

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultet for landskap og samfunn
Geir Aamodt

Helsekonsekvenser av langtidseksponering for NO₂ ved veiutbyggingsprosjekter

Health consequences of long- term exposure to
NO₂ in road construction projects

Nora Elin Hoff

Master i folkehelsevitenskap
Fakultet for landskap og samfunn

1 Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på en flott studietid på Norges miljø og biovitenskapelige universitet. Gjennom masterstudiet i Folkehelsevitenskap har jeg tilegnet meg mye ny kunnskap, og utviklet en interesse for helsekonsekvenser av forurensning. Etter samtaler med forelesere og min veileder, Geir Aamodt, kom vi i slutten av vårsemesteret 2018 frem til temaet for oppgaven. Etter dette var vi i kontakt med Statens vegvesen, og etter noe fram og tilbake ble oppgaven formet til hva den er i dag.

Dette har vært en svært lærerik periode, og arbeidet har resultert i en kappe og artikkel. Begge er skrevet på norsk, og vil bli forsøkt publisert i tidsskriftet Kart og Plan. Det har også vært en utfordrende periode som har krevd mye tålmodighet og utholdenhet, men har til gjengjeld også gitt meg mye mestring og kunnskap.

Jeg vil gjerne takke min veileder, Geir Aamodt, som har stilt opp og vært en utrolig god støttespiller. Uten han hadde ikke oppgaven vært mulig å gjennomføre.

Nora Elin Hoff

Mai 2018

2 Sammendrag

Bakgrunn. Det eksisterer bred enighet om at luftforurensning kan gi negativ helseeffekt. Flere studier knytter NO₂ til mortalitet av kardiovaskulære sykdommer, derav er ischemisk hjertesykdom sentralt, men det er også holdepunkter for assosiasjoner til utviklingen av, og mortalitet av lungekreft og alle type dødsfall samlet. Flere av assosiasjonene knyttes til veirelatert NO₂. Gjennom folkehelseloven er alle statlige aktører pålagt å ivareta et helsemessig hensyn, og loven skal fremme et prinsipp om "helse i alt vi gjør". Loven pålegger også å utjevne sosiale helseforskjeller. Det er vist at luftforurensning kan bidra til å øke sosiale helseforskjeller. Å foreta detaljerte helsekonsekvensutredninger ved veiutbyggingsprosjekter kan derfor være nyttig.

Metode. Oppgaven er en type konsekvensutredning for helsekonsekvensene av veiutbyggingsprosjekter og eksponering for NO₂. Studien er basert på geografiske informasjonssystemer og land- use regresjon- metodikk. Tidligere studier er brukt for å belyse mulige helsekonsekvenser av NO₂ ved veiutbyggingsprosjekter.

Resultat. Gjennomsnittlig konsentrasjon av NO₂ var svært lik for begge alternativene (1: 23,343; 5:23,341 µg/m³). Høyest konsentrasjon ses langs vannflater. Det er estimert at en andel på 1,13 kommer til å dø av hjerte- og karsykdommer, forårsaket eksponering for NO₂ fra veialternativ 1 eller 5. Tilskrivbar andel (TA) for ischemisk hjertesykdom er 0,46 dødsfall. For utvikling av lungekreft er TA 0,70 dødsfall. TA for mortalitet av lungekreft estimeres til 0,16 dødsfall. Det estimeres at 3,96 av totalt antall dødsfall kan tilskrives NO₂ fra veialternativ 1, mens TA for veialternativ 5 er estimert til 3,95 dødsfall.

Konklusjon. Jeg har utviklet en ny metodikk for beregning av helsekonsekvenser av nitrogendioksid. Det er ingen store forskjeller i eksponering for NO₂ fra de to veialternativene, og dermed blir antall dødsfall forårsaket av NO₂ likt for Frogne kommune.

3 Abstract

Background. Exposure to long- term nitrogen dioxide (NO₂), including traffic related NO₂, has been linked to several health outcomes. This includes mortality from cardiovascular diseases, of which ischemic heart disease is central, but development of lung cancer, lung cancer mortality, and all causes of mortality can also be linked to exposure to long-term nitrogen dioxide. The law of public health requires all public authorities on a national level to implement a health perspective in all long- term planning. This includes equalization of social health differences. Air pollution has in several studies been observed to increase these differences. Performing a detailed health impact assessment of NO₂ from road traffic in road construction projects may therefore be useful.

Methods. The study is based on geographical information systems, and land use regression methodology. Epidemiological studies have been used to explain the possible health effects of exposure to NO₂.

Results. Average NO₂ concentrations are almost identical to both alternatives (1: 23,343; 5:23,341 µg/m³). The highest concentrations are observed in the near of water surfaces. It is estimated that each year 1,13 persons in Frogn municipality will die from cardiovascular disease due to exposure of NO₂ from either road alternative 1 or 5. 0,46 persons will die from ischemic heart disease due to exposure of NO₂ from alternative 1 or 5. 0,70 persons will develop lung cancer due to exposure of NO₂ from alternative 1 or 5. 0,16 will die from lung cancer due to exposure of NO₂ from alternative 1 or 5. Overall it is estimated that 3,96 persons will die due to exposure of NO₂ from alternative 1, and 3,95 persons from alternative 5.

Conclusion. In this study, I have developed a new method for estimating health effects of nitrogen dioxide in road construction projects. There are only marginal differences between road alternative 1 and 5, and the numbers of deaths due to NO₂ from road traffic are the same for both alternatives.

4	Innholdsfortegnelse	
1	Forord	I
2	Sammendrag	II
3	Abstract	III
5	Introduksjon	1
6	Problemstilling	3
	6.1 Avgrensning.....	3
7	Bakgrunn	4
	7.1 Nitrogendioksid	4
	7.2 ESCAPE- prosjektet	4
	7.3 NO ₂ og lungekreft.....	5
	7.4 NO ₂ og hjerte- og karsykdommer	6
	7.5 NO ₂ og ischemisk hjertesykdom.....	6
	7.6 NO ₂ og totalt dødsfall.....	7
8	Folkehelserelevans	7
9	Metode	9
	9.1 Studier.....	9
	9.2 Geografiske informasjonssystemer.....	9
	9.3 Matematiske beregninger og statistiske analyser	12
10	Etiske forhold	14
11	Resultater	14
12	Kohorten i Frogn	14
13	Diskusjon	14
	13.1 Metodekritikk.....	18
14	Konklusjon	19
15	Litteraturliste	20
16	Artikkel	24
17	Vedlegg	47
	Tabell 1. Insidensrater over ulike helseutfall til populasjonen i Frogn, og samlet for Norge. 47	

Tabell 2. Insidensrater per 100 000 for Frogn kommune, og relative risikoer for mortalitet av spesifikk sykdom eller utvikling av sykdom forårsaket av eksponering for NO ₂ . Økning per 10 mg/m ³ NO ₂	48
Tabell 3. Sum andel forventede årlige dødsfall av spesifikt helseutfall i Frogn kommune forårsaket av eksponering for NO ₂ fra veitrase 1 og veitrase 5.	48
Tabell 4. Hentet fra tilleggsinformasjon for studien til Panasevich et al. (2016).	49
Figur 1. Grafisk fremstilling av NO ₂ verdier for hvert adressepunkt i Frogn kommune for veialternativ 1. Verdiene av NO ₂ er i µg/m ³	50
Figur 2. Nærbilde av krysningen av veialternativ 1 over Oslofjorden og inn i Frogn kommune. Verdiene av NO ₂ er i µg/m ³	50
Figur 3. Grafisk fremstilling av NO ₂ verdier for hvert adressepunkt i Frogn kommune for veialternativ 5. Verdiene av NO ₂ er i µg/m ³	51
Figur 4. Nærbilde av krysningen av veialternativ 5 over Oslofjorden og inn i Frogn kommune. Verdiene av NO ₂ er i µg/m ³	51
Figur 5. Reguleringsplan og oversikt tilhørende tunellutmunningen av R23 ved Torshytta i Frogn kommune.	52
Figur 6. Modell: Sosiale helsedeterminanter (Dahlgren & Whitehead, 1991).....	53
Figur 7. Fremgangsmetode for bufferoperasjon i QGIS.	53
Figur 8. Oversikt over forslag til veitraseer over Oslofjorden.....	56
Figur 9. Avstand til nærmeste hovedvei, alternativ 1.	57
Figur 10. Avstand til nærmeste hovedvei, alternativ 5.....	57

5 Introduksjon

Verdens helseorganisasjon (WHO) anslår utendørs luftforurensning til å være ansvarlig for omkring 3 millioner dødsfall globalt hvert år, og en av de viktigste årsakene til for tidlig død. Luftforurensning er derfor en viktig determinant for helse. Forurenset luft er en stor risiko for helse i alle populasjoner, da det kan påvirke alle regioner, sosioøkonomiske grupper, aldersgrupper og andre grupper. Dette er et økende problem på verdensbasis (World Health Organization, 2016). Effektene av forurenset luft ses ved relativt lave konsentrasjoner, noe som gjør tema relevant for byer og tettsteder også i Norge (Folkehelseinstituttet 2013). Dette kan ses i sammenheng med at en økende del av befolkningen i Norge utvikler hjerte- karsykdommer, kreft og andre respiratoriske sykdommer. Selv om dødeligheten av flere av disse sykdommene har gått ned, øker insidensen på samtlige (Folkehelseinstituttet, 2014).

Sykdomsbyrdeprosjektet (SBP) ble startet opp på 1990- tallet i et samarbeid mellom Verdens helseorganisasjon og Verdensbanken. Prosjektet skal gjøre det lettere å følge utviklingen i folkehelse over tid, og viser hvordan ulike sykdommer, skader og risikofaktorer rammer befolkninger og befolkningsgrupper. Prosjektet anser luftforurensning som en viktig faktor for en befolknings helse (Folkehelseinstituttet, 2017). Nitrogendioksid (NO_2) er en viktig luftforurensningskomponent, og i den globale oppdateringen av retningslinjer for luftkvalitet av Verdens Helseorganisasjon og United Nations Programme for HIV and AIDS (UNAIDS), ble det konkludert med at NO_2 var assosiert med dødsfall i forhold til respiratoriske sykdommer, hjerte- og karsykdommer og alle type dødsfall samlet. Resultatene ble likevel vurdert til å være usikre, da det kun var utført et begrenset antall studier (U. World Health Organization, 2006).

Flere epidemiologiske studier har undersøkt sammenhengen mellom NO_2 og dets helsekonsekvenser. Studier er gjort over hele verden, men Nord- Amerika var spesielt tidlig ute med å måle helsekonsekvensene av NO_2 , og der eksisterer det en rekke studier. Dette gjelder blant annet for hjerte- og karsykdommer, som er vist å ha en spesielt sterk sammenheng (Chen et al., 2013; Crouse et al., 2015). Også studier gjort i Europa viser denne sammenhengen (Faustini, Rapp, & Forastiere, 2014; O. Raaschou-Nielsen et al., 2012). Studier har også sett på assosiasjonen mellom NO_2 og totalt dødsfall, som stort sett viser signifikante sammenhenger (Faustini et al., 2014; O. Raaschou-Nielsen et al.,

2012), men det er også studier som ikke ser tilsvarende sammenheng. Dette er blant annet knyttet til naturlig dødsfall (Rob Beelen et al., 2014). Sammenhengen til utvikling av lungekreft er svake (Hamra et al., 2015), men mortalitet av krefttypen kan se ut til å ha en sterkere sammenheng (Faustini et al., 2014). Andre studier viser ingen signifikante sammenhenger (Ole Raaschou-Nielsen et al., 2011). Mye tyder på at det er en sammenheng mellom NO₂ og flere negative helsekonsekvenser.

NO₂ dannes naturlig i atmosfæren, men menneskelig aktivitet fører til høyere konsentrasjoner av gassen (WHO, 2006). Dieseldrevne kjøretøy bidrar med en betydelig andel luftforurensende komponenter, derav NO₂. Ved hjelp av ny teknologi er det utviklet nye motorstandarder, Euro 4, 5 og 6, som skal bidra til et redusert utslipp av forurensningskomponenter fra dieseldrevne kjøretøy. Dette kan ha vært en årsak til at det i Europa er sett en reduksjon i karbonpartikler og noe svevestøv. Disse nye motorstandardene reduserer ikke utslippet av NO₂ i like stor grad, og nivået er på globalt basis sett å holde seg på et stabilt nivå (WHO Regional Office for Europe, 2013). Dette øker behovet for en forståelse av hva slags effekter trafikkrelatert NO₂ kan ha for human helse.

Vi har sett at NO₂ er et stort folkehelseproblem, og vi som har denne kunnskapen må formidle og bistå i prosjekter der eksponering for luftkvalitet er en problemstilling. En slik problemstilling er veibygging. Statens vegvesen har planer om å utvide Riksvei 23 (R23), og har utviklet 6 forslag til alternative traseer for forbindelsen mellom Krokodden og Vassum (figur 8). De er pålagt å følge retningslinjer som skal fremme en langsiktig arealplanlegging som forebygger og reduserer lokal luftforurensning (Vegdirektoratet, 2018). I denne oppgaven ønsker jeg derfor å belyse helsekonsekvenser av NO₂ i veiutbyggingsprosjekter.

6 Problemstilling

Formålet med denne studien er å kartlegge helsekonsekvensene av langtidseksponering for NO₂ i forbindelse med et veiutbyggingsprosjekt av Riksvei 23 gjennom Oslofjorden og ut i Frogn kommune.

Problemstillingen er definert som følgende:

Utføre beregninger for NO₂ ved to ulike trasevalg for kryssing av Oslofjorden og deres helsekonsekvenser.

Jeg ønsker med dette å finne ut av

1. Forventet andel som dør på grunn av hjerte- og karsykdommer, i alt og av ischemisk hjertesykdom, ved de to traseene.
2. Forventet andel som utvikler, og som dør på grunn av lungekreft ved de to traseene.
3. Forventet andel dødsfall i alt ved de to traseene.
3. Er det forskjeller i antall personer vi kan forvente dør av sykdommene for de ulike traseene?

Metoden som er benyttet til denne konsekvensutredningen er ny, og utviklingen av denne metoden og implementering for et aktuelt prosjekt er en del av målet med masteroppgaven.

Oppgaven består av en kappe og artikkel. Kappen har en mer generell fremstilling av konsekvenser ved veier og eksponering for nitrogendioksid, mens artikkelen setter dette i sammenheng med alternativene av Riksvei 23 og Frogn kommune.

6.1 Avgrensning

På grunn av begrenset tid ble jeg nødt til å avgrense oppgaven. Oppgaven ble redusert fra å se på Frogn, Røyken og Hurum kommune til å kun ta for seg kohorten i Frogn kommune. Denne populasjonen ble valgt fordi Frogn kommune viste interesse for prosjektet. De seks foreslåtte alternativene ble redusert til to. Årsaken til at alternativ 1 og 5 ble valgt var at det var ønskelig med en trase i nord og en lengre sør. At traseene hadde ulike type løsninger var også å foretrekke (alternativ 1: bro, alternativ 5: utvidelse av vei med tunell).

7 Bakgrunn

7.1 Nitrogendioksid

Nitrogendioksid (NO₂) er en svært reaktiv gass, og dannes av både naturlige og menneskeskapte kilder. Naturlig oppstår gassen i kjemiske reaksjoner i stratosfæren, bakteriell og ved vulkansk aktivitet, i tillegg til lynaktivitet. Dette utslippet fordeles over hele kloden, og resulterer i lave konsentrasjoner. NO₂ dannes også gjennom menneskeskapte kilder, som utgjør en betydelig større utslippskilde. Dette innebærer stasjonære forbrenningsprosesser som oppvarming og kraftproduksjon, og mobile kilder, som vei- og skipstrafikk (World Health Organization, 2006). I Norge er en av hovedkildene til NO₂ veitrafikk, der dieselmotorer bidrar med mesteparten av utslippet. Det kan være vanskelig å skille effekten av NO₂ fra andre sekundære luftforurensende komponenter, som svevestøv, men eksponering for gassen alene ser likevel ut til å gi negative helsekonsekvenser (Folkehelseinstituttet, 2013). Nitrogendioksid kan påvirke både human helse og vegetasjon, har økonomiske konsekvenser, reduserer livstid, øker medisinske kostnader, reduserer produktivitet gjennom tapte arbeidsdager, og forårsaker et sosialt problem i dagens samfunn (European Environment Agency, 2017).

For å sikre en god luftkvalitet er det opprettet grenseverdier for de ulike luftforurensningskomponentene. Formålet med grenseverdiene er å sikre samfunnets helse og trivsel, derav både mennesker, økosystem og vegetasjon (Folkehelseinstituttet, 2013). Dagens grenseverdi for NO₂ ligger på 200µg per time, der verdien ikke skal overskride mer enn 18 ganger per kalenderår, og 40µg i årsmiddel (Forurensningsforskriften § 6-7, 2004). Denne grenseverdien er sett å bli overskredet flere steder i Norge (Folkehelseinstituttet, 2013).

7.2 ESCAPE- prosjektet

European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) er et internasjonalt samarbeidsprosjekt som studerer helseeffekten av langtidseksponering av ulike luftforurensningskomponenter i Europa, derav NO₂, svevestøv (Particulate Matter, PM)₁₀ og PM_{2,5}. Prosjektet inneholder 30 ulike kohortstudier fra hele Europa, blant annet helseundersøkelsen HUBRO fra Oslo.

Et av målene for prosjektet var å kartlegge sammenhengen mellom lav fødselsvekt, astma og allergi hos barn, luftveissykdommer, hjerte- og karsykdommer, død og kreftsykdommer hos voksne ved langtidseksponering for komponentene. Et annet

formål var å utvikle en fleksibel metode for å måle risikoen av langtidseksponering i en befolkning. Det ble også foretatt målinger av luftkomponentene på 40 områder spredt over Europa, som ble brukt i kohortstudiene. De utviklet med dette en kvantitativ database med estimater for de nevnte helseeffektene ved langtidseksponering for luftforurensning for befolkningen i Europa (European Commission, 2010).

7.3 NO₂ og lungekreft

Kreft er en dominerende dødsårsak i Norge, der lungekreft er en av de krefttypen som tar flest liv (Folkehelseinstituttet, 2014). Lungekreft er et viktig folkehelseproblem, og det forventes at antall nye tilfeller kommer til å øke i årene som kommer (Folkehelseinstituttet, 2017). Epidemiologiske studier viser motstridende resultater vedrørende assosiasjonen mellom NO₂ og risikoen for utvikling av lungekreft. En metaanalyse av Hamra et al. (2015) kom fram til at spesielt trafikkrelatert NO₂ er forbundet til en økt risiko for lungekreft. I denne studien ble det observert en signifikant sammenheng på tvers av kontinentene Europa, Asia og Amerika, men ikke for Europa alene. Forskjellen mellom regioner kan skyldes flere ulikheter, blant annet i målemetoder og konfunderende faktorer. Studien konkluderer med at funnene støtter hypotesen om at NO₂ kan bidra i utviklingen av lungekreft. Andre oversiktsartikler som kombinerer Europeiske land, blant annet en ESCAPE-studie av Ole Raaschou-Nielsen et al. (2011) fant kun signifikant sammenheng med PM, som de mente mest sannsynlig er den viktigste luftforurensende årsaken til lungekreft .

Sammenhengen mellom eksponering for NO₂ og mortalitet av lungekreft er ifølge WHO (2006) usikker. Flere studier har sett på mortalitet av respiratoriske årsaker og NO₂, og har ikke funnet signifikante sammenhenger (Dimakopoulou et al., 2014; Hoek, Brunekreef, Goldbohm, Fischer, & van den Brandt, 2002), men det er få studier som ser på lungekreft alene som utfall. En global oversiktsstudie av Faustini et al. (2014), viser en sammenheng for respiratorisk dødelighet, der en inkludert studie fra Kina viser spesielt sammenheng til dødsfall av lungekreft og respiratoriske årsaker (som et utfall) (Dong et al., 2012). Dødsfall av lungekreft knyttes også til kohortstudier fra Canada (Crouse et al., 2015), Japan (Yorifuji et al., 2013), og England Carey et al. (2013) som alle viser signifikante funn.

7.4 NO₂ og hjerte- og karsykdommer

Hjerte og karsykdommer (HKS) favner flere ulike sykdommer som hjerteinfarkt, hjertekrampe, hjerneslag og andre aterosklerotiske sykdommer. I følge Folkehelse rapporten fra 2014 fører HKS til flest dødsfall i Norge når alle aldersgrupper ses under ett, og utgjør dermed et stort folkehelseproblem. Dødeligheten av sykdommene har gått ned, men flere lever lengre med sykdommene. Samtidig øker insidensen, noe som forventes å øke videre på grunn av en økende andel eldre i befolkningen (Folkehelseinstituttet, 2014).

Flere epidemiologiske studier har observert signifikante sammenhenger mellom NO₂ og mortalitet av hjerte- og karsykdommer. Dette gjelder blant annet en global metaanalyse av Faustini et al. (2014), som fant signifikante funn for Europa alene, en kanadisk kohortstudie (Chen et al., 2013), og en engelsk kohortstudie (Carey et al., 2013). Den biologiske mekanismen bak er noe usikker, men trolig kan luftforurensning påføre endringer i åreveggens funksjon, og trigger til mekanismer som fører til økt oksidativt stress og inflammasjoner. Disse funksjonene er viktige i både utviklingen og endepunkt i form av død av sykdommene (Ayres, 2006). Det er også studier som ikke ser noen sammenheng, som ESCAPE-studien av R. Beelen et al. (2014). Studien omfattet 22 kohorter fra land over hele Europa. Assosiasjonen mellom NO₂ og HKS ble sett i noen studier, men samlet var ikke sammenhengen signifikant. Hvorfor det i denne metaanalysen ikke ble sett noen sammenheng var det ingen klare svar på.

En dansk kohortstudie observerte at spesielt trafikkrelatert eksponering for NO₂ var assosiert med dødelighet fra HKS (O. Raaschou-Nielsen et al., 2012). Dette samsvarer med kohortstudien av Chen et al. (2013) utført i Ontario, Canada, som viste tilsvarende resultater. Trafikk medfører også støy, som er vist å kunne øke risiko for HKS. Dette kan være en potensiell konfunderende faktor, men det er sett sammenhenger med NO₂ og mortalitet av HKS i studier hvor det er kontrollert for denne faktoren (Wolfgang Babisch, 2006; O. Raaschou-Nielsen et al., 2012).

7.5 NO₂ og ischemisk hjertesykdom

Ischemisk hjertesykdom er en type hjerte- og karsykdom, og blir i sykdomsbyrdeprosjektet ansett som den største årsaken til tapte leveår i Norge. Sykdommen kjennetegnes av en reduksjon i oksygentilførsel til hjertet, og kan forekomme enten som hjertekrampe eller hjerteinfarkt. Ofte forbindes ischemisk

hjertesykdom med dødsfall i høy alder, men kan også forekomme i yngre aldersgrupper (Folkehelseinstituttet, 2017). I likhet med andre HKS er det en negativ trend i dødelighet av sykdommen, og flere overlever (Folkehelseinstituttet, 2014).

Ischemisk hjertesykdom kan assosieres med eksponering for NO₂. Dette er vist i en kohortstudie utført i tre byer i Canada, der den sterkeste assosiasjonen av HKS ble observert på langtidseksponering for NO₂ og mortalitet av ischemisk hjertesykdom (Chen et al., 2013). Det er knyttet usikkerhet rundt sammenhengen, og ikke alle studier viser en sammenheng, blant annet en ESCAPE- studie av R. Beelen et al. (2014).

7.6 NO₂ og totalt dødsfall

Flere studier viser en økt risiko for all type mortalitet ved eksponering for NO₂. Dette er sett i en metaanalyse av Faustini et al. (2014), oversiktsartikkel av Hoek et al. (2013), i tillegg til en dansk kohortstudie av O. Raaschou-Nielsen et al. (2012). Andre studier viser ingen signifikant assosiasjon, slik som en europeisk metaanalyse av Rob Beelen et al. (2014), som så på all naturlig dødsfall. Her ble sammenhengen enda svakere ved kontrollering for svevestøv, men endte på en assosiasjon som var på grensen til signifikant. En nederlandsk kohortstudie av Hoek et al. (2002) viste først en signifikant sammenheng, men ved kontrollering for konfunderende faktorer var ikke denne sammenhengen lenger signifikant.

8 Folkehelserelevans

I Norge ble Folkehelseloven innført i 2012, og skal sørge for en samfunnsutvikling som fremmer folkehelse, herunder utjevne sosiale helseforskjeller. Alle statlige aktører plikter å sørge for at helsemessige hensyn blir ivaretatt, og at et prinsipp om "helse i alt vi gjør" følges i offentlig forvaltning. Kommunen har et viktig ansvar for at alle virksomheter ivaretar dette hensynet, og skal også ha oversikt over faktorer i miljø og kommunens utvikling som kan påvirke helsetilstanden i befolkningen, deriblant luftforurensning (Folkehelseloven § 1-7, 2012).

Mennesker er avhengige av luft for å overleve, og puster inn omkring 10-20 m³ luft hver dag (World Health Organization, 2000). Kvaliteten på lufta, og effekten av eventuelle forurensninger kan derimot variere. Dette gjør luftmiljøet mennesker befinner seg i til en viktig determinant for helse, som kan spille inn både positivt og negativt (World Health Organization, 2009). Modellen til Dahlgren and Whitehead (1991) (figur 6)

illustrerer de grunnleggende helsedeterminantene som påvirker et individs helse. Determinantene er med på å skape sosiale forskjeller i samfunnet og en sosial helsegradient, der bedre helse øker parallelt med sosioøkonomisk status (SØS). På hvilken måte determinanter som NO₂ kan skape helseforskjeller er lite undersøkt og lite forstått. Det kan være interessant å se konsekvensene av NO₂ i forhold til denne modellen.

Determinantene virker inn på helse i et komplekst samspill, og luftforurensning kan virke sammen med, eller ha innvirkning på determinanter i lagene til figur 6. Dahlgren og Whitehead (1991) trekker inn trafikkerte veier som en potensiell faktor som kan bidra til å skape eller øke sosioøkonomiske helseforskjeller. Områder nære hovedveier er gjerne eksponert for mer støy, og oppfattes derfor som mindre attraktive. Dette kan føre til at boligprisene på disse stedene synker, som gjør områdene mer tilgjengelige for husstander med lavere inntekt, og lavere SØS. På denne måten kan disse husstandene bli bosatt på mer forurensende områder. I andre enden kan de med bedre økonomiske forutsetninger bosette seg på mer populære og dyrere områder, med lavere støynivåer og mindre forurensning, og har dermed bedre muligheter for å utvikle og opprettholde en god helse.

En kohortstudie av befolkningen i Oslo kan relateres til poenget over. I studien kom det frem at boligområder som var karakterisert med lav SØS også var eksponert for større mengde luftforurensning (Naess, Piro, Nafstad, Smith, & Leyland, 2007). Andre studier viser mer varierende resultater. Dette gjelder blant annet en oversiktsartikkel av Hajat, Hsia, and O'Neill (2015), hvor det i Nord- Amerika ble sett en signifikant sammenheng mellom eksponering for luftforurensning og lav SØS. Funnene for Europa var motstridende, men en inkludert studie fra Sverige viste at barn fra familier med lav SØS var mer eksponert for NO₂ enn de fra familier med høy SØS. I metaanalysen kom det fram at sammenhengen med lav SØS og større eksponering ikke nødvendigvis bare knyttes til bosetting i områder med økt eksponering. Noe av årsaken mente de også kunne komme av at personer med høyere SØS har større ressurser til å kunne beskytte seg mot eksponenter, blant annet gjennom bedre isolerte hus.

I Norge er det sett en økning i den sosiale ulikheten i dødeligheten av lungekreft, spesielt blant kvinner. For menn står lungekreft og KOLS til sammen for omkring en femtedel av forskjellene (Strand et al., 2014). Dette kan knyttes til tobakksrøyking, som er en viktig

hovedårsak til lungekreft, men også luftkvalitet ser ut til å være av betydning (Folkehelseinstituttet, 2014).

9 Metode

Oppgaven er kvantitativ, og inkluderer kartanalyser og beregninger av tilskrivbare andeler slik disse blir brukt i epidemiologi. Dette fordi jeg ønsket å anslå andelen i kohorten i Frogn som kan forventes å bli syke eller dø av spesifikke helseutfall, og dermed søkte kvantifiserbare resultater. En fordel med et kvantitativt design er at det er mulig å kontrollere et stort antall enheter, og man får tallfestede svar (Webb, Bain, & Page, 2016). Videre er dette en prospektiv studie, der ønsket er å predikere framtidige sykdomstilfeller og dødsfall.

9.1 Studier

For å finne relevante studier har jeg foretatt søk i databasene PubMed, Medline, Google Scholar og The Lancet med søkeordene NO₂, nitrogen dioxide, health, consequences, ESCAPE, air pollution, cardiovascular disease(s), ischemic heart disease, lung cancer, cancer, respiratory disease, mortality, morbidity, death, effect, socioeconomic status, determinants og equality i ulike kombinasjoner for å finne relevante studier innen fagområdet. Jeg gjorde også kildesøk i ESCAPE- studiene. Artiklene ble plukket ut på bakgrunn av om de er fagfellevurderte, type studie, størrelse på kohorter og impact factor på journalen de er publisert i. Studier fra ESCAPE- prosjektet er spesielt vektlagt, da dette er svært relevante studier, og et anerkjent prosjekt.

9.2 Geografiske informasjonssystemer

En vesentlig del av oppgaven ble utført i kartprogrammet Quantium geographic information system (QGIS). Dette er et type geografisk informasjonssystem (GIS), som gjør det mulig å lagre, analysere, manipulere og presentere romlig geografisk informasjon. Resultatet kan illustreres både kartografisk og i tabeller (Nuckols, Ward, & Jarup, 2004). Jeg har brukt GIS da det er vist å være et nyttig verktøy for å studere miljømessige og geografiske faktorer av betydning for helse i en befolkning. Det er også vist å være nyttig i kartleggingen av befolkningen som er mer/mindre eksponerte av en komponent, for å kunne si noe om både prospektiv og retrospektiv fordeling av fenomenet. Dette gir mulighet for en romlig analyse som kan bidra i å få oversikt over sykdommer helt nede på lokalt nivå (Nuckols et al., 2004).

I QGIS utførte jeg analyser for å estimere utendørs konsentrasjon av NO₂ for hvert adressepunkt til befolkningen i Frogn kommune. I oppgaven benyttet jeg flere datakilder av stedfestede data: arealdekkar, veidatabasen (VBASE) og matrikkeldata. Kartdata over de ulike veialternativene ble sent inn fra Statens Vegvesen. Den viktigste datakilden var kartlaget N50, som ga meg informasjon om arealdekke. N50 er den mest detaljerte kartdatabasen som gir landsdekkende geografisk informasjon (Kartverket, 2018), og ble hentet fra GeoNorge sin hjemmeside. Omliggende kommuner ble inkludert i analysen da relevant topografi kunne ligge utenfor Frogn kommune, og informasjon fra N50 om disse ble derfor også hentet inn. Dette gjaldt kommunene Oppegård, Ski Vestby og Ås. Matrikkeldata ble hentet ut fra samme kilde (GeoNorge), og ga meg informasjon om adressepunkter i Frogn og geografisk fordeling av disse. Kartlaget VBASE er et kartdata som gir informasjon om veidekke på landsbasis, og ble også hentet fra GeoNorge.

Jeg brukte en land-use- regresjon (LUR)- modell utviklet ved hjelp av ESCAPE-prosjektet for å estimere NO₂ konsentrasjoner på hjemmeadressene til befolkningen i Frogn kommune. Modellen er hentet fra studien til Panasevich et al. (2016). LUR-modeller baserer seg på lineær regresjon for å analysere forholdet mellom konsentrasjoner av luftkomponenter og ulike variabler som er spesielt relevant for et område, blant annet ulik type topografi (Beelen et al., 2013; Hoek et al., 2008). LUR-modellen forklares nærmere i et senere avsnitt. Variabler relevant for modellen jeg har brukt, innebærer buffer av mengde vann innen 500m, dyrket mark innen 1000m og avstand til nærmeste hovedvei fra adressepunktene. For å beregne disse ble det gjort operasjoner i GIS, der bufferoperasjonen er svært sentral. Fremgangsmetoden for dette er illustrert i figur 7.

For å beregne mengde vann i buffer på 500m rundt adressepunktene, slo jeg sammen arealflatene som dekket ulike type vann (havflate, dam, innsjø, elv og bekk) i Frogn kommune og kommunene rundt til et felles kartlag. Deretter lagde jeg buffer rundt adressepunktene med en radius på 500m. Jeg utførte snittanalyser mellom kartlaget med vann og kartlaget med buffer for å finne snittareal av vann innen bufferne. For å finne dyrket mark i buffer på 1000m rundt adressepunktene, benyttet jeg arealdekket DyrketMark, og lagde buffere på 1000m rundt adressepunktene. Jeg gjorde så snittanalyser mellom kartlaget over dyrket mark og bufferne for å finne samlet areal av

dyrket mark innen bufferne. For å beregne avstand til veiene fra adressepunktene ble kartlaget VBASE redusert til å kun vise hovedveier, ved å implementere et uttrykk som ekskluderte alle andre type veier utenom riksveier og fylkesveier. Kartlaget fra Statens vegvesen ble også brukt for å inkludere de to traseene. Etter dette ble funksjonen NNjoin benyttet for å finne avstand fra nærmeste hovedvei til adressepunktene. Operasjonen ble utført separat for de to veitraseene. Disse tre operasjonene endte opp i tre kartlag: Vann500, DyrketMark1000 og AvstandStorVei. Kartlagene ble koblet sammen i en tabell der hver rad inneholdt informasjon om ett adressepunkt, og hver kolonne inneholdt informasjon om de tre kartlagene (GIS- variabler). Jeg brukte resultatet fra disse operasjonene til å beregne NO₂ -verdier for hvert adressepunkt i Frogn kommune. For å gjøre dette la jeg inn verdiene i formelen (LUR- modellen) hentet fra Panasevich et al. (2016). Negative eller manglende verdier i resultatet fra LUR- modellen ble erstattet med 0.

Det er bare avstand til vei som skiller de to veitraseene i modellen min. De to andre GIS-variablene, vann500 og DyrketMark1000, er like for de to veitraseene.

LUR- modellen som er brukt ble utviklet i studien til Panasevich et al. (2016). Hun beregnet denne modellen for å studere forholdet mellom lav fødselsvekt og eksponering for NO₂ i Oslo, Bergen, Akershus og Hordaland. Studien utviklet ulike LUR- modeller for regionene, der jeg har benyttet meg av modellen tilpasset NO₂ i Akershus. Protokollen for utvikling av modellene var lik den som ble benyttet i ESCAPE- studiene. I utviklingen av LUR- modellen ble lineære regresjonsanalyser brukt for å analysere forholdet mellom NO₂ og ulike potensielle variabler. Panasevich et al. (2016) hentet sine variabler fra lokale GIS analyser av N50 og VBASE i februar 2013. De potensielle påvirkningsvariablene er listet opp i tabell 4. Variablene med høyest økning i den justerte prosentvise forklarte variansen (R^2) ble implementert i modellen dersom tre følgende kriterier var oppfylt. For det første måtte den absolutte økningen av R^2 være mer enn 1%. For det andre ble de inkludert dersom koeffisienten var i samsvar med den forutbestemte retningen for effekten, og for det tredje dersom effekten fra de potensielle variablene allerede inkludert i modellen ikke endret seg. Analysene ble gjort frem til det ikke var flere variabler som ga mer enn 1% utslag på den forklarte R^2 . Størrelsen på bufferne ble satt for å ta høyde for kjente dispersjonsmønstre (Beelen et al., 2013).

Måling av gjennomsnittlig årskonsentrasjon for NO₂ brukt i modellen ble gjennomført i 2010. Målingene innebar tre perioder med 14- dagers varighet hver, derav gjennom vinter, sommer og mellomsesong. Dette for å ta hensyn til sesongrelaterte variasjoner (Panasevich et al., 2016). Med dette ble det utviklet en LUR- modell tilpasset estimering av NO₂- nivåer i Akershus.

9.3 Matematiske beregninger og statistiske analyser

Da NO₂- verdiene for hvert adressepunkt var beregnet gjennom LUR- modellen, kunne jeg gå over til statistiske analyser for å estimere risiko for sykdom og dødsfall i kohorten. I denne delen ble det samlet inn effektmål i form av relativ risiko (RR) eller hazard ratio (HR) fra tidligere studier vedrørende NO₂ og det spesifikke helseutfallet. Studier fra ESCAPE prosjektet ble prioritert, men også andre relevante studier ble tatt i betraktning. Jeg valgte å bruke effektmålet fra én studie, da å veie flere studier opp mot hverandre for å finne risikoestimatet ville blitt en for omfattende oppgave for dette prosjektet. Et viktig krav for studiene var at de måtte ta utgangspunkt i NO₂ ved adressepunkt. Dette gjaldt alle sykdommer med noen unntak, dersom det var vanskelig å finne gode studier med dette kravet som også viste signifikante resultater. Her ble i stedet metaanalyser brukt. Videre ble de vurdert på type studie, styrke på metode, kohortstudier ble også vurdert etter størrelse på kohort(er), og studien måtte operere med en økning på 10µg/m³ NO₂. Det var kun studier som så på langtidseffekt av NO₂, og som viste signifikante relative risikoer som ble brukt i analysene. Det var alltid verdiene hvor det var tatt høyde for flest konfunderende faktorer som ble brukt.

For samlet mortalitet av hjerte- og karsykdommer ble relative risikoer hentet fra studien av Chen et al. (2013) på 1,08, ischemisk hjertesykdom fra samme studie på 1,09, lungekreft sykkelighet fra Hamra et al. (2015) på 1,04, og mortalitet av lungekreft fra Faustini et al. (2014) på 1,024, og all dødsfall fra Hoek et al. (2013) på 1,05.

For å beregne risiko ved ulik grad av eksponering for NO₂, førte jeg de utvalgte risikoverdiene fra studiene over i et regneark med NO₂- verdier for de to veitraseene. Risiko for sykdom delte jeg inn i fem kategorier avhengig av verdien til NO₂. Kategoriene startet på 0- 9,99 µg/m³ NO₂, som var referansegruppa, og økte så med 10µg/m³ NO₂. Siste kategori var >40µg/m³, da denne verdien er den grenseverdien Forurensningsforskriften § 6-7 (2004) og fra Statens Vegvesen (Vegdirektoratet, 2018)

opererer med. Økningen ble satt til $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, da det var denne økningen som ble brukt i studiene jeg hentet relative risikoer fra. Å bruke en standard økning på $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, gjør det dessuten mulig å kombinere effekten av NO_2 fra flere studier, og mellom ulike land (Faustini et al., 2014).

Etter dette kunne jeg beregne relative risikoer for hvert adressepunkt ved hjelp av resultatet over, og *HVIS* funksjonen i Excel. For HKS ble dette uttrykt som formelen under. JP2 tilsvarer kolonnen med NO_2 - verdien for adressepunktet.

$$HVIS(JP2 < 9,99; '1'; HVIS(JP2 < 19,99; '1,311'; HVIS(JP2 < 29,99; '1,501'; HVIS(JP2 < 39,99; '1,719'; HVIS(JP2 > 40; '1,968')))))$$

Deretter kunne tilskrivbar andel beregnes, ved formel hentet fra Webb et al. (2016):

$$\text{Tilskrivbar andel} = \frac{\text{Relativ Risiko} - 1}{\text{Relativ risiko}}$$

Videre ble antall forventede dødsfall per husstand beregnet, forårsaket av grad av eksponering for NO_2 og tilhørende risiko for sykdom. Her ble insidensrater hentet fra KommuneHelse Statistikkbank (ukjent). Formelen er uttrykt som

$$\frac{2,2 \text{ personer} \times \text{insidensrate}}{100\,000} \times \text{tilskrivbar andel}$$

Verdiene for adressepunktene ble summert opp separat for alternativ 1 og 5.

Helsestatistikk for kohorten i Frogn ble hentet fra kommunens folkehelseprofil på KommuneHelse Statistikkbank (ukjent) og på Frogn kommunes folkehelseprofil for 2018 (Folkehelseinstituttet, 2018). Husstanden ble satt til å være 2,2 etter statistikk om gjennomsnittlig antall personer per husstand i Frogn fra Statistisk sentralbyrå (2017).

For å kunne sammenlikne mine resultater med populasjonen i Frogn, måtte jeg regne om insidensratene, vist i formelen under. Dette for å få nøyaktig antall dødsfall for de ulike helseutfallene.

$$\text{Antall dødsfall} = \frac{\text{insidensrate per } 100\,000}{\frac{100\,000}{15\,743}}$$

10 Etiske forhold

Det var ikke nødvendig å søke om godkjenning fra Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk, eller Norsk Samfunnsvitenskapelige datatjeneste siden alle data var anonyme.

11 Resultater

Refererer til artikkelen der resultatene er presentert.

12 Kohorten i Frogn

Frogn er en kommune i Akershus, og ligger på Oslofjordens østside. Kommunen har et landareal på 86 km², og består av et kupert landskap rundt 100m over havet (Askheim & Thorsnæs, 2017). Kommunen har aktive idrettslag, kjøpesentre, golfbane, kino, museum, bademuligheter og kulturskole (Frogn Kommune, ukjent). 1. januar 2018 var befolkning på 15 743 personer, derav 7 751 menn og 7 984 kvinner, og i gjennomsnitt bor det 2,23 personer i hver husstand (Statistisk sentralbyrå, Ukjent). 85% av befolkningen er bosatt i tettstedet Drøbak, 10% i den nordre halvparten av kommunen, og ellers har Frogn en spredt bosetning. Det er forventet en befolkningsvekst grunnet tilflytting til kommunen, og andelen eldre i befolkningen er forventet å øke. Befolkningen i Akershus og Frogn har generelt en høy utdannelse i forhold til resten av landet. Arbeidsledigheten i Frogn er lav, men sykefraværet er høyere enn gjennomsnittet i Akershus (Frogn Kommune, ukjent).

Kommunens folkehelse rapport for 2018 (Folkehelseinstituttet, 2018) rapporterer at forventet levealder i Frogn kommune er høyere for både menn og kvinner i forhold til landsgjennomsnittet, og befolkningen ligger gjennomsnittlig lavere på samtlige helseutfall (HKS, lungekreft, ischemisk hjertesykdom). Andelen som oppsøker lege med hjerte og karsykdommer er derimot høyere enn resten av landet.

13 Diskusjon

Det eksisterer en bred enighet om at eksponering for nitrogen dioksid kan gi negative effekter for human helse. WHO Regional Office for Europe (2013) anser veitrafikk som en signifikant bidragsyter til NO₂ på verdensbasis, og ifølge Folkehelseinstituttet (2013) er dieseldrevne kjøretøy en av hovedkildene til nitrogen dioksid i Norge. Euro 4, 5 og 6

setter nye krav til motorstandarden i dieseldrevne kjøretøy, men dette fører likevel ikke til reduserte utslipp av NO₂ (WHO Regional Office for Europe, 2013).

Forurensningsforskriften § 6-7 (2004) henviser til en grenseverdi på 40µg/m³ NO₂ i årsmiddel, men Folkehelseinstituttet (2013) mener at effektene av forurensningskomponenter også kan ses ved lavere konsentrasjoner. Dette gjør tema relevant også for byer og tettsteder i Norge, og kan gjøre det aktuelt til å vurdere konsekvensene av veiutbyggingsprosjekter i forhold til NO₂.

Gjennom folkehelseloven er kommuner pliktet til å sørge for at et prinsipp om helse i alt vi gjør blir ivaretatt i alle planer fra alle aktører, og at disse planene ikke fører til økte sosiale forskjeller i helse (Folkehelseloven § 1-7, 2012). Oversikt over helsekonsekvensene av et nytt veiutbyggingsprosjekt kan derfor anses som nødvendig for både Frogn kommune og Statens Vegvesen. Det vil være viktig å ha denne oversikten dersom enkelte veialternativer fører til en betydelig større helsekonsekvens for befolkningen i Frogn enn andre. Dersom de ikke har oversikt over dette i planleggingen, kan dette stride imot folkehelseloven da et helsemessig hensyn ikke blir ivaretatt.

Det eksisterer en bred enighet om at risikoen for mortalitet ved hjerte- og karsykdommer henger sammen med langtidseksponering for NO₂, selv om effektestimater varierer (Chen et al., 2013; Faustini et al., 2014; O. Raaschou-Nielsen et al., 2012). Sykdomsgruppen er en stor dødsårsak og viktig folkehelseutfordring i Norge (FHI, 2013), som øker behovet for å kartlegge forholdet ved en potensiell økt eksponering, slik som NO₂ ved veiutbygginger. I metaanalysen til Faustini et al. (2014) ble det sett en signifikant økt risiko for mortalitet av HKS i Europa, men for Nord-Amerika og Asia var ikke funnene signifikante. To kanadiske kohortstudier av Chen et al. (2013) og Crouse et al. (2015) derimot, fant signifikante resultater. ESCAPE- studien utført av R. Beelen et al. (2014) observerte, i motsetning til Faustini et al. (2014), ingen signifikant økt risiko for Europa. Dette hadde de dog ingen klar forklaring på. Resultatet kan ses i sammenheng med studien av Chen et al. (2013), der NO₂ ikke blir sett på som en kausal årsak, men heller en markør for trafikkrelatert luftforurensning som øker risikoen for mortalitet av HKS. Også Faustini et al. (2014) er forsiktig i å dra for klare linjer mellom effekten av NO₂ alene og utfallet. NO₂ kan dermed se ut til å være en medvirkende komponent, men ikke en kausal årsak til mortalitet av HKS. Antall studier på området er dessuten fortsatt lite, som svekker kausaliteten ytterligere.

Sammenhengen er likevel sterk i flere av de studiene som er utført, som gjør at dette kan være betydningsfull konsekvens som må tas hensyn til i veiutbyggingsprosjekter.

Den kausale sammenhengen mellom NO₂ og utvikling av lungekreft er usikker og ikke fullstendig kartlagt. Folkehelseinstituttet (2013) mener likevel det ikke kan settes en nedre grense der eksponering av kreftfremkallende komponenter ikke vil gi noen negativ helseeffekt. Det er derfor viktig å kartlegge hvorvidt eksponering for NO₂ vil påvirke utvikling av lungekreft. Studier fra Nord- Amerika, eller studier som inkluderer dette kontinentet, viser ofte signifikante funn for NO₂ og utvikling av lungekreft. Dette ses i metaanalysen utført av Hamra et al. (2015) som viser at spesielt NO₂ relatert til veitrafikk kan kobles til en økt risiko for lungekreft. I denne studien ble det sett en signifikant sammenheng på tvers av kontinentene Europa, Asia og Amerika, men ikke for Europa alene. De vil ikke konkludere med en kausal årsakssammenheng, men mener likevel at NO₂ kan bidra i utviklingen av lungekreft. Andre studier fra Europa har ikke observert noen signifikant sammenheng mellom lungekreft og NO₂, derav en studie av Hoek et al. (2002). ESCAPE- studien av O. Raaschou-Nielsen et al. (2013) fant heller ingen sammenheng, og mente PM er viktigere enn NO₂ i utviklingen av lungekreft. Det er i tillegg kjent at PM kan være en konfunderende faktor i måling av NO₂ (Hamra et al., 2015). NO₂ kan på denne måten bli en markør for annen trafikkrelatert forurensning. Det ser ut til å eksistere et kunnskapshull vedrørende NO₂ og utvikling av lungekreft, og hvorvidt denne sammenhengen er aktuell for veiutbygging kan dermed se ut til å være usikker. Det trengs flere studier på området for å få en fullstendig forståelse av dette.

Lungekreft er en av de krefttypene som tar flest liv i Norge (Folkehelseinstituttet, 2013), men hvorvidt dette kan knyttes til NO₂ er et omstridt tema. Sammenhengen mellom NO₂ og mortalitet av lungekreft er signifikant i flere studier over hele verden (Chen et al., 2013; Faustini et al., 2014; Yorifuji et al., 2013), men også her er den en mangel på studier, som gjør sammenhengen usikker. Hvorvidt estimatene fra studier utført i Asia kan relateres til land i Europa, som Norge, er også uklart. Faustini et al. (2014) mener likevel at ved å bruke en standard økning på 10 µg/m³ kan man tillate seg å sammenlikne NO₂- effekter på tvers av landegrenser. Studien av Carey et al. (2013) fant et overraskende resultat, med en høyere risiko for lungekreft enn HKS. Dette strider imot store deler av tidligere epidemiologisk forskning. Forskere vil, i likhet med utvikling av lungekreft, ikke konkludere med en kausal årsakssammenheng mellom NO₂

og mortalitet av lungekreft. Også i denne sammenhengen mener Faustini et al. (2014) at man må være forsiktig i å trekke konklusjoner til effekten av NO₂ alene. Mye tyder derfor på at det eksisterer en sammenheng, og at denne ikke bør utelukkes før relasjonen er fullstendig kartlagt.

Et interessant poeng er at det i samtlige ESCAPE- studier ikke er observert noen signifikant sammenheng mellom langtidseksponering for NO₂ og HKS (R. Beelen et al., 2014), lungekreft (O. Raaschou-Nielsen et al., 2013), respiratorisk dødsfall (Dimakopoulou et al., 2014) eller totalt naturlig dødsfall (Rob Beelen et al., 2014). Noen av enkeltstudiene som er brukt i ESCAPE viste signifikans hver for seg, men ikke samlet. Spesielt overraskende var dette for sammenhengen mellom NO₂ og HKS (R. Beelen et al., 2014). Andre studier fra Europa viser derimot signifikans, men effektestimatene er relativ små (Faustini et al., 2014; O. Raaschou-Nielsen et al., 2012). Hvorfor de ikke fant noen signifikante funn i disse studiene, men i andre studier fra Europa er usikkert. Dette kan forsterke usikkerheten som allerede foreligger rundt effekten av NO₂.

Det kan se ut til at veiutbygginger gir ulik helsekonsekvens for ulike deler av en befolkning, sett i sammenheng med Dahlgren og Whiteheads (1991) modell om helsedeterminanter (figur 6). Befolkningen i Frogn har en generell høy sosioøkonomisk status, men også innen denne gruppen er det ulikheter i helse. At husstander med lavere SØS gjerne bosetter seg nære veier, og blir mer eksponert for luftforurensning, kan derfor se ut til å være en relevant problematikk. Dette kan føre til en skjev utvikling i helsestatus blant sosioøkonomiske grupper i Frogn. Tilsvarende tilfelle er sett i en kohortstudie i Oslo, der lav sosioøkonomisk status var assosiert med høyere eksponering for luftforurensning (Naess et al., 2007). Veibebyggelser som ikke tar hensyn til dette kan se ut til å stride imot Folkehelseloven §1 (2012), som uttrykker formålet om å utjevne sosiale helseforskjeller. For å få en oversikt over dette, er det nødvendig med nøyaktige helsekonsekvensutredninger ved veiutbyggingsprosjekter.

Det er dog ikke alle studier som viser en sammenheng mellom eksponering for trafikkrelatert luftforurensning og sosioøkonomisk status knytta til adressepunkter. I en metaanalyse av Hajat et al. (2015) viser studier fra Europa svært blandede resultater vedrørende sammenhengen. Assosiasjonen i ble også sett i en annen interessant vinkling, da boligområder med høy grad av eksponering også ble observert blant befolkninger med høy SØS. Helseeffekten av luftforurensningen var likevel lavere enn

hos de med lav SØS. Noe av årsaken mente de kunne komme av at personer med høyere SØS har bedre ressurser til å beskytte seg mot luftforurensning, blant annet gjennom bedre isolerte hus. Dette kan tyde på at husstander bosatt på områder med høy eksponering ikke nødvendigvis har høyere risiko for mortalitet av spesifikke helseutfall. Videre vil dette gjøre det vanskeligere å kunne estimere effekten av luftforurensning fra veier på sosioøkonomisk helsestatus, spesielt når man ikke har annen informasjon enn adressepunkter. Forholdet mellom SØS og luftforurensning er et stort tema, som ikke er fullstendig kartlagt. Tema bør derfor undersøkes nærmere i framtidige studier.

13.1 Metodekritikk

En styrke ved denne studien er at den er basert på bruk av geografiske informasjonssystemer (GIS), der jeg benyttet Quantium Geographical Information System (QGIS). Ved å bruke GIS som metode vil en kunne jeg beregne nøyaktig verdi av de ulike GIS variablene, og deretter NO₂ for hvert enkelt adressepunkt. GIS øker forståelsen av fordelingen av miljøfaktorer i Frogn kommune og forståelsen av assosiasjoner mellom faktorer i miljøet og helseutfall. Dette er et nyttig verktøy for å estimere nivå av en komponent når det ikke er gjort målinger i virkeligheten (Nuckols et al., 2004).

Statens vegvesen benytter andre modeller for å beregne effekten av luftforurensningskomponenter, blant annet modellen VLUFT. Modellen kan beregne utslipp fra veitrafikk og støy, og baserer seg på parametere fra målinger med utgangspunkt i veier. Dette gir bare en grov kartlegging om det er nødvendig å utarbeide et luftsonekart med tilhørende grenseverdier (ModLUFT, ukjent). Min modell vil kunne beregne mer nøyaktige konsentrasjoner av NO₂, og svevestøv, ved adressepunkter, og kan derfor gjøre de helsemessige konsekvensutredningene mer nøyaktig. Det er likevel viktig å ha i baktanke at modeller aldri er en fullstendig beskrivelse av virkeligheten, og vil kun gi et anslag som alltid vil inneholde noen usikkerheter (Inchbald, ukjent). Modellen min bør vurderes opp mot andre modeller Statens Vegvesen benytter.

En potensiell feil i studien ligger i utfordringen ved måling NO₂. Dette fordi gassen ofte kan være en indikator på andre forurensningskomponenter, og derfor kan gjøre det vanskelig å måle effekten av gassen alene. Det er flere slike potensielle faktorer som svevestøv (Fiordelisi et al., 2017) og støy (W Babisch, 2014). Det er likevel vurdert at målingen gjennomført i studien til Panasevich et al. (2016) er gode.

Det er mange kilder til usikkerhet, slik som i beregning av NO₂ og usikkerheter i relativ risiko for sykdom (Künzli et al., 2000). At studien ikke inneholder 95% konfidensintervaller er derfor en svakhet. Slike beregninger ville blitt en for omfattende oppgave med tanke på tilgjengelig tid. Det ville likevel kunne gitt større forståelse for usikkerheten rundt anslagene.

En annen svakhet ved metoden er at jeg vet ikke hvor mange som i realiteten bor i hvert hus. I følge (Statistisk sentralbyrå, 2017) bor det i gjennomsnitt 2,23 personer i hver husstand i Frogn kommune, men jeg har gått ut ifra et gjennomsnitt på 2,2 etter konsultasjoner med Frogn kommune. Dette har gitt studien en begrensning i detaljnivå. Å få tilgang til informasjon om hver husstand ville likevel blitt en svært omfattende prosess, og ville gjort oppgaven større enn hva det var kapasitet til. Dette kunne også gitt meg mer informasjon om fordeling og sammensetningen i befolkningen.

Denne studien er ikke validert, noe som kan ses på som en svakhet. Den er likevel bygget på gode studier, som på den andre siden vil styrke studien. Blant annet er studien til Panasevich et al. (2016), som LUR- modellen er hentet fra, validert for romlig autokorrelasjon og multicollinearitet.

14 Konklusjon

I denne delen av oppgaven har vi sett at hjerte- og karsykdommer, (derav også ischemisk hjertesykdom), lungekreft og forskjeller i sosioøkonomisk helsestatus representerer viktige utfordringer for folkehelsen i Norge. Ifølge epidemiologiske studier er det flere holdepunkter for en sammenheng mellom NO₂ og mortalitet av de nevnte sykdommene, selv om effektestimatene varierer. Dette øker behovet for helseanalyser i prosjekter der NO₂ opptrer som agent. Basert på funnene fra denne delen av oppgaven, ønsker jeg videre å diskutere effekten av NO₂ i et veiutbyggingsprosjekt av Statens Vegvesen.

15 Litteraturliste

- Askheim, S., & Thorsnæs, G. (2017). Frogn. *Store Norske Leksikon*. Hentet 15. april 2018 fra <https://snl.no/Frogn>
- Ayres, J. (2006). *Cardiovascular disease and air pollution: a report by the Committee on the Medical Effects of Air Pollution*. Hentet fra https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/304668/COMEAP_cardiovascular_disease_and_air_pollution.pdf
- Babisch, W. (2006). Transportation noise and cardiovascular risk: Updated Review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. *Noise and Health, 8*(30), 1-29. doi:10.4103/1463-1741.32464
- Babisch, W. (2014). Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: A meta-analysis. *Noise and Health, 16*(68), 1-9. doi:10.4103/1463-1741.127847
- Beelen, R., Hoek, G., Vienneau, D., Eeftens, M., Dimakopoulou, K., Pedeli, X., . . . Marcon, A. (2013). Development of NO₂ and NO_x land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe—the ESCAPE project. *Atmospheric environment, 72*, 10-23. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.02.037
- Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Weinmayr, G., Hoffmann, B., . . . Hoek, G. (2014). Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet, 383*(9919), 785-795. doi:10.1016/2014-06736(13)62158-3
- Beelen, R., Stafoggia, M., Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Xun, W. W., Katsouyanni, K., . . . Hoek, G. (2014). Long-term exposure to air pollution and cardiovascular mortality: an analysis of 22 European cohorts. *Epidemiology, 25*(3), 368-378. doi:10.1097/EDE.0000000000000076
- Carey, I. M., Atkinson, R. W., Kent, A. J., van Staa, T., Cook, D. G., & Anderson, H. R. (2013). Mortality Associations with Long-Term Exposure to Outdoor Air Pollution in a National English Cohort. *American journal of respiratory and critical care medicine, 187*(11), 1226-1233. doi:10.1164/rccm.201210-17580C
- Chen, H., Goldberg, M. S., Burnett, R. T., Jerrett, M., Wheeler, A. J., & Villeneuve, P. J. (2013). Long-term exposure to traffic-related air pollution and cardiovascular mortality. *Epidemiology, 24*(1), 35-43. doi:10.1097/EDE.0b013e318276c005
- Crouse, D. L., Peters, P. A., Hystad, P., Brook, J. R., van Donkelaar, A., Martin, R. V., . . . Burnett, R. T. (2015). Ambient PM_{2.5}, O₃, and NO₂ Exposures and Associations with Mortality over 16 Years of Follow-Up in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC). *Environmental Health Perspectives, 123*(11), 1180-1186. doi:10.1289/ehp.1409276
- Dahlgren, G., & Whitehead, M. (1991). Policies and strategies to promote social equity in health. *Stockholm: Institute for future studies*.
- Dimakopoulou, K., Samoli, E., Beelen, R., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Hoffmann, B., . . . Xun, W. (2014). Air pollution and nonmalignant respiratory mortality in 16 cohorts within the ESCAPE project. *American journal of respiratory and critical care medicine, 189*(6), 684-696. doi:10.1164/rccm.201310-17770C
- Dong, G. H., Zhang, P., Sun, B., Zhang, L., Chen, X., Ma, N., . . . Chen, J. (2012). Long-term exposure to ambient air pollution and respiratory disease mortality in Shenyang, China: a 12-year population-based retrospective cohort study. *Respiration, 84*(5), 360-368. doi:10.1159/000332930

- European Commission. (2010). *Final report summary - ESCAPE (European study of cohorts for air pollution effects)*. Hentet fra http://cordis.europa.eu/result/rcn/45302_en.html.
- European Environment Agency. (2017). *Air quality in Europe - 2017 report*. Copenhagen: Publications Office of the European Union. Hentet fra <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>.
- Faustini, A., Rapp, R., & Forastiere, F. (2014). Nitrogen dioxide and mortality: review and meta-analysis of long-term studies. *European Respiratory Journal*, 44(3), 744-753. doi:10.1183/09031936.00114713
- Fiordelisi, A., Piscitelli, P., Trimarco, B., Coscioni, E., Iaccarino, G., & Sorriento, D. (2017). The mechanisms of air pollution and particulate matter in cardiovascular diseases. *Heart Fail Rev*, 22(3), 337-347. doi:10.1007/s10741-017-9606-7
- Folkehelseinstituttet. (2013). *Luftkvalitetskriterier - virkninger av luftforurensning på helse (2013:9)*. Oslo: Folkehelseinstituttet. Hentet fra <https://www.fhi.no/publ/2013/luftkvalitetskriterier---virkninger/>.
- Folkehelseinstituttet. (2014). *Folkehelse rapporten 2014: Helsetilstanden i Norge*. Oslo: Folkehelseinstituttet Hentet fra <https://www.fhi.no/nettpub/hin/risiko--og-beskyttelsesfaktorer/luftforurensning--i-noreg/-utvikling-over-tid>.
- Folkehelseinstituttet. (2017). *Sykdomsbyrde i Norge 2015. Resultater fra Global Burden of Disease, Injuries, and Risk Factors Study 2015 (GBD 2015). Rapport 2017*. Oslo: Folkehelseinstituttet. Hentet fra <https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/rapporter/2016/rapport-20161-pdf.pdf>.
- Folkehelseinstituttet. (2018). *Folkehelseprofil 2018 Frogn*. Oslo: Folkehelseinstituttet. Hentet fra <https://khp.fhi.no/PDFVindu.aspx?Nr=0215&sp=1&PDFAAr=2018>.
- Folkehelseloven §1. (2012). *Lov om folkehelsearbeid (Folkehelseloven)*. Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2011-06-24-29>
- Folkehelseloven § 1-7. (2012). *Lov om folkehelsearbeid (Folkehelseloven)*. Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2011-06-24-29>
- Forurensningsforskriften § 6-7. (2004). *Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften)*. Hentet fra https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_3 - KAPITTEL_3
- Frogn Kommune. (ukjent). *Folkehelse rapport for Frogn kommune 2014*. Hentet fra <https://www.frogn.kommune.no/globalassets/enheter/samfunnsutvikling/bilder-og-dokumenter/kommuneplanlegging/folkehelse.pdf>.
- Hajat, A., Hsia, C., & O'Neill, M. S. (2015). Socioeconomic Disparities and Air Pollution Exposure: A Global Review. *Current environmental health reports*, 2(4), 440-450. doi:10.1007/s40572-015-0069-5
- Hamra, G. B., Laden, F., Cohen, A. J., Raaschou-Nielsen, O., Brauer, M., & Loomis, D. (2015). Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 123(11), 1107-1112. doi:10.1289/ehp.1408882
- Hoek, G., Beelen, R., De Hoogh, K., Vienneau, D., Gulliver, J., Fischer, P., & Briggs, D. (2008). A review of land-use regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution. *Atmospheric environment*, 42(33), 7561-7578. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.05.057
- Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., & van den Brandt, P. A. (2002). Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the

- Netherlands: a cohort study. *The Lancet*, 360(9341), 1203-1209.
doi:10.1016/S0140-6736(02)11280-3
- Hoek, G., Krishnan, R. M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., & Kaufman, J. D. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental Health*, 12(1), 43. doi:10.1186/1476-069X-12-43
- Inchbald, J. (ukjent). *Vurdering av lokal luftkvalitet med spredningsberegninger*. Oslo: SWECO Norge AS. Hentet fra <http://www.ralingen.kommune.no/getfile.php/3985949.2185.zbt7nikwzkqswa/21+Luftkvalitetsvurdering.pdf>.
- Kartverket. (2018). Etablering og ajourføring av kartdata. Hentet 15. april 2018 fra <https://www.kartverket.no/kunnskap/kart-og-kartlegging/Hvordan-lages-kart/Etablering-og-ajourforing-av-kartdata/>
- Kommunehelse Statistikkbank. (ukjent). Hentet 3. mars 2018 fra <http://khs.fhi.no/webview/>
- Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., . . . Sommer, H. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet*, 356(9232), 795-801.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02653-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02653-2)
- ModLUFT. (ukjent). VLUFT. Hentet 3. april 2018 fra <http://www.luftkvalitet.info/ModLUFT/Modeller/MODELLOVERSIKT/VLUFT.aspx>
- Naess, O., Piro, F. N., Nafstad, P., Smith, G. D., & Leyland, A. H. (2007). Air pollution, social deprivation, and mortality: a multilevel cohort study. *Epidemiology*, 18(6), 686-694. doi:10.1097/EDE.0b013e3181567d14
- Nuckols, J. R., Ward, M. H., & Jarup, L. (2004). Using Geographic Information Systems for Exposure Assessment in Environmental Epidemiology Studies. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 1007-1015. doi:10.1289/ehp.6738
- Panasevich, S., Haberg, S. E., Aamodt, G., London, S. J., Stigum, H., Nystad, W., & Nafstad, P. (2016). Association between pregnancy exposure to air pollution and birth weight in selected areas of Norway. *Arch Public Health*, 74, 26.
doi:10.1186/s13690-016-0138-8
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Beelen, R., Samoli, E., Stafoggia, M., Weinmayr, G., . . . Hoek, G. (2013). Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol*, 14(9), 813-822. doi:10.1016/s1470-2045(13)70279-1
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Hvidberg, M., Jensen, S. S., Ketzel, M., Sørensen, M., . . . Tjønneland, A. (2011). Lung Cancer Incidence and Long-Term Exposure to Air Pollution from Traffic. *Environmental Health Perspectives*, 119(6), 860-865.
doi:10.1289/ehp.1002353
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Jensen, S. S., Ketzel, M., Sørensen, M., Hansen, J., . . . Overvad, K. (2012). Traffic air pollution and mortality from cardiovascular disease and all causes: a Danish cohort study. *Environmental Health*, 11(1), 60.
doi:10.1186/1476-069X-11-60
- Statistisk sentralbyrå. (2017). *Familier og husholdninger*. Hentet fra <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/familie>
- Statistisk sentralbyrå. (Ukjent). Befolkningsmengde og befolkningsendringer. Hentet 20. mars 2018 fra <https://www.ssb.no/statbank/table/11727/?rxid=a24f4d8c-0937-46b0-aad0-60d6010f59d9>

- Strand, B. H., Langballe, E. M., Rosness, T. A., Bergem, A. L. M., Engedal, K., Nafstad, P., . . . Bjertness, E. (2014). Age, education and dementia related deaths. The Norwegian counties study and the cohort of Norway. *Journal of the neurological sciences*, 345(1), 75-82. doi:10.1016/j.jns.2014.07.009
- Vegdirektoratet. (2018). *Konsekvensanalyser*. Hentet fra https://www.vegvesen.no/_attachment/704540/binary/1236560?fast_title=H%C3%A5ndbok+V712+Konsekvensanalyser.pdf.
- Webb, P., Bain, C., & Page, A. (2016). *Essential epidemiology: an introduction for students and health professionals*: Cambridge University Press.
- WHO Regional Office for Europe. (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Hentet fra [Hele oppgaven Nora.docx](#).
- World Health Organization. (2000). *Air quality guidelines for Europe, second edition*. (Rapport nr 91). Copenhagen: World health organisation. Hentet fra http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf.
- World Health Organization. (2006). *Air quality guidelines: global update 2005*. (9289021926). World Health Organization. Hentet fra <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide>.
- World Health Organization. (2009). *Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. (9241563877). Geneva: World Health Organization. Hentet fra http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalHealthRisks_report_full.pdf.
- World Health Organization. (2016). *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease*. Geneva: World health organisation. Hentet fra <http://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>.
- World Health Organization, U. (2006). *Air quality guidelines: global update 2005*. (9289021926). Copenhagen: World Health Organization Hentet fra <https://www.unenvironment.org/resources/report/air-quality-guidelines-global-update-2005>.
- Yorifuji, T., Kashima, S., Tsuda, T., Ishikawa-Takata, K., Ohta, T., Tsuruta, K.-i., & Doi, H. (2013). Long-term exposure to traffic-related air pollution and the risk of death from hemorrhagic stroke and lung cancer in Shizuoka, Japan. *Science of The Total Environment*, 443, 397-402. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.10.088

16 Artikkel

Helsekonsekvenser av langtidseksponering for NO₂ ved veitbyggingsprosjektet av Riksvei 23 gjennom Oslofjorden.

Nora Elin Hoff

Korresponderende forfatter

Institutt for folkehelsevitenskap, Fakultet for landskap og samfunn, Norges miljø og
biovitenskapelige universitet

Sammendrag

Bakgrunn: Denne studien tar for seg helsekonsekvensene av to alternativer for veiutbyggingsprosjektet av Riksvei 23 mellom Krokodden og Vassum for kohorten i Frogn kommune. Det er sett på konsekvensene av nitrogendioksid (NO₂) i forhold til mortalitet av hjerte- og karsykdommer, ischemisk hjertesykdom, lungekreft, og alle type dødsårsaker, i tillegg til utviklingen av lungekreft. En betydning for sosioøkonomiske helseforskjeller vil også bli presentert.

Metode: Jeg har beregnet NO₂ konsentrasjon ved hvert adressepunkt i Frogn kommune. Modellen er basert på bruk av geografiske informasjonssystemer og land- use regression metodikk. Relevante kartlag ble hentet fra GeoNorge, og sammenhengen mellom NO₂ og helseutfall fra epidemiologiske litteratur. Basert på disse verdiene beregnet jeg forventet antall syke som kan tilskrives eksponering av NO₂ for hvert alternativ og sammenliknet disse.

Resultat: Gjennomsnittlig konsentrasjon av NO₂ var svært lik for begge alternativene (1: 23,343; 5:23,341 µg/m³). Høyest konsentrasjon ses langs vannflater. Det er estimert at en andel på 1,13 kommer til å dø av hjerte- og karsykdommer, forårsaket av eksponering for NO₂ fra veialternativ 1 eller 5. Tilskrivbar andel (TA) for ischemisk hjertesykdom er 0,46 dødsfall. For utvikling av lungekreft er TA 0,70 dødsfall. TA for mortalitet av lungekreft estimeres til 0,16 dødsfall. Det estimeres at 3,96 av totalt antall dødsfall kan tilskrives NO₂ fra veialternativ 1, mens TA for veialternativ 5 er estimert til 3,95 dødsfall.

Konklusjon: Det er stor variasjon i NO₂ verdiene i Frogn kommune, og høyest verdier er observert langs vannflater for begge alternativ. Det er ingen signifikante forskjeller i NO₂ konsentrasjoner mellom veialternativ 1 og 5 i Frogn kommune, og ingen forskjeller i beregnet helseutfall. Det kan se ut til at alternativene kan ha ulik effekt på sosioøkonomisk helsestatus, men dette er noe som må utdypes i videre studier.

Nøkkelord: Nitrogendioksid, veiutbygging, helsekonsekvenser, lungekreft, hjerte- og karsykdommer, ischemisk hjertesykdom, respiratorisk mortalitet, geografiske informasjonssystemer.

Introduksjon

Verdens helseorganisasjon (WHO) anslår utendørs luftforurensning til å være ansvarlig for omkring 3 millioner dødsfall årlig på verdensbasis (World Health Organization, 2016a). Nitrogendioksid (NO₂) er, sammen med svevestøv (PM), en viktig luftforurensningskomponent og det er derfor viktig å ha oversikt over konsentrasjonen av gassen der folk ferdes og bor. Gassen er svært reaktiv, og dannes ved høye temperaturer i blant annet forbrenningsprosesser (Folkehelseinstituttet (FHI) 2013).

En av hovedkildene til NO₂ i Norge er veitrafikk, der dieseldrevne kjøretøy bidrar med en dominerende del av utslippet. Det er videre dokumentert at eksponering for gassen gir negative helsekonsekvenser, der barn og eldre er spesielt sårbare grupper (Folkehelseinstituttet, 2013). For å sikre en god luftkvalitet er det opprettet grenseverdier for de ulike luftforurensningskomponentene. Grenseverdien for NO₂ er satt til 200µg per time, der denne verdien ikke skal overskride mer enn 18 ganger per kalenderår, og 40µg i årsmiddel (Forurensningsforskriften § 6-7, 2004). Verdiene blir likevel overskredet flere steder i Norge (Folkehelseinstituttet, 2013).

Flere epidemiologiske studier har undersøkt sammenhengen mellom NO₂ og ulike helsekonsekvenser. Assosiasjonen til hjerte- og karsykdommer (HKS) er vist å være sterk i flere studier over hele verden. To kanadiske kohortstudier viser signifikante sammenhenger (Chen et al., 2013; Crouse et al., 2015), i tillegg til en metaanalyse som har sett på studier fra Europa, Asia og Nord- Amerika (Faustini, Rapp, & Forastiere, 2014), og europeiske kohortstudier, blant annet en utført i Danmark (O. Raaschou-Nielsen et al., 2012). Studier som ser på sammenhengen mellom utviklingen av lungekreft og NO₂ viser mer sprikende resultater. En metaanalyse gjort på studier fra Europa, Asia, Nord- Amerika viste signifikante sammenhenger for alle samlet, men ikke for Europa alene (Hamra et al., 2015). En metaanalyse av 17 kohorter fra europeiske land viste heller ingen signifikante funn (Ole Raaschou-Nielsen et al., 2011). For respiratorisk dødsfall og lungekreft er det også observert ulike resultater. En metaanalyse gjort på studier fra Europa, Asia, Nord- Amerika viste signifikante funn for alle kontinentene utenom Nord- Amerika (Faustini et al., 2014). En annen metaanalyse gjort på 16 kohortstudier fra Europa viste ingen signifikant sammenheng (Dimakopoulou et al., 2014). Sammenhengen til NO₂ er videre sett i studier som ser på totalt dødsfall, men også her er det varierende resultater. En metaanalyse med 12

studier viste signifikante funn for Europa og Asia, men ikke for Nord- Amerika (Faustini et al., 2014). En kohortstudie fra Danmark viste også sammenheng for all type dødsfall (O. Raaschou-Nielsen et al., 2012). En oversiktsartikkel av Rob Beelen et al. (2014) som tok for seg 22 kohortstudier i Europa så ingen sammenheng på naturlig dødsfall og eksponering for NO₂.

Statens vegvesen har i forbindelse med utvidelsen av Riksvei 23 (R23) mellom Krokodden og Vassum utviklet seks forslag til alternative veitraseer. Alternativ 1 innebærer en bro over Nordre Håøya og over til Digerud, og i alternativ 5 foreslås det en utvidelse av eksisterende vei, som inneholder en tunell som munner ut ved Torshytta (Figur 5). Den nye traseen skal kunne avlaste Europavei 18 (E18) over Oslo, og gi større stabilitet og forutsigbarhet. Statens vegvesen er gjennom folkehelseloven pliktig til å ta helsemessig hensyn ved denne utbyggingen (Folkehelseloven § 1-7, 2012).

Målet med denne studien er todelt. For det første vil jeg utvikle en ny metodikk for å sammenlikne helsekonsekvenser ved veiutbygging. For det andre vil jeg bruke metodikken som er utviklet til å beregne verdier for NO₂ ved to ulike trasevalg for kryssing av Oslofjorden, og deres helsekonsekvenser i form av andelen forventet dødsfall av lungekreft og utvikling av dette, dødsfall av hjerte- og karsykdommer, inkludert ischemisk hjertesykdom, og totalt dødsfall i Frogn kommune. Jeg ønsker også å belyse mulige konsekvenser for sosioøkonomiske helseforskjeller.

Teoretisk tilnærming

Folkehelseloven, som ble vedtatt i 2012, skal legge til rette for en samfunnsutvikling som fremmer folkehelse, herunder utjevne sosiale helseforskjeller. Alle statlige aktører plikter å sørge for at helsemessige hensyn blir ivaretatt i statens sektorer. Dette er nedfelt i prinsippet "helse i alt vi gjør". Kommunen har et ansvar for at alle virksomheter ivaretar et helsemessig hensyn, og skal også ha oversikt over faktorer i miljø og kommunens utvikling som kan påvirke helsetilstanden i befolkningen (Folkehelseloven § 1-7, 2012).

Mye tyder på at veier og veiutbygginger kan påvirke human helse ved eksponering for luftforurensende komponenter og deres påvirkning på sykdommer (O. Raaschou-Nielsen et al., 2012), i tillegg til å påvirke de sosioøkonomiske helseforskjellene i en

populasjon (Hajat, Hsia, & O'Neill, 2015). Dette øker behovet for en forståelse av hva slags effekter veiutbygginger kan ha for folkehelsa, og gjør det nødvendig med helsemessige konsekvensanalyser.

European Study of Cohorts for Air Pollution Effects

European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) er et internasjonalt samarbeidsprosjekt som studerer helseeffekten av langtidseksponering for ulike luftforurensningskomponenter i Europa, derav NO₂, PM₁₀ og PM_{2.5}. Prosjektet inneholder 30 ulike kohortstudier fra flere land i Europa, der blant annet helseundersøkelsen HUBRO fra Oslo er inkludert. Folkehelseinstituttet er en deltagende partner i prosjektet.

Målet med prosjektet var å undersøke sammenhengen mellom langtidseksponering for ulike komponenter av luftforurensning og lav fødselsvekt, astma og allergi hos barn, luftveissykdommer, hjerte- og karsykdommer, all type død og kreftsykdommer hos voksne. Et annet formål var å utvikle en fleksibel metode å måle risikoen av langtidseksponering i en befolkning. Det ble også foretatt målinger av luftkomponentene på 20 byer spredt over hele Europa. Disse målingene er benyttet i kohortstudier. Med bakgrunn i dette ble det utviklet en kvantitativ database med estimater for de nevnte helseeffektene ved langtidseksponering for luftforurensning i Europa (European Commission, 2010).

Eksponering av NO₂ og konsekvenser for sykdom og død

Det finnes en rekke studier om hvordan NO₂ påvirker human helse. Under presenterer jeg en kunnskapsoppsummering for hvordan NO₂ påvirker risiko for sykdom og mortalitet. Jeg vil legge mest vekt på metastudier og konsortier, men enkeltstudier vil også bli presentert.

Lungekreft

Kreft er en viktig dødsårsak for befolkningen i Norge. Lungekreft er en av de krefttypene som tar flest liv, og er et folkehelseproblem. Dette til tross for at flere og flere velger å slutte å røyke, som er den viktigste årsaken til å utvikle lungekreft. Insidensen er forventet å øke, blant annet på grunn av en økt andel eldre i befolkningen (Folkehelseinstituttet, 2017). Respiratoriske sykdommer går under J00- J99 i den

internasjonale klassifiseringen av sykdommer (ICD)- 10 (World Health Organization, 2016d), der lungekreft klassifiseres som C33- C34 (World Health Organization, 2016b).

Epidemiologiske studier viser motstridende resultater vedrørende sammenhengen mellom luftforurensning og lungekreft (Hamra et al., 2015; Hystad, Demers, Johnson, Carpiano, & Brauer, 2013; Ole Raaschou-Nielsen et al., 2011). Hamra et al. (2015) observerte i sin metaanalyse en økt risiko for lungekreft på tvers av kontinentene Europa, Nord- Amerika og Asia (hazard ratio (HR)= 1,04 (95% KI: 1,01—1,08) per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). For Europa alene var det en økt risiko, men effektmålet var ikke signifikant (relativ risiko (RR)= 1,02 (95% KI: 0,99- 1,06) per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Hamra et al. (2015) hevder at nitrogendioksid ikke er en kausal årsak til lungekreft, men at gassen er kompatibel med hypotesen om at den kan øke risikoen for lungekreft. Også Folkehelseinstituttet (2013) opplyser om at det ikke kan regnes noen nedre grense for konsentrasjoner av kreftfremkallende stoffer som ikke vil gi negativ effekt. En studie fra ESCAPE- prosjektet utført av O. Raaschou-Nielsen et al. (2013) tok for seg 17 kohorter fra ni land i Europa, men fant ingen signifikant økt risiko for utvikling av lungekreft ved langtidseksponering for NO_2 (RR= 0,99 (95% KI: 0,93-1,06) per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Verdens helseorganisasjon (2006) konkluderte i 2006 med at sammenhengen mellom mortalitet av lungekreft og NO_2 var usikker. Dette på bakgrunn av få studier på området. I den senere tid har flere studier sett signifikante sammenhenger mellom mortalitet av respiratorisk dødsfall, inkludert lungekreft, og NO_2 . I en kanadisk kohortstudie ble det observert en økt risiko for dødsfall fra respiratorisk dødsfall forårsaket av lungekreft, bronkitt og luftrørene med risiko på 1,067 (95% KI: 1,045- 1,091) per 15,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Crouse et al., 2015). Sammenhengen med respiratorisk dødsfall er også sett i Europa i en metaanalyse av Faustini et al. (2014) (RR= 1,029 (95% KI: 1,013- 1,045) per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), og en engelsk kohortstudie av Carey et al. (2013) (HR= 1,11 (95% KI: 1,05- 1,17) per 10,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En Japansk studie utført av Yorifuji et al. (2013), viser en spesielt høy og signifikant sammenheng, men konfidensintervallet var bredt (RR= 1,20 (95% KI: 1,03- 1,40) per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Hjerte- og karsykdommer

Hjerte- og karsykdommer (HKS) er en samlebetegnelse for flere sykdommer, og vi deler sykdommene inn avhengig av om sykdommen rammer hjertet, vener eller arterier (Folkehelseinstituttet, 2014). Sykdommene tilsvarer ICD- 10 kode I00- I99 i WHO's

kodesystem for sykdommer (World Health Organization, 2016c). Det er sett en nedgang i dødeligheten som følge av HKS, men når alle aldersgrupper ses under ett står sykdomsgruppen totalt for flest dødsfall. HKS er en spesielt viktig dødsårsak blant eldre, men det er en økning i antall første gangs sykehusinnlagte blant yngre voksne (Folkehelseinstituttet, 2014).

Sammenhengen mellom HKS og NO₂ er observert i flere epidemiologiske studier, og er en av tilstandene som har sterkest assosiasjon, selv om effektestimaterne varierer. En metaanalyse av Faustini et al. (2014), og kohortstudier utført av O. Raaschou-Nielsen et al. (2012), Chen et al. (2013) og Crouse et al. (2015) viser alle signifikant økte risikoer for dødelighet av sykdommen, henholdsvis 1,059 (95% KI: 1,032-1,086) for Europa og 1,33 (95% KI: 1,088- 1,180) inkludert Asia og Nord- Amerika, 1,26 (95% KI: 1,06- 1,51) per 10 µg/m³ og 1,08 (95% KI: 1,05-1,11) per 9,41 µg/m³ og 1,035 (95% KI: 1,022- 1,048) per 15,24 µg/m³. Andre studier viser ingen sammenheng, blant annet en ESCAPE- studie av R. Beelen et al. (2014). Dette ble oppfattet som overraskende, og de kunne ikke forklare grunnen til at det ikke ble funnet signifikante funn. I en dansk kohortstudie ble det observert at spesielt trafikkrelatert NO₂ var assosiert med dødelighet fra hjerte- og karsykdommer (O. Raaschou-Nielsen et al., 2012). Noen studier har også sett på støy som en konfunderende faktor for sammenhengen mellom HKS og NO₂. Dette er ikke kartlagt i alle studier, men i studien til Raaschou-Nielsen et al. (2012) var sammengengen mellom NO₂ og HKS signifikant selv ved kontrollering for støy (RR=1,026 (95% KI: 1,026- 1,51) per 10) µg/m³).

Ischemisk hjertesykdom

Ischemisk hjertesykdom er en type hjerte- og karsykdom som innebærer redusert tilførsel av blod til hjertemuskelen, og blir i sykdomsbyrdeprosjektet ansett som den største årsaken til tapte leveår (gjenstående forventet levealder når dødsfallet finner sted) i Norge. Sykdommen er forbundet med dødsfall i høy alder, men kan også være relevant blant yngre aldersgrupper (FHI, 2017). Flere studier har observert en assosiasjon mellom sykdommen og langtidseksponering for NO₂. I en kanadisk kohortstudie av Chen et al. (2013) ble den sterkeste assosiasjonen mellom HKS mortalitet og NO₂ sett på ischemisk hjertesykdom (RR= 1,09 (95% KI: 1,04- 1,14) per 9,41 µg/m³). Studien til Crouse et al. (2015) viste tilsvarende resultater med relativ risiko på 1,042 (95% KI: 1,026-1,058) per 15,42 µg/m³. Ikke alle studier viser en

signifikant sammenheng. En metaanalyse i ESCAPE- prosjektet utført av R. Beelen et al. (2014) viser ingen signifikant økt risiko for noen hjerte- og karsykdommer i Europa, og for ischemisk hjertesykdom var risikoen for død på 1,00 (95% KI: 0,93-1,10) per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En dansk kohort studie av O. Raaschou-Nielsen et al. (2012) viste heller ingen signifikante funn for ischemisk hjertesykdom (RR= 1,12 (95% KI: 0,85 – 1,47). Modellen i denne studien tok også høyde for støy.

Totalt dødsfall

Et økende antall studier viser en assosiasjon mellom NO_2 og all type mortalitet. Faustini et al. (2014) viser i sine metaanalyser en signifikant sammenheng mellom NO_2 og totalt og naturlig dødsfall (RR=1,066 (95% KI: 1,029- 1,104) per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) for Europa, og 1,041 (95% KI:1,019- 1,064) for Europa, Asia og Nord- Amerika samlet. Tilsvarende resultater for naturlig død er også vist i en oversiktsartikkel av Hoek et al. (2013), der RR var på 1,05 (95% KI: 1,03- 1,08) per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for all type død. En engelsk kohortstudie av Carey et al. (2013) viste også økt risiko for all type mortalitet (HR= 1,02 (95% KI: 1,99- 1,05) per 10,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). ESCAPE- studien av Rob Beelen et al. (2014) som så på NO_2 og naturlig dødsfall blant 22 europeisk kohortstudier, fant ingen signifikant økt risiko (RR= 1,01 (95% KI: 0,99- 1,03) per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Sosioøkonomiske helseforskjeller

Det er et kjent fenomen at god helse øker parallelt med sosioøkonomisk status (SØS), som i stor grad knyttes til utdanning og levealder. Forskjellene ses også innenfor ulike grupper i den sosiale rangstigen (FHI, 2014). Luftkvalitetens betydning for SØS kan ifølge Dahlgren og Whitehead (1991) relateres til at boligområder nære trafikkerte veier kan oppfattes som mindre attraktive, blant annet på grunn av støy. Dette kan føre til at boligprisene på disse stedene synker, og gjør de mer aktuelle for personer med lavere sosioøkonomisk status, og lavere økonomiske forutsetninger. Dette kan føre til at disse personene blir mer eksponert for luftforurensning, som igjen kan føre til dårligere helse. Husstander med god sosioøkonomisk status bosetter seg gjerne på områder assosiert med lavere støy, og eksponering for luftforurensning. De har dermed et bedre utgangspunkt for å opprettholde en god helse. Derfor kan de sosioøkonomiske helseforskjellene øke (Dahlgren & Whitehead, 1991).

Flere studier har i den senere tid sett sammenhengen mellom sosioøkonomisk status og luftforurensning, blant annet har Hajat et al. (2015) gjennomført en oversiktsstudie som viser at lav SØS er assosiert med høyere konsentrasjon luftforurensning i flere deler av verden. Studien knytter videre ikke bare lav SØS til høy eksponering og bosted, men også høy SØS med høy eksponering. Personer med høy SØS kan være bosatt på områder eksponert for høy forurensning, men de har gjerne større ressurser til å beskytte seg mot dette, blant annet gjennom bedre isolerte hus. På denne måten kan høy eksponering også være knyttet til høy SØS, men effekten av eksponeringen vil likevel være mindre enn for de med lav SØS.

Metode

Oppgaven er en kvantitativ kartanalyse. Dette fordi jeg ønsket å anslå andelen i kohorten i Frogn som kan forventes å dø av kardiovaskulær sykdommer (i alt og ischemisk hjertesykdom), lungekreft og utvikling av dette, og utsettes for tidlig død på bakgrunn av eksponering for NO₂ fra ulike veitraseer. Jeg søkte dermed kvantifiserbare resultater. Videre er dette en prospektiv studie, der ønsket er å predikere framtidige hendelser.

Studier

For å finne relevante studier har jeg foretatt søk i databasene PubMed, Medline, Google Scholar og The Lancet med søkeordene NO₂, nitrogen dioxide, health, consequences, ESCAPE, air pollution, cardiovascular diseases, ischemic heart disease, lung cancer, cancer, respiratory disease, mortality, morbidity, death, effect, socioeconomic status, determinants og equality i ulike kombinasjoner for å finne relevante studier innen fagområdet. Det ble også foretatt kjedesøk ESCAPE- studiene. Artiklene ble plukket ut på bakgrunn av om de er fagfellesvurderte, type studie, størrelse på kohorter og impact factor på journalen de er publisert i. Studier fra ESCAPE- prosjektet er tungt vektlagt, da dette er svært relevante studier, og et anerkjent prosjekt om luftforurensning i Europa.

Geografiske analyser

En vesentlig del av oppgaven ble utført i kartprogrammet Quantium geographic information system (QGIS). I dette programmet utførte jeg analyser i for å estimere utendørs konsentrasjon av NO₂ for hvert adressepunkt til kohorten i Frogn. I oppgaven

benyttet jeg flere datakilder av stedfestede data: arealdekkar, veidatabasen (VBASE) og matrikkeldata. I tillegg fikk jeg tilsendt relevant data fra Statens Vegvesen.

Den viktigste datakilden var kartlaget N50, og jeg hentet ut tilhørende data for Frogn, Ski, Oppegård, Nesodden, Vestby og Ås fra GeoNorge sin hjemmeside (www.geonorge.no). N50 inneholder informasjon om administrative områder, arealdekke, bygninger og anlegg, høyde, restriksjonsområder, samferdsel og stedsnavn. Kartdata blir kontinuerlig kontrollert av Kartverket, noe som gjør det oppdatert til enhver tid (Kartverket, 2016). N50 er også den mest detaljerte landsdekkende kartdatabasen (Kartverket, 2018), og var derfor det mest gunstige for denne studien. Jeg benyttet informasjon om arealdekke som ga meg informasjon om topografi. Relevant topografi kunne ligge utenfor Frogn, derfor ble de omliggende kommuner og arealdekker for disse områdene også inkludert i analysen. Kartlaget VBASE viser alle veier i valgt kommune, og ble også hentet fra GeoNorge. Matrikkeldata for Frogn ble hentet ut fra samme kilde. Dette datasettet gir en oversikt over alle adressepunktene i valgt fylke, og ble i QGIS begrenset til Frogn ved funksjonen Select features using an expression. Jeg har brukt koordinatsystem EPSG:32632, WGS84/ UTM sone 32N for alle kartlagene. Kartdata over de ulike veialternativene ble sendt inn fra Statens Vegvesen.

Jeg brukte en land-use- regresion (LUR) modell utviklet ved hjelp av ESCAPE- prosjektet for å estimere NO₂ konsentrasjonen på hjemmeadressene til kohorten i Frogn kommune. LUR- modeller er basert på lineær regresjon for å analysere forholdet mellom konsentrasjoner av forurensningskomponenten og ulike variabler som er spesielt relevant for et område, blant annet ulik type topografi. På denne måten blir det tatt hensyn til regionale forskjeller (Beelen et al., 2013). I studien til Beelen et al. (2013) vises hvordan LUR- modellene ble utviklet i ESCAPE- prosjektet, og hvilke variabler som var relevante. Beregninger av NO₂ er gjort på lik måte (lik forskningsprotokoll) for alle studiestedene i prosjektet. For å beregne NO₂ basert på GIS- variabler ble ulike teknikker benyttet. Bufferoperasjon er sentral, og fremgangsmetoden er vist i figur 7. De variablene som var relevante i denne studien er forklart under.

Mengde vann i buffer på 500m rundt adressepunktene. Først slo jeg sammen relevante arealdekker fra N50 som dekket ulike type vann (havflate, dam, innsjø, elv og bekk) til én variabel ved å benytte union både mellom de ulike arealdekkene og

kommunene. Deretter lagde jeg buffere på 500m for vannflater. Til slutt fant jeg snittarealet mellom kartlaget med vann og 500m- buffere ved å benytte snittanalyser.

Dyrket mark i buffer på 1000m rundt adressepunktene. Fra N50 benyttet jeg arealdekke som heter DyrketMark, og beregnet 1000m buffer rundt adressepunktene. Videre utførte jeg en snittanalyse for å finne samlet areal av dyrka mark innen bufferne.

Avstand til nærmeste hovedvei. VBASE- kartlaget ble redusert til å kun vise hovedveier i form av fylkesveier og riksveier. Dette gjorde jeg ved å implementere et uttrykk i egenskapstabellen som ekskluderte alle andre type veier. Etter dette benyttet jeg funksjonen NNjoin for å beregne avstand mellom adressepunktene og nærmeste vei. Resultatene fra disse operasjonene ble implementert i LUR- modellen for å beregne NO₂ verdier for hvert adressepunkt. De verdiene som viste negative eller manglende verdier ble satt til 0.

LUR- modellen som er brukt hentet jeg fra studien til Panasevich et al. (2016), som studerte forholdet mellom lav fødselsvekt og eksponering for NO₂ i Oslo, Bergen, Akershus og Hordaland. Protokollen Panasevich brukte er tilsvarende den som ble benyttet i ESCAPE- studiene, og ble tilpasset relevante variabler i Akershus. Utviklingen av LUR- modellene er beskrevet i detalj i tidligere rapporter (Beelen et al., 2013). Målingene av NO₂ i studien til Panasevich et al. (2016) ble gjennomført i 2010, og innebar tre perioder med 14- dagers varighet hver. De ble foretatt gjennom vinter, sommer og mellomsesong for å ta hensyn til sesongrelaterte variasjoner.

Gjennomsnittlig nivå ble brukt til å estimere årlig NO₂ konsentrasjon. For videre utvikling av LUR- modellen ble det hentet inn informasjon om landskap fra GIS analyser av N50 og veidekke fra VBASE. Basert på om lag 95 GIS- variabler (tabell 4) beregnet hun hvilke variabler som var signifikant assosiert med NO₂ ved hjelp av en prosentvis forklart varians (R²). Den ferdige formelen innebar variablene buffer av mengde vann innen 500m (vann500), dyrket mark innen 1000m (dyrkamark1000) og avstand til nærmeste hovedvei fra adressepunktene (disthovedvei). Formelen er uttrykt som:

$$NO_2 = 15,70 + 0,000042 \times Vann500 - 0,01 \times Disthovedvei - 3,79E \\ - 0,6 \times Dyrkamark\ 1000$$

Da jeg hadde beregnet verdiene i LUR- modellen, kunne jeg gå over til statistiske analyser for å estimere risiko for sykdom og dødsfall i kohorten. I denne delen samlet

jeg inn effektmål i form av relativ risiko (RR) eller hazard ratio (HR) fra tidligere studier som studerte forholdet mellom NO₂ og helseutfallene totalt dødsfall, lungekreft og ulike hjerte- og karsykdommer. Studier fra ESCAPE prosjektet ble først gjennomgått, men også andre relevante studier ble tatt i betraktning. Jeg valgte å ta gjennomsnitt fra flere studier eller bruke effektmålet fra én studie, da å veie flere studier opp mot hverandre for å finne risikoestimatet ville blitt en for omfattende oppgave med tanke på dette prosjektets rammeverk. To viktige krav for studiene var at de måtte ta utgangspunkt i NO₂ ved adressepunkt, og de måtte operere med en økning på 10µg/m³ NO₂. Dette ble utført så langt jeg vurderte det mulig, og det ble gjort unntak for lungekreft, da det her var vanskelig å finne signifikante studier som inneholdt begge disse kravene, og for totalt dødsfall. Oversiktsartikler ble derfor brukt i stedet. Videre vurdere jeg de på type studie, styrke på metode og hvor studien ble gjort. Kohortstudier ble også vurdert etter størrelse på kohorten(er). Det var kun studier som så på langtidseffekt av NO₂ som ble brukt, og som viste signifikante effektestimater. Det var alltid verdiene hvor det var tatt høyde for flest konfunderende faktorer som ble brukt.

Jeg har sett på gjennomsnitt for den sammenstilte verdien, og ikke som en vanlig metaanalyse slik den skal gjennomføres i medisin og helsefaglig forskning (Stroup, Berlin, Morton, & et al., 2000).

For samlet hjerte- og karsykdommer ble relative risikoer hentet fra en kohortstudie av Chen et al. (2013) på 1,08, ischemisk hjertesykdom fra samme studie på 1,09. Denne studien så opprinnelig på risiko med en økning på 5 partikler per billion (ppb), men det ble brukt en omregningsfaktor på 1 ppb= 1,88 µg/m³, som er basert på et gjennomsnittlig atmosfærisk trykk på 1, og temperatur på 25°C (Vrijheid et al., 2011). Verdien ble da omregnet til 9,41µg/m³. RR for sykkelighet av lungekreft ble hentet fra en metaanalyse av Hamra et al. (2015) på 1,04, lungekreft dødelighet fra en metaanalyse av Faustini et al. (2014) på 1,029 og all dødsfall fra en metaanalyse av Hoek et al. (2013) på 1,05.

For å beregne risiko ved ulik eksponering for NO₂, overførte jeg de utvalgte risikoverdiene fra studiene over i Excel, hvor utregningene tok sted. Risikoen delte jeg inn i fem kategorier, avhengig av verdien til NO₂. Kategoriene for risiko startet på 0-9,99 µg/m³ NO₂, som var referansegruppa, og økte så med 10µg/m³ NO₂ per kategori. Siste kategori var >40µg/m³, da 40µg/m³ er grenseverdien Forurensningsforskriften § 6-7

(2004) har satt og Statens Vegvesen opererer med (Vegdirektoratet, 2018). Økningen ble satt til $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, da det var denne økningen som ble brukt i studiene jeg hentet relative risikoer fra. Å bruke en standard økning på $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ gjør det dessuten mulig å kombinere effekten av NO_2 fra flere studier, og mellom ulike land (Faustini et al., 2014).

Da kategoriene for RR var beregnet, kunne jeg koble disse til adressepunktene. For hvert adressepunkt ble det tilordnet en verdi for RR avhengig av den verdien av NO_2 jeg hadde beregnet for adressepunktet. I denne tilordningen brukte jeg en enkel logisk operator (HVIS funksjonen) i Excel. For hvert adressepunkt beregnet jeg deretter tilskrivbar andel (TA) ved formel (Webb, Bain, & Page, 2016):

$$TA = \frac{\text{Relativ risiko} - 1}{\text{Relativ risiko}}$$

Videre ble antall forventede dødsfall per husstand forårsaket av grad av eksponering for NO_2 og tilhørende risiko for sykdom beregnet (ForvMor). Her hentet jeg insidensrater fra Kommunehelsa Statistikkbank (ukjent) (KHSB) eller kreftregisteret. Antall personer per husstand var en personlig meddelelse fra Frogn kommune, og ble sjekket opp i Statistisk sentralbyrå (2017). Formelen for forventet antall døde per hus er uttrykt som:

$$\frac{2,2 \text{ personer} \times \text{insidensrate}}{100\ 000} \times \text{tilskrivbardel andel}$$

Til slutt summerte jeg opp verdiene for adressepunktene separat for alternativ 1 og 5.

For å kunne sammenlikne mine resultater med populasjonen i Frogn, måtte jeg regne om insidensratene. Dette for å få nøyaktig antall dødsfall for de ulike helseutfallene.

Dette ble gjort ved formelen:

$$\frac{\text{insidensrate per } 100\ 000}{\frac{100\ 000}{15\ 743}}$$

Etikk

Det var ikke nødvendig å søke om godkjenning fra Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk, eller Norsk samfunnsvitenskapelige datatjeneste siden alle data var anonyme.

Resultater

Frogn kommune har 15 743 innbyggere, som vist i tabell 1, og forventet levealder for kvinner og menn er høyere enn landsgjennomsnittet. Frogn ligger lavere enn landsgjennomsnittet for dødsfall og sykehusinnlagte med hjerte- og karsykdommer (HKS), ischemisk hjertesykdom og nye tilfeller av lungekreft. Kvinner har generelt en bedre helsestatus enn menn i kohorten, ved unntak av nye tilfeller og dødelighet forårsaket av lungekreft.

Resultater fra LUR- modellen viser at gjennomsnittlig konsentrasjon av NO₂ ved adressepunktene for alternativ 1 er 23,34 µg/m³ (minimum, 0; median, 12,84; maksimal, 137,23) og for alternativ 5 er verdien 23,341 µg/m³ (minimum, 0; median, 12,72; maksimal, 137,13). For veialternativ 1 vil 1742 av 8303 adressepunkt utsettes for en eksponering av NO₂ over 40 µg/m³. For veialternativ 5 er tilsvarende verdier 1729 adressepunkt. Størst konsentrasjon NO₂ er sett langs kysten for begge veialternativene (figur 1, 3). Flere av disse verdiene ligger over grenseverdien (40 µg/m³) for NO₂. Adressepunkter med lenger inn på langet, med dyrka mark rundt ser ut til å ha lavere NO₂ verdier (figur 1 og 2)

Tabell 2 viser relative risikoer for spesifikke helseutall med en økning i NO₂ på 10 µg/m³. De ulike studiene har konfundert for forskjellige faktorer, men alle har konfundert for blant annet kjønn, alder, røyking. Størst risiko er sett for dødsfall knyttet til hjerte- og karsykdommer ved eksponering for NO₂. Lavest risiko er sett for mortalitet av lungekreft.

Tabell 3 viser hvor mange som kan forventes å dø av de ulike sykdommene forårsaket av eksponering for NO₂. Verdiene for veitrase 1 og 5 er nesten like, med unntak av all type dødsfall. Der er den tilskrivbardele andelen for alternativ 1 på 3,96 dødsfall, mens for alternativ 5 er verdien 3,97 dødsfall. Av spesifikke sykdomsdødsfall er det estimert høyest andel dødsfall på mortalitet av HKS på 1,13 personer. Det forventes en tilskrivbardel andel på 0,46 dødsfall av ischemisk hjertesykdom. Den laveste verdien er observert på mortalitet av lungekreft, med en tilskrivbar andel på 0,16 dødsfall.

Figur 9 og 10 viser avstand til nærmeste hovedvei for alternativ 1 (figur 9) og alternativ 5 (figur 10). Fordelingen mellom alternativene er svært like. En stor andel av befolkningen i Frogn bor mellom 0- 3,99 km fra en hovedvei. For alternativ 1 er det

5297 adressepunkter 7,99 km fra en hovedvei. For alternativ 5 er tilsvarende tall 5149 adressepunkter.

Diskusjon

I denne studien har jeg utviklet en ny metode for å sammenlikne konsekvenser for human helse ved ulike veiutbygginger. Jeg har sammenfattet risikoen for dødsfall forårsaket av lungekreft, hjerte- og karsykdommer, ischemisk hjertesykdom, og alle dødsårsaker samlet, i tillegg til utvikling av lungekreft i Frogn kommune. Basert på dette har jeg beregnet antall forventede dødsfall som kan tilskrives NO₂ fra de to foreslåtte veitraseene for R23 fra Vassum til Krokodden. Resultater fra denne case- studien viser at det er neglisjerbare forskjeller i antall forventede døde for de to traseene. De forskjellene som kom fram, var av lave intervaller. Dette kan komme av at begge veitraseene ligger i områder med lite bebyggelse.

SSB rapporterer at det i alt døde 129 personer i Frogn kommune i 2017 (Statistisk sentralbyrå, ukjent). Ifølge mine beregninger kan nær 4% (3,6%) av disse dødsfallene tilskrives NO₂. Ifølge WHO dør 3 millioner av 60 millioner personer (5%) relatert til luftforurensning, der NO₂ er en viktig komponent ved siden av svevestøv (World Health Organization, 2016a). Mine tall er derfor sammenliknbare med anslag fra WHO, og anslag på antall dødsfall anser jeg som rimelig. Den romlige fordelingen av NO₂ er så og si lik for de to veialternativene, og er illustrert i figur 1- 4. Høyest konsentrasjon er sett på adressepunkter langs kysten for begge alternativene, og ser ut til å være uavhengig av eksponering fra veialternativene. Bidrag fra vei var relativt lite, sett i forhold til reduksjonen som forekommer på grunn av vann og dyrket mark.

Hjerte- og karsykdommer er en av de hyppigste dødsårsakene i Norge. Det er også en årsak til tidlig død, og sykdomsgruppen er derfor en viktig folkehelseutfordring (Folkehelseinstituttet, 2014). Risikoen for morbiditet av HKS ved eksponering for NO₂ er en av de høyeste i denne studien (tabell 2), og representerer også høyest andel dødsfall (1,13 av 7 per år). Dette gjelder eksponering for NO₂ fra både veitrase 1 og 5.

Ischemisk hjertesykdom, en gruppe innen HKS, er ifølge FHI (2017) en av de viktigste årsaker til for tidlig dødsfall i Norge, både for kvinner og menn. Sykdommen rammer flest eldre, og vil være spesielt viktig å ta hensyn til da Frogn kommune forventer en

økende andel eldre i befolkningen (Frogn Kommune, ukjent). I Frogn dør 3 (2,7) personer av sykdommen hvert år, og i min studie anslås det at 0,46 personer kan tilskrives eksponering av NO₂ fra veitrase 1 og 5. Det kan hende at denne andelen vil øke i fremtiden grunnet en økende andel eldre i befolkningen, da denne gruppen er spesielt sårbar for eksponering for luftforurensning (Folkehelseinstituttet, 2013). Dette vil dog være avhengig av bosetning og spredning av befolkningsgruppen.

Det er sett en økning i forekomst av lungekreft i Norge, spesielt hos kvinner. Årsakene er komplekse, men komponenter i miljøet er sett å være av betydning, derav luftkvalitet (FHI 2014). Det er dog usikkert hvor stor betydning NO₂ har for utviklingen av lungekreft. Denne studien viser at det er en relativt lav risiko for å utvikle lungekreft forårsaket av NO₂ fra veitrase 1 og 5. Det anslås i min studie at 0,70 av 8 nye tilfeller kan tilskrives NO₂ fra begge veitraseene.

Lungekreft tar mange liv i Norge, og er en viktig folkehelseutfordring (FHI, 2013). I følge WHO (2006) er det dog ingen klar sammenheng mellom NO₂ og mortalitet av lungekreft. Dette kan knyttes til min studie, der den svakeste risikoen er sett mellom mortalitet av lungekreft og eksponering for NO₂. Det dør årlig 3 personer av lungekreft i Frogn, og det anslås i min studie at 0,16 kan tilskrives eksponering av NO₂ fra begge veitraseene.

Frogn har en høy levealder for begge kjønn, noe som kan relateres til en god sosioøkonomisk status (FHI, 2014). Dahlgren og Whitehead (1991) mener at boligområder nære veier kan knyttes til lavere sosioøkonomisk status og høyere eksponering for luftforurensning, og at endringer i slike forhold kan ha betydning for helse.

Endringer i eksponering for en determinant som NO₂ kan skape forskjeller i helse ved to mekanismer. Den første og indirekte mekanismen vil nok være mest aktuell for veialternativ 1, som har flere adressepunkter nære hovedveier enn alternativ 5 (Figur 9 og 10). Dette kan komme av at dette alternativet innebærer en bro, og vil bli bygget gjennom Frogn kommune. Veialternativ 5 inneholder en tunell, og unngår på denne måten flere boligområder. Dersom alternativ 1 bygges, kan det derfor se ut til at flere adressepunkter blir eksponert for høyere konsentrasjon av NO₂, i tillegg til støy, enn for alternativ 5. Disse faktorene kan bidra til at boligene blir mindre populære og synker i pris. Dette kan gjøre at befolkningen i Frogn med lavere inntekt og utdanning bosetter

seg nære veier. Den andre mekanismen er den direkte effekten NO₂ kan ha på helse og dermed også sosiale helseforskjeller.

Forskjeller på grunn av ulik eksponering for NO₂ kan muligens knyttes til lungekreft, som trekkes fram som en viktig del av økningen i forskjellene i sosioøkonomisk helsestatus i Norge, spesielt blant kvinner. Denne sammenhengen knyttes ofte til tobakksrøyking (Strand et al., 2014), men Folkehelseinstituttet (2014) trekker også inn luftforurensning som en potensiell årsak.

Sosioøkonomiske helseforskjeller kan ifølge Hajat et al. (2015) øke uavhengig av boligpriser og spredningen av husstander med høy og lav SØS. I studien kom det fram hvordan personer med høy SØS har bedre ressurser til å beskytte seg mot luftforurensning i boligen, blant annet gjennom bedre isolering av hus. Det kan derfor tenkes at avstand til de to alternative veiene ikke er så relevant for utviklingen av sosiale helseforskjeller i Frogn likevel, da både lav SØS og høy SØS kan knyttes til boliger med høy eksponering. Helseeffekten vil dog være ulik, nettopp på grunn av ulik beskyttelsesgrad mellom de sosioøkonomiske gruppene. Dette er et stort tema som vil være gunstig å gå nærmere inn på i fremtidige studier.

Det kan hende at alternativ 5 vil gi større effekt av NO₂ på unge, da veien munner ut rett ved en videregående skole (figur 5). Økt trafikk vil få konsekvenser for de ungdommene som går på denne skolen. Det er dog ikke gitt at ungdom bosatt i Frogn går på denne skolen, men poenget kan uansett se ut til å være viktig for folkehelsen i Akershus.

Statens vegvesen kan bruke Nasjonalt beregningsverktøy (NBV), utviklet av Norsk institutt for luftforskning og Meteorologisk institutt, i deres planlegging for å sikre god luftkvalitet. NBV gir informasjon om luftkvalitet i deler av landet, men dekker ikke Frogn kommune. Det er heller ikke egnet for detaljerte spredningsberegninger og framskrivninger i utbyggingsprosjekter. Alternativt kan Statens Vegvesen bruke modeller som VLUFT, TAPM (the air pollution model) og AirQUIS (Vegdirektoratet, 2018). Disse modellene kan si noe om spredning av luftkvalitet i tid og rom, og tar utgangspunkt i målinger ved veier fremfor adressepunkt. For helsekonsekvenser er det antall personer som utsettes for verdier over grenseverdiene som underforstått skal si noe om hvilke alternativer som gir større eller mindre helseeffekt. Nivåer av forurensningskomponenten kan drøftes i forhold til gjeldende grenseverdier og hvor mange som er utsatt for konsentrasjoner over disse (Vegdirektoratet, 2018).

Styrker og svakheter i metode

En styrke ved denne studien er at jeg har brukt GIS som metode, hvor jeg har kunnet beregne nøyaktig NO₂- verdi for hvert enkelt adressepunkt. GIS kan øke forståelsen av fordelingen av miljøfaktorer i Frogn kommune, og forståelsen av assosiasjoner mellom faktorer i miljøet og helseutfall. Dette er et nyttig verktøy for å estimere nivå av en komponent når det ikke er gjort målinger i virkeligheten (Nuckols, Ward, & Jarup, 2004). Jeg har i tillegg benyttet resultater fra epidemiologisk forskning for å beregne antall personer som har blitt berørt av luftforurensning, noe som vil kunne øke forståelsen av sammenhengene.

Det er usikkert hvorvidt den brukte modellen var den best egnede til å estimere NO₂ konsentrasjoner, og det er mulig at modellen til Panasevich et al. (2016), som er utviklet for hele Akershus fylke, ikke er god nok for Frogn kommune med sine geografiske særegenheter. Hun fant vann, dyrket mark og avstand til vei som de variablene av mest betydning for romlig fordeling av NO₂. I samme studie reflekteres det likevel om områdevariabelen faktisk representerer romlig fordeling av NO₂, eller om den representerer andre umålte faktorer. Variablene som er tatt med vil alle gi effekt i samme retning (negativ (-))(tabell 4). De GIS- variablene som ESCAPE prosjektet bestemte seg for å bruke kan også være mangelfulle. For eksempel har Chen et al. (2013) inkludert populasjonsvariabler i sin LUR- modell, blant annet inntekt. Likevel er ESCAPE et svært anerkjent prosjekt, med gode studier og godt utviklet standard LUR modeller, og Panasevich et al. (2016) fant relativt høye verdier for forklart varians ($R^2 = 59\%$).

Statens vegvesen har en rekke andre modeller som brukes for å beregne effekten av luftforurensningskomponenter, blant annet modellen VLUFT. Modellen kan beregne utslipp fra veitrafikk og støy, og baserer seg på parametere fra målinger nære veier. Dette gir dog bare en grov kartlegging for om det er nødvendig å utarbeide et luftsonekart med tilhørende grenseverdier (ModLUFT, ukjent). VLUFT- modellen, og de andre modellene til Statens vegvesen, vil heller ikke kunne estimere konsentrasjoner på adressepunkter like godt. Modellen brukt i min studie vil kunne anslå nøyaktige konsentrasjoner på adressepunkt der folk faktisk bor, og tar hensyn til topografiske faktorer. Dette kan være en styrke i forhold til andre modeller brukt av Statens Vegvesen. Det er likevel viktig å ha i baktanke at modeller aldri er en fullstendig

beskrivelse av virkeligheten, og vil kun gi et anslag som alltid vil inneholde usikkerheter (Inchbald, ukjent).

Det er flere variabler som ville vært interessant å ta med i analysene, og som kunne påvirket resultatet, som alder, kjønn og geografisk fordeling, men på grunn av tid måtte oppgaven begrenses til å dreie seg om et anslag av 2,2 personer i hver husstand. Dette har redusert detaljnivået til oppgaven, men oppgaven vil likevel kunne stille med interessante detaljer på andre områder. Jeg har heller ikke nøyaktige tall på antall døde for ulike sykdomsgrupper, jeg har benyttet kilder som ikke har slike tall som det primære ved sin publisering (Folkehelseprofilene). Det er derfor vanskelig å sette opp et ordentlig regnskap på antall døde og antall som tilskrives eksponering for NO₂.

Fordi dette er en prospektiv studie, er det mye som kan endre seg, og de resultatene jeg har funnet og som speiler dagens situasjon er ikke nødvendigvis gyldige for morgendagen. Blant annet kan motorteknologien, motortyper og ulike type rensfiltre utvikles og muligens redusere utslippet av NO₂ i framtiden. Det kan også tenkes at andel dieseldrevne kjøretøy synker, og en økning av el-biler forekommer. Dette kan endre framtidige NO₂ konsentrasjoner.

Konklusjon

Jeg fant at det ikke ser ut til å være store forskjeller i NO₂ konsentrasjoner og risiko for mortalitet av spesifikke helseutfall mellom veitrase 1 og 5. Veialternativene 1 og 5 har begge svært like gjennomsnittlige verdier av NO₂ og fordelingen av denne. Generelt ser det ut til at adressepunkter langs vannflater er høyest eksponert for NO₂, uavhengig av veitrase. Dette kan tyde på at også andre faktorer påvirker nivå av NO₂ på adressepunkter i Frogn kommune. Alternativ 1 og 5 kan se ut til å ha ulik effekt sosioøkonomisk helsestatus i Frogn kommune, der alternativ 1 mest sannsynlig vil ha en større effekt på økning i forskjeller.

Jeg fant verdier for antall dødsfall som kan relateres til NO₂ som er tilsvarende tall fra WHO, og jeg vurderer derfor min metode som tilfredsstillende. Metoden som er presentert i denne oppgaven kan være et viktig bidrag til hvordan man utfører konsekvensutredninger i framtiden.

Litteraturliste

- Beelen, R., Hoek, G., Vienneau, D., Eeftens, M., Dimakopoulou, K., Pedeli, X., . . . Marcon, A. (2013). Development of NO₂ and NO_x land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe—the ESCAPE project. *Atmospheric environment*, 72, 10-23. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.02.037
- Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Weinmayr, G., Hoffmann, B., . . . Hoek, G. (2014). Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet*, 383(9919), 785-795. doi:10.1016/2014-06736(13)62158-3
- Beelen, R., Stafoggia, M., Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Xun, W. W., Katsouyanni, K., . . . Hoek, G. (2014). Long-term exposure to air pollution and cardiovascular mortality: an analysis of 22 European cohorts. *Epidemiology*, 25(3), 368-378. doi:10.1097/EDE.0000000000000076
- Carey, I. M., Atkinson, R. W., Kent, A. J., van Staa, T., Cook, D. G., & Anderson, H. R. (2013). Mortality Associations with Long-Term Exposure to Outdoor Air Pollution in a National English Cohort. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 187(11), 1226-1233. doi:10.1164/rccm.201210-17580C
- Chen, H., Goldberg, M. S., Burnett, R. T., Jerrett, M., Wheeler, A. J., & Villeneuve, P. J. (2013). Long-term exposure to traffic-related air pollution and cardiovascular mortality. *Epidemiology*, 24(1), 35-43. doi:10.1097/EDE.0b013e318276c005
- Crouse, D. L., Peters, P. A., Hystad, P., Brook, J. R., van Donkelaar, A., Martin, R. V., . . . Burnett, R. T. (2015). Ambient PM_{2.5}, O₃, and NO₂ Exposures and Associations with Mortality over 16 Years of Follow-Up in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC). *Environmental Health Perspectives*, 123(11), 1180-1186. doi:10.1289/ehp.1409276
- Dahlgren, G., & Whitehead, M. (1991). Policies and strategies to promote social equity in health. *Stockholm: Institute for future studies*.
- Dimakopoulou, K., Samoli, E., Beelen, R., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Hoffmann, B., . . . Xun, W. (2014). Air pollution and nonmalignant respiratory mortality in 16 cohorts within the ESCAPE project. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 189(6), 684-696. doi:10.1164/rccm.201310-17770C
- European Commission. (2010). *Final report summary - ESCAPE (European study of cohorts for air pollution effects)*. Hentet fra http://cordis.europa.eu/result/rcn/45302_en.html.
- Faustini, A., Rapp, R., & Forastiere, F. (2014). Nitrogen dioxide and mortality: review and meta-analysis of long-term studies. *European Respiratory Journal*, 44(3), 744-753. doi:10.1183/09031936.00114713
- Folkehelseinstituttet. (2013). *Luftkvalitetskriterier - virkninger av luftforurensning på helse (2013:9)*. Oslo: Folkehelseinstituttet. Hentet fra <https://www.fhi.no/publ/2013/luftkvalitetskriterier---virkninger/>.
- Folkehelseinstituttet. (2014). *Folkehelse rapporten 2014: Helsetilstanden i Norge*. Oslo.: Folkehelseinstituttet Hentet fra <https://www.fhi.no/nettpub/hin/risiko--og-beskyttelsesfaktorer/luftforureining--i-noreg/-utvikling-over-tid>.
- Folkehelseinstituttet. (2017). *Sykdomsbyrde i Norge 2015. Resultater fra Global Burden of Disease, Injuries, and Risk Factors Study 2015 (GBD 2015)*. Rapport 2017. Oslo: Folkehelseinstituttet. Hentet fra

- <https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/rapporter/2016/rapport-20161-pdf.pdf>.
- Folkehelseinstituttet. (2018). *Folkehelseprofil 2018 Frogn*. Oslo: Folkehelseinstituttet. Hentet fra <https://khp.fhi.no/PDFVindu.aspx?Nr=0215&sp=1&PDFaar=2018>.
- Folkehelseloven § 1-7. (2012). *Lov om folkehelsearbeid (Folkehelseloven)*. Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2011-06-24-29>
- Forurensningsforskriften § 6-7. (2004). *Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften)*. Hentet fra [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL 3 - KAPITTEL 3](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_3_KAPITTEL_3)
- Frogn Kommune. (ukjent). *Folkehelse rapport for Frogn kommune 2014*. Hentet fra <https://www.frogn.kommune.no/globalassets/enheter/samfunnsutvikling/bilder-og-dokumenter/kommuneplanlegging/folkehelse.pdf>.
- Hajat, A., Hsia, C., & O'Neill, M. S. (2015). Socioeconomic Disparities and Air Pollution Exposure: A Global Review. *Current environmental health reports*, 2(4), 440-450. doi:10.1007/s40572-015-0069-5
- Hamra, G. B., Laden, F., Cohen, A. J., Raaschou-Nielsen, O., Brauer, M., & Loomis, D. (2015). Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 123(11), 1107-1112. doi:10.1289/ehp.1408882
- Hoek, G., Krishnan, R. M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., & Kaufman, J. D. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental Health*, 12(1), 43. doi:10.1186/1476-069X-12-43
- Hystad, P., Demers, P. A., Johnson, K. C., Carpiano, R. M., & Brauer, M. (2013). Long-term Residential Exposure to Air Pollution and Lung Cancer Risk. *Epidemiology*, 24(5), 762-772. doi:10.1097/EDE.0b013e3182949ae7
- Inchbald, J. (ukjent). *Vurdering av lokal luftkvalitet med spredningsberegninger*. Oslo: SWECO Norge AS. Hentet fra <http://www.ralingen.kommune.no/getfile.php/3985949.2185.zbt7nikwzqkswa/21+Luftkvalitetsvurdering.pdf>.
- Kartverket. (2016). Produktark: N50 Kartdata. Hentet 15. april 2018 fra [https://register.geonorge.no/data/documents/Produktark_N50 Kartdata_v3_produktark-n50-kartdata-20161205 .pdf](https://register.geonorge.no/data/documents/Produktark_N50_Kartdata_v3_produktark-n50-kartdata-20161205.pdf)
- Kartverket. (2018). Etablering og ajourføring av kartdata. Hentet 15. april 2018 fra <https://www.kartverket.no/kunnskap/kart-og-kartlegging/Hvordan-lages-kart/Etablering-og-ajourforing-av-kartdata/>
- Kommnehelse Statistikkbank. (ukjent). Hentet 3. mars 2018 fra <http://khs.fhi.no/webview/>
- ModLUFT. (ukjent). VLUFT. Hentet 3. april 2018 fra <http://www.luftkvalitet.info/ModLUFT/Modeller/MODELLOVERSIKT/VLUFT.aspx>
- Nuckols, J. R., Ward, M. H., & Jarup, L. (2004). Using Geographic Information Systems for Exposure Assessment in Environmental Epidemiology Studies. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 1007-1015. doi:10.1289/ehp.6738
- Panasevich, S., Haberg, S. E., Aamodt, G., London, S. J., Stigum, H., Nystad, W., & Nafstad, P. (2016). Association between pregnancy exposure to air pollution and birth weight in selected areas of Norway. *Arch Public Health*, 74, 26. doi:10.1186/s13690-016-0138-8

- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Beelen, R., Samoli, E., Stafoggia, M., Weinmayr, G., Hoek, G. (2013). Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol*, 14(9), 813-822. doi:10.1016/s1470-2045(13)70279-1
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Hvidberg, M., Jensen, S. S., Ketzel, M., Sørensen, M., Tjønneland, A. (2011). Lung Cancer Incidence and Long-Term Exposure to Air Pollution from Traffic. *Environmental Health Perspectives*, 119(6), 860-865. doi:10.1289/ehp.1002353
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Jensen, S. S., Ketzel, M., Sørensen, M., Hansen, J., Overvad, K. (2012). Traffic air pollution and mortality from cardiovascular disease and all causes: a Danish cohort study. *Environmental Health*, 11(1), 60. doi:10.1186/1476-069X-11-60
- Statistisk sentralbyrå. (2017). *Familier og husholdninger*. Hentet fra <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/familie>
- Statistisk sentralbyrå. (ukjent). Befolkningsmengde og befolkningsendringer. Hentet 7. mai 2018 fra <https://www.ssb.no/statbank/table/06913/?rxid=27db51f1-6ce6-4ebf-bb0a-caa2ea7ffe6a>
- Strand, B. H., Langballe, E. M., Rosness, T. A., Bergem, A. L. M., Engedal, K., Nafstad, P., Bjertness, E. (2014). Age, education and dementia related deaths. The Norwegian counties study and the cohort of Norway. *Journal of the neurological sciences*, 345(1), 75-82. doi:10.1016/j.jns.2014.07.009
- Stroup, D. F., Berlin, J. A., Morton, S. C., & et al. (2000). Meta-analysis of observational studies in epidemiology: A proposal for reporting. *JAMA*, 283(15), 2008-2012. doi:10.1001/jama.283.15.2008
- Vegdirektoratet. (2018). *Konsekvensanalyser*. Hentet fra https://www.vegvesen.no/_attachment/704540/binary/1236560?fast_title=H%C3%A5ndbok+V712+Konsekvensanalyser.pdf.
- Vrijheid, M., Martinez, D., Manzanares, S., Dadvand, P., Schembari, A., Rankin, J., & Nieuwenhuijsen, M. (2011). Ambient Air Pollution and Risk of Congenital Anomalies: A Systematic Review and Meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 119(5), 598-606. doi:10.1289/ehp.1002946
- Webb, P., Bain, C., & Page, A. (2016). *Essential epidemiology: an introduction for students and health professionals*: Cambridge University Press.
- World Health Organization. (2016a). *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease*. Geneva: World health organisation. Hentet fra <http://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>.
- World Health Organization. (2016b). International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision (ICD-10)-WHO Version for; 2016. Chapter II. Neoplasms (C00-D48)I. fra <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2016/en - /C34>
- World Health Organization. (2016c). International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision (ICD-10)-WHO Version for; 2016. Chapter IX. Diseases of the circulatory system. Hentet 19. april 2018 fra <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2016/en - /IX>
- World Health Organization. (2016d). International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision (ICD-10)-WHO Version for; 2016. Chapter X. Diseases of the respiratory system. Hentet 19. april 2018 fra <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2016/en - /X>

Yorifuji, T., Kashima, S., Tsuda, T., Ishikawa-Takata, K., Ohta, T., Tsuruta, K.-i., & Doi, H. (2013). Long-term exposure to traffic-related air pollution and the risk of death from hemorrhagic stroke and lung cancer in Shizuoka, Japan. *Science of The Total Environment*, 443, 397-402. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.10.088

17 Vedlegg

Tabell 1. Insidensrater over ulike helseutfall til befolkningen i Frogn, og samlet for Norge.

	Kvinner	Menn	Totalt antall	Norge
	per 100 000	per 100 000	dødsfall	per 100 000
Antall^a	7 984	7 751	15 743	
Forventet levealder ^a	83,6 år	79,9 år		Kvinner: 83,1 år Menn: 78,8 år
HKS, dødsfall ^b	25,2	65,8	7,2	53,4
Ischemisk hjertesykdom, dødsfall ^b	Manglende data	27,3	2,7	26
Lungekreft, nye tilfeller ^a	54,9	49,0	8,2	58
Lungekreft, dødsfall ^b	21,3	17,2	3,0	27,1
Dødelighet, tidlig død ^c			129	

^a Kilde: Folkehelseinstituttet (2018). ^b Kilde: Kommunehelsa Statistikkbank (ukjent). ^c Kilde: www.ssb.no (statistikkbanken). HKS= hjerte og karsykdommer

Tabell 2. Insidensrater per 100 000 for Frogn kommune, og relative risikoer for mortalitet av spesifikk sykdom eller utvikling av sykdom forårsaket av eksponering for NO₂. Økning per 10 mg/m³ NO₂.

	HKS* mortalitet	Ischemisk hjertesykdom mortalitet	Lungekreft sykelighet	Lungekreft mortalitet	All type dødsfall
Insidensrater	45,8	17	52	19,3	129
Økning i mg/m³					
0-9,99	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10-19,99	1,166	1,188	1,082	1,049	1,103
20- 29,99	1,260	1,295	1,125	1,074	1,158
30- 39,99	1,360	1,412	1,170	1,100	1,216
> 40	1,469	1,539	1,217	1,126	1,276

*HKS= hjerte- og karsykdommer

Tabell 3. Sum andel forventede årlige dødsfall av spesifikt helseutfall i Frogn kommune forårsaket av eksponering for NO₂ fra veitrase 1 og veitrase 5.

	HKS * mortalitet	Ischemisk hjertesykdom	Lungekreft sykelighet	Lungekreft mortalitet	All type dødsfall
Alternativ 1	1,13	0,46	0,70	0,16	3,96
Alternativ 5	1,13	0,46	0,70	0,16	3,95

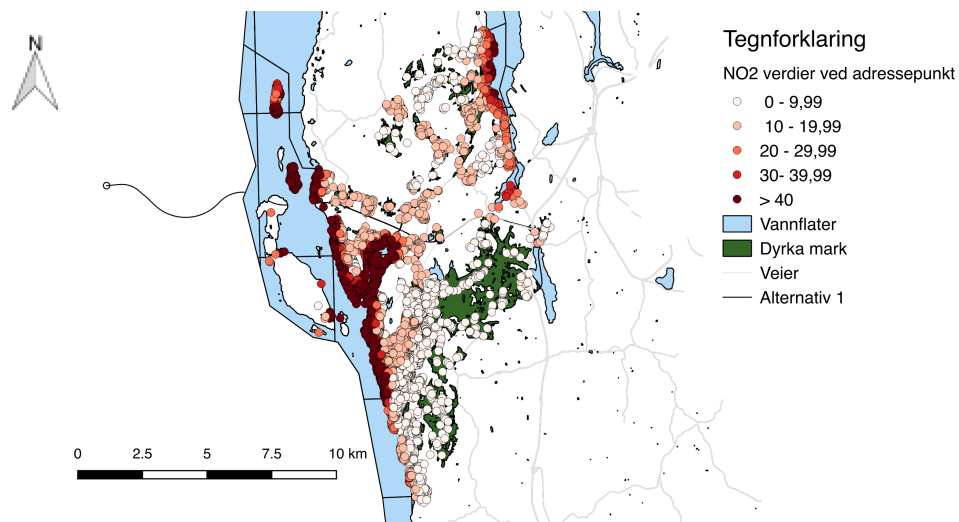
*HKS= hjerte- og karsykdommer

Tabell 4. Hentet fra tilleggsinformasjon for studien til Panasevich et al. (2016).

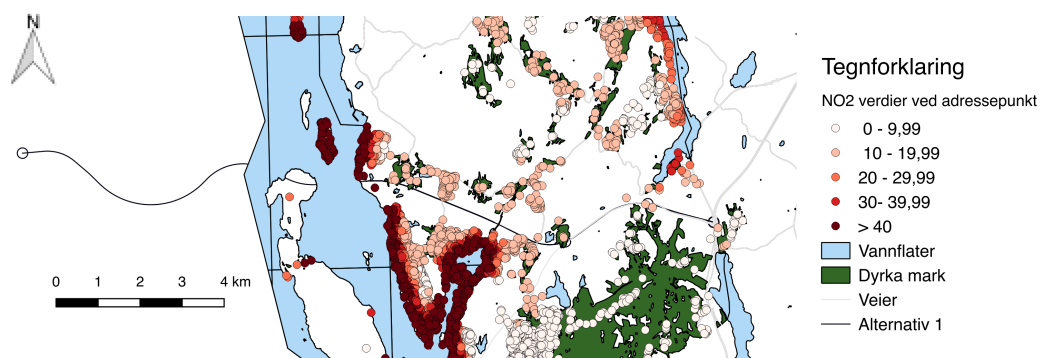
Predictor variables used in land use regression with variable names, units, buffer sizes, transformations and predefined direction of effect.

Predictor variable	Name	Unit	Buffer	Transformation	Direction of effect
High density residential land	HDRES	m ²	100, 300, 500, 1000, 5000		+
Low density residential land	LDRES	m ²	100, 300, 500, 1000, 5000		+
Sum high density and low density residential land	HLDRES	m ²	100, 300, 500, 1000, 5000		+
Industry	INDUSTRY	m ²	100, 300, 500, 1000, 5000		+
Distance to port	DISTPORT	m			-
	DISTINVPORT	m ⁻¹		Inverse distance	+
	DISTINVPORT2	m ⁻²		Inverse distance squared	+
Urban green	URBGREEN	m ²	100, 300, 500, 1000, 5000		-
Forested and semi-natural areas	NATURAL	m ²	100, 300, 500, 1000, 5000		-
Agricultural areas	AGRO	m ²	100, 300, 500, 1000, 5000		-
Sum of urban green and forested and semi-natural and agricultural areas	GREEN	m ²	100, 300, 500, 1000, 5000		-
Area of water	WATER	m ²	100, 300, 500, 1000, 5000		-
Altitude	ALT	m			-
	SQRALT	m		Square root	-
Coordinate variables	XCOORD	m			
	YCOORD	m			
Area indicator	KOMM				
Distance to sea	DISTSEA	m			+
	DISTINVSEA	m ⁻¹			-
	DISTINVSEA2	m ⁻²			-
Distance to the nearest road	DISTROAD	m			-
	DISTINVROAD	m ⁻¹		Inverse distance	+
	DISTINVROAD2	m ⁻²		Inverse distance squared	+
Distance to the nearest major road	DISTMAJOR	m			-
	DISTINVMAJOR	m ⁻¹		Inverse distance	+
	DISTINVMAJOR	m ⁻²		Inverse distance squared	+
Road length of all roads in a buffer	ROADLENGTH	m	25, 50, 100, 300, 500, 1000		+
Road length of major roads in a buffer	MAJORLENGTH	m	25, 50, 100, 300, 500, 1000		+
Distance to airport	DISTAIR	m			-
	DISTINVAIR	m ⁻¹		Inverse distance	+
	DISTINVAIR2	m ⁻²		Inverse distance squared	+

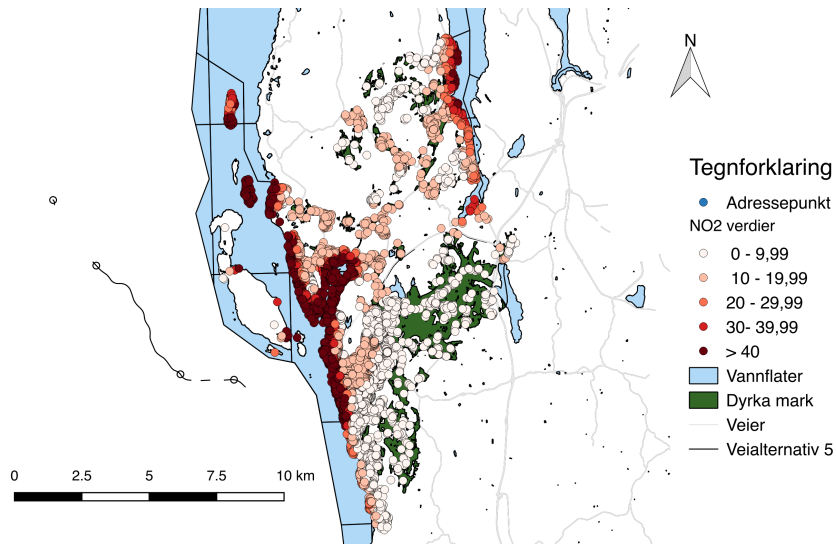
Figur 1. Grafisk fremstilling av NO₂ verdier for hvert adressepunkt i Frogn kommune for veialternativ 1. Verdiene av NO₂ er i µg/m³.



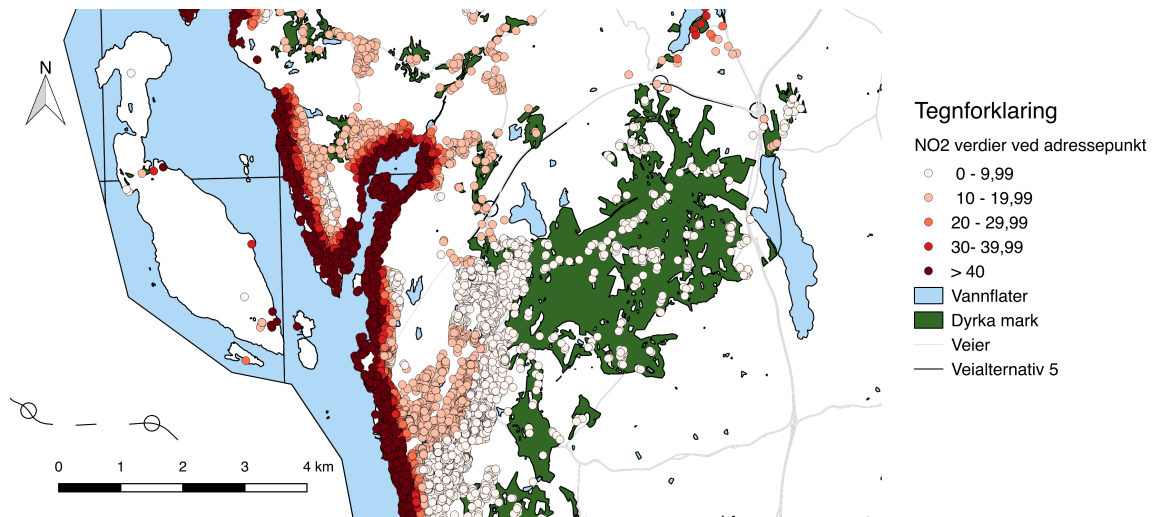
Figur 2. Nærbilde av krysningen av veialternativ 1 over Oslofjorden og inn i Frogn kommune. Verdiene av NO₂ er i µg/m³.



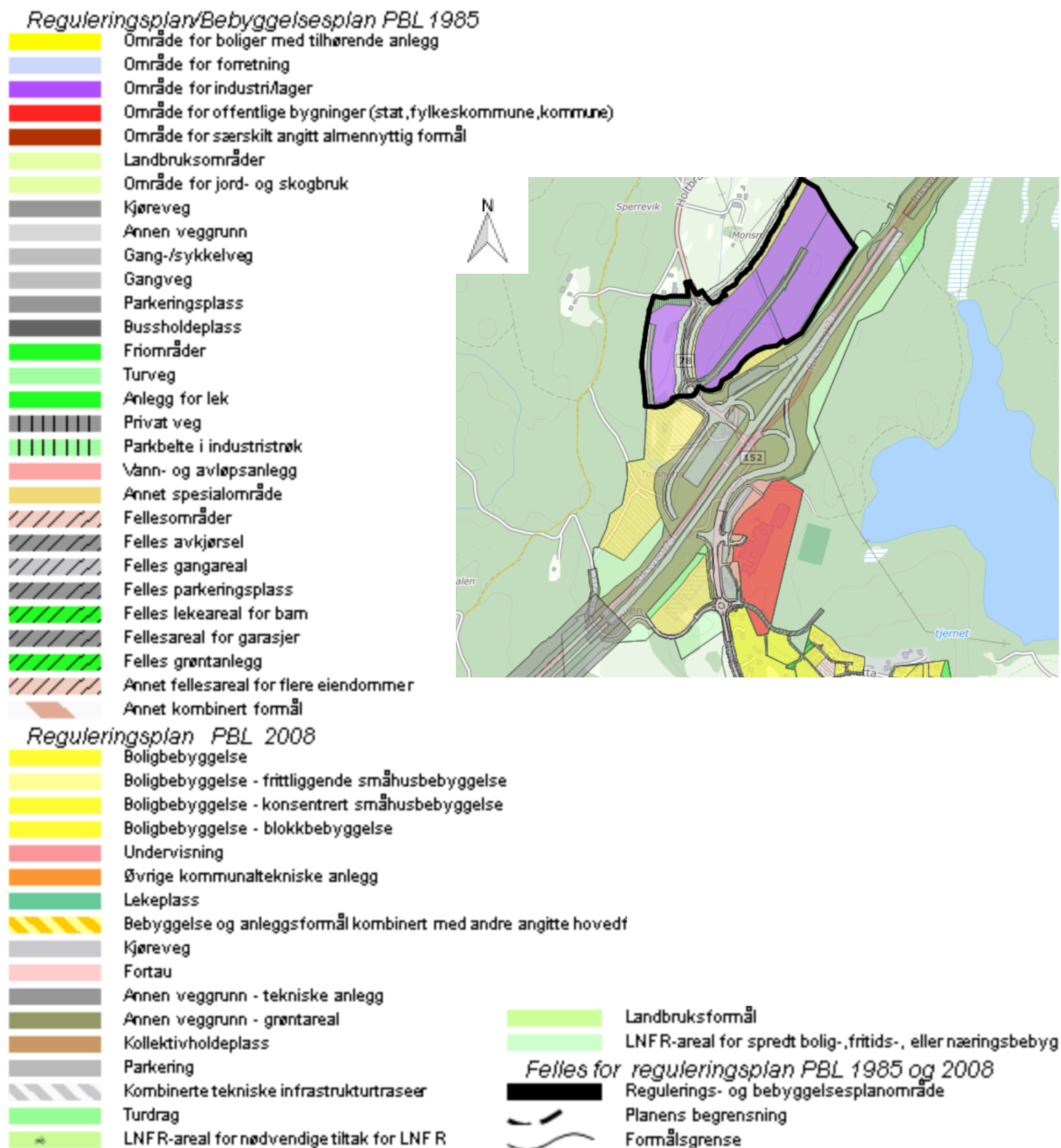
Figur 3. Grafisk fremstilling av NO₂ verdier for hvert adressepunkt i Frogn kommune for veialternativ 5. Verdiene av NO₂ er i µg/m³.



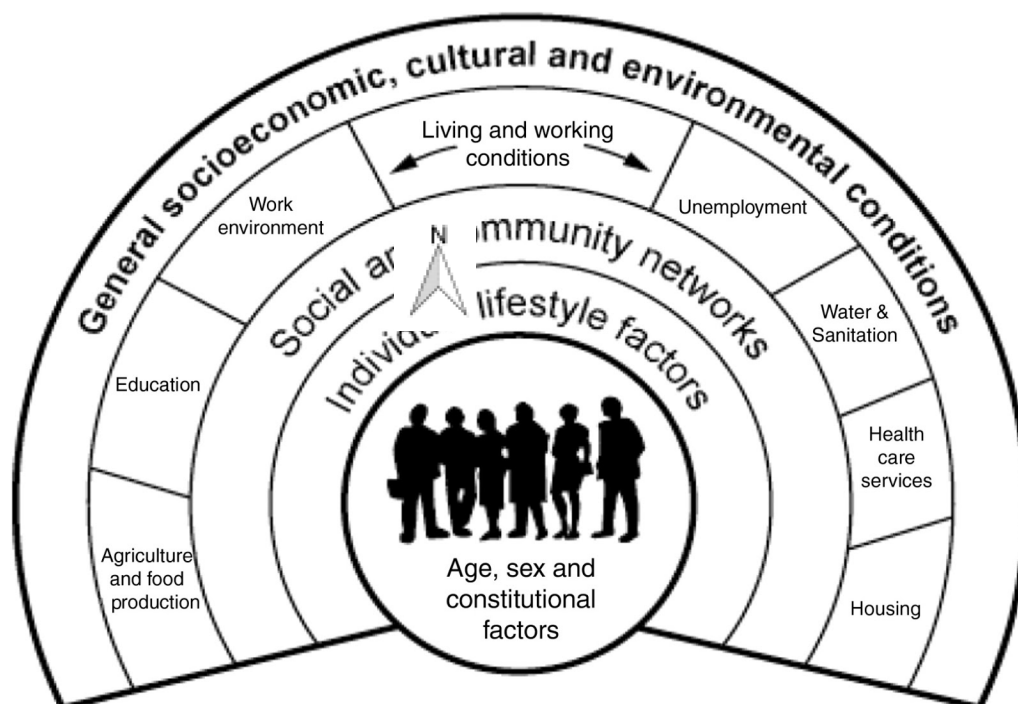
Figur 4. Nærbilde av krysningen av veialternativ 5 over Oslofjorden og inn i Frogn kommune. Verdiene av NO₂ er i µg/m³.



Figur 5. Reguleringsplan og oversikt tilhørende tunellutmunningen av R23 ved Torshytta i Frogn kommune.

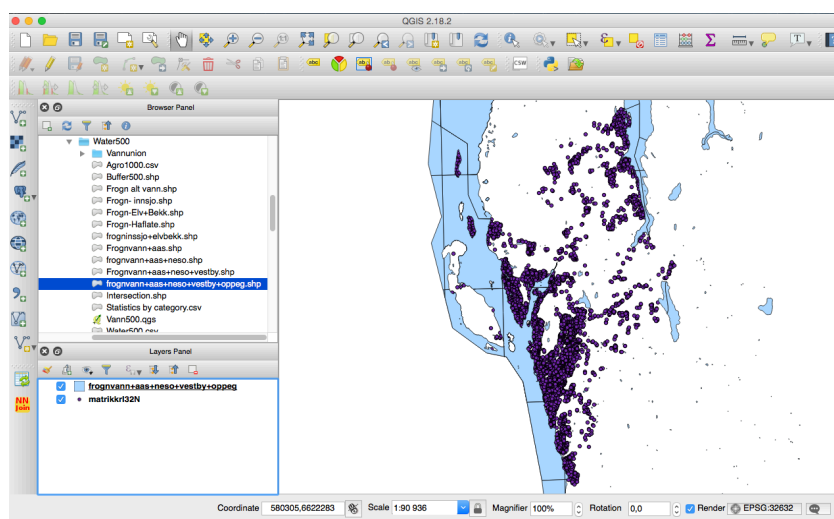


Figur 6. Modell: Sosiale helsedeterminanter (Dahlgren & Whitehead, 1991)

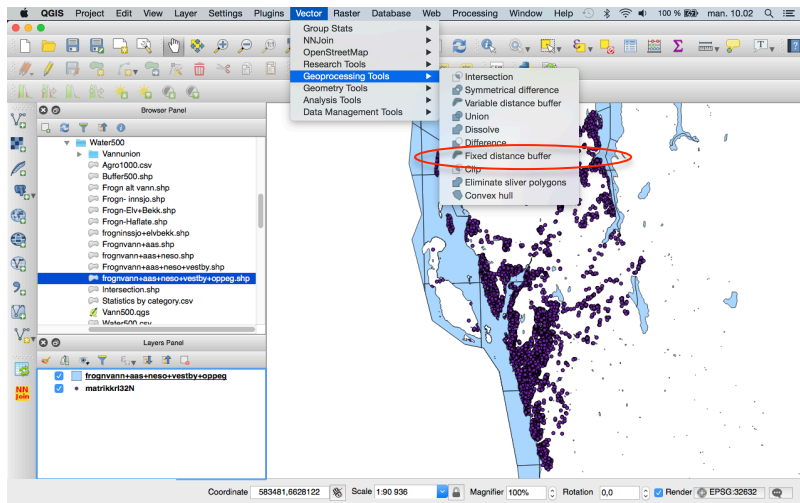


Figur 7. Fremgangsmetode for bufferoperasjon i QGIS.

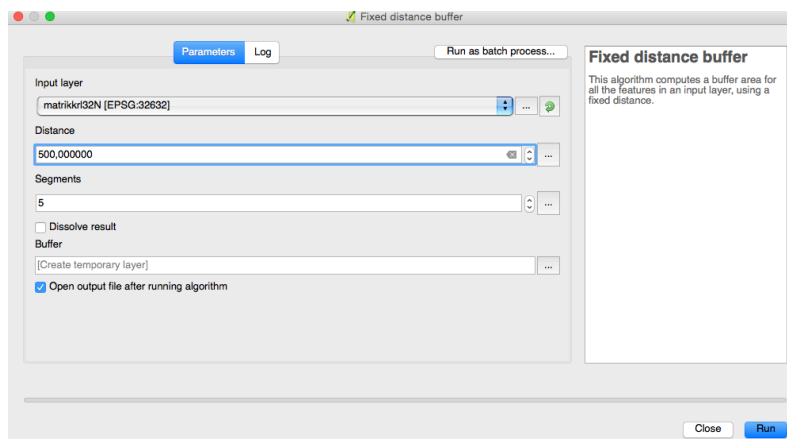
1. La inn matrikkeldata (adressepunkter, i mørkelilla) og valgt variabel (her vann, i blått) for Frogn kommune.



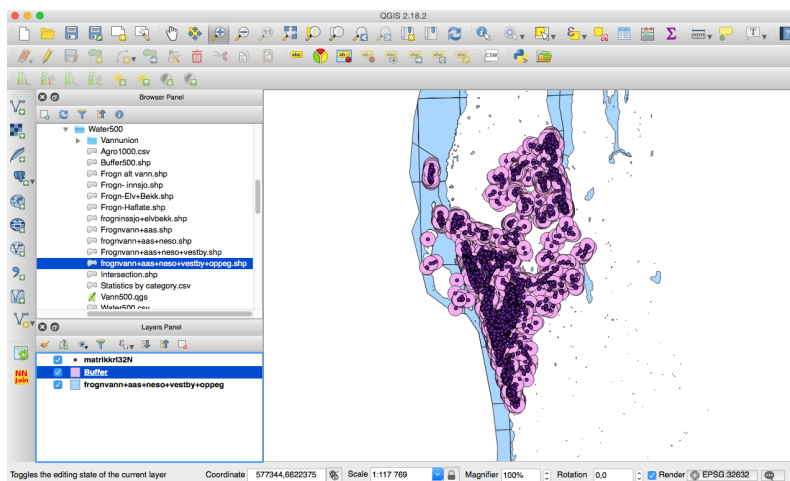
2. Gikk under Vector i verktøylinja, videre inn på Geoprocessing Tools, og valgte Fixed distance buffer.



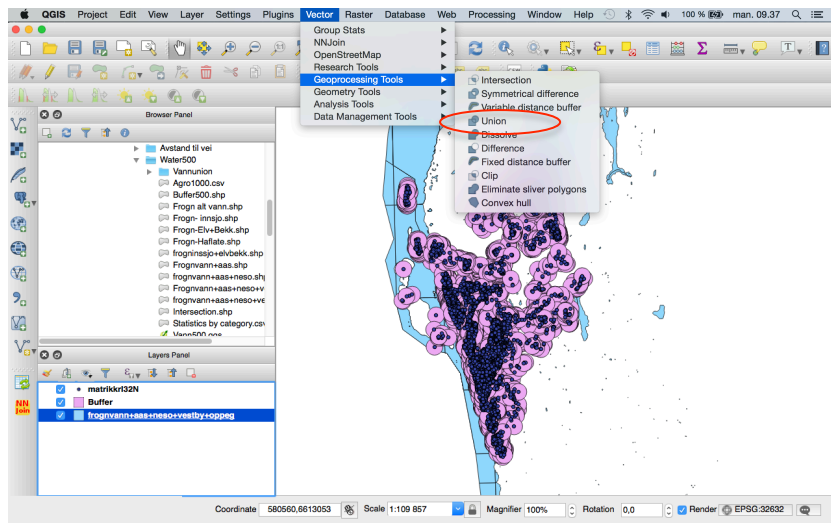
3. Valgte matrikkelkartlaget som input layer. Størrelsen på bufferen ble lagt til under Distance, her 500m. Avsluttet med å trykke på Run.



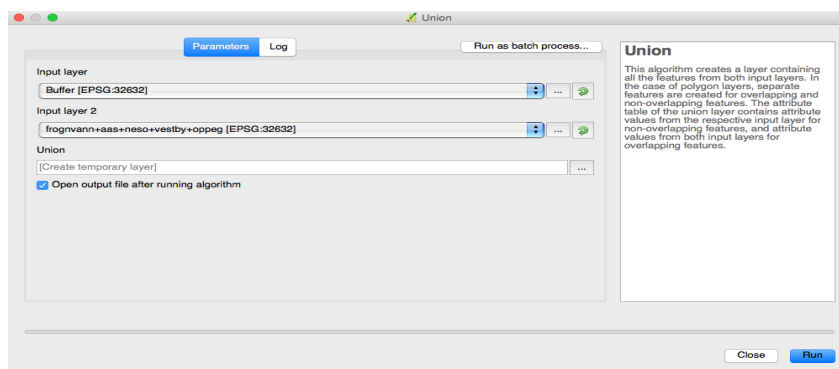
Resultatet ble et nytt bufferkartlag med 500m buffere (rosa) rundt matriklene.



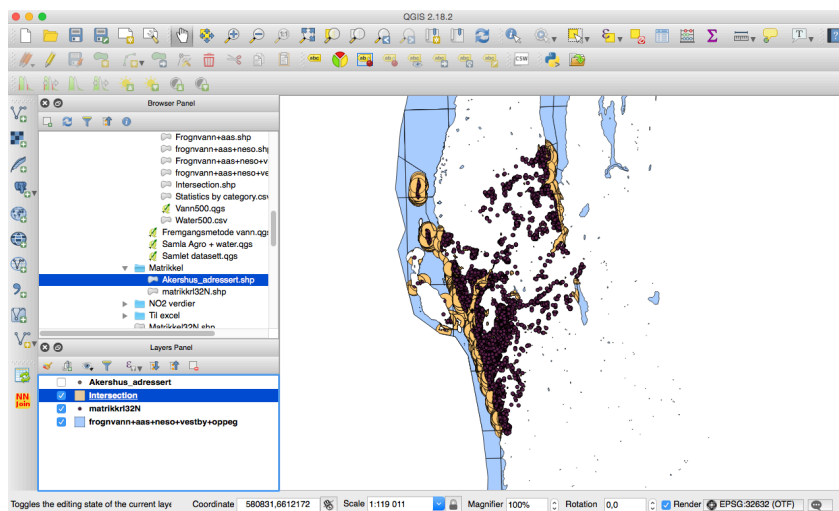
4. For snittanalyser gikk jeg inn på Vector, Geoprocessing Tools, og valgte Union.



La inn bufferkartlaget som input layer, og vannkartlaget som input layer 2.

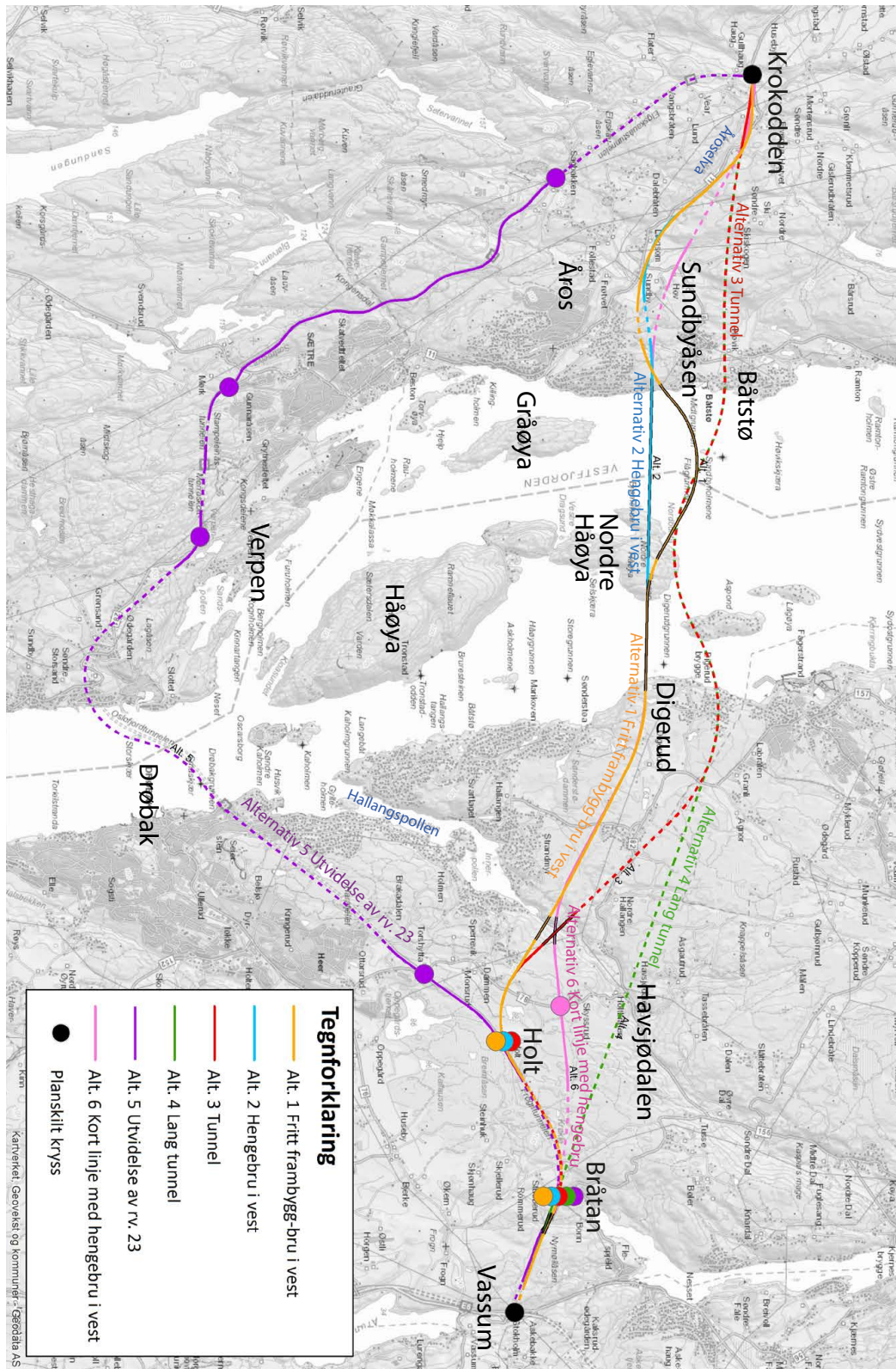


Resultatet ble snittareal av mengde vann innen en buffer på 500m rundt adressepunktene. Viser på bildet under i gult, og er også en egen egenskap i egenskapstabellen.

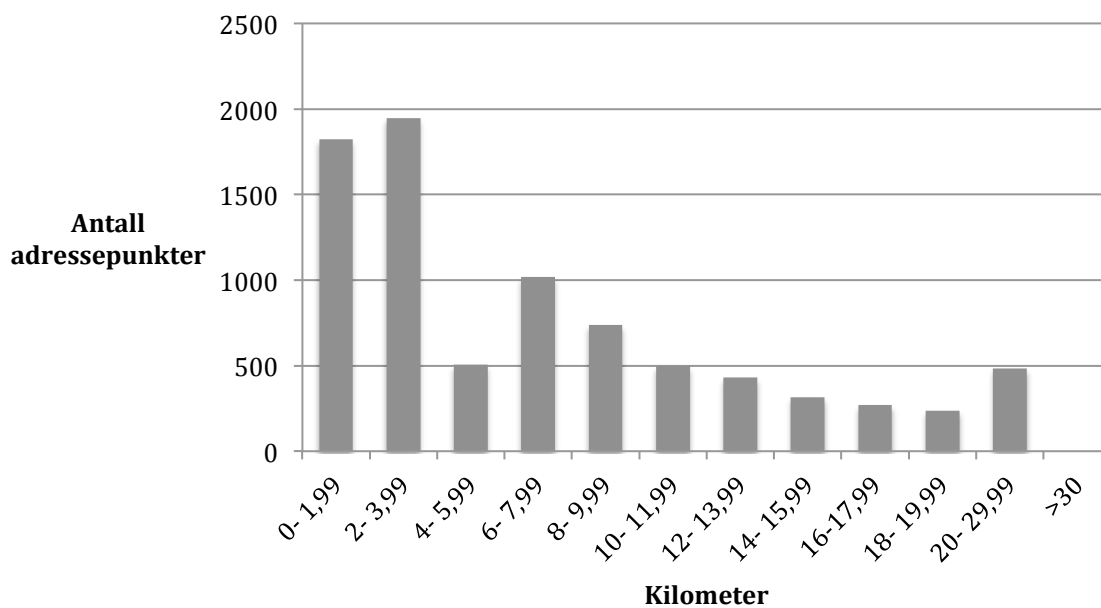


Figur 8. Oversikt over forslag til veitraseer over Oslofjorden.

Sendt inn fra Statens Vegvesen.



Figur 9. Avstand til nærmeste hovedvei, alternativ 1.



Figur 10. Avstand til nærmeste hovedvei, alternativ 5.

