

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Meteorologi og biltrafikk sin påvirkning på luftforurensning i Oslo - En statistisk vurdering av NO₂- endringen i perioden 2008-2017

**The influence of meteorology and road traffic on
air pollution in Oslo - A statistical evaluation of the
change in NO₂ during the period 2008-2017**

Elise Roalkvam
Miljøfysikk og fornybar energi

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet i samarbeid med meteorologisk institutt og bymiljøetaten og markerer slutten på de femårige studie, miljøfysikk og fornybar energi.

Helt siden starten av studiet, fryktet jeg masteroppgaven. Nå når jeg ser tilbake på den, har den derimot vært en svært lærerik prosess hvor jeg har blitt utfordret til å sette ord på alle tanker og meninger.

For meg var det særlig motiverende å få kunne skrive om noe så livsberørende som luftkvalitet. Siden start, har jeg i stor grad fått kunne forme oppgaven ut fra eget ønske. Det er mye takket være veilederne mine. De har hatt et vedvarende helhetlig syn på oppgaven og vært flinke til å gi konstruktive tilbakemeldinger. Spesielt de gangene jeg havnet for langt inn i ”mastebobla” og ingenting gav mening for andre enn meg.

Jeg vil videre gi en takk til alle som har lest og kommet med innspill til oppgaven. Avslutningsvis vil jeg takke alle mine medstudenter. Dere kunne muligens gjøre meg småirritert til tider, men ingen andre kunne ha løftet meg opp og hjulpet meg mer i denne perioden.

Ås, 12.05.19

Elise Roalkvam

Meteorologi og biltrafikk sin påvirkning på luftforurensning i Oslo

- En statistisk vurdering av NO₂-endringen i perioden 2008-2017

Sammendrag

Denne oppgaven analyserer hvordan meteorologi og utslipp fra kjøretøy har påvirket luftkvaliteten i Oslo i perioden 2008-2017. Den forurensende gassen NO₂ har merkbar negativ innvirkning på Oslolufta og berører store deler av byens befolkning. Konsentrasjonen av NO₂ vil variere ut i fra hvilken årstid det er, i tillegg til at den varierer fra år til år. I den gjeldende perioden var det dessuten tydelig reduserende trend i konsentrasjonen av NO₂. Det var ønskelig at min analyse kunne bidra til å avgjøre hvilke variabler som forårsaket endringer og trend i NO₂ konsentrasjonen, slik at en tryggere byluft i Oslo kunne oppnås. Det ble gjennomført en statistisk analyse av NO₂, meteorologi og biltrafikk, hvor førstnevnte var variabelen det ble sammenlignet med. De statistiske hjelpemidlene som ble brukt til dette formålet var korrelasjon, spredningsplott og boksploott. Resultatene viste at de meteorologiske variablene kunne forklare sesongvariasjonen i NO₂ og de viser sammenheng med den tilfeldige variasjonen i NO₂. Det meteorologiske fenomenet inversjon ble i tillegg sett i sammenheng med NO₂, hvor antallet inversjoner viste til større betydning for NO₂ konsentrasjonen enn lengden på inversjonen. Trafikkvariablene viste bare sammenheng med trend i NO₂. Trafikkvariablene var basert på registrerte kjøretøy, som et estimat på antall biler i Oslo. Videre hadde trafikkvariablene mindre datagrunnlag enn de andre variablene brukt i oppgaven. Likevel ble det i denne oppgaven konkludert med at trafikkendringen hadde innvirkning på den reduserende trenden i NO₂ i perioden 2008-2017.

The influence of meteorology and road traffic on air pollution in Oslo

- A statistical evaluation of the change in NO₂ during the period 2008-2017

Summary

This thesis analyses how meteorology and emissions from vehicles has affected the air quality in Oslo during the period 2008-2017. The pollutant NO₂ has a noticeable negative impact on the air in Oslo and affects large parts of the city's population. The concentration of NO₂ will vary depending on the season and year. In the given period, there was a clear decreasing trend in the concentration of NO₂. It was desirable that my analysis could determine which variables caused changes and trends in the concentration of NO₂, so that safer air in Oslo could be achieved. A statistical analysis with the variables NO₂, meteorology and road traffic was done, where NO₂ was the variable that the other variables were compared with. The statistical tools that were used in the analysis was correlation, scatterplot and boxplot. The results showed that the meteorological variables could explain the seasonal variation in NO₂ and showed correlated relationship with the unexplained variation in NO₂. The analysis of the meteorological phenomenon inversion showed that number of inversions had greater significance with the concentration of NO₂ than the length of the inversion. The traffic variables only showed a correlated relationship with the trend in NO₂. The traffic variables were based on registered vehicles, as an estimate of the number of vehicles in Oslo. Furthermore, the traffic variables were based on less data compared to the other variables used in the analysis. Nevertheless, this thesis concluded that the change in traffic had an impact on the declining trend in NO₂ in the period 2008-2017.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	III
Summary	IV
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	3
1.3 Disposisjon	3
2 Teori	4
2.1 Meteorologi	4
2.1.1 Planetarisk grenselag	4
2.1.2 Stabilitet	5
2.1.3 Meteorologisk effekt av urbane områder, fjell og sjø	8
2.2 Luftforurensning	10
2.2.1 NO ₂	10
2.2.2 Kilder til NO ₂	10
2.2.3 Effekten av NO ₂ eksponering	11
2.2.4 Anbefalte og lovsatte terskelverdier	13
2.2.5 Ansvar og tiltak rettet mot luftforurensning	15
2.3 Samspillet mellom meteorologi og luftforurensning	15
3 Metode og Data	18
3.1 Valg av variabler og data	18
3.2 Tidsserie av utvalgt data	22
3.2.1 NO ₂	22
3.2.2 Meteorologi	22
3.2.3 Trafikk	25
3.2.4 2018 analysen	26
3.3 Behandling av data	29
3.3.1 Variasjonsanalyse	29
3.3.2 Inversjonsberegninger	30
3.3.3 Oppbygging av sammenhengsplott	30
3.3.4 Trend, sesongvariasjon og tilfeldig variasjon i NO ₂	32
3.3.5 Valg av ytterligere analyser	35
4 Resultat	36

4.1	Variasjonsanalyse av variablene	36
4.1.1	NO ₂	36
4.1.2	Meteorologi	38
4.1.3	Trafikk	40
4.2	Inversjonsanalyse	41
4.2.1	Variasjonsanalyse av inversjonsfrekvens og inversjonslengde . .	42
4.3	Statistisk analyse	43
4.3.1	Månedsgjennomsnitt i perioden 2008-2017	44
4.3.2	Sesongvariasjon	45
4.3.3	Tilfeldig variasjon	46
4.3.4	Trend	47
4.3.5	Årsanalyser	49
4.3.6	Månedsgjennomsnitt i året 2018	51
5	Diskusjon	53
5.1	Usikkerhet og styrker knyttet til valg av variabler og data	53
5.2	Usikkerhet og styrker knyttet til metode og behandling av data . . .	54
5.3	Hva betyr egentlig resultatene?	55
6	Konklusjon	58
A	Mer informasjon om trafikkdata	60
A.1	Personbiler	60
A.2	Lastebiler	61
B	Fullstendige statistiske analyser	63
	Bibliografi	72

1

Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Mennesker er avhengig av at luften vi puster inn er ren, og ikke inneholder fremmedstoffer som kan skade helsen vår. Utfordringene rundt luftforurensning er ikke ny, men dens negative påvirkning og omfang, har endret seg med tiden. Industrialisering og en økende populasjon er bidragsytere til dette (Arya, 1999). I følge FN (2019), er reduksjon av luftforurensning et globalt mål og luftkvalitet er vektlagt i flere av FNs bærekraftsmål.

WHO (2018) estimerte i 2016 at utendørseksponering alene, var ansvarlig for 4.2 millioner dødsfall årlig på verdensbasis. I følge Øvrevik *et al.* (2018), er det rundt dobbelt så mange som dør av luftforurensning enn AIDS, tuberkulose og malaria til sammen. Ren luft, innendørs og utendørs, blir i dag sett på som en grunnleggende menneskerett av WHO.

Framtidige plager grunnet eksponering av luftforurensning vil trolig fortsette å øke. Det kommer av at flere vil flytte inn i byer med forverret luftforurensning. Det er estimert av UN (2018), at byer vil romme 68 % av verdens befolkning innen 2050. Figur 1.1 illustrerer denne problematikken.

Alvorlighetsgraden til luftforurensningen i byer, vil være betinget av meteorologien. Konsentrasjonen av forurensende utslipp vil avhenge av spredningen og fortynningen i lufta (Ahrens & Henson, 2018). Det meteorologiske fenomenet inversjon kan dessuten gjøre at luftforurensningen generert i byen hopper opp (Seinfeld & Pandis, 2006). Det vil således være samspillet av meteorologi og utslipp som vil gi det endelige svaret på luftforurensningen til ulike tider og lokasjoner.

Vegtrafikken vil i mange tettbygde områder og byer være den største kilden til lokal luftforurensning (Vegvesen, 2018). Eksosutslipp fra veitrafikken bidrar til den forurensende gassen NO_2 . En studie av Næss *et al.* (2006) viser til en sammenheng mellom denne gassen og dødsfall i Oslo. NO_2 er videre vektlagt i denne oppgaven grunnet dens innvirkning på Oslo lufta.

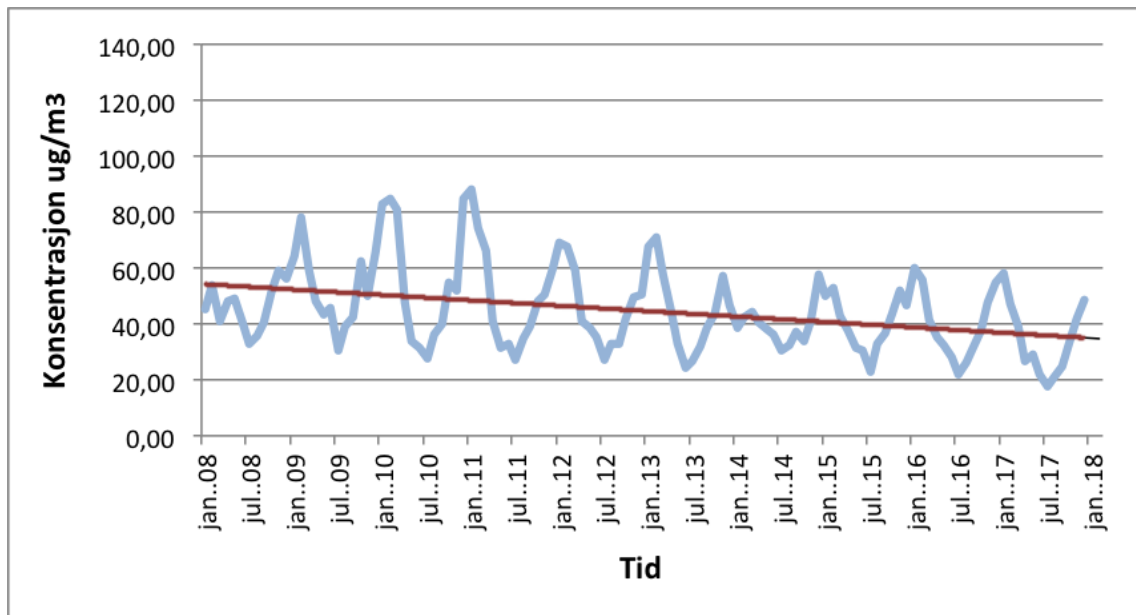
En analyse av forurensning av NO_2 i Oslo er særlig interessant ettersom det er en storby, med stadig endrende trafikk. I følge Folkehelseinstituttet (2013) er



Figur 1.1: Urbanisering. En økende trend av tilflytting til byer med forverret luftforurensning. Tegnet av Grytdal (2019)

trafikk foreløpig hovedkilden til NO_2 forurensingen. På grunn av dette vil en utslippsreduksjon fra trafikk føre til en forbedring av forurensning av NO_2 i Oslo.

Hvilke variabler som påvirker NO_2 konsentrasjonen vil variere. For å skille ut denne variasjonen, er det dermed ønskelig å undersøke NO_2 data over en lengre periode. I denne oppgaven er tiårsperioden 2008-2017 valgt. I denne perioden har NO_2 hatt en tydelig reduserende trend, se figur 1.2. Denne figuren gir NO_2 månedsgjennomsnitt basert på fem målestasjoner i Oslo, med lineær trendlinje. Fra figuren er det tydelig at NO_2 har en sesongvariasjon og en trend, men det er ikke klart hva som er årsaken til den observerte trenden i den gjeldende perioden. Analysen på hvilke variabler som er med på å skape variasjon i NO_2 er ønskelig for å kunne oppnå en tryggere byluft i Oslo.



Figur 1.2: NO₂ månedsgjennomsnitt basert på fem målestasjoner i Oslo med lineær trendlinje i perioden 2008-2017.

1.2 Problemstilling

Hva kan forklare trenden som er synlig i NO₂ dataene i perioden 2008-2017?

- Sesongvariasjon, trend og tilfeldig variasjon er ulike variasjoner i NO₂ dataene. Hvilke av disse variasjonene kan forklares ut i fra meteorologiske- og trafikale variabler?
 - Kan trend alene forklares av trafikkvariablene?

1.3 Disposisjon

Ettersom målet i denne oppgaven er å undersøke i hvilke grad meteorologi og utslipp fra kjøretøysparken påvirker NO₂ konsentrasjonen i Oslo, blir meteorologi og luftforurensning utdypet i teorien. Samspillet dem i mellom er også sentralt i teorien ettersom resultatet av dette samspillet gir ulik opphopning av konsentrert luftforurensning. I kapittelet metode og data blir det innledningsvis presentert valg av variabler og data. De utvalgte dataene blir så presentert som tidsserier. Det er blant annet NO₂ data fra Oslo kommune, trafikkdata fra SSB og meteorologisk data fra meteorologisk institutt. Deretter blir framgangsmåten for å finne ulike sammenhenger gjennomgått. På bakgrunn av metode og data får vi resultatene i kapittel 4. Resultatene blir framstilt ved bruk av figurer som viser forskjellige sammenhenger med NO₂. Ikke alle resultatene er like tydelige og bærer preg av usikkerhet. Dette blir nærmere gjennomgått i diskusjonen. I denne oppgaven vil det være flere ulike konklusjoner som framstilles i kapittel 6, grunnet flere tester av sammenhenger med ulik kvalitet.

2

Teori

Om ikke annet er spesifisert i teksten er teorien hentet fra bøkene:

- *"Atmospheric chemistry and physics : from air pollution to climate change"* av Seinfeld & Pandis (2006)
- *"An introduction to boundary layer meteorology"* av Stull (1989)
- *"Atmospheric Science: An Introductory Survey"* av Wallace & Hobbs (2006)
- *Essentials of meteorology : an invitation to the atmosphere* av Ahrens & Henson (2018)
- *"Air pollution meteorology and dispersion"* av Arya (1999)
- *"Atmospheric dispersion and air pollution meteorology"* av Carruthers (2007)
- *First principles of meteorology and air pollution* av Lazaridis (2010)

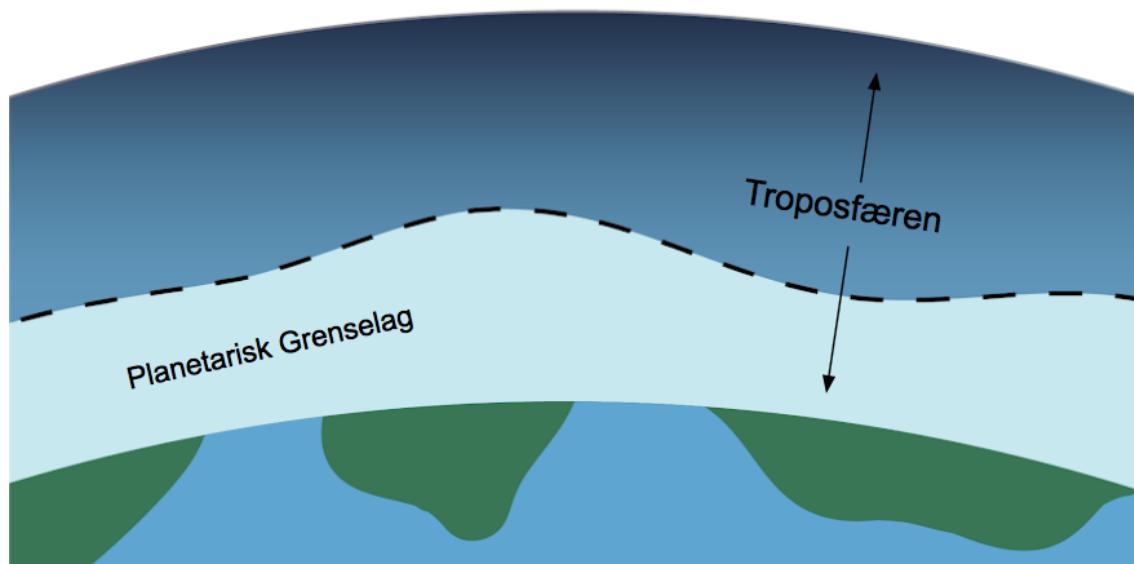
2.1 Meteorologi

2.1.1 Planetarisk grenselag

Det planetariske grenselaget er en del av troposfæren, som er den laveste delen av atmosfæren. Dette er den delen av troposfæren som direkte blir påvirket av overflaten på jorda og dens aktivitet. Figur 2.1 illustrerer det planetariske grenselaget med varierende høyde mot den resterende troposfæren.

Mesteparten av livet på jorda befinner seg i det planetariske grenselaget. I følge Stull (1989) er det også her mesteparten av utslippet fra vår aktivitet blir fanget. Av den grunn, er læren om det planetariske grenselaget viktig for å kunne undersøke hvordan luftforurensning fra forskjellige kilder blir forflyttet og fortynnet.

Det planetariske grenselaget varierer i høyde, dynamikk og sammensetning. Det kan komme av utslipp, endringer i bakketemperatur grunnet solstråling, andre varmekulser, topografi, terreng og bygninger. En lav høyde på det planetariske grenselaget kan resultere i forhøyede konsentrasjoner av luftforurensning, ettersom luften vil være konsentrert i et mindre volum. Dette kan forekomme under stabile



Figur 2.1: Det planetariske grenselaget. Inspirert av Wallace & Hobbs (2006). Tegnet av Grytdal (2019).

forhold og lite vind. Følgelig er stabilitet et sentralt tema for luftforurensning i det planetariske grenselaget.

2.1.2 Stabilitet

Stabilitet i atmosfæren kan avgjøres ved å studere hvordan lufttemperaturen endrer seg med høyden. I en stabil atmosfære vil forstyrrelser dempes og luft som stiger og blir kaldere enn omgivelsene rundt, vil synke tilbake til start. Figur 2.2 gir en illustrasjon på et ustabil, nøytralt og stabilt system.



Figur 2.2: Et ustabil, nøytralt og stabilt system fra venstre mot høyre.

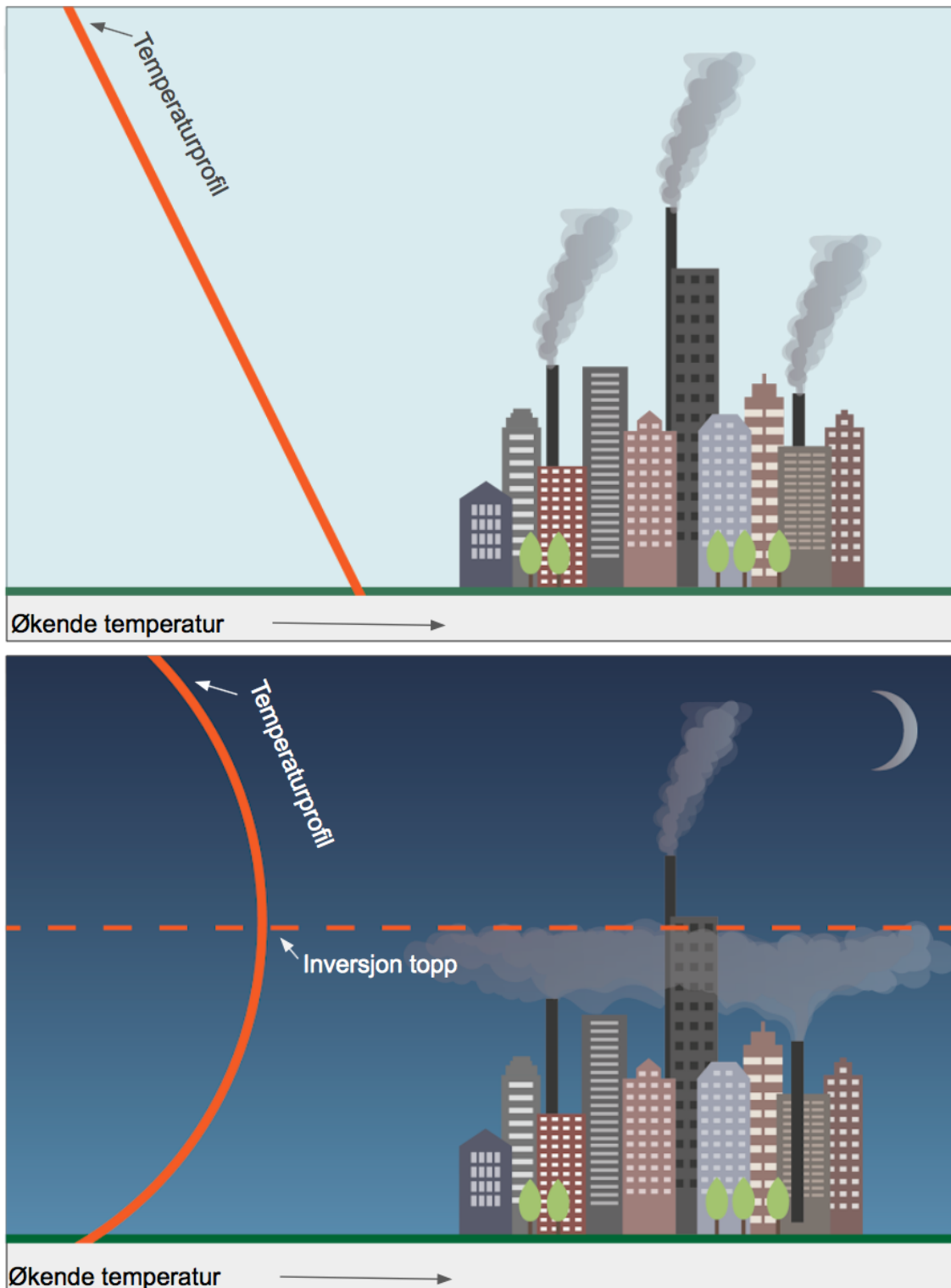
Ved stabile forhold vil det i mindre grad være turbulens. Turbulens gjør at forurensende utslipp blir mikset og transportert vekk. Det meteorologiske fenomenet inversjon, kan føre til opphopning av utslipp.

Inversjon

En inversjon blir dannet under svært stabile forhold, når varm luft ligger over kald luft. Det vil oppstå en positiv vertikal temperaturgradient, i motsetning til normalen hvor temperatur synker med høyden. Den vanligste formen for inversjon kommer av negativ strålingsbalanse ved overflaten. Dette vil oftest skje om natten med skyfri himmel. Da kan utstrålingen av langbølget stråling fra overflaten være større enn innstrålt stråling, som vil skape en avkjøling av overflaten da den taper varme. Om vinteren kan inversjonene ha større effekt siden natten varer lengre.

Ved inversjoner vil luftpakker som prøver å stige, synke tilbake. Det kommer av at luftpakken som prøver å stige vil være kaldere og tyngre enn lufta rundt. Disse luftpakkene kan inneholde ulik grad av luftforurensning, og ved inversjon vil ikke luftforurensningen kunne bli transport bort i like stor grad. Dermed vil inversjon fungere som et lokk. I en by vil effekten av inversjon forsterkes da det oftest er flere kilder til luftforurensning. Ved inversjon kan dermed luftforurensning generert i byen ende opp med å bli værende. Dette er illustrert i figur 2.3. Høyden på inversjon toppen vil ha stor betydning for hvor stor effekt inversjonen vil gi.

Oslo er omringet av åser med ulik høyde som kan blokkere vind. Sett i sammenheng med inversjon er dette negativt, da vind er en meteorologisk prosess som kan hindre eller bremse varmestrålingen fra overflaten til atmosfæren. Mangel på tilstrekkelig vind kan dermed føre til at både inversjon lettere blir dannet, men også gjør at eksisterende luftforurensning blir mindre spredt og transportert.



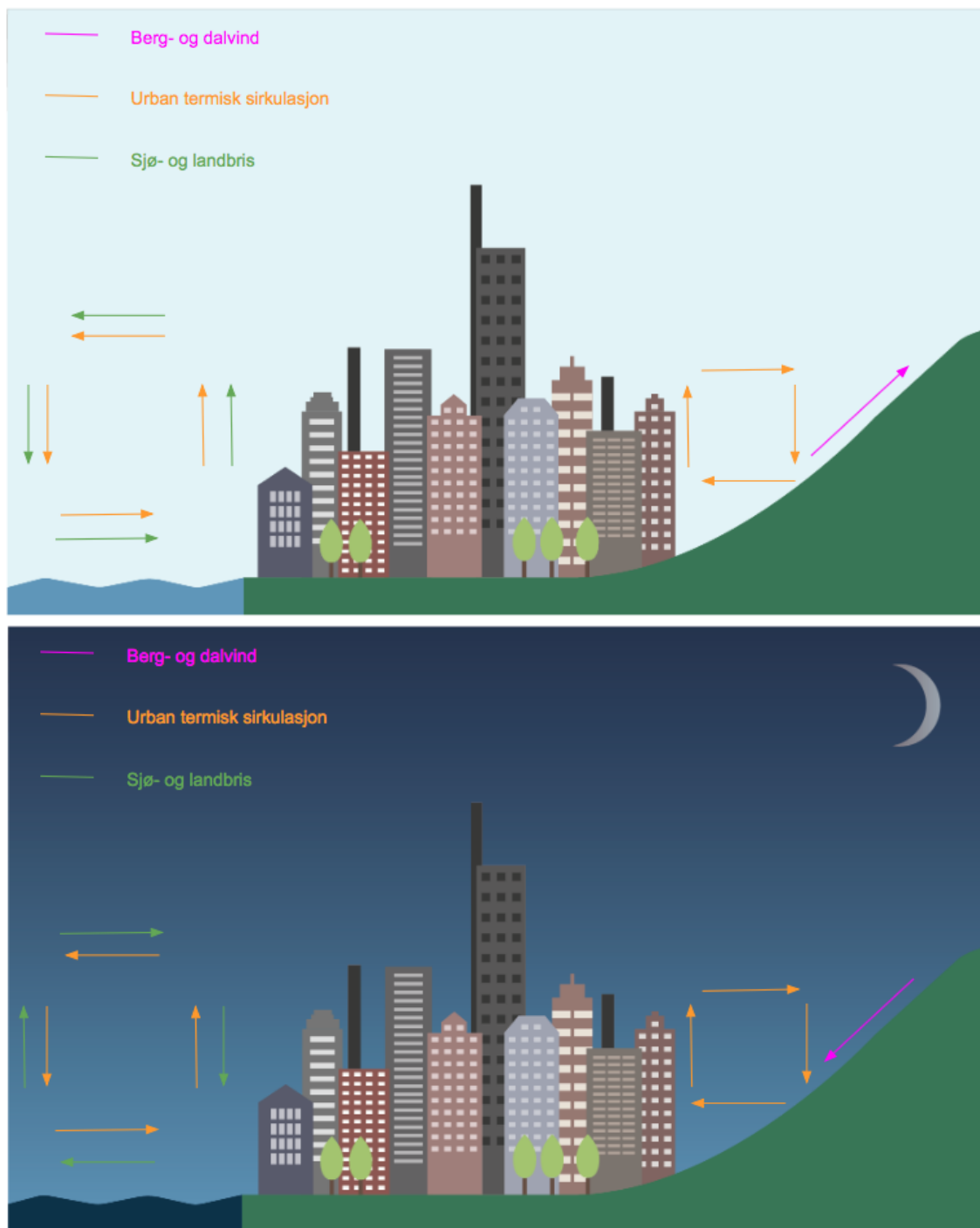
Figur 2.3: Ulike temperaturprofiler, med og uten inversjon. Inspirert av Ahrens & Henson (2018). Tegnet av Grytdal (2019).

2.1.3 Meteorologisk effekt av urbane områder, fjell og sjø

En by er et inngrep i naturen, med høye og store bygninger, mindre vegetasjon og mer menneskeskapt utslipp. Dette er noen av de karakteristikkene som kan skape endringer i dynamikken i det planetariske grenselaget. En by vil ha høyere temperatur enn områdene rundt, som følgelig vil danne en vindsirkulasjon.

Oslo er et urbant område og er omringet av både åser av ulik høyde og sjø. Det resulterer i termiske sirkulasjoner til forskjellige tider. Figur 2.4 gir en oversikt over de forskjellige effektene som påvirke vinden. Hver effekt er tegnet som et uavhengig system, uten påvirkning av andre effekter. Det er også viktig å understreke at pilene ikke er skalerte og at styrken på de forskjellige systemene kan variere. Vindsirkulasjonen påvirket av de ulike effektene, vil avhenge av retning og styrken på temperaturforskjellene. Dermed er det mulig at årstid, lokasjon og fjellstruktur påvirker virkningsgraden til de ulike effektene.

Det er mange effekter som ikke er inkludert i figurene. Likevel gir figurene et innblikk i kompleksiteten til de ulike vindsystemene. I tillegg kan de ulike vindsystemene påvirke hverandre. I enkelte tilfeller kan luftforurensning hoppe opp og bli resirkulert inn i byen, som et resultat av en eller flere av de nevnte effektene. Omfanget er avhengig av vær-situasjonen ved det aktuelle tidspunktet.



Figur 2.4: Vindsirkulasjon generert av forskjellige effekter. Berg- og dalvind, urban termisk sirkulasjon og sjø- og landbris er markert med piler som ikke er skalerte, da styrken kan variere. Tegnet av Grytdal (2019).

2.2 Luftforurensning

Luftforurensning blir definert som konsentrasjoner av fremmedstoffer i luften, som kan gi negative eller uønskede effekter på mennesker, dyr, klima, vegetasjon og andre materialer. Påvirkningen av luftforurensning kan gi både kortsiktig og langsiktig effekt. Luftforurensning kan komme av både naturlige og menneskeskapte kilder, og kan være faste partikler, væsker og gasser med forhøyede verdier.

Luftforurensning og dens omfang vil variere i både tid og lokasjon. Det kommer av at det vil være varierende typer fremmedstoffer med ulik konsentrasjon i lufta, med opprinnelse fra ulike utslippskilder. Neste delkapittel tar for seg den forurensende gassen NO_2 , som er en av mange fremmedstoffer i lufta som kan generere luftforurensning.

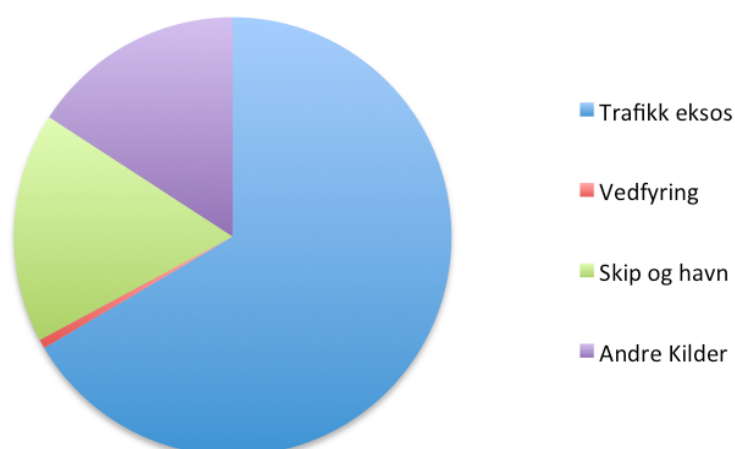
2.2.1 NO_2

NO_x , nitrogen oksider, er et samlebegrep for både NO_2 og NO . Det blir videre presisert at forholdet dem i mellom i atmosfæren avhenger av blant annet solstråling, mengder ozon tilgjengelig og høyden på atmosfæren. NO_2 vil være dominerende på bakkenivå, og spesielt på vinteren og om natten grunnet få eller ingen soltimer. I tillegg har NO_2 størst helsemessig betydning (Folkehelseinstituttet, 2013). Som et resultat av dette blir det videre i oppgaven først og fremst sett på NO_2 , grunnet dens innvirkning på Oslo lufta.

NO_2 dannes ved høy temperatur. Dette skjer for eksempel i forbrenningsprosesser, og følgelig er bilmotorer en primær kilde til NO_2 produksjon.

2.2.2 Kilder til NO_2

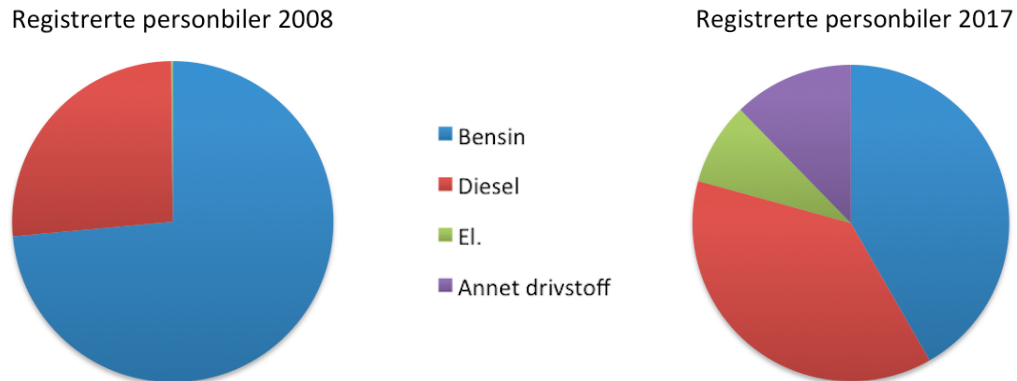
Det er mange kilder til luftforurensning i byer. Menneskeskapte utslipp, og særlig vegtrakk, trekkes fram da utslippene skjer på bakkenivå. I følge Løseth (2018) er



Figur 2.5: Kilder til NO_x i Oslo. Verdier er basert på beregnede tall fra (Høiskar *et al.*, 2016).

hovedkildene til luftforurensning i Oslo veistøv, vedfyring og eksos, hvor NO_2 dannes i størst grad av eksos. Figur 2.5 illustrerer kildene til NO_x i Oslo, og er basert på beregnede tall fra NILU-rapporten, presentert av Høiskar *et al.* (2016). Grunnet sammenhengen mellom NO_x og NO_2 , nevnt i delkapittelet over, er denne figuren også direkte relatert til NO_2 .

Trafikk



Figur 2.6: Sammenligning av registrede personbiler sortert etter drivstoff for gjennomsnittsårene 2008 og 2017. Basert på tall fra SSB (2019).

Registrerte personbiler i Oslo inndelt i ulike drivstofftype har tydelig endret seg i perioden 2008-2017. Figur 2.6 illustrerer dette. I følge Thune-Larsen *et al.* (2016), er dieserbiler den største kilden til NO_2 blant de ulike drivstoffene. I tillegg til ulike type drivstoff, har antall kjøretøy og type kjøretøy innvirkning på utslippsmengden fra trafikk. Av de ulike kjøretøysklassene viser rapporten fra transportøkonomisk institutt at tungtransporten er den kjøretøysklassen som slipper ut mest NO_2 i Oslo (Hagman *et al.*, 2011).

Kjøremønster, trafikk og temperatur kan også påvirke utslipp fra kjøretøyparken. I bykjøring i kulden, kan en diesel personbil med Euro 6 slippe ut 10 ganger så mye NO_x som typegodkjenningen. Dermed kan samme kjøretøypark med samme trafikk om vinteren slippe ut mer NO_2 enn om sommeren.

2.2.3 Effekten av NO_2 eksponering

Effekten av luftforurensning kan varieres i både alvorlighetsgrad og omfang. Figur 2.7 gir en illustrasjon på dette. Alvorlighetsgraden og andelen av befolkningen som blir berørt av luftforurensning blir framstilt som omvendt proporsjonale. Det vil derfor være en større andel av befolkningen som berøres av det som kategoriseres som mindre alvorlige plager. Det vil også være en god del av befolkningen som ikke vil bli plaget av luftforurensning.



Figur 2.7: Illustrerer hvordan en befolkning påvirkes av luftforurensning. Inspirert av WHO (2016). Tegnet av Grytdal (2019).

Flere helseeffekter har vist sammenheng med eksponering av NO_2 . Rapporten fra Folkehelseinstituttet (2013) assosierer langtidseksponering av NO_2 med blant annet nedsatt lungefunksjon og forverring av astma og bronkitt. Imidlertid blir korttidseksponering i hovedsak knyttet mot økt forekomst av sykkelighet. I følge Folkehelseinstituttet (2019) er de mest følsomme gruppene for luftforurensning barn, eldre, allergikere og astmatikere, se figur 2.8.



Figur 2.8: Risikogrupper for NO_2 eksponering. Tegnet av Grytdal (2019).

I følge Øvrevik *et al.* (2018), kan både korttids- og langtidseksponering knyttes mot økt forekomst av dødsfall. En studie av Næss *et al.* (2006), som omfatter innbyggerne i Oslo og dødsfall i perioden 1992 til 1998, viser sammenhengen mellom dødsfall og NO_2 i Oslo. Studiet konkluderer med at sårbare og mer utsatte personer

i samfunnet kan oppleve den negative effekten av luftforurensning ved lavere verdier en den lovbestemte NO₂ grenseverdien for et kalenderår.

2.2.4 Anbefalte og lovsatte terskelverdier

I Norge har vi både juridisk bindende grensverdier og luftforurensningskriterier. Sistnevnte er utelukkende basert på helsefaglig kunnskap med det formål å beskytte menneskers helse. Kriteriene er fastsatt av Folkehelseinstituttet og Miljødirektoratet og er satt så lavt at sannsynligheten for at en viss helseeffekt inntreffer under terskel er liten for de aller fleste (Folkehelseinstituttet, 2013).

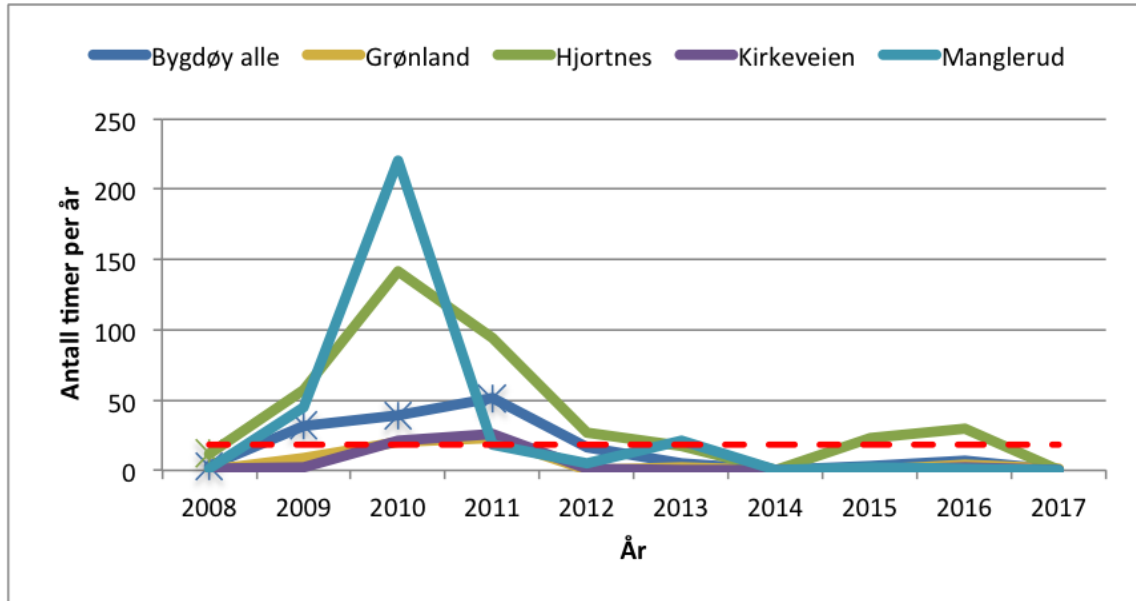
I motsetning til luftforurensningskriteriene, som er nasjonale målsettinger, blir samfunnsøkonomiske, administrative og tekniske hensyn tatt i betraktning når det gjelder grenseverdiene (Øvrevik *et al.*, 2018). Dagens grenseverdier og kriterier for Norge, er vist i tabell 2.1. Grenseverdien for timemiddel er satt til maksimalt 18 tillatte overskridelser per kalenderår, hvor man kan ha høyere konsentrasjoner enn 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i middelverdi over én time. Grenseverdiene er hentet fra forurensningsforskriftens, kapittel 7 om lokal luftkvalitet, som er underlagt forurensningsloven.

	Grenseverdier	Kriterier
NO ₂ År	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂ Time	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂ 15 min	-	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

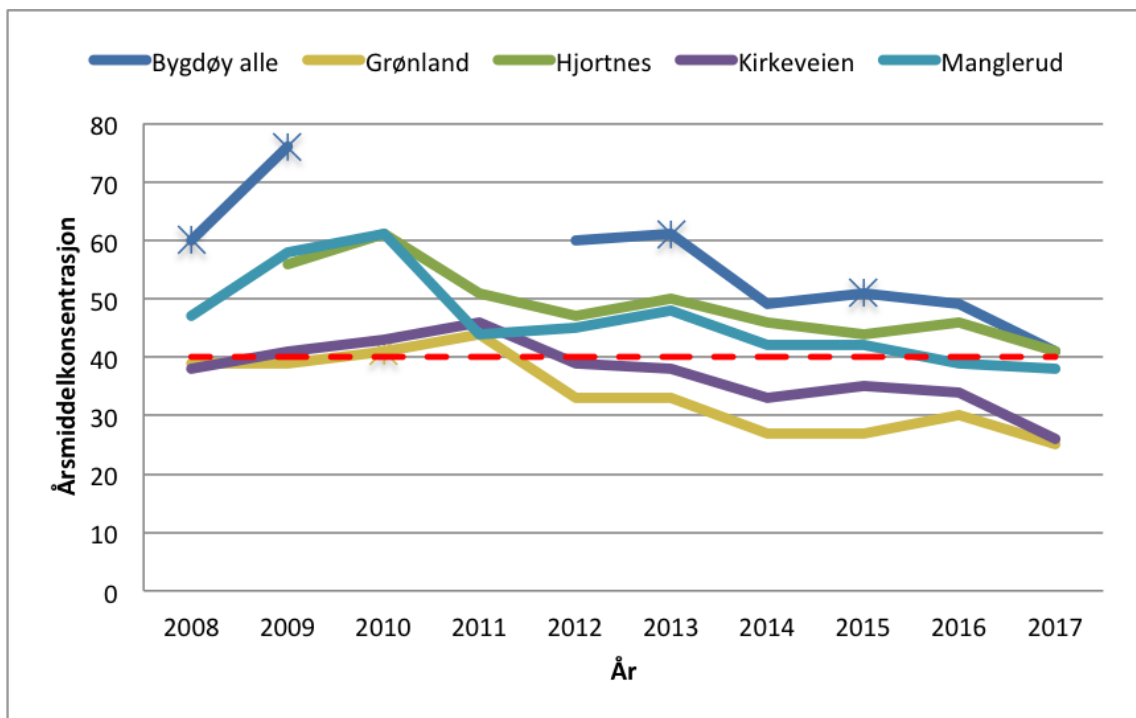
Tabell 2.1: NO₂ grenseverdier og kriterier for årsmiddel, timemiddel, og middelverdi av et kvarter (Folkehelseinstituttet, 2013) (Forurensningsforskriften, 2019).

Målestasjonene for NO₂ viser både variasjon i lokasjon og i tid. Dette framstilles både i figur 2.9 og i figur 2.10, hvor tidsperioden er 2008-2017. Figurene er basert på målestasjonene som eies av Oslo kommune og Statens Vegvesen, og tar for seg de fem målestasjonene i Oslo som har best dekning for NO₂. Det vil si de målestasjonene som har flest målinger å begrunne beregning av blant annet månedsgjennomsnitt og antall timer med overskridelser. Førstnevnte figur viser antall timer per år med overskridelser over den lovpålagte grensen for NO₂. Figur 2.10 illustrerer et mer langsiktig bilde av NO₂ utviklingen, da middelkonsentrasjonen over et år framstilles.

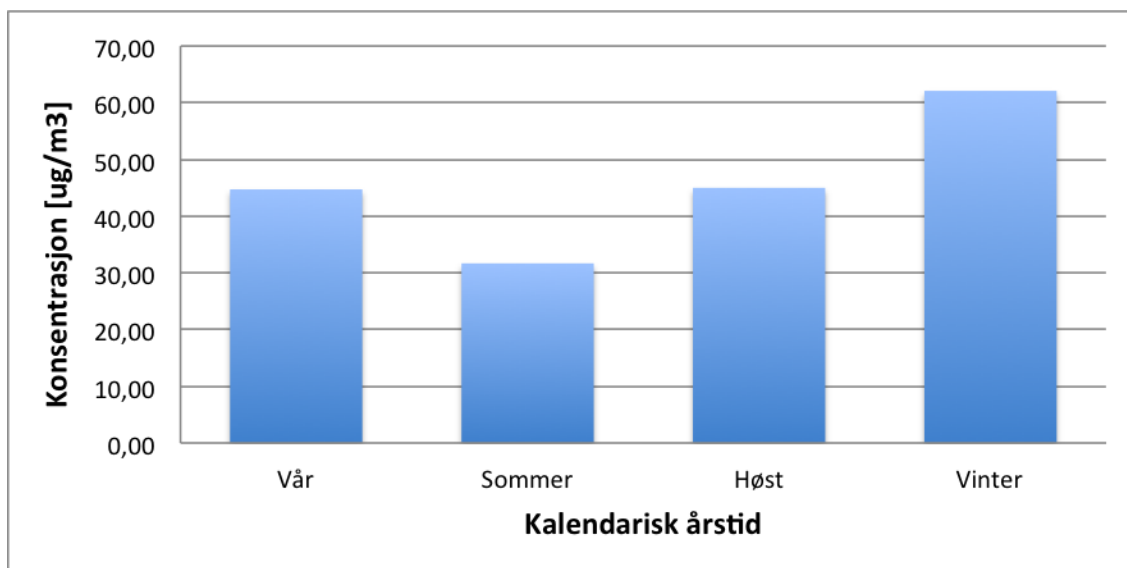
Vinter er den årstiden med høyest NO₂ konsentrasjon. Dette er illustrert i figur 2.11, som gir et bilde på NO₂ konsentrasjonen i Oslo inndelt etter årstid. Figuren er basert på gjennomsnittskonsentrasjonen av NO₂ for de fem målestasjonene nevnt tidligere, inndelt etter kalendarisk årstid. Årstidene er videre et gjennomsnitt over alle de fullstendige årstidene i perioden 2008-2017.



Figur 2.9: Antall timer per år med overskridelser av forurensningsforskriftens timegrenseverdi for NO₂, for fem utvalgte lokasjoner. Den røde stiplede linjen markerer 18 timer som er antall tillatte overskridelser. Målingene merket i figuren med symbolhar mindre enn 80 % datadekning, og har mer usikkerhet knyttet til den framstilte verdien enn de andre verdiene i figuren. Basert på tall fra Oslo kommune.



Figur 2.10: Årlig middelkonsentrasjon av NO₂ for fem utvalgte lokasjoner. Den røde stiplede linjen markerer årsgrenseverdien på 40 µg/m³. Målingene merket i figuren med symbol har mellom 75 % og 85 % dekning, og har mer usikkerhet knyttet til den framstilte verdien enn de andre verdiene i figuren. Målingene med en dekning på under 75 % er fjernet i figuren. Basert på tall fra Oslo kommune.



Figur 2.11: Gjennomsnittkonsentrasjon av NO_2 basert på målestasjonene Bygdøy Alle, Grønland, Hjortnes, Kirkeveien og Manglerud, inndelt etter kalendarisk årstid. Basert på tall fra Oslo kommune i perioden 2008-2017.

2.2.5 Ansvar og tiltak rettet mot luftforurensning

Oslo kommune er forurensningsmyndighet for lokal luftkvalitet og er ansvarlig for å holde bylufta ren. Staten skal tilrettelegge for kommunene, og videre har ulike departementer, direktorater, fylkeskommuner og andre samfunnsaktører forskjellige ansvarsområder når det gjelder luftforurensning. I tillegg er det flere lover som omhandler trafikk, helse og luftkvalitet. Ettersom grenseverdiene er lovpålagt, forventes det at kommuner og anleggseiere iverksetter tilgjengelige tiltak og virkemiddel for at grenseverdiene overholdes (Forurensningsforskriften, 2019).

Spesifikke tiltak i Oslo for å forbedre luftkvaliteten er utslippsreduksjon. Det kan være strakstiltak, men også mer langsiktige mål. Trafikkredusering og utfasing av biler med høyt utslipp er spesielt vektlagt i følge Aas (2018). Et høyere totalutslipp av NO_2 forventes av dieslbiler i følge Thune-Larsen *et al.* (2016). Dette kommer av økningen av registrerte dieslbiler, sammen med mangelen på effektive rensesystemer. Sammenhengen mellom de ulike drivstofftypene for registrerte personbiler og NO_2 er nærmere studert i resultater.

2.3 Samspillet mellom meteorologi og luftforurensning

Konsentrasjonen av forurensende utslipp som når bakken avhenger av spredningen og fortynningen i lufta, som styres av strukturen av strømminger og turbulens i det planetariske grenselaget. Mesteparten av utslipp er utsendt fra kilder nær bakken. Høyden på utslipp og dens oppdrift kan gi svært forskjellige betingelser på hvor langt forurensningen vil transporteres. Spredningen og fortynningen blir blant

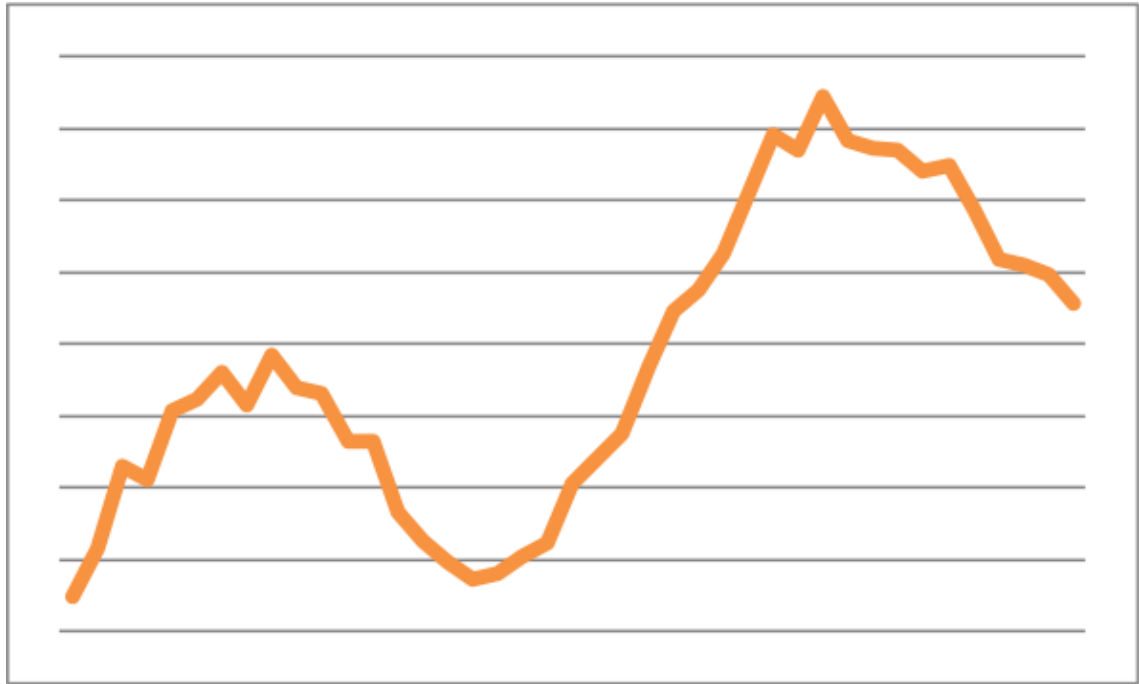


Figur 2.12: Samspillet mellom meteorologi og luftforurensning fra forskjellige kilder (istockphoto.com, 2019)

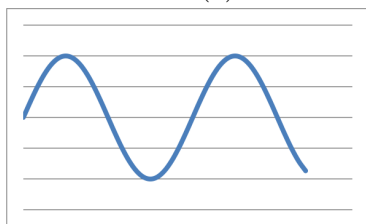
annet påvirket av tetthetsforskjeller til de forurensende komponentene, atmosfærens sammensetning, terreng og andre komplekse strukturer.

Luftforurensning blir først et problem når raten på utslipp overgår spredningen og fortynningen av uønskede komponenter i atmosfæren. Det er større sannsynlighet for at dette skjer i urbane områder. Derfor er samspillet mellom meteorologi og luftforurensning viktig når man fokuserer på bylufta i Oslo.

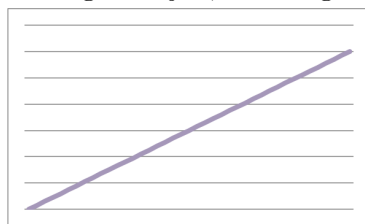
I denne oppgaven er det interessant å se hvordan NO_2 har utviklet seg over tid. I en slik tidsrekkeanalyse kan vi støte på flere variasjoner. For eksempel sesongvariasjon (figur 2.13b), trend (figur 2.13c), og tilfeldig variasjon (figur 2.13d). Produktet av disse variasjonene framstilles i figur 2.13a, hvor de ulike variasjonene har ulik styrke. Meteorologi og utslipp kan skape slike variasjoner i NO_2 , i varierende grad. Hvilke variabler som kan forklare hvilke variasjon blir nærmere gjennomgått i resultater.



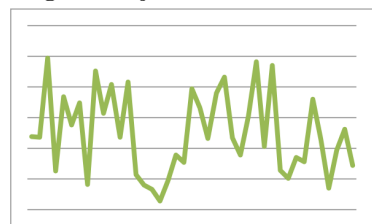
(a) Produkt av sesongvariasjon, trend og tilfeldig variasjon



(b) Sesongvariasjon



(c) Trend



(d) Tilfeldig variasjon

Figur 2.13: Illustrerer produktet av sesongvariasjon, trend og tilfeldig variasjon, hvor de ulike variasjonene har ulik styrke. Figurene under gir de enkelte variasjonene hver for seg.

3

Metode og Data

Det blir i denne oppgaven gjort en statistisk analyse, med behandlede data. Relevante data for NO_2 , meteorologi og trafikk ble benyttet, hvor førstnevnte er variabelen som det blir sammenlignet med.

En del av de statistiske begrepene og metodene er tatt fra boka "statistikk for universiteter og høyskoler", som er skrevet av Løvås (2013).

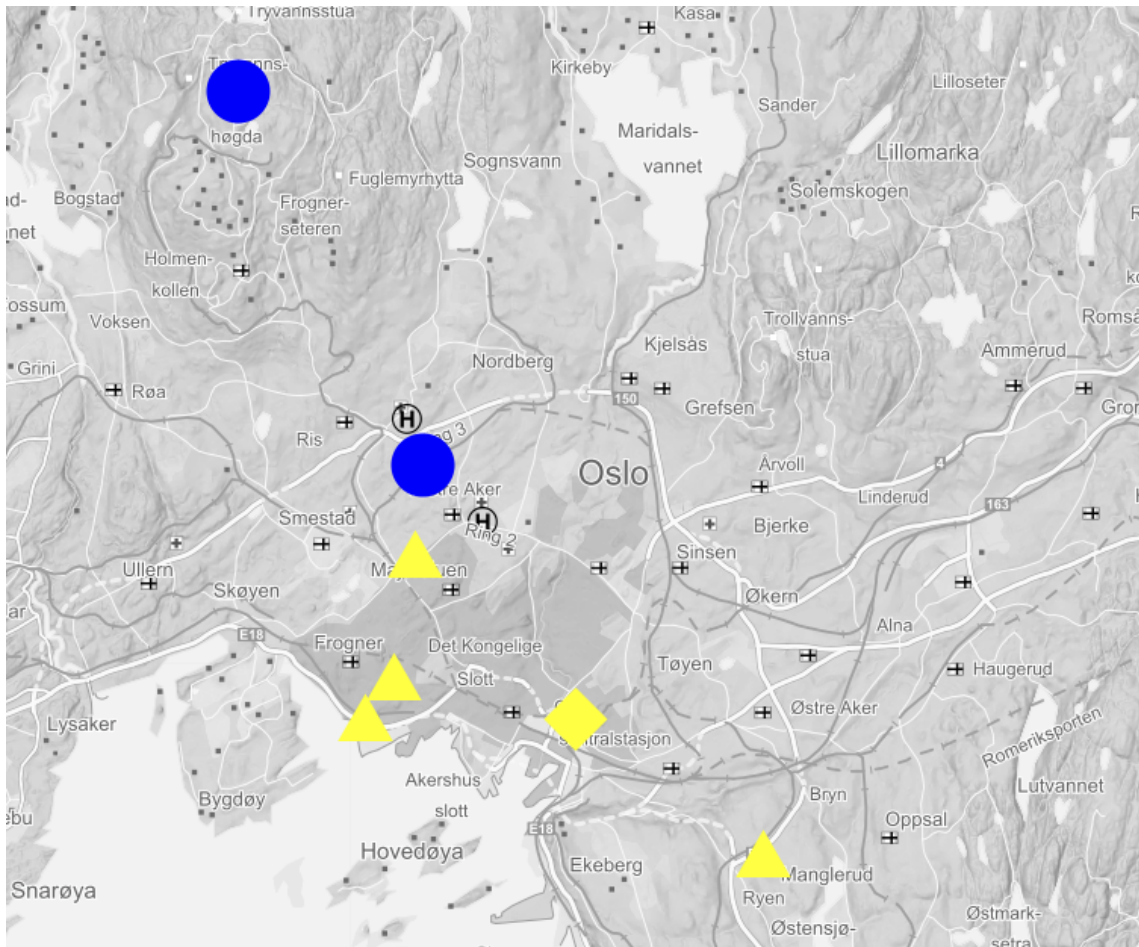
3.1 Valg av variabler og data

For å kunne kartlegge i hvilke grad meteorologi og utslipp fra kjøretøyparken påvirket NO_2 konsentrasjonen i Oslo, ble det først undersøkt hvilke data som var tilgjengelig og om lignende studier hadde blitt gjennomført tidligere.

For den valgte tidsperioden, 2008-2017, ble NO_2 data hentet fra Oslo Kommune og Statens Vegvesen. Meteorologiske data ble hentet fra Meteorologisk Institutt og trafikkdata ble hentet fra Statistisk Sentralbyrå (SSB). Trafikkdata brukt i 2018 analysen bruker trafikkdata hentet fra Fjellinjen, da disse gir månedsdata.

Målestasjonene i Oslo med best dekning for NO_2 for den gjeldende perioden, ble valgt som utgangspunkt i denne oppgaven. Figur 3.1 viser de utvalgte NO_2 målestasjonene i Oslo. Målestasjonene ved Bygdøy Allè, Kirkeveien, Manglerud og Hjortnes er plassert langs trafikkerte veier i Oslo, og eies av Oslo kommune og Statens Vegvesen. Målestasjonen på Grønland er plassert lengre unna veien, og måler bybakgrunnen av NO_2 . Blindern var hovedmålestasjonen for de meteorologiske variablene brukt i analysen. Tryvannshøgda ble bare brukt for temperaturmålinger. Grunnet hull og ulik dekningsgrad av dataene fra de ulike lokasjonene ble det brukt gjennomsnitt av de fem målestasjonene i analysen.

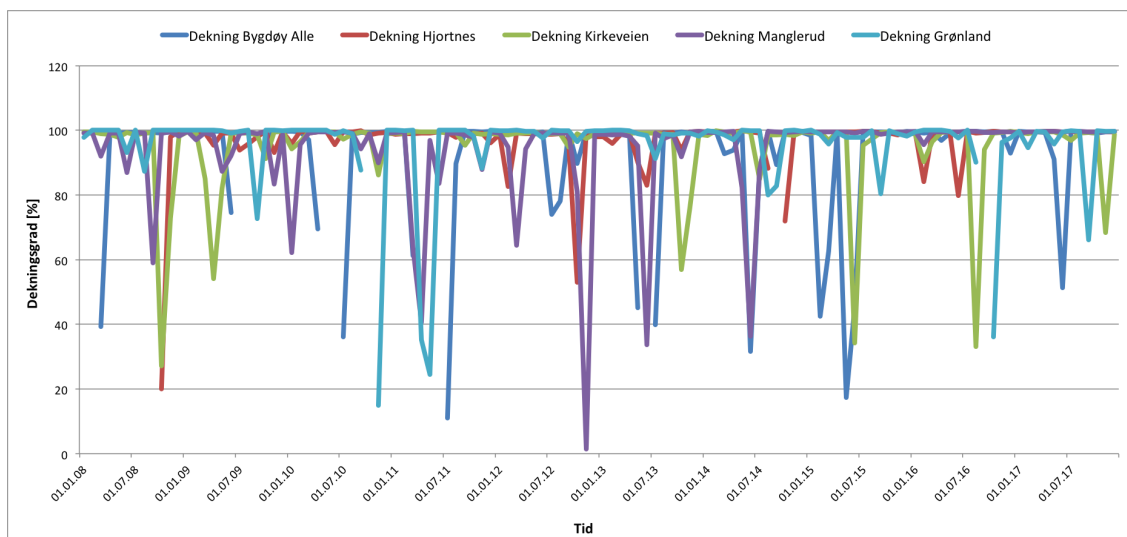
Data av månedsgjennomsnitt av NO_2 ved de forskjellige målestasjonene hadde ulik dekningsgrad. Dekningsgraden gir en prosent på hvor mange timer månedsgjennomsnittet er beregnet ut i fra. Figur 3.2 viser at dekningsgraden varierer ved de ulike målestasjonene. I tillegg var det enkelte måneder da månedsgjennomsnittet ikke var beregnet, grunnet liten eller ingen dekning i måneden. Dette er vist i figur 3.3. Her vises de ulike målestasjonene som numme-



Figur 3.1: Målestasjoner for NO_2 og meteorologi. De gule trekantene markerer de veinære målestasjoner for NO_2 og den gule diamanten på kartet er målestasjonen på Grønland som måler NO_2 bakgrunn. De blå rundingene markerer de meteorologiske målestasjonene. Kartet er hentet fra ©Kartverket (2019).

rente mellom en til fem. Hull i målingene blir presentert horisontalt i den gjeldende perioden.

Hvilke meteorologiske variabler som ble prioritert i denne studien ble blant annet basert på den delen av studiet av Aldrin *et al.* (2010) som fokuserte på NO_2 . I studiet av Aldrin *et al.* (2010), utpekte temperatur, temperaturdifferanse, vindhastighet, lokal vindretning, relativ fuktighet, snøfall og snødybde på Blindern som de meteorologiske variablene som hadde liten til sterk påvirkning på NO_2 . Vindretning ble blant annet valgt bort, ettersom denne oppgaven brukte flere lokasjoner for NO_2 analyse. Vindretningen vil variere fra lokasjon til lokasjon og vindretningen ved Blindern kan være avhengig av mer lokale faktorer enn de store dominante vindene i Oslo. Dermed kan ikke variabelen vindretning ved Blindern være representativt for hele Oslo. Videre ble temperaturdifferanse valgt bort, i erstatning mot en mer omfattende inversjonsanalyse. Variabelen snøfall ble heller ikke prioritert, ettersom den i utgangspunktet gav liten påvirkning i studiet til (Aldrin *et al.*, 2010). I tillegg var det liten og varierende dekning på denne variabel. Etter eliminering av meteorologiske variabler, ble variablene temperatur, vindhastighet, relativ fuktighet og snødybde nærmere studert i sammenheng med NO_2 .



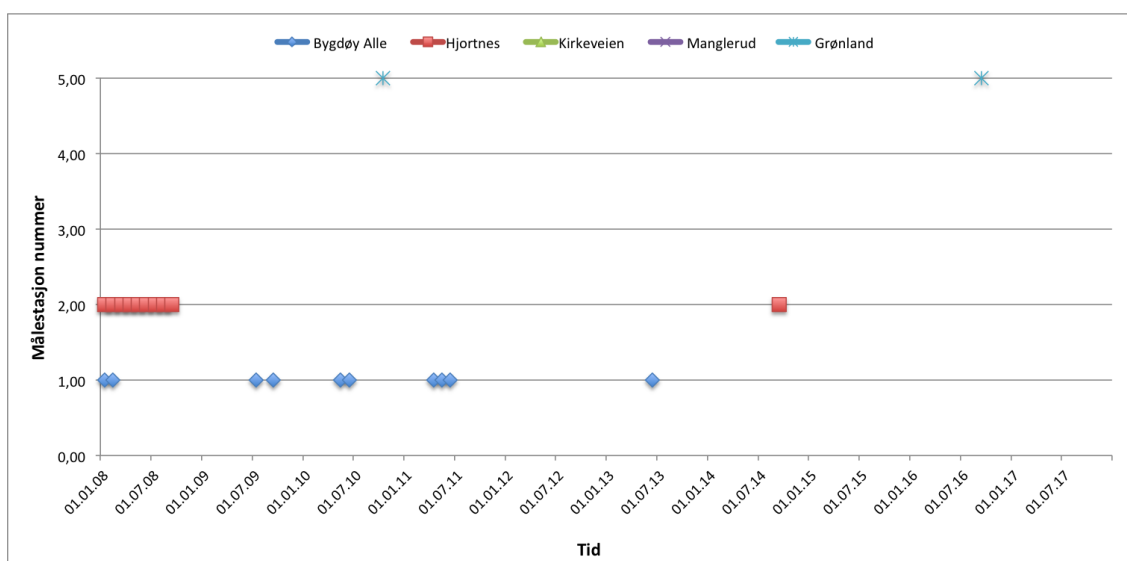
Figur 3.2: Dekningsgraden til de ulike NO₂ målestasjonene. En dekningsgrad på 100 % er optimalt.

Studiet av Aldrin *et al.* (2010), inneholdt trafikkvariablene, antall lette biler, antall tunge biler og kjøretøyhastighet, hvor de to førstnevnte gav høyest påvirkning på NO₂. Disse variablene ble målt hver time ved én lokasjon i Oslo. Grunnet begrenset data som gav oversikt over trafikken i hele Oslo, ble årsdata for registrerte kjøretøy i Oslo valgt i denne oppgaven.

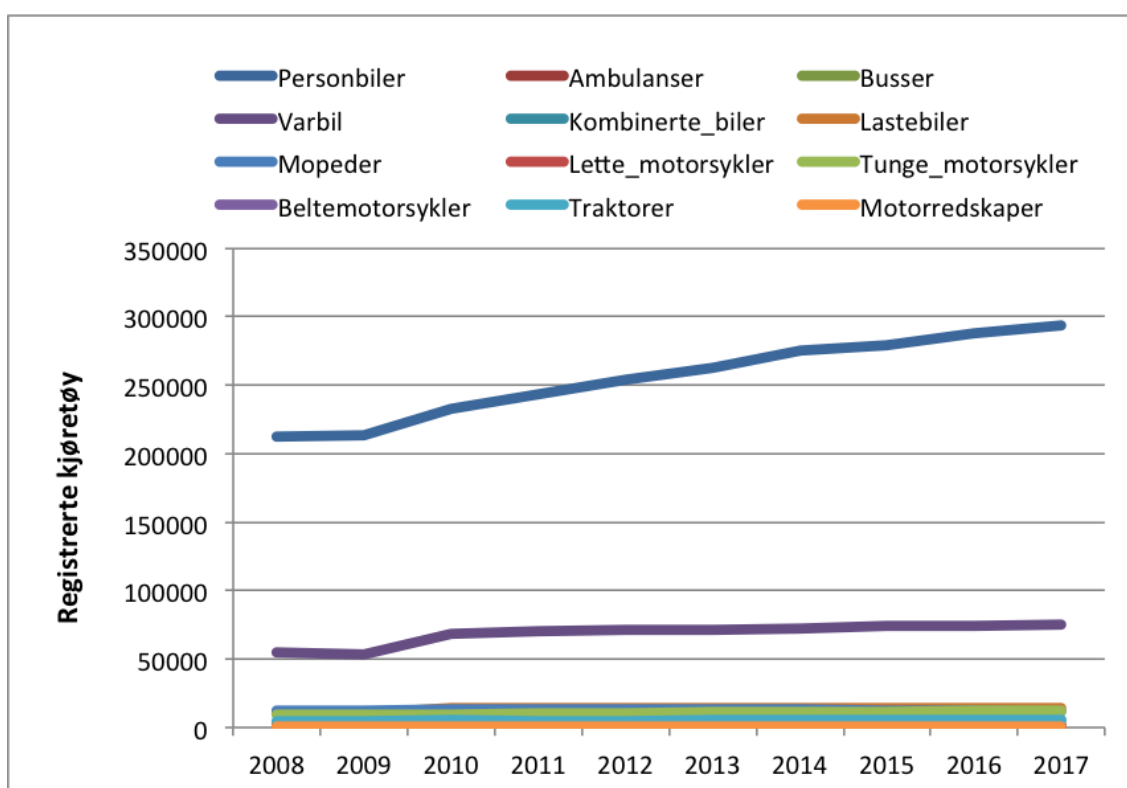
Figur 3.4 viser en oversikt over hvilke kjøretøy som dominerte i Oslo i den aktuelle perioden. Personbiler sto for omtrent 68 % av alle kjøretøy i perioden 2008-2017. Derfor ble personbiler satt i fokus for resten av oppgaven. Lastebiler derimot, sto for omtrent 4 % av alle registrerte kjøretøy i gjeldende periode. Likevel er de tunge kjøretøyene ansvarlig for mest NO₂ i Oslo blant de ulike kjøretøysklassene (Hagman *et al.*, 2011). Av den grunn ble lastebiler en viktig gruppe å analysere i tillegg til personbiler.

Lastebiler ble delt inn i Euro VI og Euro V og eldre, hvor sistnevnte gruppe ble samlet sammen da overgangen mellom Euro V til Euro VI skiller seg særlig ut. Utslippskravet til NO_x som kom med Euro VI i 2013, var en reduksjon av NO_x på 80 % (Amundsen & Hagman, 2015). Det finnes ingen reduksjon mellom tidligere typegodkjenninger som kan måle seg med denne reduksjonen. Fullstendig oversikt over registrerte lastebiler inndelt etter ulike utslippskrav, kan finnes i vedlegg A.

Det ble vurdert å bruke total kjørelengde inndelt etter ulik drivstofftype i oppgaven. Det var dog ikke mulig å innhenta data på kjørelengder for lastebiler inndelt etter Euro-krav. Registrerte kjøretøy ble dermed valgt for å kunne inkludere dette. I tillegg gav registrerte personbiler og kjørelengder for personbiler tendenser til lik endringsforhold per drivstofftype. Sammenligningen mellom registrerte personbiler og kjørelengder for personbiler inndelt etter drivstofftype framstilles i vedlegg A.



Figur 3.3: Hull i dataene til de ulike NO₂ målestasjonene. Y-aksen nummererer de ulike målestasjonene.



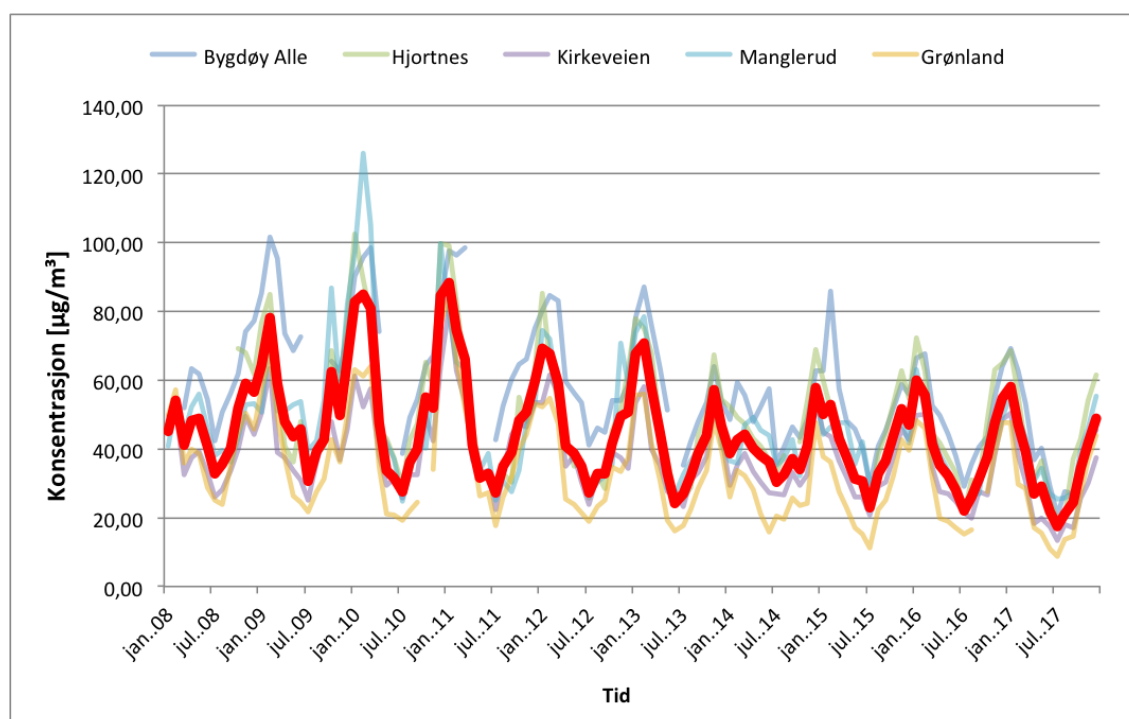
Figur 3.4: Registrerte kjøretøy sortert etter type.

3.2 Tidsserie av utvalgt data

Det ble i denne oppgaven valgt å gjøre en grafisk framstillingen av data. Noen av dataene måtte behandles for å få det riktig framstilt i gjeldende periode, 2008-2017.

3.2.1 NO₂

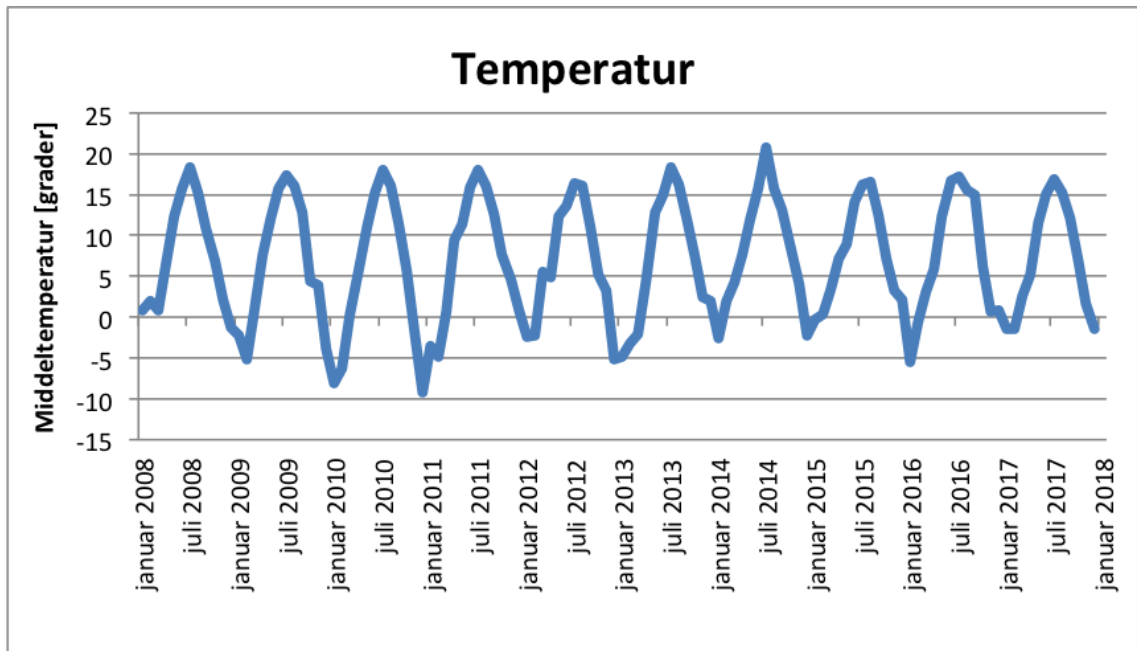
Figur 3.5 illustrerer målingene til de ulike målestasjonene, og gjennomsnittet av alle lokasjonene. Figuren viser gjennomsnittsverdier for hver måned i den gjeldende perioden.



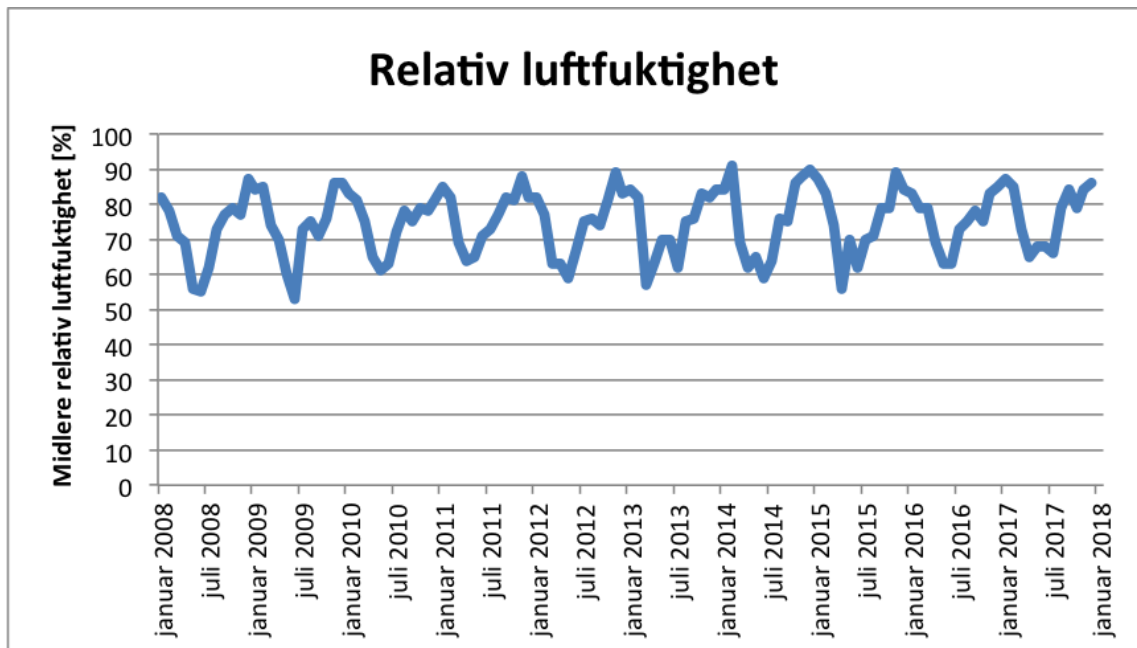
Figur 3.5: De fem utvalgte NO₂ lokasjonene og gjennomsnittet av dem, markert i rød tykk linje.

3.2.2 Meteorologi

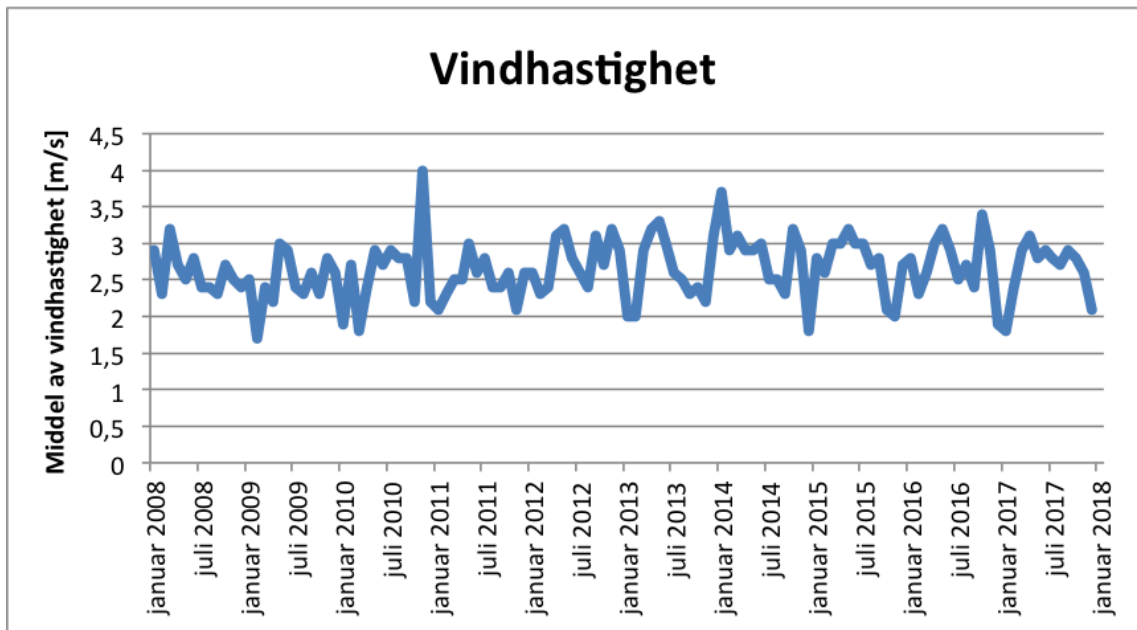
Figurene 3.6, 3.7, 3.8 og 3.9 viser tidsserie av meteorologisk data som er med i analysen. Alle variablene er framstilt i samme tidsperiode. Dataene er middelsverdier for hver måned i den gjeldende perioden. Temperatur, relativ luftfuktighet og snødybde viser tydelig variasjon knyttet til årstider, mens vindhastighet viser en større variabilitet. Ingen av observasjonene viser tydelig trend.



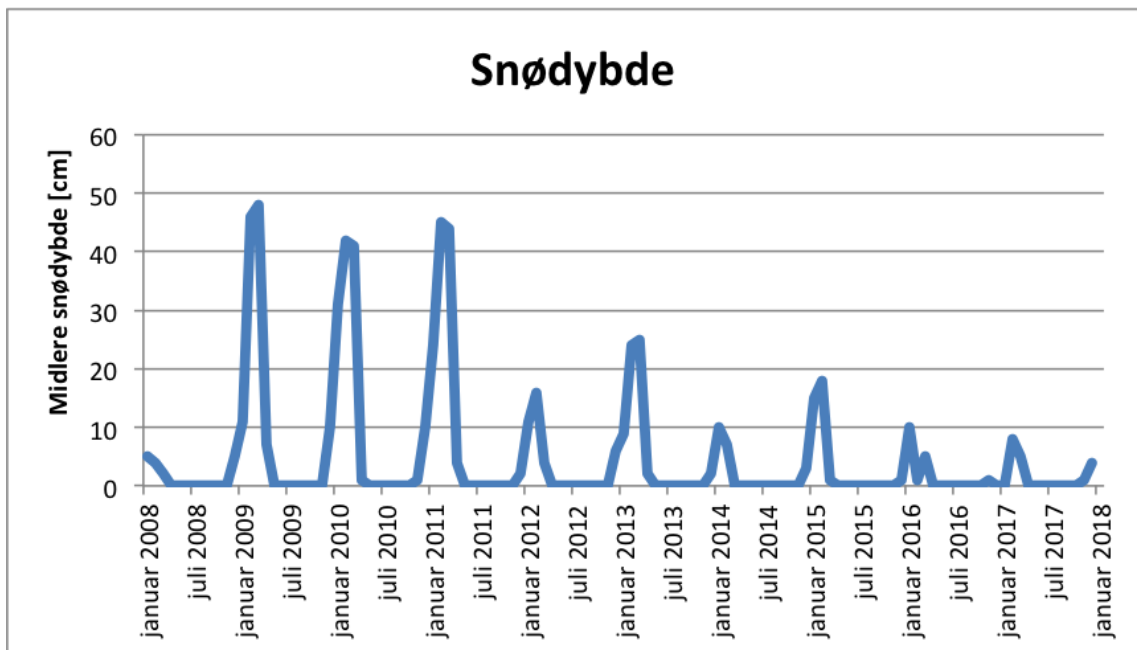
Figur 3.6: Temperatur tidsserie i perioden 2008-2017



Figur 3.7: Relativ fuktighet tidsserie i perioden 2008-2017



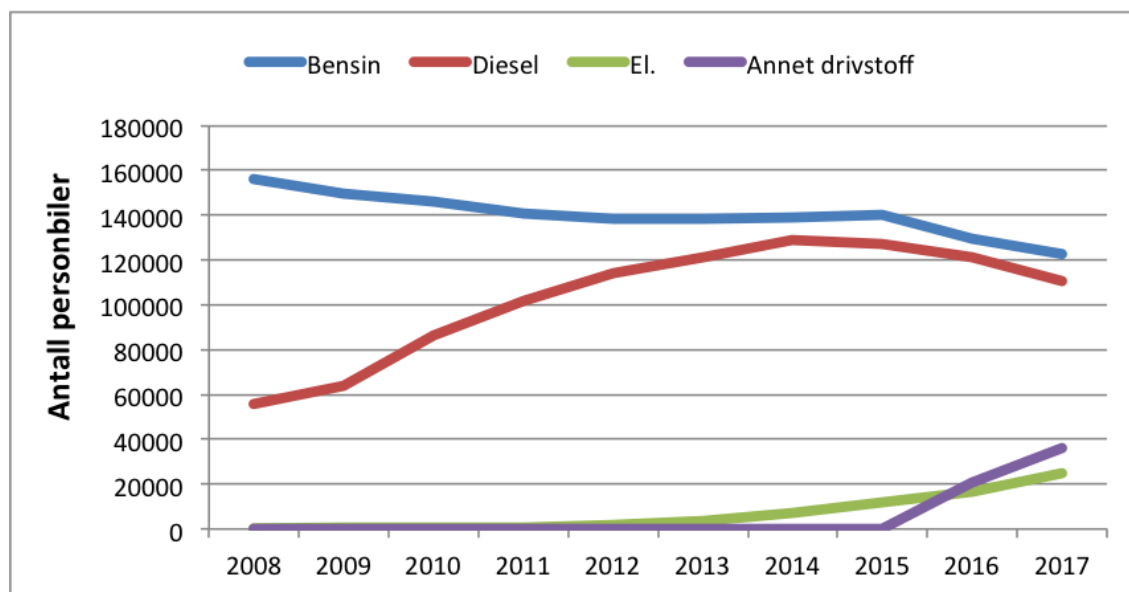
Figur 3.8: Vindhastighet tidsserie i perioden 2008-2017



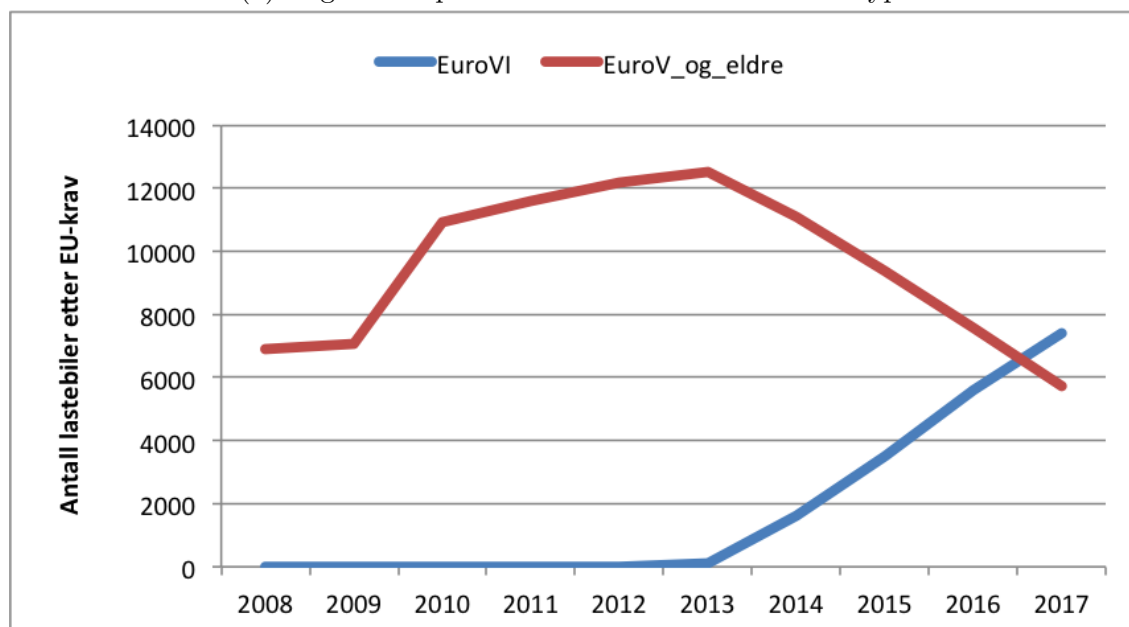
Figur 3.9: Snødybde tidsserie i perioden 2008-2017

3.2.3 Trafikk

Figurene 3.10a og 3.10b viser tidsserie av trafikkdata som er med i analysen. Personbiler er inndelt i ulike drivstofftype, hvor diesel er den drivstofftypen som slipper ut mest NO_2 etterfulgt av bensin. I gruppen, annet drivstoff, er de ulike hybridene klassifisert i denne gruppen fra 2015. Det er grunnen til den markante stigningen i denne gruppen fra 2015 og utover. Tidligere ble hybridene klassifisert i gruppene diesel og bensin. Lastebiler er inndelt etter hvilke utslippskrav for tunge kjøretøy som er gjeldende.



(a) Registrerte personbiler inndelt etter drivstofftype



(b) Registrerte lastebiler inndelt i Euro VI og Euro V og eldre

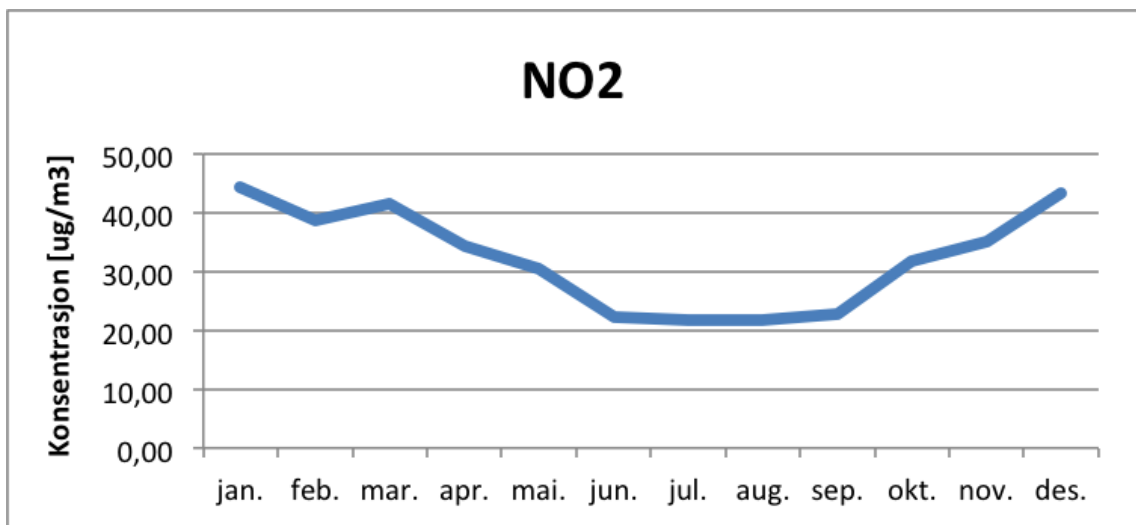
Figur 3.10: Tidsserie av trafikkdata som er med i analysen i perioden 2008-2017

3.2.4 2018 analysen

Året 2018, ble nærmere analysert ettersom det fantes månedsdata på trafikk i hele dette året. Data fra Fjellinjen gir antall passeringer i bomringen sortert etter drivstoff og Euro-krav.

NO₂

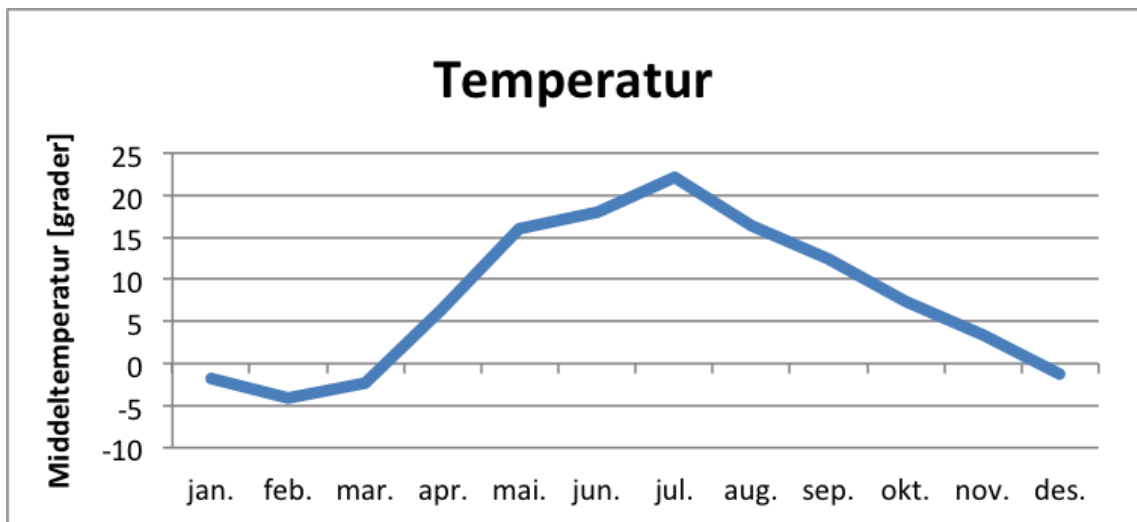
Figur 3.11 viser gjennomsnittsverdien for hver måned i året 2018, og er beregnet for de fire veinære lokasjonene.



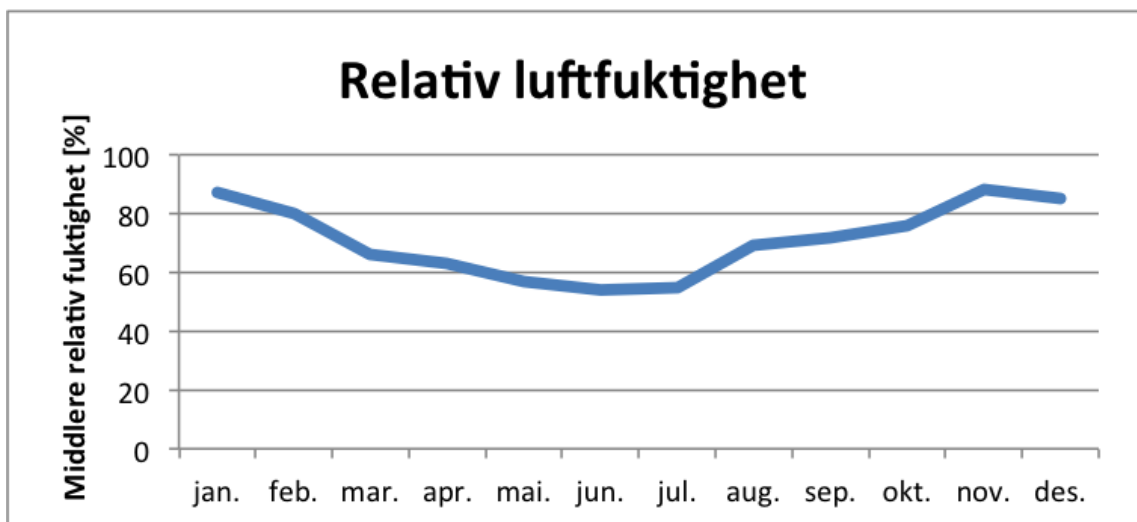
Figur 3.11: NO₂ månedsgjennomsnitt for de fire veinære lokasjonene for året 2018.

Meteorologi

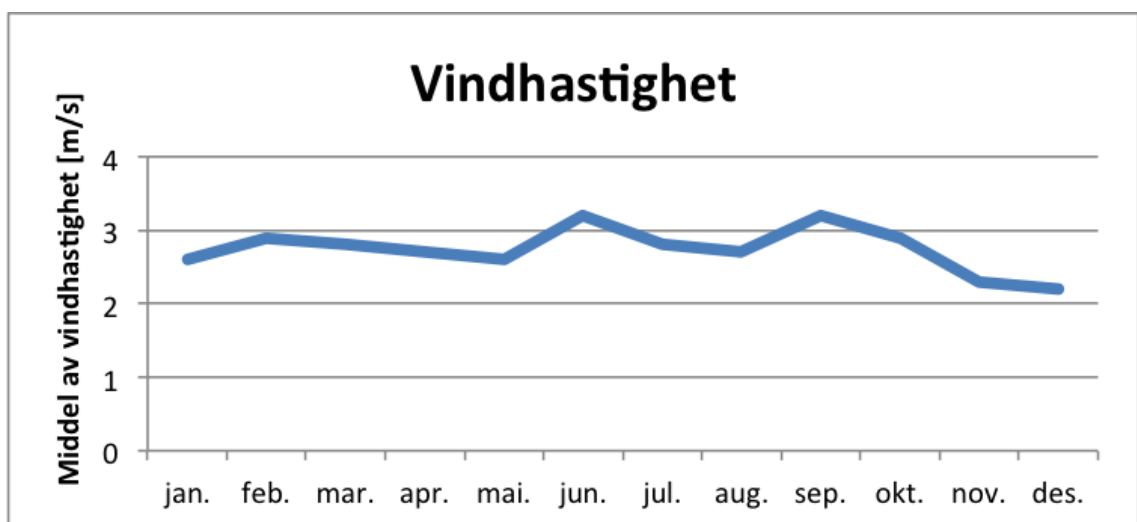
Figurene 3.12, 3.13, 3.14 og 3.15 viser tidsserie av meteorologisk data som er med i 2018 analysen.



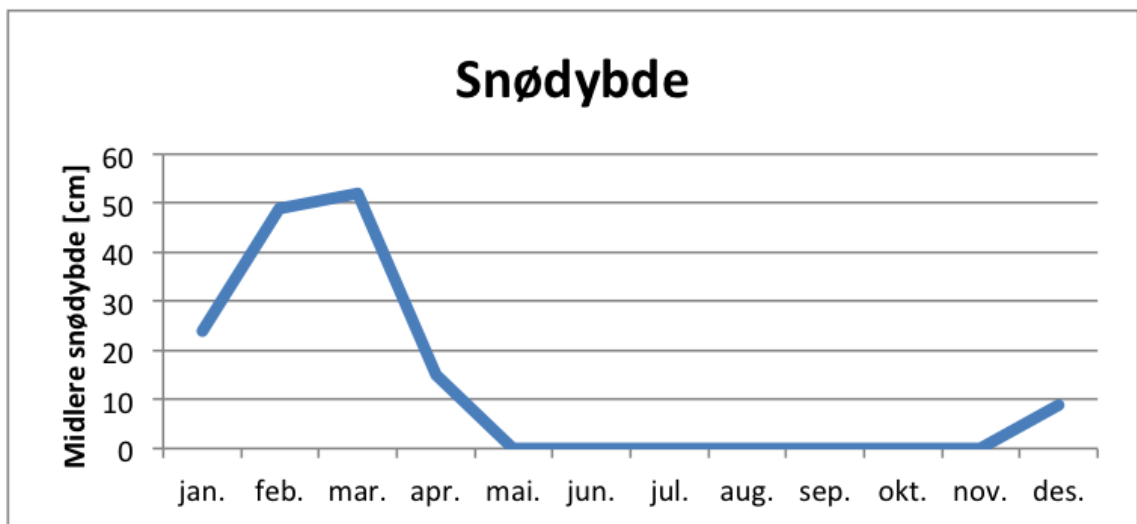
Figur 3.12: Temperatur tidsserie for året 2018



Figur 3.13: Relativ luftfuktighet tidsserie for året 2018



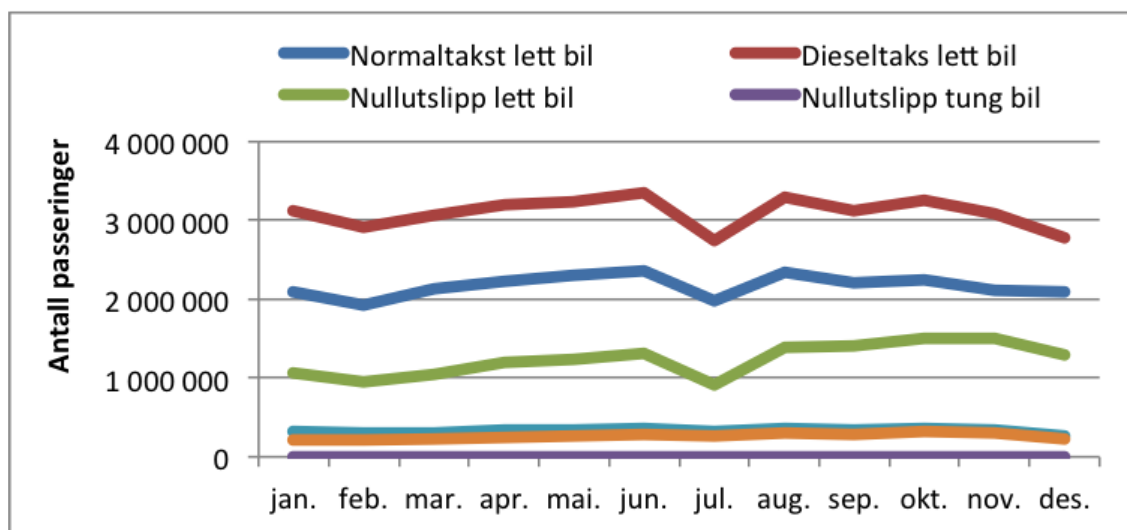
Figur 3.14: Vindhastighet tidsserie for året 2018



Figur 3.15: Snødybde tidsserie for året 2018

Trafikk

Figur 3.16 viser tidsserie for trafikkdata som er med i 2018 analysen. Trafikkdata fra Fjellinjen gir antall passeringer i bomringen sortert etter drivstoff og Euro-krav.



Figur 3.16: Trafikk representert som passeringer i bomringen inndelt etter drivstofftype og Euro-krav for året 2018. Trafikkdata er i denne analysen hentet fra Fjellinjen.

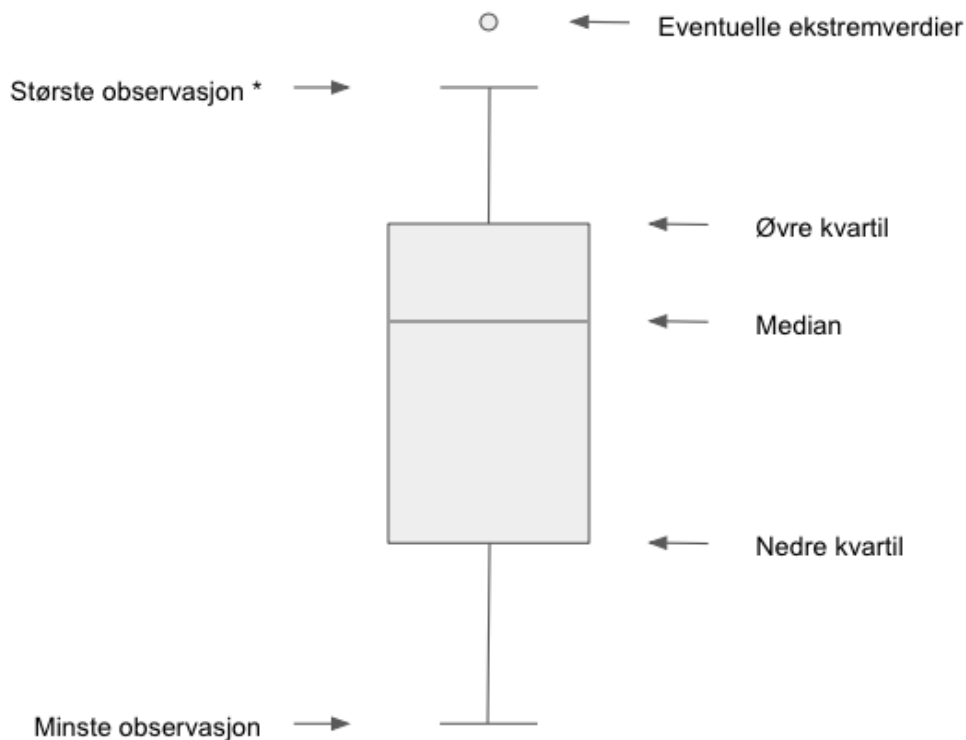
3.3 Behandling av data

3.3.1 Variasjonsanalyse

Til å begynne med ble det gjort en variasjonsanalyse for å se hvordan dataene var fordelt. En visuell presentasjon av variasjonen i dataene ble gjort med bruk av boksplott . Figur 3.17 gir en framstilling på hva et boksplott inneholder. I en symmetrisk fordeling vil medianen være midtstilt mellom minste og største observasjon. 25 % av dataene vil ha en lavere verdi enn nedre kvartil, og 75 % av dataene vil ha en lavere verdi enn øvre kvartil. Å studere hvordan dataene av de ulike variablene var fordelt, var hensiktsmessig i denne oppgaven da mange ulike datasett ble sammenlignet.

Boksplottene for NO_2 , meteorologi og inversjon ble inndelt etter år og måned. boksplottet inndelt etter år, gav en indikasjon på årsvariasjonen. Her ble månedene behandlet som tilfeldige variabler. Boksplottet inndelt etter måned, gav imidlertid en indikasjon på sesongvariasjonen per år. I dette tilfellet ble år valgt som tilfeldig variabel.

Boksplottene for trafikk ble ikke inndelt på samme måte som NO_2 , meteorologi og inversjon. Det var på grunn av at trafikk var basert på årsdata. Boksplottene for trafikk ble av den grunn inndelt etter drivstoff for de registrerte personbilene og etter Euro-krav for de registrerte lastebilene. Årene ble i disse boksplottene behandlet som tilfeldig, for å få fram variasjonen i trafikkdata.



Figur 3.17: boksplott

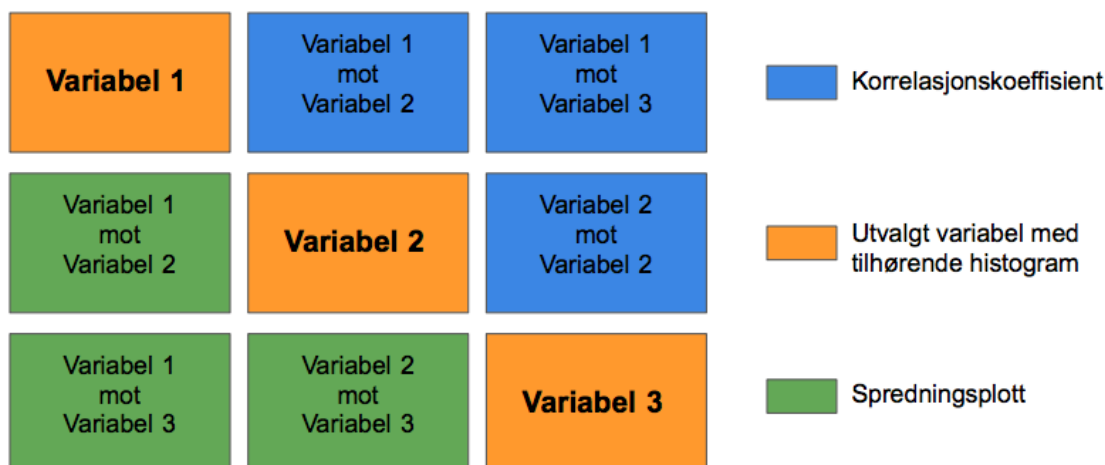
3.3.2 Inversjonsberegninger

Sammenhengen mellom inversjon og NO_2 ble i denne oppgaven vektlagt. For å kunne regne på hva som ble karakterisert som inversjon eller ikke, ble det satt krav til temperaturdifferansen mellom Tryvannshøgda (533 m.o.h), og Blindern (96 m.o.h), og minimumslengde på inversjonen. Tryvannshøgda skulle være minst 3 grader varmere enn Blindern, for at inversjonen skulle gi effekt. I tillegg ble det satt et krav om at inversjonen skulle vare lengre enn 3 timer, for at effekten skulle sette seg. Temperaturdifferansen mellom Tryvannshøgda og Blindern ble behandlet ut i fra de valgte kravene, i programmet Python. I tillegg til å hente ut inversjonene i timesdata format, ble inversjonene videre sortert etter antall inversjoner og lengste inversjon per måned. Denne analysen ble gjort for å kunne sammenligne inversjonene mot variablene som var sortert etter måned. I tillegg var det ønskelig å se om det var antall inversjoner per måned eller lengste inversjon per måned som hadde størst sammenheng med NO_2 sin gjennomsnittverdi.

3.3.3 Oppbygging av sammenhengsplott

I denne oppgaven var sammenhengen mellom NO_2 og de ulike variablene undersøkt med statistisk analyse og det ble brukt korrelasjon, spredningsplott og boksplott. Korrelasjon og spredningsplott var en nyttig måte å se lineære sammenhenger mellom to variabler på, hvor både retningen og styrken av sammenhengen var inkludert. En visuell framstilling som gav korrelasjon og spredningsplott mellom de ulike variablene ble valgt som fremgangsmåte for å vise de ulike sammenhengene

med NO_2 . Figur 3.18 gir en beskrivelse på hvordan plottet er bygd opp.



Figur 3.18: Sammenhengsplott . Kombinert plott som gir korrelasjon og spredningsplot.

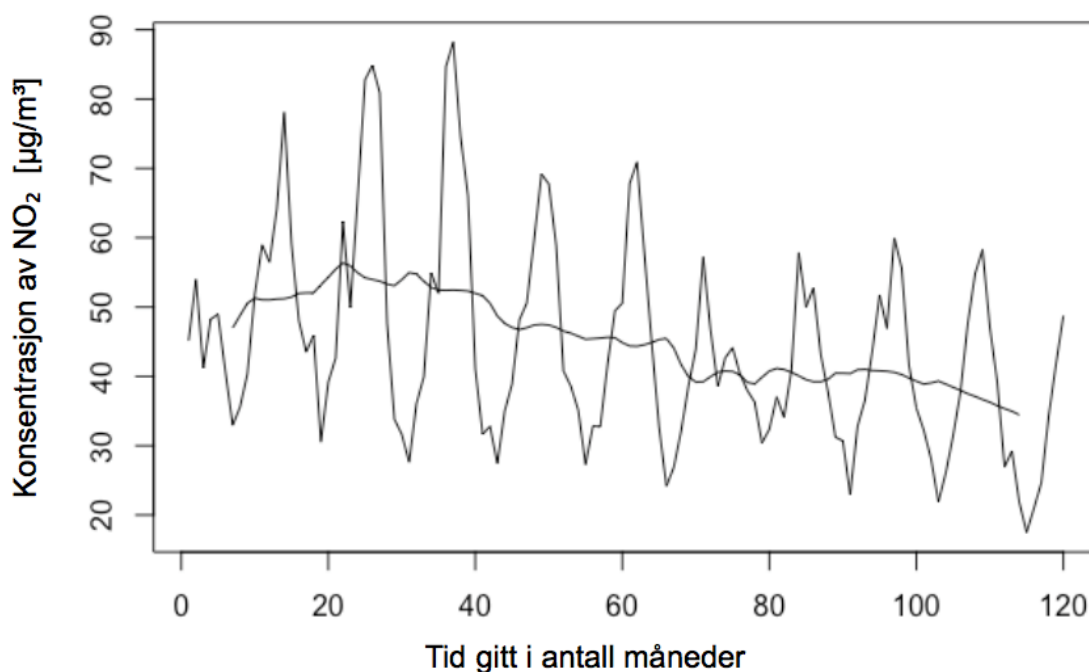
Korrelasjonskoeffisienten gav en verdi på hvor sterk lineær sammenheng det var mellom variablene, og låg mellom -1 og 1. Absoluttverdien gav styrken på denne sammenhengen, mens fortegnet gav retningen på sammenhengen. Dersom korrelasjonskoeffisienten mellom to variabler var positiv, ville en økning av den ene variabelen ført til en økning av den andre variabelen. Spredningsplott gav derimot en mer visuell framstilling av sammenhengen mellom de to variablene. Kombinasjonen av å ha brukt korrelasjonskoeffisienten og å ha studert tilhørende spredningsplott gav en ide om sammenhengen mellom de to variablene og kunne eventuelt utelukke tilfeldigheter. Dersom spredningsplottet ikke gav en indikasjon på et lineært forhold, ville ikke korrelasjonskoeffisienten være særlig gjeldende ettersom den tok utgangspunkt i et lineært forhold.

En del usikkerheter kommer av å bare se på korrelasjonskoeffisienten. Selv med en høy korrelasjon i analysen, som tydet på at variablene det var snakk om bevegde seg i samme retning, betydde det ikke nødvendigvis at den ene var en forklarende faktor for den andre variabelen. Det kunne være en annen variabel, utenfor analysen, som var den forklarende faktoren for oppførselen til de to variablene i analysen. Likevel kunne andre studier og teori bidra til å gi gode indikasjoner til den forklarende faktoren. NO_2 var et resultat av utslipp. Meteorologi kunne videre påvirke det gjeldende utslippet som fantes. Det var nærliggende å anta at temperatur var forklaringsfaktor for endring i NO_2 og ikke omvendt.

Korrelasjonen kunne utelate variabler som kunne ha en sammenheng med NO_2 som ikke var lineære. For eksempel hadde variablene snødybde og inversjon måneder med data med null i verdi. Endringen fra høst til vinter og fra vinter til vår var brå. Dette kunne være en sammenheng som ikke kom fram ved bare å se på korrelasjonen.

3.3.4 Trend, sesongvariasjon og tilfeldig variasjon i NO₂

Innledningsvis ble det laget sammenhengsplot med NO₂ månedsgjennomsnitt og variablene nevnt i tidligere delkapittel. Etter å ha studert tidsserien til NO₂, ble de ulike variasjonene, sesong, tilfeldig variasjon og trend skilt ut. Trenden ble hentet ut ved å definere gjentakende måneder og finne sentrert glidende gjennomsnitt for perioden. Pakkene fpp”og forecast”i programmet R, ble brukt til dette. Figur 3.19 viser resultatet av denne programmeringen.



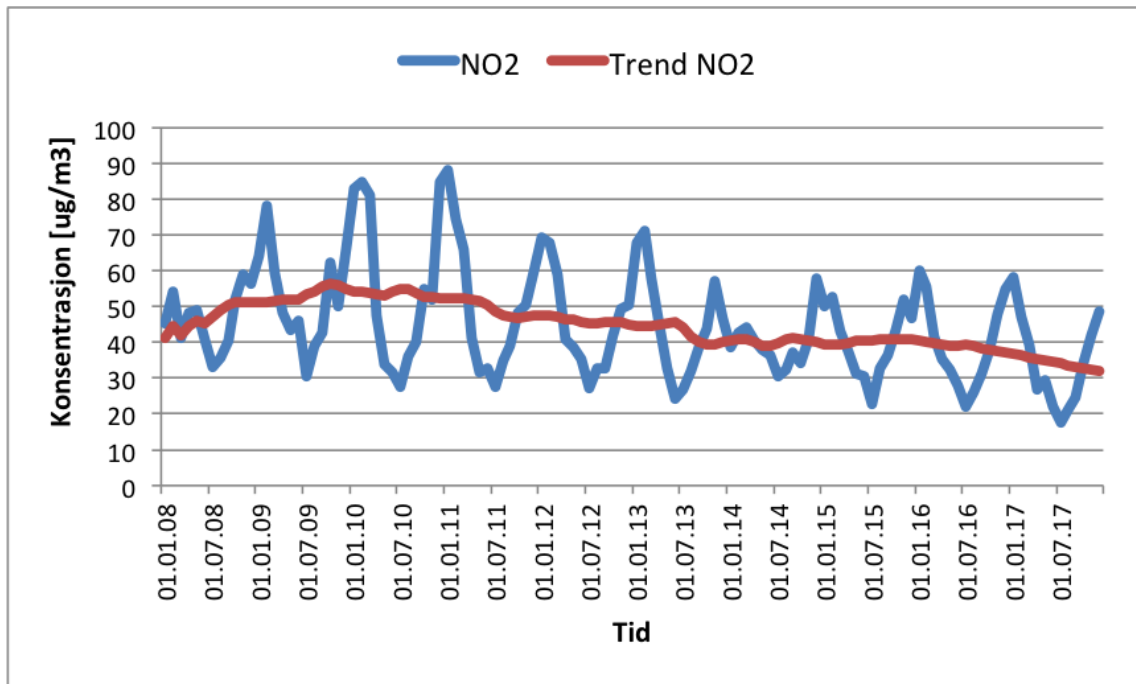
Figur 3.19: Beregnet trend i programmet R mot NO₂ månedsgjennomsnitt.

Denne programmeringen bruker metoder som utelater det første og siste halvåret i perioden 2008-2017. For å få en hel periode ble det ekstrapolert. Trenden fra de første- og siste månedene og de originale målingene ble brukt for å gjøre et estimat på den første og siste perioden. Figur 3.20 viser den resulterende trenden som ble brukt i videre analyser i forhold til månedsgjennomsnitt.

Sesongvariasjonen og tilfeldig variasjon ble videre regnet ut fra trend, og eventuelle feil i trendberegningene hadde da forplantet seg videre. Sesongvariasjonen ble funnet ved å trekke trenden fra månedsgjennomsnitt. Figur 3.21 viser sesongvariasjonen. Sesongvariasjonen er sesonggjennomsnitt over hele den gjeldende perioden, og repeterer seg selv ti ganger ettersom en periode var på ett år. Tilfeldig variasjon ble definert som den gjenværende variasjonen i NO₂, se ligning 3.1. Både sesongvariasjonen og den tilfeldige variasjonen er sentrert rundt null.

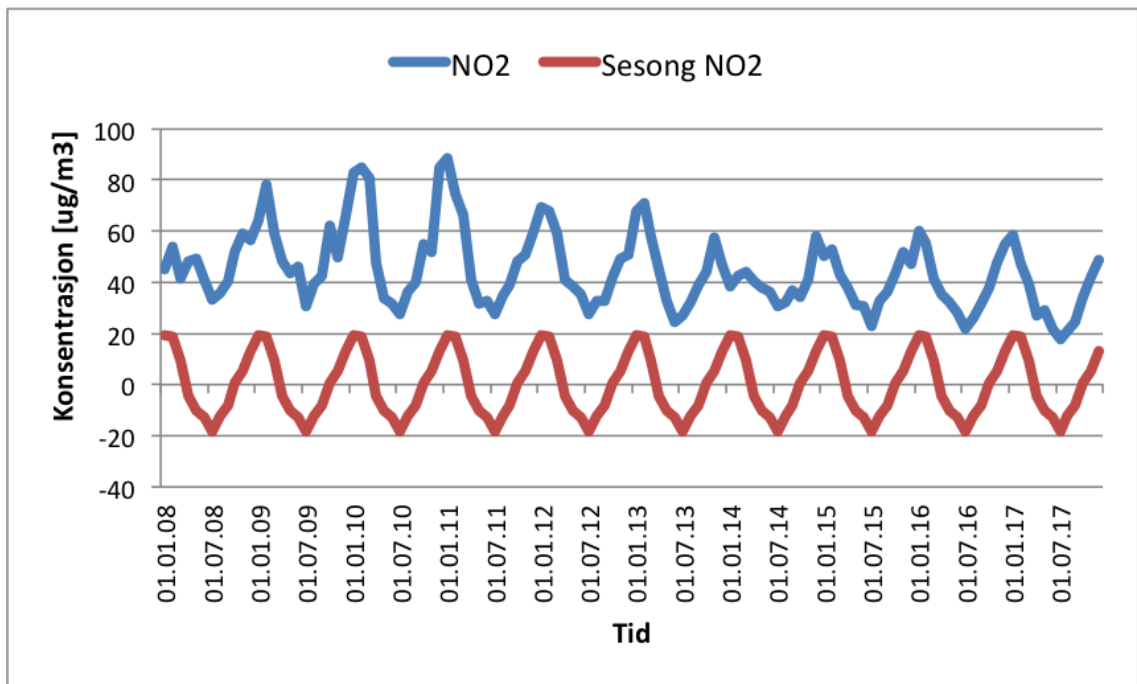
$$\text{NO}_2 \text{ Tilfeldig variasjon} = \overline{\text{NO}_2 \text{ Måned}} - \text{NO}_2 \text{ Sesong} - \text{NO}_2 \text{ Trend} \quad (3.1)$$

Den tilfeldige variasjonen, se figur 3.22, viser forhøyede verdier av NO₂ i de periodene hvor sesongvariasjonen og trenden ikke klarer å dekke hele variasjonen i NO₂. Særlig vinteren i årene 2010 og 2011, er den uforklarte variasjonen høy. Det kan tyde på

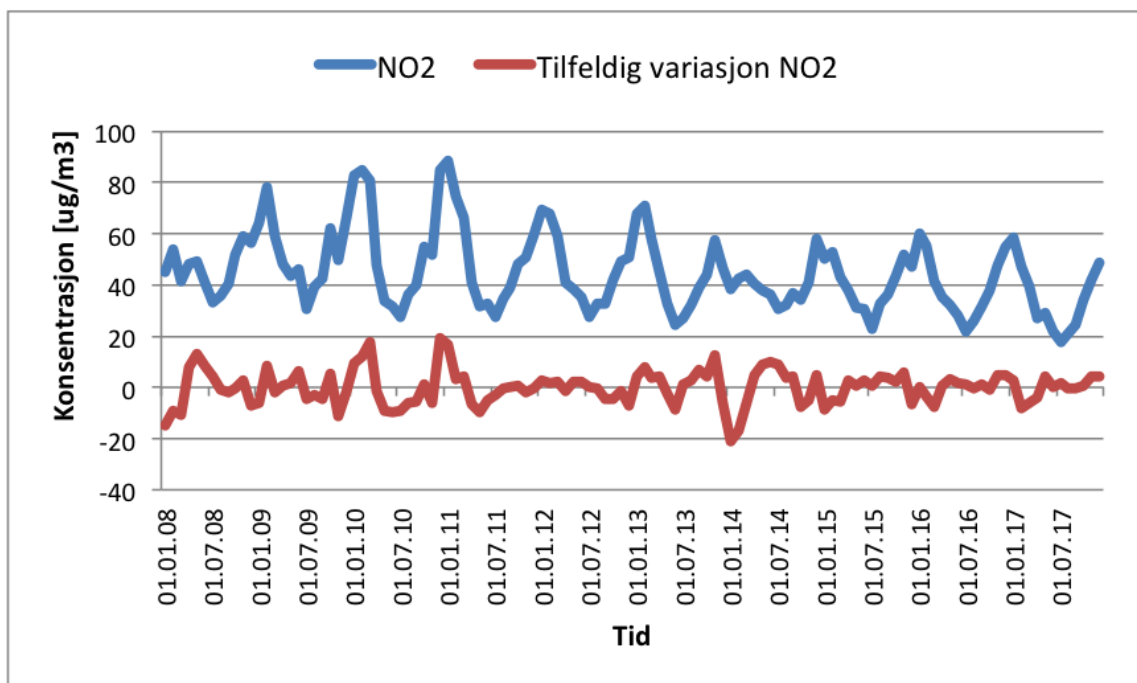


Figur 3.20: Beregnet trend mot NO₂ månedsgjennomsnitt.

andre forklarende faktorer som har økt NO₂ konsentrasjonen i disse periodene, som ikke er forklart av sesong og trend alene. I tillegg viser vinteren i året 2014 en lavere NO₂ konsentrasjon enn det som var forventet av sesongvariasjonen og trenden. Disse ekstremverdiene i tilfeldig variasjon viser til situasjoner i den gjeldende perioden, som skiller seg fra de som er forventet. Av den grunn er den tilfeldige variasjonen interessant å studere i den gjeldende perioden.



Figur 3.21: Beregnet sesongvariasjon mot NO_2 månedsgjennomsnitt. Sesongvariasjonen er et gjennomsnitt for sesongen over hele den gjeldende perioden, og repeterer seg selv. Sesongvariasjonen er sentrert rundt null.



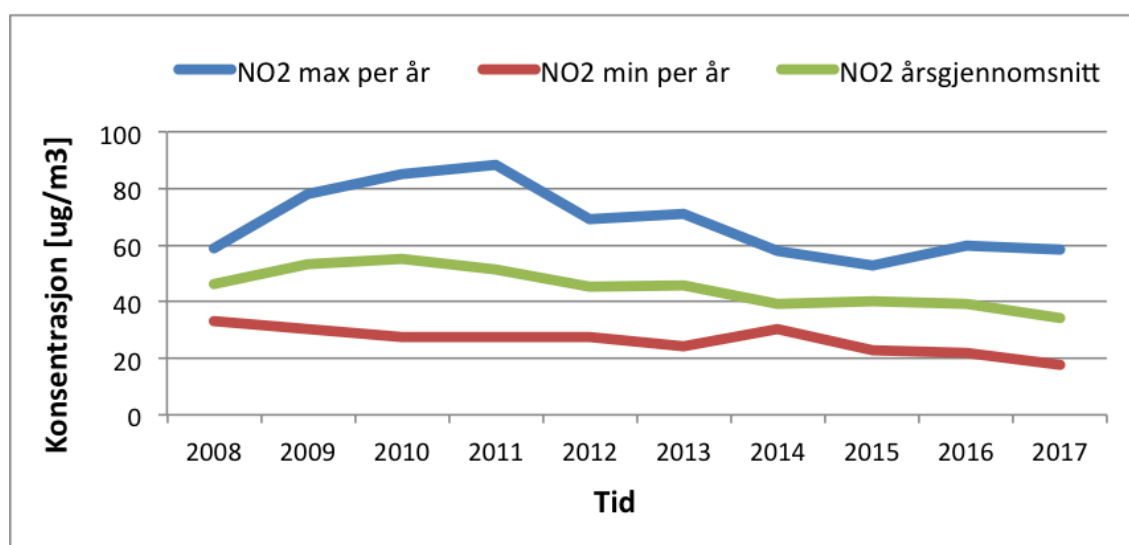
Figur 3.22: Beregnet tilfeldig variasjon mot NO_2 månedsgjennomsnitt. Tilfeldig variasjon er den gjenværende variasjonen i NO_2 . Tilfeldig variasjon er sentrert rundt null.

3.3.5 Valg av ytterligere analyser

Etter at NO₂ variasjonene ble kartlagt, ble det laget sammenhengsplott med de ulike NO₂ variasjonene. Videre ble trend nærmere studert i periodene 2008-2017, men også i perioden 2012-2017. Den sistnevnte perioden ble valgt for videre analysere grunnet den markante endringene i trafikken de siste årene i perioden. I tillegg var de to årene med størst variasjon i NO₂, før 2012. Som en konsekvens av dette, ble trafikkvariablene satt mer i fokus ved å se på perioden 2012-2017.

Trafikkdata gitt fra SSB, gav i utgangspunktet årsdata ved utgangen av året. I analysen med trend av NO₂, ble det antatt at endringen i trafikk var fordelt jevnt utover alle månedene i året. Med interpolering, ble årsdataene gjort om til månedsdata. Dette ble gjort for å få fram at trafikken ikke endret seg momentant år for år.

Årsgjennomsnitt av NO₂ gav også en indikasjon om trend i data. Sammenhengsplott av årsgjennomsnitt av NO₂ ble av den grunn gjennomført. Figur 3.23 viser en endringen i NO₂ endringen i årsgjennomsnitt og endringen i maksimal- og minimal konsentrasjon per år. Verdiene ble regnet fra månedsgjennomsnitt. Det var mer markante endringer i NO₂ maksimal en gjennomsnittet. Det ble dermed laget et sammenhengsplott for største månedsgjennomsnitt av NO₂ per år, for å undersøke om variablene viste en annen sammenheng enn med årsgjennomsnitt av NO₂.



Figur 3.23: NO₂ årsgjennomsnitt sammenlignet med de minste og største gjennomsnittsmånedene per år i den gjeldende perioden.

Året 2018, ble nærmere analysert ettersom det fantes månedsdata på trafikk i hele dette året. Data fra Fjellinjen gir antall passeringer i bomringen sortert etter drivstoff og Euro-krav. Denne analysen ble gjennomført for å se om trafikkvariablene sortert etter måned, gav en tydelig sammenheng over et år.

4

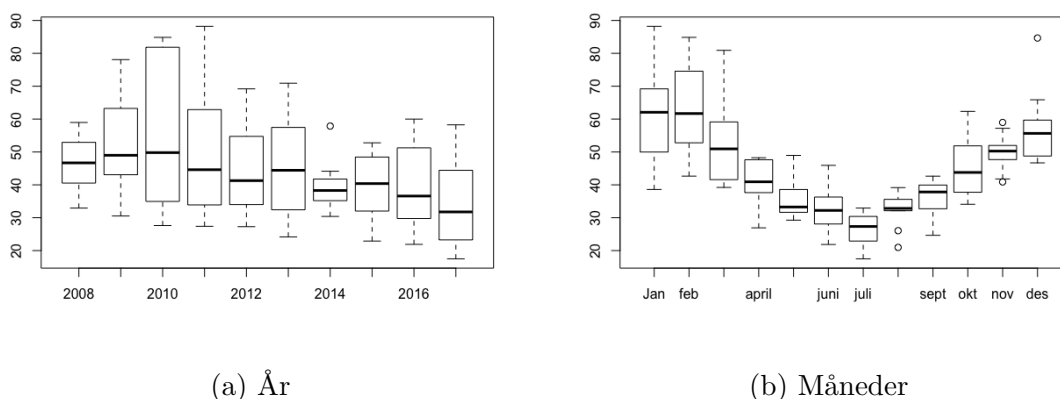
Resultat

4.1 Variasjonsanalyse av variablene

4.1.1 NO₂

Variabelen NO₂ brukt i analysen er gjennomsnitt av de fem målestasjonene med best dekning i Oslo, gitt i månedsgjennomsnitt. Figur 4.1a og 4.1b viser boksploTT av NO₂ inndelt etter år og måneder i perioden 2008-2017. BoksploTTet inndelt etter år, figur 4.1a, viser antydning til synkende trend i NO₂. Det kommer fram i dette plottet at medianene i årene 2008-2013 hadde årskonsentrasjon på over 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, som er den lovbestemte grenseverdien for årskonsentrasjonen for NO₂. Året 2015 har median på 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Utenom dette tilfellet var alle årene etter 2013 under grenseverdien. Dessuten viser boksploTTet inndelt etter år, at det var mest variasjon i årene 2010 og 2011. Det er for eksempel over dobbel så stor forskjell mellom høyeste og laveste NO₂ konsentrasjon i 2010 og 2011, som i 2008.

BoksploTTet inndelt etter måneder, figur 4.1b, illustrerer sesongvariasjonen i NO₂, med generelt høyest konsentrasjoner om vinteren og lavest konsentrasjoner om sommeren. Det kommer fram i dette plottet at medianene i månedene mai til september er under 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I måneden juli er alle målingene under 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, og er den måneden som trekker ned årsgjennomsnitt konsentrasjonen av NO₂ mest. I motsetning er januar og februar de månedene med høyest median, på over 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Disse vintermånedene er spesielt med på å trekke opp årsgjennomsnitt konsentrasjonen av NO₂. Samtidig er januar og februar de månedene med størst variasjon i konsentrasjon av NO₂. Den minste variasjonen er om sommeren, hvor konsentrasjonen av NO₂ viser å holde seg på et stabilt nivå under 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i den gjeldende perioden.

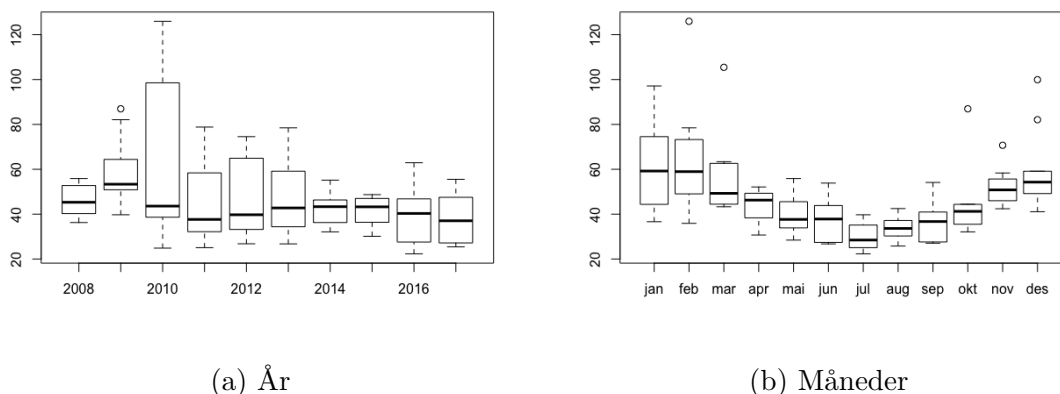


Figur 4.1: Boksplott av NO₂ inndelt etter år og måneder. Y-aksen viser konsentrasjon av NO₂ i enheten $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Lokasjonspesifikk NO₂

De ble i oppgaven valgt å bruke NO₂ gjennomsnitt av fem målestasjoner. I dette underkapittelet blir målestasjonen Manglerud trukket fram til sammenligning med gjennomsnittet av NO₂. Manglerud målestasjonen er valg grunnet at det er en av målestasjonene med best dekning og ut i fra tidsserien. Manglerud er også den målestasjonen med høyest månedsgjennomsnitt i den gjeldende perioden, som vist i tidsserien.

Fra figur 4.2a, som viser tidsserie av NO₂ gjennomsnitt, ser vi at variasjonen i ekstremåret 2010 blir tonet ned med bruk av gjennomsnitt. I denne figuren er ikke trenden like tydelig, men denne målestasjonen viser mer til en skjevfordeling i dataene dersom man studerer median posisjonen i forhold til minste og største observasjon. I en mer symmetrisk fordeling vil medianen være mer midtstilt. Ved bruk av gjennomsnitt av NO₂ blir fordelingen av dataene mer symmetriske og variasjonen blir mer inkludert. Dette er også tydelig i figur 4.2b, hvor det er flere ekstremverdier som skiller seg ut. Det er viktig å poengtere at skalaen på y-aksen er annerledes i disse plottene sammenlignet med NO₂ gjennomsnitt boksplottene. Av den grunn kan sesongvariasjonen i NO₂ målestasjonen på Manglerud virke svakere enn det den egentlig er.

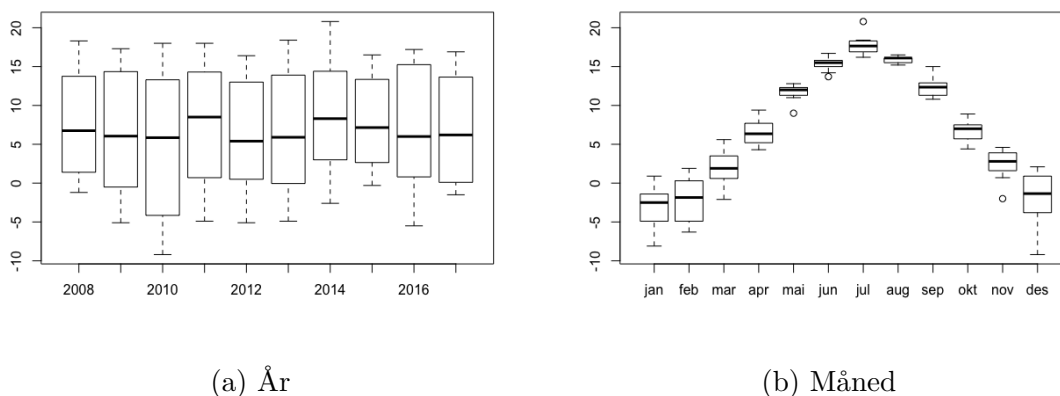


Figur 4.2: Boksploott av NO_2 ved målestasjonen på Manglerud inndelt etter år og måneder. Y-aksen viser konsentrasjon av NO_2 i enheten $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Skalaen er annerledes enn y-aksen på boksploottene over.

4.1.2 Meteorologi

Figur 4.3a og 4.3b viser boksploott av variabelen temperatur inndelt etter år og måneder i den gjeldende perioden. Boksplottet inndelt etter år, figur 4.3a, viser at det var generelt sett høyere temperatur i årene 2011 og 2014, som framstilles med høyere medianer. Boksplottet viser videre ingen antydning til trend i temperatur, og medianene er alle mellom 5.4 til 8.5 °C. Middeltemperaturen for Oslo er 5.7 °C i følge Dannevig & Harstveit (2018). Det er bare året 2012 som ligger under denne verdien. Det året med størst variasjon i temperatur var 2010. Ellers er variasjonen mellom årene relativt like i motsetning til NO_2 variasjonen mellom årene.

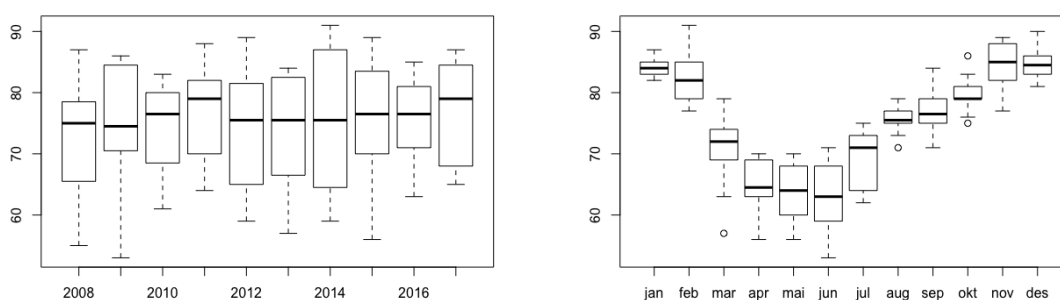
Boksplottet som gir temperatur inndelt i måneder, figur 4.3b, viser tydelig sesongvariasjonen i temperatur. Denne sesongvariasjonen er enda tydeligere enn boksplottet som gav NO_2 inndelt i måneder, se figur 4.1b. Enda en sammenheng mellom disse plottene er at det er størst variasjon i vintermånedene. Juli er måneden med høyest temperatur og det er samtidig måneden med lavest NO_2 konsentrasjon.



Figur 4.3: Boksploott av temperatur inndelt etter år og måneder. Y-aksen viser grader i enheten °C.

Figur 4.4a og 4.4b viser boksplott av variabelen relativ luftfuktighet inndelt etter år og måneder i den gjeldende perioden. Boksplottet inndelt etter år, figur 4.4a, viser ingen antydninger til trend i relativ luftfuktighet, og medianene ligger mellom 74.5 til 79%. Den laveste medianen er gitt i året 2012, og den høyeste er gitt i årene 2011 og 2017, som begge har en median på 79%.

Boksplottet som gir relativ fuktighet inndelt i måneder, figur 4.4b, viser også sesongvariasjon i relativ luftfuktighet. I motsetning til NO_2 og temperatur boksplottet inndelt etter måneder, se figurene 4.1b og 4.3b, er det størst variasjon i relativ fuktighet i månedene mai, juni og juli. Det er videre lavest relativ luftfuktighet i juni og høyest relativ luftfuktighet og høyest relativ luftfuktighet i månedene november til januar.



(a) År

(b) Måned

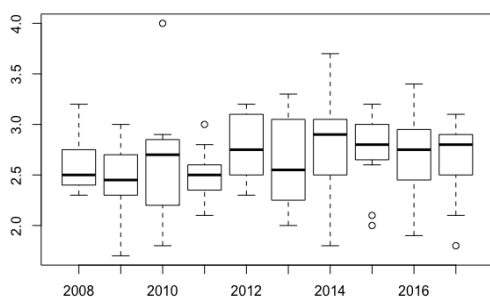
Figur 4.4: Boksplott av relativ fuktighet inndelt etter år og måneder. Y-aksen viser relativ luftfuktighet som prosent.

Figur 4.5a viser boksplott av variabelen vindhastighet inndelt etter år i den gjeldende perioden. Boksplottet viser ingen tegn til trend i vindhastighet, men tydelig år til år variasjon. Året med generelt høyest og lavest vindhastighet var henholdsvis 2014 og 2009, sett ut i fra medianene. Året 2014 er også et av årene med størst variasjon.

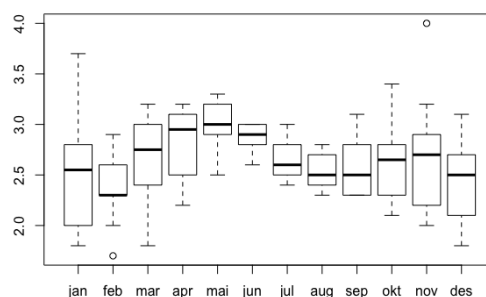
Figur 4.5b viser boksplott av vindhastighet inndelt etter måneder. Det er minst variasjon i sommermånedene, og størst variasjon i januar dersom ekstremverdien i november blir sett bort i fra. Månedene mai og februar representerer henholdsvis månedene med høyest og lavest vindhastighet, sett ut i fra medianene.

Figurene 4.6a og 4.6b viser boksplott av variabelen snødybde inndelt etter år og måneder i den gjeldende perioden. Boksplottet inndelt etter år, 4.6a, viser ingen antydninger til trend i snødybde. Det er derimot stor forskjell i variasjon mellom årene 2009, 2010 og 2011 og de resterende årene i den gjeldende perioden. Disse årene har størst variasjon og størst snødybde. Slike årstilfeller kan potensielt påvirke NO_2 konsentrasjonen.

Boksplottet som gir snødybde inndelt i måneder, figur 4.6b, viser at månedene desember til mars er de månedene med størst snødybde. Av disse månedene gir februar størst snødybde, sett ut i fra medianen. Det er tydelig større variasjon i månedene februar og mars i forhold til de andre månedene. Fra mai til oktober er snødybden i Oslo null.

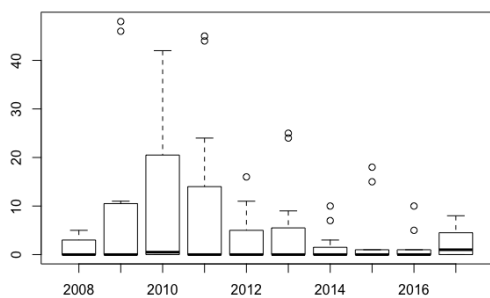


(a) År

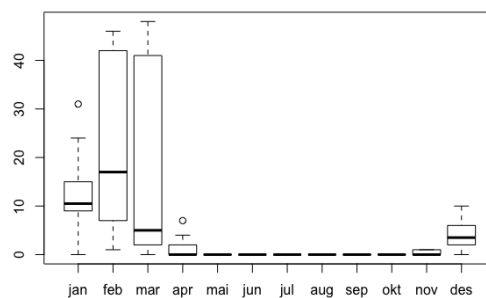


(b) Måned

Figur 4.5: Boksplott av vindhastighet inndelt etter år og måneder. Y-aksen viser vindhastigheten i enheten m/s.



(a) År



(b) Måned

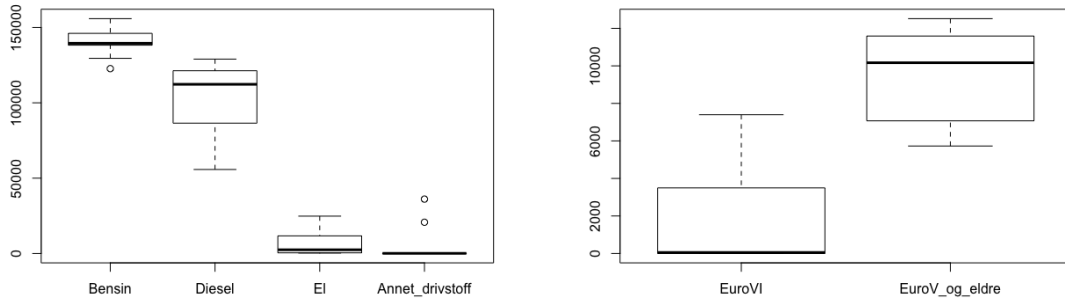
Figur 4.6: Boksplott av snødybde inndelt etter år og måneder. Y-aksen viser snødybden i enheten cm.

4.1.3 Trafikk

Boksplottene for trafikk er inndelt etter drivstoff for de registrerte personbilene, figur 4.7a , og etter Euro-krav for de registrerte lastebilene, figur 4.7b. Årene ble i disse boksplottene behandlet som tilfeldig. Disse boksplottene viser de forskjellige variasjonene i trafikk, med samme metode som for meteorologi variablene. Figur 4.7a viser at diesel er den drivstofftypen med mest variasjon. Variasjonen mellom årene sees også i tidsserien vist i figur 3.10.

Variasjonen fra år til år for trafikkdataene ble best synlig i tidsserien som vises i figur 3.10. Derfor vil observasjonene fra tidsserien for trafikk trekkes fram her. For registrerte personbiler er bensin den drivstofftypen med høyest antall registreringer for hele perioden. Bensin viser en avtagende trend. Diesel er den drivstofftypen som har hatt størst variasjon i den gjeldende perioden, med økende trend fra 2008-2014, og avtagende trend fra 2014-2017. Elektriske personbiler og personbiler som kjører på annet drivstoff, er de gruppene som først viser seg de siste årene, og har begge stigende trend i den gjeldende perioden.

For registrerte lastebiler inndelt i Euro VI og Euro V og eldre vil endringen i den ene gruppen være avhengig av endringen i den andre gruppen, grunnet at lastebiler bare er inndelt i to grupper. Registrerte lastebiler med Euro VI startet først i 2013, og viser til økende trend i den resterende perioden. Følgelig er registrerte lastebiler med Euro V og eldre avtagende i samme periode, se figur 3.10b.



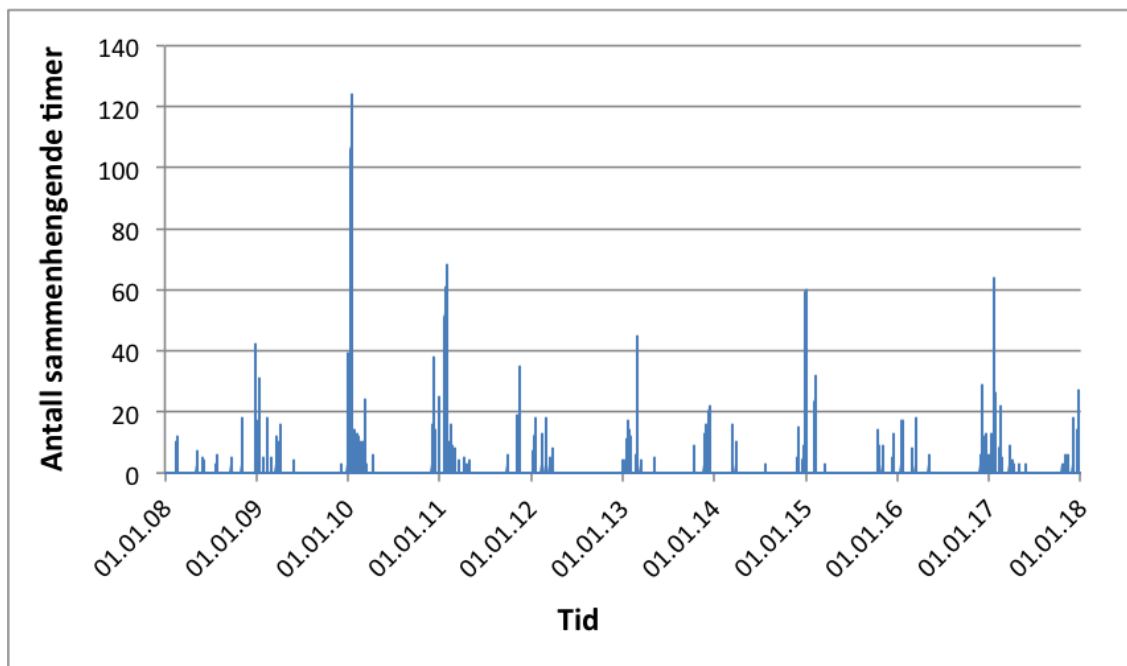
(a) Personbiler inndelt etter drivstoff.

(b) Lastebiler inndelt etter Euro-krav.

Figur 4.7: Boksplott av registrerte personbiler inndelt etter ulike drivstofftyper og registrerte lastebiler inndelt i Euro VI og Euro V og eldre. Årene ble i disse boksplottet behandlet som tilfeldig. Y-aksen viser registrert antall.

4.2 Inversjonsanalyse

Figur 4.8 viser inversjoner i den aktuelle tidsperioden. Beregningene tar utgangspunkt i betingelsene om at Tryvannshøgda skulle være minst tre grader varmere enn Blindern, og vare lengre enn tre timer. Figuren viser at året med lengste inversjon var i 2010, som skiller seg særlig ut i motsetning til de lengste inversjonene i de andre årene i den gjeldende perioden. Denne inversjonen varte rett i overkant av fem dager. I figuren er det tydelig at både antall inversjoner og lengden på inversjonene er størst i vintermånedene, og at både antall inversjoner og lengden på inversjonene er tydelig redusert i gjentakende perioder.

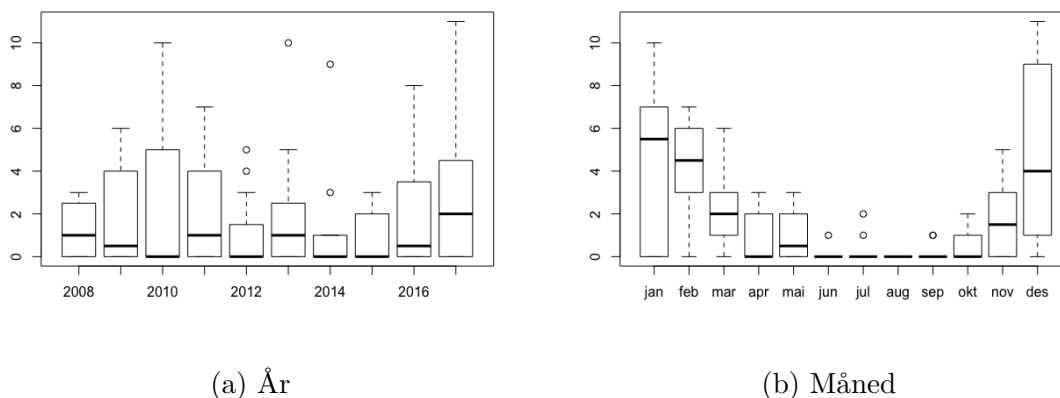


Figur 4.8: Inversjoner i tidsperioden 2008-2017.

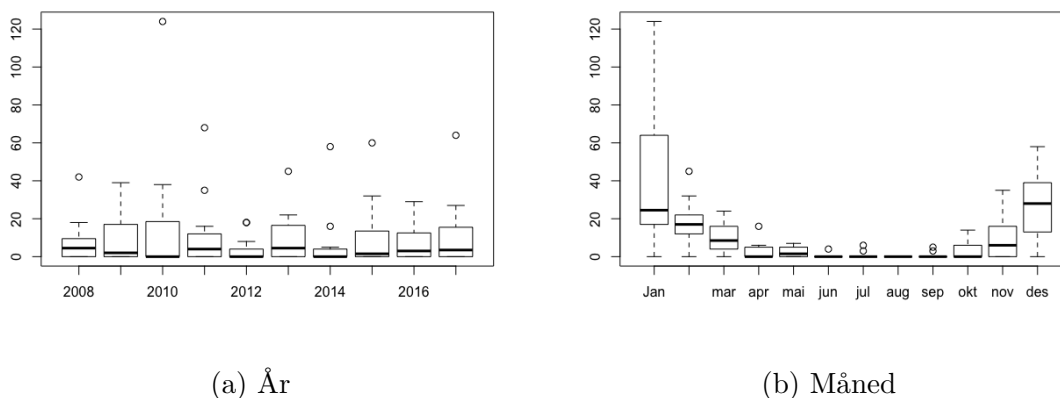
4.2.1 Variasjonsanalyse av inversjonsfrekvens og inversjonslengde

Figurene 4.9a og 4.10a viser boksplokk av henholdsvis antall inversjoner per måned inndelt etter år og lengste inversjon inndelt etter år. Ingen trend kan fastslås fra hverken antall inversjoner eller lengden på inversjoner, men antall inversjoner varierer kraftig fra år til år (4.9a). Det kan potensielt påvirke NO_2 konsentrasjonen. Den minste variasjonen mellom lavest og høyest antall inversjoner var i 2008. Årene med flest inversjoner generelt var i 2017. Lengste inversjon inndelt etter år viser at flere år har ekstremverdier som skiller seg fra normalen. Den lengste inversjonen var i 2010, som tydelig vises i tidsserien også.

Figurene 4.9b og 4.10b viser boksplokk av henholdsvis antall inversjoner inndelt etter måneder og lengste inversjon inndelt etter måneder. Som forventet, er det tydelig at det er flest og lengst inversjoner om vinteren. Begge boksplokkene for inversjoner inndelt etter måneder viser sesongvariasjon, hvor antall inversjoner viser tendens til tydeligst variasjon. Boksplokkene viser lavest antall inversjoner og minst lengde på inversjonene i månedene juni til september og da er det også variasjonen minst. Månedene med høyest variasjon i antall inversjoner og lengste inversjon er i månedene desember og januar. Sett ut i fra medianen, er måneden januar den måneden med generelt flest inversjoner og desember den måneden med lengst inversjon.



Figur 4.9: Boksplott av antall inversjoner per måned inndelt etter år og måneder. Y-aksen viser inversjoner gitt i antall.



Figur 4.10: Boksplott av lengste inversjon inndelt etter år og måneder. Y-aksen viser antall sammenhengende timer med inversjon.

4.3 Statistisk analyse

Resultatene fra den statistiske analysen ble vist med sammenhengsplott. Se forklaring i seksjon 3.3.3 og eksempel i figur 3.18. Sammenhengsplottet gir korrelasjonen og spredningsplottet mellom to og to variabler. X-aksen og Y-aksen til de ulike spredningsplottene er gitt i ytterkantene i figuren.

Sammenhengsplottene vist i her presenterer bare variablene med høyest korrelasjon i sammenheng med NO_2 . De fullstendige figurene, med alle variablene for sammenligning er gitt i vedlegg B.

Hvor mange datapunkter analysen er bygget opp av er tatt med i betraktningen for hvilke variabler som blir presentert i analysene. For eksempel er det generelt høyere korrelasjon som blir vist i de analysene med færre data, som årsanalysen og 2018 analysen. Unntaket er dersom enkelte av plottene er naturlig å sammenligne, hvor en variabel i et av plottene gir en høy korrelasjon. I tillegg er korrelasjonsgrensen i sammenheng med NO_2 tilfeldig variasjon satt til 0.3, ettersom tilfeldig variasjon

kan ha mange forklaringsfaktorer.

4.3.1 Månedsgjennomsnitt i perioden 2008-2017

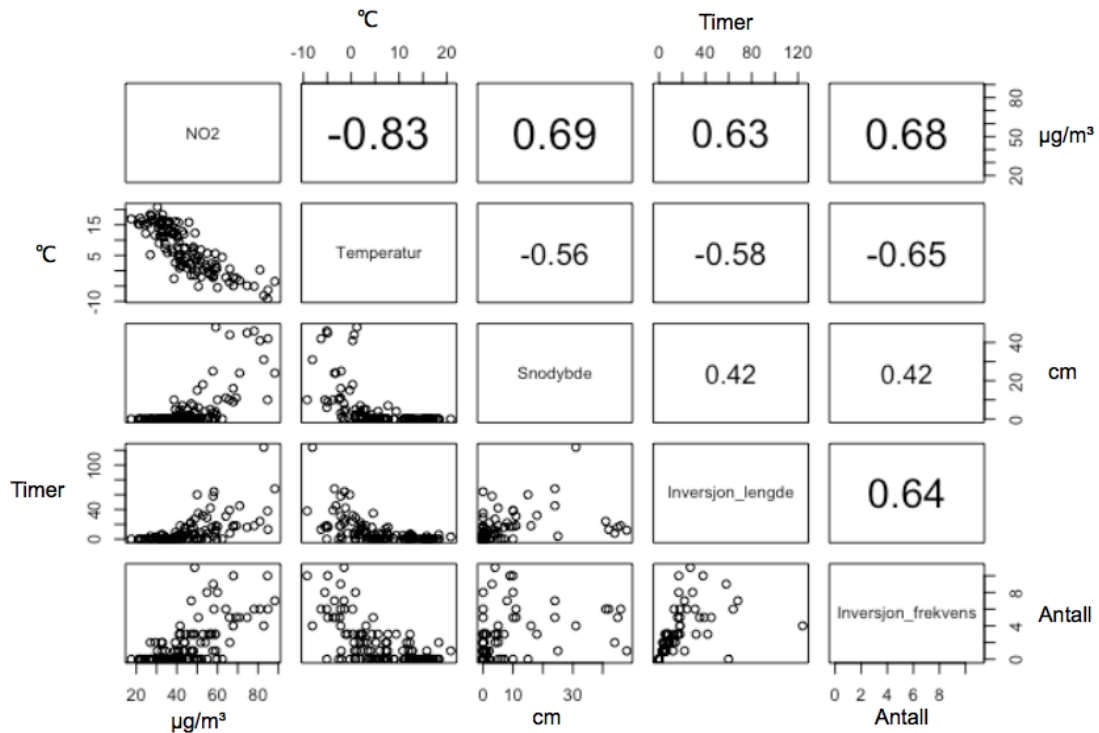
Figur 4.11 viser sammenhengplott for variablene NO_2 gitt i månedsgjennomsnitt, temperatur, snødybde, inversjonslengde og antall inversjoner i perioden 2008-2017. Sammenhengen med månedsgjennomsnitt av NO_2 er i denne analysen i fokus. Sammenhengsplottet viser bare de variablene som har en høyere korrelasjon enn 0.6 med NO_2 månedsgjennomsnitt, det vil si de variablene som kan vise til en lineær sammenheng. Den fullstendige analysen vises i figur B.1 i vedlegg B.

Sammenhengsplottet viser at temperatur har høyest sammenheng med månedsgjennomsnitt av NO_2 . Det kan både ses ut i fra korrelasjonen og fra spredningsplottene, som viser en lineær sammenheng med lite variasjon. Korrelasjonskoeffisienten mellom temperatur og månedsgjennomsnitt av NO_2 er -0.83, dvs en økning av temperatur forventes å gi en reduksjon i NO_2 .

Variablene inversjonsfrekvens, inversjonslengde og snødybde gir også en korrelasjon på over 0.6, men spredningsplottet viser ikke like tydelig sammenheng med NO_2 som med temperatur. Fra variasjonsanalysen kommer det fram at alle disse variablene har perioder om sommeren hvor det kan ha liten til ingen verdi. Spredningsplottene for disse variablene mot månedsgjennomsnitt av NO_2 blir følgelig påvirket av dette.

Figur 4.11 viser i tillegg sammenheng mellom de meteorologiske variablene, hvor korrelasjonen er sterkest mellom temperatur og inversjon. Inversjon viser også sammenheng med vindhastighet. Dette er som forventet, da vindhastigheten og temperatur er med på å avgjøre hvor stabile forholdene er.

Et annet funn i denne analysen er det tydelige skillet mellom sammenhengene mellom de meteorologiske variablene og de trafikale variablene, hvor de meteorologiske variablene viser en innbyrdes sammenheng og de trafikale variablene viser en innbyrdes sammenheng. Det er liten til ingen sammenheng mellom de meteorologiske variablene og de trafikale variablene, og meteorologi og trafikk blir bekreftet som uavhengig av hverandre.



Figur 4.11: Sammenhengsplott for NO₂ månedsgjennomsnitt. Bare de variablene med korrelasjon på over 0.6 med NO₂ månedsgjennomsnitt er tatt med.

4.3.2 Sesongvariasjon

Figur 4.12 viser sammenhengsplott for variablene NO₂ gitt i sesongvariasjon, temperatur, luftfuktighet og antall inversjoner i perioden 2008-2017. Sammenhengsplottet viser bare de variablene som har en høyere korrelasjon enn 0.6 med sesongvariasjonen i NO₂. Den fullstendige analysen vises i figur B.2 i vedlegg B.

Sesongvariasjonen i NO₂ består av sesonggjennomsnittet for hele den gjeldende perioden, som blir gjentatt for hvert år. Av den grunn er x-aksen i spredningsplottene for NO₂-sesongvariasjonen delt inn i ti distinkte grupper med gjentakende verdier. Av den grunn skiller spredningsplottet for denne analysen seg i forhold til de andre analysene, men det betyr ikke at sammenhengen er av lavere kvalitet.

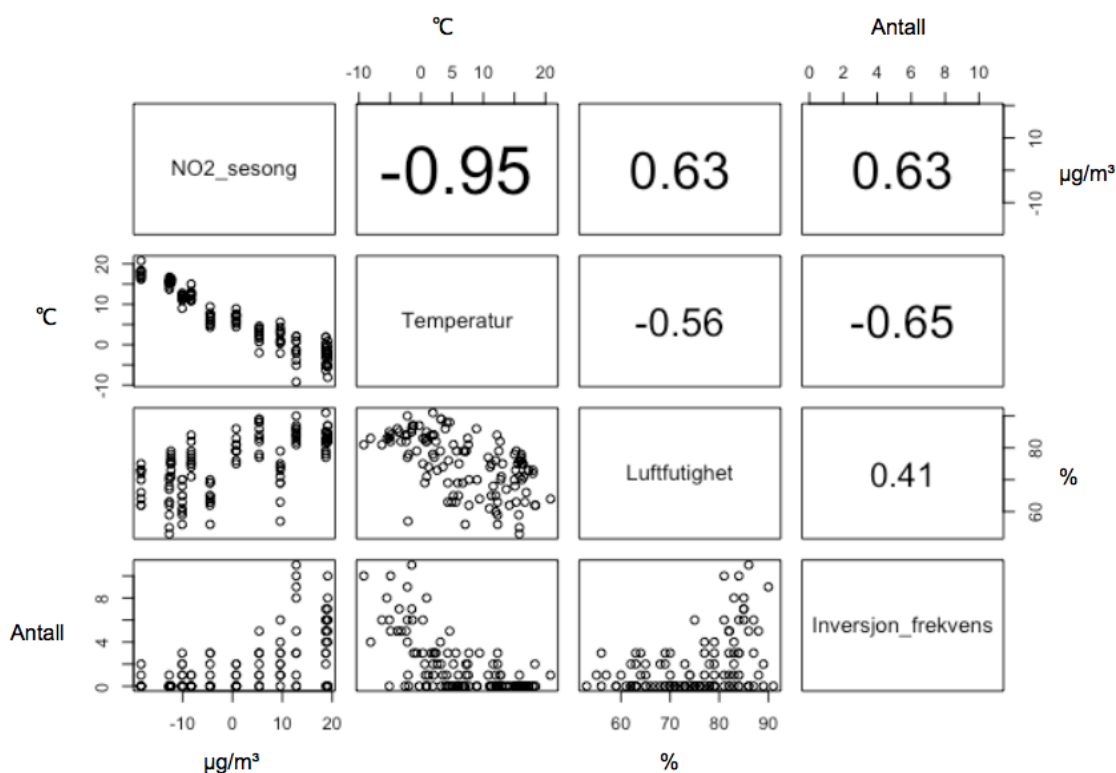
Sammenhengsplottet viser at temperatur har høyest sammenheng med sesongvariasjonen i NO₂. Denne sammenhengen er tydeligere i denne analysen, enn i analysen med NO₂ månedsgjennomsnitt. Korrelasjonskoeffisienten er i dette tilfellet -0.95, og den sterke sammenhengen mellom temperatur og sesongvariasjonen i NO₂ bekreftes som et lineært forhold.

En del endringer fra månedsgjennomsnitt av NO₂, figur 4.11, til sesongvariasjon i NO₂ er verdt å nevne. Relativ luftfuktighet har i denne analysen er korrelasjon på 0.63, og sammenhengen mellom denne variabelen og sesongvariasjon i NO₂ har økt i forhold til månedsgjennomsnitt av NO₂. Da var korrelasjonen på 0.41, bare vist i det fullstendige sammenhengsplottet, figur B.2 i vedlegg B. Det vises til at relativ fuktighet samsvarer bedre til sesongvariasjonen i NO₂ enn den totale variasjonen i

NO₂.

Både inversjonslengde og snødybde gav i denne analysen en korrelasjon med sesongvariasjonen i NO₂ på under 0.6, i motsetning til månedsgjennomsnitt analysen hvor de hadde en høyere korrelasjon enn 0.6, se figur 4.11. Grunnet korrelasjonsgrensa ble de to variablene i figur 4.12, men bare i det fullstendige sammenhengsplottet i figur B.2 i vedlegg B. Også korrelasjon mellom inversjonsfrekvens og sesongvariasjon i NO₂ er svakere enn for analysen av månedsgjennomsnitt av NO₂, figur 4.11.

Antall frekvenser ble også svekket i sesongvariasjon analysen. Det kan tyde på at snødybde og inversjon samsvarer bedre med flere variasjoner i NO₂ enn ved å se på sesongvariasjonen alene.



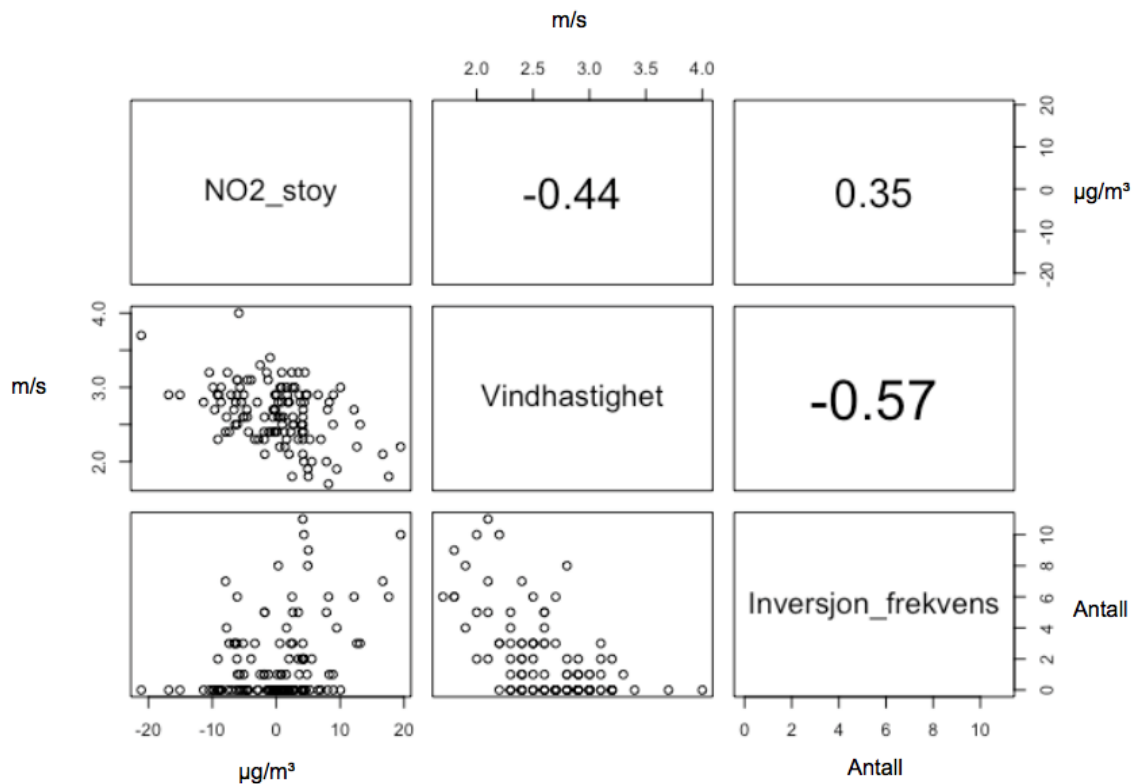
Figur 4.12: Sammenhengsplott for sesongvariasjonen av NO₂. Bare de variablene med korrelasjon på over 0.6 med sesongvariasjonen i NO₂ er tatt med.

4.3.3 Tilfeldig variasjon

Figur 4.13 viser sammenhengsplott for variablene tilfeldig variasjon i NO₂, vindhastighet og antall inversjoner i perioden 2008-2017. Det kan være mange grunner til den tilfeldige variasjonen og korrelasjonsgrensa er i denne analysen satt til 0.3. Selv med lav grense er det få sammenhenger som vises i sammenhengsplottet. Fullstendig analyse er gitt i appendiks.

Sammenhengsplottet viser at vindhastighet og antall inversjoner har høyest korrelasjon med tilfeldig variasjon i NO₂. Det gav henholdsvis korrelasjonskoeffisientene, -0.44 og 0.35. Den lave korrelasjonen er også synlig i spredningsplottet, som ikke viser tydelig sammenhenger med tilfeldig variasjon av NO₂.

Alle trafikkvariablene viser svært svak korrelasjon med tilfeldig variasjon, se den fullstendige analysen i figur B.3 i vedlegg B. De trafikale variablene viser langsomme endringer i tid, sett i forhold til tilfeldig variasjon. Den svake sammenhengen er dermed som forventet.



Figur 4.13: Sammenhengsplott for tilfeldig variasjon i NO_2 . Bare de variablene med korrelasjon på over 0.3 med tilfeldig variasjon av NO_2 er tatt med.

4.3.4 Trend

Trendanalysen ble gjennomført for to forskjellige perioder. En periode omfatter hele datasettet fra 2008-2017 og den andre perioden omfatter bare den siste delen fra 2012-2017. Det blir vist sammenhengsplott for alle trafikkvariablene, ettersom det er de som har klart tydeligst sammenheng med trend. Fullstendig analyse er gitt i vedlegg B.

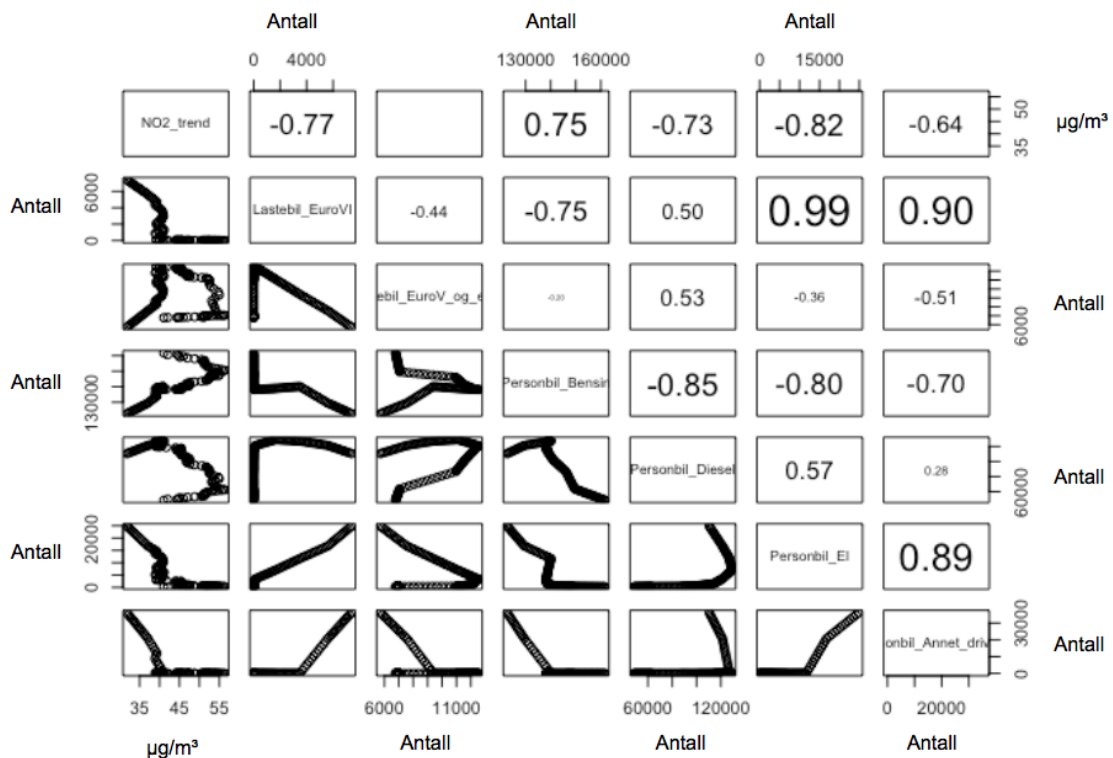
I analysen med trend av NO_2 er det brukt de behandlede dataene for trafikk. Det viser jevn stigning i månedene, og endring i årsskifte. Det er grunnet at trafikkdataene er basert på årsdata. Den lineære endringen mellom hvert årsskifte kommer tydelig fram i spredningsplottene i denne analysen.

Perioden 2008-2017

Sammenhengen mellom trend i NO_2 i perioden 2008-2017 er i denne analysen i fokus. Figur 4.14 viser sammenhengsplott mellom denne variabelen og alle trafikkvariablene. Sammenhengsplottet viser at registrerte elektriske personbiler

gir høyest korrelasjon med trend av NO₂ i den gjeldende perioden. Denne variabelen gir en korrelasjonskoeffisient på -0.82, som antyder at en økning i registrerte elektriske personbiler gir en reduksjon i NO₂ trend. Spredningsplottet viser denne sammenhengen. Antall registrerte elektriske biler viser også en sterk korrelasjon, delvis høyere enn 0,8, med de andre trafikkvariabler. Det tyder på at trafikkvariablene ikke er uavhengig av hverandre.

Alle de meteorologiske variablene viste svak sammenheng med trend av NO₂ i perioden 2008-2017, fullstendig analyse i figur B.4 i vedlegg B. Den svake sammenhengen mellom de meteorologiske variablene og trend samsvarer resultatene fra variasjonsanalysen som tyder på stor år til år variasjon. Samtidig gav de meteorologiske variablene ingen signifikant trend i variasjonsanalysen.

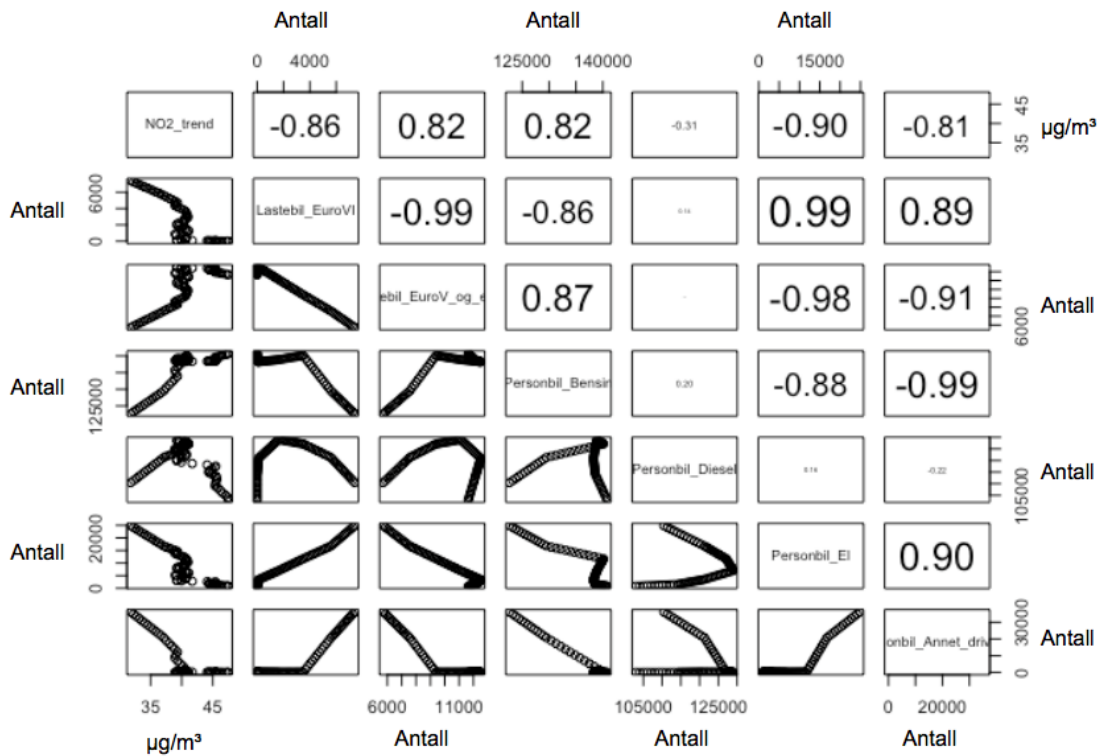


Figur 4.14: Sammenhengsplot for trend av NO₂ i perioden 2008-2017. Alle trafikkvariablene er inkludert.

Perioden 2012-2017

Figur 4.15 viser sammenhengsplot mellom trend i NO₂ i perioden 2012-2017 og alle trafikkvariablene. Sammenhengsplottet viser i likhet med sammenhengsplottet for hele perioden 2008-2017, at registrerte elektriske personbiler gir høyest korrelasjon med trend av NO₂. Korrelasjonskoeffisienten er på -0.90, som er en høyere korrelasjon enn det korrelasjonen i hele 2008-2017 gir, se figur 4.14. I denne analysen viser nesten alle de andre trafikkvariablene en korrelasjon med trend av NO₂, og med hverandre, på over 0.8. Det eneste unntaket er antall registrerte diesel personbiler som viser en svak negativ korrelasjon med trenden i NO₂.

I likhet med 2008-2017 trend analysen, viser de meteorologiske variablene svak sammenheng med trend av NO₂ også i denne analysen. Den fullstendige analysen med alle korrelasjonskoeffisientene vises i figur B.5 i vedlegg B.



Figur 4.15: Sammenhengsplott for trend av NO₂ i perioden 2012-2017. Alle trafikkvariablene er inkludert.

4.3.5 Årsanalyser

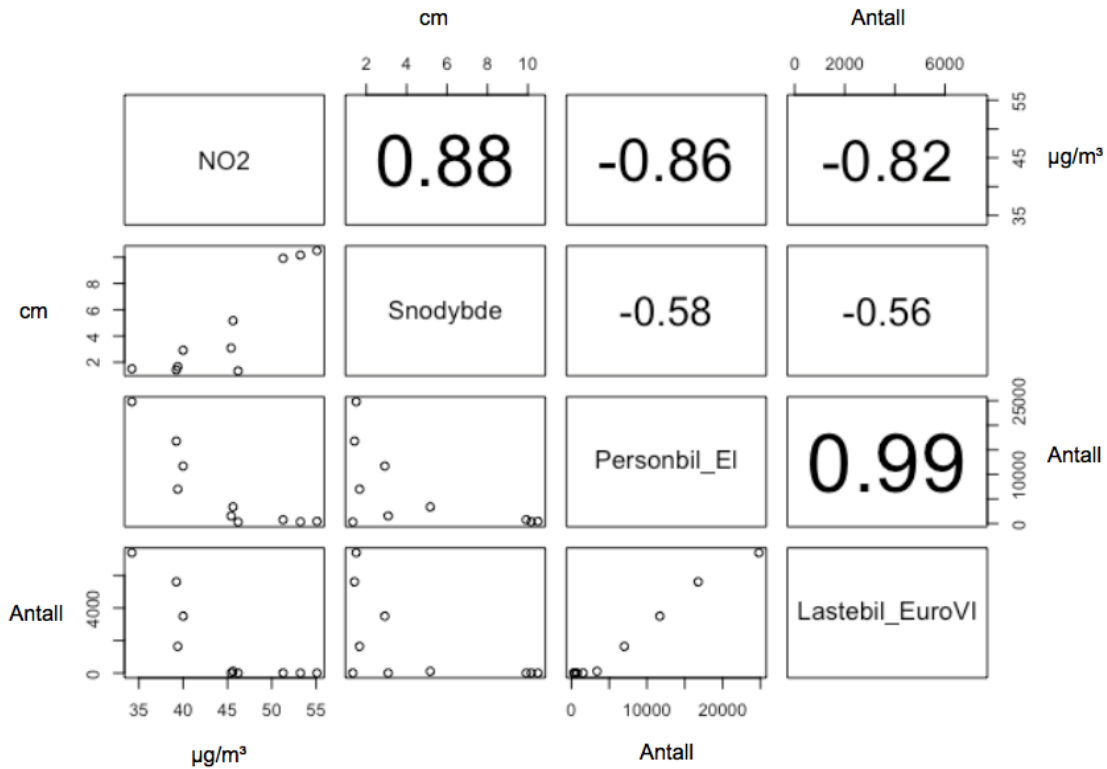
To årsanalyser blir gjennomført i denne oppgaven. Den ene analysen bruker årgjennomsnitt av NO₂, figur 4.16, og den andre analysen bruker høyest månedskonsentrasjon av NO₂ per år, figur 4.17. Den sistnevnte vil vise årssammenhengene mellom de ulike variablene og de månedene som gir høyest konsentrasjon av NO₂.

Det er bare i årsanalysen at det vises både meteorologiske variabler og trafikale variabler i samme sammenhengsplott.

Årsgjennomsnitt

Figur 4.16 viser sammenhengsplott for variablene årgjennomsnitt av NO₂, snødybde, registrerte elektriske personbiler og registrerte lastebiler med Euro VI. Sammenhengsplottet viser bare de variablene med korrelasjon på over 0.8 med årgjennomsnitt av NO₂. Denne grensen er satt for å vise de variablene med sterkest sammenheng med årgjennomsnitt av NO₂. Fullstendig analyse er gitt i figur B.6 i vedlegg B.

Sammenhengsplottet viser at snødybde er den variabelen med høyest korrelasjon med årsgjennomsnitt av NO₂. Korrelasjonskoeffisienten er i dette tilfellet 0.88, men spredningsplottet gir ikke en tydelig sammenheng med årsgjennomsnitt. Videre gir også registrerte elektriske personbiler og registrerte lastebiler med Euro VI høyere korrelasjon enn 0.8.



Figur 4.16: Sammenhengsplott for NO₂ årsgjennomsnitt. Bare de variablene med korrelasjon på over 0.8 med NO₂ årsgjennomsnitt er tatt med.

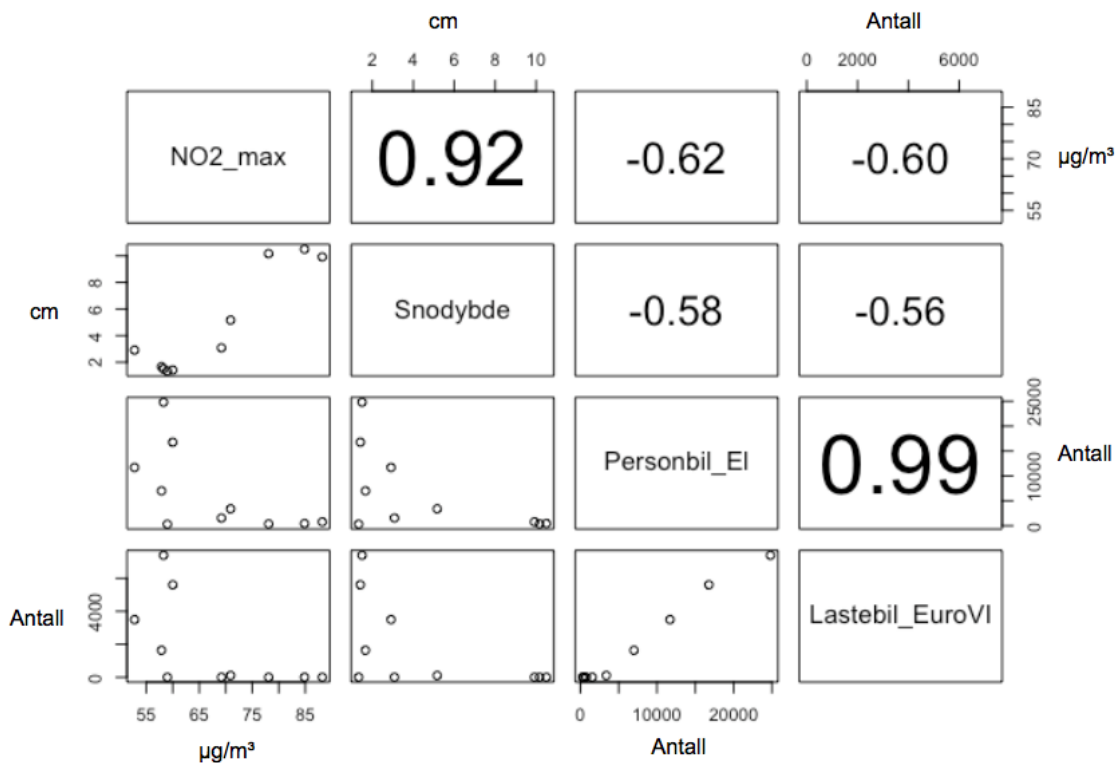
NO₂ maksimal per år

Figur 4.17 viser sammenhengsplott for variablene høyest månedskonsentrasjon av NO₂ per år, snødybde, registrerte elektriske personbiler og registrerte lastebiler med Euro VI. Sammenhengsplottet viser i utgangspunktet bare de variablene med korrelasjon på over 0.8 med årsgjennomsnitt av NO₂. Likevel er de to variablene, registrerte elektriske personbiler og registrerte lastebiler med Euro VI, inkludert for å vise sammenhengen mellom de to årsanalysene. Fullstendig analyse er gitt i figur B.7 i vedlegg B.

Sammenhengsplottet i denne analysen viser i likhet med sammenhengsplottet for årsgjennomsnitt av NO₂, figur 4.16, at snødybde er den variabelen med høyest korrelasjon. Korrelasjonskoeffisienten mellom snødybde og høyest månedskonsentrasjon av NO₂ per år er i denne analysen 0.92, og høyere enn den andre årsanalysen. Spredningsplottet viser dessuten til en bedre sammenheng, til tross for få datapunkter. Ingen andre variabler har i denne analysen en høyere korrelasjon enn 0.8. Registrerte elektriske personbiler og registrerte lastebiler med Euro VI viser til mindre sammenheng i denne analysen enn i årsgjennomsnitt av NO₂ analysen. Det kan tyde på

at trenden i disse trafikkvariablene samsvarer bedre med årsgjennomsnittet av NO_2 enn den gjør med de maksimale NO_2 verdiene, som varierer mer for hvert år.

Variabelen snødybde utpeker seg i begge årsanalysene, og spesielt i denne analysen. Sett ut i fra variasjonsanalysen, har snødybde flere måneder med verdien null. I en årsanalyse vil månedsgjennomsnittene miste sin effekt. Det kan være grunnen til en høyere sammenheng i årsanalysene. I tillegg viser årsanalysen at sammenhengen mellom NO_2 og snødybde er størst når konsentrasjonen av NO_2 er høyest. Det kan komme av at variabelen snødybde gir en indikasjon på vinterforholdene. En stabil, kald vinter gir potensielt flere episoder med forhøyede NO_2 konsentrasjoner. Det kan likevel diskuteres at det er snødybden i seg selv som skaper økte konsentrasjoner av NO_2 .



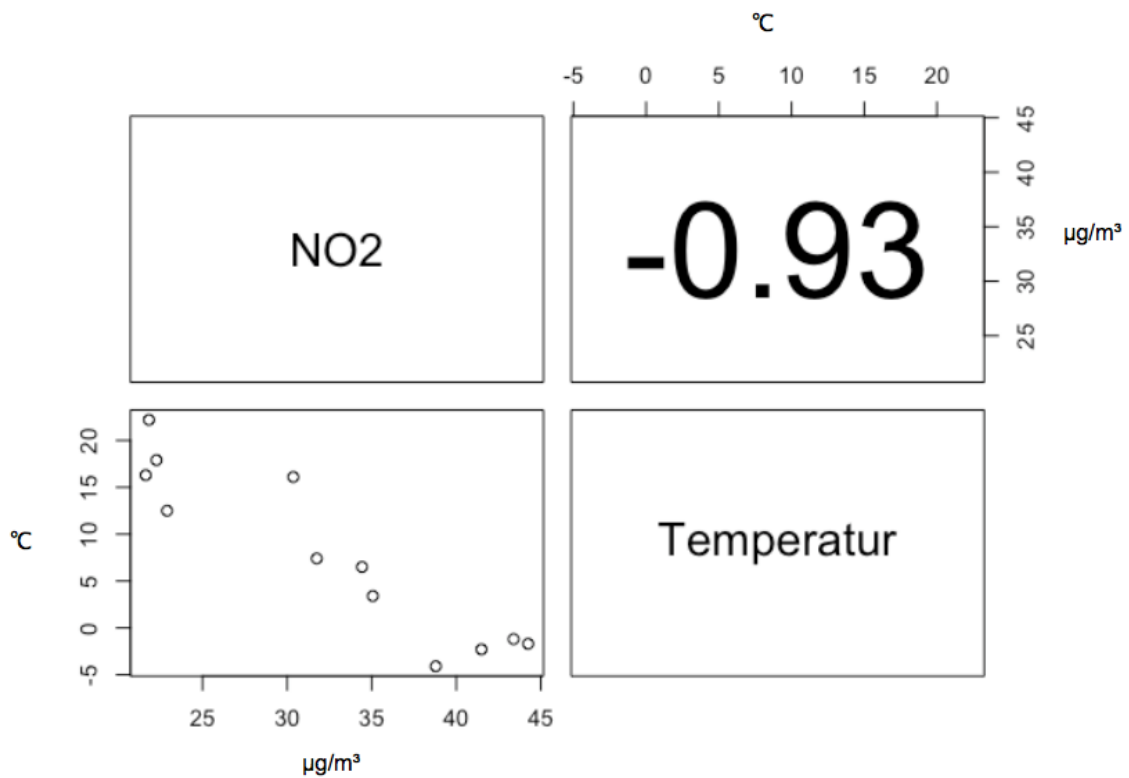
Figur 4.17: Sammenhengsplott for høyest månedsgjennomsnitt av NO_2 per år. Det er framstilt de samme variablene som i NO_2 årsgjennomsnitt analysen.

4.3.6 Månedsgjennomsnitt i året 2018

Figur 4.18 viser sammenhengsplott for variablene månedsgjennomsnitt av NO_2 og temperatur i perioden 2018. Siden denne analysen er basert på få datapunkter, ble det valgt å bare vise variablene med korrelasjonskoeffisient høyere enn 0,8 i sammenhengsplottet. Den fullstendige analysen er gitt i figur B.8 i vedlegg B.

Temperatur er den eneste variabelen som oppfyller korrelasjonskravet, med en korrelasjonskoeffisient på -0.93. Spredningsplottet viser videre til sammenhengen mellom temperatur og NO_2 månedsgjennomsnitt i året 2018.

For året 2018 er det månedsdata for trafikkvariablene, i motsetning til bare årsdata for hele perioden. De månedlige trafikkdataene er basert på passeringer for forskjellige klasser i bomringen. Selv med månedsdata er den totale perioden på et år, relativt kort. Likevel er det verdt å nevne at i denne analysen har flere av de meteorologiske variablene og de trafikale variablene en korrelasjon på over 0.6 med NO_2 i 2018. Det var variablene relativ luftfuktighet, snødybde, tunge biler med Euro V og eldre, tunge biler med Euro VI, antall inversjoner og inversjonslengde. Det er nødvendig med en lengre tidsperiode med månedsdata for å kunne bekrefte eller avkrefte disse korrelasjonene.



Figur 4.18: Sammenhengsplott med NO_2 månedsgjennomsnitt for året 2018. Bare de variablene med korrelasjon på over 0.8 med NO_2 månedsgjennomsnitt i 2018 er tatt med.

5

Diskusjon

I denne oppgaven er målet å finne mulige årsaker til endringen observert i NO_2 . Det er gjennomført en statistisk analyse med ulike utvalgte variabler innenfor meteorologi og trafikk. I resultatdelen blir hver enkelt variabel sett i sammenheng med NO_2 , i flere forskjellige analyser. Resultatene fra analysene blir i dette kapitlet trukket fram og usikkerhetene og styrkene i de ulike analysene blir gjennomgått.

5.1 Usikkerhet og styrker knyttet til valg av variabler og data

Et gjennomsnitt av de målestasjonene med best dekning av NO_2 i den aktuelle perioden, ble valgt som NO_2 variabel. Det ble begrunnet med hull og ulik dekningsgrad av dataene fra de ulike lokasjonene, se figur 3.2 og figur 3.3. I tillegg viser variasjonsanalysen av lokasjons spesifikk NO_2 at et gjennomsnitt gir en mer symmetrisk fordeling av dataene, og at ekstremverdiene blir jevnet ut. Et gjennomsnitt vil i tillegg gi et bedre bilde av konsentrasjonen over hele Oslo. Som et resultat av dette viser valg av gjennomsnitt av NO_2 som det mest optimale valget i denne oppgaven.

I teorien blir det introdusert at NO_2 konsentrasjonen i gjennomsnitt er høyere om vinteren. Det kan blant annet komme av meteorologien. Lengre netter, kaldere temperaturer og flere inversjoner er meteorologiske prosesser som kan gi høyere luftforurensning om vinteren. En annen grunn til forverret luftforurensning om vinteren kan komme av at biler i kulden slipper ut mer eksos. Denne utslippsendringen er ikke inkludert i trafikkvariabelen. I denne oppgaven, med registrerte kjøretøy som trafikkvariabel, vil sammenhengen med NO_2 være i forhold til antall biler inndelt etter drivstoff, og ikke etter utslipp inndelt etter drivstoff. Derfor kan den nevnte effekten av at samme kjøretøypark slipper ut mer NO_2 om vinteren ikke skilles fra de meteorologiske prosessene som gir høyere luftforurensning om vinteren. Likevel kan endringen i registrerte kjøretøy inndelt etter ulik drivstofftype og eurokrav gi en indikasjon på endringen i NO_2 variasjon år til år.

Trafikk er valgt som utslippsvariabel på bakgrunn av at trafikk er den største

utslippskilden til NO_2 i Oslo. De andre utslippskildene, som skip og havn, kan i perioder bidra til en økning i NO_2 . I metoden, se figur 3.1, vises det at en av målestasjonene er i havneområde. Det betyr at en del av utslippene fra skip og havn blir til en viss grad inkludert. Tidsserien av NO_2 , se figur 3.5, viser gjennomsnittet av NO_2 konsentrasjonen fra fem målestasjoner. Det kommer her fram at de eventuelle utslagene fra den havnnære målestasjonen, Hjortnes, blir jevnet ut. Det er viktig å understreke at denne oppgaven fokuserer på trenden i NO_2 sett fra flere veinære målestasjoner. Fra det synspunktet vil trafikk være en representativ utslippsvariabel.

Trafikkdataene er basert på registrerte kjøretøy. Det kan imidlertid være flere kjøretøy som kjører i Oslo, enn det som er registrert. I tillegg kan det kjøres mer av enkelte type kjøretøy i Oslo enn det som er registrert. For eksempel kan det være flere som kjører inn i Oslo med elbil grunnet dens fordeler i bomringen. Registrerte kjøretøy er dermed ikke et nøyaktig tall på antall biler i Oslo, men årsvariasjonen kan anses som et godt estimat som gjenspeiler trafikkutviklingen i Oslo.

5.2 Usikkerhet og styrker knyttet til metode og behandling av data

Fra data til resultat, er det viktig å ta med at de trafikale variablene opererer med årsdata og de meteorologiske variablene opererer med månedsdata. Det gjør at disse variablene direkte ikke kan sammenlignes. Det vil også føre til at korrelasjonskoeffisienten vil være mindre gjeldende for trafikk enn for de meteorologiske variablene grunnet at det er basert på færre datapunkter. Likevel ser vi av resultatene at det bare er årsanalysene som gir høy korrelasjon mellom de meteorologiske variabler og NO_2 samtidig som den gir høy korrelasjon mellom de trafikale variablene og NO_2 . Årsanalysen og spesielt den meteorologiske variabelen snødybde er derfor unntaket og vil bli videre diskutert. Sett vekk fra årsanalysen kan de meteorologiske og trafikale variablene studeres hver for seg.

Det er viktig å understreke at selv om sammenhengen ikke blir sett på som signifikant, kan det likevel bety at det finnes en sammenheng. Det kan rett og slett være for lite data til å bekrefte sammenhengen, og dermed være en svakhet i data og metode, og ikke i den aktuelle sammenhengen. Jeg har derfor valgt å se på resultater fra flere analyser for å få en oversikt over helheten, og ikke bare se på hver enkelt korrelasjon mellom to variabler. Det er i denne oppgaven ønskelig å ha en oversikt over alle meteorologiske variablene sett i en sammenheng mot alle de trafikale variablene. Dette er ikke noe som kommer fram i hvert plott ettersom man bare fokuserer på sammenhengen mellom to variabler. Den helhetlige sammenhengen kommer bare fram ved å se på flere analyser.

Antall inversjoner per måneder og lengste inversjon per måned ble beregnet etter kravene satt i metoden. Det skulle være minst tre grader varmere ved Tryvannshøgda enn Blindern og inversjonen skulle være i minst tre sammenhengende timer. Kravene satt i metoden er litt konservative ettersom en mindre positiv temperaturgradient kan regnes som inversjon. Videre kan det være inversjon med mindre vertikal utstrekning som ikke blir oppdaget mellom Tryvannshøgda og Blindern. Motivasjonen til kravene var imidlertid å skille ut de inversjonene som

det antas å ha en målbar effekt. Selv med denne konservative tilnærmingen viste det seg at inversjoner spiller en viktig rolle for variasjonen i NO_2 .

5.3 Hva betyr egentlig resultatene?

De meteorologiske variablene skilte seg særlig ut i de analysene som ikke var basert på trend. Temperatur er den variabelen som kunne gi høyest sammenheng med NO_2 ut i fra datamengde, korrelasjon og spredningsplott, se figurene 4.11 og 4.12. Temperatur regnes videre som den forklarende variabelen til sesongvariasjonen av NO_2 , hvor sammenhengen var høyest. Temperatur kan imidlertid være en sesongvariasjon i seg selv og forklares ut i fra årstid, solinnstråling og atmosfærisk dynamikk. Det vil være samspill mellom de ulike variablene i atmosfæren. Det er derfor som forventet at det er avhengighet mellom mange av de meteorologiske variablene.

Snødybde utpeker seg særlig i årsanalysene, se figurene 4.16 og 4.17. Det kan også komme av at månedgjennomsnittene mister sin effekt. Dette vil særlig påvirke denne variabelen, ettersom det er flere måneder som gir verdier på null. Snødybde vil som nevnt tidligere ha en brå stigning mellom høst og vinter og mellom vinter og vår. I en årsmoell vil heller ikke dette problemet være til stede. Dette kan være mulige forklaringer på hvorfor snødybde utpeker seg mer i årsanalysen enn i trendanalysen. Snødybde viser størst sammenheng i den årsanalysen hvor det måles høyest månedskonsentrasjon av NO_2 per år. Det gir mening ettersom den måneden hvor det vil være høyest NO_2 per år mest sannsynlig er vinterstid, da det er størst sannsynlighet for snø. Det er vanskelig å si om dette er en tilfeldig sesongbetinget tilfeldighet eller om snødybden faktisk er en forklaringsfaktor til en forhøyet NO_2 konsentrasjon. Det kan i prinsippet ha vært måneden desember som har høyest NO_2 utslipp et år, men at snødybden var høyest i månedene januar og februar. Likevel kan snødybden per år gi en indikasjon på hvordan vinteren var i forhold til de månedene med potensielt høyest NO_2 konsentrasjon. For eksempel om det var en stabil vinter med lange perioder med temperaturer under null grader.

En annen interessant sammenligning med snødybde er at analysen for månedsgjennomsnitt av NO_2 viste en korrelasjonskoeffisient på 0.69, mens NO_2 max analysen gav snødybde en korrelasjonskoeffisient med NO_2 på 0.92, se figurene 4.11 og 4.17. Månedsanalysen får fram sesongvariasjonen i snødybde. Det er her viktig å påpeke at sesongvariasjonen i NO_2 er langt tydeligere og sterkere enn trenden og den tilfeldige variasjonen i NO_2 . Derfor kan det antas at sammenhengen mellom snødybde og NO_2 i månedsanalysen var knyttet til samme sesongvariasjon. Denne sesongvariasjonen blir ikke representert i årsanalysen. Selv om årsanalysen er basert på færre datapunkter, viser denne analysen en viktig år til år variasjon i snødybde. Som et resultat av snødybde sin sammenheng med både månedsgjennomsnitt og årsgjennomsnitt av NO_2 , viser variabelen snødybde at den kan ha flere variasjoner som samsvarer med de ulike variasjonene i NO_2 .

Inversjonsanalysen viser at inversjonsfrekvens er den inversjonsvariabelen som gir høyest sammenheng med NO_2 . Inversjonslengde har bare høyere sammenheng med NO_2 i de analysene hvor inversjonskorrelasjonen i utgangspunktet ikke er

så høy, eller i de analysene som er basert på færre datapunkter. Ut i fra resultatene har antall inversjoner høyere sammenheng med sesongvariasjonen og den tilfeldige variasjonen i NO_2 . Det kan videre henvises til svakere tendenser til sesongvariasjon i inversjonslengde i variasjonsanalysen, se figur 4.9b og 4.10b. Begge inversjonsvariablene viser seg å være knyttet til variablene vindhastighet og temperatur, som samsvarer med teori. Det betyr at inversjon også kan ses i sammenheng med resten av de meteorologiske variablene.

Det kan ikke trekkes noen konklusjoner ut i fra sesongvariasjon og trend i NO_2 uten å studere den tilfeldige variasjonen. I analysen med tilfeldig variasjon er vindhastighet den variablene som viser størst sammenheng med tilfeldig variasjon i NO_2 , se figur 4.13. Dette er som forventet, sett ut i fra boksplottene og tidsserien. På den andre siden er sammenhengen mellom vindhastighet og tilfeldig variasjon i NO_2 relativt lav og den tilfeldige variasjonen kan være opp mot $\pm 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se figur 3.22. I vintrene i årene 2010 og 2011 er den uforklarte variasjonen høy, og sesongvariasjon og trend dekker ikke NO_2 konsentrasjonen disse årene. Det kan være flere grunner til månedene som skiller seg ut i den tilfeldige variasjonen i NO_2 . For eksempel er det høyest variasjon i temperatur i året 2010, se figur 4.3a. Den relative fuktigheten som har en positiv korrelasjon med NO_2 har generelt sett høyest månedsverdier i året 2011, se figur 4.4a. Videre viser inversjonsanalysen at året 2010 inneholdt den lengste inversjonen i perioden, se figur 4.8. Til slutt viser variabelen snødybde at det var høyest snødybde i årene 2009-2011, se figur 4.6a. Alle disse meteorologiske tilfellene kan til ulik grad gi en forklaring til den tilfeldige variasjonen i årene 2010 og 2011.

I motsetning til årene 2010 og 2011, hvor NO_2 konsentrasjonen var høyere enn forventet, viser vinteren i året 2014 en lavere NO_2 konsentrasjon enn det som var forventet sett ut i fra sesongvariasjonen og trenden. Det kan blant annet komme av at variablene temperatur og vindstyrke hadde høyest median dette året, der begge har en negativ korrelasjon med NO_2 , se figurene 4.3a og 4.5a. Den relative fuktigheten hadde videre størst variasjon i året 2014, se figur 4.4a. Det som er felles for de store utslagene i den tilfeldige variasjonen i NO_2 , er at de alle til en viss grad kan forklares ut i fra de meteorologiske variablene. Det kan av den grunn virke som de meteorologiske variablene kan beskrive både sesongvariasjonen og den tilfeldige variasjonen i NO_2 .

Trafikkvariablene viser først en tydelig sammenheng med NO_2 i trendanalysene, se figurene 4.14 og 4.15. I disse analysene er registrere elektriske personbiler den trafikale variabelen med høyest sammenheng med trend av NO_2 . Denne sammenhengen er størst i analysen fra 2012-2017, med da er også avhengigheten med andre variabler størst. Grunnet denne tydelige sammenhengen mellom trafikkvariablene, og med bakgrunn i at denne analysen har færre datapunkter, kan det tyde på at ingen variabler alene er sammenlignbare med NO_2 . Likevel er det mulig å se på trafikk som en helhet. Ut i fra det perspektivet vil trafikk, som representativ for alle de ulike trafikkvariablene, generelt sett ha relativt høy sammenheng med trend.

De ulike trafikkvariablene har både positiv og negativ korrelasjon med NO_2 , se figurene 4.14 og 4.15. Det som derimot kommer fram i trendanalysene er at de to trafikkvariablene med størst sammenheng med trenden i NO_2 , registrere elektriske

personbiler og registrerte lastebiler etter euro VI, har negativ korrelasjon med trenden i NO_2 . Tilsvarende er disse to trafikkvariablene sentrale i utslippsendringen som kan forventes fra trafikken i den gjeldende perioden. Et bytte fra personbil med diesel som drivstoff og lastebil med typegodkjenning euro V og eldre, til et mer utslippsvennlig alternativ, gir en vesentlig reduksjon av NO_2 . Personbiler med annet drivstoff i stedet for bensin- eller dieslbiler kan også potensielt skape en reduksjon av NO_2 , da også denne trafikkvariabelen har negativ korrelasjon med NO_2 , og vil slippe ut mindre NO_2 . På den andre siden har registrerte bensin personbiler en positiv korrelasjon med NO_2 . På bakgrunn av de ulike sammenhengene mellom trafikkvariablene og trend i NO_2 og utslippsantagelser, er det naturlig å anta at trafikkendringene har hatt innvirkning på den reduserende trenden i NO_2 .

6

Konklusjon

Målet i denne oppgaven var å finne variabler som kunne forklare endringen i NO_2 konsentrasjonen i Oslo i den aktuelle perioden 2008-2017. Ulike meteorologiske og trafikale variabler ble analysert og sammenlignet med ulike NO_2 variasjoner. I tillegg ble det meteorologiske fenomenet, inversjon, nærmere studert i forbindelse med dens sammenheng med NO_2 konsentrasjon.

Det er i hovedsak meteorologi og utslipp som kan forklare variasjonen og endringene i NO_2 konsentrasjonen i Oslo, og dette er nærmere tallfestet i oppgaven. Kartleggingen av de ulike variablenes sammenheng med NO_2 , er viktig for å finne ut hva vi aktivt kan gjøre for å oppnå en renere byluft i Oslo.

I denne oppgaven blir det identifisert en sammenheng mellom de meteorologiske variablene og sesongvariasjonen i NO_2 , hvor spesielt temperatur viser en tydelig lineær sammenheng med sesongvariasjonen i NO_2 . Dette samsvarer med at gjennomsnittskonsentrasjonen av NO_2 er høyest om vinteren. I tillegg kan den tilfeldige variasjonen forklares ut i fra mange av de meteorologiske variablene. Snødybde skiller seg til en viss grad fra de andre meteorologiske variablene da den viser til tydelig sammenheng med årsanalysene av NO_2 . Det er en klar indikasjon på at snødybde samsvarer med flere av de ulike variasjonene i NO_2 .

Inversjonsanalysen viser at antall inversjoner per måned har større sammenheng med NO_2 enn lengste inversjon per måned. Det tyder på at antallet inversjoner har større betydning for NO_2 konsentrasjonen enn lengden på inversjonene. Det blir videre konstatert at inversjonsvariabelen ikke kan ses som gjeldende som uavhengig variabel. Inversjon kan ses i sammenheng med resten av de meteorologiske variablene, og da spesielt variablene temperatur og vindhastighet.

Ingen av de meteorologiske variablene viser noen gode sammenhenger med trend, og det er bare trafikkvariablene som trekkes fram i trendanalysene i denne oppgaven. I trendanalysene er det tendenser som viser at en øking i elektriske personbiler i Oslo fører til mindre NO_2 , men det trengs flere år med trafikkdata for å bekrefte at denne sammenhengen er signifikant og stabil. Likevel er det mulig å se på trafikk som en helhet. Fra det perspektivet vil biltrafikken, som representativ for alle de ulike trafikkvariablene, generelt sett ha relativ høy sammenheng med trend. Videre blir det konkludert med at trafikken har hatt innvirkning på den reduserende trenden i NO_2 , dersom utslippsforskjellen mellom de ulike trafikkvariablene blir tatt

med i betraktningen.

Denne oppgaven har bidratt til å bekrefte at sesongvariasjonen i Oslo kan forklares av de meteorologiske variablene, og da særlig temperatur. Med kunnskap om denne sammenhengen kan man i større grad forutse månedsgjennomsnittlig konsentrasjonen av NO_2 , og utføre sesongtiltak i de månedene man vet det potensielt vil være dårligst luftforurensning. Analysen og diskusjonen rundt tilfeldig variasjon har anerkjent at perioder hvor de meteorologiske prosessene skiller seg fra normalen, kan gi utslag på NO_2 konsentrasjonen i Oslo.

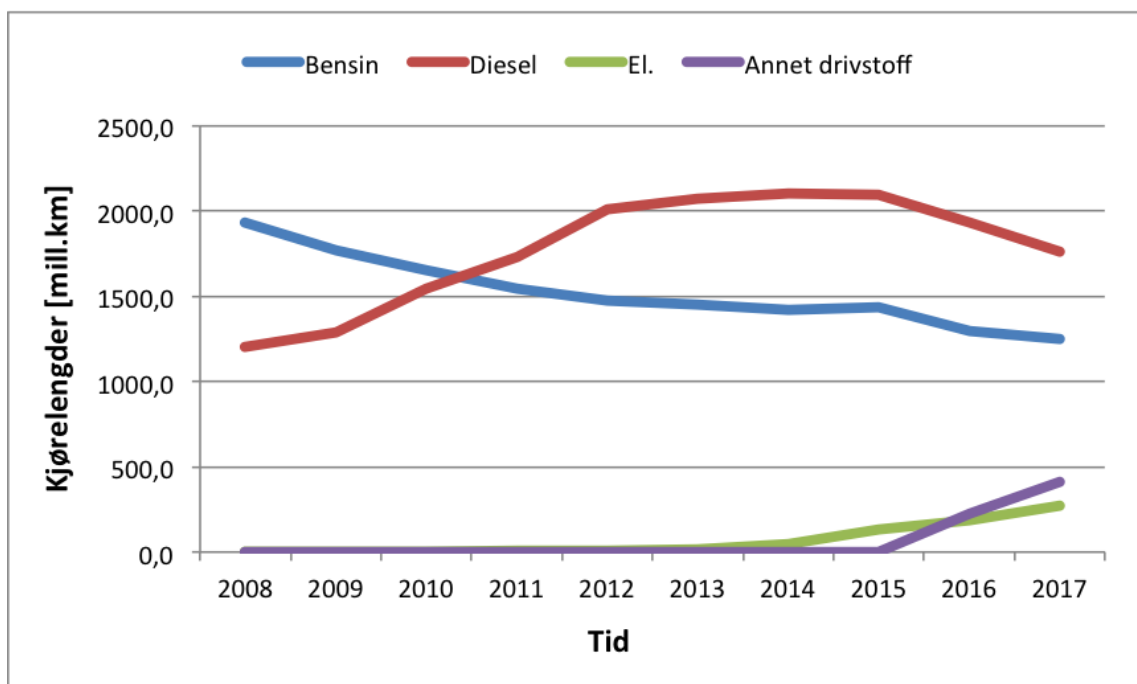
Videre analyse av sammenhengen mellom utslipp og konsentrasjonen av NO_2 bør gjennomføres for å kunne bekrefte den reduserende trenden i NO_2 . Både for å holde seg innenfor lovens grenser, men også for å unngå de negative effektene som følger med eksponering av NO_2 .

Vedlegg A

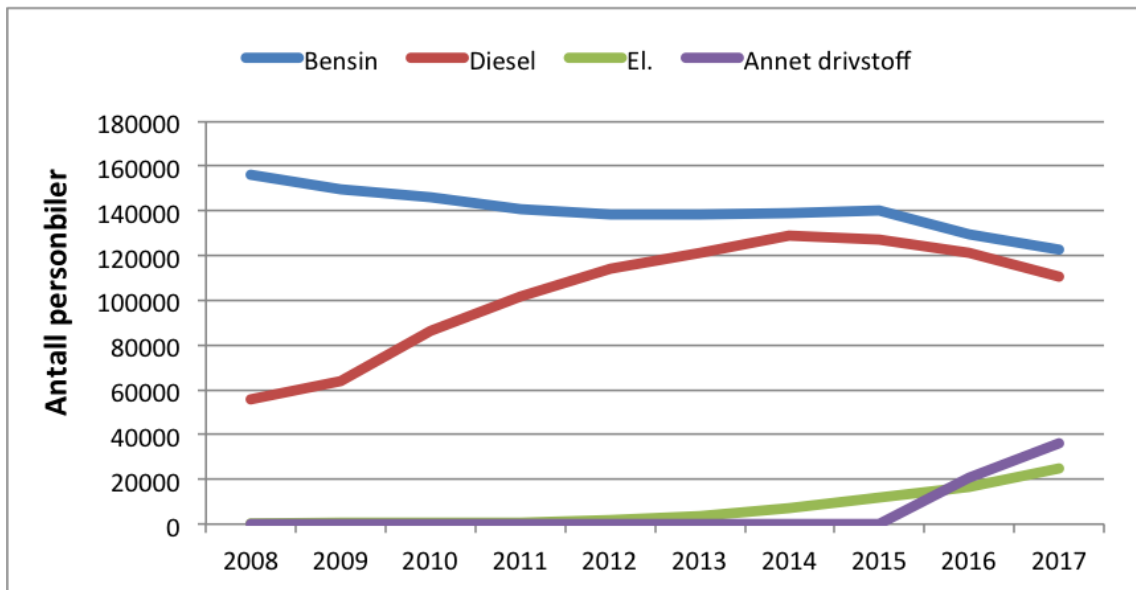
Mer informasjon om trafikkdata

Registrerte personbiler og kjørelengder for personbiler viser til lik endringsforhold per drivstoffstype, se figur A.1 og figur A.2 for sammenligning.

A.1 Personbiler



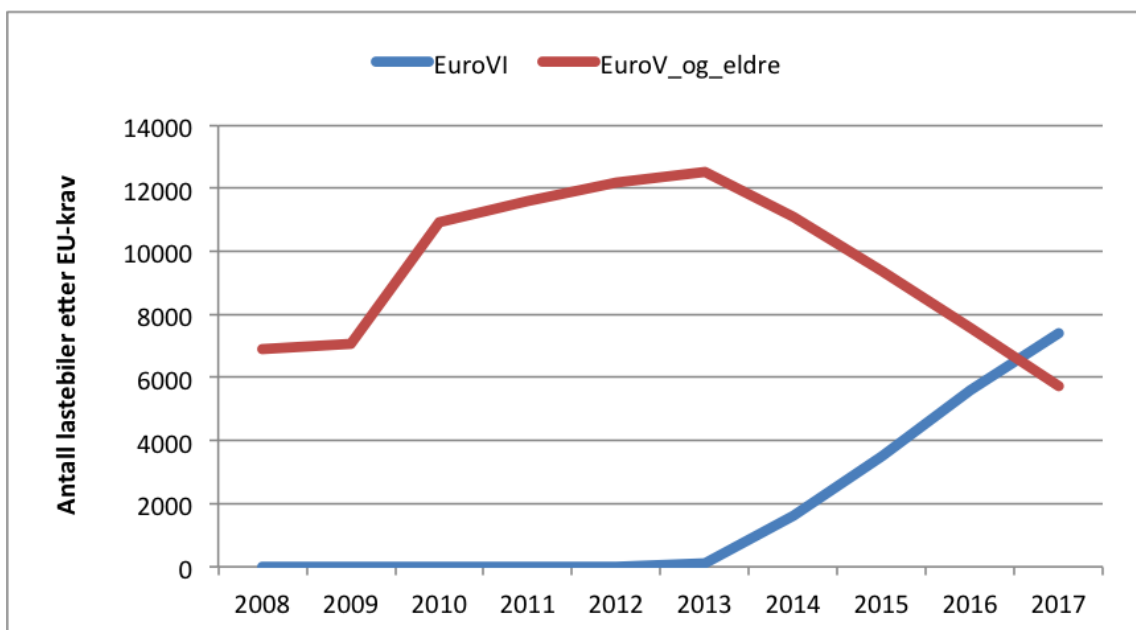
Figur A.1: Kjørelengder for personbiler inndelt etter drivstofftype



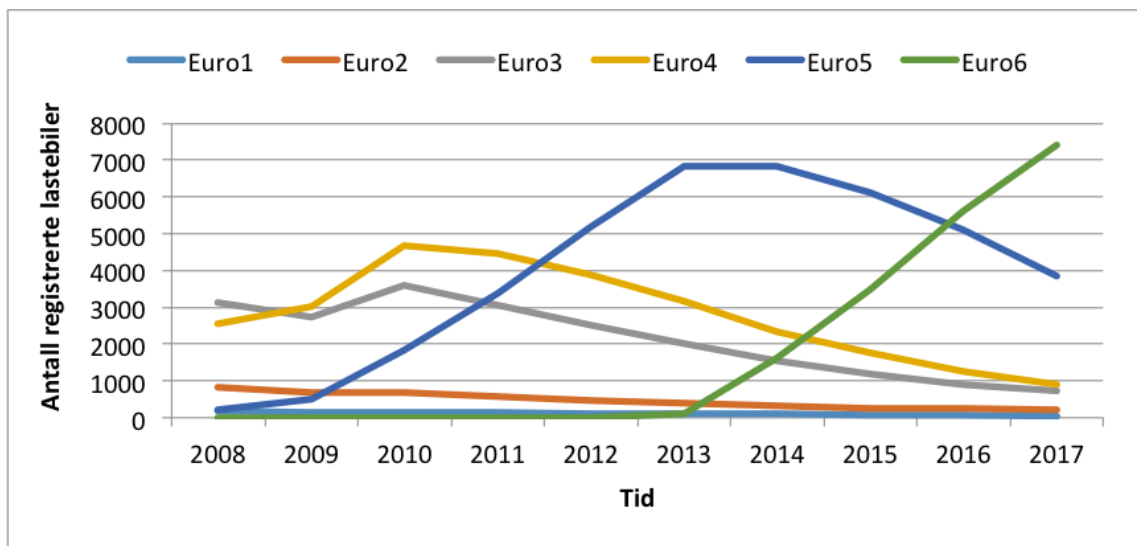
Figur A.2: Registrerte personbiler inndelt etter drivstofftype

A.2 Lastebiler

Lastebil variabelen brukt i analysen er framstilt i figur A.3. Til sammenligning vises alle de ulike typegodkjenninger i samme gjeldende periode, i figur A.4.



Figur A.3: Registrerte lastebiler inndelt i Euro IV og Euro V og eldre i perioden 2008-2017.



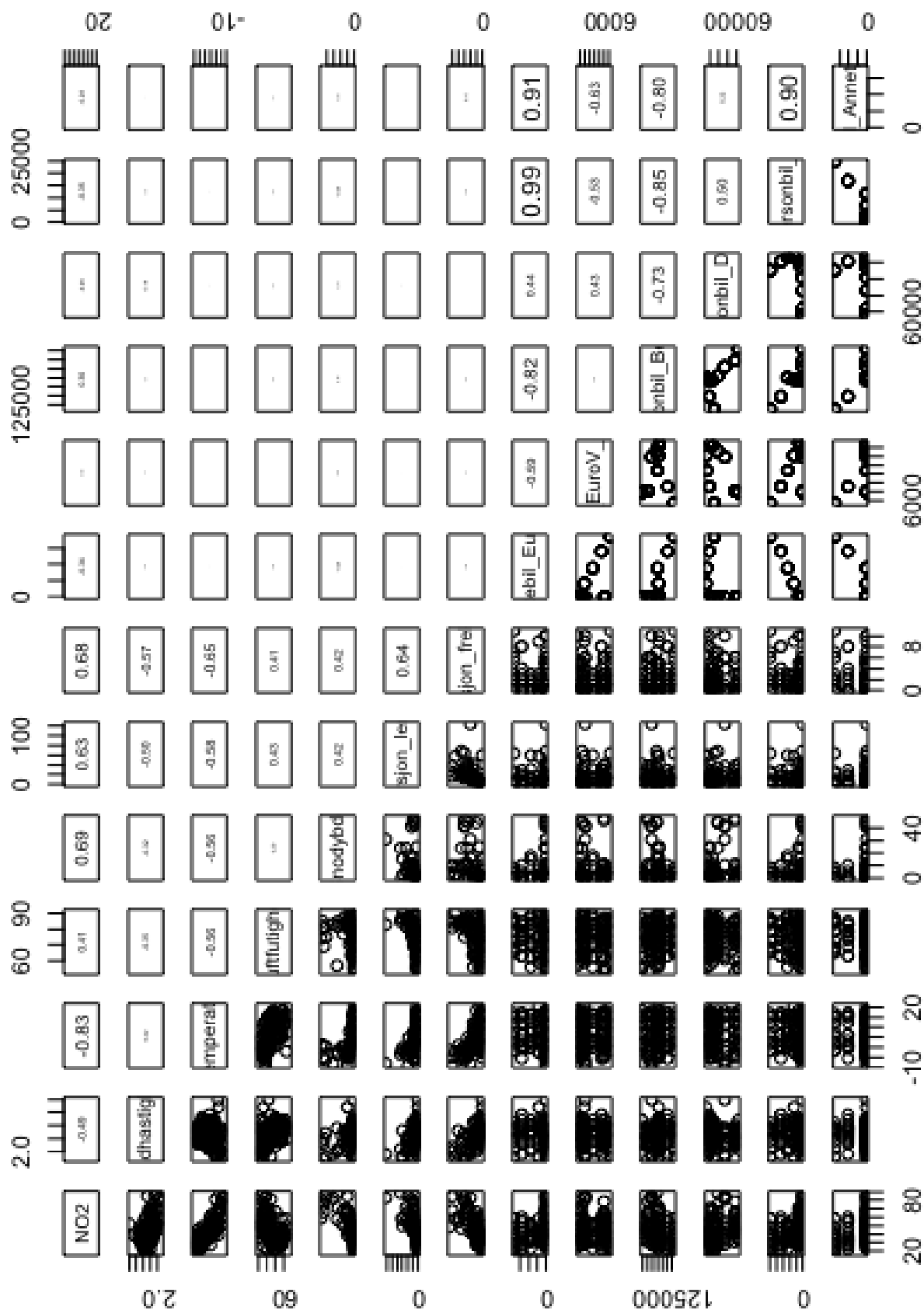
Figur A.4: Registrerte lastebiler inndelt etter alle typegodkjenningene i gjeldende periode.

Vedlegg B

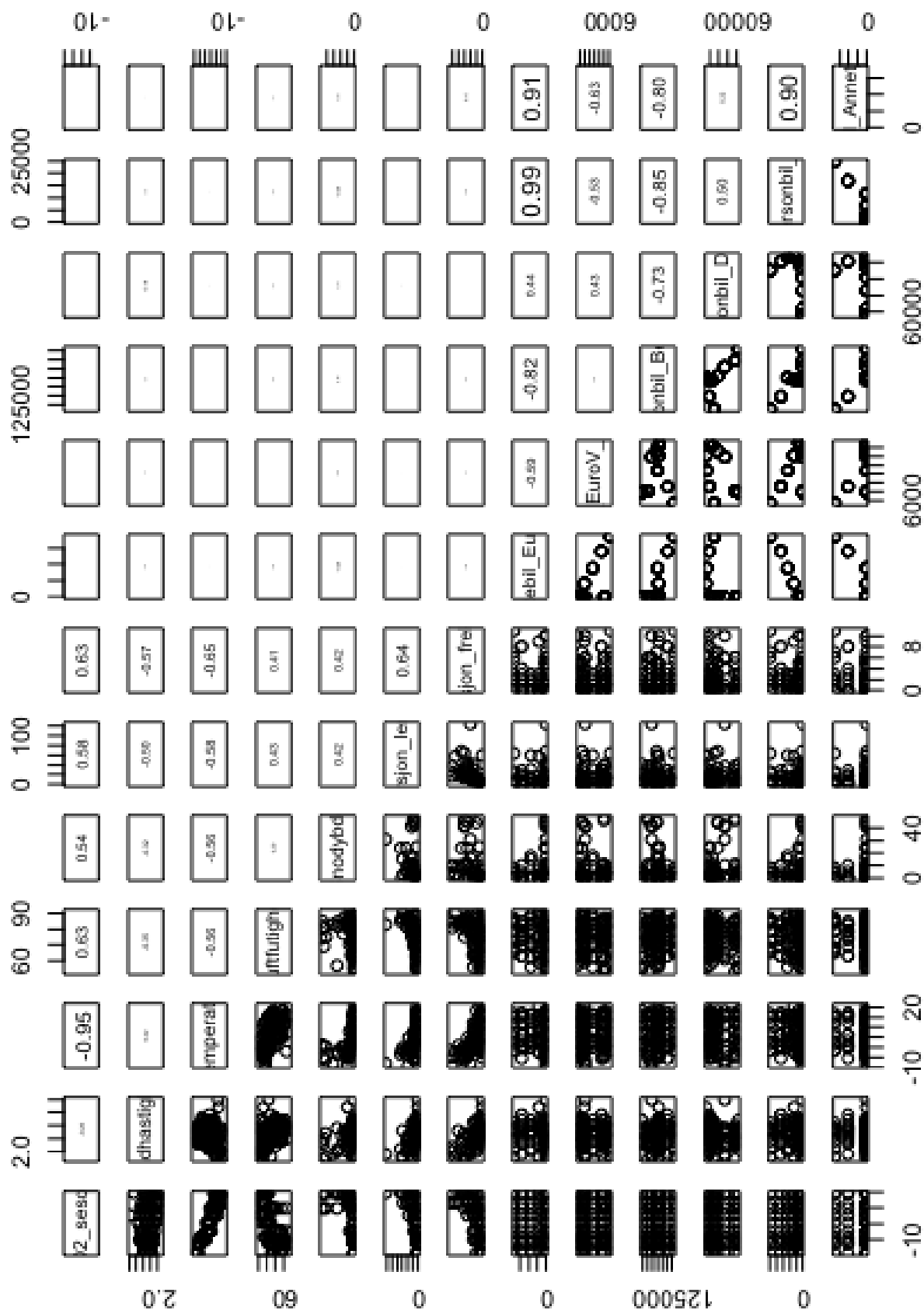
Fullstendige statistiske analyser

Rekkefølge på fullstendige statistiske analyser i dette vedlegget:

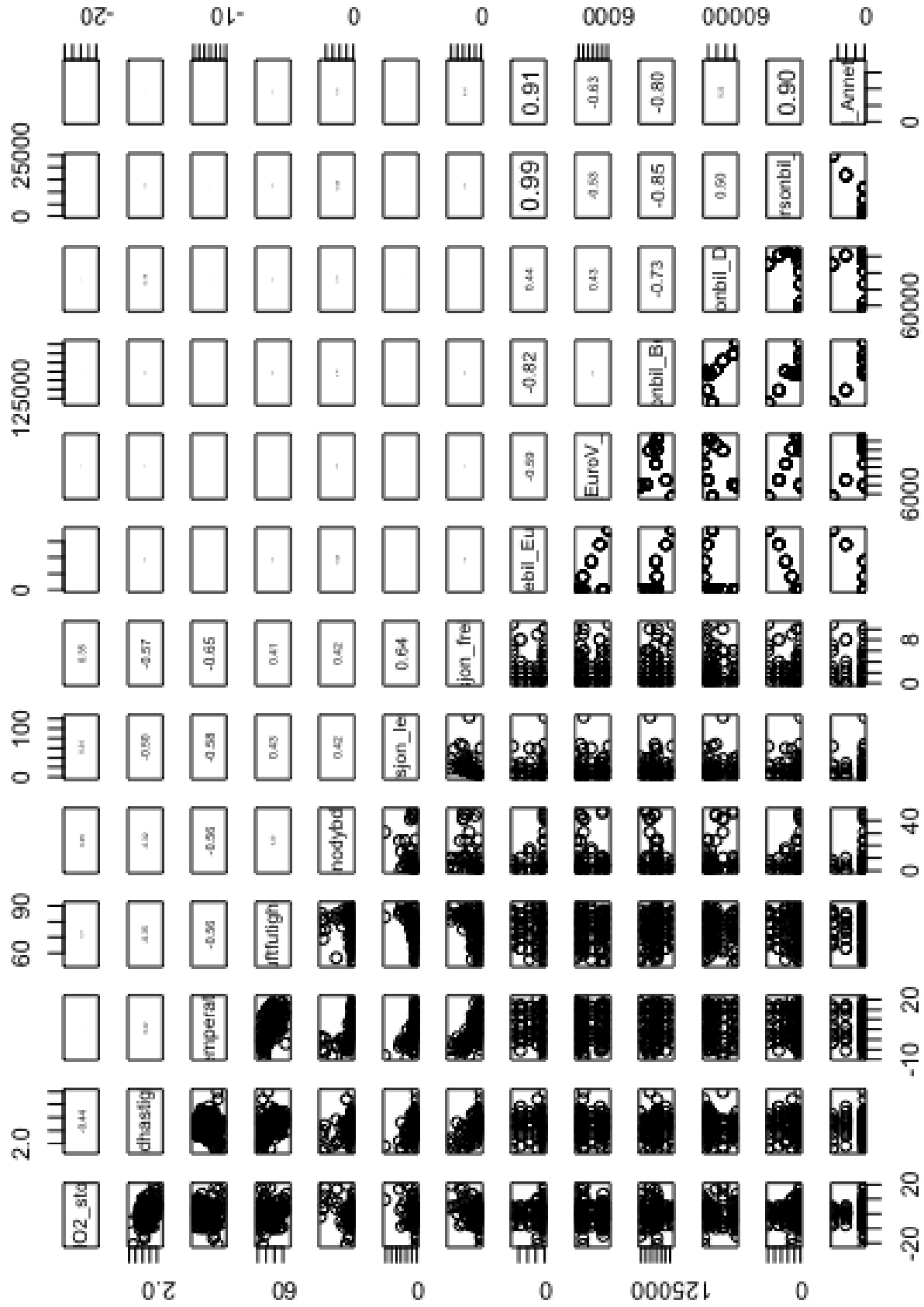
- Månedsgjennomsnitt i perioden 2008-2017, se figur B.1
- Sesongvariasjon, se figur B.2
- Tilfeldig variasjon, se figur B.3
- Trend i perioden 2008-2017, se figur B.4
- Trend i perioden 2012-2017, se figur B.5
- Årsgjennomsnitt, se figur B.6
- Høyest månedsgjennomsnitt av NO₂ per år, se figur B.7
- Månedsgjennomsnitt i året 2018, se figur B.8



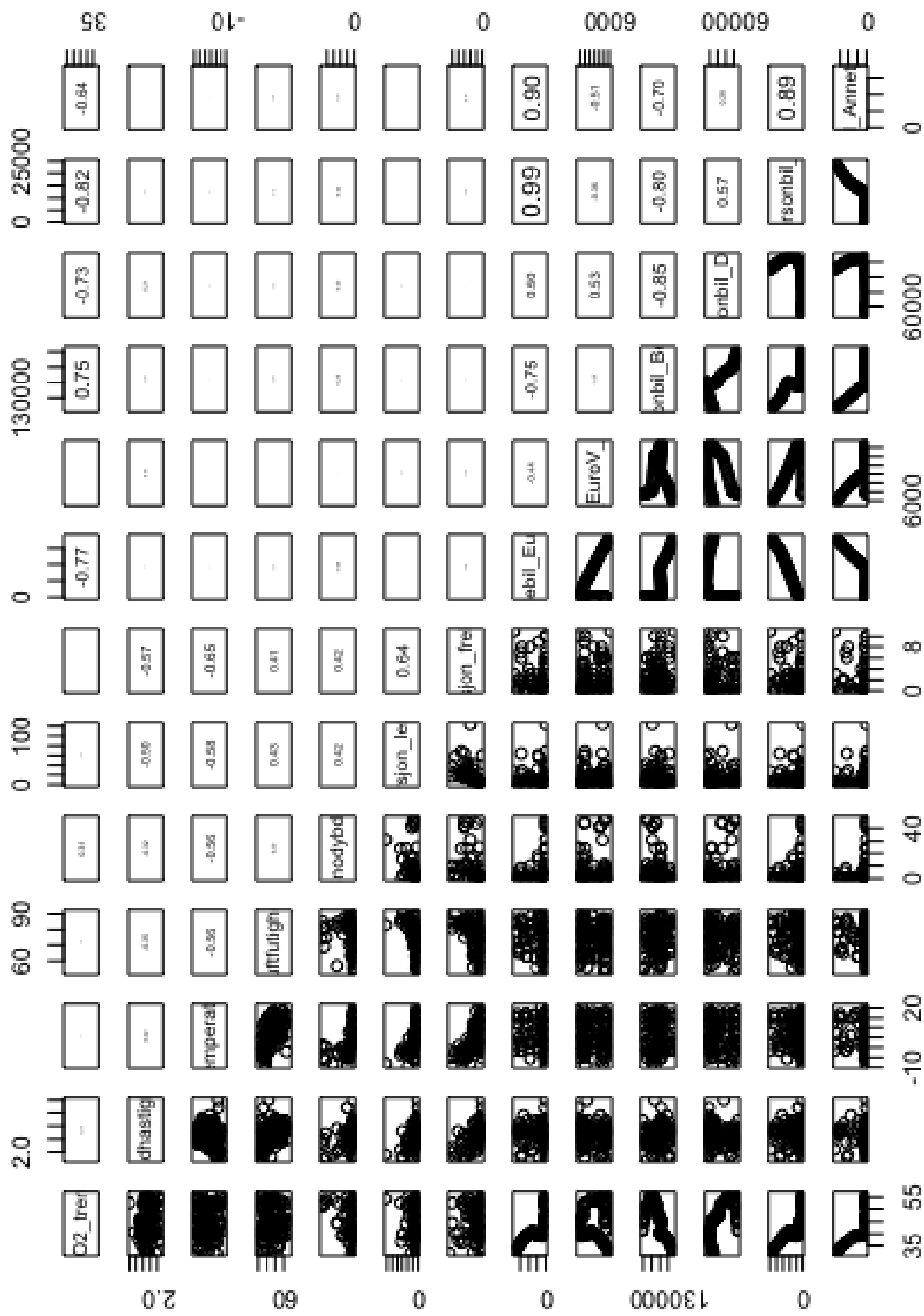
Figur B.1: Sammenhengsplot for NO₂ månedsgjennomsnitt i perioden 2008-2017.



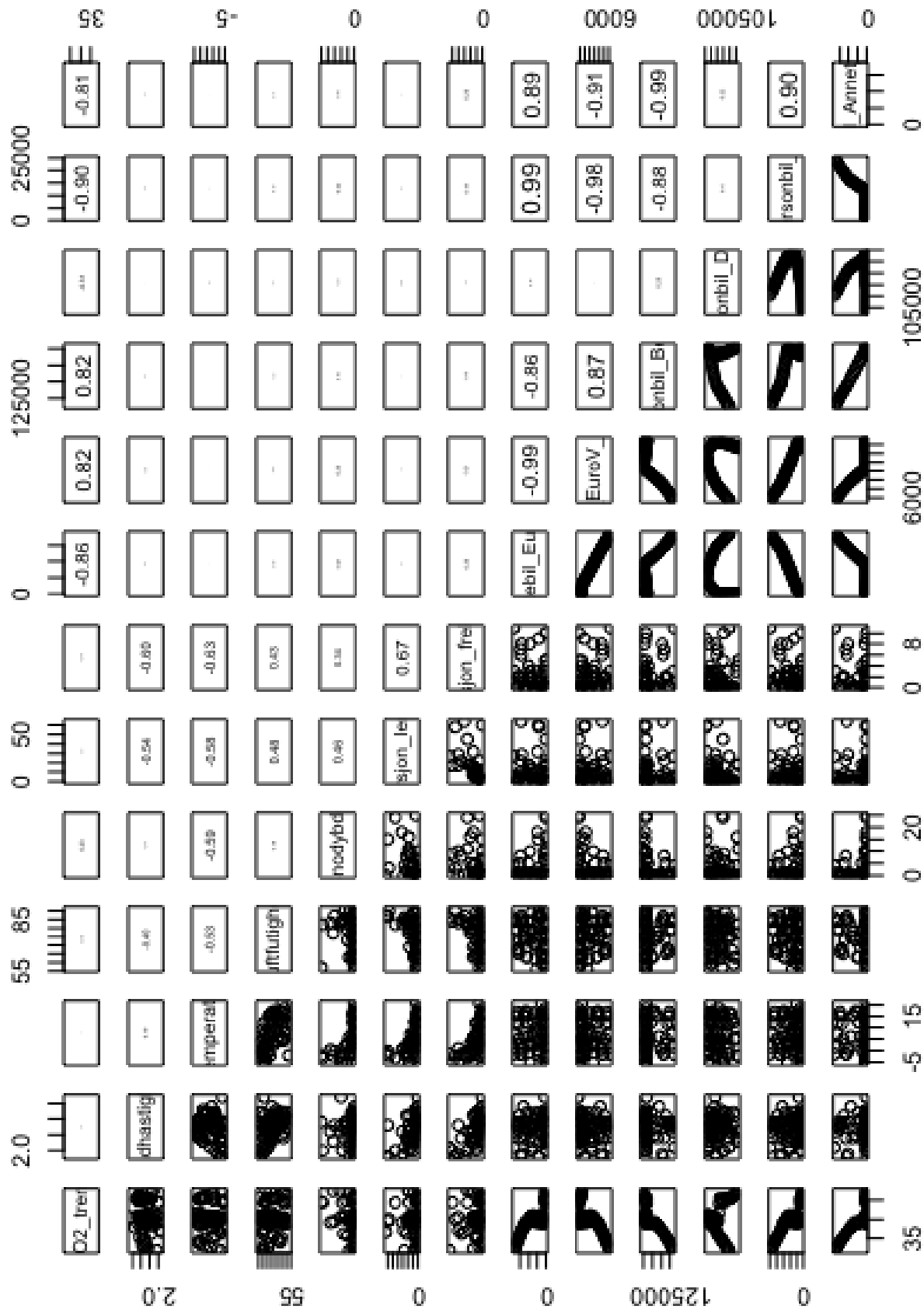
Figur B.2: Sammenhengsplot for sesongvariasjonen i NO₂ i perioden 2008-2017.



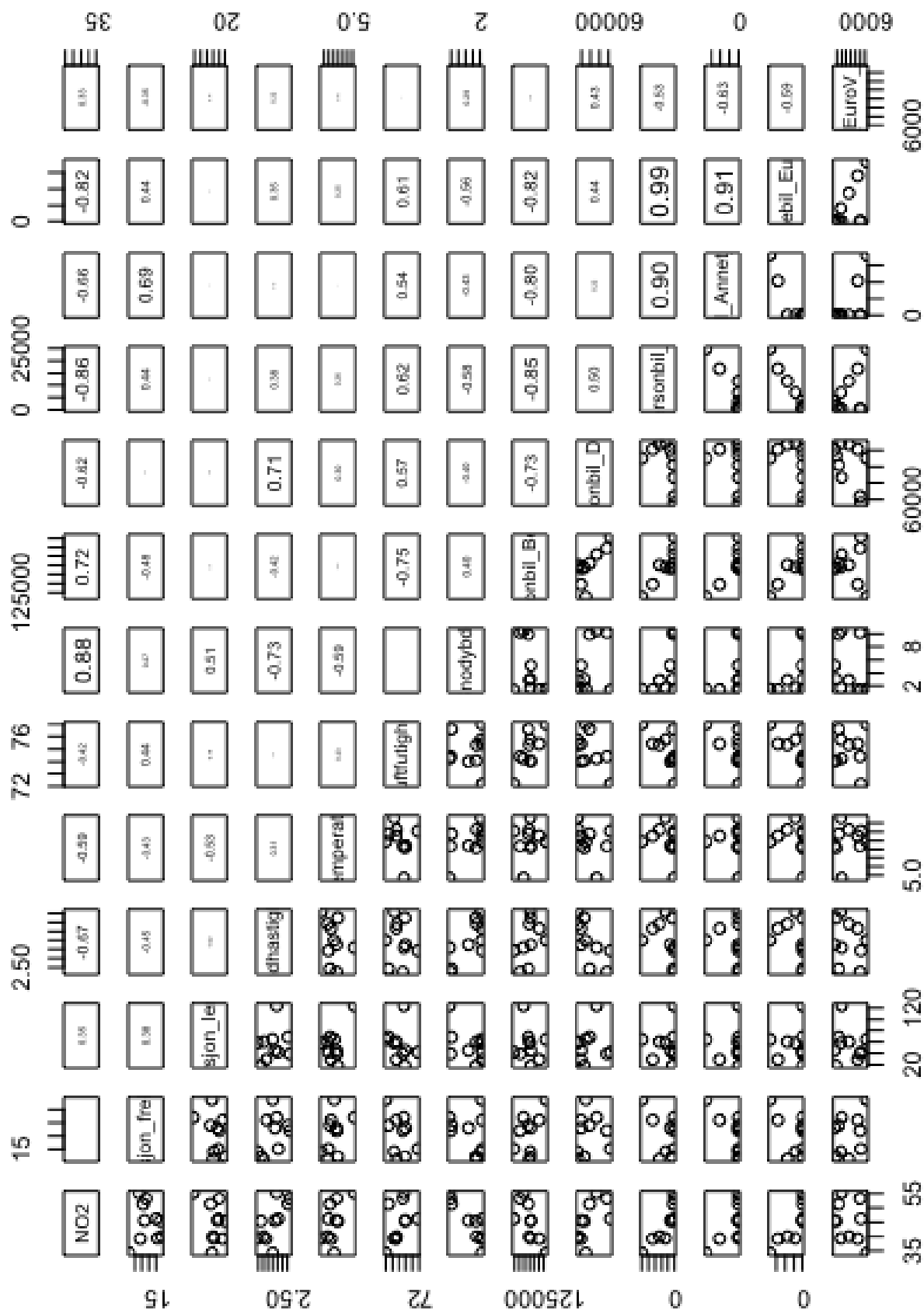
Figur B.3: Sammenhengsplot for tilfeldig variasjon i NO₂ i perioden 2008-2017.



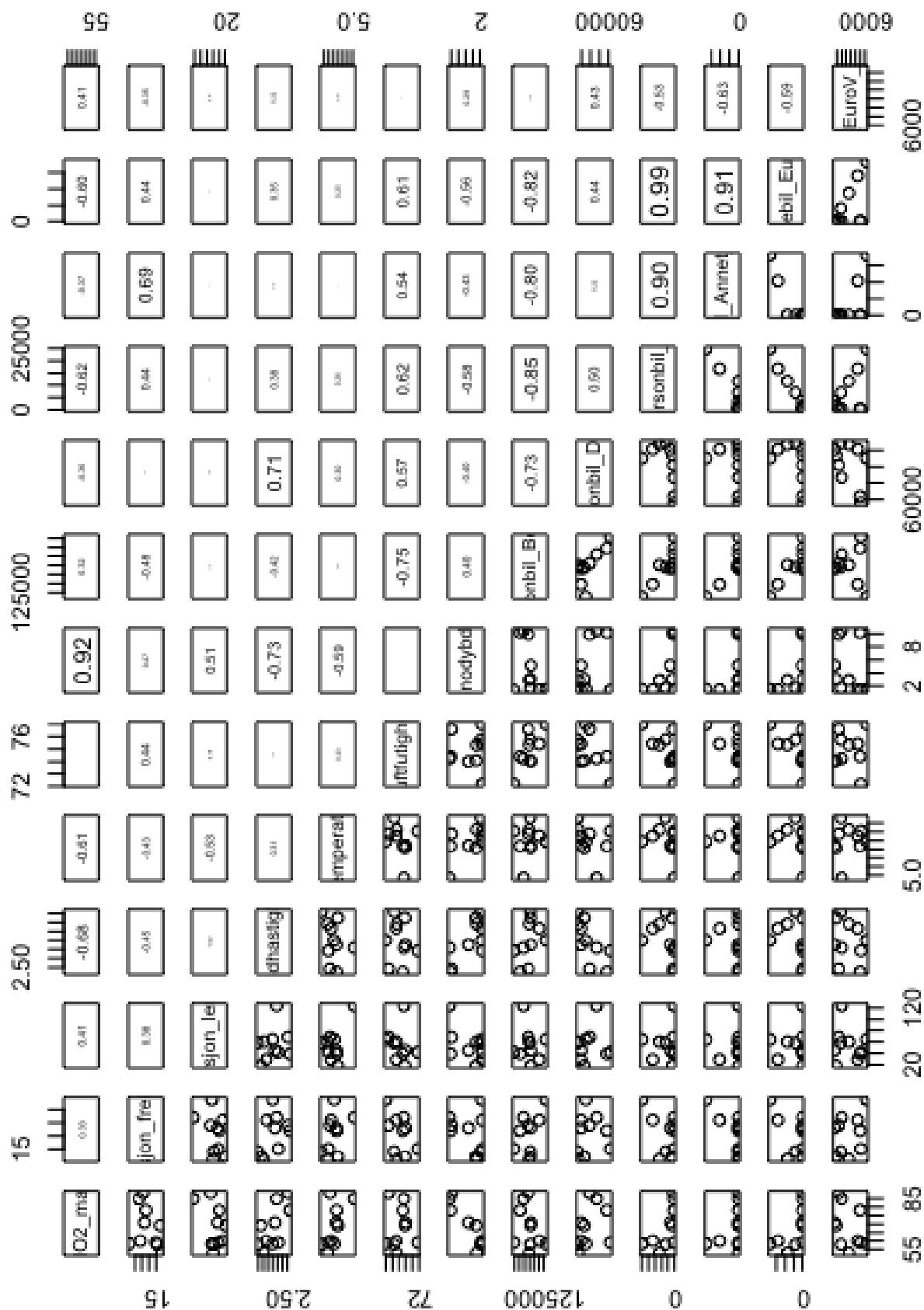
Figur B.4: Sammenhengsplot for trend i NO₂ i perioden 2008-2017.



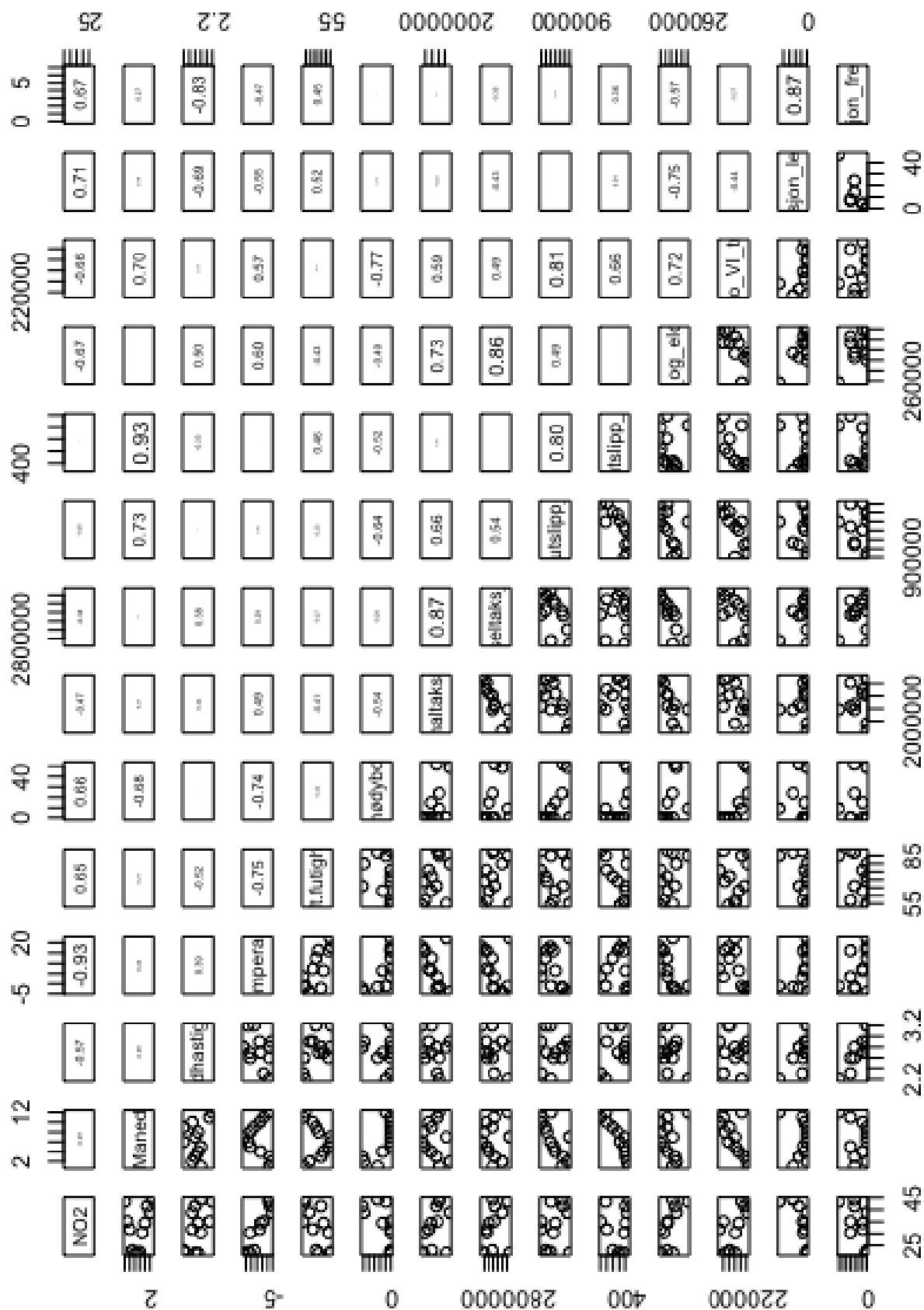
Figur B.5: Sammenhengsplot for trend i NO₂ i perioden 2012-2017.



Figur B.6: Sammenhengsplot for årsgjennomsnitt av NO₂ i perioden 2008-2017.



Figur B.7: Sammenhengsplot for høyst månedsgjennomsnitt av NO₂ per år i perioden 2008-2017.



Figur B.8: Sammenhengsplot for månedsgjennomsnitt av NO₂ i året 2018.

Bibliografi

- Aas, Harald. 2018. *Strakstiltak ved høy luftforurensning*. TØI. <https://www.tiltak.no/e-beskytte-eller-reparere-miljoeet/e2-luft-og-vannforurensning/e-2-1/>[lest: 03/03/19].
- Ahrens, C. Donald, & Henson, Robert. 2018. *Essentials of meteorology : an invitation to the atmosphere*. 8th ed. edn. Boston: Cengage learning.
- Aldrin, Magne, Steinbakk, Gunnhildur Högnadóttir, & Rosland, Pål. 2010. *Analyse av luftkvalitet og effekt av støvdemping basert på data fra 2001-2009*.
- Amundsen, Astrid, & Hagman, Rolf. 2015. *Eurokrav og typegodkjenning av kjøretøy*. TØI. <https://www.tiltak.no/0-overordnede-virkemidler/0-1-miljoe-lover-og-retningslinjer/o-1-9/>[lest: 30/04/19].
- Arya, S. Pal. 1999. *Air pollution meteorology and dispersion*. New York: Oxford University Press.
- Carruthers, David. 2007. Atmospheric dispersion and air pollution meteorology. *Handbook of Atmospheric Science: Principles and Applications*, 255–274.
- Dannevig, Petter, & Harstveit, Knut. 2018. https://snl.no/gjennomsnittstemperatur_i_utvalgte_byer[lest: 208/05/19].
- FN, de Forente Nasjoner. 2019. *FNs bærekraftsmål*. <https://www.fn.no/Om-FN/FNs-baerekraftsmaal>[lest: 03/05/19].
- Folkehelseinstituttet. 2013. Luftkvalitetskriterier : virkninger av luftforurensning på helse. **2013:9**.
- Folkehelseinstituttet. 2019. *Nitrogen dioksid - luftkvalitetskriterier*. <https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/nitrogen dioksid/nitrogen dioksid/>[lest: 03/03/19].
- Forurensningsforskriften. 2019. *Forskrift om begrensnig av forurensning (forurensningsforskriften). Del 3. Kapittel 7. Lokal luftkvalitet*. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_3#KAPITTEL_3[lest: 23/04/19].
- Grytdal, Amalie. 2019. *Illustratør*.
- Hagman, Rolf, Gjerstad, Karl Idar, & Amundsen, Astrid H. 2011. *NO2-utslipp fra kjøretøyparken i norske storbyer: Utfordringer og muligheter frem mot 2025*. Transportøkonomisk institutt (TØI).

- Høiskar, Britt Ann Kåstad, Sundvor, Ingrid, & Vogt, Mathias. 2016. *Effekt av lavutslippssoner på luftkvaliteten i Oslo. Utslipps-og spredningsberegninger*. Norsk institutt for luftforskning(NILU).
- istockphoto.com. 2019. Betalt bilde fra <https://www.istockphoto.com/no> med Stock photo ID:1053991868.
- Kartverket. 2019. <https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=4&lat=7197864.00&lon=396722.00>[lest: 21/04/19].
- Lazaridis, Mihalis. 2010. *First principles of meteorology and air pollution*. Environmental pollution ;, vol. 19. Dordrecht: Springer.
- Løvås, Gunnar G. 2013. *Statistikk: for universiteter og høyskoler*. Universitetsforlaget.
- Løseth, Åsne. 2018. *Luftkvaliteten i Oslo – Årsrapport 2017*.
- Næss, Øyvind, Nafstad, Per, Aamodt, Geir, Claussen, Bjørgulf, & Rosland, Pål. 2006. Relation between concentration of air pollution and cause-specific mortality: four-year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighborhoods in Oslo, Norway. *American Journal of Epidemiology*, **165**(4), 435–443.
- Seinfeld, John H., & Pandis, Spyros N. 2006. *Atmospheric chemistry and physics : from air pollution to climate change*. 2nd ed. edn. Hoboken, N.J: Wiley.
- SSB, Statistisk sentralbyrå. 2019. *Bilparken*.
- Stull, Roland B. 1989. *An introduction to boundary layer meteorology*. 2nd reprint. edn. Atmospheric sciences library. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Thune-Larsen, Harald, Veisten, Knut, Rødseth, Kenneth Løvold, & Klæboe, Ronny. 2016. *Marginale eksterne kostnader ved vegtrafikk med korrigerte ulykkeskostnader*. Transportøkonomisk institutt (TØI).
- UN, United Nations. 2018. *68% of the world population projected to live in urban areas by 2050*. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>[lest: 07/03/19].
- Vegvesen, Statens. 2018. Luftkvalitet. <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/miljo+og+omgivelser/forurensning/luft>[lest: 23/02/19].
- Wallace, John M., & Hobbs, Peter V. 2006. *Atmospheric Science: An Introductory Survey*. 2 edn. Elsevier Science.
- WHO. 2016. Health risk assessment of air pollution: General principles. *Copenhagen: WHO*.
- WHO. 2018. *Ambient (outdoor) air quality and health*. [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)[lest: 18/02/19].
- Øvrevik, Johan, Låg, Marit, Refsnes, Magne, & Schwarze, Per E. 2018. Luftforurensning og helse i Norge. *Utposten*, **47**(1), 24–27.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway