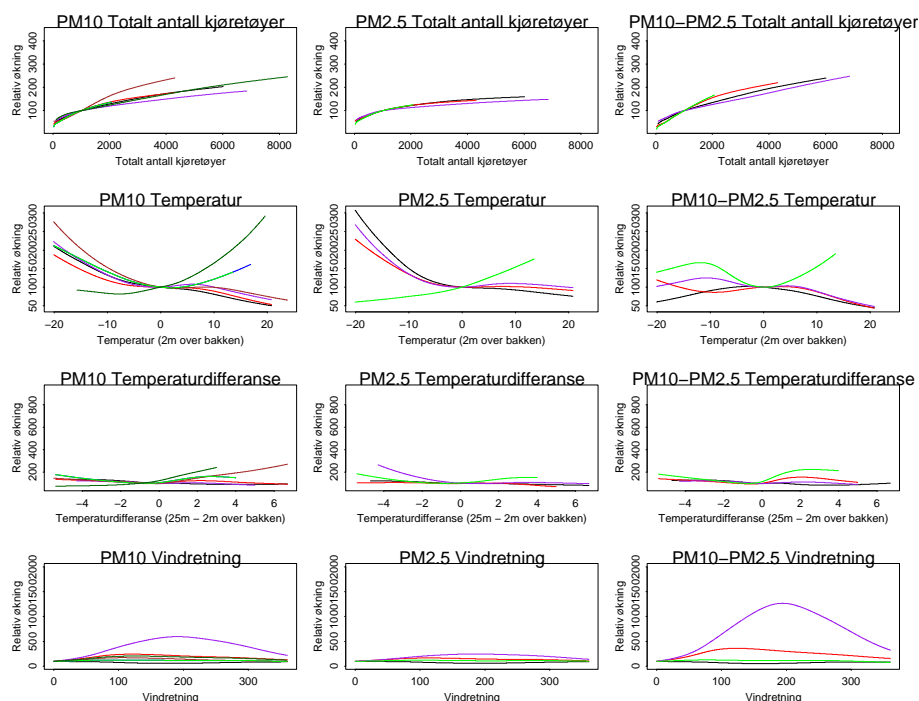


# Empiriske modeller for luftforurensning, trafikkvolum og meteorologi - basert på data fra 2001-2003



ISBN 82-539-0504-1

Magne Aldrin  
Ingrid Hobæk Haff

28. november 2003



**Tittel:** Empiriske modeller for luftforurensning,  
trafikkvolum og meteorologi - basert på data  
fra 2001-2003

**Dato:** 28. november 2003

**År:** 2003

**ISBN 82-539-0504-1**

**Publikasjonsnr.:** 997

**Forfatter:** Magne Aldrin <magne.aldrin@nr.no>  
Ingrid Hobæk Haff <ingrid.haff@nr.no>

**Sammendrag:** Denne rapporten presenterer statistiske modeller for hvordan  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , differansen  $PM_{10}-PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  og  $NO_x$  varierer systematisk med trafikkvolum og meteorologiske variable. Modellene er basert på luftforurensningsdata registrert mellom høsten 2001 og sommeren 2003 ved tretten målestasjoner ved trafikkerte veier i Oslo, Trondheim, Bergen og Stavanger.

Arbeidet er utført på oppdrag fra Statens vegvesen Vegdirektoratet.

**Emneord:**

**Målgruppe:**

**Tilgjengelighet:** Åpen

**Prosjekt:**

**Prosjektnr.:**

**Satsningsområde:**

**Antall sider:** 104



# Innhold

<b>1</b>	<b>Introduksjon</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Data</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Modeller</b>	<b>53</b>
3.1	Standardmodeller - uten dogging . . . . .	53
3.2	Modeller med dogging . . . . .	54
<b>4</b>	<b>Resultater</b>	<b>55</b>
4.1	Resultater fra standardmodeller . . . . .	55
4.2	Resultater fra modeller med dogging . . . . .	94
4.3	Resultater fra modeller uten nedbør eller relativ fuktighet . . . . .	98
	<b>Referanser</b>	<b>102</b>
<b>A</b>	<b>Detaljer fra GAM-analysen</b>	<b>103</b>
<b>B</b>	<b>Figurer fra GAM-analysen</b>	<b>104</b>



## 1 Introduksjon

Denne rapporten presenterer statistiske modeller for hvordan  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , differansen  $PM_{10}-PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  og  $NO_x$  varierer systematisk med trafikkvolum og meteorologiske variable. Modellene er basert på data registrert mellom høsten 2001 og sommeren 2003. I presentasjonen av resultatene fokuserer vi spesielt på fellestrekk og forskjeller mellom de ulike målestasjonene. Modellene er rent empiriske, og vi er derfor forsiktige med fysiske tolkninger av resultatene.

Arbeidet er finansiert av Statens vegvesen Vegdirektoratet, Bedre byluft. Modellene som presenteres er en videreutvikling av modeller som ble etablert i et tilsvarende prosjekt med data fra høsten 2001 til sommeren 2002 (Hobæk Haff og Aldrin, 2002), samt tidligere prosjekter angående effekt av salting på konsentrasjon av svevestøv (Kåresen og Aldrin (2001) og Steinbakk og Aldrin (2003)), utført av Norsk Regnesentral på oppdrag for Statens vegvesen Vegdirektoratet og Statens vegvesen, Stor-Oslo distrikt.

## 2 Data

Dataene består av luftforurensningsdata fra til sammen tretten målestasjoner ved trafikerte veier i Oslo, Trondheim, Bergen og Stavanger, med tilhørende data for trafikkvolum og meteorologiske forhold. Alle dataene er målt med én times mellomrom (som timemiddel eller aggregert over én time), med unntak av nedbørsmålingene fra Bergen og Stavanger, som har en oppløsning på tolv timer, samt snødekkedataene som har daglig oppløsning. Luftforurensningsdataene består av målinger av konsentrasjonen av  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , differansen  $PM_{10} - PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  og  $NO_x$ . Førstnevnte er målt på alle målestasjonene, mens de andre er målt på noen av dem. Antall observerte timer varierer nokså mye fra målestasjon til målestasjon, og ligger mellom 1900 og drøyt 11000.

Tabell 1 angir de tretten målestasjonene og hvilke luftforurensningskomponenter som er registrert ved hver stasjon. De sju første er i Oslo, de tre neste i Trondheim, de to neste i Bergen, og den siste i Stavanger. Tabellen viser videre tidsperiodene da vi har korresponderende data for luftforurensning, trafikkvolum og meteorologi. Innenfor de angitte periodene kan det dog mangle data for deler av perioden. Tabell 2 angir korresponderende målestasjoner for trafikkvolum. Som vi ser er trafikkvolum ikke alltid målt på samme sted som luftforurensningen. I Trondheim har vi anslag for ÅDT (årsdøgnstrafikk) ved de ulike målestasjonene. Basert på disse korrigeres trafikk tallene fra Kroppan med de angitte faktorene. Tabell 2 viser også hvilke meteorologiske variable som er målt. Disse er målt på én målestasjon i hver by (Valle Hovin i Oslo, Elgeseter i Trondheim, Florida i Bergen og Kiellandsmyra i Stavanger). Ved to av målestasjonene for luftforurensning, nemlig Furuset og Elgeseter, er det i tillegg registrert målinger av doggpunkttemperatur og veibanetemperatur.

En kilde til luftforurensing er vedfyring, som særlig gir utslipp av  $PM_{2.5}$ . Dette er ikke tatt med i betraktning her, da det ikke forligger nødvendige måledata. En kunne ha benyttet modellerte data basert på folks fyringsvaner, men slike data har ikke vært tilgjengelig. Tendensen er at det fyres mer når det er kalt, og mest på ettermiddagen og kvelden.

Følgende modifikasjoner er gjort på luftforurensningsdataene:

- Omkring midnatt nyttårsaften er det mange steder svært store konsentrasjoner av svevestøv. Dette skyldes rakettoppskytning, og er ikke relatert til det vi skal modellere her. I den videre analysen og presentasjonen av luftforurensningsdataene har vi derfor konsekvent fjernet fire timer før og tjue timer etter midnatt på nyttårsaften.
- Da  $PM_{10}$  inkluderer  $PM_{2.5}$ , skal konsentrasjonen av den første være større av den andre, men dette er imidlertid ikke alltid tilfellet i målingene. I rådataene er det perioder da  $PM_{2.5}$  er betydelig større enn  $PM_{10}$ , og andre perioder da den er litt større. De små forskjellene skyldes trolig målefeil. De virkelige verdiene kan i perioder være nesten like. De måles imidlertid med forskjellige apparater, og på grunn av målefeil kan målt  $PM_{2.5}$  bli større enn målt  $PM_{10}$ . Vi har derfor godtatt observasjoner der  $PM_{2.5} - PM_{10}$  er mindre enn  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ , men har fjernet observasjoner der forskjellen er større.



- Vi har fått oppgitt at alle luftforurensnings- og meteorologiske data opprinnelig er angitt i vintertid. Disse er justert til klokketid.
- Luftforurensningsdataene kan noen ganger være svært nær 0, og noen ganger kan de registrerte målingene også være negative, grunnet måleapparatenes sikkerhetsmargin på  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ . For at dette ikke skal skape problemer i den seinere analysen, er målinger av  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{NO}_2$  og  $\text{NO}_x$  mellom  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  og  $-5\mu\text{g}/\text{m}^3$  satt lik  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mens målinger av  $\text{PM}_{2.5}$  mellom  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$  og  $-5\mu\text{g}/\text{m}^3$  er satt lik  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Trafikkvolum er her totalt antall kjøretøyer i begge kjøreretninger. Når det gjelder målinger av trafikkvolum, har vi gjort følgende modifikasjoner:

- Trafikkvolum ved Kroppan er justert med faktorene angitt i tabell 2, slik at ÅDT for justerte trafikkdata er i samsvar med antatt ÅDT ved målestasjonene for forurensning.
- Overgang mellom vintertid og sommertid er alltid et problem for trafikk tall registrert i Norge, da dette ikke håndteres på noen systematisk måte. Vi har her for det første konsekvent fjernet data fra de to første dagene etter at sommer- eller vintertid har begynt. Utover det har vi justert data til klokketid etter skjønn.

De meteorologiske dataene består av målinger av temperatur 2 meter over bakken, vindstyrke, relativ luftfuktighet, nedbør, temperaturdifferansen fra 25 til 2 meter over bakken, vindretning og snødekke (som vist i Tabell 2 er ikke alle variablene målt ved alle stasjonene). Følgende modifikasjoner er gjort på de meteorologiske dataene:

- Vi har fått oppgitt at alle meteorologiske data er angitt i vintertid, og har justert dem til klokketid.
- Som nevnt tidligere, er nedbørsmålingene fra Bergen og Stavanger gjort med tolv timers mellomrom i stedet for én. Vi har derfor glattet disse målingene slik at registrert nedbør er fordelt jevnt over de foregående tolv timene.
- Snødekke, som opprinnelig var en indikatorvariabel med verdier fra 0 til 9, har vi konvertert til en ny kode med verdier fra 0 til 3, som følger:
  - 0 → ikke noe snø eller is på bakken (tilsvarer 9999 i den gamle koden)
  - 1 → mindre enn 50 % av arealet er snødekt eller isdekt (tilsvarer 1 og 5 i den gamle koden)
  - 2 → Mesteparten av bakken er snødekt eller isdekt (tilsvarer 0, 2, 4, 6 og 8 i den gamle koden)
  - 3 → Bakken er heldekt av snø eller is (tilsvarer 3, 7 og 9 i den gamle koden)

Målingene av doggpunkttemperatur og veibanetemperatur har vi slått sammen til én variabel, nemlig differansen veibanetemperatur - doggpunkttemperatur. Dataene fra Furuset var på 20 minutters oppløsning. Vi har derfor regnet ut timesmidler. Tidsperiodene vi har data for er 01.10.2001-31.03.2002 og 01.10.2001-30.06.2003 for henholdsvis Furuset og Elgeseter.

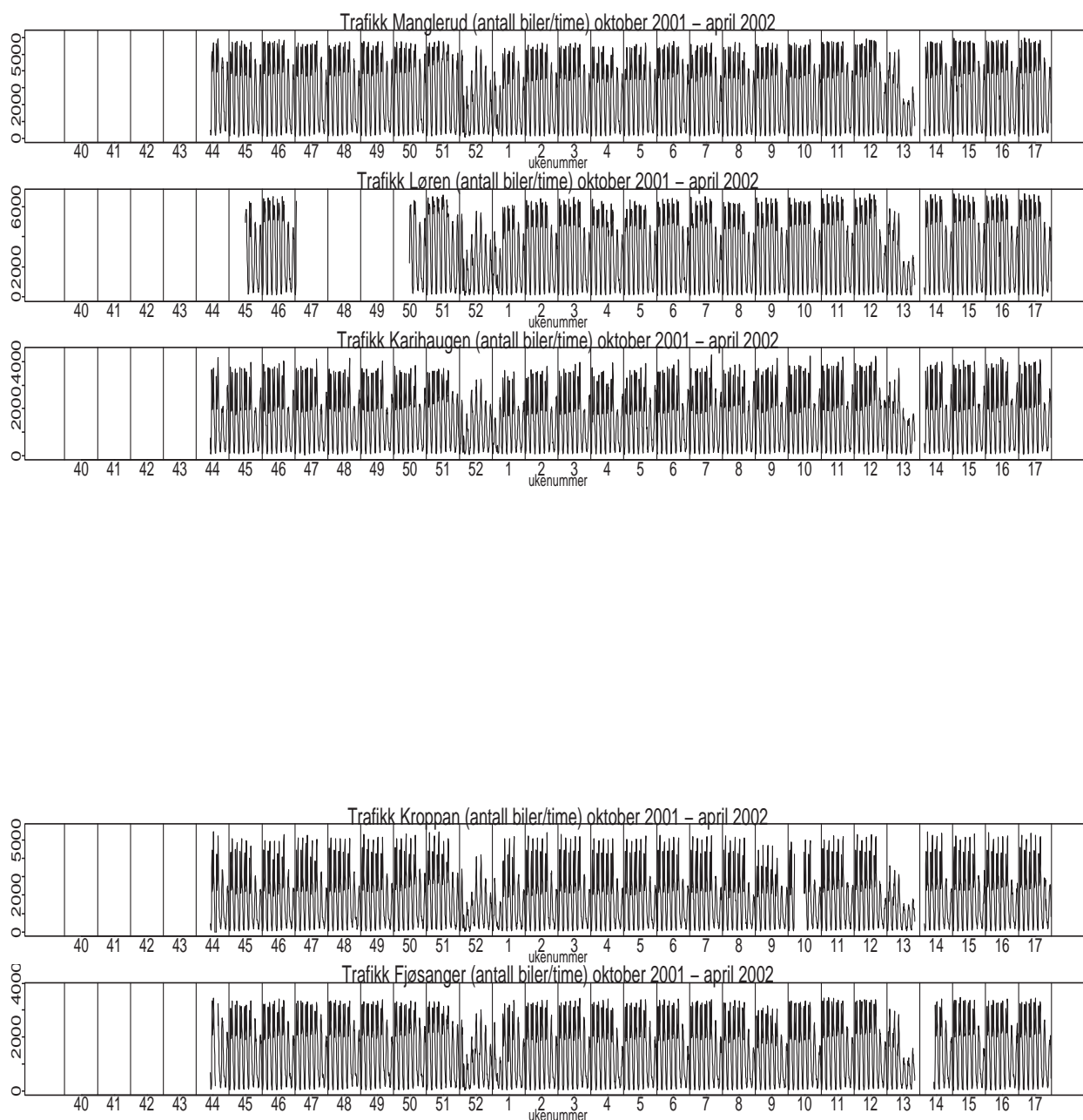
Alle trafikkdataene er plottet i Figur 1 til 3. Luftforurensningsdataene fra Oslo er vist i Figur 4 til 17, og de meteorologiske dataene i Figur 35 til 37. Figur 18 til 26 og 38 til 40 viser henholdsvis luftforurensningsdataene og de meteorologiske dataene fra Trondheim. Dataene fra Bergen er plottet i Figur 27 til 32 og 41 og 43. Ved et nærmere blikk på Figur 31, kan det se ut som om nivået på  $PM_{10}$  ved Rådhuset ligger mye høyere enn tidligere fra uke 46 i 2002 og utover. Det samme er ikke å observere i dataene fra Danmarks plass, hvilket tyder på at kan være feil i dataene. Det synes å være en slik nivåheving også i  $PM_{2.5}$  ved Rådhuset. Der mangler det imidlertid data for Danmarks plass slik at det ikke er mulig å sammenligne målingene. Uansett har vi behandlet dataene som om det ikke var feil i dem. Figur 33 til 34 og 44 til 45 viser dataene fra Stavanger. Doggdataene fra Furuset og Elgeseter er plottet i Figur 46.

Målestasjon	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Felles periode
Manglerud	x	x	x	x	01.11.2001-30.04.2003
Løren	x	x	x	x	01.11.2001-30.04.2003
Furuset	x	x	x	x	01.11.2001-30.04.2003
Iladalen	x	-	-	-	01.05.2002-16.04.2003
Alnabru	x	-	x	x	01.11.2001-30.04.2003 (for PM 10 og NO <sub>2</sub> ) 01.05.2002-30.04.2003 (for NO <sub>x</sub> )
Kirkeveien	x	x	x	x	01.05.2002-16.04.2003
Skøyen	x	-	-	-	25.01.2003-02.05.2003
Rosendal	x	x	-	-	01.12.2001-28.02.2003
Elgeseter	x	x	-	-	01.01.2002-28.02.2003
Midtbyen	x	-	x	-	01.12.2001-28.02.2003
Danmarks plass	x	x	x	x	01.11.2001-28.05.2003
Rådhuset	x	x	x	x	01.11.2001-28.05.2003
Våland	x	x	x	x	01.05.2002-31.05.2003

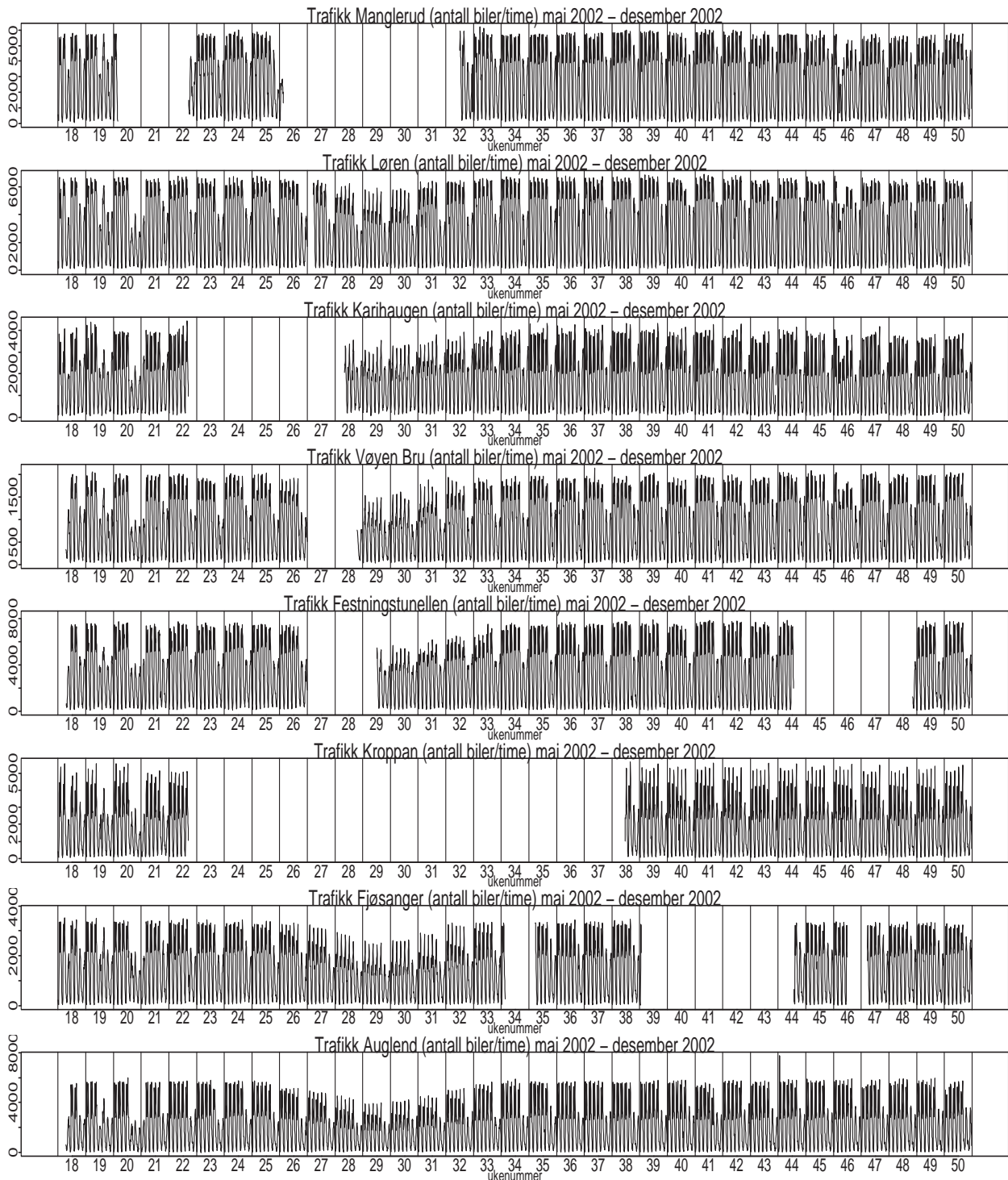
Tabell 1: Oversikt over luftforurensningsmålinger ved målestasjonene.

Måle- stasjon	Trafikk	Temp.	Temp.- diff.	Vind- retn.	Vind- styrke	Rel. fukt.	Nedbør	Snø- dekke
Manglerud	Manglerud	x	x	x	x	x	x	x
Løren	Løren	x	x	x	x	x	x	x
Furuset	Karihaugen	x	x	x	x	x	x	x
Iladalen	Vøyen bru	x	x	x	x	x	x	x
Alnabru	Karihaugen	x	x	x	x	x	x	x
Kirkeveien	Vøyen bru	x	x	x	x	x	x	x
Skøyen	Festningstunellen	x	x	x	x	x	x	x
Rosendal	$\frac{16000}{43900}$ ·Kroppan	x	-	x	x	x	x	x
Elgeseter	$\frac{30000}{43900}$ ·Kroppan	x	-	x	x	x	x	x
Midtbyen	$\frac{16000}{43900}$ ·Kroppan	x	-	x	x	x	x	x
Danmarks pl.	Fjøsanger	x	-	-	x	x	x	x
Rådhuset	Fjøsanger	x	-	-	x	x	x	x
Våland	Auglend	x	x	x	x	x	x	-

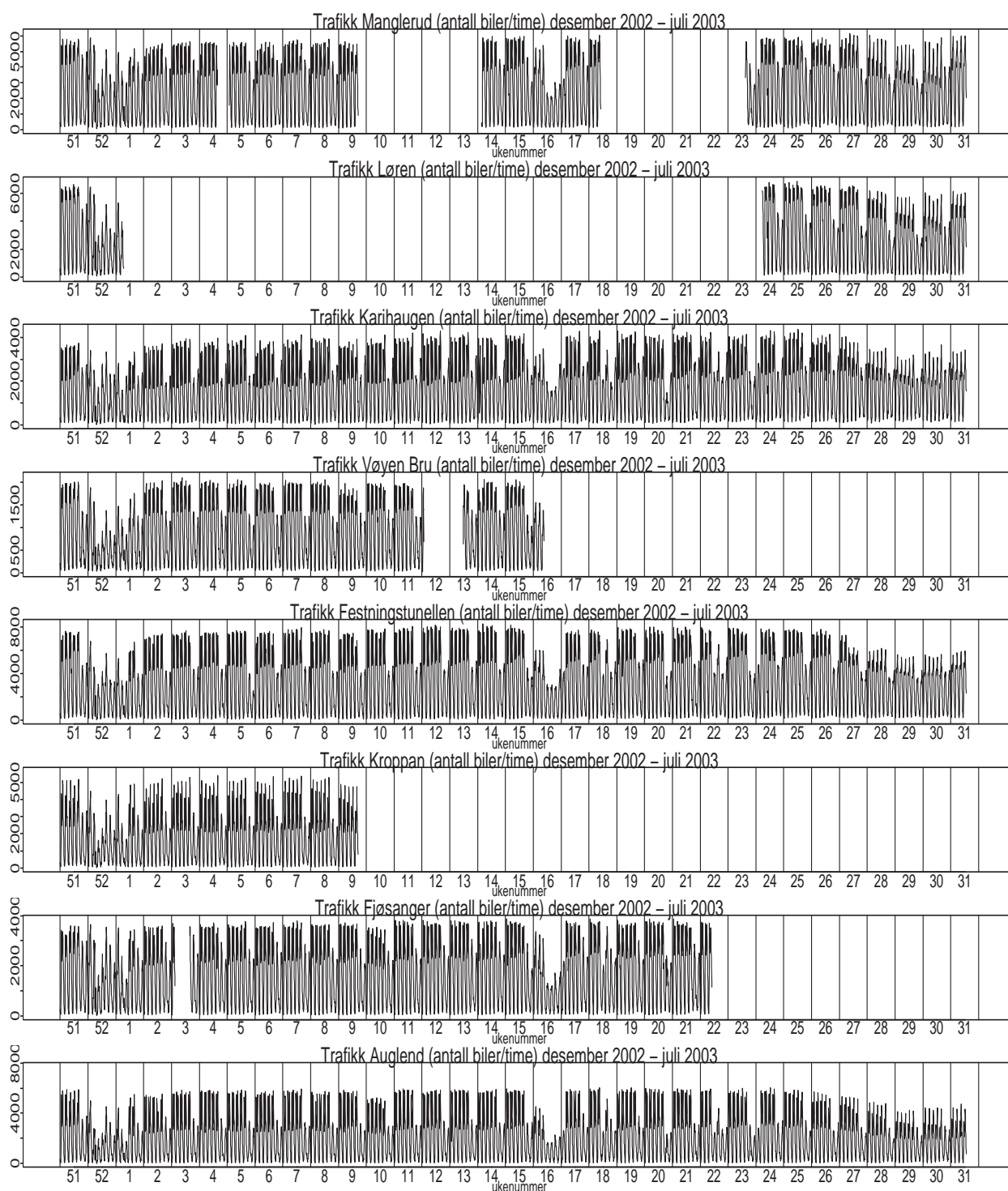
Tabell 2: Oversikt over korresponderende målinger av trafikkvolum og meteorologiske variable.



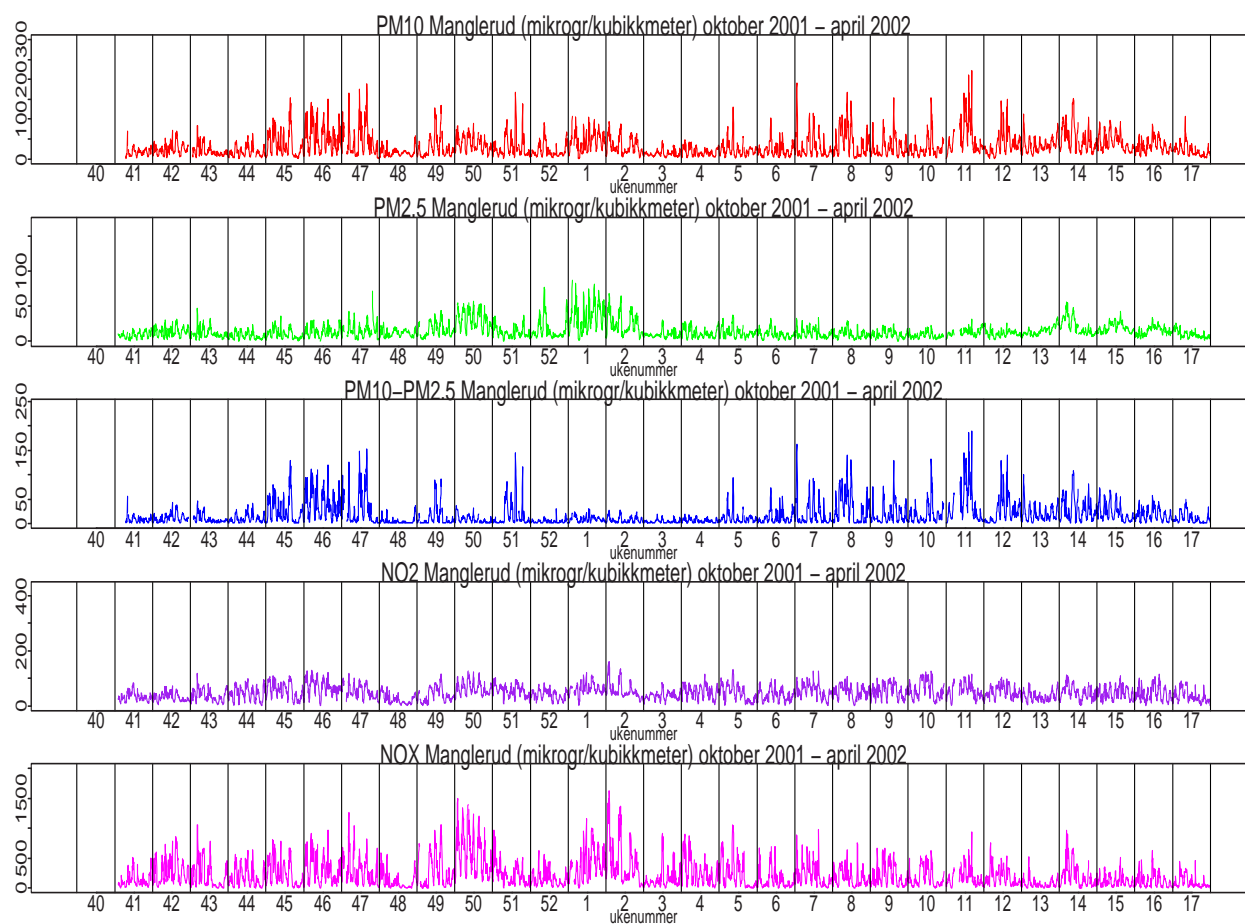
Figur 1: Trafikkdata fra Manglerud, Løren og Karihaugen i Oslo, Kroppan i Trondheim og Danmarks plass og Rådhuset i Bergen, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.



Figur 2: Trafikkdata fra Manglerud, Løren, Karihaugen, Vøyen bru og Festningstunellen i Oslo, Kroppan i Trondheim, Danmarks plass og Rådhuset i Bergen og Våland i Stavanger, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.

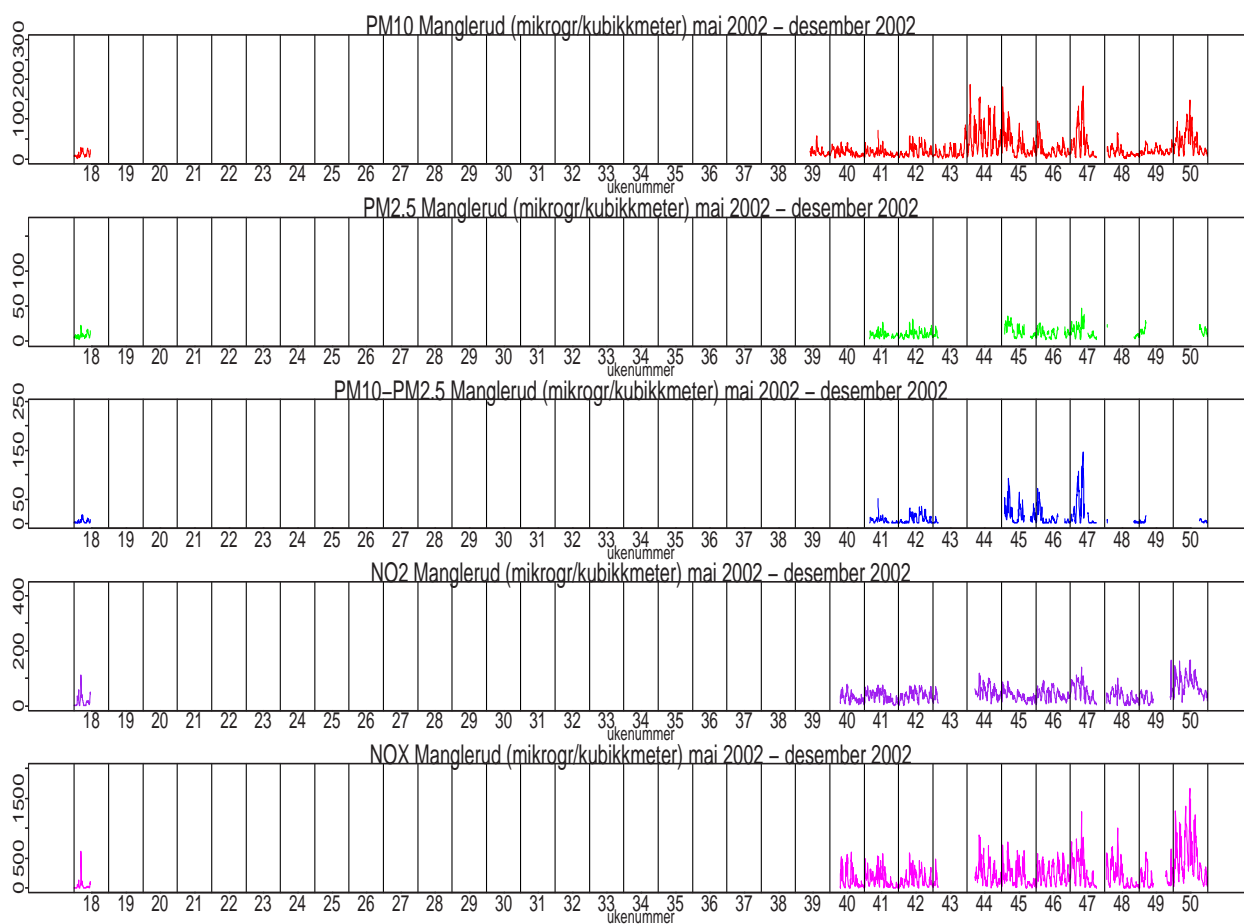


Figur 3: Trafikkdata fra Manglerud, Løren, Karihaugen, Vøyen bru og Festningstunellen i Oslo, Kroppan i Trondheim, Danmarks plass og Rådhuset i Bergen og Våland i Stavanger, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.

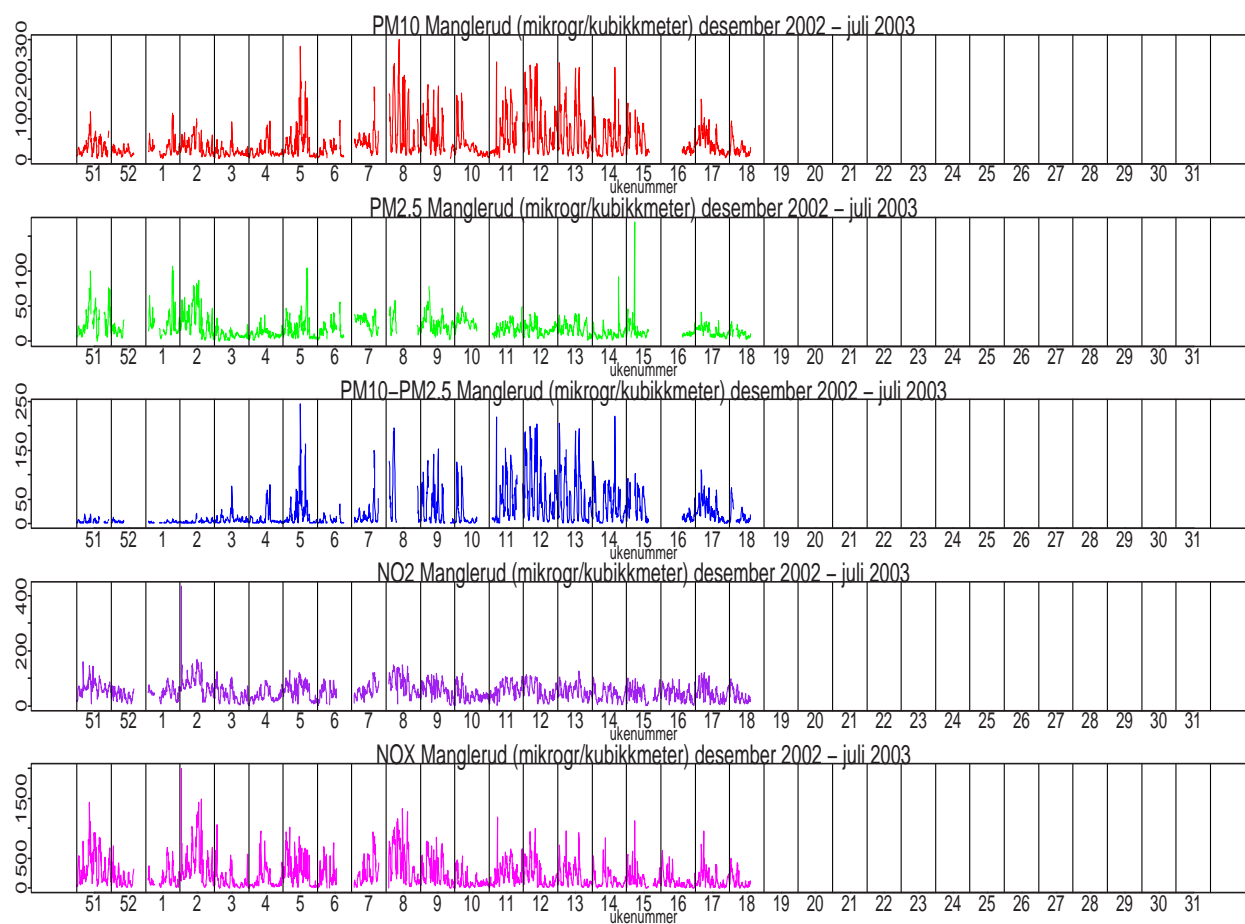


Figur 4: Luftforurensningsdata fra Manglerud i Oslo, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.

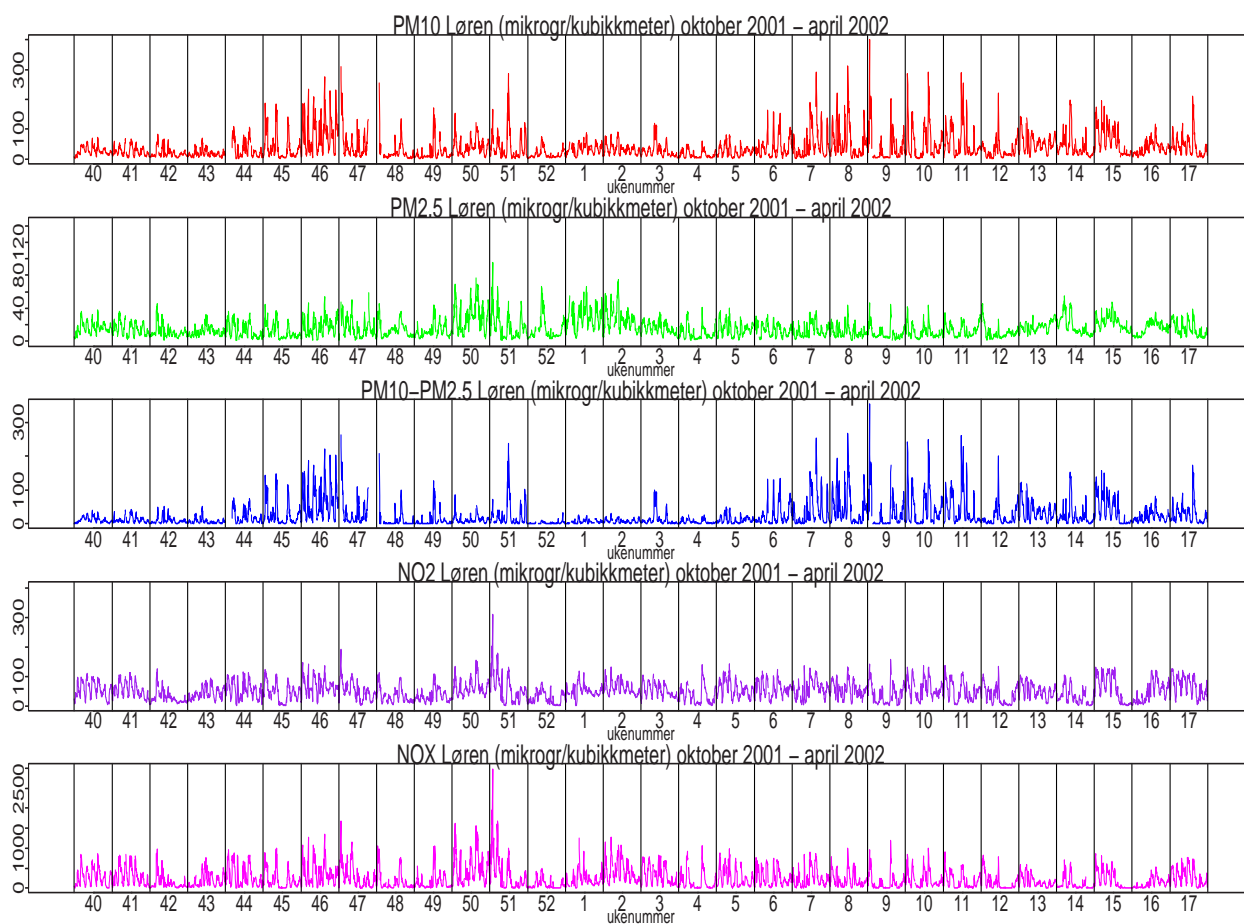




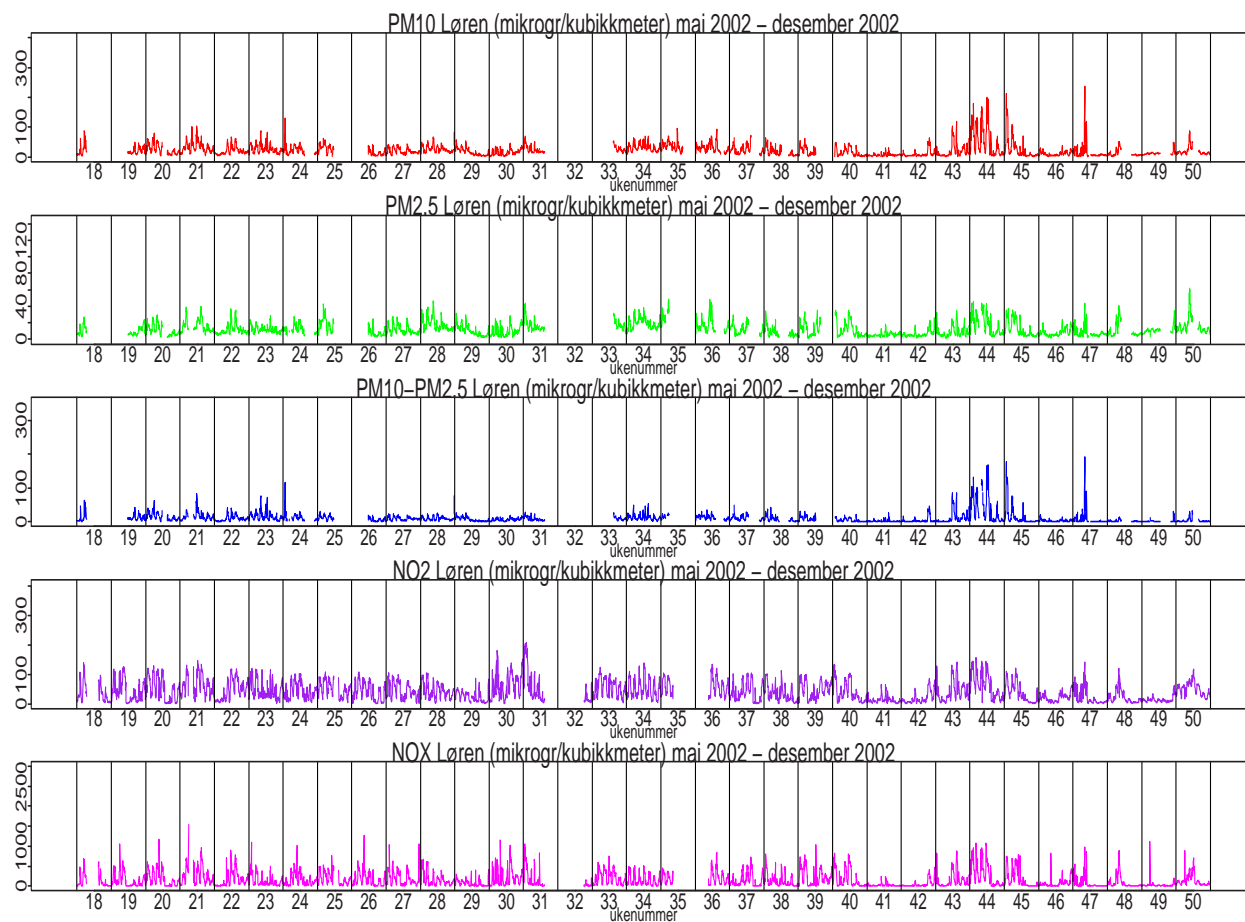
Figur 5: Luftforurensningsdata fra Manglerud i Oslo, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.



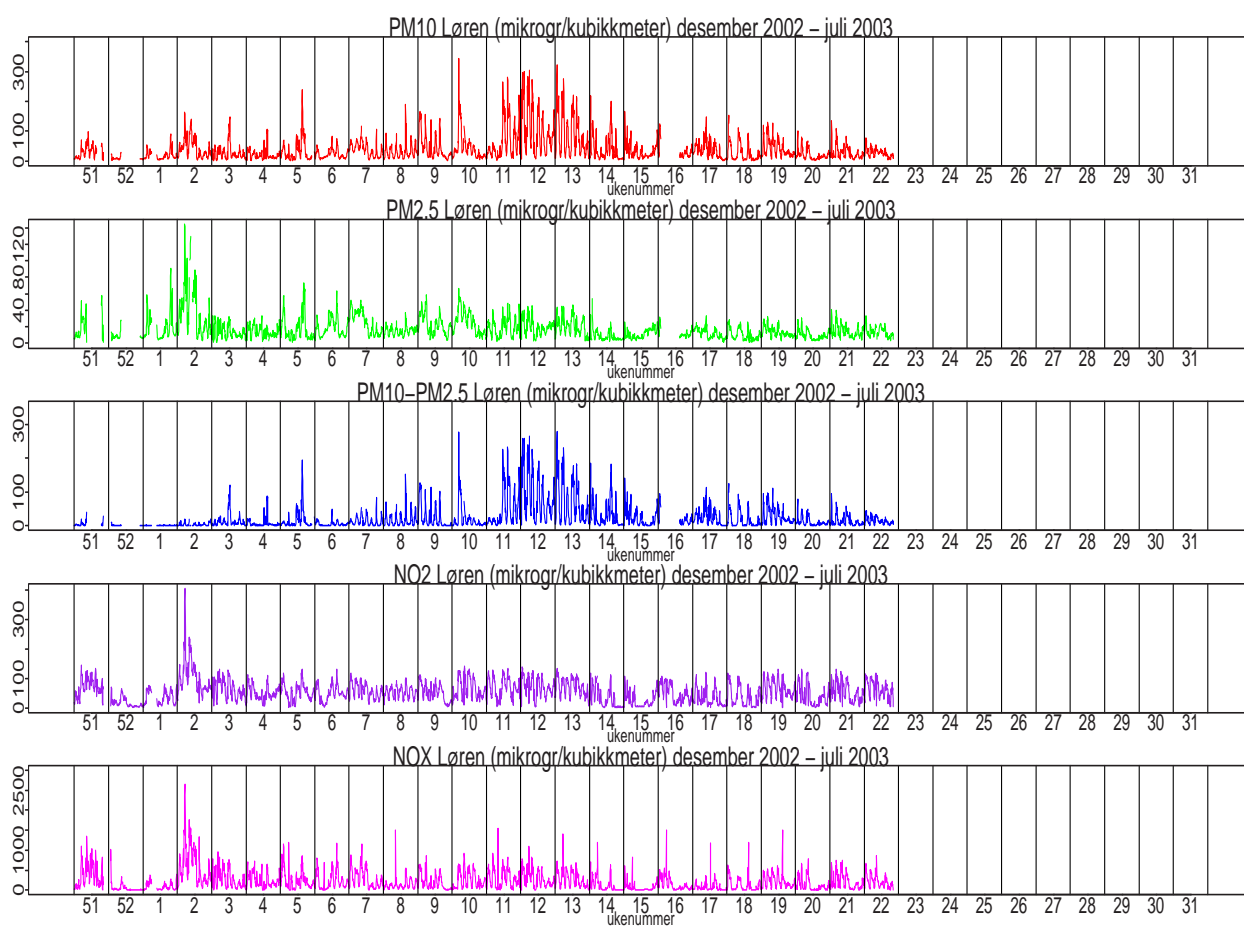
Figur 6: Luftforurensningsdata fra Manglerud i Oslo, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.



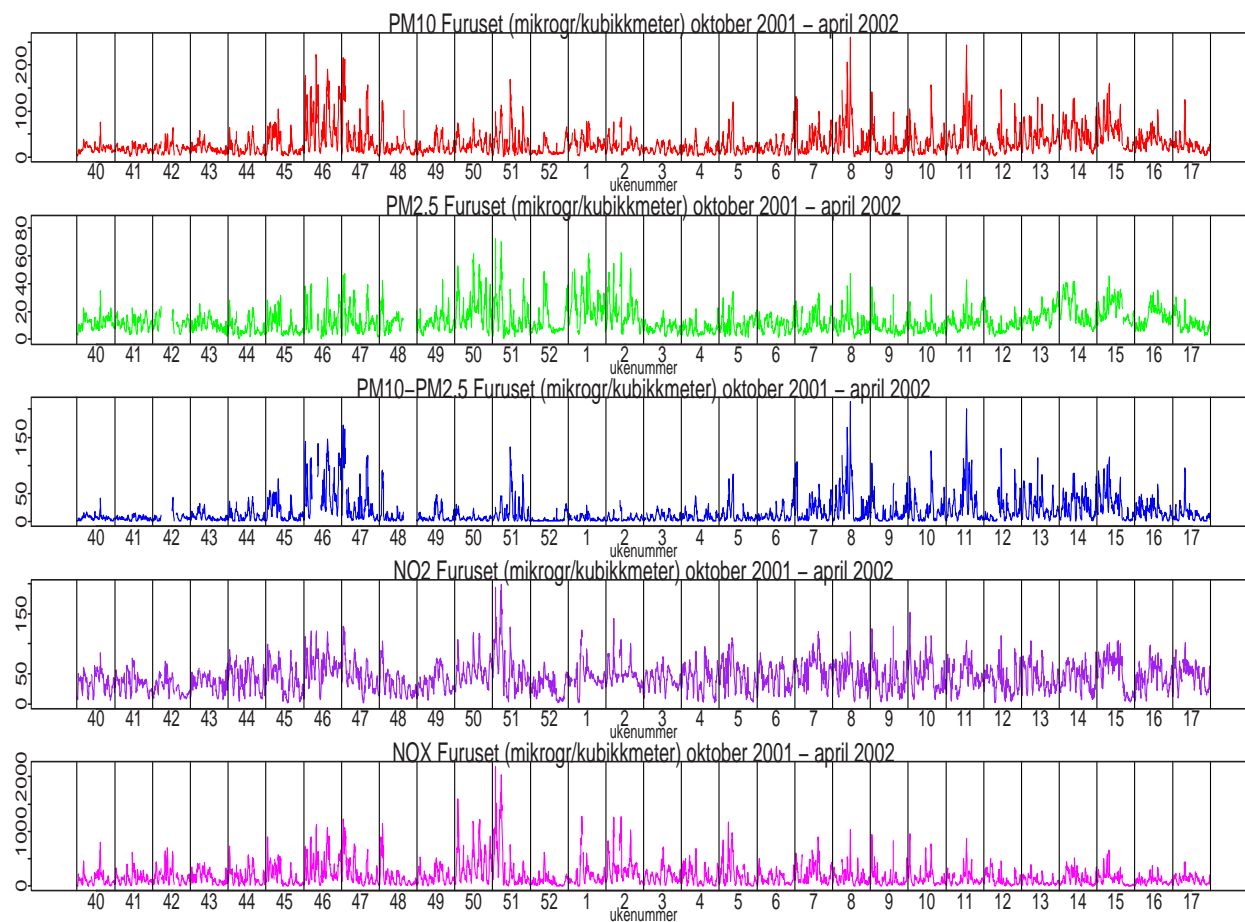
Figur 7: Luftforurensningsdata fra Løren i Oslo, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.



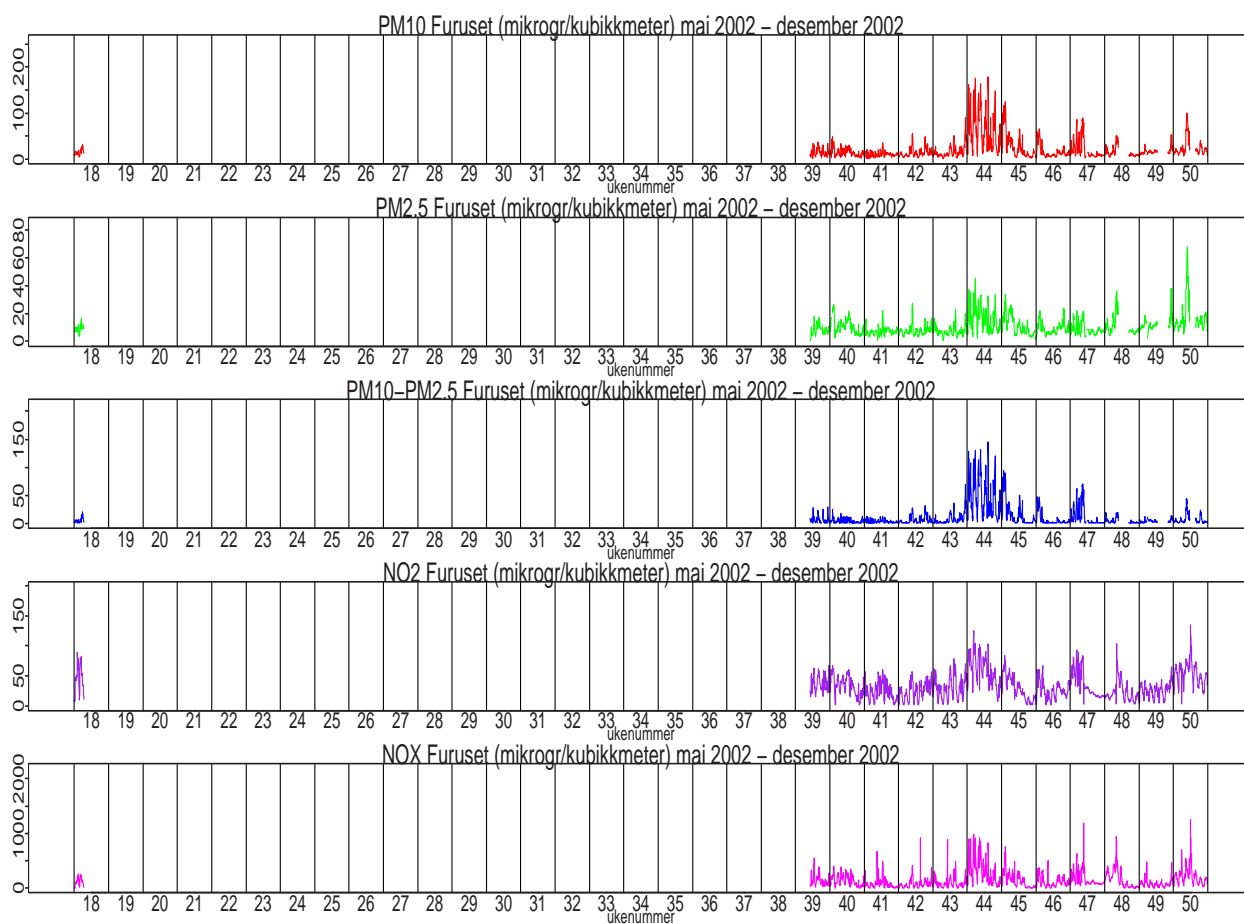
Figur 8: Luftforurensningsdata fra Løren i Oslo, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.



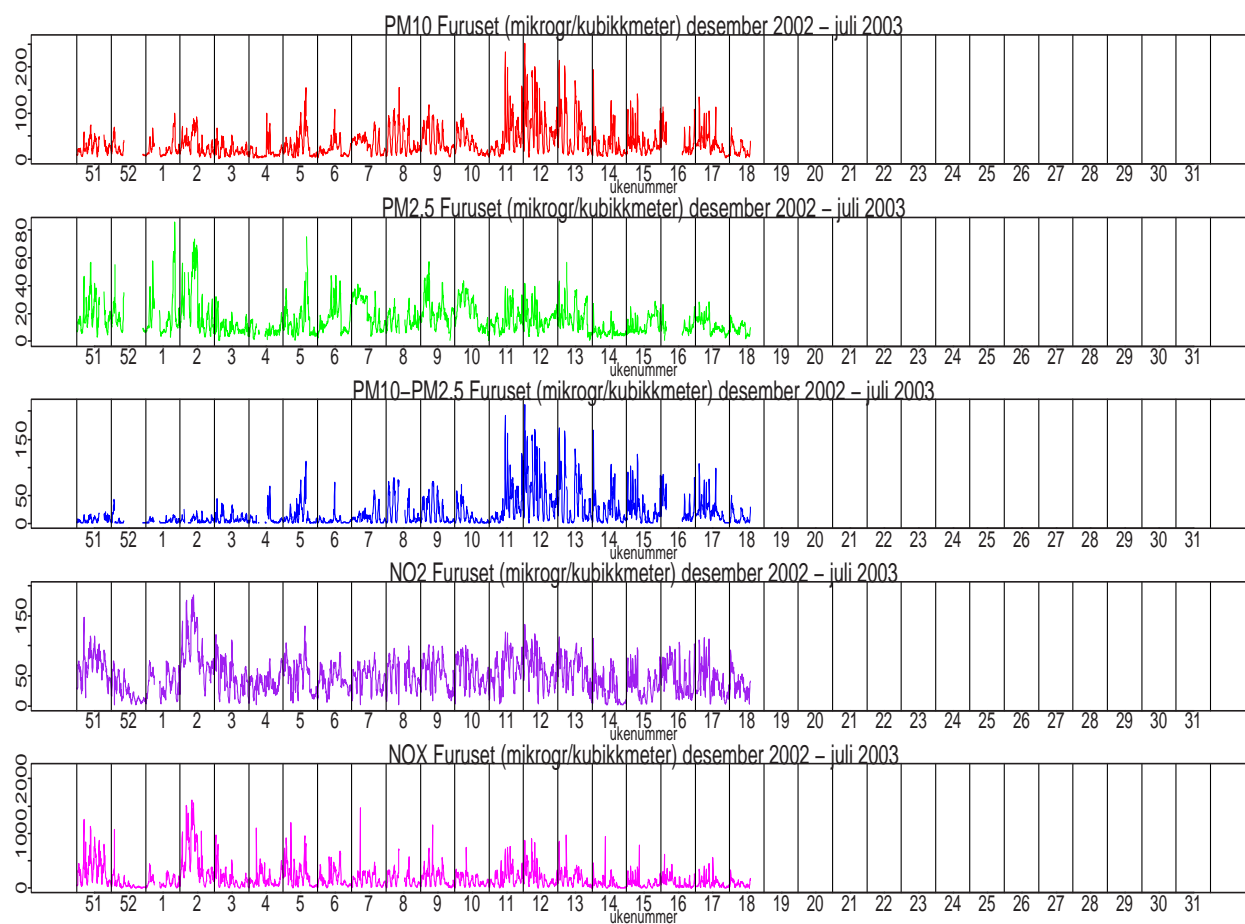
Figur 9: Luftforurensningsdata fra Løren i Oslo, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.



Figur 10: Luftforurensningsdata fra Furuset i Oslo, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.

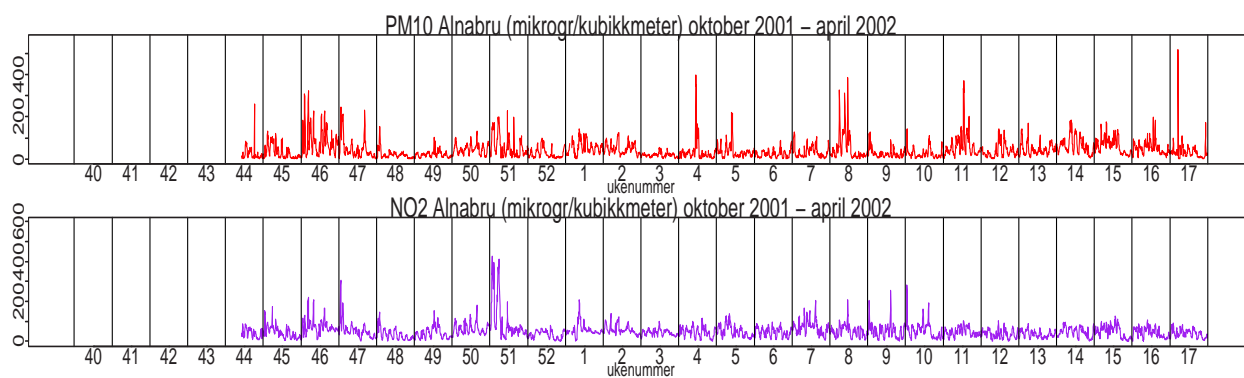


Figur 11: Luftforurensningsdata fra Furuset i Oslo, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.

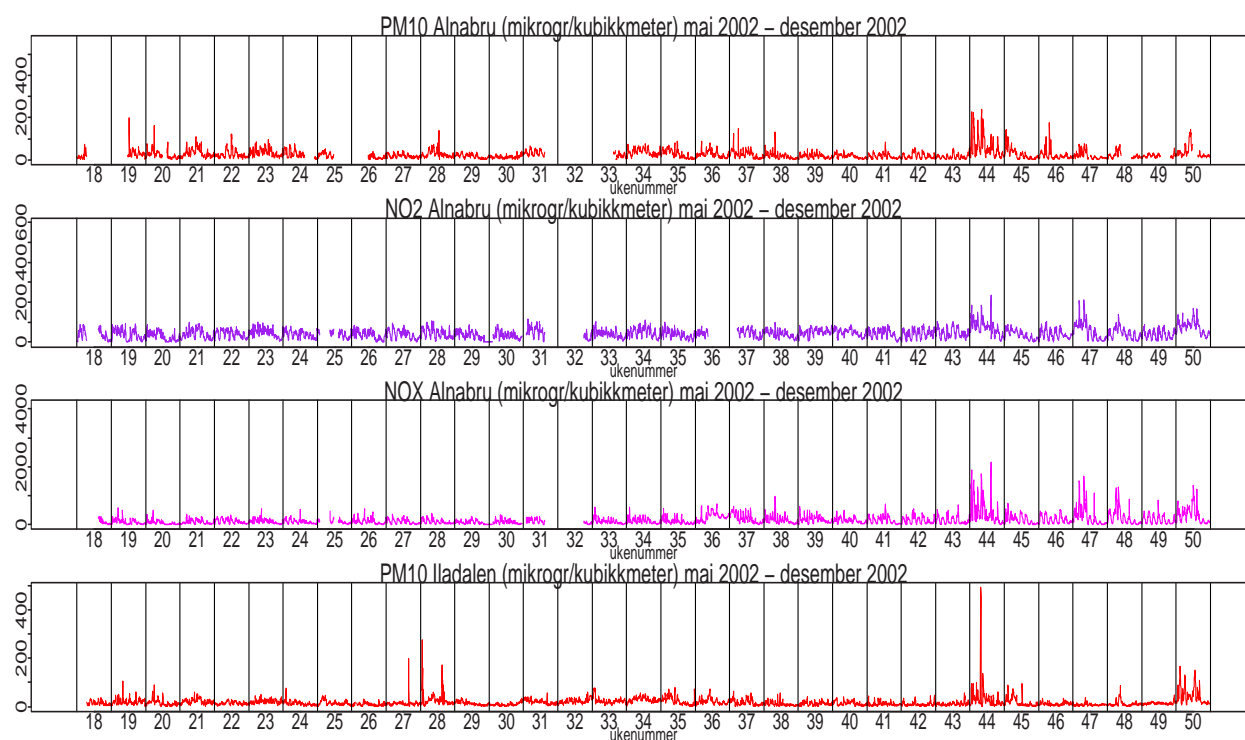


Figur 12: Luftforurensningsdata fra Furuset i Oslo, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.

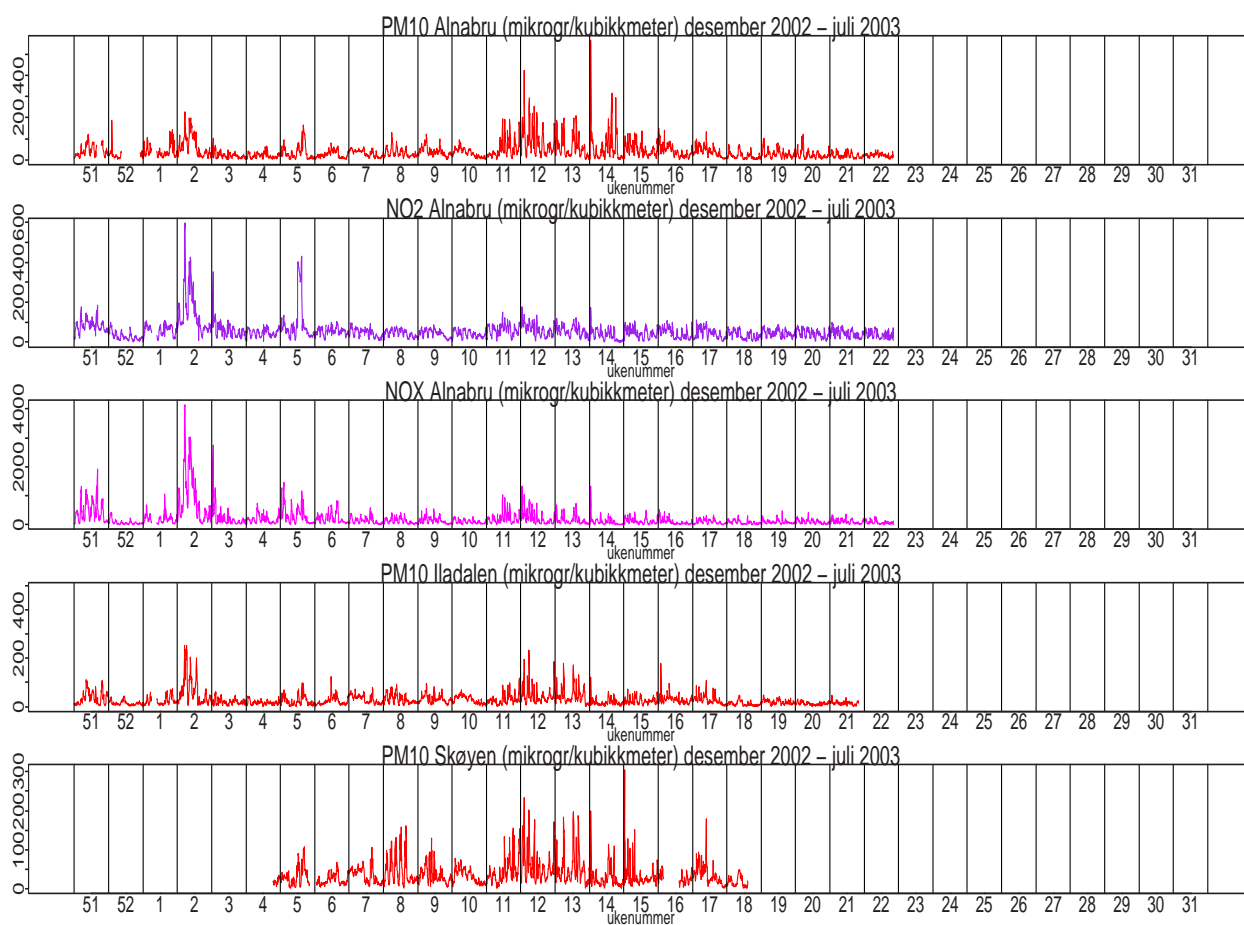




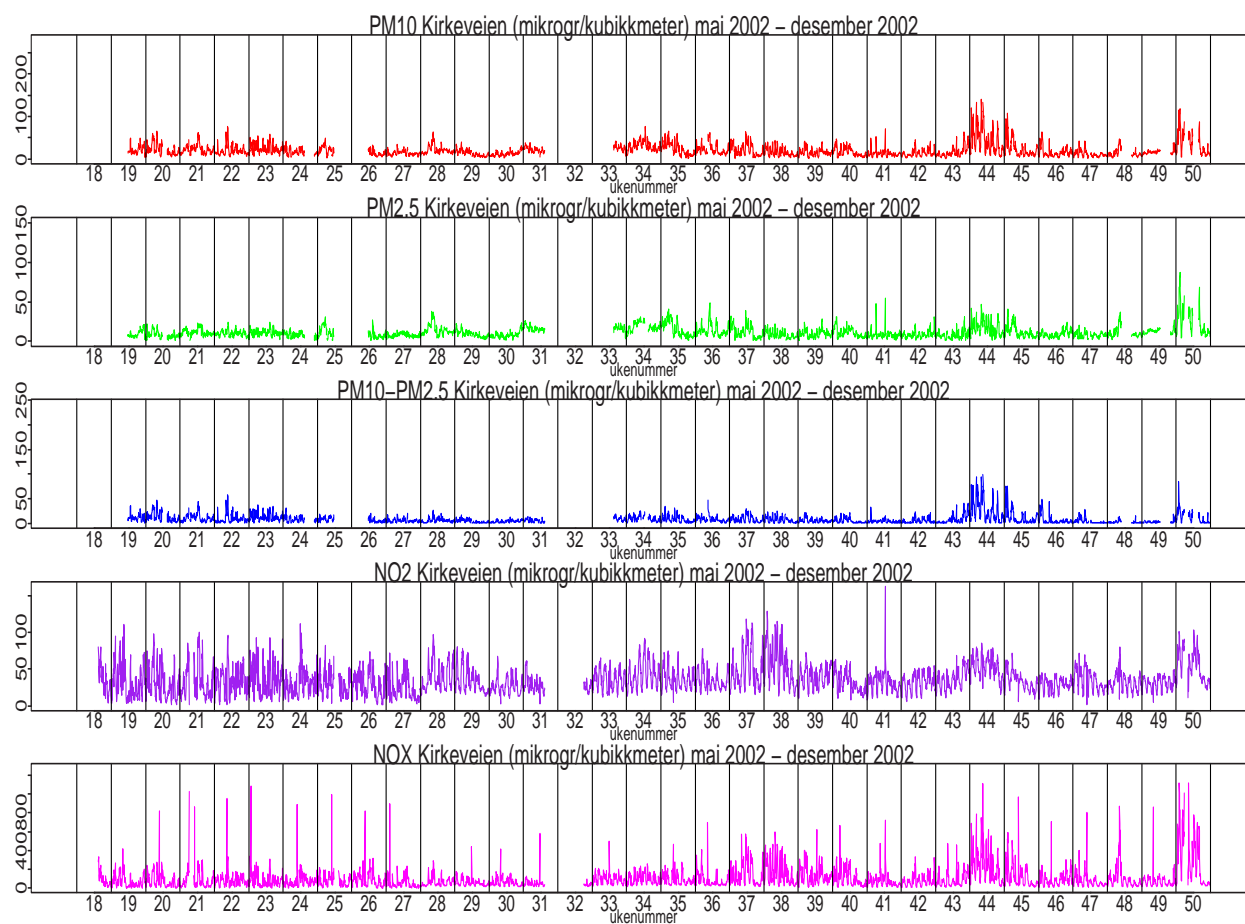
Figur 13: Luftforurensningsdata fra Alnabru i Oslo, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.



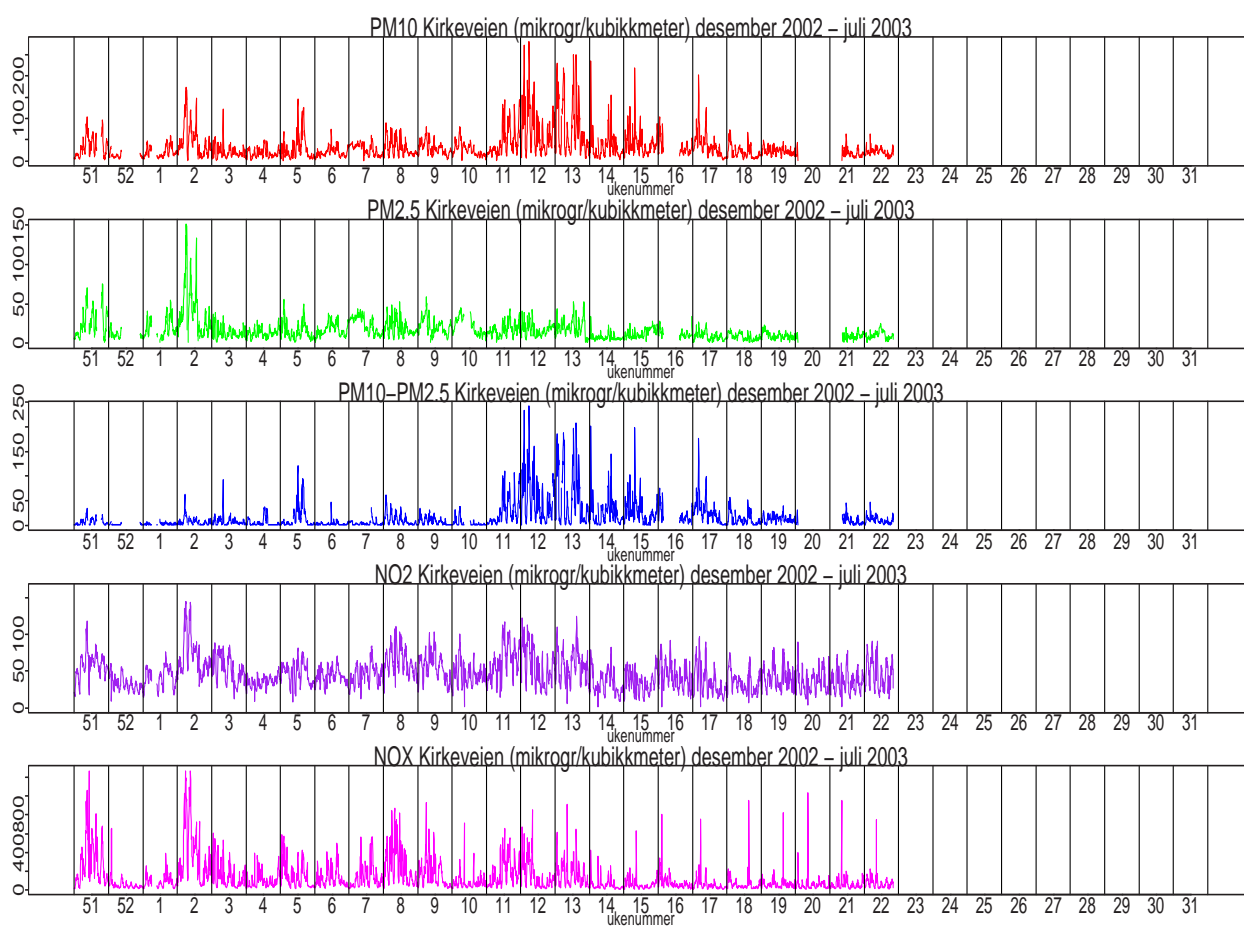
Figur 14: Luftforurensningsdata fra Alnabru og Iladalen i Oslo, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.



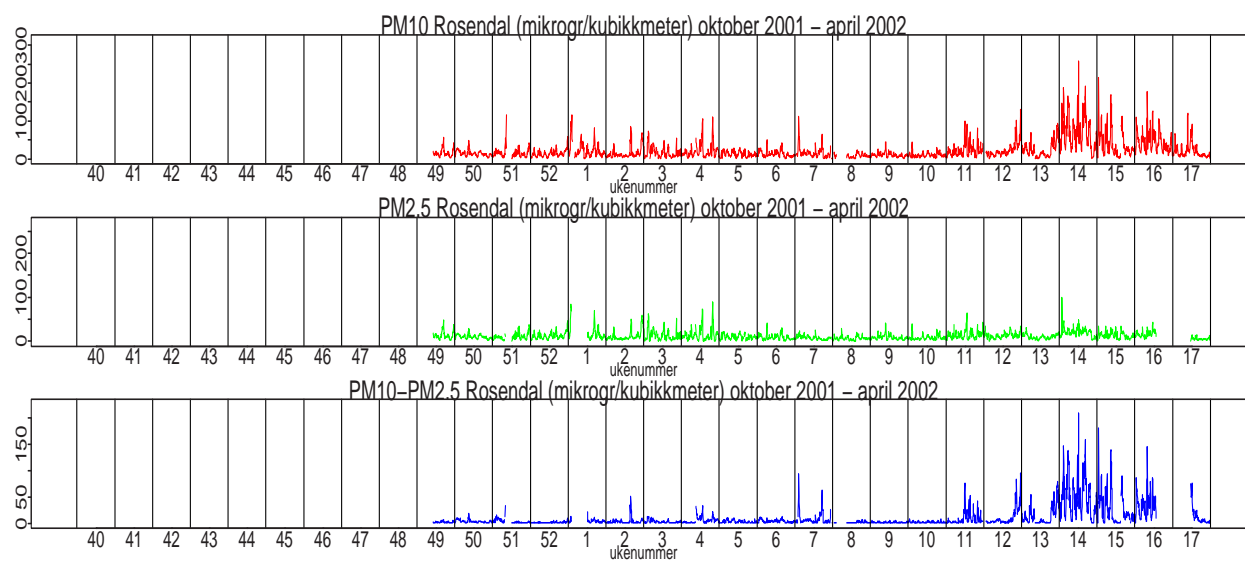
Figur 15: Luftforurensningsdata fra Alnabru, Iladalen og Skøyen i Oslo, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.



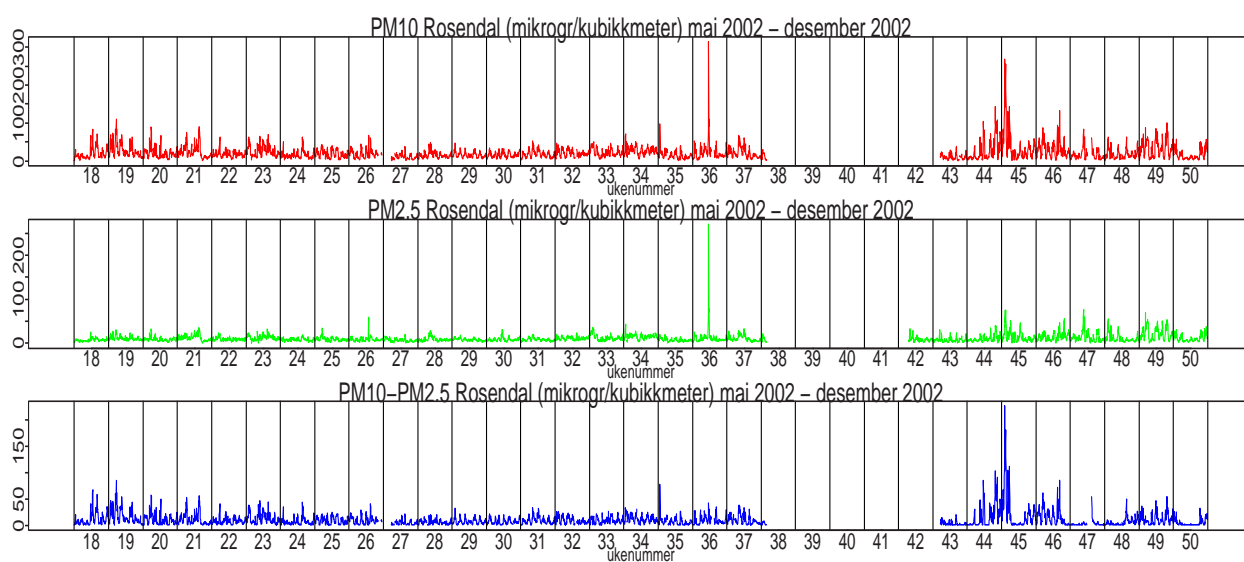
Figur 16: Luftforurensningsdata fra Kirkeveien i Oslo, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.



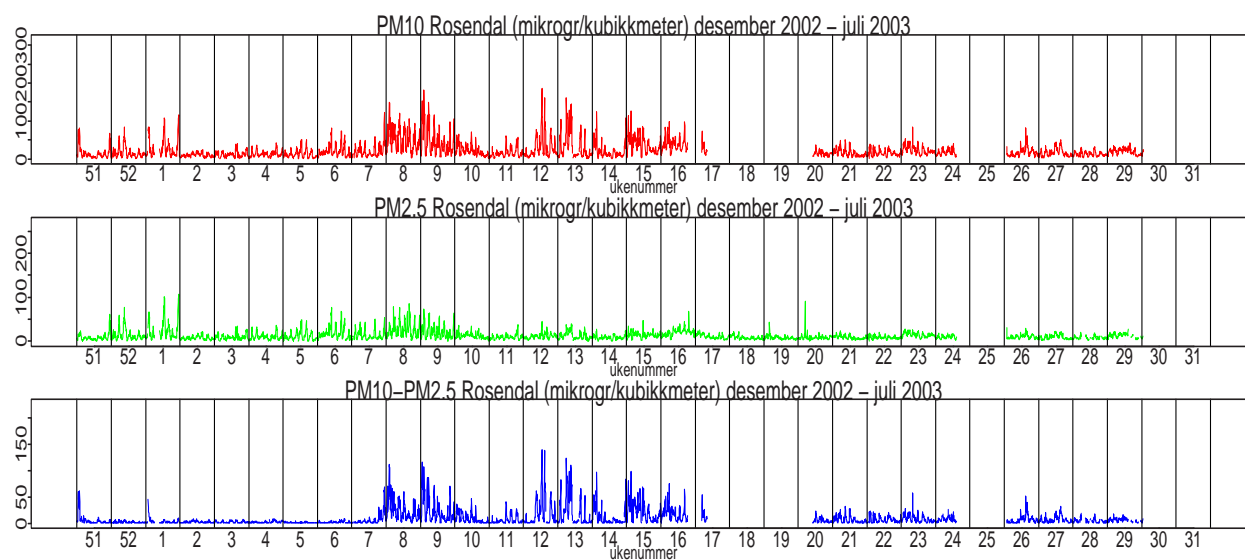
Figur 17: Luftforurensningsdata fra Kirkeveien i Oslo, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.



Figur 18: Luftforurensningsdata fra Rosendal i Trondheim, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.

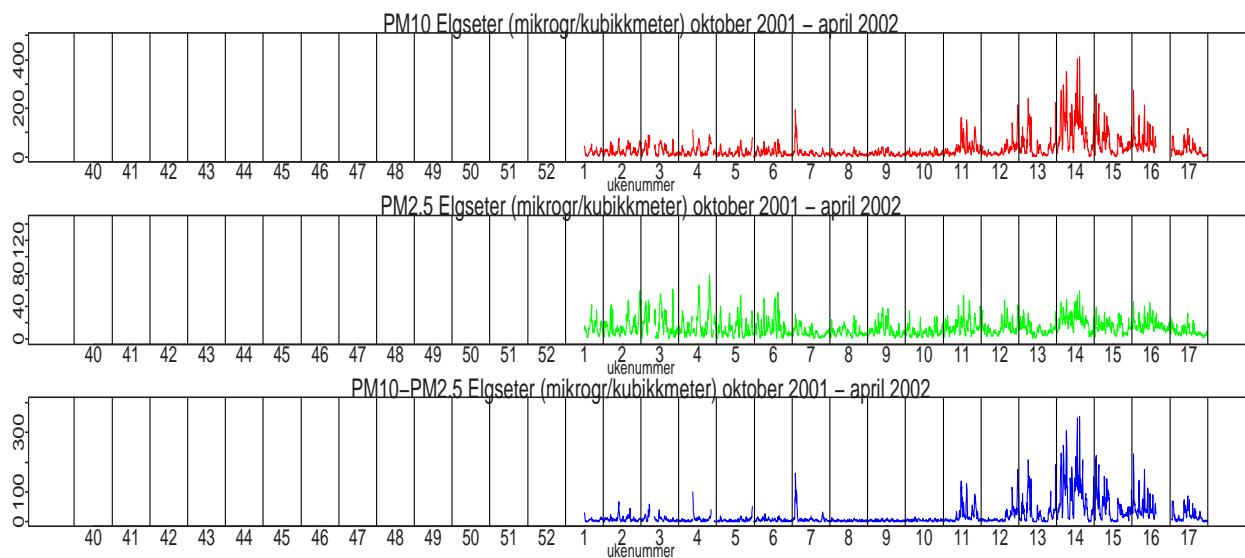


Figur 19: Luftforurensningsdata fra Rosendal i Trondheim, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.

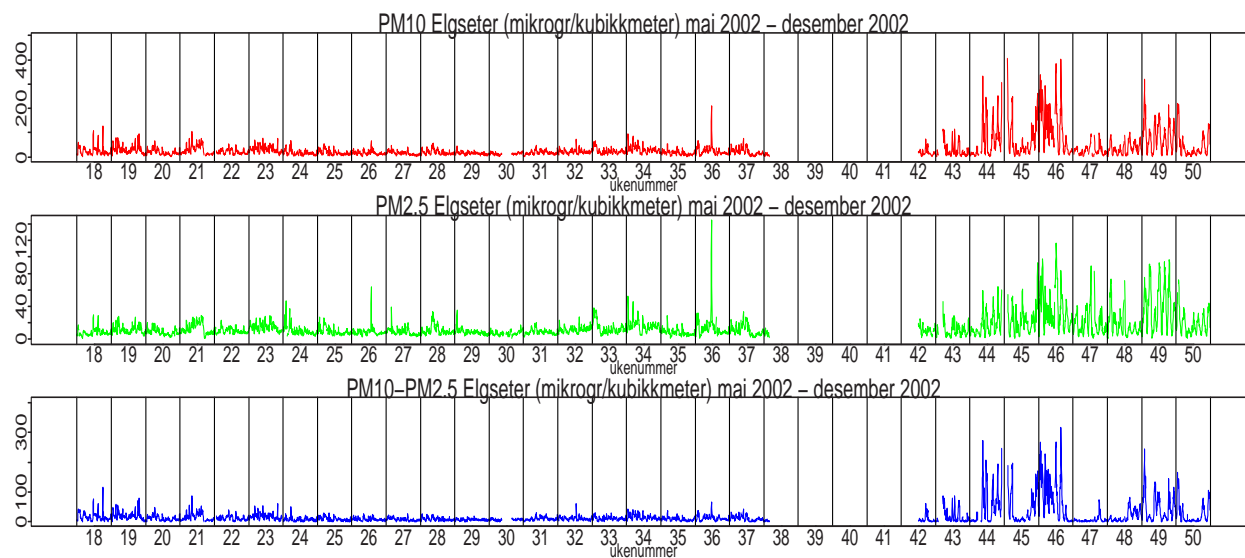


Figur 20: Luftforurensningsdata fra Rosendal i Trondheim, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.

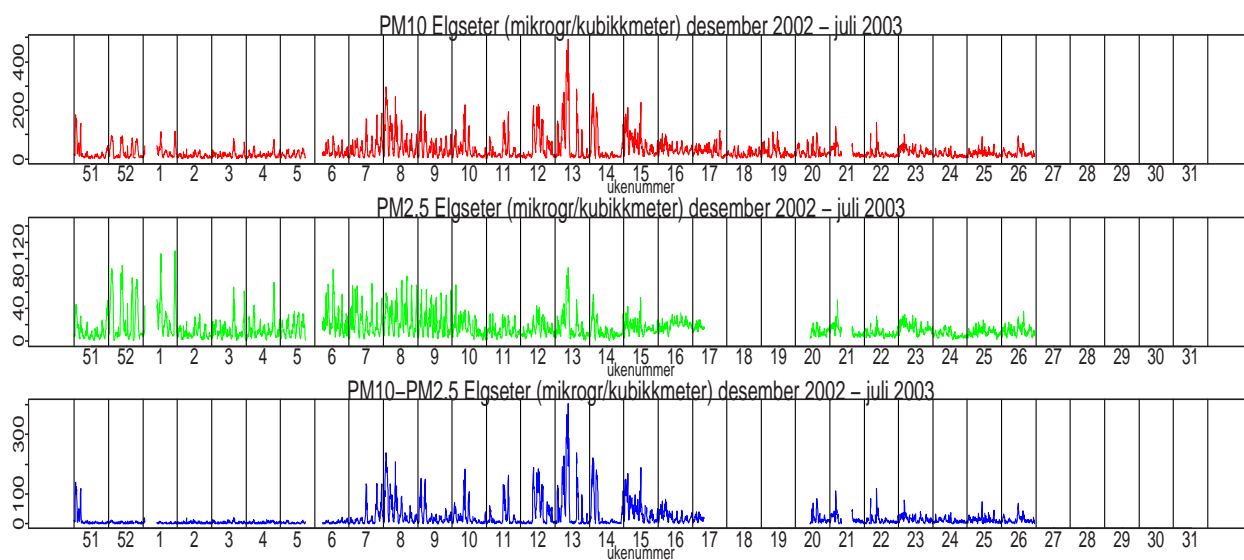




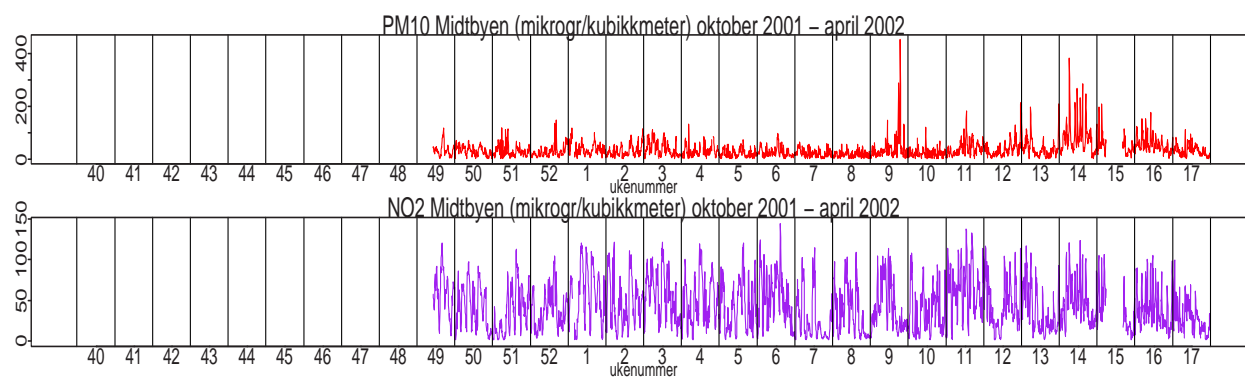
Figur 21: Luftforurensningsdata fra Elgeseter i Trondheim, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.



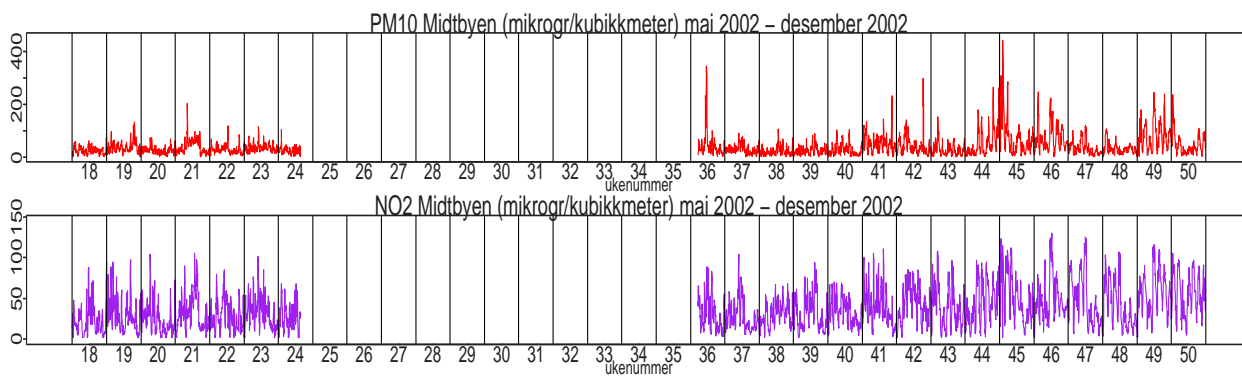
Figur 22: Luftforurensningsdata fra Elgeseter i Trondheim, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.



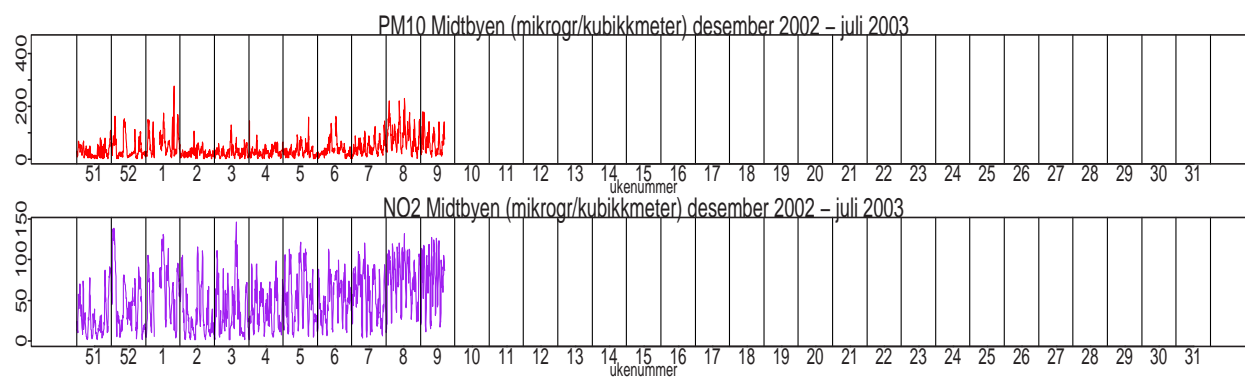
Figur 23: Luftforurensningsdata fra Elgeseter i Trondheim, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.



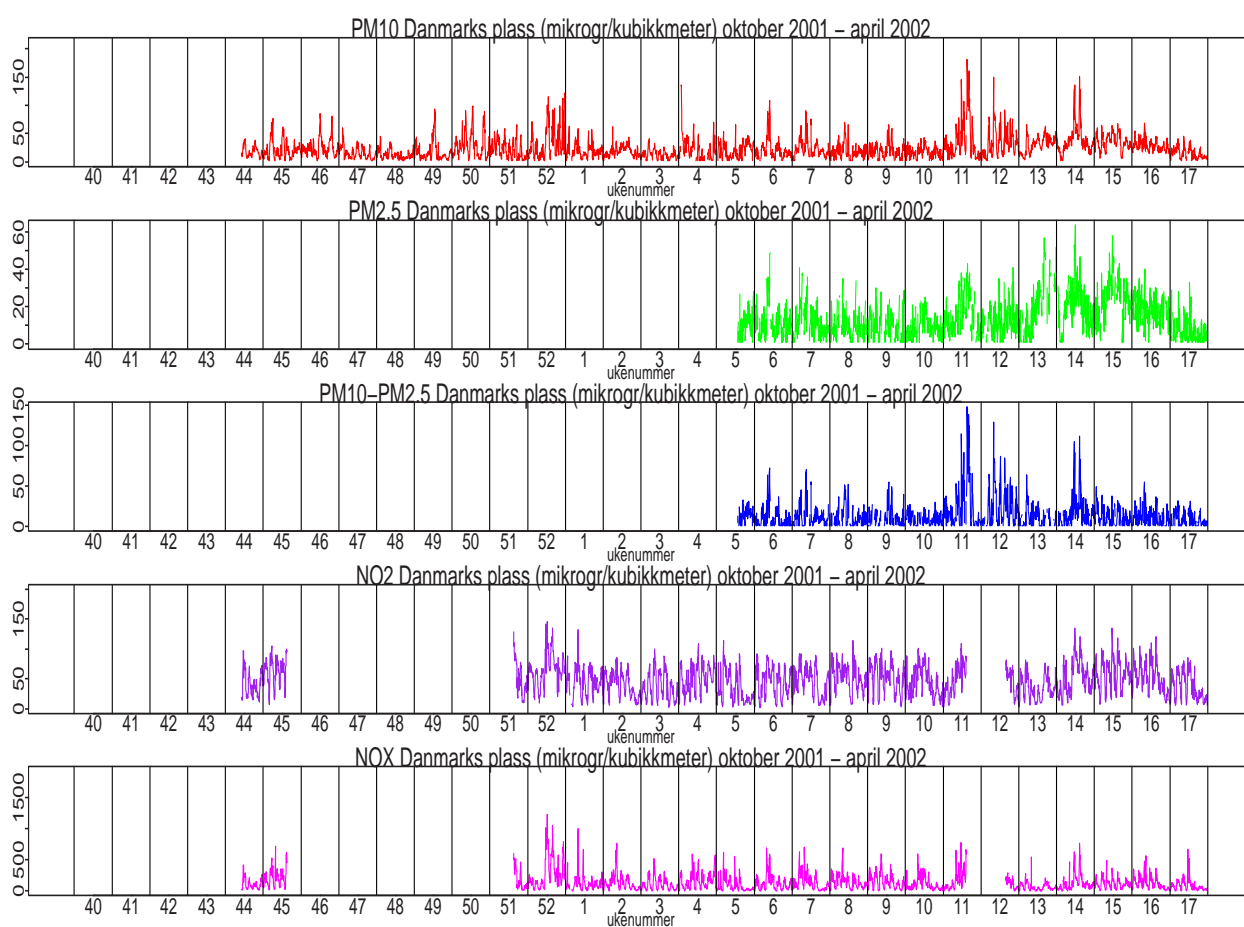
Figur 24: Luftforurensningsdata fra Midtbyen i Trondheim, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.



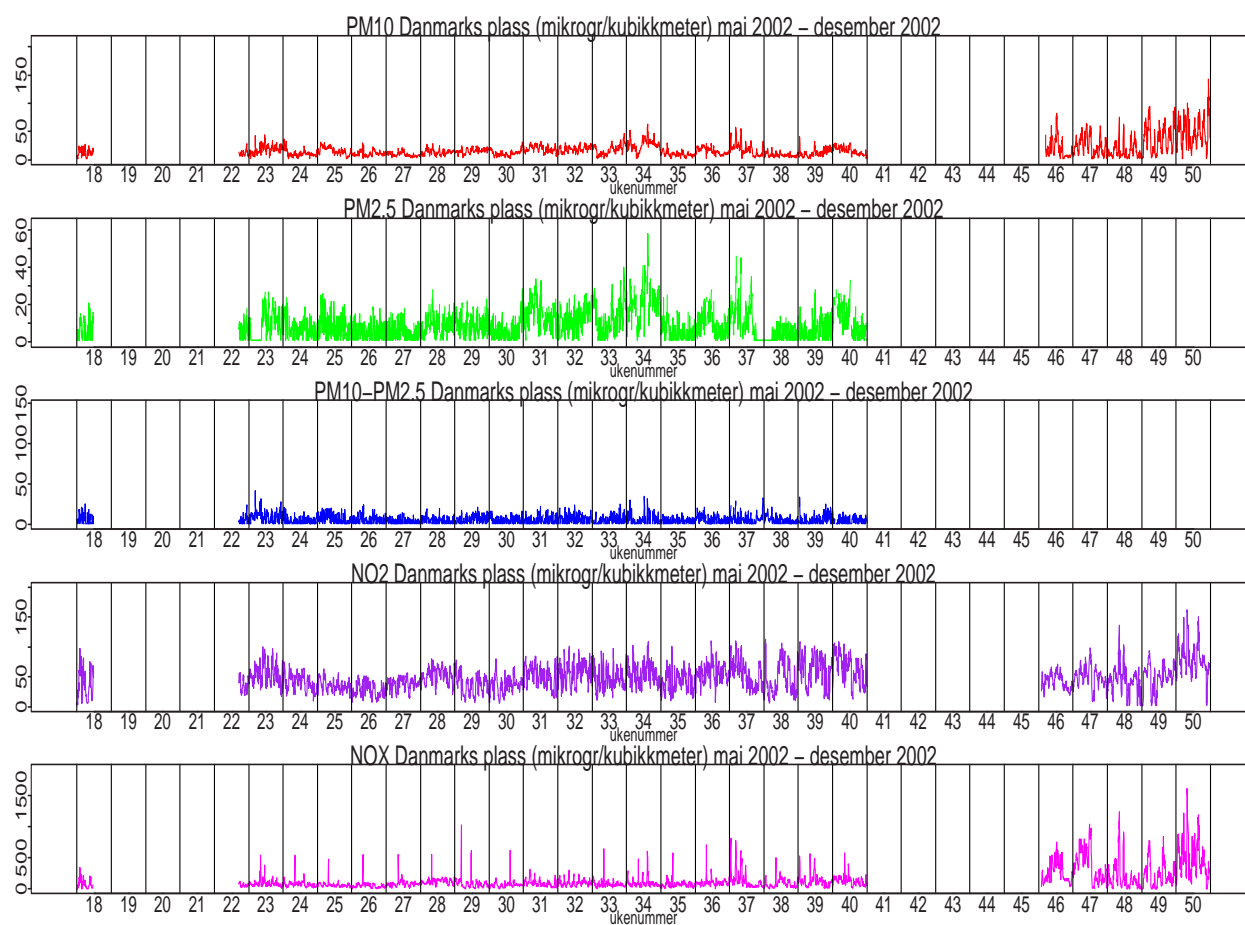
Figur 25: Luftforurensningsdata fra Midtbyen i Trondheim, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.



Figur 26: Luftforurensningsdata fra Midtbyen i Trondheim, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.

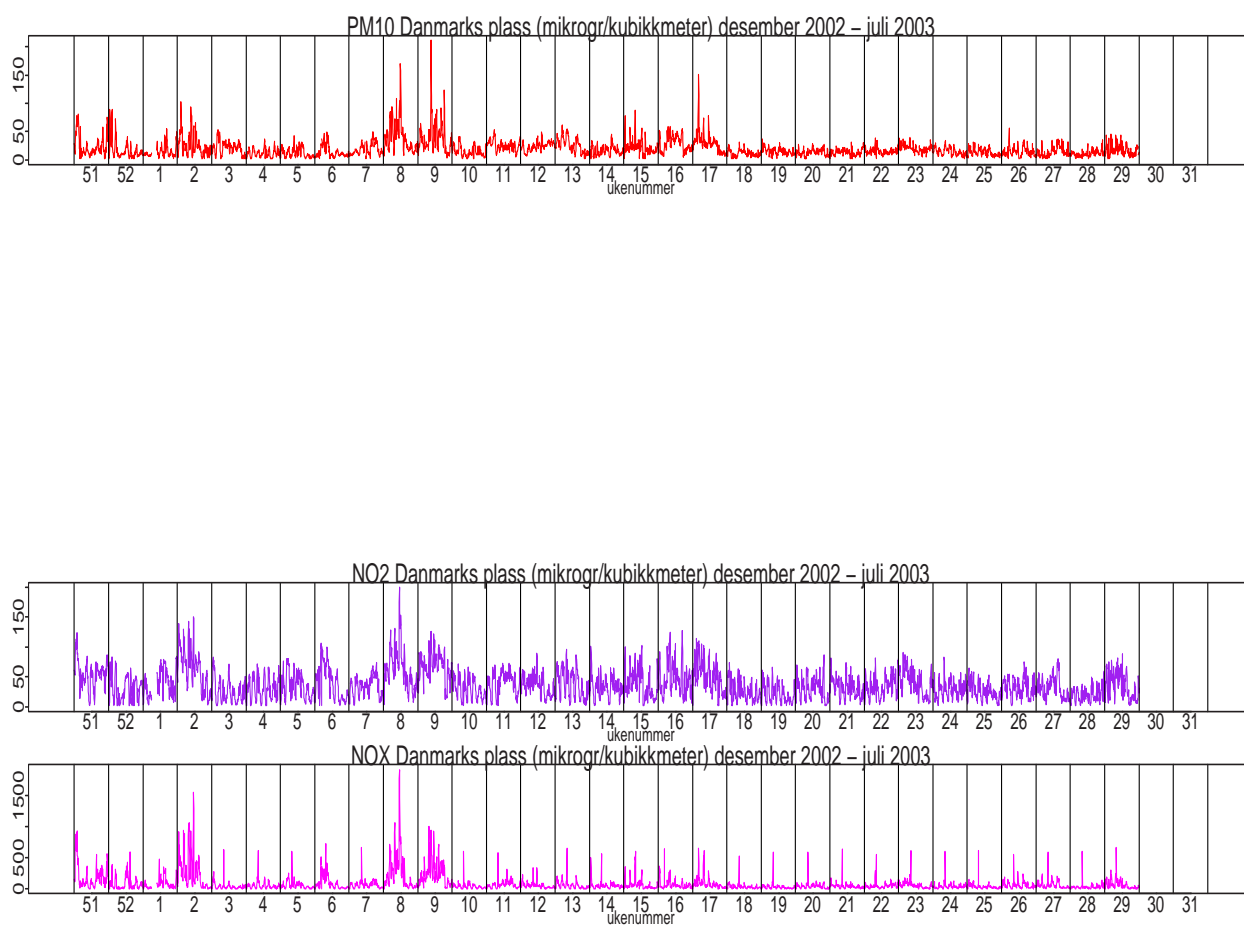


Figur 27: Luftforurensningsdata fra Danmarks plass i Bergen, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.

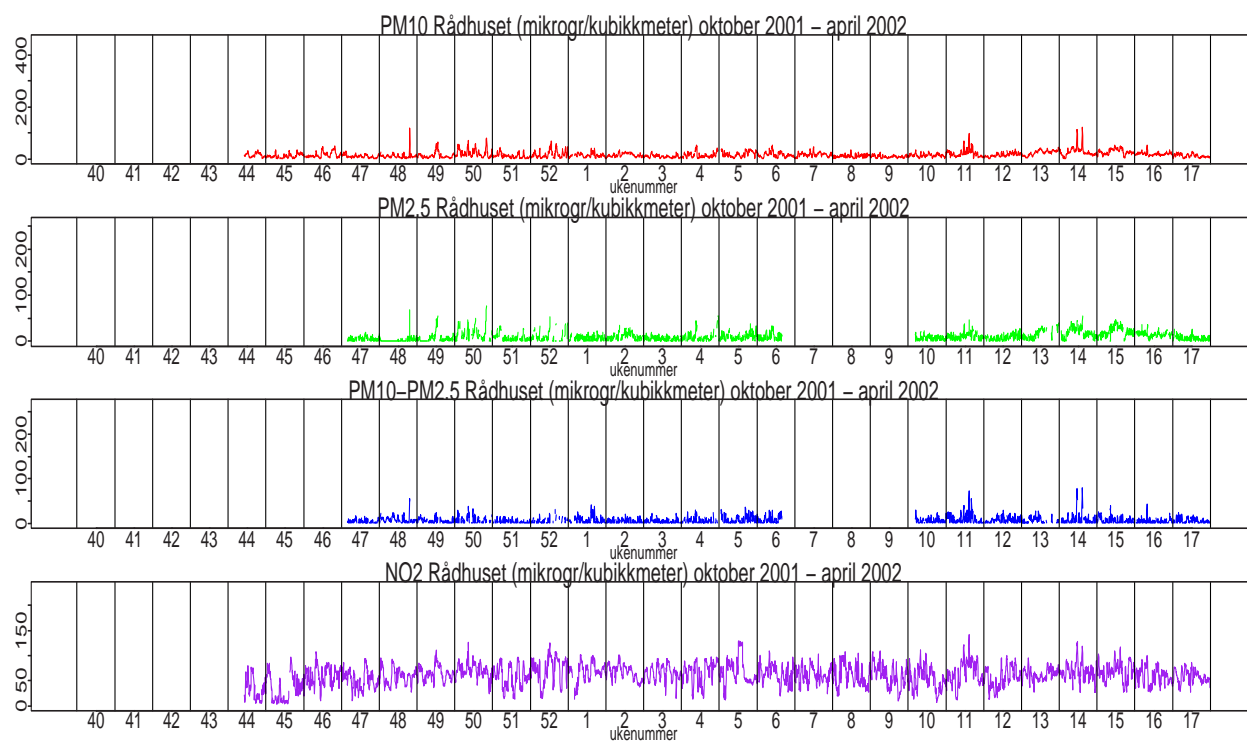


Figur 28: Luftforurensningsdata fra Danmarks plass i Bergen, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.

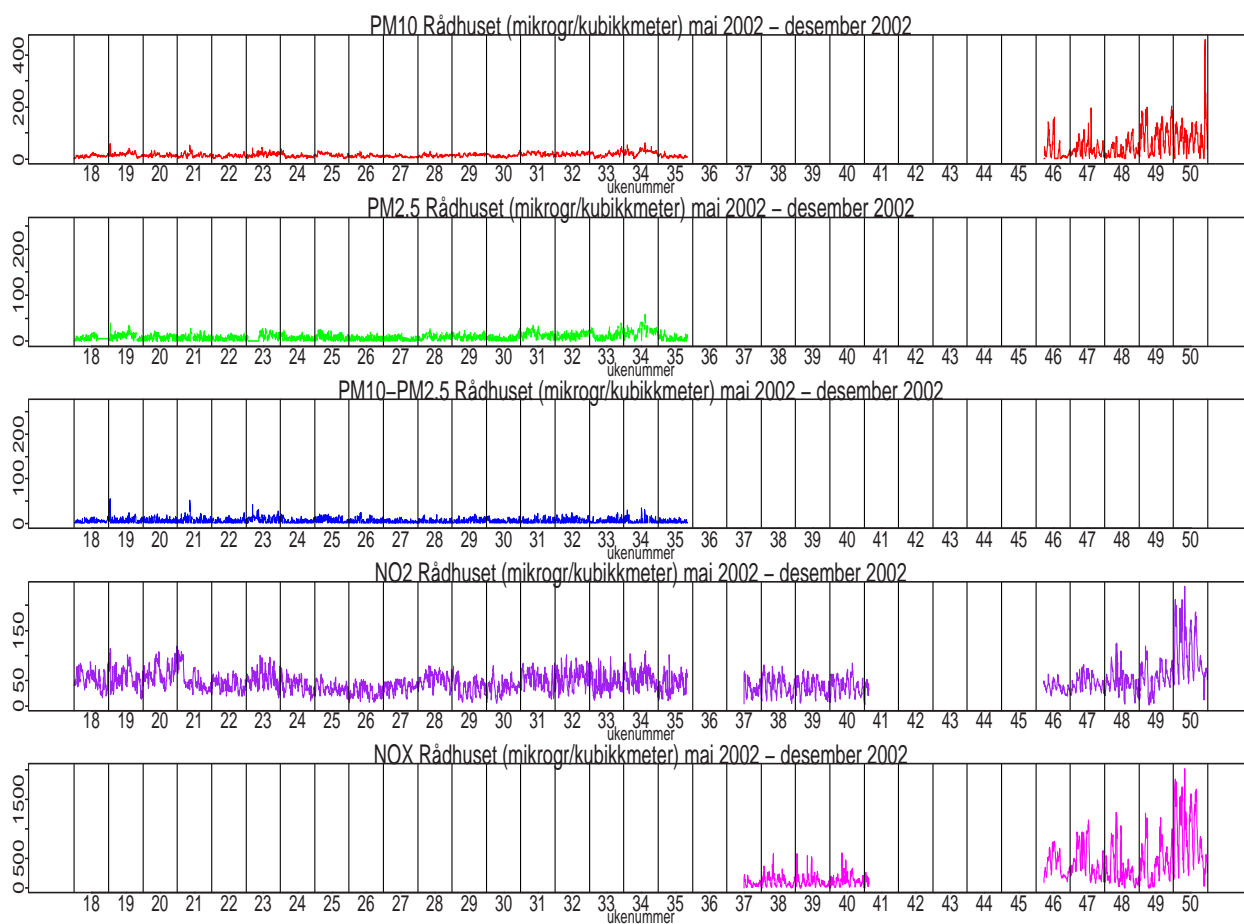




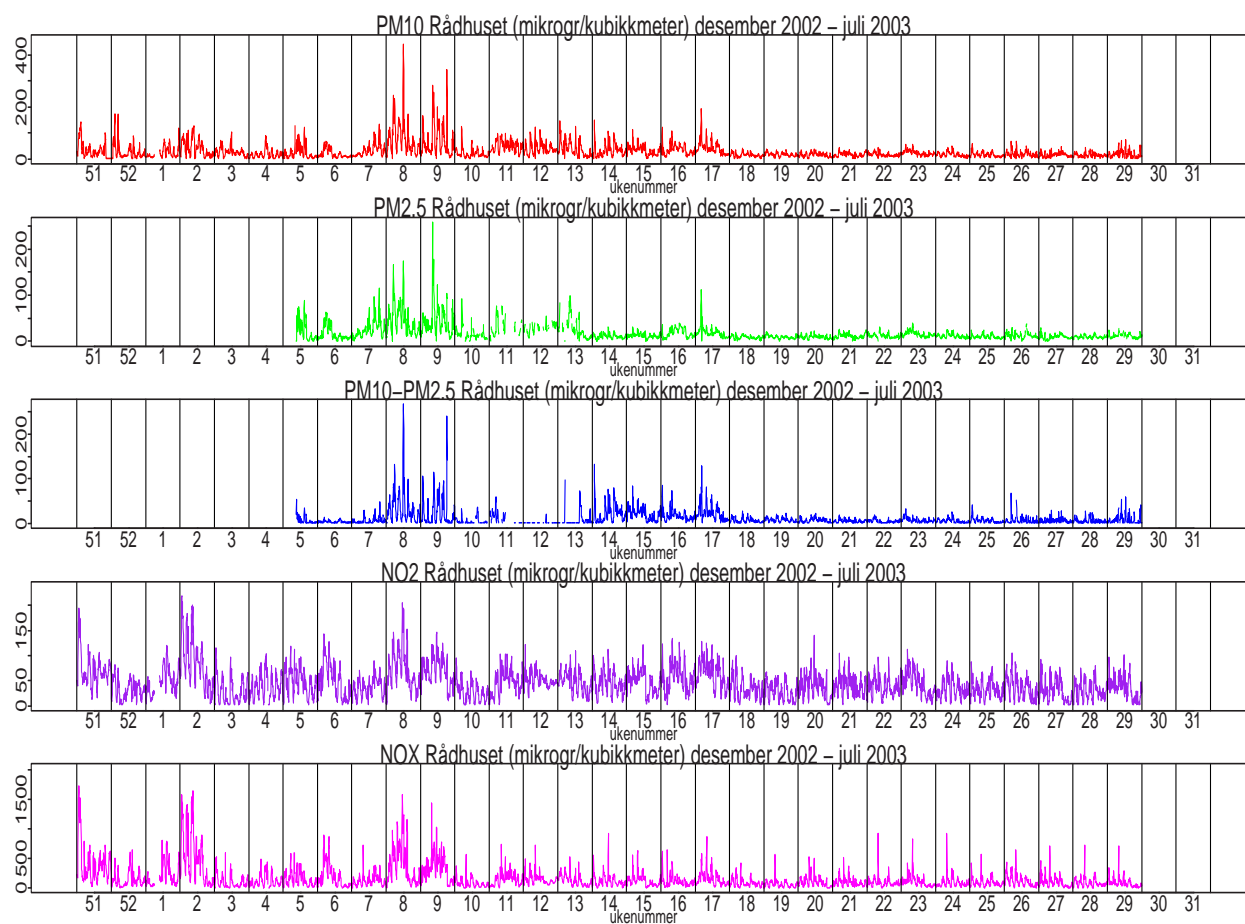
Figur 29: Luftforurensningsdata fra Danmarks plass i Bergen, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.



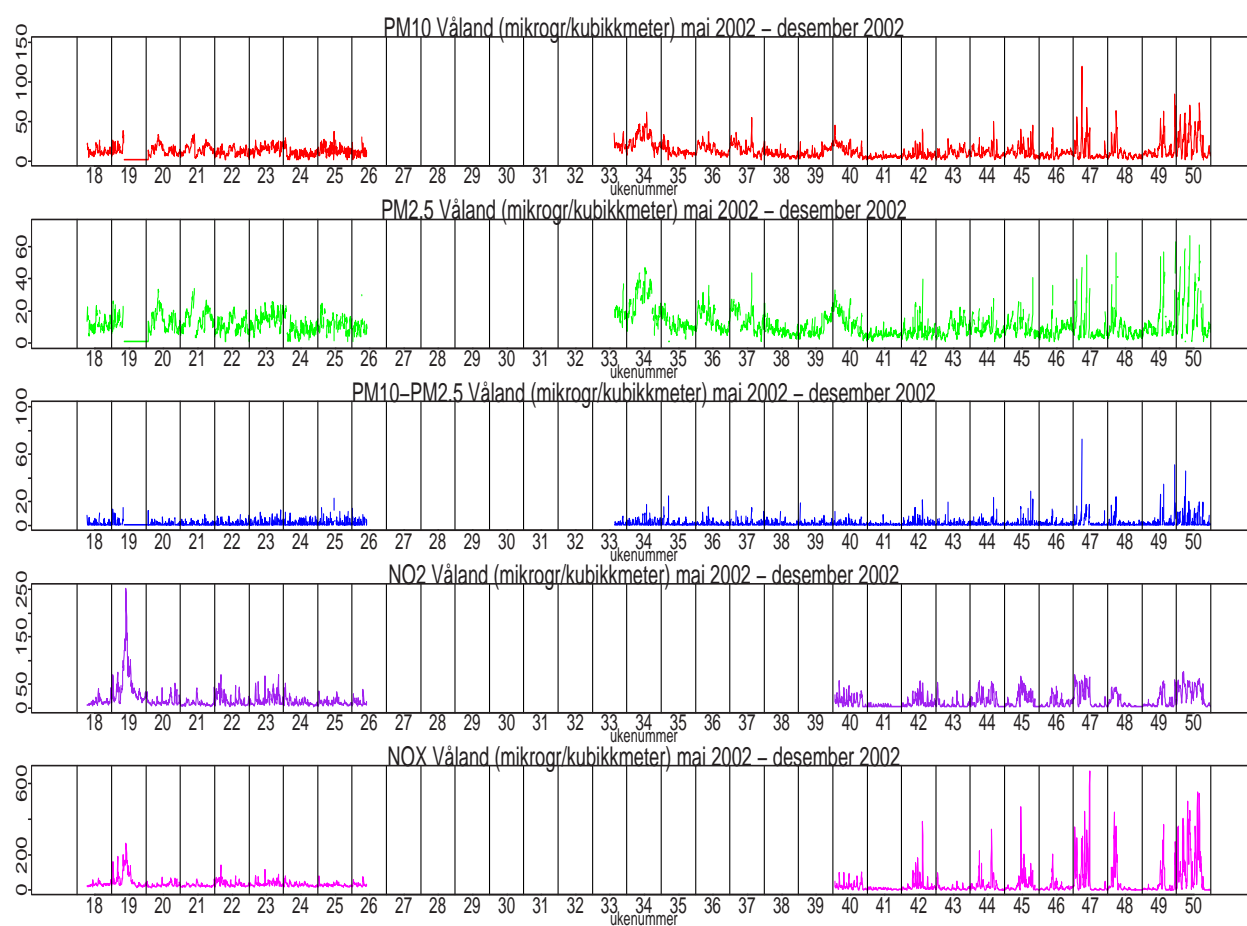
Figur 30: Luftforurensningsdata fra Rådhuset i Bergen, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.



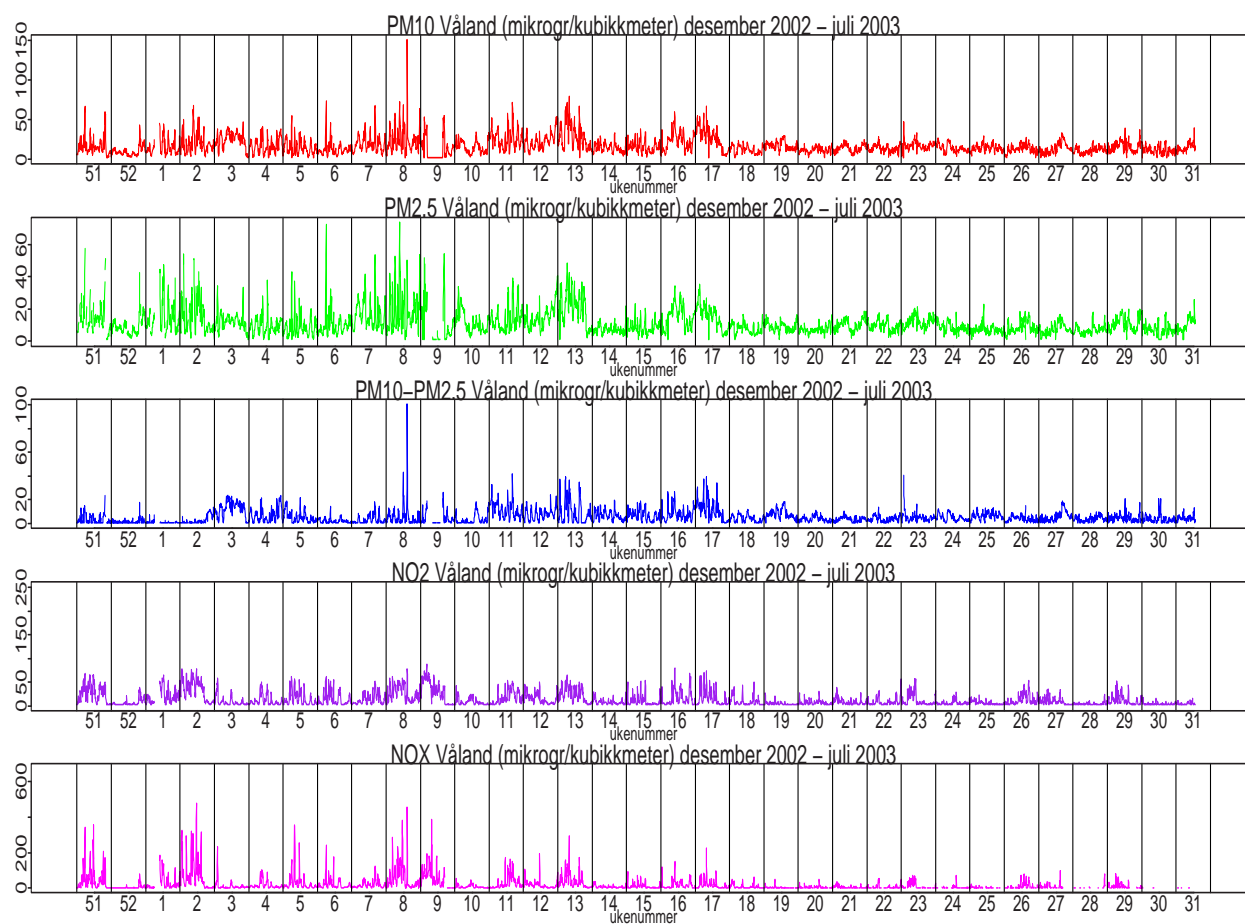
Figur 31: Luftforurensningsdata fra Rådhuset i Bergen, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.



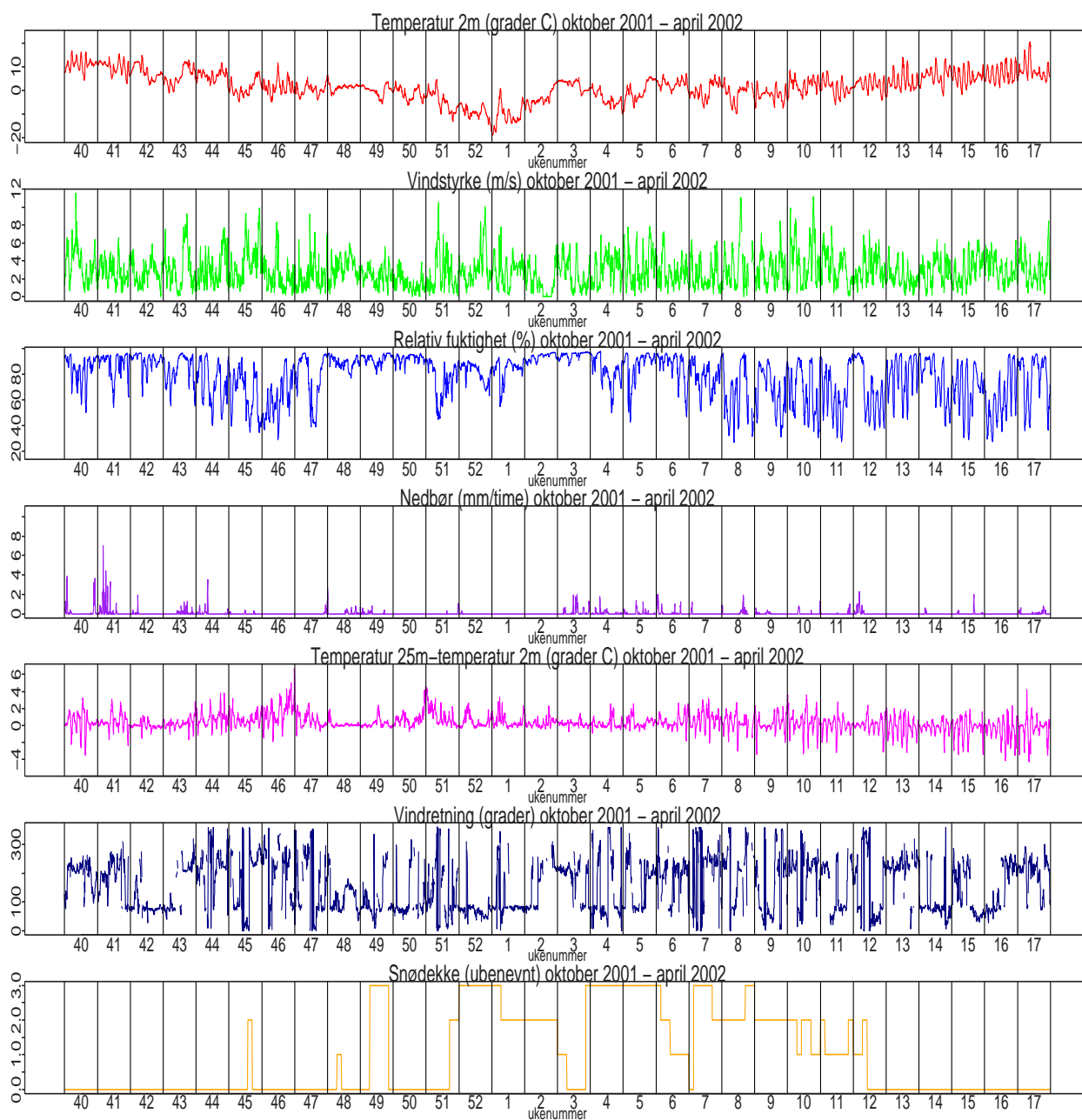
Figur 32: Luftforurensningsdata fra Rådhuset i Bergen, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.



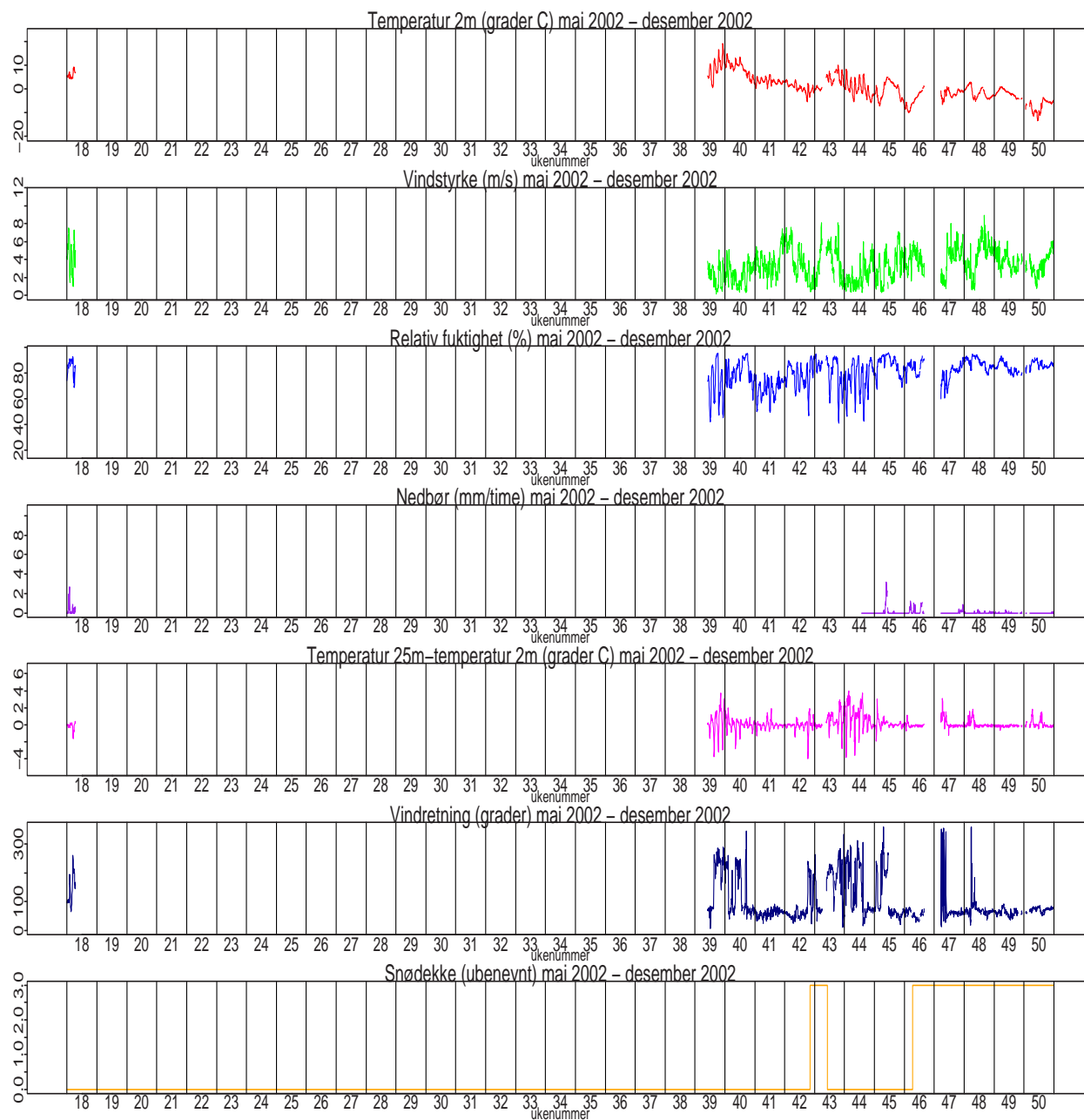
Figur 33: Luftforurensningsdata fra Våland i Stavanger, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.



Figur 34: Luftforurensningsdata fra Vålånd i Stavanger, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.

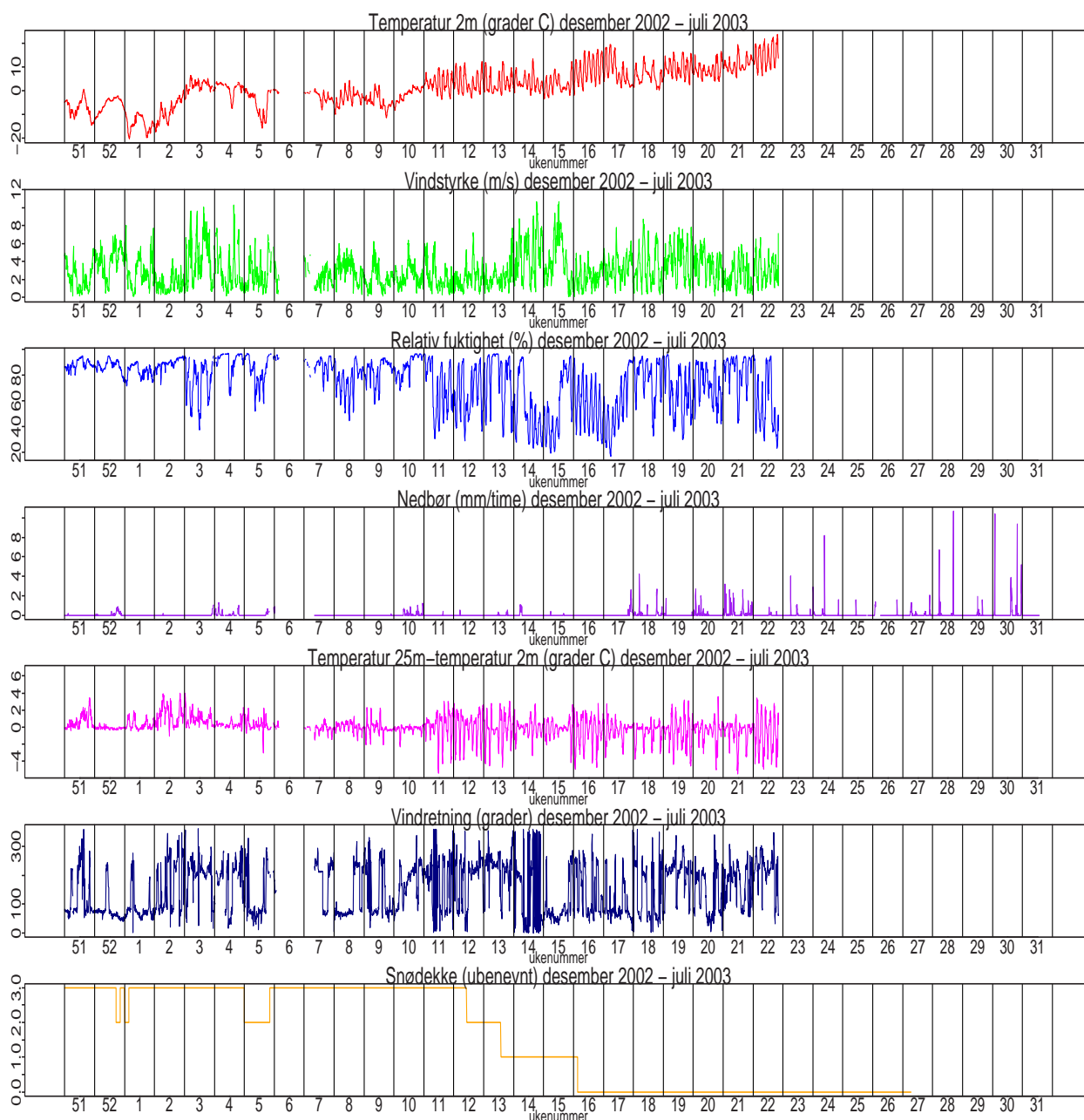


Figur 35: Meteorologiske data fra Oslo, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.

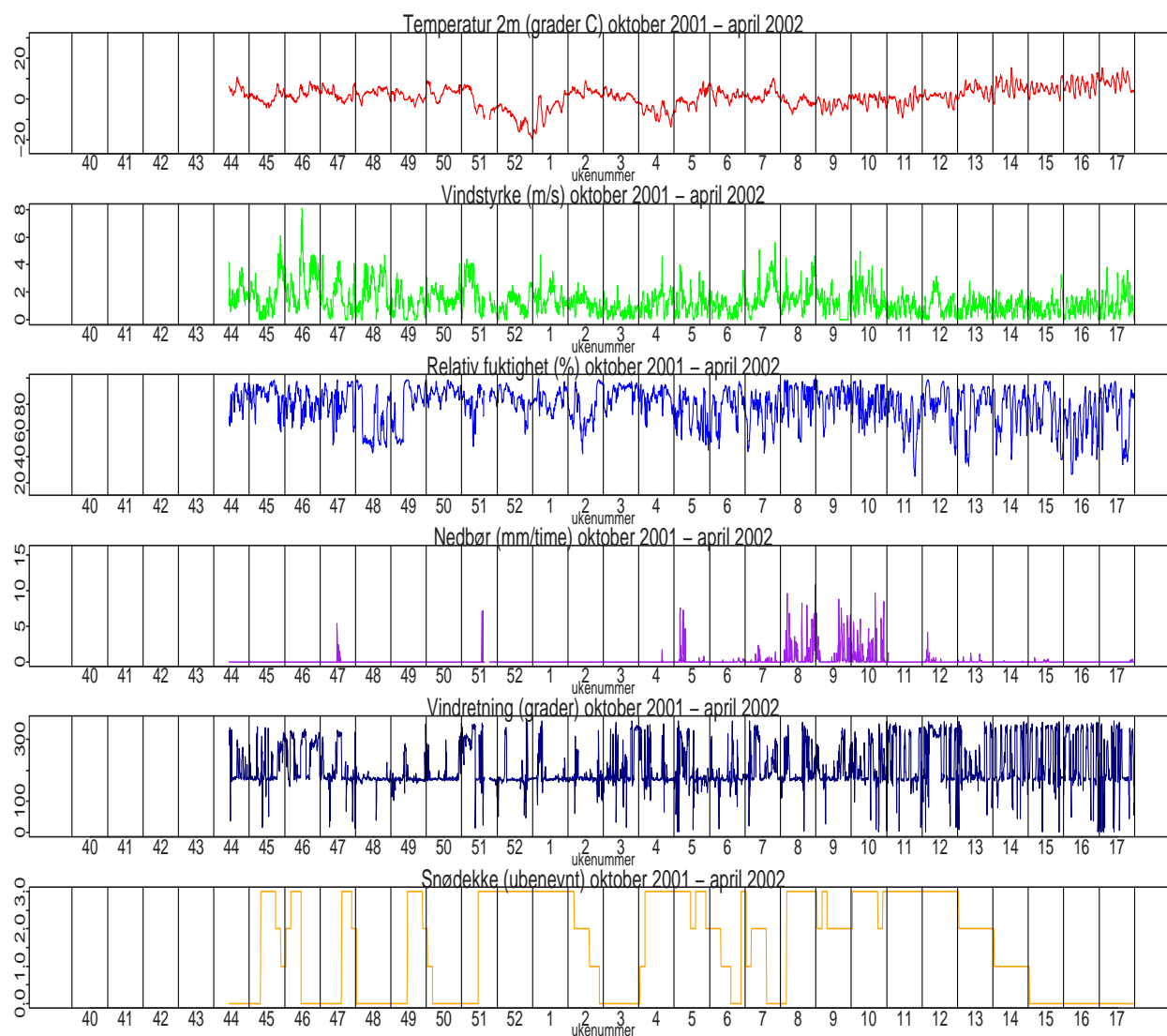


Figur 36: Meteorologiske data fra Oslo, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.

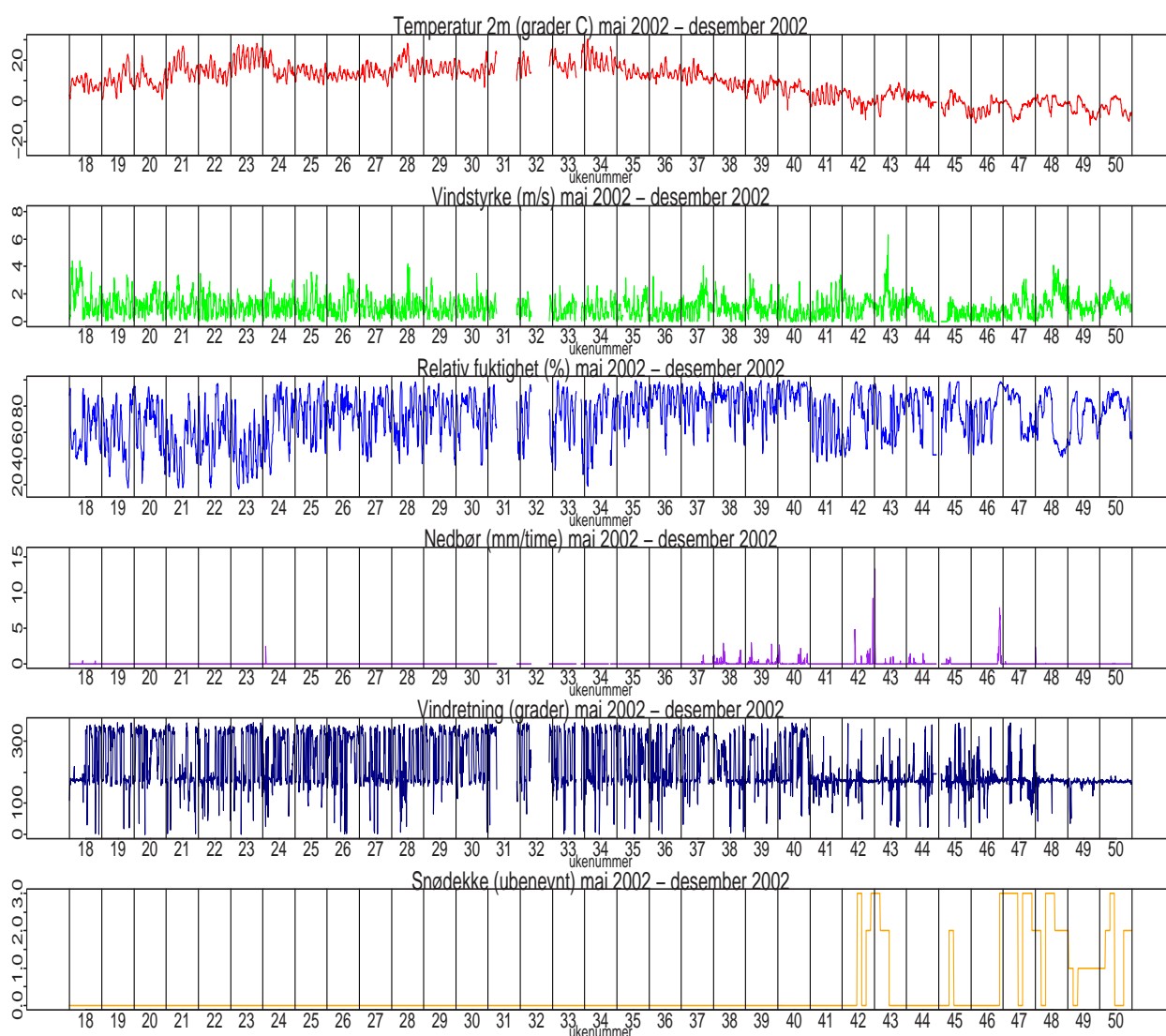




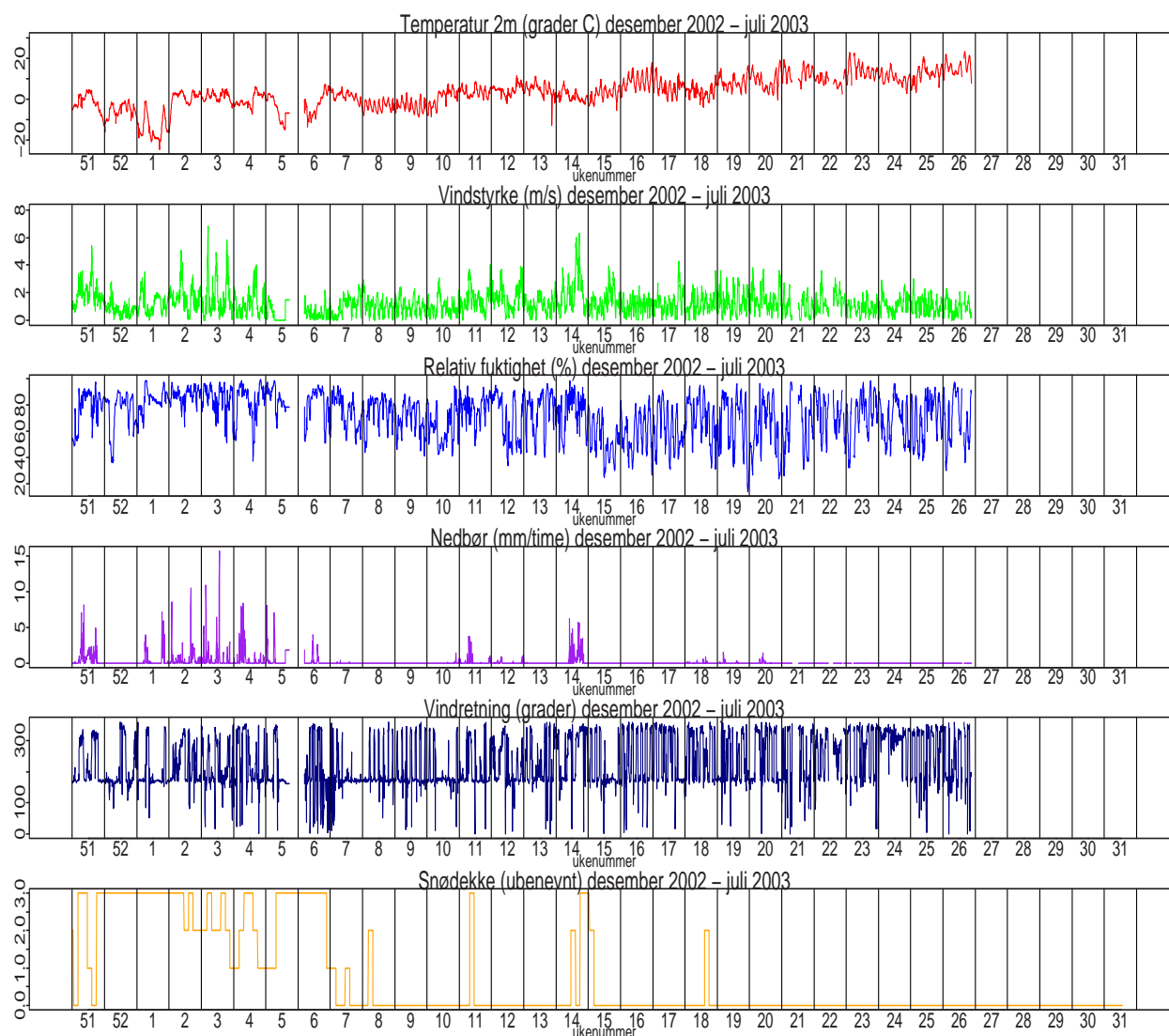
Figur 37: Meteorologiske data fra Oslo, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.



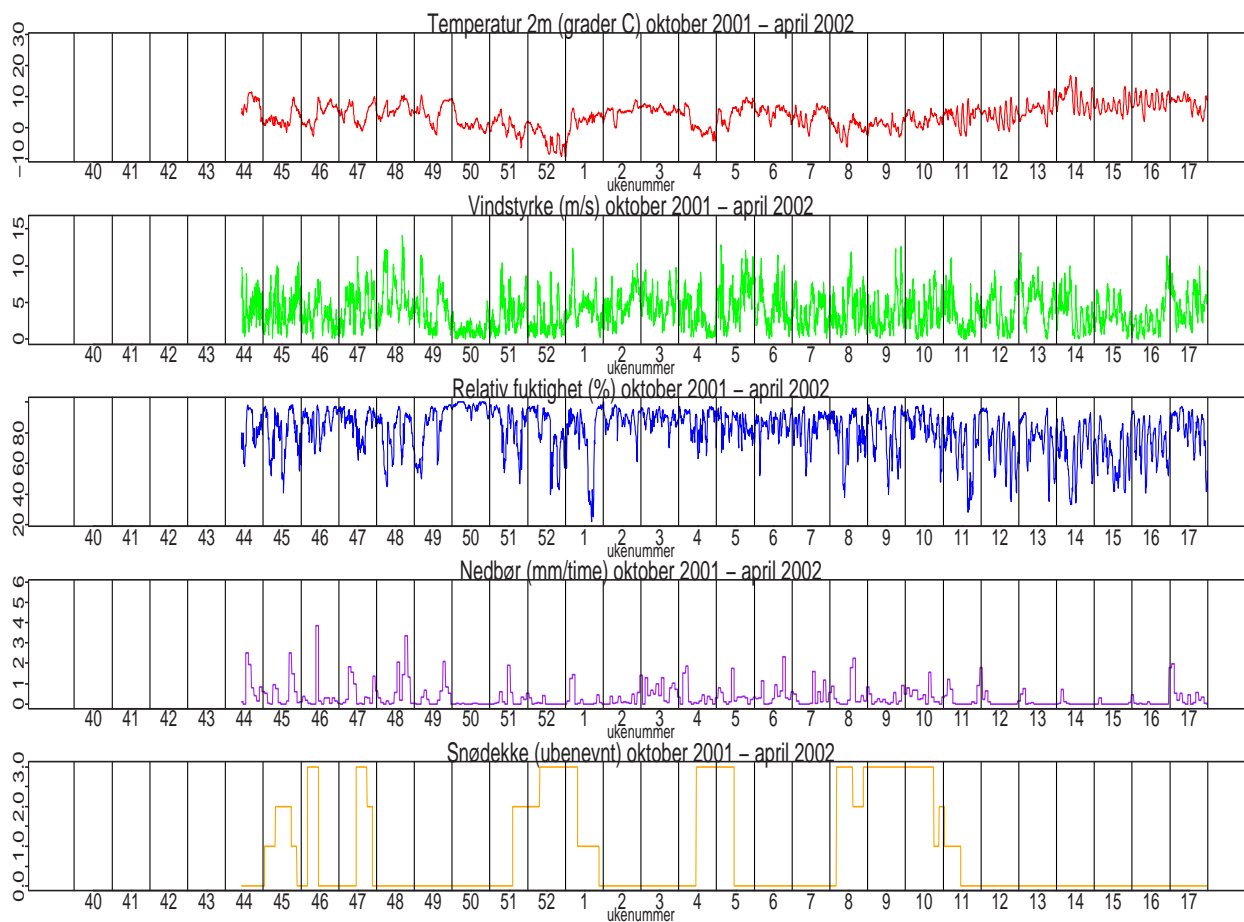
Figur 38: Meteorologiske data fra Trondheim, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.



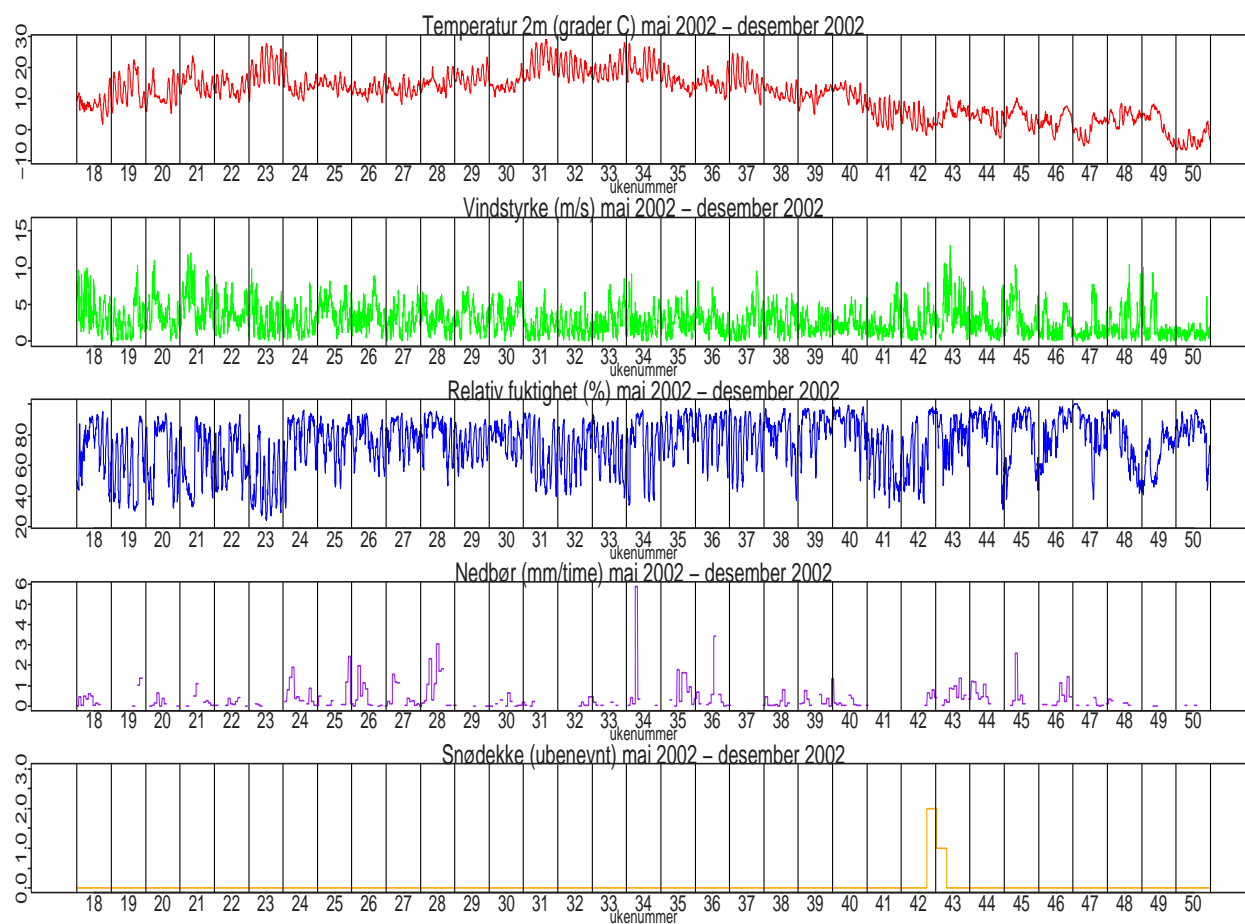
Figur 39: Meteorologiske data fra Trondheim, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.



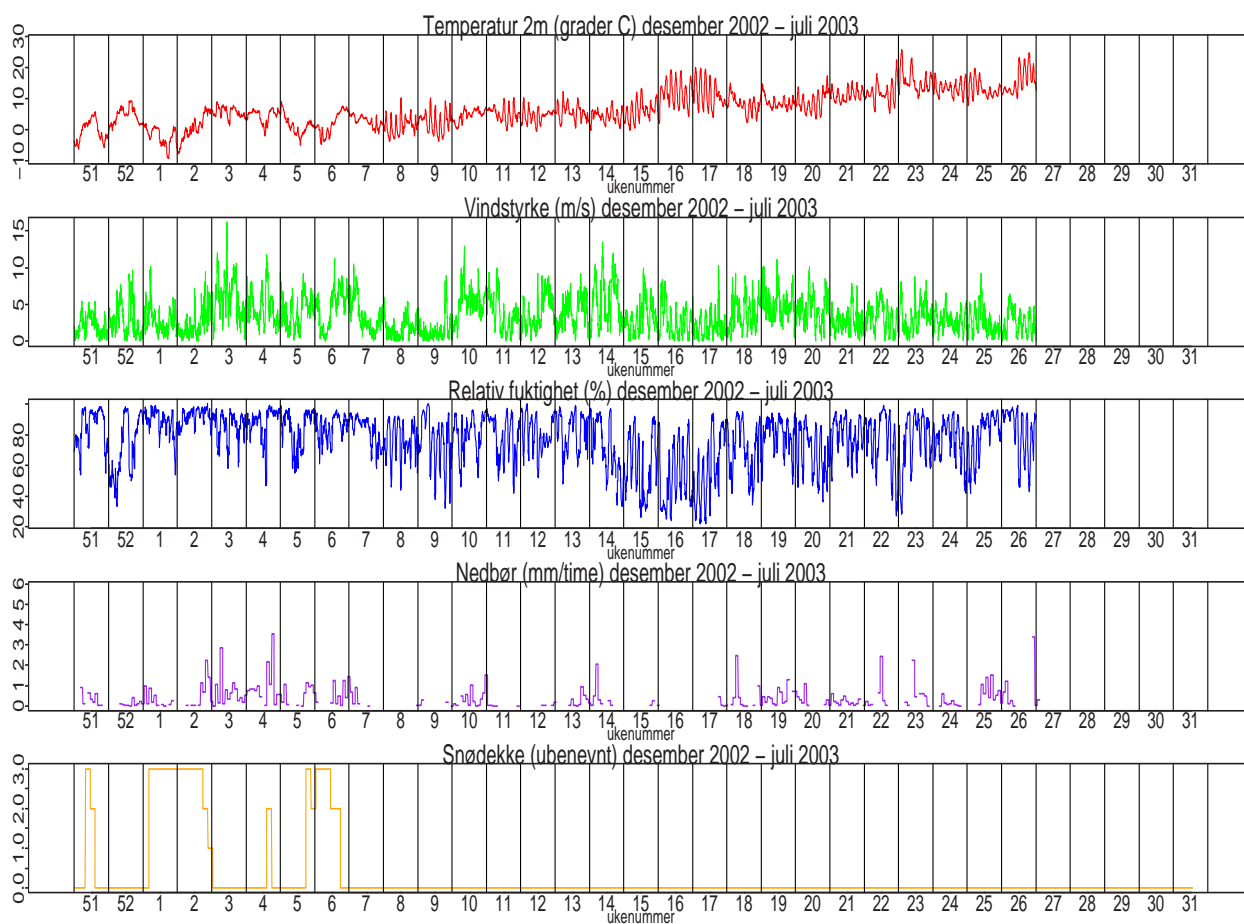
Figur 40: Meteorologiske data fra Trondheim, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.



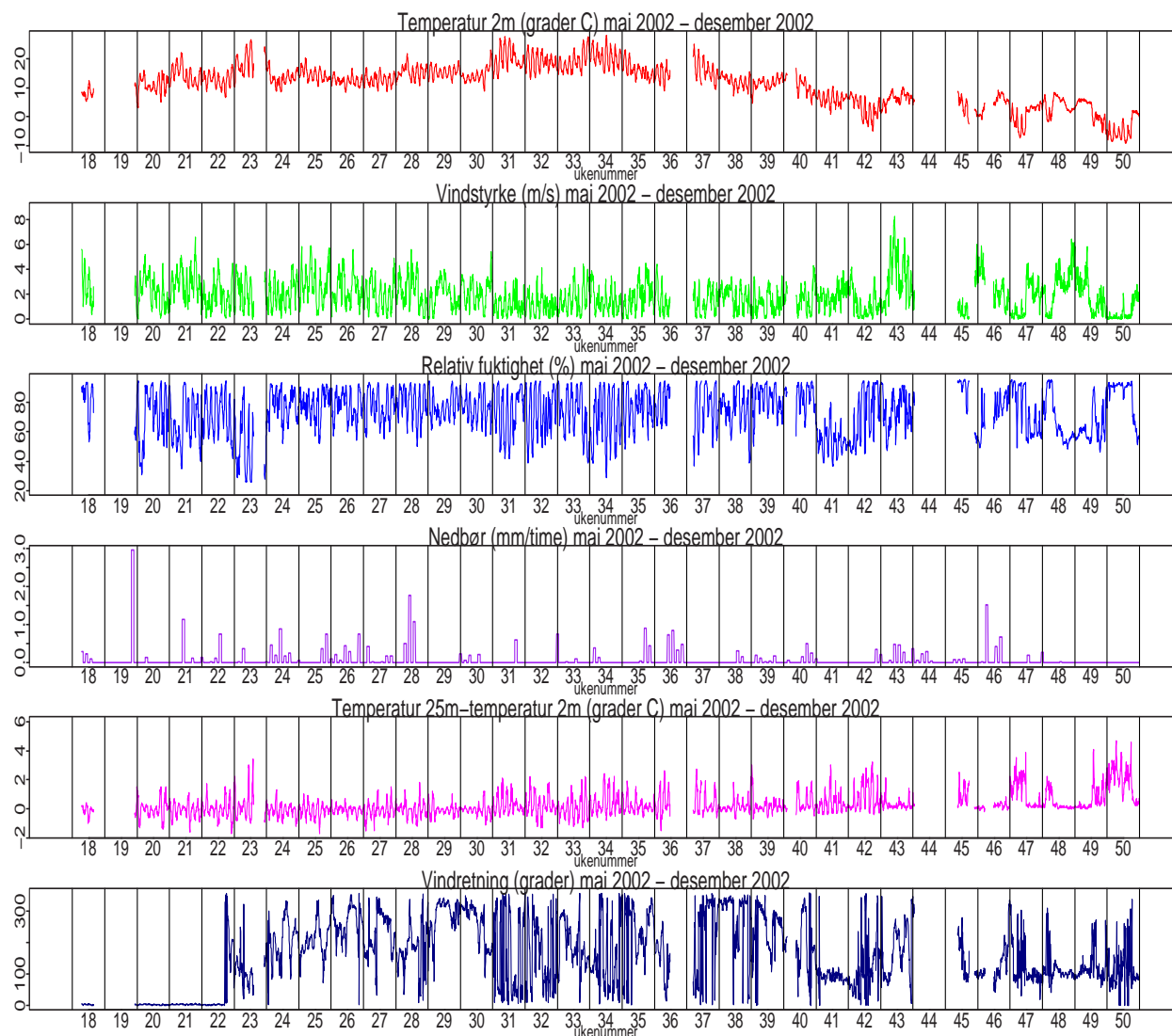
Figur 41: Meteorologiske data fra Bergen, fra uke 40 2001 til uke 17 2002.



Figur 42: Meteorologiske data fra Bergen, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.

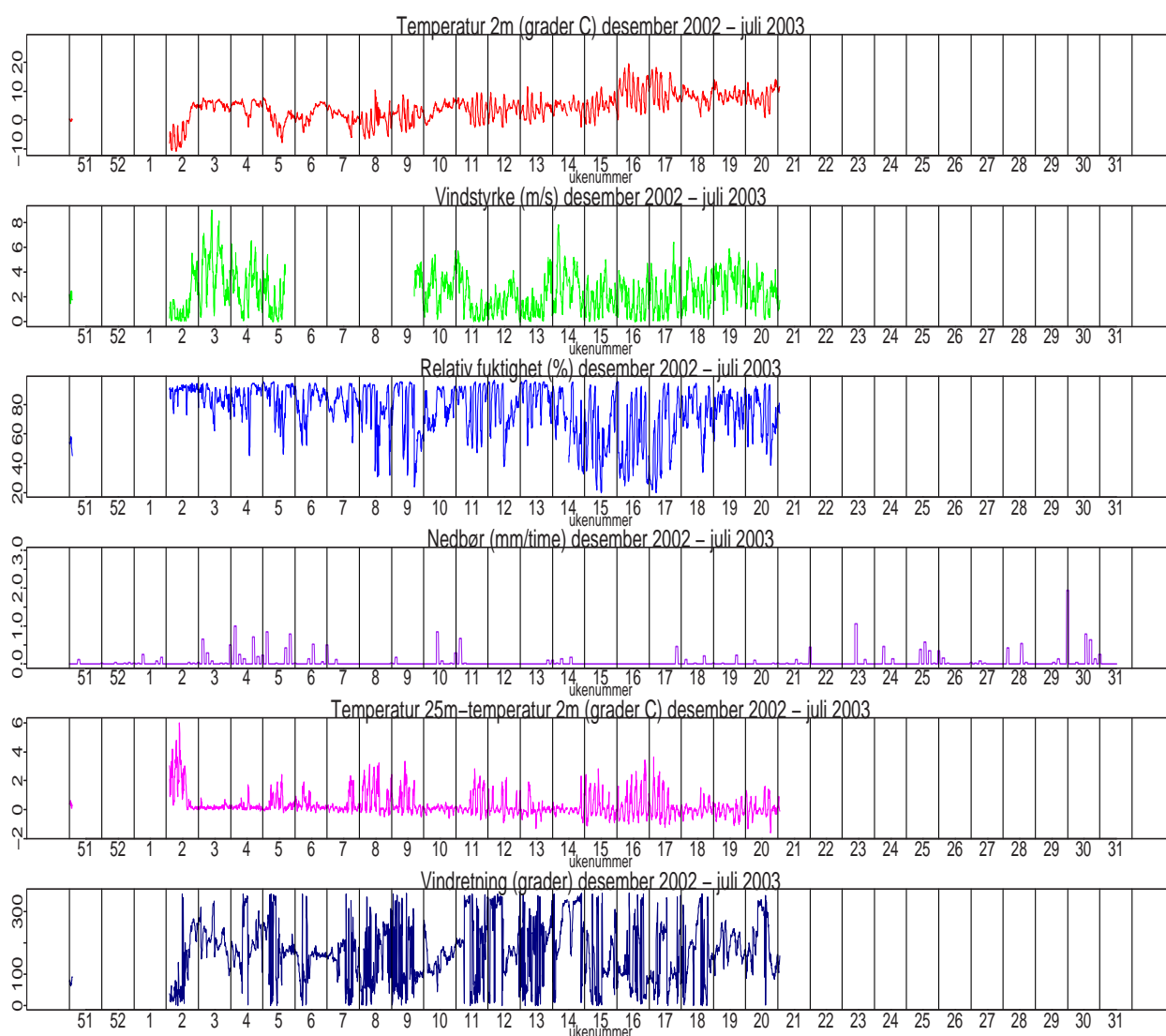


Figur 43: Meteorologiske data fra Bergen, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.

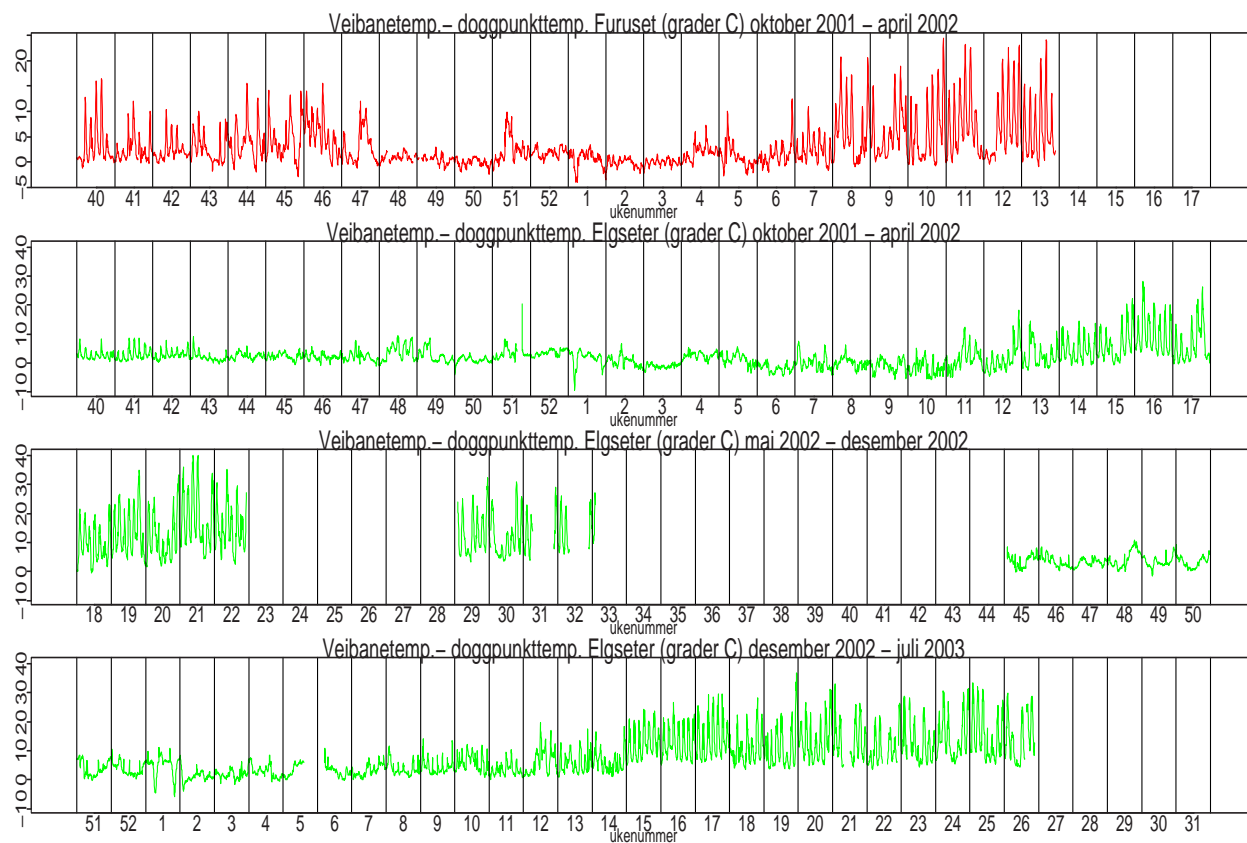


Figur 44: Meteorologiske data fra Stavanger, fra uke 18 2002 til uke 50 2002.





Figur 45: Meteorologiske data fra Stavanger, fra uke 51 2002 til uke 31 2003.



Figur 46: Doggingsdatadata fra Furuset i Oslo og Elgeseter i Trondheim.

## 3 Modeller

### 3.1 Standardmodeller - uten dogging

Sammenhengen mellom hver av de fem luftforureningsvariablene  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , differansen  $PM_{10}-PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  og  $NO_x$ , og trafikk- og meteorologivariablene, modellerer vi ved hjelp av såkalte generaliserte additive modeller (GAM), slik som i prosjektet “Empiriske modeller for luftforurensning, trafikkvolum og meteorologi” (Hobæk Haff og Aldrin, 2002), med noen små modifikasjoner. Modellen for  $PM_{10}$  ved målestasjonene i Oslo er

$$\begin{aligned} \log(PM_{10}) = & s_1(\text{trafikk}) + s_2(\text{temperatur2}) + s_3(\text{temperaturdiff.}) + s_4(\text{vindretning}) \quad (1) \\ & + s_5(\text{vindstyrke}) + s_6(\text{relativ fuktighet}) + s_7(\text{nedbør siste time}) \\ & + s_8(\text{nedbør siste tre timer}) + s_9(\text{nedbør siste uke}) + s_{10}(\text{snø}) \\ & + s_{11}(\text{time}) + s_{12}(\text{dag}) + \epsilon, \end{aligned}$$

der funksjonene  $s_i()$  er ukjente, glatte ikke-parametriske funksjoner og  $\epsilon$  er den delen av variasjonen i  $\log(PM_{10})$  som ikke kan forklares ved hjelp av modellen. De ukjente funksjonene estimeres ut fra dataene, og er forskjellige for hver målestasjon.

Nedbør beskrives av tre forklaringsvariable, “nedbør siste time”, “nedbør siste tre timer” og “nedbør siste uke”. Forklaringsvariabelen “nedbør siste time” er logaritmen av nedbøren i inneværende time. Den andre variabelen, “nedbør siste tre timer”, er logaritmen av gjennomsnittlig nedbør de tre foregående timene. Den skal beskrive effekten av at veien er enten tørr eller våt. Den siste variabelen, “nedbør siste uke”, er logaritmen av gjennomsnittlig nedbør den siste uka, og er ment å skulle modellere “vaskeeffekten” ved mye nedbør. De to siste nedbørsvariablene, “nedbør siste tre timer” og “nedbør siste uke”, er vektete gjennomsnitt av henholdsvis de tre foregående timene og den siste uka. Vekten er størst på den timen som er nærmest i tid, og deretter lineært avtagende for timene lenger tilbake i tid. For eksempel er vektene for “nedbør siste tre timer”  $\frac{3}{6}$ ,  $\frac{2}{6}$  og  $\frac{1}{6}$  for henholdsvis første, andre og tredje time før inneværende time.

“Snø” er en indikatorvariabel som beskriver snødekket, det vil si hvorvidt det er snø (eller is) i det hele tatt, og hvor mye snø (eller is) det i så fall er på bakken. Denne variabelen varierer lite over tid, og det er vanskelig å få stabile estimater av effekten uten data for minst to vintre. “Snø” er derfor ikke med i modellene for Iladalen, Kirkeveien og Skøyen, der vi kun har data fra én vinter.

Forklaringsvariabelen “time” er timen i døgnet, nummerert fra 1, som tilsvarer timen fra 00:00 til 01:00, til 24. Den skal ta høyde for eventuelle døgnvariasjoner som ikke beskrives av de andre forklaringsvariablene, som for eksempel trafikk og temperatur. Den er ikke tolkbar i seg selv. Variabelen “dag” er antall dager etter 01.10.2001. Den er ment å skulle modellere sesongvariasjoner som ikke forklares av de andre forklaringsvariablene.

Den additive modellen på log-skala kan transformeres tilbake til en modell med multiplikative effekter på originalskala, slik at

$$\begin{aligned}
 \text{PM}_{10} = & S_1(\text{trafikk}) \cdot S_2(\text{temperatur2}) \cdot S_3(\text{temperaturdifferanse}) \cdot S_4(\text{vindretning}) \quad (2) \\
 & \cdot S_5(\text{vindstyrke}) \cdot S_6(\text{relativ fuktighet}) \cdot S_7(\text{nedbør siste time}) \\
 & \cdot S_8(\text{nedbør siste tre timer}) \cdot S_9(\text{nedbør siste uke}) \cdot S_{10}(\text{snø}) \cdot S_{11}(\text{time}) \\
 & \cdot S_{12}(\text{dag}) \cdot E,
 \end{aligned}$$

der  $S_i(\cdot) = \exp(s_i(\cdot))$ .

Modellene for  $\text{PM}_{10}$  i Trondheim, Bergen og Stavanger er helt tilsvarende, med noen unntak. I modellene for Trondheim er ikke “temperaturdifferanse” med. Modellene for Bergen inneholder verken “temperaturdifferanse” eller “vindretning”, mens “snø” er utelatt i Stavanger. Dette skyldes at det ikke finnes målinger av disse variablene fra de nevnte stedene. Videre er nedbørsmålingene fra Bergen og Stavanger på tolv timers oppløsning, og som tidligere nevnt blir de glattet til timesoppløsning (se avsnitt 2). Av den grunn er de to nedbørsvariablene “nedbør siste time” og “nedbør siste tre timer” slått sammen til én variabel som er logaritmen av gjennomsnittlig nedbør de siste fire timene. Modellene for  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ - $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{NO}_2$  og  $\text{NO}_x$  er på nøyaktig samme form som den for  $\text{PM}_{10}$ .

### 3.2 Modeller med dogging

For to av målestasjonene, nærmere bestemt Furuset i Oslo og Elgeseter i Trondheim, har vi også målinger av veibanetemperatur og doggpunkttemperatur. Differansen mellom de to bestemmer om det er dogg på veibanen eller ikke. Når den er mindre enn 0, er det etter teorien dogg eller rim på veien, og når den er over 0, er det ikke det. For å se om slik dogging på veibanen har noen effekt på luftforurensningen, har vi laget en modell tilsvarende (1) som inkluderer dogging for hver av forurensningsvariablene ved begge målestasjonene. Meningen er å sammenligne disse med modellene uten dogging, når de anvendes på akkurat de samme dataene.

Modellen på logskala for  $\text{PM}_{10}$  ved Furuset er

$$\begin{aligned}
 \log(\text{PM}_{10}) = & s_1(\text{trafikk}) + s_2(\text{temperatur2}) + s_3(\text{temperaturdiff.}) + s_4(\text{vindretning}) \quad (3) \\
 & + s_5(\text{vindstyrke}) + s_6(\text{relativ fuktighet}) + s_7(\text{nedbør siste time}) \\
 & + s_8(\text{nedbør siste tre timer}) + s_9(\text{nedbør siste uke}) + s_{10}(\text{snø}) \\
 & + s_{11}(\text{time}) + s_{12}(\text{dag}) + s_{13}(\text{dogging}) + \epsilon,
 \end{aligned}$$

der “dogging” er veibanetemperatur minus doggpunkttemperatur. Modellen for de andre forurensningsvariablene ved Furuset er helt tilsvarende. Videre er modellene for luftforurensningen ved Elgeseter de samme, med unntak av at “temperaturdifferanse” ikke er med.

## 4 Resultater

### 4.1 Resultater fra standardmodeller

Vi har estimert modellene i avsnitt 3 ut fra de tilgjengelige dataene presentert i avsnitt 2. Tabell 3 til 7 oppsummerer noen av resultatene. Kolonnen med  $R^2$  viser hvor stor andel av variasjonen i de ulike forurensningskomponentene som kan forklares av de ulike modellene. Verdiene på  $R^2$  må ligge mellom 0 og 1. En verdi nær 1 betyr at modellen forklarer mye av variasjonen i dataene, mens en verdi nær 0 betyr at modellen forklarer lite av variasjonen. Løren i Oslo er målestasjonen som jevnt over har høyest forklaringsgrad for alle forurensningsvariablene, mens Danmarks plass og Rådhuset i Bergen har lav forklaringsgrad for alle PM-variablene. Det vil si at sammenhengen mellom luftforurensning og forklaringsvariablene er relativt tydelig på Løren. På Danmarks plass og Rådhuset er det derimot liten sammenheng, særlig mellom  $PM_{10}$  -  $PM_{2.5}$  og forklaringsvariablene. Videre er forklaringsgradene stort sett høyere for  $PM_{10}$  og  $PM_{10}$  -  $PM_{2.5}$  enn for  $PM_{2.5}$ , og høyere for  $NO_x$  enn for  $NO_2$ .

Den variasjonen som modellene er i stand til å forklare er videre fordelt (dekomponert) på hver enkelt forklaringsvariabel, med en prosentvis andel for hver av dem. Hensikten er å anskueliggjøre hvor mye hver enkelt forklaringsvariabel bidrar. Det er imidlertid ingen entydig måte å beregne dette på. Vår beregningsmåte er beskrevet i Appendix A. Merk at andre metoder kan gi andre svar. Spesielt hvis to eller flere av forklaringsvariable er sterkt korrelerte kan det være tvetydig hva som skyldes hver enkelt variabel. Den beregnede prosentandelen av forklart varians som kan tilskrives hver enkelt forklaringsvariabel er gitt i Tabell 3 til 7. For PM-variablene ved Danmarks plass, Rådhuset og Våland har trafikk betraktelig mindre betydning enn det en skulle forvente, mens temperatur og dag betyr adskillig mer. Her er trafikk, temperatur og dag høyt positivt korrelert, og en skal derfor være forsiktig med å tolke. For de fleste modellene virker imidlertid resultatene fornuftige. Trafikkvolum er stort sett den viktigste forklaringsvariabelen for alle forurensningskomponentene. Vindstyrke og vindretning forklarer også en stor andel av variasjonen. Temperatur har betydning for alle forurensningskomponentene, men mindre for NO-variablene enn for PM-variablene. Relativ fuktighet og nedbør forklarer mye av variasjonen i svevestøvkonsentrasjonen, men lite av variasjonen i konsentrasjonen av  $NO_2$  og  $NO_x$ . Snø har noen betydning for  $PM_{10}$  og for  $PM_{10}$  -  $PM_{2.5}$ , men er ikke vesentlig for  $PM_{2.5}$  og NO-variablene. Temperaturdifferanse ser derimot ut til å bety mer for NO-variablene enn for PM-variablene.

De estimerte modellene er vist i Figur 47 til 76, først med alle stedene fra hver enkelt by samlet, og deretter alle stedene sammen. Resultatene presenteres som relative effekter. Det som vises er  $100 \cdot S(x)/S(x^{ref})$ , der S er én av funksjonene fra den multiplikative modellen (2),  $x$  er forklaringsvariabelen, og  $x^{ref}$  er en valgt referanseverdi, der konsentrasjonen er satt til 100. Kurvene er laget ved å la den forklaringsvariabelen en ønsker å se på variere mellom laveste og høyeste observerte verdi, mens de andre variablene holdes konstant lik gjennomsnittsverdien. Appendix A bringer noen flere detaljer fra analysen, mens Appendix B viser de estimerte effektene på log-skala for alle modellene, med usikkerhetsgrenser.

Resultatene fra Oslo er plottet i Figur 47 til 52. Panelet øverst til venstre i Figur 47 viser

hvordan konsentrasjonen av  $PM_{10}$  endres når trafikkvolumet endres.  $PM_{10}$ -nivået er satt til 100 for et trafikkvolum på 1000 biler per time. Hver kurve tilsvarer én målestasjon i Oslo. Langs x-aksen går kurvene fra minste til største observerte trafikkvolum per time. Kurven fra Skøyen strekker seg lengst mot høyre, fordi det er der det er observert størst trafikkvolum. Figuren betyr at når trafikken ved Skøyen øker fra 1000 til 8000 biler per time, og andre faktorer (meteorologi, tid på året og tid på døgnet) er konstante, øker konsentrasjonen av  $PM_{10}$  fra 100 til litt over 200, det vil si den fordobles. De to andre panelene øverst i Figur 47, samt de to i Figur 48, er tilsvarende, men for henholdsvis  $PM_{2.5}$  og  $PM_{10} - PM_{2.5}$  og  $NO_2$  og  $NO_x$ . Merk at skalaen på y-aksen er den samme i alle plottene av en bestemt forklaringsvariabel (samme linje i figurene) for hver målestasjon.

De øvrige panelene i Figur 47 til 52 er tilsvarende, men for andre forklaringsvariable enn trafikkvolum. Effekten av nedbør er fordelt på tre forklaringsvariable i modellene, og det er behov for å oppsummere dette til en samlet effekt av nedbør. Det er ikke entydig hvordan en bør gjøre dette, men vi har gjort et forsøk via et tenkt scenario, som nok ikke er realistisk, men likevel kan være en nyttig illustrasjon. Anta at det er samme nedbørsmengde i hver av de foregående  $(1+3+168)=172$  timene, slik at hver av de tre forklaringsvariablene for nedbør har samme verdi. Totaleffekten av nedbør er da produktet av de tre enkelteffektene. Dette ligger til grunn for panelene med "samlet nedbør".

Referanseverdien er som nevnt 1000 for trafikkvolum. Den er videre 0 for temperatur, temperaturdifferanse, vindretning, vindstyrke, nedbør og snø mens den er 97 for luftfuktighet. Referanseverdien for variabelen dag er 396, som tilsvarer 31. oktober 2002, slik at konsentrasjonen er satt til 100 for denne dagen. Variabelen time er ikke med i figurene, da dette ikke er en tolkbar størrelse, men resultatene for denne er vist i Appendix B. Av figurene i Appendix ser vi at forklaringsvariabelen "time" har en viss effekt, ofte med en topp om morgenen eller formiddagen, særlig i modellene for  $NO_x$ , der effekten systematisk er høyere om morgenen. Selv om de andre forklaringsvariablene (særlig trafikk) fanger opp mesteparten av den systematiske døgnvariasjonen, er det noe igjen. Dette kan skyldes samspill mellom noen av forklaringsvariablene, som er ikke er tatt med i modellene.

Figur 53 til 58 viser resultatene for Trondheim, mens Figur 59 til 64 viser resultatene for Bergen, og Figur 65 til 70 resultatene for Stavanger. Panelene for forklaringsvariable som ikke er med i modellene er tomme.

I Figur 71 til 76 er resultatene fra alle byene plottet samtidig. Fargekodene i fellesplottene er de samme som i plottene for hver enkelt by. Når en bedømmer resultatene, må en være klar over at de estimerte kurvene har en viss usikkerhet, som ikke er angitt her. Usikkerheten er imidlertid plottet i figurene i Appendix B, og viser at det er kurvene for nedbør siste time og temperaturdifferanse som er de mest usikre. En må også ta i betraktning at alle de meteorologiske variablene, og delvis også trafikkvolumet, er målt på andre steder enn luftforurensningskomponentene. Resultatene for de enkelte variablene kan oppsummeres slik:

- Trafikkvolum: Som forventet samsvarer økende trafikkvolum med økende luftforurensning. Imidlertid er det stor variasjon i effekten, både mellom målestasjonene og forurensningsvariablene. Effekten av trafikkvolumet ser ut til å være klart større for  $NO_x$

enn for de andre variablene. Videre synes trafikken å ha adskillig mindre effekt ved Våland enn ved de andre målestasjonene. Dette kan, som tidligere nevnt, skyldes den store korrelasjonen mellom trafikk, temperatur og dag.

- Temperatur: Figurene gir et relativt klart bilde så lenge det er minusgrader ; da er det mer forurensning ved lave temperaturer. Det er imidlertid noen unntak. For differansen  $PM_{10} - PM_{2.5}$  er resultatene nokså sprikende, og for Skøyen, Kirkeveien og Våland, går noen av temperaturkurvene i motsatt retning av de andre på minusgradsiden. Det er vanligvis veistøv som utgjør grovfraksjonen av svevestøvet. Således kan det virke som om minusgrader hemmer dannelsen av vegstøv. Ved plussgrader er det ikke mulig å trekke noen felles konklusjon. De tvetydige resultatene kan blant annet skyldes sterk korrelasjon mellom temperatur og andre variable, som for eksempel dag.
- Temperaturdifferanse: For  $NO_2$ , og i enda større grad for  $NO_x$ , er det tydelig at en høy positiv temperaturdifferanse samsvarer med høye konsentrasjoner. En positiv temperaturdifferanse betyr at det er varmere 25 meter over bakken enn 2 meter over bakken, slik at lufta blir liggende ved bakken. Resultatene virker dermed fornuftig. For svevestøv er det ikke samme tydelige fellestrekk.
- Vindretning: Vindretning kan ha stor betydning, noe som virker fornuftig. Kurvene er svært forskjellige, hvilket også er å forvente, da effekten av denne variabelen er lokal. En målestasjon kan kan for eksempel ligge på nordsida av en hovedvei, og en annen på sørsida, slik at det som er gunstig vindretning for én stasjon ikke er det for en annen.
- Vindstyrke: For nokså lav vindstyrke er resultatene entydige; økende vindstyrke samsvarer med minkende luftforurensning. Tendensen er spesielt tydelig for  $NO_x$ . Dette er som forventet. For svevestøv spriker imidlertid kurvene noe for større vindstyrker. Dette skyldes sannsynligvis støvoppvirvling, da fenomenet ses tydeligst for differansen  $PM_{10} - PM_{2.5}$ .
- Relativ fuktighet: Resultatene for relativ fuktighet er nokså klare. For  $PM_{10}$  samsvarer høy luftfuktighet med lavere konsentrasjon. Det vil si at kurvene går nedover. For  $PM_{2.5}$  er det omvendt, og kurvene går svakt oppover. Samlet sett gir det sterkt nedadgående kurver for  $PM_{10} - PM_{2.5}$ . Det betyr at høy luftfuktighet gir lav konsentrasjon av  $PM_{10} - PM_{2.5}$ , og at effekten av luftfuktighet er stor for denne forurensningsvariabelen, hvilket er i samsvar med resultatene fra Tabell 5. Luftfuktigheten ser derimot ikke ut til å ha noen særlig effekt på konsentrasjonen av  $NO_2$  og  $NO_x$ .
- Snødekke: Kurvene for effekten av snødekke er noe sprikende. Det ser imidlertid ut til konsentrasjonen av store partikler, det vil si  $PM_{10}$  og  $PM_{10} - PM_{2.5}$ , er minst når bakken er heldekt av snø eller is (hvilket tilsvarer verdien tre i den nye koden for snødekke). Effekten synes å være størst for sistnevnte. For  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  og  $NO_x$  ser ikke snødekke ut til å ha noen særlig effekt. Da snødekke er en såpass sesongavhengig variabel, kan

det hende en trenger en lengre periode med data for å kunne se den reelle effekten den har på luftforurensningen.

- **Dag:** Denne variabelen skal beskrive sesongendringer i luftforurensningen som ikke predikeres av de øvrige leddene i modellen. Vi ser at de fleste kurvene har en topp omkring dag 180 (månedsskiftet mars/april 2002) og en tilsvarende topp rundt dag 550, som er ett år etter. Dette tyder på at det er i vårperioden er et fenomen felles for de fire byene som ikke er fanget opp av den øvrige delen av modellen.
- **Nedbør:** Det ser det ut til at konsentrasjonen av  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  og  $PM_{10} - PM_{2.5}$  minsker noe når det kommer nedbør, men effekten er ikke veldig stor. Det er én kurve som avviker fra dette, nemlig den for  $PM_{10}$  ved Midtbyen, som går kraftig oppover. Den må sees i sammenheng med den estimerte effekten av gjennomsnittlig nedbør de foregående tre timene. Det er stor positiv korrelasjon mellom de to effektene, slik at en stor nedgang i den ene (nedbør de foregående tre timene) kompenseres med en stor oppgang i nedbør siste time. Den nedbørsvariabelen som synes å ha største effekt på svevestøvkonsentrasjonen, er gjennomsnittlig nedbør siste uke. Konsentrasjonen av  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  og  $PM_{10} - PM_{2.5}$  avtar med økt gjennomsnittlig nedbør inntil et visst punkt, og flater deretter ut, eller går litt opp igjen. Det ser også ut til å være den samlede effekten av nedbør. For  $NO_2$  og  $NO_x$  er kurvene nokså sprikende, og det er vanskelig å tolke resultatene, men det er også for disse en tendens til at økende nedbør gir lavere konsentrasjoner.



Målestasjon	$R^2$	Andel av forklart varians												
		Trafikk	Temp.	Vind- styrke	Rel. fukt.	Nedbør (siste time)	Nedbør (siste 3 timer)	Nedbør (siste uke)	Temp.- diff.	Vind- retning	Snø	Time	Dag	
Manglerud	0.58	45.1	6.7	9.1	11.4	0.4	2.1	5.2	1.1	8.1	1.4	1.5	7.9	
Løren	0.7	22.8	3	15.8	7	0.1	2.1	3.3	0.5	37.1	1.9	1.3	5.1	
Furuset	0.62	40.4	2.9	17.1	11.7	0.2	1.7	5.2	1.9	8.2	1.4	1	8.5	
Iladalen	0.52	38.3	8.7	8.7	1.8	0.2	0.8	8.2	3.7	4.1	0	5	20.5	
Alnabru	0.46	51.1	6.4	9.4	2.3	0.2	2.8	6.1	3.9	5	0.3	4.6	7.9	
Kirkeveien	0.62	47.8	7.1	11.6	2.9	0.4	0.7	2.8	5.3	1	0	0.7	19.7	
Skoeøyen	0.57	35.9	13.3	4	6	0.4	0.7	6.4	11.1	4.8	0	3.8	13.6	
Rosendal	0.48	30	21.2	4.3	1.3	0.6	0.9	8.4	-	2.4	2.8	5.4	22.7	
Elgeseter	0.6	38.1	11.4	11.2	7.1	0.2	1.2	8.5	-	4	3.2	0.3	14.8	
Midtbyen	0.37	26.4	19.5	5.4	0.7	5.6	10.1	6.9	-	3	3.3	7.8	11.2	
Danmarks plass	0.42	25	4.6	18.3	1	-	15.3	2.5	-	-	2	1	30.4	
Rådhuset	0.48	20.5	3.5	16	1.9	-	16.6	5.2	-	-	2.1	1.7	32.4	
Våland	0.5	5	42.2	2.1	2.3	-	0.7	1.9	5.4	2.8	-	0.2	37.3	

Tabell 3:  $R^2$  og andel forklart varians for hver enkelt forklaringsvariabel i GAM-modellene for PM 10

Målestasjon	$R^2$	Andel av forklart varians											
		Trafikk	Temp.	Vind- styrke	Rel. fukt.	Nedbør (siste time)	Nedbør (siste 3 timer)	Nedbør (siste uke)	Temp.- diff.	Vind- retning	Snø	Time	Dag
Manglerud	0.54	36.8	13.7	9.2	9.4	1	1.9	6	0.6	12.1	0.4	1.3	7.7
Løren	0.61	24.3	7	22.8	7.8	0.9	2.7	5.1	0.4	19.8	0.9	1.7	6.5
Furuset	0.55	33.7	7.5	21.2	6.7	0.6	2.5	9.3	0.5	5.9	0.8	0.4	10.7
Kirkeveien	0.58	42.5	5.5	12.3	12.3	0.3	0.7	7	4.4	1.1	-	1	13
Rosendal	0.46	30.7	18.7	11.1	4.3	0.7	1.2	5.8	-	0.3	0.5	13.7	13
Elgeseter	0.63	47.9	11.8	19.1	1.7	0.6	1.2	3.2	-	5.7	0.8	2	5.9
Danmarks plass	0.29	4	26.2	4.4	4.9	-	3.8	0.6	-	-	0.1	0.1	56
Rådhuset	0.38	3.8	12.3	6.7	10.8	-	8.6	3.9	-	-	0.4	1.4	52.1
Våland	0.44	3.9	53.9	2.6	7	-	1.6	4.8	4.2	1.2	-	0.7	20.1

Tabell 4:  $R^2$  og andel forklart varians for hver enkelt forklaringsvariabel i GAM-modellene for PM 2.5

Målestasjon	$R^2$	Andel av forklart varians											
		Trafikk	Temp.	Vind- styrke	Rel. fukt.	Nedbør (siste time)	Nedbør (siste 3 timer)	Nedbør (siste uke)	Temp.- diff.	Vind- retning	Snø	Time	Dag
Manglerud	0.6	31.4	1.8	3.9	35.1	0.1	2.1	2	1	4.1	3.1	2.6	13
Løren	0.76	16	1	8.4	21	0.1	0.9	3.2	0.4	32	2.1	0.7	14.2
Furuset	0.64	32.7	1	11.2	27.6	0	1.1	1.6	3.2	6.8	4.1	2.2	8.5
Kirkeveien	0.67	34.8	3.6	6.6	18.2	0.2	0.3	1.4	7.3	1	-	1.4	25.2
Rosendal	0.5	19.2	9.9	0.5	15.5	0.4	0.3	14	-	5.1	8.2	0.5	26.4
Elgeseter	0.57	21.5	5	4	26.7	0.1	0.6	14.5	-	1.6	5.4	0.5	20.1
Danmarks plass	0.21	10.3	14.1	1.8	7.2	-	3.9	0.7	-	-	0	2.8	59.2
Rådhuset	0.21	20.2	2.3	15.8	29.7	-	3	2.3	-	-	1.3	1.6	24
Våland	0.5	4.8	14.9	1.6	1.8	-	0.1	0.5	4.8	6.7	-	0.6	64.4

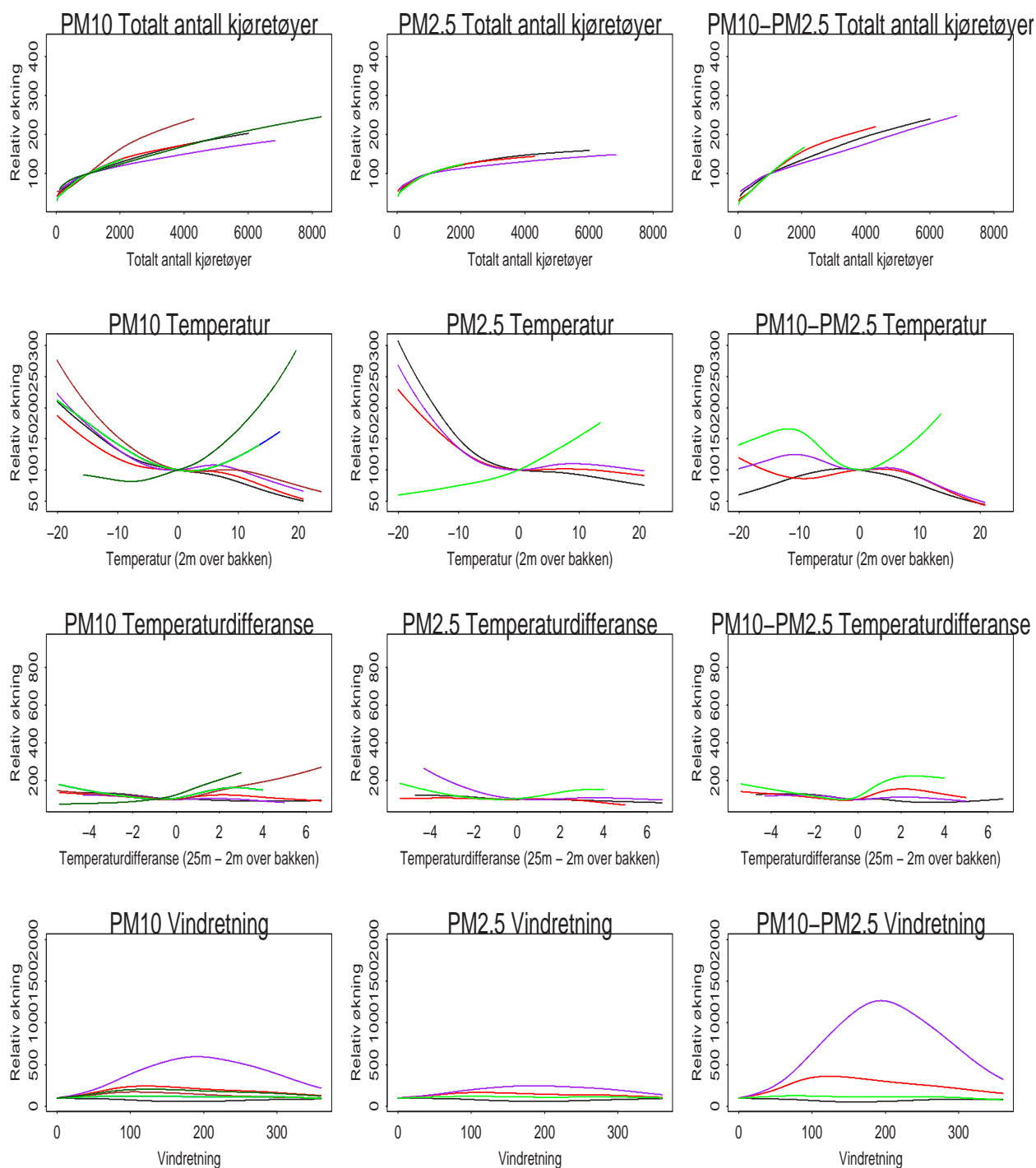
Tabell 5:  $R^2$  og andel forklart varians for hver enkelt forklaringsvariabel i GAM-modellene for PM 10 - PM 2.5

Målestasjon	$R^2$	Andel av forklart varians											
		Trafikk	Temp.	Vind- styrke	Rel. fukt.	Nedbør (siste time)	Nedbør (siste 3 timer)	Nedbør (siste uke)	Temp- diff.	Vind- retning	Snø	Time	Dag
Manglerud	0.58	45	9.2	12.7	1.7	0.1	0.4	3.7	3	15	0	3.3	5.9
Løren	0.76	24.8	5.1	11.5	1.2	0.1	0.1	2.1	4.3	43.5	0.1	3.7	3.6
Furuset	0.64	50.3	1.7	20.4	0.1	0.1	0.1	3.1	8	8.6	0.3	3.3	4.1
Alnabru	0.59	63.2	2.4	9.5	0.2	0	0.1	1	13.1	2.4	0.2	6.2	1.6
Kirkeveien	0.69	46.4	5.7	9.4	0.8	0.1	0.3	6.2	10.9	1.5	-	1.8	16.8
Midtbyen	0.69	61.2	5.7	12.5	4	0.3	1.3	0.5	-	9	0.2	2.1	3.2
Danmarks plass	0.58	46.8	3.8	30.7	1.8	-	2.2	1.4	-	-	0.3	1.3	11.6
Rådhuset	0.46	35.1	2.5	22.6	2.5	-	2	2.5	-	-	0.3	0.7	31.7
Våland	0.77	35.2	10.5	31.8	5.3	-	0.1	0.7	6.1	4.5	-	0.5	5.2

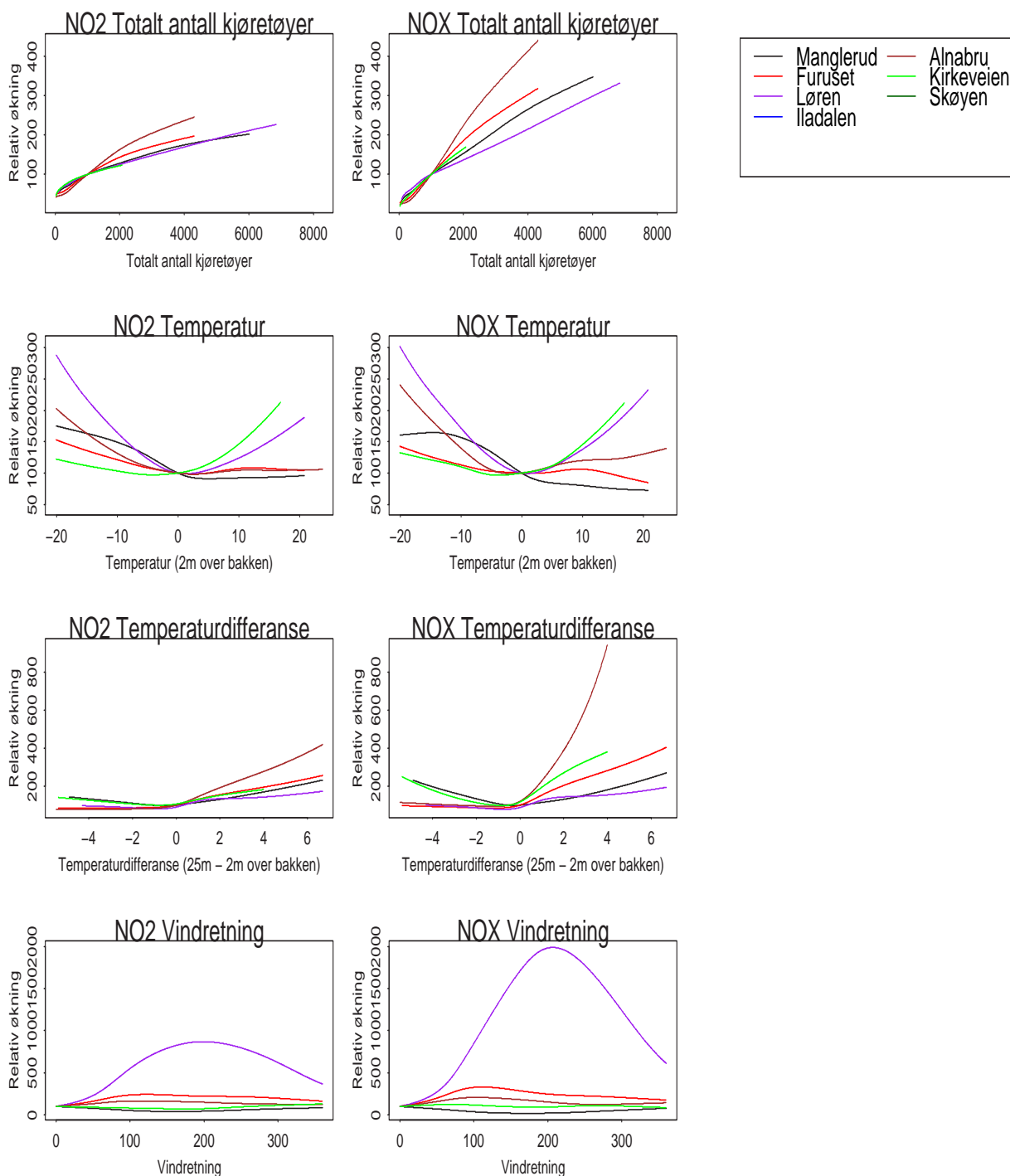
Tabell 6:  $R^2$  og andel forklart varians for hver enkelt forklaringsvariabel i GAM-modellene for  $\text{NO}_2$

Målestasjon	$R^2$	Andel av forklart varians											
		Trafikk	Temp.	Vind- styrke	Rel. fukt.	Nedbør (siste time)	Nedbør (siste 3 timer)	Nedbør (siste uke)	Temp- diff.	Vind- retning	Snø	Time	Dag
Manglerud	0.64	47.4	5.2	11.3	1.7	0.2	0.2	2.1	1.6	21.7	0	4.7	3.8
Løren	0.79	25.9	2.8	13.7	2	0.1	0.1	1.1	3	44.7	0.2	4.1	2.3
Furuset	0.69	58.3	0.4	19.7	0.9	0	0.1	1.3	7.5	6	0.2	3.9	1.8
Alnabru	0.71	58.9	1.7	8.7	0.6	0.1	0.1	0.1	12.1	2.5	4.6	7.3	3.3
Kirkeveien	0.7	54	1.5	13.8	1.1	0.5	0.2	2.3	13.7	2.6	-	2.2	8.2
Danmarks plass	0.66	40.8	12.4	22.4	1.9	-	2.9	0.6	-	-	0.1	2	16.9
Rådhuset	0.74	53.5	11.7	19.4	2.7	-	4.3	1.7	-	-	0	0.9	5.7
Våland	0.8	34.6	6.7	28.7	3.8	-	0.1	0.2	5.6	4.3	-	1	15

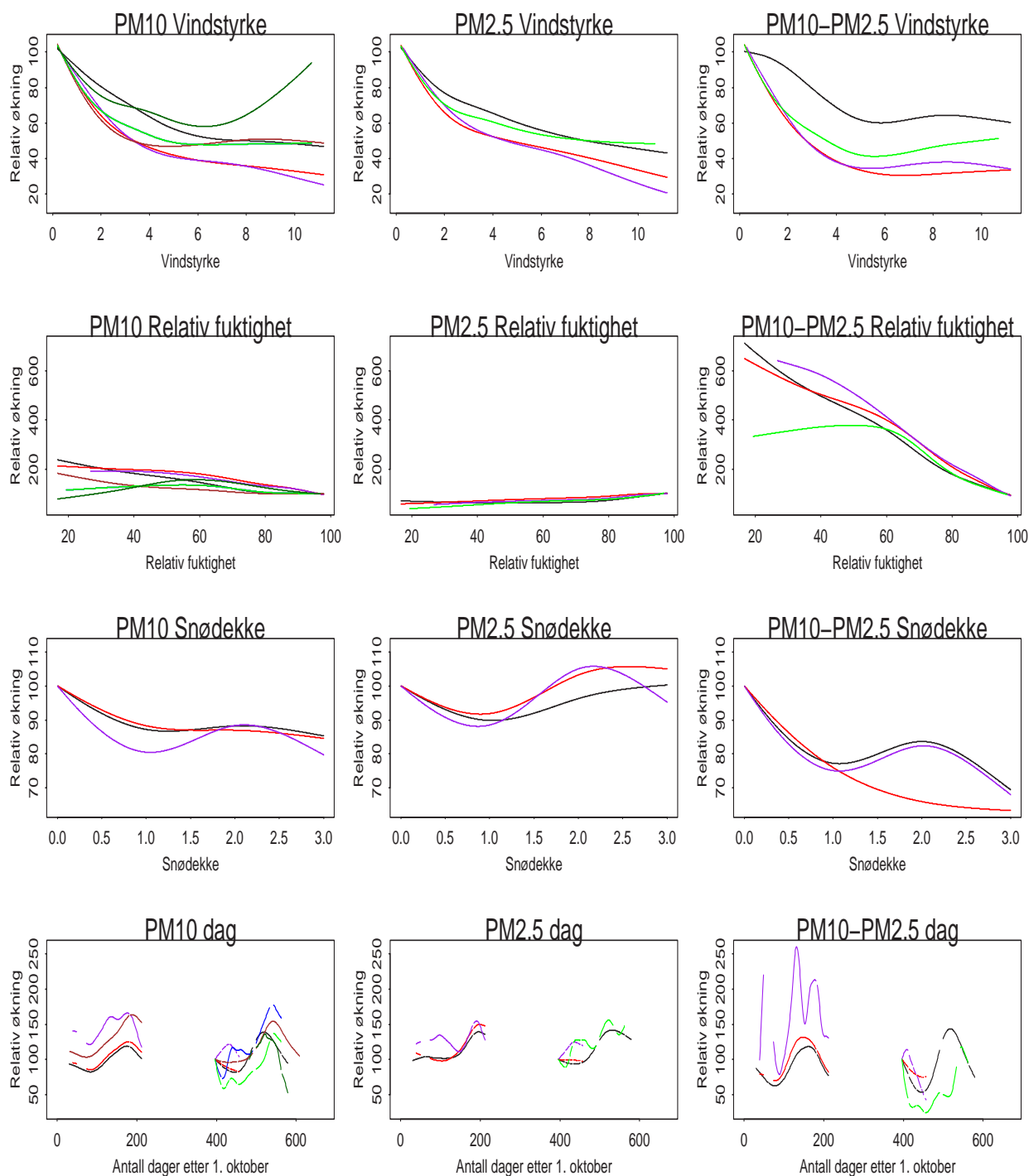
Tabell 7:  $R^2$  og andel forklart varians for hver enkelt forklaringsvariabel i GAM-modellene for  $NO_x$



Figur 47: Resultater for Oslo.

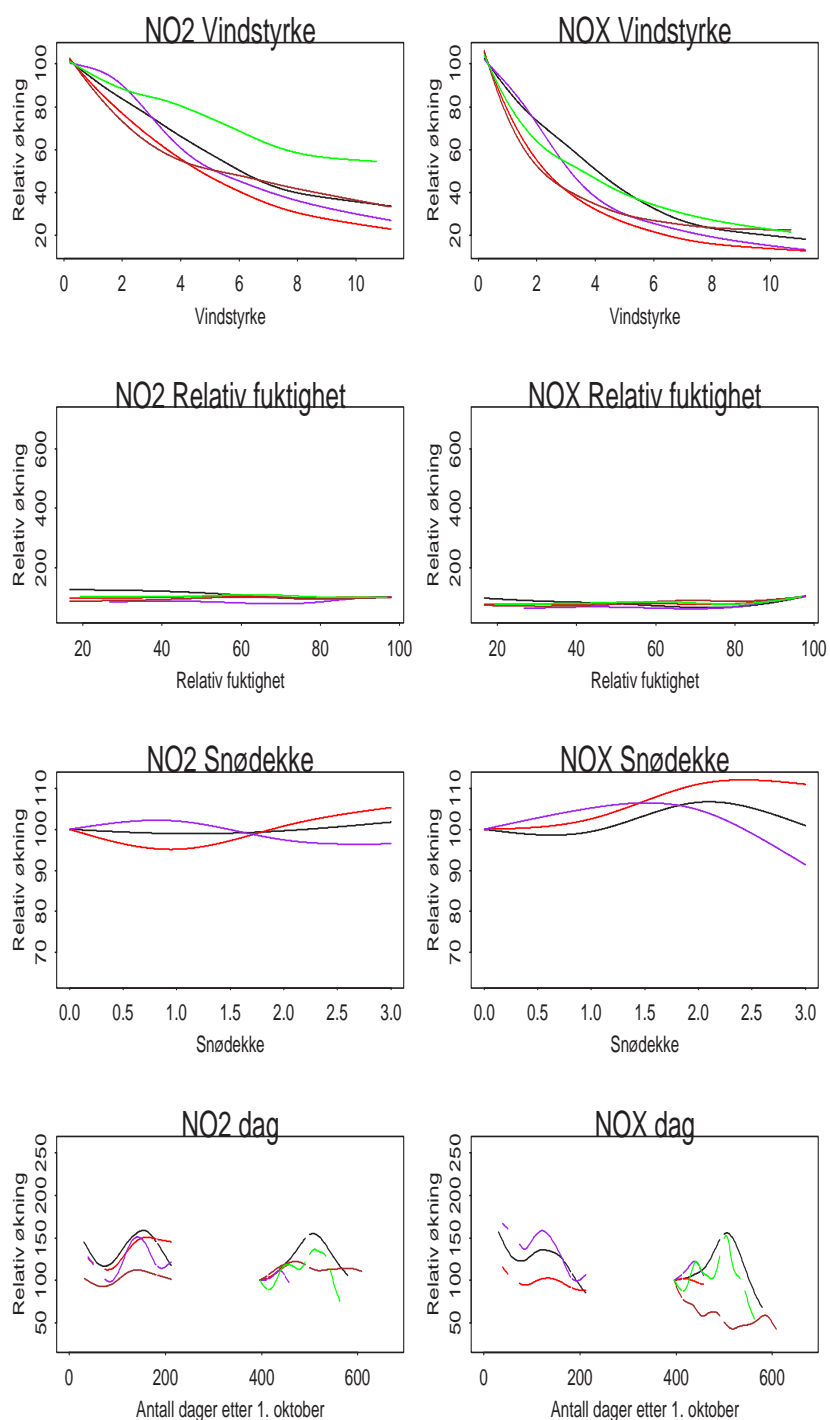


Figur 48: Resultater for Oslo (fortsettelse).

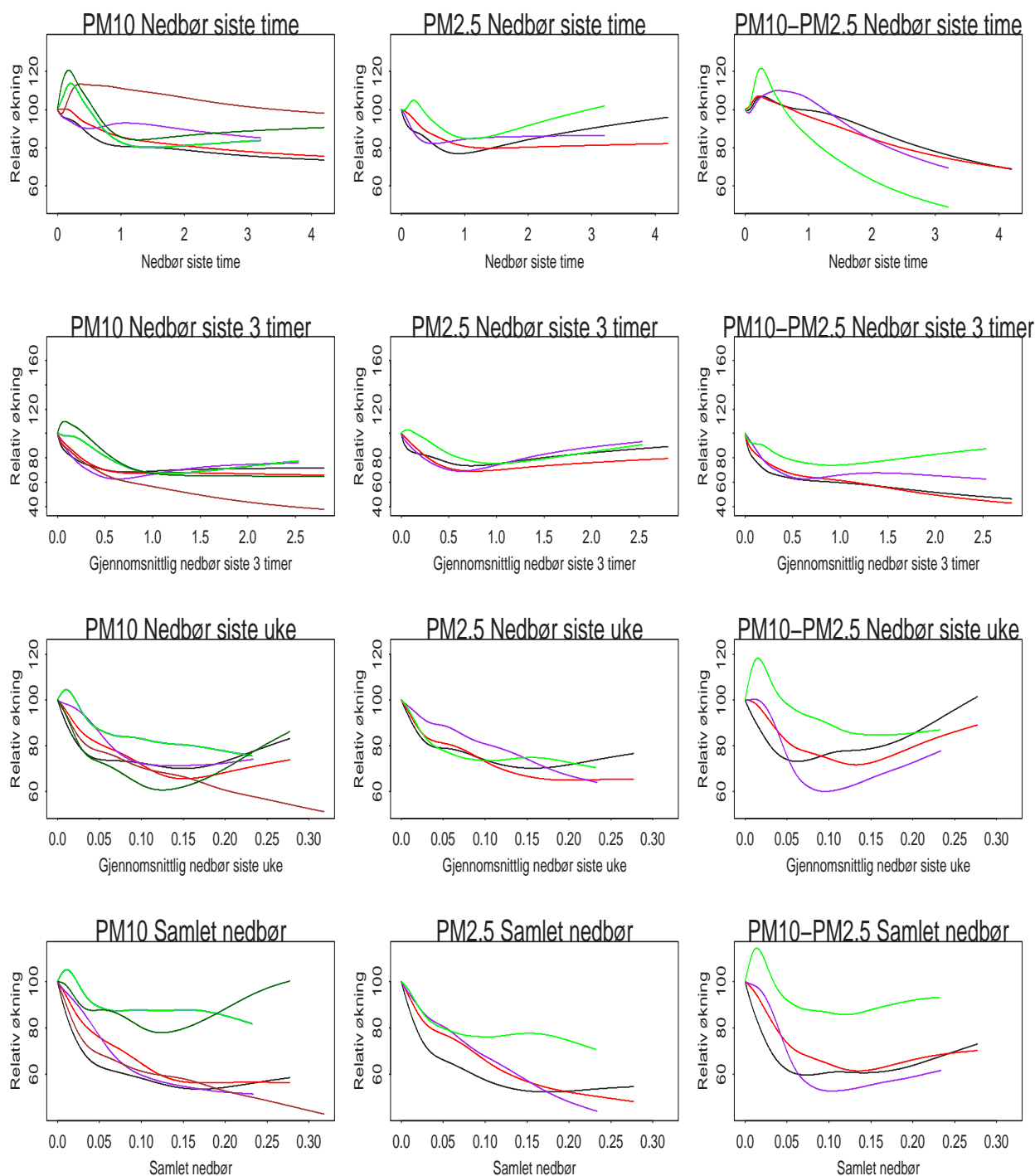


Figur 49: Resultater for Oslo.

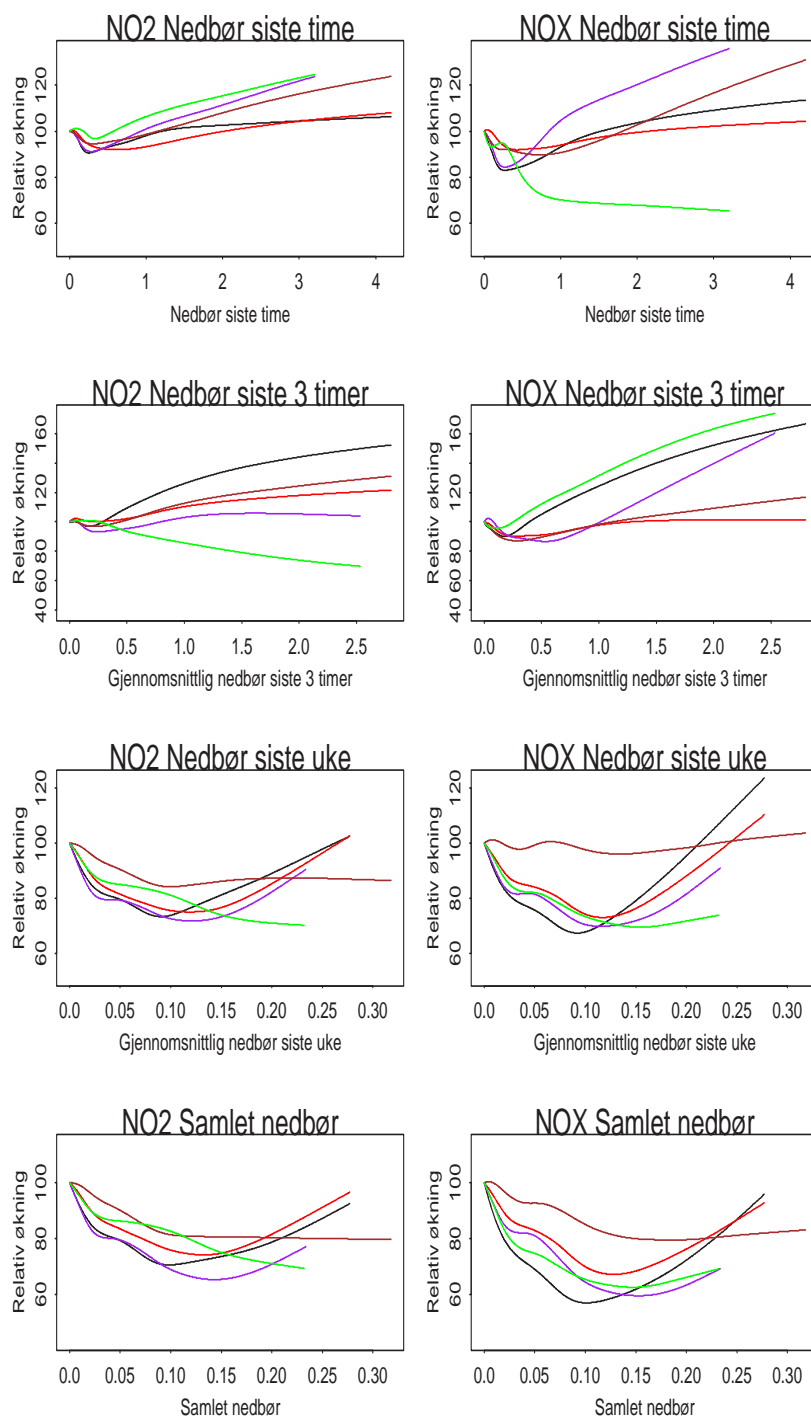




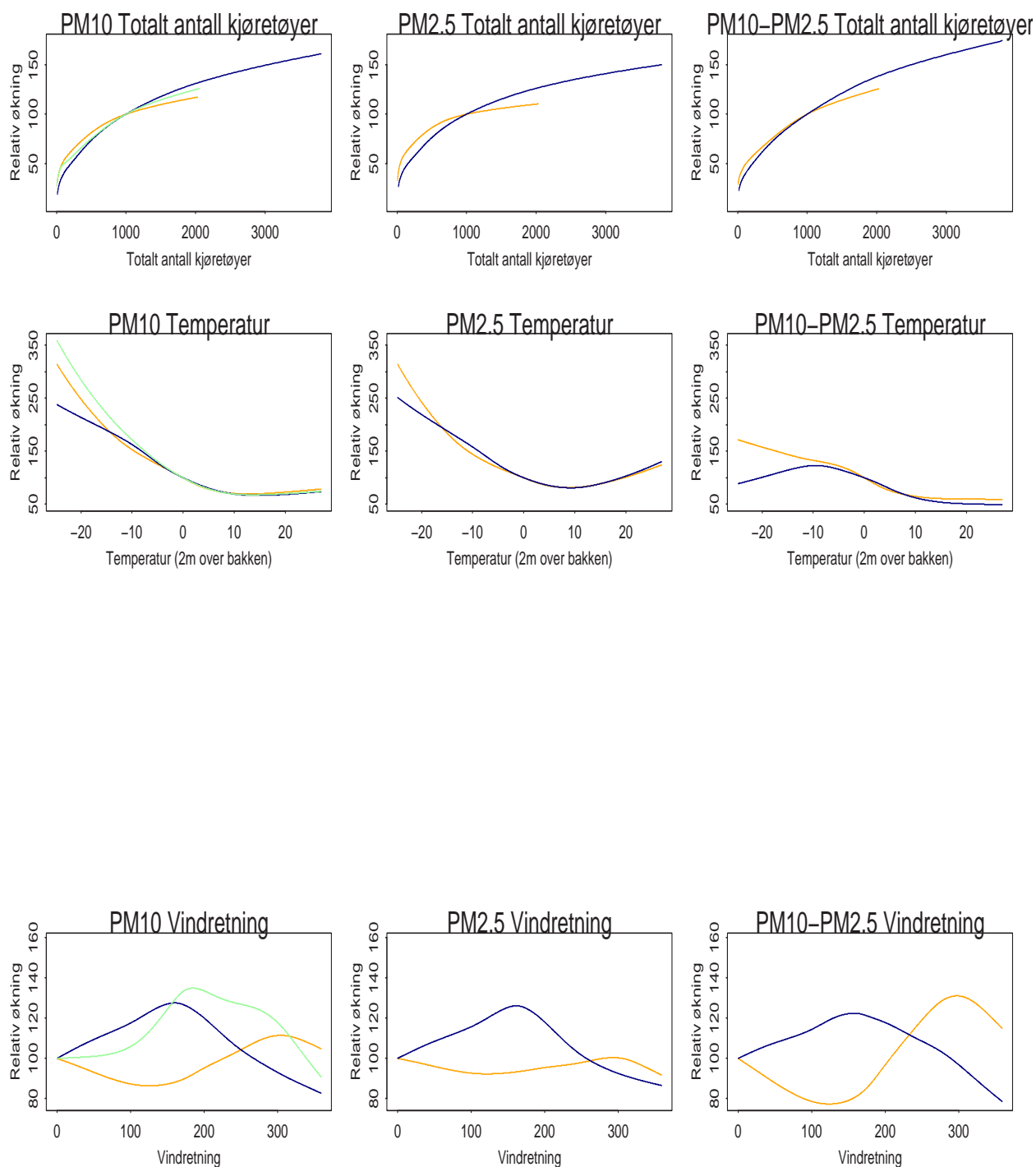
Figur 50: Resultater for Oslo (fortsettelse).



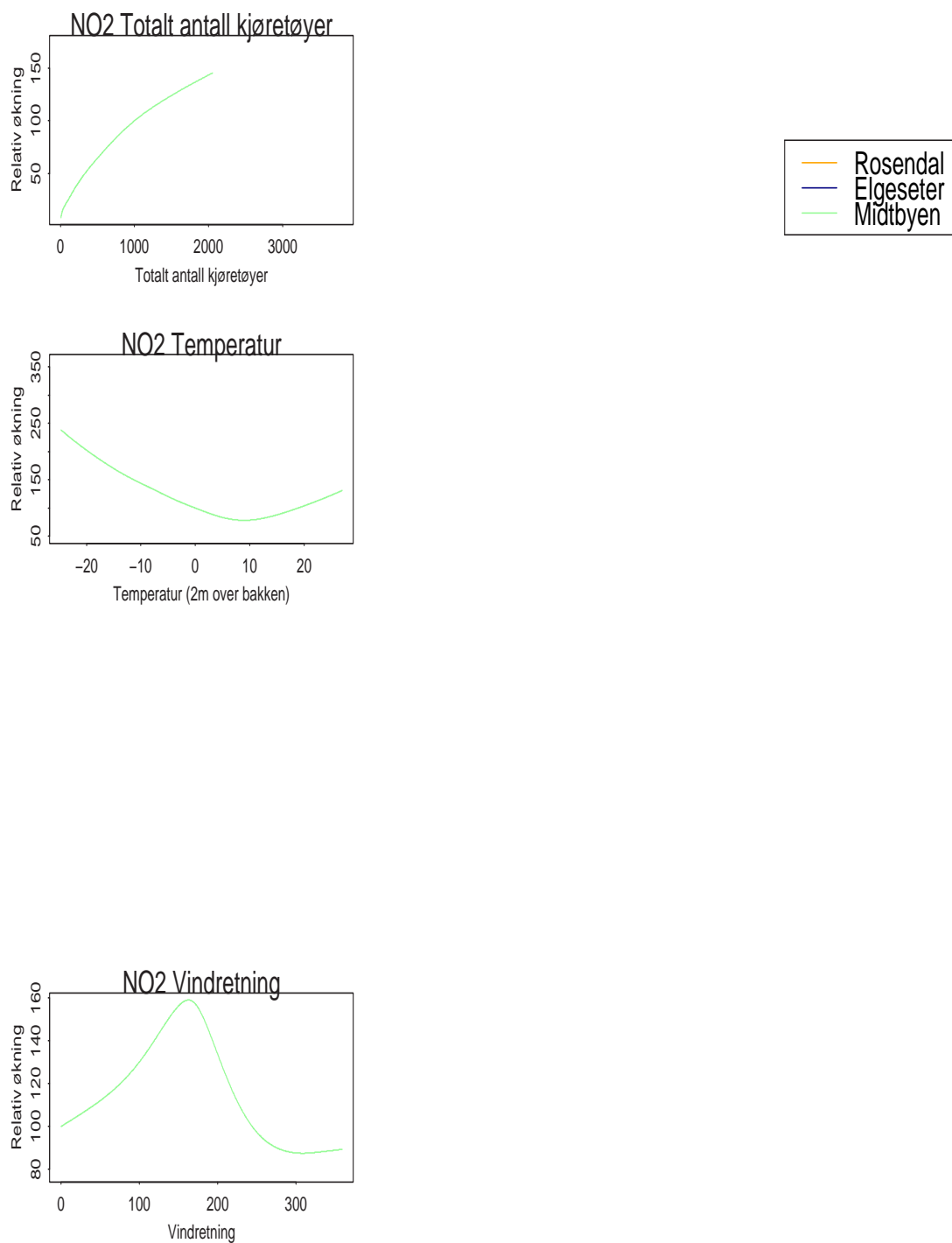
Figur 51: Resultater for Oslo.



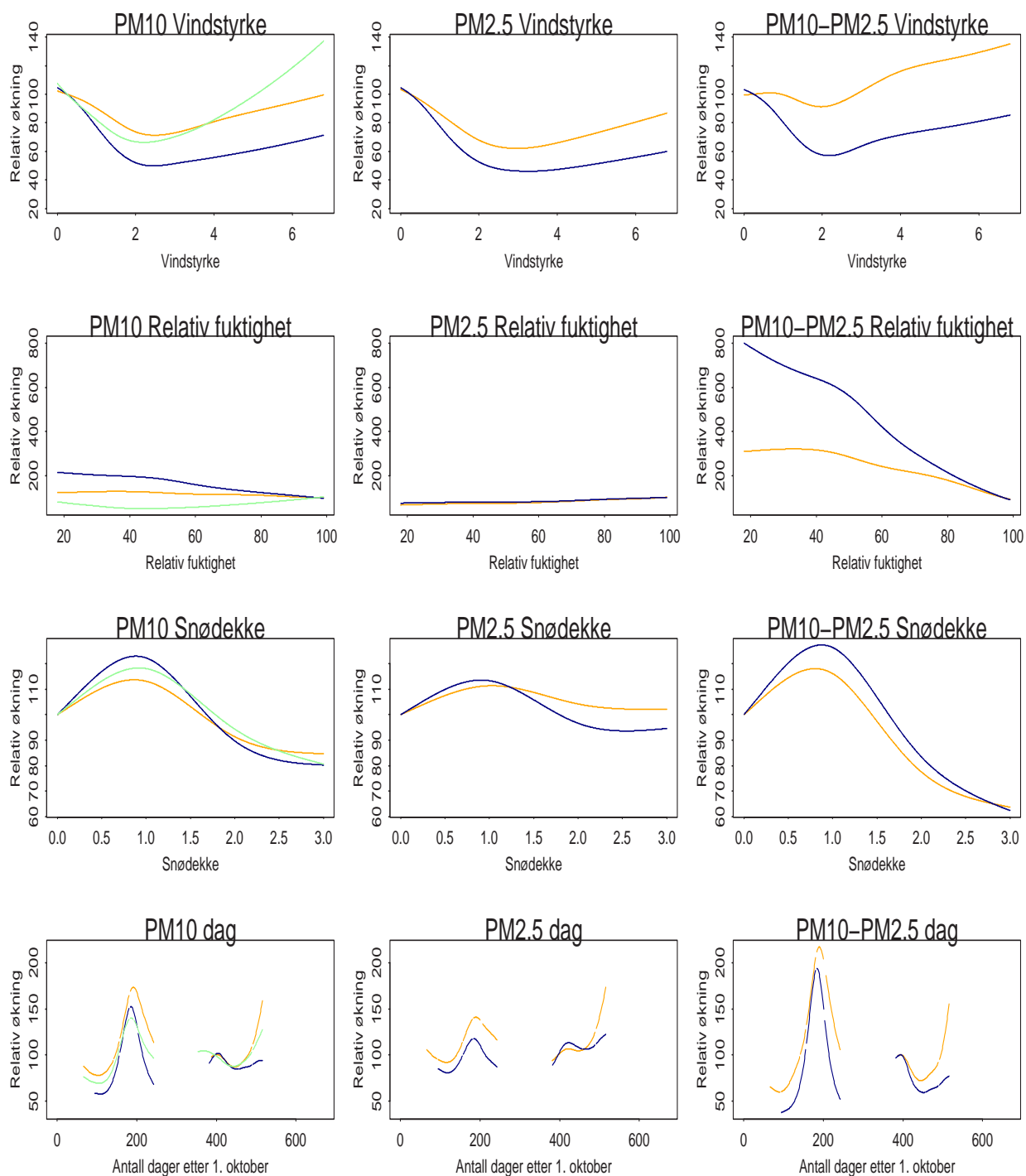
Figur 52: Resultater for Oslo (fortsettelse).



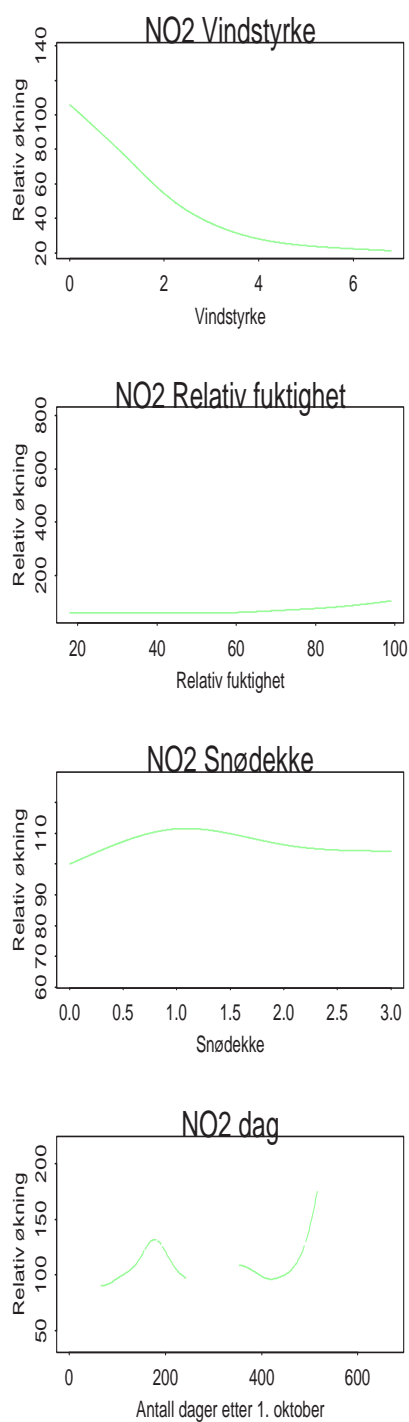
Figur 53: Resultater for Trondheim.



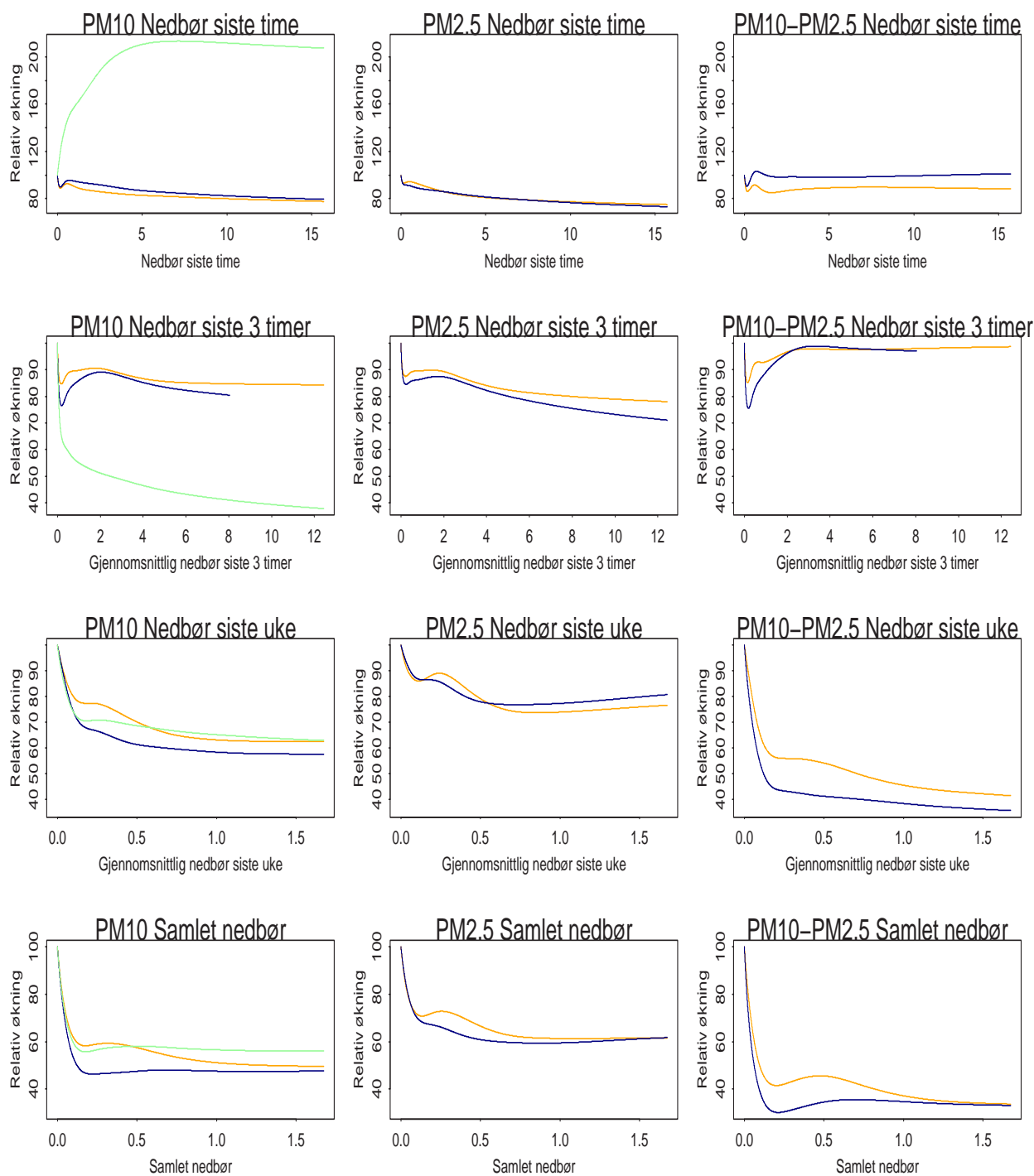
Figur 54: Resultater for Trondheim (fortsettelse).



Figur 55: Resultater for Trondheim.

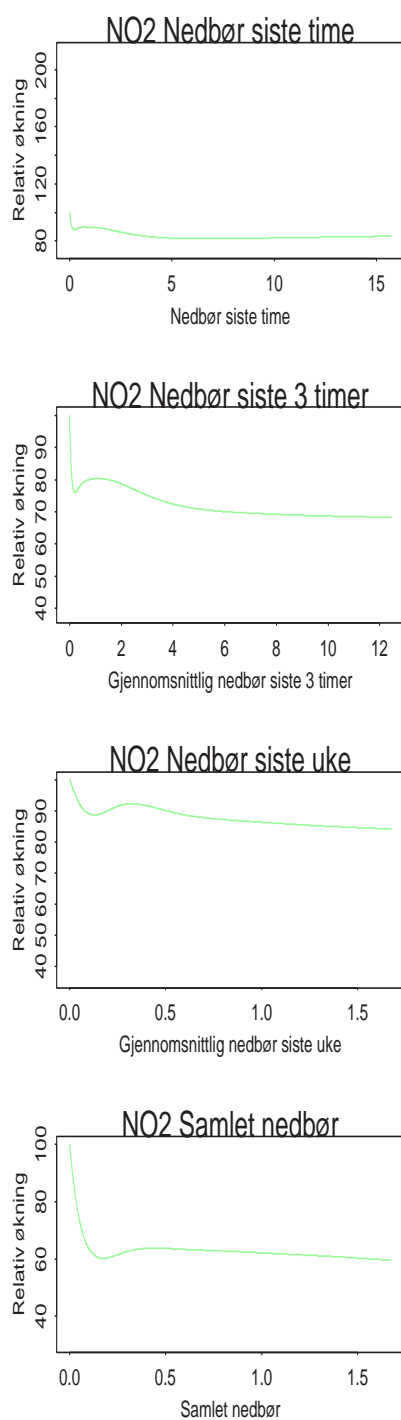


Figur 56: Resultater for Trondheim (fortsettelse).

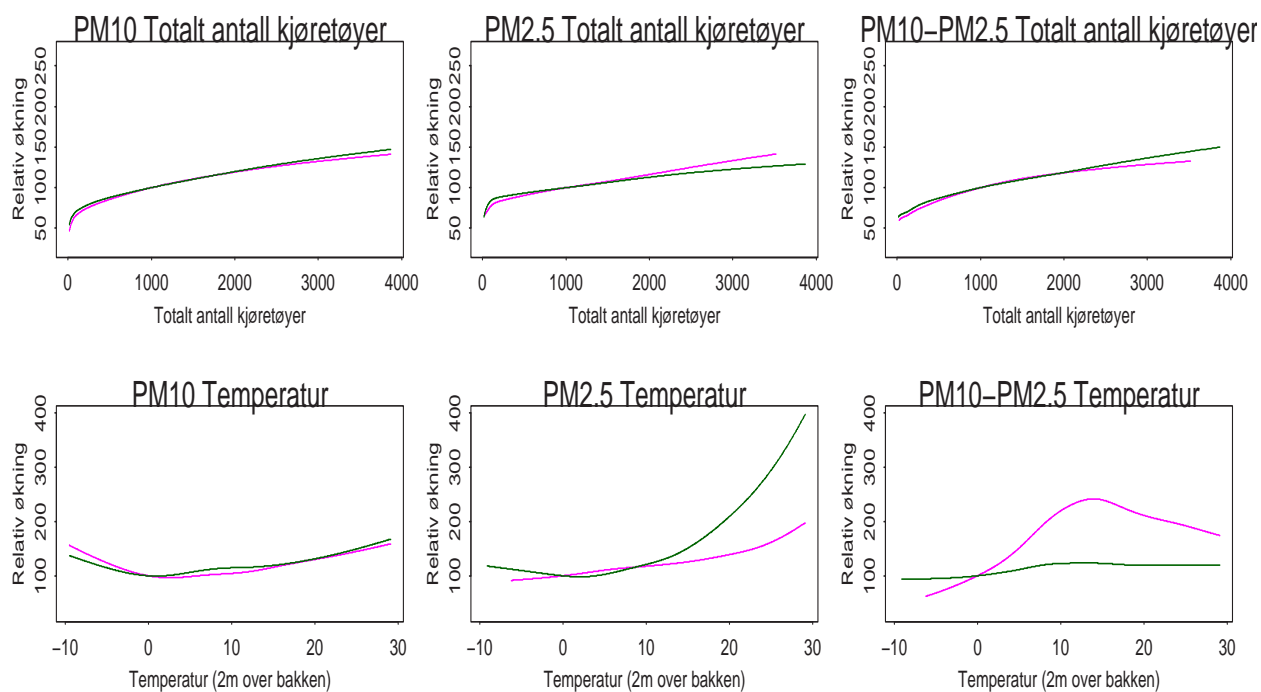


Figur 57: Resultater for Trondheim.

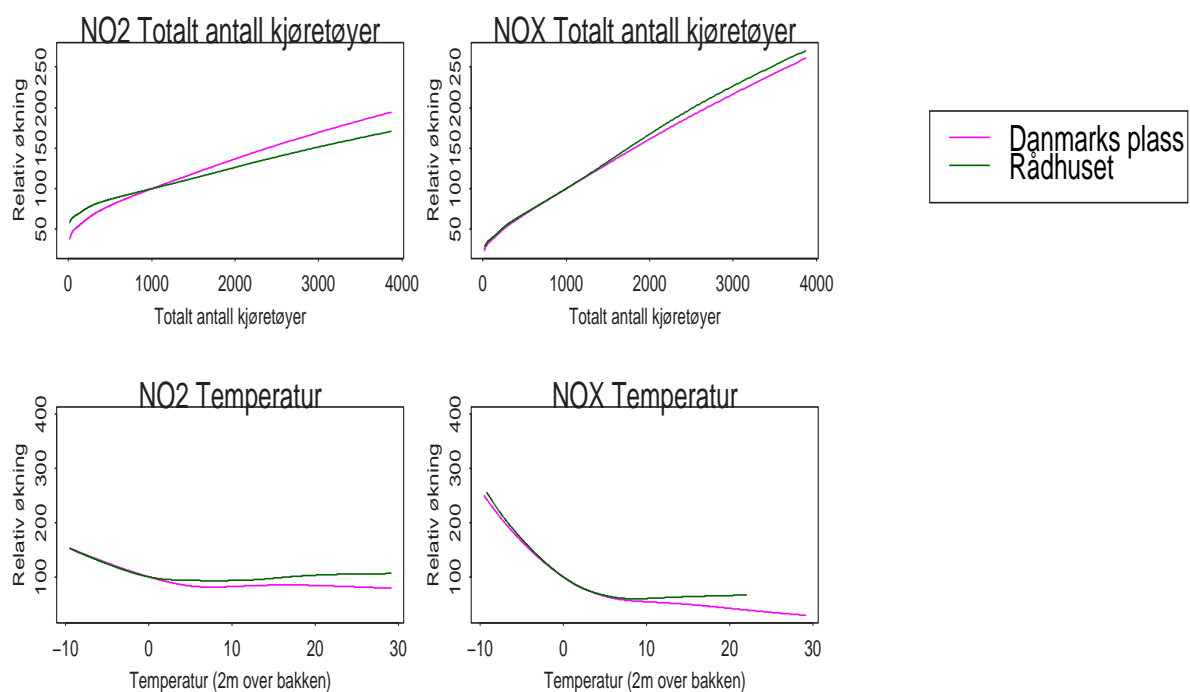




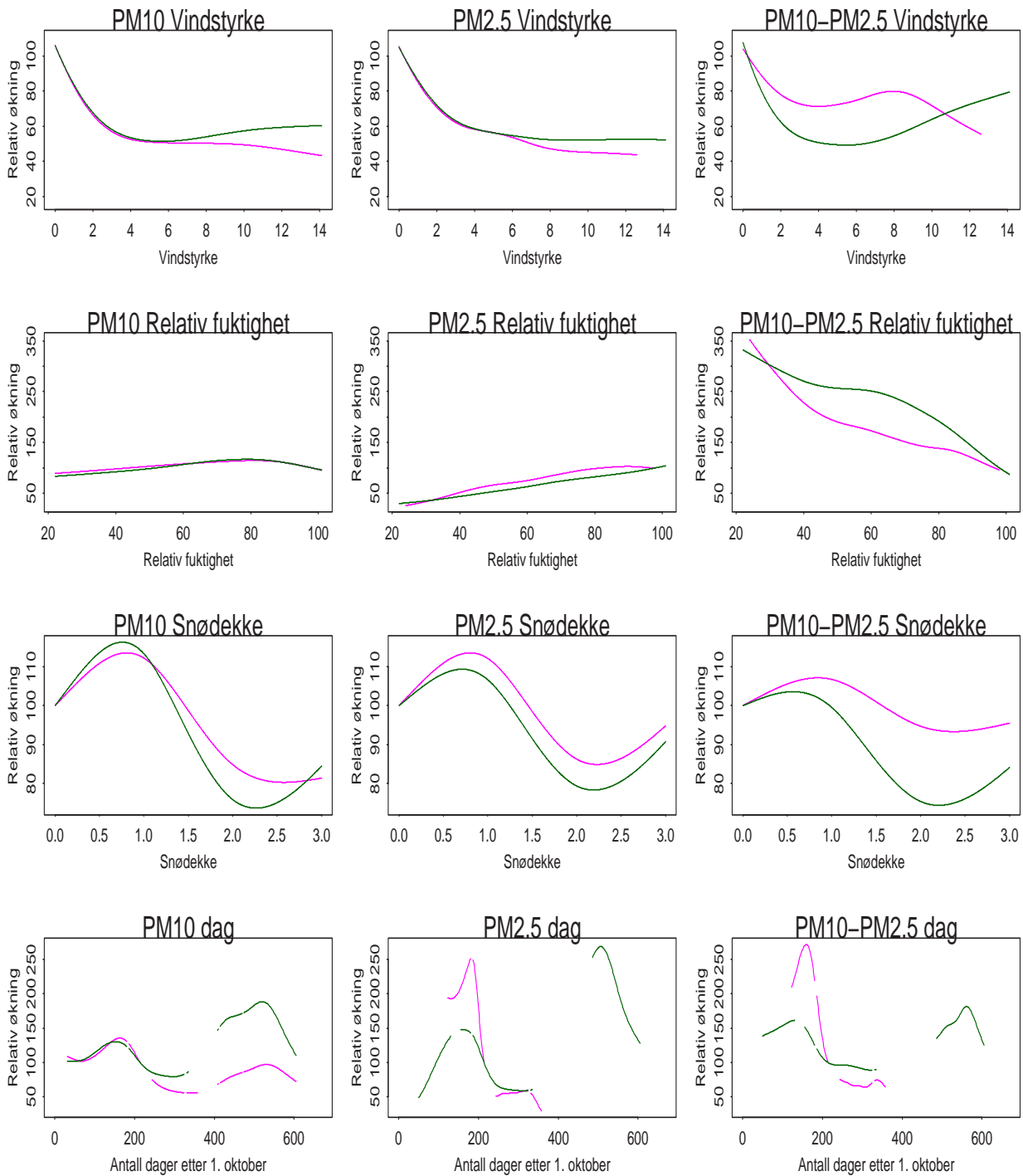
Figur 58: Resultater for Trondheim (fortsettelse).



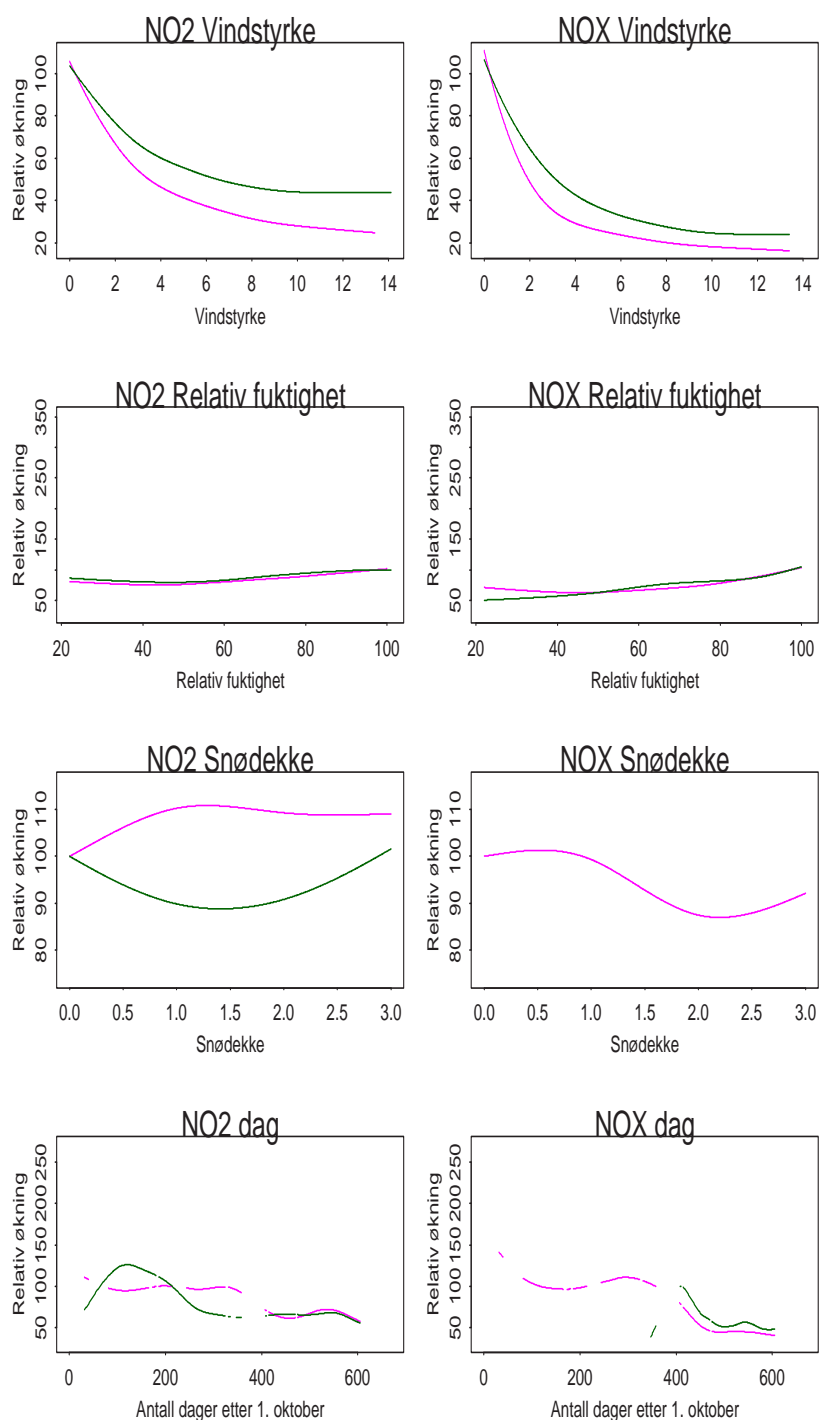
Figur 59: Resultater for Bergen.



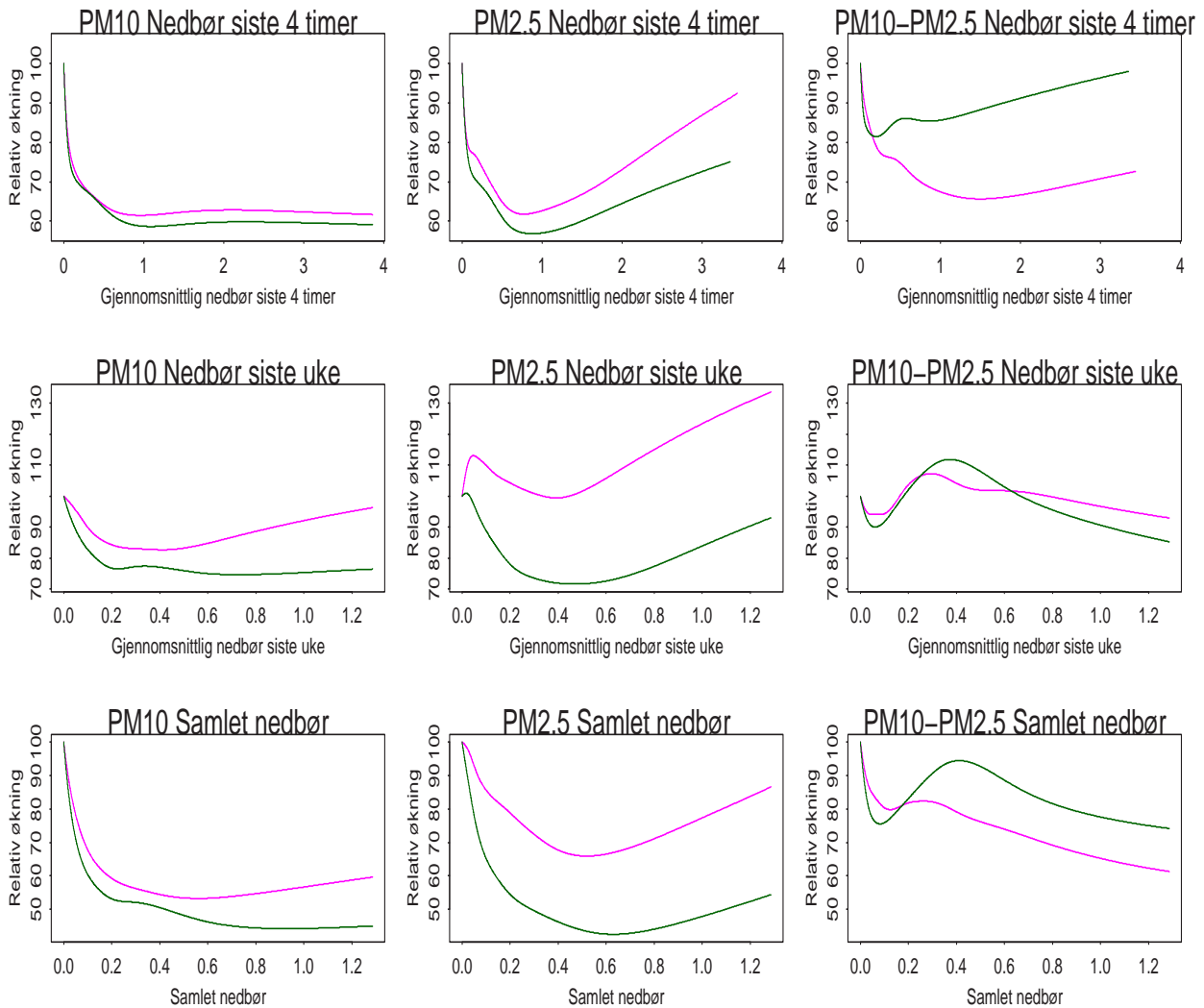
Figur 60: Resultater for Bergen (fortsettelse).



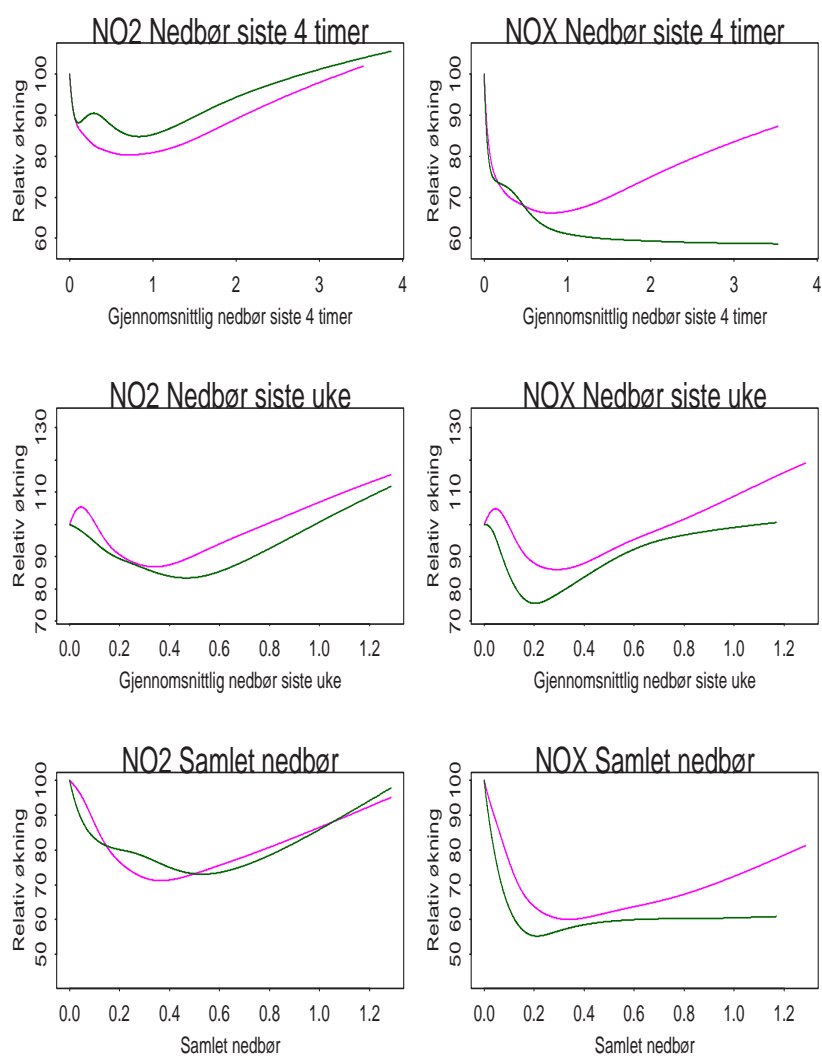
Figur 61: Resultater for Bergen.



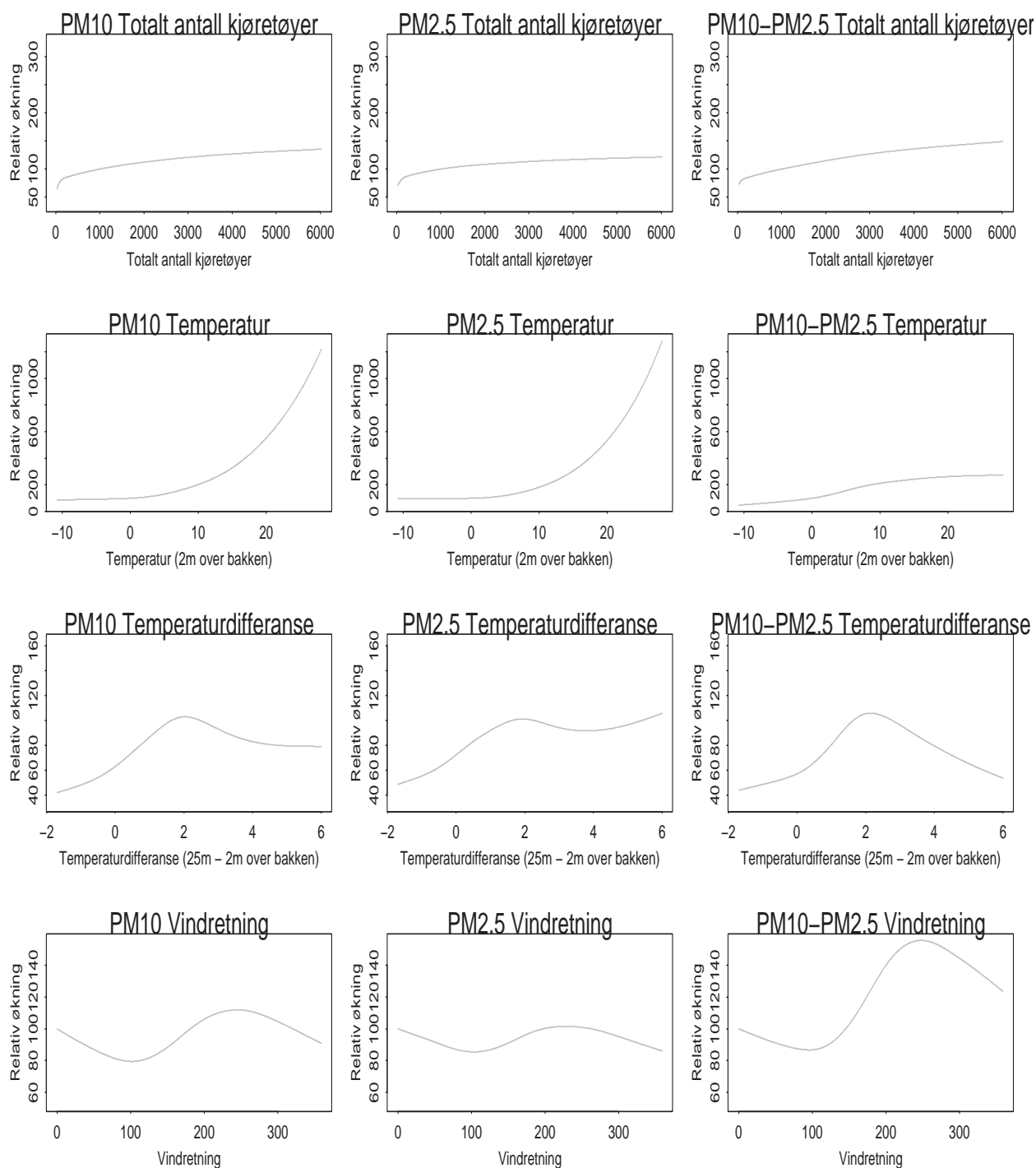
Figur 62: Resultater for Bergen (fortsettelse).



Figur 63: Resultater for Bergen.

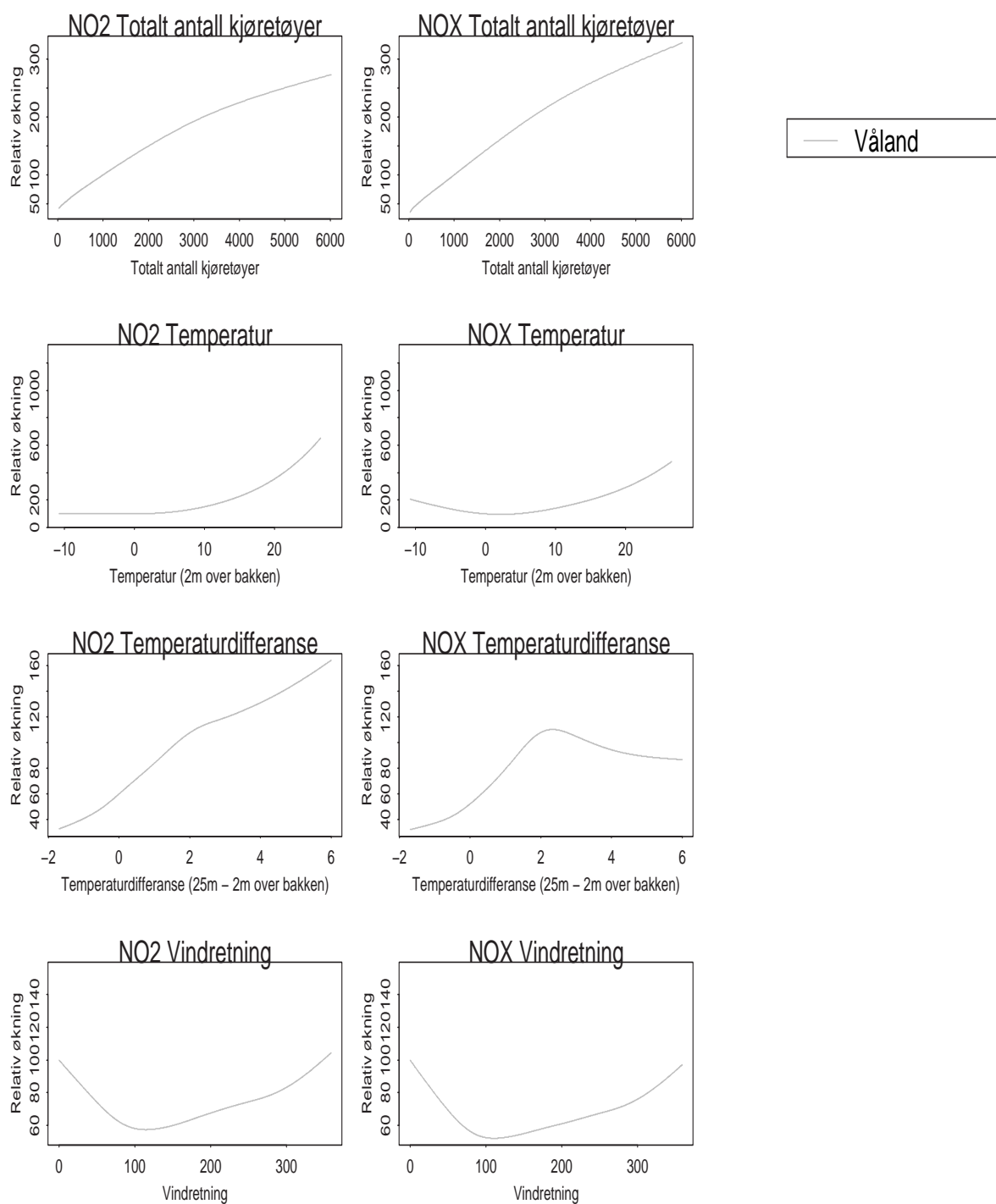


Figur 64: Resultater for Bergen (fortsettelse).

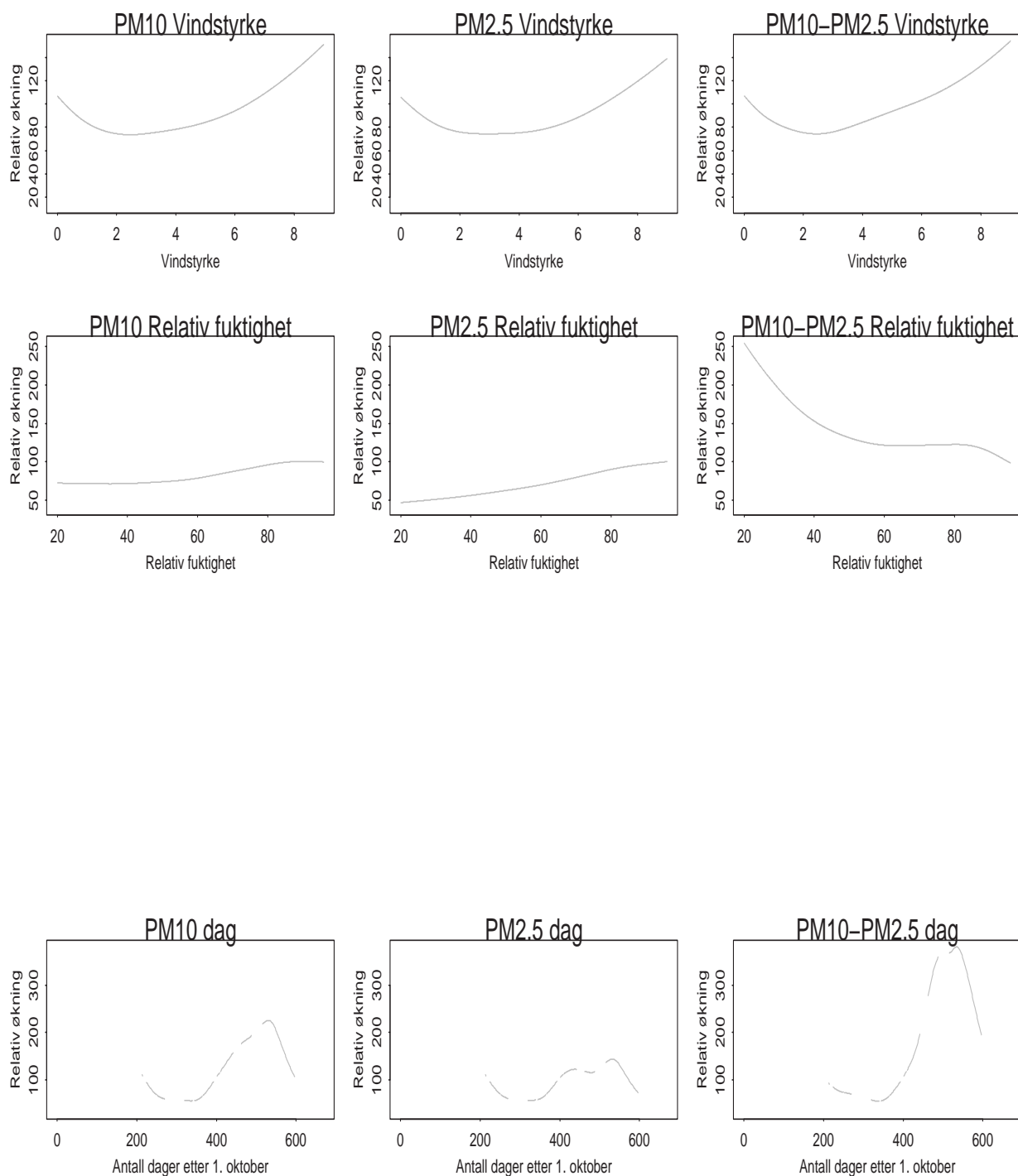


Figur 65: Resultater for Stavanger.

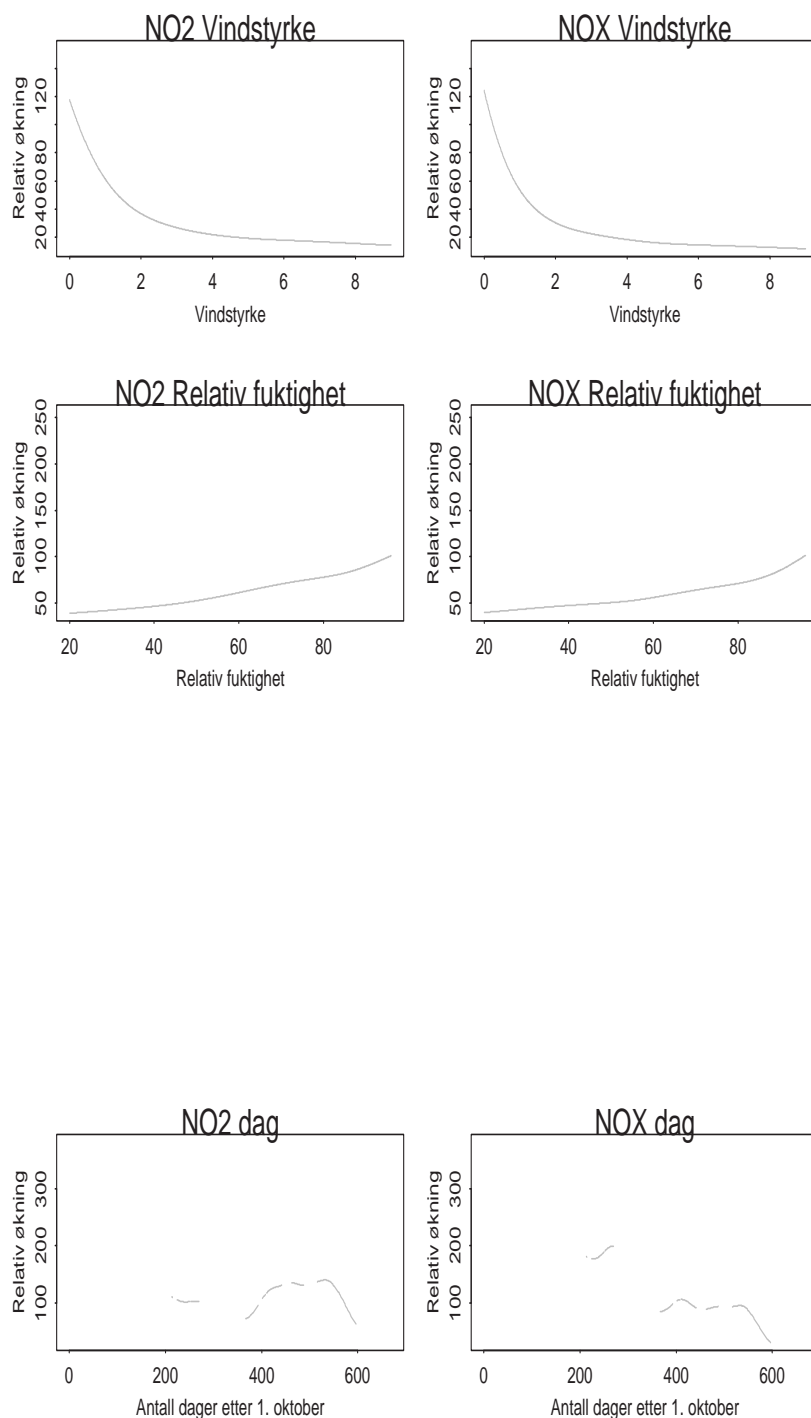




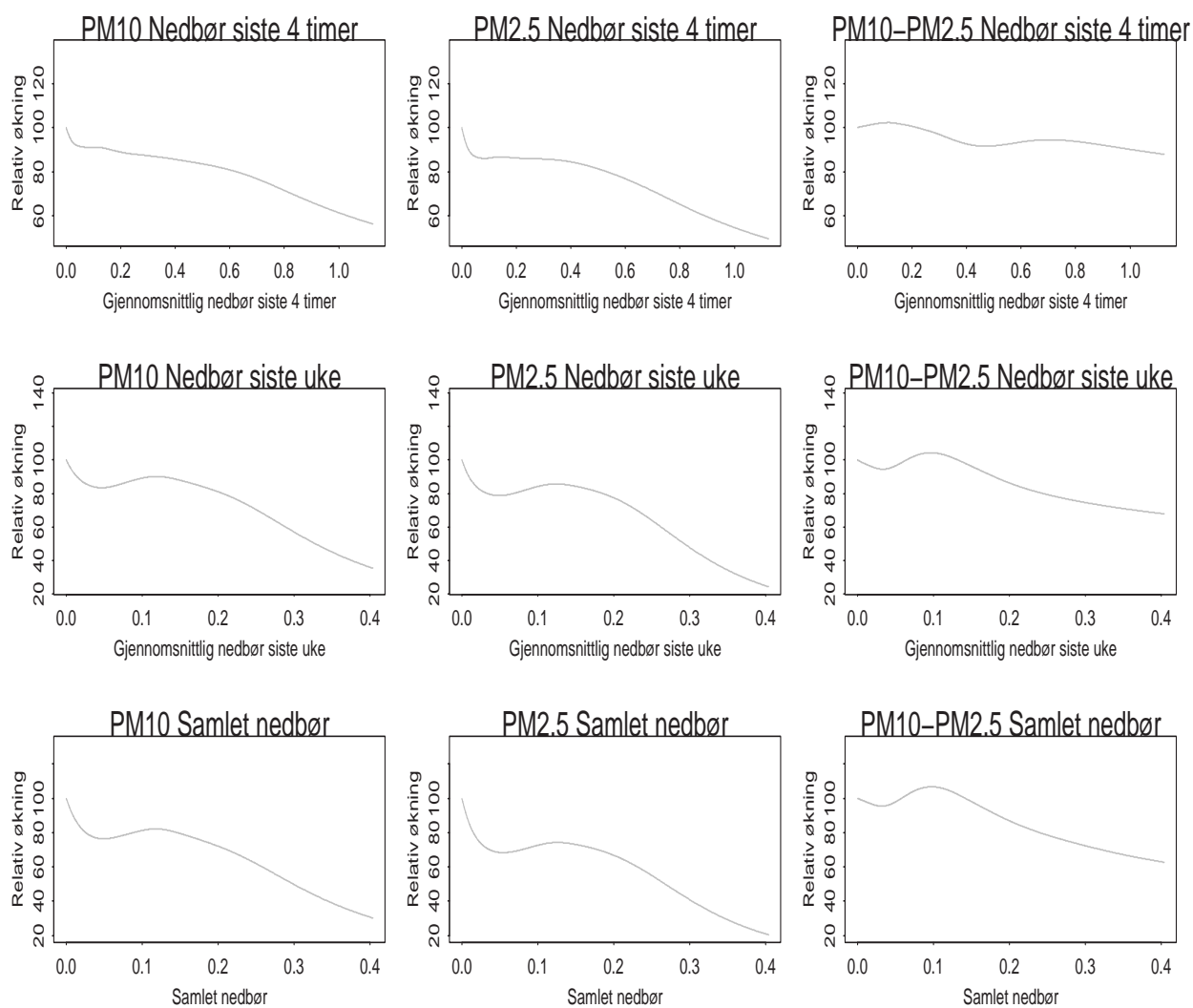
Figur 66: Resultater for Stavanger (fortsettelse).



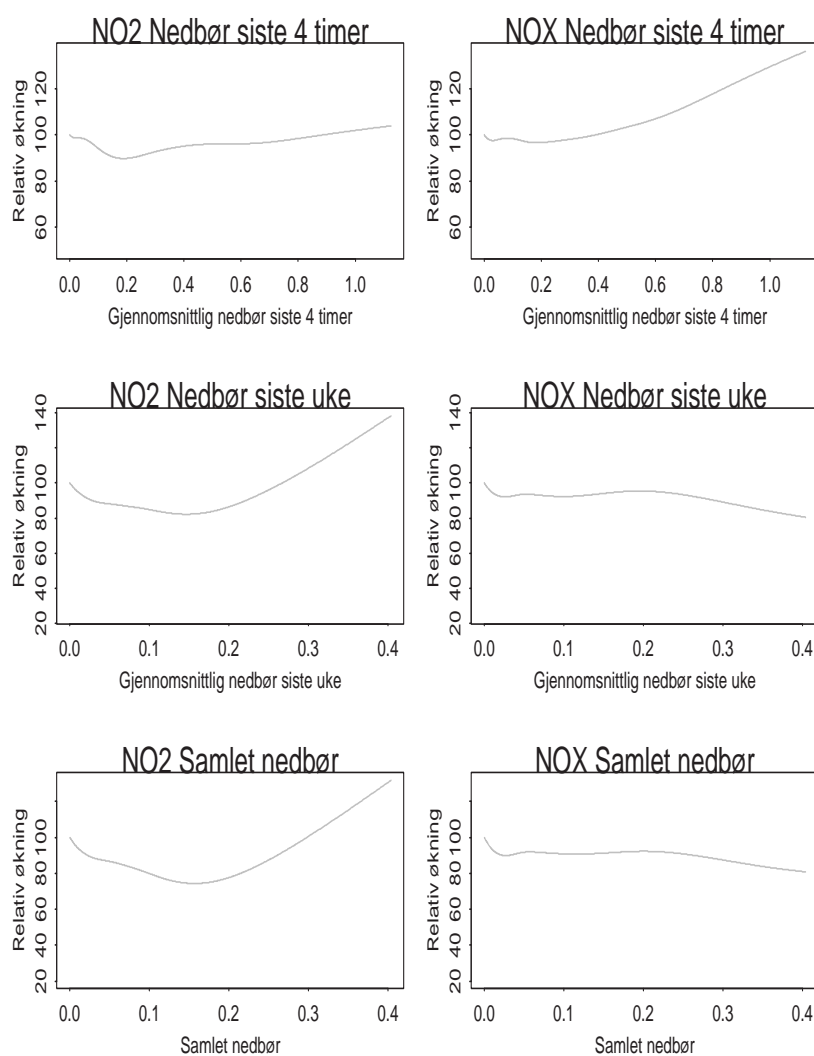
Figur 67: Resultater for Stavanger.



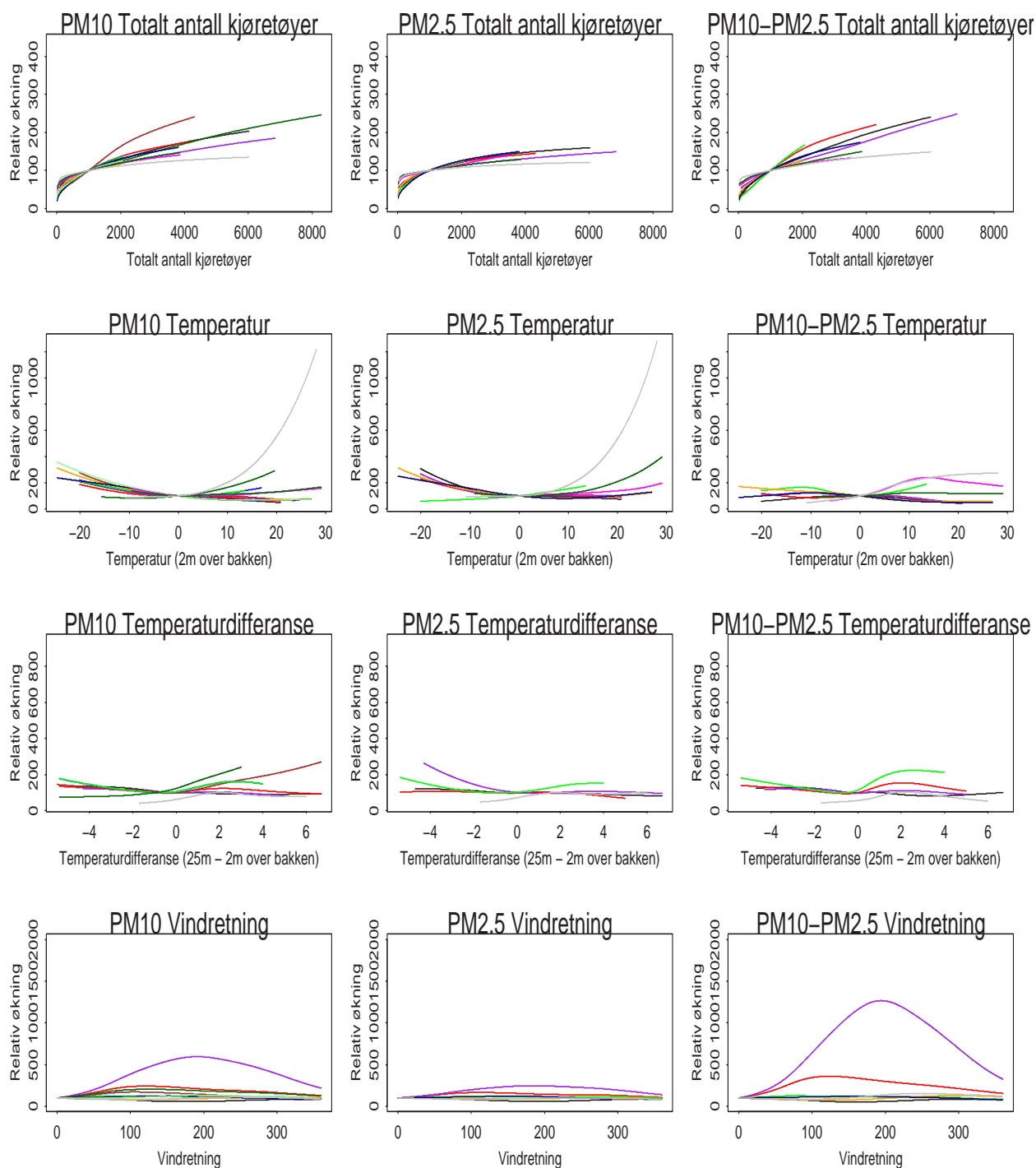
Figur 68: Resultater for Stavanger (fortsettelse).



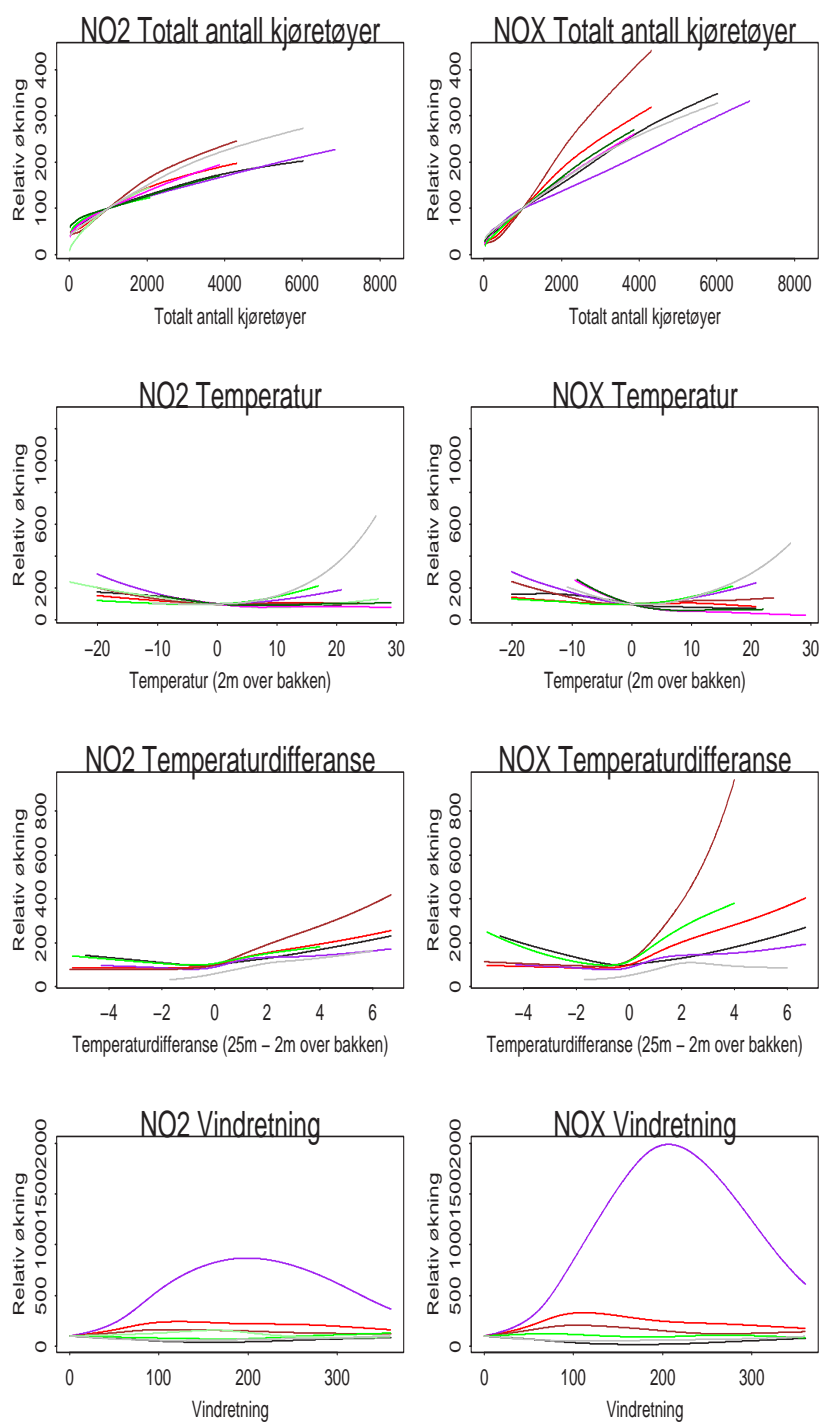
Figur 69: Resultater for Stavanger.



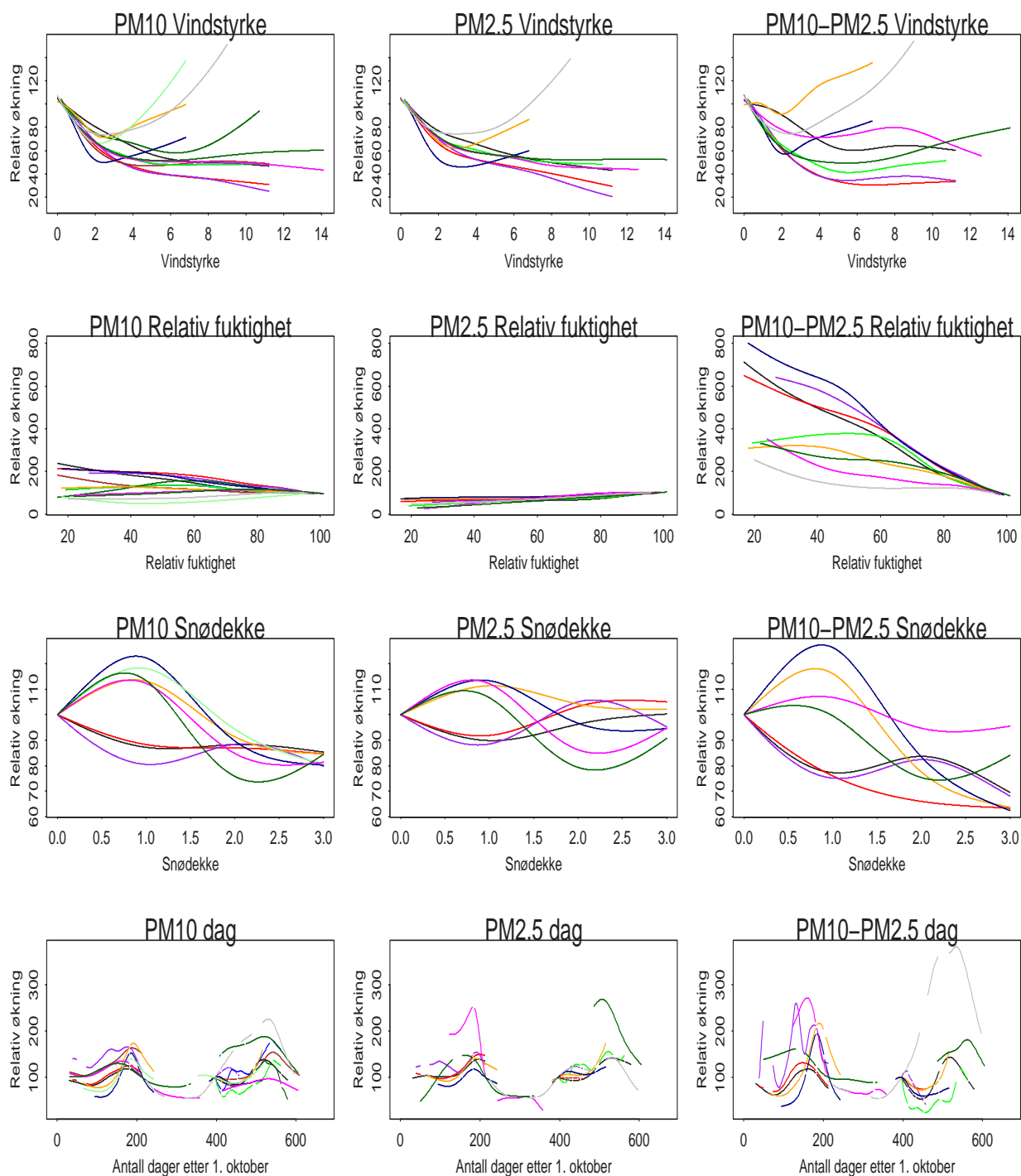
Figur 70: Resultater for Stavanger (fortsettelse).



Figur 71: Resultater for Oslo, Trondheim, Bergen og Stavanger.

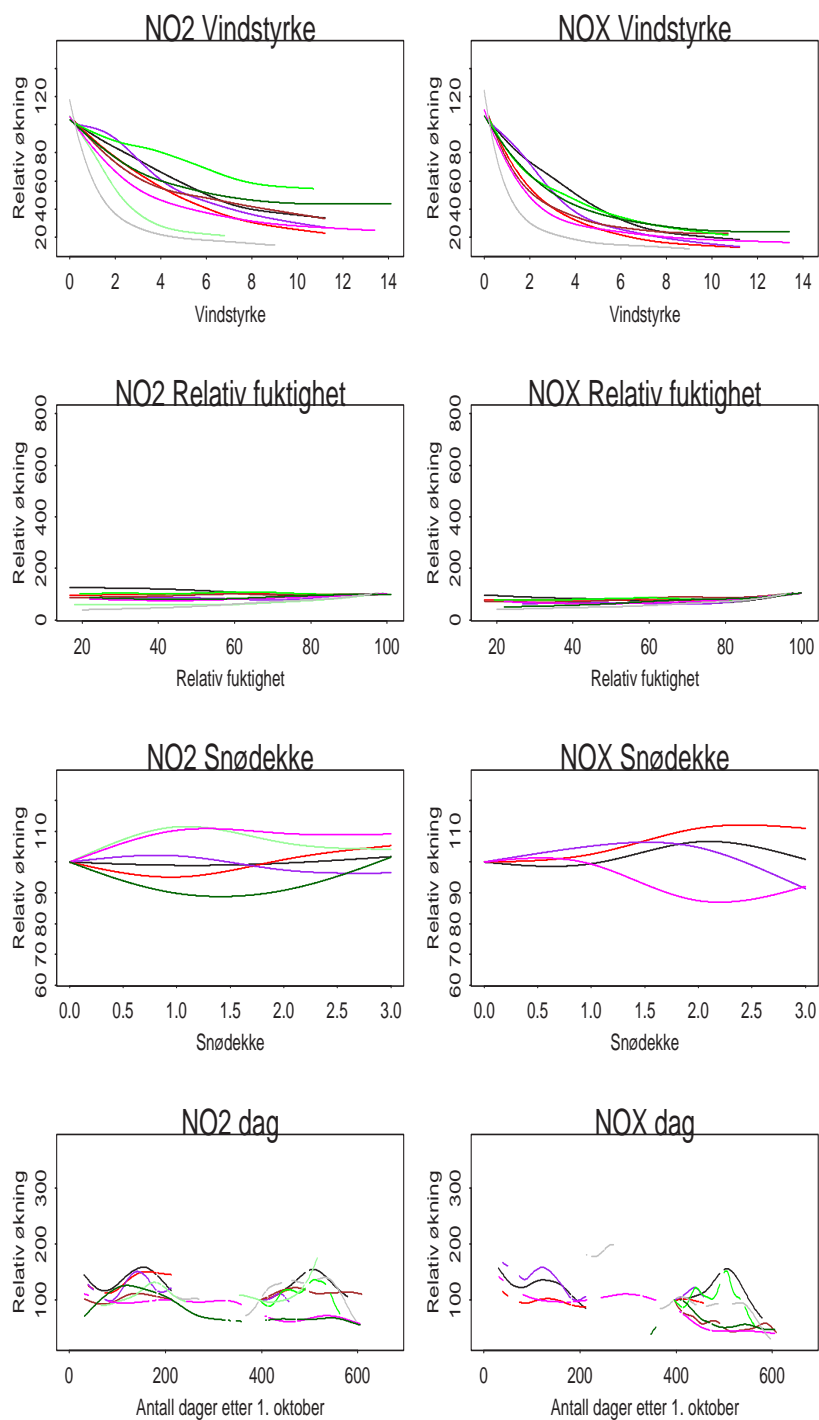


Figur 72: Resultater for Oslo, Trondheim, Bergen og Stavanger (fortsettelse).

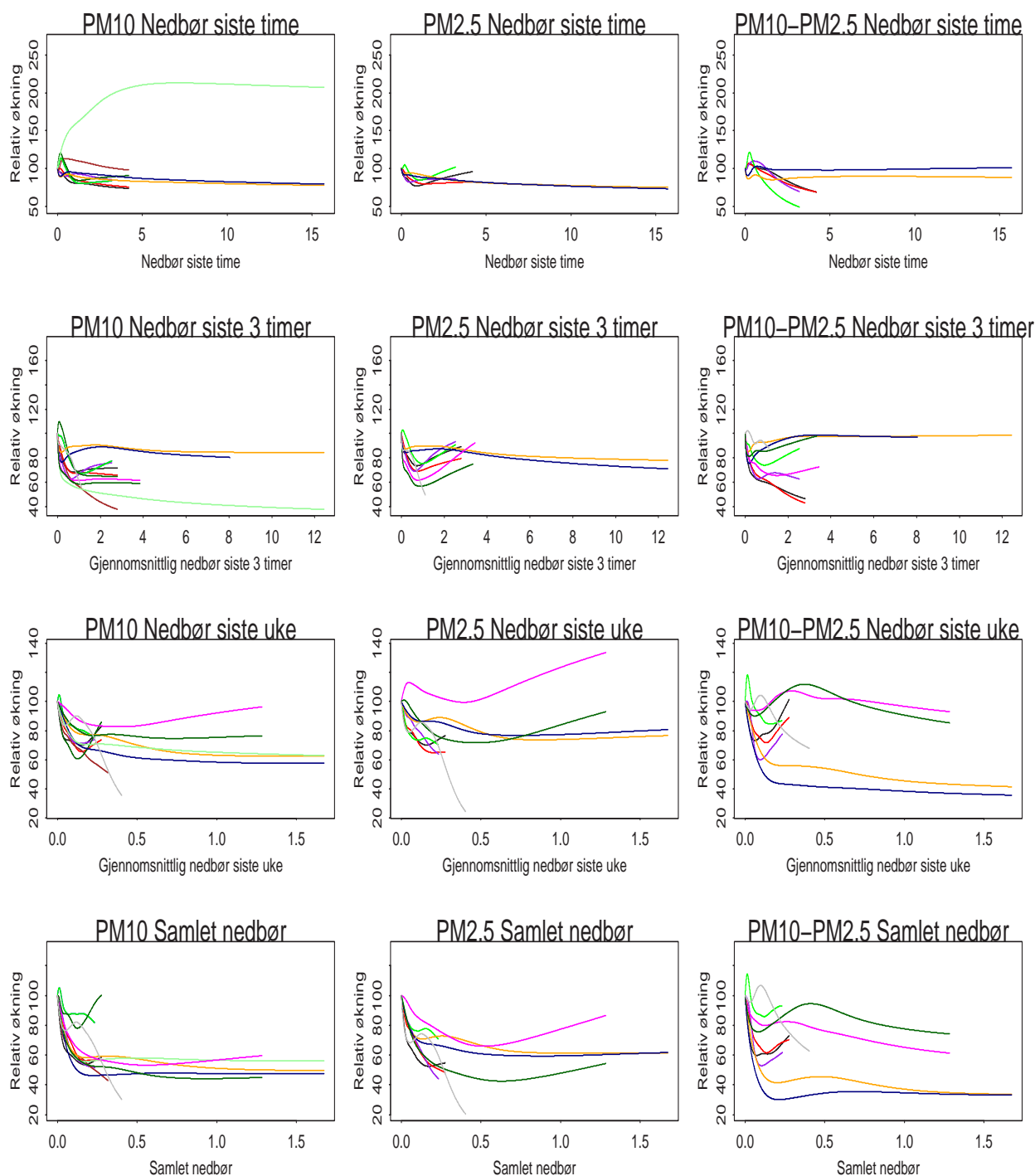


Figur 73: Resultater for Oslo, Trondheim, Bergen og Stavanger.

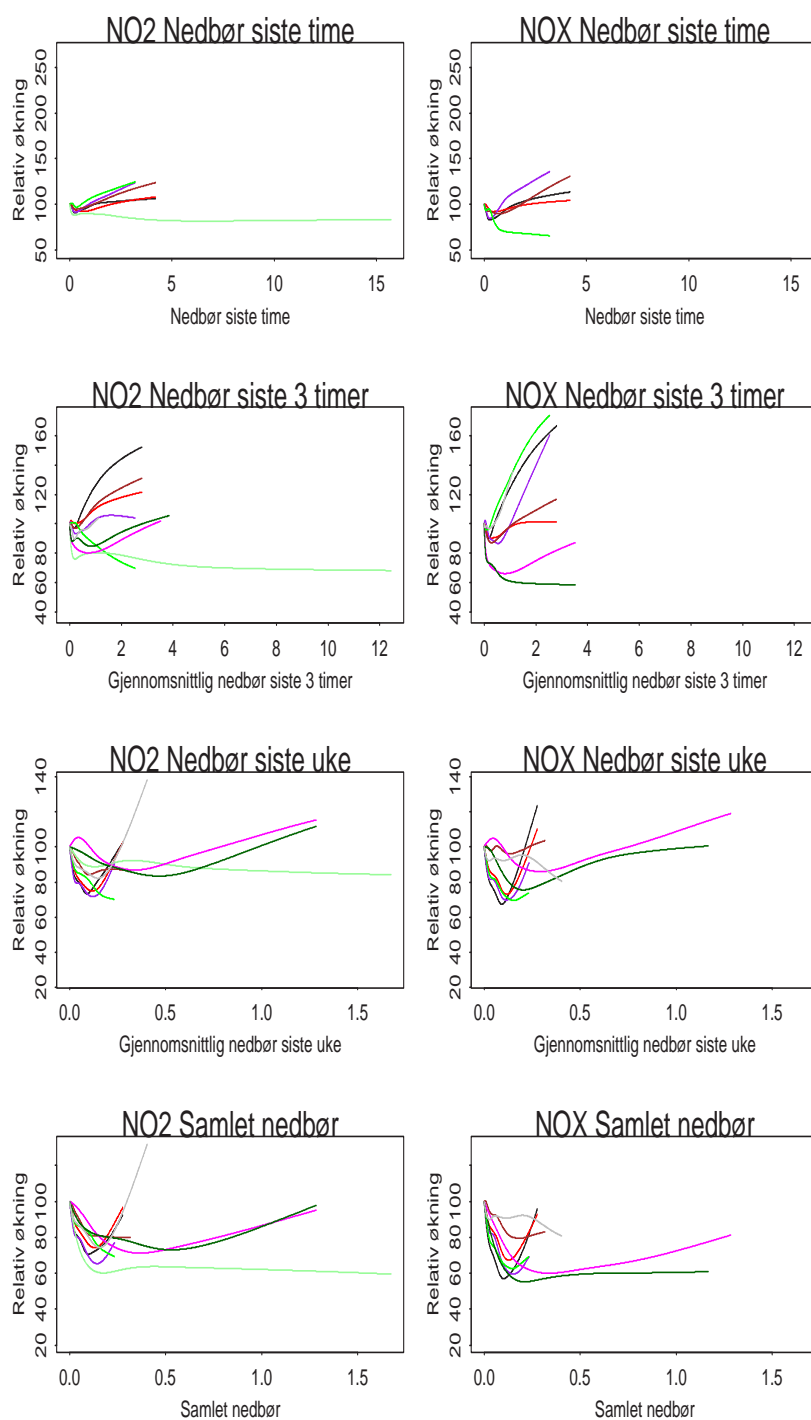




Figur 74: Resultater for Oslo, Trondheim, Bergen og Stavanger (fortsettelse).



Figur 75: Resultater for Oslo, Trondheim, Bergen og Stavanger.



Figur 76: Resultater for Oslo, Trondheim, Bergen og Stavanger (fortsettelse).

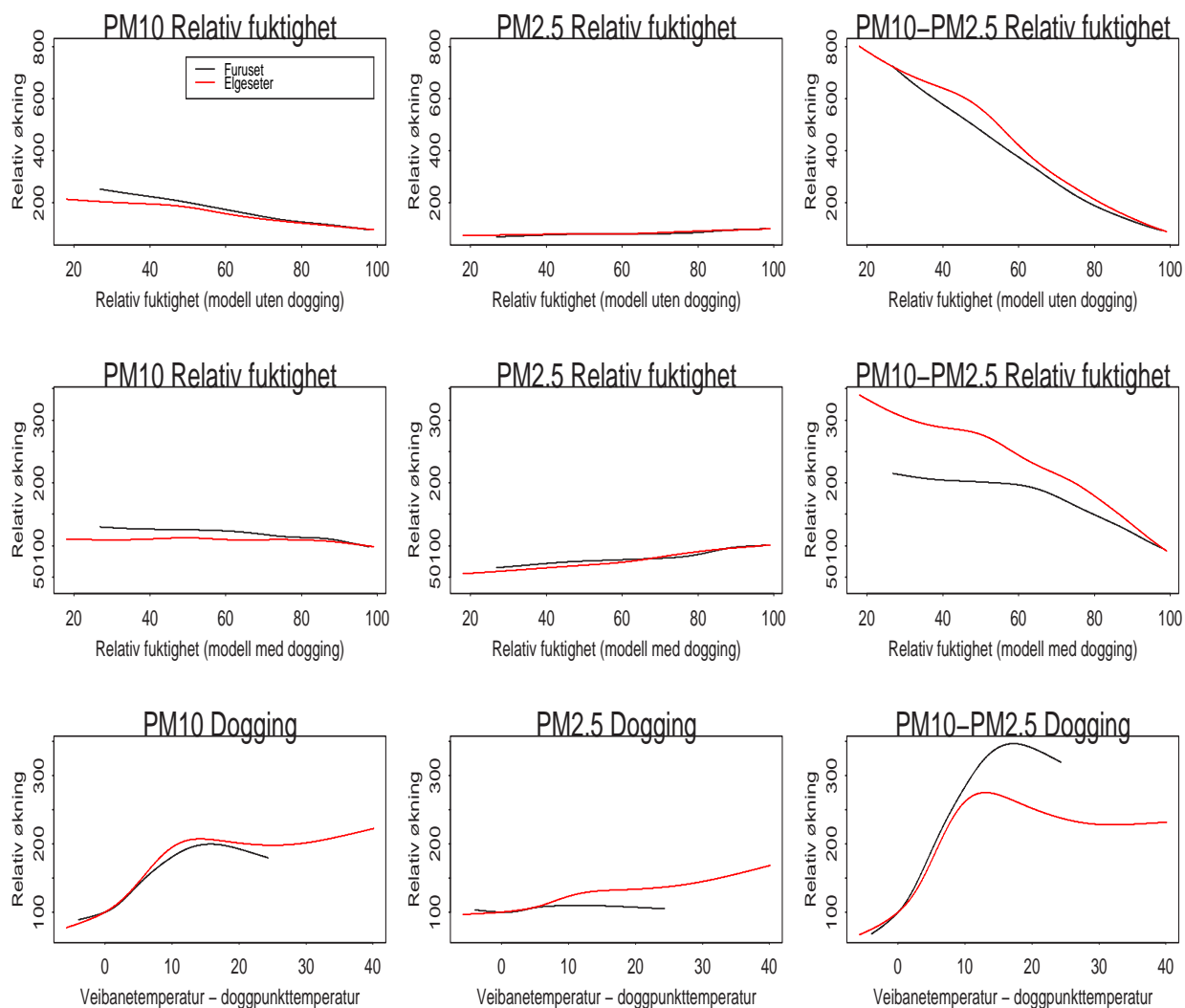
## 4.2 Resultater fra modeller med dogging

For å undersøke om dogging på veibanen har noen effekt på luftforurensningen, har vi estimert én modell med dogging (modell (3)) og én uten (modell (1)), med de samme trafikk- og meteorologidataene, for hver av luftforurensningsvariablene for av de to målestasjonene Furuset og Elgeseter. Tabell 8 viser forklaringsgraden  $R^2$  til hver av modellene. Den viser også andelen forklart varians for relativ fuktighet og dogging. Årsaken til at bare resultatene for relativ fuktighet er presentert, er at effekten av de andre variablene er så godt som uforandret, som vist i Figur 129 til 144 (i Appendix B) over estimerte effekter på log-skala. Som vi ser av tabellen, er det for svevestøvvariablene en liten økning i forklaringsgraden til modellen når dogging inkluderes. Andelen forklart varians for dogging er imidlertid nokså stor, spesielt for de store svevestøvparklene. Samtidig minker relativ fuktighets andel av forklart varians en god del når dogging tas med. Det er altså en nokså høy positiv korrelasjon mellom de to variablene.

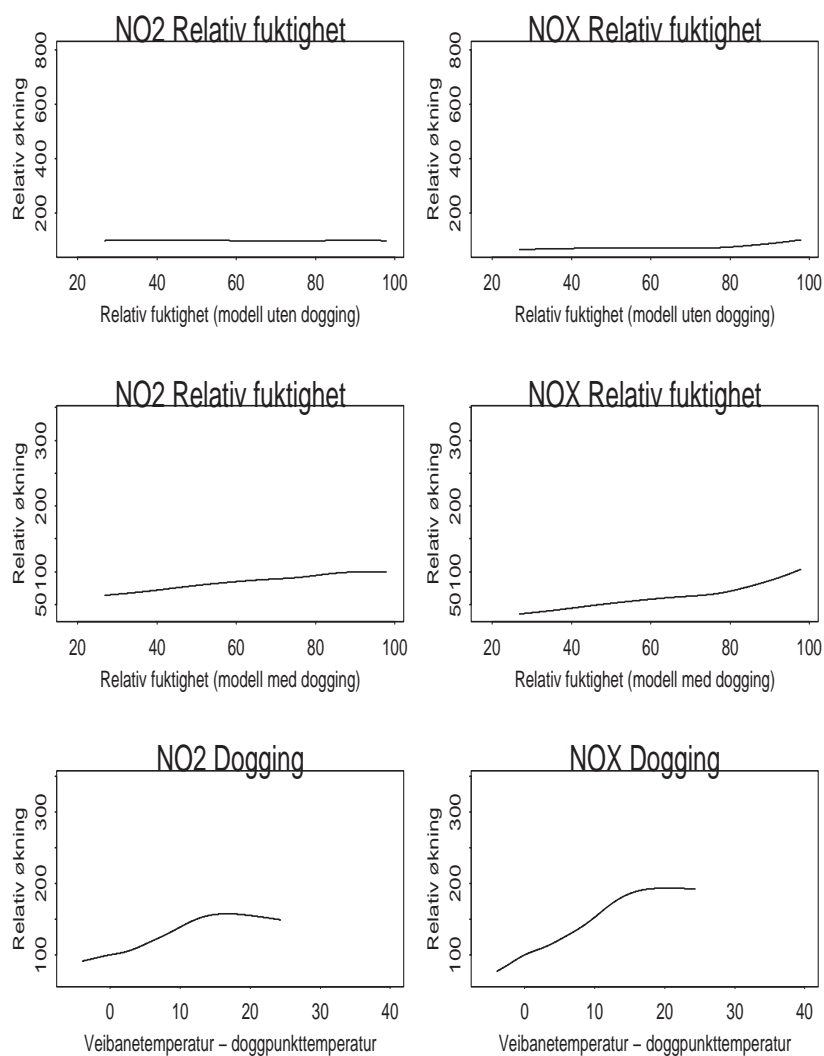
De estimerte effektene av relativ fuktighet og dogging på originalskala er plottet i Figur 77 og 78. Effekten av relativ fuktighet ser ut til å være omtrent den samme i modellene med og uten dogging, bortsett fra at den er mindre når dogging inkluderes. Det vil si at kurvene går i samme retning som før, men har mindre helning. Videre øker luftforurensningen, særlig konsentrasjonen av store svevestøvparkler, ettersom differansen mellom veibanetemperatur og doggpunkttemperatur øker, inntil differansen har nådd rundt 10 grader Celsius. Da flater kurvene ut.

Målestasjon	Forurensningsvariabel	$R^2$		Andel av forklart varians		
		Uten dogging	Med dogging	Rel. fukt. Uten dogging	Rel. fukt. Med dogging	Dogging
Furuset	PM 10	0.63	0.65	13	1.4	10.8
Furuset	PM 2.5	0.58	0.59	3.7	6	0.6
Furuset	PM 10 - PM 2.5	0.68	0.69	26.6	6.4	15.5
Furuset	NO <sub>2</sub>	0.64	0.64	0.1	2.9	4.5
Furuset	NO <sub>x</sub>	0.72	0.72	1.5	5.8	2.9
Elgeseter	PM 10	0.6	0.62	7.1	0.2	12.7
Elgeseter	PM 2.5	0.63	0.63	1.7	5.3	2.5
Elgeseter	PM 10 - PM 2.5	0.57	0.6	26.7	9	14

Tabell 8:  $R^2$  og andel forklart varians for utvalgte forklaringsvariable i GAM-modellene med og uten dogging



Figur 77: Resultater fra modellering uten (øverste panel) og med (to nederste paneler) dogging.



Figur 78: Resultater fra modellering uten (øverste panel) og med (to nederste paneler) dogging (fortsettelse).

### 4.3 Resultater fra modeller uten nedbør eller relativ fuktighet

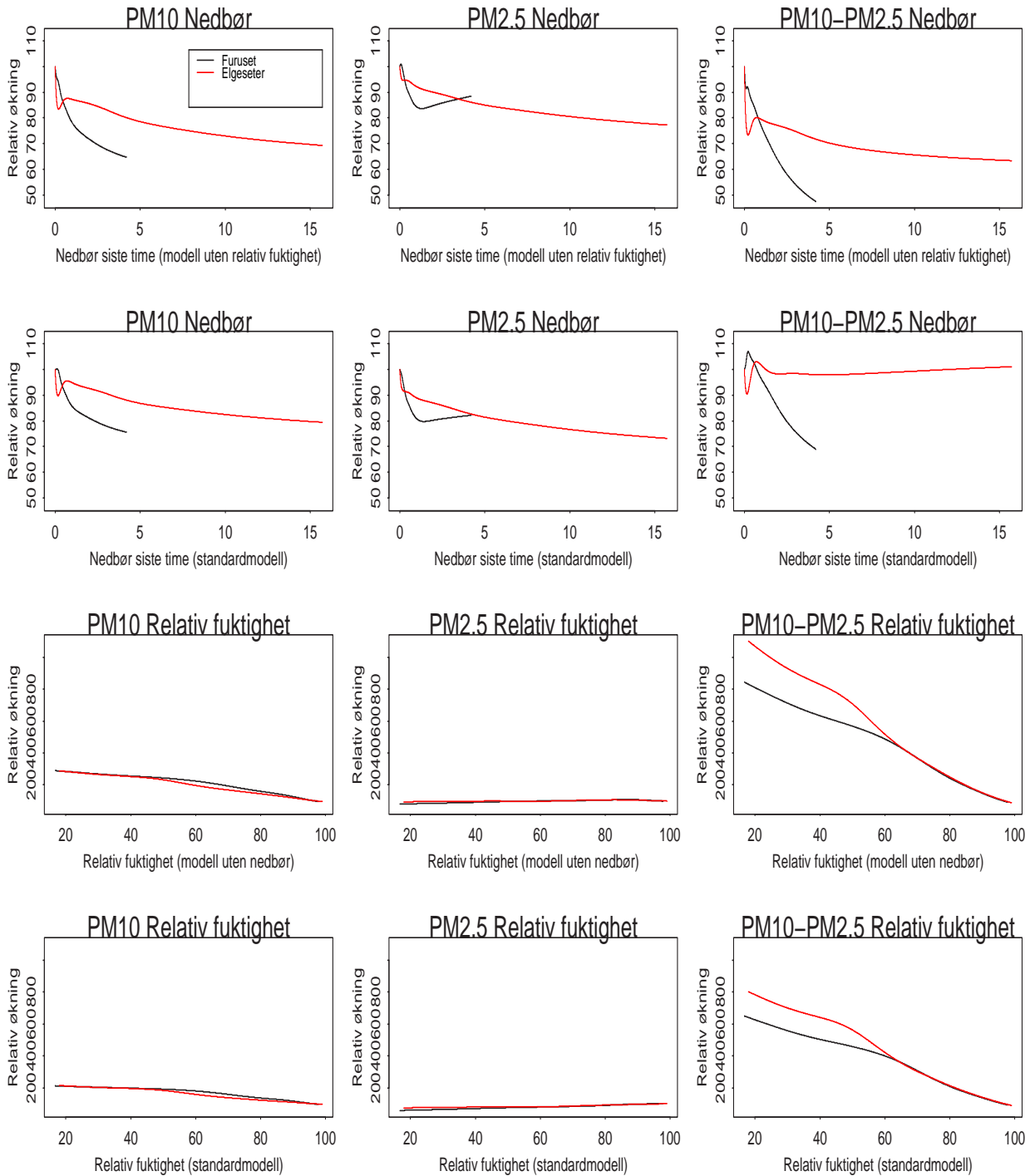
I resultatene fra standardmodellene (vist i avsnitt 4.1) hadde nedbør nokså liten effekt på luftforurensningen, hvilket er noe overraskende. Vi har derfor sett nærmere på effekten av nedbør ved å estimere modell 1 først uten leddet for relativ fuktighet, og deretter uten de tre nedbørsvariablene, men med relativ fuktighet, for hver av målestasjonene Furuset og Elgeseter. Da både relativ fuktighet og nedbørsvariablene er mål for fuktigheten, kunne en tenke seg at de har innflytelse på hverandre.

Resultatene fra modellene uten nedbør eller relativ fuktighet er vist under. Tabell 9 viser forklaringsgradene  $R^2$ , samt andelen forklart varians for nedbør og relativ fuktighet fra de nye modellene sammenlignet med standardmodellene. Ut fra tabellen ser det ikke ut til å være store endringer i verken forklaringsgrad eller andel forklart varians. Relativ fuktighet får noe mer betydning for konsentrasjonen av de store svevestøvpartiklene, særlig for differansen  $PM_{10} - PM_{2.5}$ , når de tre nedbørsvariablene tas ut av modellen, mens andelen varians forklart for variabelen nedbør siste time er nokså lav både i standardmodellen og i modellen uten relativ fuktighet. Dette bekreftes av Figur 79 og 80 over de estimerte effektene av nedbør og relativ fuktighet på originalskala. Det er så godt som ingen forskjeller mellom effektene fra standardmodellene og modellene uten nedbør eller relativ fuktighet. Effekten av de andre variablene er også uforandret, som vist i Figur 145 til 160 (i Appendix B) over estimerte effekter på log-skala.

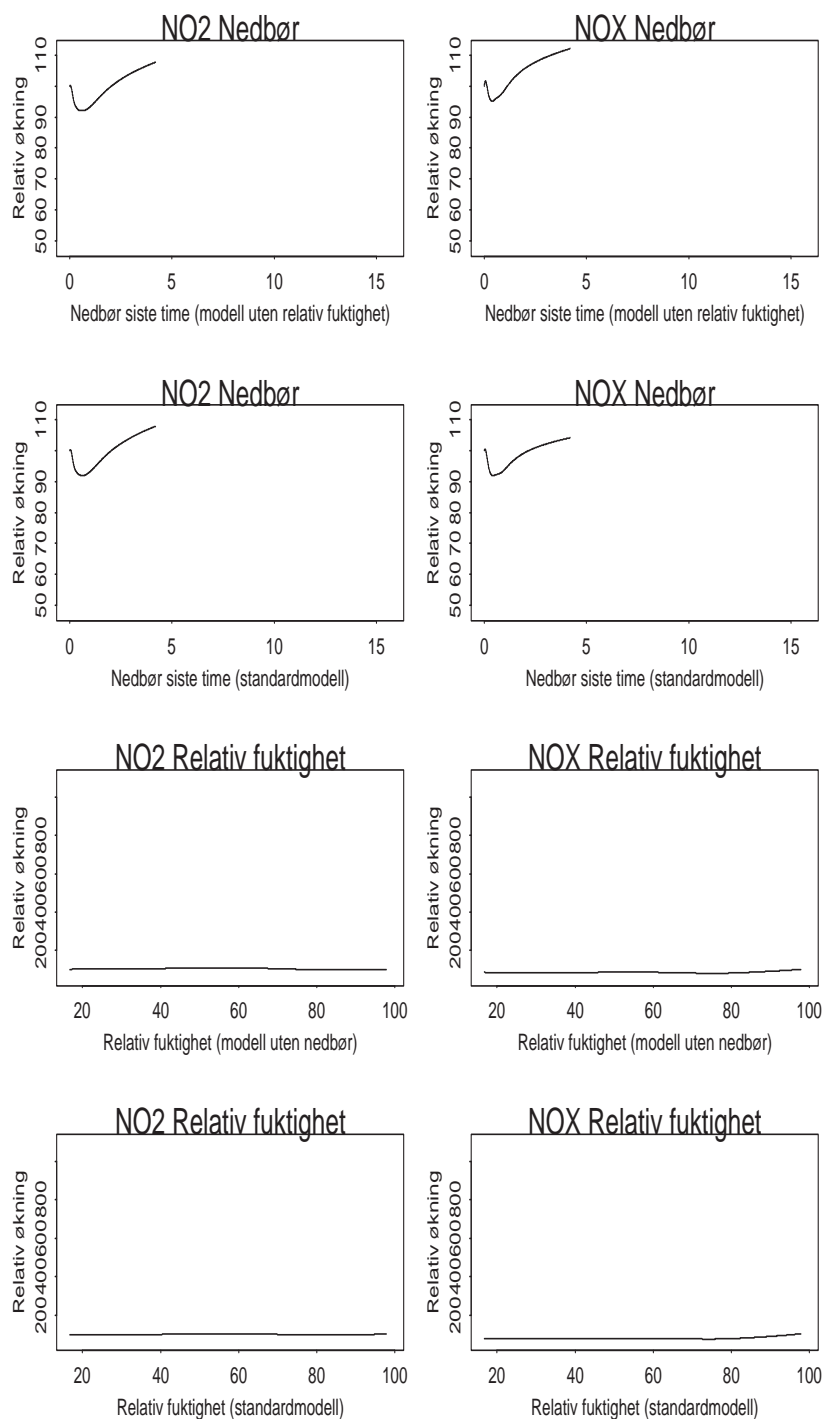


Målestasjon	Forurensnings- variabel	$R^2$			Andel av forklart varians			
		Uten rel. fukt.	Uten nedbør	Standardmodell	Nedbør siste time Uten rel. fukt.	Nedbør siste time Standardmodell	Rel. fukt. Uten nedbør	Rel. fukt. Standardmodell
Furuset	PM 10	0.59	0.58	0.62	0.5	0.2	19.2	11.7
Furuset	PM 2.5	0.53	0.49	0.55	0.4	0.6	2	6.7
Furuset	PM 10 - PM 2.5	0.57	0.63	0.64	0.4	0	32.6	27.6
Furuset	$NO_2$	0.63	0.62	0.64	0.1	0.1	0.3	0.1
Furuset	$NO_x$	0.68	0.68	0.69	0	0	0.4	0.9
Elgeseter	PM 10	0.58	0.58	0.6	0.8	0.2	11.1	7.1
Elgeseter	PM 2.5	0.62	0.61	0.63	0.3	0.6	0.5	1.7
Elgeseter	PM 10 - PM 2.5	0.5	0.55	0.57	1.2	0.1	31.2	26.7

Tabell 9:  $R^2$  og andel forklart varians for utvalgte forklaringsvariable i GAM-modellene uten nedbør eller relativ fuktighet



Figur 79: Resultater fra modellering uten relativ fuktighet (øverste panel) og uten nedbør (tredje paneler) sammen med resultater fra standardmodeller (andre og fjerde panel).



Figur 80: Resultater fra modellering uten relativ fuktighet (øverste panel) og uten nedbør (tredje paneler) sammen med resultater fra standardmodeller (andre og fjerde panel) (fortsettelse).

## Referanser

G. H. Steinbakk og M. Aldrin. Effekt av salting på svevestøv. En analyse basert på data fra vintrene 2001/2002 og 2002/2003. Technical report, Norsk Regnesentral, September 2003.

I. Hobæk Haff og M. Aldrin. Empiriske modeller for luftforurensning, trafikkvolum og meteorologi. Technical report, Norsk Regnesentral, Desember 2002.

K. Kåresen og M. Aldrin. Effekt av salting på trafikkgenerert svevestøv; foreløpig statistisk analyse. Technical report, Norsk Regnesentral, November 2001.

## A Detaljer fra GAM-analysen

I GAM-analysen har forklaringsvariablene “trafikk”, “nedbør siste time”, “nedbør siste tre timer” og “nedbør siste uke” fra modellene i kapittel 3 strengt tatt ikke blitt modellert direkte, slik vi skisserte i modell (1). Trafikken er modellert gjennom log(trafikk). De tre nedbørsvariablene får lagt til 0.1 før vi tar logaritmen. Det ekstra leddet (+ 0.1) er der for å unngå å ta logaritmen av 0, men er samtidig satt såpass lite at det ikke er for stort i forhold til selve nedbørsmålingene. Trafikkmålinger som er 0 har vi satt som manglende. I figurene under er effekten av trafikk og nedbør plottet mot de ovennevnte transformasjonene.

I Tabell 3 til 7 har vi angitt hvilken prosentandel av forklart variasjon som kan tilskrives hver enkelt forklaringsvariabel bidrar med. Dette er beregnet slik: La  $y$  være den observerte responsen på log-skala, for eksempel  $\log(\text{PM}_{10})$ , og la  $y_i$  betegne den  $i$ -te observasjonen. La videre  $\hat{y}_i$  være predikert respons fra modellen. Da er

$$\hat{\sigma}^2 = 1/n \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

restvariansen som ikke er forklart av modellen.

La så  $\hat{y}_i(-j)$  være predikert respons fra modellen, men hvor den  $j$ -te forklaringsvariabelen er “nullet ut” ved at gjennomsnittsverdien er brukt i stedet for virkelig verdi for alle observasjoner  $i$ . Da er

$$\hat{\sigma}^2(-j) = 1/n \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i(-j))^2. \quad (5)$$

et uttrykk for restvariansen når effekten av den  $j$ -te forklaringsvariabelen er fjernet. Denne restvariansen  $\hat{\sigma}^2(-j)$  vil være større enn  $\hat{\sigma}^2$ , og differansen  $\hat{\sigma}^2(-j) - \hat{\sigma}^2$  vil være et uttrykk for variansen forklart av den  $j$ -te forklaringsvariabelen. Om dette summeres over alle forklaringsvariable fås

$$\sum_{j=1}^p (\hat{\sigma}^2(-j) - \hat{\sigma}^2) = \sum_{j=1}^p \hat{\sigma}^2(-j) + p \cdot \hat{\sigma}^2. \quad (6)$$

Dermed blir

$$\text{Andel forklart varians av forklaringsvariabel } j = \frac{\hat{\sigma}^2(-j) - \hat{\sigma}^2}{\sum_{j=1}^p \hat{\sigma}^2(-j) + p \cdot \hat{\sigma}^2}. \quad (7)$$

## B Figurer fra GAM-analysen

Appendix B med figurer over de estimerte effektene fra GAM-analysen finnes i den fulle elektroniske versjonen av rapporten under

<http://publications.nr.no/LuftMod03.pdf>,

men er ikke inkludert i denne kortversjonen.