann über eine Neuinstallation einer hoch wirksamen Filteranlage oder über mehrere Möglichkeiten der Nachrüstung bestehender Filteranlagen realisiert werden. Während eine Neuinstallation von Filtersystemen in der Regel sehr kostenintensiv ist, liegt der Aufwand für eine Nachrüstung oder Betriebsoptimierung bestehender Filteranlagen ggf. deutlich niedriger. Die Potenziale für konkrete Maßnahmen und

Angaben zu den Kosten ergeben sich sehr anlagenspezifisch und konnten im Rahmen des Projekts nicht detaillierter betrachtet werden.

Als Bestandteile einer langfristigen Minderungsstrategie sind weitere wirksame Maßnahmen, wie die Substitution von festen Brennstoffen und schwerem Heizöl durch Gase, der Einsatz von Holzfeuerungen entsprechend dem Stand der Technik bei Kleinf Feuerungen, der Ausbau der Biomassenutzung in Nahwärmeverbundsystemen und Energiesparmaßnahmen denkbar. Diese Maßnahmen sind auch im Zusammenhang mit dem Erreichen des Klimaschutzzieles in Baden-Württemberg zu sehen.

Nach wie vor bestehen bezüglich der insgesamt verwendeten Basisdaten teilweise erhebliche Kenntnislücken, so dass sich vielfach Forschungsbedarf erkennen lässt. Insbesondere die $PM_{2,5}$ -Anteile stellen teilweise Abschätzungen dar, die auf wenigen Messdaten beruhen. Weitere grö ßenselektive Emissionsmessungen in relevanten Bereichen, ggf. auch zur Untersuchung kleinerer Partikelfraktionen, sind wünschenswert. Nicht vollständig dargestellt werden können insbesondere diffuse Emissionen aus Industriebetrieben, wie etwa aus Dachreitern und anderen Hallenöffnungen, die derzeit nur unvollständig in den Emissionserklärungen erfasst werden. Damit verbundene Minderungspotenziale sind somit noch nicht quantifizierbar. Auch die derzeitige Methodik der Quantifizierung der Emissionen durch die Aufwirbelung von Straßenstaub besitzt große Unsicherheiten, so dass hier weitere Messprojekte in Deutschland oder anderen Ländern zur Erweiterung und Verbesserung der Datenbasis erforderlich sind. Auch zu den Inhaltsstoffen emittierter Stäube existiert derzeit nur eine unsichere und unvollständige Datenbasis. Kenntnislücken gibt es bei allen betrachteten Komponenten und insbesondere bezüglich der grö ßenspezifischen und der löslichen Anteile emittierter Inhaltsstoffe.

Die Ergebnisse des Projekts stellen eine gute Datengrundlage für die primären Feinstaubemissionen dar. Diese Daten können zur schadstoff- und sektorübergreifenden Analyse der Emissions- und Immissionssituation in Baden-Württemberg mit in vorangegangenen Arbeiten ermittelten Emissionsdaten für gasförmige Vorläufer von anorganischen und organischen sekundären Aerosolen verknüpft werden. Modelle zur Erstellung von zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Emissionsdaten wurden entwickelt und stehen für die Bereitstellung von entsprechenden Eingangsdaten für Chemische Transport-Modelle zur Verfügung. Damit stehen Grundlagen und Instrumente für umfassende Analysen zur Identifizierung effizienter schadstoffübergreifender Luftreinhaltestrategien bereit.