

Zusatzbelastung kann im Nahbereich relevant sein

Seit 1. Januar 2005 gilt innerhalb der EU-Mitgliedsstaaten ein Immissionsgrenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Feinstaub (PM₁₀) in der Außenluft. Als weitere relevante Feinstaubquelle rücken neben dem Straßenverkehr nun auch die Gebäudeheizanlagen für feste Brennstoffe ins Blickfeld. Heizen mit Holz leistet bei nachhaltiger Forstwirtschaft aber zugleich einen Beitrag zum Klimaschutz.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (BayLfU) hat daher den Auftrag ver-

zum Wärmebedarf ließen sich für verschiedene Gebäudearten sogenannte Emissionszeitreihen bilden, in denen für jeden Kamin im Rechengbiet die emittierte Staubmenge (in g/s) für jede Stunde des Modelljahres hinterlegt ist. Die Berechnung der Feinstaubkonzentrationen in der Umgebungsluft erfolgte mit dem Ausbreitungsrechenprogramm Austal2000 für zwei Modellgebiete in Niederbayern. Für eine der beiden Ortschaften wurden die Gebäude, in denen mit Holz geheizt wird, vor Ort

tikelanzahl korngößenabhängig bestimmt. Nachfolgende Konzentrationsangaben beziehen sich auf trockenes Abgas im Normzustand und einen Volumengehalt an Sauerstoff von 13 %.

Pelletkessel

Die Pelletkessel zeichneten sich durch einen relativ gleichmäßigen Verlauf der Emissionen an Kohlenmonoxid (CO) während des Messzeitraumes aus. Bei den besseren Kesseln lagen die CO-Konzentration zwischen 10 und $100 \text{ mg}/\text{m}^3$ (siehe Abbildung 1), die schlechteren wiesen CO-Konzentrationen zwischen 100 und $1000 \text{ mg}/\text{m}^3$ auf. Die Staubkonzentrationen lagen zwischen 15 und $40 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Scheitholzkessel

Das Abgas von heutigen Scheitholzkesseln mit unterem oder seitlichem Abbrand ist durch erhöhte CO-Konzentration bis über $10.000 \text{ mg}/\text{m}^3$ kurz nach dem Anheizen gekennzeichnet. Nach etwa 10 bis 20 Minuten sinken die CO-Gehalte bei den besseren Scheitholzkesseln dauerhaft auf Werte unter $100 \text{ mg}/\text{m}^3$ ab, bis der Füllschacht nach zwei bis vier Stunden leer gebrannt ist. Bei den schlechteren Kesseln kommt es immer wieder zu CO-Spitzen (siehe Abbildung 2). Diese sind auf Störungen im Verbrennungsablauf nach Verhaken von Holzscheiten im Brennstoffschacht durch Wärmeausdehnung zurückzuführen. Manchmal musste die Verbrennung sogar von Hand wieder in Gang gebracht werden. Die Staubkonzentrationen lagen im störungsfreien Betrieb



Gerhard Schmoeckel

Anschrift des Autors:
Bayerisches Landesamt
für Umwelt,
Bürgermeister-Ulrich-
Straße 160,
86179 Augsburg,
Tel. 0821/9071-5204,
Fax 0821/9071-5556,
E-Mail: gerhard-
.schmoeckel@
lfu.bayern.de

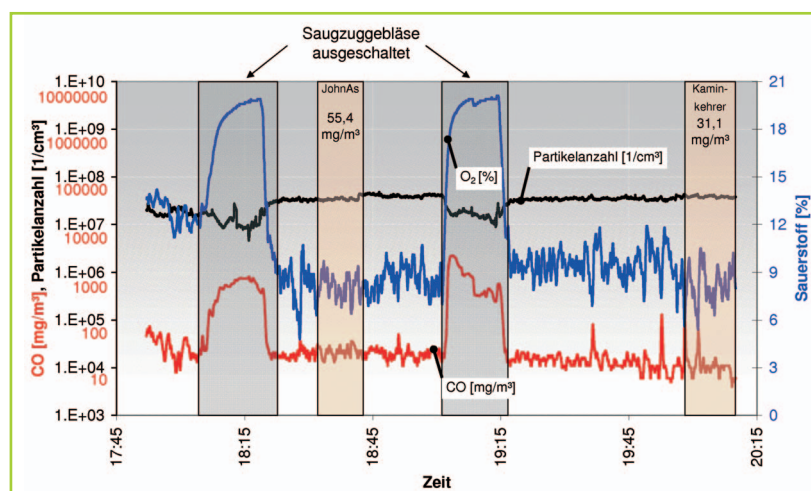


Abbildung 1: Ergebnisse der Staubkonzentrationsmessungen sowie der Verlauf der CO-Emissionen, der Partikelanzahl sowie der Temperatur im Abgas eines „guten“ Pelletkessels. Emissionswerte sind bezogen auf Normbedingungen (aber nicht auf 13 Vol.-% O₂).

ben, die Emissionen von Pellet- und Scheitholzkesseln in der Praxis zu ermitteln und die Auswirkungen auf die Feinstaubbelastung im Umfeld der Anlagen anhand von Modellrechnungen abzuschätzen. Auftragnehmer für dieses Projekt ist das Bayerische Zentrum für angewandte Energieforschung e.V. in Garching bei München (ZAE Bayern), das von der Firma Accon GmbH, Greifenberg, bei der Durchführung der Ausbreitungsrechnungen unterstützt wurde. Das Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen der EU-Strukturförderung mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert.

Projektaufbau

Am Anfang der Projektbearbeitung standen Emissionsmessungen an Praxisanlagen (5 Scheitholz-, 5 Pellet- und 1 Getreidekessel). Aus den Messergebnissen und unter Einbeziehung von Literaturdaten und Erfahrungswerten

ermittelt. Für die andere wurden fiktive Annahmen getroffen.

Ergebnisse der Emissionsmessungen

Die Bestimmung der gasförmigen Abgasbestandteile erfolgte über ein Mehrkomponenten-Messgerät der Firma Messtechnik Eheim GmbH („Visit 02“). Die Staubmessungen wurden sowohl mit einem Staubmessgerät zur korngößenabhängigen Bestimmung der Staubkonzentration („JohnAs-Impaktor“) als auch nach dem Schornsteinfeger-Messverfahren durchgeführt. Parallel dazu wurde mit einem elektrischen Niederdruckimpaktor (ELPI) die Par-

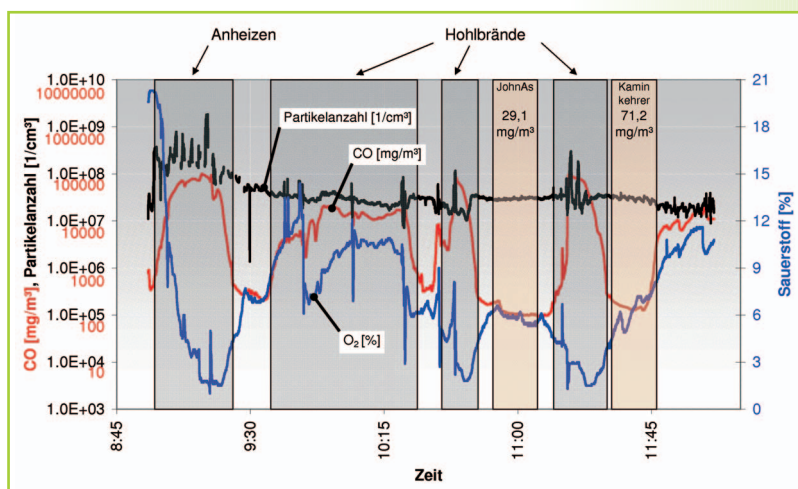
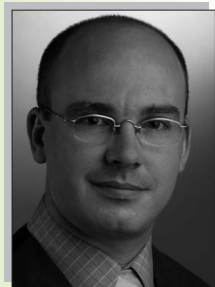


Abbildung 2: Ergebnisse der Staubkonzentrationsmessungen sowie der Verlauf der CO-Emissionen, der Partikelanzahl sowie der Temperatur im Abgas eines „schlechten“ Scheitholzkessels. Emissionswerte sind bezogen auf Normbedingungen (aber nicht auf 13 Vol.-% O₂).



Robert Kunde

Anschrift des Autors:
 Bayerisches Zentrum
 für Energieforschung
 e.V.,
 Abteilung 1,
 Walther-Meißner-Str. 6,
 85748 Garching,
 Tel. 089/329442-0

zwischen 20 und 60 mg/m³. Während der Störungen ist zwar ein Anstieg der Partikelanzahl erkennbar, qualitative Rückschlüsse auf die Massenkonzentration lassen die vorliegenden Messergebnisse aber nicht zu.

Emissionsfaktoren

Tabelle 1 enthält die auf die Energiebereitstellung bezogenen Emissionsfaktoren, die für die Bildung der Emissionszeitreihen zugrunde gelegt wurden. Bei einem typischen mittleren Wirkungsgrad der Feuerung von 80 % entspricht zum Beispiel eine Staubkonzentration im Abgas von 30 mg/m³ einem energiebezogenem Emissionsfaktor von 20 mg/MJ.

Emissionszeitreihen

In den beiden Rechengebieten waren zunächst die mit Holz beheizten Gebäude sowie ihre jeweilige Heizcharakteristik zu definieren. Dabei wurde in Abhängigkeit von Baujahr, Wohnfläche und Wärmeüberträger (Radiatoren/Fußbodenheizung) zwischen fünf verschiedenen Gebäudemodellen unterschieden.

Zentralheizungskessel

Nach den Erfahrungen des ZAE Bayern aus vorangegangenen Studien im Zu-

benötigten Wärmemenge ein linearer Zusammenhang besteht und dass der Brauchwarmwasserbedarf jeden Tag gleich ist. In der Heizperiode (1. Oktober bis 30. April) addieren sich der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser,

wickeltes Programm verwendet. Hiermit wurden die für die jeweiligen Gebäude erstellten Heizlastkurven modifiziert. Zur Berechnung der Emissionszeitreihen (siehe Abbildung 3) wurde für jede Stunde des Modelljahres der Wert der

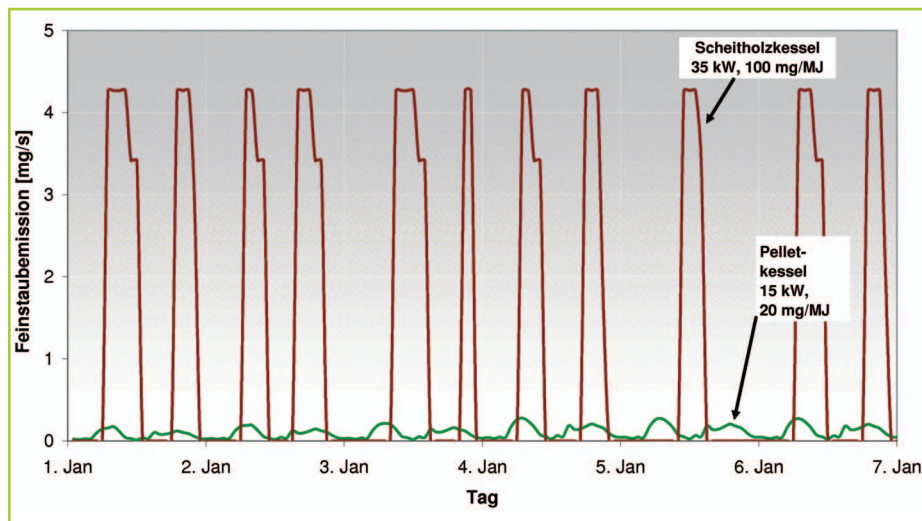


Abbildung 3: Emissionszeitreihen eines schlechten Scheitholzkessels (Nennwärmeleistung 35 kW) mit Pufferspeicher und eines guten Pelletkessels (Nennwärmeleistung 15 kW) (ohne Pufferspeicher)

in den Sommermonaten wird nur Brauchwarmwasser erzeugt.

Ausgehend vom Temperaturverlauf des Modelljahres ergibt sich so für jedes Gebäudemodell abhängig von der Nennwärmeleistung der Heizungsanlage der Jahresverlauf des Wärmebedarfs (Jahres-Heizlastkurve in kW). Die Kurve zeigt in den Monaten Mai bis September ausschließlich Wärmebedarf

Jahres-Heizlastkurve des jeweiligen Gebäudes mit dem Emissionsfaktor des zugehörigen Kessels multipliziert.

Einzelfeuerstätten

Für die Simulation der realen Beheizungsstruktur im Modellgebiet B mussten neben den Holz-Zentralheizungskesseln auch die Einzelfeuerstätten (Feuerstätten zur Beheizung einzelner Wohnräume) erfasst werden. Hierzu wurde der vor Ort zuständige Bezirkskaminkehrermeister befragt. Je nach erforderlicher Kehrhäufigkeit (einmal oder mehrmals jährlich) wurde zwischen den selten betriebenen und den häufig betriebenen Feuerstätten unterschieden.

Die Erstellung der Tages-Heizlastkurven erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Verfahrens- und Dampfkesselwesen an der Universität Stuttgart. Die Tageslastkurven wurden für jeden Tag angesetzt, an dem die mittlere Außentemperatur kleiner als 14 °C ist. Um die Witterungsabhängigkeit der Emissionen zu berücksichtigen, wurden die Tageslastkurven zusätzlich jeweils mit dem Tagesmittelwert der Außentemperatur entsprechend der Vorgehensweise für Zentralheizkessel gewichtet.

Emissionsquelle	E-Faktor	Datenquelle
Pelletkessel „gut“ ohne Pufferspeicher	20 mg/MJ	LfU / ZAE
Pelletkessel „schlecht“ ohne Pufferspeicher	40 mg/MJ	LfU / ZAE
Scheitholzkessel „gut“ mit Pufferspeicher	30 mg/MJ	LfU / ZAE
Scheitholzkessel „schlecht“ ohne Pufferspeicher	100 mg/MJ	LfU / ZAE
Hackgutkessel 75 – 250 kW ohne Pufferspeicher	30 mg/MJ	LfU / ZAE
Küchenherd	76 mg/MJ	UBA
Kachelofen	111 mg/MJ	UBA
Kaminofen (Schwedenofen)	113 mg/MJ	UBA

Tabelle 1: Emissionsfaktoren verschiedener Öfen, UBA: Umweltbundesamt; Forschungsbericht Nr. FB 299 44 140, LfU/ZAE: eigene Erfahrungen

sammenhang mit Nahwärmenetzen können den fünf angesetzten Gebäudemodellen spezielle Tages-Heizlastkurven zugeordnet werden. In diesen Kurven ist für den Zeitraum eines Tages das Verhältnis der momentan benötigten Wärmemenge zu der an diesem Tag maximal benötigten Wärmemenge dargestellt.

Für alle Gebäude wurde angenommen, dass bei einer mittleren Außentemperatur von -14 °C die Heizanlage bei maximaler Leistung (Nennwärmeleistung) betrieben und bei Außentemperaturen von mehr als 14 °C abgeschaltet wird. Weiter wurde angenommen, dass zwischen der Außentemperatur und der

für das einmal tägliche Aufheizen des Brauchwasserspeichers auf.

Im Gegensatz zu Pelletfeuerungen werden Scheitholzkessel in der Regel mit Pufferspeichern beziehungsweise Kombispeichern für Brauchwarmwasser und Heizung betrieben. Das Speichervolumen wurde entsprechend den „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ des BMU vom 12.01.2007 mit einem Speichervolumen von 55 Liter je kW installierter Nennwärmeleistung in den Stufen von 250, 500 ... 2.500 Liter angesetzt. Zur Simulation der Wärmebereitstellung beim Einsatz von Pufferspeichern wurde ein am ZAE Bayern ent-

Durchführung der Ausbreitungsrechnungen

Die Ausbreitungsrechnungen erfolgten für einen Ausschnitt der Ortschaft A (650 m x 700 m, mit 280 Gebäuden; siehe Abbildung 4) und den Ortskern der

Ortschaft B (1.000 m x 900 m mit 336 Gebäuden; siehe Abbildung 5). Die Auflösung des Rechengitters betrug 3 x 3 m.

Gebäude

Um den Einfluss der Gebäude auf die Ausbreitung der Schadstoffe zu modellieren, wurden die Grundrisse der Gebäude und deren Höhen ermittelt. Digitale Flurkarten (DFK) lieferten die Eckpunkte der Gebäudegrundrisse. Bei einer Ortsbesichtigung wurden die Gebäudehöhen abgeschätzt. Das angewendete Rechenprogramm Austal2000 kann den Einfluss von Sattel- oder Spitzdächern nicht simulieren. Die Gebäude fließen als quaderförmige Bauwerke in die Rechnung ein. Vereinfachend wurden die Gebäudehöhen daher um 1,5 m reduziert, die Emissionsquellhöhen aber in Firsthöhe definiert. Zudem wurden die Programmeinstellungen so vorgenommen, dass Abgasfahnenüberhöhungen durch die im Abgas noch enthaltene Wärme nicht berücksichtigt werden.

Geländemodell

Der Einfluss des Geländes auf die Schadstoffausbreitung wurde mit einem digitalen Geländemodell (DGM 50) modelliert. Das verwendete DGM 50 beschreibt das Gelände dreidimensional in einem Gitter mit 50 m Gitterweite in der Ebene und 0,1 m in der Höhe.

Meteorologische Daten

Der Berechnung der Schadstoffausbreitung liegen meteorologische Daten zugrunde. Für die beiden Modellgebiete A und B selbst standen keine vor Ort gemessenen meteorologischen Zeitreihen („AKTerm“) zur Verfügung, in denen unter anderem Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklasse für jede Stunde des Modelljahres hinterlegt sind. Daher wurden die entsprechenden Daten der Wetterstationen „Erdinger Moos“ für 1995 und „Straubing“ für 1999 jeweils auf einen Referenzpunkt in der Nähe der Modellgebiete übertragen. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) ermittelte die Zeitreihen für beide Modellgebiete für repräsentative Jahre und prüfte ihre Übertragbarkeit.

Beurteilung von Immissionsbelastungen

Der seit dem 1.01.2005 geltende Immissionsgrenzwert für Feinstaub in der Umgebungsluft von 40 µg/m³ darf im Jahresmittel nicht überschritten werden. Als Grenzwert für das Tagesmittel gilt ein Wert von 50 µg/m³. Dieser darf

jedoch bis zu 35 mal im Jahr überschritten werden.

In ländlichen Gebieten in Bayern werden beide Immissionsgrenzwerte in aller Regel sicher eingehalten. Die Feinstaubkonzentrationen dort liegen zwischen 20 und 30 µg/m³ im Jahresmittel. Jahresmittelwerte über 30 µg/m³ werden insbesondere an den verkehrsnahen Stationen in den Ballungsräumen gemessen.

Die Belastung durch Feinstaub setzt sich aus Hintergrund- und Zusatzbelastung zusammen. Ausbreitungsberechnungen liefern Informationen über die Zusatzbelastung. Die TA Luft unterscheidet bei der Beurteilung von Umweltauswirkungen durch Emissionen aus Anlagen zwischen relevanten und irrelevanten Zusatzbelastungen. Sind nur irrelevante Zusatzbelastungen durch ein Vorhaben zu erwarten, ist eine weitergehende Prüfung der Gesamtbelastung meistens nicht erforderlich. Für Feinstaub beträgt diese Irrelevanzschwelle 1,2 µg/m³ im Jahresmittel.

Ergebnisse

Das Ausbreitungsrechenprogramm gibt für jeden Punkt des Rechengitters einen Jahresmittelwert sowie den maximal auftretenden Tagesmittelwert aus. An einzelnen Gitterpunkten können auch alle 365 Tagesmittelwerte eines Jahres ausgegeben werden. Zur Abschätzung der Häufigkeit hoher Tagesmittelwerte wurde an den Orten mit den höchsten Immissionskonzentrationen (Monitor-

Feuerstätte	Gebäudeanzahl	Betriebsweise
Pelletkessel	1	in der Heizperiode
Scheitholzkessel	9	in der Heizperiode
Hackschnitzkessel	3	in der Heizperiode
Küchenherde	17	17 täglich; ganzjährig
Kaminöfen	19	11 täglich, 8 selten; in der Heizperiode
Kachelöfen	11	7 täglich, 4 selten; in der Heizperiode
Kombinationen	31	überwieg. täglich; in der Heizperiode
Summe	91	-

Tabelle 2: Anzahl und Betriebsweise der Feuerstätten in Modellgebiet B

punkte) die Häufigkeitsverteilung der Tagesmittelwerte bestimmt. So kann für die Monitorpunkte abgeschätzt werden, mit welcher Zusatzbelastung an den 35 höchstbelasteten Tagen zu rechnen ist.

Modellgebiet A

Zur Ermittlung der wesentlichen Einflussgrößen auf die Staub-Immissionskonzentrationen wurden verschiedene Varianten untersucht. In Variante V0 wurde angenommen, dass zehn Prozent der 280 Gebäude in dem Modellgebiet A mit Holz beheizt werden und zwar jeweils zur Hälfte mit Pellet- beziehungsweise mit Scheitholzkesseln. Die

Holzkessel wurden gleichmäßig über das Modellgebiet verteilt. Dabei sollte es sich um eher emissionsarme Kessel (Pelletkessel: 20 mg/MJ; Scheitholzkessel: 30 mg/MJ) handeln. Holzbeheizte Einzelfeuerstätten wurden in keiner der Varianten angesetzt. Der höchste berechnete Jahresmittelwert bei dieser Variante V0 betrug 0,8 µg/m³. Die höchsten Belastungen traten in unmittelbarer Nähe zur Emissionsquelle auf. Mit zunehmender Entfernung nimmt die Belastung schnell ab. Die Häufigkeitsverteilungen der Tagesmittelwerte an den Monitorpunkten zeigen, dass an 35 Tagesmittelwerten (dies entspricht etwa dem 90-Perzentil) eine Zusatzbelastung von 1,5 µg/m³ überschritten werden kann.

Mit der Variante V1 wurde die Situation bei eher emissionsreicheren Kesseln (Pelletkessel: 40 mg/MJ; Scheitholzkessel: 100 mg/MJ) untersucht. Ansonsten waren die Annahmen identisch mit denen der Variante V0. Abbildung 4 zeigt eine graphische Darstellung der Rechenergebnisse. Sie veranschaulicht, dass die relevanten Auswirkungen der Holzfeuerung offenbar auf die direkte Nachbarschaft begrenzt bleiben. Der maximale Jahresmittelwert (am Monitorpunkt 10) betrug 2,6 µg/m³. An 35 Tagesmittelwerten kam es zu einer Überschreitung eines Tagesmittelwertes von 4,5 µg/m³. Die Feinstaub-Zusatzbelastung liegt bei dieser Variante deutlich über der in der TA Luft genannten Irrelevanzschwelle. In Gebieten mit hoher Hintergrundbelastung könnten



Max Lautenbach

Anschrift des Autors:
Bayerisches Zentrum
für Energieforschung
e.V.,

Abteilung 1,
Waltber-Meißner-Str. 6,
85748 Garching,
Tel. 089/329442-0

Maßnahmen zur Reduzierung der Belastung erforderlich werden.

Bei Variante V2 wurde die Anzahl der Pelletkessel im Rechengbiet verdreifacht und ansonsten die Annahmen von Variante V0 übernommen. Die Ergebnisse zeigten an keinem Rechenpunkt einen höheren Jahresmittelwert als bei Variante V0. Allerdings ergaben sich etwas höhere Tagesmittelwerte an den Monitorpunkten (35 Tagesmittelwerte überschreiten 2,7 µg/m³).

In Variante V3 sollten die Auswirkungen untersucht werden, wenn ein begrenztes (Neubau-) Gebiet zu 100 Prozent mit emissionsarmen Pellet-



Matthias Gaderer

Anschrift des Autors:
Bayerisches Zentrum
für Energieforschung
e.V.,
Abteilung 1,
Walther-Meißner-Str. 6,
85748 Garching,
Tel. 089/329442-0

kesseln beheizt wird. Hierzu wurden 28 Gebäude im südwestlichen Bereich des Modellgebiets ausgewählt. Der maximale Jahresmittelwert ($0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und das 90-Perzentil der Tagesmittelwerte ($1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sind mit denen der Variante V0 vergleichbar: die Überlagerung der

Faktoren für die Zusatzbelastung

Die Feinstaubbelastung in der Nachbarschaft von Holzfeuerungsanlagen setzt sich aus der allgemeinen Hinter-

-Ausbreitungssituation: Großen Einfluss auf die Verteilung der Schadstoffe haben Windrichtung, Windgeschwindigkeit und die Häufigkeit von Inversionswetterlagen.

Ausbreitungsrechnungen mit der Ausbreitungsstatistik von Standorten in

Gebirgstälern würden deutlich höhere Immissionskonzentrationen liefern.

- Lage der Emissionsquelle: Wesentlichen Einfluss auf die Feinstaubbelastung hatten die Entfernung zwischen Immissionsort und Emissionsquelle(n) sowie die Höhe der Emissionsquelle. In Siedlungen dichter Bebauung, wo Überlagerungen mehrerer Abgasfahnen auftreten, müssen höhere Immissionskonzentrationen erwartet werden. Genauere Erkenntnisse über die Belastungen in städtischen Gebieten werden in einer vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebenen, aber derzeit noch nicht abgeschlossenen Studie „Modellrechnungen zu Immissionsbelastungen von Biomassefeuerungsanlagen der 1. BImSchV“ gewonnen.

In ländlichen Gebieten ist bei lockerer Bebauung in ebenem Gelände die Feinstaub-Zusatzbelastung durch emissionsarme Holzfeuerungsanlagen vertretbar. Im unmittelbaren Nahbereich emissionsreicher Holzfeuerungsanlagen können allerdings kritische Werte, die nicht mehr als irrelevant im Sinne der TA Luft anzusehen sind, erreicht werden.

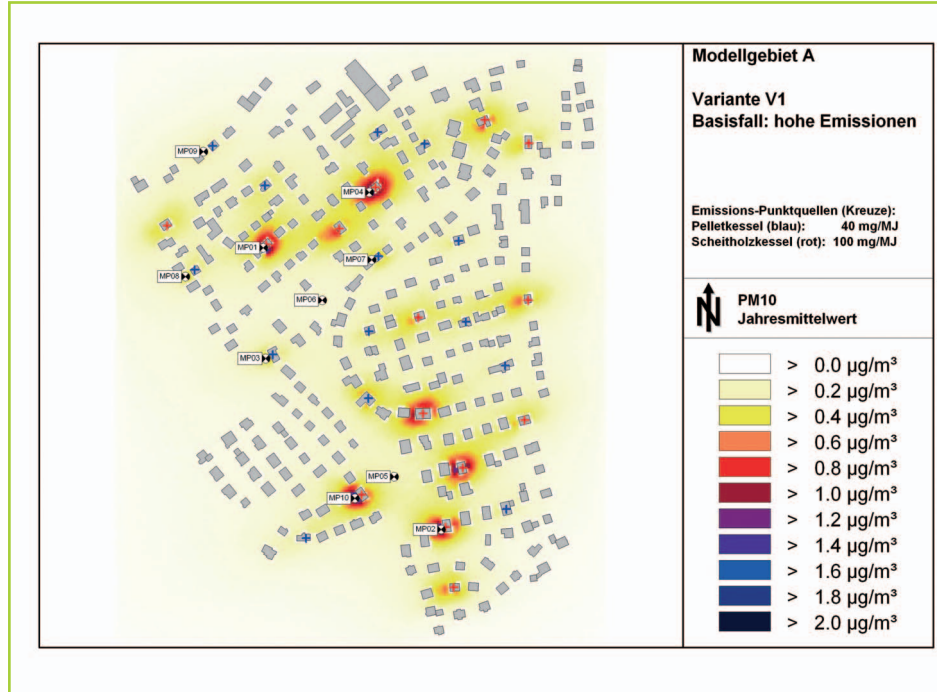


Abbildung 4: Berechnete Zusatzbelastungen durch Holzfeuerungen im Modellgebiet A

Abgasfahnen der Pelletkessel (Emissionsfaktor 20 mg/MJ) erhöht die Immissionskonzentrationen auf Werte, wie sie im Nahbereich von Scheitholzfeuerungen (Emissionsfaktor 30 mg/MJ) auftreten.

Variante V4 enthält zusätzlich zur Variante V3 die in Variante V0 angesetzten Holz-Heizkessel. Der maximale Jahresmittelwert beträgt nun $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, und liegt damit um $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ über dem maximalen Jahresmittelwert der Variante V0.

Modellgebiet B

Für Modellgebiet B wurde die reale Heizungsstruktur abgebildet. Die Befragung des zuständigen Kaminkehrermeisters ergab, dass holzbeheizte Einzelfeuerstätten in dem Modellgebiet B einen ganz erheblichen Beitrag an der Wärmeversorgung der 336 Gebäude haben (siehe Tabelle 2).

Die Rechenergebnisse sind in Abbildung 5 graphisch dargestellt. Der maximale Jahresmittelwert (Monitorpunkt 1) beträgt $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An 35 Tagesmittelwerten kam es zu einer Überschreitung eines Tagesmittelwertes von $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Ergebnisse bestätigen die für das Modellgebiet A getroffenen Aussagen.

grundbelastung und der Zusatzbelastung durch die Emissionen der benachbarten Feuerungsanlagen zusammen. Die Zusatzbelastung ist von mehreren Faktoren abhängig:

- Emissionen der Feuerstätte: Betriebsweise, Anlagengüte, Wärmeleistung und Betriebsdauer bestimmen die von der Anlage ausgehende Feinstaubmenge.

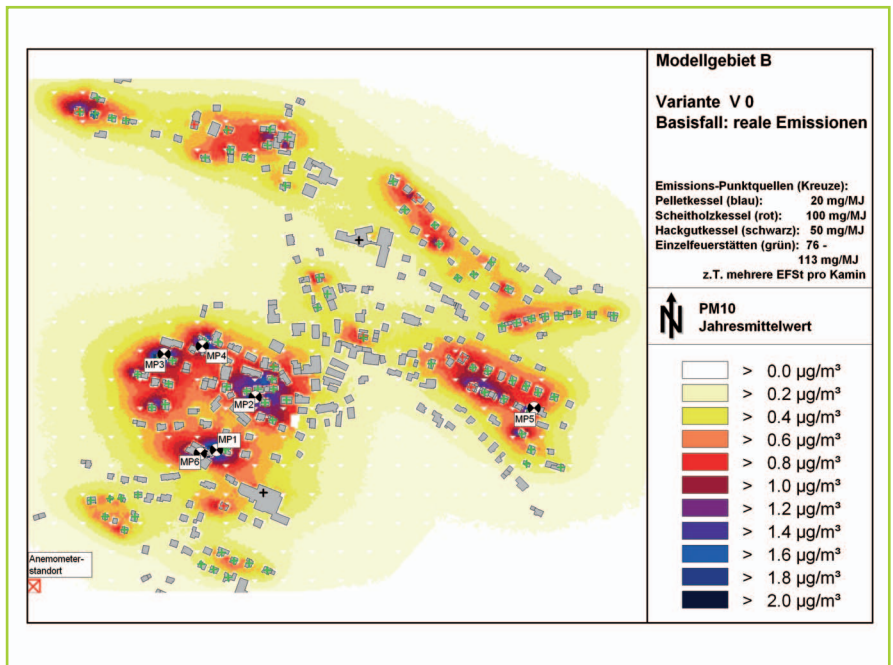


Abbildung 5: Berechnete Zusatzbelastungen durch Holzfeuerungen im Modellgebiet B