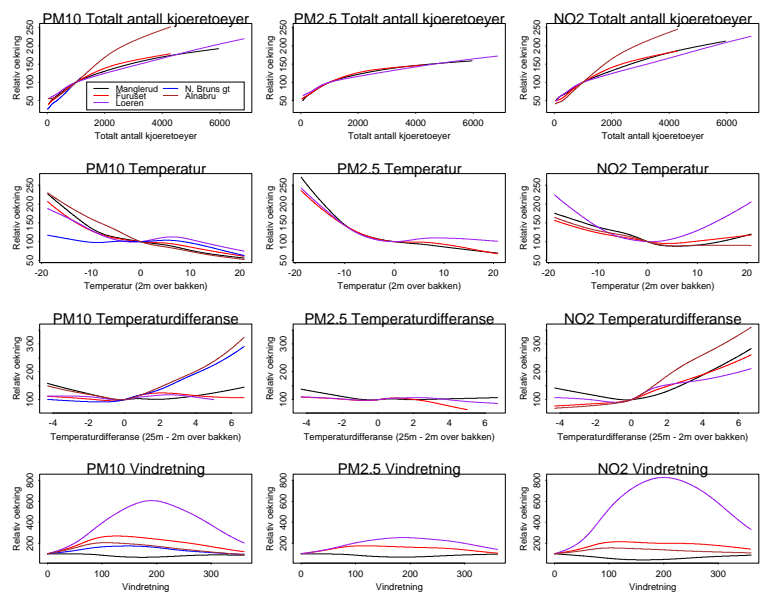


Empiriske modeller for luftforurensning, trafikkvolum og meteorologi



SAMBA/38/02

Ingrid Hobæk Haff
Magne Aldrin

Oslo
Desember 2002

Tittel/Title: Empiriske modeller for luftforurensning,
trafikkvolum og meteorologi

Dato/Date: Desember

År/Year: 2002

Notat nr./Note no.: SAMBA/38/02

Forfatter/Author: Ingrid Hobæk Haff
Magne Aldrin

Sammendrag/Abstract:

Denne rapporten presenterer statistiske modeller for hvordan PM_{10} , $PM_{2.5}$ og NO_2 varierer systematisk med trafikkvolum og meteorologiske variable. Modellene er basert på luftforurensningsdata fra til sammen ti målestasjoner ved trafikerte veier i Oslo, Trondheim og Bergen, med tilhørende data for trafikkvolum og meteorologiske forhold.

Emneord/Keywords:

Målgruppe/Target group:

Tilgjengelighet/Availability: Åpen

Prosjekt/Project:

Prosjektnr./Project no.:

Satsningsfelt/Research field: SAMBA

Antall sider/No. of pages:

Innhold

1	Introduksjon	1
2	Data	2
3	Modell	14
4	Resultater	15
5	Videre arbeid	26
A	Detaljer og figurer fra GAM-analysen	28

1 Introduksjon

Denne rapporten presenterer statistiske modeller for hvordan PM_{10} , $PM_{2.5}$ og NO_2 varierer systematisk med trafikkvolum og meteorologiske variable. Modellene er basert på data registrert mellom høsten 2001 og sommeren 2002. I presentasjonen av resultatene fokuserer vi spesielt på å fellestrekk og forskjeller mellom de ulike målestasjoner. Modellene er rent empiriske, og vi er forsiktige med fysiske tolkninger av resultatene.

Arbeidet er finansiert av Statens vegvesen Vegdirektoratet. Modellene som presenteres er en videreutvikling av modeller som er etablert i tidligere (Kåresen et al 2001) og pågående prosjekter angående effekt av salting på konsentrasjon av svevestøv, utført av Norsk Regnesentral på oppdrag for Statens vegvesen Vegdirektoratet og Statens vegvesen Oslo.

2 Data

Dataene består av luftforurensningsdata fra til sammen ti målestasjoner ved trafikkerte veier i Oslo, Trondheim og Bergen, med tilhørende data for trafikkvolum og meteorologiske forhold. Alle dataene er målt med én times mellomrom, med unntak av nedbørsmålingene fra Bergen som har en oppløsning på tolv timer. Luftforurensningsdataene består av målinger av konsentrasjonen av PM_{10} , $PM_{2.5}$ og NO_2 . Førstnevnte er målt på alle målestasjonene, mens de to andre er målt på noen av målestasjonene.

Tabell 1 angir de ti målestasjonene og hvilke luftforurensningskomponenter som er registrert ved hver stasjon. De fem første er i Oslo, de tre neste i Trondheim, og de to siste i Bergen. Tabellen viser videre tidsperiodene hvor 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 (årsdøgnsstrafikk) ved de ulike målestasjoner, og basert på disse korrigeres derfor trafikktallene 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, Voll i Trondheim og Florida i Bergen).

Målestasjon	PM_{10}	$PM_{2.5}$	NO_2	Felles periode
Manglerud	x	x	x	01.10.2001-30.04.2002
Løren	x	x	x	01.10.2001-30.04.2002
Furuset	x	x	x	01.10.2001-30.04.2002
Nordahl Bruns gt.	x	-	-	01.10.2001-30.04.2002
Alnabru	x	-	x	01.10.2001-30.04.2002
Rosendal	x	x	-	01.11.2001-31.05.2002
Elgeseter	x	x	-	01.11.2001-31.05.2002
Midtbyen	x	-	x	01.11.2001-31.05.2002
Danmarks plass	x	x	x	01.11.2001-31.08.2002
Rådhuset	x	x	x	01.11.2001-31.08.2002

Tabell 1: Oversikt over luftforurensningsmålinger ved målestasjonene.

Måle-stasjon	Trafikk	Temp.	Temp.-diff.	Vind-retn.	Vind-styrke	Rel. fukt.	Nedbør
Manglerud	Manglerud	x	x	x	x	x	x
Løren	Løren	x	x	x	x	x	x
Furuset	Karihaugen	x	x	x	x	x	x
Nordahl Bruns gt.	Wergelandsvn.	x	x	x	x	x	x
Alnabru	Karihaugen	x	x	x	x	x	x
Rosendal	$\frac{16000}{43900}$ Kroppan	x	-	-	x	x	x
Elgeseter	$\frac{30000}{43900}$ Kroppan	x	-	-	x	x	x
Midtbyen	$\frac{16000}{43900}$ Kroppan	x	-	-	x	x	x
Danmarks plass	Fjøsanger	x	-	-	x	x	x
Rådhuset	Fjøsanger	x	-	-	x	x	x

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

PM_{2.5}- og NO₂-målingene fra Bergen har en adskillig grovere oppløsning enn de tilsvarende målingene fra de andre byene. PM_{2.5} fra Bergen har bare heltallverdier, mens den i de andre byene er registrert med en desimal. Når det gjelder NO₂ fra Bergen, er det registrert verdier på 2.0, 3.8, 5.7, 7.6, ..., men ikke verdier i mellom disse.

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 analyse og presentasjon av luftforurensningsdataene har vi derfor konsekvent fjernet fire timer før og fire timer etter midnatt på nyttårsaften.
- Da PM₁₀ 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 hvor PM_{2.5} er betydelig større enn PM₁₀, og andre perioder hvor 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 PM₁₀. Vi har derfor godtatt observasjoner hvor PM_{2.5} er mindre enn 5 μg/m³ større enn PM₁₀, men fjernet observasjoner hvor forskjellen er større enn dette.
- Vi har fått oppgitt at alle luftforurensningsdata fra Oslo og Bergen opprinnelig er angitt i vintertid. Disse er justert til klokketid. Nå det gjelder

luftforurensningsmålingene fra Trondheim er disse også justert til klokketid i henhold til de opplysninger vi har fått.

- Luftforurensningsdataene kan noen ganger være svært nær 0, og noen ganger kan de registrerte målingene også være negative. For at dette ikke skal skape problemer i den seinere analysen, er målinger av PM_{10} og NO_2 under $2\mu g/m^3$ satt lik $2\mu g/m^3$, mens målinger av $PM_{2.5}$ under $1\mu g/m^3$ er satt lik $1\mu g/m^3$.

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

- Målingene fra Wergelandsveien er angitt separat for hver av de to kjøreretningene. Det er imidlertid noen feil i målingene fra den ene retningen (retning 1). Vi har derfor kun brukt data fra retning 2, og multiplisert disse med 2 for å få omtrent riktig totalnivå. Det kan imidlertid gi en viss skjevhet i døgnvariasjonen.
- 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. Når det gjelder målingene fra Trondheim vil det si at vi antar at rådataene i vintertidsperioden var en time forskjøvet i forhold til klokketid, mens tidspunktene var korrekte i sommertidsperiodene.

De meteorologiske dataene består av målinger av temperatur 2 meter over bakken, vindstyrke, relativ luftfuktighet og nedbør. Fra Oslo er det i tillegg målinger av temperaturdifferansen fra 25 til 2 meter over bakken, og vindretning. 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 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.

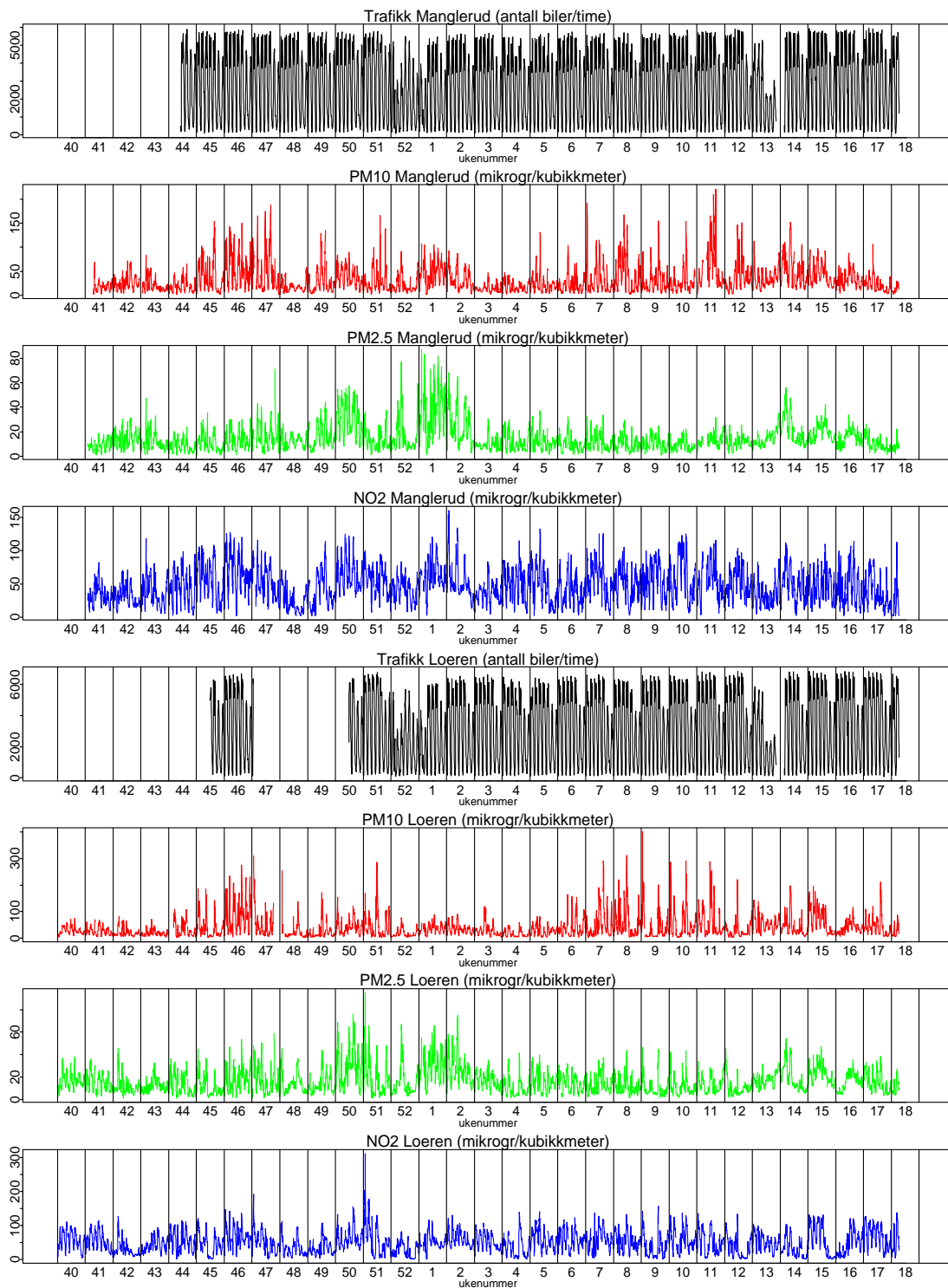
Dataene fra Oslo er plottet i Figur 1, 2 og 3. Alle paneler er for samme tidsperiode. Figur 4 og 5 viser dataene fra Trondheim. Også her er alle paneler for samme

tidsperiode, men tidsperioden er en annen enn for Oslo. Dataene fra Bergen er vist i Figur 6, 7 og 8. Perioden med data er lenger enn for Oslo og Trondheim. Merk derfor at Figur 6 viser trafikk- og forurensningsdata fra 1/11 2001 til 31/5 2002, mens Figur 7 viser tilsvarende data for den påfølgende perioden. Figur 8 viser de meteorologiske dataene i med to paneler per variabel, med en tidsperiode i hvert panel.

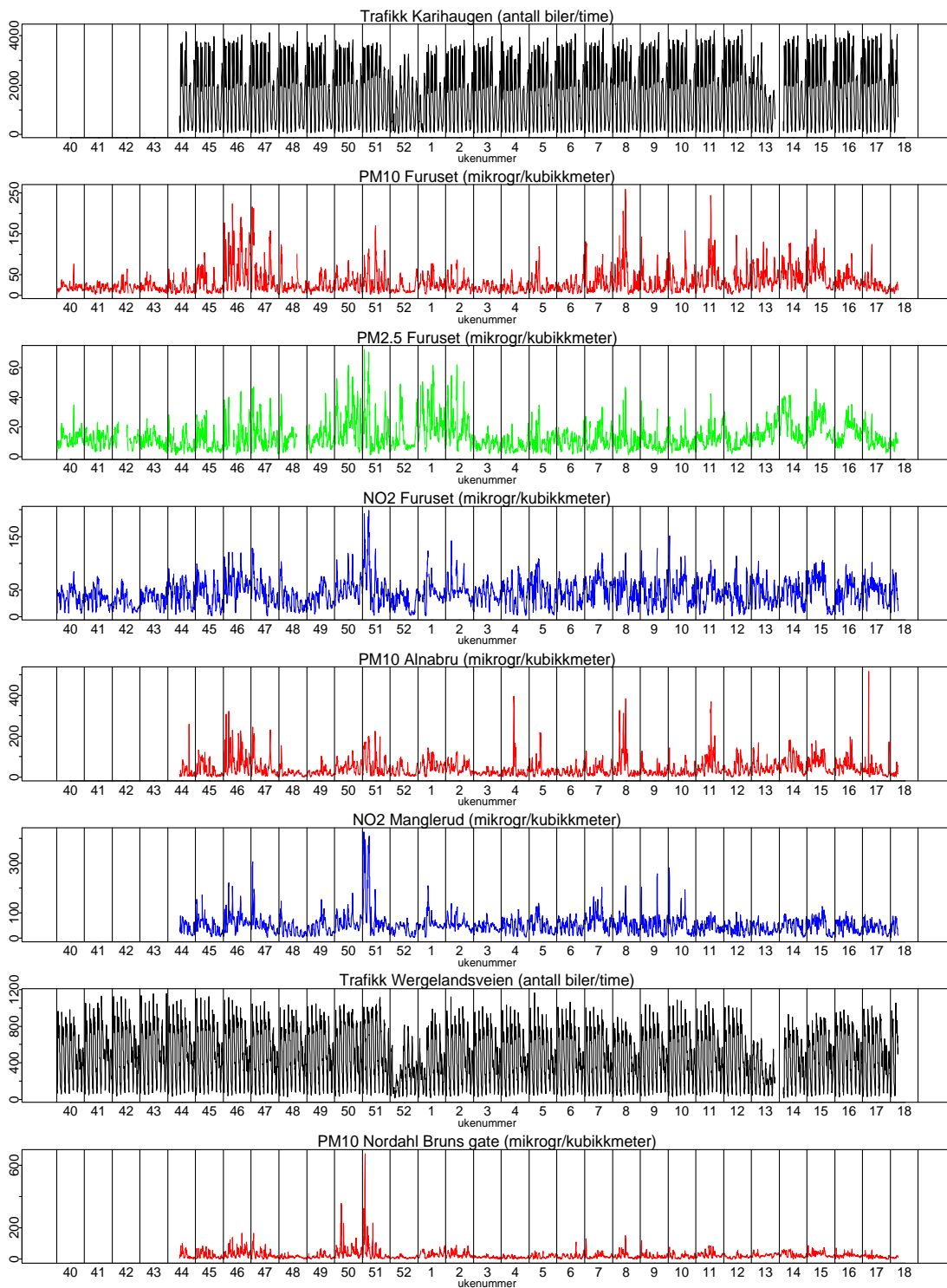
Når det gjelder PM_{10} og $PM_{2.5}$ er det en alminnelig oppfatning at det generelt er høyest konsentrasjoner om vinteren og våren, og lavere om sommeren, blant annet på grunn av vedfyring og bruk av piggdekk. Plottene for Trondheim og Bergen antyder derimot at det ikke tilfelle i de periodene vi har data for. Spesielt er det færre lave måleverdier fra ca. uke 13 og seinere, enn det er tidligere på året. Tabell 3 viser de tilsvarende månedsmidlene. For alle målestasjonene er april den måneden med høyest konsentrasjon av PM_{10} så vel $PM_{2.5}$. Men i Trondheim er månedsmidlene for PM_{10} i mai stort sett høyere enn i januar og februar. Og for Rådhuset i Bergen er august den den måneden med nest høyest månedsmidler. Om vi om vi ser nærmere på plottene for Rådhuset, ser vi at det er en topp i ukene 31-34 2002. Disse faller sammen med en periode med høy temperatur og lite nedbør. Tilsvarende tendens kan vi se for april og mai i Trondheim.

Måned	PM_{10} Rosen- dal	$PM_{2.5}$ Rosen- dal	PM_{10} Elge- seter	$PM_{2.5}$ Elge- seter	PM_{10} Midt- byen	PM_{10} Danm. plass	$PM_{2.5}$ Danm. plass	PM_{10} Råd- huset	$PM_{2.5}$ Råd- huset
nov. 2001	-	-	-	-	-	18.9	-	12.8	-
des. 2001	16.0	12.3	-	-	39.7	24.6	-	16.2	10.3
jan. 2002	17.8	13.1	23.0	16.1	31.9	18.1	-	13.9	13.9
feb. 2002	12.7	8.4	17.4	11.4	22.8	22.0	11.3	15.0	-
mar. 2002	19.3	11.0	12.4	12.4	38.3	29.2	14.0	18.0	10.9
apr. 2002	41.4	14.1	15.4	15.4	53.6	28.1	17.1	21.1	15.0
mai 2002	23.2	10.2	10.7	10.7	31.4	-	-	14.4	8.5
juni 2002	-	-	-	-	-	-	-	14.1	7.8
juli 2002	-	-	-	-	-	-	-	13.5	8.8
aug. 2002	-	-	-	-	-	-	-	18.6	13.3

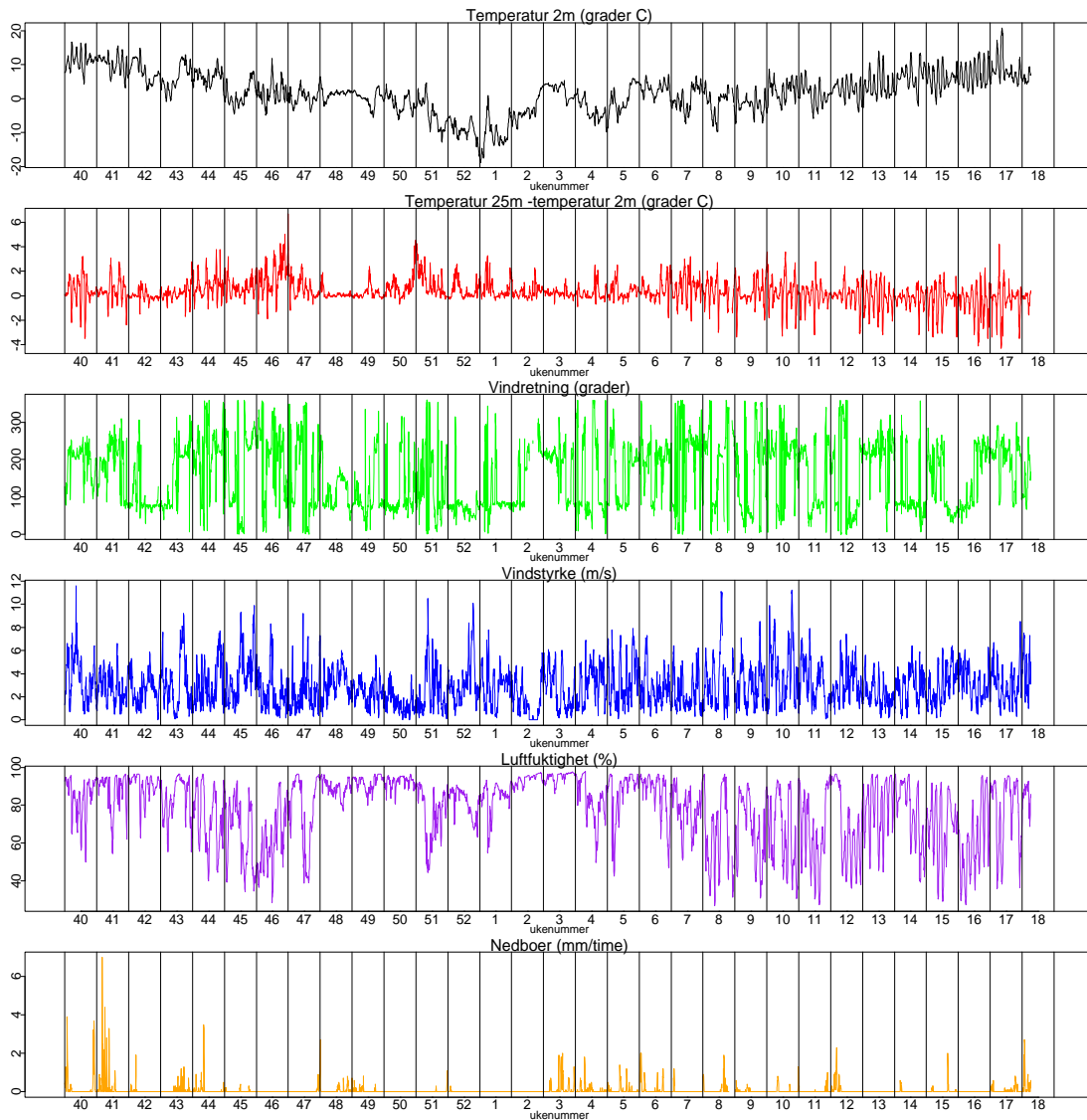
Tabell 3: Månedsmidler for PM i Trondheim og Bergen



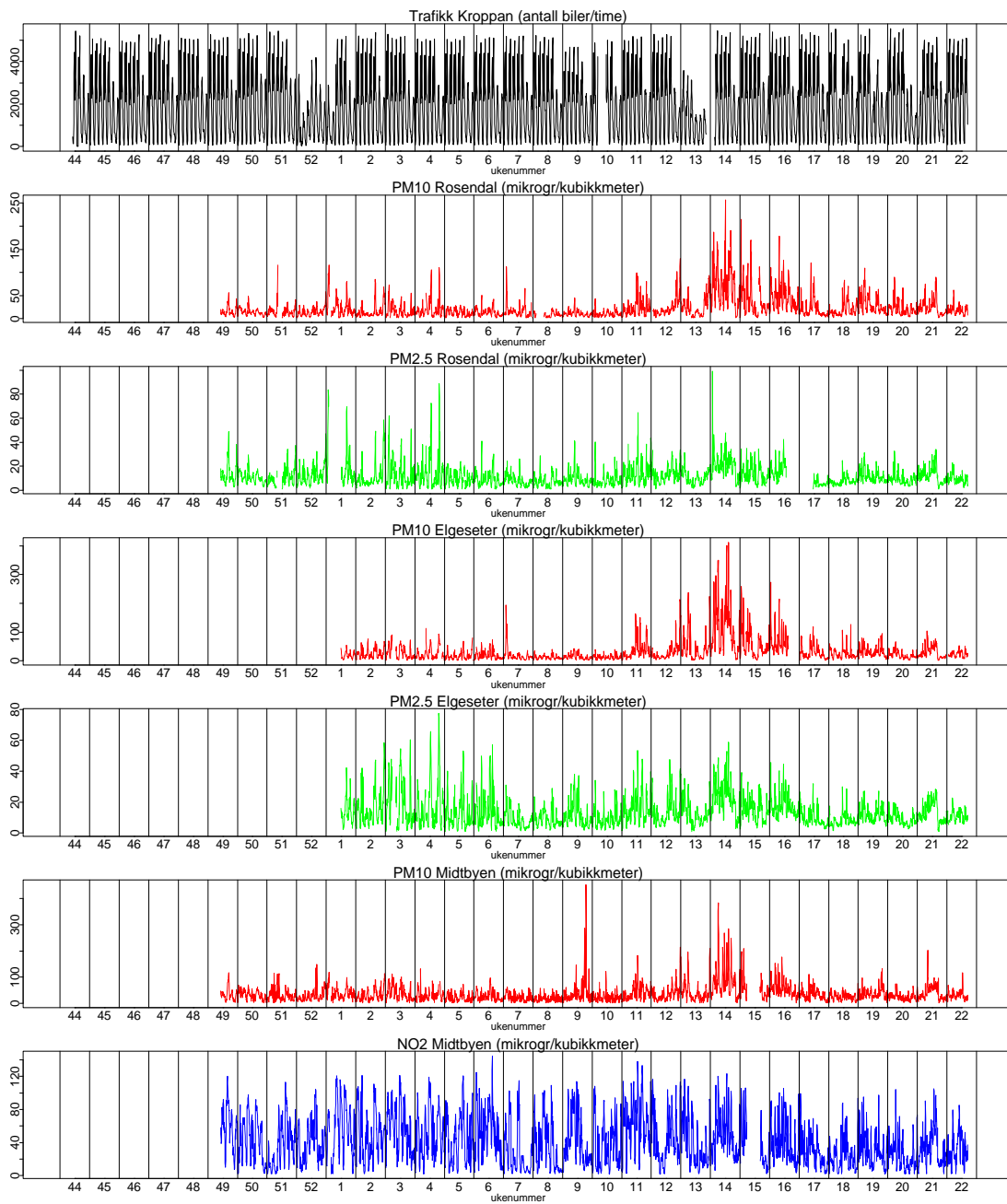
Figur 1: Trafikk- og luftforurensningsdata fra Manglerud og Løren i Oslo, fra uke 40 2001 til uke 18 2002.



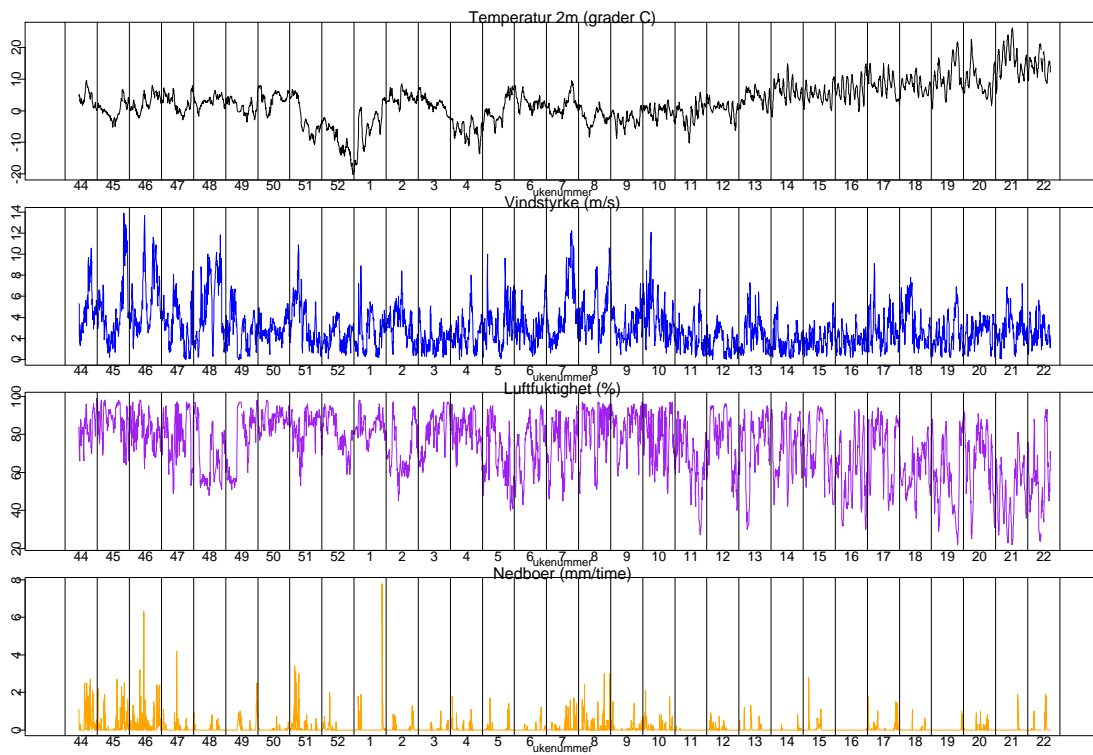
Figur 2: Trafikkdata fra Karihaugen og Wergelandsveien, og luftforurensningsdata fra Furuset, Alnabru og Nordahl Bruns gate i Oslo, fra uke 40 2001 til uke 18 2002.



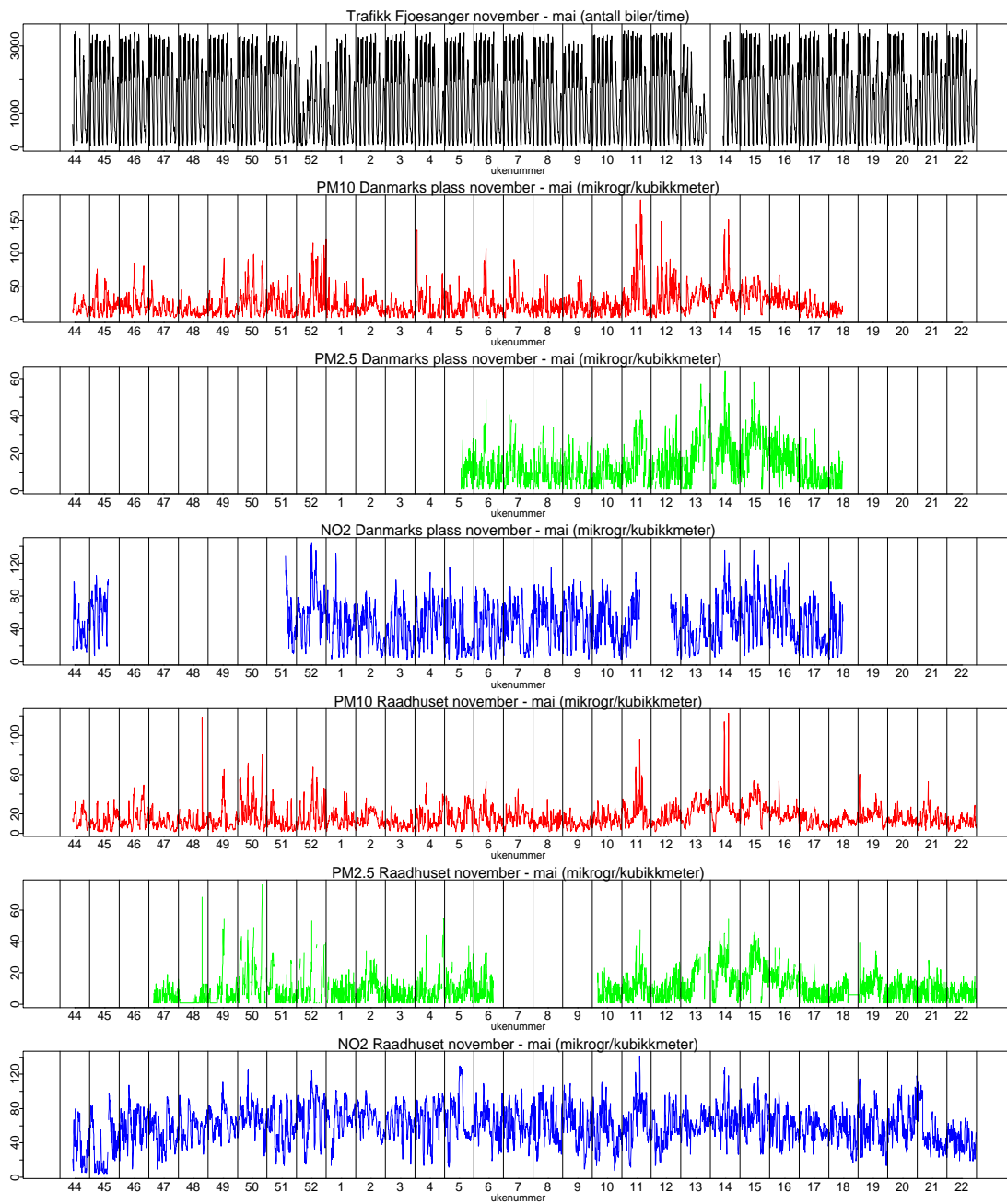
Figur 3: Meteorologiske data fra Oslo, fra uke 40 2001 til uke 18 2002.



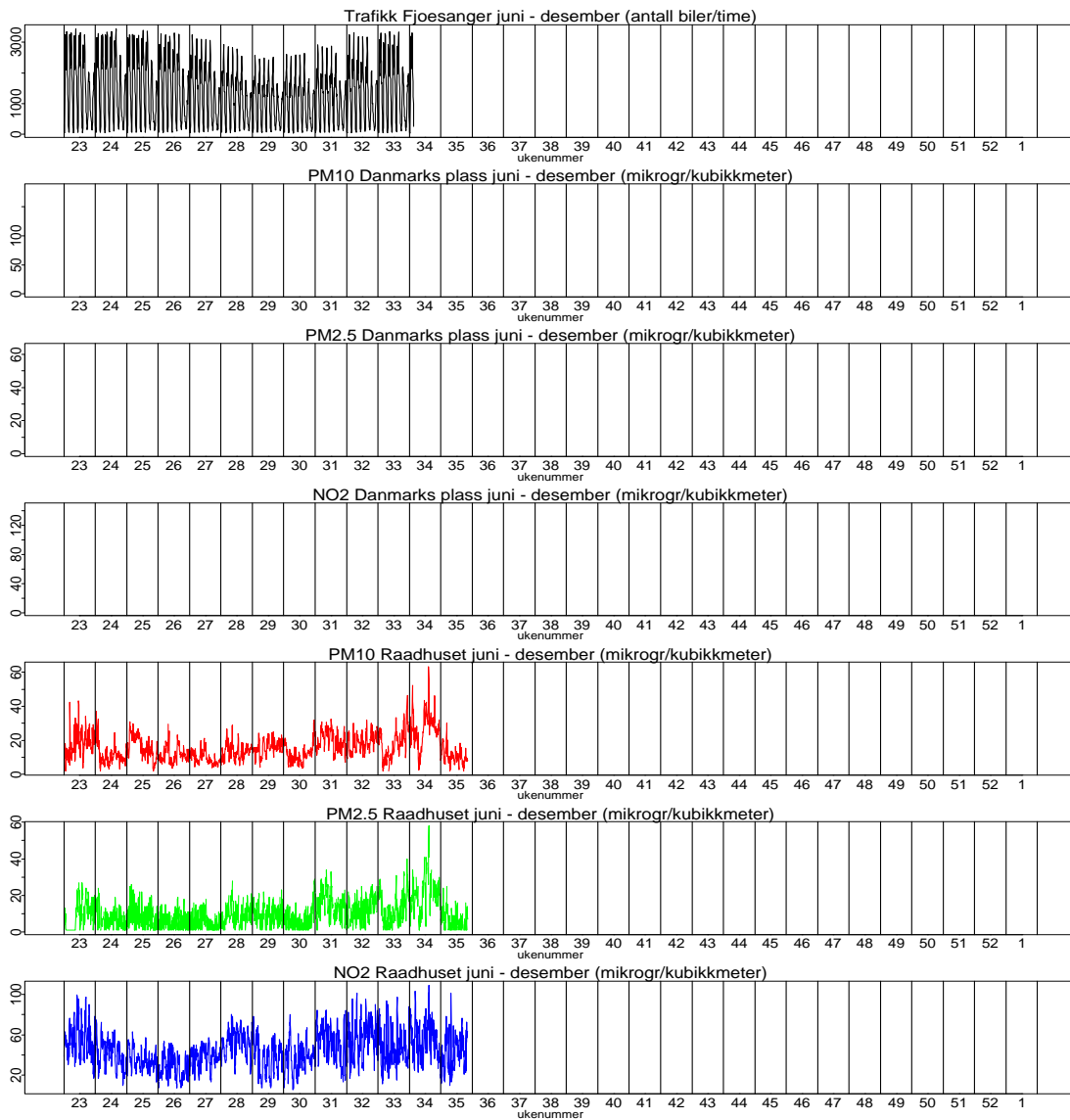
Figur 4: Trafikkdata fra Kroppan, og luftforurensningsdata fra Rosendal, Elgeseter og Midtbyen i Trondheim, fra uke 44 2001 til uke 22 2002.



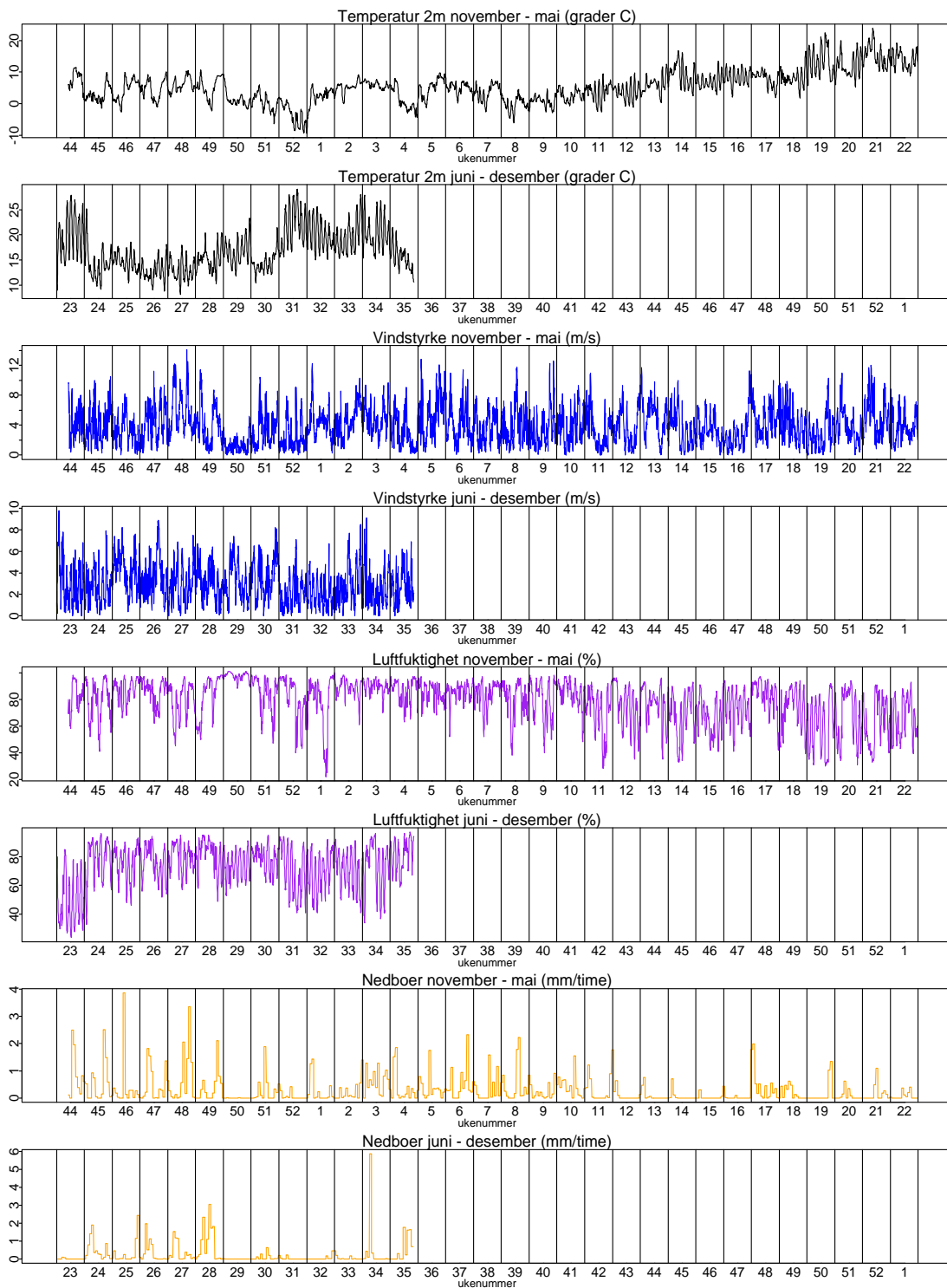
Figur 5: Meteorologiske data fra Trondheim, fra uke 44 2001 til uke 22 2002.



Figur 6: Trafikkdata fra Fjøsanger, og luftforurensningsdata fra Danmarks plass og Rådhuset i Bergen, fra uke 44 2001 til uke 22 2002 (november-mai).



Figur 7: Trafikkdata fra Fjøsanger, og luftforurensningsdata fra Danmarks plass og Rådhuset i Bergen, fra uke 23 2002 til uke 1 2003 (juni-desember).



Figur 8: Meteorologiske data fra Bergen, fra uke 44 2001 til uke 22 2002 (november-mai), og fra uke 23 2002 til uke 1 2003 (juni-desember).

3 Modell

Sammenhengen mellom hver av de tre luftforurensningsvariablene PM_{10} , $PM_{2.5}$ og NO_2 , og trafikk- og meteorologivariablene, modellerer vi ved hjelp av såkalte generaliserte additive modeller (GAM), slik som i prosjektet “Effekt av salting på svevestøv” (Kåresen et al 2001), med noen små modifikasjoner. Modellen for PM_{10} er

$$\begin{aligned} \log(PM_{10}) = & s_1(\text{trafikk}) + s_2(\text{temperatur2}) + s_3(\text{temperaturdiff.}) \quad (1) \\ & + s_4(\text{vindretning}) + s_5(\text{vindstyrke}) + s_6(\text{relativ fuktighet}) \\ & + a_7 \cdot \text{nedbør01} + s_8(\text{nedbør}) + s_9(\text{time}) + s_{10}(\text{dag}) + \epsilon, \end{aligned}$$

der funksjonene $s_i(\cdot)$ er ukjente, glatte ikke-parametriske funksjoner, a_7 er en ukjent koeffisient, og ϵ er den delen av variasjonen i $\log(PM_{10})$ som ikke kan forklares ved hjelp av modellen. De ukjente funksjonene og koeffisientene estimeres ut fra dataene, og er forskjellige for hver målestasjon.

Nedbør beskrives av to forklaringsvariable, “nedbør” og “nedbør01”. Forklaringsvariabelen “nedbør01” er en indikatorvariabel som er 1 når det er nedbør, og 0 ellers, mens “nedbør” rett og slett er den målte nedbøren. Målet med indikatorvariabelen er å tillate et sprang i effekten fra oppholdsvær til nedbør.

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 forklares av de andre forklaringsvariablene, som for eksempel trafikk. Den er ikke tolkbar i seg selv. Variabelen “dag” er antall dager etter 01.10.2001. Den er ment å skulle modellere variasjoner over tid 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

$$\begin{aligned} PM_{10} = & S_1(\text{trafikk}) \cdot S_2(\text{temperatur2}) \cdot S_3(\text{temperaturdifferanse}) \quad (2) \\ & \cdot S_4(\text{vindretning}) \cdot S_5(\text{vindstyrke}) \cdot S_6(\text{relativ fuktighet}) \\ & \cdot \exp(a_7 \cdot \text{nedbør01}) \cdot S_8(\text{nedbør}) \cdot S_9(\text{time}) \cdot S_{10}(\text{dag}) \cdot E, \end{aligned}$$

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

Modellen for PM_{10} i Trondheim og Bergen er helt tilsvarende, med unntak av forklaringsvariablene “temperaturdifferanse” og “vindretning”, som det ikke er data for, og dermed er utelatt. Videre er modellene for $PM_{2.5}$ og NO_2 er på nøyaktig samme form som den for PM_{10} .

4 Resultater

Vi har estimert modellene i kapittel 3 ut fra de tilgjengelige dataene presentert i kapittel 2. Tabell 4 viser hvor stor andel av variasjonen i PM_{10} , $PM_{2.5}$ eller NO_2 som forklares av de ulike modellene. Dette kalles forklaringsgrad eller R^2 i regresjonsanalyse. Furuset i Oslo er målestasjonen med høyest forklaringsgrad, mens Midtbyen i Trondheim og Rådhuset i Bergen har lavest forklaringsgrad. Det vil si at sammenhengen mellom luftforurensning og forklaringsvariablene er tydeligst på Furuset, og minst tydelig i Midtbyen og ved Rådhuset.

Målestasjon	PM_{10}	$PM_{2.5}$	NO_2
Manglerud	55	51	60
Løren	62	55	61
Furuset	68	62	72
Nordahl Bruns gt.	42	-	-
Alnabru	44	-	59
Rosendal	51	46	-
Elgeseter	59	51	-
Midtbyen	27	-	57
Danmarks plass	45	38	70
Rådhuset	33	24	43

Tabell 4: Forklaringsgrad i % (R^2) for de ulike modeller.

Resultatene fra modellene er vist i Figur 9 til 16, først med alle stedene fra hver enkelt by samlet, og deretter alle stedene sammen. Resultatene presenteres som relative effekter. Appendix A bringer noen flere detaljer fra analysen, og viser de estimerte effektene på log-skala for alle modellene, med usikkerhetsgrenser.

La oss starte med å se på resultatene fra Oslo, som er vist i Figur 9 og 10. Panelet øverst til venstre i Figur 9 viser hvordan konsentrasjonen av PM_{10} endres når trafikkvolumet endres. Dette er vist på en relativ skala, hvor PM_{10} -nivået er satt til 100 for et trafikkvolum på 1000 biler per time. Det er én kurve for hver målestasjon i Oslo. Langs x-aksen går kurvene fra minste til største observerte trafikkvolum per time. Kurven fra Løren strekker seg lengst mot høyre, fordi det er her det er observert størst trafikkvolum. Figuren betyr at når trafikken ved Løren øker fra 1000 til 7000 biler per time, og andre faktorer (meteorologi, tid på året og tid på døgnet) er konstante, så øker konsentrasjonen av PM_{10} fra 100 til litt over 200, det vil si den fordobles. De to andre panelene øverst i Figur 9 er tilsvarende, men for $PM_{2.5}$ og NO_2 .

De øvrige panelene i Figur 9 og 10 er tilsvarende, men for andre forklaringsvari-

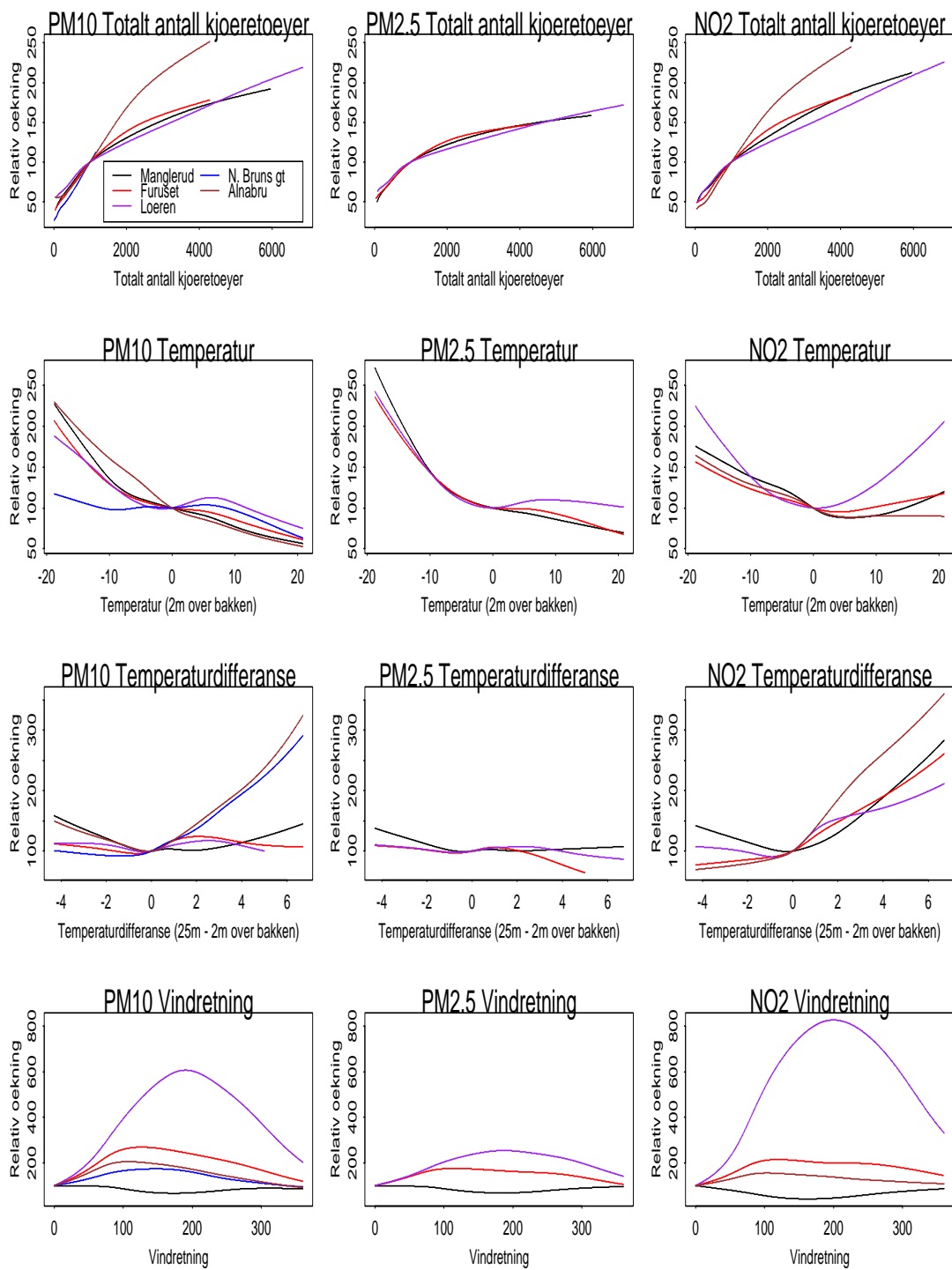
able enn trafikkvolum. Det som vises er $100 \cdot S(x)/S(x^{ref})$, hvor S er funksjonene fra den multiplikative modellen (2), x er forklaringsvariabelen, og x^{ref} er en referanseverdi, hvor konsentrasjonen er satt til 100. (Et unntak er nedbør, hvor også leddet $\exp(a_7 \cdot nedbør01)$ er med.) Referanseverdien er som nevnt 1000 for trafikkvolum. Den er videre 0 for temperatur, temperaturdifferanse, vindretning, vindstyrke og nedbør, mens den er 70 for luftfuktighet. Når det gjelder variabelen dag, er 1.oktober referanseverdien, slik at konsentrasjonen 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 A.

Figur 11 og 12 viser resultatene for Trondheim, mens Figur 13 og 14 viser resultatene for Bergen. Her er panelene for temperaturdifferanse og vindretning tomme. Det skyldes at disse forklaringsvariablene ikke er med i modellene, fordi det ikke er noe data for dem (se kapittel 2).

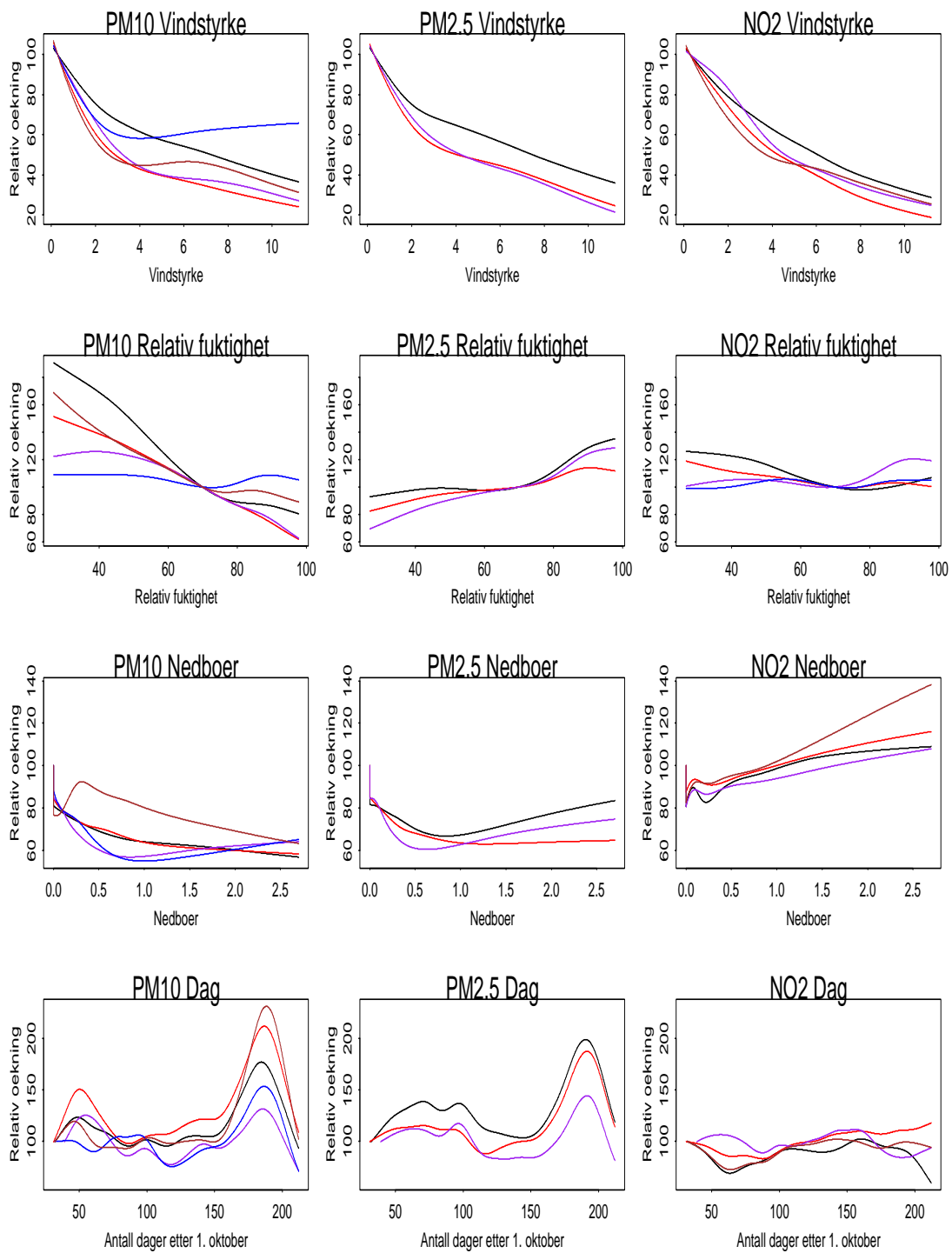
Til slutt ser vi på Figur 15 og 16, som viser resultatene for alle byene samtidig. Fargekodene i fellesplottene er de samme som i plottene for hver enkelt by. Når vi bedømmer resultatene, må vi være klar over at de estimerte kurvene har en viss usikkerhet, som ikke er angitt her. Usikkerheten er imidlertid vist i figurene i Appendix A, og viser at det er de kurvene for nedbør og temperaturdifferanse som er de mest usikre. Vi må også være klar over 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 ser vi at økende trafikkvolum samsvarer med økende luftforurensning. Imidlertid er det stor variasjon i effekten, særlig er effekten av økende trafikkvolum mindre ved Danmarks plass enn ved de andre målestasjonene.
- Temperatur: Figurene gir et relativt klart bilde så lenge det er minusgrader, da er det mer forurensning ved lave temperaturer. Ved plussgrader er det ikke mulig å trekke noen felles konklusjon. Som vi bemerket i kapittel 2, så er det i Trondheim og Bergen hø konsentrasjon av PM i perioder relativ høy temperatur. Samtidig er det i noen av disse periodene lite nedbør. Vi kan ikke se bort i fra at modellen ikke i tilstrekkelig grad klarer å skille effekten av temperatur fra effekten av nedbør. Se forøvrig kommentarer om dette under oppsummering av effekten av nedbør.
- Temperaturdifferanse: For NO_2 er det tydelig at en høy positiv temperaturdifferanse samsvarer med høye konsentrasjoner. Det virker rimelig, da en positiv temperaturdifferanse betyr at det er varmere 25 meter over bakken enn 2 meter over bakken, slik at lufta blir liggende ved bakken. For PM_{10} er det ikke samme tydelige fellestrekk, og når det gjelder $\text{PM}_{2.5}$ er det kun tre kurver, som er litt lite grunnlag til å trekke generelle konklusjoner.

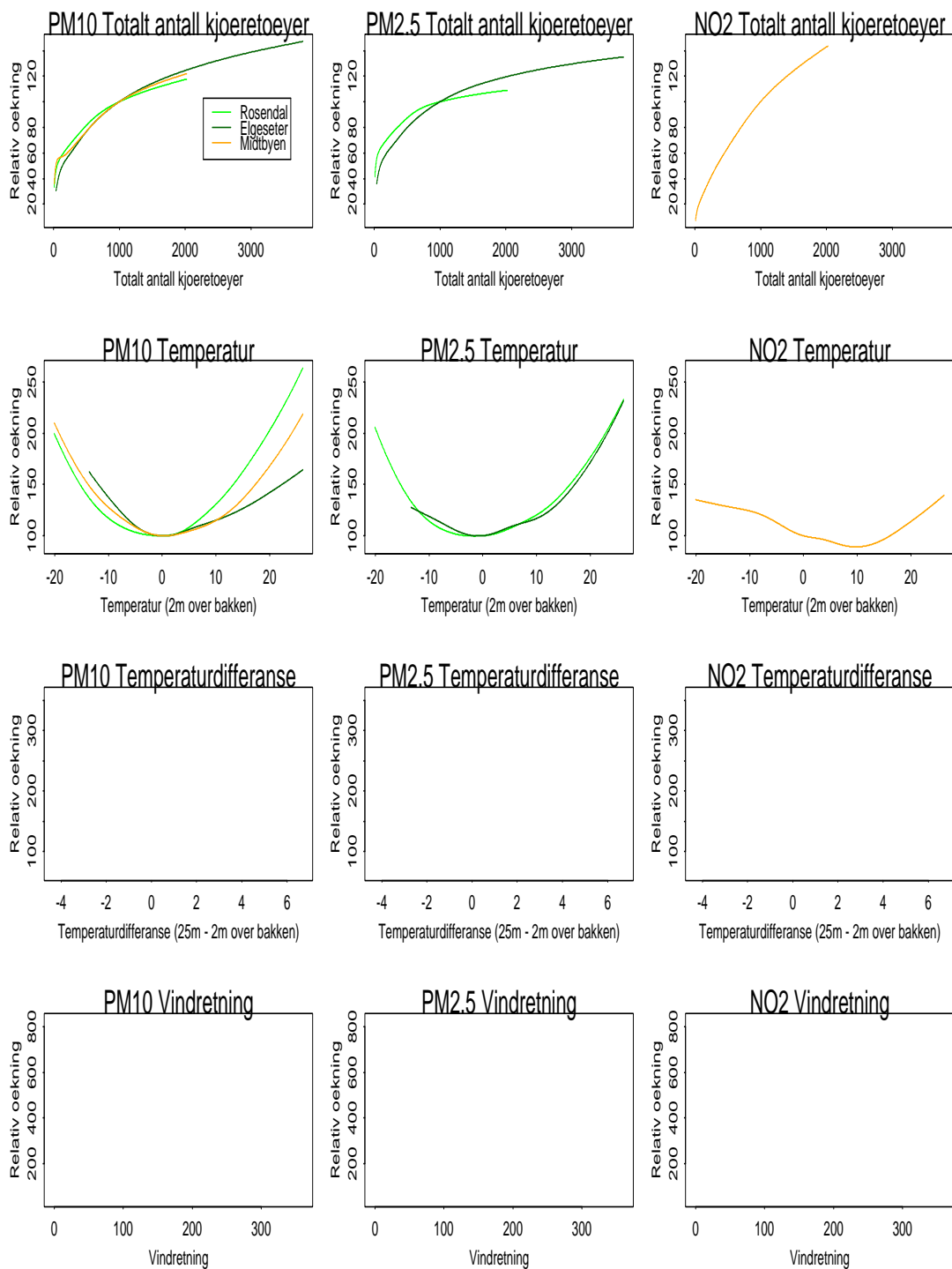
- Vindretning: Vindretning kan ha stor betydning, noe som virker rimelig. Kurven er svært forskjellige, hvilket også er rimelig, da effekten av denne variabelen er lokal. En målestasjon kan kan for eksempel ligge på nordsida av en hovedvei, og en annen på sørsida, slik at det som er gunstig vindretning for en stasjon er ugunstig for en annen.
- Vindstyrke: Økende vindstyrke samsvarer med minkende luftforurensning. Dette er som forventet. Men dette er rett ved hovedveiene. Luftforurensningen må jo blåse til et annet sted. Man kan derfor stille seg spørsmålet om sammenhengen mellom vind og luftforurensning vil være helt forskjellig i et boligstrøk.
- Relativ fuktighet: Når det gjelder PM_{10} samsvarer høy luftfuktighet med lavere luftforurensning. For $PM_{2.5}$ er bildet mer uklart, men det ser i alle fall ut som om luftfuktighet er mindre viktig, og kanskje har motsatt effekt. For NO_2 er det liten sammenheng med luftfuktighet.
- Nedbør: Om vi ser bort fra Trondheim, ser det ut til at konsentrasjon av PM_{10} og $PM_{2.5}$ minker når det kommer nedbør, muligens for å øke noe når det blir mye nedbør. For NO_2 er det derimot en tendens til det motsatte. Men Resultatene for Trondheim er helt forskjellig, og gjør at det er vanskelig å trekke noen generell konklusjon. En mulig årsak til de avvikende resultatene fra Trondheim, kan være at vindretning ikke er med i modellene for Trondheim. Det kan ha gitt en systematisk skjevhet i estimatene for andre variable, siden visse værtyper typisk vil opptre ved bestemte vindretninger. En annen mulighet, i alle fall når det gjelder PM, kan være at effekten av nedbør blandes sammen med effekten av temperatur, da det er en tendens til at det er lite nedbør i perioder med høy temperatur. Merk at i modellene er luftforurensning kun relatert til nedbør i samme time. Det kan tenkes at akkumulert nedbør, for eksempel over sist uke, vil hen mer entydig sammenheng med luftforeurensning. Dette kan prøves ut i en eventuell videreføring av det foreliggende arbeidet.
- Dag: Denne variabelen viser hvordan nivået på luftforurensningen i perioder kan ligge over eller under hva som kan predikeres av de øvrige ledd i modellen. Vi ser at de fleste kurvene for PM_{10} og $PM_{2.5}$ har en topp omkring dag 180 (månedsskiftet mars/april 2002). Dette tyder på at det i denne perioden har vært et fenomen felles for de tre byene som ikke er fanget opp av den øvrige del av modellen.



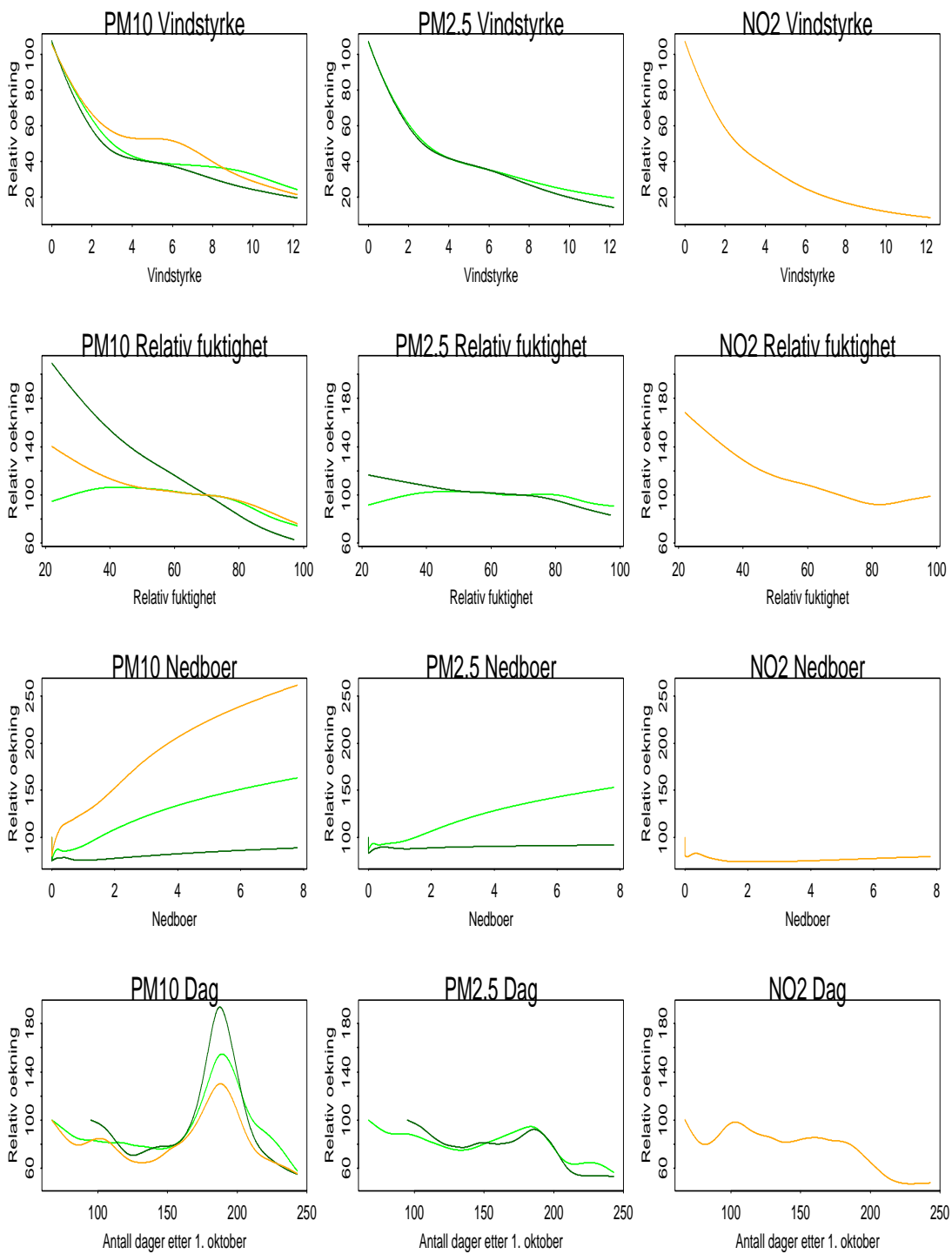
Figur 9: Resultater for Oslo.



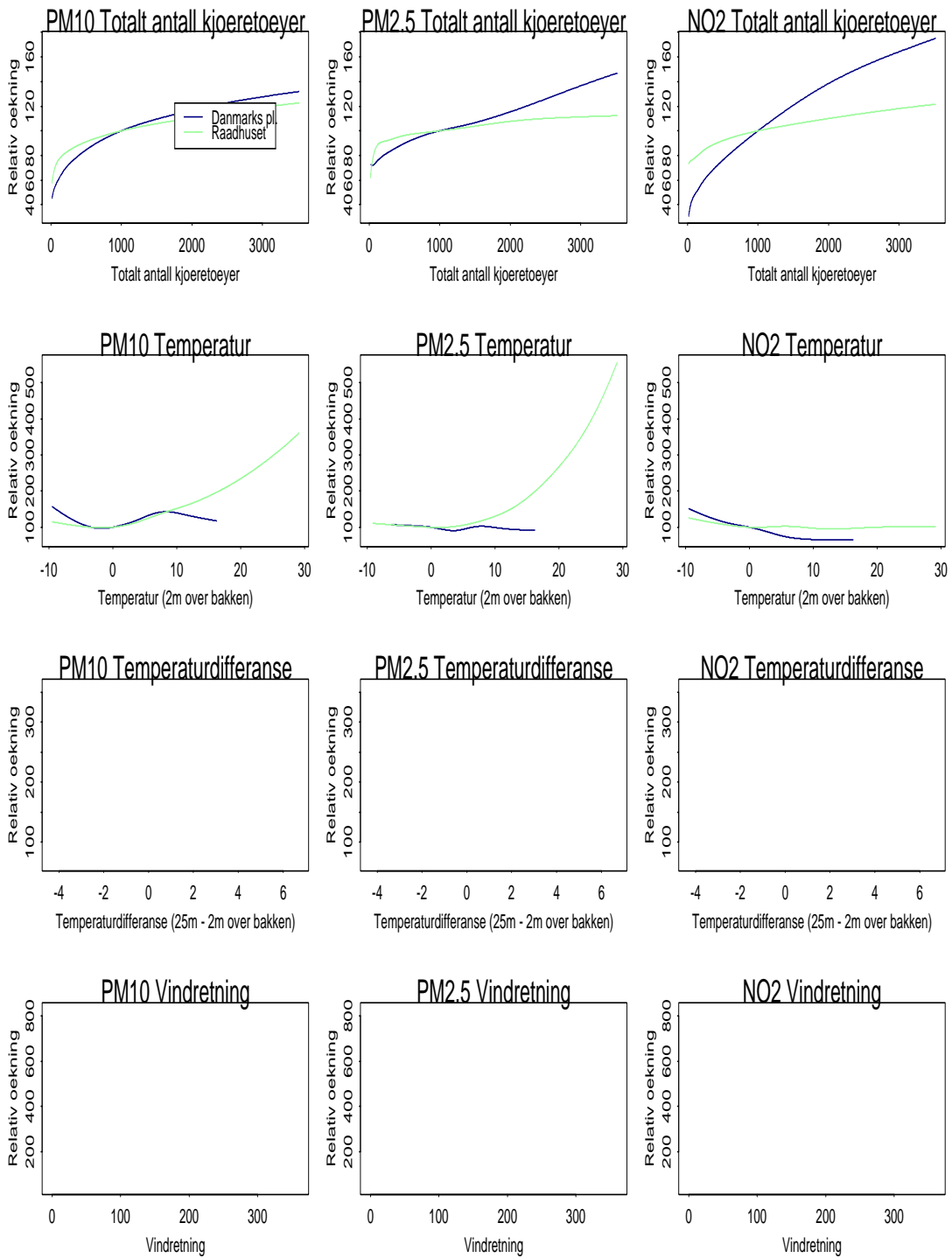
Figur 10: Resultater for Oslo (fortsettelse).



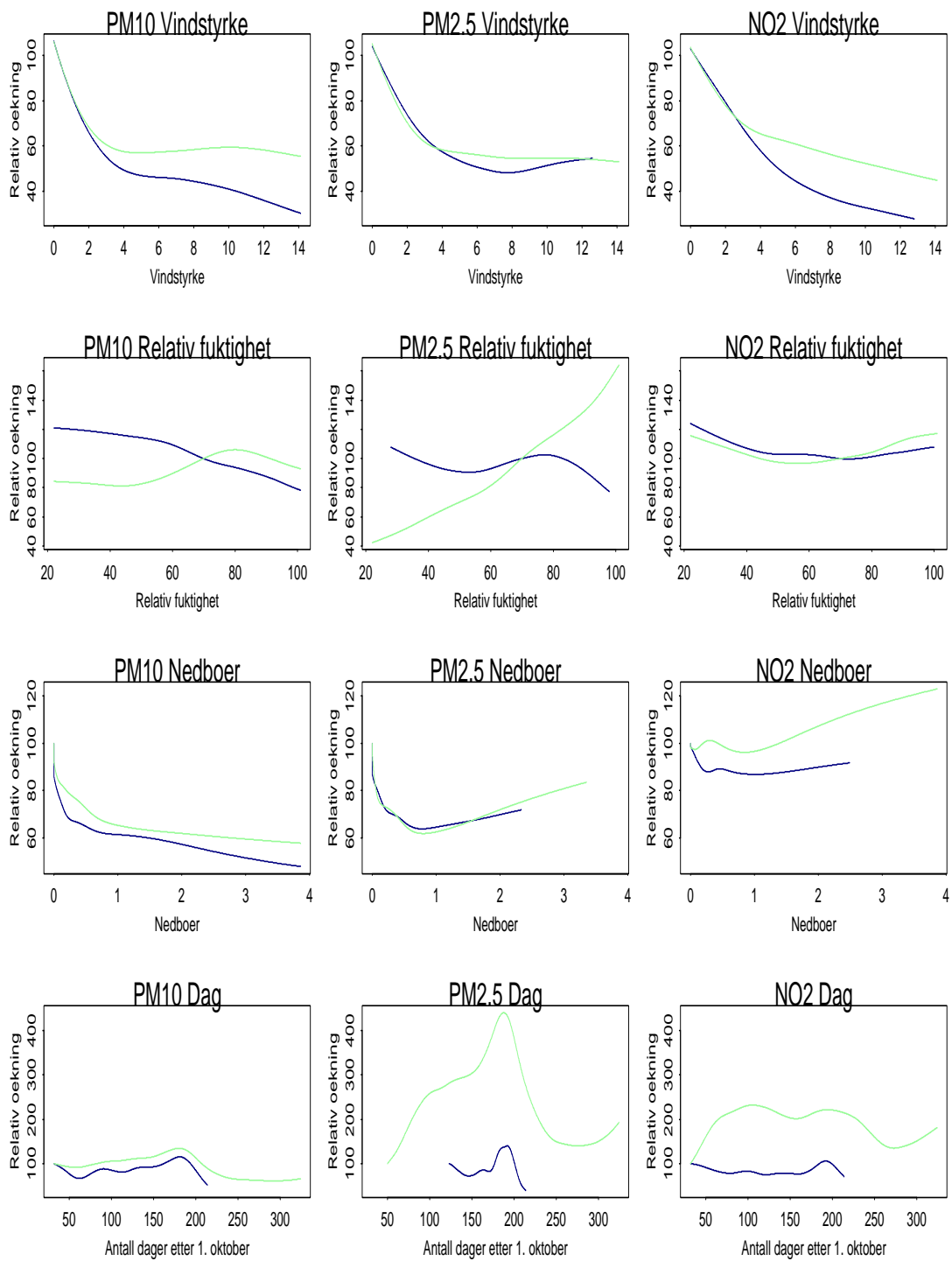
Figur 11: Resultater for Trondheim.



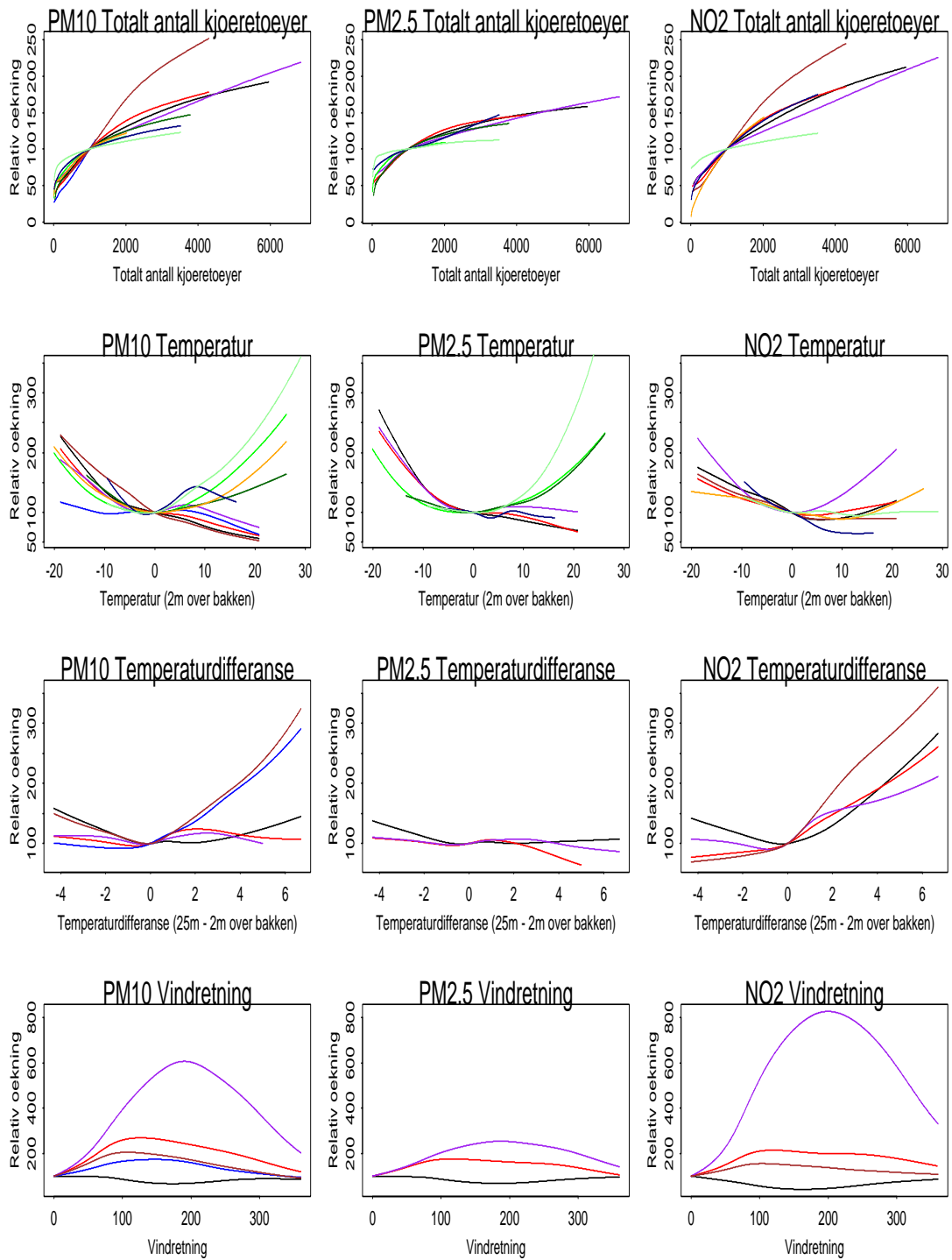
Figur 12: Resultater for Trondheim (fortsettelse).



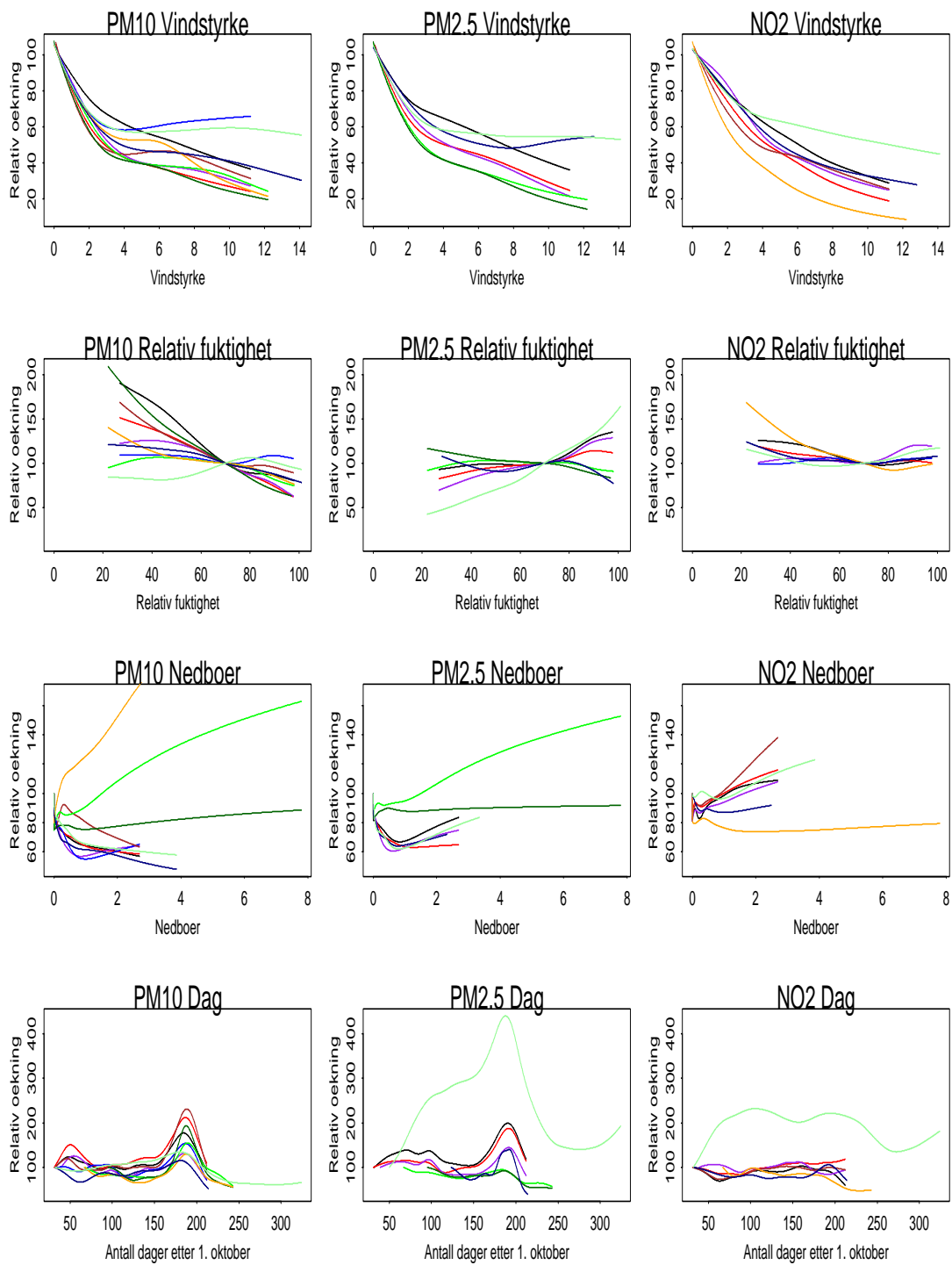
Figur 13: Resultater for Bergen.



Figur 14: Resultater for Bergen (fortsettelse).



Figur 15: Resultater for Oslo, Trondheim og Bergen.



Figur 16: Resultater for Oslo, Trondheim og Bergen (fortsettelse).

5 Videre arbeid

En rekke forbedringer og utvidelser av det foreliggende arbeidet kan være aktuelle, og vi oppsummerer noen muligheter her:

- Etter hvert som flere data blir tilgjengelig for lengre tidsperioder, kan modellene reestimeres, slik at den statistiske usikkerheten bli mindre.
- Lengre dataperioder gir også rom for å sjekke om sammenhengene som modelleres er de samme hele året, eller om variablene har ulik effekt fra sommer til vinter.
- Det vil være nyttig å estimere modeller for flere byer og flere målestasjoner. Det vil gi sikrere konklusjoner angående hvilke resultater som kan generaliseres, og hvilke som er steds-spesifikke.
- Ikke minst vil det være nyttig å estimere slike modeller for målestasjoner som ikke ligger rett ved en hovedvei, men i stedet i et boligområde eller på en skole.
- Vindretning er en viktig forklaringsvariabel, samtidig som denne samvarierer med en del andre forklaringsvariable. Om denne variabelen utelates, kan det gi systematiske feil i de estimerte effektene for de andre variablene. Det vil derfor være gunstig om målinger av vindretning kan framskaffes for Trondheim og Bergen.
- Nedbør bør kanskje inngå i modellene som akkumulert nedbør over en viss periode, og ikke som nå kun som umiddelbar nedbør i samme time.
- Når det gjelder PM_{10} og $PM_{2.5}$ er det trolig av stor betydning om veibanen er tørr eller ikke. Vi har hatt tilgjengelig denne type målinger for ett sted i Oslo, men har ikke hatt tid til å studere effekten av denne variabelen innenfor rammene av dette prosjektet. Det vil dermed være aktuelt å inkludere en slik variabel i en eventuell videreføring av prosjektet.

Referanser

KÅRESEN, KJETIL OG ALDRIN, MAGNE (2001). Effekt av salting på trafikkgenerert svevestøv; foreløbig statistisk analyse. Notat, Norsk Regnesentral.

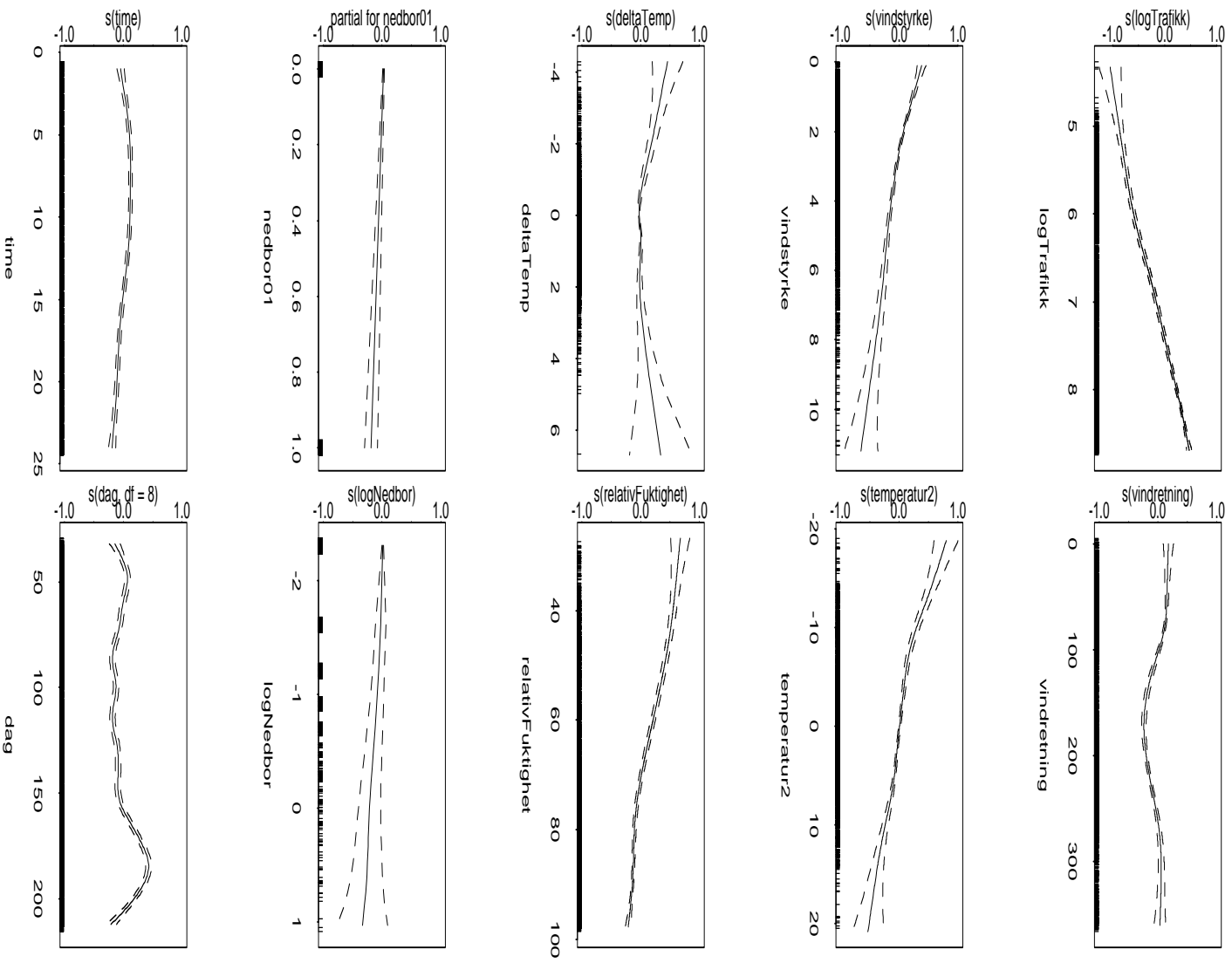
A Detaljer og figurer fra GAM-analysen

I GAM-analysen har forklaringsvariablene “trafikk” og “nedbør” fra modellene i kapittel 3 strengt tatt ikke blitt modellert direkte, slik vi skisserte i modell (1). Trafikken er modellert gjennom $\log(\text{trafikk})$, og nedbør gjennom $\log(\text{nedbør} + 0.1)$. 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. For trafikk oppstår ikke dette problemet da trafikken aldri er 0 i dataene vi har til rådighet. I figurene under er effekten av trafikk og nedbør plottet mot de ovennevnte transformasjonene.

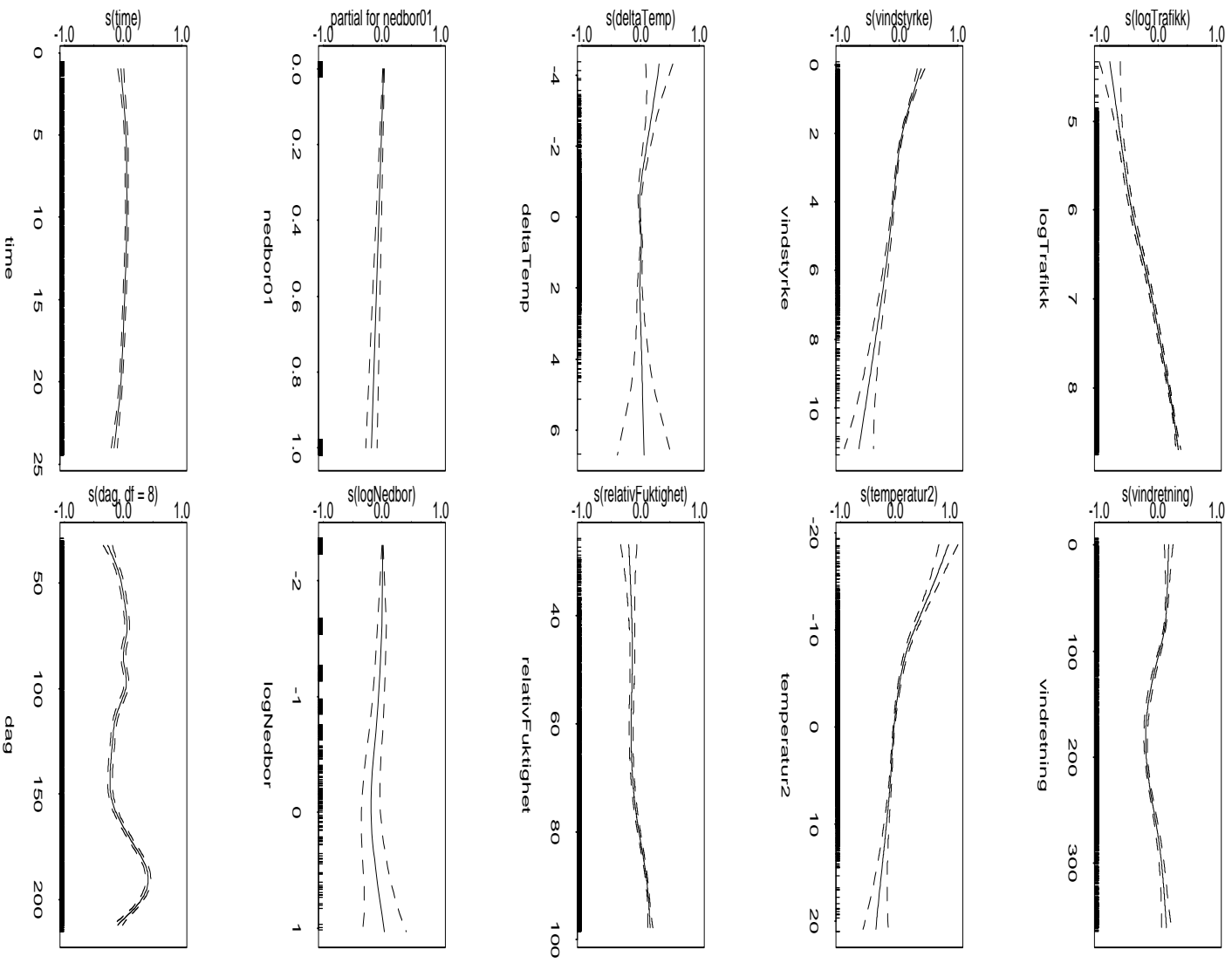
Figurene nedenfor viser de estimerte effektene fra GAM-analysen (heltrukken linje), med 95%-konfidensbånd (stiplede linjer). Disse er vist på log-skala (fra modell 1), det vil si $s(x)$ mot x , hvor x er en (eventuelt transformert) forklaringsvariabel. Konfidensbåndet angir usikkerheten i den estimerte kurven, slik at når de øvre og nedre stiplede kurvene er langt fra hverandre, er det stor usikkerhet i estimatet. I Figur 17 er således effekten av vindstyrke mest usikker for stor vindstyrke.

Noe vi så langt ikke har nevnt er at residualene ϵ fra modell 1) typisk har en klar positiv autokorrelasjon. Det fører til at usikkerheten blir underestimert, det vil si at den reelle usikkerheten er større enn den som vises i figurene.

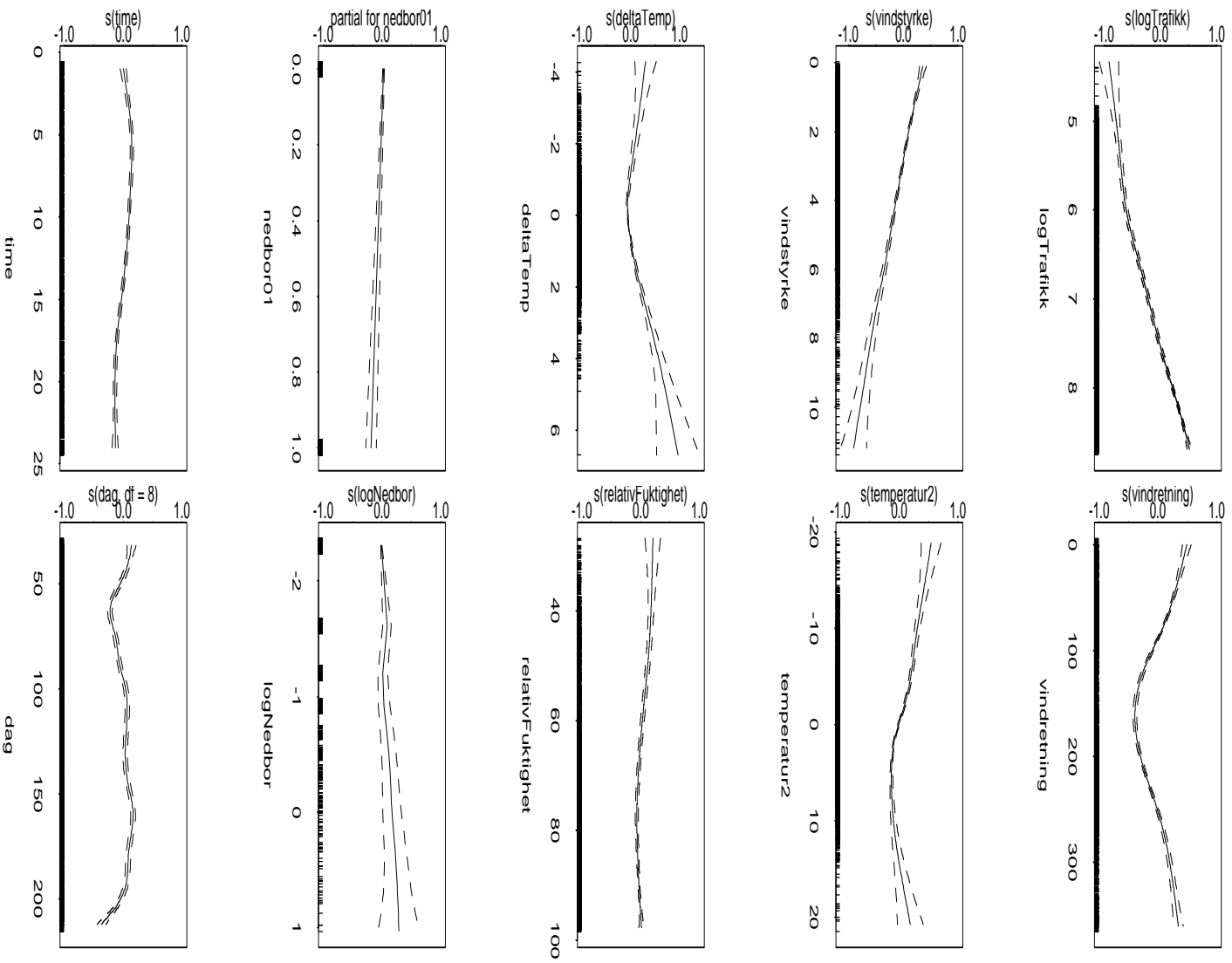
Vi ser at forklaringsvariabelen “time” generelt har lite effekt. Det tyder på at de andre forklaringsvariablene fanger opp mesteparten av døgnvariasjonen i konsentrasjonene av svevestøv og NO_2 .



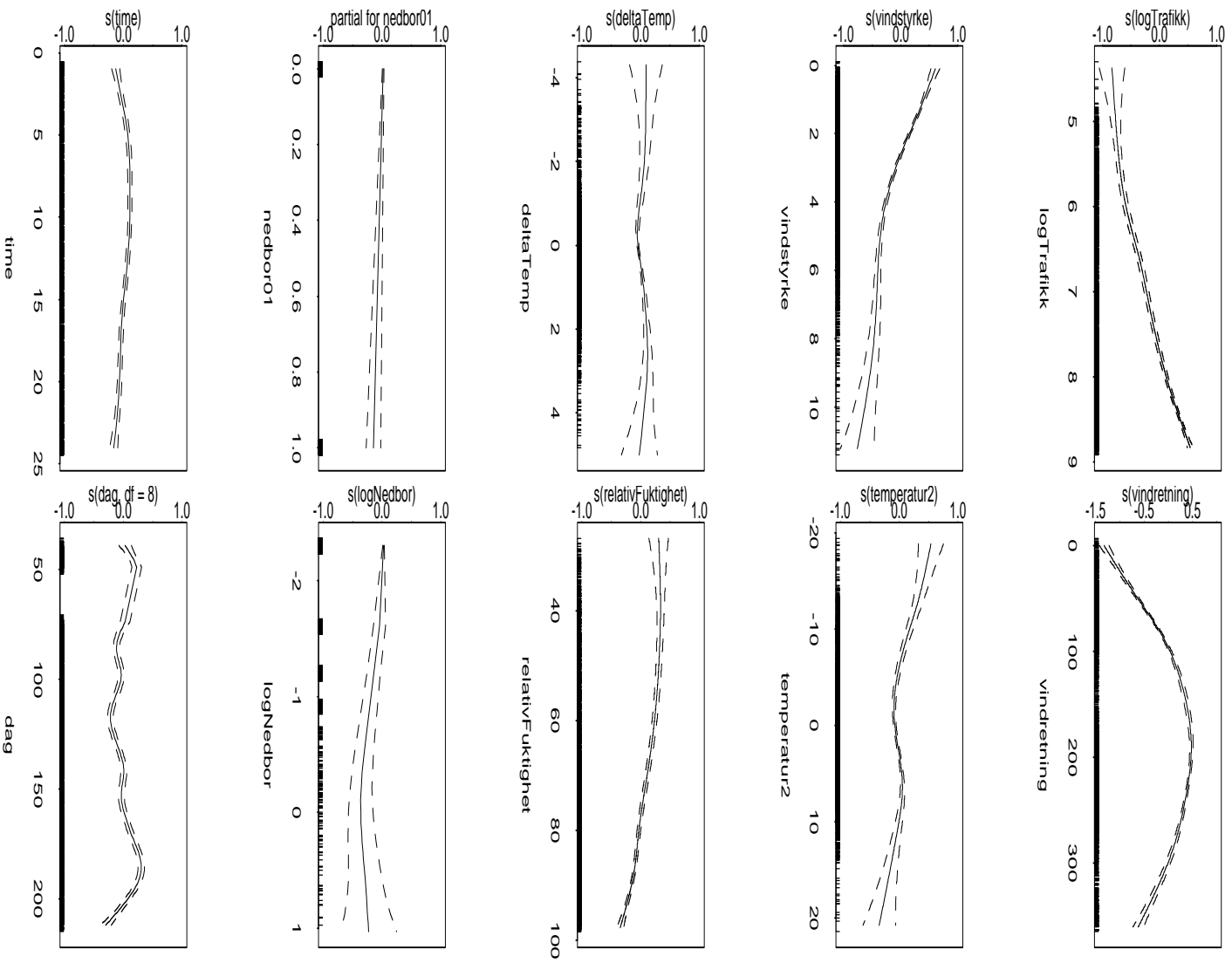
Figur 17: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM_{10} på Manglerud i Oslo.



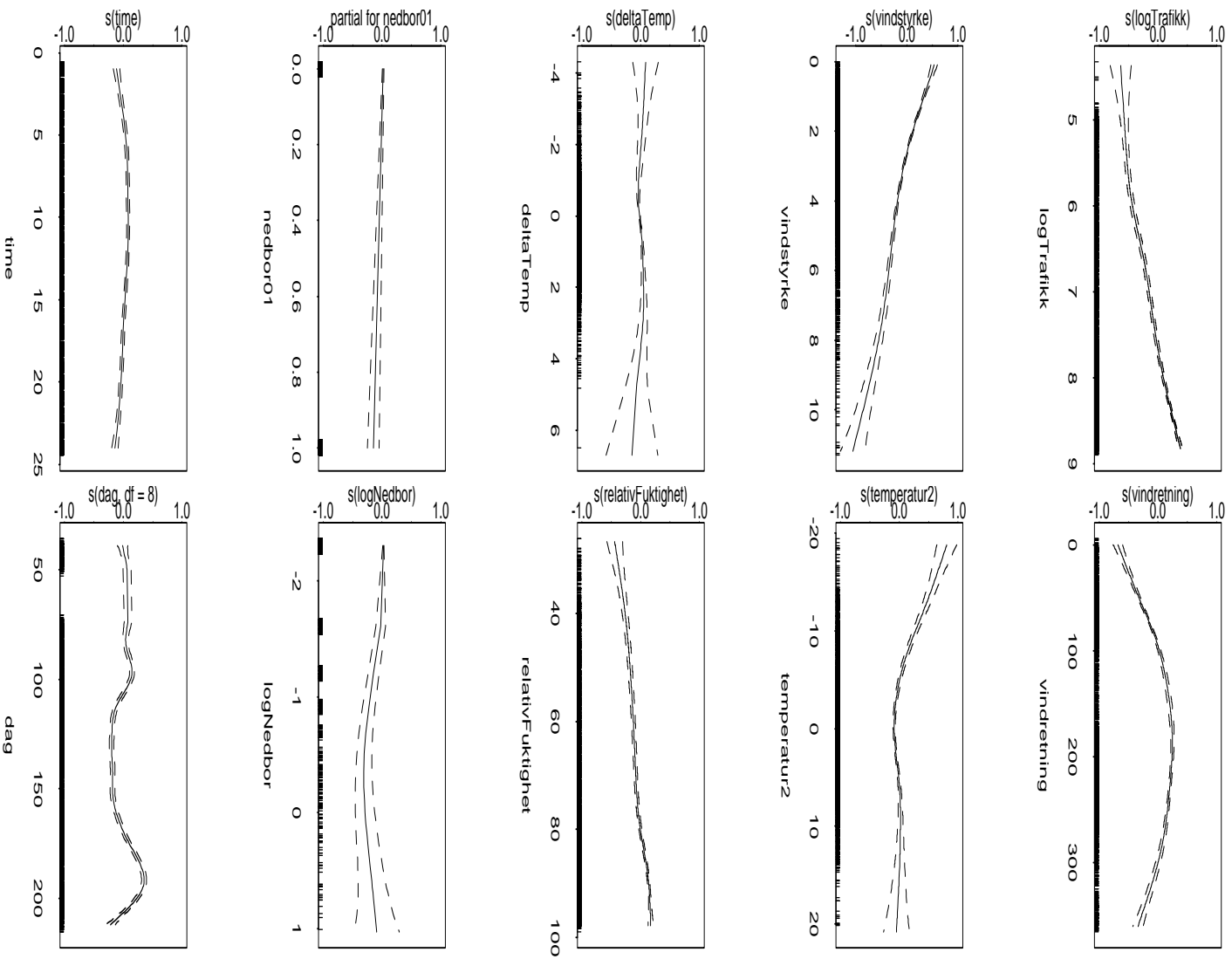
Figur 18: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM_{2.5} på Manglerud i Oslo.



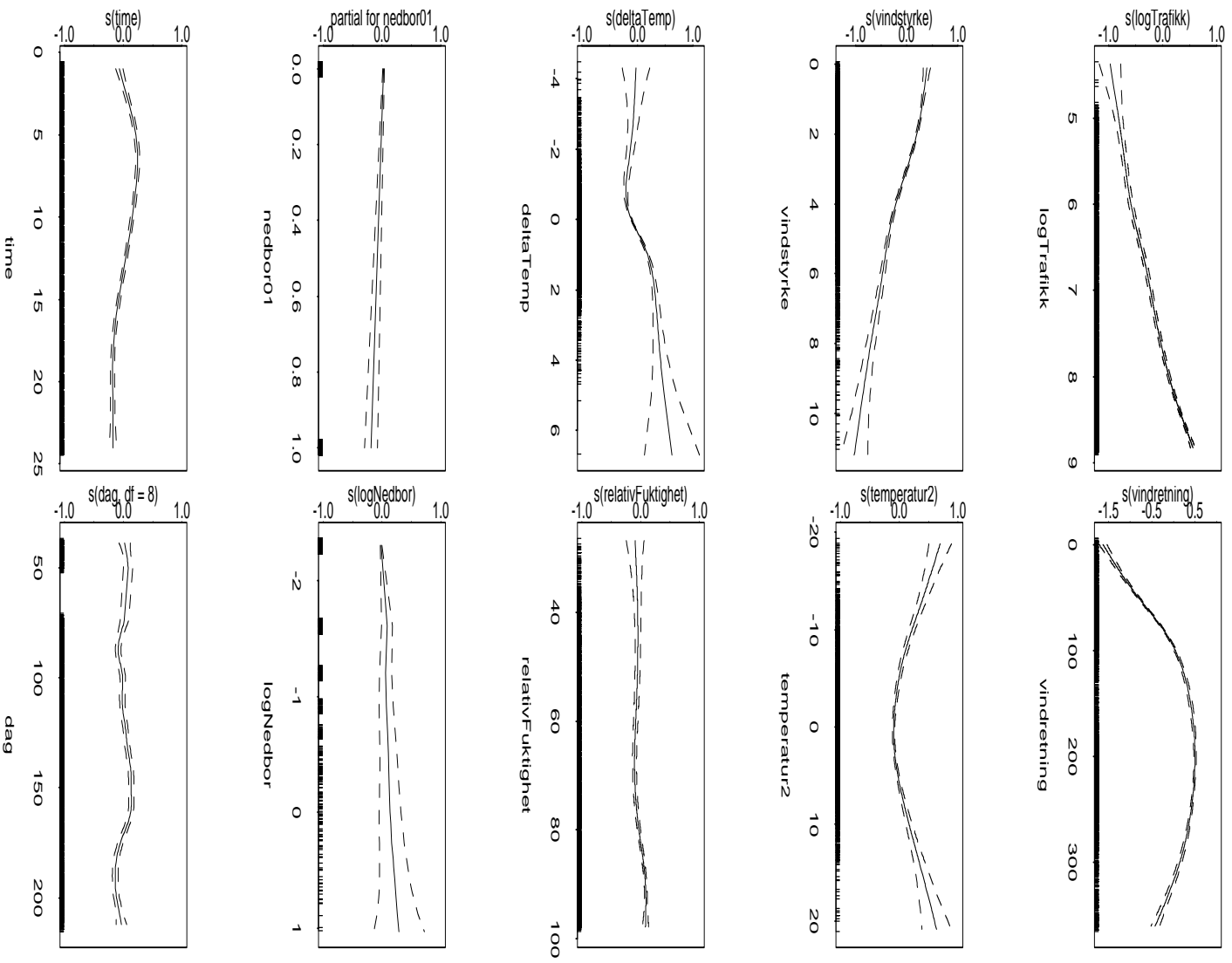
Figur 19: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for NO₂ på Manglerud i Oslo.



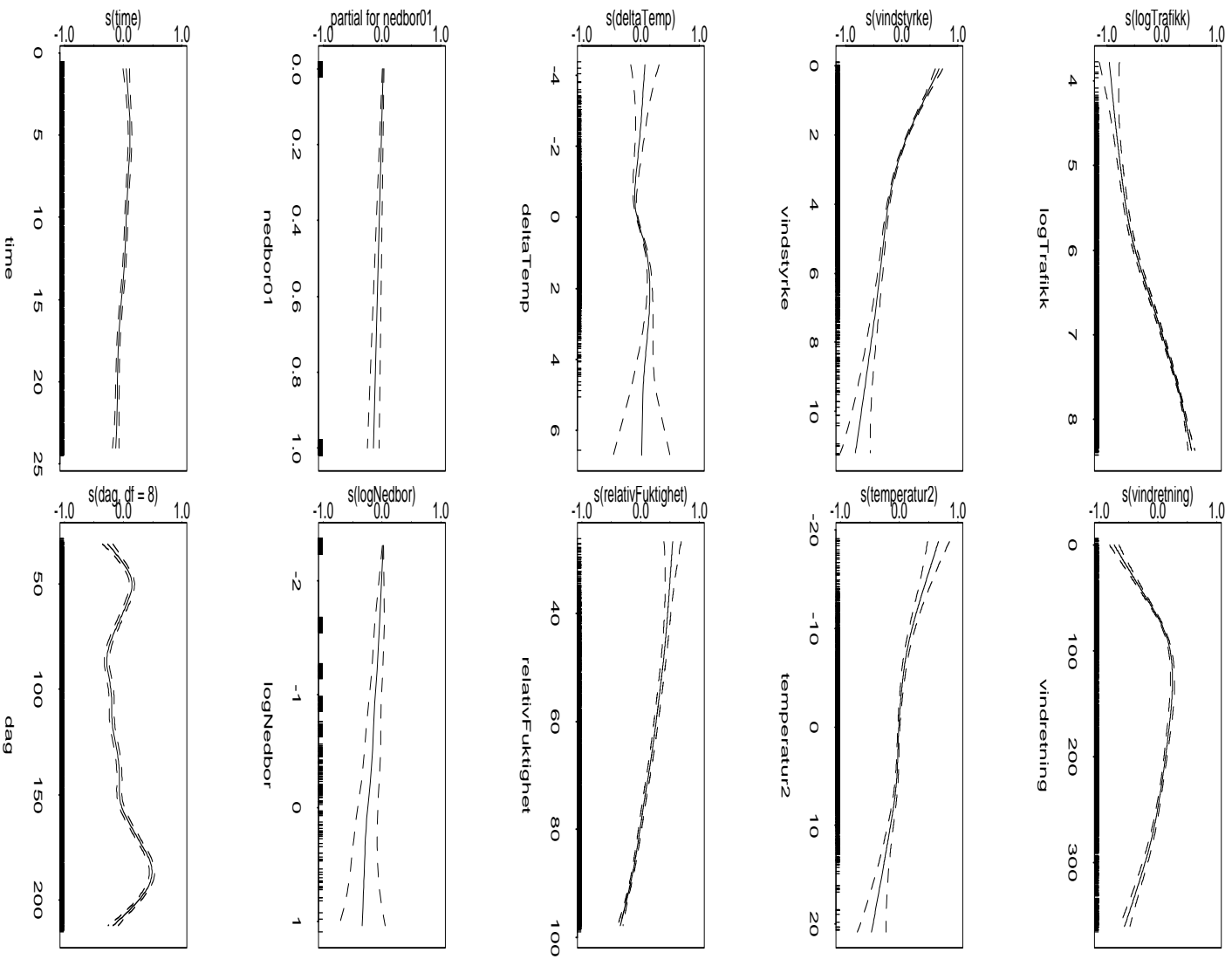
Figur 20: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM_{10} på Løren i Oslo.



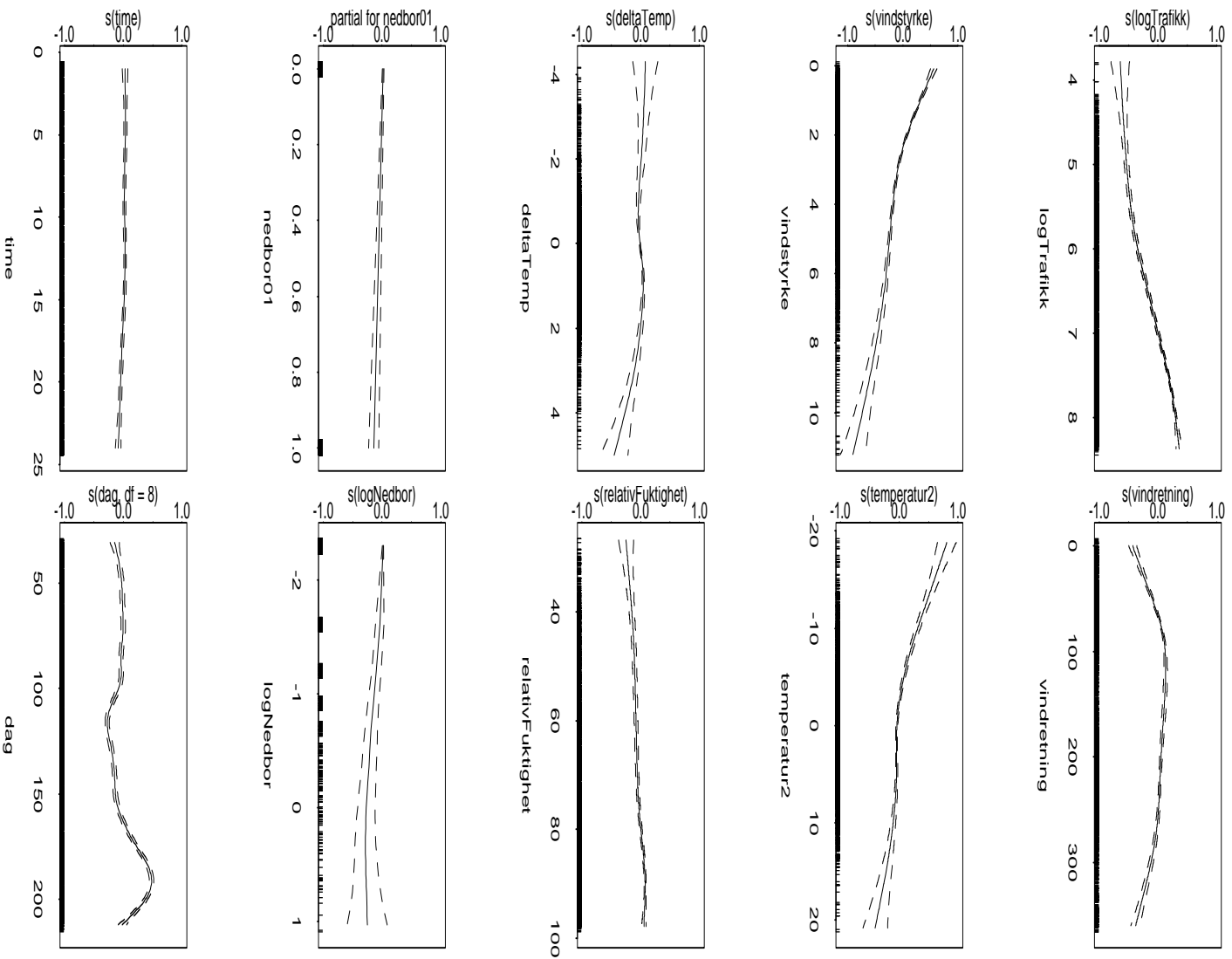
Figur 21: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM_{2.5} på Løren i Oslo.



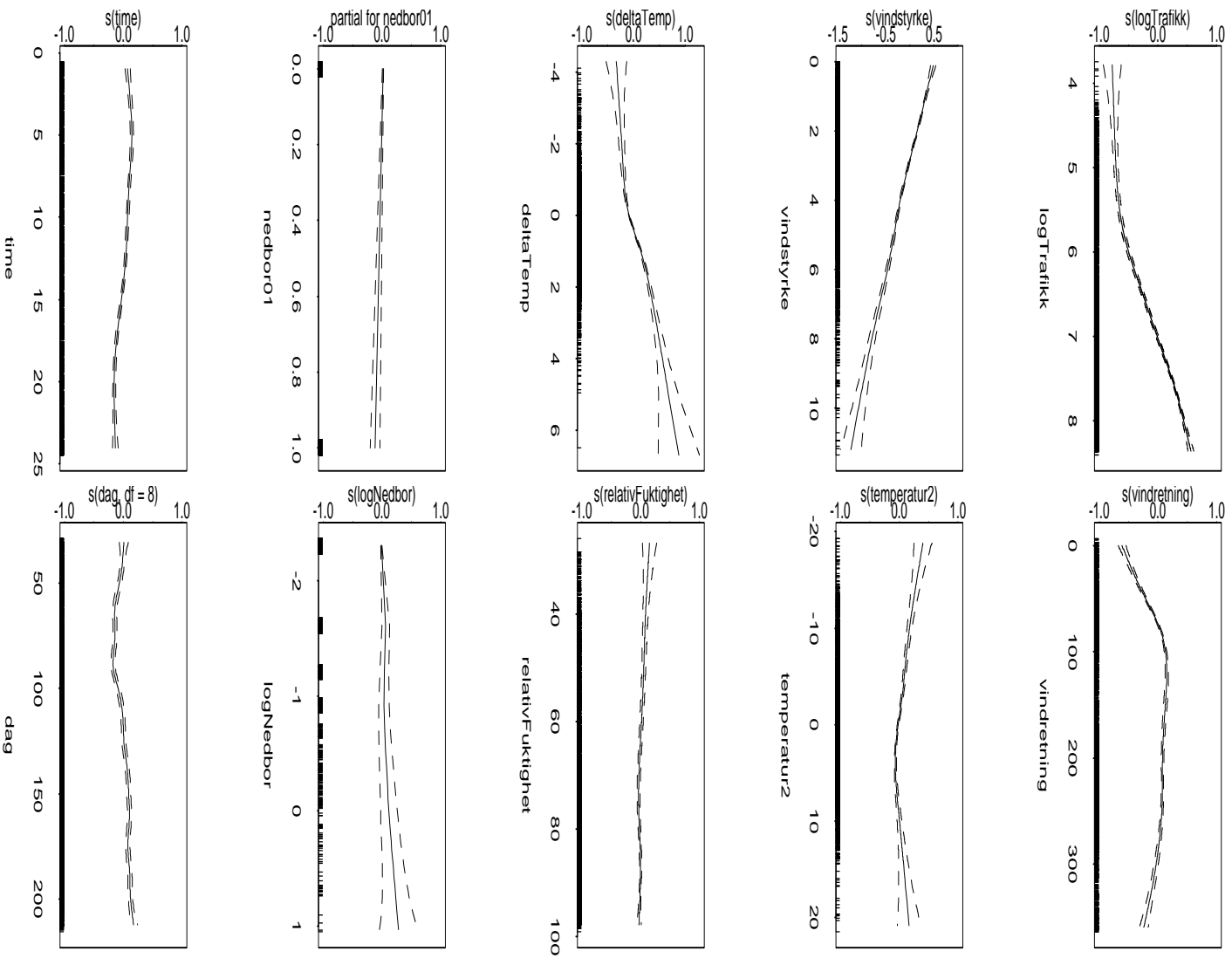
Figur 22: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for NO₂ på Løren i Oslo.



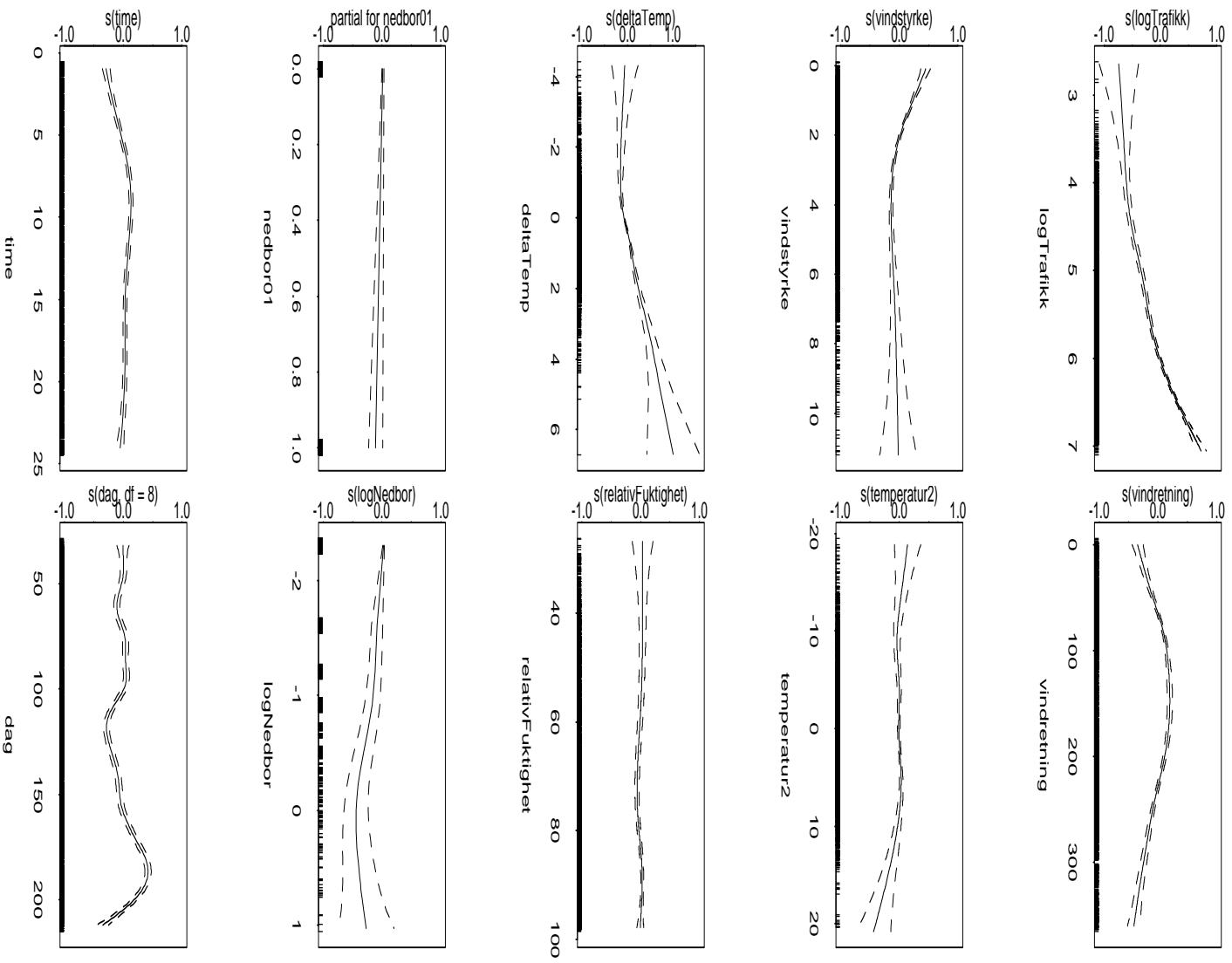
Figur 23: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM_{10} på Furuset i Oslo.



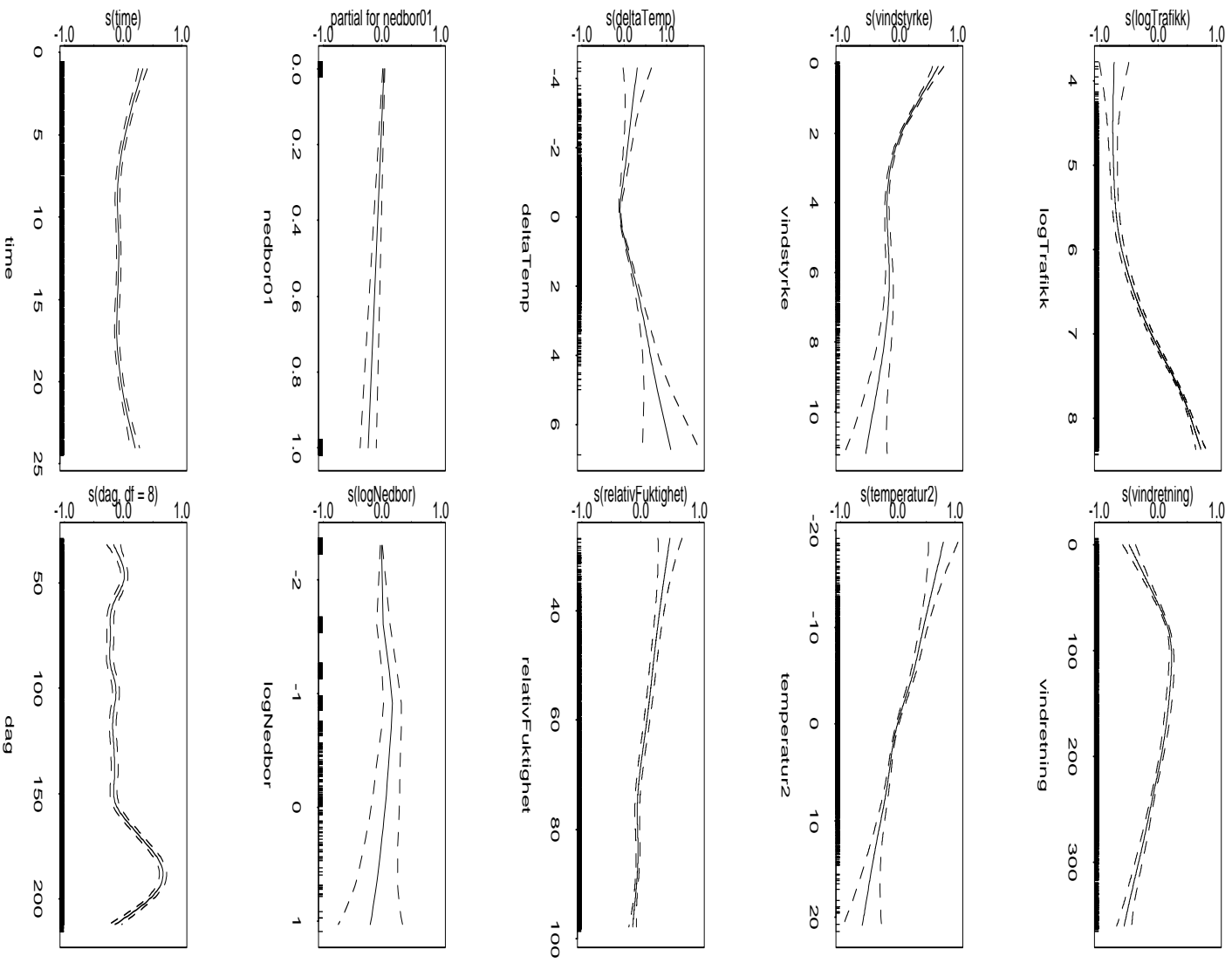
Figur 24: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for $\text{PM}_{2.5}$ på Furuset i Oslo.



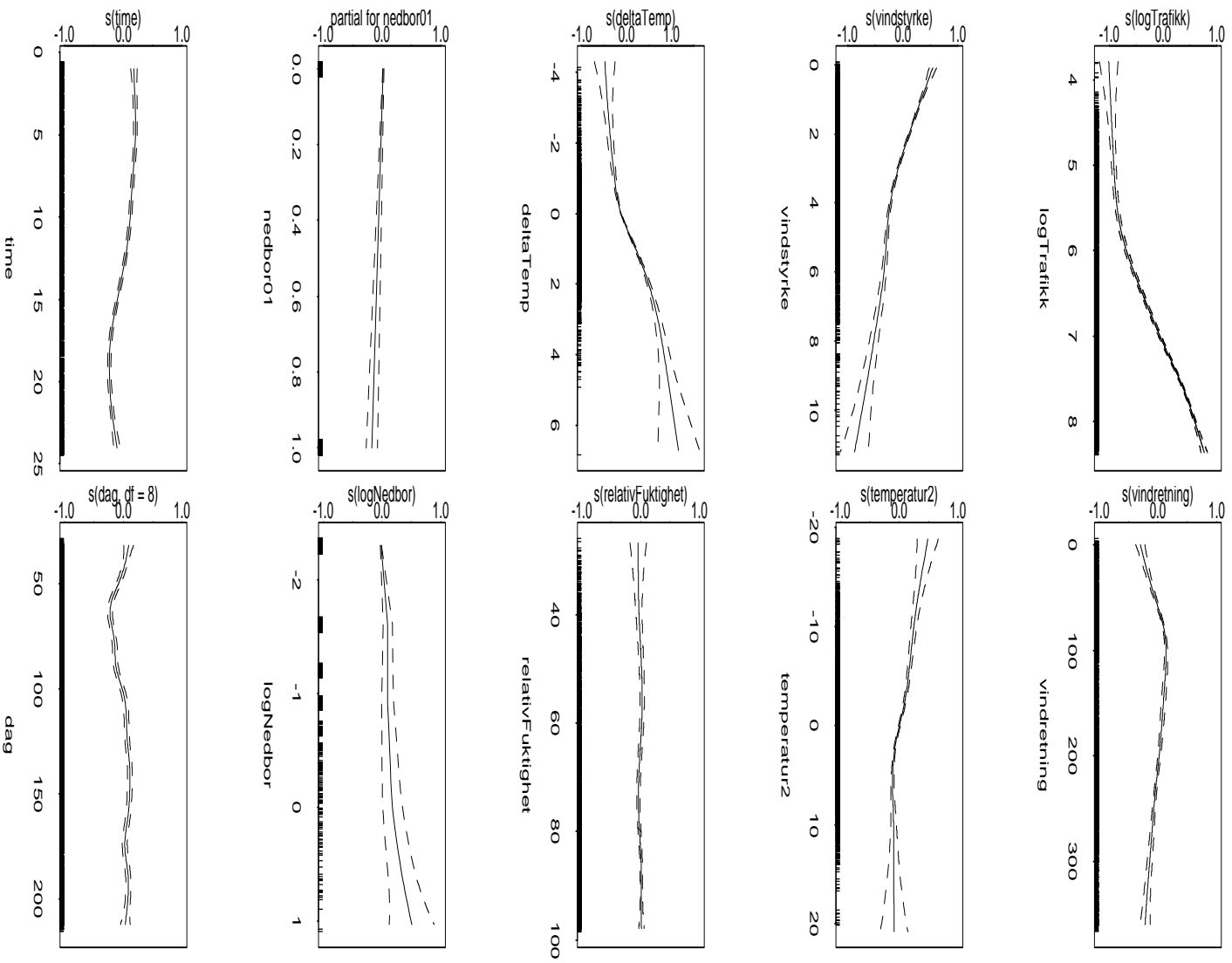
Figur 25: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for NO_2 på Furuset i Oslo.



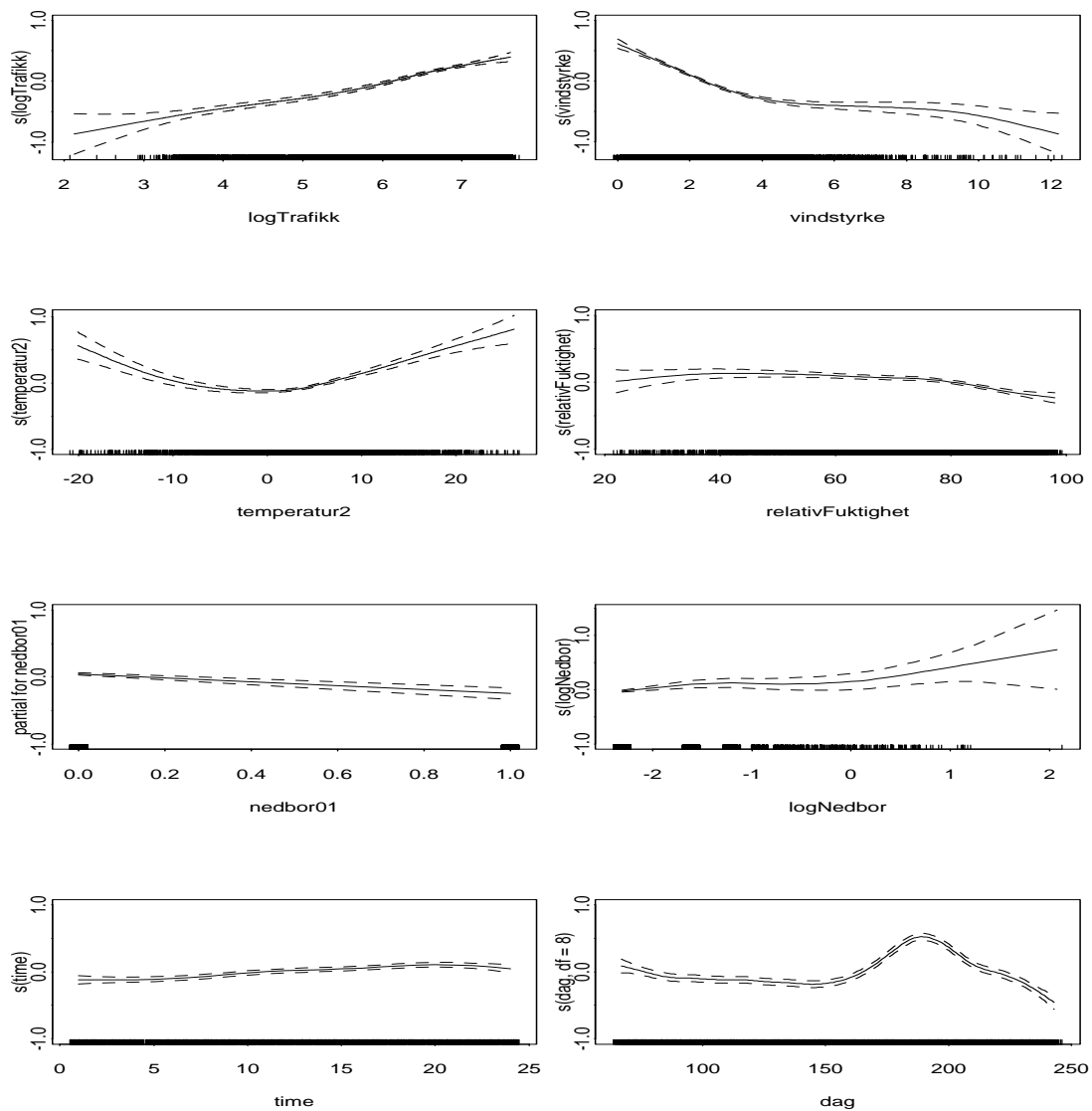
Figur 26: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM_{10} på Nordahl Bruns gate i Oslo.



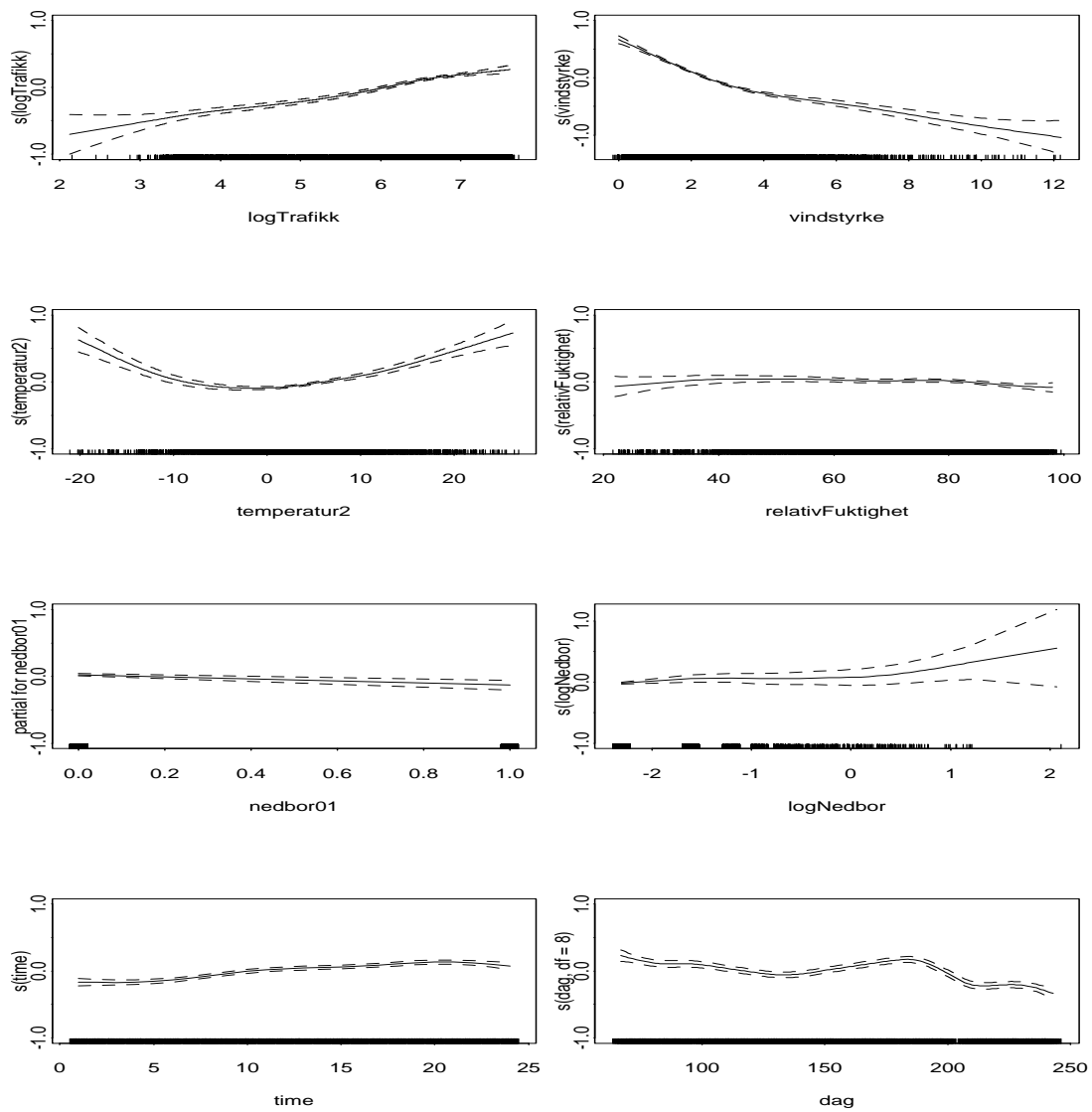
Figur 27: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM₁₀ på Ahnabru i Oslo.



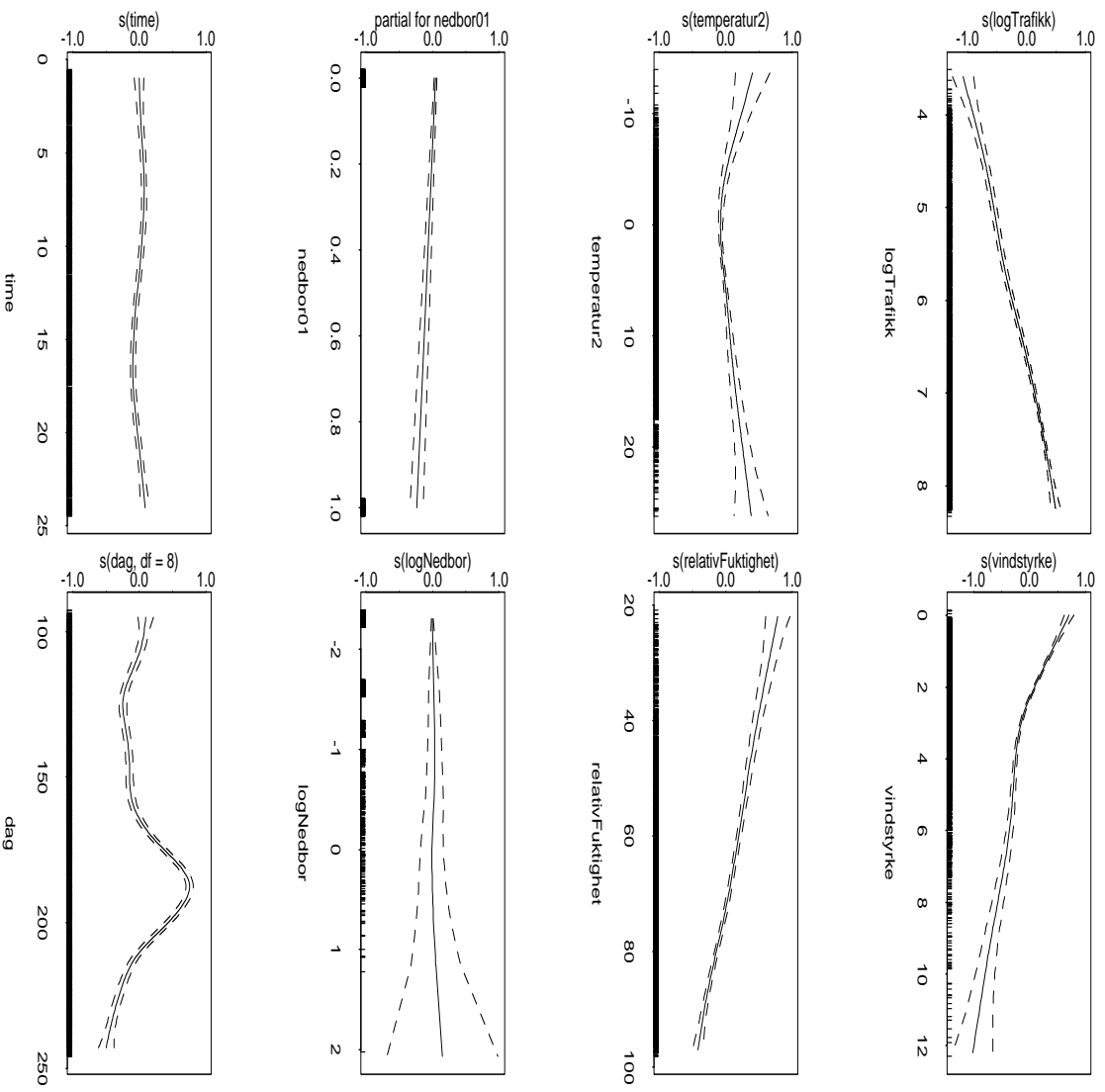
Figur 28: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for NO_2 på Alnabru i Oslo.



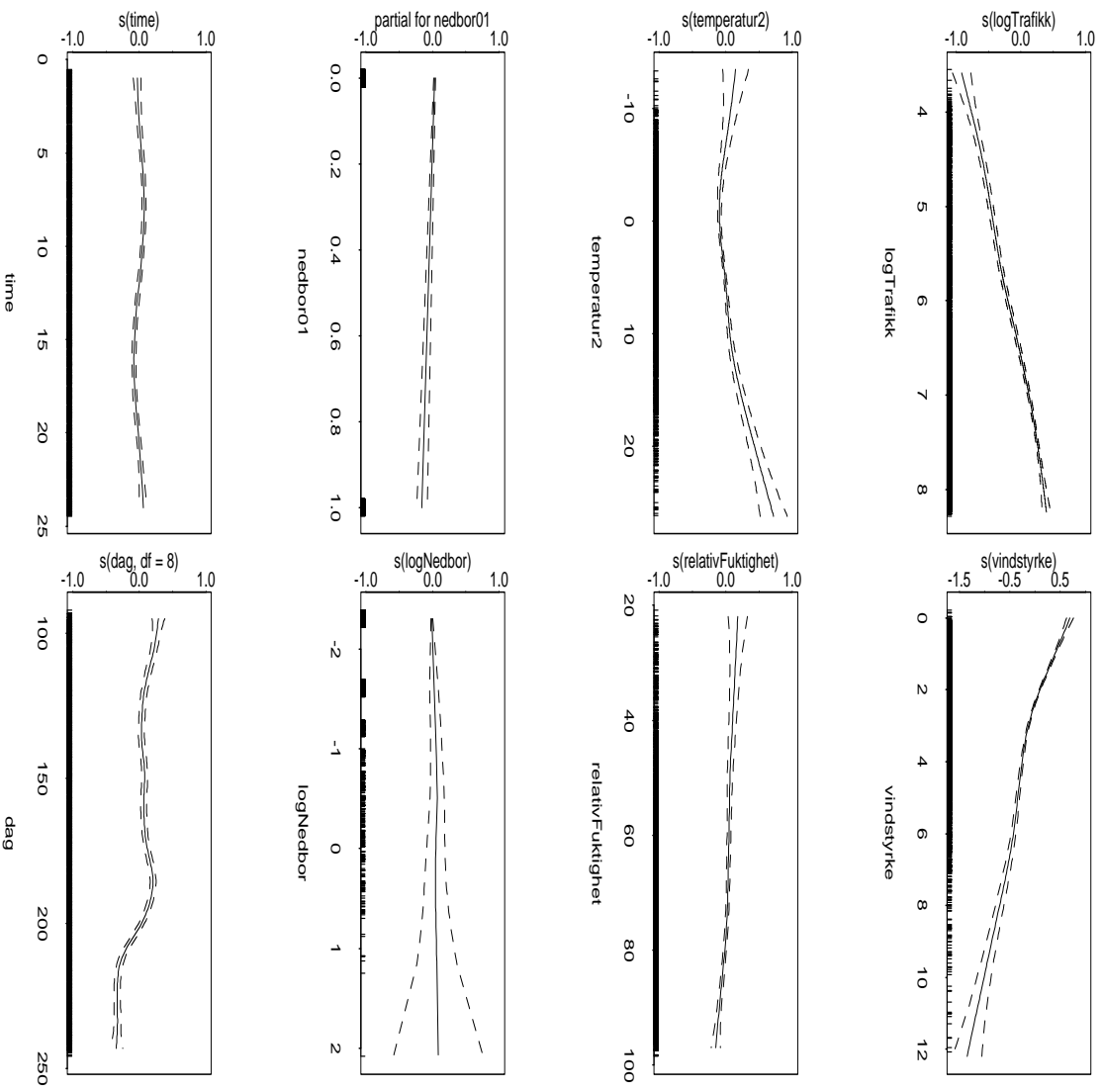
Figur 29: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM₁₀ på Rosendal i Trondheim.



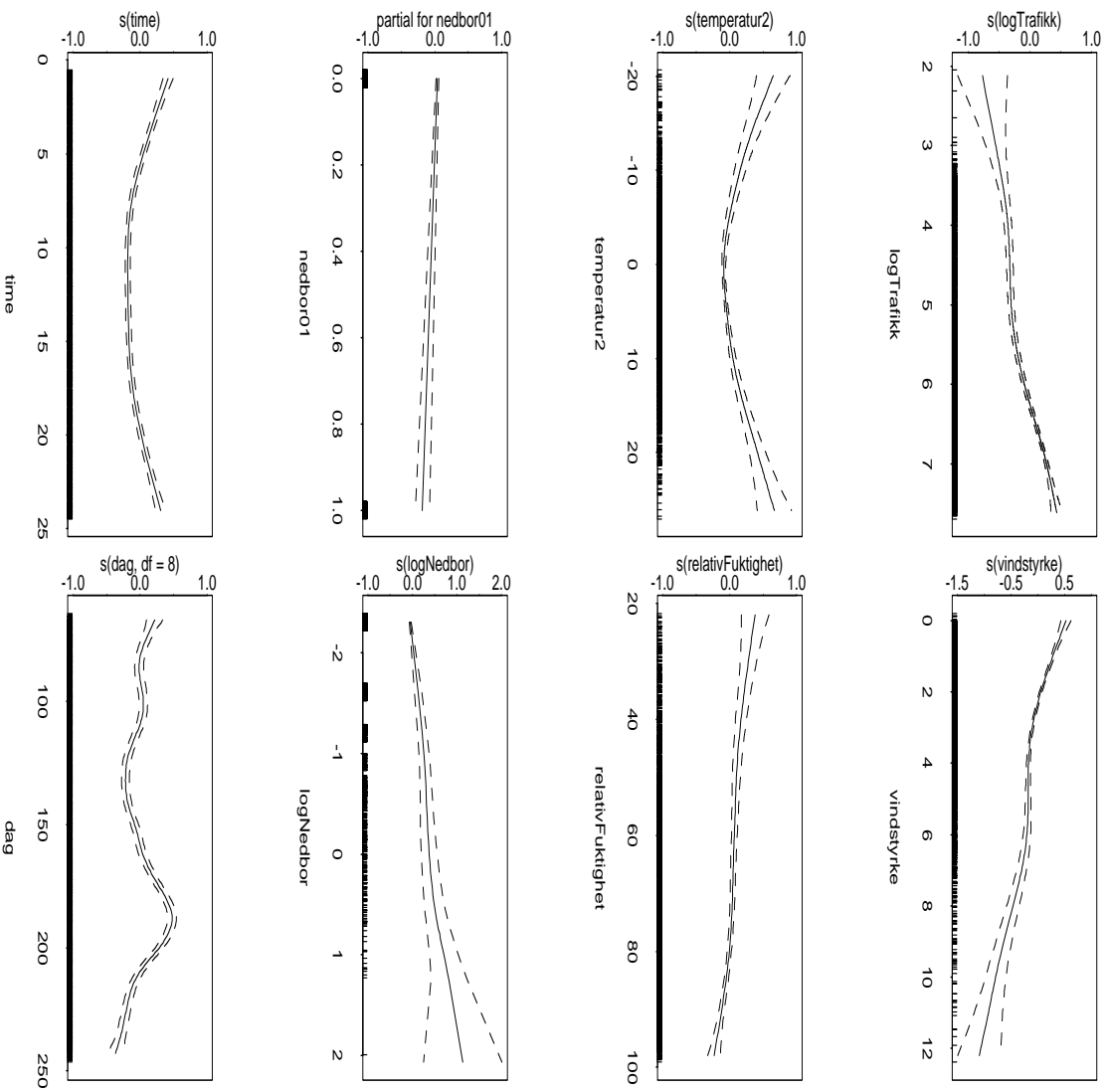
Figur 30: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM_{2.5} på Rosendal i Trondheim.



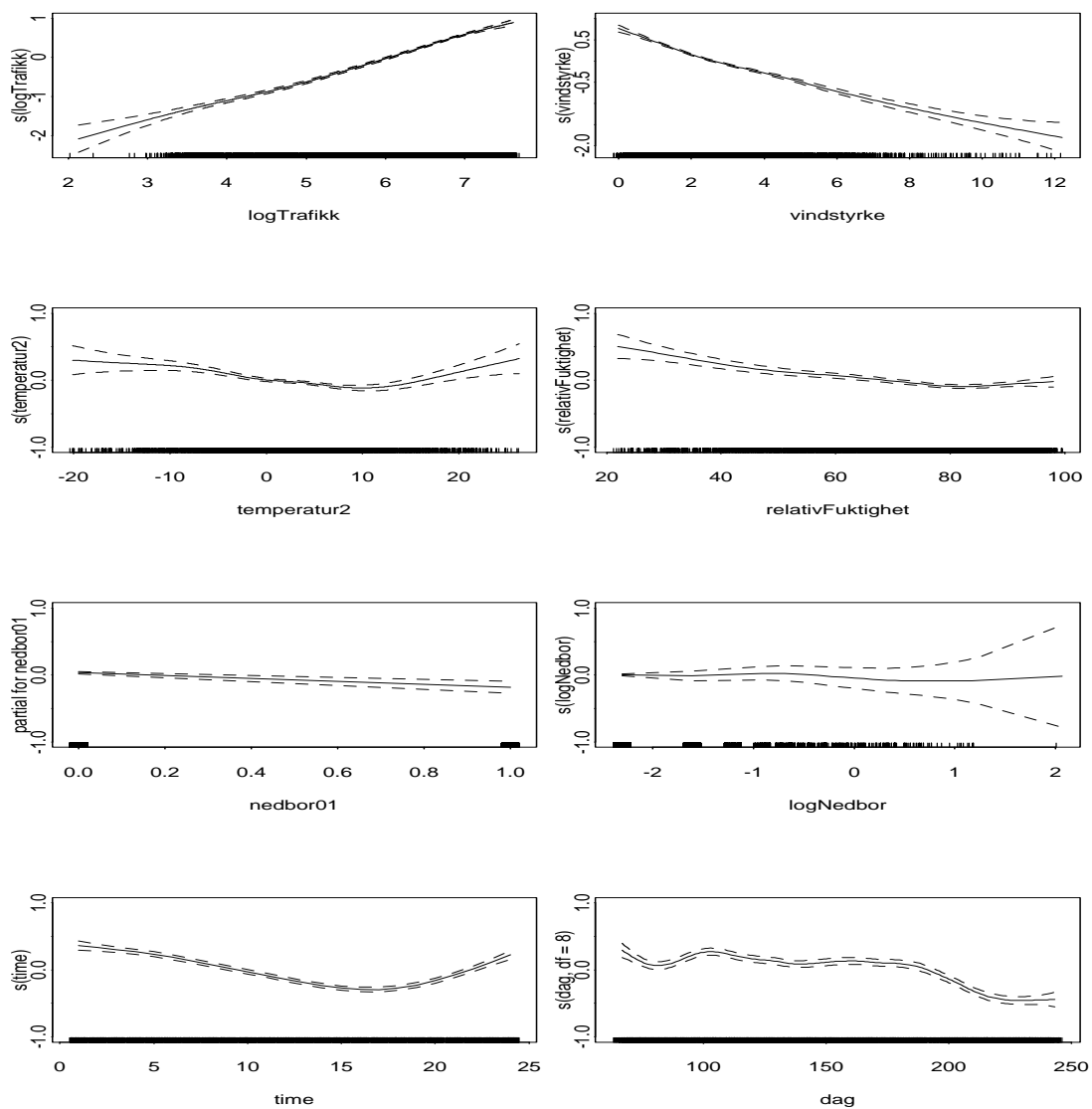
Figur 31: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM₁₀ på Elgeseter i Trondheim.



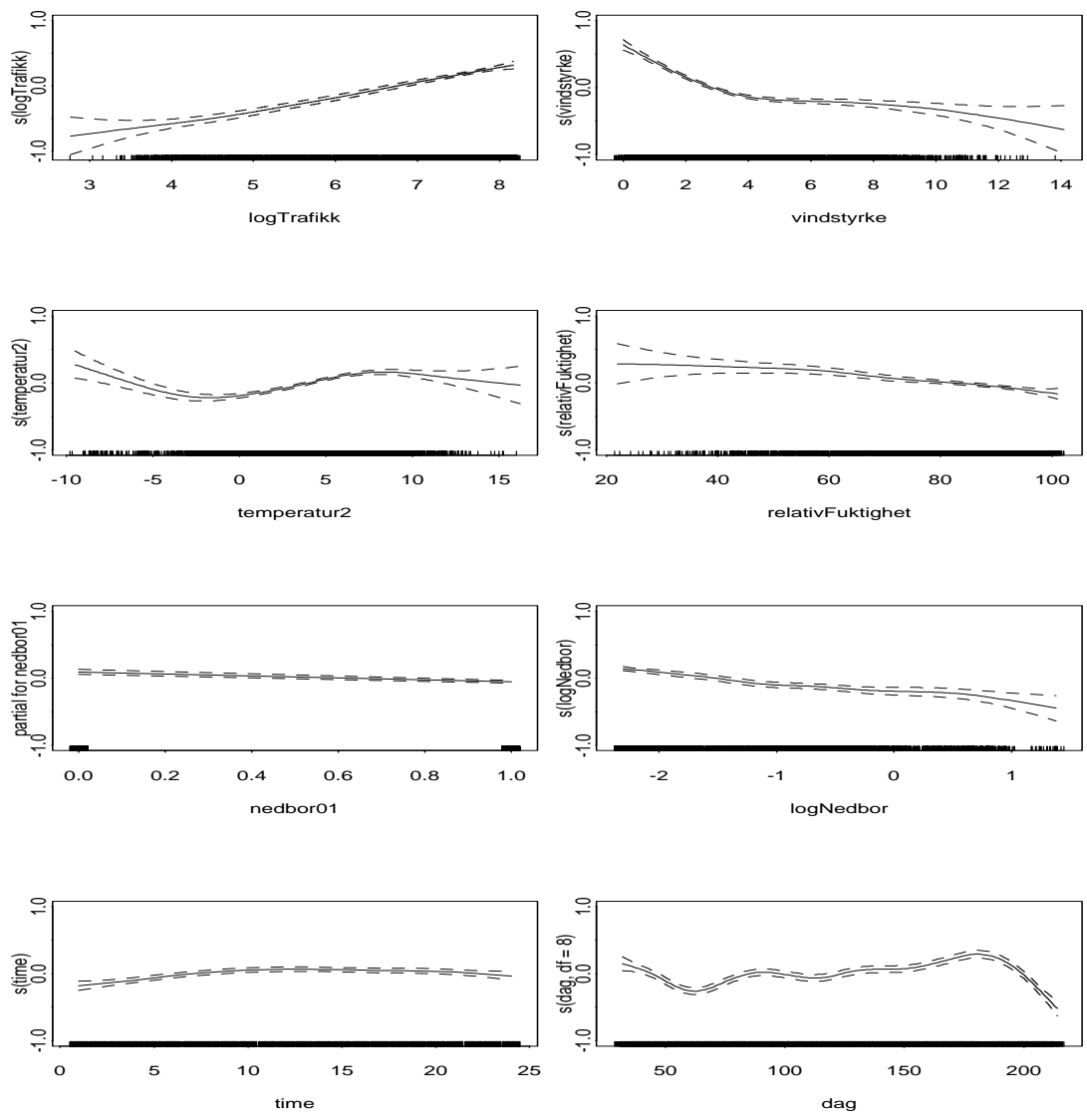
Figur 32: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM_{2.5} på Elgeseter i Trondheim.



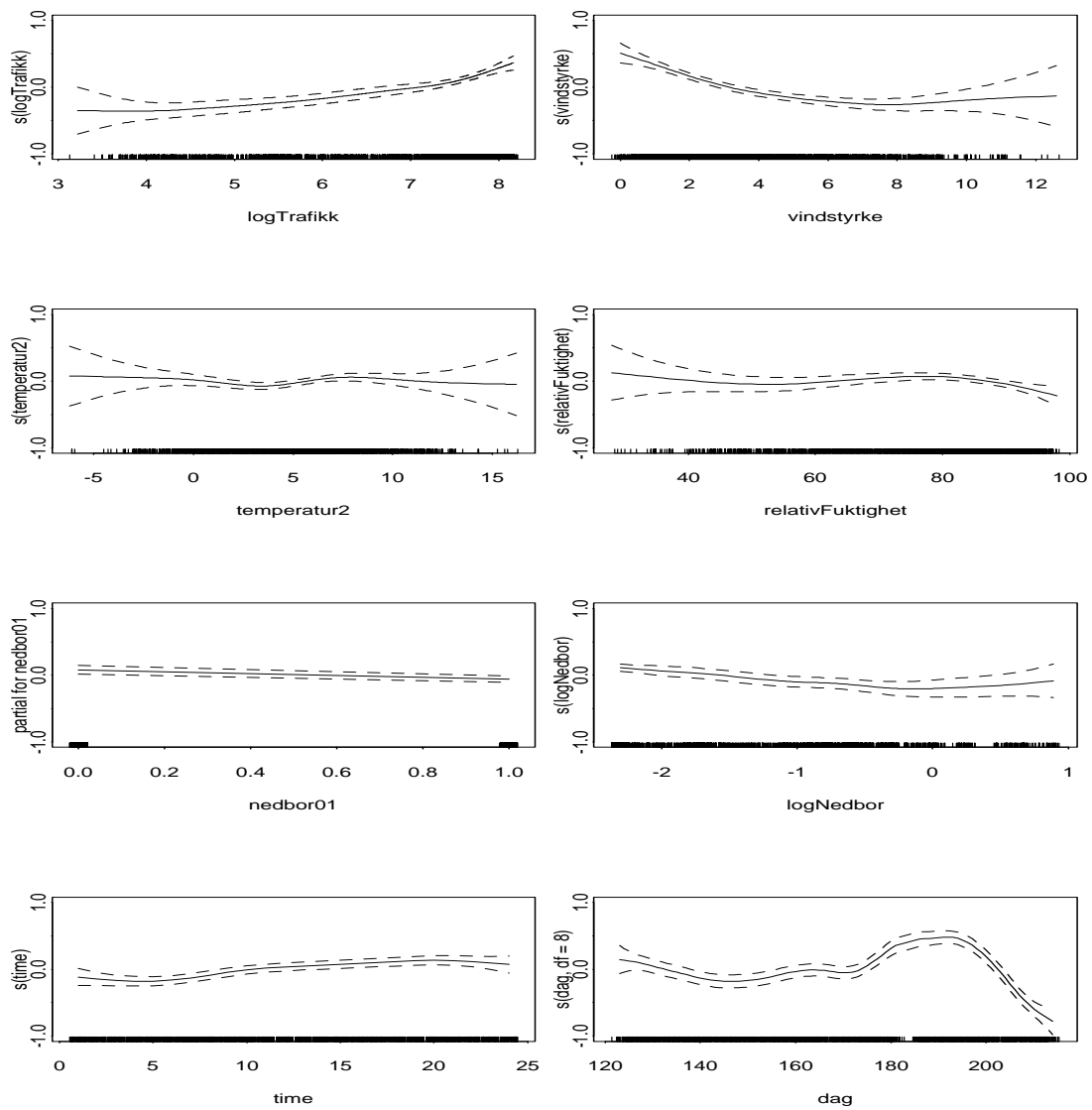
Figur 33: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM₁₀ i Midtbyen i Trondheim.



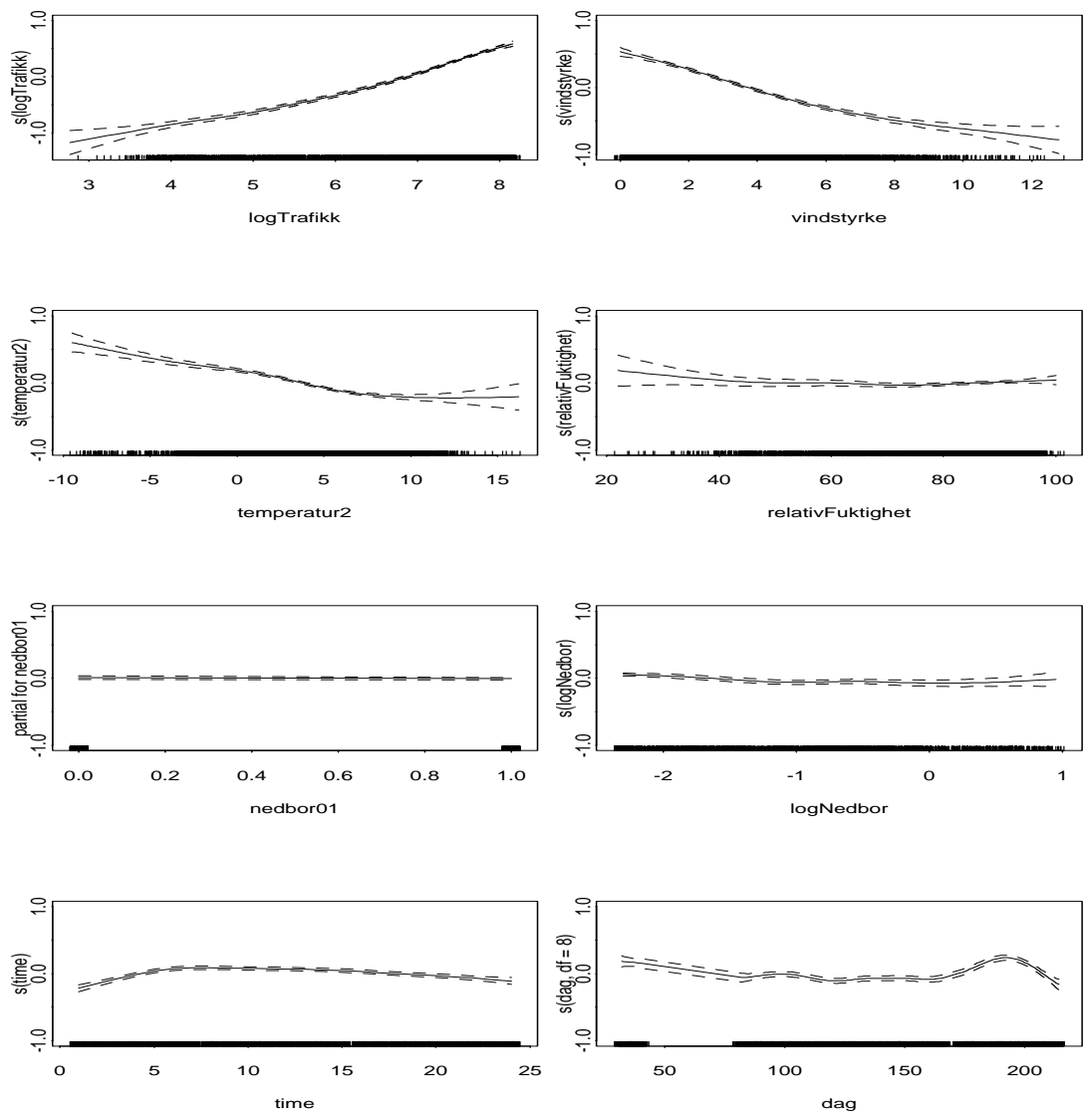
Figur 34: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for NO₂ i Midtbyen i Trondheim.



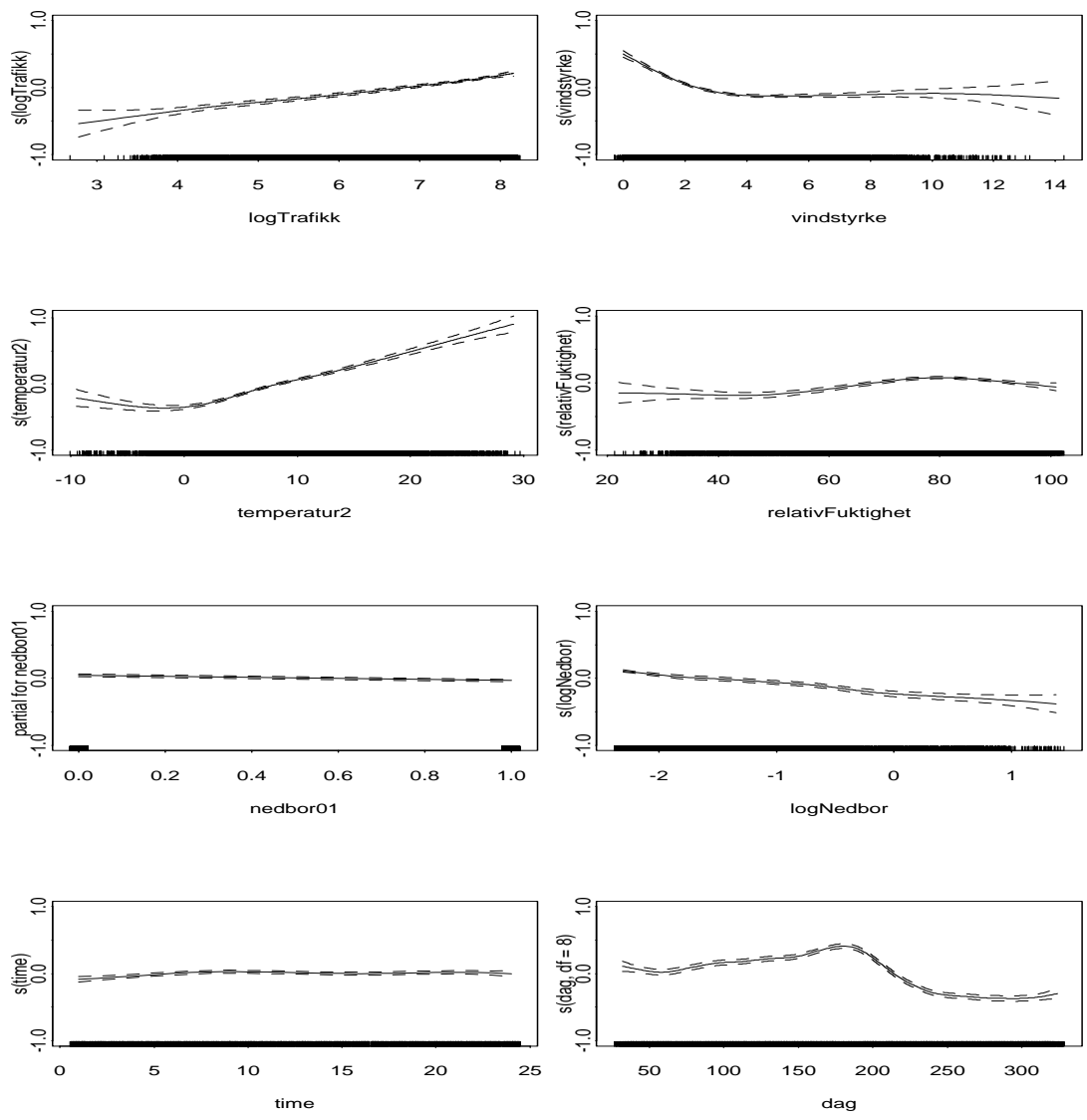
Figur 35: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM₁₀ på Danmarks plass i Bergen.



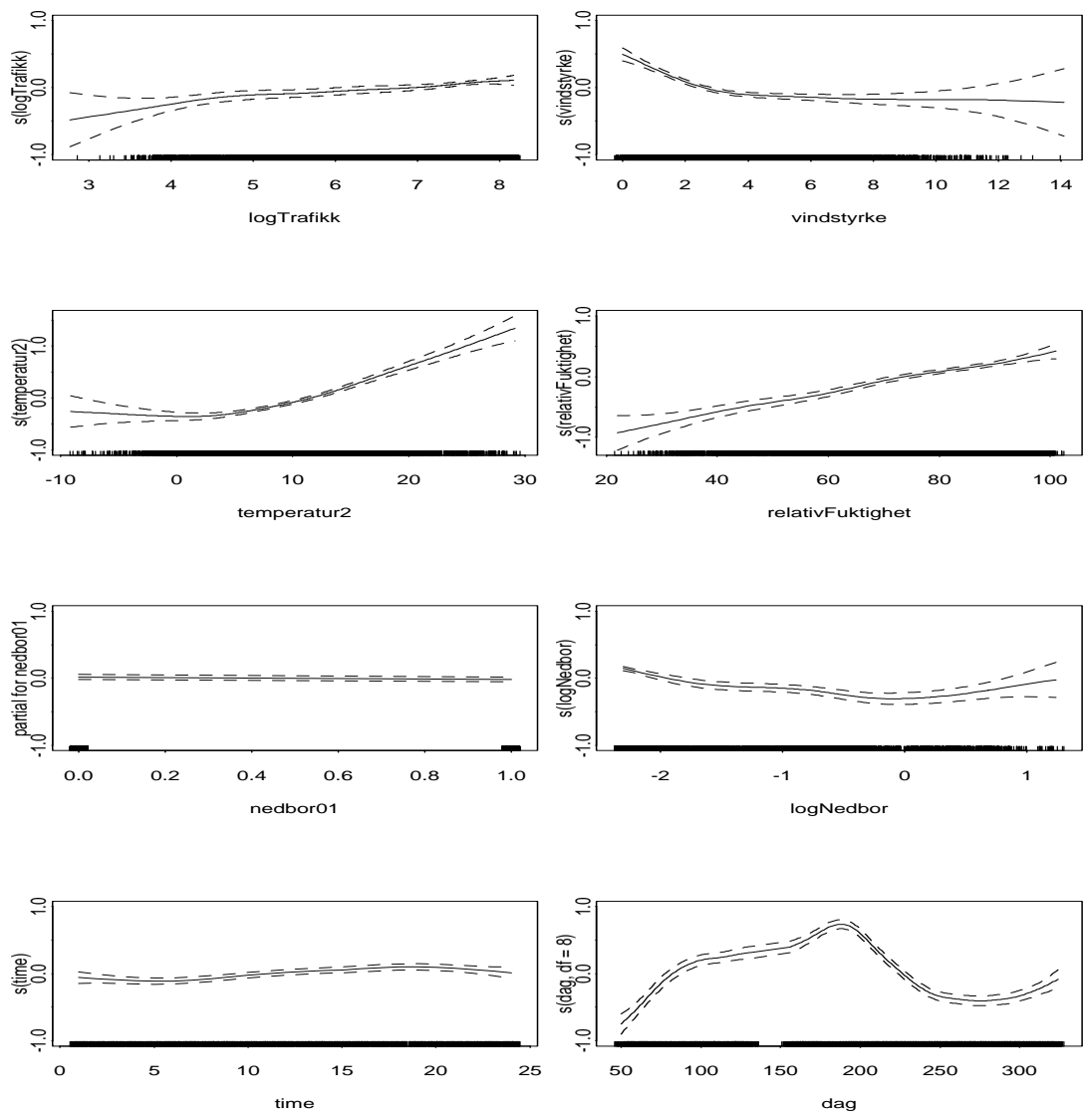
Figur 36: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM_{2.5} på Danmarks plass i Bergen.



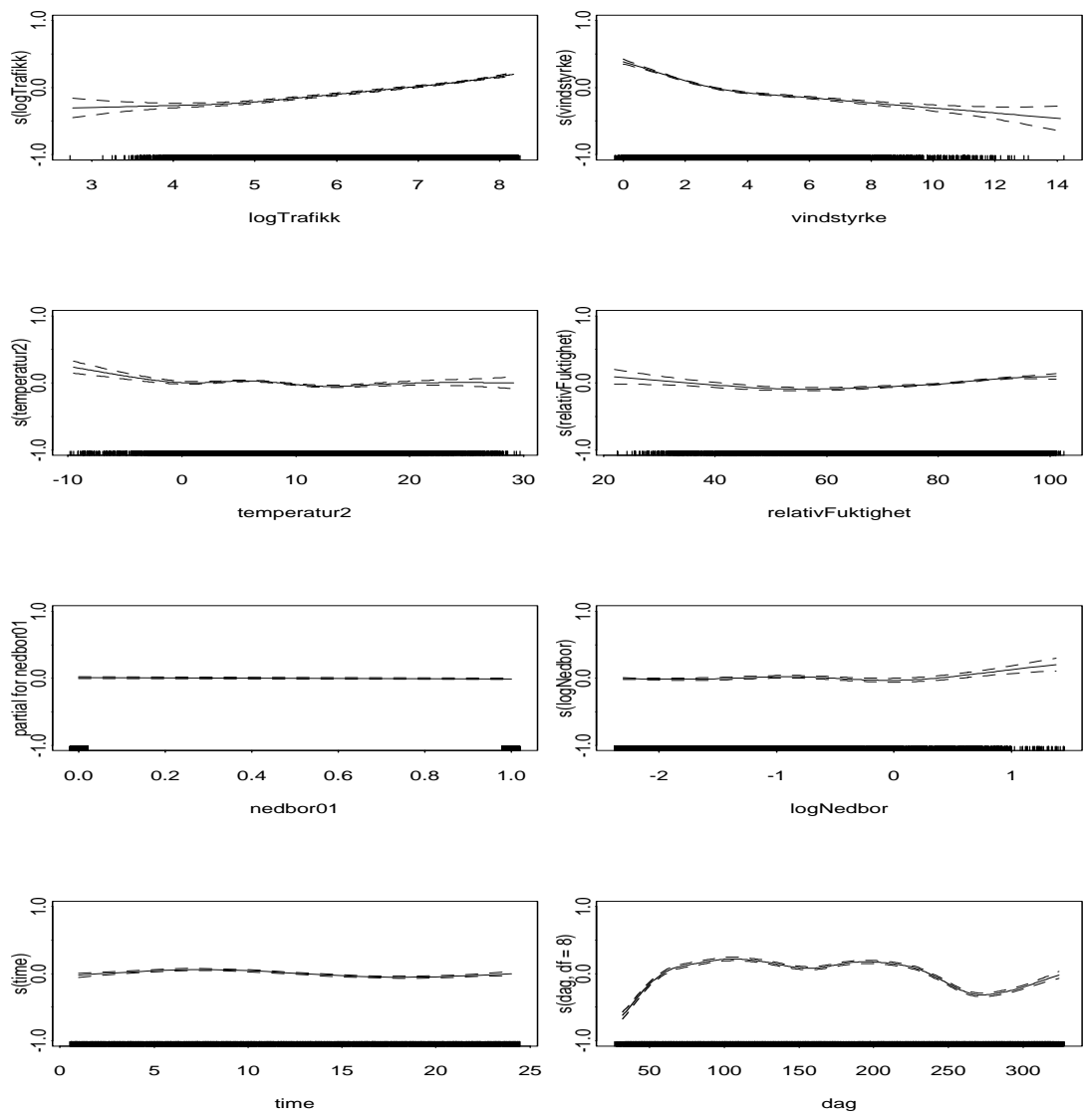
Figur 37: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for NO₂ på Danmarks plass i Bergen.



Figur 38: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM₁₀ ved Rådhuset i Bergen.



Figur 39: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for PM_{2.5} ved Rådhuset i Bergen.



Figur 40: Estimerte effekter med 95%-konfidensbånd for NO₂ ved Rådhuset i Bergen.