

NO_x eller kvælstofoxider er betegnelsen for de kvælstofholdige gasser, der dannes ud fra luftens frie kvælstof (N₂) i forbindelse med forbrændingsprocesser ved høj temperatur. NO_x består af to gasser: kvælstofmonooxid (NO) og kvælstofdioxid (NO₂). Kvælstofoxider har negative effekter på sundhed, natur og klima. Hvor NO anses for uskadelig ved de niveauer man kan finde i udemiljøet, så kan NO₂ være til stor gene for allergikere og folk med luftvejssygdomme. Endvidere bidrager NO_x til dannelsen af sundhedsskadelige partikler, som kan medvirke til en lang række negative sundhedseffekter som fx hjerte-kar sygdomme, luftvejssygdomme, sukkersyge og kræft.

De mest artsrige økosystemer er meget følsomme over for den luftbårne tilførsel af kvælstof. I Danmark har mere end halvdelen af de mest følsomme økosystemer en afsætning af kvælstof fra luften, som overstiger det, som man anser de kan tåle, og ca 50% af denne tilførsel kommer fra NO_x-udledninger. Konsekvensen er et skift mod økosystemer med mindre artsrigdom, det vil sige færre dyre- og plantearter.

NO_x bidrager til dannelsen af partikler i luften. Luftens indhold af partikler spiller en stor rolle for vores klima. Partikler bidrager til skydannelse, og skyer kan reflektere solens stråler og holde på jordens varmestråling. De små partikler kan desuden selv reflektere solens stråler.

HVOR KOMMER KVÆLSTOFOXIDER FRA?

Alle forbrændingsprocesser ved høj temperatur fører til dannelse af NO_x. Kilder i det udedørs miljø, er især vejtrafik, industri og kraftværker, mens fx et almindeligt stearinlys kan føre til betydelige NO_x koncentrationer inde i boligen. Udledningerne fra vejtrafik, industri og kraftværker begrænses i dag fordi der er indført forskellige former for katalysatorer, der kan reducere NO_x tilbage til uskadeligt frit kvælstof (N₂). Når energiforbruget i samfundet stiger, så vil det alt andet lige øge udledningerne af NO_x. Imidlertid har stigende miljøkrav og forbedret teknologi

Grænseværdier for NO_x og NO₂ i EU's luftkvalitetsdirektiv.

Stof	Grænseværdi	Midlingstid	Statisk	Beskyttelse af	Skæringsdato
NO ₂	200	1 time	18 gange pr. år	Mennesker	2010
NO ₂	40	-	gennemsnit år	Mennesker	2010
NO _x	30	-	gennemsnit år	Mennesker	2010

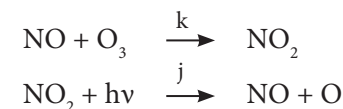
Videnskabeligt set tager vurdering af belastningen af NO_x et givet sted udgangspunkt i serier af målinger af luftens indhold af NO_x. Denne information kombineres med indsamlede data om vejret, som er styrende for kemisk omdannelse, transport og spredning. Når man har målinger af luftforurening, vejrdata samt forståelse af de styrende processer, kan man opstille matematiske modeller til beregning af forurening, der hvor målinger af luftforureningen ikke er til rådighed. Dataindsamling, modellering og en teoretisk forståelse af forholdene udvikles hele tiden i en indbyrdes vekselvirkning, hvor konkrete måleresultater kan give anledning til ny forståelse, som indarbejdes i modeller. Fx kan man konstatere, at NO₂ er kommet til at udgøre en større andel den samlede udledning af NO_x fra vejtrafikken inden for de seneste 10-15 år. Det er målt i Danmark og i en række andre europæiske byer; og reelt har der været problemer med at overholde EU's grænseværdier for NO₂. Årsagerne til disse ændringer blev studeret gennem forsknings- og udredningsprojekter og resultaterne blev indarbejdet i modeller for udledningen fra vejtrafikken. Dette er et eksempel på, at der er brug for at kunne forklare måleresultaterne for derefter at kunne give politikerne det bedste tænkelige grundlag for at kunne beslutte, hvordan der kan reguleres og skabes forbedringer.

gennem de seneste 3 årtier ført til en betydelig reduktion i såvel danske som europæiske udledninger af NO_x.

Fordelingen mellem NO og NO₂ i udledningerne fra vejtrafikken har ændret sig gennem årene. I 1990'erne udgjorde NO mere end 95 % og NO₂ mindre end 5 % af udledningerne af NO_x. Brug af 3-vejs katalysatorer på benzinkøretøjer giver op mod 80 % reduktion af de samlede NO_x udledninger, men samtidig forskydes fordelingen mod en højere andel af NO₂. Dieselskøretøjer har generelt stor NO₂ andel, og i de seneste 15-20 år er der sket en betydelig stigning i andelen af dieselskøretøjer.

Transport, omdannelse og afsætning af NO_x

NO_x har en opholdstid i atmosfæren på ca. 24 timer. Det betyder, at det kan transporteres over flere hundrede km, inden det enten omdannes til andre stoffer eller afsættes på overfladen. Størstedelen af de danske udledninger af NO_x transporteres ud af landet inden de omdannes eller afsættes, og Danmark tilføres NO_x fra udlandet. NO og NO₂ indgår i en serie af kemiske reaktioner. De to hurtigste reaktioner er NO's reaktion med O₃ (ozon) samt spaltning af NO₂ ved sollys (såkaldt fotolyse), som bl.a. gendanner NO. Kemisk skrives dette som:



Hvor hv repræsenterer en foton (sollys), og k og j er konstanter for hvor hurtigt omdannelsen finder sted. I den sidste reaktion vil O hurtigt gendanne O₃ ved at reagere med luftens O₂. Disse to reaktioner forløber hurtigt frem og tilbage mange gange i nærheden af kilderne i fx et byområde. Den videre omdannelse er til gengæld langsom (ca. 5 % i timen) og fører til omdannelse af NO₂ til salpetersyre (HNO₃). Salpetersyre reagerer med ammoniak (NH₃) og danner nye partikler eller sætter sig meget hurtigt på jordoverfladen eller på eksisterende partikler i luften. Dermed bidrager NO_x til sundhedsskadelige partikler i luften, der kan transporteres over mere end 1000 km i atmosfæren.

De meteorologiske forhold er styrende for niveauerne af NO_x i Danmark. Når det blæser kraftigt sker der en hurtig fortynding af forureningen fra vejtrafikken. Samtidig vil forureningen hurtigt blive transporteret væk. I den situation aftager koncentrationerne af NO_x i området. Ved vindretninger fra syd og sydøst bliver der transporteret bl.a. NO_x forurening til Danmark fra kildeområder på det europæiske kontinent. Den største forurening i byen vil dog forekomme ved lave vindhastigheder, hvor der kun sker en langsom fortynding af forureningen fra den lokale vejtrafik. Høj forurening kan derfor forekomme på kolde vinterdage, hvor det kan være næsten vindstille.

HVAD STYRER LUFTENS INDHOLD AF NO_x?

Det er vigtigt at forstå, at **udledning** og **koncentration** er to forskellige ting. Fortynding, kemisk omdannelse og transport er sammen med udledningerne styrende for luftens indhold af luftforurening. Står man i et lukket gaderum med tæt trafik, så vil trafikken i selve gaden bidrage til hovedparten af luftforureningen. Hvor høj koncentrationen bliver, afhænger af vinden og af den turbulens bilerne skaber. Jo mere vind og jo højere kørselshastighed, jo mindre koncentration, og omvendt fører lav vind og lav kørehastighed til høje koncentrationer. NO₂ er den sundhedsskadelige del af NO_x. Jo mere ozon (O₃), der transporteres ind i gaden, jo mere NO vil omdannes til sundhedsskadelig NO₂. Ofte vil det være ozon, som er begrænsende for koncentrationen af NO₂.

Transporteret forurening giver tilførsel af NO_x fra udenlandske kilder samt fra skibstransport, der bidrager væsentligt til den regionale forurening. Tabellen viser intervaller for koncentrationen af årsmiddelværdier. Enkelte timer kan koncentrationen

Intervaller for årsmiddelkoncentrationen af NO_x og NO₂ ved land, bybaggrund og gadestationer i perioden 2000- 2015.

Stof	Land (regionalt)	Forstad	bybaggrund	Gade
NO _x	10 - 13	13 - 16	25 - 45	75 - 175
NO ₂	8 - 11	11 - 13	15 - 25	30 - 40

Målinger i µg/m³.

være betydeligt højere og bidraget fra skibstrafik eller kilder i udlandet kan kortvarigt være meget betydelig. Skibstrafik bidrager med ca. 14 % af udledningerne af NO_x, og dette bidrag har været i stigning. Derfor er der fokus på at regulere skibes udledninger.

PROFESSIONELLE MÅLINGER

Målinger er ressourcekrævende og gennemføres derfor kun på et begrænset antal målestationer. I Danmark måles luftforurening på nogle faste målestationer, som er placeret på landet, i bybaggrund (over tagniveau eller i parker) og i trafikerede bygader. Målingerne fra disse **målestationer** bruges til at vurdere de forskellige bidrag til forureningen. Det vil sige, hvor meget forurening der kommer fra trafikken i den enkelte gade, hvor meget der kommer fra byområdet, og hvor meget der kommer fra fx udenlandske kilder. Der foretages en række målinger af partikler og gasser, og målingerne foretages så de overholder EU's regler for overvågning af luftkvalitet. Det betyder, at der skal anvendes bestemte instrumenter, og at instrumenterne løbende skal testes efter nøje fastlagte procedurer. Målingerne kræver dyrt udstyr og meget arbejdskraft. Som et supplement til målingerne foretages beregninger med matematiske **modeller**. Modellerne giver mulighed for at sige noget, om koncentrationerne på steder, hvor der ikke måles, og de giver informationer om bidraget fra forskellige kilder og kildeområder. De kan også anvendes til at forudse udviklingen i fremtiden. Prognosen er resultatet af beregninger med en serie af modeller: en meteorologisk prognosemodel, en langtransportmodel for forureningen på hele den nordlige halvkugle, en model for bybaggrundsforurening, samt en model for spredning af forurening i den enkelte bygade.

NO_x-STUDIER OG VURDERINGER I FELTEN

Det er vanskeligt og ressourcekrævende (dyrt) at skaffe udstyr til feltmålinger af NO_x i gaderne. Derfor kan feltundersøgelser med fordel tage udgangspunkt i databaser og undersøgelser af NO_x-udledningerne i de byer og bydele, der studeres. I felten kan oplysningerne så kombineres med andre iagttagelser. På den baggrund kan man nå frem til en fagligt begrundet vurdering af NO_x-belastningerne i forskellige konkrete byrum.

Feltstudierne må omfatte: 1. systematiske beskrivelser af de konkrete byrum, der undersøges for NO_x-belastninger (gaderumets bredde, længde og højde samt dets orientering i fht. vindens retning, vil fx være relevant). 2. systematisk beskrivelse af rejsituationen (luftfugtighed, vindhastighed og retning, solindstråling). 3. registrering af hvilke kilder til NO_x-forurening, der findes i i lokalområdet, fx kan det være relevant at studere trafikken og registrere antal personbiler, busser og lastbiler (specielt årsdøgnstrafik og tungtrafikandel er vigtige parametre). De oplysninger kan kombineres med viden om køretøjernes gennemsnitlige NO_x-belastning

DATA OG LITTERATUR

I overvågningsprogrammet for de danske byer måles der på time eller halvtimesbasis i gadeniveau, bybaggrund (over tagniveau eller i parker) og ude på landet (regionale baggrundsstationer). Bybaggrundsstationerne har en meteorologisk mast, hvor centrale parametre som vindhastighed, vindretning, globalstråling, luftfugtighed og temperatur måles på timebasis <http://www.dmu.dk/luft/maaling/>. Luftkvalitetsdata anvendes blandt andet til vurdering af overskridelser af EU's grænseværdier. Måledata af luftkvalitet fra det danske luftovervågningsprogram kan udtrækkes fra de officielle databaser på AU-ENVS hjemmeside (<http://www.dmu.dk/Luft/Maaling>). Desuden gives beskrivelser af målestationerne, hvilke målinger der foretages, og hvordan der måles.

Luftkvalitetsmodeller supplerer målingerne med beregninger. På AU-ENVS-hjemmesiden findes beskrivelser af de anvendte modeller. Modelberegningerne giver prognoser for luftkvaliteten over de nærmeste dage, og information om forureningsbidragene fra forskellige kildeområder. På http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_miljoe-tilstand/3_luft/4_udsigt/default.asp kan man finde en prognose for de kommende 3 døgn.

Hertel, O. m.fl., Clean Air in Denmark - Dedicated efforts since 1970 - Challenges, Solutions and Results., Roskilde, Denmark 2015. http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Oevrige_udgivelser/Clean_Air_web.pdf

Jes Fenger and Jens Christian Tjell (Eds): Air Pollution - From local to global importance, pp 488, RSC Publishing & Polyteknisk Forlag 2009. <http://www.rsc.org/shop/books/2009/9781847558657.asp>



Faglig bidragsyder: Ole Hertel, professor Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet, adjungeret professor ved Roskilde Universitet.
Thomas Ellermann seniorforsker Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet. - juni 2016

dansk byplan
laboratorium

Redaktør: Pernille Ehlers, Rødovre Gymnasium
Layout: Tor-Olof Johansson, Dansk Byplanlaboratorium



Tilskud fra undervisningsministeriets udlokningsmidler



NO_x FORURENING
BYENS LUFTSTRØMME