

Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen
zur Luftreinhaltung (PEF)

Zwischenbericht anlässlich des
Statusseminars der Projektträger des Landes Baden-Württemberg
am 3. und 4. März 1998 im
Forschungszentrum Karlsruhe

**Bestimmung der Massenbilanzen chemisch reaktiver Luftschadstoffe
in Baden-Württemberg - Untersuchungen für die Region
Freudenstadt-Stuttgart**

H.-J. Panitz, K. Nester, F. Fiedler, Institut für Meteorologie und Klimaforschung,
Forschungszentrum Karlsruhe, Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe

Förderkennzeichen: PEF 295004

Die Arbeiten des Projektes Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung
werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

Bestimmung der Massenbilanzen chemisch reaktiver Luftschadstoffe in Baden-Württemberg - Untersuchungen für die Region Freudenstadt-Stuttgart

H.-J. Panitz, K. Nester, F. Fiedler, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Forschungszentrum Karlsruhe, Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe

Zusammenfassung

Mit Hilfe von Massenbilanzen chemisch reaktiver Luftschadstoffe, die mit dem Modellsystem KAMM/DRAIS berechnet wurden, werden die Wirkungen verschiedener kurzfristiger Änderungen im Emissionskataster Baden-Württembergs auf die Ozonkonzentration analysiert. Die Änderungen betreffen nur die anthropogenen Emissionen. Neben den hypothetischen Annahmen, daß alle Emissionen im gesamten Modellgebiet bzw. nur im Gebiet des Ballungszentrums Stuttgart abgeschaltet werden, wird auch ein realistisches Trendszenario (T2000) betrachtet, das die zukünftige Emissionssituation aufgrund der vorherrschenden Gesetzeslage beschreibt. Es führt zu einer Reduzierung der NO_x-Emissionen um 36%, VOC und CO Emissionen liegen um 54% bzw. 62% niedriger. Die Auswirkungen der Veränderungen im Emissionskataster werden für das Ballungszentrum Stuttgart, die ländliche Region Freudenstadt und für eine Region im Lee von Stuttgart untersucht. Die Effekte der Emissionsänderungen machen sich im wesentlichen in der Planetarischen Grenzschicht bemerkbar. Von allen betrachteten Fällen führte nur die Annahme, daß alle anthropogenen Emissionen auf der regionalen Skala des gesamten Modellgebietes vollständig abgeschaltet werden zu einer Reduzierung der Maximalwerte der Ozonkonzentration in Bodennähe. Die Verringerung liegt im wesentlichen am turbulenten Vertikaltransport aus der höheren Schicht. Das Szenario T2000, bei dem auch im ganzen Modellgebiet die Emissionen reduziert sind, führt dagegen zu einem Anstieg der Maximalwerte der mittleren bodennahen Ozonkonzentrationen. Das lokale Abschalten aller anthropogenen Emissionen im Ballungsgebiet Stuttgart führt erwartungsgemäß zu einem Anstieg des Ozons im Stadtgebiet selbst. Aber auch im Lee der Stadt liegt das Konzentrationsniveau von Ozon über dem des Referenzfalles. Die Untersuchungen wurden für einen Spätsommertag im September durchgeführt. Die Maximaltemperatur lag an diesem Tag bei 25°C - 27°C und es wurden Ozonkonzentrationen gemessen, die nur an wenigen Meßstellen 70 ppb überschritten. Bezogen auf diese Bedingungen zeigen die Untersuchungen, daß lokale und regionale Emissionsminderungen, die nur kurzfristig ergriffen werden, nicht dazu geeignet sind, das vorherrschende Ozonniveau weiter zu reduzieren.

Determination of Mass Balances of Chemically Reactive Air Pollutants over Baden-Württemberg (F.R.G.) - Study for the Regions around the Cities of Stuttgart and Freudenstadt

H.-J. Panitz, K. Nester, F. Fiedler, Institute for Meteorology and Climate Research, Research Centre Karlsruhe, Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe

Abstract

Mass balances of chemically reactive air pollutants have been calculated using the model system KAMM/DRAIS in order to investigate the effects of short-term emission reductions on the ozone concentration in Baden-Württemberg (F.R.G.). The reductions are only related to anthropogenic emissions. Besides the reference case (100% emission) three different scenarios have been considered.: i) all emissions are switched off in the whole model domain; ii) all emissions are switched off locally in a region around the urban centre of Stuttgart; iii) based on the legal regulations of the year 1990 the emission situation is predicted for the year 2000 (T2000). The first two are hypothetical scenarios representing the maximum reductions which could be taken in a region. The scenario T2000 is more realistic and it implies a reduction of NO_x-emissions by 36%, VOC and CO emissions are reduced by 54% and 62%, respectively. The effects are studied for the region around the city of Stuttgart, the rural area Freudenstadt being located in the Black Forest and a region on the lee side of Stuttgart. A reduction of the maximum concentration values of ozone close to the ground is only achieved under the assumption that all emissions are switched off in the whole model domain. Essentially, this reduction is the result of a reduced turbulent transport of ozone from the layer above. In contrast to this, the scenario T2000, which also reduces the emissions in the whole model area, leads to an increase of the maximum ozone concentration. As it could be expected, the assumption that all emissions are switched off only locally in the urban centre, results in an increase of ozone in the centre itself. But the concentrations increase also on the lee side of the city. The study had been carried out for a late summer day in September. The maximum temperature was between 25°C and 27°C and ozone concentrations had been observed which exceeded 70 ppb only at a few measuring stations. Related to these conditions the study shows that local and regional emission reduction measures, which are only taken over the period of one day, are not convenient to reduce further the ozone level of that day.

1. Einleitung

Mit Hilfe von Massenbilanzen chemisch reaktiver Luftschadstoffe, die mit dem Modellsystem KAMM/DRAIS berechnet wurden, werden die Wirkungen verschiedener kurzfristiger Änderungen im Emissionskataster einer Region analysiert. Diese Region umfaßt Baden-Württemberg sowie Teile angrenzender Bundesländer und Staaten (Abb. 1). Die Emissionsänderungen wurden zum einen im ganzen Modellgebiet zum anderen nur im Ballungszentrum Stuttgart vorgenommen. Insgesamt wurden 11 verschiedene Szenarien gerechnet. Der Referenzfall (Szenario 1) basiert auf dem vom IER, Universität Stuttgart, erstellten Emissionskataster für den 01.08.1990 (Abb. 1, Tab. 1) (OBERMEIER et al., 1995; PANITZ et al., 1995).

Tabelle 1 : Tagessummen der anthropogenen Emissionen in Tonnen (Referenzfall) für das gesamte Modellgebiet und Teilregionen

Region	NO _x	VOC	CO	SO ₂
Modellgebiet	1188	1159	3469	239
Freudenstadt	40	37	117	9
Stuttgart	139	187	450	22
Lee Stuttgart	72	56	170	11

In acht weiteren Fällen wurde dieser Referenzfall variiert. Die Änderungen reichten vom Abschalten aller anthropogenen Emissionen im Modellgebiet bzw. im Raum Stuttgart über 50% Reduktion bis zur 50% Erhöhung aller Emissionen in beiden Gebieten.

Tabelle2: Analysierte Emissionsszenarien

Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Referenzfall	Zero Emission Modellgebiet	Zero Emission Stuttgart	T2000

Außerdem wurden zwei Trendszenarien betrachtet, die aufbauend auf dem Referenzjahr 1990 die Emissionssituation im Jahr 2000 prognostizieren (OBERMAEIER et al., 1995)

Das erste Szenario (**T2000**) beschreibt die zukünftige Situation aufgrund der vorherrschenden Gesetzeslage; es führt zu einer Reduzierung der NO_x -Emissionen um 36% relativ zum Referenzfall, VOC und CO Emissionen liegen um 54% bzw. 62% niedriger. Das zweite Szenario (**M2000**) beinhaltet noch weitergehende Maßnahmen aufgrund zusätzlicher Initiativen des Gesetzgebers bzw. der Aufsichtsbehörden. Es führt zu weiteren Abnahmen der Emissionen (relativ zu T2000) um 15% bei NO_x sowie 35% bei VOC und 33% bei CO. Im folgenden Bericht werden vier der 11 Fälle diskutiert (Tab. 2), wobei der Schwerpunkt auf dem Vergleich zwischen dem Referenzfall (Szenario 1) und Szenario 2 liegt. Im Szenario 2 wird angenommen,

daß alle anthropogenen Emissionen im gesamten Modellgebiet abgeschaltet werden. Im Gegensatz zum realistischen Trendszenario T2000 (Szenario 4) ist dies eine hypothetische Annahme, die aber die maximal mögliche Maßnahme zur Reduzierung der anthropogenen Emissionen darstellt. Außerdem zeigen die Ergebnisse, daß sie für die betrachtete Situation die einzige Maßnahme ist, die im Sinne einer kurzfristigen Emissionsminderung zu einer Reduktion des Ozonmaximums führt. Die Auswirkungen der Veränderungen im Emissionskataster werden untersucht für: 1) den Ballungsraum Stuttgart; 2) die ländlich geprägte Region Freudenstadt sowie 3.) für eine Region im Lee, d.h. östlich von Stuttgart (Abb. 1).

Tabelle 3: Vertikale Einteilung der Integrationsvolumina

	Schicht (m über Grund)
Schicht 3	0 - 60
Schicht 2	60 - 1600
Schicht 1	1600 - 7600

Der vertikale Bereich vom Erdboden bis zur Modelobergrenze wurde in drei Schichten unterschiedlicher Dicke unterteilt. (Tab. 3). Das unterste Niveau 3 repräsentiert die bodennahe Schicht. In diesem Volumen findet der größte Teil aller Emissionen statt. Zusammen mit der Schicht 2, die sich von 60 m bis etwa 1600m über Grund erstreckt, umfaßt sie näherungsweise die Planetarische Grenzschicht (PBL). Der Bereich von 1600m bis zur Modelobergrenze wurde in einer Schicht zusammengefaßt. Da sich die Effekte der

Emissionsänderungen vornehmlich im unteren Teil der Troposphäre bemerkbar machen, werden in den nachfolgenden Betrachtungen nur die Schichten 2 und 3, also der Bereich der PBL berücksichtigt. Die Massenbilanz einer chemisch reaktiven Substanz wird durch verschiedene Prozesse bestimmt: Emission, Deposition, advective und turbulente Flüsse sowie chemische Umwandlungen (PANITZ et al., 1997). Eine detaillierte mathematische Beschreibung der Massenbilanzierung findet man bei SCHWARTZ (1996). Die Rechnungen wurden für den 16.09.1992 mit dem Ausbreitungsmodell DRAIS (NESTER & FIEDLER, 1992) auf der Basis der Simulationsergebnisse des meteorologischen Modells KAMM (ADRIAN & FIEDLER, 1990) durchgeführt. Der Simulationstag war ein Spätsommertag mit maximalen Temperaturen von 25°C - 27°C. Er fällt in den Zeitraum des TRACT-Experiments, so daß die Simulationsergebnisse mit Messungen meteorologischer Größen und Schadstoffkonzentrationen verglichen werden konnten (PANITZ et al., 1996a). Die gemessenen Ozonkonzentrationen lagen nur an einigen wenigen Meßstationen über 70 ppb. Die Anfangs- und Randbedingungen für die Ausbreitungsrechnungen wurden aus den Resultaten des EURAD Modells (HASS, 1996) abgeleitet (PANITZ et al., 1996b). In den nachfolgenden Ergebnisdarstellungen sind die Massenbilanzanteile auf die Größe des jeweiligen Integrationsvolumens bezogen, so daß sie als Volumenmittel interpretiert werden müssen.

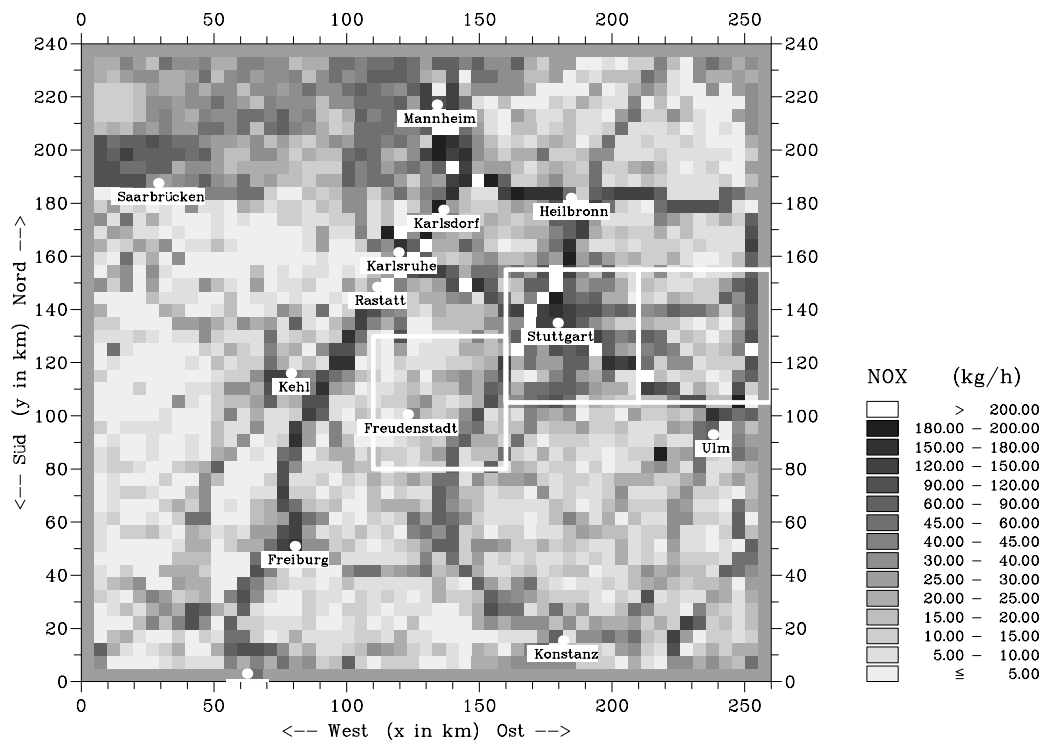


Abb. 1: Verteilung der Gesamtemission NO_x um 06:00 UTC im Modellgebiet und drei Subregionen

2. Vergleich der Massenbilanzen des Referenzfalles mit Szenario 2

2.1 Massenbilanzen in der bodennahen Schicht

Die Auswirkungen des kurzfristigen Abschaltens aller anthropogenen Emissionen (Szenario 2) werden in Abb. 2 für die Regionen Freudenstadt (Abb. 2, oben), Stuttgart (Abb. 2, Mitte) sowie für die Region im Lee von Stuttgart (Abb.2, unten) aufgezeigt. Dargestellt sind, für die bodennahe Schicht bis etwa 60m über Grund, die über den ganzen Tag integrierten Nettobeiträge der einzelnen Prozesse zur Ozonbilanz. Im Vergleich mit dem Referenzfall (Abb. 2, links) bewirkt das Abschalten der Emissionen im ganzen Modellgebiet eine Erhöhung der mittleren Ozonkonzentration um 11 ppb bis 12 ppb, da in den Abend- und Nachtstunden weniger Ozon titriert wird. Das gilt für alle drei Regionen. Hinsichtlich des Beitrages der chemischen Umwandlungen ergibt sich in Bodennähe eine Nettoproduktion von Ozon (Abb. 2, rechts). Im Referenzfall dagegen ist ein Nettoverlust aufgrund chemischer Reaktionen zu beobachten (Abb. 2, links). Die Abb. 3 und 4, die für die Leeregion (Abb. 3) und das Ballungszentrum Stuttgart (Abb. 4) auch die Tagesvariation der stündlichen Änderung der Ozonkonzentration durch chemische Prozesse enthalten, zeigen, daß die chemische Produktion von Ozon bei abgeschalteten Emissionen im wesentlichen in den Vormittagsstunden stattfindet. Im Referenzfall wird in beiden Regionen den ganzen Tag über Ozon aufgrund chemischer

Vorgänge abgebaut, mit betragsmäßigen Maxima am Morgen und am frühen Abend, wenn die NO_x - Emissionen ein Maximum aufweisen.

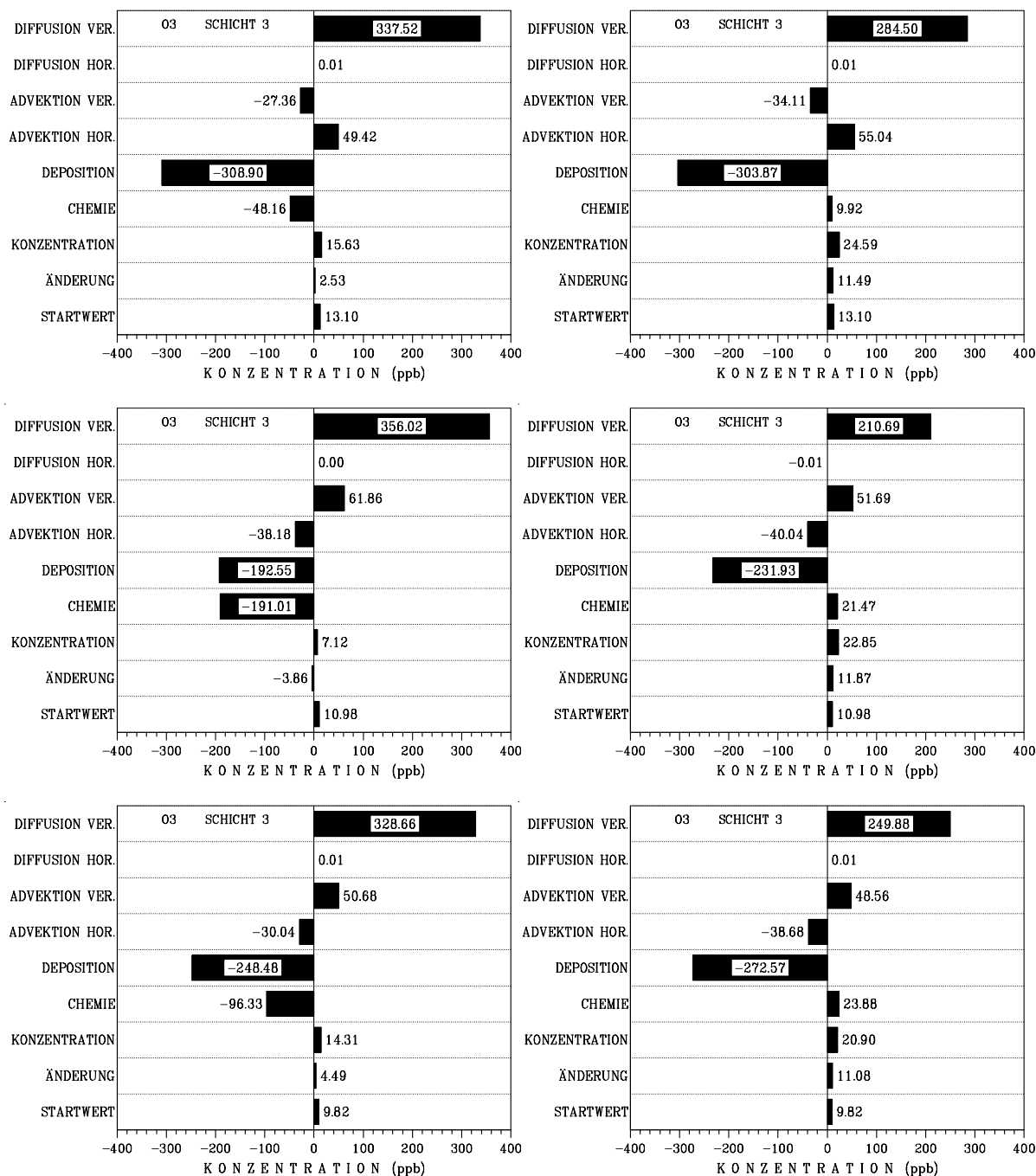


Abb.2: Zeitintegrierte Bilanzanteile (ppb) in bodennaher Schicht 3: **links:** Referenzfall **rechts:** Szenario 2 **oben:** Freudenstadt **Mitte:** Stuttgart **unten:** Lee Stuttgart

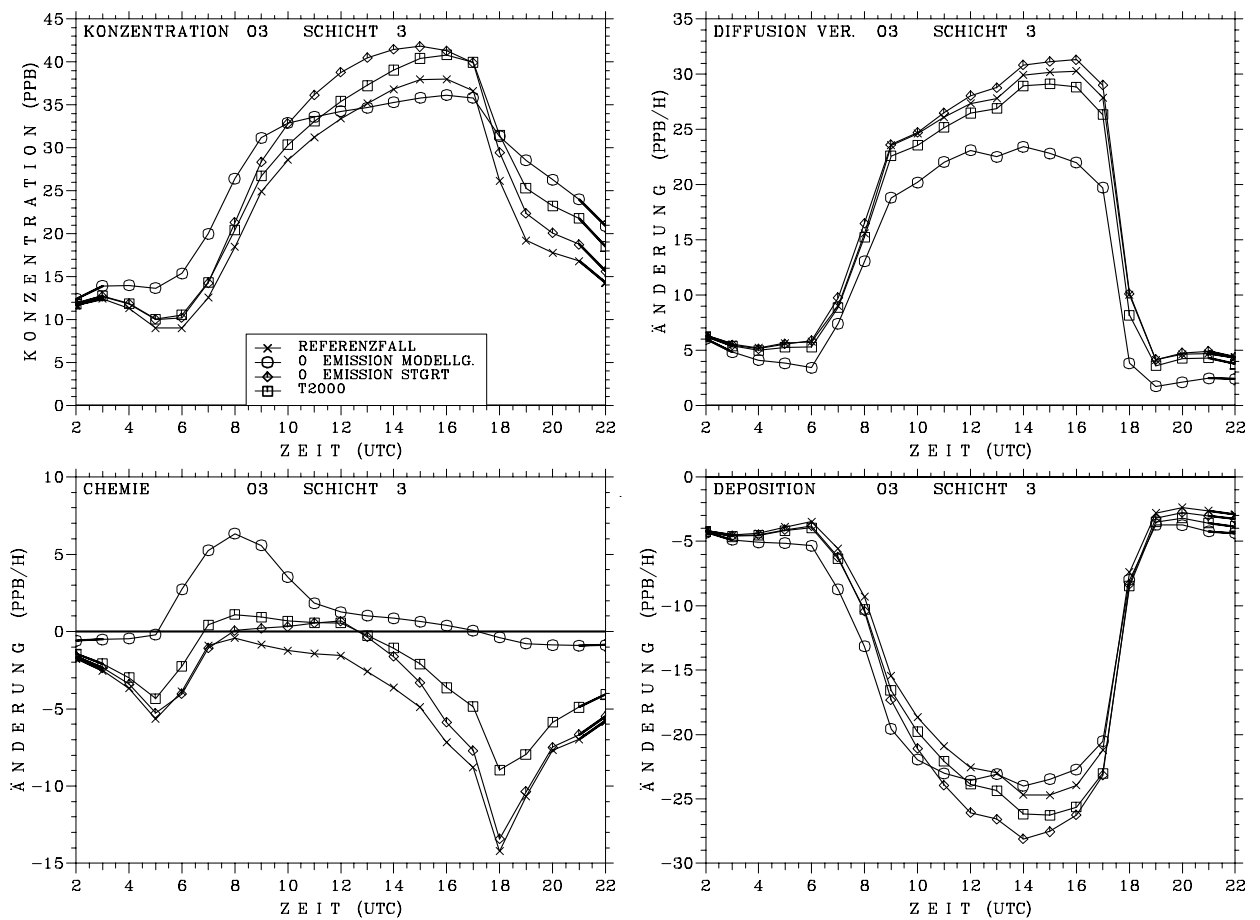


Abb. 3: Tagesgang der bodennahen O₃-Konzentration sowie der stündlichen Änderung der Beiträge der Massenbilanzkomponenten vertikale Diffusion, Chemie und Deposition im Lee von Stuttgart in Abhängigkeit vom Emissionsszenario

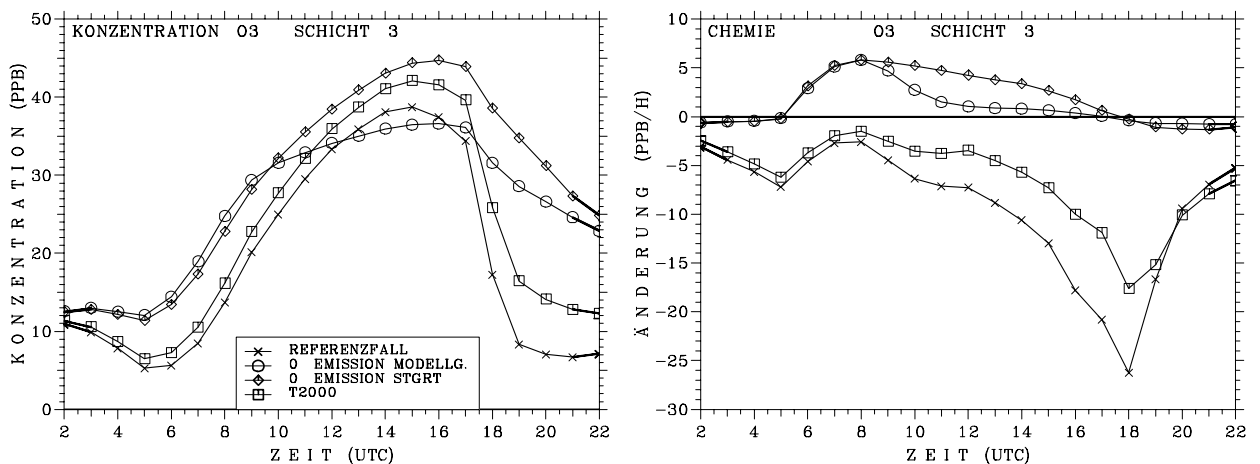


Abb. 4 Tagesgang der O₃-Konzentration (links) und der stündlichen Änderung des Beitrages der chemischen Umwandlung (rechts) an der O₃-Bilanz in der bodennahen Schicht 3 über dem Ballungsgebiet Stuttgart

Der vertikale turbulente Transport ist im unteren Teil der Grenzschicht für beide Szenarien der dominante Produktionsterm von Ozon (Abb. 2). Im Vergleich mit dem Referenzfall verringert

sich allerdings bei Szenario 2 der positive Beitrag der Diffusion an der Ozonbilanz in Bodennähe (Abb. 2, Abb. 3). Der Grund für den reduzierten Anteil des turbulenten Vertikaltransports ist ein geringerer vertikaler Gradient der Ozonkonzentration, denn zum einen wird das bodennahe Ozon durch den Mangel an NO während der Nacht nicht oder nur wenig abgebaut, so daß die Ozonkonzentration bereits bei Sonnenaufgang höher ist als im Referenzfall (Abb. 3, Abb. 4). Die dann sofort einsetzende chemische Produktion (Abb. 3, Abb. 4) läßt sie dann in Bodennähe noch weiter ansteigen. Zum anderen führt die abgeschwächte chemische Produktion in der Schicht 2 über dem Boden zu einem deutlich verringerten Anstieg der Ozonkonzentration. Dies ist aus den Abbildung 5 zu ersehen, die für das Ballungsgebiet Stuttgart den Tagesgang der O₃-Konzentration und die stündlichen Änderungen des Beitrages der Chemie zur Ozonbilanz in der Schicht 2 zeigt. Im Referenzfall sind die vertikalen Gegensätze zwischen der bodennahen Schicht und der darüberliegenden Mischungsschicht für den Ballungsraum Stuttgart und die Region im Lee der Stadt stärker ausgeprägt als im ländlichen Gebiet um Freudenstadt. Daher fällt für das Szenario 2 in den zuerst genannten Regionen die Verringerung des positiven Beitrags der vertikalen Diffusion deutlicher aus (Stuttgart 40%, Leeregion 24%, Freudenstadt 16%, Abb. 2). Im Referenzfall ist in den nicht-städtischen Gebieten die Deposition der herausragende Verlustprozess (Abb. 2, links). Im Ballungsgebiet Stuttgart tragen chemische Umwandlungen und die Deposition zu gleichen Teilen zum Verlust von Ozon bei. Im Fall abgeschalteter Emissionen dominiert allerdings auch in dieser Region die Deposition als Verlustmechanismus. Es fällt auf, daß im Raum Stuttgart und im Lee der Stadt beim Szenario 2 die zeitintegrierte Deposition größer ist als im Referenzfall. Die Ursache dafür ist die deutlich erhöhte Konzentration in den Nacht- und Morgenstunden (Abb. 3, Abb. 4). Am Tage ist die Konzentration geringer als im Referenzfall und es ergibt sich auch eine geringere Deposition. Aber im Zeitintegral bleibt eine Verstärkung des Ozonverlustes durch Deposition. In der Region Freudenstadt dagegen wird im Szenario 2 geringfügig weniger deponiert als im Szenario 1 (Abb. 2, oben). Der Grund ist, daß in dieser Region die Zunahme der Deposition in der Nacht weniger stark ist als in den beiden anderen Regionen und die geringere Deposition am Tage die Zunahme in der Nacht wieder ausgleicht. Im Referenzfall ergibt die Summe aus turbulentem Vertikaltransport und Deposition einen Nettozuwachs von Ozon in der bodennahen Schicht (Abb. 2, links), der im Raum Stuttgart am stärksten ist (163 ppb). Im Fall abgeschalteter Emissionen wird dagegen in allen drei Regionen die bodennahe Produktion von Ozon aufgrund des turbulenten Vertikaltransport aus der höheren Schicht durch trockene Deposition überkompensiert. Dadurch ergibt sich im Gegensatz zum Referenzfall ein Nettoverlust durch diese beiden Prozesse von 19 ppb bis 22 ppb (Abb. 2, rechts). Es wurde bereits erwähnt, daß unter der Annahme abgeschalteter Emissionen in allen Regionen Ozon in der bodennahen Schicht chemisch produziert wird. Diese Produktion setzt

aufgrund vorhandener Vorläufersubstanzen gleich nach Sonnenaufgang ein und führt zu einem Anstieg der Ozonkonzentration (Abb. 3, Abb. 4). Sie verringert sich aber bereits ab 08:00 UTC zunehmend, da keine Vorläufersubstanzen mehr durch Emissionen nachgeliefert werden. Sie kann daher den im Vergleich zum Referenzfall geringeren turbulenten Transport nicht ausgleichen. Das bedingt eine schwächere Zunahme der Ozonmasse und somit eine Abschwächung des Anstiegs der Ozonkonzentration, woraus eine Reduktion des Maximums der Ozonkonzentration am Nachmittag resultiert. Diese beträgt im Ballungszentrum Stuttgart und in seinem Lee etwa 2 ppb (Abb. 3, Abb. 4), in der Region Freudenstadt sinkt das Ozonmaximum um 5 ppb ab.

2.2 Massenbilanzen in der Schicht 2 (60m bis 1600m über Grund)

Chemische Produktion von Ozon findet vornehmlich in der Schicht 2 oberhalb der Bodenschicht statt. Dies ist beispielhaft aus Abb. 5 zu ersehen, die für die Region Stuttgart neben dem Tagesgang der Konzentration auch die tageszeitliche Veränderung der stündlichen Konzentrationsänderung von Ozon durch chemische Prozesse zeigt.

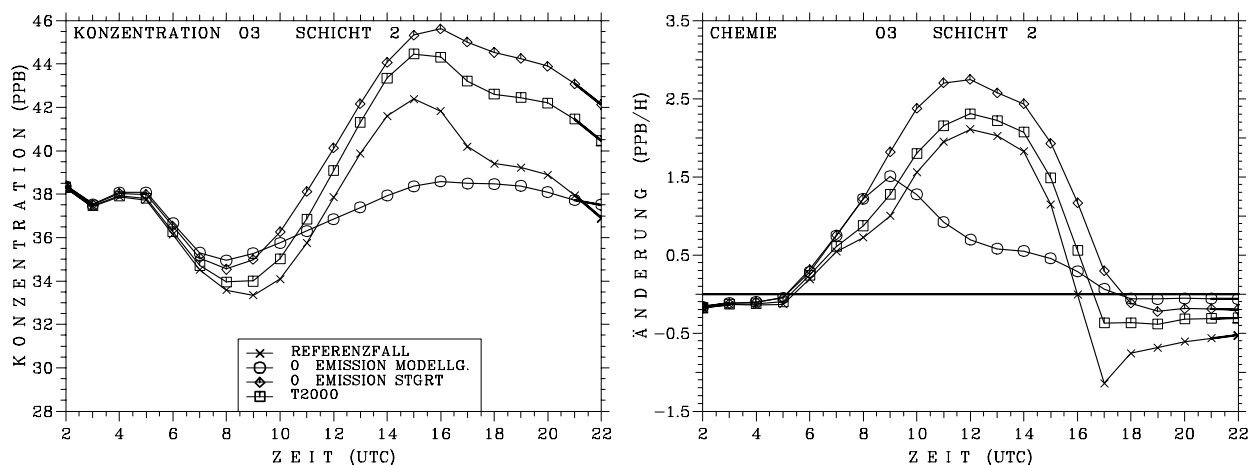


Abb. 5: Tagesgang der **O3-Konzentration** (links) und der **stündlichen Änderung des Beitrages der chemischen Umwandlung** (rechts) an der O₃-Bilanz in Schicht 2 über dem Ballungsgebiet Stuttgart

Die Zunahme der Masse wird durch chemische Umwandlung von Ozonvorläufern (NO_x und VOC) verursacht, die in der bodennahen Schicht emittiert und anschließend durch turbulente Diffusion nach oben transportiert werden. Im Fall ohne anthropogene Emissionen werden allerdings nur noch sehr geringe Mengen der Vorläufersubstanzen aus dem unteren Niveau in die höhere Schicht transportiert, so daß die chemische Produktion in der Schicht 2 deutlich zurückgeht. Dennoch ändert sich im Vergleich zum Referenzfall am Abend die Ozonkonzentration in der höheren Schicht kaum (Abb. 5, links). Über dem Ballungszentrum Stuttgart (und das gilt auch für die Region im Lee der Stadt) findet der Ausgleich in der Chemie selbst statt (Abb. 5, rechts). Im Referenzfall wird ab 17:00 UTC Ozon titriert, so daß die höhere

Ozonkonzentration des Tages nahezu auf ihren Anfangswert sinkt. Im Fall der abgeschalteten Emissionen ist die Titration dagegen nur sehr gering und die Ozonkonzentration bleibt im wesentlichen auf dem niedrigen Niveau des Tages.

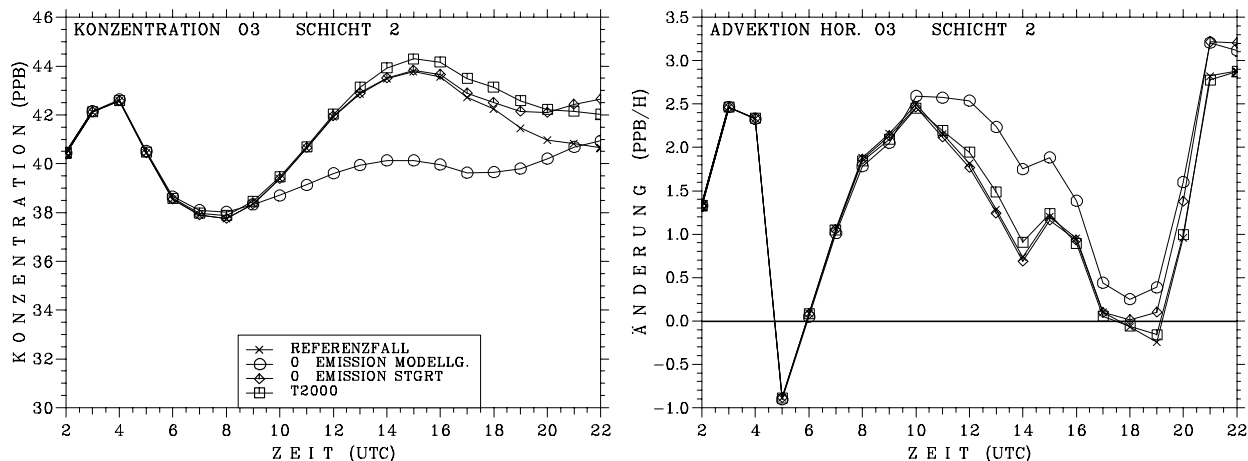


Abb. 6: Tagesgang der **O₃-Konzentration** (links) und der **stündlichen Änderung des Beitrages der horizontalen Advektion** (rechts) an der O₃-Bilanz in der Schicht 2 über dem Gebiet Freudenstadt

Über der Region Freudenstadt nimmt die Konzentration von O₃ im Fall von Szenario 2 sogar wieder etwas zu (Abb. 6, rechts), obwohl auch hier am Abend, wenn auch nur in geringem Maße, Ozon chemisch abgebaut wird. Die Hauptursache ist eine Nettozunahme des positiven Beitrags der horizontalen Advektion (Abb. 6, rechts), die wiederum dadurch bedingt ist, daß im Fall von Szenario 2 wegen des niedrigeren Ozonniveaus weniger Masse horizontal aus dem Gebiet heraus transportiert wird als im Referenzfall.

3. Vergleich der Massenbilanzen des Referenzfalles mit anderen Szenarien

Das Abschalten aller Emissionen im ganzen Modellgebiet ist die einzige der betrachteten Maßnahmen, die im Sinne einer kurzfristigen Emissionsminderung zu einer Reduktion der Ozonmaxima führt. Sowohl das lokale Abschalten der anthropogenen Emissionen im Großraum Stuttgart als auch das als Kurzfristmaßnahme benutzte Trendszenario T2000 führen in Stuttgart (Abb. 4) und im Lee der Stadt (Abb. 3) zu einer Erhöhung der maximalen Ozonwerte von 4 ppb bis ca. 6ppb. Werden im Ballungszentrum lokal die Emissionen abgeschaltet (Szenario 3), dann wechselt im Vergleich zum Referenzfall der Beitrag der Chemie das Vorzeichen und es wird von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang chemisch Ozon produziert. Der Grund dafür ist, daß Ozonvorläufer in gleicher Menge wie im Referenzfall horizontal in den Raum Stuttgart transportiert werden und dort zur Ozonproduktion beitragen. Dieser chemischen Produktion wirkt aber nur eine schwache Titration von Ozon entgegen, die aber im Referenzfall wegen der hohen NO-Emissionen im Stadtgebiet sehr viel stärker ist, so daß Netto kein Ozon durch chemische Prozesse produziert wird. Auch für das Trendszenario T2000 steigt das Maximum

der Ozonkonzentration an, allerdings nicht so hoch wie im Szenario 3. Die Ursache dafür ist im wesentlichen die Abschwächung der Titration von Ozon. Es wird zwar in der bodennahen Schicht auch im Fall T2000 über den ganzen Tag Ozon chemisch abgebaut, aber nicht in dem Ausmaß wie im Referenzfall. Im Lee der Stadt Stuttgart sind die Verhältnisse ähnlich. In Bodennähe verringert sich für die Szenarien 3 und 4 der Verlust von Ozon durch chemische Prozesse. Im Laufe des Vormittags wird sogar Ozon produziert (Abb. 3). Bis etwa 08:00 UTC unterscheiden sich die Ozonkonzentrationen für die beiden Minderungszenarien nicht. Danach steigt die Konzentration für den Fall des lokalen Abschaltens aller anthropogenen Emissionen im Raum Stuttgart stärker als im Fall T2000 und sie erreicht auch ein höheres Maximum. Dies ist in einem verstärkten turbulenten Transport von Ozon aus der höheren Schicht 2 begründet. In dieser Schicht steigt für beide Szenarien die Ozonkonzentration aufgrund erhöhter chemischer Produktion, stärker allerdings unter der Annahme, daß im Raum Stuttgart alle Emissionen abgeschaltet werden.

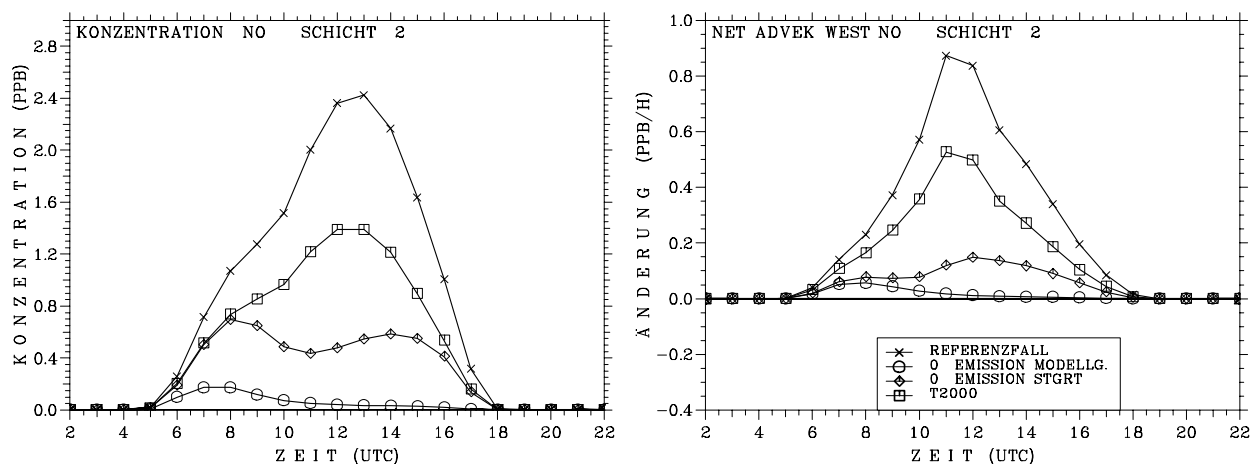


Abb. 7: Tagesgang der **NO-Konzentration** (links) und der stündlichen Änderung des Nettobeitrages der horizontalen NO-Advektion (**rechts**) am westlichen Rand der Schicht 2 über der Region im Lee von Stuttgart

Ein Blick auf den advektiven Fluß über die Grenzfläche zwischen dem Gebiet Stuttgart und der Leere region läßt erkennen, daß ein erheblicher Anteil des NO über der bodennahen Schicht der Leere region aus Stuttgart stammt. Werden in Stuttgart alle anthropogenen Emissionen abgeschaltet, dann wird weniger NO horizontal in die Leere region transportiert (Abb. 7, rechts) und die NO-Konzentration nimmt dort ab (Abb. 7, links). Als Folge daraus wird weniger Ozon abgebaut. In der Region Freudenstadt, in der die Emissionen des Referenzfalles schon sehr gering sind (Tab. 1), machen sich die Minderungsmaßnahmen der Szenarien 3 und 4 tagsüber nur unwesentlich bemerkbar. Während des Tages befindet sich Freudenstadt im Luv der Stadt Stuttgart, da der bodennahe Wind aus West bis Nordwest weht. Erst am Nachmittag, nachdem der Wind auf östliche bis südöstliche Richtungen gedreht hat, kommt Freudenstadt unter den Einfluß der Emissionen der Stadt Stuttgart. Da diese reduziert sind, fällt die Titration von Ozon

am Abend schwächer aus als im Referenzfall, so daß die Ozonkonzentration am Ende des Tages auch in der Region Freudenstadt deutlich höher ist als zu Beginn (ca. 7 ppb im Fall T2000, 8 ppb im Fall des Abschaltens aller Emissionen im Gebiet Stuttgart).

4. Zusammenfassung

Anhand von Massenbilanzrechnungen mit dem Modellsystem KAMM/DRAIS wurden die Auswirkungen von unterschiedlichen Emissionsminderungsmaßnahmen, für die eine Dauer von einem Tag angenommen wurde, auf die Ozonkonzentrationen in der ländlichen Region Freudenstadt, im Ballungszentrum Stuttgart und im Lee von Stuttgart untersucht. Von allen betrachteten Fällen führte nur die Annahme, daß alle anthropogenen Emissionen auf der regionalen Skala des gesamten Modellgebietes vollständig abgeschaltet werden zu einer Reduzierung der Ozonmaxima. Die Verringerung der Maximalwerte liegt im wesentlichen an der geringeren Zunahme von Ozon durch turbulente Vertikaltransporte, die im Vergleich mit dem Referenzfall im Raum Stuttgart um 40%, in der Region Freudenstadt um 16% und im Lee von Stuttgart um 24% niedriger liegt. Eine realistischere Maßnahme (T2000), bei der Reduzierungen der NO_x-Emissionen von 36%, der VOC- und CO-Emissionen von 54% bzw. 62% im ganzen Modellgebiet unterstellt wurden, führte dagegen zu einem Anstieg der Maximalwerte der mittleren bodennahen Ozonkonzentrationen, die im Ballungszentrum Stuttgart und im Lee der Stadt etwa 4 ppb beträgt. Als drastische lokale Maßnahme wurde noch das Abschalten aller anthropogenen Emissionen im Ballungsgebiet Stuttgart unterstellt. Erwartungsgemäß führte dies zu einem Anstieg der Ozonwerte im Stadtgebiet selbst. Aber auch im Lee der Stadt lag das Konzentrationsniveau von Ozon über dem des Referenzfalles. Bezogen auf die herrschende meteorologische Situation und die vorgegebenen Bedingungen haben die Untersuchungen gezeigt, daß lokale und regionale Emissionsminderungen, die nur kurzfristig ergriffen werden, nicht dazu geeignet sind, das vorherrschende Ozonniveau weiter zu reduzieren. Sie bewirken genau das Gegenteil; die Maximalwerte der Ozonkonzentrationen steigen an. Es muß aber betont werden, daß diese Folgerung nicht von allgemeiner Gültigkeit ist. Unter Verwendung des Trendszenarios T2000 und der weiterführenden Maßnahme M2000 errechnen Obermeier et al. (1995) im Lee von Emissionsgebieten am Nachmittag einen Rückgang der Ozonkonzentrationen von bis zu 12 ppb. Allerdings wurden die Untersuchungen von Obermeier et al. für einen typischen Photosmogtag im Sommer mit beobachteten Ozonwerten oberhalb von 90 ppb und mit Temperaturen von über 30 °C sowie unter anderen Strömungsbedingungen durchgeführt. Ihre Ergebnisse sind daher mit denen der hier beschriebenen Massenbilanzanalyse nicht direkt vergleichbar. Aus den unterschiedlichen Ergebnissen der Arbeiten wird aber auch die Komplexität des Problems einer Ozonreduzierung ersichtlich.

5. Literatur

- ADRIAN, G., F. FIEDLER (1991): Simulation of Unstationary Wind and Temperature Fields over Complex Terrain and Comparison with Observations. - *Contr. Atmos. Phys.*, **64**, 27-48.
- BAER, M., K. NESTER (1992): Parametrization of Trace Gas Dry Deposition Velocities for a Regional Mesoscale Diffusion Model. - *Ann. Geophysicae*, **10**, 912-923.
- HASS, H (1991): Description of the EURAD Chemistry-Transport-Model Version2 (CTM2) - *Mitteilungen aus dem Inst. f. Geophys. u. Meteorol., Universität zu Köln*, **83**, pp. 100.
- NESTER, K., F. FIEDLER (1992): Modeling of the Diurnal Variation of Air Pollutants in a Mesoscale Area. - *Proceedings of the 9th World Clean Air Congress, Montreal, Vol.5, Paper-No. IU-16C.02.*
- OBERMEIER, A., R. FRIEDRICH, C. JOHN, J. SEIER, H. VOGEL, F. FIEDLER, B. VOGEL (1995): PHOTOSMOG - Möglichkeiten und Strategien zur Verminderung des bodennahen Ozons. - *ECOMED Verlagsgesellschaft, Landsberg*, pp. 188.
- PANITZ, H.-J., K. NESTER, F. FIEDLER (1995): Bestimmung der Massenbilanzen chemisch reaktiver Luftschadstoffe in Baden-Württemberg. - *Forschungszentrum Karlsruhe, FZKA-PEF 130*, 239-249.
- PANITZ, H.-J., K. NESTER, F. FIEDLER (1996a): Mass Balances and Interactions of Budget Components of Chemically Reactive Air Pollutants over the Federal State of Baden-Württemberg (Germany). S. 89-97 - in: *Air Pollution Modeling and its Application XI*, 709 S., Plenum Press, New York and London, (1996).
- PANITZ, H.-J., K. NESTER, F. FIEDLER (1996b): Bestimmung der Massenbilanzen chemisch reaktiver Luftschadstoffe in Baden-Württemberg. - *Forschungszentrum Karlsruhe, FZKA-PEF 142*, 255-266.
- PANITZ, H.-J., F. FIEDLER, K. NESTER (1997): Bestimmung der Massenbilanzen chemisch reaktiver Luftschadstoffe in Baden-Württemberg - Untersuchungen für die Region Freudenstadt-Stuttgart, - *Forschungszentrum Karlsruhe, FZKA-PEF, 153*, 207-219.
- SCHWARTZ, A. (1996): Numerische Simulationen zur Massenbilanz chemisch reaktiver Substanzen im mesoskaligen Bereich. - *Wiss. Berichte des Inst. f. Met. u. Klimaforsch. der Universität Karlsruhe*, **20**, 203 S..