



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Påvirkningen av storskala værsystemer på svevestøv i Oslo

Influence of large-scale weather patterns on
airborne dust in Oslo

Hilde Wasteson
Miljøfysikk og fornybar energi

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet for Fakultet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) våren 2022. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Meteorologisk institutt og Bymiljøetaten i Oslo kommune, og markerer slutten på sivilingeniørstudiet i miljøfysikk og fornybar energi.

For meg har masteroppgaven vært en ekstremt lærerik prosess. Det har både vært utfordrende og spennende å ta et dypdykk i et så omfattende tema som luftforurensning og værsystemer.

Jeg ønsker å rette en stor takk til veiledning jeg har fått fra hovedveilederen min Mareile Astrid Wolff fra NMBU og Meteorologisk institutt, og mine medveiledere Susanne Lützenkirchen fra Bymiljøetaten i Oslo kommune og Erik Berge fra Meteorologisk institutt. I tillegg vil jeg gjerne takke Oskar Landgren fra Meteorologisk institutt for mye god hjelp og innspill til oppgaven, samt oppmuntrende og positive tilbakemeldinger.

Til slutt vil jeg takke familie og venner som har støttet meg i denne perioden.

Oslo, 14.06.2022

Hilde Wasteson

Sammendrag

Luftforurensning er et verdensomspennende problem som hvert år fører til helseskader for mennesker og naturmiljøet. I Oslo har luftforurensningsnivåene gått ned de siste årene, men det er fortsatt forurensningskomponenter som gir overskridelser av myndighetenes grenseverdier. Svevestøv i form av PM_{10} (partikulært materiale med diameter under 10 mikrometer) er en av disse komponentene. Eksponering for svevestøv kan gi negative helseeffekter og skadeomfanget svevestøvet kan gjøre dersom man puster det inn avhenger av partikkelstørrelsen og partikkelens kjemiske sammensetning. PM_{10} avsettes først og fremst i de øvre luftveiene og eksponering for PM_{10} er forbundet med astma og kols. I denne studien er det blitt gjort en analyse av hvordan den atmosfæriske sirkulasjonen i Sør-Norge påvirker den lokale luftforurensningen ved PM_{10} i Oslo i tidsperioden mars og april 2000 til 2020. Til å klassifisere den atmosfæriske sirkulasjonen har sirkulasjonstype-klassifiseringsmetoden Grosswettertypes blitt anvendt med ti ulike sirkulasjonstyper som representerer ti forskjellige storskala vindretninger over Sør-Norge. Resultatene viser at sirkulasjonstype 9, med et lavtrykk sentrert over Sør-Norge og storskala vindretning fra øst og sørøstlig retning, er assosiert med dager med lave PM_{10} konsentrasjoner og har en gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon på $18,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sirkulasjonstype 10, med et høytrykk sentrert over Sør-Norge og storskala vindretning fra vest og nordvestlig retning, er assosiert med dager med høye PM_{10} konsentrasjoner og har en gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon på $38,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

I tillegg til å se på sammenhengen mellom atmosfærisk sirkulasjon og PM_{10} , har det blitt undersøkt hvordan de meteorologiske variablene nedbør og vind målt på Blindern påvirker PM_{10} konsentrasjonen i Oslo målt i Kirkeveien. Som forventet har dagene med nedbør lavere PM_{10} konsentrasjoner enn dagene uten nedbør. Nedbør bidrar til reduksjon av svevestøv ved fjerning og utvasking av svevestøvparklene i luften, samt reduserer kilden til svevestøv fra overflaten. Når det gjelder vindhastighet vil svak vind, vindhastigheter under $2,0 \text{ m/s}$, ha liten innvirkning på PM_{10} konsentrasjonene. Ved økende vindhastighet over $2,0 \text{ m/s}$ vil man få en reduksjon av PM_{10} . Årsaken til dette er at man får turbulens som fører til at svevestøvparklene vil spres.

Abstract

Air pollution is a worldwide problem that can be harmful on the environment and on the physical health of the population. In Oslo the air pollution levels have been declining over the last years, but there are still several air pollutants that cause local air pollution and are a threat to air quality. Aerosol particles as PM_{10} (particulate matter with a diameter less than 10 micrometers) are one of these pollutants. PM_{10} exposure can cause severe damage on the respiration system, and it is associated with chronic obstructive pulmonary disease and asthma. In this study an analysis on how the atmospheric circulation in the southern part of Norway affects the local air pollution as PM_{10} in Oslo during the time period of March and April in 2000 till 2020 has been done. To classify the atmospheric circulation the subjective classification method Grosswettertypes with ten different circulationtypes that represent ten different large scale wind directions over the southern part of Norway has been used. The results indicate that circulationtype 9, with a low pressure system centered above Southern Norway and large scale wind direction from east southeast, is associated with days with low levels of PM_{10} , and has a mean value of $18,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Circulationtype 10 is the one that is associated with days with high levels of PM_{10} and has a mean value of $38,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Circulationtype 10 has a high pressure system centered above Southern Norway and large scale wind direction from west northwest.

Furthermore, this study provides insight in the meteorological variables precipitation and wind measured at Blindern and how they play a role in PM_{10} levels in Oslo, measured in Kirkeveien. As expected the days with precipitation have a lower level of PM_{10} than the days without precipitation. Precipitation reduces PM_{10} by removing the particles from the air by either rainout or washout, and reduces the source of aerosoles at the surface. In terms of wind speed, gentle wind, with wind speed under $2,0 \text{ m/s}$, will have little influence on PM_{10} levels. Strong wind, wind speed over $2,0 \text{ m/s}$, will on the other hand reduce PM_{10} . This is due to wind turbulence that causes the aerosoles particles to disperse.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	iv
1 Innledning	1
1.1 Problemstilling	2
2 Bakgrunn og teori	3
2.1 Storskala atmosfærisk sirkulasjon	3
2.1.1 Sirkulasjonstype-klassifisering	3
2.2 Lokal meteorologi	4
2.2.1 Nedbør	4
2.2.2 Vind	5
2.3 Lokal luftforurensning	5
2.3.1 Svevestøv	5
2.3.2 Helseeffekter	7
2.3.3 Grenseverdier og luftkvalitetskriterier	7
2.4 Tiltaksutredninger for bedre luftkvalitet i Oslo	9
2.4.1 Iverksatte tiltak med stor effekt på reduksjon av PM ₁₀	9
2.5 Bilparken i Oslo	11
2.5.1 Piggfriandelen	12
2.5.2 Kjørelengde	12
3 Materialer og metoder	14
3.1 Luftforurensningsdata	14
3.1.1 Valg av målestasjoner	14
3.1.2 Valg av tidsperiode	16
3.2 Værdata	17
3.2.1 Nedbør	17
3.2.2 Vind	18
3.3 Grosswettertypes	18
3.3.1 Vindroser for Blindern og Tryvann	19
3.4 Oppsummering av tiltaksutredningene	21
3.5 Databehandling	21
3.6 Filtrering av data	22
3.7 T-test og statistisk signifikans	22
3.8 Boksdiagram	23
4 Resultater	24
4.1 Utvikling av PM ₁₀ konsentrasjonen i Oslo i perioden mars og april 2000 til 2020.	24
4.2 Sirkulasjonstype-klassifisering for mars og april i perioden 2000 til 2020	27

4.3	Luftkvalitet og sirkulasjonstype-klassifisering	28
4.3.1	T-test	32
4.4	Luftkvalitet og nedbør	33
4.4.1	Sammenhengen mellom PM_{10} og nedbør i Oslo i perioden mars og april 2000 til 2020	33
4.4.2	Nedbør, opphold, luftkvalitet og sirkulasjonstype-klassifisering	35
4.5	Luftkvalitet og vind	44
4.5.1	Vindroser for Blindern og Tryvann	44
4.5.2	Storskala og lokal vindretning	45
4.5.3	Sammenhengen mellom PM_{10} og vindretning målt på Blindern i perioden mars og april 2000 til 2020	45
4.5.4	Sammenhengen mellom PM_{10} og vindhastighet målt på Blindern i perioden mars og april 2000 til 2020	48
5	Diskusjon	52
5.1	Hvordan PM_{10} konsentrasjonen har endret seg i Oslo i perioden mars og april 2000 til 2020	53
5.2	Hvordan nedbør målt på Blindern påvirker PM_{10} konsentrasjonene lokalt i Oslo	54
5.3	Hvordan vind målt på Blindern påvirker PM_{10} konsentrasjonene lokalt i Oslo	55
5.4	Koblingen mellom atmosfærisk sirkulasjon og lokale vindforhold	56
5.5	Hvor stor effekt har de iverksatte tiltakene rettet mot biltrafikken hatt på PM_{10} i Oslo i perioden 2000 til 2020?	56
5.6	Kan det konkluderes med at høye og lave PM_{10} konsentrasjoner skyldes atmosfærisk sirkulasjon eller iverksatte tiltak?	57
5.7	Usikkerheter ved valg av variabler	57
5.8	Til videre analyse	58
6	Konklusjon	59
	Litteraturliste	61
A	Liste over figurer	65
B	Liste over tabeller	67
C	Antall dager i perioden mars og april 2000 til 2020 med gyldig PM_{10} konsentrasjon	68
D	Nedbørdata som kalenderdøgn vs. nedbørdøgn	69
E	PM_{10} konsentrasjon ved Rv4 Aker sykehus og Sofienbergparken	70
F	T-test, p-verdi	71

1 Innledning

Å puste inn ren luft uten fremmedstoffer som kan være skadelig for helsen bør være en menneskerett verden over. Dessverre er ikke dette realiteten. I følge World Health Organization (WHO, 2022) bor 99 % av verdens befolkning på steder der luftforurensningsnivåene overskrider WHO's retningslinjer. Luftforurensning er derfor et globalt problem. Selv om nivåene på luftforurensningen har gått ned de siste årene her i landet, er luftforurensning fortsatt en kilde til sykdom og død også i Norge (FHI, 2014).

Menneskeskapt luftforurensning har hatt en innvirkning på natur og miljø helt siden de første menneskesamfunnene ble til (Jacobson, 2012). I dag er luftforurensning ofte forbundet med tettsteder og store byer, og luftforurensningskildene, samt påvirkning og dens omfang, har utviklet seg gjennom tiden. FN (2021) forventer at innbyggertallet i byene vil vokse med over 3 milliarder mennesker innen 2050, som betyr at omtrent 70 % av hele verdens befolkning vil bo i urbane områder. Denne urbaniseringen vil føre med seg store utfordringer med hensyn på luftforurensning. Høy befolkningsvekst vil blant annet bidra til mer trafikk, bebyggelse, industri og avfall, som alle er utslippskilder til forurensningskomponenter (Jacobson, 2012).

Konsentrasjonen av luftforurensning i byer, tettsteder og i andre områder påvirkes blant annet av flere meteorologiske parametre, som for eksempel temperatur, vind, skydekke, relativ luftfuktighet og nedbør (Baltaci et al., 2019). Disse parametrene styres av både små- og storskala værsystemer på kloden.

Jacobson (2012) konstanterer at atmosfæriske sirkulasjonssystemer på kloden påvirker spredningen av luftforurensning ved at trykksystemene har innvirkning på den vertikale og horisontale luftbevegelsen. Demuzere et al. (2009) i Nederland og Baltaci et al. (2019) i Vest-Tyrkia har undersøkt påvirkningen av meteorologiske variabler og atmosfæriske sirkulasjonssystemer på luftforurensningen. Begge studiene ser på luftforurensning i form av svevestøv som PM_{10} , og Demuzere et al. (2009) studerer også sammenhengen mellom ozon (O_3)-nivåer og atmosfærisk sirkulasjon. Felles for studiene er at de viser sammenhenger mellom storskala sirkulasjonssystemer og episoder med høye og lave forurensningskonsentrasjoner.

Hoveddrivkraften bak den atmosfæriske sirkulasjonen er forskjellen mellom solinnstrålingen ved ekvator og polene. Enkelt forklart vil denne ubalansen i solinnstrålingen generere en varmeoverføring på jorden ved at varm luft ved lave breddegrader beveger seg mot høye breddegrader. Dette er med på å skape høytrykks- og lavtrykksystemer som fører til store vindsystemer og trykkbelter. Over Nord-Atlanteren er de dominerende trykkmønstrene lavtrykk over Island og høytrykk over Azorene utenfor Portugal. Plasseringen og intensiteten til disse trykksystemene varierer gjennom alle sesongene, og denne variasjonen påvirker været over Sør-Norge. (Barry og Chorley, 2010)

Luftforurensningen i Oslo har mange ulike komponenter. I denne studien fokuseres det på den lokale luftforurensningen i form av PM_{10} . PM_{10} er partikler som har en diameter på under 10 mikrometer, og er en viktig kilde til lokal luftforurensning.

PM står for *Particulate Matter*, på norsk partikulært materiale. For å undersøke hvordan PM_{10} konsentrasjonen i Oslo har endret seg over en lengre periode analyseres månedene mars og april i tidsperioden 2000 til 2020. Grunnen til at månedene mars og april er valgt er høye PM_{10} målinger om våren som kommer av at snøen smelter og svevestøvpartikler som har vært bundet opp i snø og is vil nå bli virvlet opp fra de tørre veiene. Det er mange kilder til PM_{10} og denne oppgaven legger vekt på en av hovedkildene til PM_{10} som er biltrafikk (Høisaker et al., 2017). Det er flere utfordringer ved biltrafikken som en kilde til lokal luftforurensning, og sammen med Statens vegvesen arbeider Oslo kommune for å redusere luftforurensningen i Oslo ved å iverksette tiltak mot biltrafikken. Det er blant annet blitt utarbeidet fire tiltaksutredninger for bedre luftkvalitet i Oslo i tidsperioden som analyseres, Oslo kommune og Statens vegvesen (2004); Dalen og Amundsen (2010); Høiskar et al. (2014); Statens vegvesen Region øst og Oslo kommune (2017).

1.1 Problemstilling

Hovedformålet med denne studien er å undersøke sammenhengen mellom den atmosfæriske sirkulasjonen over Sør-Norge og den lokale luftforurensningen i Oslo. For å gjøre dette vil jeg svare på følgende spørsmål: Kan PM_{10} konsentrasjonen i Oslo predikeres fra klassifiseringen av den atmosfæriske sirkulasjonen over Sør-Norge?

I tillegg skal sammenhengen mellom meteorologiske forhold som nedbør og vind og atmosfærisk sirkulasjon undersøkes. Jeg vil se etter:

- Hvordan PM_{10} konsentrasjonen har endret seg i Oslo i perioden mars og april 2000 til 2020.
- Hvordan nedbør og vind målt på Blindern påvirker PM_{10} konsentrasjonen lokalt i Oslo.
- Koblingen mellom atmosfærisk sirkulasjon og de meteorologiske variablene nedbør og vind målt på Blindern i Oslo.
- Koblingen mellom atmosfærisk sirkulasjon, vindretning målt på Tryvann og vindretning målt på Blindern.

Til analysen skal jeg bruke data fra Meteorologisk institutt, Oslo kommune og Statens vegvesen.

2 Bakgrunn og teori

Baltaci et al. (2019) skriver at det så langt finnes flere studier som beskriver påvirkningen av været og klima på PM_{10} konsentrasjoner i ulike deler av verden, ved å referere til disse kildene: Buchanan et al. (2002); Dayan og Levy (2005); Demuzere og van Lipzig (2010); Leśniok et al. (2010); Stefan et al. (2010); Zhang et al. (2012); Russo et al. (2014); Fortelli et al. (2016). Dette kapitlet tar først for seg definisjonen på storskala atmosfærisk sirkulasjon og hvordan atmosfærisk sirkulasjon blir klassifisert, før det blir gjort rede for kjente sammenhenger mellom svevestøvkonsentrasjoner og nedbør og vind som lokale meteorologiske forhold. Deretter defineres luftforurensning og hvordan luftforurensning blir målt i Oslo samt beskrivelse av svevestøv, som er den kilden til luftforurensning denne studien er begrenset til. Det er så blitt gjort en vurdering av hvilke iverksatte tiltak i Oslo kommune som har størst effekt på reduksjon av svevestøv ved å studere tiltaksutredningene for bedre luftkvalitet i Oslo som er blitt publisert i tidsperioden 2000 til 2020. De viktigste tiltakene som er rettet mot biltrafikken for reduksjon av svevestøv er beskrevet. Til slutt i kapitlet er det gjort en undersøkelse av hvordan bilparken i Oslo ser ut.

2.1 Storskala atmosfærisk sirkulasjon

Den storskala atmosfæriske sirkulasjonen på kloden er svært sammensatt. I denne oppgaven fokuseres det på den storskala atmosfæriske sirkulasjonen til trykkfordelingen i Nordvest-Europa og Nord-Atlanteren som bestemmer luftbevegelsene i dette området, og dermed over Sør-Norge. Den atmosfæriske sirkulasjonen styres først og fremst av solinnstrålingen ved ekvator, avkjølingen ved polene og jordas rotasjon. Solinnstrålingen er størst ved ekvator. Land- og havmassene rundt ekvator blir varmet opp, og den varme luften stiger ettersom varm og fuktig luft har lavere tetthet enn kald og tørr luft. Dette tar del i større sirkulasjonsmønstre som er med på å danne lavtrykk over ekvator og høytrykk over polene. Disse storskala trykksystemene vil påvirke lokale vindsystemer som har en innvirkning på luftforurensningen. Med andre ord; alt henger sammen med alt.

2.1.1 Sirkulasjonstype-klassifisering

For å bedre forstå påvirkningen av atmosfærisk sirkulasjon på luftforurensning og svevestøvparkler blir ulike storskala trykksystemer klassifisert ved sirkulasjonstype-klassifisering. Sirkulasjonstype-klassifisering bruker forskjellige parametre som midlere havnivåtrykk og lav- og høytrykk til å gruppere atmosfæriske tilstander inn i sirkulasjonstyper, også kalt CT (Philipp et al., 2014). Det fins flere typer av slike klassifiseringsmetoder, og metodene kan enten være objektive eller subjektive. Objektive klassifiseringsmetoder går ut på at man definerer sirkulasjonstyper ut ifra en gitt variabel for å minimere spredningen innenfor hver enkelt sirkulasjonstype (Røste og Landgren, 2022). Et eksempel på en objektiv klassifiseringsmetode er k-means gruppering.

Subjektive klassifiseringsmetoder betyr at man har forhåndsdefinerte sirkulasjonstyper der den atmosfæriske sirkulasjonen klassifiseres ut fra vindretning eller ka-

rakteristiske trykkmønstre (Beck et al., 2007). Tidligere gikk dette ut på at man sammenlignet observasjoner med hvilken sirkulasjonstype som var mest lik observasjonen, og dette gjorde man manuelt. Eksempler på subjektive klassifiseringsmetoder er Lamb værklassifisering med fokus på de britiske øyene og Hess-Brezowsky Grosswetterlagen, sentrert over Tyskland (Beck et al., 2007; Hess og Brezowsky, 1952). I denne studien blir det brukt en sirkulasjonstype-klassifiseringsmetode som er basert på Grosswetterlagen som kalles Grosswettertypes.

Prinsippet bak sirkulasjonstypene er at den atmosfæriske sirkulasjonen i hver sirkulasjonstype gir opphav til karakteristiske vær fenomener (Barry og Chorley, 2010). Den storskala vindretningen i hver sirkulasjonstype er bestemt av høytrykk og lavtrykk i forskjellige posisjoner i nord, sør, øst og vest og/eller eventuelle høytrykk eller lavtrykk sentrert i området. I tillegg til påvirkningen som trykksystemene har på den storskala vindretningen vil også trykksystemene, samt vindretningene påvirke de lokale værforholdene.

Typiske vær situasjoner ved lavtrykk over området man studerer, i denne studien Sør-Norge, er nedbør og urolige værforhold med grått vær. Har man høytrykk over området vil man få dager med opphold og fint vær, høytrykk kan også assosieres med perioder med temperatuinversjoner.

2.2 Lokal meteorologi

Tidligere studier har vist at nedbør og vindhastighet er to meteorologiske variabler som har sterk innvirkning på svevestøvkonsentrasjoner (Zhang et al., 2017). I denne studien fokuseres det derfor på nedbør og vind som meteorologiske faktorer, og sammenhengen mellom disse faktorene og atmosfærisk sirkulasjon, samt PM_{10} konsentrasjoner.

2.2.1 Nedbør

Nedbør vil ha ulik påvirkning på fine og grove svevestøvpartikler. Felles for svevestøvpartiklene er at nedbør bidrar til reduksjon av svevestøv ved to naturlige prosesser, fjerning ved nedbør og utvasking (Zhang et al., 2017; Jacobson, 2012). Dette er to prosesser som er viktig for global reduksjon av svevestøv ettersom dette skjer i luften ved store høyder. Fjerning ved nedbør er en prosess der partiklene danner en regndråpe eller iskrystall og denne regndråpen eller iskrystallen vokser og vil til slutt falle til overflaten som nedbør. Utvasking skjer ved at regndråper eller iskrystaller treffer partikler i luften når dråpene eller krystallene faller som nedbør og tar med seg partiklene til overflaten (Jacobson, 2012).

Den viktigste årsaken til redusert svevestøv lokalt ved nedbør er at nedbør hindrer oppvirvling fra overflaten. Den våte overflaten vil binde svevestøvet som fører til mindre oppvirvling av svevestøv ved for eksempel veier når kjøretøy kjører på veien. En tidligere studie, Zhang et al. (2017), som blant annet har studert hvordan nedbør og vind påvirker PM konsentrasjonene i Wuhan, Kina, konkluderer med at grove PM konsentrasjoner blir mer redusert ved dager med nedbør enn fine PM konsentrasjoner. Årsaken til at finfraksjon ($PM_{2,5}$) ikke reduseres like mye som grovfraksjon er at fint

svevestøv hovedsakelig kommer fra forbrenning og har ikke dannelse ved bakkenivå som en like viktig kilde som grovfraksjon har.

2.2.2 Vind

Den lokale vinden påvirkes av den atmosfæriske sirkulasjonen. Dersom de lokale forholdene som for eksempel topografi, oppvarming av overflaten, nærhet til hav eller innsjø er sterke nok, kan disse påvirke vindretningen og man får en lokal vindretning som avviker fra den atmosfæriske sirkulasjonen (Jacobson, 2012). Det samme er tilfellet for vindhastighet. Vindhastigheten styres av trykkgradienten, men i likhet med vindretning kan de lokale forholdene bestemme vindhastigheten (Jacobson, 2012). Når det kommer til hvordan vindhastighet påvirker luftforurensningen avhenger dette av partikkelstørrelse, tilsvarende som med nedbør. Resultater fra Zhang et al. (2017) studien viser at svevestøvkonsentrasjonene med fine partikler hadde en gradvis reduksjon med økende vindhastighet, mens for de grove svevestøvparklener kunne konsentrasjonene øke ved sterk vind grunnet oppvirvling av støv.

2.3 Lokal luftforurensning

I Store Norske Leksikon er luftforurensning definert som: “fremmedstoffer i luften som kan virke på menneskers helse og trivsel, og/eller er til skade for klima, dyr, planter, materialer eller andre deler av omgivelsene” (Nestaas et al., 2009). Fremmedstoffene kan være gasser, dråper og faste partikler. Kildene til luftforurensning er mange, og luftforurensning kan ha innvirkning både lokalt, regionalt og globalt (Nestaas et al., 2009).

Kapittel 7 i Forurensningsforskriften (2004) omhandler lokal luftkvalitet, og den lokale luftforurensningen i Norge inneholder disse komponentene: svevestøv ($PM_{2,5}$ og PM_{10}), nitrogendioksid, nitrogenoksider, svoveldioksid, karbonmonoksid, metaller (bly, nikkel, kvikksølv og kadmium), benzen, arsen og benzo(a)pyren. Forurensningsforskriften om lokal luftkvalitet har som formål å: “fremme menneskers helse og trivsel og beskytte vegetasjon og økosystemer ved å sette minstekrav til luftkvalitet og sikre at disse blir overholdt [...]” (Forurensningsforskriften, 2004). I Oslo er det hovedsakelig PM_{10} og nitrogenoksider som skaper utfordringer for luftkvaliteten ved at disse komponentene kan gi negativ helsemessig effekt.

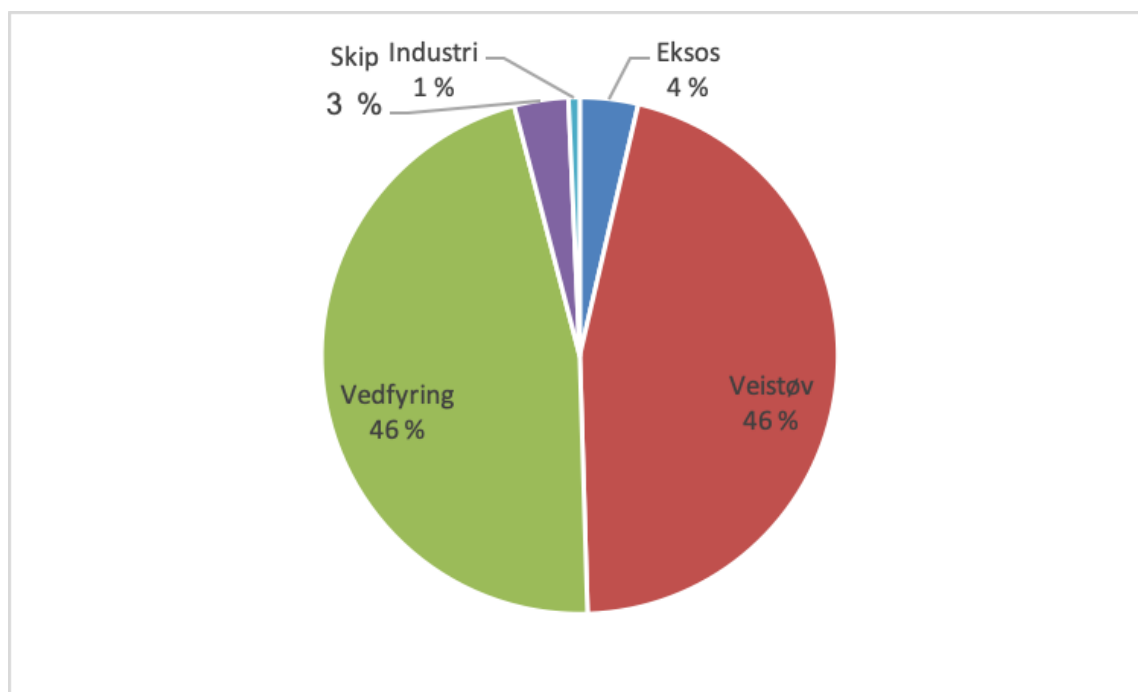
2.3.1 Svevestøv

Partikler er en sammensetning av molekyler og atomer, og partiklene kan være flytende, faste eller begge deler (Jacobson, 2012). Partikler kan kategoriseres på flere måter, blant annet etter størrelse og sammensetning. Når det gjelder sammensetning er det gjerne to kategorier de deles inn i etter mengden vann de inneholder: svevestøv og hydrometeorer. Hydrometeorer inneholder mye mer vann enn svevestøv og kan for eksempel være nedbør, dråper, iskrystaller, snø og hagl. Mens svevestøv har et mye mindre eller intet innhold av vann, og er luftbårne partikler som blant annet kommer fra forbrenningsreaksjoner og mekanisk slitasje (FHI, 2017b). Svevestøv betegnes som PM fra *Particulate Matter*, på norsk partikulært materiale, og katego-

riseres etter aerodynamisk ekvivalent diameter. Aerodynamisk ekvivalent diameter er en måte å beskrive størrelsen til en partikkel på ved å ta hensyn til partikkelens vekt, friksjonsegenskaper, tetthet og størrelse.

De viktigste kategoriene til svevestøv er: PM_{10} , $PM_{2,5}$ og PM_1 . PM_{10} er partikler med diameter under 10 mikrometer (FHI, 2017b). $PM_{2,5}$ er alle partikler med diameter mindre enn 2,5 μm og PM_1 er partikler med diameter mindre enn 1 μm . Det vil si at kategorien PM_{10} inneholder både $PM_{2,5}$ og PM_1 . Partikler med diameter mellom 10-2,5 μm betegnes som grovfraksjon, og partikler med diameter under 2,5 μm betegnes som finfraksjon.

Svevestøv kommer både fra naturlige og menneskeskapte kilder, og det er mange kilder til grove svevestøvpertikler, for eksempel oppvarming, industri og olje- og gassutvinning. Figur 2.3.1 viser utslippskildene til PM_{10} i Oslo for 2020. Totalt ble det sluppet ut 441,7 tonn PM_{10} dette året fra veistøv, vedfyring, eksos, skip og industri (Miljødirektoratet).



Figur 2.3.1: Utslippskildene til PM_{10} i Oslo i 2020. Rød farge er veistøv, grønn er vedfyring, blå er eksos, lilla er skip og lyseblå er industri. Figuren er basert på tall fra Miljødirektoratet.

Veistøv kommer for det meste fra biltrafikk, slitasje på dekk, bremses og vei (FHI, 2017b). På vinterstid er det først og fremst bruken av piggdekk som fører til høye konsentrasjoner av PM_{10} i Norge. Forsøk har vist at piggdekk er den dekktypen som gir størst slitasje på veidekke. Slitasje på veidekke fører til dannelse av mineralstøv. Dette støvet virvles så opp i luften av kjøretøy som kjører forbi som dermed fører til høye verdier av spesielt mineralstøv i luften. Mineralstøv er en viktig kilde til grovt svevestøv (FHI, 2017b). I følge Brynhild Snilsberg i Statens vegvesen (2020) vil det bli produsert 100 g asfaltstøv per mil kjørt med piggdekk på asfalt.

2.3.2 Helseeffekter

I følge Folkehelseinstituttet (FHI, 2017b) er eksponering for svevestøv en av de viktigste miljøårsakene til for tidlig død i verden. FHI viser også til at sykdom og dødelighet av hjerte- og karsykdommer og luftveislidelser assosieres med både langtids- og korttids eksponering for svevestøv. I FNs bærekraftsmål nummer 11, *bærekraftige byer og lokalsamfunn*, er luftforurensning nevnt under delmål 6: “Innen 2030 redusere byenes og lokalsamfunnenes negative påvirkning på miljøet (målt per innbygger), med særlig vekt på luftkvalitet og avfallshåndtering i offentlig eller privat regi” (FN, 2022).

Eksponeres man for svevestøv kan det føre til:

- Utvikling og/eller forverring av luftveis-, hjerte- og/eller karsykdommer
- Allergiske reaksjoner
- Negative effekter på blant annet fosterutvikling, nervesystemet, sædkvalitet og stoffskiftet (FHI, 2017b).

Hvor langt svevestøv penetrerer inn i lungene og dermed skadeomfanget svevestøv kan utgjøre avhenger av partikkelstørrelsen og partikkelens kjemiske sammensetning. PM_{10} avsettes først og fremst i de øvre luftveiene og PM_{10} har blitt forbundet med astma og kols (Jacobson, 2012). De finere svevestøv partiklene, $PM_{2,5}$, kan penetrere helt ned til lungene, og dette kan føre til skade på lungene. Ettersom at det er flere negative helseeffekter ved eksponering for svevestøv er det satt bestemte grenseverdier og luftkvalitetskriterier for å unngå perioder med høye forurensningskonsentrasjoner.

2.3.3 Grenseverdier og luftkvalitetskriterier

I Norge er det myndighetene som setter grenseverdier for de ulike forurensningskomponentene via Forurensningsforskriften (2004). En grenseverdi er et gitt gjennomsnittlig konsentrasjonsnivå til en komponent som blir oppnådd innen en gitt tidsperiode, kalt midlingstid. Midlingstiden kan for eksempel være én time, 24 timer eller ett kalenderår. Norge må følge grenseverdiene i EUs luftkvalitetsdirektiv, men Helsedirektoratet, FHI, Miljødirektoratet og Vegdirektoratet gir også anbefalinger til hvilke grenseverdier som bør gjelde i landet (Miljødirektoratet, 2014). Målet med ha grenseverdier er å sikre en trygg og ren luft for alle. Tabell 2.3.1 presenterer grenseverdiene for PM_{10} og $PM_{2,5}$ ved midlingstid på 24 timer og ett kalenderår i Norge fra 2005 til 2022 (Statens vegvesen Region øst og Oslo kommune, 2017; Miljødirektoratet, 2021).

Tabell 2.3.2 presenterer grenseverdiene for PM_{10} og $PM_{2,5}$ i EU, verdiene er hentet fra Europakommisjonen (2019). Sammenligner man tabell 2.3.1 og tabell 2.3.2 ser man at grenseverdiene som gjelder i Norge fra 2016 og til idag er strengere enn grenseverdiene i EUs luftkvalitetsdirektiv.

I tillegg til grenseverdier publiserte Miljødirektoratet og FHI (2017a) luftkvalitetskriterier for de ulike forurensningskomponentene i november 2013. Luftkvalitetskriteriene er basert på forskningen av de negative helseeffektene eksponering for luftfor-

Tabell 2.3.1: Grenseverdier for PM₁₀ og PM_{2,5} ved midlingstid på 24 timer og ett kalenderår i Norge fra år 2005 til 2022. Verdiene er hentet fra Statens vegvesen Region øst og Oslo kommune (2017) og Miljødirektoratet (2021).

År	Midlingstid	PM ₁₀	PM _{2,5}
Fra 2005 til 2015	24 timer	50 µg/m ³ Maksimalt tillatte overskridelser: 35	
	Kalenderår	40 µg/m ³	25 µg/m ³
Fra 2016	24 timer	50 µg/m ³ Maksimalt tillatte overskridelser: 30	
	Kalenderår	25 µg/m ³	15 µg/m ³
Fra 2022	24 timer	50 µg/m ³ Maksimalt tillatte overskridelser: 25	
	Kalenderår	20 µg/m ³	10 µg/m ³

Tabell 2.3.2: Grenseverdier for PM₁₀ og PM_{2,5} i EU ved midlingstid på 24 timer og ett kalenderår. Verdiene er hentet fra Europakommisjonen (2019).

Midlingstid	PM ₁₀	PM _{2,5}
24 timer	50 µg/m ³ Maksimalt tillatte overskridelser: 35	
Kalenderår	40 µg/m ³	25 µg/m ³

urensning gir, og kriteriene angir de nivåene av forurensningskomponentene som er trygge for de fleste. Luftkvalitetskriteriene for PM₁₀ og PM_{2,5} er presentert i tabell 2.3.3.

Tabell 2.3.3: Luftkvalitetskriteriene for PM₁₀ og PM_{2,5} i Norge ved midlingstid på 24 timer og ett kalenderår. Verdiene er hentet fra FHI (2017a).

Midlingstid	PM ₁₀	PM _{2,5}
24 timer	30 µg/m ³	15 µg/m ³
Kalenderår	20 µg/m ³	8 µg/m ³

Sammenligner man tabell 2.3.1 og tabell 2.3.3 ser man at luftkvalitetskriteriene er strengere enn grenseverdiene i Norge.

2.4 Tiltaksutredninger for bedre luftkvalitet i Oslo

Oslo kommune har over tid satt i gang en rekke tiltak for å overholde grenseverdiene for svevestøv, og i perioden 2000 til 2020 er disse beskrevet i fire tiltaksutredningsrapporter. Rapportene er utarbeidet for å beskrive og dokumentere hvordan forskriften om lokal luftkvalitet overholdes og følges opp.

De fire tiltaksutredningene er:

- Tiltaksutredning 2004: *Luftkvalitet i Oslo - Tiltaksutredning med forslag til handlingspakker*. Publisert i oktober 2004, Oslo kommune og Statens vegvesen (2004).
- Tiltaksutredning 2010: *Tiltaksutredning for luftkvalitet i Oslo og Bærum kommune - Statens vegvesen Region øst, Oslo kommune, Bærum kommune*. Publisert i mai 2010, Dalen og Amundsen (2010).
- Tiltaksutredning 2014: *Tiltaksutredning for luftkvalitet i Oslo og Bærum 2015-2020 - Oslo kommune, Bærum kommune og Statens vegvesen*. Publisert i desember 2014, Høiskar et al. (2014).
- Tiltaksutredning 2017: *Revidert tiltaksutredning for bedre luftkvalitet i Oslo 2017-2020*. Publisert i august 2017, Statens vegvesen Region øst og Oslo kommune (2017).

Tiltaksutredning 2004 var den første tiltaksutredningen som ble vurdert av bystyret. For å redusere PM₁₀-forurensningen inneholdt tiltaksutredningen forslag til to handlingspakker med tiltak: 2005- og 2010-pakken. Ettersom fristen for overholdelse av grenseverdiene for PM₁₀ var 1. januar 2005, er tiltakene i 2005-pakken spesifikt rettet mot å redusere PM₁₀-konsentrasjonene så raskt som mulig. (Oslo kommune og Statens vegvesen, 2004)

Tiltaksutredning 2010, 2014 og 2017 inneholder en oversikt over hvilke tiltak fra de tidligere årene som har fungert etter hensikten, samt videreføring av iverksatte tiltak som har fungert. I tillegg inneholder de en status over luftkvaliteten i Oslo kommune basert på iverksatte tiltak.

2.4.1 Iverksatte tiltak med stor effekt på reduksjon av PM₁₀

I denne studien legges det vekt på tiltakene fra de fire tiltaksutredningene som er rettet mot veitrafikk i Oslo kommune og som er direkte tilknyttet til reduksjon av svevestøv. De viktigste tiltakene som har eller forventes å ha stor effekt på reduksjon av svevestøv er presentert i tabell 2.4.1.

Piggdekkavgift

Bruk av piggdekkavgift har vært et nyttig verktøy for å øke andelen piggfrie kjøretøy i Oslo kommune. Som nevnt i underkapittel 2.3.1 er bruken av piggdekk en av hovedkildene til svevestøv. Det er derfor viktig å få økt piggfriandelen for å kunne redusere konsentrasjonen av svevestøv. Piggdekkavgiften ble innført i Oslo kommune i 1999, den opphørte i 2001 og ble gjeninnført i 2004 (Dalen og Amundsen, 2010).

Tabell 2.4.1: Tabell over tiltak som har bidratt positivt til reduksjon av svevestøv. Tiltakene er hentet fra tiltaksutredning 2004 og 2014 (Oslo kommune og Statens vegvesen, 2004; Høiskar et al., 2014).

Tiltak	Tiltaksutredning	År vedtatt
Piggdekkavgift	2004- handlingspakke 2005	2004 (gjeninnført)
Hastighetsreduksjon på deler av hovedveiene (miljøfartsgrense)	2004- handlingspakke 2005	2005
Renhold og støvdempende tiltak	2004- handlingspakke 2005	2005
Areal- og transporttiltak (ATP-tiltak)	2004- handlingspakke 2010	2005

Piggdekkavgiften er ett av tiltakene som videreføres og forbedres fra tiltaksutredning 2004 til tiltaksutredning 2017. I 2005-pakken i tiltaksutredning 2004 var det ønskelig med en piggfriandel på 80 %, mens i tiltaksutredning 2017 var det ønskelig med en piggfriandel på 90 %.

Miljøfartsgrense

Redusert kjørehastighet bidrar til mindre produksjon og oppvirvling av svevestøv. I Oslo ble en slik miljøfartsgrense innført på deler av noen av hovedveiene i vinterseongen, når luftforurensningen er størst (Dalen og Amundsen, 2010). Det er god dokumentasjon på at en miljøfartsgrense har en positiv effekt på oppvirvling av støv. Et eksempel er et forsøk gjort av Statens vegvesen Region øst på Riksvei 4 (Rv4) fra Sinsen til Grorud i Oslo (Hagen et al., 2005). På denne strekningen ble det innført miljøfartsgrense som innebar en reduksjon på skiltet hastighet fra 80 til 60 km/t vinteren 2004/2005. Målinger av PM₁₀ gjort vinteren 2004 (januar til april) da hastigheten var 80 km/t, ble sammenlignet med målinger gjort vinteren 2004/2005 (oktober til april) da skiltet hastighet var 60 km/t. Resultatet viste en reduksjon av PM₁₀ konsentrasjon på 35 % (Hagen et al., 2005). Under forsøket ble det korrigert for forstyrrende elementer som kunne påvirke resultatene, som bruk av piggdekk og ulike værforhold de to vinterene, ved å studere PM₁₀ konsentrasjonene målt ved Rv4 Aker i forhold til andre målestasjoner for luftkvalitet.

Eksempler på strekninger i Oslo med miljøfartsgrense er:

- Ring 3 Ryen til Granfosstunnelen
- E18 Hjortnes til Lysaker
- Rv 163 Østre Aker vei til Økern-Stovner.

Renhold og støvdempende tiltak

Renhold og støvdempende tiltak innebærer blant annet å fukte veibanen slik at svevestøvet binder seg sammen for deretter å fjerne svevestøvet. Dette er tiltak som kun er

relevant i perioder med tørt vær over lengre tid i tidsrommet 1. november til 30. april (Dalen og Amundsen, 2010). Det fins flere måter å holde veiene rene på, for eksempel ved feiing og kosting og støvsuging (Gjerstad, 2014). Støv som ligger i veibanen blir virvlet opp av kjøretøyene som kjører på veien. Dersom veibanen er våt eller fuktig vil støvet samle seg opp i større mengder som slippes ut i luften når veibanen blir tørr. Feiing og kosting gjøres med såkalte feie-/kostebiler som først fukter veibanen og deretter koster støvet slik at det løsner for til slutt å suge opp støvet i tanker som er plassert på bilen. Støvsuging er en nyere metode for å fjerne støv. Støvsugerbilen har en høytrykkspyler som benyttes til å løsrive støvet fra veibanen for så å suge opp både støvet og vannet (Gjerstad, 2014). En annen metode for å dempe oppvirvlingen av svevestøv er å fukte veiene med magnesiumklorid (Dalen og Amundsen, 2010). Magnesiumklorid binder mindre partikler sammen slik at det blir lettere å fjerne støvet. Ulempen ved bruk av magnesiumklorid er at veibanen kan bli glatt.

Areal- og transportplanleggings-tiltak

Areal- og transportplanleggings-tiltak (ATP-tiltak) består av tiltak som retter seg mot tre områder for å redusere det totale trafikkvolumet over et langsiktig perspektiv. Det første området er tiltak som bidrar til reduksjon av trafikkvolumet i sentrale deler av Oslo. Dette gjøres ved for eksempel å tilrettelegge for hjemmekontor. Et annet eksempel er å bygge ut de store kollektivknutepunktene i Oslo slik at flere kollektivruter blir lettere tilgjengelig. Det andre området gjelder tiltak som tilrettelegger for mer miljøvennlige fremkomstmidler. Her er det også snakk om tiltak som retter seg mot kollektivtrafikken, for eksempel utbygging og kollektivfelt, men også tiltak som gjør det mer attraktivt å velge sykkel eller å gå til for eksempel arbeidsstedet. Det siste området er tiltak som regulerer trafikken i stort belastede områder. Dette er økonomiske tiltak som for eksempel drivstoffavgift og trafikantbetaling, men også soner for lavutslipps-kjøretøy og helt bilfrie soner. En reduksjon i trafikkvolumet fører til redusert dannelse og oppvirvling av svevestøv. (Dalen og Amundsen, 2010)

Tids- og miljødifferensierte bompenger er et eksempel på ATP-tiltak som bidrar til reduksjon av svevestøv. Tids- og miljødifferensierte bompenger betyr at det koster mer å passere bomringen i rushtiden, samt at det koster mer for et kjøretøy som forurenser mer. Tiltaket ble innført i Oslo i 2017. (Statens vegvesen Region øst og Oslo kommune, 2017).

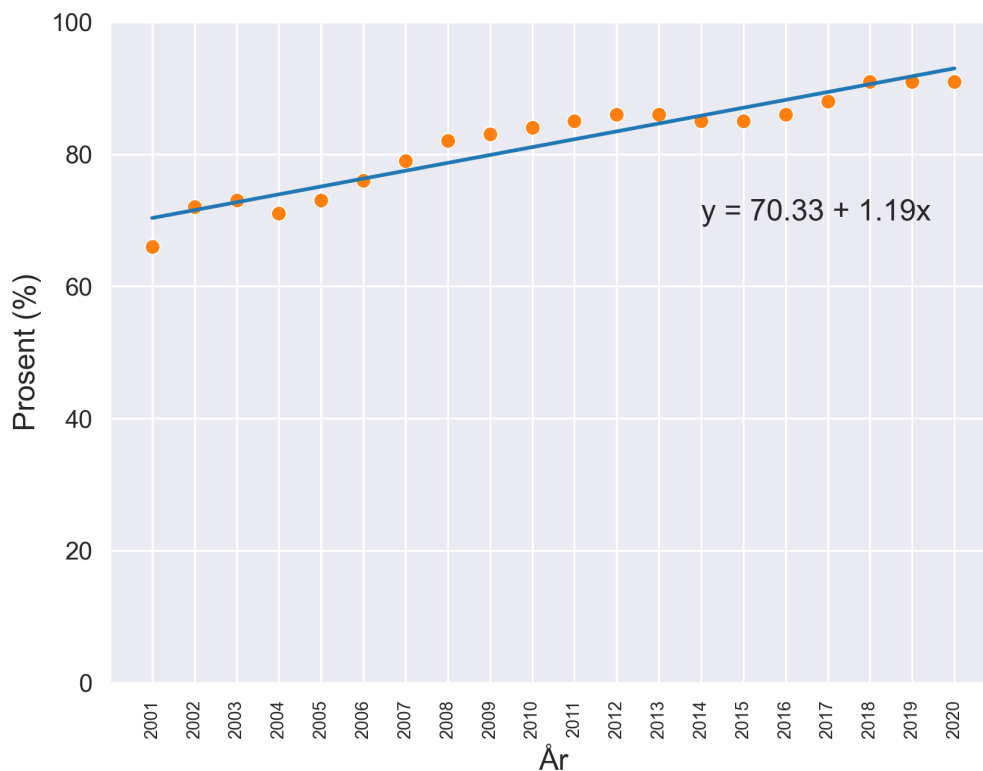
2.5 Bilparken i Oslo

Bilparken i Oslo og i Norge har endret seg mye de siste 20 årene, både med tanke på antall registrerte kjøretøy og drivstofftype. Fra Statistikkbanken (SSB, 2022) har andelen kjøretøy i alt som er registrert i Norge hatt en prosentøkning på 39 %, fra 3,5 til 5,7 millioner registrerte kjøretøy fra 2000 til 2020. Kjøretøy i alt inkluderer blant annet personbiler, busser, lastebiler og motorsykler (SSB, 2022). Ettersom kilden til PM_{10} fra veitrafikk er hovedsakelig slitasje på dekk, veier og bremses vil ikke drivstofftype ha så mye å si for dannelsen av PM_{10} .

2.5.1 Piggfriandelen

I Sør-Norge er piggdekkseasonen fra 1. november til første søndagen etter 2. påskedag, som faller i april måned (Statens vegvesen, 2021). Prosentandelen av kjøretøy som kjører piggfritt i Oslo byområde i perioden 2001 til 2020 er vist i figur 2.5.1. Figuren viser en økende trend i piggfriandelen. I 2001 var piggfriandelen på 66 %, og i 2020 var den på 91 %. Det vil si at piggfriandelen har hatt en prosentøkning på 25 % på ca. 20 år.

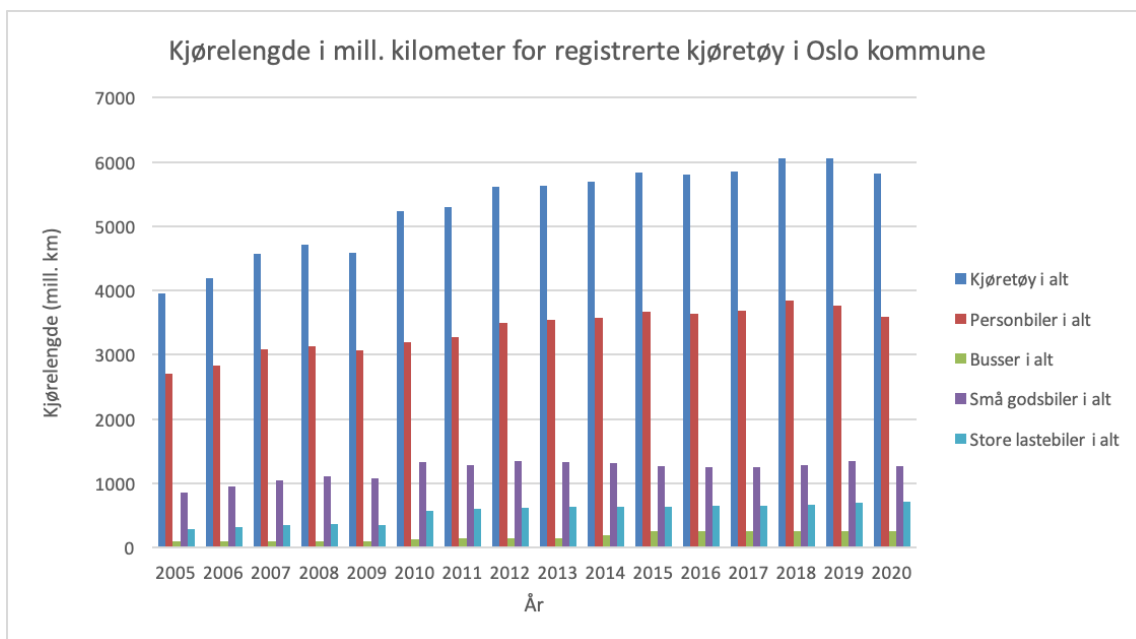
Det har vært piggdekkgebyr i Oslo i alle årene fra 2001 til 2020 bortsett fra i 2002, 2003 og 2004 (Statens vegvesen). Dette gjenspeiler seg i figuren. Fra figuren kan man se en økning i piggfriandel fra år 2001 til 2002, deretter flater kurven ut for perioden 2002 til 2004. Fra 2005 forsetter grafen å øke frem til 2020.



Figur 2.5.1: Piggfriandel i Oslo byområde i prosent i perioden vintrene 2001 til 2020. Figuren er basert på tall fra Statens vegvesen.

2.5.2 Kjørelenge

Figur 2.5.2 viser at kjørelenge for registrerte kjøretøy i Oslo kommune i alt har økt med 32 % fra 2005 til 2020, fra omtrent 4000 km i 2005 til 5800 km i 2020. Figuren viser at kjørelenge har økt fra 2005 til 2008, deretter sunket fra 2008 til 2009, for å øke igjen fra 2009 til 2015. I perioden 2015 til 2020 har kjørelenge holdt seg stabil på mellom 5800 til 6000 millioner kilometer.



Figur 2.5.2: Diagrammet viser kjørelengde i antall millioner kilometer for ulike kjøretøytyper i Oslo kommune per år i perioden 2005 til 2020. Figuren er basert på tall fra SSB (2018).

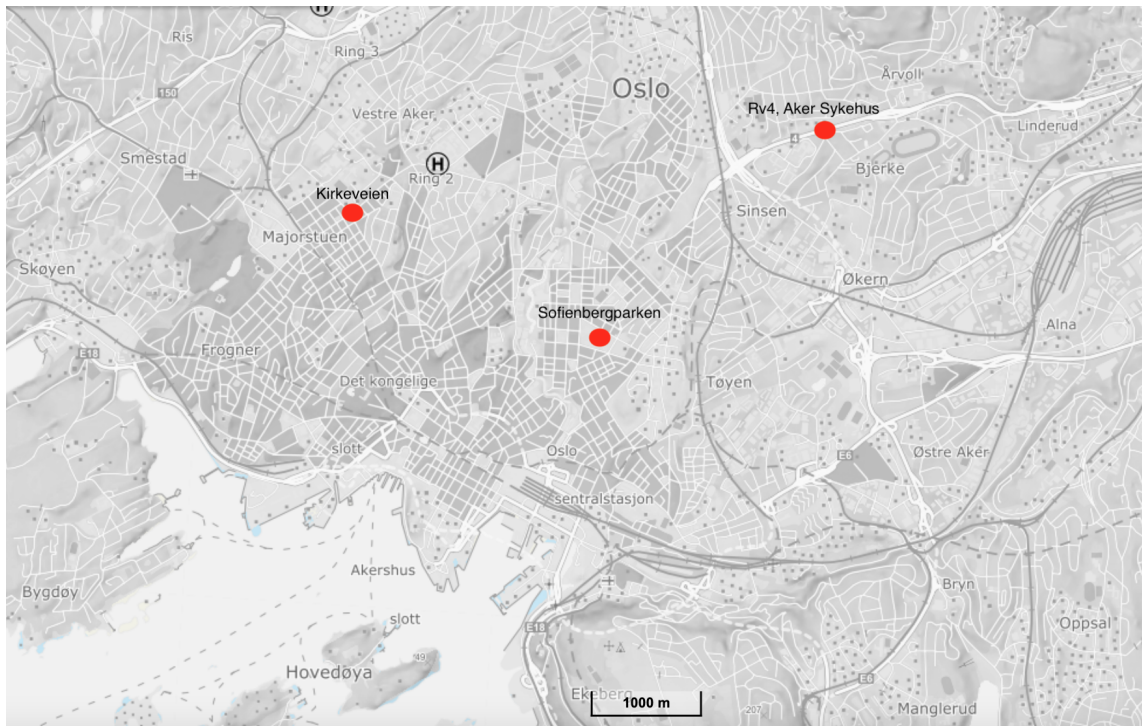
3 Materialer og metoder

Data som er brukt i studien er luftforurensningsdata, værdata og sirkulasjonstypeklassifisering. Dette kapittelet gir en begrunnelse for valg av målestasjonene for luftkvalitet i Oslo, valg av tidsperioden som analyseres og valg av værstasjoner. Deretter beskrives Grosswettertypes som er sirkulasjonstypeklassifiseringsmetoden som er blitt brukt i oppgaven. Det blir så gjort en oppsummering av tiltaksutredningene for bedre luftkvalitet i Oslo, publisert i tidsperioden 2000 til 2020. Til slutt i kapittelet gjennomgås metoden for databehandling, hvordan filtreringen av data har blitt gjort, definisjon av t-test og statistisk signifikans og boksdiagram.

3.1 Luftforurensningsdata

3.1.1 Valg av målestasjoner

I Oslo er det kommunen og Statens vegvesen som måler luftkvaliteten ved hjelp av 15 målestasjoner stasjonert på ulike lokasjoner i byen. Luftforurensningsdata for denne studien er fra målestasjonen i Kirkeveien ved Majorstua, Sofienbergparken i bydelen Grunerløkka og Rv4 Aker sykehus, som ligger ved Oslo universitetssykehus Aker. Figur 3.1.1 viser plasseringen til de tre målestasjonene som er brukt i studien.



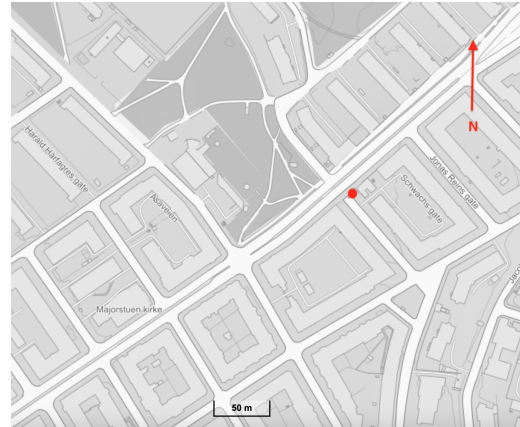
Figur 3.1.1: Kart over målestasjonene for luftkvalitet som har blitt brukt i studien. De røde rundingene markerer lokasjonen til målestasjonene i Kirkeveien, Sofienbergparken og Rv4 Aker sykehus. Kartet er hentet fra ©norgeskart.no (2022).

Målestasjonene for luftkvalitet har en luftinntaker på taket. Luftmåleren måler ikke bare PM_{10} , men også andre forurensningskomponenter slik som NO_x , $PM_{2,5}$ og CO .

Figur 3.1.2 viser hvordan målestasjonen i Kirkeveien ser ut på utsiden (figur 3.1.2a) og et kart av plasseringen til målestasjonen med en nordpil (figur 3.1.2b). Fra figuren kan man se at Kirkeveien går i sørvest-nordøstlig retning.



(a)



(b)

Figur 3.1.2: Bilde 3.1.2a viser utsiden av målestasjonen i Kirkeveien som måler luftkvaliteten i Oslo. På toppen av stasjonen ser man luftinntakeren. Kartet i bilde 3.1.2b viser plasseringen til målestasjonen i Kirkeveien, markert med en rød sirkel. Den røde pilen i bildet peker mot nord. Kartet er hentet fra ©norgeskart.no (2022).

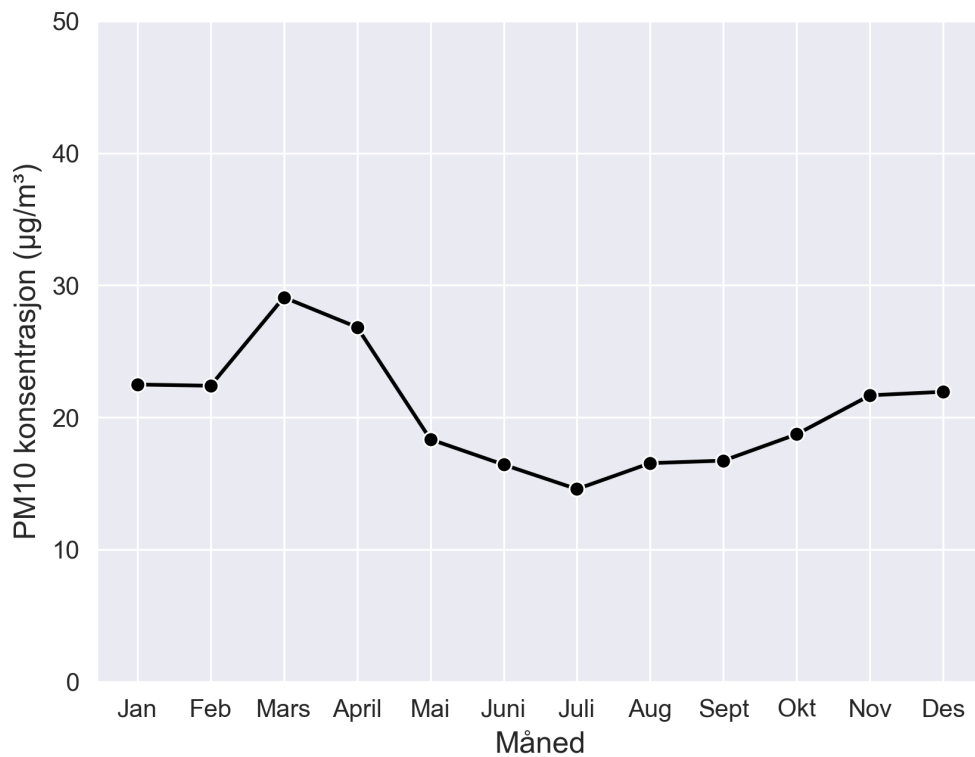
Luftforurensingsdata er hovedsakelig data fra målestasjonen i Kirkeveien, men også fra Sofienbergparken og Rv4 Aker sykehus når det blir sett på gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon fra flere målestasjoner. Det er satt et krav til at dekningsgraden for PM_{10} målingene skal være 75 % eller mer. Bakgrunnen for valgt målestasjon i Kirkeveien er flere. Målestasjonen er den eneste målestasjonen som har målinger av PM_{10} konsentrasjoner 20 år tilbake i tid. Kirkeveien er også en av hovedveiene i Oslo med svært mye trafikk, dette gjør at målestasjonen i Kirkeveien er en god indikasjon på luftforurensningen fra bilparken i Oslo. I tillegg er målestasjonen et godt stykke unna havnene, 2,7 km i luftlinje til Filipstadkaia der Kjelfergen legger til, som gjør at målestasjonen fanger opp lite luftforurensning fra skipstrafikken.

Målestasjonen i Sofienbergparken er en bybakgrunnsstasjon. Plasseringen til en bybakgrunnsstasjon er viktig ettersom at denne stasjonen skal måle luftforurensning fra alle mulige kilder til luftforurensning for å gi et tydeligere bilde på hvordan luftforurensningen er der folk flest bor. Dette er kilder som for eksempel inkluderer vedfyring, trafikk, langtransport av luftforurensningskomponenter og naturlige kilder. (NILU, 2021)

3.1.2 Valg av tidsperiode

svevestøvkonsentrasjonen i Oslo varierer gjennom året. Figur 3.1.3 viser månedlig gjennomsnittsverdi av PM_{10} konsentrasjon fra målestasjonen i Kirkeveien for perioden 2000 til 2020. Fra figuren kan man se at vårmånedene mars og april er de månedene med høyest gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjoner, henholdsvis 29,1 og 26,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Årsaken til høye PM_{10} konsentrasjoner om våren er at snøen forsvinner og alle partiklene som har vært bundet opp i snø og is om vinteren vil nå virvles opp fra de bare veiene og opp i luften. Derfor fokuserer studien på en analyse av vårmånedene mars og april. Tidsperioden studien undersøker er perioden 2000 til 2020.

Tabell C.0.1 i vedlegg C viser antall dager i mars og april i perioden 2000 til 2020 med gyldig PM_{10} konsentrasjon målt i Kirkeveien og ved de tre målestasjonene i Kirkeveien, Sofienbergparken og Rv4 Aker sykehus. Fra tabellen kan man se at 10 av 21 år har fullstendig datasett med 61 dager med målte PM_{10} konsentrasjoner i Kirkeveien. For målinger fra de tre målestasjonene mangler PM_{10} konsentrasjoner for mars og april i 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 og 2008.



Figur 3.1.3: Gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon per måned i perioden 2000 til 2020 målt i Kirkeveien.

3.2 Værdata

Værdata som er brukt i denne studien er hentet fra Meteorologisk institutt. Værdata som analyseres er nedbør og vind. Målinger er fra værstasjonen på Blindern, Oslo (SN18700), og værstasjonen på Tryvannshøgda, Oslo (SN18950). Begge værstasjonene er driftet av Meteorologisk institutt. Værstasjonen på Blindern ligger 94 meter over havet, og denne er den nærmeste værstasjonen til målestasjonen for luftkvalitet i Kirkeveien, 1,2 km i luftlinje. Værstasjonen på Blindern er en urban værstasjon som vil si at målingene vil for eksempel bli påvirket av bygninger rundt værstasjonen. Værstasjonen på Tryvannshøgda ligger 514 meter over havet, og avstanden til målestasjonen i Kirkeveien er omtrent 5,0 km i luftlinje. Denne værstasjonen ligger på en høyde og målingene vil være mindre påvirket av hus og bygninger.

3.2.1 Nedbør

Målinger av nedbør er fra værstasjonen på Blindern. Nedbørdata er basert på en klimatologisk standard som betyr at et nedbørdøgn defineres som tiden fra klokken 06 universaltid (UTC) til klokken 06 UTC neste dag. Data loggføres på dagen målingen er foretatt, som vil si at nedbør som for eksempel faller mellom klokken 06.00 3. mars og 06.00 4. mars vil loggføres 4. mars. Det ble derfor utført en analyse av timesdata for å undersøke om det var hensiktsmessig å beregne kalenderdøgn fra timesdata. Et kalenderdøgn er en periode på 24 timer som defineres fra klokken 00.00 til klokken 24.00 samme dag. Etersom det er mye mangler i timesdata for nedbør i perioden 2000 til 2010 ble det konkludert med at det er lite hensiktsmessig å benytte seg av timesdata videre i studien til å beregne kalenderdøgn, se tabell D.0.1 i vedlegg D. Nedbørdøgnet ble derfor subtrahert med én dag slik at nedbør som faller mellom klokken 06.00 3. mars og 06.00 4. mars blir loggført 3. mars, for å kunne representere hele perioden som undersøkes. Dagene med nedbørdøgn deles inn i tre kategorier etter hvor mye eller lite nedbør som er registrert i døgnet.

Definisjon nedbørsdager, dager med *litt* nedbør og oppholdsdager:

- Nedbørsdager er dager hvor det faller mer enn 1 mm med nedbør i døgnet.
- Dager med *litt* nedbør er dager hvor det faller mellom 0,1 og 1 mm med nedbør i løpet av døgnet.
- Oppholdsdager er dager uten nedbør (0 mm i døgnet).

Grunnen til at dagene deles inn i tre kategorier og ikke to (nedbør- og oppholdsdager) er at det er usikkerhet i døgnvariasjonene når man benytter seg av nedbørdøgn og ikke kalenderdøgn.

For å se nærmere på usikkerhetene som oppstår ved bruk av nedbørdøgn og ikke kalenderdøgn blir det sett på en periode med fullstendig datasett for både nedbørdøgn og kalenderdøgn for å se om andelen nedbørsdager, *litt* nedbørsdager og oppholdsdager samsvarer, se tabell 3.2.1. Målinger i tabellen er for nedbør målt ved værstasjonen på Blindern. Fra tabellen kan man se at andelen nedbørsdager som kalenderdøgn og nedbørdøgn er relativ lik, andelen oppholdsdager er også like hverandre, med en 4 %

Tabell 3.2.1: Antall dager som nedbørsdager, dager med *litt* nedbør, oppholdsdager og totalt antall dager i perioden 2011 til 2014 for målinger gjort i times- og døgnoppløsning ved værstasjonen på Blindern.

Data	Nedbørsdager	Dager med <i>litt</i> nedbør	Oppholdsdager	Totalt antall dager
Kalenderdøgn	46 (19 %)	35 (14 %)	163 (67 %)	244
Nedbørdøgn	51 (21 %)	20 (8 %)	173 (71 %)	244

forskjell. Antall dager med *litt* nedbør har mest ulike andeler der 14 % av kalenderdøgn i perioden mars og april 2011 til 2014 har *litt* nedbør og 8 % av nedbørdøgnene i samme periode har *litt* nedbør. Det betyr at det vil være mest usikkerhet i dagene med *litt* nedbør for denne studien ettersom at det er benyttet nedbørdøgn i analysen siden det er mye mangler i data når man beregner kalenderdøgn med timesverdier for nedbør.

3.2.2 Vind

Vindforholdene som studeres er vindretning og vindhastighet. Målinger av vindretning og vindhastighet er fra både værstasjonen på Blindern og Tryvann. Vindretning er generell vindretning de siste 10 minuttene av én time (refererer til middelvind). Vindretningen er definert som retningen vinden kommer fra, der nord er 0° og 360° , øst er 90° , sør er 180° og vest er 270° .

Vindhastigheten er registrert for samme tidsperiode som vindretningen og er middelvind av vindhastigheten. Standard instrumenthøyde er 10 meter over bakken.

3.3 Grosswettertypes

Sirkulasjonstype-klassifiseringen Grosswettertypes blir brukt til å klassifisere dagene i tidsperioden mars og april 2000 til 2020 inn i sirkulasjonstyper. Grosswettertypes baserer seg på klassifikasjons-metoden Grosswetterlagen, og er en generalisering av Grosswetterlagen som er gyldig over et vilkårlig område eller et valgt domene. Valgt domene er $-19,5^\circ$ til $40,5^\circ$ lengdegrad og 41° til 69° breddegrad, som er området Nordvest-Europa og Nord-Atlanteren, se figur 3.3.1 (Røste og Landgren, 2022).

Grosswettertypes er en subjektiv klassifiseringsmetode basert på korrelasjon, og hvert døgn blir klassifisert i den sirkulasjonstypen som stemmer best overens med vindretning og lav- og høytrykksmønstre i det valgte domene (Beck et al., 2007). I denne studien brukes ti sirkulasjonstyper som er laget ved Grosswettertypes. Det vil si at hvert døgn i mars og april i perioden 2000 til 2020 tilhører en sirkulasjonstype fra sirkulasjonstype 1 (CT1) til sirkulasjonstype 10 (CT10). Figur 3.3.1 viser hvordan trykkfordelingen er i de ulike sirkulasjonstypene i valgt domene. Prosentandelen i figuren er forekomsten av sirkulasjonstypene i perioden mars og april 2000 til 2020. Tabell 3.3.1 presenterer hvilken storskala vindretning, omtrentlig avvik i bakkestrykk, lokal nedbørsmengde og lokal vindhastighet man har over Sør-Norge ved de ti ulike

Tabell 3.3.1: Tabell over hvilken storskala vindretning man har over Sør-Norge ved de ti ulike sirkulasjonstypene, samt avvik i bakkestrykk i hPa, gjennomsnittlig nedbør \pm standardavvik i mm og gjennomsnittlig vindhastighet \pm standardavvik i m/s i hver sirkulasjonstype. Avvik i bakkestrykk er hentet fra figuren 3.3.1. Nedbør og vindhastighet er målinger i perioden mars og april 2000 til 2020 ved værstasjonen på Blindern.

Sirkulasjonstype	Storskala vindretning over Sør-Norge	Omtrentlig avvik i bakkestrykk over Sør-Norge (hPa)	Nedbør (mm)	Vindhastighet (m/s)
CT1	Vest	-10	$1,5 \pm 3,1$	$2,8 \pm 1,8$
CT2	Sørvest	-5	$3,3 \pm 4,1$	$2,8 \pm 1,6$
CT3	Nordvest	-7	$0,8 \pm 2,6$	$3,1 \pm 1,9$
CT4	Nord	0	$0,4 \pm 2,0$	$3,0 \pm 2,0$
CT5	Nordøst	5	$0,6 \pm 2,6$	$2,8 \pm 1,6$
CT6	Øst	7	$0,5 \pm 2,6$	$2,8 \pm 1,6$
CT7	Sørøst	10	$0,7 \pm 2,3$	$3,1 \pm 1,6$
CT8	Sør	0	$2,3 \pm 4,4$	$3,1 \pm 1,7$
CT9	Øst-sørøst	-10	$2,9 \pm 4,5$	$3,4 \pm 1,8$
CT10	Vest-nordvest	10	$0,1 \pm 0,7$	$2,0 \pm 1,3$

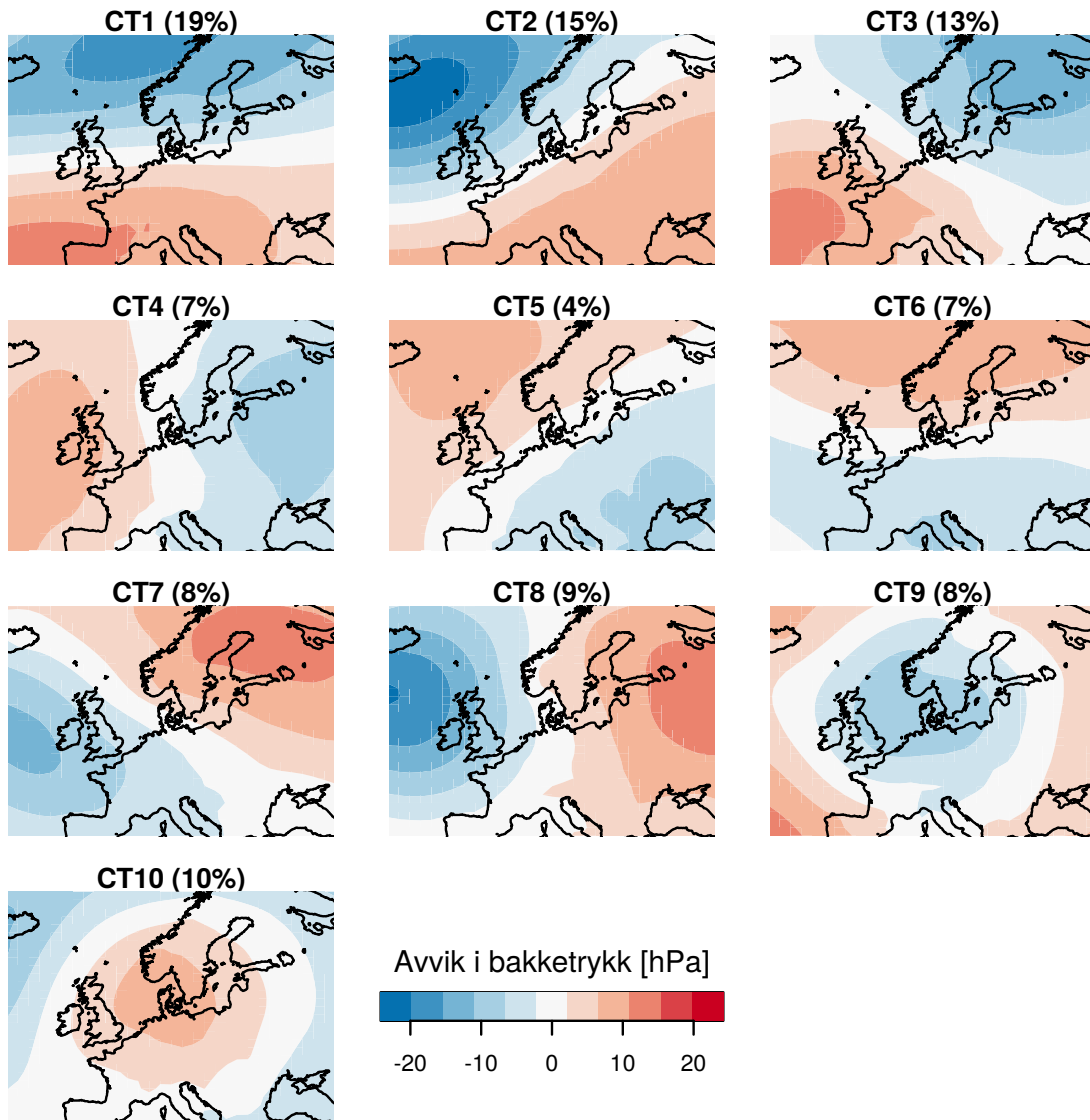
sirkulasjonstypene.

Fra figuren kan man se at for sirkulasjonstype 1 til 8 er storskala vindretning bestemt av et høytrykk og lavtrykk i forskjellige posisjoner i nord, sør, øst og vest. For sirkulasjonstype 9 og 10 er vindretningene karakterisert av henholdsvis et lavtrykk og et høytrykk i sentrert i området.

Datasettet som er brukt i oppgaven er innhentet fra Røste og Landgren (2022). Datasettet er blitt laget ved bruk av *Cost733class* software for bakkestrykkdata på døgnoppløsning fra reanalyse ERA5 (Philipp et al., 2014; Røste og Landgren, 2022). Avvik i bakkestrykk er beregnet ved å ta bakkestrykkdata for hver dag (MSLP) subtrahert med gjennomsnittlig bakkestrykk for hver dag i hele domenet. Avvikene er deretter blitt klassifisert ved Grosswettertypes, og det som vises som for eksempel sirkulasjonstype 1 er gjennomsnittet av avviket for alle dager som har CT1. ERA5 er et globalt klima- og værdatasett fra 1979 til 2020, og er femte generasjons European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) reanalyse (Hersbach et al., 2018).

3.3.1 Vindroser for Blindern og Tryvann

For å undersøke hvordan den lokale vindretningen ser ut i de ulike sirkulasjonstypene, og koblingen mellom storskala vindretning og lokal vindretning, er det blitt laget vindroser for hver sirkulasjonstype for Blindern og Tryvann (figur 4.5.1 og



Figur 3.3.1: De ti panelene viser avvik i bakkestrykk i forhold til gjennomsnittet i hele domenet i de forskjellige sirkulasjonstypene laget med Grosswettertypes. Blå farge indikerer negativt avvik i bakkestrykk og rød farge indikerer positivt avvik i bakkestrykk. Prosentandelene er forekomsten av hver sirkulasjonstype i perioden mars og april 2000 til 2020. Data er hentet fra Røste og Landgren (2022).

figur 4.5.2). Tabell 4.5.1 viser de storskala vindretningene og de dominerende lokale vindretningene på Blindern og Tryvann i perioden mars og april 2000 til 2020. Værstasjonene på Blindern og Tryvann er valgt for å undersøke koblingen mellom atmosfærisk sirkulasjon og lokal vindretning ved to ulike høyder.

3.4 Oppsummering av tiltaksutredningene

Tiltaksutredningen fra 2010 viser til at iverksatte tiltak har fungert etter hensikten, og at PM_{10} konsentrasjonene i Oslo kommune er redusert og ligger under årlig grenseverdi, jmf. tabell 2.3.1. Tiltaksutredningen fra 2014 konstanterer at det har skjedd lite med tiltakslisten fra 2010, siden grenseverdiene er tilfredsstillt. Tiltaksutredningen fra 2017 oppsummerer at årlig PM_{10} konsentrasjon har hatt en nedgang i perioden 2005 til 2008, og deretter stabilisert seg frem til år 2017, med unntak av 2013 (Statens vegvesen Region øst og Oslo kommune, 2017). Piggdekkavgift, støvdempende tiltak og miljøfartsgrense er tiltakene som har hatt en positiv innvirkning på reduksjonen av svevestøv.

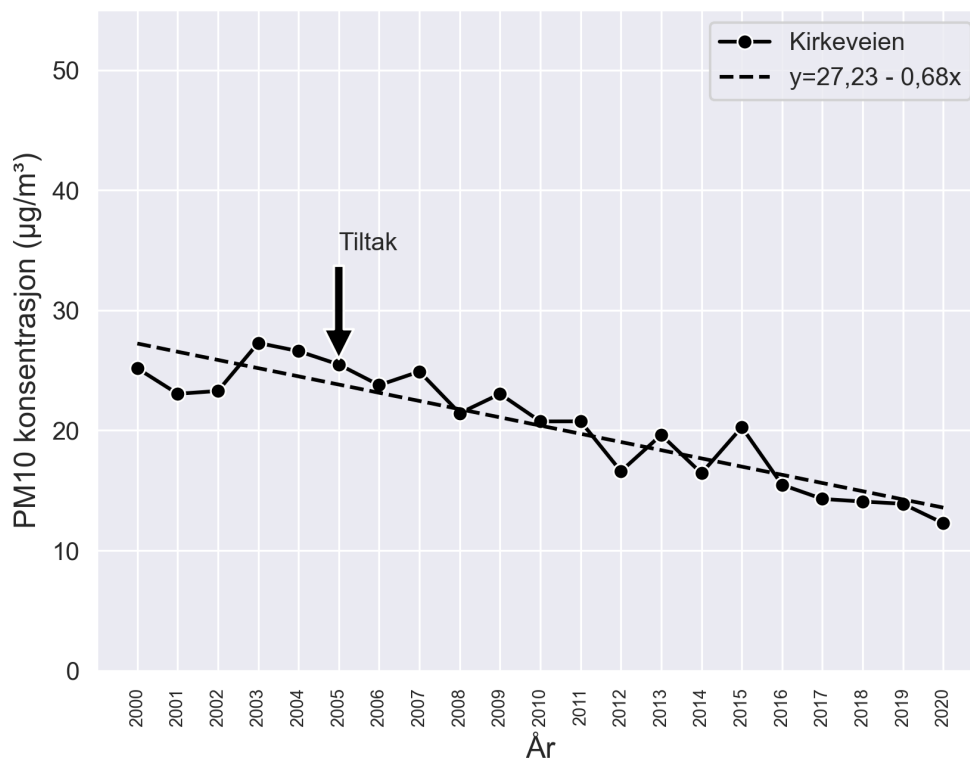
Figur 3.4.1 viser årlig gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon i perioden 2000 til 2020. Året 2005 er markert i figuren da dette var året tiltak som miljøfartsgrense, renhold og støvdempende tiltak og ATP-tiltak ble innført i Oslo kommune. Piggdekkavgift ble gjeninnført november 2004. Kurven i figuren har en negativ trend, og årlig gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon har en konsentrasjonsendring på $6,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tiår.

Året 2015 skiller seg ut fra trenden med relativt høy PM_{10} konsentrasjon. I 2015 var gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjonen på $20,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Fra figuren kan man se at ingen av årene frem til 2020 etter 2005 overskrider PM_{10} konsentrasjonen i 2005, som var på $25,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Året med lavest målt PM_{10} konsentrasjon i Kirkeveien er 2020 med en gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon på $12,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

I 2013 ble det registrert 44 døgn med PM_{10} konsentrasjoner over $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ved Hjortnes målestasjon i Oslo kommune (Høiskar et al., 2014). Dette året ble derfor grenseverdiene for PM_{10} overskredet. Etersom at 2013 var et spesielt år når det gjaldt PM_{10} ble det utarbeidet en årsrapport av Oslo kommune Bymiljøetaten, Lützenkirchen et al. (2014). I årsrapporten er overskridelsene av PM_{10} forklart med lengre perioder med tørt vær om våren og høsten. Om våren er sammenhengen mellom høye PM_{10} konsentrasjoner og piggdekkseasonen trukket frem i rapporten. Fra figur 3.4.1 kan man se at 2013 ikke er et år som avviker fra trenden. Det kan tyde på at det i 2013 også har vært perioder med lave PM_{10} konsentrasjoner ettersom at figuren viser et årlig gjennomsnitt av PM_{10} .

3.5 Databehandling

I denne studien er data som er blitt analysert blitt programmert i programmet Spyder, versjon 4.1.5, med Python. Python er et programmeringsspråk for vitenskapelig databehandling. Alle figurer i resultatkapittelet er laget i Python.



Figur 3.4.1: Gjennomsnittlig årlig PM₁₀ konsentrasjon målt i Kirkeveien i perioden 2000 til 2020. Svart pil markerer året da disse tiltakene ble vedtatt: miljøfartsgrense, renhold og støvdempende tiltak og ATP-tiltak. Piggdekkavgift ble gjeninnført i Oslo kommune november 2004. Regresjonslinjen har formelen: $y = 27,23 - 0,68x$.

3.6 Filtrering av data

Noen av dagene har ikke målinger eller har feilmeldinger så disse dagene filtreres bort. Eksempel er målinger for PM₁₀ med feilmelding -9900 µg/m³. I datasettet med PM₁₀ målinger er det kun én døgnverdi med PM₁₀ konsentrasjon under 1,0 µg/m³. Dagen før og dagen etter har PM₁₀ konsentrasjoner på over 20 µg/m³. Derfor antas det at døgnverdien under 1,0 µg/m³ er en feilmåling og det settes et krav om at PM₁₀ døgn-målingene skal være høyere enn eller lik 1,0 µg/m³ for å forhindre at eventuelle feilmålinger påvirker resultatene. For times-målingene av PM₁₀ settes det krav om at PM₁₀ konsentrasjonen skal være over 0 µg/m³.

3.7 T-test og statistisk signifikans

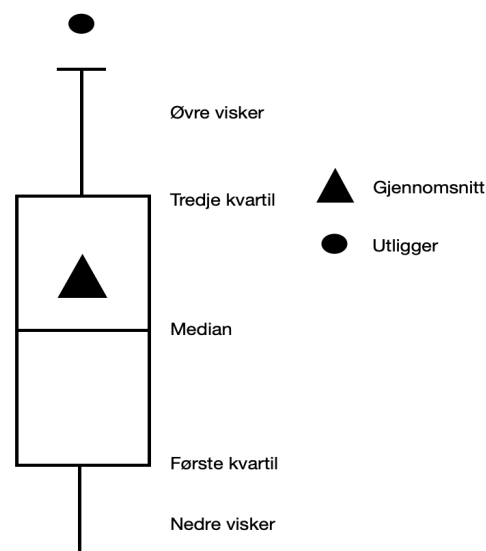
For å undersøke om fordelingen av PM₁₀ konsentrasjonene i de ulike sirkulasjonstypene er tilfeldige eller statistisk signifikant blir det utført en t-test. Statistisk signifikant betyr at variasjonen i fordelingen av PM₁₀ i én sirkulasjonstype er forskjellige for denne sirkulasjonstypen i forhold til de resterende sirkulasjonstypene. I denne studien blir t-testen utført i Python. T-testen i Python regner ut en p-verdi som

sammenlignes med et signifikansnivå/alfanivå, her satt til 0,05 eller 5 %.

En p-verdi brukes til å bestemme om man kan forkaste nullhypotesen eller ikke. Dersom p-verdien er lavere enn signifikansnivået forkaster man nullhypotesen og sier at den alternative hypotesen er sann. Hvis p-verdien er større enn signifikansnivået beholder man nullhypotesen. For t-testen som utføres i denne studien er nullhypotesen at fordelingen av PM_{10} konsentrasjonene i de ulike sirkulasjonstypene er tilfeldige. Den alternative hypotesen er at nullhypotesen er usann, og at fordelingen av PM_{10} konsentrasjonen i én sirkulasjonstype er forskjellig fra de resterende sirkulasjonstypene, og skyldes statistisk signifikans.

3.8 Boksdiagram

Flere av resultatene vil være fremstilt med boksdiagram, som er illustrert i figur 3.8.1. Et boksdiagram er en svært effektiv metode for å demonstrere kvantitative data. Metoden går ut på at data fordeles i kvartiler og viser medianen, gjennomsnittet og utliggere. Streken i boksen er medianen til data som er undersøkt, trekanten inne i boksen er gjennomsnittet, den nederste delen av boksen er første kvartil og den øverste delen er tredje kvartil. Første kvartil, også kalt 25. persentilen er den verdien som har 25 % av data med lavere verdi og 75 % av data med høyere verdi. Medianen kalles også 50. persentilen og er verdien der 50 % av data har lavere verdi og 50 % av data har høyere verdi. Tredje kvartil, også kalt 75. persentilen er den verdien som har 25 % av data med høyere verdi og 75 % av data med lavere verdi. Selve boksen vil derfor inneholde 50 % av målingene og de resterende 50 % av målingene fremstilles som visker eller utliggere. Viskerene representerer maksimum og minimum verdiene i datasettet. Dersom målingen ligger utenfor 1,5 ganger boksområdet over tredje kvartil eller under første kvartil vil målingen bli fremstilt som en utligger.



Figur 3.8.1: Illustrasjon av et boksdiagram med median, gjennomsnitt, nedre- og øvre visker, første- og tredje kvartil og utligger.

4 Resultater

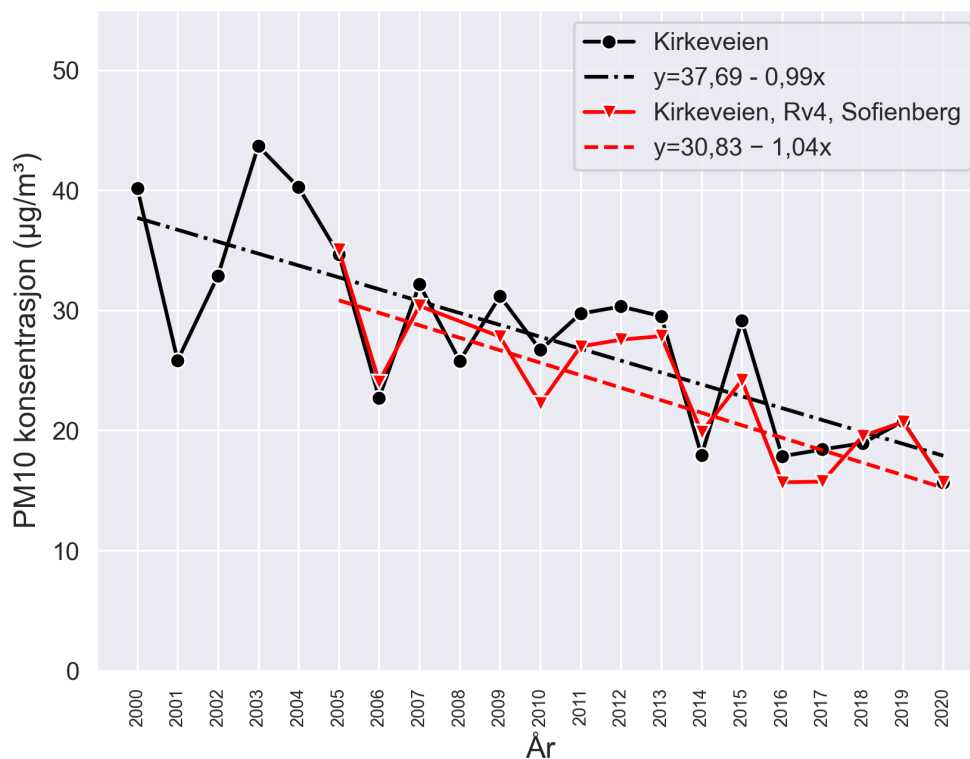
For å se etter sammenhenger mellom storskala sirkulasjon, lokale meteorologiske forhold og PM_{10} konsentrasjoner undersøkes først utviklingen av PM_{10} konsentrasjonen i Oslo i perioden mars og april 2000 til 2020. Deretter blir sirkulasjonstypeklassifiseringen presentert for tidsperioden, før sirkulasjonstypeklassifiseringen fremstilles med PM_{10} konsentrasjonene. Det er så blitt gjort en analyse av sammenhengen mellom luftkvalitet og nedbør samt sirkulasjonstyper og nedbør. Til slutt gjøres en analyse av atmosfærisk sirkulasjon, luftkvalitet og vind.

4.1 Utvikling av PM_{10} konsentrasjonen i Oslo i perioden mars og april 2000 til 2020.

Figur 4.1.1 viser årlig gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon i mars og april i perioden 2000 til 2020 for henholdsvis målestasjonen i Kirkeveien og gjennomsnittet av målestasjonene i Kirkeveien, Rv4 Aker sykehus og Sofienbergparken. Grunnen til at kurven for Kirkeveien, Rv4 Aker sykehus og Sofienbergparken begynner i år 2005 og ikke i år 2000 er at det ikke fins tidligere data for målestasjonen i Sofienbergparken. I tillegg mangler det PM_{10} målinger for året 2008 fra målestasjonen i Sofienbergparken, se tabell C.0.1 i vedlegg D.

Begge kurvene har en negativ trend og PM_{10} konsentrasjonen for Kirkeveien avtar med $9,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tiår. PM_{10} konsentrasjonen for Kirkeveien, Rv4 og Sofienberg avtar med $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fra 2005 til 2010 og $10,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fra 2010 til 2020. Kurvene har en lik form og man ser at gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon for de tre målestasjonene ligger flere av årene litt under gjennomsnittlig konsentrasjon for kun Kirkeveien. Det finnes år til år variasjoner, og det er noen perioder og år som skiller seg ut mer enn andre med høye og lave PM_{10} konsentrasjoner. Kurven for Kirkeveien viser en nedgang i PM_{10} konsentrasjon fra 2000 til 2001, deretter en økning fra 2001 til 2003. Fra 2003 er det nok en nedgang til 2006 på $21,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dette er dobbelt så mye som PM_{10} konsentrasjonen avtar med hvert tiår. Fra 2006 til 2007 er det en økning i PM_{10} konsentrasjon for begge kurvene, og i perioden 2007 til 2013 holder PM_{10} nivåene seg relativt stabilt med verdier mellom $25,0$ og $30,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I perioden 2013 til 2020 dominerer de lave PM_{10} konsentrasjonene på rundt $15,0$ til $20,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, med unntak av 2015 som har en PM_{10} konsentrasjon på $29,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $24,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for henholdsvis Kirkeveien og de tre stasjonene i Kirkeveien, Rv4 og Sofienbergparken.

Figur E.0.1 i vedlegg E viser årlig gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon i mars og april i perioden 2005 til 2020, med unntak av 2008, for målestasjonene ved Rv4 Aker sykehus og Sofienbergparken hver for seg.



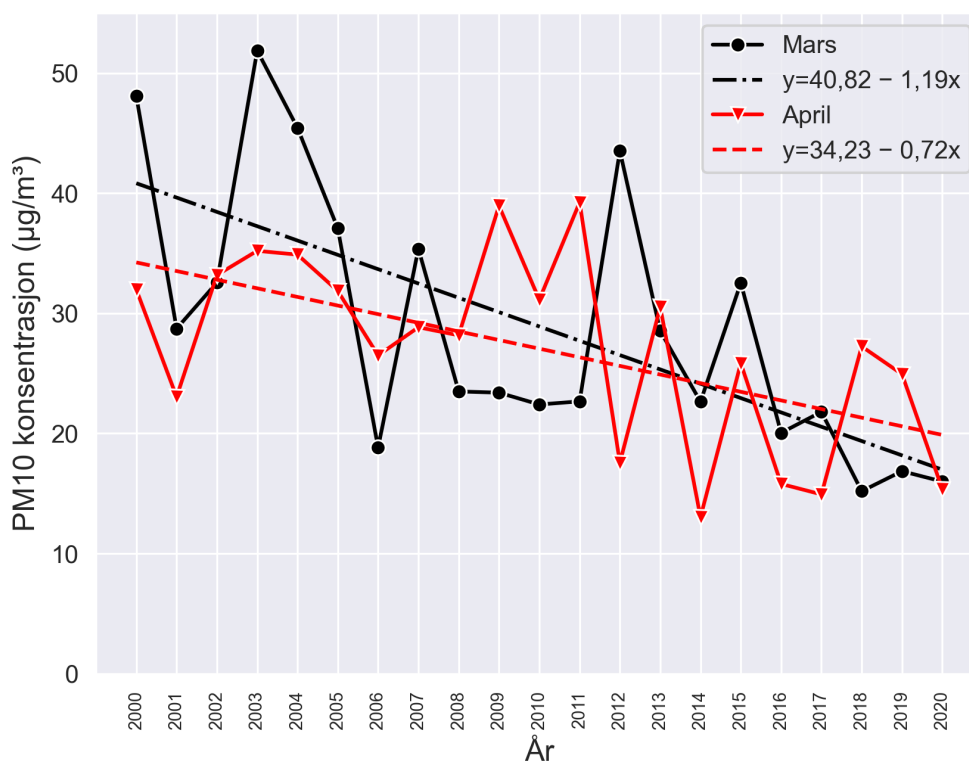
Figur 4.1.1: Årlig gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon for mars og april i perioden 2000 til 2020. Svart kurve er gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon målt i Kirkeveien med tilhørende trendlinje: $y = 37,69 - 0,99x$. Rød kurve er gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon målt i Kirkeveien, Rv4 Aker sykehus og Sofienbergparken med tilhørende trendlinje $y = 30,83 - 1,04x$.

Det er også interessant å se på årlig PM₁₀ konsentrasjon separat for mars og april for å undersøke variasjonene i månedene hver for seg. Figur 4.1.2 viser årlig PM₁₀ konsentrasjon separat for mars og april målt i Kirkeveien for perioden 2000 til 2020. Sammenligner man kurven for mars med kurven for april ser man at mars er en måned med større variasjoner i PM₁₀ konsentrasjon enn april, og at mars opplever en sterkere nedgang i PM₁₀ enn april i perioden som analyseres. Mars har en nedgang i PM₁₀ på 11,9 µg/m³ per tiår, sammenlignet med april som har en nedgang på 7,2 µg/m³ per tiår.

Fra figuren kan man se at mars har en høyere gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon enn april for 12 av årene, og april har et høyere PM₁₀ gjennomsnitt for 9 av årene. For mars er det seks år der gjennomsnittsverdien for PM₁₀ er over 35,0 µg/m³, som er dobbelt så mange år som det er for april måned. Det er noen perioder og år som skiller seg ut i figur 4.1.2. Perioden 2003 til 2006 har en nedgang i PM₁₀ konsentrasjon på 33,1 µg/m³ for mars. Den samme perioden for april har en nedgang på 8,7 µg/m³. Fra 2006 til 2007 opplever mars en oppgang i PM₁₀ konsentrasjonen på 16,6 µg/m³, sammenlignet med april som hadde en oppgang på 2,3 µg/m³. For perioden 2008 til

2011 har april en høyere og mer varierende årlig gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon enn mars. For april varierer PM₁₀ konsentrasjonen mellom 28,1 i 2008, og 39,2 µg/m³ i 2011. Mens for mars er PM₁₀ konsentrasjonen omtrent den samme for alle de fire årene med et PM₁₀ nivå på rundt 23,0 µg/m³. Fra 2011 til 2012 har mars måned en PM₁₀ oppgang på 20,8 µg/m³, mens april hadde en nedgang på 21,7 µg/m³. 2012 var et år med høy PM₁₀ konsentrasjon for mars (43,5 µg/m³) og lav PM₁₀ konsentrasjon for april (17,6 µg/m³). 2018 og 2019 er også to år der PM₁₀ konsentrasjonene var høyere for april enn for mars.

Gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon for mars i hele perioden, 2000 til 2020, var på 28,9 µg/m³, med høyeste PM₁₀ konsentrasjon i 2003, på 51,9 µg/m³ og laveste PM₁₀ konsentrasjon var i 2018, på 15,2 µg/m³. I samme periode hadde april en gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon på 27,0 µg/m³, høyeste PM₁₀ konsentrasjon var i 2011 og var på 39,2 µg/m³, mens laveste PM₁₀ konsentrasjon var i 2014 og var på 13,0 µg/m³.



Figur 4.1.2: Årlig gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon målt i Kirkeveien for mars og april hver for seg i perioden 2000 til 2020. Svart kurve med sirkler er for mars, og rød kurve med trekant er for april. Trend mars: $y = 40,82 - 1,19x$, og trend april: $y = 34,23 - 0,72x$.

4.2 Sirkulasjonstype-klassifisering for mars og april i perioden 2000 til 2020

I perioden mars og april 2000 til 2020 dominerer sirkulasjonstype 1 med storskala vindretning fra vest med en forekomst på 19 %, etterfulgt av sirkulasjonstype 2 og 3, med storskala vindretninger fra sørvest og nordvest, med henholdsvis forekomster på 15 og 13 %. Tabell 4.2.1 viser hvor mange dager i mars og april fra år 2000 til 2020 som har sirkulasjonstype 1 til 10. Det er få dager som har sirkulasjonstype 4, 5 og 6, med storskala vindretning fra nord, nordøst og øst, med henholdsvis 7, 4 og 7 %.

Tabell 4.2.1: Tabellen viser antall dager med sirkulasjonstype 1 til 10 i perioden mars og april fra 2000 til 2020. Prosentandelene er regnet ut ved å sette totalt antall dager i hele perioden som 100 %.

Sirkulasjonstype	Antall dager (prosentandel)
CT1	248 (19 %)
CT2	186 (15 %)
CT3	167 (13 %)
CT4	88 (7 %)
CT5	46 (4 %)
CT6	87 (7 %)
CT7	108 (8 %)
CT8	121 (9 %)
CT9	102 (8 %)
CT10	128 (10 %)
Sum	1281 (100 %)

Gjennomsnittlig antall dager i hver sirkulasjonstype 1 til 10 per år i mars og april i perioden 2000 til 2020 er presentert i tabell 4.2.2 med \pm standardavviket. Fra denne tabellen ser man at mars har høyest gjennomsnitt av CT1 med $7,8 \pm 4,5$ dager, og lavest gjennomsnitt av CT5 med $1,7 \pm 0,8$ dager. April har høyest gjennomsnitt av CT7 med $5,3 \pm 3,1$ dager og lavest gjennomsnitt av CT5 med $2,0 \pm 0,7$ dager.

Tabell 4.2.2: Gjennomsnittet av antall dager separat i mars og april per år i perioden 2000 til 2020 \pm standardavvik for sirkulasjonstype 1 til 10.

Sirkulasjonstype	Antall dager i mars i gj.snitt \pm SD per år	Antall dager i april i gj.snitt \pm SD per år
CT1	7,8 \pm 4,5	4,8 \pm 3,1
CT2	5,6 \pm 2,0	4,2 \pm 2,0
CT3	4,6 \pm 2,7	4,4 \pm 3,8
CT4	2,8 \pm 1,7	2,5 \pm 1,9
CT5	1,7 \pm 0,8	2,0 \pm 0,7
CT6	4,0 \pm 2,9	3,2 \pm 1,9
CT7	4,3 \pm 2,9	5,3 \pm 3,1
CT8	3,4 \pm 1,7	3,5 \pm 1,9
CT9	3,2 \pm 2,1	3,6 \pm 3,2
CT10	4,3 \pm 2,7	3,2 \pm 1,8

Figurene 4.2.1 og 4.2.2 viser antall dager med sirkulasjonstype 1 til 10 i henholdsvis mars og april i perioden 2000 til 2020. Resultatene viser ingen tydelige trender i forekomsten av sirkulasjonstypene i perioden, årsaken til dette kan være at tidsserien er for kort.

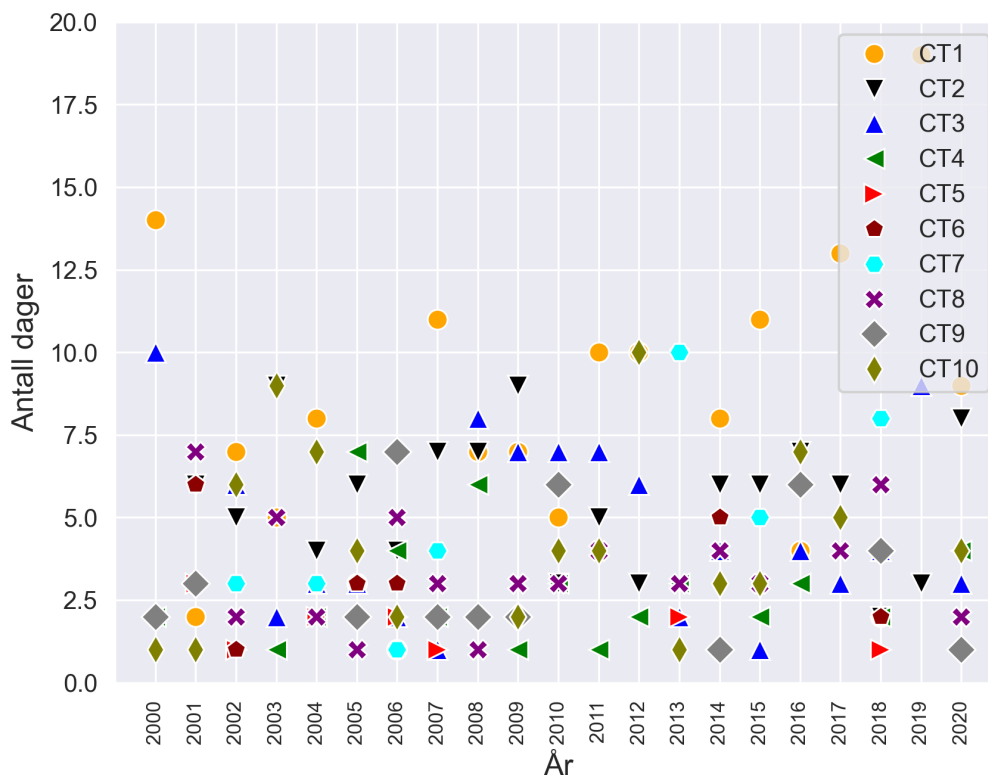
Sammenligner man figur 4.2.1 med figur 4.1.2 ser man at seks eller flere dager har sirkulasjonstype 1, 2 og/eller 10 i årene med høy gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon for mars måned. Årene som skiller seg ut med høy PM₁₀ konsentrasjon i mars måned er 2000, 2003, 2004, 2005, 2007, 2012 og 2015. For årene med lav gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon i mars har seks eller flere dager sirkulasjonstype 1, 2, 3, 8 og/eller 9. Årene som skiller seg ut med lav konsentrasjon er 2001, 2006, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2018 og 2020.

Sammenligner man figur 4.2.2 med figur 4.1.2 vil seks eller flere dager ha sirkulasjonstype 1, 2, 7, 8 og/eller 10 ved årene med høy gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon i april. Dette er årene 2000, 2003, 2004, 2009, 2011, 2013, 2015, 2018 og 2019. Årene med lav gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon i april er 2001, 2006, 2012, 2014, 2016, 2017 og 2020. I disse årene har seks eller flere dager sirkulasjonstype 1, 2, 3 og/eller 9.

4.3 Luftkvalitet og sirkulasjonstype-klassifisering

Dette underkapittelet ser på sirkulasjonstype-klassifiseringen og PM₁₀ konsentrasjonene i Oslo i perioden mars og april 2000 til 2020.

Figur 4.3.1 viser PM₁₀ konsentrasjonen målt i Kirkeveien ved de ulike sirkulasjonstypene. Antall dager per sirkulasjonstype er vist som tall i boksene (n). Grunnen til at det er færre døgn i denne figuren sammenlignet med tabell 4.2.1 er at luftforurens-



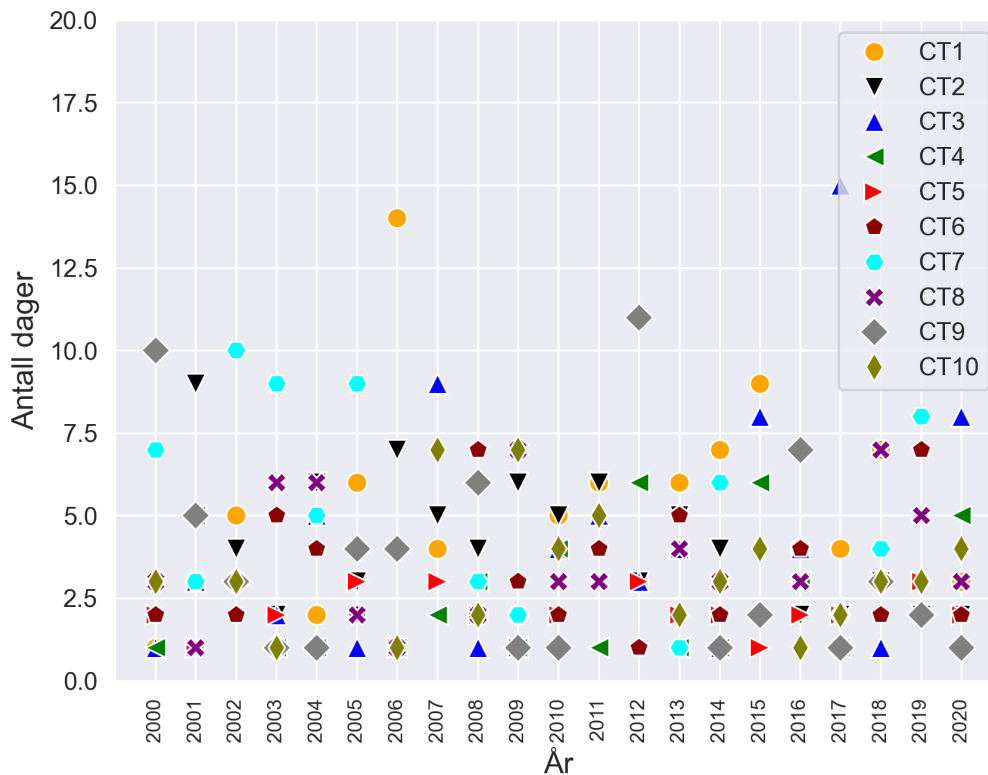
Figur 4.2.1: Antall dager i mars som har sirkulasjonstype 1 til 10 i perioden 2000 til 2020. De ulike markørene representerer de ulike sirkulasjonstypene.

ningsdata har blitt filtrert for PM_{10} konsentrasjoner under $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sirkulasjonstype 10 med høytrykksituasjon over Sør-Norge er den sirkulasjonstypen som har høyest gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon på $38,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sirkulasjonstype 7 med storskala vindretning fra sørøst er den med nest høyest PM_{10} gjennomsnitt på $32,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, etterfulgt av CT5 og CT6 med henholdsvis PM_{10} gjennomsnitt på $30,7$ og $30,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sirkulasjonstype 9 med lavtrykksituasjon over Sør-Norge er den typen med lavest gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon på $18,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sirkulasjonstype 1 med storskala vindretning fra vest, som er den typen med flest dager i perioden mars og april 2000 til 2020 har en gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon på $27,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Døgn luftkvalitetskriteriet og grenseverdien til PM_{10} er henholdsvis $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og det er blitt undersøkt hvor mange dager som overskrider både luftkvalitetskriteriet og grenseverdien i tidsperioden. Figur 4.3.2a viser antall dager i hver sirkulasjonstype som overskrider luftkvalitetskriteriet og figur 4.3.2b viser antall dager i hver sirkulasjonstype som overskrider grenseverdien.

Totalt er det 444 dager som overskrider luftkvalitetskriteriet, som vil si at 36 % av dagene i perioden mars og april 2000 til 2020 har en PM_{10} konsentrasjon på over $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Fra figur 4.3.2a kan man se at det er sirkulasjonstype 1 som har flest dager med PM_{10} konsentrasjon over $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ med 84 dager, etterfulgt av sirkulasjonstype

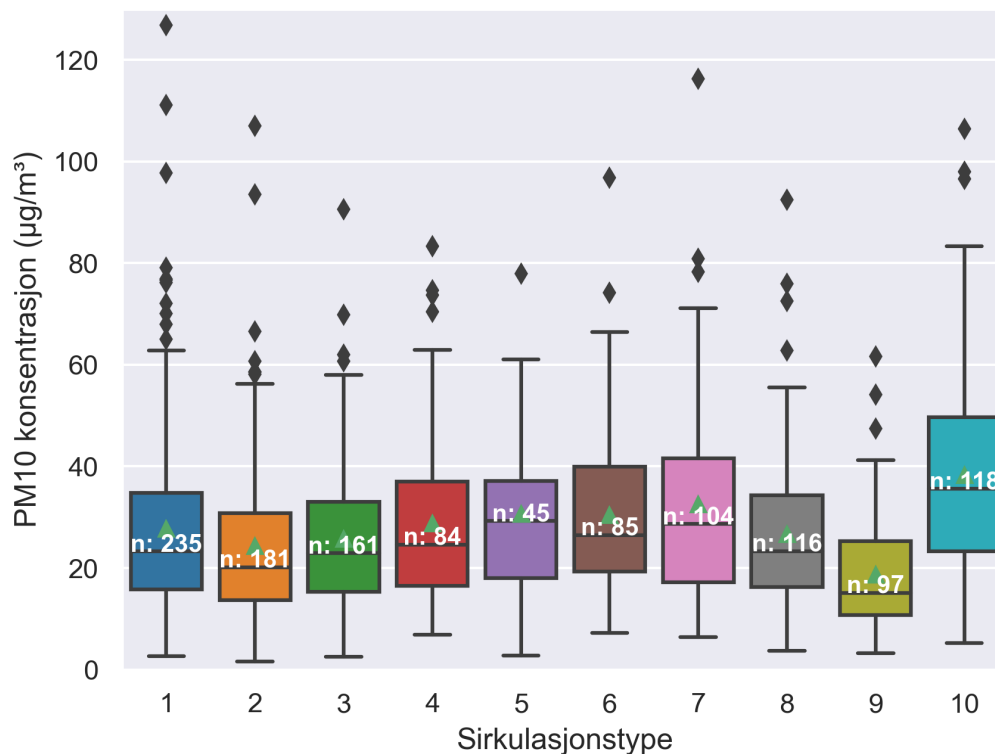


Figur 4.2.2: Antall dager i april som har sirkulasjonstype 1 til 10 i perioden 2000 til 2020. De ulike markørene representerer de ulike sirkulasjonstypene.

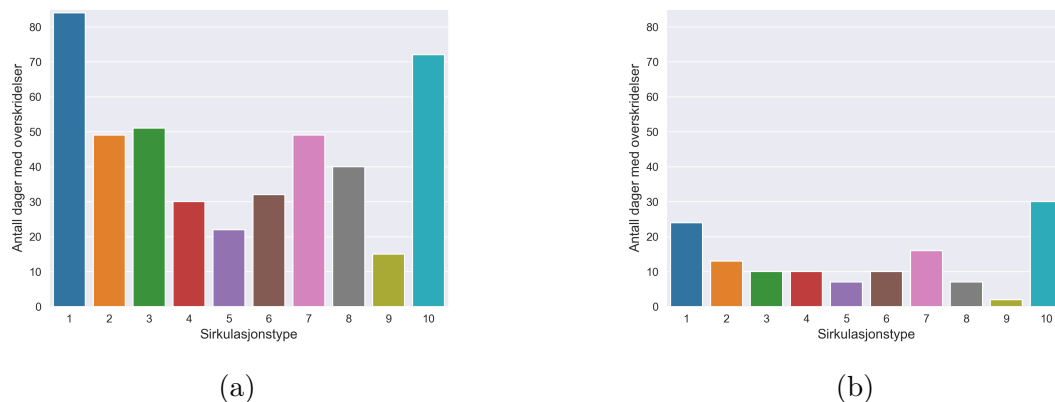
10 med 72 dager og sirkulasjonstype 3 med 51 dager. Sirkulasjonstype 9 har færrest dager som overskrider luftkvalitetskriteriet med 15 dager. Ettersom at det er 118 dager i perioden med gyldig PM_{10} verdi og sirkulasjonstype 10 vil det si at 61 % av disse dagene vil overskride luftkvalitetskriteriet. Dager med sirkulasjonstype 10 er derfor de dagene som har størst sannsynlighet til å ha PM_{10} konsentrasjoner på over $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Det er totalt 129 dager som overskrider døgn grenseverdien til PM_{10} , som vil si at omtrent 11 % av dagene i perioden mars og april 2000 til 2020 har en PM_{10} konsentrasjon på over $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Fra figur 4.3.2b kan man se at sirkulasjonstype 10 har flest dager med PM_{10} konsentrasjoner over $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ med 30 dager, etterfulgt av sirkulasjonstype 1 med 24 dager. Sirkulasjonstype 9 er den typen som har færrest dager med PM_{10} konsentrasjoner over $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, med kun 2 dager.

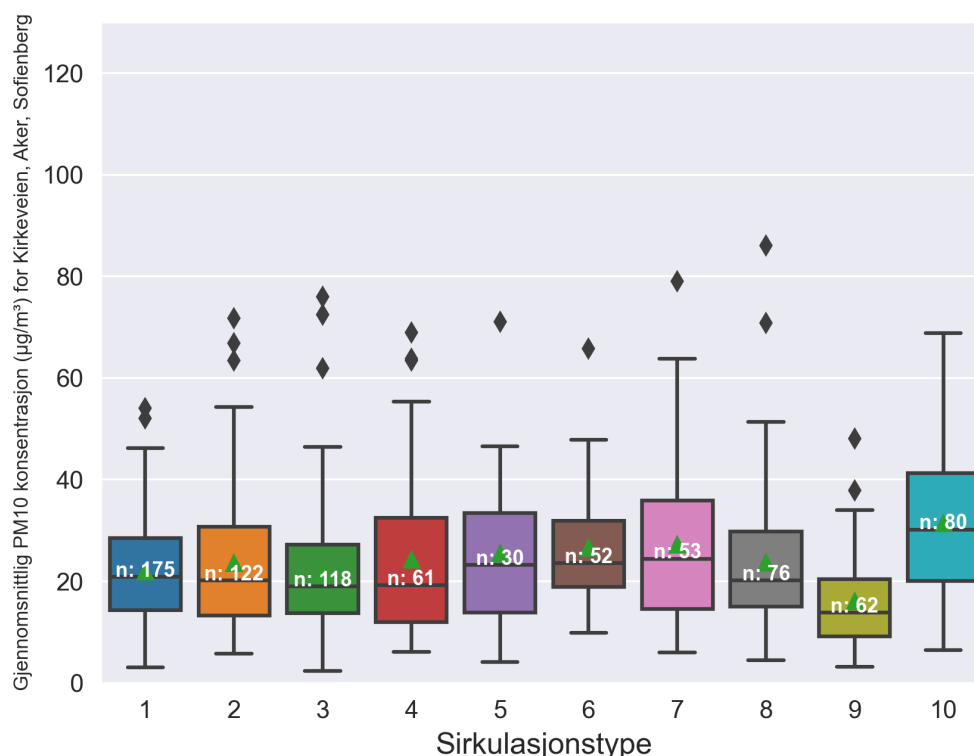
Figur 4.3.3 viser gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon målt ved de tre målestasjonene i Kirkeveien, Rv4 Aker sykehus og Sofienbergparken ved de ulike sirkulasjonstypene. PM_{10} målingene er for mars og april fra 2005 til 2020, med unntak av 2008. Fra figuren kan man se at sirkulasjonstype 10 har høyest gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon med $31,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og sirkulasjonstype 9 har lavest gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon med $16,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 4.3.1: Boksdiagram med PM₁₀ konsentrasjon i µg/m³ på y-aksen, målt i Kirkeveien, og sirkulasjonstype 1 til 10 på x-aksen. Antall dager i hver sirkulasjonstype er vist som tall i boksene betegnet med en n.



Figur 4.3.2: Antall dager som overskrider luftkvalitetskriteriet (30 µg/m³), figur 4.3.2a, og grenseverdien (50 µg/m³), figur 4.3.2b, for PM₁₀ med en midlingstid på 24 timer i hver sirkulasjonstype fra 1 til 10. PM₁₀ konsentrasjonene er døgnverdier målt ved målestasjonen for luftkvalitet i Kirkeveien.



Figur 4.3.3: Boksdiagram med PM₁₀ konsentrasjon i µg/m³ på y-aksen målt ved de tre målestasjonene i Kirkeveien, Rv4 Aker sykehus og Sofienbergparken og sirkulasjonstype 1 til 10 på x-aksen. Antall dager i hver sirkulasjonstype er vist som tall i boksene betegnet med en n.

Sammenligner man figur 4.3.1 og figur 4.3.3 ser man det er flere dager med høye PM₁₀ konsentrasjoner, og høyere PM₁₀ konsentrasjoner, når man kun ser på målinjene i Kirkeveien. Årsaken til dette er trolig mangler i datasettet fra målestasjonen i Sofienbergparken. Fra figur 4.1.1 kan man se at 2000, 2002 og 2004 er år med høye gjennomsnittlige PM₁₀ konsentrasjoner i mars og april målt i Kirkeveien. En annen årsak er at det er færre dager med høye PM₁₀ konsentrasjoner målt i Sofienbergparken ettersom at dette er en bybakgrunnstasjon. Dermed blir gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon i mars og april målt i Sofienbergparken lavere enn målinger ved Rv4 Aker sykehus og Kirkeveien ved flere av årene, se figur E.0.1 i vedlegg E.

4.3.1 T-test

Det er blitt utført en t-test for å se om det er signifikante forskjeller mellom fordelingen av PM₁₀ konsentrasjoner målt i henholdvis Kirkeveien og ved de tre målestasjonene i Kirkeveien, Rv4 Aker sykehus og Sofienbergparken i de ulike sirkulasjonstypene mot de resterende sirkulasjonstypene. For målinger gjort ved målestasjonen i Kirkeveien er p-verdien mindre enn signifikansnivået, ($\alpha = 0,05$), for sirkulasjonstype 2, 3, 7, 9 og 10. For sirkulasjonstype 1, 4, 5, 6 og 8 er p-verdien høyere enn signifikans-

nivået. For målinger gjort ved de tre målestasjonene i Kirkeveien, Rv4 Aker sykehus og Sofienbergparken er p-verdien mindre enn signifikansnivået for sirkulasjonstype 1, 3, 9 og 10. For de resterende sirkulasjonstypene er p-verdiene høyere enn signifikansnivået. P-verdiene for alle sirkulasjonstypene er presentert i tabell F.0.1 i vedlegg F.

Ettersom at p-verdien for både sirkulasjonstype 9 og 10 er mye mindre enn signifikansnivået, henholdsvis 2.58×10^{-13} og 5.55×10^{-9} for målinger i Kirkeveien og henholdsvis 2.22×10^{-9} og 1.17×10^{-6} for målinger ved de tre målestasjonene kan man si at fordelingen av PM_{10} konsentrasjon ikke skyldes tilfeldigheter og vil være statistisk signifikant. Variasjonen i PM_{10} fordelingen skyldes trolig tilfeldigheter for de resterende sirkulasjonstypene ettersom at p-verdien ligger over signifikansnivået for flere av typene og det er lav- og høytrykkssituasjonen som skiller seg spesielt ut med lave p-verdier.

4.4 Luftkvalitet og nedbør

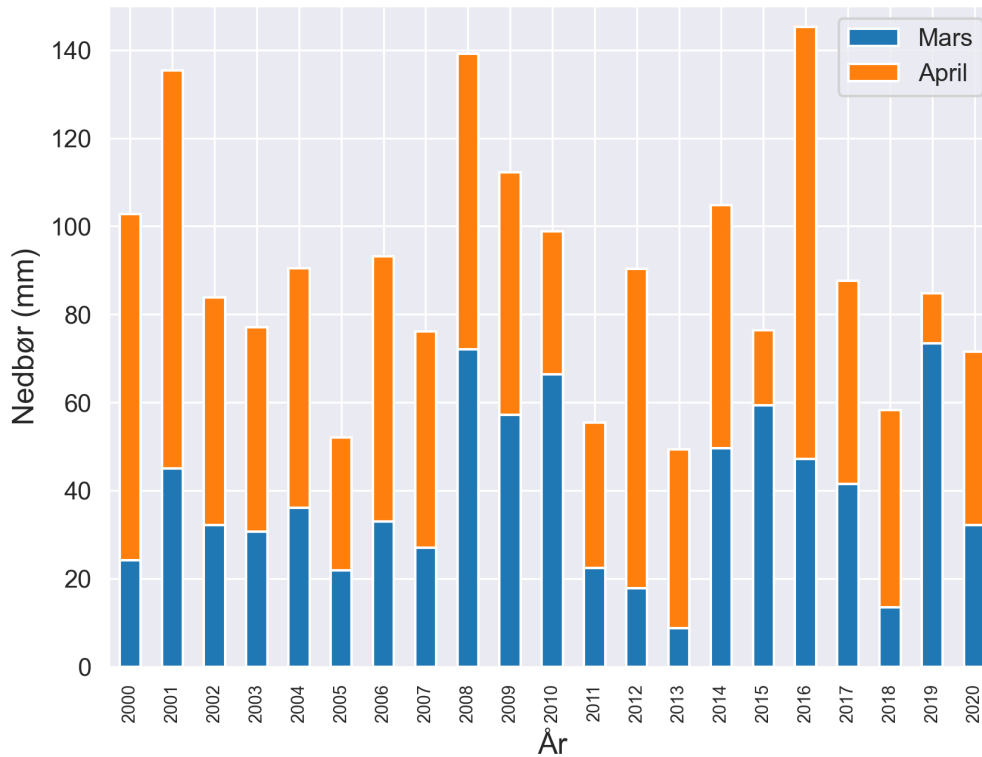
I dette underkapittelet beskrives sammenhengen mellom PM_{10} og nedbør i Oslo i perioden mars og april 2000 til 2020. Deretter undersøkes koblingen mellom atmosfærisk sirkulasjon og nedbør ved å se på hvilke sirkulasjonstyper som har nedbørsdager og hvilke som har oppholdsdager.

4.4.1 Sammenhengen mellom PM_{10} og nedbør i Oslo i perioden mars og april 2000 til 2020

Figur 4.4.1 viser nedbørsum i mars og april i perioden 2000 til 2020. Gjennomsnittsnedbør samlet for mars og april i tidsperioden var 89,7 mm nedbør. Separat gjennomsnittsnedbør for mars og april var henholdsvis 38,6 og 51,1 mm. Året med høyest nedbørsum var i 2016 med 145,3 mm nedbør, med 47,1 mm i mars og 98,2 mm i april. Året med lavest nedbørsum var i 2013 med 49,3 mm nedbør, med 8,7 mm i mars og 40,6 mm i april. 2013 var også året der mars hadde den laveste nedbørsmengden i perioden 2000 til 2020, mens det høyeste nedbørsåret for mars var i 2019 med 73,4 mm nedbør. For april var året med minst nedbør i 2019 med 11,3 mm nedbør og året med mest nedbør i 2016.

Figur 4.4.2 viser sammenhengen mellom nedbør og PM_{10} konsentrasjoner i mars og april i perioden 2000 til 2020. Fargene viser oppholdsdager (oransje) og dager med nedbør > 0 mm (blå). Fra figuren kan man se at dagene uten nedbør vil ha høyere PM_{10} konsentrasjoner enn dagene med nedbør. Regresjonslinjen som er for dagene med nedbør har en negativ trend som vil si at målte PM_{10} konsentrasjoner minker med økende mengde nedbør. Bestemmelsenkoeffisienten, R²-verdien, er regnet ut for dager med nedbør mot PM_{10} konsentrasjon og R²-verdien er på 0,06. Det betyr at 6 % av variasjonen i PM_{10} konsentrasjonene skyldes variasjonen i nedbør.

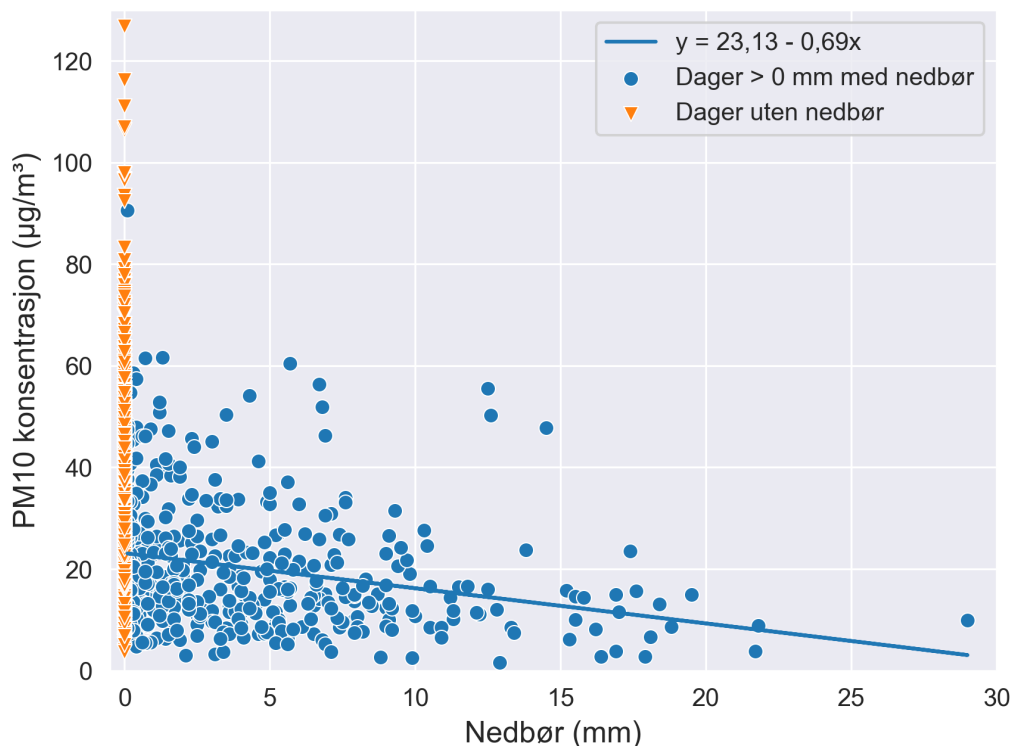
Figur 4.4.3 er et tilsvarende spredningsplott som figur 4.4.2, men i denne figuren er det kun dagene med nedbørsmengde over 1 mm i perioden mars og april 2000 til 2020 som er tatt med. Dette er for å lettere se sammenhengen mellom PM_{10} konsentrasjon



Figur 4.4.1: Samlet og separat nedbørsmengde for mars og april i perioden 2000 til 2020. Blå farge indikere mars og oransje farge indikerer april. Plottet er laget med døgndata

og nedbør for nedbørsdagene. Figuren viser at PM_{10} konsentrasjonene minker med økende nedbørsmengde. For nedbørsdagene med en nedbørsmengde over 10 mm har 17 % av dagene en PM_{10} konsentrasjon over $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mens for nedbørsdagene med en nedbørsmengde under 10 mm har 37 % av dagene en PM_{10} konsentrasjon over $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. R^2 -verdien for dager med nedbør over 1 mm mot PM_{10} er 0,05, som vil si at 5 % av variasjonen i PM_{10} konsentrasjonene skyldes variasjonen i nedbør når nedbørsdagene har mer enn 1 mm med nedbør.

Fra figurene kan man se at det er mye spredning i plottene som forklarer de lave bestemmelseskoefisientene. Spredningsplottene viser at man har noen dager med høye PM_{10} konsentrasjoner og mye nedbør, for eksempel ved dager med 12-15 mm nedbør og en PM_{10} konsentrasjon på $45\text{-}55 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dette er overraskende ettersom at det er forventet lave PM_{10} konsentrasjoner ved dager med mye nedbør. Dette skyldes trolig valget av å bruke nedbørdøgn i studien, og ikke kalenderdøgn. Det betyr at det kan ha vært opphold og tørt vær store deler av dagen, og at det har kommet kraftig nedbør i de timene som ikke blir registrert i samme PM_{10} døgn.



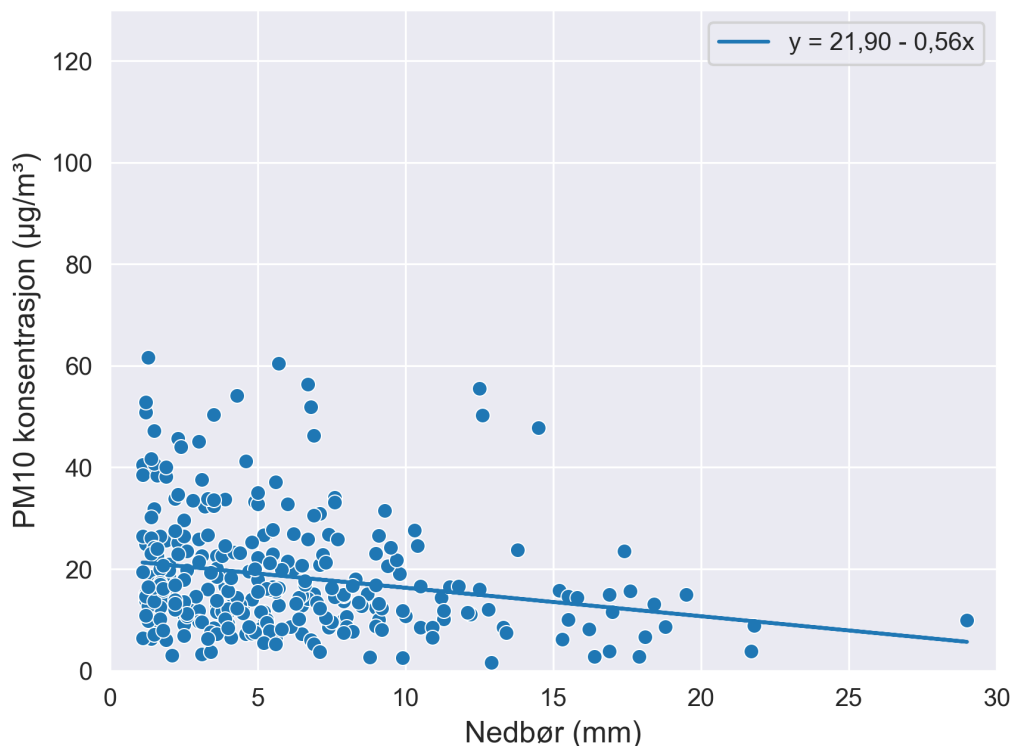
Figur 4.4.2: Spredningsplott som viser sammenhengen mellom PM_{10} konsentrasjon i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på y-aksen målt i Kirkeveien og nedbør i mm på x-aksen målt på Blindern. Blå sirkler er dager med nedbør over 0 mm og oransje trekantar er for dager uten nedbør. Regresjonslinjen er for dagene med nedbør og har ligningen: $y = 23,13 - 0,69x$.

4.4.2 Nedbør, opphold, luftkvalitet og sirkulasjonstype-klassifisering

Tabell 4.4.1 viser fordelingen av antall nedbørsdager, *litt* nedbørsdager og oppholdsdager i perioden mars og april 2000 til 2020 i de 10 ulike sirkulasjonstypene, jmf. underkapittel 3.2. Prosentandelene er regnet ut ved at totalt antall dager i samme sirkulasjonstype er 100 %.

Når det gjelder sirkulasjonstypene kan man se fra tabellen at for sirkulasjonstypene med storskala vindretning i sørøstlig og sørlig retning og lavtrykkssituasjon (CT2, CT8 og CT9) vil mer enn 50 % av dagene i perioden mars og april 2000 til 2020 ha nedbør i form av en nedbørsmengde som er over 1 mm eller mellom 0,1-1 mm med nedbør. For dager med sirkulasjonstype 9 har mer enn 70 % av dagene nedbør. For sirkulasjonstype 2 har 55 % av dagene mer enn 1 mm med nedbør. For de resterende sirkulasjonstypene (CT1, CT3, CT4, CT5, CT6, CT7 og CT10) vil over 50 % av dagene være dager uten nedbør. Høytrykkssituasjonen er den typen som skiller seg ut i tabell 4.4.1 der 91 % av dagene med denne sirkulasjonstypen, CT10, er oppholdsdager.

For nedbørsdager som har mer enn 1 mm med nedbør er det flest dager som har

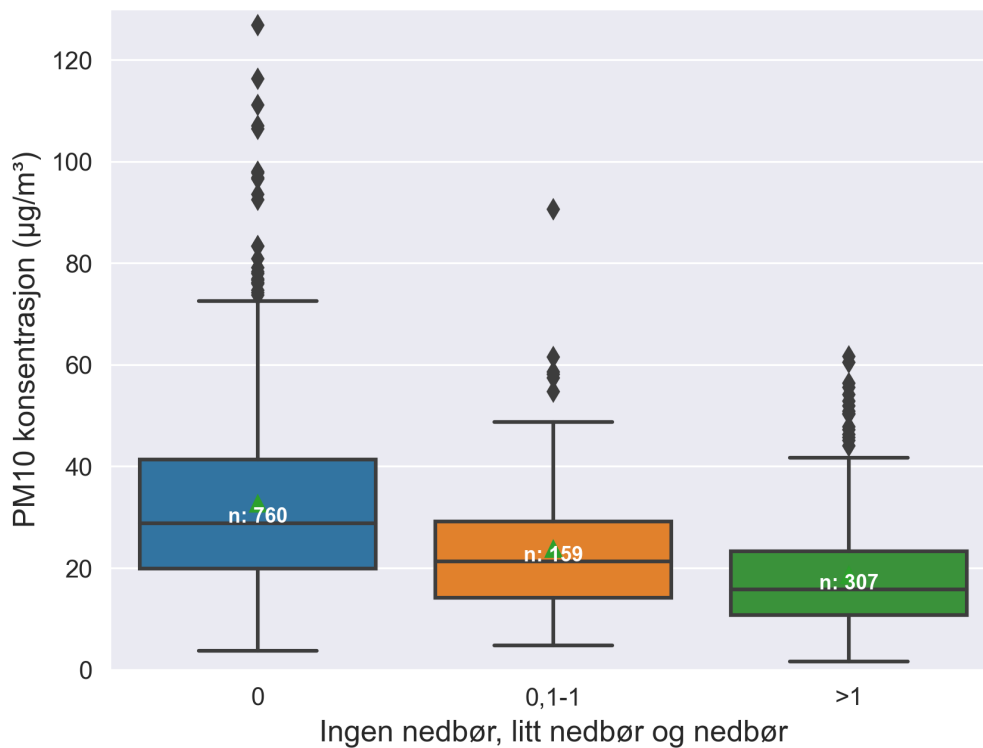


Figur 4.4.3: Spredningsplott for dager med over 1 mm med nedbør i perioden mars og april 2000 til 2020. Regresjonslinjen har ligningen: $y = 21,90 - 0,56x$. Y-aksen er PM₁₀ konsentrasjon målt ved målestasjonen i Kirkeveien og x-aksen er nedbør i mm målt ved værstasjonen på Blindern.

sirkulasjonstype 2 med omtrent en tredjedel av totalt antall nedbørsdager, 99 dager, etterfulgt av sirkulasjonstype 1 med 21 % av nedbørsdage, 64 dager. Sirkulasjonstype 5 og 10 har kun fire og tre dager som er nedbørsdager, som vil si at omtrent 1 % av nedbørsdage vil ha CT5 og CT10. Dette er forventet ettersom at sirkulasjonstype 5 og 10 har høytrykk over Sør-Norge.

Sirkulasjonstype 1 har 137 av oppholdsdage tilsvarende 18 %. 117 dager, 15 %, av oppholdsdage i perioden har CT3, og 108 dager, 14 %, har CT10. Sirkulasjonstype 9 er den som har færrest dager med opphold, og litt over 3 % av oppholdsdage har sirkulasjonstype 9 over Sør-Norge.

Figur 4.4.4 viser PM₁₀ konsentrasjonene på dagene uten nedbør, dager med *litt* nedbør og med nedbør. Antall dager i mars og april i perioden 2000 til 2020 uten nedbør er 760 dager, antall dager med *litt* nedbør (0,1-1 mm) er 159 dager og antall dager med mer enn 1 mm med nedbør er 307 dager. Gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon for oppholdsdage, *litt* nedbørsdage og nedbørsdage er henholdsvis 32,6 µg/m³, 23,8 µg/m³ og 18,6 µg/m³. Maksimum PM₁₀ konsentrasjon er henholdsvis 126,8 µg/m³, 90,8 µg/m³ og 61,6 µg/m³.



Figur 4.4.4: Boksdiagram med antall dager (n) i perioden mars og april 2000 til 2020 med opphold, *litt* nedbør, med en døgn-nedbørsmengde på 0,1-1 mm, og nedbør, med en nedbørsmengde på over 1 mm og PM₁₀ konsentrasjon. Y-aksen er PM₁₀ konsentrasjon målt ved målestasjonen i Kirkeveien og x-aksen er nedbørsmengde målt ved værstasjonen på Blindern.

Tabell 4.4.1: Tabell som viser totalt antall dager, nedbørsdager, dager med *litt* nedbør og oppholdsdager i de ulike sirkulasjonstypene 1 til 10, samt prosentandeler, i mars og april i perioden 2000 til 2020. I tillegg viser tabellen sum av antall dager i de fire kategoriene.

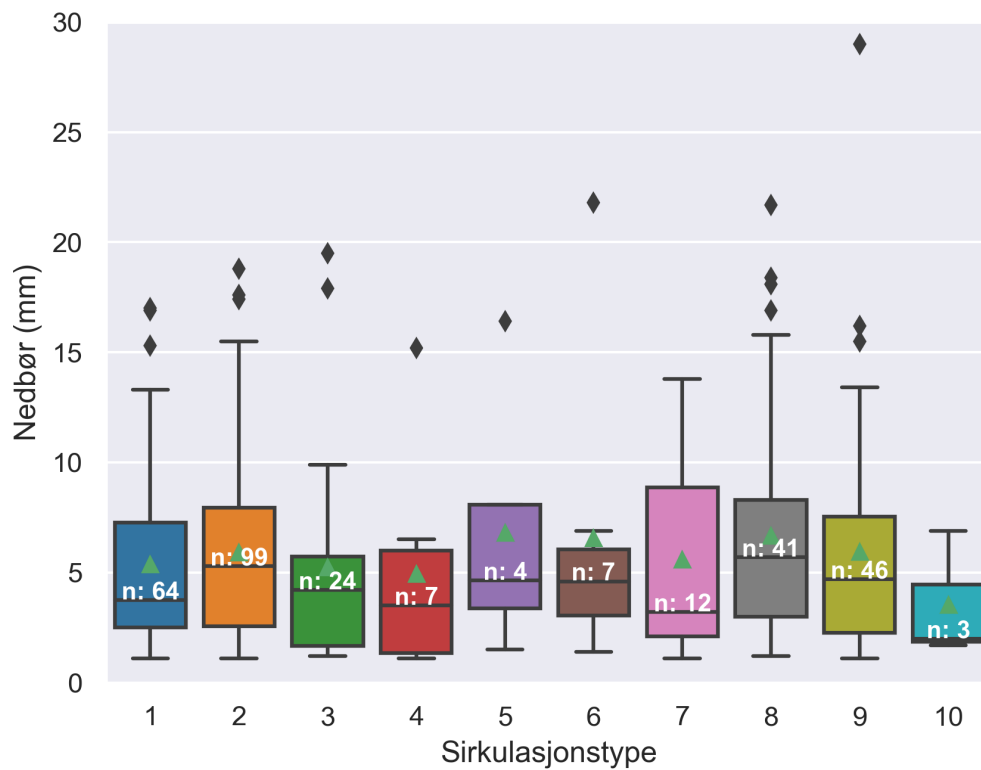
Sirkulasjons- type	Totalt antall dager (prosentandel)	Dager med >1 mm nedbør (prosentandel)	Dager med 0,1-1 mm nedbør (prosentandel)	Dager med 0 mm nedbør (prosentandel)
CT1	235 (19 %)	64 (27 %)	34 (15 %)	137 (58 %)
CT2	181 (15 %)	99 (55 %)	24 (13 %)	58 (32 %)
CT3	161 (13 %)	24 (15 %)	20 (12 %)	117 (73 %)
CT4	84 (7 %)	7 (8 %)	9 (11 %)	68 (81 %)
CT5	45 (4 %)	4 (9 %)	4 (9 %)	37 (82 %)
CT6	85 (7 %)	7 (8 %)	6 (7 %)	72 (85 %)
CT7	104 (8 %)	12 (11 %)	11 (11 %)	81 (78 %)
CT8	116 (9 %)	41 (35 %)	21 (18 %)	54 (47 %)
CT9	97 (8 %)	46 (47 %)	23 (24 %)	28 (29 %)
CT10	118 (10 %)	3 (3 %)	7 (6 %)	108 (91 %)
Sum	1226 (100 %)	307	159	760

Nedbørsdager

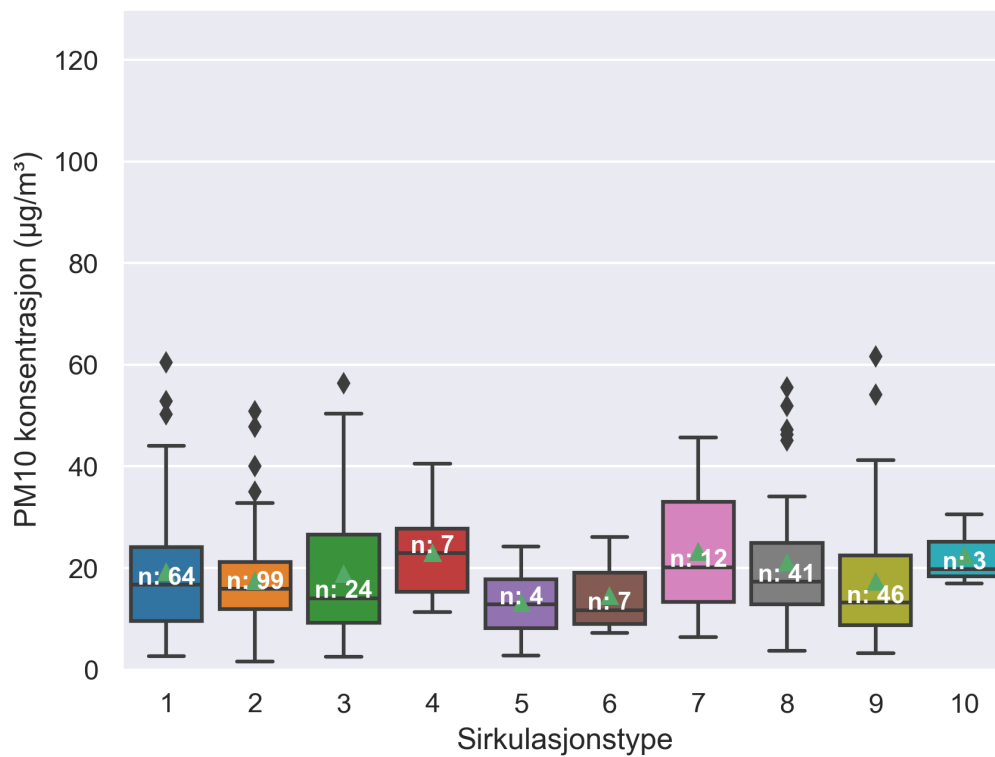
Figur 4.4.5 viser et boksdiagram over antall nedbørsdager (n) i mars og april år 2000 til 2020 ved de ulike sirkulasjonstypene, samt nedbørsmengde. Sirkulasjonstype 5 er den typen som har dager med høyest nedbørsgjennomsnitt på 6,8 mm med nedbør. Dagen med høyest nedbørsmengde, 29,0 mm med nedbør, har sirkulasjonstype 9.

Figur 4.4.6 viser et boksdiagram over hvordan PM₁₀ konsentrasjonen målt i Kirkeveien fordeler seg i de ulike sirkulasjonstypene til nedbørsdagene. Sirkulasjonstype 7 er den sirkulasjonstypen som høyest gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon på 23,2 µg/m³ for dager med mer enn 1 mm nedbør, etterfulgt at sirkulasjonstype 4 med 23,0 µg/m³, og sirkulasjonstype 10 med 22,4 µg/m³. Sirkulasjonstype 10 har riktignok kun tre dager med nedbør som gjør at denne sirkulasjonstypen vil være lite representativ for dagene med nedbør. Sirkulasjonstypen med lavest gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon er sirkulasjonstype 6 med 14,5 µg/m³. Dagen med høyest målt PM₁₀ konsentrasjon i Kirkeveien har sirkulasjonstype 9 og en PM₁₀ konsentrasjon på 61,6 µg/m³. Som nevnt tidligere kan dette skyldes at det er brukt nedbørdøgn i studien.

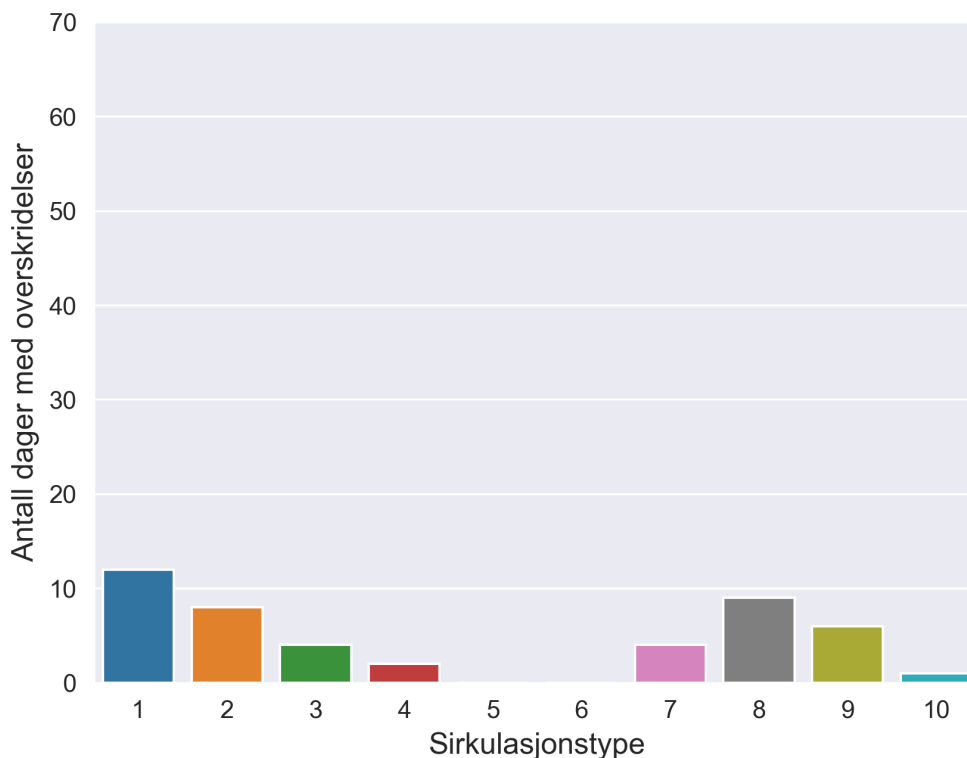
Figur 4.4.7 viser antall dager som overskrider luftkvalitetskriteriet for PM₁₀ i hver sirkulasjonstype og som samtidig har registrert 1 mm eller mer gjennom døgnet. Totalt antall dager som overskrider kriteriet er 46 dager. 12 av disse dagene har sirkulasjonstype 1 og ni dager har sirkulasjonstype 8. Sirkulasjonstype 5 og 6 har ingen dager som overskrider luftkvalitetskriteriet, og sirkulasjonstype 10 og 4 har henholdsvis kun én og to dager med PM₁₀ konsentrasjoner over 30 µg/m³. Det betyr at 1 av 3 dager med nedbør over 1 mm som har høytrykksituasjon over Sør-Norge



Figur 4.4.5: Boksdiagram som viser nedbørmengde for nedbørsdagene ved de ulike sirkulasjonstypene. Antall dager i hver sirkulasjonstype er betegnet med en n. Y-aksen er nedbør i millimeter og x-aksen er sirkulasjonstype 1 til 10.



Figur 4.4.6: Boksdiagram med antall dager (n) med mer enn 1 mm med nedbør i hver sirkulasjonstype fra 1 til 10 i og PM₁₀ konsentrasjon i perioden mars og april 2000 til 2020. Y-aksen er PM₁₀ konsentrasjon målt i Kirkeveien og x-aksen er sirkulasjonstype.



Figur 4.4.7: Antall dager med mer enn 1 mm med nedbør i hver sirkulasjonstype fra 1 til 10 som overskrider luftkvalitetskriteriet med PM₁₀ konsentrasjoner over 30 µg/m³ i perioden mars og april 2000 til 2020 målt i Kirkeveien. Y-aksen er antall dager med overskridelser av luftkvalitetskriteriet og x-aksen er sirkulasjonstype 1 til 10.

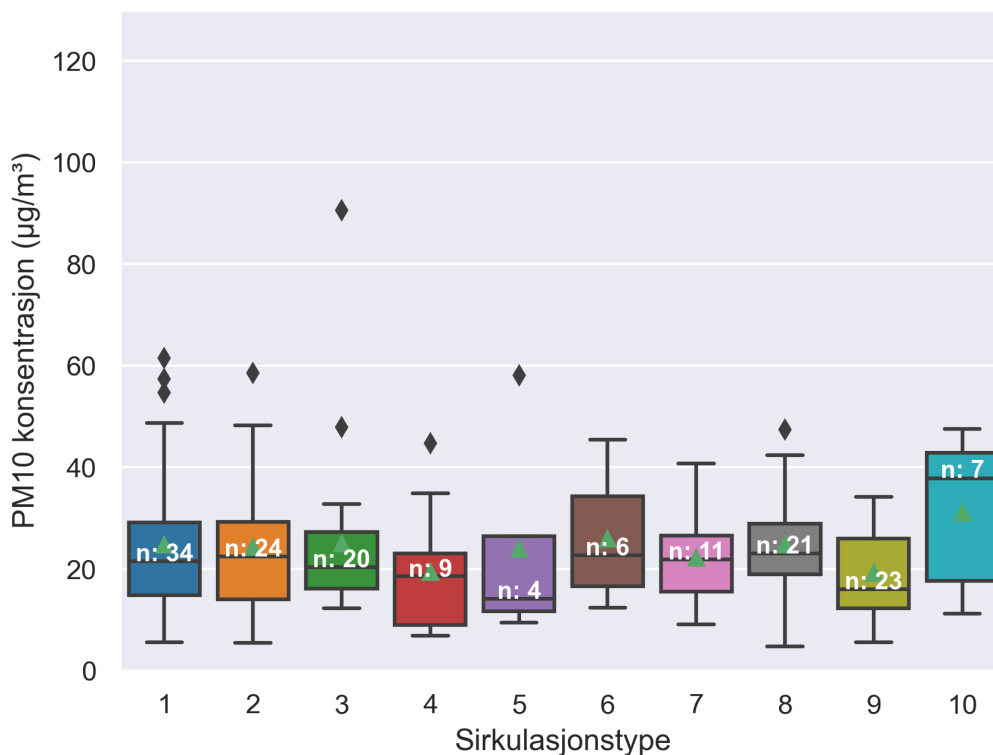
vil ha en PM₁₀ konsentrasjon over 30 µg/m³.

For nedbørsdagene er det ti dager som har en PM₁₀ konsentrasjon på over 50 µg/m³, og overskrider døgn grenseverdien for PM₁₀. Tre av dagene har sirkulasjonstype 3, én av dagene har sirkulasjonstype 2, to dager har sirkulasjonstype 3, to dager har sirkulasjonstype 8 og to dager har sirkulasjonstype 9, se figur G.0.1 i vedlegg G. Dette vil si at det er 297 nedbørsdager som holder seg under grenseverdien for PM₁₀ i mars og april i perioden 2000 til 2020.

Dager med *litt* nedbør

Figur 4.4.8 viser et boksdiagram for dagene med 0,1-1 mm med nedbør i perioden mars og april 2000 til 2020 og antall dager (n) i hver sirkulasjonstype 1 til 10 med tilhørende PM₁₀ konsentrasjon målt i Kirkeveien. Sirkulasjonstype 10 er den som typen som har høyest døgn PM₁₀ gjennomsnitt på 31,1 µg/m³, etterfulgt av sirkulasjonstype 6 med et PM₁₀ gjennomsnitt på 26,0 µg/m³. Sirkulasjonstypen som har dager med lavest PM₁₀ gjennomsnitt er sirkulasjonstype 9 med 19,3 µg/m³.

Figur 4.4.9 viser antall dager med *litt* nedbør (0,1-1 mm) i hver sirkulasjonstype 1 til 10 som overskrider døgn luftkvalitetskriteriet til PM₁₀. Totalt er det 38 dager



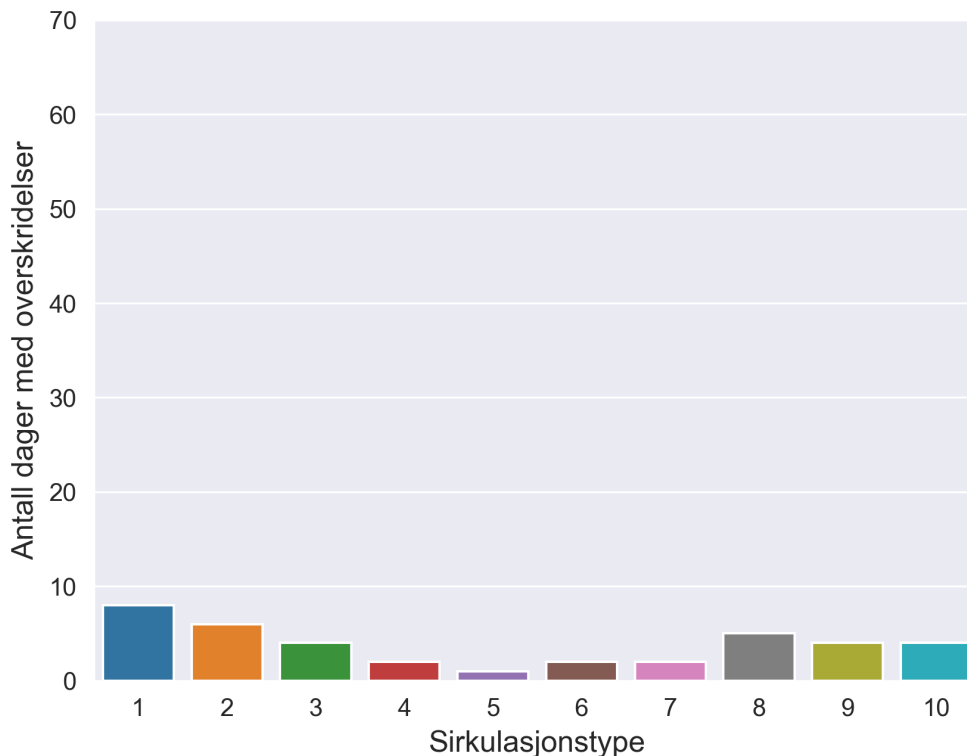
Figur 4.4.8: Boksdiaagram med antall dager (n) med 0,1-1 mm med nedbør i hver sirkulasjonstype fra 1 til 10 og PM₁₀ konsentrasjon i perioden mars og april 2000 til 2020. Y-aksen er PM₁₀ konsentrasjon i µg/m³ målt i Kirkeveien og x-aksen er sirkulasjonstype 1 til 10.

som overskrider luftkvalitetskriteriet, det vil si at det er omtrent 24 % av dagene med 0,1-1 mm med nedbør som har PM₁₀ konsentrasjoner over 30 µg/m³. Av disse dagene er det flest dager med sirkulasjonstype 1 med åtte dager. Det er fire dager med høytrykksituasjon over Sør-Norge som har *litt* nedbør og som overskrider luftkvalitetskriteriet for PM₁₀, det vil si at 57 % av dagene med sirkulasjonstype 10 vil ha PM₁₀ konsentrasjon over 30 µg/m³.

For dagene med nedbør mellom 0,1-1 mm er det seks dager som overskrider døgngrensverdien for PM₁₀. Tre dager har sirkulasjonstype 1 og de resterende tre dagene har sirkulasjonstype 2, 3 og 5, se figur G.0.2 i vedlegg G.

Oppholdsdager

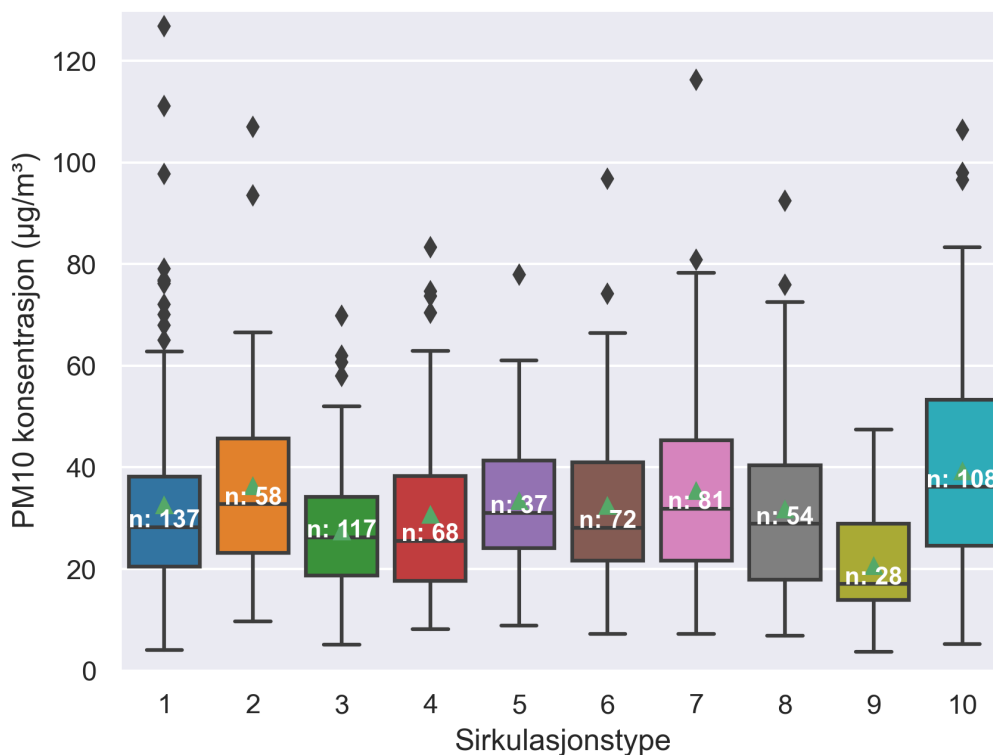
Figur 4.4.10 viser et boksdiaagram av antall dager (n) uten nedbør med sirkulasjonstype 1 til 10, samt PM₁₀ konsentrasjoner i mars og april i perioden 2000 til 2020. Boksdiaagrammet viser at sirkulasjonstype 10 er den typen der dagene har høyest gjennomsnittlig døgnerverdi av PM₁₀ med et gjennomsnitt på 39,2 µg/m³. Dagene med sirkulasjonstype 9 har lavest gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon på 20,6 µg/m³. Det vil si at sirkulasjonstype 10 har en dobbelt så høy gjennomsnittlig PM₁₀ verdi som sirkulasjonstype 9.



Figur 4.4.9: Antall dager med 0,1-1 mm med nedbør i hver sirkulasjonstype fra 1 til 10 som overskrider luftkvalitetskriteriet med PM_{10} konsentrasjoner over $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i perioden mars og april 2000 til 2020 målt i Kirkeveien. Y-aksen antall dager med overskridelser av luftkvalitetskriteriet og x-aksen er sirkulasjonstype 1 til 10.

Figur 4.4.11 viser dager uten nedbør med overskridelser av henholdsvis luftkvalitetskriteriet, figur 4.4.11a, og grenseverdien, figur 4.4.11b, for PM_{10} ved midlingstid på 24 timer. Totalt er det 360 dager med opphold som overskrider luftkvalitetskriteriet, det vil si at 47 % av totalt antall dager uten nedbør har PM_{10} konsentrasjoner over $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Av disse 360 dagene har 67 dager sirkulasjonstype 10 (19 %) og 64 dager har sirkulasjonstype 1 (18 %). Det betyr at mer enn halvparten av alle dagene med opphold som har sirkulasjonstype 10 vil overskride luftkvalitetskriteriet. Sirkulasjonstype 9 er den typen med færrest dager som overskrider luftkvalitetskriteriet med kun fem dager.

Antall dager med opphold som overskrider døgn grenseverdien for PM_{10} er 113 dager som tilsvarer at 15 % av dagene uten nedbør har en PM_{10} konsentrasjon på over $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se figur 4.4.11b. I likhet med overskridelser av luftkvalitetskriteriet er det sirkulasjonstype 10 som har flest dager uten nedbør som overskrider grenseverdien. Sirkulasjonstype 10 har 30 dager som har PM_{10} konsentrasjoner over $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, som vil si at 27 % av dagene uten nedbør med PM_{10} konsentrasjon over $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ har sirkulasjonstype 10. Sirkulasjonstype 9 har ingen dager uten nedbør med PM_{10} over $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ettersom at det er flest oppholdsdager som overskrider luftkvalitetskri-



Figur 4.4.10: Boksdiagram med antall dager (n) uten nedbør i hver sirkulasjonstype fra 1 til 10 og PM₁₀ konsentrasjon i perioden mars og april 2000 til 2020 målt i Kirkeveien. Y-aksen er PM₁₀ konsentrasjon i µg/m³ og x-aksen er sirkulasjonstype 1 til 10.

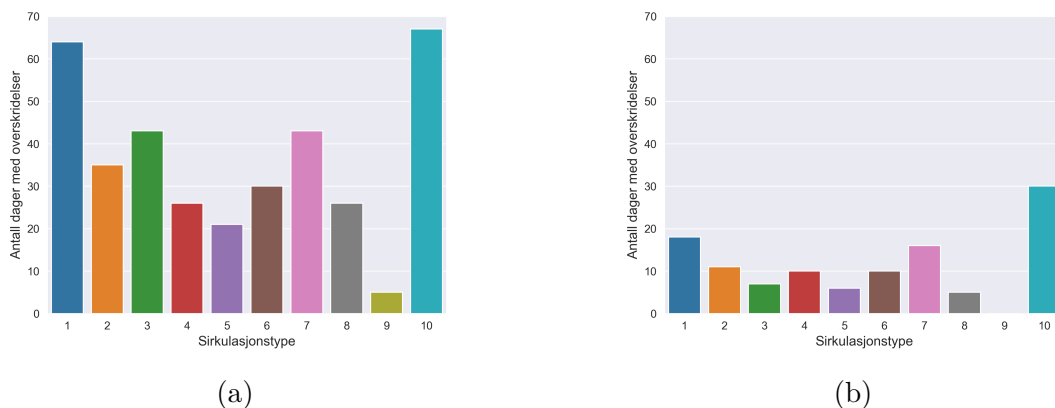
teriet og grenseverdien for PM₁₀ blir disse to figurene relativt like figurene i figur 4.3.2.

4.5 Luftkvalitet og vind

I dette underkapittelet fremstilles vindretningene målt på Blindern og Tryvann som vindroser. Deretter beskrives sammenhengen mellom PM₁₀ og lokal vindretning på Blindern i perioden mars og april 2000 til 2020. Til slutt studeres sammenhengen mellom PM₁₀ og lokal vindhastighet målt på Blindern, og koblingen mellom vindhastighet og sirkulasjonstype-klassifiseringen.

4.5.1 Vindroser for Blindern og Tryvann

Figur 4.5.1 og 4.5.2 viser henholdsvis vindroser for Blindern og Tryvann i perioden mars og april 2000 til 2020. Vindrosene viser timesoppløsning for vindhastighet og vindretning for de to værstasjonene. For vindrosene laget med målinger fra Blindern ligner sirkulasjonstype 1, 2 og 10 på hverandre da de har vindretninger i sørvest og nordøstlig retning. Sirkulasjonstype 3 har en stor variasjon i vindretning, der vindretningen varierer mellom 180 til 45° som er retninger fra sør til nordøst. Sir-



Figur 4.4.11: Antall dager uten nedbør som overskrider henholdsvis luftkvalitetskriteriet, 4.4.11a, og grenseverdien, 4.4.11b, til PM_{10} med en midlingstid på 24 timer i hver sirkulasjonstype fra 1 til 10. PM_{10} konsentrasjonene er døgnverdier målt ved luftkvalitetsmålestasjonen ved Kirkeveien.

kulasjonstype 4 til 9 har relativt like vindroser med dominerende vindretning fra nord-nordøst. I tillegg har disse sirkulasjonstypene også vindretning fra sør-sørvest.

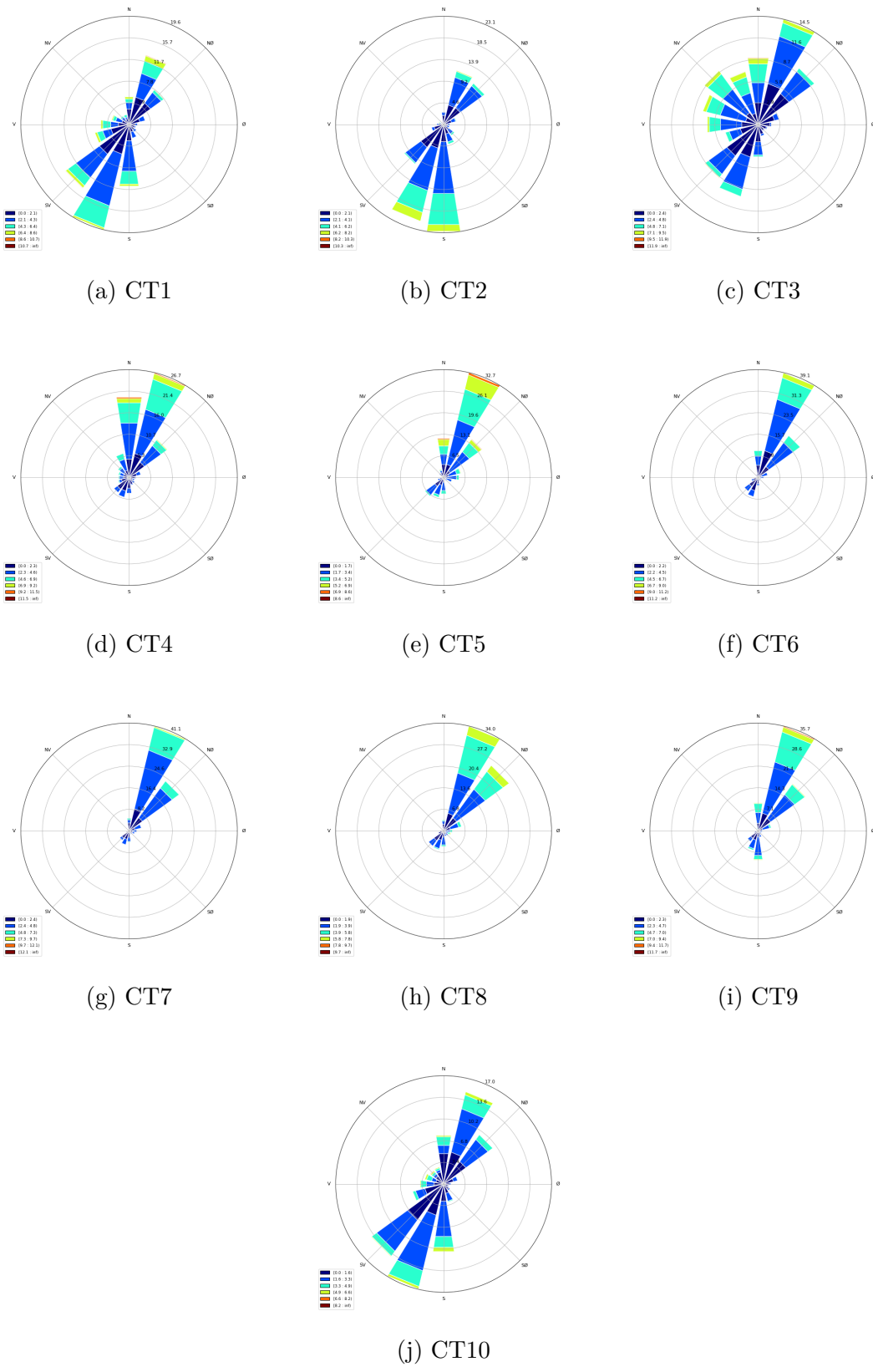
For vindrosene laget med målinger fra værstasjonen på Tryvann, figur 4.5.2, kan man se at vindretningene er mer spredt enn hva de er på Blindern. Sirkulasjonstype 1 og 10 har lignende vindroser med vindretninger fra 180 til 360°, sør til nord. Sirkulasjonstype 2 har hovedsakelig vindretning fra sørøst, sør og sør-sørvest. Sirkulasjonstype 3 har vindretninger fra sørvest til nord. Fra figuren kan man se at vindrosene til sirkulasjonstype 4, 5 og 6 ligner hverandre med vindretninger fra nord og nordøst, og sirkulasjonstype 7, 8 og 9 ligner hverandre med vindretninger fra nordøst, øst og sørøst.

4.5.2 Storskala og lokal vindretning

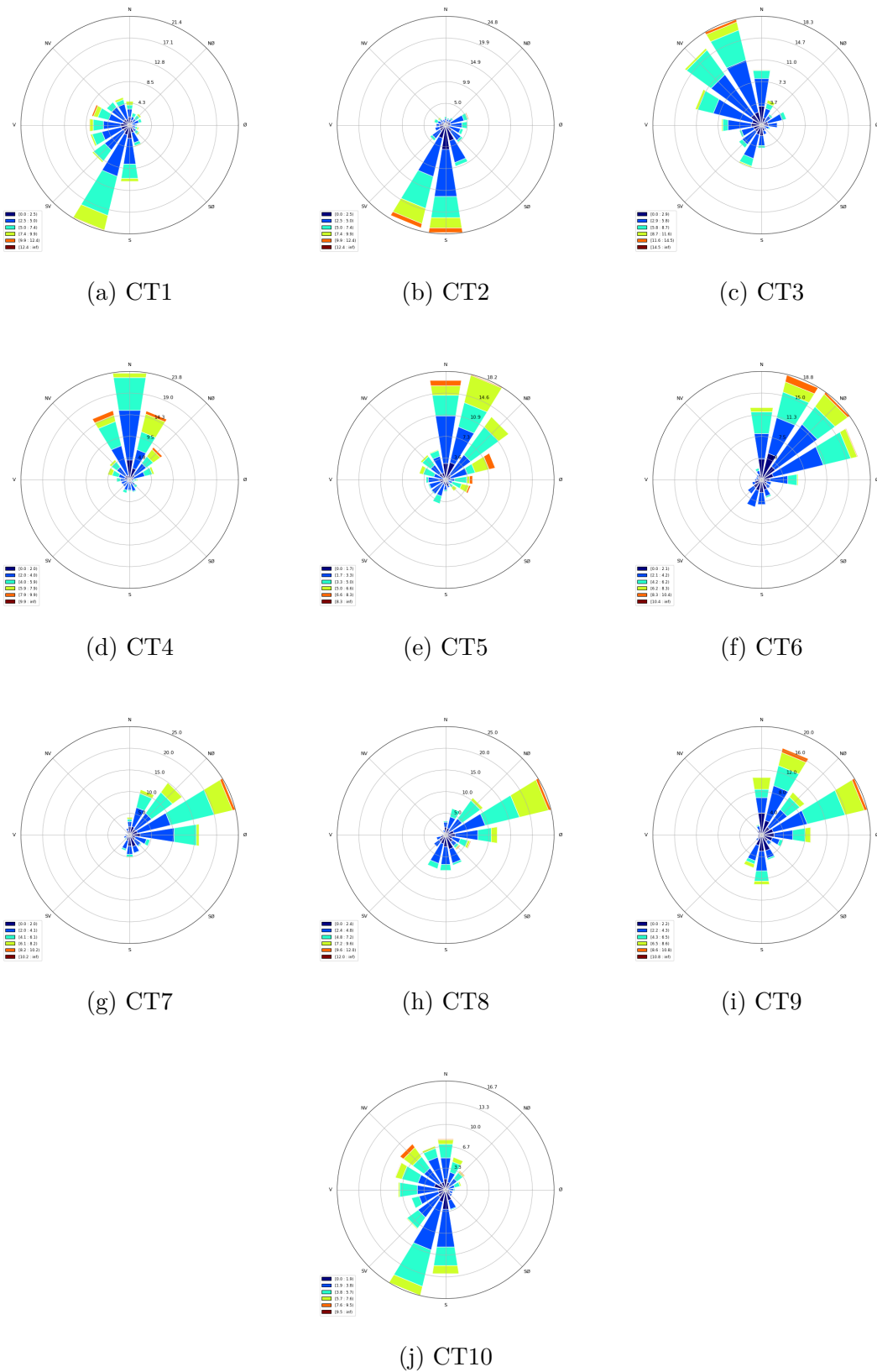
Tabell 4.5.1 presenterer hvilken storskala vindretning som er representativ over Sør-Norge ved de ti ulike sirkulasjonstypene, samt den dominerende lokale vindretningen som er målt på Blindern og Tryvann for perioden mars og april i 2000 til 2020. Storskala vindretning er hentet fra figur 3.3.1, mens dominerende lokal vindretning er hentet fra figur 4.5.1 og 4.5.2.

4.5.3 Sammenhengen mellom PM_{10} og vindretning målt på Blindern i perioden mars og april 2000 til 2020

For å undersøke sammenhengen mellom lokal vindretning og PM_{10} er det filtrert for vindretninger når vindhastigheten er lav, her er lave vindhastigheter under 2,0 m/s. Grunnen til denne filtreringen er at det er vanskelig å si noe om hvilken retning vinden blåser når vindhastigheten er lav ettersom at vinden blir preget av tilfeldige bevegelser i luften. Figur 4.5.3 viser sammenhengen mellom vindretning og PM_{10} konsentrasjon for vindretninger når vindhastigheten er over 2,0 m/s. Vindretning er



Figur 4.5.1: Vindroser for sirkulasjonstype 1 til 10. Vindhastighet og vindretning er for værstasjonen på Blindern i perioden mars og april fra 2000 til 2020.



Figur 4.5.2: Vindroser for sirkulasjonstype 1 til 10. Vindhastighet og vindretning er for værstasjonen på Tryvann i perioden mars og april fra 2000 til 2020.

Tabell 4.5.1: Tabell over hvilken storskala vindretning man har over Sør-Norge og hvilken dominerende lokal vindretning man har på Blindern og Tryvann i mars og april i perioden 2000 til 2020 ved de ti ulike sirkulasjonstypene.

Sirkulasjonstype	Storskala vindretning over Sør-Norge	Dominant lokal vindretning på Blindern	Dominant lokal vindretning på Tryvann
CT1	Vest	Sørvest	Sørvest
CT2	Sørvest	Sør-sørvest	Sør
CT3	Nordvest	Nordvest	Nordvest
CT4	Nord	Nord-nordøst	Nord
CT5	Nordøst	Nord-nordøst	Nord-nordøst
CT6	Øst	Nord-nordøst	Nordøst
CT7	Sørøst	Nord-nordøst	Øst-nordøst
CT8	Sør	Nord-nordøst	Sørøst
CT9	Øst-sørøst	Nord-nordøst	Øst
CT10	Vest-nordvest	Sør-sørvest	Vest

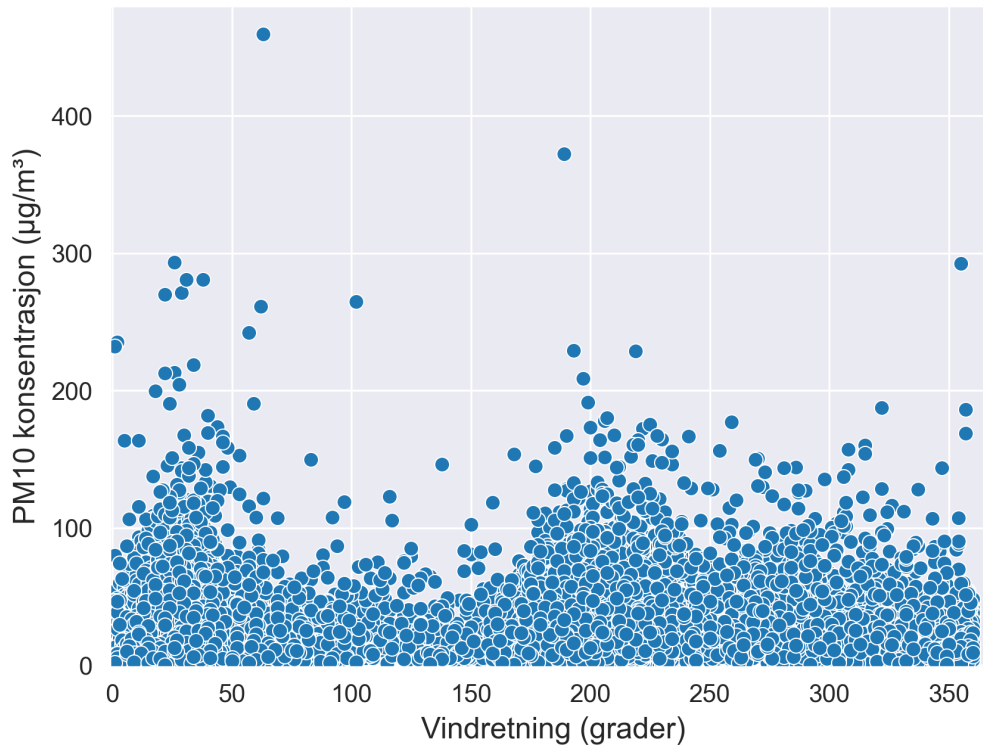
målt ved værstasjonen på Blindern og PM₁₀ konsentrasjonene er målt ved målestasjonen i Kirkeveien. I figurene er 0 og 360° nord, 90° er øst, 180° er sør og 270° er vest.

Figuren viser to oppsamlinger av høye PM₁₀ konsentrasjoner ved 0 til 50° (nord nordøstlig vindretning) og 175 til 240° (sør sørvestlig vindretning). Mellom 75 til 160° (øst sørøstlig vindretning) er det kun ni målinger over 100 µg/m³.

4.5.4 Sammenhengen mellom PM₁₀ og vindhastighet målt på Blindern i perioden mars og april 2000 til 2020

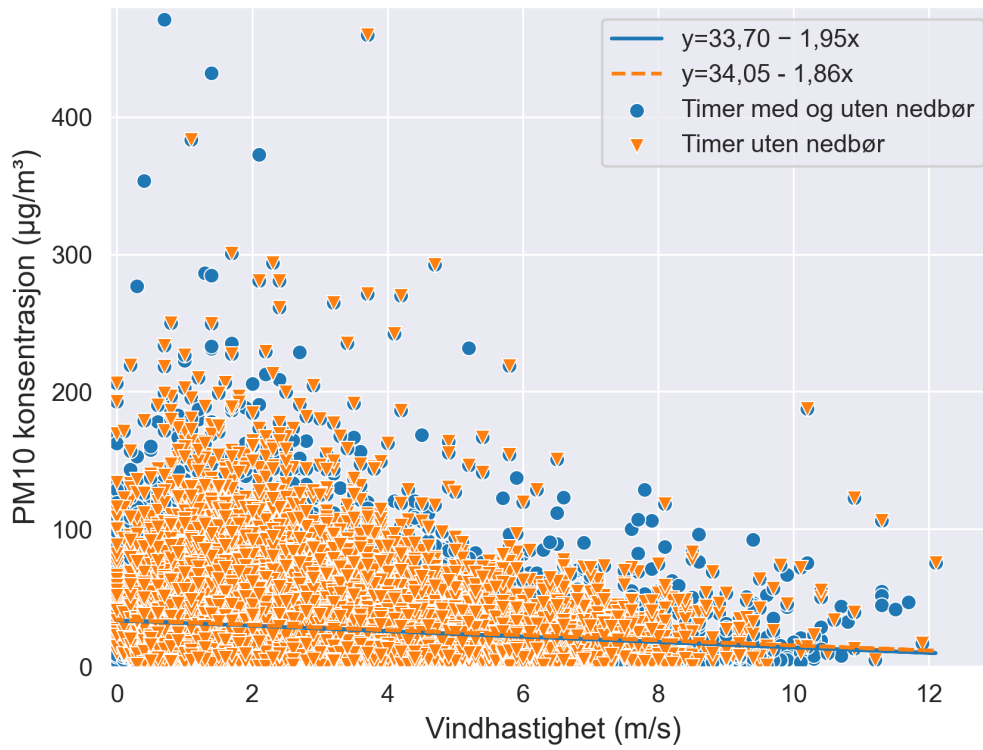
Figur 4.5.4 viser sammenhengen mellom vindhastighet og PM₁₀ konsentrasjoner for timer uten nedbør og timer med og uten nedbør. Målinger av vindhastigheten er målinger med timesoppløsning fra værstasjonen på Blindern, og målinger av PM₁₀ konsentrasjonene er målinger med timesoppløsning fra målestasjonen i Kirkeveien. Begge målingene er fra perioden mars og april 2000 til 2020. Grunnen til at man filtrerer for timer uten nedbør er for å undersøke sammenhengen mellom vindhastighet og PM₁₀ konsentrasjoner når bakken er tørr.

Fra figuren kan man se at PM₁₀ konsentrasjonen synker med økende vindhastighet, og regresjonsligningene ligner hverandre. Man kan se et skille ved 2,0 m/s. Ved vindhastigheter under 2,0 m/s har man verdier med høye PM₁₀ konsentrasjoner, mens for vindhastigheter over 2,0 m/s er den negative trenden tydeligere og man har en gradvis reduksjon av PM₁₀. Dette kan tyde på at svevestøvpartiklene spres lettere ved vindhastigheter over 2,0 m/s enn ved vindhastigheter under 2,0 m/s.

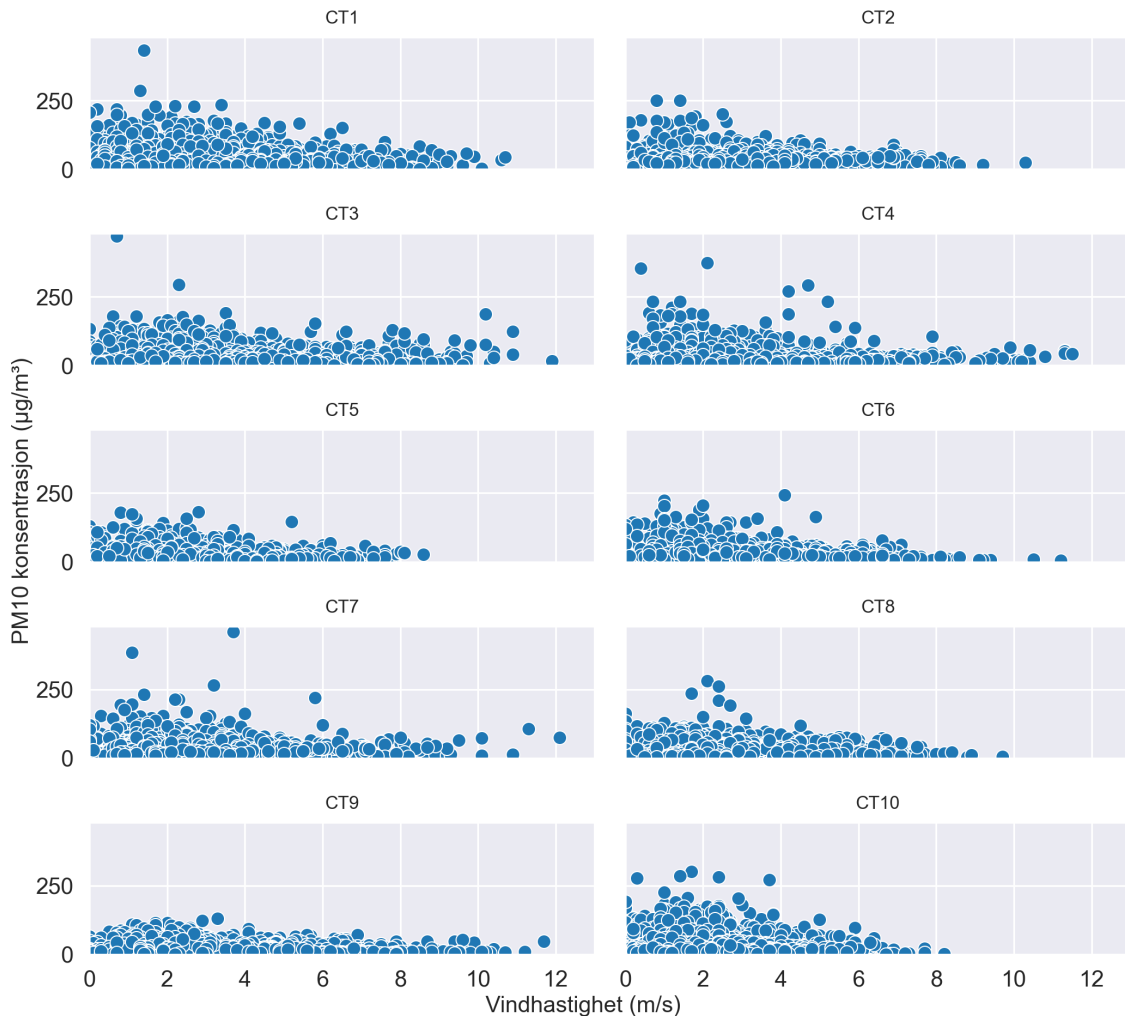


Figur 4.5.3: Spredningsplott som har PM_{10} konsentrasjon på y-aksen og vindretning i grader på x-aksen. Målingene gjelder for vindhastigheter over 2,0 m/s. Målingene av vindretning og PM_{10} er data med timesoppløsning, målt ved henholdsvis værstasjonen på Blindern og målestasjonen for luftkvalitet i Kirkeveien.

Figur 4.5.5 viser sammenhengen mellom vindhastighet målt på Blindern og PM_{10} målt i Kirkeveien ved de ti ulike sirkulasjonstypene, i mars og april i perioden 2000 til 2020. Felles for sirkulasjonstypene er at man kan se at PM_{10} konsentrasjonene minsker med økende vindhastighet. For sirkulasjonstype 5, 8 og 10 er det ingen målte vindhastigheter over 10 m/s. Tilsvarende for figur 4.5.5 som figur 4.5.4 kan man se et skille ved 2,0 m/s for flere av sirkulasjonstypene.



Figur 4.5.4: Spredningsplott som viser sammenhengen mellom PM_{10} konsentrasjon og vindhastighet for timer uten nedbør, oransje trekkanter, og for timer uten og med nedbør, blå sirkler. Y-aksen er PM_{10} konsentrasjon i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ målt i Kirkeveien og x-aksen er vindhastighet i m/s målt ved værstasjonen på Blindern. Ligningen til regresjonslinjen for timer uten nedbør er: $34,05 - 1,86x$, og ligningen til regresjonslinjen for timer uten og med nedbør er: $y = 33,70 - 1,95x$.



Figur 4.5.5: 10 spredningsplott som viser PM_{10} konsentrasjon på y-aksen i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i time-soppløsning målt ved målestasjonen i Kirkeveien og vindhastighet i m/s på x-aksen i time-soppløsning målt ved værstasjonen på Blindern. De 10 spredningsplotene er for sirkulasjonstype 1 til 10.

5 Diskusjon

I denne studien har hovedmålsetningen vært å undersøke hvordan atmosfærisk sirkulasjon påvirker svevestøv, i form av PM_{10} i Oslo. For å svare på problemstillingen har det blitt gjort en analyse av hvordan PM_{10} nivåene har utviklet seg og hvordan sirkulasjonstype-klassifiseringen ser ut i Oslo i løpet av tidsperioden mars og april 2000 til 2020. Sammenhengen mellom de meteorologiske forholdene nedbør og vind, PM_{10} konsentrasjoner og atmosfærisk sirkulasjon har også blitt undersøkt. I tillegg har fire tiltaksutredninger for bedre luftkvalitet i Oslo blitt sammenfattet for å finne ut hvilke tiltak rettet mot biltrafikken som bidrar til mest reduksjon av PM_{10} i Oslo.

Fra resultatene kan man se at det er noen sirkulasjonstyper som skiller seg ut og som vil være mer sannsynlig forekommende ved dager med høye og lave PM_{10} konsentrasjoner i Oslo. Dette er forventet ettersom den atmosfæriske sirkulasjonen har karakteristiske trykkmønstre og værforhold.

Figurene 4.2.1 og 4.2.2 viser som nevnt ikke en tydelig trend i forekomsten av sirkulasjonstyper i perioden mars og april 2000 til 2020, noe som kan skyldes at tidsserien i denne studien er for kort. Det man derimot kan se fra figurene er at det er en sammenheng mellom forekomsten av sirkulasjonstyper i mars og april hver for seg ved år med høye og lave gjennomsnittlige PM_{10} konsentrasjoner. For eksempel viser de to figurene sammenlignet med figur 4.1.2 at dager med sirkulasjonstype 10 forekommer i flere av årene med høy PM_{10} konsentrasjon, men ikke i flere av årene med lav PM_{10} konsentrasjon.

Sirkulasjonstype 10 skiller seg derfor ut som en sirkulasjonstype med dager med høye PM_{10} konsentrasjoner. CT10 har storskala vindretning over Sør-Norge i vest nordvestlig retning og har et høytrykk sentrert over Sør-Norge. I tidsperioden mars og april 2000 til 2020 er 91 % av dagene med sirkulasjonstype 10 dager uten nedbør som skyldes høytrykkssituasjonen over Oslo. Som forventet har dager uten nedbør høyere PM_{10} konsentrasjoner enn dager med nedbør. Det forventes lite langtransport av svevestøv inn mot Oslo ved høytrykkssituasjonen og dagene med CT10 og høye PM_{10} konsentrasjoner skyldes derfor lokal forurensning. Dette kan tyde på at de lokale kildene til PM_{10} er det viktigste kildene.

Undersøker man figurene 4.2.1, 4.2.2 og 4.1.2 ser man at dager med sirkulasjonstype 1 forekommer både i perioder med høye og lave PM_{10} konsentrasjoner. Fra tabell 4.4.1 kan man se at 58 % av dagene med CT1 vil være oppholdsdager og 42 % av dagene vil ha nedbør. Dagene med sirkulasjonstype 1 og opphold vil ha en høyere PM_{10} konsentrasjon enn dager med CT1 og nedbør. Tilsvarende vil det også være for dager med sirkulasjonstype 2 og 8 der begge sirkulasjonstypene forekommer (6 eller flere dager) på dager med høye og lave PM_{10} konsentrasjoner.

Figurene viser at dager med sirkulasjonstype 9 forekommer i perioder med lave PM_{10} konsentrasjoner. Sirkulasjonstype 9 har storskala vindretning i øst sørøstlig retning og et lavtrykk over Sør-Norge. Fra tabell 4.4.1 kan man se at 71 % av dagene med CT9 vil ha nedbør over 0,1 mm. Dette forklarer at sirkulasjonstype 9 er en sirkulasjonstype med lave PM_{10} konsentrasjoner ettersom det med høy sannsynlighet vil være nedbør

disse dagene. Nedbøren er assosiert med lavtrykket som ligger over Sør-Norge som fører til at luften stiger, deretter avkjøles og vanndamp kondenserer til dråper og regn.

Studiene gjort av Demuzere et al. (2009), i Nederland, og Baltaci et al. (2019), i Vest-Tyrkia, konkluderer med at det finnes sammenhenger mellom høye forekomster av PM_{10} konsentrasjoner og visse sirkulasjonstyper. I Vest-Tyrkia er høye PM_{10} konsentrasjoner på våren, og generelt for hele året, assosiert med storskala vindretning fra sørøst, sør og sørvest. Årsaken til dette er langtransport av svevestøvpartikler fra Sahara (Baltaci et al., 2019). For Nederland er de høye PM_{10} konsentrasjonene assosiert med storskala vindretninger fra øst og sør, som kan være knyttet til transport av PM_{10} fra industriområdet Ruhr i delstaten Nordrhein-Westfalen vest i Tyskland (Demuzere et al., 2009).

For storskala vindretning assosiert med lave PM_{10} konsentrasjoner om våren i Vest-Tyrkia kommer vinden fra de nordlige retningene, nord, nordøst og nordvest. I nordøstlig retning passerer vinden Marmarahavet og tar med seg varm og fuktig luft som fører til lave PM_{10} konsentrasjoner (Baltaci et al., 2019). I Nederland er dagene med lave PM_{10} konsentrasjoner om våren assosiert med storskala vindretning i vest til norvestlig retning (Demuzere et al., 2009).

Baltaci et al. (2019) konkluderer med at resultatene er viktige ettersom at man kan ta forholdsregler ved forekomsten av atmosfæriske sirkulasjonstyper som er forbundet med høye konsentrasjoner av luftforurensning for å unngå negative helseeffekter for risikogrupper i befolkningen.

Fra figur 3.3.1 kan man se at sirkulasjonstype 7 og 8 vil ha transportmønstre fra deler av Europa og inn mot Norge, med storskala vindretning fra sørøst og sør. Det kan derfor forventes at på dager med disse sirkulasjonstypene vil man få langtransport av svevestøv. Fra figur 4.3.1 og 4.3.2 ser man at disse sirkulasjonstypene har middels gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon, og ikke skiller seg ut med mange dager som overskrider luftkvalitetskriteriet eller grenseverdien for PM_{10} . Dette underbygger at kilden til PM_{10} er hovedsakelig lokal, og som nevnt tidligere at PM_{10} bidrar til lokal luftforurensning. For storskala vindretning fra nord og nordvest, sirkulasjonstype 3 og 4, forventes det lite langtransport av PM_{10} . Dager med sirkulasjonstype 3 og 4 vil mest sannsynlig ha opphold, henholdsvis 73 og 81 % av dagene i perioden, se tabell 4.4.1, og sirkulasjonstypene har en middels gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon, se figur 4.3.1. Dette tyder også på at PM_{10} forurensningen, målt i Kirkeveien, hovedsakelig kommer fra lokale kilder.

5.1 Hvordan PM_{10} konsentrasjonen har endret seg i Oslo i perioden mars og april 2000 til 2020

PM_{10} konsentrasjonen i Oslo i tidsperioden mars og april 2000 til 2020 har hatt en positiv utvikling ved at PM_{10} konsentrasjonen har en negativ trend både for målinger gjort i Kirkeveien og for de tre målestasjonene Kirkeveien, Rv4 Aker og Sofienbergparken. Begge kurvene i figur 4.1.1 ligner hverandre og har lik trend, noe

som kan tyde på at PM_{10} målingene i Kirkeveien er en god indikasjon på hvordan PM_{10} nivåene i Oslo byområde ser ut. Årsaken til at kurven for Kirkeveien, Rv4 Aker og Sofienbergparken har lavere PM_{10} konsentrasjon for flere av årene skyldes trolig at målestasjonen i Sofienbergparken er en bybakgrunnsstasjon. I tillegg ble PM_{10} konsentrasjonene betydelig redusert ved Rv4 Aker etter at tiltakene mot biltrafikken ble innført i 2004 og 2005 (Hagen et al., 2005).

Kurvene i figur 4.1.2 viser at det er store variasjoner i hvordan PM_{10} nivåene er separat for mars og april i perioden 2000 til 2020. Fra figuren kan man se at det er flere år der mars har høyere PM_{10} konsentrasjoner enn april, enn at april har høyest PM_{10} konsentrasjoner. Dette kan komme av at snøen ofte smelter i mars. Rett etter snøsmeltingen er det vanlig å få oppvirvling av høye konsentrasjoner av svevestøv siden svevestøvet har vært bundet opp i snø og is. Til videre analyse kan man ta med snødekke og undersøke hvordan snødekke ser ut i mars og april. Andre grunner til at mars ofte har høyere PM_{10} konsentrasjoner enn april er forekomsten av sirkulasjonstyper. Fra tabell 4.2.2 kan man se at mars har et høyere gjennomsnitt av CT10 som er assosiert med dager med høye PM_{10} konsentrasjoner. I tillegg viser figur 4.4.1 at april i tidsperioden har en høyere gjennomsnittlig nedbørsmengde enn mars.

5.2 Hvordan nedbør målt på Blindern påvirker PM_{10} konsentrasjonene lokalt i Oslo

Nedbør er en av de meteorologiske variablene som bidrar mest til reduksjon av svevestøv og PM_{10} i luften, og som forventet har dager med nedbør lavere PM_{10} konsentrasjoner enn dager uten nedbør. Nedbør bidrar også til reduksjon av svevestøv ved å redusere kilden til svevestøv fra overflaten. Grovfraksjon vil i mindre grad fjernes fra luften ved nedbør og utvasking ettersom at PM_{10} har sin hovedkilde fra bakken ved oppvirvling av svevestøv. $PM_{2,5}$ vil være mindre følsom for nedbør ettersom at $PM_{2,5}$ ikke har hovedkilde fra bakken.

Fra figur 4.4.2 og 4.4.3 kan man se at man har dager med høye PM_{10} konsentrasjoner og høye nedbørmålinger. Dette er et uventet resultat og kommer trolig av at det i denne studien er blitt brukt nedbørdøgn for nedbør istedenfor kalenderdøgn grunnet mye mangler i timesdata for nedbør målt ved værstasjonen på Blindern. Etter behandling av døgndata for nedbør vil nedbørdøgnet som nå har loggført data ha 18 timer med riktig loggført data og seks timer med data fra døgnet før. Det betyr at disse seks timene vil havne i feil PM_{10} dag, som kan føre til et misvisende resultat. Man kan derfor ha flere timer med opphold som leder til høye PM_{10} verdier selv om det faller nedbør et par timer på starten av døgnet.

For nedbørsdagene som er dager hvor det faller mer enn 1 mm med nedbør overskrider 15 % av dagene luftkvalitetskriteriet på over $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per døgn i perioden mars og april 2000 til 2020. For litt nedbørsdagene som er dager med 0,1-1 mm med nedbør overskrider 24 % av dagene luftkvalitetskriteriet, og for dagene uten nedbør overskrider 47 % av dagene luftkvalitetskriteriet.

Ser man på overskridelser av grenseverdien for PM_{10} i perioden mars og april 2000 2020, som er på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per døgn, for nedbørsdager, litt nedbørsdager og oppholdsdager er andelen av overskridelser henholdsvis 3,3 %, 3,8 % og 15 %. Dette betyr at sannsynligheten for å få høye PM_{10} konsentrasjoner på dager med nedbør er betydelig mindre enn for dager med opphold.

Resultater i studien gjort for Vest-Tyrkia, Baltaci et al. (2019), viste at høye PM_{10} konsentrasjoner fant sted i vintermånedene, januar, februar og mars. Dette er også månedene der nedbørmengden var på sitt høyeste gjennom året. Dager med høye mengder med nedbør (mer enn 10 mm) kom av at den Nordatlantiske oscillasjonen dominerte. Studien forklarer at sammenhengen mellom høye PM_{10} konsentrasjoner og høye nedbørmengder kan skyldes høye forurensningsutslipp fra oppvarming av boliger, trafikk og industri på denne årstiden.

5.3 Hvordan vind målt på Blindern påvirker PM_{10} konsentrasjonene lokalt i Oslo

I figur 4.5.3 kan man se at den lokale vindretningen vil påvirke PM_{10} konsentrasjonen, men i mindre grad sammenlignet med nedbør. Resultatene tyder på at den lokale vindretningen målt på Blindern har lite å si for den lokale PM_{10} konsentrasjonen målt i Kirkeveien. Hadde man derimot målt vindretningen nær målestasjonen for luftkvalitet kunne resultatene se annerledes ut. Det er også verdt å nevne at vindretningen på Blindern kan være forskjellig fra vindretningen ved målestasjonen, i dette tilfellet i Kirkeveien.

I tillegg til nedbør er også vindhastigheten en av de meteorologiske variablene som påvirker PM_{10} konsentrasjonen. I denne studien er det blitt sett på hvordan vindhastigheten påvirker PM_{10} konsentrasjonen for tidsperioden mars og april 2000 til 2020 ved to situasjoner. Den ene situasjon er hvordan vindhastigheten påvirker PM_{10} konsentrasjonen i timene uten nedbør og den andre situasjonen er hvordan vindhastigheten påvirker PM_{10} konsentrasjonen for timene med og uten nedbør. Grunnen til at filtreres for timene med nedbør er at det skal mer til for at partiklene virvles opp fra bakken når bakken er våt.

Figur 4.5.4 viser at vindhastigheten har liten påvirkning på PM_{10} konsentrasjonene ved vindhastigheter på 0 til 2,0 m/s. For vindhastigheter over 2,0 m/s kan man se fra figuren at PM_{10} konsentrasjonene avtar. Fra resultatene vil vindhastighet ha en negativ korrelasjon med PM_{10} for vindhastigheter over 2,0 m/s. Ved sterk vind, vindhastigheter over 2,0 m/s, vil man få turbulens og svevestøvpartiklene vil spres. Økt vind vil også gi økt transport av PM_{10} fra kildeområdene til områder utenfor PM_{10} kildene.

Resultatene i studien fra Wuhan, Zhang et al. (2017), konkluderte med at vindhastigheten har en større påvirkning på fine svevestøvpartikler enn på grove svevestøvpartikler. Studien i Nederland konkluderer med at vindhastighet har en negativ korrelasjon med PM_{10} gjennom hele året (Demuzere et al., 2009).

5.4 Koblingen mellom atmosfærisk sirkulasjon og lokale vindforhold

Fra tabell 4.5.1 og figur 4.5.2 kan man se at den lokale vindretningen målt på Tryvann er relativt lik den storskala vindretningen over Sør-Norge for de ti sirkulasjonstypene. I tillegg viser vindrosene at vindretningene ved de ulike sirkulasjonstypene er spredt. Dette er forventet ettersom at værstasjonen ligger på en høyde og det vil være få hindringer som kan styre retningen på vinden. For Blindern derimot, vil vindretningene avvike mer fra den storskala vindretningen og vindretningene målt på Tryvann. Dette er ikke uventet ettersom at det skiller 420 høydemeter fra værstasjonene .

Den lokale vindretningen målt på Blindern er lik den storskala vindretningen ved sirkulasjonstype 1, 2, 3, 4 og 5 med vindretninger fra vest, sørvest, nordvest, nord og nordøst. Mens den lokale vindretningen avviker fra den storskala vindretningen for de resterende sirkulasjonstypene. Alle sirkulasjonstypene vil ha vindretninger fra nord-nordøst på Blindern, og vindrosene til sirkulasjonstype 4 til 9 skiller seg ut ved at de har dominerende vindretning i nord-nordøst og ligner hverandre, se figur 4.5.1.

Sammenligner man de lokale vindretningene på Blindern og Tryvann ser man at vindrosene for sirkulasjonstype 1, 2, 3, 4 og 5 ligner mest på hverandre, men at man vil ha flere av de samme vindretningene på Blindern som på Tryvann for alle sirkulasjonstypene. Vindretningene på Tryvann vil generelt være mer spredt enn vindretningene på Blindern.

5.5 Hvor stor effekt har de iverksatte tiltakene rettet mot biltrafikken hatt på PM_{10} i Oslo i perioden 2000 til 2020?

Figur 4.1.1 viser en nedgang i PM_{10} konsentrasjonen på $12,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fra 2005 til 2006 for Kirkeveien. Året 2005 var det året miljøfartsgrensene, tiltak for renhold og støvdemping og areal- og transporttiltak ble innført i Oslo kommune. På høsten i 2004 ble piggdekkavgift gjeninnført i kommunen. Denne nedgangen i PM_{10} konsentrasjon vil ha sammenheng med de iverksatte tiltakene. I tillegg kan man se fra figurene 4.2.1 og 4.2.2 at i 2005 var det seks dager med sirkulasjonstype 9 sammenlignet med 11 dager i 2006. Dager med sirkulasjonstype 9 er dager med lavest PM_{10} konsentrasjon grunnet nedbør. Figur 4.4.1 viser også at 2006 var et år med nesten dobbelt så mye nedbør som i 2005. Nedgangen i PM_{10} konsentrasjon fra 2005 til 2006 vil derfor et resultat av flere parametre; iverksatte tiltak mot biltrafikken, hyppigheten av sirkulasjonstyper og nedbørsmengde. De høye PM_{10} konsentrasjonene som er målt i mars og april i årene 2000, 2002, 2003 og 2004 kan sammen med forekomsten av sirkulasjonstyper være et resultat av at tiltakene ikke fant sted i denne perioden.

Tiltakene har også hatt en effekt på nedgangen i PM_{10} konsentrasjonen fra 2005 til 2020. Ved at piggfriandelen har økt fra 73 % i 2005 til 91 % i 2020 har bidratt positivt til PM_{10} reduksjonen. Man kan også henvise til tiltaksutredningene ved at de oppsummerer at luftkvaliteten i Oslo har blitt bedre og at tiltakene rettet mot biltrafikken har fungert etter hensikten (Dalen og Amundsen, 2010; Høiskar et al., 2014; Statens vegvesen Region øst og Oslo kommune, 2017).

5.6 Kan det konkluderes med at høye og lave PM₁₀ konsentrasjoner skyldes atmosfærisk sirkulasjon eller iverksatte tiltak?

Når det kommer til spørsmålet om perioder med høye og lave PM₁₀ konsentrasjoner skyldes atmosfærisk sirkulasjon eller iverksatte tiltak blir to år analysert, ett før tiltakene ble iverksatt og ett etter. Årene 2003 og 2012 er to år som ligner hverandre ved at de har høye PM₁₀ konsentrasjoner i mars, og lave PM₁₀ konsentrasjoner i april, se figur 4.1.2. Dersom man undersøker hvilke sirkulasjonstyper som dominerer i disse månedene kan man se at for mars måned er det ni dager med sirkulasjonstype 10 i 2003 og ti dager med CT10 i mars i 2012, se figur 4.2.1. For april er det henholdsvis én dag med sirkulasjonstype 10 i 2003 og ingen dager med CT10 i 2012, se figur 4.2.2. Ser på man på sirkulasjonstype 9 som er assosiert med dager med lave PM₁₀ konsentrasjoner, finner man ut at mars har ingen dager med CT9 i hverken 2003 eller 2012 og april har én og 11 dager med CT9 i henholdsvis 2003 og 2012. Man kan også studere nedbørmengden i disse månedene og fra figur 4.4.1 ser man at nedbørmengden i april var høyere enn i mars for begge årene. Dette underbygger at atmosfærisk sirkulasjon har en påvirkning på PM₁₀ konsentrasjonen når det gjelder månedlige variasjoner, og eventuelt ukentlige variasjoner. Den atmosfæriske sirkulasjonen vil også ha en innvirkning på PM₁₀ konsentrasjonen ettersom at de lokale værforholdene henger sammen med de storskala lav- og høytrykk systemene.

Ser man på hele perioden og den negative trenden til PM₁₀ nivåene fra år 2000 til 2020 har de iverksatte tiltakene mot biltrafikken hatt en sterk påvirkning på reduksjonen av PM₁₀.

5.7 Usikkerheter ved valg av variabler

Som diskutert vil bruken av nedbørdøgn i denne studien føre med seg usikkerhet i mengden nedbør som faller hvert døgn i perioden mars og april 2000 til 2020. Sammenligner man målt nedbør som nedbørdøgn (klokken 06.00 UTC til klokken 06.00 UTC neste dag) og kalenderdøgn (klokken 00.00 til klokken 24.00 samme dag) i en periode der begge datasettene er fullstendige vil man se at de avviker noe fra hverandre. Fra tabell 3.2.1 kan man se at forekomsten til dagene der det faller mellom 0,1 og 1 mm med nedbør (dager med *litt* nedbør) avviker mest fra hverandre. Det vil derfor være mest usikkerhet til målingene av nedbør på de dagene det faller mellom 0,1 og 1 mm med nedbør.

På Blindern måles nedbørmengde automatisk med en Geonor nedbørmåler, denne måler vekt av oppsamlet nedbør og er en god helårs nedbørmåler. Geonor nedbørmåleren har en usikkerhet på rundt 0,1 mm.

Både målinger av vindhastighet og vindretning blir registrert de siste ti minuttene før observasjonstiden, og det er blitt antatt at disse ti minuttene vil representere hele timen. Denne antagelsen vil føre med seg en usikkerhet i målingene av vindhastighet og vindretning ettersom at dominerende vindhastighet og vindretning i den ene timen ikke nødvendigvis blir registrert.

Ettersom av værstasjonen og målestasjonen for luftkvalitet ikke er plassert samme sted vil det være usikkerheter knyttet til det å sammenligne de meteorologiske forholdene med PM_{10} nivåene. Nedbør, vindhastighet og vindretning som man måler ved værstasjonen på Blindern vil ikke nødvendigvis være de samme i Kirkeveien til enhver tid. Dette gjelder kanskje spesielt for vindretningen. Som nevnt, går Kirkeveien fra sørvest til nordøst. Vindretninger som derfor kommer fra for eksempel sørøst eller nordvest vil kunne møte hindringer, for eksempel bygg, og dersom hastigheten er høy nok vil man kunne få kanalisering av vindretningen. Samtidig så vil værstasjonene på Blindern og Tryvann være mer representativ for storskala vindretning enn hvis man hadde hatt en værstasjon i Kirkeveien. Grunnen til det er nettopp kanalisering av vindretningen.

5.8 Til videre analyse

Det er flere måter og metoder å gå videre med denne studien på, samt å gjøre forbedringer av studien. Når det gjelder hvordan storskala værsystemer påvirker luftforurensning i byer, kan man se på flere forurensningskomponenter i tillegg til PM_{10} , for eksempel $PM_{2,5}$, NO_x og CO. Til videre analyse i Oslo kan man bruke data fra flere målestasjoner for luftkvalitet i byområdet, samt flere værstasjoner. Det vil være både fordeler og ulemper forbundet med det å benytte data fra flere målestasjoner for luftkvalitet og værstasjoner. Fordelen er at man kan representere et større område og se etter lokale likheter og ulikheter i byområdet. Ulempen er at tidsperioden man ser på vil bli kortere ettersom at flere av målestasjonene for luftkvalitet ikke har målinger 20 år tilbake i tid.

I tillegg til nedbør, vindhastighet og vindretning vil også andre meteorologiske forhold påvirke mengden luftforurensning. Ved å se på flere værelementer som for eksempel temperatur, relativ luftfuktighet og snødekke kan man finne flere sammenhenger med meteorologiske forhold, luftforurensning og storskala værsystemer. Man kan også undersøke hvordan klimaendringene vil påvirke svevestøvkonsentrasjonen og luftforurensningen. Klimaendringene vil også ha en påvirkning på hvordan værforholdene vil se ut i fremtiden som man vet vil ha en påvirkning på PM_{10} konsentrasjonen.

Når det gjelder hvordan storskala værsystemer påvirker luftforurensningen kan man gjøre en analyse av hele år, og ikke kun vårmånedene mars og april. Dette er for å se etter sesongvariasjoner, og hvordan værklassifiseringen ser ut gjennom et helt år. Tilsvarende er gjort i flere studier, blant annet studien i Nederland og Vest-Tyrkia (Demuzere et al., 2009; Baltaci et al., 2019).

Man kan også se etter sammenhenger mellom luftforurensning og storskala værsystemer ved å se på en mindre periode, for eksempel dag for dag eller uke for uke, eventuelt ett år. Da kan man undersøke om sirkulasjonstypene ofte opptrer samtidig eller i en spesifikk rekkefølge, og om det er en tydeligere trend i sirkulasjonstypene.

6 Konklusjon

Hovedmålet i denne studien var å finne ut hvordan den atmosfæriske sirkulasjonen påvirker svevestøv, i form av PM_{10} i Oslo. For å svare på dette skulle koblingen mellom den atmosfæriske sirkulasjonen over Sør-Norge og lokale værforhold ved Blindern i Oslo analyseres, samt hvordan PM_{10} konsentrasjonene har endret seg i Oslo i tidsperioden 2000 til 2020 ved bruk av tiltak rettet mot biltrafikken.

Sirkulasjonstyper

Resultatene viser at det er en sammenheng mellom sirkulasjonstyper og gjennomsnittlige PM_{10} konsentrasjoner i Oslo, der det er to sirkulasjonstyper som skiller seg ut med høye og lave PM_{10} konsentrasjoner. Høytrykkssituasjonen, sirkulasjonstype 10, er den med høyest gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon, og høyest prosentandel med dager som overskrider luftkvalitetskriteriet for PM_{10} , på $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og grenseverdien for PM_{10} , på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lavtrykkssituasjonen, sirkulasjonstype 9, er den typen med lavest gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjon og lavest prosentandel med dager som overskrider både luftkvalitetskriteriet og grenseverdien for PM_{10} . Sirkulasjonstype 10 og 9 er karakterisert av henholdsvis et høytrykk og et lavtrykk sentrert over Sør-Norge. Det er derfor ikke overraskende at dette er typene som assosieres med dager med høye og lave PM_{10} konsentrasjoner. Dager med høytrykkssituasjon vil ha tørt vær og opphold som fører til tørre veier og lettere oppvirling av svevestøv. Dager med lavtrykkssituasjon vil ha grått og vått vær som fører til reduksjon av svevestøvpartikler fra bakken. Disse resultatene samsvarer med resultater fra tidligere studier ved at man kan assosiere visse sirkulasjonstyper med høye og lave PM_{10} konsentrasjoner. Dager med sirkulasjonstyper der man forventer langtransport av PM_{10} , storskala vindretninger fra sør og sørøst, skiller seg ikke nevneverdig ut i studien med høye PM_{10} konsentrasjoner. I tillegg til at det ved dager med sirkulasjonstype 10 ikke forventes å få langtransport av svevestøv betyr dette at kilden til PM_{10} er hovedsakelig lokal.

Nedbør

Dagene med nedbør har en lavere PM_{10} konsentrasjon enn dagene uten nedbør. I likhet med andre studier har det blitt vist at nedbør har en negativ korrelasjon med PM_{10} . Tilsvarende som med nedbør har også vindhastighet en negativ korrelasjon med PM_{10} . Fra figur 4.5.4 ser man at økende vindhastigheter over $2,0 \text{ m/s}$ vil føre til gradvis reduksjon av PM_{10} . Økende vindhastighet vil skape turbulens og svevestøvpartiklene vil spres fra kildeområdet til områder utenfor PM_{10} kildene. Vindhastigheter under $2,0 \text{ m/s}$ vil ha liten innvirkning på PM_{10} konsentrasjonen. Resultatene tyder på at den lokale vindretningen vil i noe grad ha innvirkning på PM_{10} , men i mindre grad enn nedbør og vindhastighet.

Vind

Den lokale vindretningen målt på Tryvann samsvarer godt med den storskala vindretningen over Sør-Norge. Sammenligner man de lokale vindretningene målt på Tryvann med de lokale vindretningene målt på Blindern vil vindretningene være mer spredd i de ulike sirkulasjonstypene på Tryvann enn på Blindern. Årsaken til dette er at værstasjonen på Tryvann er plassert på en høyde som fører til at vinden vil treffe på færre hindringer og påvirke retningen på vinden. Værstasjonen på Blindern er en

urban værstasjon der målingene vil bli påvirket av hus og bygninger rundt stasjonen.

Tiltak

I tidsperioden mars og april 2000 til 2020 avtar gjennomsnittlig PM_{10} konsentrasjonen med $9,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tiår. PM_{10} konsentrasjonen har en negativ trend som fører til en stadig bedre luftkvalitet i Oslo. Dette har blant annet sammenheng med tiltak rettet mot biltrafikken som ble innført i Oslo kommune i november 2004 og i 2005. Tiltaksutredningene for bedre luftkvalitet i Oslo som er publisert i tidsrommet 2000 til 2020 viser til at tiltakene som har hatt stor effekt på reduksjon av PM_{10} er piggdekkavgift, miljøfartsgrense, renhold og støvdempende tiltak og areal- og transporttiltak (Oslo kommune og Statens vegvesen, 2004; Høiskar et al., 2014). I tillegg til tiltakene vil forekomsten av de ulike sirkulasjonstypene ha en innvirkning på variasjonene man ser i PM_{10} konsentrasjonene i mars og april fra år til år i perioden 2000 til 2020.

Kan PM_{10} konsentrasjonen i Oslo predikeres fra klassifiseringen av den atmosfæriske sirkulasjonen over Sør-Norge?

Mine resultateter viser at for dager med sirkulasjonstype 9 og 10 forventes det henholdsvis lave og høye PM_{10} konsentrasjoner. For de øvrige sirkulasjonstypene er variasjonen for stor til å predike PM_{10} konsentrasjon.

Litteraturliste

- Baltaci, H., Akkoyunlu, B. O., Arslan, H., Yetemen, O., og Ozdemir, E. T. (2019). The influence of meteorological conditions and atmospheric circulation types on PM10 levels in western Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 191(7):1–12.
- Barry, G. R. og Chorley, J. R. (2010). *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge, 9th edition.
- Beck, C., Jacobeit, J., og Jones, P. D. (2007). Frequency and within-type variations of large-scale circulation types and their effects on low-frequency climate variability in central Europe since 1780. *International journal of climatology*, 27(4):473–491.
- Buchanan, C. M., Beverland, I. J., og Heal, M. R. (2002). The influence of weather-type and long-range transport on airborne particle concentrations in Edinburgh, UK. *Atmospheric environment (1994)*, 36(34):5343–5354.
- Dalen, Ø. og Amundsen, K. S. (2010). Tiltaksutredning for bedre luftkvalitet i Oslo og Bærum. Oslo, Asplan Viak.
- Dayan, U. og Levy, I. (2005). The Influence of Meteorological Conditions and Atmospheric Circulation Types on PM10 and Visibility in Tel Aviv. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5):606 – 619.
- Demuzere, M., Trigo, R. M., Vilà-Guerau de Arellano, J., og Lipzig, van, N. P. M. (2009). The impact of weather and atmospheric circulation on O3 and PM10 levels at a rural mid-latitude site. *Atmospheric chemistry and physics*, 9(8):2695–2714.
- Demuzere, M. og van Lipzig, N. P. M. (2010). A new method to estimate air-quality levels using a synoptic-regression approach. Part II: Future O3 concentrations. *Atmospheric environment (1994)*, 44(10):1356–1366.
- Europakommisjonen (2019). Air Quality Standards. European Commission – Belgia, Tilgjengelig fra: <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm> (hentet: 31. mars 2022).
- FHI (2014). Luftforurensning i Norge. Folkehelseinstituttet, Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/nettpub/hin/miljo/luftforureining--i-noreg/> (oppdatert: 11. februar 2022; hentet: 07. april 2022).
- FHI (2017a). Oversikt luftkvalitetskriterier. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/sammendrag-og-bakgrunnsinformasjon/sammendrag/?term=&h=1> (oppdatert: 13. februar 2018; hentet: 10. mai 2022).
- FHI (2017b). Svevestøv. Folkehelseinstituttet – Norge, Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/temakapitler/svevestov/> (hentet: 7. februar 2022).
- FN (2021). Befolkning, migrasjon og urbanisering. FN-sambandet, Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/tema/fattigdom/befolkning> (hentet: 08. april 2022).

- FN (2022). Bærekraftige byer og lokalsamfunn. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/baerekraftige-byer-og-lokalsamfunn>(hentet: 24. mai 2022).
- Fortelli, A., Scafetta, N., og Mazzarella, A. (2016). Influence of synoptic and local atmospheric patterns on PM10 air pollution levels: a model application to Naples (Italy). *Atmospheric Environment*, 143:218–228.
- Forurensningsforskriften (2004). Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften). Lovdata, Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/**(oppdatert: 7. februar 2022; hentet: 28. april 2022).
- Gjerstad, K. I. (2014). Renhold av veger. Tilgjengelig fra: <https://www.tiltak.no/e-beskytte-eller-reparere-miljoet/e2-luft-og-vannforurensning/e-2-2/?highlight=st\T1\ovdemping>(hentet: 06. april 2022).
- Hagen, L. O., Larssen, S., og Schaug, J. (2005). Miljøfartsgrense i Oslo - Effekt på luftkvaliteten av redusert hastighet på Rv 4. NILU rapport OR 41/2005.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., og Thépaut, J.-N. (2018). ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), Tilgjengelig fra: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>(oppdatert: 28. april 2022; hentet: 28. april 2022).
- Hess, P. og Brezowsky, H. (1952). Katalog der grosswetterlagen europas.
- Høisaker, B. A. K., Sundvor, I., og Grythe, H. (2017). Luftkvalitetsberegninger for Oslo - Faglig innspill til revidert tiltaksutredning for luftkvalitet i Oslo 2017-2020. NILU rapport; 29/2017.
- Høiskar, B. A. K., Sundvor, I., og Strand, A. (2014). Tiltaksutredning for lokal luftkvalitet i Oslo og Bærum. NILU OR 49/2014.
- Jacobson, M. Z. (2012). *Air pollution and global warming: history, science and solutions*. Cambridge University Press, 2nd edition.
- Kartverket (2022). Tilgjengelig fra: <https://norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=3&lat=7197864.00&lon=396722.00>(hentet: 1. juni 2022).
- Leśniok, M., Małarzewski, L., og Niedźwiedź, T. (2010). Classification of circulation types for Southern Poland with an application to air pollution concentration in Upper Silesia. *Physics and chemistry of the earth. Parts A/B/C*, 35(9):516–522.
- Lützenkirchen, S., Løseth, Å., og Oppegaard, C. (2014). Luftkvaliteten i Oslo - Årsrapport 2013.
- Miljødirektoratet. Fagbrukertjeneste for luftkvalitet. Tilgjengelig fra:

- <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/fagbrukertjeneste-for-luftkvalitet?underside=utslippskilder>(hentet: 19. mai 2022).
- Miljødirektoratet (2014). Grenseverdier og nasjonale mål - forslag til langsiktige helsebaserte nasjonale mål og reviderte grenseverdier for lokal luftkvalitet. Miljødirektoratet rapport 129.
- Miljødirektoratet (2021). Strammere grenseverdier for svevestøv fra 1. januar. Miljødirektoratet, Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/fagmeldinger/2021/desember-2021/strammere-grenseverdier-for-svevestov-fra-1.-januar/> (hentet:27. januar 2022).
- Nestaas, I., Andersen, G., og Brinchmann, B. (2009). Luftforurensning. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/luftforurensning> (oppdatert: 26. februar 2021; hentet: 19. januar 2022).
- NILU (2021). Sofienbergparken målestasjon. Norsk institutt for luftforskning, Tilgjengelig fra: <https://www.nilu.no/anlegg/nilus-observatorier-og-malestasjoner/sofienbergparken-malestasjon/>(oppdatert: 21.01.2021; hentet: 07. april 2022).
- Oslo kommune og Statens vegvesen (2004). Luftkvalitet i Oslo - Tiltaksutredning med forslag til handlingspakker.
- Philipp, A., Beck, C., Esteban, P., Kreienkamp, F., Krennert, T., Lochbihler, K., Lykoudis, S. P., Pianko-Kluczynska, K., Post, P., Alvares, D. R., Spekat, A., og Streicher, F. (2014). Cost733class-1.2 user guide.
- Russo, A., Trigo, R. M., Martins, H., og Mendes, M. T. (2014). NO₂, PM₁₀ and O₃ urban concentrations and its association with circulation weather types in Portugal. *Atmospheric Environment*, 89:768–785.
- Røste, J. og Landgren, O. A. (2022). Impacts of dynamical downscaling on circulation type statistics in the Euro-CORDEX ensemble.
- SSB (2018). Kjørelengder. Statistisk sentralbyrå, Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/12579/> (oppdatert: 22. mars 2020; hentet: 28. mars 2022).
- SSB (2022). Bilparken. Statistisk sentralbyrå, Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/01960/tableViewLayout1/> (oppdatert: 25. mars 2022; hentet: 29. mars 2022).
- Statens vegvesen. Piggdekkte tellinger. Statens vegvesen, Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/miljo-og-omgivelser/forurensning/luft/piggdekkte-tellinger/> (hentet: 23. mars 2022).
- Statens vegvesen (2020). Hvor mange kilo asfaltstøv slites opp? Statens vegvesen, Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/om-oss/presse/aktuelt/nasjonal-t/hvor-mange-kilo-asfaltstov-slites-opp-i-aret-pa-to-mil/> (hentet: 28. mars 2022).
- Statens vegvesen (2021). Krav til dekk. Statens vegvesen, Tilgjengelig fra: <https://>

www.vegvesen.no/kjoretøy/eie-og-vedlikeholde/dekk-og-kjetting/ (oppdatert: 18. oktober 2021; hentet: 29. mars 2022).

Statens vegvesen Region øst og Oslo kommune (2017). Revidert tiltaksutredning for bedre luftkvalitet i Oslo 2017-2020.

Stefan, S., Necula, C., og Georgescu, F. (2010). Analysis of long-range transport of particulate matters in connection with air circulation over Central and Eastern part of Europe. *Physics and chemistry of the earth. Parts A/B/C*, 35(9):523–529.

WHO (2022). Air pollution. World Health Organization, Tilgjengelig fra: http://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1(hentet: 07. april 2022).

Zhang, B., Jiao, L., Xu, G., Zhao, S., Tang, X., Zhou, Y., og Gong, C. (2017). Influences of wind and precipitation on different-sized particulate matter concentrations (PM_{2.5}, PM₁₀, PM_{2.5-10}). *Meteorology and atmospheric physics*, 130(3):383–392.

Zhang, J. P., Zhu, T., Zhang, Q. H., Li, C. C., Shu, H. L., Ying, Y., Dai, Z. P., Wang, X., Liu, X. Y., Liang, A. M., Shen, H. X., og Yi, B. Q. (2012). The impact of circulation patterns on regional transport pathways and air quality over Beijing and its surroundings. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(11):5031–5053.

A Liste over figurer

2.3.1	Utslippskildene til PM ₁₀ i Oslo i 2020	6
2.5.1	Piggfriandel i Oslo i perioden vintrene 2001 til 2020	12
2.5.2	Kjørelengde i antall millioner kilometer for ulike kjøretøytyper i Oslo kommune per år i perioden 2005 til 2020	13
3.1.1	Kart over målestasjonene for luftkvalitet i Oslo som har blitt brukt i studien	14
3.1.2	Bilde 3.1.2a av utsiden av målestasjonen i Kirkeveien og bilde 3.1.2b viser plasseringen til målestasjonen i Kirkeveien	15
3.1.3	Gjennomsnittlig PM ₁₀ konsentrasjon per måned i perioden 2000 til 2020 målt i Kirkeveien	16
3.3.1	Ti paneler som viser avvik i bakkestrykk i forhold til gjennomsnittet i hele domenet i de forskjellige sirkulasjonstypene	20
3.4.1	Gjennomsnittlig årlig PM ₁₀ konsentrasjon målt i Kirkeveien i perioden 2000 til 2020	22
3.8.1	Illustrasjon av et boksdiagram	23
4.1.1	Årlig gjennomsnittlig PM ₁₀ konsentrasjon for mars og april i perioden 2000 til 2020	25
4.1.2	Årlig gjennomsnittlig PM ₁₀ konsentrasjon målt i Kirkeveien for mars og april hver for seg i perioden 2000 til 2020	26
4.2.1	Antall dager i mars som har sirkulasjonstype 1 til 10 i perioden 2000 til 2020	29
4.2.2	Antall dager i april som har sirkulasjonstype 1 til 10 i perioden 2000 til 2020	30
4.3.1	Boksdiagram med variablene PM ₁₀ konsentrasjon målt i Kirkeveien og sirkulasjonstype for mars og april i perioden 2000 til 2020	31
4.3.2	Antall dager som overskrider luftkvalitetskriteriet og grenseverdien for PM ₁₀ i mars og april i perioden 2000 til 2020	31
4.3.3	Boksdiagram med variablene PM ₁₀ konsentrasjon målt ved de tre målestasjonene i Kirkeveien, Rv4 Aker sykehus og Sofienbergparken og sirkulasjonstype for mars og april i perioden 2000 til 2020	32
4.4.1	Samlet og separat nedbørsmengde for mars og april i perioden 2000 til 2020	34
4.4.2	Spredningsplott som viser sammenhengen mellom PM ₁₀ konsentrasjon og nedbør	35
4.4.3	Spredningsplott som viser sammenhengen mellom PM ₁₀ konsentrasjon og nedbør for dager med over 1 mm med nedbør	36
4.4.4	Boksdiagram med variablene PM ₁₀ konsentrasjon og dager i perioden mars og april 2000 til 2020 med opphold, <i>litt</i> nedbør og nedbør	37
4.4.5	Boksdiagram som viser sirkulasjonstype og nedbør for nedbørsdagene	39
4.4.6	Boksdiagram med variablene PM ₁₀ og sirkulasjonstype for nedbørsdagene	40

4.4.7	Antall dager med mer enn 1 mm med nedbør i hver sirkulasjonstype fra 1 til 10 som overskrider luftkvalitetskriteriet for PM ₁₀	41
4.4.8	Boksdigram med variablene PM ₁₀ og sirkulasjonstype for litt nedbørsdager	42
4.4.9	Antall dager med 0,1-1 mm med nedbør i hver sirkulasjonstype fra 1 til 10 som overskrider luftkvalitetskriteriet for PM ₁₀	43
4.4.10	Boksdigram med variablene PM ₁₀ og sirkulasjonstype for oppholdsdagene	44
4.4.11	Antall dager uten nedbør som overskrider luftkvalitetskriteriet og grenseverdien til PM ₁₀	45
4.5.1	Vindroser for sirkulasjonstype 1 til 10 for Blindern	46
4.5.2	Vindroser for sirkulasjonstype 1 til 10 for Tryvann	47
4.5.3	Spredningsplott som viser sammenhengen mellom PM ₁₀ konsentrasjon og vindretning ved vinhastighet over 2 m/s	49
4.5.4	Spredningsplott som viser sammenhengen mellom PM ₁₀ og vindhastighet for timer uten og med nedbør	50
4.5.5	10 spredningsplott ved hver sirkulasjonstype som viser sammenhengen mellom PM ₁₀ konsentrasjon og vindhastighet	51
E.0.1	Årlig gjennomsnittlig PM ₁₀ konsentrasjon målt ved Rv4 og Sofienbergparken for mars og april i perioden 2005 til 2020	70
G.0.1	Antall dager med mer enn 1 mm med nedbør i hver sirkulasjonstype 1 til 10 som overskrider døgngrenseverdien til PM ₁₀	72
G.0.2	Antall dager med 0,1-1 mm med nedbør i hver sirkulasjonstype 1 til 10 som overskrider døgngrenseverdien til PM ₁₀	73

B Liste over tabeller

2.3.1 Grenseverdier for PM ₁₀ og PM _{2,5} i Norge fra år 2005 til 2022	8
2.3.2 Grenseverdier for PM ₁₀ og PM _{2,5} i EU	8
2.3.3 Luftkvalitetskriteriene for PM ₁₀ og PM _{2,5} i Norge	8
2.4.1 Tabell over tiltak som har bidratt positivt til reduksjon av svevestøv .	10
3.2.1 Antall dager som nedbørsdager, dager med <i>litt</i> nedbør, oppholdsdager og totalt antall dager i perioden 2011 til 2014 for målinger gjort i times- og døgnopløsning ved værstasjonen ved Blindern	18
3.3.1 Tabell over hvilken storskala vindretning man har over Sør-Norge ved sirkulasjonstypene, samt avvik i bakkestrykk, gjennomsnittlig nedbør og vindhastighet	19
4.2.1 Antall dager med sirkulasjonstype 1 til 10 i perioden mars til april fra 2000 til 2020	27
4.2.2 Gjennomsnittet av antall dager separat i mars og april per år i perioden 2000 til 2020 ± standardavvik for sirkulasjonstype 1 til 10	28
4.4.1 Tabell som viser totalt antall dager, nedbørsdager, dager med <i>litt</i> nedbør og oppholdsdager i de ulike sirkulasjonstypene 1 til 10	38
4.5.1 Tabell over hvilken storskala vindretning man har over Sør-Norge og hvilken dominerende lokal vindretning man har på Blindern og Tryvann ved sirkulasjonstypene	48
C.0.1 Antall dager i mars og april per år med gyldig PM ₁₀ konsentrasjon	68
D.0.1 Antall dager med nedbørdata som kalenderdøgn og nedbördøgn i perioden mars og april 2000 til 2020	69
F.0.1 P-verdi til PM ₁₀ konsentrasjonene til hver sirkulasjonstype 1 til 10 mot de resterende sirkulasjonstypene	71

C Antall dager i perioden mars og april 2000 til 2020 med gyldig PM₁₀ konsentrasjon

Tabell C.0.1: Antall dager i mars og april per år fra 2000 til 2020 med gyldig PM₁₀ konsentrasjon målt i Kirkeveien og ved de tre målestasjonene i Kirkeveien, Sofienbergparken og Rv4 Aker Sykehus.

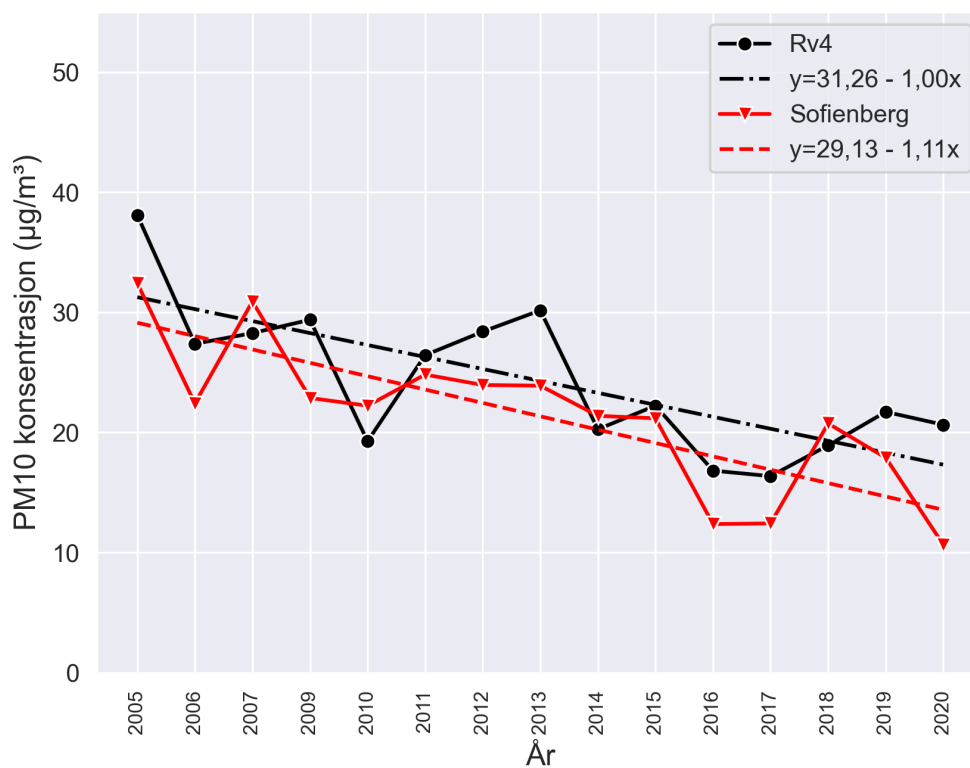
År	Antall dager i mars og april målt i Kirkeveien	Antall dager i mars og april målt ved de tre målestasjonene
2000	61	-
2001	59	-
2002	61	-
2003	61	-
2004	61	-
2005	56	56
2006	59	51
2007	61	57
2008	61	-
2009	54	54
2010	61	57
2011	54	54
2012	59	59
2013	61	61
2014	61	61
2015	59	59
2016	58	58
2017	61	57
2018	45	45
2019	58	44
2020	55	54

D Nedbørdata som kalenderdøgn vs. nedbørdøgn

Tabell D.0.1: Antall dager med nedbørdata som kalenderdøgn (klokken 00.00 til klokken 24.00 samme dag) og nedbørdøgn (klokken 06.00 UTC til 06.00 UTC neste dag) i perioden mars og april 2000 til 2020.

År	Antall dager som Kalenderdøgn	Antall dager som Nedbørdøgn
2000	0	61
2001	2	61
2002	39	61
2003	61	61
2004	61	61
2005	61	61
2006	0	61
2007	0	61
2008	0	61
2009	0	61
2010	0	61
2011	61	61
2012	61	61
2013	61	61
2014	61	61
2015	61	61
2016	61	61
2017	61	61
2018	61	61
2019	61	61
2020	61	61

E PM₁₀ konsentrasjon ved Rv4 Aker sykehus og Sofienbergparken



Figur E.0.1: Årlig gjennomsnittlig PM₁₀ konsentrasjon målt ved Rv4 og Sofienbergparken for mars og april i perioden 2005 til 2020, med unntak av 2008. Svart kurve med sirkler er for målinger ved målestasjonen ved Rv4 Aker Sykehus, og rød kurve med trekanter er for målinger ved målestasjonen i Sofienbergparken. Trend Rv4: $y = 31,26 - 1,00x$, og trend Sofienbergparken: $y = 29,13 - 1,11x$.

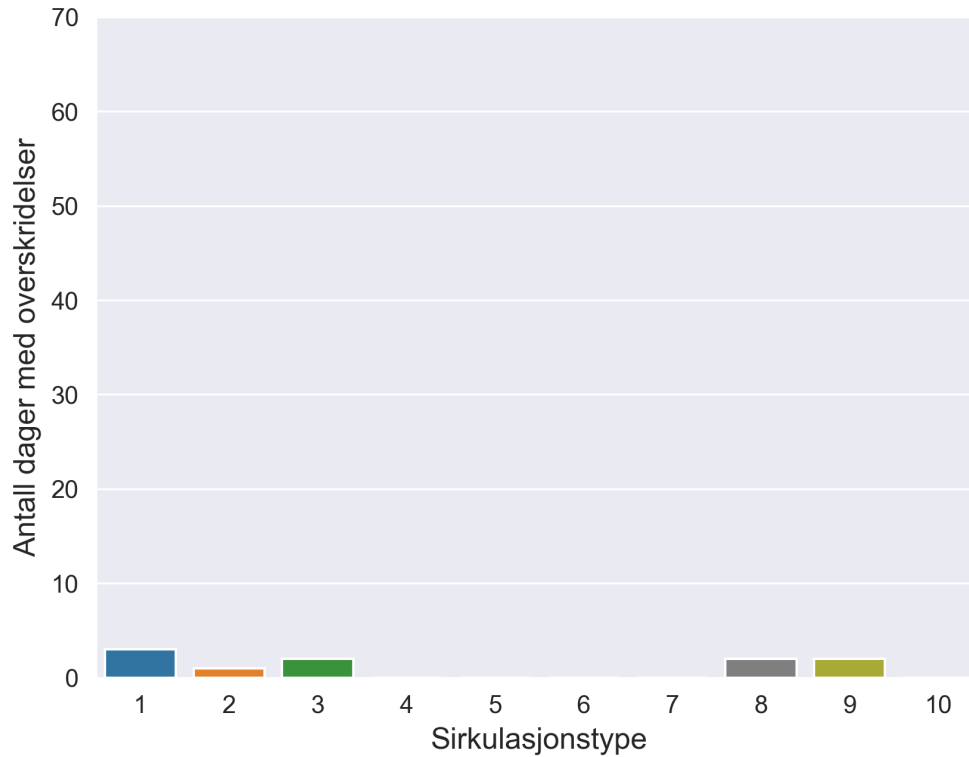
F T-test, p-verdi

Tabell F.0.1: P-verdi til PM₁₀ konsentrasjonene til hver sirkulasjonstype 1 til 10 mot de resterende sirkulasjonstypene for målinger gjort i Kirkeveien og ved de tre målestasjonene Kirkeveien, Rv4 Aker Sykehus og Sofienbergparken.

Sirkulasjonstype	p-verdi i Kirkeveien	p-verdi ved de tre målestasjonene
CT1	0,846	0,023
CT2	0,001	0,911
CT3	0,044	0,045
CT4	0,653	0,772
CT5	0,264	0,477
CT6	0,142	0,057
CT7	0,001	0,078
CT8	0,370	0,993
CT9	2.578×10^{-13}	2.224×10^{-9}
CT10	5.553×10^{-9}	1.170×10^{-6}

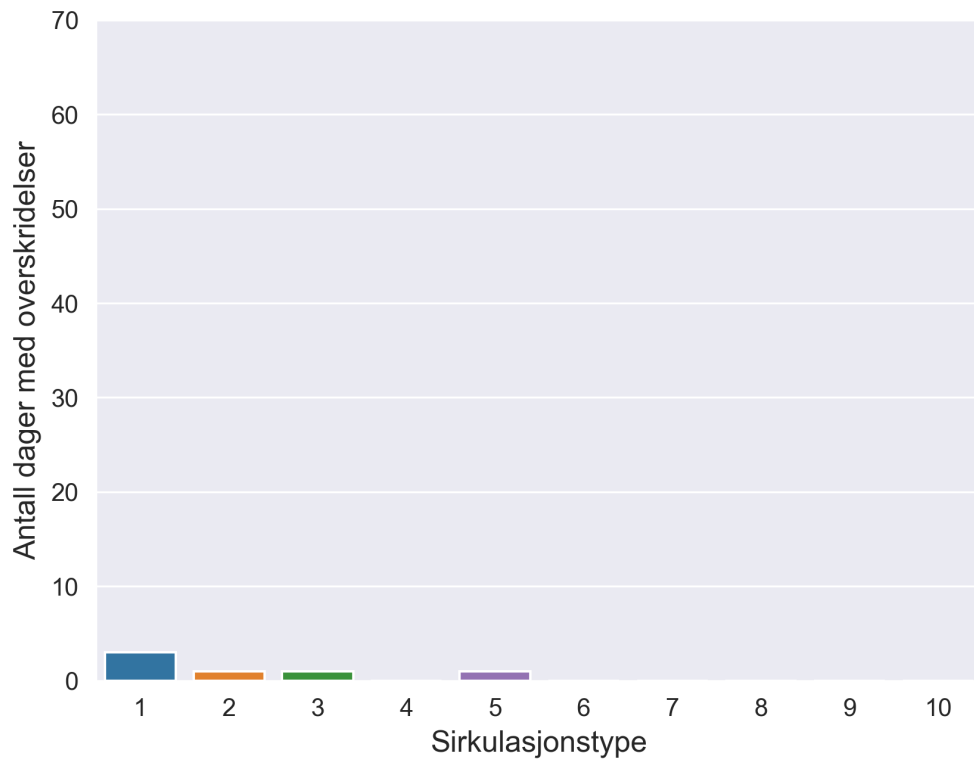
G PM₁₀ konsentrasjoner over 50 µg/m³

Nedbørsdager



Figur G.0.1: Antall dager med mer enn 1 mm med nedbør i hver sirkulasjonstype 1 til 10 som overskrider døgn grenseverdien til PM₁₀ på 50 µg/m³. Y-aksen er antall dager med overskridelser og x-aksen er sirkulasjonstype.

Litt nedbørsdager



Figur G.0.2: Antall dager med 0,1-1 mm med nedbør i hver sirkulasjonstype 1 til 10 som overskrider døgn grenseverdien til PM₁₀ på 50 µg/m³. Y-aksen er antall dager med overskridelser og x-aksen er sirkulasjonstype.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway