

Umwelt

Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft und Feinstaub

Christoph Spirig und Albrecht Nefel, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8046 Zürich
Auskünfte: Christoph Spirig, E-Mail: christoph.spirig@art.admin.ch, Fax +41 44 377 72 01, Tel. +41 44 377 75 14

Zusammenfassung

Ammoniak (NH_3) reagiert in der Atmosphäre mit Salpetersäure und Schwefelsäure zu Salzen, welche sich an vorhandene Partikel anlagern oder selber neue Partikel bilden und so massgeblich zum Feinstaub in der Luft beitragen. Die Säuren werden hauptsächlich aus Vorläufersubstanzen gebildet, die aus Verkehr, Industrie und Haushalten stammen. Im Gegensatz dazu stammt Ammoniak zu über 90 % aus der Landwirtschaft. Da Ammoniak ein sehr leichtes Molekül ist, trägt es nur etwa 10 % zur Masse des Feinstaubes bei. Es ist aber bei einem wesentlich grösseren Prozentsatz der Feinstaubmasse an der Bildung mitbeteiligt. Eine Verminderung des Ammoniakausstosses scheint deshalb eine wirkungsvolle Massnahme gegen die Belastung der Luft durch Feinstaub zu sein. Es gibt aber keine 1:1-Beziehung zwischen der Reduktion der Ammoniakemission und jener von Feinstaub. Das Verhältnis wird durch zwei Faktoren deutlich verschlechtert: Erstens tragen sekundäre anorganische Aerosole nur etwa 40 % zur gesamten Feinstaubmasse bei und zweitens sind in der Schweiz die bodennahen Luftschichten mit Ammoniak gesättigt. Unsere Modellresultate zeigen, dass bei einer Reduktion der aktuellen Ammoniakemission um 10 % nur gerade eine Reduktion des Feinstaubes um 0,5 % resultiert. Bei grösseren Reduktionen nimmt dieser Prozentsatz zu: Eine Abnahme der Ammoniakemission um 50 % bewirkt eine Feinstaubreduktion von 3 bis 10 %.

Die hohe Feinstaubbelastung im vergangenen Winter und die dadurch ausgelösten öffentlichen Debatten haben klar gemacht, dass die Luftverschmutzung in der Schweiz nach wie vor ein aktuelles Thema ist. Im Interesse der allgemeinen Gesundheit

müssten die Feinstaubwerte unter den Immissions-Grenzwert der Luftreinhalteverordnung gesenkt werden.

Im Verlauf der zeitweise hitzig geführten Debatte wurden auch die Emissionen von Ammoniak

(NH_3) als wichtige Ursache für die Feinstaubbelastung bezeichnet und deren Reduktion als Erfolg versprechende Massnahme zur Verminderung von Feinstaub ins Spiel gebracht. Eine substantielle Verminderung der NH_3 -Emissionen ist gleichzeitig ein Ziel, um die übermässigen Einträge von Stickstoff in naturnahe Ökosysteme zu verringern und damit unter die kritischen Eintragungsmengen zu bringen. Die Schweiz hat sich im Rahmen des UNECE Göteborger Protokolls zu einer Reduktion der NH_3 -Emissionen bis zum Jahr 2010 um 13 % gegenüber 1990 verpflichtet (Kasten Internationale Übereinkommen). Die Reduktionen gemäss Göteborger Protokoll sind aber nur ein Etappenziel, denn die Emissionen müssten um 40 bis 50 % gesenkt werden, um die Stickstoffeinträge grossflächig auf unbedenkliche Werte zu bringen. Die Verminderung der NH_3 -Emissionen um 40 bis 50 % wurde deshalb auch vom Bundesrat als langfristiges Ziel übernommen (Bundesrat 1999).

Seit längerer Zeit wird an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) untersucht, wie stark die Feinstaubbelastung durch Emissionsreduktionen des Vorläufers NH_3 vermindert wird. Es wurde abgeklärt, ob mit der Vermeidung von Ammoniakemissionen im Rahmen des Göteborger Protokolls auch Synergie-Effekte zur Feinstaubminderung entstehen.

Internationale Übereinkommen zur Verminderung von Luftverunreinigungen

Die Genfer Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverschmutzung (LRTAP) wurde von der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) ausgearbeitet und ist seit 1983 in Kraft. Sie wurde von 45 europäischen Staaten (darunter die Schweiz) sowie von Kanada und den USA ratifiziert. Ziel des Abkommens ist es, die schädlichen Auswirkungen der Luftverunreinigung auf ein Mass zu reduzieren, dass sie die Gesundheit von Mensch und Umwelt nicht mehr gefährden.

Acht Zusatzprotokolle regeln die Emissionsbegrenzungen für Schwefel, Stickoxide (NO_x), Ammoniak, flüchtige organische Verbindungen (VOC), Schwermetalle sowie persistente organische Schadstoffe. Das Protokoll von Göteborg ist das neuste dieser Zusatzprotokolle und trat im Dezember 2005 in Kraft. Es handelt sich um die erste Vereinbarung, die gleichzeitig mehrere Schadstoffe begrenzt und sich dabei auf deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme abstützt. Es geht darum, flüchtige organische Verbindungen und Stickoxide (die Vorläufersubstanzen von Ozon) sowie Ammoniak und Schwefel zu reduzieren. Damit sollen Ozon, sekundärer Feinstaub, Versauerung und übermässige Stickstoffeinträge in sensitive Ökosysteme verringert werden. Durch die Umsetzung des Göteborger Protokolls sollten sich in Europa bis 2010 die Emissionen der Vorläufersubstanzen von Ozon (NO_x und VOC) gegenüber 1990 um je 40 % und von Ammoniak um 17 % verringern.

Primärer und sekundärer Feinstaub

Feinstaub besteht aus flüssigen oder festen Partikeln, die so klein sind, dass sie in der Luft schweben und nur sehr langsam sedimentieren. PM10 (PM = particulate matter) ist definiert als derjenige Anteil, der aus Partikeln mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm besteht. Feinstaub wird eingeteilt in primäre und sekundäre Partikel. Als primäre Partikel werden direkt ausgestossene Teilchen bezeichnet. Beispiele sind der Dieseleruss, Abrieb von Strassen oder die Aufwirbelung von Staub, was auch bei Erntevorgängen geschieht. In den vom BAFU publizierten Zahlen wird etwas mehr als ein Drittel land- und forstwirtschaftlichen Quellen zugeschrieben (BAFU 2005).

Sekundäre Partikel entstehen in der Atmosphäre durch Umwandlung aus gasförmigen Vorläufern. Beispiele für diese Vorläufer sind Stickoxide (NO und NO₂ = NO_x), Schwefeldioxid (SO₂), NH₃ und flüchtige organische Verbindungen (englisch: Volatile Organic Compounds, VOCs). Sie reagieren in der Atmosphäre zu teilweise schwerflüchtigen Produkten, die sich an bereits vorhandenen Partikeln anlagern oder neue Partikel bilden. Während Stickoxide und Schwefeldioxid zu über 90 % aus Industrie, Gewerbe, Verkehr und Haushalten stammen, trägt die Landwirtschaft bei den Ammoniakemissionen die Hauptverantwortung; 94 % der NH₃-Emissionen in der Schweiz stammen aus der Landwirtschaft (Reidy und Menzi 2005). Bei den VOC-Emissionen stammen rund zwei Drittel aus Industrie, Gewerbe, Verkehr und Haushalten, der Rest aus der Biosphäre. Die biogenen VOC-Emissionen sind naturgemäss im Sommerhalbjahr viel höher als im Winterhalbjahr.

Die sekundären Partikel machen einen wichtigen Teil des Feinstaubes aus. Ein Drittel bis zur Hälfte von PM10 wird sekundär gebildet (Hüglin *et al.* 2005; Putaud *et al.* 2004). Zur Verminderung von sekundärem Feinstaub müssen die Vorläuferemissionen reduziert werden.

Ammoniak und Feinstaubbildung

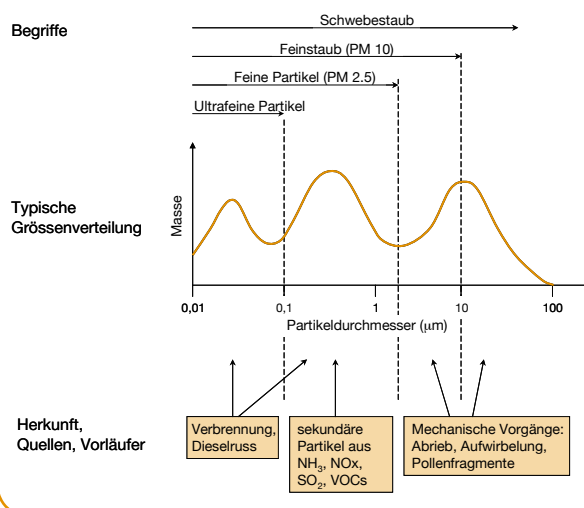
NH₃ nimmt unter den anorganischen Vorläufern von sekundären Partikeln eine Schlüsselrolle ein. Es ist das einzige basische Spurengas von Bedeutung und neutralisiert in der Atmosphäre die starken Säuren H₂SO₄ (Schwefelsäure) und HNO₃ (Salpetersäure) unter Bildung der Salze Ammoniumsulfat (NH₄)₂SO₄ und NH₄HSO₄ und von Ammoniumnitrat (NH₄NO₃). Die Säuren entstehen in der Atmosphäre aus der Oxidation von Schwefeldioxid und Stickoxiden. Bei diesem Prozess spielt Ammoniak ebenfalls eine wichtige Rolle, weil er die Umwandlung von SO₂ zu Sulfaten stark beschleunigen kann (Eatough *et al.* 1994).

Schwefelsäure ist schwerflüchtig und wird bei genügendem Angebot von NH₃ vollständig neutralisiert. Überschüssiges NH₃ steht für die Bildung von NH₄NO₃ aus dem gasförmigen Partner HNO₃ zur Verfügung. In der Schweiz ist die Teilchenkonzentration von NH₃ in der Luft meistens höher als diejenige der starken Säuren H₂SO₄ und HNO₃.

Im Gegensatz zu Ammoniumsulfat ist NH₄NO₃ leicht flüchtig. Es steht in einem Gleichgewicht mit HNO₃ und NH₃, welches stark temperaturabhängig ist. Bei tiefen Temperaturen liegt mehr in Partikeln in der Form von NH₄NO₃ vor, bei wärmeren Temperaturen mehr in der Gasphase als NH₃ und HNO₃.

Was ist Feinstaub?

Feinstaub besteht aus verschieden grossen und unterschiedlich zusammengesetzten Partikeln. Verschiedene Begriffe werden verwendet, um die Partikel nach ihrer Grösse zu klassieren. Die Darstellung zeigt eine typische Grössenverteilung von Partikeln in der Luft und deren Quellen.



Auf den ersten Blick scheinen Reduktionen von NH₃ ein wirksames Mittel zur Reduktion der sekundären Partikelbildung zu sein, weil damit nicht nur das Ammonium, sondern auch die damit verbundenen Nitratanteile vermindert werden können. Ob die Partikelmenge stark oder nur unterproportional auf Änderungen der NH₃-Menge reagiert, hängt aber davon ab, in welchem Verhältnis NH₃ zu den sauren Reaktionspartnern vorliegt.

Bildung von Ammoniumnitrat

Die prinzipielle Wirkungsweise soll am einfachsten möglichen System erläutert werden: In einer reinen Mischung aus gasförmigem NH₃ und HNO₃ stellt sich in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchtigkeit ein Gleichgewicht mit partikulärem

Abb. 1. Schema der sekundären Partikelbildung durch Reaktionen von Ammoniak, Schwefelsäure und Salpetersäure zu Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat.

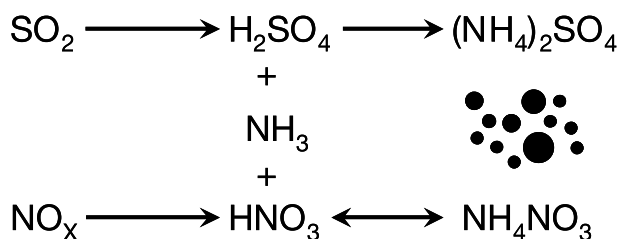
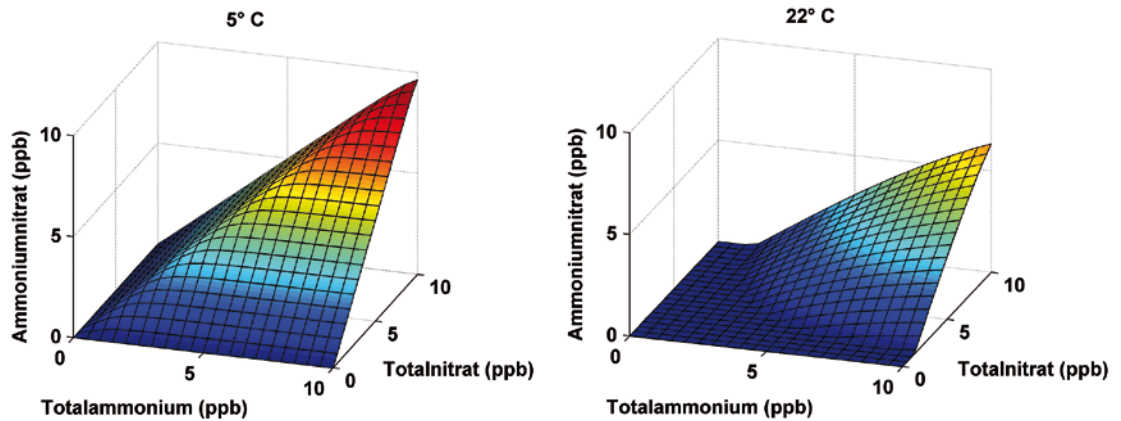


Abb. 2. Das Gleichgewicht zwischen NH_3 , HNO_3 und NH_4NO_3 ; Partikuläres NH_4NO_3 in Abhängigkeit von Totalammonium (Summe NH_3 und NH_4^+) und Totalnitrat (Summe HNO_3 und NO_3^-) bei zwei Temperaturen; ppb = part per billion.



NH_4NO_3 ein. In Abbildung 2 ist die Gleichgewichtskonzentration von NH_4NO_3 in Abhängigkeit von Totalammonium (TA = Summe gasförmiges NH_3 plus partikuläres NH_4^+) und Totalnitrat (TN = Summe gasförmiges HNO_3 plus partikuläres NO_3^-) dargestellt. Bei höheren Temperaturen wird deutlich weniger NH_4NO_3 gebildet als bei tieferen. Bei Kälte liegt fast die ganze Menge TA und TN als partikelförmiges NH_4NO_3 vor, während unter wärmeren Bedingungen ein grosser Anteil von TA und TN gasförmig als NH_3 und HNO_3 vorkommt.

Wird NH_3 aus dem System entfernt, so wird TA reduziert, während TN unverändert bleibt. Es stellt sich ein neues Gleichgewicht mit weniger NH_4NO_3 ein. Die Veränderung des partikulären NH_4NO_3 als Folge von

TA-Reduktionen ergibt deshalb die Sensitivität des Systems auf Änderungen der NH_3 -Menge. Abbildung 3 zeigt vier Beispiele mit zwei unterschiedlichen Mengen von TN für zwei verschiedene Temperaturen. Oben ist jeweils die Sensitivität als Massenänderung NH_4NO_3 pro Massenänderung TA angegeben. Sie drückt also aus, wie viel Partikelmasse bei einer Verminderung von TA reduziert werden kann. Wie Abbildung 3 zeigt, ist die Empfindlichkeit auf TA-Änderungen je nach Situation sehr unterschiedlich. Je mehr TA vorhanden ist, desto kleiner wird die Sensitivität: Das System wird mit Ammoniak «gesättigt». Bei tiefen Temperaturen ist die Sensitivität entweder sehr gross oder verschwindend klein, je nachdem ob das System mit Ammoniak untersättigt

oder mit Ammoniak gesättigt ist. Bei höheren Temperaturen ist der Übergang zwischen diesen beiden Regimes weniger abrupt. Selbst bei mit Ammoniak gesättigten Verhältnissen bewirkt eine Reduktion von TA eine NH_4NO_3 -Reduktion. Bei sehr tiefen TA-Konzentrationen wird der Punkt erreicht, wo das gesamte Ammonium und Nitrat gasförmig als NH_3 und HNO_3 vorliegt, kein NH_4NO_3 mehr vorhanden ist. Dieser Fall kommt in der Schweiz kaum vor.

Bereits in diesem stark vereinfachten System gibt es deshalb sehr unterschiedliche Wirksamkeiten von TA-Reduktionen auf die Partikelbildung. Die Wirklichkeit präsentiert sich aber viel komplexer. Zusätzlich zu den Einflüssen von Temperatur und Nitratgehalt werden die Gleich-

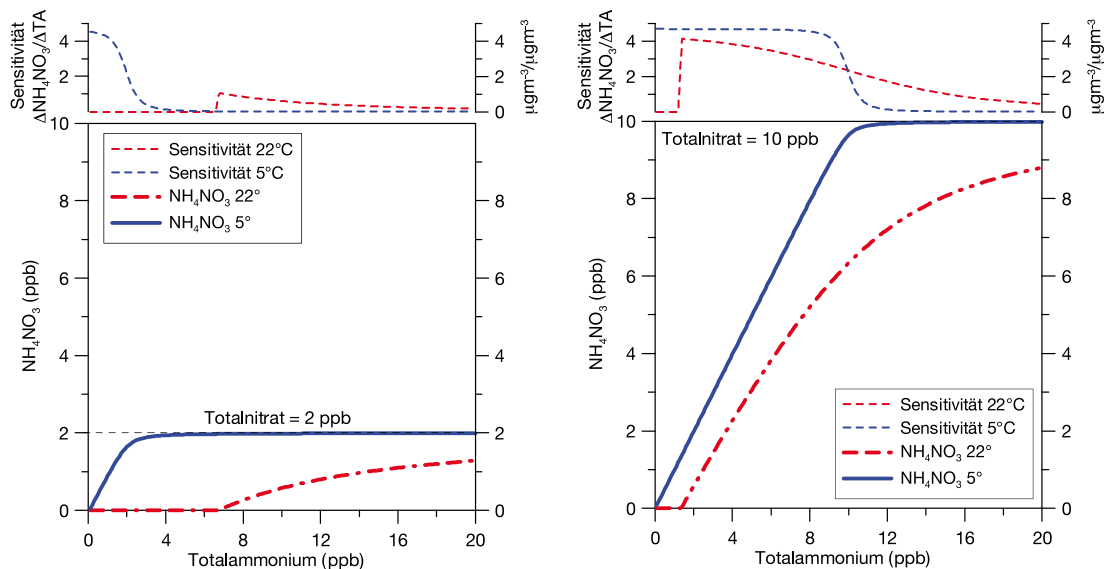


Abb. 3. Die Sensitivität von partikulärem Ammoniumnitrat auf Änderungen der Totalammonium-Menge bei unterschiedlicher Lufttemperatur.

gewichte der anorganischen Aerosolkomponenten vom Gehalt der Schwefelkomponenten und Mineralien sowie von der Luftfeuchtigkeit bestimmt.

Die aktuelle Situation in der Schweiz

Die durchgeführten Untersuchungen stützen sich auf vorhandene Langzeitmessreihen, welche im Rahmen des Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) erhoben wurden. An der NABEL-Messstation in Payerne werden seit einigen Jahren die Summen der gas- und partikelförmigen Komponenten der beteiligten Stickstoff- und Schwefelverbindungen gemessen. Aus diesen Summenmessungen wurden mit einem thermodynamischen Modell (Nenes *et al.* 1998) die Gas- und Partikelanteile von Nitrat und Ammonium, das heisst die Konzentrationen von HNO_3 und NO_3^- sowie NH_3 und NH_4^+ , berechnet. Dabei wurden auch die komplexen Abhängigkeiten der involvierten Gleichgewichte von Feuchtigkeit und Temperatur sowie von den Konzentrationen weiterer anorganischer Reaktionspartner berücksichtigt. Von intensiven Messkampagnen als Teil grösserer internationaler Forschungsprojekte liegen zusätzlich Messungen der Gas- und Aerosolkomponenten vor (Sutton *et al.* 2002). Anhand dieser Daten konnte verifiziert werden, dass das thermodynamische Modell die Gas- und Partikelkonzentrationen ausgehend von den Summenmessungen realitätsnah berechnen kann.

Um den Effekt von NH_3 -Emissionsreduktionen zu untersuchen, wurde im Modell analog zum Beispiel des vereinfachten Systems vorgegangen: Die TA-Menge wurde variiert und alle anderen Grössen wurden auf den gemessenen Werten belassen. Damit konnte die Sensitivität der anorganischen Partikel-

masse auf Veränderungen der TA-Menge berechnet werden. Weil jedes Ammoniummolekül (NH_4^+) ursprünglich als NH_3 freigesetzt wurde, ist diese Sensitivität bereits ein gutes qualitatives Mass für die Empfindlichkeit der Partikelmasse auf Änderungen in der NH_3 -Emission.

Für die Jahre 2004 und 2005 wurden diese Sensitivitäten anhand der Messungen von Payerne für jeden Tag berechnet. Abbildung 4 zeigt die Änderungen der Partikelmasse als Folge von verschiedenen Szenarien der TA-Menge (Box-Whisker-Darstellung). Auf der linken Seite ist die berechnete Abnahme der anorganischen Partikelmasse gezeigt, auf der rechten Seite die entsprechende prozentuale Abnahme. Beispielsweise bewirkt eine 20 %-Reduktion in TA im Median eine Abnahme um $0,2 \mu\text{g}$ pro m^3 oder um 1,9 % der anorganischen Partikelmasse. Die Lage der Quartile und der 5- respektive 95-Perzentile machen aber deutlich, dass es auch Tage gibt, an welchen die Wirksamkeit besser ist. Allgemein sind die Sensitivitäten auf Änderungen des TA-Gehalts gering. Dies ist dadurch bedingt, dass der Nitratgehalt in Payerne meist mit unter 2 ppb (parts per billion) TN niedrig ist und TA im Überschuss vorliegt.

Interpretiert anhand der oben dargestellten vereinfachten Theorie bedeutet das, dass in Payerne meistens ein mit Ammoniak «gesättigtes» Regime herrscht.

TA-Reduktionen werden erst dann wirksam, wenn die Sättigung unterschritten wird. Die Wirksamkeit steigt deshalb mit zunehmenden Reduktionen. Es sind somit starke Verminderungen der Emissionen nötig, um aus dem Bereich der Ammoniak-Sättigung herauszukommen und die Partikelmasse wirksam zu reduzieren. Umgekehrt gilt wegen der aktuellen Sättigung, dass eine Erhöhung der TA-Menge nur eine geringe Partikelzunahme bewirkt.

Payerne kann als repräsentativer Standort für ländliche Verhältnisse im Mittelland betrachtet werden. Gerade in Bezug auf die Ammoniakbelastung nimmt diese Messstation eine mittlere Stellung zwischen sehr hohen und niedrigen Messwerten ein (Thöni und Seitler 2005). Es darf angenommen werden, dass die mittleren Reaktionen der Partikelmasse im Schweizer Mittelland ähnlich ausfallen wie an dieser Messstation.

Wirksamkeit der Ammoniak-Emissionsreduktion

Nachdem die Empfindlichkeit der sekundären Partikelbildung auf Änderungen der TA-Menge bestimmt werden konnte, wurde in einem nächsten Schritt untersucht, wie stark diese durch NH_3 -Emissionsreduktionen beeinflusst wird. Dazu wurden Simulationen mit einem eindimensionalen, atmosphären-chemischen Modell durchgeführt. Die Simulation entsprach einer Luft-

Abb. 4. Auswirkungen von verschiedenen Reduktionsszenarien für Totalammonium auf die anorganische Partikelmasse.

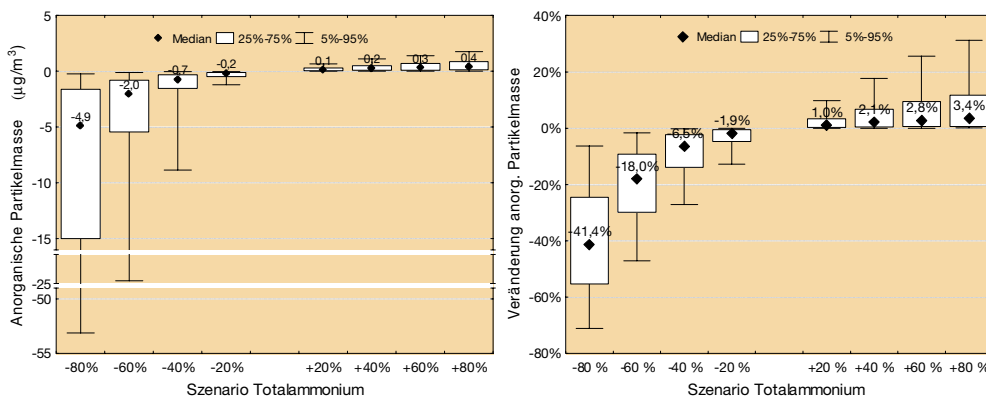


Abb. 5. Modellrechnungen zur Bestimmung der Emissions-Immissionsbeziehungen: Die chemischen Prozesse wurden in einer Luftsäule (links) simuliert, welche über das Schweizer Mittelland zieht (Pfeil).

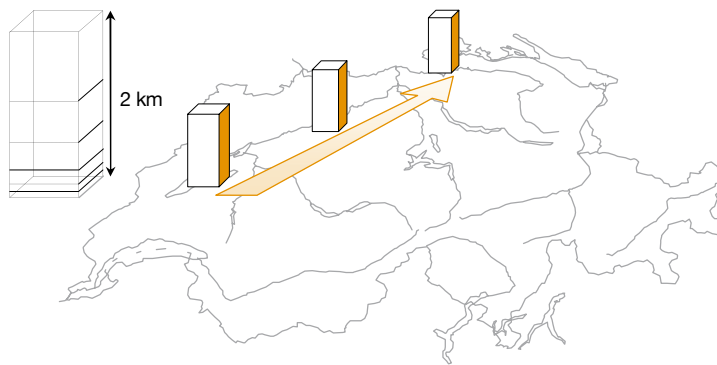


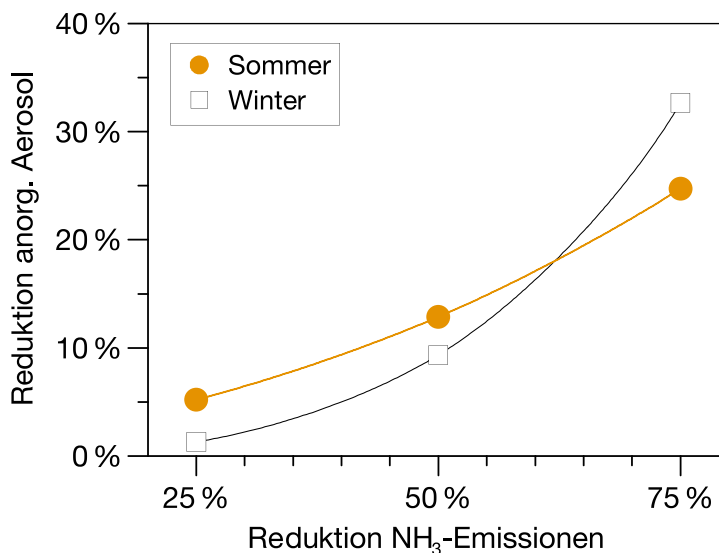
Abb. 6. Das Ausbringen von Gülle mit dem Schleppschlauch hilft die Ammoniakemissionen zu vermeiden. (Foto: Gabriela Brändle, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)



säule, welche sich in zwei Tagen von Westen nach Osten durchs Mittelland bewegt und dabei die typischen Schweizer Emissionen aufnimmt (Abb. 5). In dieser Luftsäule wurden aufgrund realistischer, physikalisch-chemischer Mechanismen die Umwandlungen der Emissionen in die Partikelkomponenten Nitrat, Ammonium und Sulfat simuliert. Damit konnte berechnet werden,

wie sich die TA-Menge in Bezug zur NH_3 -Emissionsreduktion verändert. Es zeigte sich, dass die Reduktion von NH_3 -Emissionen leicht unterproportionale Abnahmen des TA-Gehalts bewirkten. Das bedeutet, dass die Wirksamkeit von NH_3 -Emissionsänderungen auf die anorganische Partikelmasse etwas geringer ausfällt, als die oben bestimmten Sensitivitäten der Par-

Abb. 7. Mittlere Abnahme der anorganischen Partikelmasse im Sommer und Winter in Abhängigkeit verschiedener Emissionsreduktionen.



tikelmasse auf Änderungen im TA. Die wichtigsten Eigenschaften, wie die allgemein niedrige Sensitivität und die zunehmende Wirksamkeit mit grösseren Reduktionen, gelten auch für die NH_3 -Emission.

Folgen der angestrebten NH_3 -Reduktion

Der Bundesrat (1999) hat als langfristiges Ziel formuliert, die NH_3 -Emissionen um 40 bis 50 % (Bezugsjahr 1995) zu reduzieren (Abb. 6). Wenn die NH_3 -Emissionen um 50 % reduziert werden, ist im Jahresmittel eine Abnahme der anorganischen Partikelmasse um 10 % zu erwarten (Abb. 7). Weil die anorganischen Partikel nur etwa die Hälfte des Feinstaubs ausmachen, entspricht dies einer Feinstaubreduktion von 5 %.

Trotz der Schlüsselrolle von Ammoniak in der sekundären Partikelbildung sind Ammoniak-Reduktionen also kein Wundermittel zur Vermeidung von Feinstaub. Wegen der Vielzahl von Quellen für Feinstaub gibt es aber auch sonst keine einzelne Massnahme, welche allein die Belastung deutlich senken könnte. Es braucht eine gemeinsame Reduktion von Ammoniak sowie den anderen Vorläufern, Stickoxide und Schwefel, um den sekundären Feinstaub wirksam zu vermindern. Die Verringerung des Ausstosses von Ammoniak wird deshalb als eine von vielen Massnahmen zur Feinstaubreduktion im Gespräch bleiben.

Viel wirksamer ist die Verringerung von Ammoniakemissionen aber im Hinblick auf die Reduktion des übermässigen Stickstoffeintrags in sensitive Ökosysteme. Der Hauptnutzen von Ammoniak-Reduktionen ist deshalb der Schutz naturnaher Ökosysteme. Die Minderung des Feinstaubes ist ein willkommener Synergieeffekt.

Literatur

■ Bundesamt für Umwelt, 2005. Feinstaub macht krank, 15 S., 2005. Zugang: www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/medien/publikationen/index.html [14.7.2006].

■ Bundesrat, 1999. Bericht über die lufthygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone, Bundesblatt 38, 24 S.

■ Eatough D. J., Caka F. M. & Farber R. J., 1994. The Conversion of SO₂ to Sulfate in the Atmosphere, *Israel Journal of Chemistry*, **34** (3/4), 301-314.

■ Hüglin C., Gehrig R., Baltensperger U., Gysel M., Monn C. & Vonmont H., 2005. Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland. *Atmos. Environ.*, **39** (4), 637-651.

■ Nenes A., Pandis S. N. & Pilinis C., 1998. ISORROPIA: A new ther-

modynamic equilibrium model for multiphase multicomponent inorganic aerosols. *Aquat. Geochem.*, **4** (1), 123-152.

■ Putaud J. P., Raes F., Van Dingenen R., Baltensperger U., Brüggemann E., Facchini M.C., Decesari S., Fuzzi S., Gehrig R., Hansson H.C., Hüglin C., Laj P., Lorbeer G., Maenhaut W., Mihalopoulos N., Müller K., Querol X., Rodriguez S., Schneider J., Spindler G., Ten Brink H., Tørseth K., Wehner B. & Wiedensohler A., 2004. European aerosol phenomenology-2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmos. Environ.*, **38** (16), 2579-2595.

■ Reidy B. & Menzi H., 2005. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neues Emissionsinventar 1990 bis 2000 mit Hochrechnungen bis 2003. Technischer Schlussbericht, SHL Zollikofen, 55 S.

■ Sutton M.A., Milford C., Nemitz E., Theobald M.R., Hargreaves K.J., Fowler D., Schjoerring J.K., Mattsson M.E., Husted S., Erisman J.W., Hensen A., Mosquera J., Otjes R., Jonejon P., Cellier P., Loubet B., David M., Neftel A., Blatter A., Herrmann B., Jones S.K., Horvath L., Weidinger T., Raso J., Meszaros R., Führer E., Mantzanas K., Koukoura Z., Papanastasis V., Gallagher M., Dorsey J.R., Flynn M., & Riedo M., 2002. Biosphere-atmosphere interactions of ammonia with European Grasslands, Final Synthesis report. Zugang: www.cara.ceh.ac.uk/Graminae/graminae.html [14.7.2006].

■ Thöni L. & Seidler E., 2005. Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000-2004. Zugang: www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/medien/publikationen/index.html [14.7.2006].

RÉSUMÉ

Emissions agricoles d'ammoniac et les particules fines

Dans l'atmosphère, l'ammoniac réagit avec l'acide nitrique et l'acide sulfurique pour former des sels volatils. Ces derniers peuvent contribuer de manière significative aux poussières fines atmosphériques en adhérant à des particules existantes ou en formant de nouvelles particules. Les acides sont produits principalement à partir de précurseurs émis par le trafic routier, l'industrie et les habitations. Par contraste, l'ammoniac provient à environ 90 % de sources agricoles. L'ammoniac étant une molécule légère, il ne constitue que 10 % de la masse particulaire totale, mais il contribue en revanche à la production d'une fraction beaucoup plus élevée des particules. Les mesures visant à réduire les émissions d'ammoniac apparaissent à première vue comme des leviers efficaces pour limiter la charge particulaire atmosphérique. Cependant, il n'y a pas de relation 1:1 entre la réduction des émissions d'ammoniac et la réduction des concentrations ambiantes de particules. L'efficacité est considérablement réduite par deux facteurs: premièrement les aérosols secondaires ne contribuent qu'à raison d'environ 40 % de la masse particulaire totale, et deuxièmement les couches atmosphériques inférieures en Suisse sont sursaturées en ammoniac. Notre analyse démontre qu'une réduction de 10 % des émissions d'ammoniac n'entraînerait qu'une baisse de 0,5 % de la charge particulaire. Ce pourcentage augmenterait avec une baisse de 50 % des émissions d'ammoniac, ce qui entraînerait une réduction de 3 à 10 % des concentrations en particules.

SUMMARY

Agricultural ammonia emissions and particulate matter

In the atmosphere, ammonia reacts with nitric and sulphuric acid and produces low volatile salts. These can significantly contribute to particulate mass by either partitioning onto existing particles or building new particles. The acids are mainly produced from precursors arising from traffic, industry and households. In contrast, ammonia originates by about 90 % from agricultural sources. As ammonia is a very light molecule, it only contributes around 10 % of the particulate mass, but it is involved in the production of about 40 % of the particle mass. Therefore, ammonia emission controls appear to be an effective way to reduce particulate matter. However, there is no 1:1 relation between the reduction of ammonia emissions and the reduction of ambient particulate matter. The effectiveness is significantly reduced by two factors: firstly secondary inorganic aerosols only account for 40 % of total particulate mass and secondly the boundary layer air in Switzerland is over-saturated with ammonia. Our analyses demonstrate that a 10 % reduction of ammonia emissions only results in a 0.5 % decrease of particulate matter. Larger reductions are more effective, a 50 % reduction of ammonia emissions yields about a 3 to 10 % decrease in particulate matter.

Key words: Ammonia, particulate matter, secondary aerosol formation, ammonium nitrate