

NILU: OR 22/2003
REFERANSE: O-101126
DATO: DESEMBER 2003
ISBN: 82-425-1443-7

Forurensning som funksjon av avstand fra vei

**Målinger på RV159 Nordby-sletta
v/Skårer vinteren 2001-2002, og
sammenligning med VLUFT**

Leif Otto Hagen, Steinar Larssen, Sam Erik Walker

Innhold

	Side
Innhold	1
Sammendrag	3
1 Innledning	5
2 Måleprosjektet	6
2.1 Stedsbeskrivelse	6
2.2 Måleprogram	7
2.3 Oversikt over resultatene	9
2.3.1 Trafikk	9
2.3.2 Meteorologiske forhold	13
2.3.3 Luftkvalitet	14
3 Målte avstandsfunksjoner	20
3.1 De 20 høyeste netto timemiddelverdiene av NO _x , NO ₂ og PM ₁₀	21
3.2 De 5 høyeste netto døgnmiddelverdiene av NO _x , NO ₂ og PM ₁₀	27
4 Målte avstandsfunksjoner i forhold til KONTILENK/VLUFT	33
4.1 Avstandsfunksjonen i VLUFT	33
4.2 Målinger i forhold til VLUFT	35
4.3 Sammenligning med resultater fra andre studier	39
5 Konklusjoner og anbefaling	42
6 Referanser	43
Vedlegg A Konsentrasjoner og forholdstall for NO_x, NO₂ og PM₁₀ (nettoverdier) for de 20 høyeste timemiddelverdiene og de 5 høyeste døgnmiddelverdiene på RV1.	45
Vedlegg B Spredning i bymessige strøk kontra landlige forhold uten bebyggelse	53
Vedlegg C Spredning fra vei, med NO-NO₂-O₃-kjemi	61

Sammendrag

Et omfattende måleprosjekt for å studere forløpet av forurensning som funksjon av avstand fra vei er gjennomført ved RV159 i Lørenskog. Undersøkelsen er finansiert av Vegdirektoratet og NILU i fellesskap, og er gjennomført av NILU. Målet er å gi grunnlag for forbedring av de spredningsmodeller og beregningsverktøy for forurensning langs veier som benyttes i Norge, og gi bidrag til nordisk forskning på dette feltet.

Målingene ble gjennomført i perioden desember 2001-april 2002, og omfattet NO_x, NO₂, PM₁₀ og O₃. Målestedet er representativt for veier i flatt, homogent terreng med relativt høy kjørehastighet. Måleresultatene er sammenlignet med resultater fra beregningsmodellene KONTILENK/VLUFT som brukes av NILU til studier og vurdering av veinær forurensning i Norge.

Målingene har gitt svært verdifulle resultater på avstandsavhengigheten for forurensning ved veier i flatt, homogent terreng med høy kjørehastighet (80-90 km/h).

Målt forurensning avtok mindre raskt enn beregnet med KONTILENK/VLUFT. Flere årsaker til dette er identifisert, som gir grunnlag for forbedringer av modellen ved denne type veier.

Tilsvarende målinger bør utføres ved vei i mer bymessige områder, for å teste modellene også for slike forhold.

Resultatene gir grunnlag for følgende anbefalinger, når det gjelder modifikasjoner i VLUFT:

1. Bilturbulens og initialspredning som funksjon av kjørehastighet, samt kobling med atmosfærisk stabilitet i kombinasjon med bakkeruheten, innarbeides i spredningskurvene i VLUFT. Det tilstrebes å utforme spredningskurver som velges ut for kjørehastighet, tungtrafikkandel og sone.
2. NO-O₃-reaksjonen modifiseres i VLUFT, slik at det NO₂-tillegget den gir beregnes som funksjon av avstanden.
3. Variasjonsområdet for ozon i by-bakgrunnsluften studeres nærmere, og nødvendige modifikasjoner innføres.
4. Avstandsmålinger søkes utført for en vei tettbygd strøk.

Forurensning som funksjon av avstand fra vei

Målinger på RV159 Nordby-sletta v/Skårer vinteren 2001-2002, og sammenligning med VLUFT

1 Innledning

Forurensningen langs veier avtar som funksjon av avstanden fra veikant. Beregninger av hvordan konsentrasjonen avtar med avstanden er teoretisk – empirisk basert, dvs. det er formler i spredningsmodeller som er brukt. I Norge er det tidligere utført målinger av avstandsavhengigheten spesifikt bare et sted, langs flyplassveien i Bergen i 1994-96, som en del av modellutviklingsprogrammer. Da ble det kun målt døgnverdier av PM10 i to avstander fra veien i en 2-månedersperiode (Haugsbakk, 1994).

Vegdirektoratet og NILU har nå gjennomført et prosjekt for å få mer kunnskap om hvor fort konsentrasjonene avtar med avstanden fra veier. Utgangspunktet var at resultatene skal si mest mulig om de generelle forholdene langs vanlige veier under nordiske forhold, slik at resultatene også kan benyttes som et vitenskapelig grunnlag i felles nordisk forskningsarbeid om forurensning fra veitrafikk.

Prosjektmålet er å lage formler for avstandsavhengigheten for timeverdier og døgnverdier av NO_x, NO₂, PM_{2.5} og PM10. Formlene skal kunne inngå i spredningsmodeller brukt for nordiske forhold, ved at det gjennomføres et måleopplegg av tilstrekkelig omfang på ett godt utvalgt sted. Formlene skal lages på bakgrunn av eksisterende kunnskap og de nye dataene prosjektet samler inn.

En var klar over at for å få et generelt grunnlag, kreves målinger ved flere typer veier/omgivelser. Denne type målinger er kostbare å gjennomføre (3-4 målestasjoner med flere instrumenter i flere måneder). Denne rapporten gir resultatene fra målingene utført på det målestedet som ble valgt, Nordby-sletta på RV159 i Lørenskog nordøst for Oslo, i løpet av en 4-månedersperiode vinteren 2001-2002.

Det viste seg vanskelig å finne egnede målesteder for slike målinger. Det må kunne plasseres 2-3 målestasjoner på en side av veien i avstander ca. 5-50 meter (nedvindstasjoner) samt en oppvindstasjon (bakgrunnstasjon) på et sted som representerer forurensningen ved veien, om veien ikke hadde vært der.

Skårer-sletta er et egnet sted på de fleste måter. Stedet ligger imidlertid ikke i et, spredningsmessig sett, bymessig område med mange bygninger som gir spredningsforhold ved bakken som er typisk i byer. Stedet representerer spredningsforhold som en har over relativt flatt, homogent terreng.

De spredningsmodeller som er innbygd i VLUFT (Larssen et al., 1993) og andre beregningsprogram som NILU vanligvis bruker for beregning av forurensning ved veier i byer, representerer spredning nettopp i bymessige områder.

Målingene ved et sted som Nordby-sletta gir verdifull kunnskap, men de spredningsmessige forhold må trekkes inn i vurderinger og konklusjoner.

2 Måleprosjektet

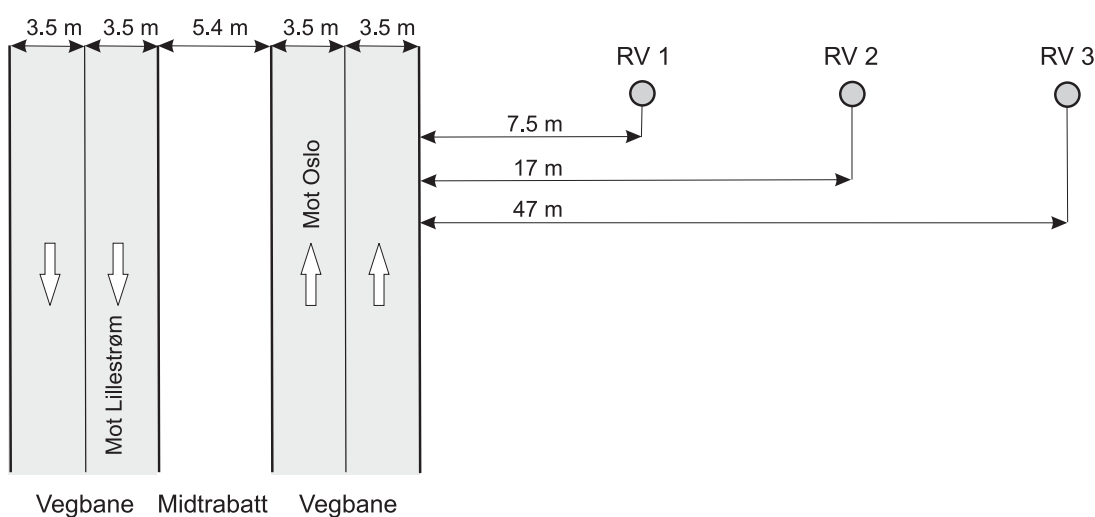
2.1 Stedsbeskrivelse

Målingene ble utført ved Riksvei 159 i Lørenskog kommune. Tre målestasjoner var plassert på nordsiden av veien ved MANs bilforretning, som ligger omtrent midt på en ca. 800 m lang slette mellom påkjøringen fra Fjellhamar og Knattenkrysset. Plasseringen er vist på kartet og skissen i Figur 1 De tre stasjonene (RV1, RV2, RV3) var plassert henholdsvis 7,5 m, 17 m og 47 m fra kanten av høyre kjørefelt i retning mot Oslo.

Den meteorologiske stasjonen var plassert ved målested RV2.

Bakgrunnsstasjonen RV4 var plassert på gården Torshov ca. 350 m fra riksveien og på andre siden av denne i forhold til de andre stasjonene. Påvirkningen fra veien er svært liten på dette stedet. Bakgrunnsdata er nødvendige da det er nettobidraget fra trafikken på veien som skal bestemmes og hvordan dette avtar med avstanden fra veien. Ved vindretninger fra veien mot målestasjonene RV1, RV2 og RV3 er RV4 godt representativ for forurensningen i "bakgrunns"-lufta som kommer inn mot veien. Bakgrunnsbidraget til de målte konsentrasjonene antas derved å være det samme på de tre stasjonene ved veien som de målte konsentrasjonene på bakgrunnsstasjonen.

Området der målingene ble utført er flatt, og det er ikke bygninger i nærheten som kunne påvirke spredningen av utslippene fra trafikken i retning fra veien mot de tre veinære målestasjonene. Den lange sletta gjør også at trafikkavviklingen vanligvis er meget god og varierer lite fra dag til dag. Kø oppstår antagelig svært sjelden. Kjørehastigheten er som oftest rundt eller i overkant av skiltet hastighet på 90 km/t.



Figur 1: Plassering av de veinære målestasjonene for luftkvalitet (RV1, RV2, RV3), bakgrunnsstasjonen (RV4) og tellepunktet for trafikk.

2.2 Måleprogram

Målingene omfattet nitrogenoksider (NO , NO_x , NO_2), svevestøvpartikler med aerodynamisk diameter under $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}), ozon (O_3) og meteorologiske forhold. Tabell 1 viser måleprogrammet i detalj. Alle fire stasjonene hadde målinger av nitrogenoksider, mens svevestøv ble målt ved RV1, RV2 og RV4. I en periode ble det målt svevestøv ved RV3 i stedet for ved RV2. Grunnen til dette var at det ikke var nok tilgjengelige svevestøvmonitører til å dekke alle stasjonene.

Tabell 1: Måleprogram ved riksvei 159 i Lørenskog (ved MAN-bilforretningen). Bakgrunnsstasjonen var på gården Torshov ca. 350 m fra Rv 159. Målingene ble utført i perioden desember 2001-april 2002.

Parameter	Midlingstid	RV1 7,5 m	RV2 17 m	RV3 47 m	RV4 Bakgrunn
NO	Time	21.12.-15.4.	21.12.-15.4.	21.12.-15.4.	21.12.-15.4.
NO _x	Time	21.12.-15.4.	21.12.-15.4.	21.12.-15.4.	21.12.-15.4.
NO ₂	Time	21.12.-15.4.	21.12.-15.4.	21.12.-15.4.	21.12.-15.4.
PM ₁₀	Time	21.12.-15.4.	4.1.-19.3.	20.3.-15.4.	
PM ₁₀ og PM _{2,5}	12 timer (07-19)				21.12.-21.3.
PM ₁₀ og PM _{2,5}	12 timer (07-19)				5.4.-11.4.
O ₃	Time				21.12.-15.4.
Meteorologi	Time		1.12.-15.4.		
Instrument-typer:					
NO _x , NO ₂ , O ₃ :		Chemiluminessens (Ref. metode)			
PM ₁₀ time:		R&P TEOM ¹⁾			
PM ₁₀ , PM _{2,5} , 12 timer:		R&P Partisol filterprøvetaker ²⁾			
1) Ikke referansemåte. Data fra denne metoden må korrigeres med en faktor. Sammenligningsmålinger er utført for ulike forhold i Norge, bl.a. vinterforhold i byområder og trafikknære områder i Sør-Norge. Faktoren er enda ikke endelig bestemt, men TEOM kan gi under forhold som på Nordby-sletta opptil ca. 10% for lave verdier. Dataene fra Nordby-sletta er ikke korrigeret.					
2) Ikke referansemåte, men svært lik ref. metoden. Korreksjon skal ikke være nødvendig.					

På bakgrunnsstasjonen RV4 ble det også målt O₃. Dersom det er NO i luften vil denne reagere nesten momentant med tilgjengelig O₃ og danne NO₂ i tillegg til den NO₂ som kommer fra det direkte utslippet fra trafikken. Andelen NO₂ i det direkte utslippet fra trafikken utgjør vanligvis mellom 5% og 15% av NO_x-utslippet (avhengig av andelen tunge kjøretøy på veien). Reaksjonen mellom NO og O₃ vil i perioder gi et større NO₂-bidrag enn det direkte bidraget fra trafikken.

De meteorologiske målingene ved RV2 omfattet vindretning og vindstyrke 10 m over bakken, temperatur og relativ fuktighet 2 m over bakken, samt temperaturdifferansen mellom 10 m og 2 m over bakken. Denne siste parameteren er et mål for den vertikale spredningen i luftlaget nærmest bakken. Den horisontale spredningen bestemmes i hovedsak av vindretning og vindstyrke. Spredningen påvirkes også av den turbulensen som oppstår nær veien på grunn av den høye kjørehastigheten.

Alle luftkvalitetsdata (unntatt svevestøv på RV4) og meteorologiske data ble registrert kontinuerlig og midlet til timemiddelverdier i instrumentenes dataloggere. Dataene ble overført til NILU en gang i døgnet på telelinje. Alle data er kvalitetssikret og lagret i NILUs database.

Svevestøv på RV4 ble samlet på filter 12 timer hver dag, kl. 07-19. Svevestøvmengden ble bestemt ved veiing av filtrene i NILUs laboratorium med NILUs standardiserte og akkrediterte metode.

Statens vegvesen Akershus hadde trafikktegninger i perioden januar-april 2002 på riksvei 159 litt sør for Knattenkrysset, dvs. noe nærmere Oslo enn der luftkvalitetsmålingene ble gjennomført. Det antas at disse målingene også er ganske representative for forholdene ved målestedene for luftkvalitet. Det ble registrert antall biler i 5 ulike klasser (lengde på kjøretøyene) og deres hastighet i hvert av kjørefeltene som vist i Tabell 2. Alle disse dataene er også midlet til timemiddelverdier.

Parallelt med riksveien på sørsiden går det en tofeltsvei som har noe lokaltrafikk, bl.a. til Ahus (Akershus universitetssykehus). Denne trafikken er ikke registrert, men er liten i forhold til trafikken på riksveien.

Tabell 2: Trafikktegninger ved riksvei 159 i Lørenskog. Tellingene ble foretatt i alle kjørefeltene i perioden januar-april 2002.

Kjøretøylengde	Antall biler	Kjørehastighet
< 5,6 m	x	x
5,6-7,5 m	x	x
7,6-12,4 m	x	x
12,5-16 m	x	x
> 16 m	x	x

2.3 Oversikt over resultatene

I dette kapitlet gis det en kort oversikt over hovedresultatene med hensyn til trafikk (mengde og hastighet), meteorologiske forhold (vindretning, vindstyrke og temperatur) og luftkvalitet (NO_x, NO₂, PM₁₀ og O₃).

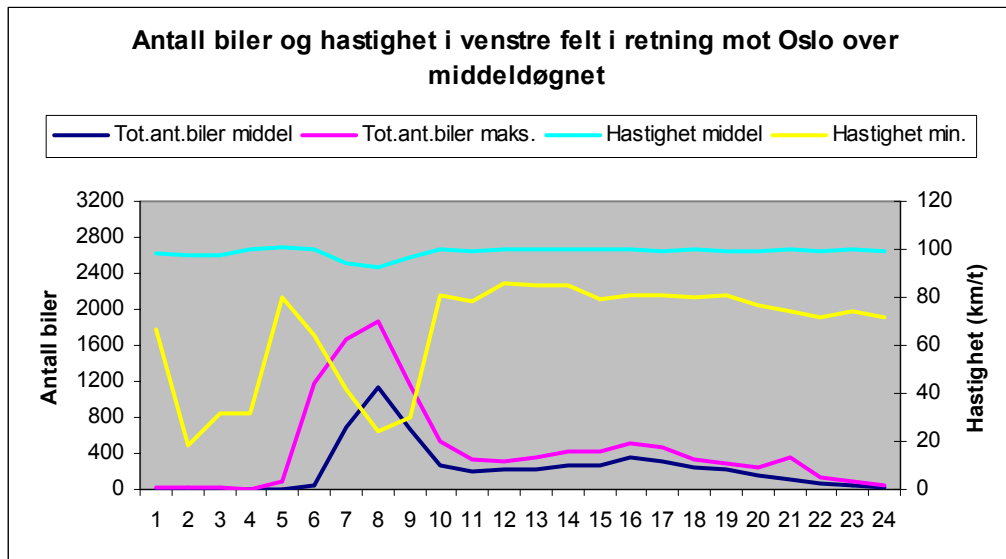
2.3.1 Trafikk

Figur 2-Figur 4 viser antall biler og gjennomsnittlig kjørehastighet for "middeldøgnet" i månedene januar-april 2002. For trafikken i retning mot Oslo, som er nærmest målestasjonene RV1-3, er trafikken vist for hvert av de to kjørefeltene (Figur 2 og Figur 3). Trafikken i retning mot Lillestrøm er vist samlet for de to kjørefeltene i Figur 4.

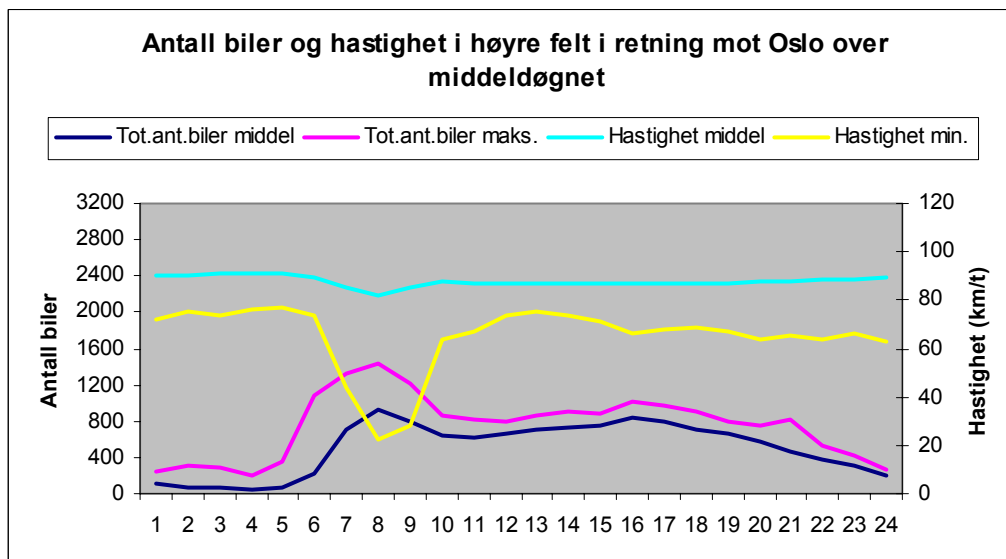
Ikke uventet er det betydelig større trafikk mot Oslo i morgenrushet enn ellers i døgnet. I den mest trafikkerte timen var det i gjennomsnitt godt over 3000 biler. Trafikkavviklingen var imidlertid god. Kjørehastigheten var 80-90 km/t i høyre felt og 90-100 km/t i venstre felt. Skiltet hastighet på stedet er 90 km/t.

I retning mot Lillestrøm var det en tilsvarende trafikktopp om ettermiddagen, med over 3000 biler i den mest trafikkerte timen. Gjennomsnittlig kjørehastighet var vel 90 km/t hele døgnet.

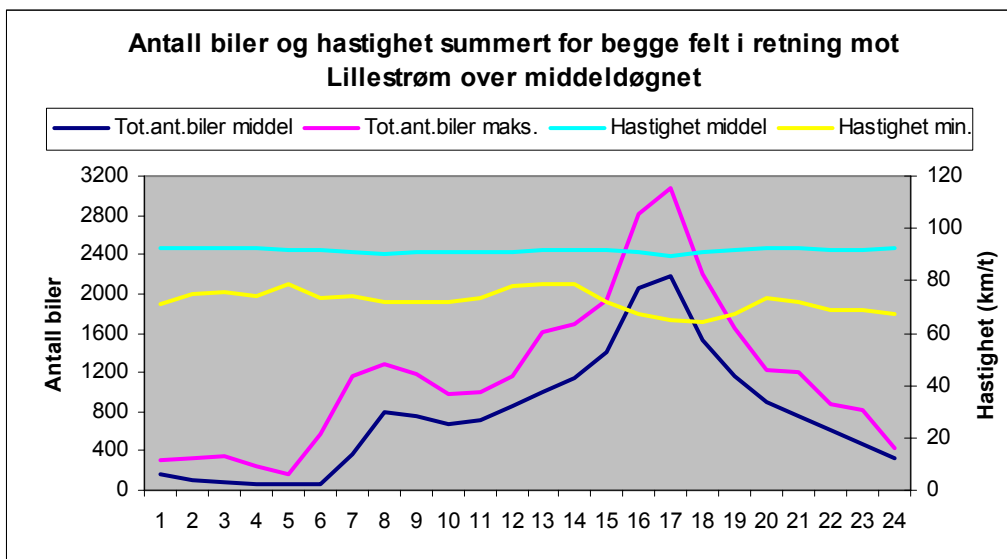
Tilsvarende figurer bare for arbeidsdagene mandag-fredag ville gitt enda større trafikktopper i rushtidene, antagelig over 4000 biler i timen i hver retning.



Figur 2: *Antall biler og hastighet i venstre felt i retning mot Oslo over middeldøgnet.*

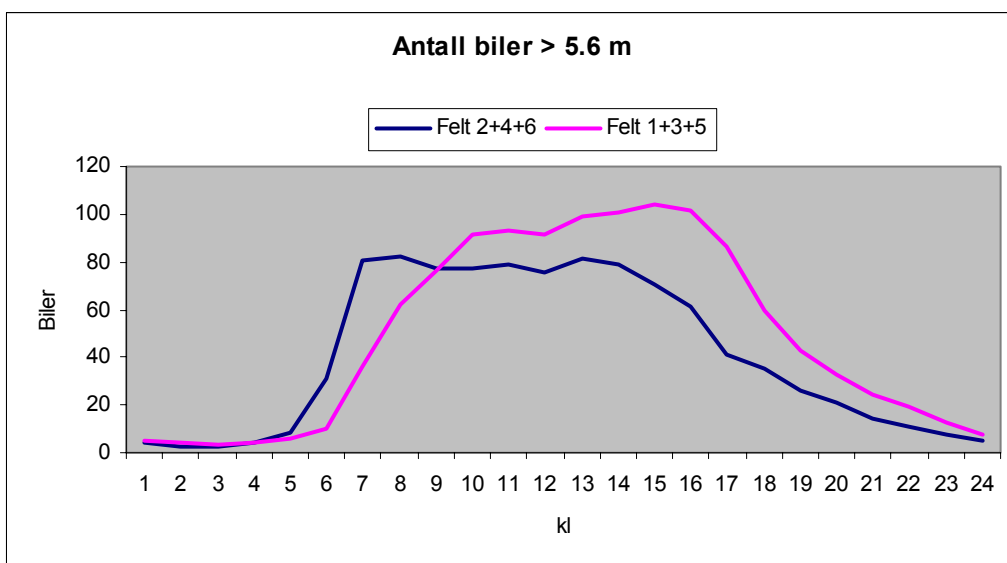


Figur 3: *Antall biler og hastighet i høyre felt i retning mot Oslo over middeldøgnet.*

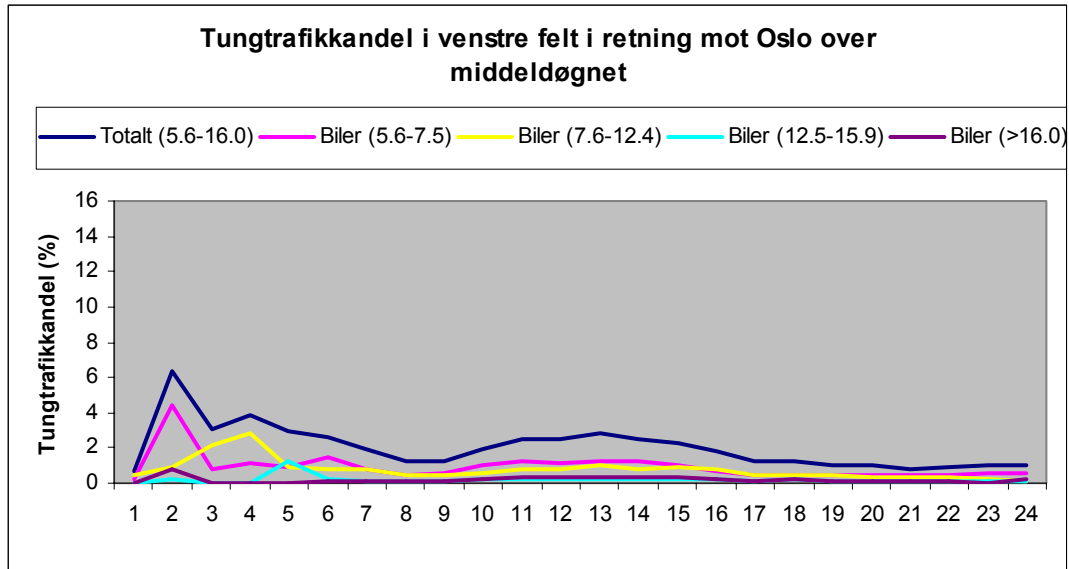


Figur 4: Antall biler og hastighet summert for begge felt i retning mot Lillestrøm over middeldøgnet.

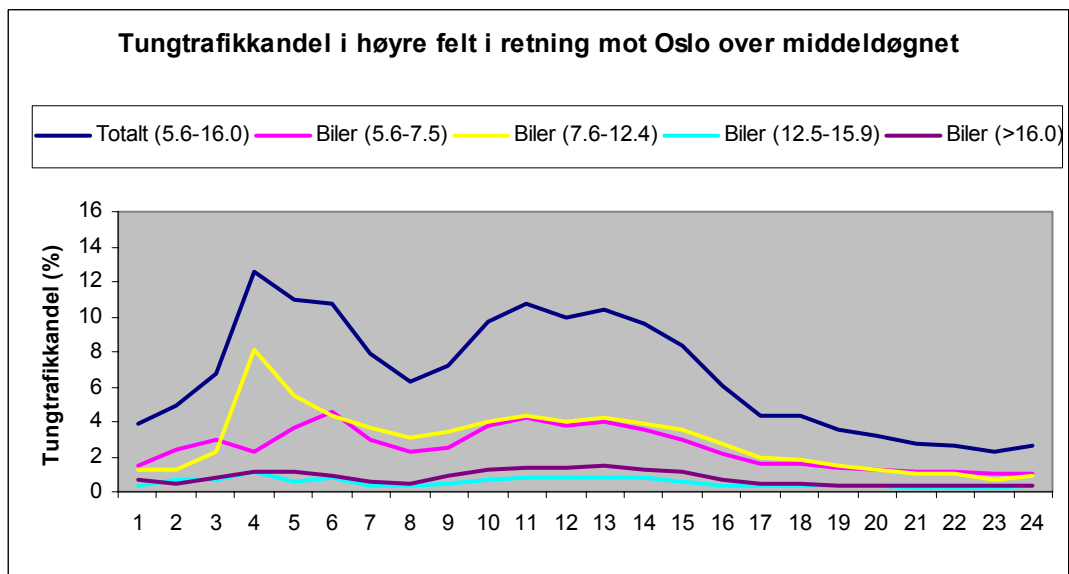
Figur 5 - Figur 8 viser tungtrafikken og dens andel av total-trafikken. Tungtrafikk er definert som biler med lengde over 5,6 m. Tungtrafikkandelen er vist for 4 lengdeklasser og samlet. I rushtidene og det meste av døgnet er det flest større biler i klassene 5,6-7,5 m og 7,6-12,4 m. Tungtrafikkandelen er størst i timene rett før morgenerushet både i retning mot Oslo og i retning mot Lillestrøm. For begge retninger under ett var tungtrafikkandelen høyest i 10-11-tiden, ca. 12%. I rushtidene var den 7-8% om morgenen og 4-5% om ettermiddagen. Lastebiler med lengde mellom 5,6 m og 12,4 m utgjorde mer enn 75% av tungtrafikken. Også i timene mellom rushene er det relativt høy tungtrafikkandel.



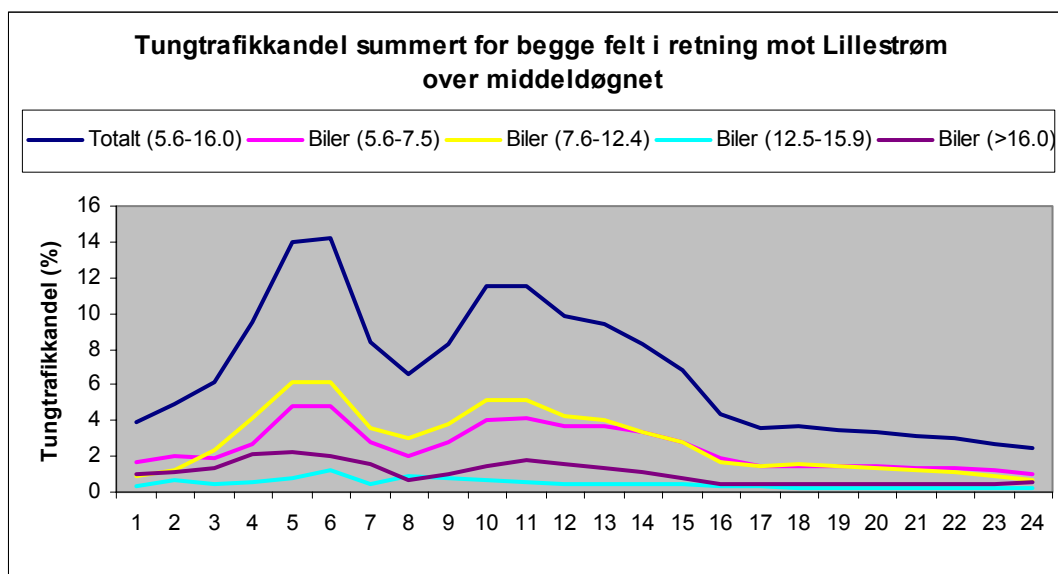
Figur 5: Tungtrafikkens variasjon over døgnet, gjennomsnitt.



Figur 6: Tungtrafikkandel i venstre felt i retning mot Oslo over middeldøgnet.



Figur 7: Tungtrafikkandel i høyre felt i retning mot Oslo over middeldøgnet.



Figur 8: Tungtrafikkandel summert for begge felt i retning mot Lillestrøm over middeldøgnet.

2.3.2 Meteorologiske forhold

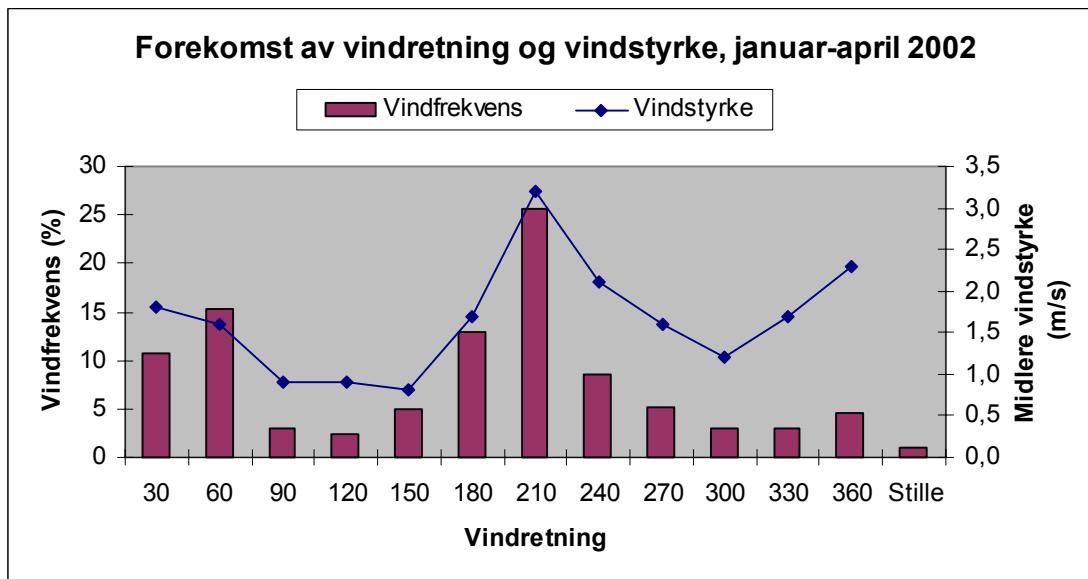
Figur 9 viser frekvensen av vind i 12 30-graders sektorer, samt frekvensen av vindstille (< 0,3 m/s). Vind fra nord er 360 grader, vind fra øst er 90 grader, vind fra sør er 180 grader og vind fra vest er 270 grader.

Retningen på riksvei 159 tilsvarer 60 grader (retning mot Oslo) og 240 grader (retning mot Lillestrøm). Ved disse vindretningene blåser det langs veien, og forurensningen fra trafikken spres til begge sidene av veien, også mot RV1-3. I vindsektorene 90, 120, 150, 180 og 210 grader blåser det fra veien mot målestasjonene, enten skrått eller rett mot. Vindretninger 240, 270, 330, 360 og 30 grader fører utslippene fra veien vekk fra målestasjonene.

Figuren viser at det samlet sett blåste fra veien mot målestasjonene en større andel av tiden enn det blåste fra stasjonene. De tre hyppigst forekommende 30-graders vindsektorene, 60, 180 og 210 grader medfører at målestasjonene belastes av utslippet fra trafikken.

Midlere vindstyrke varierte mye med vindretningen. Generelt vil lav vindstyrke, som om vinteren ofte er kombinert med lav temperatur og stabil luftsjiktning (økende temperatur med høyden over bakken), gi dårlig spredning av utslippene og dermed høye konsentrasjoner av luftforurensning. Høy vindstyrke vil gi god spredning av utslippene og dermed lave konsentrasjoner.

Ut fra dette ville en vente å få de laveste konsentrasjonene ved retningene 360 og 30 grader, fordi det da ikke blåser mot målestasjonene og vindstyrken er relativt høy. Tilsvarende ville en vente de høyeste konsentrasjonene ved 90, 120 og 150 grader, fordi det da blåser mot målestasjonene og vindstyrken som oftest er lav. Vindretning 210 grader blåser skrått mot målestasjonene, men vil ventelig gi relativt lave konsentrasjoner, fordi vindstyrken vanligvis er høy. Disse forholdene blir belyst mer i detalj i neste avsnitt om luftkvalitet.



Figur 9: Forekomst av vindretning og vindstyrke, januar-april 2002.

2.3.3 Luftkvalitet.

Et sammendrag av luftkvalitetsmålingene i perioden 21.12.2001-15.4.2002 er vist i Figur 10-Figur 13. Figurene viser henholdsvis døgnmiddelkonsentrasjoner av NO_x , NO_2 og PM_{10} på de fire stasjonene, og NO_2 , O_3 og NO_2+O_3 på bakgrunnsstasjonen. Som et mål på de meteorologiske forholdene gjennom måleperioden er det i Figur 14 vist døgnmiddelverdier av vindstyrke og temperatur.

I perioden 2.-11.1.2002 ble det gjennomgående målt klart høyere konsentrasjoner av NO_x enn ellers i måleperioden (Figur 10). Dette falt sammen med den kaldeste perioden i de fire månedene, samtidig som vindstyrken også var lav, dvs. at spredningsforholdene var til dels svært dårlige (Figur 14). I denne perioden ble forurensningen samlet opp over et større område på grunn av liten eller ingen utluftning. Derfor hadde også bakgrunnsstasjonen sine høyeste konsentrasjoner i denne perioden.

Også NO_2 hadde høye konsentrasjoner i begynnelsen av januar 2002 (Figur 11). Dette gjaldt også på bakgrunnsstasjonen, som hadde omtrent samme konsentrasjoner som på RV2 og RV3. På grunn av høye NO -konsentrasjoner var reaksjonen mellom NO og O_3 effektiv og ga et betydelig NO_2 -bidrag i hele området (se ytterligere kommentarer til Figur 13).

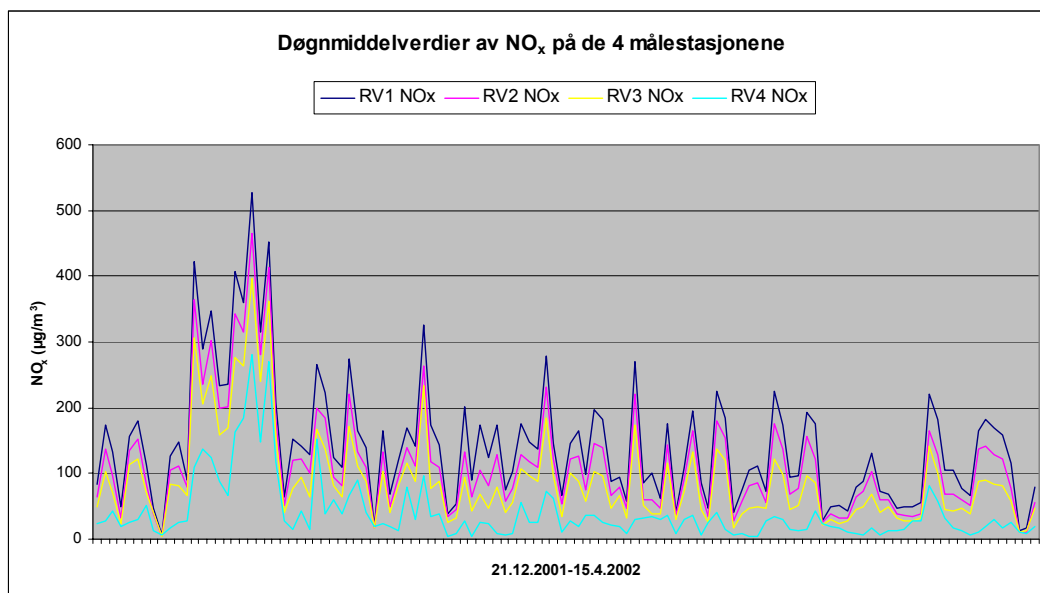
Figur 12 viser at det også var noe forhøyede PM_{10} -konsentrasjoner i januairepisoden. Her har eksos og utslipp fra vedfyring gitt bidrag, men ikke veistøv, som ville gitt høyere nivåer.

De klart høyeste PM_{10} -konsentrasjonene ble imidlertid målt i episoder midt i februar og mars 2002. I disse episodene har det vært bare og tørre veier og kanskje også veikanter, slik at piggdekkslitasje av veidekket og oppvirvling av veistøv har fått full effekt. Under slike forhold blir da PM_{10} -konsentrasjonene

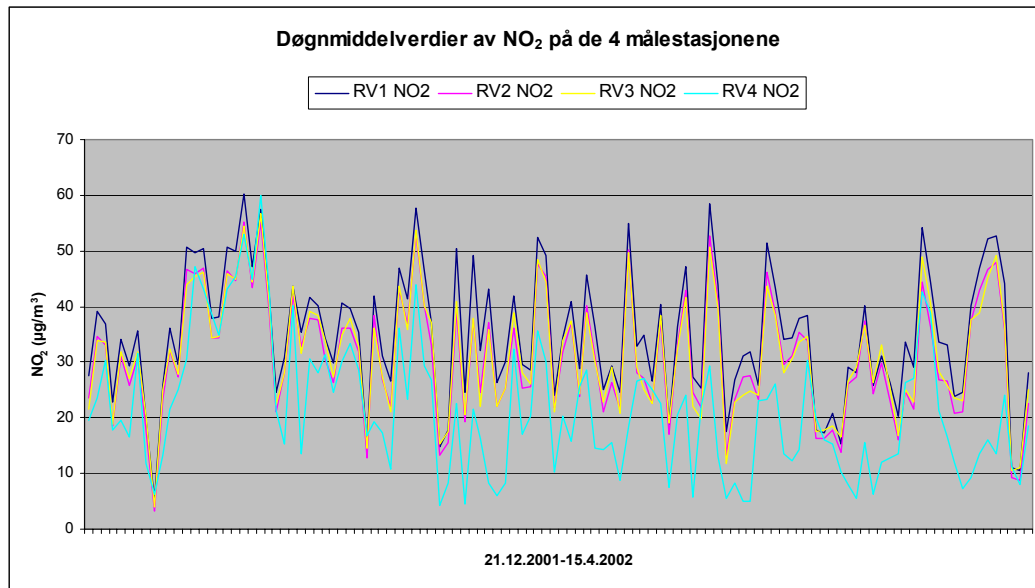
atskillig høyere enn i de episodene hvor det direkte utslippet av partikler fra eksos og eventuell vedfyring er dominerende, som var tilfellet i januairepisoden. På grunn av snødekte eller isete kjørebaneer og snø i veikantene var det i januairepisoden ingen oppvirvling av støv fra veikantene. I episodene med tørr vei og mye veistøv var det også mye lavere konsentrasjoner på bakgrunnsstasjonen enn på de veinære stasjonene. Heller ikke NO_x - og NO_2 -konsentrasjonene var spesielt høye i episodene i februar og mars, som bekrefter at eksosutslippet ikke kan være noen stor kilde til PM_{10} .

Figur 13 viser døgnmiddelkonsentrasjoner av NO_2 , O_3 og summen av disse komponentene på bakgrunnsstasjonen. Som nevnt i avsnitt 2.2 foregår det en nesten momentan reaksjon i lufta mellom NO og O_3 som gir NO_2 , $\text{NO} + \text{O}_3 = \text{NO}_2$. O_3 skyldes vinterstid i hovedsak langtransporterte forurensninger fra kontinentet. Konsentrasjonene vil derfor variere lite over større områder vinterstid, men det vil ofte være lavere konsentrasjoner i byer og langs større veier på grunn av reaksjonen med NO .

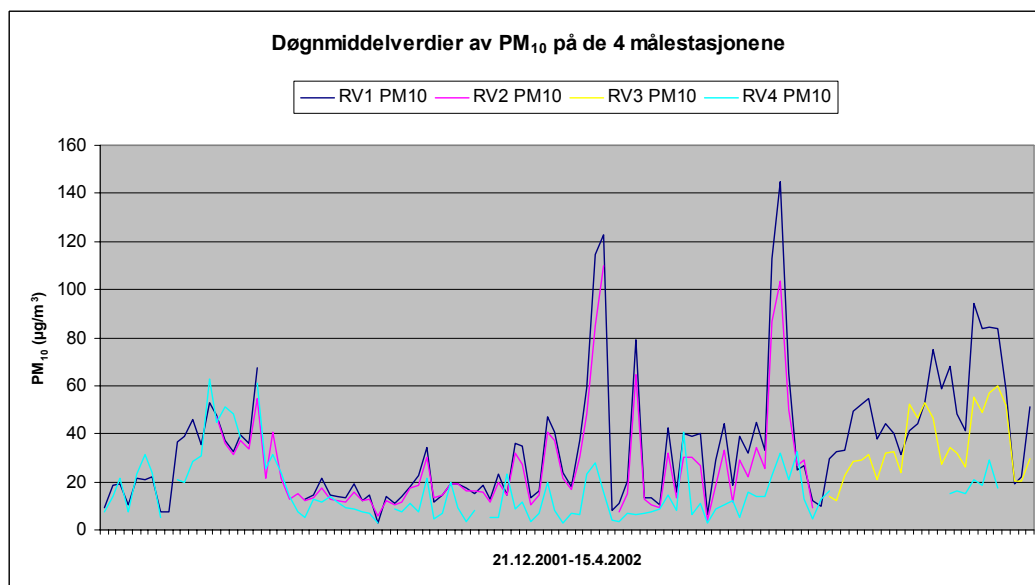
Målingene på bakgrunnsstasjonen viser at det nesten ikke var O_3 igjen i lufta i januairepisoden, da konsentrasjonen av nitrogenoksider var høy. Samtidig var det klart forhøyede NO_2 -konsentrasjoner på bakgrunnsstasjonen. I denne perioden er ozonet "spist opp" av NO , og konsentrasjonen av NO_2 er tilsvarende økt. Summen av O_3 og NO_2 varierer forholdsvis mye mindre i måleperioden enn hver av komponentene, men det er en tendens til økte verdier utover i perioden i takt med normalt økende O_3 -konsentrasjon i bakgrunnslufta utover våren enn det som er normalt vinterstid.



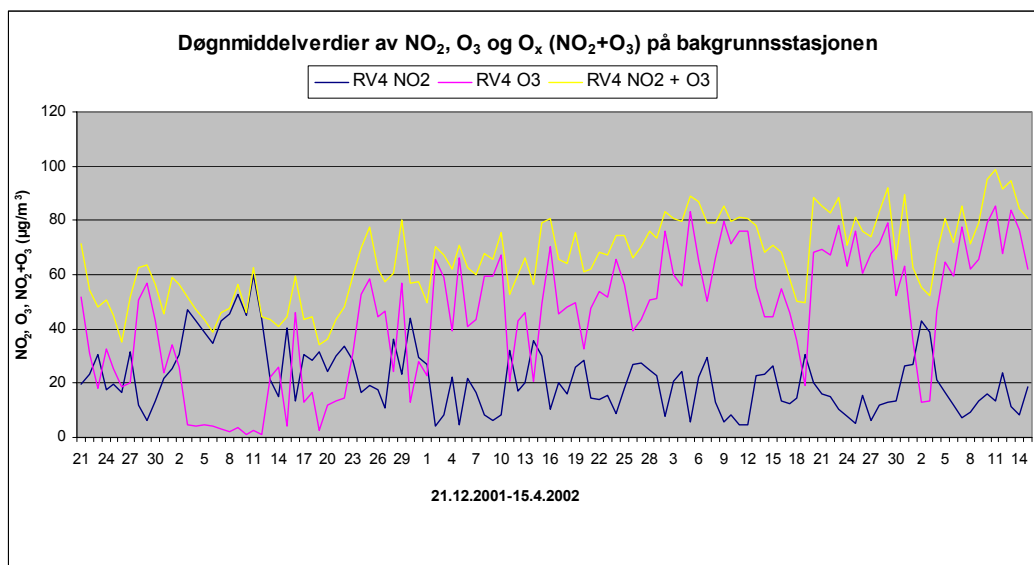
Figur 10: Døgnmiddelverdier av NO_x på de 4 målestasjonene.



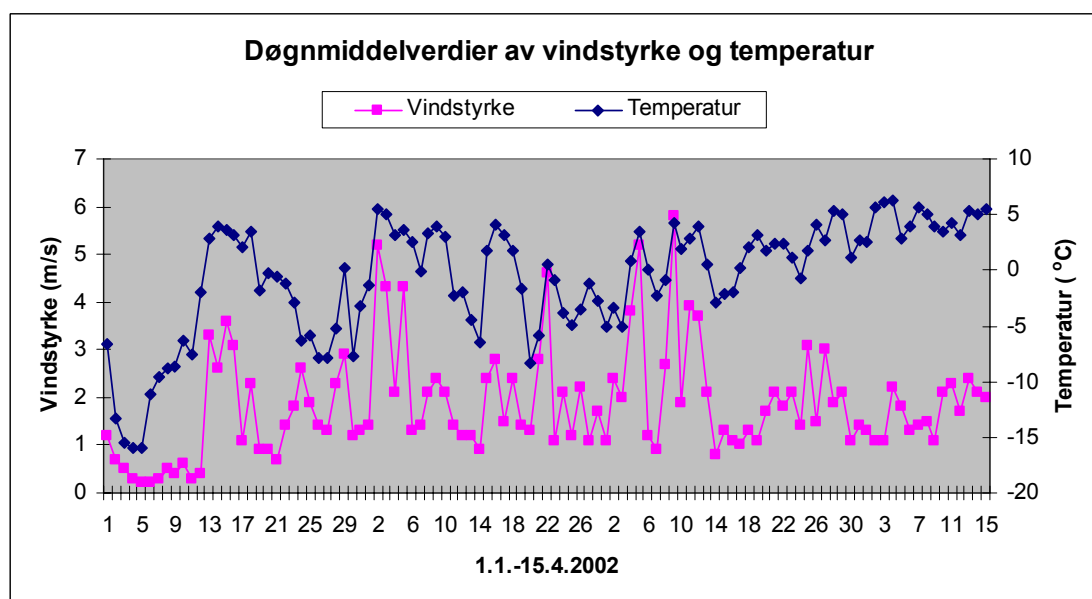
Figur 11: Døgnmiddelverdier av NO₂ på de 4 målestasjonene.



Figur 12: Døgnmiddelverdier av PM₁₀ på de 4 målestasjonene.



Figur 13: Døgnmiddelverdier av NO₂, O₃ og O_x (NO₂+O₃) på bakgrunnsstasjonen.



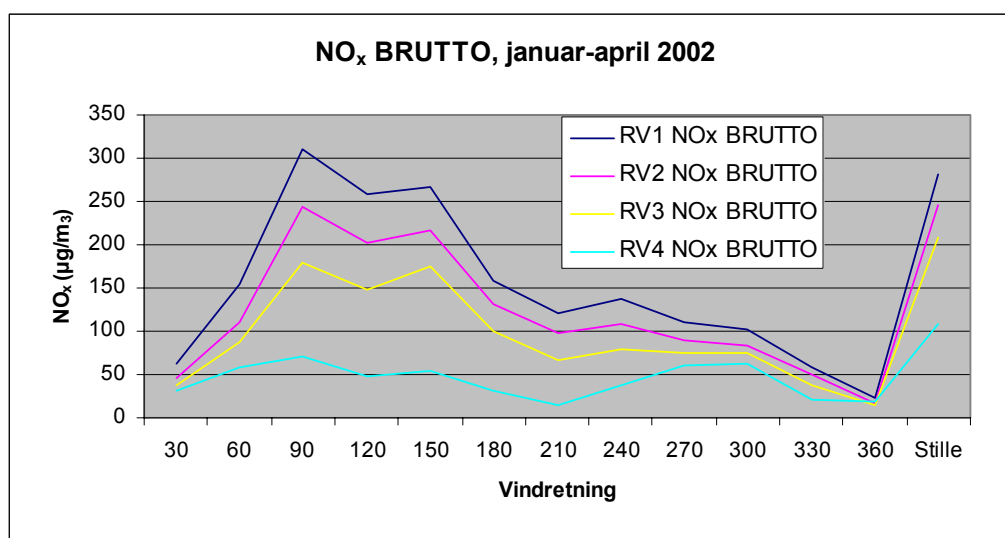
Figur 14: Døgnmiddelverdier av vindstyrke og temperatur.

I Figur 15-Figur 19 er det vist hvordan midlere konsentrasjoner varierer med vindretning. NO_x-reduksjonen med avstand fra veien vises tydelig. Konsentrasjonene av NO_x var klart høyest ved vindretningene 90, 120 og 150 grader, samt ved vindstille (Figur 15). Ved disse vindretningene transporteres utslippet fra biltrafikken mot målestasjonene, samtidig som spredningen er liten på grunn av lavere vindstyrke enn i andre vindretninger. De laveste midlere konsentrasjonene ble målt ved vind fra 360 og 30 grader. Ved disse retningene blåser det ikke fra veien mot målestedene, samtidig som høyere vindstyrke gir god spredning. Ved nordavind (360 grader) var NO_x-nivået på bakgrunnsstasjonen på samme nivå som på de veinære målestasjonene.

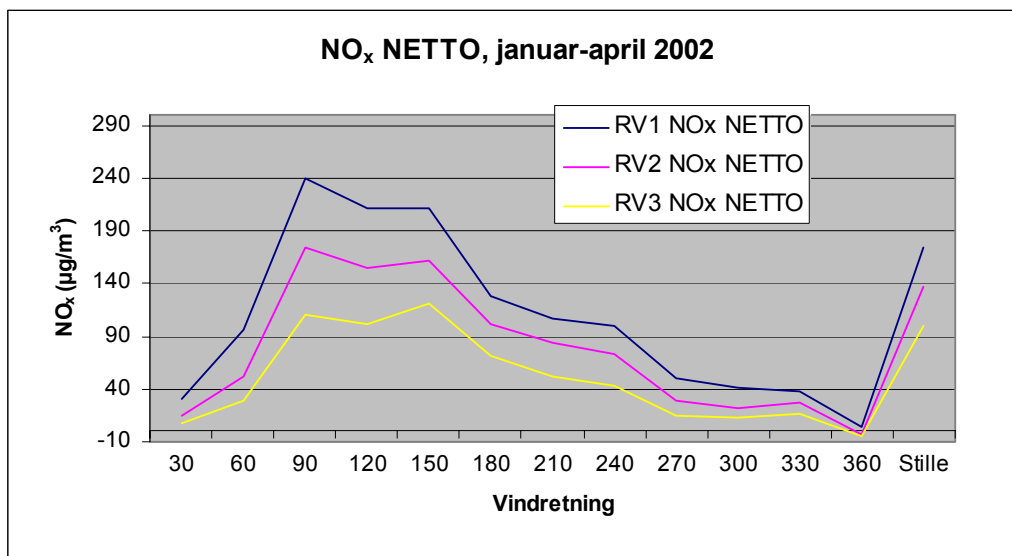
Figur 16 gir samme informasjon som Figur 15, men her er bakgrunns-konsentrasjonen trukket fra. Da vises bidraget fra de lokale kildene. Dette var klart størst ved vind fra veien mot målestasjonene og størst i de retningene som hadde lavest vindstyrke.

Figur 17 og Figur 18 gir samme informasjon for NO_2 som vist foran for NO_x . Den største forskjellen i forhold til NO_x er at det var liten eller ingen forskjell i midlere konsentrasjoner på RV2 og RV3 og at NO_2 varierer mindre med vindretning når det blåser fra veien mot målestedene. Grunnen til dette er reaksjonen mellom NO og O_3 som gir NO_2 . Selv om denne er nesten momentan, tar den likevel en viss tid, slik at bidraget til NO_2 fra denne reaksjonen øker med avstanden fra veien. På stasjon RV3 er bidraget fra reaksjonen omtrent like mye høyere enn på RV2 som det direkte bidraget fra eksosutslippet er mindre på grunn av spredningen. Ved retning 360 grader er bakgrunnskonsentrasjonen av NO_2 (RV4) faktisk litt høyere enn på de veinære stasjonene. Dette kan kanskje skyldes fyringsutslipp fra Lørenskog videregående skole, som ligger omtrent 300 m nord for målestasjonen. Små forskjeller i nettobidraget til NO_2 (Figur 17) ved de retningene det blåser fra veien mot målestedene, antyder at det er reaksjonen mellom NO og O_3 som gir det største NO_2 -bidraget.

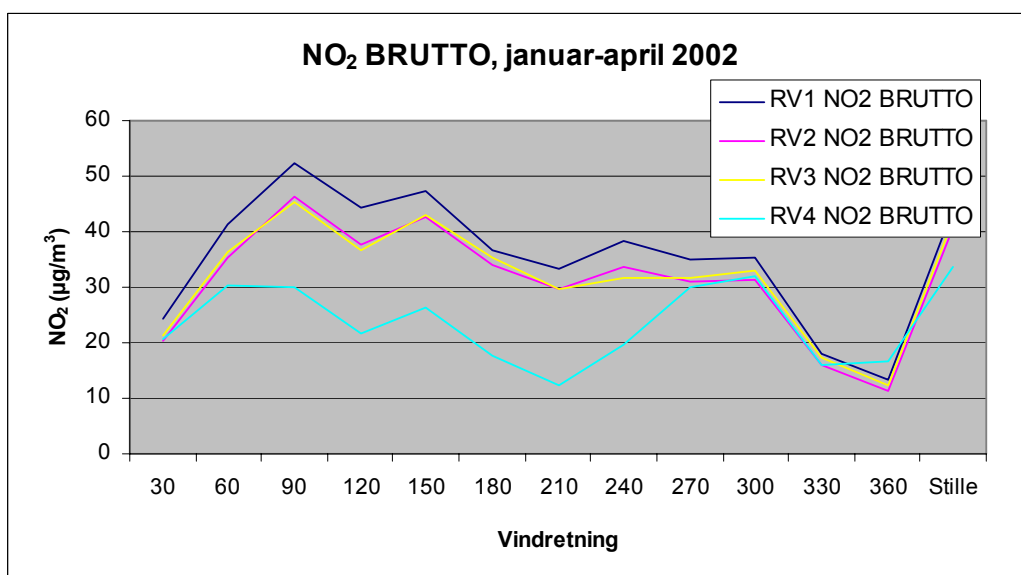
Figur 19 viser hvordan PM_{10} på RV1 varierer med vindretningen. Grunnen til at bare RV1 er tatt med her, er at det aldri er målt på mer enn to av de veinære stasjonene samtidig og at det bare er målt middelkonsentrasjoner over 12 timer på dagtid på RV4. Hovedbudskapet er likevel klart. PM_{10} på RV1 varierte i hovedsak omtrent som NO_x . Det er også grunn til å tro av nedgangen i konsentrasjon av PM_{10} med avstanden fra veien vil være minst like klar som for NO_x . Dette vil bli mer belyst i kapittel 3.1, hvor avstandsavhengigheten for de 20 timene med høyest bidrag fra veien drøftes. For PM_{10} drøftes der sammenhengen med samtlige data på RV1, RV2 og RV4, samt samtidige data på RV1, RV3 og RV4 hver for seg.



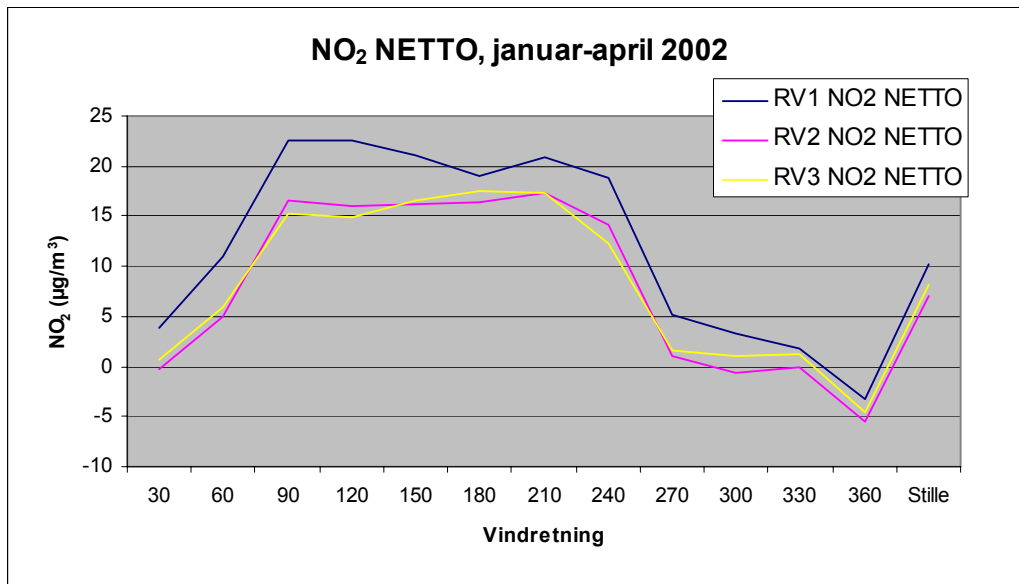
Figur 15: NO_x brutto, januar-april 2002.



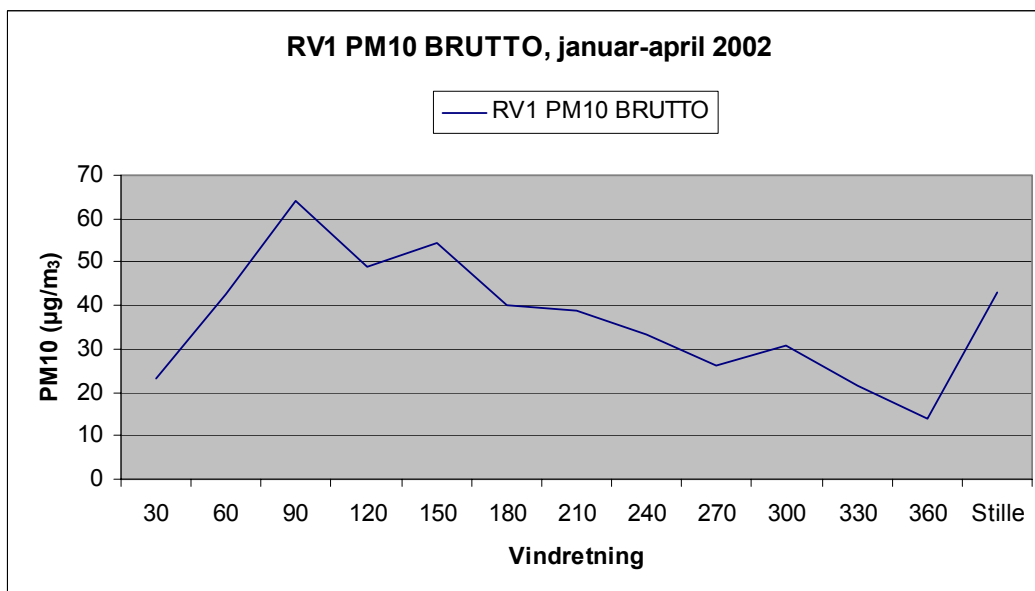
Figur 16: NO_x netto, januar-april 2002.



Figur 17: NO₂ brutto, januar-april 2002.



Figur 18: NO₂, netto, januar-april 2002.



Figur 19: RV1 PM₁₀ brutto, januar-april 2002

3 Målte avstandsfunksjoner

Hovedhensikten med prosjektet var å bestemme nettobidraget til luftkvaliteten fra utslippet fra trafikken på veien og hvordan dette avtar med avstanden fra veien. Måledataene for de aktuelle komponentene foreligger som timemiddelverdier. For PM₁₀ på bakgrunnsstasjonen er det brukt samme timemiddelverdi for hver time i tidsrommet kl 07-19 som de målte daglige 12-timersverdiene har gitt.

For hver time i hele måleperioden er de såkalte nettoverdiene beregnet, dvs. at konsentrasjonen på bakgrunnsstasjonen er trukket fra. Deretter er det valgt ut de 20 høyeste netto timemiddelverdiene på RV1 og de tilhørende nettoverdiene på

RV2 og RV3 (RV4 lik null). Tilleggskravet har vært at vindretningen har vært "riktig", dvs. at det enten har blåst langs veien eller på skrått eller rett mot de veinære målestasjonene.

For PM_{10} er det valgt ut to datasett, et med samtidige data på RV1 og RV2 og et med samtidige data på RV1 og RV3. Dette skyldes at det ikke foreligger samtidige data på RV2 og RV3 på grunn av for få tilgjengelige måleinstrumenter.

Det er også beregnet netto døgnmiddelverdier på grunnlag av de beregnede netto timemiddelverdiene. På samme måte som for timemiddelverdier er det så valgt ut de 5 høyeste døgnmiddelverdiene av hver komponent på RV1 med de tilhørende verdiene på RV2 og RV3 (RV4 lik null).

3.1 De 20 høyeste netto timemiddelverdiene av NO_x , NO_2 og PM_{10}

Figur 20-Figur 27 viser de 20 høyeste netto timemiddelkonsentrasjonene av hver komponent på de ulike avstandene fra veien, samt også beregnede forholdstall på avstand RV2 og RV3 med utgangspunkt i konsentrasjonen på RV1 (forholdstall lik 1 på RV1). Tabeller med måledata (forurensning og meteorologi) og forholdstall finnes i Vedlegg A (Tabell A1-Tabell A4).

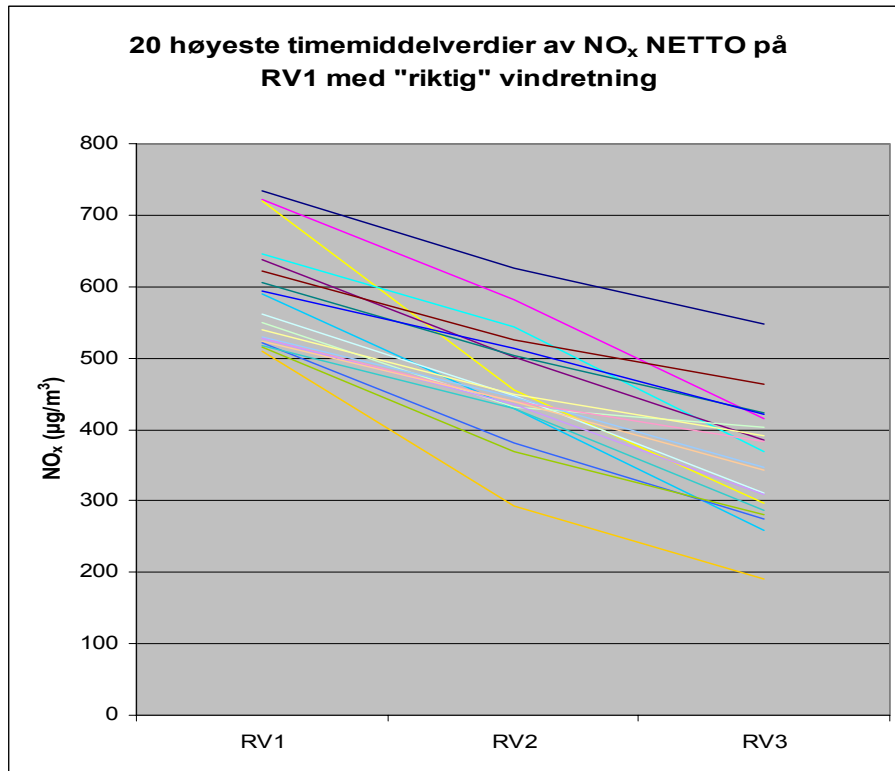
Figur 20 viser at netto NO_x -konsentrasjoner i de 20 mest belastede timene var i området ca. 500-750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på RV1, ca. 300-650 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på RV2 og ca. 200-550 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på RV3. Figur 21 viser at de tilsvarende forholdstallene var i området 0,55-0,85 på RV2 og i området 0,35-0,75 på RV3. Alle de 20 timene viste avtagende konsentrasjon med avstanden fra veien, men graden av reduksjon varierte en god del.

Figur 22 og Figur 23 viser de 20 høyeste nettoverdiene av NO_2 gjennomgående avtok klart mindre med avstanden enn NO_x -verdiene. I flere av disse timene var det høyere konsentrasjon på RV3 enn på RV2, og i 2 timer var det også høyere konsentrasjon på RV3 enn på RV1. Forholdstallene varierte i området 0,65-1 på RV2 og i området 0,5-1,05 på RV3. Hovedårsaken til de relativt høye verdiene særlig på RV3 er reaksjonen mellom NO og O_3 , som gir NO_2 . Selv om denne er rask, tar den likevel så vidt tid (10-20 sekunder) at den i enkelte timer kan gi større bidrag på RV2 enn på RV3 (forutsatt tilstrekkelig O_3 til stede).

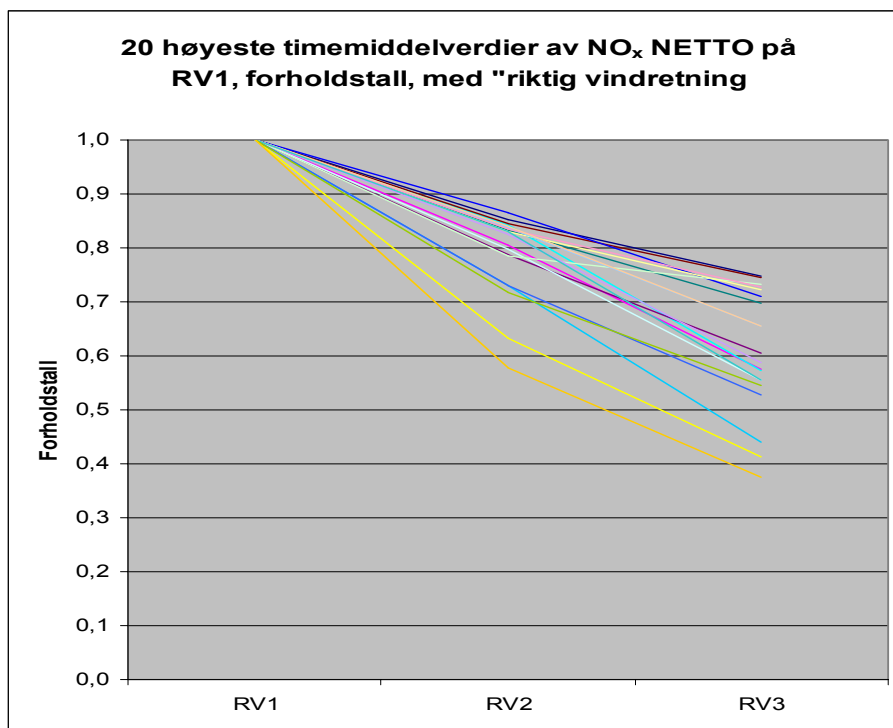
Figur 24 og Figur 25 viste stor variasjon i avtagning i PM_{10} -konsentrasjon fra RV1 til RV2. Forholdstallene på RV2 varierte fra 0,1 til 0,95. Figur 26 og Figur 27 viste tilsvarende at forholdstallene på RV3 varierte mellom 0,15 og 0,9.

Det er også beregnet gjennomsnittskonsentrasjoner for de 20 timene, samt forholdstall for disse middelverdiene. Disse resultatene er vist i Figur 28 og Figur 29. Størst avtapping i midlere forholdstall var det for PM_{10} med ca. 0,7 på RV2 og ca. 0,4 på RV3. NO_x viste tilsvarende midlere forholdstall på ca. 0,8 på RV2 og ca. 0,6 på RV3. For NO_2 var de midlere forholdstallene knapt 0,9 på RV2 og ca. 0,8 på RV3. Tabeller med midlere konsentrasjoner og forholdstall finnes i Vedlegg A (Tabell A5).

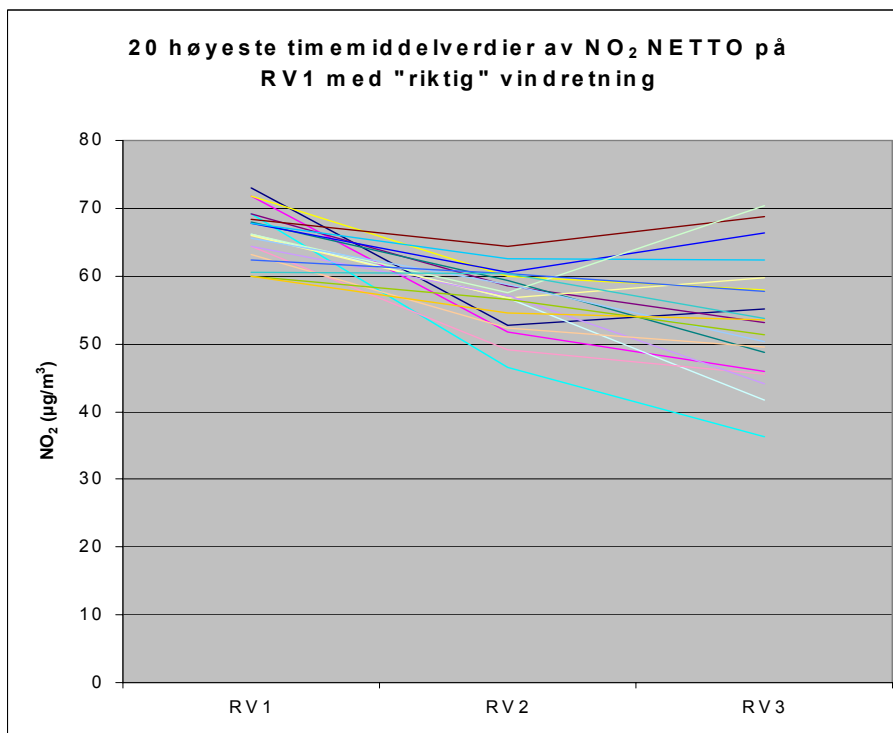
Det var relativt svak vind (dvs. dårlig spredning) i de fleste av tilfellene med høy NO_x og NO_2 (se Tabell A1-A4, kolonne FF), i de fleste tilfellene rundt 2 m/s. Vindstyrken var høyere i tilfellene med mye PM_{10} , i gjennomsnitt 3.5 m/s. Dette gir større grad av oppvirvling av veistøv i kombinasjon med bilturbulensen.



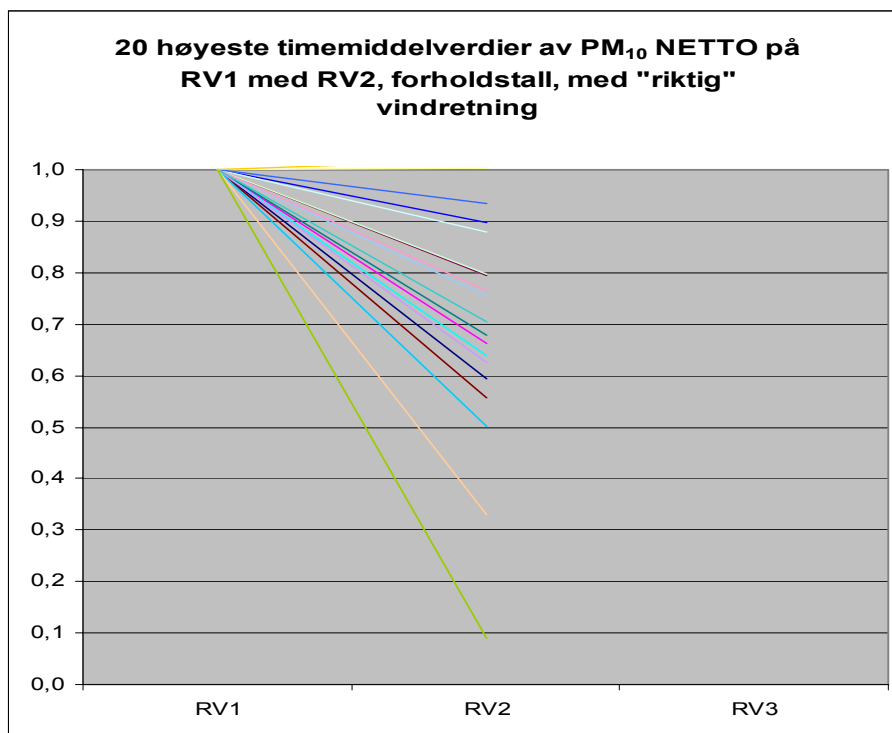
Figur 20: 20 høyeste timemiddelverdier av NO_x netto på RV1 med "riktig" vindretning.



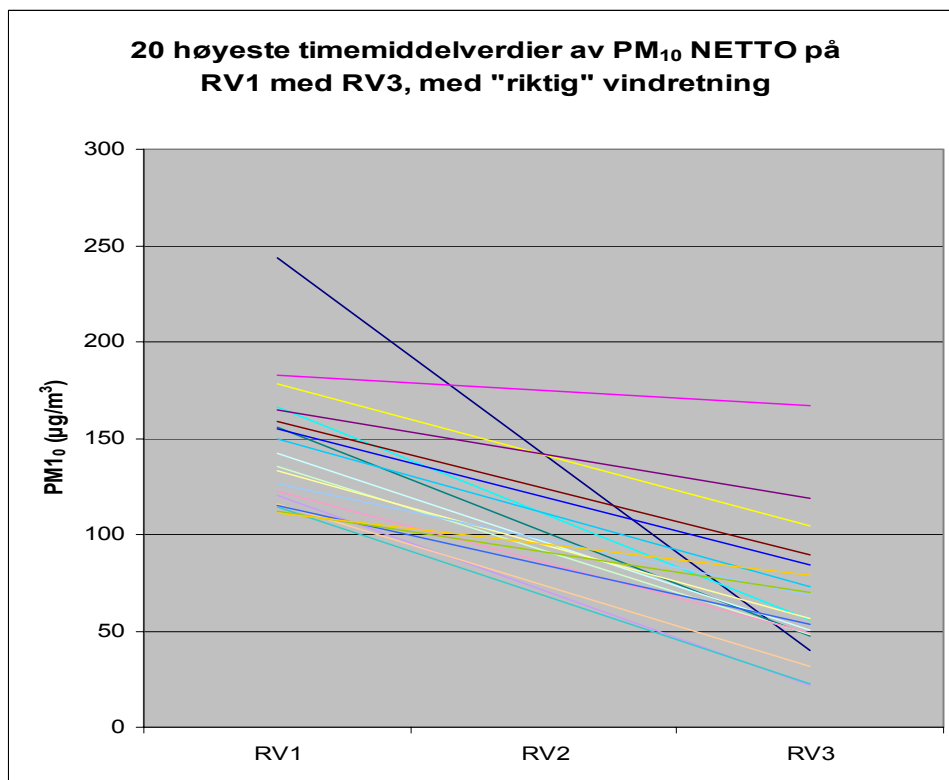
Figur 21: 20 høyeste timemiddelverdier av NO₂ netto på RV1, forholdstall, med "riktig" vindretning.



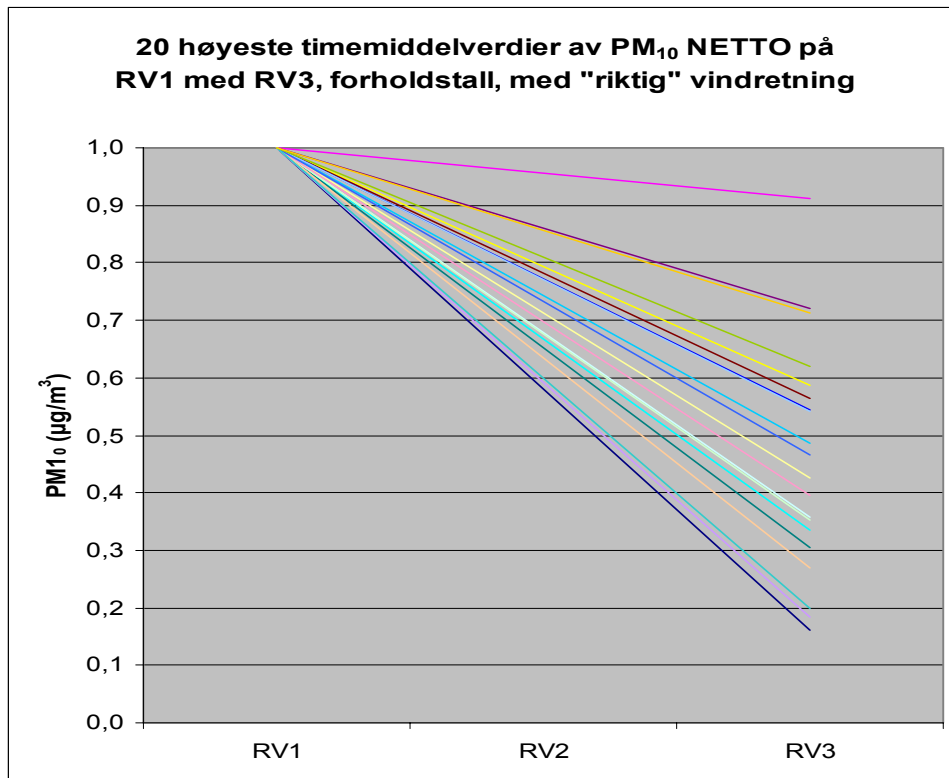
Figur 22: 20 høyeste timemiddelverdier av NO₂ netto på RV1 med "riktig" vindretning.



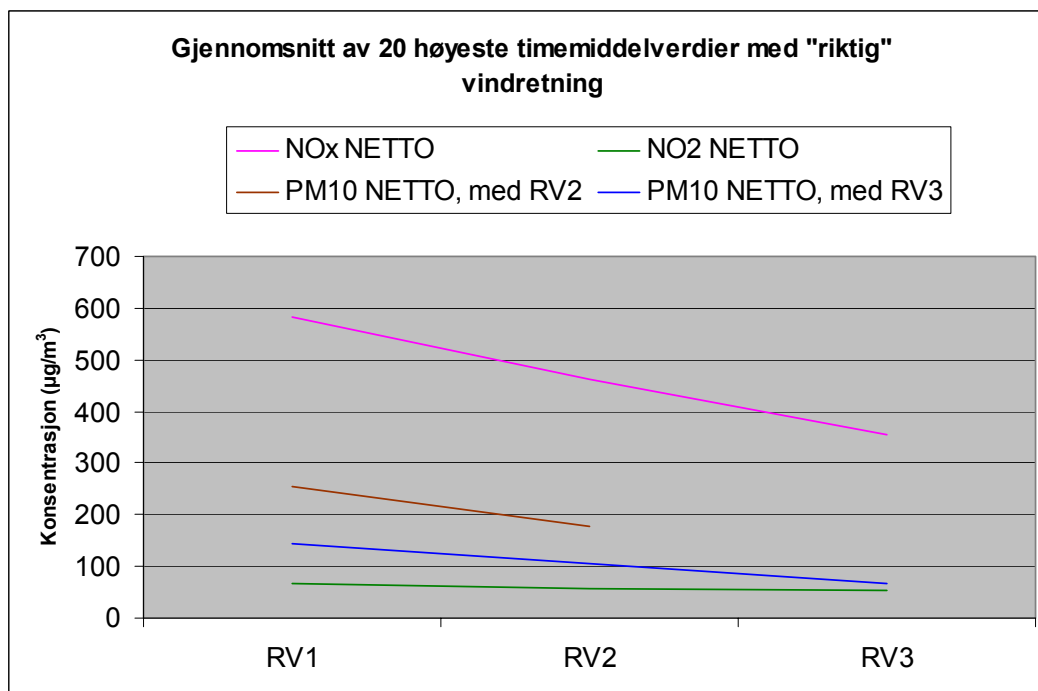
Figur 25: 20 høyeste timemiddelverdier av PM₁₀ netto på RV1 med RV2, forholdstall, med "riktig" vindretning.



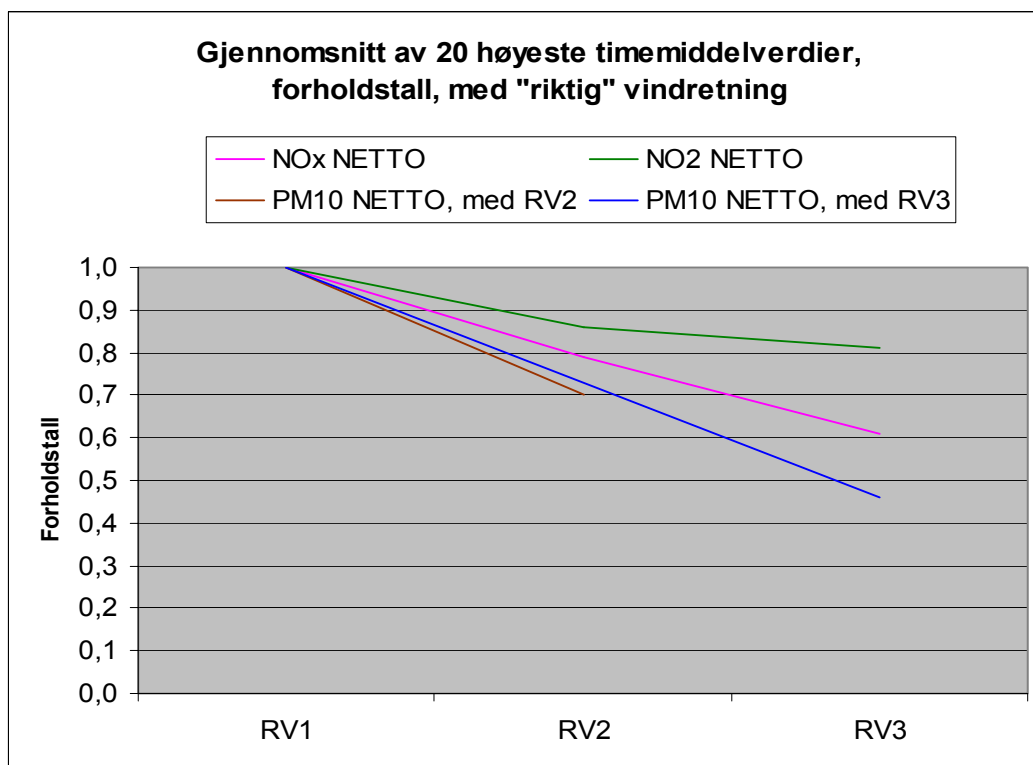
Figur 26 20 høyeste timemiddelverdier av PM₁₀ netto på RV1 med RV3 med "riktig" vindretning.



Figur 27: 20 høyeste timemiddelverdier av PM₁₀ netto på RV1 med RV3, forholdstall, med "riktig" vindretning.



Figur 28: Gjennomsnitt av 20 høyeste timemiddelverdier med "riktig" vindretning.



Figur 29: Gjennomsnitt av 20 høyeste timemiddelverdier, forholdstall, med "riktig" vindretning.

3.2 De 5 høyeste netto døgnmiddelverdiene av NO_x, NO₂ og PM₁₀

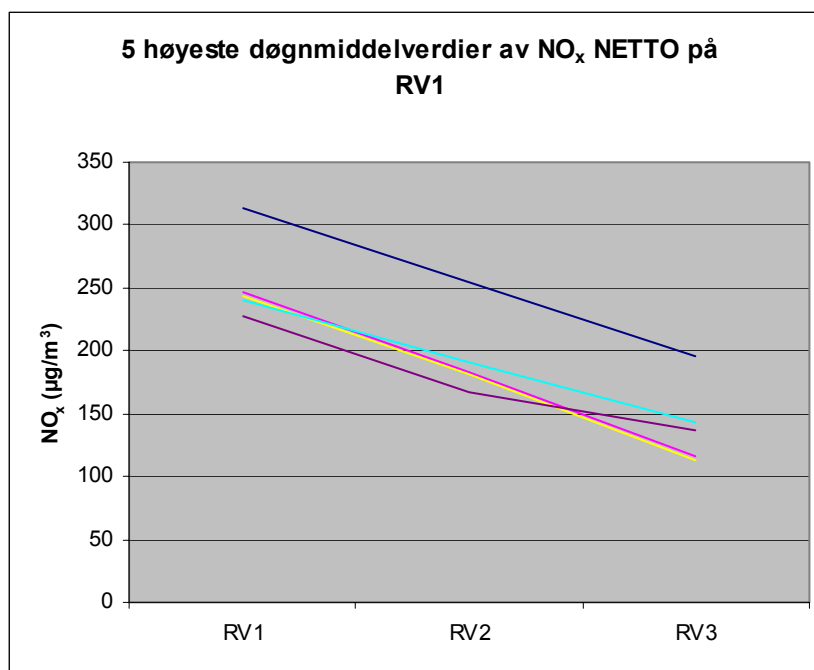
Figur 30-Figur 37 viser de 5 høyeste netto døgnmiddelkonsentrasjonene av hver komponent på de ulike avstandene fra veien, samt også beregnede forholdstall på avstand RV2 og RV3 med utgangspunkt i konsentrasjonen på RV1 (forholdstall lik 1 på RV1). Tabeller med måledata og forholdstall finnes i Vedlegg A (Tabell A6-Tabell A9).

Figur 30 viser at netto NO_x-konsentrasjoner i de 5 mest belastede døgnene var i området ca. 225-325 µg/m³ på RV1, ca. 170-250 µg/m³ på RV2 og ca. 120-200 µg/m³ på RV3. Figur 31 viser at de tilsvarende forholdstallene var i området 0,7-0,8 på RV2 og i området 0,45-0,65 på RV3. Alle de 5 døgnene viste avtagende konsentrasjon med avstanden fra veien, og avtaket var mindre enn for timemiddelverdiene.

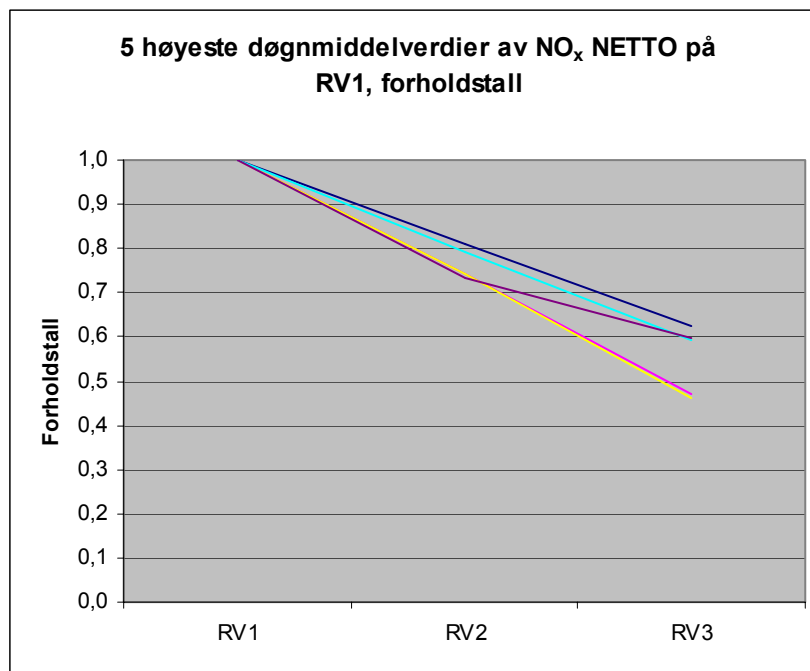
Figur 32 og Figur 33 viser at de 5 høyeste nettoverdiene av NO₂ gjennomgående avtok klart mindre med avstanden enn NO_x-verdiene. I flere av døgnene var det høyere eller omtrent samme konsentrasjon på RV3 som på RV2, men alle døgn hadde lavere konsentrasjon på RV3 enn på RV1. Forholdstallene varierte i området 0,8-0,9 på RV2 og i området 0,75-0,9 på RV3. Hovedårsaken til de relativt høye verdiene særlig på RV3 er som tidligere nevnt reaksjonen mellom NO og O₃, som gir NO₂.

Figur 34 og Figur 35 viste noe mindre variasjon i avtagning i PM_{10} -konsentrasjon for døgnmiddelverdier enn for timemiddelverdier fra RV1 til RV2. Forholdstallene for døgnmiddelverdier på RV2 varierte fra ca. 0,6 til ca. 0,9. Figur 36 og Figur 37 viste tilsvarende at forholdstallene på RV3 varierte mellom 0,35 og 0,65 for døgnmiddelverdiene.

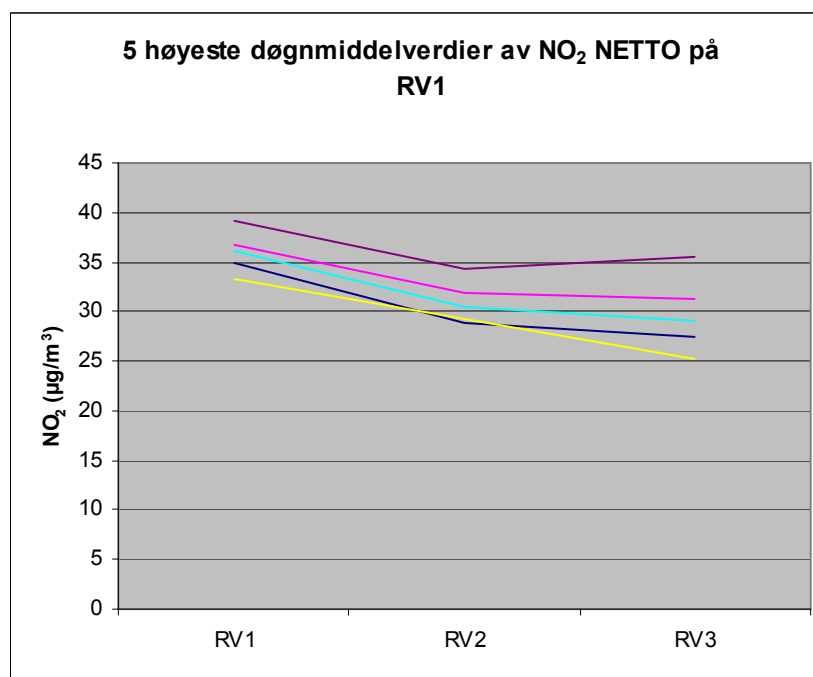
Det er også beregnet gjennomsnittskonsentrasjoner for de 5 døgnene, samt forholdstall for disse middelverdiene. Disse resultatene er vist i Figur 38 og Figur 39. Størst avtaking i midlere forholdstall var det for PM_{10} med ca. 0,75 på RV2 og ca. 0,45 på RV3. NO_x viste tilsvarende midlere forholdstall på knapt 0,8 på RV2 og ca. 0,55 på RV3. For NO_2 var de midlere forholdstallene knapt 0,9 på RV2 og knapt 0,85 på RV3. Tabeller med midlere konsentrasjoner og forholdstall finnes i Vedlegg A (Tabell A10).



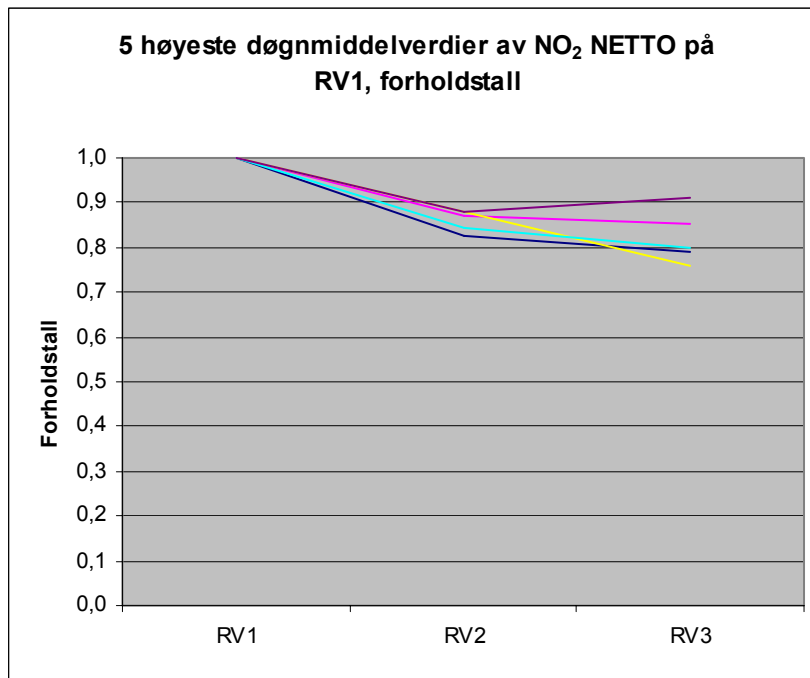
Figur 30: 5 høyeste døgnmiddelverdier av NO_x netto på RV1.



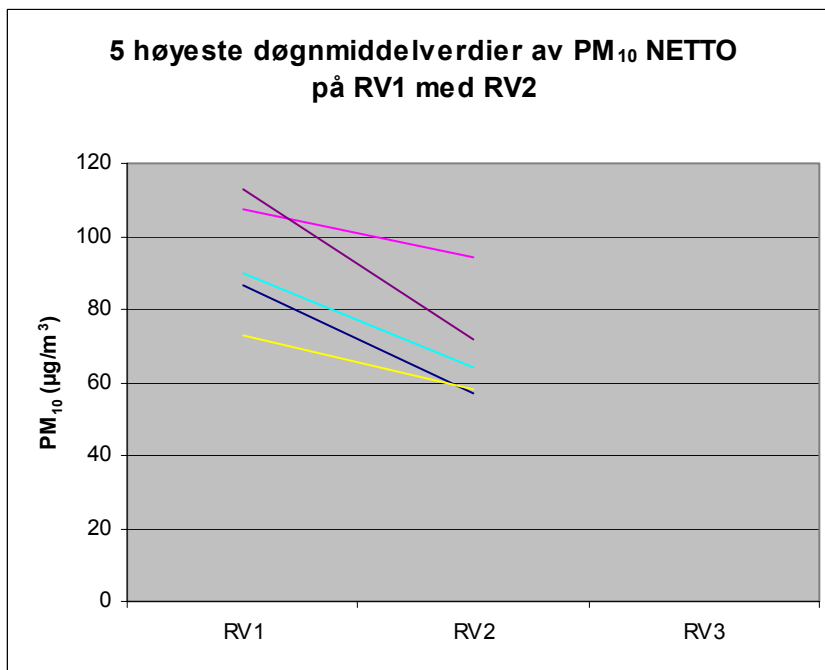
Figur 31: 5. høyeste døgnmiddelverdier av NO_x netto på RV1, forholdstall.



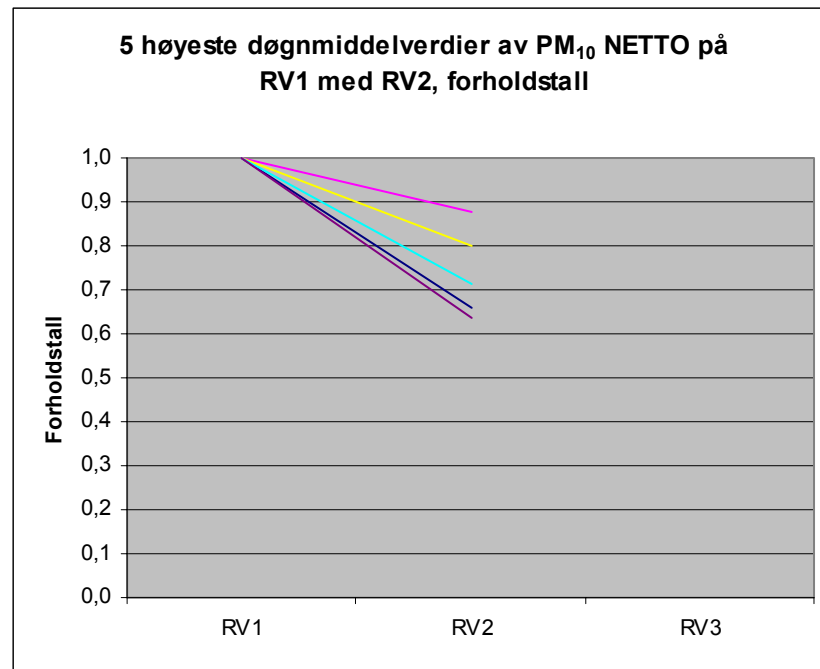
Figur 32: 5 høyeste døgnmiddelverdier av NO₂ netto på RV1.



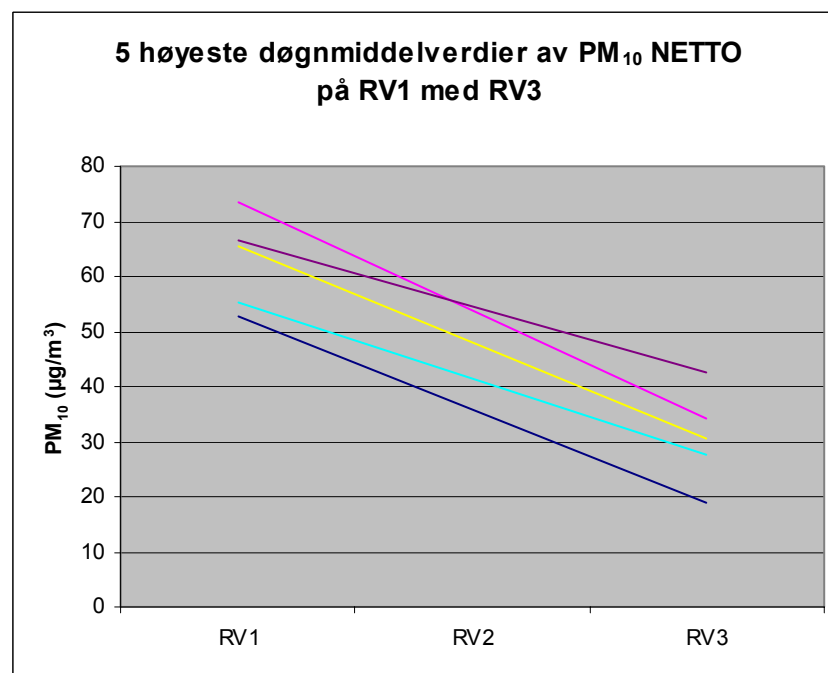
Figur 33; 5 høyeste døgnmiddelverdier av NO₂ netto på RV1, forholdstall.



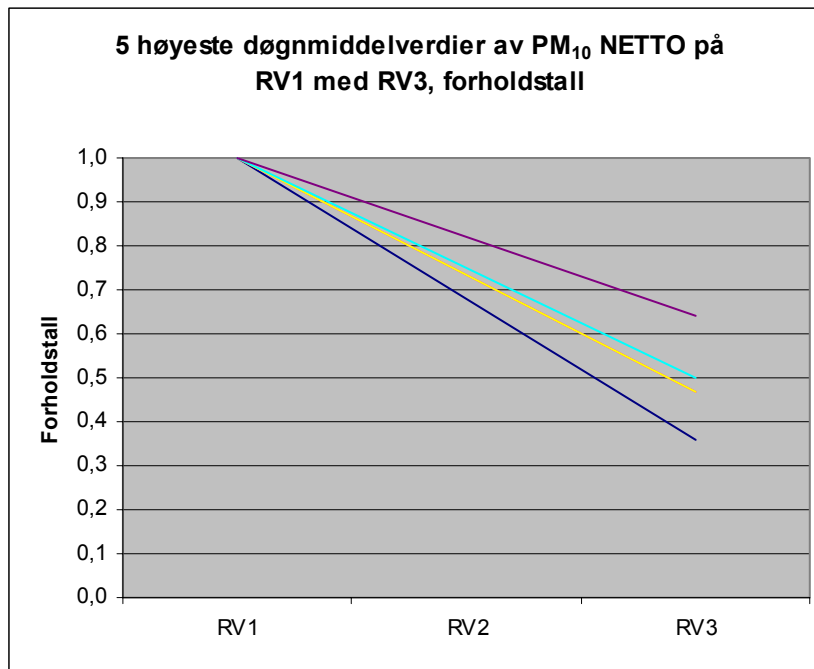
Figur 34: 5 høyeste døgnmiddelverdier av PM₁₀ netto på RV1 med RV2.



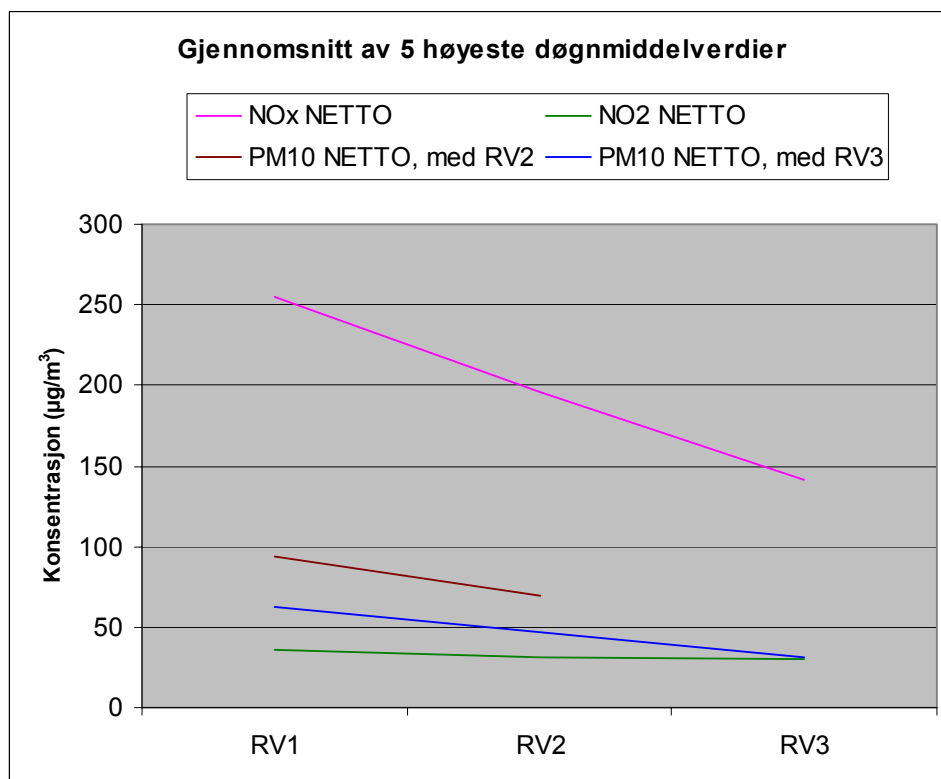
Figur 35. 5 høyeste døgnmiddelverdier av PM₁₀ netto på RV1 med RV2, forholdstall.



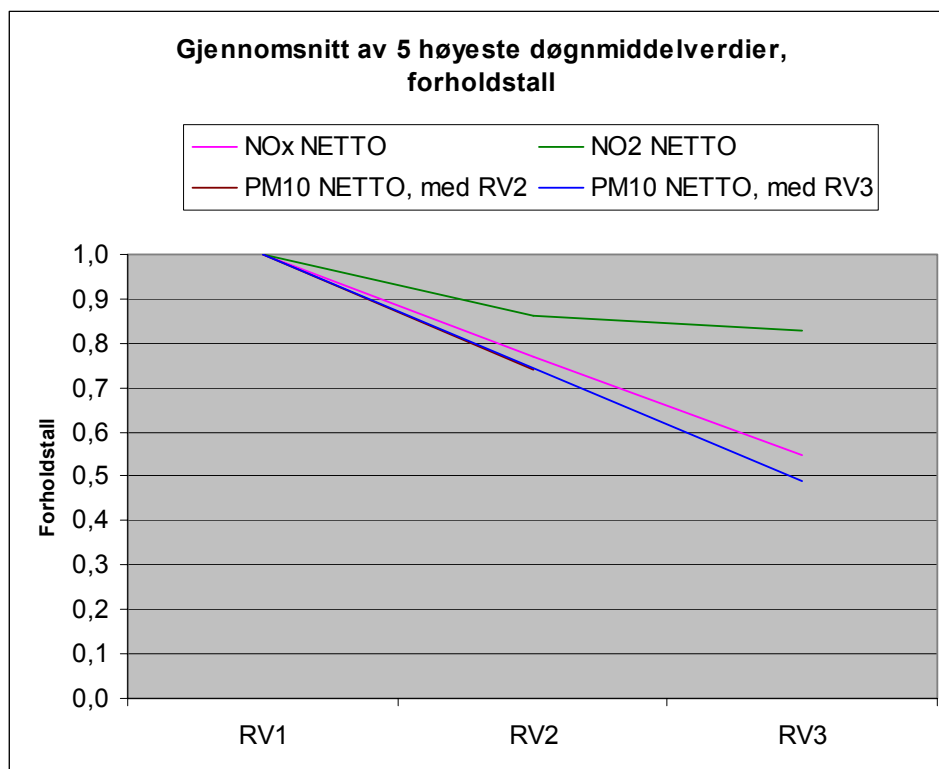
Figur 36: 5 høyeste døgnmiddelverdier av PM₁₀ netto på RV1 med RV3.



Figur 37: 5 høyeste døgnmiddelverdier av PM₁₀ netto på RV1 med RV3, forholdstall.



Figur 38: Gjennomsnitt av 5 høyeste døgnmiddelverdier.



Figur 39: Gjennomsnitt av 5 høyeste døgnmiddelverdier, forholdstall.

4 Målte avstandsfunksjoner i forhold til KONTILENK/VLUFT

4.1 Avstandsfunksjonen i VLUFT

Avstandsfunksjonen i VLUFT er utledet fra NILUs beregningsmodell KONTILENK (Slørdal et al., 2003). Selve spredningsmodellen i KONTILENK er en modifisert utgave av HIWAY 2-modellen (NEWAY). HIWAY 2 er en gaussisk linjekildemodell utviklet ved det amerikanske miljøvernagenturet (US EPA) (Petersen, 1980). Modifikasjonene består i følgende:

1. Initialspredningens avhengighet av vinkel mellom vindvektor og veg er fjernet, den er i NEWAY den samme for alle vindretninger.
2. Spredningsforholdene i atmosfæren ved vei i bymessig strøk settes alltid til "nøytral" temperatursjiktning i det nederste luftlaget (under ca. 50 meter).
3. Integreringsrutinen for linjekildeelementene er modifisert slik at alle linjeelementer på nedvindsiden av beregningspunktet blir sortert bort før integrasjonsprosessen starter.
(i HIWAY2 kjøres samtlige linjekilder minst en gang gjennom integrasjonsprosessen).

Figur 40 viser konsentrasjoner beregnet med KONTILENK ved en eksempel-vei, for ulike vindretninger, for de 3 avstandene 7,5 m (RV1), 17 (RV2) og 47 m (RV3) fra veikant. Konsentrasjonen er høyest ved vindretning 15° på veien, for avstander innenfor ca. 15 meter fra veien. På større avstander er konsentrasjonen

noe høyere ved 30° vindretning. På 45 m avstand er det imidlertid liten forskjell på konsentrasjoner for vind i retninger 15-90° på veien.

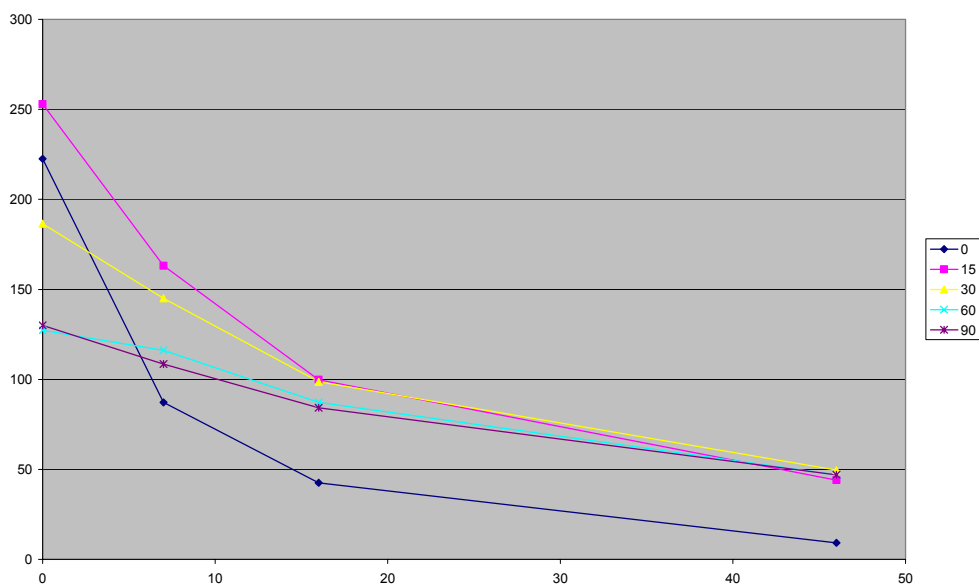
I VLUFT blir konsentrasjonen ved 5 meters avstand beregnet med en algoritme som er teoretisk-empirisk bestemt. På større avstander er det så valgt avstandsfunksjonen fra KONTILENK for 30° vindretning i forhold til vei.

Dette gjelder konsentrasjoner på timesbasis. For døgnmiddelverdier ble avstandsfunksjonen i VLUFT 4.2.8 modifisert. Avstandsavhengigheten som gjelder for timesverdier forutsetter 100% persistens i de meteorologiske forhold. For en time er dette realistisk, mens det over et døgn ble ansett å være mindre realistisk å forutsette 100% persistens. Bakgrunnen for dette var at målinger utført på noen stasjoner med relativt stor avstand fra vei ga resultater som lå vesentlig lavere enn VLUFT-beregninger med en versjon som forutsatte 100% persistens, da den versjonen ble testet mot målinger i et tidligere prosjekt (Larssen og Tønnesen, 2003).

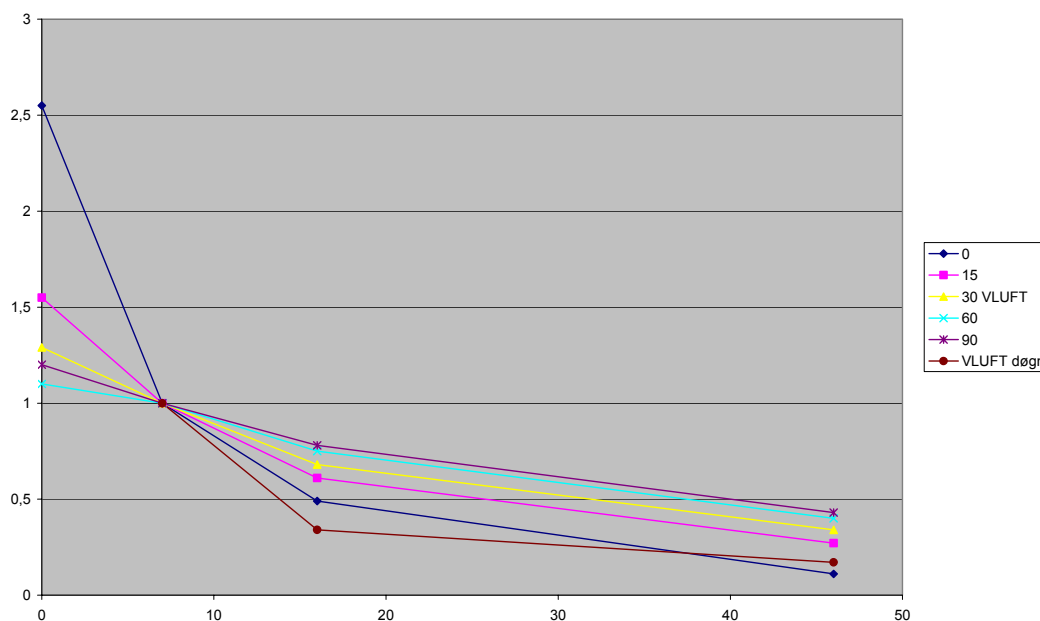
Hovedbidraget til en døgnverdi av forurensning ved vei kommer åpenbart i trafikktiden om dagen (mest kl 0700-1900). Avstandsavhengigheten for døgnverdier tar utgangspunkt i følgende:

- ◆ Innenfor 7,5 m fra veikant: 100% persistens pga. at trafikkurbulensen kan føre forurensning fra veien mot et beregningspunkt hele tiden om dagen.
- ◆ På større avstand enn 15 m fra veikant regnes med 50% persistens på dagtid. Over en periode på ett døgn vil variasjon av både vindretning og vindstyrke som følge av døgnlig variasjon av inn- og utstråling ofte medføre betydelig variasjon i belastningssituasjonen, fra maksimalbelastning til ingen belastning.
- ◆ Mellom 7,5 m og 15 m fra vei legges inn en lineær avtrapping.

Figur 41 viser avstandsfunksjonene i KONTILENK/VLUFT for ulike vindretninger i forhold til veiretningen (0, 15, 30, 60 og 90 grader). Konsentrasjonene ved RV1 (7,5 m fra veikant) er satt til 1,0.



Figur 40: Konsentrasjoner beregnet med KONTILENK for en eksempelvei.



Figur 41: Konsentrasjon s.f.a. avstand fra veikant, KONTILENK og VLUFT.

4.2 Målinger i forhold til VLUFT

Figur 42-45 viser måleresultatene sett i forhold til VLUFT, for hhv. NO_x , NO_2 og PM_{10} for timesverdier og for PM_{10} for døgnverdier. Det er vist målte avstandskurver som tilsvarer de høyeste målte verdier (F_{\max}) og den som tilsvarer gjennomsnittskonsentrasjonene målt på hver avstand, for de 20 høyeste forurensningstilfellene på timesbasis (F_{20}) (eller 5 høyeste døgn, F_5) som er beskrevet i kapittel 3.

For alle disse tilfellene gir målingene vesentlig mindre avstandsreduksjon enn VLUFT gir. Noen årsaker til dette er som følger (videre diskutert i Vedlegg B og C):

1. I KONTILENK/VLUFT brukes en initialspredning på veien, som skyldes bilturbulensen, som gjelder for kjøring i moderate hastigheter (opp mot 50-60 km/h). Ved Nordby-sletta, 90 km/h, er bilturbulensen og initialspredningen vesentlig større. Resultatet av dette er at VLUFT i dette tilfellet regner for høye konsentrasjoner nærmest veien (7 m) i forhold til lenger unna, og derved en for sterk reduksjon med avstanden.
2. Spredning i bymessig område med mer bygningsturbulens gir lavere konsentrasjoner i avstander fra veien. Eksemplet som er vist i Vedlegg B, gir ved stabile spredningsforhold:
 - ca. 10% lavere konsentrasjoner ved 15 m avstand
 - ca. 38% lavere konsentrasjoner ved 47 m avstand
 (Bygningsturbulensen er der simulert ved å bruke en såkalt "bakkeruhet" på 0.8 (mot 0.1 ved flatt homogent terreng, som ved Norbysletta ved vind fra

sørlig sektor). Vi må se nærmere på om eksemplet er godt representativt for forskjellene mellom bymessig terreng og flatt, homogent terreng.)

3. For NO_2 gir reaksjoner mellom NO og ozon at NO_2 produseres gradvis i løpet av spredningsforløpet ut til 50-100 m fra veien. Dette gjør at NO_2 -nivået avtar lite, og til og med kan øke med avstanden (se Vedlegg C). I VLUFT er dette behandlet forenklet ved at all NO_2 som produseres ved at O_3 reagerer med NO , legges til øyeblikkelig på veien, slik at alle avstander får samme NO_2 -”påslag”. Dette fører til at VLUFT gir en for høy NO_2 -konsentrasjon ved veien i forhold til lenger unna, og derved for rask reduksjon med avstanden. (I VLUFT, som skal gi maksimalkonsentrasjoner, er det også slik at all O_3 i luften forbrukes og gir NO_2 , noe som sikkert stemmer ved de dårligste forurensningsforhold, men ikke nødvendigvis ved Nordby-sletta under alle de rådende forhold. O_3 ble ikke målt på nedvindstasjonene, fordi nok O_3 -målere ikke var tilgjengelige.

Punkt 1 og 3 ovenfor resulterer begge i at KONTILENK/VLUFT gir en for stor relativ reduksjon med avstanden, ved en høyhastighetsvei i flatt, homogent terreng som ved Nordby-sletta. Pkt. 2 ovenfor resulterer også, generelt, i for sterk relativ reduksjon i VLUFT enn det som forholdene ved Nordby-sletta skulle tilsi.

Figur 42-45 reflekterer dette, for NO_x , NO_2 og PM_{10} (time) og PM_{10} (døgn). Punkt 3 skulle føre til større avvik mellom VLUFT og målingene for NO_2 enn for NO_x og PM_{10} . Figur 42-45 viser at dette er tilfelle. Nedenfor kommenteres hver av figurene.

Denne sammenligningen mellom målinger og KONTILENK/VLUFT gir grunnlag for forbedringer av modellformuleringer.

NO_x , timesverdier

Figur 42 viser målte avstandsfunksjoner for timesverdier av NO_x , på basis av de 20 høyeste verdier målt på RV1 (Figur 20, 21, 28 og 29).

VLUFT er utviklet for bymessige spredningsforhold. Ved å ta hensyn i modellen til effektene i pkt 1 og 3, vil beregninger bringes mer i samsvar med målingene.

NO_2 , timesverdier

Figur 43 viser målte NO_2 -avstandsfunksjoner, basert på Figurene 22, 23 og 28 og 29. Avviket mellom målinger og VLUFT i relativ reduksjon med avstand er størst for NO_2 . For NO_2 kommer alle de 3 punktene ovenfor inn i bildet, dvs. også O_3 - NO -reduksjon, som forklaringer av avviket.

PM_{10} , timesverdier

Figur 44 viser målte PM_{10} avstandsfunksjoner, basert på Figurene 24 – 29.

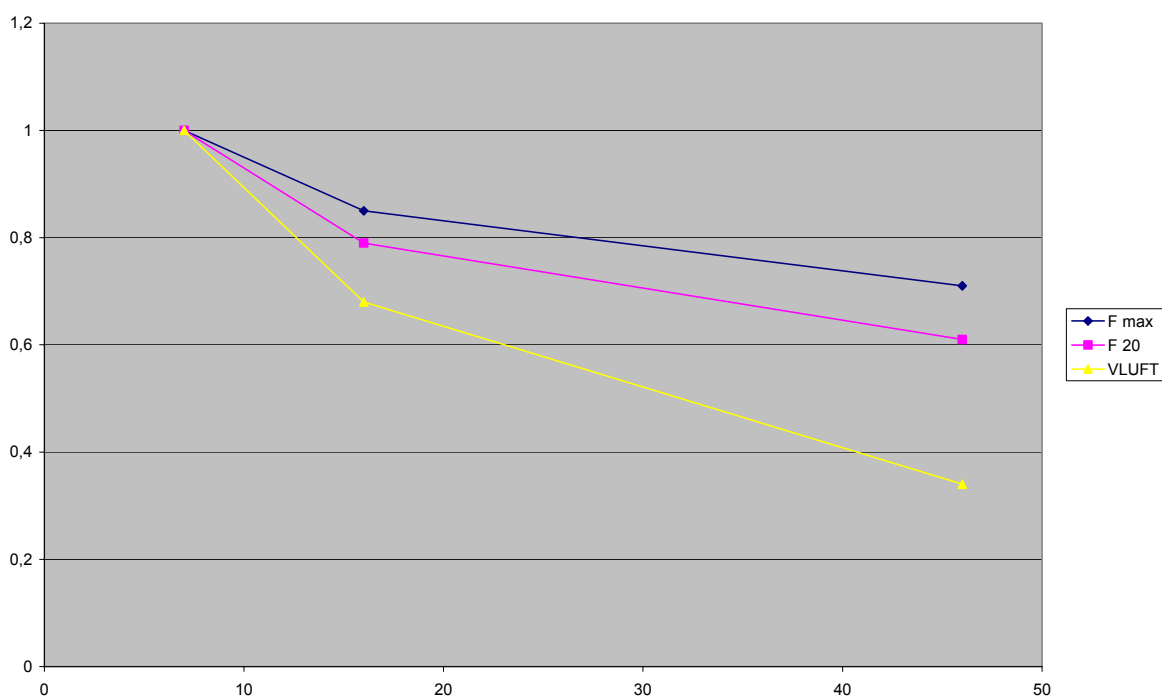
Forløp og forklaringer i stor grad som for NO_x ovenfor. En tilleggseffekt for PM_{10} er at det skjer en viss avsetning av partikler på bakken. Denne effekten anses å være lite effektiv på den korte avstanden det her er snakk om.

PM₁₀, døgnerverdier

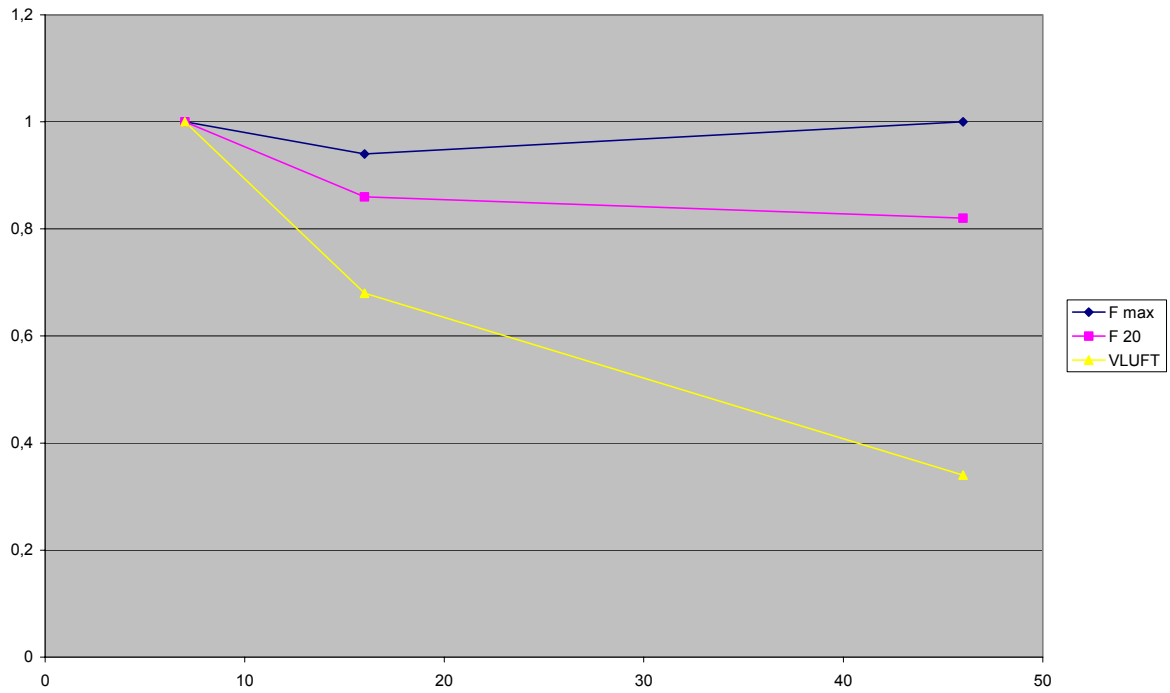
Figur 45 viser målte avstandsfunksjoner for PM₁₀ døgnerverdier, basert på Figurene 34–39.

Forløpet ligner på NO_x-time-forløpet.

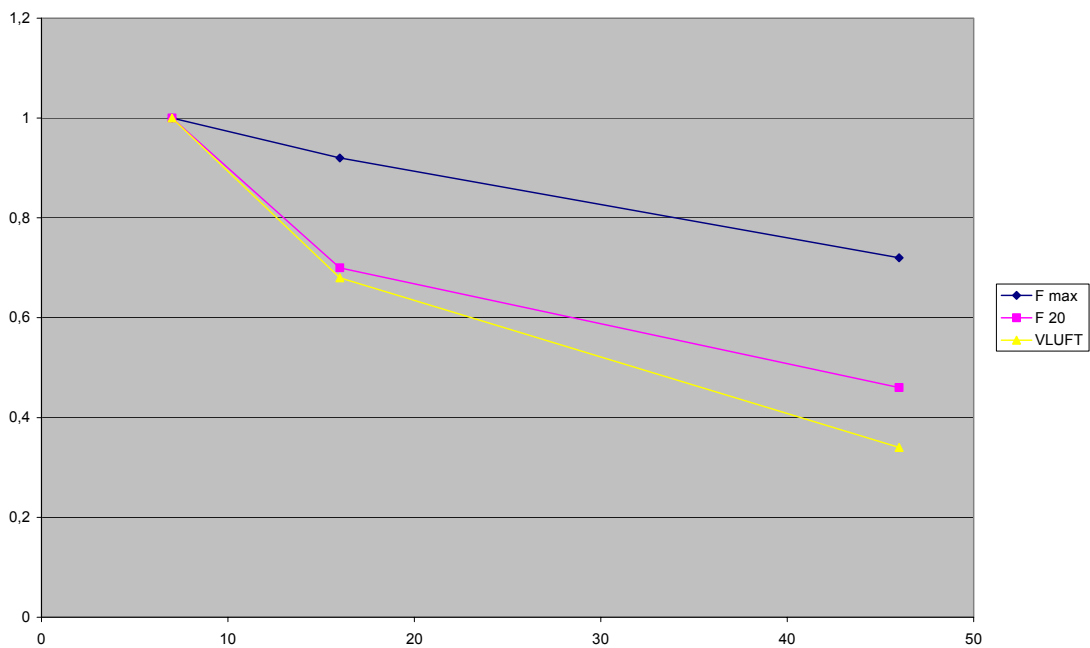
VLUFT-kurven her, for døgnerverdier, representerer forhold der det bare er 50% persistens for vind i løpet av dagtiden (se kap. 4.1). Målingene avtar imidlertid omtrent på samme måte som for timesverdier (Figur 44). Dette tyder på at persistensen kan være opp mot 100%. Vindmålingene viser nettopp dette, og likheten med NO_x-time-forløpet bekrefter også at det er liten forskjell på time og døgner i det henseendet.



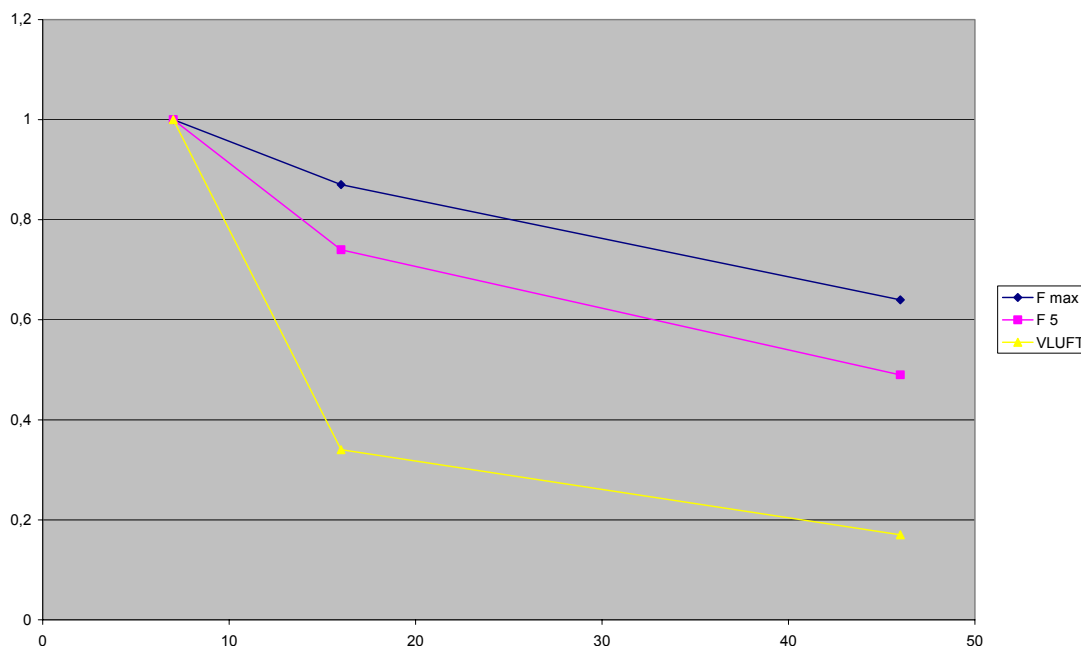
Figur 42: Målte avstandsfunksjoner, NO_x-timesverdier, i forhold til VLUFT.



Figur 43: Målte avstandsfunksjoner, NO_2 -timesverdier, i forhold til VLUFT.



Figur 44: Målte avstandsfunksjoner, PM_{10} -timesverdier, i forhold til VLUFT.



Figur 45: Målte avstandsfunksjoner, PM10 - døgnverdier, i forhold til VLUFT.

4.3 Sammenligning med resultater fra andre studier

Resultatene fra Nordby-sletta er sammenlignet med resultater fra andre målekampanjer utført ved "åpne" veier:

- Ved Strømsveien ved Helsefyr/Fyrstikkalleen, gjennomført av NILU i 1992 (Hagen et.al., 1993).
- Ved vei i Kuopio i Finland (Tiitta et.al., 2002).

Figur 46 og Figur 47 gir resultater i form av målte konsentrasjoner på ulike avstander, relativt til konsentrasjonen på 7,5 m avstand fra veikant, som er satt lik 1.0. Kuopio-resultatene er ikke inkludert i figurene (se nedenfor).

I Figur 46 er resultatene plottet langs en reell avstands-akse. Ved bruk av excel plottetverktøy kan en da ikke skjelle de ulike stolpene fra hverandre ved hjelp av farge. Figur 47 er til hjelp her. På dette plottet, der en ikke-reell avstandsakse er brukt, trer hver stolpe fram med farge, se kodingen øverst på figuren.

Vi tar utgangspunkt i VLUFT-punktene og NO_x-punktene fra Nordby-sletta. Som beskrevet tidligere ligger NO_x-punktene godt over VLUFT.

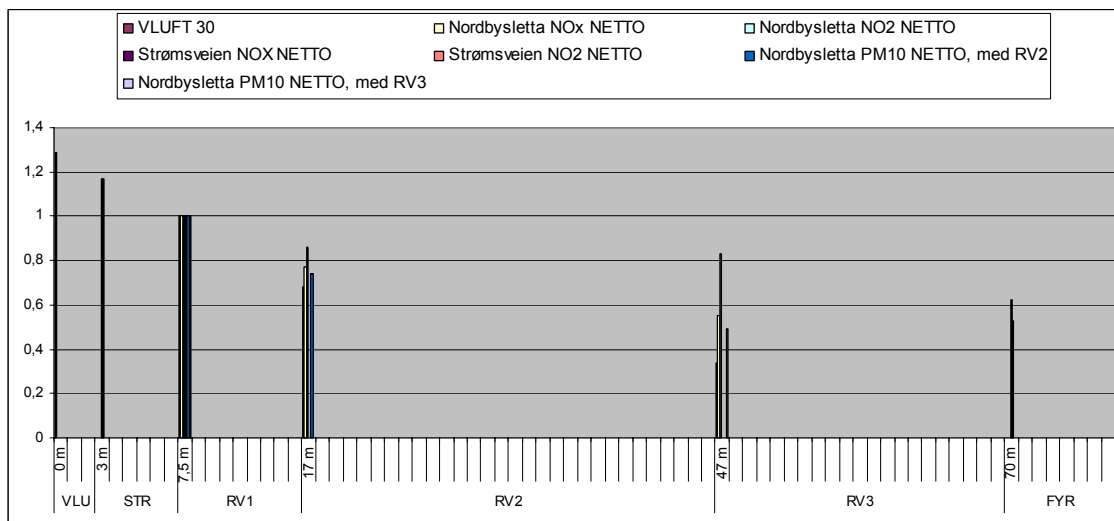
PM₁₀-punktene fra Nordby-sletta ligger omtrent som NO_x-punktene. NO₂-punktene ligger godt over NO_x og PM₁₀, av årsaker forklart i seksjon 4.2 (kjemisk reaksjon NO-O₃).

NO₂-målinger på Strømsveien (3 m)/Fyrstikkalleen (70 m) faller av raskere med avstanden enn NO₂ på Skårer. En årsak til dette er sannsynligvis at i forurensningsepisoder, som disse punktene representerer, er det i Oslo sentrum lite ozon tilgjengelig i lufta som kommer inn mot veien, for oksidasjon av NO til

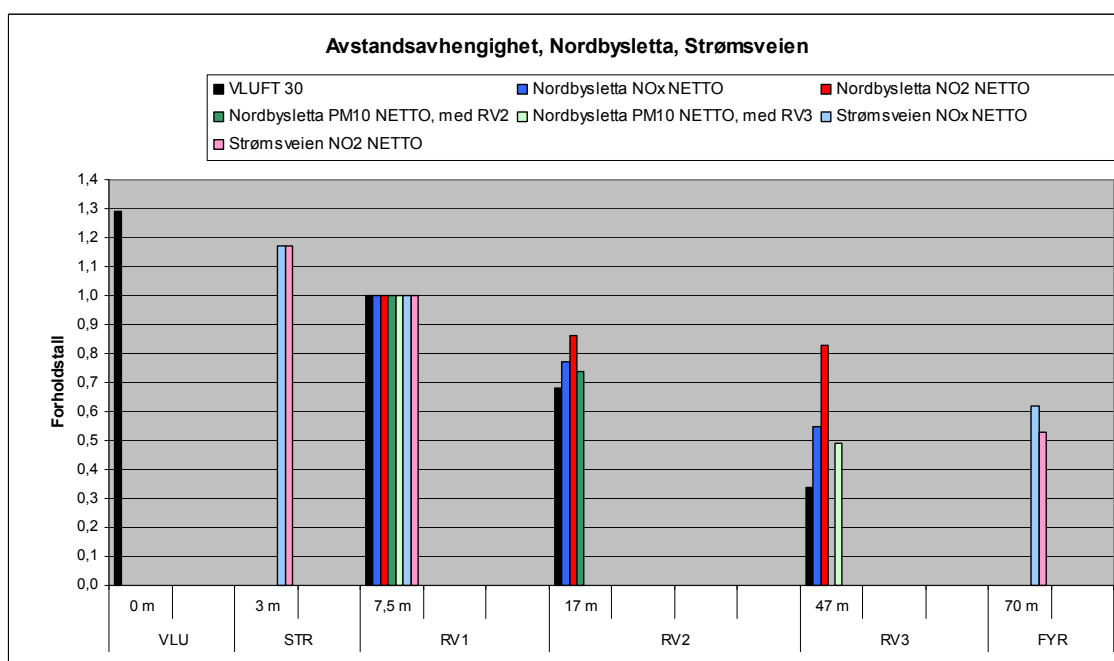
NO₂, enn det er i det landlige området ved Skårer. Ved Fyrstikkalleen får en derved ikke dette ”ozon-tillegget”, og NO₂-forløpet blir som for NO_x. NO_x- og NO₂-punktene for Fyrstikkalleen ligger noe høyere enn NO_x-forløpet ved Nordby-sletta, men støtter opp om Nordby-resultatene, dvs. mindre reduksjon enn VLUFT gir.

Den informasjon en kan trekke fra Kuopio-målingene, basert på det som står i referansen, blir ikke helt sammenlignbart med det vi trekker ut fra målingene i Oslo. Kuopio-referansen gir gjennomsnittsførhold, mens vi ser på timene/dagene med maksimal forurensning. I tillegg er det ikke gode bakgrunnsmålinger i Kuopio-studien. Vi har likevel studert Kuopio-resultatene, og finner at PM_{2,5} der faller av med avstanden litt mindre enn NO_x og PM₁₀ ved Nordby-sletta, ut til ca. 45 m.

Det er altså avvik i resultatene fra disse studiene. Det samlede inntrykket fra disse tre studiene er likevel at konsentrasjonene reduseres mindre raskt med avstanden enn det VLUFT nå gir.



Figur 46: Konsentrasjoner som funksjon av avstand fra vei. VLUFT samt resultater fra målinger ved Nordby-sletta og Strømsveien/ Fyrstikkalleen.



Figur 47: Som figur 46, men plottet langs en ikke-reell avstandsakse slik at hver stolpe, med farge, kommer fram, til hjelp for tolkning av Figur 46.

5 Konklusjoner og anbefaling

Målekampanjen gjennomført på Nordby-sletta i desember – april 2001/2002 ga svært verdifulle resultater hva gjelder forurensning (NO_x , NO_2 , PM_{10}) som funksjon av avstand fra en motorvei (ut til ca. 50 m fra veien) i et landlig område med få bygninger og relativt flatt område.

Målekampanjen ble gjennomført for å teste avstandsfunksjonen i VLUFT for en veitype som er typisk for byområder i Norge. VLUFT beregner NO_2 og PM_{10} , og målingene ble konsentrert om disse komponentene (i tillegg også NO_x og O_3 , som er nødvendige for beregning av NO_2 i mer avanserte modeller). Det hadde vært en fordel om $\text{PM}_{2,5}$ også hadde vært inkludert i større omfang, men måleutstyr for dette var ikke tilgjengelig.

Målestedet på Skårer er godt egnet for å teste VLUFT (og andre modeller) for motorveier, og stedet var bortimot ideelt for dette. Det finnes få lignende omfattende målekampanjer internasjonalt. Nordby-dataene er verdifulle for testing av ulike typer spredningsmodeller for veier, og NILU planlegger slik bruk av dataene i 2004. Et oppfølgende samarbeidsprosjekt bør defineres for dette formål.

På Nordby-sletta avtok forurensningen vesentlig mindre raskt med avstanden enn VLUFT beregner. Det ble identifisert årsaker til dette, som gir grunnlag for å forbedre VLUFT-modellen på noen punkter (se kap. 4.2):

- initialspredningen ved veien er i VLUFT hastighetsuavhengig og gjelder vesentlig lavere hastigheter enn 90 km/h;
- bakkeruheten og spredningen som dette gir er mye mindre på Nordbysletta enn det som ligger i VLUFT, som gjelder med typiske bystrøk;
- NO-O_3 -kjemien som gir et ekstra-bidrag til NO_2 s.f. av avstanden, er ikke gjort avstandsavhengig i VLUFT.

Lignende målekampanjer bør utføres for en eller flere andre typer veier i byer/tettsteder i Norge, for å kunne teste VLUFT og andre spredningsmodeller for områder med mer bebyggelse som gir mer bygningsturbulens og bedre spredning.

Det var høsten 2001 imidlertid ikke mulig å finne egnete steder ved slike veier i Oslo-området, selv om kartstudier og mange befaringer ble gjennomført.

Målingene på Nordby-sletta er sammenlignet med resultater fra to andre lignende studier. Hovedinntrykket er at konsentrasjoner avtar mindre raskt med avstanden enn VLUFT nå gir.

På grunnlag av vurderingene i kap. 4.2 og 4.3 gis følgende anbefaling når det gjelder modifikasjoner i VLUFT:

1. Bilturbulens og initialspredning som funksjon av kjørehastighet, samt kobling med atmosfærisk stabilitet i kombinasjon med bakkeruheten, innarbeides i spredningskurvene i VLUFT. Det tilstrebes å utforme spredningskurver som velges ut for kjørehastighet, tungtrafikkandel og sone.
2. NO-O₃-reaksjonen modifiseres i VLUFT, slik at det NO₂-tillegget den gir beregnes som funksjon av avstanden.
3. Variasjonsområdet for ozon i by-bakgrunnsluften studeres nærmere, og nødvendige modifikasjoner innføres.
4. Avstandsmålinger søkes utført for en vei i tettbygd strøk.

6 Referanser

Hagen, L.O., Haugsbakk, I. og Larssen, S. (1993) Nitrogenoksider og oksidanter i byområder; dannelse og effekter. Kjeller (NILU OR 32/93).

Haugsbakk, I. (1994) Utvikling av PM₁₀-modell. Måleprosjekt 3. Bergen, våren 1994. Kjeller (NILU OR 38/94).

Larssen, S. og Torp, C. (1993) Documentation of RoadAir 2.0. Lillestrøm (NILU TR 12/93).

Larssen, S., Tønnesen, D., Haugsbakk, I. og Arntzen, J. (2003) VLUFT, versjon 4.2. Sammenligning av beregninger med målinger. Kjeller (Utkast).

Petersen, W.B. (1980) User's guide for HIWAY-2. A highway air pollution model. Research Triangle Park, N.C., Environmental Protection Agency (EPA-600/8-80-018).

Slørdal, L.H., Walker, S.-E. og Solberg, S. (2003) The urban air dispersion model episode applied in AirQUIS₂₀₀₃. Technical Description. Kjeller (NILU TR 12/2003) (under arbeid).

Tiitta, P. et al. (2002) Measurements and modelling of PM_{2.5} concentrations near a major road in Kuopio, Finland. *Atmos. Environ.*, 36, 4057-4068.

Vedlegg A

Konsentrasjoner og forholdstall for NO_x, NO₂ og PM₁₀ (nettoverdier) for de 20 høyeste timemiddelverdiene og de 5 høyeste døgnmiddelverdiene på RV1.

For Tabeller A1 – A4:

Kolonner RV1, RV2, RV3 – Netto konsentrasjoner (RV1 – RV4)
Relative konsentrasjoner i forhold til RV1

Kolonne FF: vindhastighet, m/s
Kolonne DD: vindretning, grader
Kolonne RH: relativ fuktighet, %
Kolonne dT: temperatur gradient

Tabell A1: 20 høyeste timer av NO_x netto på RV1.

	Måned	Dag	Klokke	RV1 NETTO	RV2 NETTO	RV3 NETTO	RV1 NETTO	RV2 NETTO	RV3 NETTO	FF	DD	TT	RH	dT
1	1	2	17	733,4	625,8	548,1	1,00	0,85	0,75	1,8	173	-15,4	88,5	0,6
2	2	12	9	721,5	580,7	414,6	1,00	0,80	0,57	2,1	89	-4,8	94,9	-0,1
3	2	11	8	719,0	454,6	297,0	1,00	0,63	0,41	2,1	150	-4,2	93,6	-0,1
4	1	10	10	645,3	543,2	369,6	1,00	0,84	0,57	1,2	226	-7,7	92,3	1,9
5	1	30	8	637,6	501,7	385,4	1,00	0,79	0,60	2,1	134	-11,9	90,6	0,2
6	1	30	9	621,5	525,4	462,6	1,00	0,85	0,74	2,1	136	-12,7	89,9	0,2
7	1	30	10	605,0	503,5	422,4	1,00	0,83	0,70	1,8	137	-12,6	89,8	0,1
8	1	2	16	593,3	512,8	420,7	1,00	0,86	0,71	1,8	178	-14,5	87,2	0,3
9	3	4	8	588,8	429,2	258,5	1,00	0,73	0,44	1,8	55	-4,0	87,7	1,8
10	2	25	8	561,4	448,1	311,5	1,00	0,80	0,55	2,4	89	-12,4	85,9	0,0
11	3	8	8	549,8	431,2	402,3	1,00	0,78	0,73	2,7	150	-7,5	90,6	0,6
12	2	12	8	540,3	448,3	390,3	1,00	0,83	0,72	1,5	97	-5,2	95,2	-0,1
13	1	2	18	530,3	444,2	346,7	1,00	0,84	0,65	1,5	158	-15,6	88,1	0,9
14	1	9	9	526,9	440,0	383,9	1,00	0,84	0,73	1,2	140	-11,1	90,8	0,0
15	1	9	8	526,9	435,0	309,6	1,00	0,83	0,59	1,5	119	-10,3	91,2	0,0
16	3	8	9	523,4	439,5	343,2	1,00	0,84	0,66	2,7	139	-4,4	84,5	0,5
17	2	14	8	522,0	380,7	274,9	1,00	0,73	0,53	2,4	149	-11,1	90,7	-0,1
18	1	2	8	516,9	429,5	287,4	1,00	0,83	0,56	2,7	109	-14,9	86,5	0,5
19	1	30	13	515,5	369,6	281,4	1,00	0,72	0,55	1,8	126	-7,5	89,6	-0,2
20	2	4	8	508,3	293,1	190	1,00	0,58	0,37	2,7	127	3,8	96,7	-0,2
Middel				584,4	461,8	355,0	1,00	0,79	0,61	2,0		-9,2	90,2	0,3

Tabell A2: 20 høyeste timer av NO₂ netto på RV1.

	Måned	Dag	Klokke	Forholdstall							FF	DD	TT	RH	dT
				RV1 NETTO	RV2 NETTO	RV3 NETTO	RV1 NETTO	RV2 NETTO	RV3 NETTO	RV3 NETTO					
1	4	3	14	72,9	52,7	55,1	1,00	0,72	0,76	2,7	58	8,4	85,7	-0,3	
2	2	25	7	71,8	51,7	46,0	1,00	0,72	0,64	2,4	75	-11,8	83,7	1,0	
3	1	31	11	71,7	60,0	58,0	1,00	0,84	0,81	1,8	69	-3,3	95,2	-0,5	
4	2	7	13	69,1	46,5	36,2	1,00	0,67	0,52	2,7	114	-1,3	88,0	-0,6	
5	4	10	20	69,1	58,6	53,1	1,00	0,85	0,77	4,5	204	5,6	51,1	0,0	
6	4	11	20	68,3	64,3	68,8	1,00	0,94	1,01	2,4	181	5,8	47,0	0,4	
7	4	10	22	67,9	59,4	48,8	1,00	0,87	0,72	2,4	189	3,2	65,4	0,2	
8	4	11	22	67,7	60,6	66,3	1,00	0,90	0,98	1,2	170	1,0	70,7	0,5	
9	4	9	19	67,7	62,6	62,3	1,00	0,92	0,92	3,0	195	6,6	62,0	-0,4	
10	4	9	15	66,2	56,7	41,7	1,00	0,86	0,63	3,6	179	8,2	55,1	-1,2	
11	4	2	20	66,2	57,6	70,3	1,00	0,87	1,06	3,0	74	8,1	90,7	-0,3	
12	1	3	16	65,9	56,7	59,8	1,00	0,86	0,91	1,8	53	-13,2	89,1	-0,2	
13	2	25	13	65,6	58,7	50,3	1,00	0,89	0,77	4,2	213	1,1	47,7	-1,1	
14	2	6	7	64,4	49,1	45,5	1,00	0,76	0,71	3,6	216	3,1	93,0	-0,1	
15	3	22	7	64,3	57,1	44,1	1,00	0,89	0,69	3,3	56	0,0	75,1	-0,2	
16	1	17	10	63,2	52,3	49,5	1,00	0,83	0,78	2,1	63	1,9	97,1	-0,1	
17	1	3	17	62,4	60,3	57,7	1,00	0,97	0,92	1,2	154	-13,5	88,9	-0,2	
18	3	21	8	60,6	60,4	53,8	1,00	1,00	0,89	2,7	83	-0,4	59,5	-0,1	
19	3	8	9	59,9	56,6	51,4	1,00	0,94	0,86	2,7	139	-4,4	84,5	0,5	
20	4	4	18	59,9	54,5	53,6	1,00	0,91	0,89	5,7	73	11,3	62,9	-0,3	
Middel				66,2	56,8	53,6	1,00	0,86	0,81	2,9		0,8	74,6	-0,2	

Tabell A3: 20 høyeste timer av PM_{10} netto på RV1 med RV2.

	Måned	Dag	Klokke	RV1 NETTO	RV2 NETTO	RV3 NETTO	Forholdstall			FF	DD	TT	RH	dT
							RV1 NETTO	RV2 NETTO	RV3 NETTO					
1	3	15	10	451,1	268,2		1,00	0,59		3,9	68	-2,9	60,7	-0,8
2	3	15	9	374,1	248,2		1,00	0,66		3,3	210	-4,6	64,8	-0,3
3	3	15	11	314,9	250,2		1,00	0,79		3,6	68	-0,8	54,9	-0,6
4	3	14	10	314,1	200,7		1,00	0,64		2,7	84	-3,7	62,4	-0,8
5	2	21	11	305,2	242,1		1,00	0,79		1,5	163	-4,5	69,9	-0,4
6	3	15	8	302,3	168,2		1,00	0,56		3,6	210	-6,0	67,7	-0,3
7	2	21	12	296,3	200,9		1,00	0,68		5,7	228	-2,6	45,3	-1,1
8	2	20	19	259,4	232,7		1,00	0,90		1,2	151	-7,1	68,3	-0,1
9	2	20	18	254,0	127,1		1,00	0,50		2,1	65	-5,2	54,8	-0,2
10	2	21	15	239,1	210,3		1,00	0,88		7,5	215	-0,7	37,4	-0,6
11	3	14	19	217,0	172,7		1,00	0,80		2,4	196	-0,4	52,1	0,0
12	2	21	14	210,8	211,6		1,00	1,00		6,3	211	-0,7	34,8	-1,1
13	2	21	13	209,9	158,2		1,00	0,75		5,7	224	-1,8	38,0	-1,1
14	3	15	20	201,0	154,0		1,00	0,77		2,1	180	-1,2	72,0	0,0
15	3	15	12	200,4	125,2		1,00	0,62		4,8	66	1,0	46,5	-0,5
16	2	20	14	195,9	64,8		1,00	0,33		4,2	51	-5,3	64,5	-0,5
17	3	14	21	193,9	181,0		1,00	0,93		1,5	210	-3,3	70,1	0,2
18	2	14	15	193,2	136,0		1,00	0,70		4,8	223	-1,5	63,6	-0,7
19	3	15	19	191,3	17,2		1,00	0,09		2,1	51	2,5	50,9	0,3
20	3	14	11	189,1	192,7		1,00	1,02		0,6	116	-0,6	54,8	-0,4
Middel				255,7	178,1		1,00	0,70		3,5	149,5	-2,5	56,7	-0,5

Tabell A4: 20 høyeste timer av PM₁₀ netto på RV1 med RV3.

	Måned	Dag	Klokke	RV1 NETTO	RV2 NETTO	RV3 NETTO	Forholdstall			FF	DD	TT	RH	dT
							RV1 NETTO	RV2 NETTO	RV3 NETTO					
1	3	21	8	243,9		39,6	1,00		0,16	1,0	83	-0,4	59,5	-0,1
2	4	12	8	183,0		167,0	1,00		0,91	3,9	74	2,8	65,7	-0,5
3	4	8	8	178,0		104,5	1,00		0,59	2,1	155	3,6	84,6	-0,6
4	4	8	14	166,2		55,5	1,00		0,33	5,1	216	8,1	64,1	-1,1
5	4	8	9	164,3		118,5	1,00		0,72	2,7	161	5,5	74,3	-0,7
6	4	9	8	158,7		89,6	1,00		0,56	2,4	68	2,3	90,8	-0,5
7	4	8	12	155,6		47,5	1,00		0,31	5,4	213	8,1	58,9	-1,2
8	4	8	7	155,2		84,5	1,00		0,54	2,7	106	2,6	87,9	-0,5
9	4	11	7	149,8		72,7	1,00		0,49	3,3	79	0,8	92,6	-0,4
10	4	9	7	141,9		50,6	1,00		0,36	2,1	141	0,3	93,0	-0,5
11	4	8	6	135,7		48,0	1,00		0,35	0,5	91	2,3	89,1	-0,3
12	4	8	13	132,8		56,5	1,00		0,43	2,8	201	8,1	61,9	-1,0
13	4	8	10	126,6		68,5	1,00		0,54	0,9	148	6,9	68,7	-0,8
14	4	8	15	122,7		48,5	1,00		0,40	2,8	186	7,3	65,8	-0,9
15	4	5	7	120,4		22,1	1,00		0,18	1,9	68	2,7	79,6	-0,4
16	4	6	11	115,6		31,3	1,00		0,27	2,1	60	6,0	69,3	-0,6
17	4	11	14	115,0		53,7	1,00		0,47	5,4	188	10,3	32,4	-1,4
18	4	10	7	114,2		22,8	1,00		0,20	0,4	154	-2,2	93,9	-0,5
19	4	9	9	112,1		69,6	1,00		0,62	0,9	166	5,0	77,5	-0,9
20	4	11	20	111,0		79,0	1,00		0,71	1,2	181	5,8	47,0	0,4
Middel				145,1		66,5	1,00		0,46	2,5		4,3	72,8	-0,6

Tabell A5: Sammen drag, timemiddelverdier, konsentrasjoner og forholdstall, ut fra 20 høyeste timer netto på RV1.

	NO _x NETTO	NO ₂ NETTO	PM ₁₀ NETTO, med RV2	PM ₁₀ NETTO, med RV3
RV1	584,4	66,2	255,7	145,1
RV2	461,8	56,8	178,1	
RV3	355,0	53,6		66,5
RV4	0,0	0,0	0,0	0,0
RV1	1,00	1,00	1,00	1,00
RV2	0,79	0,86	0,70	
RV3	0,61	0,81		0,46
RV4	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabell A6: 5 høyeste døgn av NO_x netto på RV1.

Måned	Dag	NETTO				Forholdstall				
		RV1	RV2	RV3	RV4	RV1	RV2	RV3	RV4	
	1	2	313,6	254,2	196,2	0,0	1,00	0,81	0,63	0,00
	1	9	246,6	183,4	116,3	0,0	1,00	0,74	0,47	0,00
	1	7	244,1	180,8	112,7	0,0	1,00	0,74	0,46	0,00
	2	25	240,1	190,6	142,6	0,0	1,00	0,79	0,59	0,00
	1	30	227,8	167,2	136,2	0,0	1,00	0,73	0,60	0,00
Middel			254,4	195,2	140,8	0,0	1,00	0,77	0,55	0,00

Tabell A7: 5 høyeste døgn av NO₂ netto på RV1.

Måned	Dag	NETTO				Forholdstall				
		RV1	RV2	RV3	RV4	RV1	RV2	RV3	RV4	
	2	8	34,9	28,9	27,5	0,0	1,00	0,83	0,79	0,00
	2	25	36,7	31,9	31,3	0,0	1,00	0,87	0,85	0,00
	4	9	33,2	29,2	25,2	0,0	1,00	0,88	0,76	0,00
	4	10	36,2	30,5	29,0	0,0	1,00	0,84	0,80	0,00
	4	11	39,1	34,4	35,6	0,0	1,00	0,88	0,91	0,00
Middel			36,0	31,0	29,7	0,0	1,00	0,86	0,83	0,00

Tabell A8: 5 høyeste døgn av PM₁₀ netto på RV1 med data på RV2 og RV4.

Måned	Dag	NETTO				Forholdstall			
		RV1	RV2	RV3	RV4	RV1	RV2	RV3	RV4
	2	20	86,6	57,1	0,0	1,00	0,66		0,00
	2	21	107,4	94,2	0,0	1,00	0,88		0,00
	2	25	72,8	58,3	0,0	1,00	0,80		0,00
	3	14	89,8	63,9	0,0	1,00	0,71		0,00
	3	15	112,8	71,6	0,0	1,00	0,63		0,00
Middel			93,9	69,0	0,0	1,00	0,74		0,00

Tabell A9: 5 høyeste døgn av PM_{10} netto på RV1 med data på RV3 og RV4.

Måned	Dag	RV1	RV2	RV3	RV4	Forholdstall			
						RV1	RV2	RV3	RV4
		NETTO	NETTO	NETTO	NETTO	NETTO	NETTO	NETTO	NETTO
4	5	52,9		18,9	0,0	1,00		0,36	0,00
4	8	73,4		34,2	0,0	1,00		0,47	0,00
4	9	65,4		30,7	0,0	1,00		0,47	0,00
4	10	55,2		27,7	0,0	1,00		0,50	0,00
4	11	66,4		42,6	0,0	1,00		0,64	0,00
Middel		62,7		30,8	0,0	1,00		0,49	0,00

Tabell A10: Sammendrag, døgnmiddelverdier, konsentrasjoner og forholdstall, ut fra 5 høyeste døgn netto på RV1.

	NO _x NETTO	NO ₂ NETTO	PM ₁₀ NETTO, med RV2	PM ₁₀ NETTO, med RV3
RV1	254,4	36,0	93,9	62,7
RV2	195,2	31,0	69,0	
RV3	140,8	29,7		30,8

	NO _x NETTO	NO ₂ NETTO	PM ₁₀ NETTO, med RV2	PM ₁₀ NETTO, med RV3
RV1	1,00	1,00	1,00	1,00
RV2	0,77	0,86	0,74	
RV3	0,55	0,83		0,49

Vedlegg B

Spredning i bymessige strøk kontra landlige forhold uten bebyggelse

Spredning av forurensning skjer typisk mer effektivt i bymessige områder med mer bakkeruhet enn over flat bakke uten særlige ujevnheter, slik som området ved Nordby-sletta.

Den mest brukte skalaen på sammenhengen mellom overflatetype og bakkeruhet (meteorologisk/aerodynamisk ruhet) er laget av Davenport og Wieringa (Wieringa, 1992, 1993) og er gjengitt i Tabell B 1.

Tabell B 1: Davenport og Wieringa ruhets klassifisering.

z_0 (m)	Beskrivelse
0,0002	Helt flatt område i kilometers omkrets, f.eks. snødekket flate
0,005	Konturløst landskap, ingen vegetasjon
0,03	Flatt åpent terreng med lav vegetasjon (gress) og isolerte hindringer i avstand minst 50 ganger sin høyde
0,10	Moderat åpent landskap med lav vegetasjon og hindringer i avstand minst 20 ganger sin høyde
0,25	Oppdyrket område med høy vegetasjon og hindringer i avstand omkring 15 ganger sin høyde
0,50	Kultivert landskap (parker) med mange ganske store hindringer i avstand omkring 10 ganger sin høyde
1,0	Områder totalt og regelmessig dekket med hindringer i samme avstand som sin høyde (homogene byer/forsteder)
$\geq 2,0$	Sentrum av meget store byer med en blanding av høye og lave bygninger. Alternativt: skogsområde med høye trær.

Denne klassifisering brukes bl.a. av WMO (World Meteorological Organization).

Det er ofte vanskelig å definere en korrekt ruhet for et bestemt område. Helst bør ruhet måles lokalt. Definisjonen på meteorologisk ruhet (som vi bruker her) er den høyden over bakken under hvilken den resulterende vindstyrken er 0 m/s, pga. vegetasjonen eller bebyggelsen rundt.

Ved å bruke tabellen over og sammenligne med forholdene ved Nordby-sletta ved Skårer har vi anslått lokal meteorologisk ruhet z_0 der til å være ca. 0,1 m. For å beskrive mer bymessige forhold (Oslo) har vi satt $z_0 = 0,8$ m. Dette kan kanskje virke noe lavt ut fra tabellen over, men i andre modelleringssammenhenger i Oslo (f.eks. Bedre Byluft beregningene) er ruheten for Oslo aldri noe sted satt høyere enn 0,5 m. Ut fra dette mener vi en bakkeruhet på 0,8 m ikke burde være for lavt for store deler av Oslo (om ikke midt i sentrum).

For å vise betydningen på spredningen (fortynningen) av den turbulensen som bygninger i bymessige områder skaper, er det gjennomført beregninger av spredning fra en punktkilde i bakkenivå, med en gaussisk punktkildemodell. Bygningsturbulens er simulert ved å legge inn en bakkeruhet (z_0) på 0,8 m, i forhold til en ruhet på 0,1 m ved flat bakke uten særlige ujevnheter.

Figur B 1 og Figur B 2 viser at ved nøytrale stabilitetsforhold i atmosfæren er forskjellen i spredning ved z_0 på 0,8 og 0,1 liten, mens den er ganske vesentlig ved stabile spredningsforhold.

I beregningene har vi satt lufttemperaturen til 0°C og vi har beregnet for følgende stabilitetsforhold:

- (a) Ustabil: $\Delta T_{10-2m} = -0,16^\circ\text{C}$
- (b) Nøytral: $\Delta T_{10-2m} = -0,08^\circ\text{C}$
- (c) Lett stabilt: $\Delta T_{10-2m} = 0,0^\circ\text{C}$
- (d) Stabilt: $\Delta T_{10-2m} = +0,08^\circ\text{C}$

De horisontale og vertikale turbulensparametrene σ_v og σ_w for referanse høyde 1 meter over bakken, er så beregnet med NILUs meteorologiske preprocessor MEPDIM (Böhler, 1996) for vindstyrker fra 0,5 til 3,0 m/s i 10 meters høyde over bakken. Resultatene av disse beregningene for henholdsvis land ($z_0 = 0,1$ m) og by ($z_0 = 0,8$ m) er gitt i Tabell B 2.

Tabell B 2 Horisontal (σ_v) og vertikal (σ_w) turbulens som funksjon av vindstyrke og stabilitet for hhv. landlige forhold med ruhet $z_0 = 0,1$ m og for bymessige forhold med $z_0 = 0,8$ m. Referanse høyde = 1 m.o.b.
Enhet: m/s.

Vindstyrke	Flatt landlig terreng med $z_0 = 0,1$ m							
	Ustabil		Nøytral		Lett stabilt		Stabilt	
	Sigma-v	Sigma-w	Sigma-v	Sigma-w	Sigma-v	Sigma-w	Sigma-v	Sigma-w
0,5	1,21	0,40	0,74	0,27	0,03	0,03	0,03	0,03
1,0	1,22	0,40	0,75	0,29	0,09	0,08	0,07	0,06
1,5	1,24	0,42	0,78	0,32	0,16	0,15	0,10	0,09
2,0	1,27	0,45	0,82	0,36	0,23	0,21	0,13	0,12
2,5	1,31	0,49	0,87	0,40	0,29	0,27	0,20	0,18
3,0	1,35	0,53	0,92	0,45	0,36	0,33	0,27	0,25

Vindstyrke	Bymessige forhold med $z_0 = 0,8$ m							
	Ustabil		Nøytral		Lett stabilt		Stabilt	
	Sigma-v	Sigma-w	Sigma-v	Sigma-w	Sigma-v	Sigma-w	Sigma-v	Sigma-w
0,5	1,24	0,41	0,77	0,30	0,05	0,04	0,06	0,06
1,0	1,30	0,47	0,84	0,37	0,18	0,17	0,12	0,11
1,5	1,37	0,55	0,92	0,45	0,31	0,29	0,14	0,13
2,0	1,45	0,63	1,03	0,54	0,43	0,40	0,28	0,26
2,5	1,56	0,72	1,15	0,63	0,55	0,51	0,42	0,38
3,0	1,67	0,81	1,26	0,73	0,67	0,62	0,55	0,51

Som vi ser av tabellen er turbulensparametrene for samme vindstyrke og stabilitet generelt større for by enn land. Dette er oppsummert i Tabell B 3 som viser forholdstallene mellom henholdsvis σ_v og σ_w for by i forhold til land.

Tabell B 3: Forholdet mellom turbulens-verdiene beregnet i Tabell B1 (by/land) som funksjon av vindstyrke og stabilitet.

Vindstyrke	Forholdstall mellom sigma-verdier for by og for land							
	Ustabil		Nøytral		Lett stabil		Stabil	
	Sigma-v	Sigma-w	Sigma-v	Sigma-w	Sigma-v	Sigma-w	Sigma-v	Sigma-w
0,5	1,02	1,03	1,04	1,11	1,67	1,33	2,00	2,00
1,0	1,07	1,18	1,12	1,28	2,00	2,13	1,71	1,83
1,5	1,10	1,31	1,18	1,41	1,94	1,93	1,40	1,44
2,0	1,14	1,40	1,26	1,50	1,87	1,90	2,15	2,17
2,5	1,19	1,47	1,32	1,58	1,90	1,89	2,10	2,11
3,0	1,24	1,53	1,37	1,62	1,86	1,88	2,04	2,04

Som vi ser av Tabell B 3 varierer forholdstallet fra ca. 1 til litt høyere enn 2. Lave forholdstall er det for ustabile forhold og for lave vindstyrker, mens forholdstallet er høyere for stabile forhold og sterkere vind, en kombinasjon som forekommer sjelden.

For å se på virkningen av større turbulens i by kontra land på konsentrasjonen som funksjon av avstand fra vei har vi gjennomført en forenklet beregning av denne i de tre avstandene som gjelder ved Nordby-sletta: 7,3, 16,8 og 46,8 m. Vi har i denne sammenheng regnet på virkningen av økt turbulens på konsentrasjonen i de tre reseptorpunktene fra et punkt på veien, med vind på tvers av veien. Det er regnet med en utslippshøyde og reseptorhøyde på 0 m (bakke-kilde og reseptor). Resultatene her kan derfor ikke direkte sammenlignes med beregningene med HIWAY, men de er allikevel indikerende på betydningen av økt turbulens på konsentrasjonsprofilen som funksjon av avstand fra vei.

Basert på forenklingene ovenfor kan vi uttrykke konsentrasjonen i et gitt punkt med avstand D fra veien som følger:

$$C = \frac{1}{2\pi u \sigma_y(D) \sigma_z(D)} \quad (1)$$

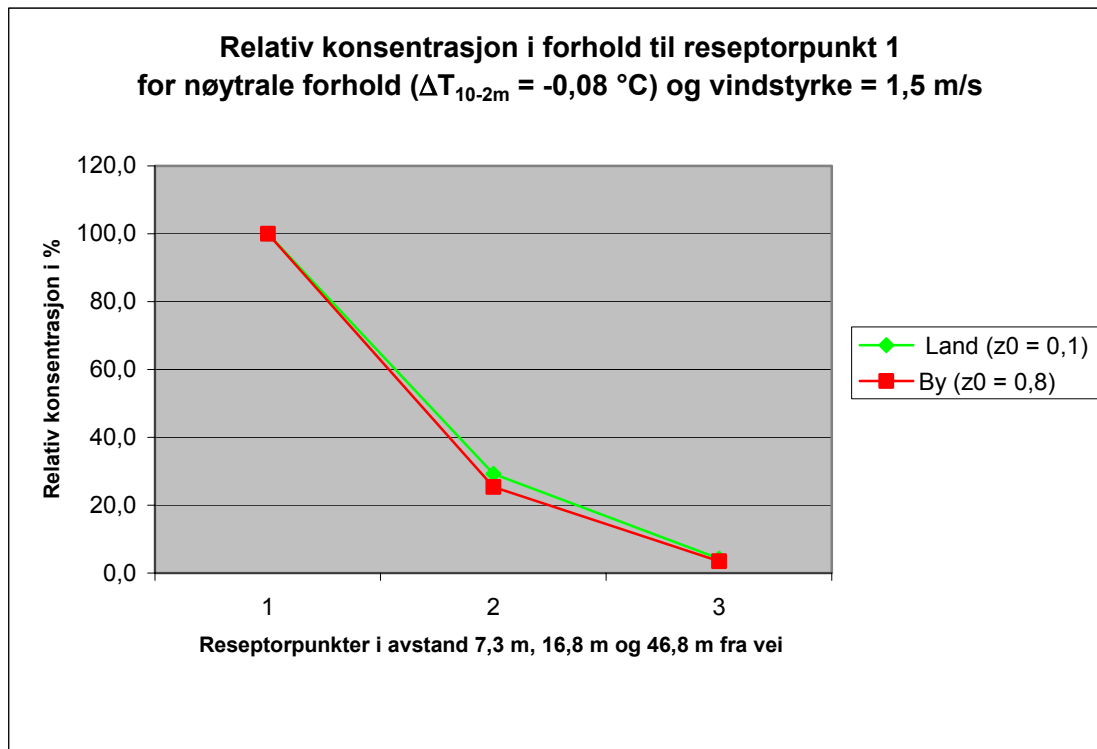
der u er vindstyrken og der

$$\sigma_y(D) = \sqrt{\sigma_{y_0}^2 + \left(\sigma_w \cdot \frac{D}{u}\right)^2} \quad (2)$$

$$\sigma_z(D) = \sqrt{\sigma_{z_0}^2 + \left(\sigma_w \cdot \frac{D}{u}\right)^2} \quad (3)$$

Uttrykkene for σ_y og σ_z er gyldige for de relativt små tids- og avstandsskalaene vi opererer med her (avstander under 50 m). Initialturbulensen ved veien er satt som i HIWAY modellen til $\sigma_{y_0} = 3,0$ m og $\sigma_{z_0} = 1,5$ m. Forholdstallet $t = D/u$ representerer her transporttiden fra kilden (et punkt på veien) til reseptorpunktet i avstand D meter dersom vindstyrken er u m/s.

Figur B 1 viser konsentrasjonen beregnet med (1) for de tre reseptoravstandene ved Nordby-sletta for nøytrale forhold og en vindstyrke på 1,5 m/s. I figuren presenterer vi den relative konsentrasjonen i % i de tre reseptorpunktene i forhold til et nivå i reseptorpunkt 1 på 100 %. Den grønne kurven viser konsentrasjonen for landforhold ($z_0 = 0,1$ m) mens den røde kurven viser konsentrasjonen for byforhold ($z_0 = 0,8$ m).

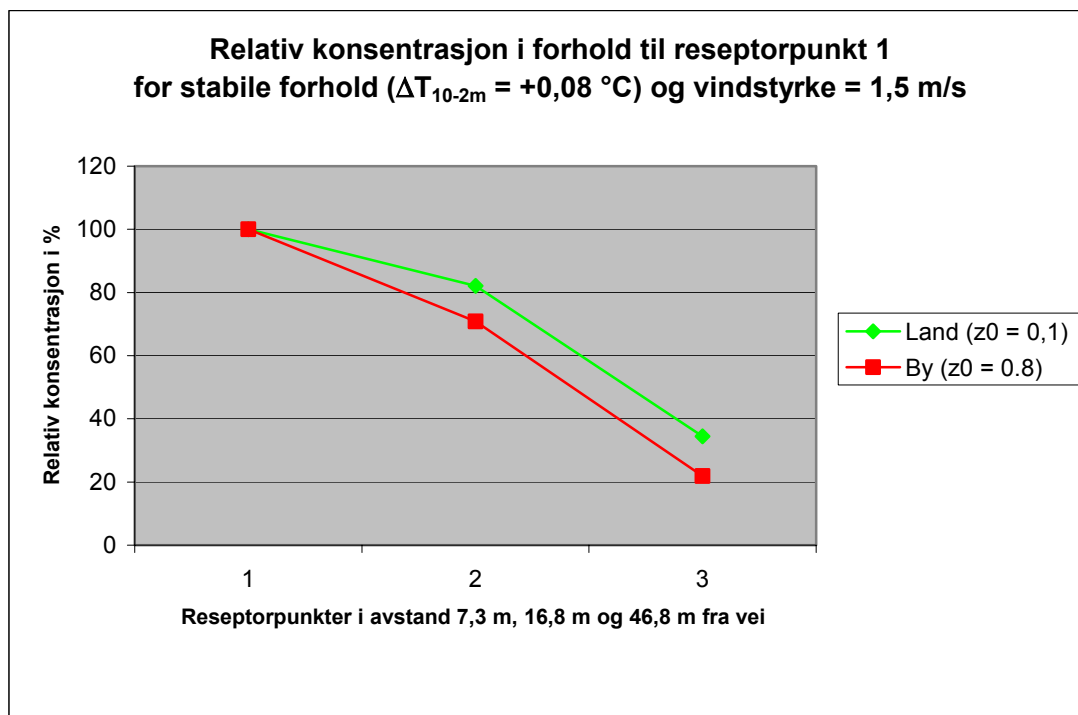


Figur B 1: Relativ konsentrasjon i forhold til reseptorpunkt 1 for nøytrale forhold

($\Delta T_{10-2m} = -0,08$ °C) og for vindstyrke 1,5 m/s for hhv. landforhold ($z_0 = 0,1$ m) og byforhold ($z_0 = 0,8$ m).

Som vi ser av figuren faller konsentrasjonen noe raskere med økt grad av turbulens. I reseptorpunkt 2 er kurven for by ca. 13 % lavere enn kurven for land mens den faktisk er ca. 17 % lavere i reseptorpunkt 3.

Figur B 2 viser tilsvarende kurver, men for stabile forhold (samme vindstyrke på 1,5 m/s).



Figur B 2: Relativ konsentrasjon i forhold til reseptorpunkt 1 for stabile forhold ($\Delta T_{10-2m} = +0,08$ °C) og for vindstyrke 1,5 m/s for hhv. landforhold ($z_0 = 0,1$ m) og byforhold ($z_0 = 0,8$ m).

Som vi ser av denne figuren faller ikke konsentrasjonene like raskt som i det nøytrale tilfelle, men forskjellen mellom den røde (by) og den grønne (land) kurven er større. I reseptorpunkt 2 er kurven for by ca. 14 % lavere enn kurven for land mens den er ca. 37 % lavere i reseptorpunkt 3.

Det er igjen viktig å understreke at disse beregningene gjelder for en punktkilde plassert på veien og direkte oppstrøms for de tre reseptorpunktene. Etersom veien er en linjekilde er konsentrasjonen i reseptorpunktene egentlig et integrert bidrag fra alle punktene langs hele veien. Dette vil endre konsentrasjonsprofilene noe, men hovedbildet vil allikevel være at økt turbulens (fra land til byforhold) vil bidra til å redusere konsentrasjonsbidraget i alle avstander fra veien.

Referanser

Bøhler, T. (1996) MEPDIM. The NILU Meteorological Processor for Dispersion Modelling. Version 1.0. Model description. Kjeller (NILU TR 7/96).

Wieringa, J. (1993), Representative roughness parameters for homogeneous terrain, *Boundary Layer Meteorology*, Vol. 63, No. 4, pp. 323-364.

Wieringa, J. (1992), Updating the Davenport Roughness Classification, *J. Wind Engin. Industr. Aerodyn.* 41, 357-368.

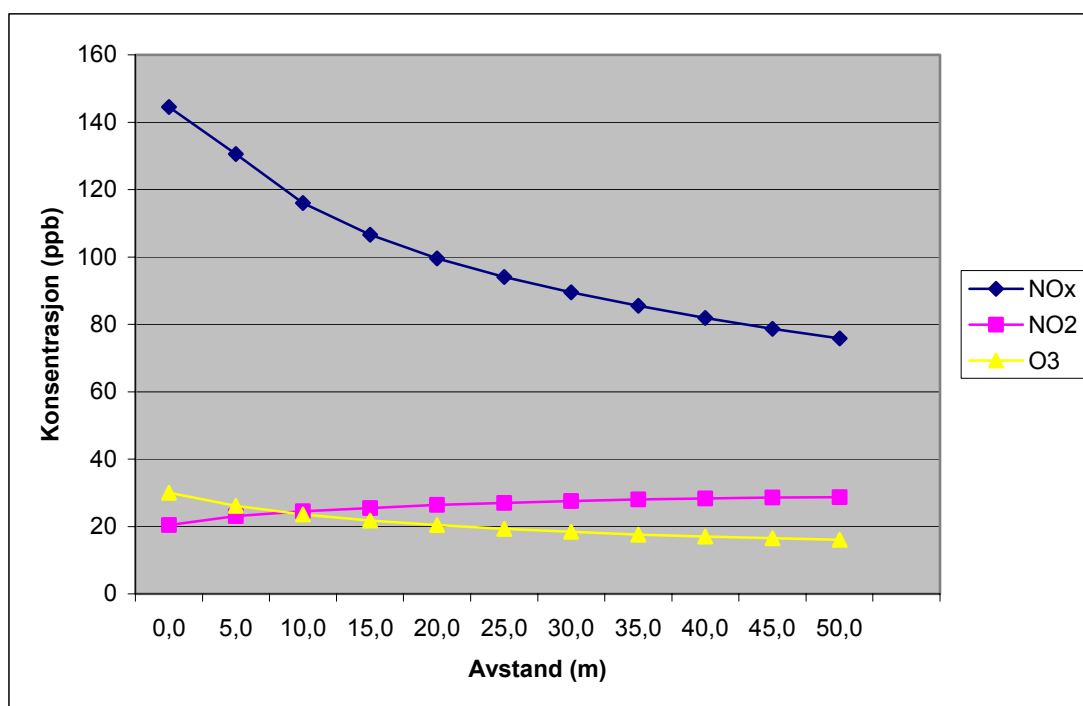
Vedlegg C

Spredning fra vei, med NO-NO₂-O₃-kjemi

For å se på virkningen av den raske NO-NO₂-O₃ kjemien på konsentrasjonsnivået av NO₂ som funksjon av avstand fra vei har vi gjennomført beregninger med modellen LINES. Det teoretiske grunnlaget for denne modellen er beskrevet i (Grønseth, 1994). Modellen beregner NO₂ som funksjon av avstand fra vei og høyde over bakken i et brukerdefinert rutenett ved å løse transport (adveksjon og diffusjon) og fotokjemi-ligningene samtidig i et koblet system av partielle differensialligninger. Også NO_x, O_x = NO₂ + O₃ og O₃ blir beregnet i modellen.

Vi har gjennomført en beregning med LINES for en situasjon med relativt dårlige spredningsforhold karakterisert ved friksjonshastighet $u^* = 0,2$ m/s og en Monin-Obukhov lengde $L = 100$ m. Dette tilsvarer lett stabile forhold ($\Delta T_{10-2m} = 0,0$ °C) med en vindstyrke på ca. 1 m/s i 1 m.o.b. Overflateruheten er satt til 0,1 m for å karakterisere forholdene ved Nordby-sletta under vinterforhold (i januar) med snø på bakken. Vi regner med en solhøyde på 0 grader, dvs. ikke sol tilstede. Utslippsintensiteten for alle vei-filene ved Nordby-sletta samlet sett er estimert (grovt) til 9,34 mg/ms for NO_x og 8% av dette = 0,747 mg/ms for NO₂ for en typisk situasjon med morgen eller ettermiddagstrafikk. Bakgrunnskonsentrasjoner av NO_x, NO₂ og O₃ er satt til hhv. 15 ppb = 30 ug/m³, 10 ppb = 20 ug/m³ og 30 ppb = 60 ug/m³ i beregningene.

Resultatet av beregningene er vist i Figur C1.



Figur C1: NO_x-, NO₂- og O₃-konsentrasjoner i 1 m.o.b. som funksjon av avstand fra vei for lett stabile forhold ($\Delta T_{10-2m} = 0,0$ °C) med en vindstyrke på ca. 1 m/s på Nordby-sletta. Bakgrunnskonsentrasjoner av NO_x, NO₂ og O₃ er satt til hhv. 15 ppb = 30 ug/m³, 10 ppb = 20 ug/m³ og 30 ppb = 60 ug/m³. Utslippsforhold som en typisk morgen eller ettermiddagssituasjon.

Figuren viser NO_2 , NO_x og O_3 i en høyde på 1 m.o.b. som funksjon av avstand fra vei. Som vi ser av figuren avtar NO_x - og O_3 -konsentrasjonen med økende avstand fra veien. For NO_2 øker konsentrasjonen med økende avstand fra veien på grunn av at prosessen med omvandling av NO til NO_2 i plumen er sterkere enn fortynningen av NO_2 som skyldes transport og spredning. I de tre reseptorpunktavstandene (7,3 m, 16,8 m og 46,8 m) er NO_2 -konsentrasjonen økt med hhv. 17%, 27% og 40% i forhold til konsentrasjonen ved veikanten i dette eksemplet.

Referanser

Grønskei, K.E. (1994) Beskrivelse av spredning og overgang fra NO til NO_2 ved åpne veier. Kjeller (NILU OR 13/94).



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2027 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORT NR. OR 22/2003	ISBN 82-425-1443-7 ISSN 0807-7207	
DATO	ANSV. SIGN.	ANT. SIDER 64	PRIS NOK 150,-
TITTEL Forurensning som funksjon av avstand fra vei Målinger på RV159 Nordby-sletta v/Skårer vinteren 2001-2002, og sammenligning med VLUFT		PROSJEKTLEDER Leif Otto Hagen	
		NILU PROSJEKT NR. O-101126	
FORFATTER(E) Leif Otto Hagen, Steinar Larssen, Sam Erik Walker		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF.	
OPPDRAGSGIVER Statens vegvesen Vegdirektoratet Pb 8142 Dep 0033 OSLO			
STIKKORD Trafikk	NO ₂ og PM ₁₀	Avstandsavhengighet	
REFERAT Et omfattende måleprosjekt for å studere forløpet av forurensning som funksjon av avstand fra vei er gjennomført ved RV159 i Lørenskog. Undersøkelsen er finansiert av Vegdirektoratet og NILU i fellesskap, og er gjennomført av NILU. Målet er å gi grunnlag for forbedring av de spredningsmodeller og beregningsverktøy for forurensning langs veier som benyttes i Norge, og gi bidrag til nordisk forskning på dette feltet. Målingene har gitt svært verdifulle resultater på avstandsavhengigheten for forurensning ved veier i flatt, homogent terreng med høy kjørehastighet (80-90 km/h). Målt forurensning avtok mindre raskt enn beregnet med KONTILENK/VLUFT. Flere årsaker til dette er identifisert, som gir grunnlag for forbedringer av modellen ved denne type veier.			
TITLE Air pollution as a function of the distance from a road.			
ABSTRACT			

* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU
 B Begrenset distribusjon
 C Kan ikke utleveres