

# Speciering av atmosfærisk kvikksølv på Zeppelin, Ny-Ålesund

Sammenhenger mellom kvikksølv,  
meteorologiske forhold,  
aerosolstørrelsesfordelinger og UVB-stråling

**Johanne Meland**

Master i realfag

Innlevert: juni 2016

Hovedveileder: Torunn Berg, IKJ

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for kjemi



# Forord

Denne masteroppgaven avslutter min lektorutdannelse i matematikk og kjemi ved NTNU, Trondheim. Jeg har lyst til å starte med å takke professor Torunn Berg for at jeg fikk lov til å skrive denne masteroppgaven, og med henne som veileder. Hun har alltid tatt seg tid til meg, og hun har en ro og munterhet som har gjort at stressnivået mitt ikke har blitt for stort. Jeg må også få takke for en fantastisk fin tur til Ny-Ålesund med opplæring i bruk og vedlikehold av Tekran-instrumentene som utfører kvikksølvmålingene.

Det er flere som fortjener en takk for bidrag med ulike data og svar på spørsmål i forbindelse med dem. Ola Engelsen (har jobbet ved NILU) har sendt meg UVB-data, Johan Ström (Stockholms Universitet) har sendt aerosoldata, og Anne-Gunn Hjellbrekke (NILU) har sendt de meteorologiske dataene.

Takk til ingeniørene på Sverdrupstasjonen i Ny-Ålesund, som tar turen opp til Zeppelifjellet og sjekker og utfører vedlikehold av instrumentene. Takk til ansatte i Kings Bay som gjorde oppholdet så bra som det var, både med tanke på overnatting og god mat. Folk som ellers bodde i byen fortjener også en takk da de bidro til et kjekt sosialt opphold, og som gjorde at jeg fikk oppleve den nydelige naturen i området rundt Ny-Ålesund også.

Jeg fikk støtte fra ulike fond for å reise til Ny-Ålesund, og følgende fortjener en takk: *Sparebanken Midt-Norges gavefond til Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet*, *Direktør Halvor B. Holtas legat ved NTNU*, og *A/S M. H. Lundgreens Enkes Fond*.

Til slutt vil jeg takke mine studievenner gjennom fem fine år. Takk for godt samarbeid, og for at dere er så morsomme å være sammen med. Takk også til familie og venner for omtanke og oppmuntrende ord underveis i arbeidet.

Trondheim, mai 2016

Johanne Meland



# Sammendrag

Speciering av atmosfærisk kvikksølv ble utført ved Zeppelinobservatoriet i Ny-Ålesund (79 °N), Svalbard, for perioden 31.03.2007 til 31.12.2012.

Syklusen til kvikksølv i Arktis er kompleks, og det er flere faktorer som kan spille en rolle for hvordan kvikksølv oppfører seg i atmosfæren. I denne oppgaven er derfor atmosfæriske konsentrasjoner av kvikksølvspesiene elementært kvikksølv i gassfase (GEM), reaktivt kvikksølv i gassfase (RGM), og kvikksølv i partikulærfase (PHg), undersøkt for sammenhenger med meteorologiske data, størrelsesfordeling av aerosoler og UVB-stråling. GEM ble detektert med et Tekran 2537-instrument, og RGM og PHg ble bestemt ved et specieringssystem bestående av Tekran 1130- og 1135-enheter koblet til en annen Tekran 2537-enhet.

De ulike dataene ble klassifisert i måneder før korrelasjonsanalyser ble utført. Både meteorologiske forhold, aerosolstørrelsesfordeling og UVB-stråling viste seg å ha sammenhenger med hvordan GEM, RGM og PHg oppfører seg i atmosfæren.

De meteorologiske dataene som spilte en rolle for fordelingen av de ulike kvikksølvspesiene var temperatur, relativ og absolutt luftfuktighet, og lufttrykk. GEM viste korrelasjoner med temperatur, relativ og absolutt luftfuktighet, og lufttrykk om våren og sommeren. Stort sett var korrelasjonene positive, bortsett fra med temperatur og lufttrykk i juli, som var negative. RGM viste antikorrelasjoner med temperatur og relativ luftfuktighet om våren og om sommeren, mens PHg om vinteren viste signifikante antikorrelasjoner med relativ og absolutt luftfuktighet og lufttrykk.

Aerosolstørrelsesfordelingen viste at "aitken mode"-partikler dominerer om sommeren, mens "accumulation mode"-partikler dominerer i ulik grad resten av året. Både "aitken mode"- og "accumulation mode"-partikler hadde betydning for kvikksølvfordelingen i ulike deler av året. GEM viste i februar positive korrelasjoner med "aitken mode"-partikler, og i mars antikorrelasjoner med "accumulation mode"-partikler. RGM viste i mars positive korrelasjoner med "accumulation mode"-partikler, og PHg viste sterke positive korrelasjoner med "aitken mode"-partikler i desember.

UVB-strålingens doserate, som hadde en topp om sommeren, er også blitt knyttet til de tre kvikksølvspesiene i ulike deler av året. GEM og RGM viste positive korrelasjoner med UVB-stråling om våren. I tillegg hadde RGM og UVB-stråling en positiv korrelasjon i juni og september, og en antikorrelasjon i august. PHg hadde en antikorrelasjon med UVB-stråling i april og en positiv korrelasjon i september.



# Abstract

Atmospheric speciation of mercury was performed at the Zeppelin observatory in Ny-Ålesund (79 °N), Svalbard, from 31.03.2007 to 31.12.2012

The cycle of mercury in the Arctic is complex, and there are several factors that can play a role in how mercury is behaving in the atmosphere. Therefore, in this thesis, atmospheric concentrations of the mercury species elementary gaseous mercury (GEM), reactive gaseous mercury (RGM), and particulate bound mercury (PHg), were examined for correlations with meteorological data, aerosol size distribution and UVB radiation. GEM was detected with a Tekran 2537 instrument. RGM and PHg were measured with the use of a speciation system consisting of Tekran 1130 and 1135 units connected to another Tekran 2537 unit.

Each set of data were classified into months before correlation analysis were carried out. Both meteorological conditions, aerosol size distribution and UVB radiation appear to show correlation with GEM, RGM and PHg's behaviour in the atmosphere.

The meteorological data that played a role in the distribution of the mercury species was temperature, relative and absolute humidity, and air pressure. GEM had correlations with temperature, relative and absolute humidity, and air pressure during spring and summer. The correlations were mostly positive, except from with temperature and air pressure in July, which were negative. RGM had anti correlations with temperature and relative humidity during spring and summer, while PHg had anti correlations with relative and absolute humidity and air pressure during winter.

The aerosol size distribution showed that Aitken mode particles dominated in the summer, while accumulation mode dominated to varying degrees the rest of the year. Both Aitken mode and accumulation mode particles had an impact on the mercury distribution in different parts of the year. GEM showed positive correlations with Aitken mode particles in February, and anti correlations with accumulation mode particles in March. RGM had positive correlations with accumulation mode in March, and PHg had strong positive correlations with Aitken mode particles in December.

The UVB radiation's dose rates, which had a peak during summer, were also related to the three mercury species in different parts of the year. GEM and RGM had positive correlations with UVB radiation during spring. RGM and UVB radiation had, in addition, positive correlations in June and September, and an anti correlation in August. PHg had an anti correlation with UVB radiation in April, and a positive correlation in September.

# Forkortelser

AMDE - Atmosfærisk kvikksølvfortynningsepisode

AMEE - Atmosfærisk kvikksølvemisjonsepisode

CPC - Condensation particle counter

CV-AFS - Kalddamps atomfluoresensspektroskopi

DMA - Differential mobility analyzer

DMPS - Differential mobility particle sizer

GAWSIS - Global atmosphere watch station information system

GEM - Elementært gassfasekvikksølv

MDL - Metodens deteksjonsgrense

NILU - Norsk institutt for Luftforskning

NTNU - Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

PHg - Partikulært bundet kvikksølv

RGM - Reaktiv gassfasekvikksølv

RPF - Regenererbart partikulærfilter

SD - Standardavvik

UV-stråling – Ultrafiolett stråling



# Innhold

Forord.....	i
Sammendrag.....	iii
Abstract .....	v
Forkortelser .....	vi
Innhold .....	vii
1 Innledning .....	1
2 Teori.....	3
2.1 Arktis og Svalbard.....	3
2.2 Kvikksølv .....	5
2.2.1 Kilder og transport.....	6
2.2.2 Kvikksølv i atmosfæren.....	6
2.2.3 Kvikksølv i Arktis.....	7
2.2.4 Atmosfæriske kvikksølvfortynningsepisoder (AMDE).....	9
2.2.5 Atmosfæriske kvikksølvemisjonsepisoder (AMEE) .....	10
2.3 Aerosoler .....	10
2.4 UVB-stråling .....	12
3 Eksperimentelt.....	14
3.1 Zeppelin.....	14
3.2 Atmosfærisk kvikksølvspeciering .....	15
3.2.1 Instrumenter og oppsett .....	15
3.2.2 Kvalitetssikring og vedlikehold.....	18
3.3 Meteorologiske målinger.....	19
3.4 Aerosolmålinger .....	19
3.5 UVB-målinger .....	19
3.6 Statistisk analyse .....	20
3.6.1 Deteksjonsgrenser.....	20
3.6.2 Korrelasjonskoeffisienter.....	21
4 Resultater og diskusjon .....	22
4.1 Kvikksølvdata for perioden 2007-2012.....	22
4.2 Meteorologiske data for perioden 2007-2012 .....	31
4.3 Aerosoldata for perioden 2007-2010.....	35
4.4 UVB-data for perioden 2007-2012.....	37
4.5 Faktorer som påvirker fordelingen av kvikksølvspecier .....	38

4.5.1 GEM, RGM og PHg .....	38
4.5.2 Meteorologiske forhold.....	41
4.5.3 Aerosoler.....	60
4.5.4 UVB-stråling.....	61
5 Oppsummering .....	65
Referanser .....	67
A Vedlegg .....	74

# 1 Innledning

Arktiske områder er i stor grad uberørte, og antropogene forurensninger knyttes i stor grad til langtransport fra sørligere breddegrader (AMAP, 2009; Burkow & Kallenborn, 2000). Trolig er arktiske områder også mer sårbare for klimaendringer og forurensning på grunn av et økosystem med lav reproduserbarhet og mindre mangfold av biologiske organismer (Barrie, et al., 1992; Macdonald, 2005; AMAP, 2009).

Kvikksølv er regnet som en av de farligste miljøgiftene og kan transporteres over lange avstander på grunn av den elementære formens flyktighet (ATSDR, 1999). Det er en fare for miljø og menneskers helse da kvikksølvet kan metylere til en biotilgjengelig form som er lite nedbrytbar. Forbindelsen kalles metylkvikksølv (MeHg) og er den giftigste formen for kvikksølv. Egenskapene til MeHg fører til at det skjer en oppkonsentrering i næringskjeden (Ruus, et al., 2015; Walker, et al., 2006). Av disse årsakene er det viktig å studere kvikksølvets syklus i arktiske områder.

Kvikksølv i Arktis oppfører seg annerledes om våren enn resten av året. Fenomenet som oppstår kalles kvikksølvfortynningsepisoder (AMDE), der elementært kvikksølv i gassfase (GEM) i episoder oksideres til en mer reaktiv form i gassfase (RGM), som kan avsettes relativt raskt på overflater som snø og sjøis. Er det aerosoler tilstede kan RGM bindes til som kvikksølv i partikulærform (PHg), som også avsettes (Steffen, et al., 2008). Avsetningen gjør kvikksølvet mer tilgjengelig for økosystemet og videre dannelse av MeHg (AMAP, 2011).

Hensikten med denne oppgaven er å undersøke hvordan fordelingen av GEM, RGM og PHg i atmosfæren, varierer med ulike faktorer i løpet av året. Faktorer som blir undersøkt er ulike

meteorologiske forhold, størrelsesfordelinger på aerosoler og UVB-stråling. Undersøkelsen blir gjort ved å bruke data fra Zeppelinobservatoriet i Ny-Ålesund (79 °C), Svalbard.

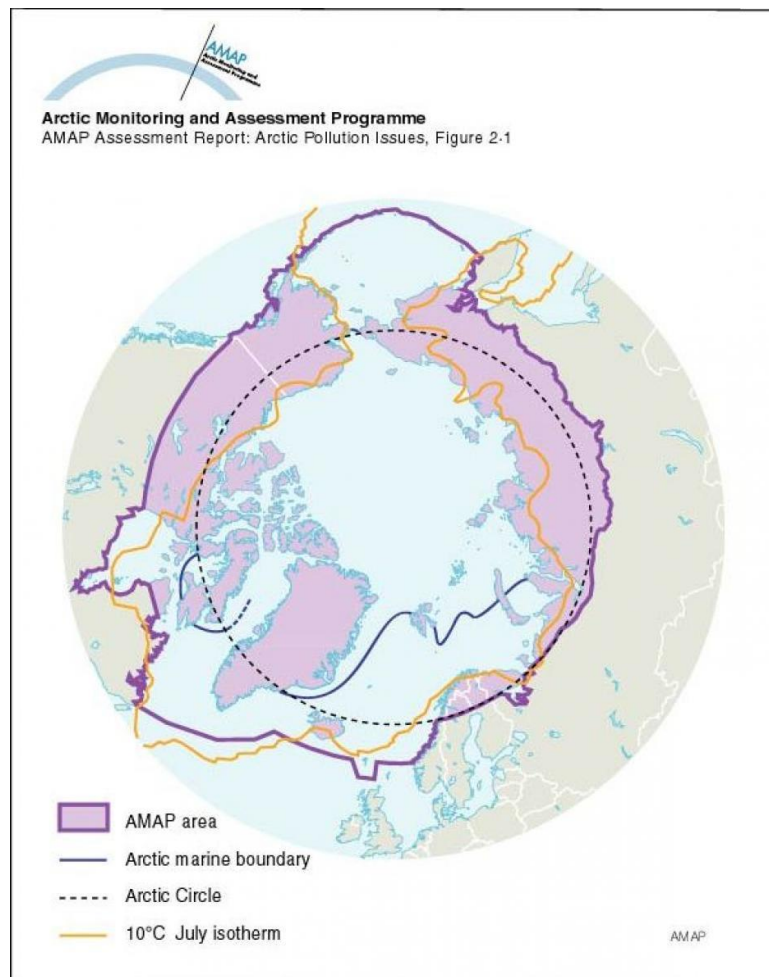
## 2 Teori

### 2.1 Arktis og Svalbard

Hvilke områder Arktis omfatter avhenger av definisjon. Arktis er ofte definert til å være området nord for polarsirkelen ( $66^{\circ}\text{N}$ ), den søndre grensen for hvor midnattssol opptrer. The Arctic Monitoring Assessment Programme (AMAP) har gjort en vurdering av hva som betegner Arktis med bakgrunn i temperaturvariasjoner og marine grenser, i tillegg til polarsirkelen (AMAP, 1998). Figur 2.1 viser en oversikt over hvordan disse grensene til sammen utgjør AMAPs grenser. Grensen med bakgrunn i temperaturvariasjoner er satt ved  $10^{\circ}\text{C}$ -isotermen. Områder nord for denne grensen har sommerlige gjennomsnittstemperaturer under  $10^{\circ}\text{C}$ . Den marine grensen er satt der kaldt, mindre salt overflatevann fra Nordishavet møter varmere og saltere vann fra hav lenger sør (AMAP, 1998).

Store områder av Arktis er dekket av snø, is og permafrost. Dette er et resultat av at området er preget av et klima med lave temperaturer på grunn av lite solstråling året sett under ett. Den store mengden solstråling som kommer under perioden med midnattssol på sommerhalvåret, gjør ikke opp for mørketiden på vinterhalvåret, da en del av solstrålingen blir reflektert tilbake av skyer, snø og is. De lave temperaturene gjør at det foregår en varmeutveksling mellom Arktis og sørligere strøk ved luft- og havstrømmer, og kobles til transport av forurensning til Arktis (AMAP, 1998). Arktiske områder er i stor grad uberørte, og er relativt rene områder, men de er trolig også mer sårbare for klimaendringer og forurensning (AMAP, 2009; Macdonald, 2005). Dagens nivå av den mest persistente forurensningen i Arktis kan ikke

knyttet til bruk og utslipp fra lokale kilder, noe som tyder på at forurensningen kommer med langtransport fra sørligere breddegrader (Burkow & Kallenborn, 2000). AMAP (1998) viser til en økende grad av påvirkning av global forurensning i arktiske områder.



Figur 2.1: Arktiske grenser. Lastet ned 19 mars 2016, 12:30 (Kilde: AMAP (1998))

Svalbard, som er den norske delen av Arktis, omfatter flere øyer der Spitsbergen er den største. Dette er også den eneste øya som har faste bosetninger. Klimaet på Svalbard påvirkes blant annet av lavtrykkspassasjer og varme havstrømmer grenet av fra Golfstrømmen. Dette er med på å gjøre klimaet mildere her enn andre steder liggende på samme breddegrad (Norsk Polarinstittutt, u.d). Selv om Svalbard regnes som et rent sted i forhold til andre steder på jordkloden, finnes det i tillegg til langtransport av forurensning, også noen kilder til lokal forurensning etter tilstedeværelser og næringer som forskning, turisme og gruvedrift (Miljødirektoratet, u.d.).

## 2.2 Kvikksølv

Kvikksølv opptrer i tre former, og det er som elementært kvikksølv ( $\text{Hg}^0$ ), uorganiske salter ( $\text{Hg}^{1+}$  og  $\text{Hg}^{2+}$ ) og organiske forbindelser (metyl-, etyl- og fenylikvikksølv). Løselighet, reaktivitet, biologiske effekter og giftighet varierer mellom disse formene (Goldman, et al., 2001). I miljøet er det særlig i elementær form, divalent uorganisk form og som metylkvikksølv (MeHg), kvikksølv forekommer (Barrie, et al., 1992). Elementært kvikksølv er flytende ved romtemperatur, men noe vil fordampe, og kan bli transportert over lange avstander. Kvikksølv er regnet som en av de farligste miljøgiftene, og er en trussel både for miljøet og menneskers helse (ATSDR, 1999).

MeHg er den mest giftige formen av kvikksølv. I et akvatisk miljø, under anoksiske forhold, vil bakterier kunne omdanne uorganisk kvikksølv til denne formen, og er da en i en biologisk tilgjengelig form og lite nedbrytbar (Walker, et al., 2006; Ruus, et al., 2015). Det vil kunne skje en oppkonsentrering oppover i næringskjeden, som gjør at det er en særlig trussel for fisk, men også for pattedyr (Walker, et al., 2006; Ruus, et al., 2015). Dette blir sett som hovedbekymringen når det kommer til utslipp og mobilisering av kvikksølv i biosfæren (Schroeder & Munthe, 1998).

## 2.2.1 Kilder og transport

Kvikksølv finnes naturlig på grunn av vulkanisme og erosjon, men har også blitt mobilisert av menneskelige aktiviteter i tusener av år (Pirrone, et al., 2010). Innenfor kategorien naturlige kilder regnes også re-emisjon med, som er utslipp av tidligere avsatt kvikksølv, som hadde enten antropogene eller naturlige kilder (Pirrone, et al., 2010). Antropogene utslipp har blant annet skjedd gjennom gruvedrift, ved ekstraksjon av metaller, som sporforurensning i flere materialer, til bruk i produkter og i industri (Driscoll, et al., 2013). Forbrenning av fossile brennstoff, der kullbrenning er av størst betydning, er den største antropogene kilden (Berg, et al., 2006). For antropogene kilder var det i 2005 asiatiske land som bidro med det største kvikksølvutslippet, etterfulgt av Nord-Amerika og Europa (Pacyna, et al., 2010). Atmosfæren er den fremste transportveien for kvikksølv, mens land og hav spiller en viktig rolle når det kommer til fordeling av kvikksølv i økosystem på land, i ferskvann og i marine områder, samt for dannelse av metylkvikksølv (Driscoll, et al., 2013). På grunn av de negative helseeffektene kvikksølv kan ha, finnes det et internasjonalt samarbeid for å begrense bruken av kvikksølv, og kartlegge utslipp og effektene av dem (AMAP/UNEP, 2013).

## 2.2.2 Kvikksølv i atmosfæren

De tre viktigste kvikksølvspesiene i atmosfæren er: elementær gass ( $\text{Hg}^0$ , GEM), reaktiv gassfase ( $\text{Hg}^{2+}$ , RGM), og partikulærfase (PHg) (Munthe, et al., 2001). Ulikt andre tungmetaller, som i stor grad finnes i atmosfæren i partikulær form, finnes over 95 % av kvikksølvet i gassform (GEM+RGM). GEM bidrar med over 90% av totalt kvikksølv i atmosfæren (Fu, et al., 2010). GEM er igjen en stor kilde til RGM og PHg. Hvordan den dominerende kjemiske omdannelsen for oksidasjon av GEM til RGM er, er fremdeles usikker. Det foreslås at bromoksidasjon er en viktig reaksjon i områder som Arktis (Holloway, et al., 2012). Dette blir videre omtalt i avsnitt 2.3.4. RGMs og PHgs kjemiske og fysiske struktur kan ikke eksakt identifiseres med eksperimentelle metoder, men karakteriseres ut i fra deres egenskaper og mulighet for å samles ved ulikt prøvetakingsutstyr (Munthe, et al., 2001).

GEM har lav vannløselighet og kan oppholde seg i atmosfæren fra noen måneder til ett år (Selin, et al., 2007). Specien kan derfor transporteres i atmosfæren over lange avstander (ti til



tusener av kilometer). RGM er vannløselig og fjernes derfor effektivt med regn. Den atmosfæriske livstiden er på noen dager til noen uker, og kan derfor transporteres noe kortere enn hva GEM kan (ti til noen hundre kilometer). PHg kan forventes å bli avsatt i umiddelbar nærhet til kilden, avhengig av aerosoldiameter og masse (Schroeder & Munthe, 1998).

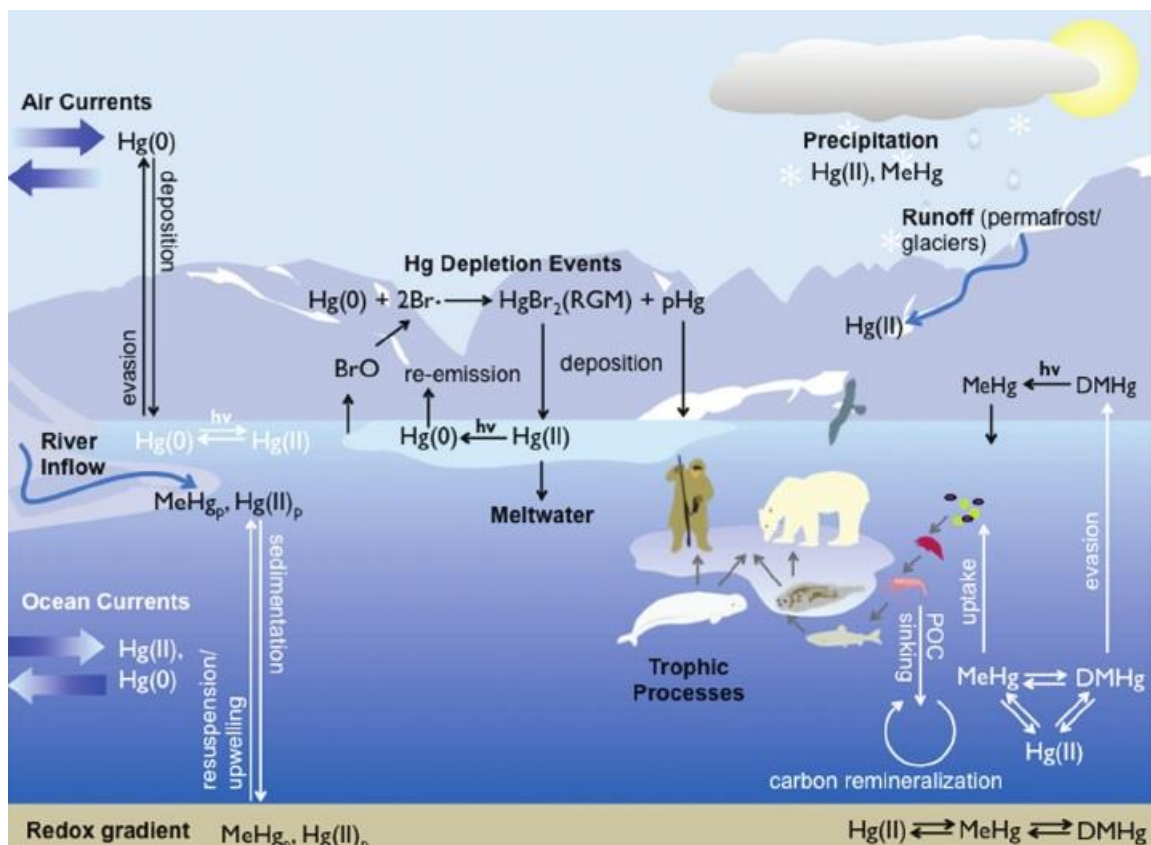
Alle de tre speciene fjernes fra atmosfæren både ved tørr- og våtavsetning. Det er ikke mulig å peke ut en av prosessene som viktigere enn den andre, da avsetningen vil avhenge av konsentrasjoner av speciene og tilstedeværelsen av andre atmosfæriske bestanddeler som er involvert i fjerningsprosesser (Schroeder & Munthe, 1998). Faktorer som kan være med å påvirke mengde avsetning av atmosfærisk kvikksølv, utenom dens kjemiske form, er endringer i naturlige og antropogene utslippsmengder av kvikksølv, konsentrasjon av andre forurensninger, klimaendringer som omhandler temperaturer, vindstyrke, nedbørsmønster, samt ozonkonsentrasjon, aerosoler og endringer i snø- og isdekke. (Lindberg, et al., 2007; Lu J. Y., et al., 2001).

Den atmosfæriske kvikksølvsyklusen har funksjoner som er unike for Arktis sammenlignet med sørligere breddegrader. Dette er på grunn av episoder der GEM går gjennom oksidasjonsprosesser og avsettes på bakken eller blir bundet til aerosoler. Dette kalles atmosfæriske kvikksølvfortynningsepisoder (eng: atmospheric mercury depletion events, AMDE) (Steffen, et al., 2015). Dette blir nærmere omtalt i kapittel 2.2.4.

### 2.2.3 Kvikksølv i Arktis

En betydelig mengde kvikksølv ankommer Arktis via langtransport fra antropogene kilder på sørligere breddegrader, og utgjør en risiko for arktisk dyreliv og for menneskelige populasjoner (AMAP, 2011). Hvordan kvikksølv transporteres til Arktis, og hva som skjer når det kommer der avhenger av formen kvikksølvet frigis som, og prosesser som omgjør det mellom dets ulike former. For det meste blir kvikksølv avsatt fra lufta i uorganisk form, men som nevnt kan denne bli omgjort til en organisk form, som MeHg (AMAP, 2011).

Figur 2.2 viser en oversikt over den biogeokjemiske syklusen til kvikksølv og metylkvikksølv i Arktis, med hovedtransportveier og omdannelser (Lehnerr, 2014).



Figur 2.2: Biogeokjemisk syklus til kvikksølv og metylkvikksølv i det arktiske økosystem. Lastet ned 24 mars 2016, 12:00 (Kilde: Lehnerr (2014)).

Figur 2.2 oppsummerer noe av det som er blitt nevnt. Kvikksølv kommer til Arktis med hav- og luftstrømmer, og GEM kan bli oksidert til RGM og/eller PHg ved for eksempel brom. På grunn av RGMs og PHGs korte atmosfærelivstid vil de kunne fjernes effektivt fra atmosfæren ved våt- og tørravsetning til landskapet omkring. Tørravsetning er avsetning på jordens overflate, mens våtavsetning er inkorporering i vanndråper under dannelse av nedbør i atmosfæren (Seinfeld & Pandis, 2006). Ved fotokjemiske eller biotiske mekanismer kan RGM reduseres til GEM, som reemitteres til atmosfæren og slutter syklusen. Reemisjon av GEM blir nærmere omtalt i kapittel 2.2.5. Figuren viser også at RGM kan omdannes til MeHg som blir tatt opp av mikroorganismer og oppkonsentreres i næringskjeden.

Studier har vist at klimaendringer har en signifikant påvirkning på transport, speciering og syklusen til kvikksølv i det arktiske økosystemet (Stern, et al., 2012), og Arktis har de siste hundre år hatt en gjennomsnittstemperatur økende med dobbelt så høy hastighet som den globale gjennomsnittstemperaturen har hatt (Bernstein, et al., 2007). En kombinasjon av langtransport og klima i Arktis, gjør at Arktis blir påvirket i storskala av forurensning fra sørligere breddegrader (Dommergue, et al., 2009).

## 2.2.4 Atmosfæriske kvikksølvfortynningsepisoder (AMDE)

GEM har som nevnt en livstid i atmosfæren på noen måneder til ett år, men på våren i arktiske områder er livstiden signifikant kortere. Da kan livstiden være omtrent en dag (Skov, et al., 2004). Noe av det kvikksølvet som ankommer Arktis som GEM, blir omdannet til mer reaktive former som blir deponert på land og havoverflate, og blir gjort tilgjengelig for opptak av organismer. En viktig omdanningsmekanisme er atmosfæriske kvikksølvfortynningsepisoder (AMAP, 2011).

Under en AMDE konverteres GEM til oksidert reaktiv kvikksølv i gassfase, RGM, som raskt avsettes på bakken. En AMDE defineres som perioder der konsentrasjonen av GEM er mindre enn  $1 \text{ ng m}^{-3}$  (Steen, et al., 2011). På grunn av tørt klima avsettes RGM hovedsakelig ved tørravsetning. Uten AMDEer ville avsetningen vært omtrent 89 tonn/år, men med er den ca 208 tonn/år (Skov, et al., 2004). Hendelsene inntreffer i Arktis normalt fra mars til juni, samtidig som det marine økosystemet er på sitt mest aktive på grunn av gradvis mer solstråling og smelting av sjøis (Skov, et al., 2004). Dette er tiden kort etter polar soloppgang, og perioden med AMDEer har i studier vist seg å stoppe når temperaturen overstiger  $0^{\circ}\text{C}$  (Steffen, et al., 2005).

Solstråling og overflatetemperatur på marin is enten kontrollerer eller er igangsetter for prosesser som driver fortynningen av GEM, men reaksjonen av GEM til RGM er mindre kjent (Skov, et al., 2004). De reaktive halogenspeciene, bromatomer (Br) og frie bromoksidradikaler ( $\text{BrO}\cdot$ ) er antatt som oksidanter for GEM til RGM (Steffen, et al., 2008). Dette er de samme speciene som dominerer i nedbrytningen av ozon (Simpson, et al., 2007). Det har lenge vært kjent at det skjer en ozonedbryting under den arktiske våren, og AMDEer korrelerer sterkt med disse hendelsene (Schroeder, et al., 1998). De frosne overflatene på Nordishavet inneholder blant annet bromioner, og i sollys vil disse ionene sannsynligvis danne Br og  $\text{BrO}\cdot$  (Skov, et al., 2004). Tidligere forskning har rapportert at RGM-produksjonen og GEM-avsetting er på topp midt på dagen, da solstrålingen er på sitt maksimum (Lindberg, et al., 2002). Selv om presise opphav til brom er vanskelig å fastslå, er en fellesnevner for såkalte bromeksplosjoner et saltere miljø som resulterer i en kald saltlake. Sammen med sollys kan dette trigge bromeksplosjoner. I Arktis er en potensiell kilde til kalde saltlaker sjøis, da smeltende arktisk sjøis erstattes med en tynnere, saltere is (Nghiem, et al., 2012).

AMDEer ble først observert i 1995 av Schroeder et. al (1998) ved Alert i arktiske Canada. Senere ble slike fortyningsepisoder også observert andre arktiske og antarktiske områder (Skov, et al., 2004; Lindberg, et al., 2002; Ebinghaus, et al., 2002; Berg, et al., 2003; Poissant & Pilote, 2003; Steffen, et al., 2005).

### 2.2.5 Atmosfæriske kvikksølvemisjonsepisoder (AMEE)

Steffen et. al. (2005) har rapportert om konsentrasjoner av GEM sent på våren og under sommeren i Arktis, som er høyere enn bakgrunnskonsentrasjonen for den nordlige halvkule. Bakgrunnskonsentrasjonen for den nordlige halvkule er mellom 1,5 og 1,7 ng m<sup>-3</sup> (Lindberg, et al., 2007). Disse hendelsene kalles for atmosfæriske kvikksølvemisjonsepisoder (eng: atmospheric mercury emission events, AMEE), og Cole og Steffen (2010) definerte under en studie en slik episode til å være når [GEM] oversteg 1,97 ng m<sup>-3</sup>. AMEEer har en tendens til å skje under smelteforhold, men mekanismene er ikke kjent (Cole & Steffen, 2010) (Dommergue, et al., 2003). De forhøyede GEM-konsentrasjonene på senvår og sommer kan komme av økt fotoreduksjon av oksidert kvikksølv avsatt under AMDEer, slik at GEM re-emitteres til atmosfæren (Cole & Steffen, 2010). Tidligere studier fra Nordishavet har foreslått at også havet kan være en kilde til GEM under den Arktiske sommeren (Andersson, et al., 2008).

## 2.3 Aerosoler

En aerosol er definert som en suspensjon av finforstøvede faststoff- eller væskepartikler i en gass, og varierer i størrelser fra noen få nanometer (nm) til et titalls mikrometer (µm) i diameter (Seinfeld & Pandis, 2006). I luften kan de endre både størrelse og sammensetning. Partikler mindre enn 1 µm finnes vanligvis i konsentrasjoner mellom ti til tusener per cm<sup>3</sup>, mens partikler større enn 1 µm vanligvis finnes i konsentrasjoner under 1 cm<sup>-3</sup> (Seinfeld & Pandis, 2006). Aerosoler er nødvendige i atmosfæren for at skydannelse skal kunne skje. Dette kan skje ved tilstedeværelse av supermettet vanndamp der partikler kan bli aktivert til å danne skydråper (Seinfeld & Pandis, 2006).

Aerosolene fjernes fra atmosfæren ved tørr- og våtavsetning (Seinfeld & Pandis, 2006). Konsentrasjon og sammensetning varierer stort. En signifikant andel av den troposfæriske aerosolen har antropogent opphav (Seinfeld & Pandis, 2006). Aerosolene kan likevel nå over store avstander, og har en evne til å transportere tungmetaller og andre komponenter adsorbent på overflaten (Engvall, et al., 2008).

Partikler mindre enn 2,5  $\mu\text{m}$  i diameter blir kalt fine partikler, og de som er større enn 2,5  $\mu\text{m}$  er grove partikler (Seinfeld & Pandis, 2006). Disse to ulike klassene skiller seg fra hverandre ved at de oppstår ulikt, omdannes ulikt og fjernes fra atmosfæren ved ulike mekanismer, i tillegg til flere andre ulikheter som er viktige å ta hensyn til når aerosolers fysikk, kjemi, målinger og helseeffekter diskuteres. De fine partiklene deles igjen opp i "nucleation mode" (0–10 nm), "aitken mode" (10–100 nm), og "accumulation mode" (100 nm - 2,5  $\mu\text{m}$ ). "Aitken mode"-partikler står for en stor del av antall aerosoler, men kun få prosent av aerosolmassen. "Accumulation mode"-partiklene står for det meste av partikkeloverflatearealet og for en stor del av aerosolmassen (Seinfeld & Pandis, 2006). Accumulation mode partiklene oppstår ofte av mindre partikler som koagulerer, og de har den minst effektive fjerningsmekanismen som gjør at de kan være i atmosfæren i flere dager og dermed transporteres over større avstander (Seinfeld & Pandis, 2006). Grovpartikler dannes ved mekaniske prosesser og fjernes relativt raskt fra atmosfæren på grunn av rask sedimenteringshastighet (Seinfeld & Pandis, 2006). I tillegg til at grovpartikler har rask sedimenteringshastighet, vil de ved inhalasjon vanligvis ikke komme lenger enn til svelget. Finpartiklene derimot vil kunne nå helt til lungene og utgjør dermed en større helsefare. Eksempler på helseskader knyttet til inhalasjon av atmosfæriske partikler er forverret astma og forsterket eller fremskyndet sykdomsprosess hos hjerte- og lungesyke (Manahan, 2010).

Hvor aerosolene som finnes i Arktis kommer fra er blitt undersøkt i flere studier, der nordlige deler av Eurasia er funnet til å være den viktigste kilden (Hirdman, et al., 2010; Stohl, 2006; Carlson, 1981).

Aerosoler i atmosfæren bidrar til spredning av og absorpsjon av solstråling, og dette fører til redusert sikt når de finnes i større konsentrasjoner (Ramanathan, et al., 2001). Det er lysspredningseffektene til partikler i størrelsesområdet 0,1-1,0  $\mu\text{m}$  som er de største, da de har samme dimensjon som bølgelengden til synlig lys (Manahan, 2010). Et eksempel på dette er "Arctic Haze" som kan sees som distinkte lag med dis.

Ved studier av aerosoler i Ny-Ålesund er det vist at det er stor sesongvariasjon i partikkeltetthet og størrelsesfordelingen av aerosolene. Partikkeltettheten har generelt vært høy om sommeren, og lav om vinteren (Wang, 2012; Ström, et al., 2003; Engvall, et al., 2008). Sesongvariasjonen kontrolleres av viktigste kilde og meteorologiske forhold, og året deles i tre sesonger. "Arctic Haze" finnes mellom mars og mai, der "accumulation mode"-partikler er dominerende. På sommeren, mellom juni og august, er tilstedeværelsen av "accumulation mode"-partikler lav, mens konsentrasjonen av små partikler er høyere. De små partiklene er antatt å være nylig og lokalt dannet. Resten av året, som er mellom september og februar, finnes det lave konsentrasjoner av "accumulation mode"-partikler og lav tilstedeværelse av de minste partiklene (Tunved, et al., 2013).

## 2.4 UVB-stråling

Ultrafiolett stråling (UV-stråling), er elektromagnetisk stråling med bølgelengder mellom 100 og 400 nm, og deles inn i UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) og UVC (100-280 nm) (IARC, 1992). UV-stråling er en del av solstrålingen, der rundt 95 % av det som når jorden er UVA, og 5 % er UVB. UVC fjernes ved reaksjon med ozon i stratosfæren. UVB-stråling regnes som den mest biologisk signifikante UV-strålingen som når jorden, og kan føre til solbrenthet og hudkreft, og gi grå stær. Mengde UVB som når jorden kontrolleres i stor grad av ozonlaget, så fortykning av ozonlaget er en bekymring (IARC, 1992). Det er flere tiår siden verden ble klar over dette problemet, og det var utslipp av klorfluorkarbondgasser (KFK-gasser) fra spraybokser og andre kilder som brøt ned ozonlaget. I dag er derfor KFK-gasser forbudt. Det er i polare områder fortykningen av ozonlaget har vært størst (AMAP, 1997).

UVB-strålingen som når jorden reflekteres i ulik grad, avhengig av hvordan overflaten er. Snø er den overflaten som reflekterer mest. Den kan reflektere opptil 90 % av den innkomne UV-strålingen (AMAP, 1997). I arktiske områder som Ny-Ålesund står sola generelt lavt på himmelen, men jo høyere på himmelen sola kommer, jo høyere er doseraten UVB (Stamnes & Tsay, 1992). Sola står høyest på himmelen i sommermånedene (juni-august) på den nordlige halvkule (Braathen, et al., 1998). Mengde UV-stråling kan variere stort fra dag til dag, og skydekke og "Arctic Haze" er faktorer som senker UV-stråling som når jorda (AMAP, 1997; Stamnes & Tsay, 1992).

UVB-stråling har tidligere blitt relatert til kvikksølvmålinger, da målinger gjort ved Barrow, Alaska, har vist at de høyeste RGM-målingene er gjort ved de høyeste UVB-målingene. UVB-stråling kontrollerer dannelse av BrO fra fotolyserbar Br (Lindberg, et al., 2002). I tillegg kan økt UVB-stråling føre til økning i OH-radikaler gjennom fotolyse av troposfærisk ozon. I arktiske områder kan dette lede til økt oksidasjon av GEM på grunn av en økning i OH-radikaler og dannelse av reaktive halogener (Lindberg, et al., 2002).

## 3 Eksperimentelt

### 3.1 Zeppelin

Målingene av GEM, RGM og PHg er utført på Zeppelinobservatoriet på Zeppelifjellet (474 m.o.h.). Zeppelin ligger 2 km fra bosetningen i Ny-Ålesund, en forskningsbosetning som ligger ved Kongsfjorden på vestkysten av Spitsbergen, Svalbard (Fig. 3.1) (Steen, et al., 2011). Bosetningen som ligger 79 °N er en av de nordligste bosetningene i verden. At Zeppelinobservatoriet ligger på den høyden det gjør, gjør at det er en ideell plass å måle atmosfæriske gasser og langtransportert forurensning. Zeppelinobservatoriet er for det meste av tiden over inversjonslaget, som gjør at lokale forurensningskilder til målingene er minimale (GAWSIS, 2014). Observatoriet eies av Norsk Polarinstitutt, som er ansvarlige for utvikling, vedlikehold og daglig drift og sikkerhet. NILU er ansvarlig for koordinering av forskningen (GAWSIS, 2014).





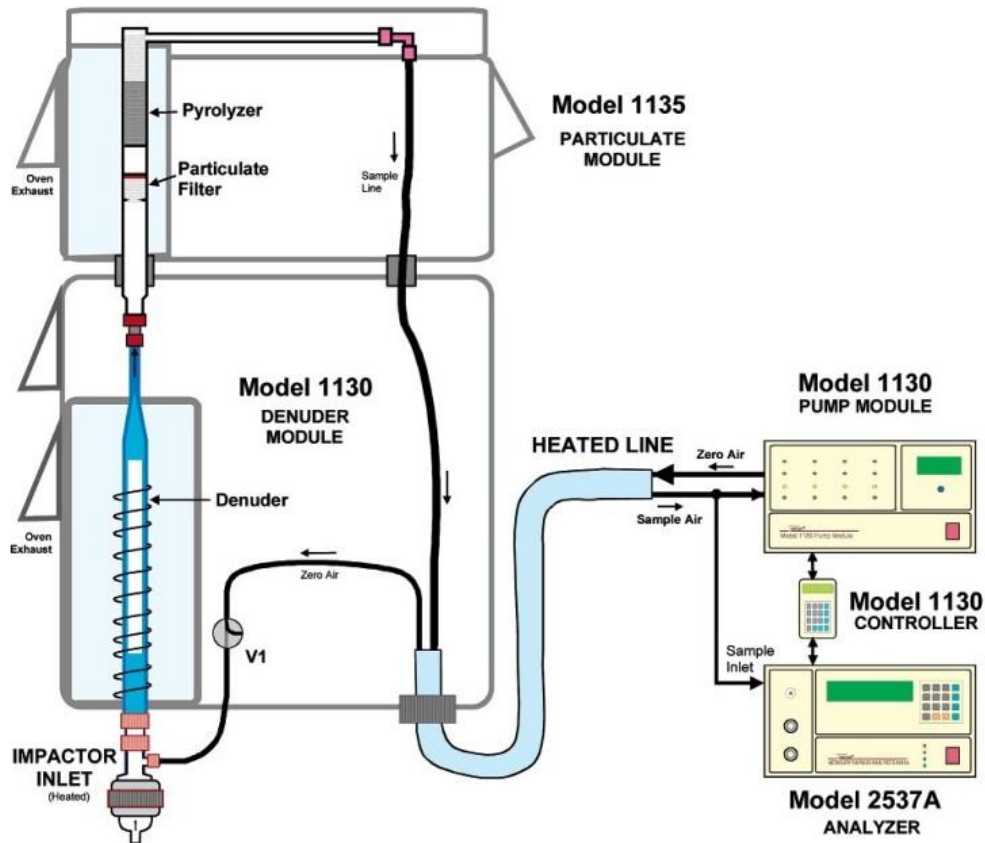
Figur 3.1: Kart over Svalbard som viser Ny-Ålesund og Zeppelinobservatoriet. Lastet ned 20.05.2016, kl 15.20 (Kilde: NILU)

## 3.2 Atmosfærisk kvikksølvspeciering

### 3.2.1 Instrumenter og oppsett

På Zeppelin måles atmosfærisk kvikksølv med to separate systemer. Det ene drives av NTNU og måler GEM, RGM og PHg (Steen, et al., 2009). Det andre drives av NILU og måler GEM (Berg, et al., 2013). I denne studien benyttes målinger av GEM fra NILUs system, da NTNUs system har en tendens til å gi for lave verdier (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016).

Instrumentene benyttet i systemene er Tekran-produkter som gir automatiserte, kontinuerlige målinger, og som til en viss grad kan stå uovervåket (Tekran, 2016). Til sammen utgjør Tekran 1130, 1135 og 2537A specieringssystemet (Steen, et al., 2009). Instrumentene er koblet sammen som figur 3.2 viser (Landis, et al., 2002).



Figur 3.2: Tekran 2537A, 1135, 1130 specieringsystem. Lastet ned 20.05.2016, kl 15.40  
(Kilde: Landis et al. (2002))

Målinger av GEM ble gjort ved bruk av en Tekran 2537A analyserer. Prinsippet for dette instrumentet er at prøvelufta blir fraktet gjennom gullfeller der GEM samles og oppkonsentreres. GEM blir deretter termisk desorbert og detektert av kalddamp-atomfluoresensspektroskopi (CV-AFS) (Berg, et al., 2013). Instrumentet står inne på Zeppelinobservatoriet og er koblet til Tekran 1130 og 1135 gjennom en oppvarmet teflonslange. Tekran 1130 er en denudermodul for bestemmelse av RGM, og Tekran 1135 er en partikulærmodul til bestemmelse av PHg. Disse står på taket på Zeppelinobservatoriet (Fig. 3.3).



*Figur 3.3: Tekran 1130 og 1135 på taket av Zeppelinobservatoriet. (Foto: Meland, 2016)*

Tekran 1130 oksidert kvikksølvspesieringsenhet genererer luft fri for kvikksølv (Zero Air) for bruk i systemet ved å føre prøveluften gjennom en rekke kvikksølvfilter. RGM samles i en ringformet denuder der innsiden er dekket av kaliumklorid (KCl), mens GEM passerer. RGM blir på denne termisk desorbert og redusert til GEM, som Tekran 2537A detekterer (Tekran, 2008a).

RGM samles i 1130 modulen samtidig som Tekran 1135 partikulær kvikksølvenhet samler fine partikler ( $< 2,5 \mu\text{m}$ ) på det regenererbare partikulærfilteret (RPF) av kvarts. GEM passerer også gjennom her, og måles kontinuerlig av 2537A modulen. RPFen varmes opp og desorberer det PHg som er samlet der. 2537A modulen kvantifiserer kvikksølvet som frigjøres i dette trinnet. Etter oppvarming av RPFen, men mens RPFen fremdeles er varm, varmes denuderen i 1130 modulen opp og reduserer RGM (Tekran, 2008b). Partikler større enn  $2,5 \mu\text{m}$  samles i en oppvarmet impaktor ved luftinntaket, slik at de ikke entrer systemet.

Spesieringssystemet er programmert til å samle timesmålinger av RGM og PHg, mens det prekonsentrerte RGM og PHg ble bestemt den påfølgende timen (Steen, et al., 2011). GEM-målinger er timesnitt av snitt på fem minutters prøvetaking (Berg, et al., 2013). Den instrumentelle syklusen for målingen av RGM og PHg er vist i tabell 1.

**Tabell 1.** Tekran 2537A syklus for måling av RGM og PHg (Kilde: Wang (2012))

ID syklus	Syklusbeskrivelse	Flagg
A	Spyling med blankprøve	1
B	Spyling med blankprøve	1
C	Spyling med blankprøve	1
D	Pyrolyseoppvarming (850 °C)	2
E	RPF-oppvarming (850 °C)	3
F	RPF-oppvarming (850 °C)	3
G	RPF-oppvarming (850 °C)	3
H	Denuderoppvarming (500 °C)	4
I	Denuderoppvarming (500 °C)	5
J	Denuderoppvarming (500 °C)	5
K	Avkjøling med blankprøve	1
L	Avkjøling med blankprøve	1

Konsentrasjonene av PHg og RGM ble beregnet ved ligning 3.1 og 3.2 (Wang, 2012).

$$\text{PHg (pg m}^{-3}\text{)} = D + E + F + G - 3 \times \frac{B+C}{2} \quad (3.1)$$

$$\text{RGM (pg m}^{-3}\text{)} = H + I + J - 3 \times \frac{B+C}{2} \quad (3.2)$$

### 3.2.2 Kvalitetssikring og vedlikehold

Autokalibrering for målinger av de tre kvikksølvspesiene ble utført hver dag ved bruk av den interne kalibreringskilden i Tekran 2537A. Ved manuellinjeksjon av Hg hver tredje til fjerde måned ble autokalibrering for målinger av GEM verifisert (Berg, et al., 2013).

En ‘soda lime’-felle er brukt for å hindre skadelige forbindelser som kan dannes under oppvarming av denuder og RPF, å entre 2537A instrumentet. ‘Soda lime’-fellen er med å forlenge brukstiden for gullfellene (Tekran, 2009). ‘Soda lime’ ble byttet annenhver uke, og denuder og RPF ble byttet omtrent hver måned (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016).

Instrumentene ble regelmessig sjekket og vedlikeholdt, og dette ble notert i en logg på Zeppelinobservatoriet. Loggen brukes som en hjelp i kvalitetssikring av data, da dersom det har vært feil på instrumenter under målinger, kan disse dataene fjernes.

### 3.3 Meteorologiske målinger

For å se på sammenhenger mellom meteorologiske forhold og fordelingen av kvikksølvspecier ble meteorologiske data for studieperioden hentet inn. Meteorologiske data for Zeppelinobservatoriet ble tilsendt av Anne-Gunn Hjellbrekke ved Norsk institutt for luftforskning (NILU). Det er timesnittdata, og de omfatter vindkast, vindretning, vindstyrke, temperatur, relativ luftfuktighet og lufttrykk.

### 3.4 Aerosolmålinger

For å se på sammenhenger mellom aerosoler og fordelingen av kvikksølvspecier ble data med aerosolstørrelsesfordeling hentet inn. De ble tilsendt av Johan Ström ved Stockholms Universitet. Målingene er gjort på Zeppelinobservatoriet ved bruk av Differential Mobility Particle Sizer (DMPS). En DMPS består av en Differential Mobility Analyzer (DMA) og en Condensation Particle Counter (CPC). DMA klassifiserer først partiklene med hensyn til størrelse før CPC teller dem (The University of Manchester, u.d.). Det er timesnittdata i størrelsesområdet 10,0 til 794,3 nm. I denne studien er det data for perioden 31.03.2007-12.11.2010 som er brukt, da tidsbegrensninger gjorde at data for 2011 og 2012 ikke ble klart. Størrelsesintervallene rundt 10 nm og 794,3 nm startet 01.01.2008.

### 3.5 UVB-målinger

For å se på sammenhenger mellom UVB-stråling og fordeling av de ulike kvikksølvspeciene ble data med UVB-doserate tilsendt fra NILU ved Ola Engelsen. Målingene ble utført av et bakkestasjonert ultrafiolett radiometer (GUV) på toppen av Sverdrupstasjonen i Ny-Ålesund, 25 m.o.h (Berg, Pfaffhuber, Cole, Engelsen, & Steffen, 2013). I de tilsendte data var UV-målingene som ble gjort der omgjort til tilsvarende UVB-målinger på Zeppelinobservatoriet. Det ble i omdanningen antatt at ozon- og skyforhold er de samme for de to stedene (Berg, et

al., 2013). Dataene er oppgitt som timesnitt, og på grunn av lav solintensitet i mørketiden på vinterhalvåret brukes kun data fra mars til oktober.

## 3.6 Statistisk analyse

### 3.6.1 Deteksjonsgrenser

Deteksjonsgrense (eng: Method Detection Limit, MDL) for GEM oppgitt hos Tekran er  $< 0,1 \text{ ng m}^{-3}$ , og brukes i denne studien (Tekran, 2006). For RGM og PHg brukes medianen fra tidligere utregninger fra Ny-Ålesund for perioden 2007-2011. MDL for RGM og PHg er satt til tre ganger standardavviket (SD) av blankprøver ( $X$ ) (Steen, et al., 2011). Standardavvik er et mål på variasjon i et datasett (Sedgwick, 2011). Utregningsformel for standardavvik vises ved ligning 3.3. Ligning 3.4 viser utregningsformel for blankprøver, der B og C viser til syklus-ID i tabell 1.

$$SD = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (3.3)$$

$$X = 3 \times \frac{B+C}{2} \quad (3.4)$$

Tabell 2 viser en oversikt over de beregnede deteksjonsgrensene disse årene.

**Tabell 2.** Deteksjonsgrenser for RGM og PHg for perioden 2007 til 2011 (Kilde: Wang, 2012).

	2007	2008	2009	2010	2011
<i>MDL for RGM og PHg (pg m<sup>-3</sup>)</i>	4	9	21	11	7

Fra Tabell 2 blir deteksjonsgrensen for RGM og PHg  $< 9 \text{ pg m}^{-3}$  (Wang, 2012). Wang (2012) forklarte den høye deteksjonsgrensen i 2009 med perioder med problemer med generering av Zero Air, som gav høye verdier på blankprøver, som igjen kan ha gitt store standardavvik og

derfor høyere MDL. I denne studien finnes det RGM- og PHg-data frem til mai 2012, men de er også regnet med i deteksjonsgrensen. Verdier mindre enn deteksjonsgrensen er satt til å være halvparten av deteksjonsgrensen (Steen, et al., 2011).

### 3.6.2 Korrelasjonskoeffisienter

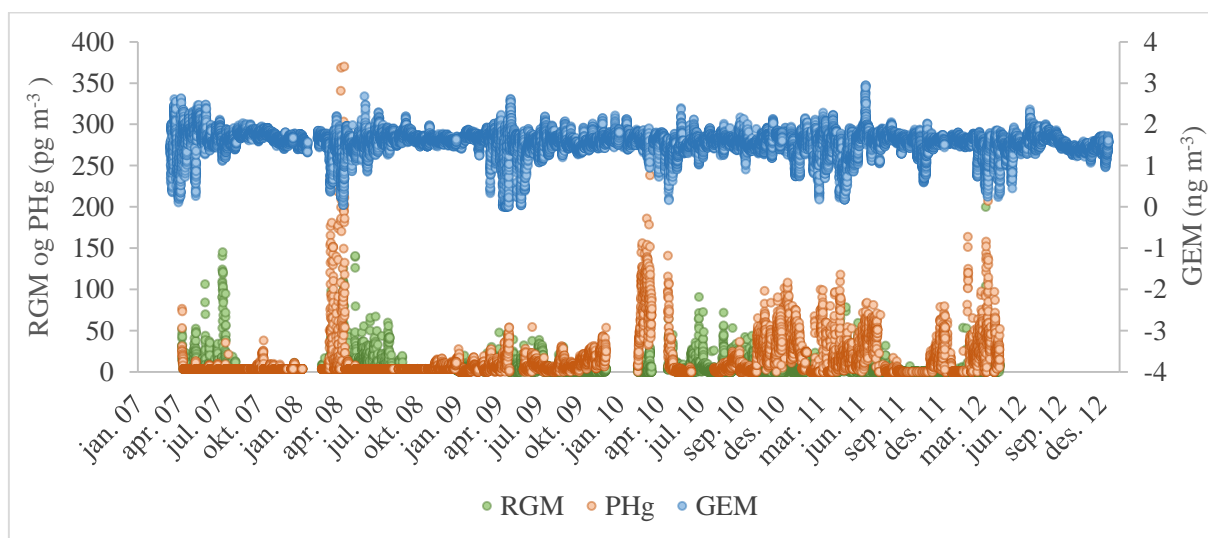
Korrelasjonskoeffisienter beskriver forhold mellom ulike variabler. Variablene kan variere i takt, men det er ikke gitt at det er en årsakssammenheng (Wilhelmsen, 2010). I Microsoft Excel, som er brukt i denne studien, er det Pearson produktmoment korrelasjonskoeffisient ( $r$ ) som regnes ut. Korrelasjonskoeffisienten er i området -1 til 1, og er regnet som signifikant dersom  $r \geq |0,4|$ . Jo nærmere  $r$  er lik 1 (eller -1), jo større positiv (eller negativ) korrelasjon er det mellom variablene. Er  $r$  lik 0, er det ingen korrelasjon (Wierig, 2004). Ligningen for Pearson produktmoment korrelasjonskoeffisient er vist i ligning 3.4. I ligningen er  $x$  og  $y$  de to datasettene som skal sammenlignes.

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (3.4)$$

## 4 Resultater og diskusjon

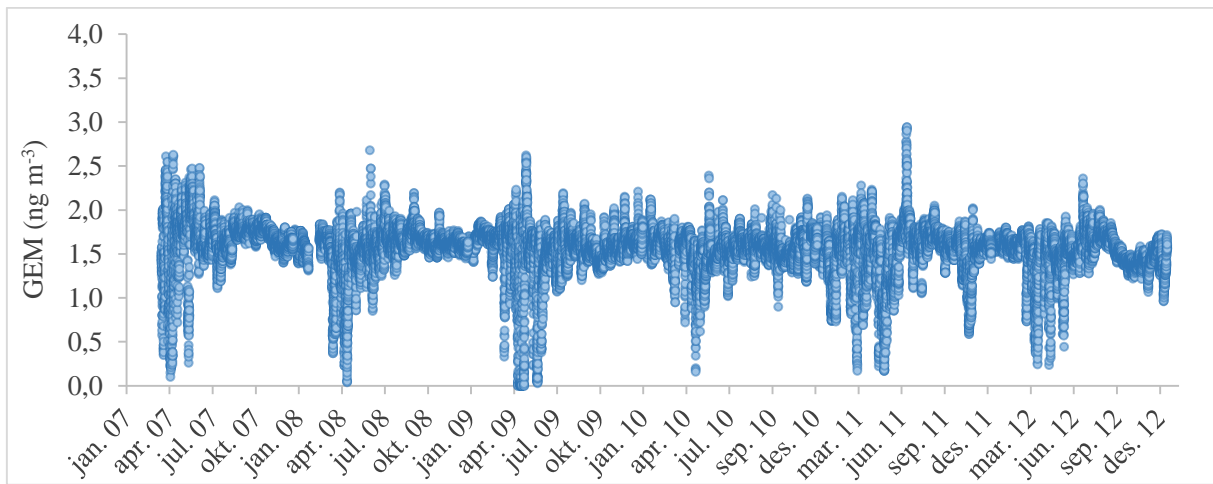
### 4.1 Kvikksølvdata for perioden 2007-2012

I dette avsnittet presenteres målinger av GEM for perioden 31.03.2007 til 31.12.2012, og RGM og PHg for perioden 27.04.2007 til 02.05.2012. Instrumentproblemer er årsaken til at data for RGM og PHg stopper i mai (T. Berg, personlig kommunikasjon, april 2016). Figurene 4.1-4.4 viser målinger gjort av de kvikksølvspesiene som denne oppgaven tar utgangspunkt i.

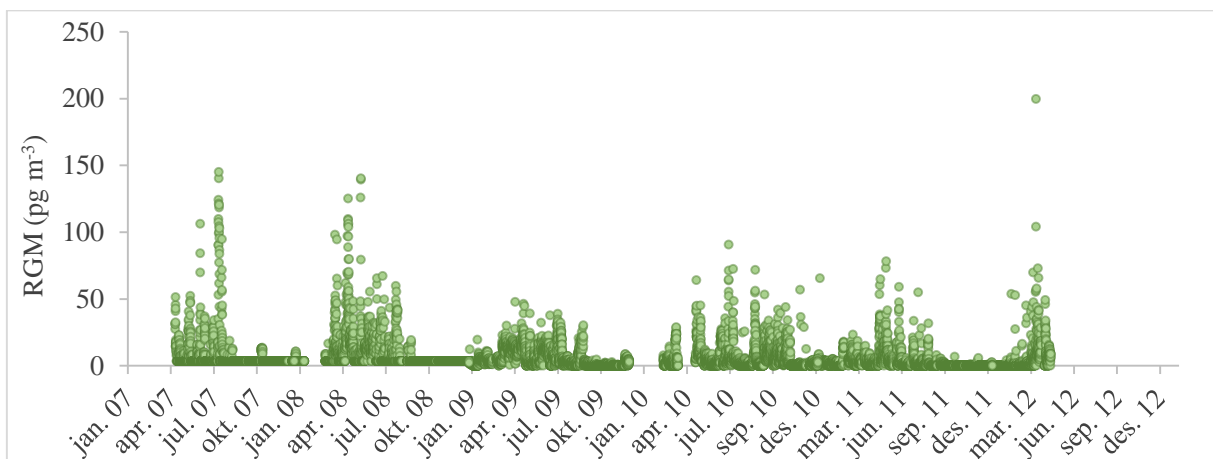


Figur 4.1: Målinger av GEM, RGM og PHg for perioden 31.03.2007 til 31.12.2012.

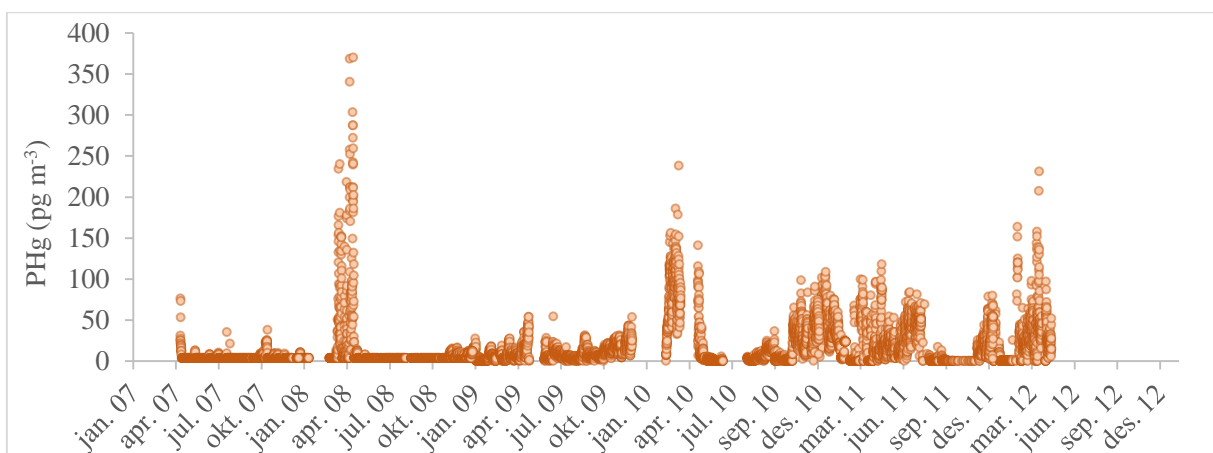




Figur 4.2: Målinger av GEM for perioden 31.03.2007 til 31.12.2012.



Figur 4.3: Målinger av RGM for perioden 27.04.2007 til 02.05.2012



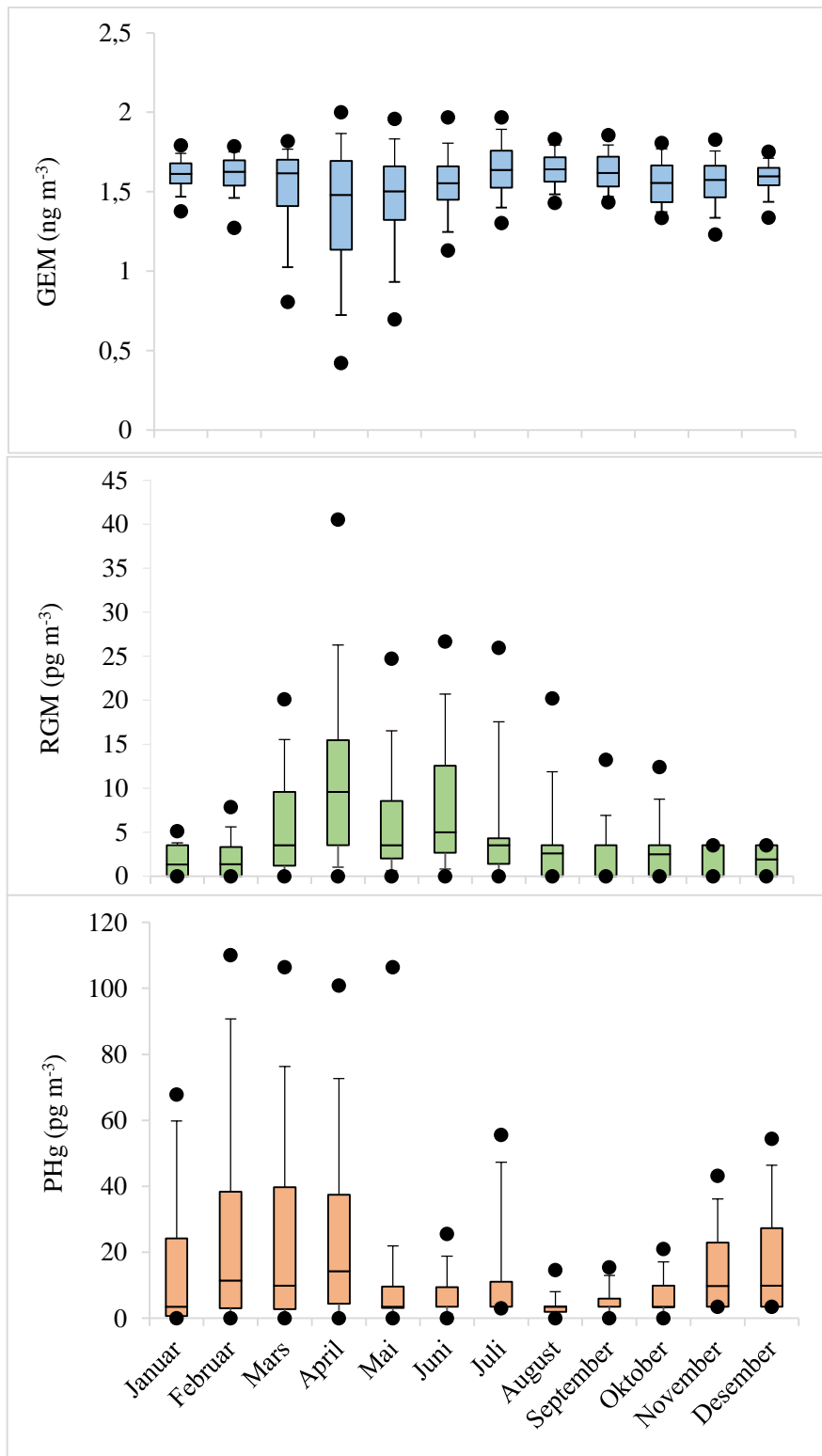
Figur 4.4: Målinger av PHg for perioden 27.04.2007 til 02.05.2012.

Figurene (4.1-4.4), viser at konsentrasjonene av alle de tre kvikksølvspesiene varierer gjennom året. Sammenlignet med ellers i året viser GEM store variasjoner om våren (Fig. 4.1, Fig 4.2). Målinger av RGM (Fig 4.1, Fig 4.3) viser at det forekom høyere konsentrasjoner om våren som også strekker seg utover sommeren. PHg-konsentrasjonene (Fig. 4.1, Fig 4.4) er også på sitt høyeste om våren, men også vinteren er preget av høyere konsentrasjoner. Variasjonene i konsentrasjon av de tre kvikksølvspesiene om våren kan forklares ved fortynningsepisodene som skjer på denne tiden av året. Det er tidligere rapportert fra Ny-Ålesund (Berg, et al., 2013), og fra Alert, Canada (Steffen, et al., 2014) at det er mellom mars og juni disse episodene inntreffer. Som sett ut fra figur 4.1-4.4 skjedde det fortynningsepisoder om våren hvert år i Ny-Ålesund, men de varierte noe fra år til år.

For å kunne se nærmere på hvordan kvikksølvkonsentrasjonene av de tre spesiene varierer gjennom et år, ble samme måned for de ulike årene gruppert sammen. Månedlig statistikk og statistikk for hele perioden er presentert i Tabell 3. Figur 4.5 viser et box og whisker plot over de månedlige konsentrasjonene av GEM, RGM og PHg over seksårsperioden fra 2007 til 2012 i Ny-Ålesund. Ut i fra box og whisker plot kan variasjoner i datasettene i og mellom månedene sees. Plotene er laget uten omgjorte data for deteksjonsgrensene. Senterlinje i boksen representerer medianverdi, grensene på boksen representerer 25. og 75. persentiler, whiskerne representerer 10. og 90. persentiler og punktene representerer 5. og 95. persentiler.

**Tabell 3.** Deskriptiv statistikk av GEM, RGM og PHg for månedlige data og alle data mellom 2007 og 2012 ved Ny-Ålesund. Konsentrasjonene for GEM er rapportert i ng m<sup>-3</sup>. For RGM og PHg er konsentrasjonene oppgitt som pg m<sup>-3</sup>. Antall representerer antall datapunkt.

<b>GEM</b>	<b>Gjennomsnitt</b>	<b>Median</b>	<b>Standardavvik</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Antall</b>
Januar	1,60	1,61	0,16	0,74	2,12	3438
Februar	1,59	1,62	0,18	0,73	2,15	2822
Mars	1,51	1,62	0,31	0,17	2,11	3261
April	1,38	1,48	0,47	< 0,1	2,63	4081
Mai	1,45	1,50	0,38	< 0,1	2,62	4269
Juni	1,55	1,55	0,25	0,38	2,68	4148
Juli	1,65	1,64	0,21	1,07	2,94	4223
August	1,64	1,64	0,13	1,05	2,06	4058
September	1,65	1,64	0,13	1,27	2,19	4212
Oktober	1,56	1,56	0,15	0,90	2,13	4189
November	1,54	1,57	0,21	0,59	2,15	4250
Desember	1,59	1,60	0,13	0,96	2,21	4179
2007-2012	1,56	1,60	0,26	< 0,1	2,94	47130
<b>RGM</b>	<b>Gjennomsnitt</b>	<b>Median</b>	<b>Standardavvik</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Antall</b>
Januar	< 9,0	< 9,0	2,7	< 9,0	65,4	1179
Februar	< 9,0	< 9,0	3,9	< 9,0	53,6	939
Mars	< 9,0	< 9,0	8,8	< 9,0	92,0	1298
April	13,0	9,6	15,5	< 9,0	200	1183
Mai	< 9,0	< 9,0	10,6	< 9,0	140	1411
Juni	< 9,0	< 9,0	10,4	< 9,0	106	1303
Juli	< 9,0	< 9,0	10,0	< 9,0	145	1468
August	< 9,0	< 9,0	8,7	< 9,0	94,6	1283
September	< 9,0	< 9,0	4,9	< 9,0	53,2	1334
Oktober	< 9,0	< 9,0	4,9	< 9,0	43,8	1416
November	< 9,0	< 9,0	2,9	< 9,0	56,9	1352
Desember	< 9,0	< 9,0	1,9	< 9,0	28,8	1049
2007-2012	< 9,0	< 9,0	9,4	< 9,0	200	15215
<b>PHg</b>	<b>Gjennomsnitt</b>	<b>Median</b>	<b>Standardavvik</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Antall</b>
Januar	17,0	< 9,0	23,7	< 9,0	108	1171
Februar	27,6	11,5	34,8	< 9,0	164	838
Mars	26,5	9,9	35,9	< 9,0	240	1298
April	29,8	14,3	44,8	< 9,0	370	1175
Mai	< 9,0	< 9,0	13,8	< 9,0	118	1090
Juni	< 9,0	< 9,0	9,3	< 9,0	71,7	1109
Juli	13,9	< 9,0	18,3	< 9,0	83,8	1148
August	< 9,0	< 9,0	7,7	< 9,0	70,1	1103
September	< 9,0	< 9,0	4,6	< 9,0	36,3	1290
Oktober	< 9,0	< 9,0	6,5	< 9,0	< 9,0	1141
November	15,2	9,8	14,4	< 9,0	98,2	1100
Desember	18,0	9,9	17,9	< 9,0	90,3	1048
2007-2012	14,9	< 9,0	24,5	< 9,0	370	13511



Figur 4.5: Box og whisker plot av månedlig GEM, RGM og PHg fra Ny-Ålesund, 2007-2012. GEM er gitt som  $\text{ng m}^{-3}$  og RGM og PHg er som  $\text{pg m}^{-3}$ . Senterlinje i boksen representerer medianverdi, grensene på boksen representerer 25. og 75. persentiler, whiskerne representerer 10. og 90. persentiler og punktene representerer 5. og 95. persentiler.

Det blir tatt utgangspunkt i mediankonsentrasjonene når konsentrasjoner presenteres. Tabell 3 viser at konsentrasjonene for GEM, RGM og PHg i perioden 2007 til 2012 var  $1,6 \text{ ng m}^{-3}$  for GEM, og  $< \text{MDL}$  for RGM og PHg. Eventuelle AMDEer er inkludert i beregningen. [GEM] mellom 2007 og 2012 er innenfor det som regnes som bakgrunnskonsentrasjonsområdet på den nordre halvkule ( $1,5\text{-}1,7 \text{ ng m}^{-3}$ ) (Lindberg, et al., 2007). April var den måneden som viste lavest konsentrasjon sammenlignet med bakgrunnskonsentrasjonen ( $1,48 \text{ ng m}^{-3}$ ).

Ut i fra Tabell 3 og figur 4.5 kommer det også frem at konsentrasjonene endres gjennom året. [GEM] var lavest om våren mellom april og juni ( $1,48\text{-}1,55 \text{ ng m}^{-3}$ ). Det var størst spredning i dataene mellom mars og mai, og også til en viss grad i juni (Fig. 4.5). Spredningen kommer sannsynligvis av fortytningsepisodene som forekommer i disse månedene (Berg, et al., 2003). [GEM] var noe høyere i juni ( $1,55 \text{ ng m}^{-3}$ ) enn de foregående månedene, og har noe mindre spredning i dataene. Dette kan tyde på færre AMDEer skjer, da det går mot sommer, og AMDEer stopper når temperaturen overstiger  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  (Steffen, et al., 2005). De høyeste konsentrasjonene finnes i sommersesongen mellom juli og september ( $1,64 \text{ ng m}^{-3}$ ).

Konsentrasjonene på høst og vinter ligger mellom vårens og sommerens konsentrasjoner ( $1,56\text{-}1,62 \text{ ng m}^{-3}$ ), og har mindre variasjoner både i og mellom månedene. Dette kan komme av mangel på oksidanter for at konversjon av GEM skal skje, på grunn av mangel på lys (Steen, et al., 2011).

[RGM] er i motsetning til [GEM] høyest om våren, med en topp i april ( $9,6 \text{ pg m}^{-3}$ ). Resten av året er [RGM]  $< \text{MDL}$  (Tab. 3, Fig. 4.5). At [RGM] øker om våren under fortytningsepisodene er en vel støttet teori (Berg, et al., 2003). Figur 4.5 viser at også RGM har størst spredning i dataene om våren, samtidig som GEM, men konsentrasjonen og spredningen av data for RGM er høy også utover sommeren til juli. Dette er også tidligere rapportert fra Ny-Ålesund for perioden 2007-2008 (Steen, et al., 2011). Fra andre arktiske målestasjoner, Alert (Cobett, et al., 2007) og Barrow (Lindberg, et al., 2002), er det ikke rapportert om høye konsentrasjoner som strekker seg så langt utover sommeren. Der er de seneste høye konsentrasjonene målt i juni.

Fra juli synker [RGM] gradvis mot vinteren, samtidig som [GEM] øker noe igjen (Fig. 4.5). Det er rapportert om det samme skiftet ved Alert i juni (Steffen, et al., 2014). Ved Ny-Ålesund er en økning av [GEM] i perioden 2000-2009 også observert i juli (Berg, et al., 2013). Dette skiftet kommer av reemisjon av avsatt kvikksølv når snø og/eller is smelter, eller fra havet gjennom havissprekker og polyneer (Hirdman, et al., 2009). De laveste konsentrasjonene RGM forekom om vinteren mellom november og februar (Fig. 4.5). I disse

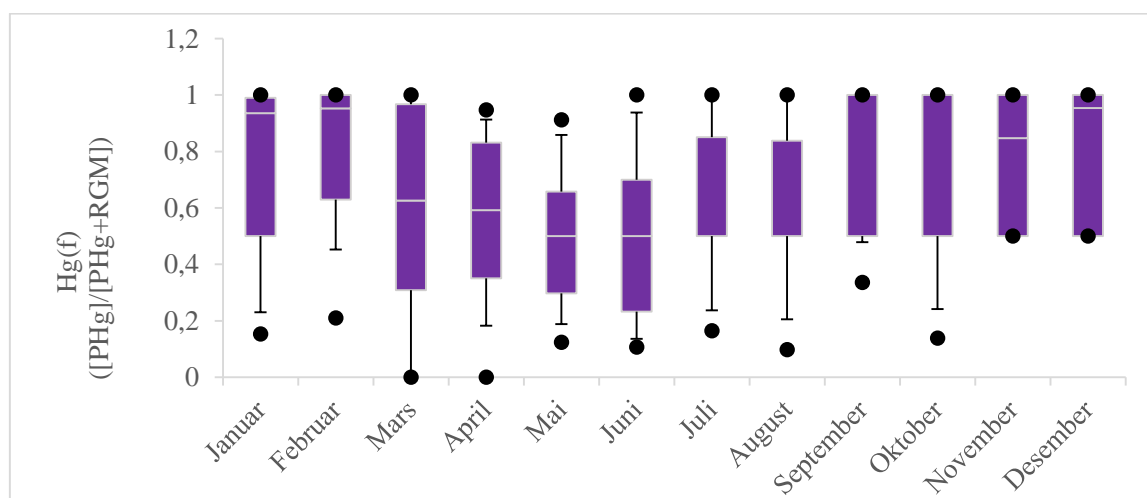
månedene var det liten variasjon både i og mellom månedene, noe som også samsvarer med forskning ved Alert (Steffen, et al., 2014). Den lave konsentrasjonen RGM om vinteren foreslår Skov et al. (2004) kommer av at det trengs sollys for å få dannet denne oksiderte specien av kvikksølv.

PHgs konsentrasjoner er høyest mellom februar og april (9,9-14,3 pg m<sup>-3</sup>), og faller kraftig i mai (< 9,0 pg m<sup>-3</sup>) (Tab. 3, Fig. 4.5). Høy [PHg] finnes også i november og desember (9,8-9,9 pg m<sup>-3</sup>). De høye konsentrasjonene om våren henger sammen med fortykningsepisoder, da RGM kan bindes til partikler (Steffen, et al., 2008). De høye konsentrasjonene om vinteren stemmer ikke overens med Steen et. als (2011) observasjoner i Ny-Ålesund for perioden 2007-2008, da de forhøyede konsentrasjonene kun fantes i mars og april. Høye vinterkonsentrasjoner har likevel blitt observert ved Alert (Steffen, et al., 2014). Der ble det konkludert med at det sannsynligvis er et resultat av aerosoltransport fra sørligere breddegrader, kjent som ‘Arctic Haze’ (Sharma, et al., 2013). Om sommeren var konsentrasjonen av PHg lav. Høye konsentrasjoner på vinterhalvåret, og lave konsentrasjoner om sommeren er også observert ved Alert (Lu & Schroeder, 2004).

For å se nærmere på forholdet mellom konsentrasjonene av RGM og PHg gjennom året ble kvikksølvforholdet,  $Hg(f) = [PHg]/[PHg+RGM]$  regnet ut (f indikerer forhold). I Tabell 4 finnes medianen for  $Hg(f)$  for hele perioden 2007-2012, og månedlig median. I figur 4.6 vises kvikksølvforholdet måned for måned ved et box og whisker plot.

**Tabell 4.** Månedlig og samlet medianverdi for forholdet mellom [PHg] og [RGM] ved Hg(f) = [PHg]/([PHg]+[RGM]).

	Hg(f) ([PHg]/[PHg]+[RGM])
Januar	0,94
Februar	0,95
Mars	0,63
April	0,59
Mai	0,50
Juni	0,50
Juli	0,50
August	0,50
September	0,50
Oktober	0,50
November	0,85
Desember	0,95
2007-2012	0,56



Figur 4.6: Box og whisker plot av månedlig fraksjon  $\frac{[PHg]}{[PHg]+[RGM]}$ , Ny-Ålesund 2007-2012. Senterlinje i boksen representerer medianverdi, grensene til boksen representerer 25. og 75. persentiler, whiskerne representerer 10. og 90. persentiler og punktene representerer 5. og 95. persentiler.

Tabell 4 og figur 4.6 viser at det i månedene november til februar var PHg som dominerte i forholdet mellom PHg og RGM. Forholdet var i disse månedene mellom 0,85 og 0,95. I mars (0,63) og april (0,59) var det fremdeles PHg som dominerte, men i mye mindre grad. Fra figur 4.6 kan det ses at det finnes stor spredning i dataene, særlig i mars, som betyr at det fantes tider der PHg har stor dominans, og tider der RGM har stor dominans. Fra mai til oktober var den månedlige medianen til  $Hg(f)$  lik 0,5, som betyr det ikke var en tydelig dominans av den ene eller andre specien måneden sett under ett. At  $Hg(f)$  synker på våren kan henge sammen med at dette er den perioden [RGM] øker betydelig på grunn av AMDEer. Fra juli og videre til oktober finnes det flere data der PHg i noen grad dominerer over RGM (Fig. 4.6). Dette er den perioden RGM ikke lenger finnes i like høye konsentrasjoner som tidligere på sommeren (Fig 4.5). Målinger fra Alert har vist at dominansen av PHg er stabil til og med mars (Steffen, et al., 2014). I denne studien skjer det en betydelig endring i forholdet fra februar til mars (Tab. 4). Månedene januar og februar kan være preget av "Arctic Haze", som kan være med å bidra til at RGM går over til PHg (Steffen, et al., 2014).



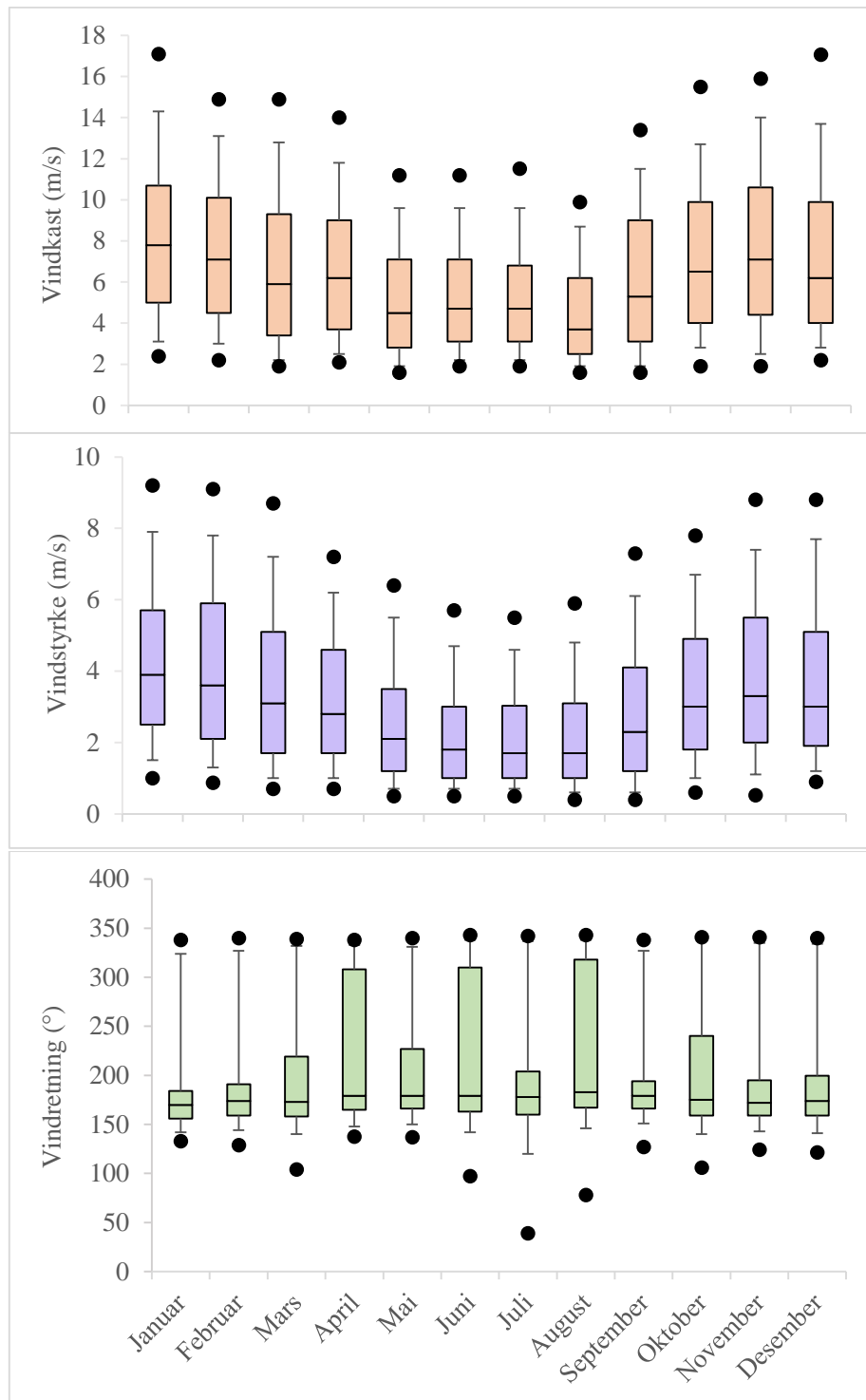
## 4.2 Meteorologiske data for perioden 2007-2012

I dette avsnittet presenteres en oversikt over de meteorologiske forholdene i Ny-Ålesund fra 01.01.2007 til 31.12.2012 (NILU). Vindkastdata mangler fra 2010-2012, lufttrykkdata mangler fra 2010-2011, og vindstyrke-, temperatur- og relativ luftfuktighetsdata mangler for perioden 01.02.10-31.07.10. Årsakene til manglene er ukjente. Da absolutt luftfuktighet er beregnet ut fra temperatur og relativ luftfuktighet, mangler også data for det i den samme perioden.

Tabell 5 viser medianverdiene for de meteorologiske dataene som brukes i denne oppgaven, der samme måned mellom 2007 og 2012 er gruppert sammen. I tillegg vises medianverdien for alle årene samlet. Figur 4.7-4.9 viser box og whisker plot over de meteorologiske dataene måned for måned. Figur 4.7 gir en oversikt over vindkast, vindstyrke og vindretning. Figur 4.8 gir en oversikt over lufttrykk. Figur 4.9 gir en oversikt over temperatur, og absolutt og relativ luftfuktighet.

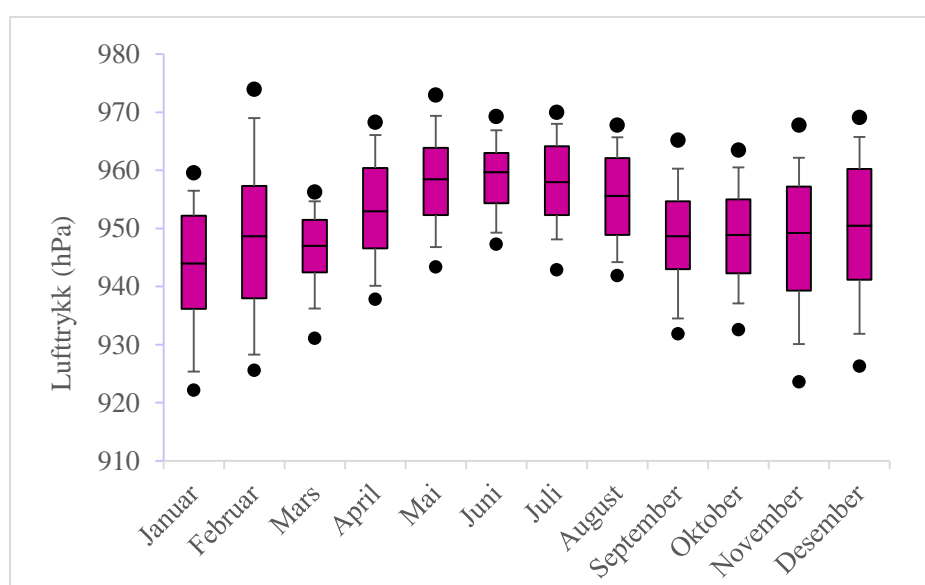
**Tabell 5.** Månedlige og samlede medianverdier til vindkast, vindstyrke, vindretning, lufttrykk, temperatur, relativ luftfuktighet og absolutt luftfuktighet (Kilde: NILU).

	Vind- kast (m/s)	Vind- hastighet (m/s)	Vind- retning (°)	Lufttr ykk (hPa)	Temperatur (°C)	Relativ luftfuktighet (%)	Absolutt luftfuktighet (g m <sup>-3</sup> )
<i>Januar</i>	7,8	3,9	170	944	-10,1	85,0	1,84
<i>Februar</i>	7,1	3,6	174	949	-11,4	81,9	1,59
<i>Mars</i>	5,9	3,1	173	947	-11,9	80,7	1,59
<i>April</i>	6,2	2,8	179	953	-13,1	85,5	1,41
<i>Mai</i>	4,5	2,1	179	959	-5,0	87,8	2,89
<i>Juni</i>	4,7	1,8	179	960	-0,4	89,0	4,10
<i>Juli</i>	4,7	1,7	178	958	2,9	89,0	5,05
<i>August</i>	3,7	1,7	183	956	1,7	93,6	4,78
<i>September</i>	5,3	2,3	179	949	-0,7	92,7	4,14
<i>Oktober</i>	6,5	3,0	175	949	-7,2	90,5	2,48
<i>November</i>	7,1	3,3	172	949	-9,5	85,5	1,97
<i>Desember</i>	6,2	3,0	174	951	-10,3	87,6	1,93
<i>2007-2012</i>	5,6	2,6	176	952	-5,3	87,7	2,89



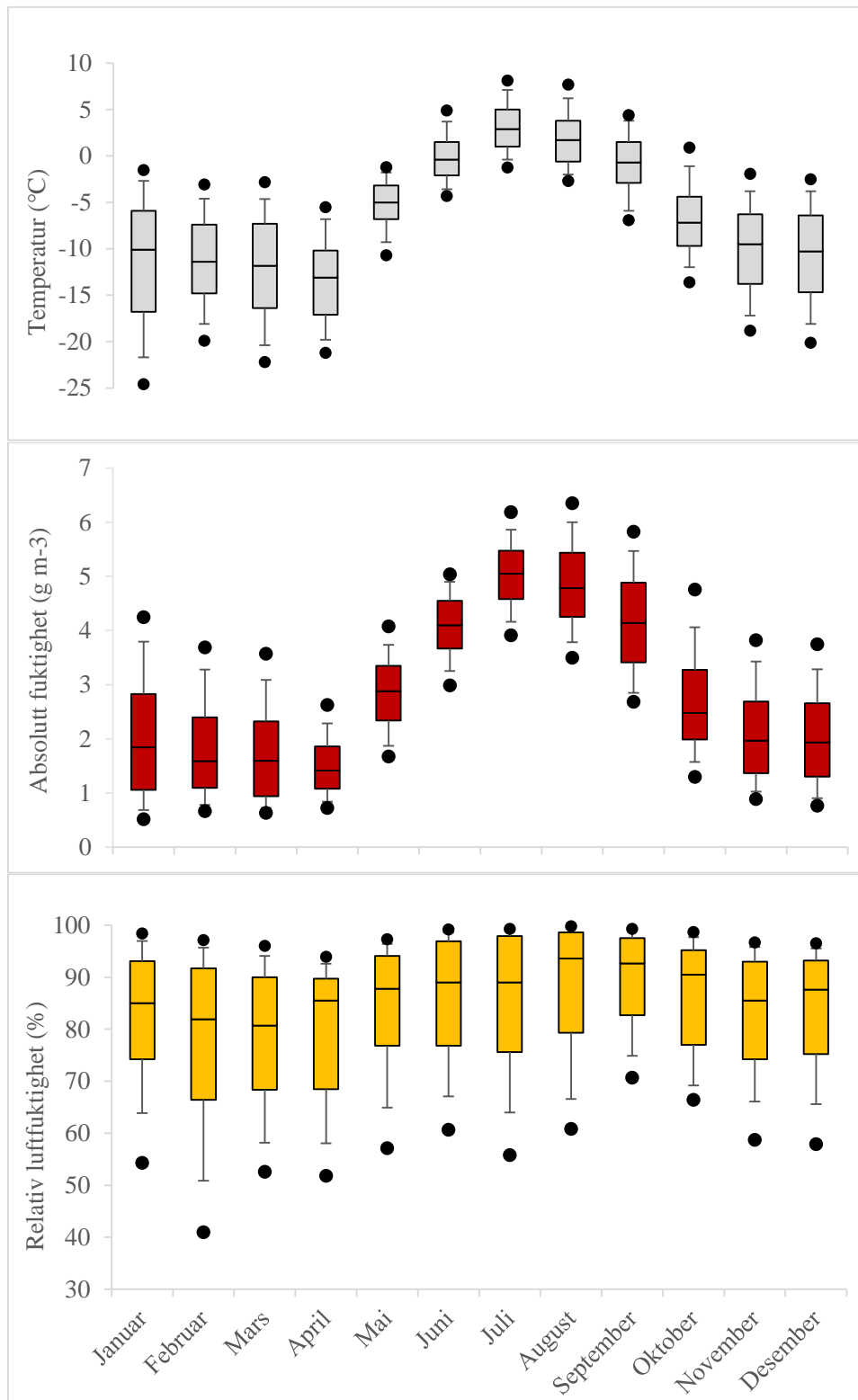
Figur 4.7: Box og whisker plot av vindkast, vindstyrke og vindretning fra Ny-Ålesund, 2007-2012. Senterlinje i boksen representerer medianverdi, grensene på boksen representerer 25. og 75. persentiler, whiskerne representerer 10. og 90. persentiler og punktene representerer 5. og 95. persentiler.

Tabell 5 og figur 4.8 viser gjennom vindkast- og vindstyrkedata hvordan vinden var sterkest om vinteren og svakest om sommeren. Fra august, med unntak av desember, økte vindstyrken gradvis mot januar (1,7-3,9 m/s). Fra januar minsket vindstyrken gradvis mot juli (3,9-1,7 m/s). Vindretningen lå relativt stabilt gjennom året med medianverdi på vind omtrentlig i fra sør (170-183°). En større del av dataene er spredd i månedene april, juli og august (Fig. 4.8). Da er det flere målinger med mer sørvestlig/vestlig vind (mellom 180 og 300°). Fra figuren kan det også observeres at det generelt var lite vind fra øst.



Figur 4.8: Box og whisker plot av luftrykk fra Ny-Ålesund, 2007-2012. Senterlinje i boksen representerer medianverdi, grensene på boksen representerer 25. og 75. persentiler, whiskerne representerer 10. og 90. persentiler og punktene representerer 5. og 95. persentiler.

Luftrykket var høyest mellom april og august (953-960 hPa), med en topp i juni (Tab. 5, Fig. 4.8). Det laveste luftrykket fantes i januar (944 hPa). Det fantes større variasjoner i luftrykket i vintermånedene enn ellers i året.



Figur 4.9: Box og whisker plot av temperatur, og absolutt og relativ fuktighet fra Ny-Ålesund, 2007-2012. Senterlinje i boksen representerer medianverdi, grensene på boksen representerer 25. og 75. persentiler, whiskerne representerer 10. og 90. persentiler og punktene representerer 5. og 95. persentiler.

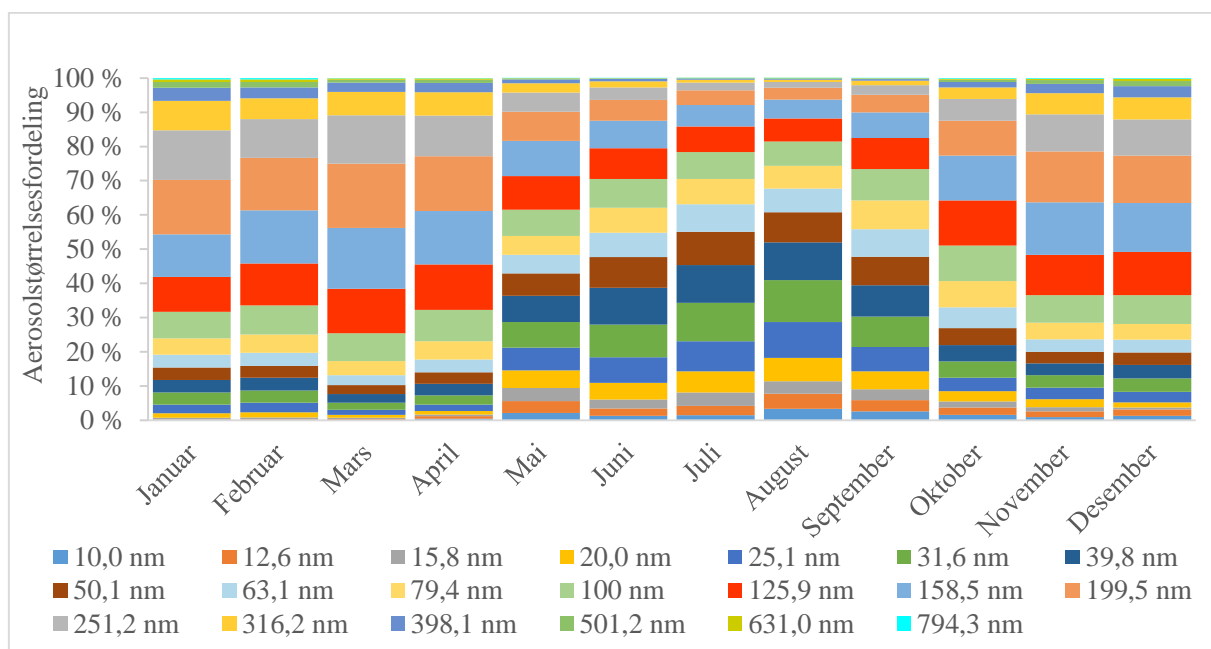
Tabell 5 og figur 4.9 viser at de laveste og høyeste temperaturene var i henholdsvis april (-13,1°C) og juli (2,9 °C). Fra april til mai steg temperaturen mest, men det var først i juni mediantemperaturen oversteg 0 °C. Temperaturene sank gradvis, med et lite unntak i januar, fra juli til april. I april økte temperaturene gradvis igjen mot juli. Det var i sommermånedene det var minst spredning i datasettet.

Den relative luftfuktigheten var størst mellom mai og oktober (87,8-93,6 %) (Tab. 5, Fig. 4.9). De minste relative luftfuktighetene er målt i februar og mars (80,7-81,9 %). Dataene mellom hver måned er relativt stabile, men det finnes en viss spredning innenfor hver måned.

Absolutt luftfuktighet er temperaturavhengig og har store likhetstrekk med temperatur når det kommer til variasjon mellom månedene (Fig. 4.9). Absolutt luftfuktighet var høyest om sommeren, fra juni til september (4,1-5,05 g m<sup>-3</sup>), og lavest om våren mellom februar og april (1,4-1,6 g m<sup>-3</sup>) (Tab. 5).

### 4.3 Aerosoldata for perioden 2007-2010

Aerosoldata er gitt som størrelsesfordeling blant flere partikkelstørrelser mellom 10,0 og 794,3 nm. Flaggede data er fjernet, men sannsynligvis er det flere data som burde vært fjernet. På grunn av mangel på tid ble det ikke anledning til å gjøre noe med, men det har sannsynligvis lite å si for resultatene (J. Ström, personlig kommunikasjon, mai 2016). Figur 4.10 viser en prosentvis oversikt over den månedlige medianen for størrelsesfordelingen.



Figur 4.10: Aerosolstørrelsesfordeling fra Ny-Ålesund, 2007 til 2010. Ulike størrelsesintervaller er farget. De minste til de største størrelsene vises bra bunnen til toppen.

Figur 4.10 viser at fra januar til april var det "accumulation mode"-partikler (> 100 nm) som dominerte (75-85 %), med størst betydning i mars. Fra mai til september tok de mindre partiklene i "aitken mode" (< 100 nm) over dominansen (55-75 %), med størst betydning i august. Fra oktober til desember tok "accumulation mode" over dominansen igjen (60-75 %).

I "accumulation mode"-perioden fra oktober til april var det av "accumulation mode"-partikler i størrelsesområdet 100-251,2 nm det fantes flest partikler. I "aitken mode"-perioden fra mars til september var det av "aitken mode"-partikler i størrelsesområdet 20,0-79,4 nm det fantes mest partikler.

De månedene den totale aerosolen hadde en større andel "aitken mode"-partikler, var også de månedene [PHg] var på sitt laveste (Fig. 4.5). Tilsvarende var [PHg] på noe av sitt høyeste rundt februar til april, når "accumulation mode"-partikler hadde størst dominans. Wang (2012) fant i sine studier at PHg er mest assosiert med partikler i størrelsesområde 100-562 nm under såkalte PHg-episoder der [PHg] på mellom en og tre dager endret konsentrasjon med minst  $20 \text{ pg m}^{-3}$ .

Tunved et. al. (2013) har også rapportert fra Ny-Ålesund at om våren (mars-mai) er det "accumulation mode" som er det dominerende størrelsesområde for aerosoler, mens om

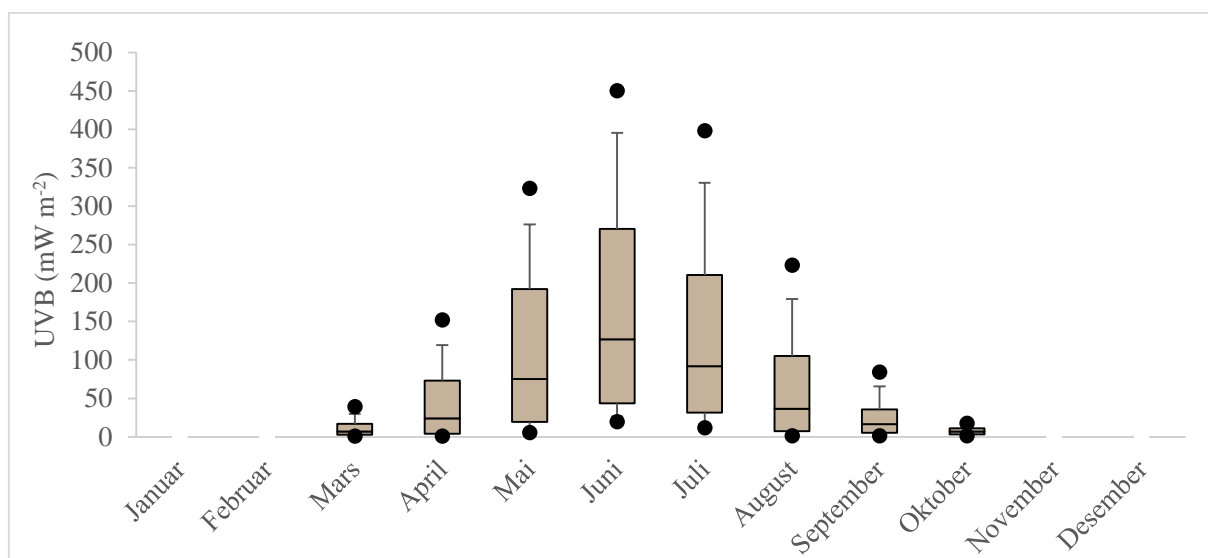
sommeren (juni-august) er det ‘‘aitken mode’’ som er det dominerende størrelsesområdet. Resten av året (september-februar) ble det rapportert en liten dominans av accumulation mode partikler (Tunved, et al., 2013). Tunved et. al. (2013) brukte ‘‘accumulation mode’’ om størrelser > 60 nm, og ‘‘aitken mode’’ om størrelses < 60 nm, men variasjonene i året viser likevel det samme.

## 4.4 UVB-data for perioden 2007-2012

I dette avsnittet gis en oversikt over UVB-data for perioden 09.03 2007 til 04.10.2012 (NILU). Tabell 6 gir en oversikt over medianer, månedlige og for hele perioden. Figur 4.11 viser et box og whisker plot over månedlige data.

**Tabell 6.** Månedlige medianer og medianer for hele perioden for UVB-data fra Ny-Ålesund i perioden 03.03.2007-04.10.2012 (Kilde: NILU)

	UVB (mW m <sup>-2</sup> )
<i>Januar</i>	-
<i>Februar</i>	-
<i>Mars</i>	6,89
<i>April</i>	24,12
<i>Mai</i>	75,08
<i>Juni</i>	126,80
<i>Juli</i>	91,71
<i>August</i>	36,58
<i>September</i>	16,54
<i>Oktober</i>	6,96
<i>November</i>	-
<i>Desember</i>	-
<i>2007-2012</i>	44,18



Figur. 4.11: Box og whisker plot av UVB doserate fra Ny-Ålesund, 2007-2012. Senterlinje i boksen representerer medianverdi, grensene på boksen representerer 25. og 75. persentiler, whiskerne representerer 10. og 90. persentiler og punktene representerer 5. og 95. persentiler.

Doseraten til UVB-stråling viser at fra mars til juni øker den før den synker igjen mot oktober (Tab. 6, Fig. 4.11). Det er størst spredning i dataene jo nærmere målingene er til juni, da dagene er på sitt lengste og flere målinger ble gjort.

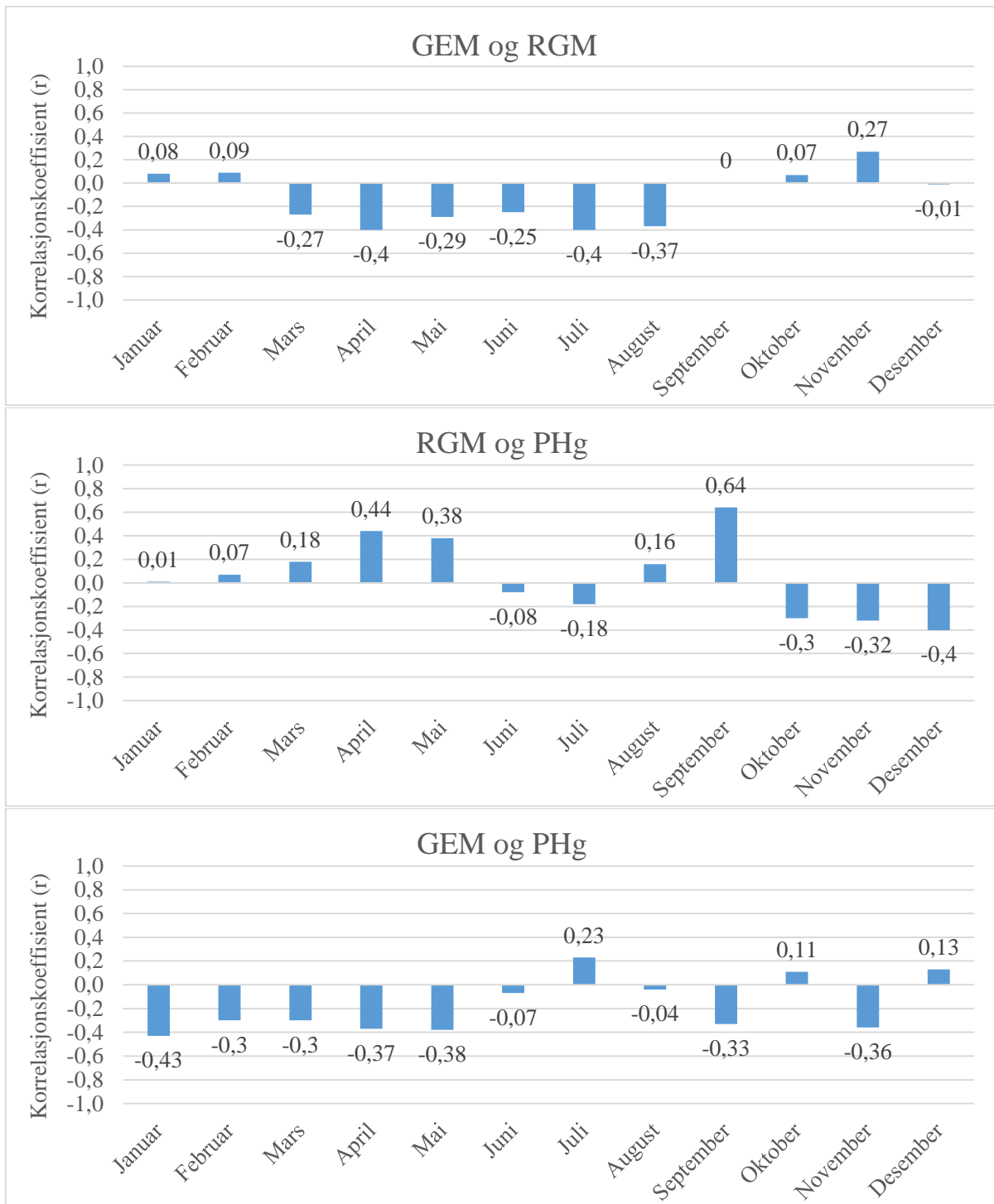
## 4.5 Faktorer som påvirker fordelingen av kvikksølvspecier

I dette avsnittet blir det diskutert hvordan fordelingen av kvikksølvspeciene GEM, RGM og PHg varierer i forhold til hverandre og med ulike meteorologiske forhold, aerosoler og UVB-stråling.

### 4.5.1 GEM, RGM og PHg

Det ble gjort en korrelasjonsanalyse for GEM, RGM og PHg måned for måned for perioden 2007-2012, der samme måned ble gruppert sammen. Figur 4.12 gir en oversikt over de månedlige korrelasjonene.





Figur 4.12: Månedlige korrelasjonsdiagrammer mellom GEM og RGM, RGM og PHg, og GEM og PHg for perioden 2007-2012 i Ny-Ålesund.

Det er en korrelasjon dersom korrelasjonskoeffisienten  $r \geq 0,4$  og en antikorrelasjon dersom  $r \leq -0,4$  (Wierig, 2004). GEM og RGM har en antikorrelasjon i april (-0,40) og i juli (-0,40) (Fig. 4.12). Det vil si at når konsentrasjonen av den ene specien øker, minker samtidig den andre, og omvendt. I april er [GEM] på det laveste i løpet av året. Samtidig er [RGM] på det høyeste (Tab. 3, Fig. 4.5). Årsaken til korrelasjonen trekkes til oksidasjon av GEM til RGM på våren (Berg, et al., 2013). I juli er [GEM] høy på grunn av reemisjon og muligens også på grunn av transport fra Nordishavet (Cole & Steffen, 2010) (Andersson, et al., 2008). RGMs konsentrasjoner er i ferd med å falle i juli, etter de høye konsentrasjonene tidligere om våren og sommeren. Dette kan være en forklaring på antikorrelasjonen i juli. Det er ikke funnet noen signifikante korrelasjoner mellom GEM og RGM i de andre månedene.

RGM og PHg har korrelasjoner i april (0,44) og september (0,64), og en antikorrelasjon i desember (-0,40) (Fig 4.12). I april er mediankonsentrasjonene av RGM og PHg begge på sitt høyeste i året (Tab. 3), og årsaken til korrelasjonen trekkes til at når [RGM] øker, vil også noe RGM kunne bindes til tilgjengelige aerosoler i luften og danne PHg (Steffen, et al., 2008). I september er det en sterkere korrelasjon mellom RGM og PHg. Dette er en måned der konsentrasjonen av både RGM og PHg er lave og har relativt lite spredning i dataene sine i forhold til andre måneder. Det er vanskelig å si med sikkerhet hva korrelasjonen kommer av, men en tenkelig mulighet er at speciene kommer og fjernes samtidig ved de samme luftmassene (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016).

Ved antikorrelasjonen i desember er [RGM] på noe av sitt laveste gjennom året (Fig 4.5). [PHg] er noe høy i desember (Fig. 4.5). Ved tilstedeværelse av aerosoler kan RGM bindes og gå over til PHg (Steffen, et al., 2008). Samtidig dannes lite RGM, sannsynligvis på grunn av mangel lys (Skov, et al., 2004). Det er ikke funnet noen signifikante korrelasjoner mellom RGM og PHg i de andre månedene.

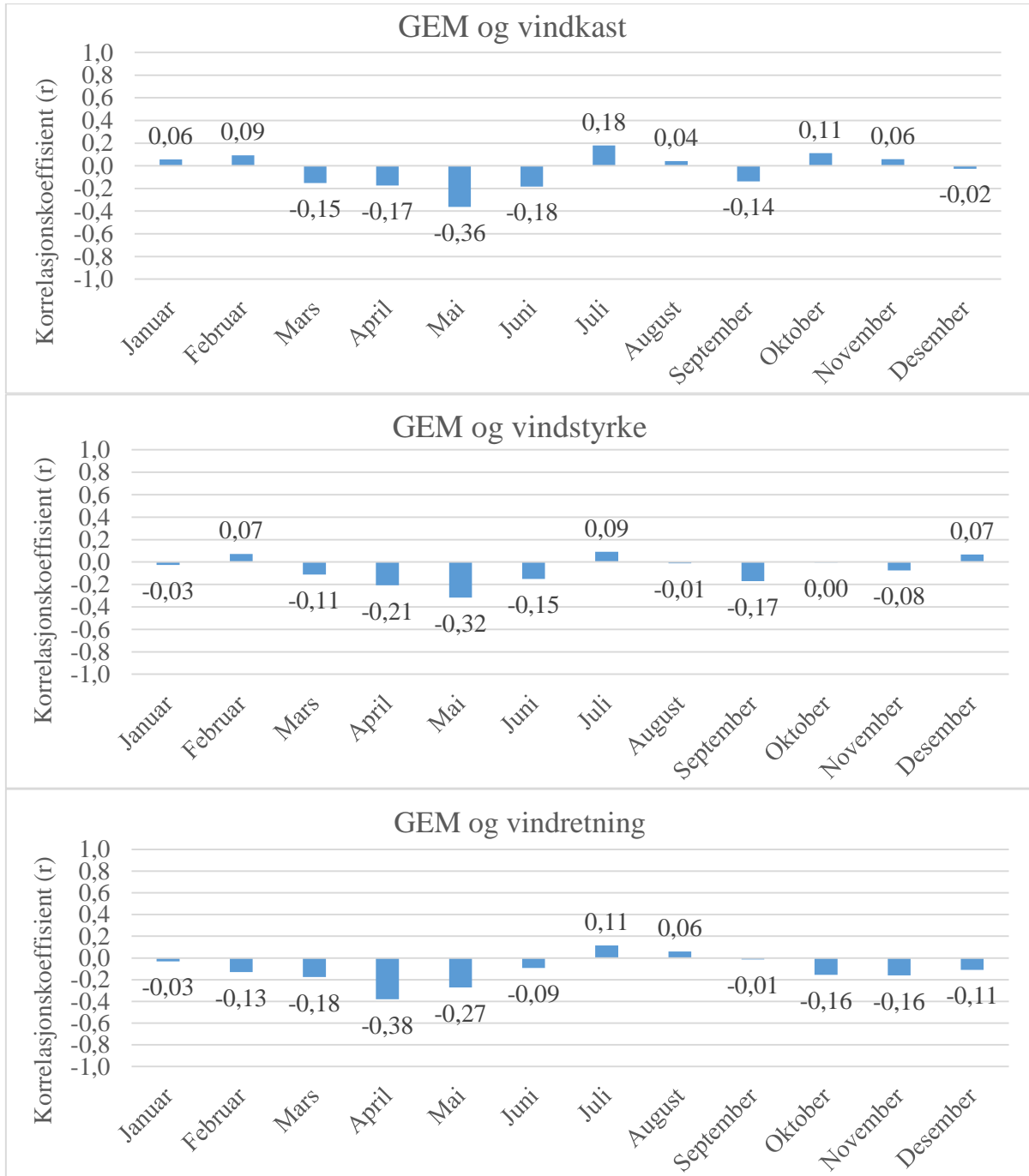
GEM og PHg har kun en antikorrelasjon i januar (-0,43) (Fig. 4.12). I januar er [GEM] på et middelnivå i forhold til resten av året, og [PHg] lav i forhold til månedene før og etter (Tab. 3, Fig. 4.5). En årsak til dette kan skyldes langtransporterte luftmasser. Luftmasser inneholder aerosoler, og GEM kan bindes til disse slik at PHg dannes (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016).

## 4.5.2 Meteorologiske forhold

Det ble utført en korrelasjonsanalyse på de meteorologiske dataene mot de ulike kvikksølvspeciene, samt Hg(f), for hver måned i perioden 2007-2012.

## GEM

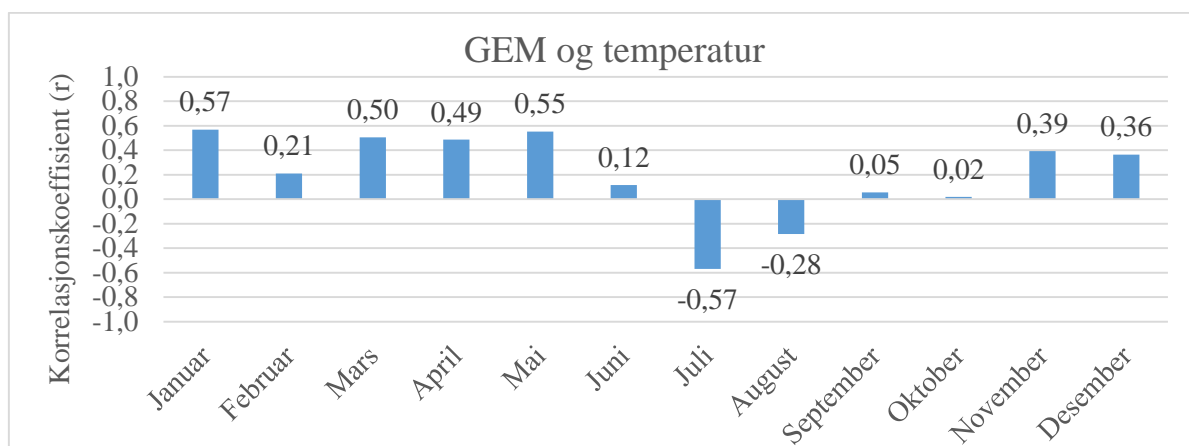
I figurene 4.13-16 finnes en oversikt over korrelasjonsanalysen for GEM mot de ulike meteorologiske dataene.



Figur 4.13: Korrelasjonsdiagrammer for korrelasjoner mellom GEM og vindkast, vindstyrke og vindretning, Ny-Ålesund 2007-2012.

GEM har ingen signifikante korrelasjoner med vindrelaterte data som vindkast, vindstyrke og vindretning (Fig. 4.13). Det kan likevel være interessant å se på når høye og lave verdier av [GEM] opptrer. Ved [GEM] mindre enn  $0,5 \text{ ng m}^{-3}$  er medianen på vindstyrke lik  $4,3 \text{ m/s}$ , og mellom  $0,1$  og  $11 \text{ m/s}$ . Ved noe høyere verdier der [GEM] har verdier i området  $0,5$ - $1,0 \text{ ng m}^{-3}$  er vindstyrke  $3,3 \text{ m/s}$ , i området  $0$  til  $17,5 \text{ m/s}$ . Ved de høyeste verdier av [GEM] ( $>2 \text{ ng m}^{-3}$ ) er medianverdien for vindstyrke  $2,0 \text{ m/s}$ , i området  $0$  til  $12,0 \text{ m/s}$ . Det er tidligere observert ved Ny-Ålesund at under fortynningsepisoder korrelerer de laveste GEM-verdiene med vindstyrker mellom  $4$  og  $11 \text{ m/s}$  (Berg, et al., 2013). Ved Alert og Amderma er det ikke vist korrelasjon mellom GEM og lokal vindstyrke under fortynningsepisoder (Cole & Steffen, 2010). I samme studie ble det observert at de høyeste GEM-konsentrasjonene, som opptrer på sommeren, også hadde de laveste vindstyrkene. Det ble foreslått at overflaten er en kilde til GEM disse månedene, slik at lave mikseforhold holder den høye GEM-konsentrasjonen.

Vindretning ved [GEM] mindre enn  $0,5 \text{ ng m}^{-3}$  er en nordvest/nordnordvestlig vind ( $327^\circ$ ). Luftmassene kommer da i fra det canadiske Arktis eller Nordishavet. For [GEM] i området  $0,5$ - $1,0 \text{ ng m}^{-3}$  er vinden noe mer vestsørvest/vestlig ( $252^\circ$ ). Da kommer vinden fra Grønlandsområdene. For [GEM] større enn  $2 \text{ ng m}^{-3}$  kom vinden i stor grad i fra sør, med medianverdi  $177^\circ$ . At de laveste og høyeste verdiene ble målt ved disse vindretningene var også tilfellet i perioden 2000-2009 i Ny-Ålesund, sett bort i fra at det kun ble rapportert i fra månedene mars-juni i den studien (Berg, et al., 2013). For høye verdier av GEM under fortynningsepisoder har Cole og Steffen (2010), foreslått ut fra andres studier (Andersson, et al., 2008; Constant, et al., 2007; Douglas, et al., 2005), at hav og/eller is/snødekke kan være kilder til GEM dersom Hg fra hav/is/snø reduseres til GEM i smeltesesongen.



Figur 4.14: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom GEM og temperatur, Ny-Ålesund 2007-2012.

Det finnes positive korrelasjoner mellom GEM og temperatur i januar (0,57), mars (0,50), april (0,49) og mai (0,55) (Fig. 4.14). En positiv korrelasjon vil si at ved høyere temperaturer er det høyere konsentrasjoner GEM, og ved lavere temperaturer er det lavere konsentrasjoner av GEM. De laveste GEM-verdiene ( $< 0,5 \text{ ng m}^{-3}$ ) opptrådte når mediantemperaturen var  $-16,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , med temperaturer mellom  $-24,5$  og  $-4,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Når [GEM] var i området  $0,5\text{-}1,0 \text{ ng m}^{-3}$  var temperaturen  $-13,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , og mellom  $-24,9$  og  $-1,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ved [GEM] mellom  $1,0$  og  $1,1 \text{ ng m}^{-3}$  var medianen  $-10,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , med temperaturer mellom  $-24,4$  og  $8,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

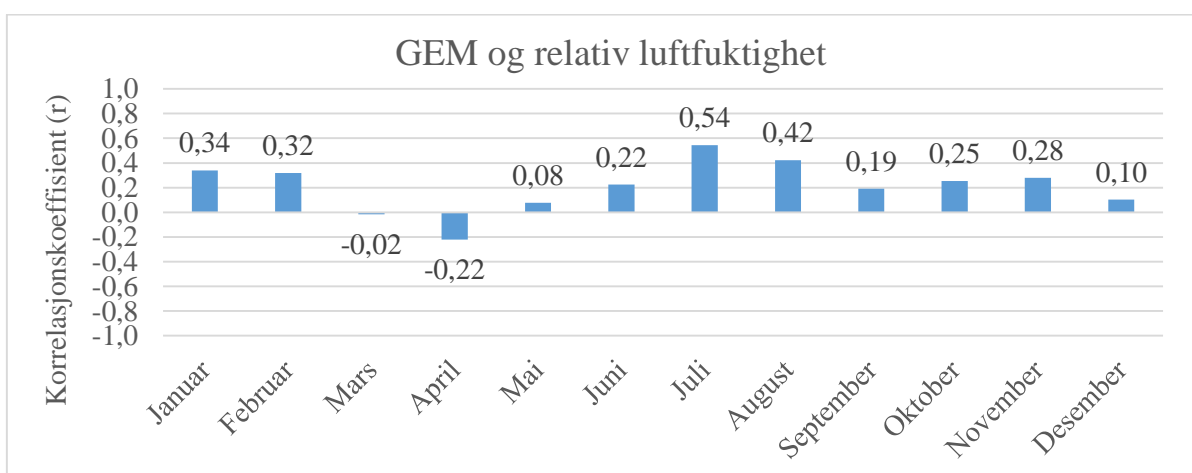
At [GEM] øker med økende temperatur om våren skyldes reemisjon av GEM fra hav og snø, og er også blitt rapportert i tidligere studier, både fra Arktis (Berg, et al., 2013; Cole & Steffen, 2010; Steffen, et al., 2005) og Antarktis (Brooks, et al., 2003).

Ved målinger av [GEM]  $< 1,0 \text{ ng m}^{-3}$  oversteg ikke temperaturen  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Det gjorde den ved målinger der [GEM]  $> 1,0 \text{ ng m}^{-3}$ . Dette er med å støtte teorien om at fortynningsepisoder ([GEM]  $< 1,0 \text{ ng m}^{-3}$ ) skjer ved lave temperaturer og opphører når temperaturen overskrider  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Lu J. Y., et al., 2001; Steffen, et al., 2005). Temperaturavhengigheten til fortynningsepisoder kommer sannsynligvis av temperatureffekter i dannelsen av briner, kjemien til brom, og reaktiviteten til bromradikaler med GEM (Steffen, et al., 2008). De laveste konsentrasjonene av GEM fant sted når vinden hadde en nord/nordvestlig retning fra Nordishavet, og det er tidligere foreslått at fortynnet GEM kommer med luftmasser fra dette området da temperaturer der er lave nok til å kunne initiere fortynningskjemien (Steen, et al., 2011; Gauchard, et al., 2005).

Det er som nevnt en positiv korrelasjon også i januar. Det ble utført en korrelasjonsanalyse for  $[GEM] < 1,0 \text{ ng m}^{-3}$ ,  $[GEM]$  mellom  $1,0$  og  $1,6 \text{ ng m}^{-3}$  og  $[GEM] > 1,6 \text{ ng m}^{-3}$ , med temperatur for denne måneden, men da ble det ikke funnet noen signifikante korrelasjoner. I en tidligere studie fra Ny-Ålesund med januardata fra 2008 korrelerte de laveste GEM-verdiene ( $< 1,6 \text{ ng m}^{-3}$ ) med temperatur (Steen, et al., 2011). I samme tilfelle i denne studien er korrelasjonskoeffisienten lik  $0,39$ , som er en svak korrelasjon. Mediantemperatur når  $[GEM] < 1,0 \text{ ng m}^{-3}$  er lik  $-23,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ved  $[GEM]$  mellom  $1,0$  og  $1,6 \text{ ng m}^{-3}$  er den  $-16,0 \text{ }^\circ\text{C}$ , og for  $[GEM] > 1,6 \text{ ng m}^{-3}$  er den  $-6,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . De laveste konsentrasjonene opptrådte med andre ord ved de laveste temperaturene, og de høyeste konsentrasjonene ved de høyeste temperaturene. Selv om det er tidlig på året kan også dette muligens knyttes til reemisjon av GEM fra hav og snø, og omvendt (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016).

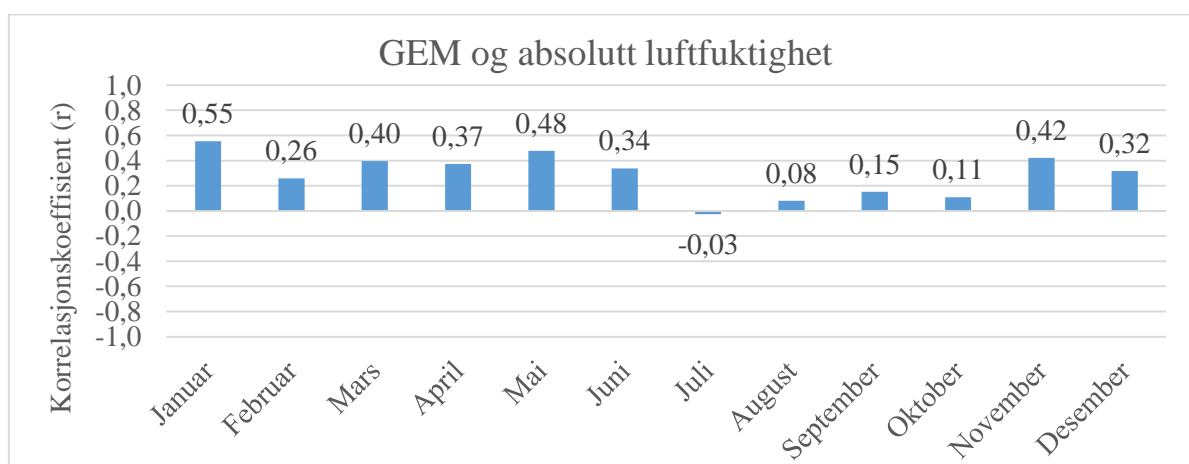
I juli finnes en antikorrelasjon mellom GEM og temperatur ( $-0,57$ ) (Fig. 4.14). For  $[GEM] < 1,6 \text{ ng m}^{-3}$  er det en antikorrelasjon ( $-0,49$ ), mens det finnes ingen signifikant korrelasjon mellom  $[GEM] > 1,6 \text{ ng m}^{-3}$  og temperatur ( $-0,34$ ). Det er vanskelig å si hvorfor det finnes en antikorrelasjon mellom lave verdier av GEM og temperatur i juli.

I denne studien er ikke enkeltepisoder av reemisjonsepisoder blitt studert, men tidligere studier viser at episodene inntreffer ved rundt  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  (Cole & Steffen, 2010). En tidligere masteroppgave ingen signifikante korrelasjoner mellom GEM og temperatur under reemisjonsepisoder i Ny-Ålesund for perioden 2007-2011 (Wang, 2012).



Figur 4.15: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom GEM og relativ luftfuktighet, Ny-Ålesund 2007-2012.

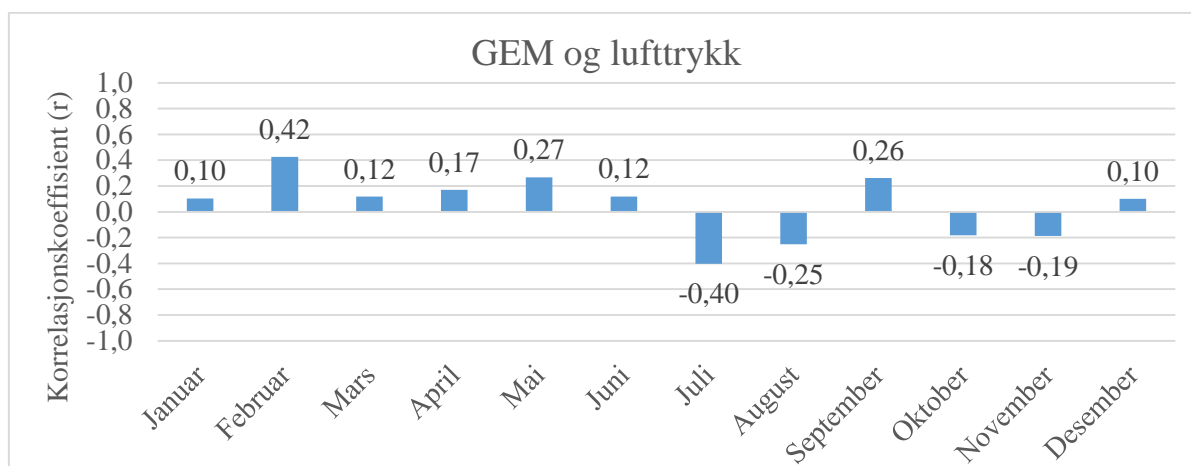
I juli og august har GEM en positiv korrelasjon med relativ luftfuktighet, med korrelasjoner henholdsvis 0,54 og 0,42 (Fig. 4.15). Dette er måneder der både [GEM] og relativ luftfuktighet er høyere enn ellers i året, men med store variasjoner (Fig. 4.5, Fig. 4.7). Det er tidligere observert at lave GEM-konsentrasjoner ( $< 1,6 \text{ ng m}^{-3}$ ) korrelerer med relativ luftfuktighet i juli og august i Ny-Ålesund (Steen, et al., 2011). Dette er også tilfelle i denne studien. Lave konsentrasjoner i juli og august korrelerer med korrelasjonskoeffisienter lik 0,54, mens konsentrasjoner over  $1,6 \text{ ng m}^{-3}$  ikke korrelerer. Juli og august er varmere måneder med mer lys i Ny-Ålesund. Det er foreslått at med varmere lufttemperatur, mer lys og lavere luftfuktighet, vil dannelsen av atmosfæriske oksidanter av GEM kunne skje, som fører til dannelse av RGM om sommeren (Peterson & Gustin, 2009).



Figur 4.16: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom GEM og absolutt luftfuktighet, Ny-Ålesund 2007-2012.

Absolutt luftfuktighet er temperaturavhengig, og korrelerer med GEM i januar (0,55), mars (0,40), mai (0,50) og november (0,42) (Fig. 4.16). Dette er måneder også GEM og temperatur korrelerte, om man også regner med GEM og temperatur i november (0,39) (Figur 4.14). Temperatur korrelerte med GEM også i april (0,49), da GEM og absolutt luftfuktighet har en svak korrelasjon (0,38). I motsetning til temperatur og GEM som hadde en antikorrelasjon i juli (-0,57), finnes det ingen korrelasjon mellom absolutt luftfuktighet og GEM denne måneden.





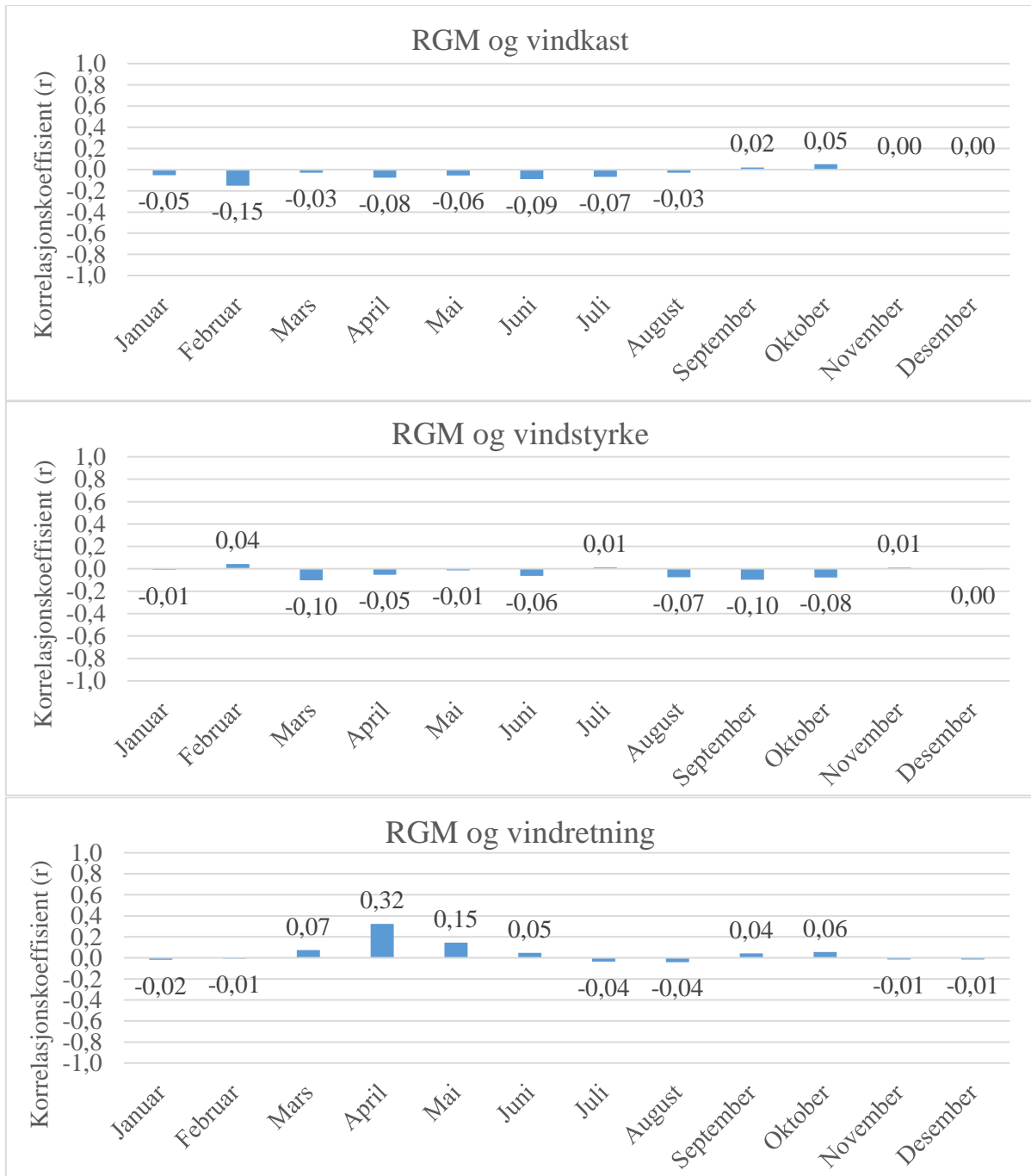
Figur 4.17: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom GEM og lufttrykk, Ny-Ålesund 2007-2012.

GEM og lufttrykk har en positiv korrelasjon i februar (0,42) og en antikorrelasjon i juli (-0,40) (Fig 4.17). Februar er en måned med større variasjoner i lufttrykk, og [GEM] varierer relativt lite. I juli er både [GEM] og lufttrykk på noe av det høyeste i løpet av året (Fig 4.5, Fig 4.8).

Høytrykk er vanligvis assosiert med klart solskinnsvær, mens lavtrykk assosieres med skyer, nedbør og mer vind (Ahrens, 2000). Februar er en måned med stor variasjon knyttet til lufttrykk (Fig. 4.8). Selv om det er tidlig på året kan reemisjon av GEM ved høyere trykk være årsak i korrelasjonen (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016). Lufttrykket er noe høyere i juli enn i februar (Fig.4.9), men det finnes likevel uværsperioder om sommeren i Ny-Ålesund. Da kan lavtrykksluftmasser komme fra områder med høy konsentrasjon av GEM (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016; Andersson, et al., 2008).

## RGM

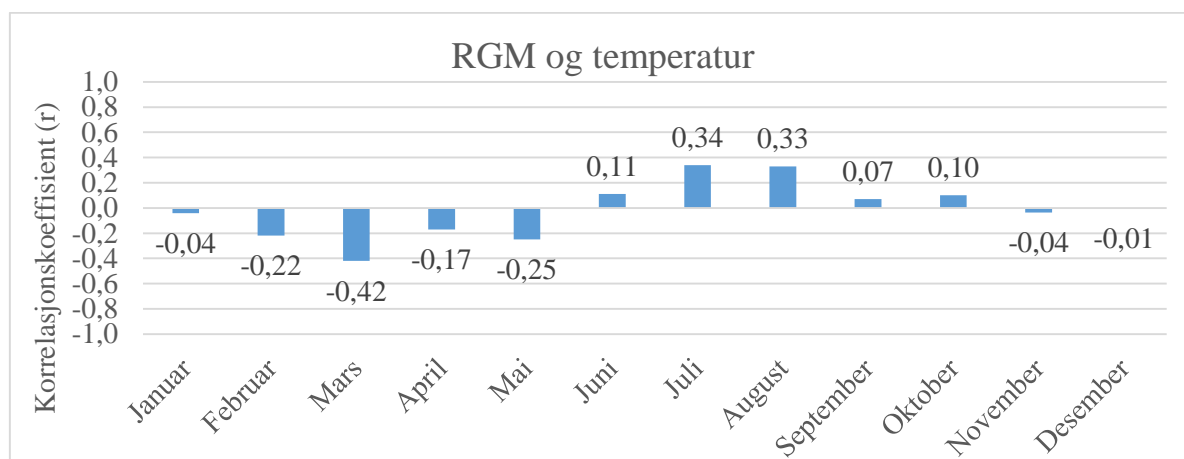
I figurene 4.18-22 finnes en oversikt over korrelasjonsanalysen for RGM mot de ulike meteorologiske dataene.



Figur 4.18: Korrelasjonsdiagrammer for korrelasjoner mellom RGM og vindkast, vindstyrke og vindretning, Ny-Ålesund 2007-2012.

RGM viser ingen signifikante korrelasjoner med vindrelaterte data som vindkast, vindstyrke og vindretning (Fig. 4.18). Tidligere studier viser at fortytningsepisoder der GEM oksideres til RGM, helst skjer ved lave vindstyrker (Lu J. Y., et al., 2001). I april, da [RGM] er høyest i løpet av året ( $9,58 \text{ pg m}^{-3}$ ) (Tab. 3, Fig. 4.5), ble en lineærregresjon utført for RGM og vindstyrke (ikke vist). Det viste at for  $[\text{RGM}] > 62,0 \text{ pg m}^{-3}$  er vindstyrken mellom 1,6 og 6 m/s. Men medianvind i april er 2,8 m/s, så det kan også være tilfeldig at de høye verdiene ble målt da.

Vindretning i april ble også nærmere studert. For  $[\text{RGM}] > 30 \text{ pg m}^{-3}$  er medianverdien på vindretning  $317,5^\circ$ , en nordvestlig vind. Ved  $[\text{RGM}] > 50 \text{ pg m}^{-3}$  er vindretning enda mer nordlig ( $330^\circ$ ). For  $[\text{RGM}] < 30 \text{ pg m}^{-3}$  er vinden på  $178^\circ$ , en sørlig vind. Dette samsvarer med funnene som ble gjort for GEM og vindretning i april, da GEM og RGM også antikorrelerer denne måneden.

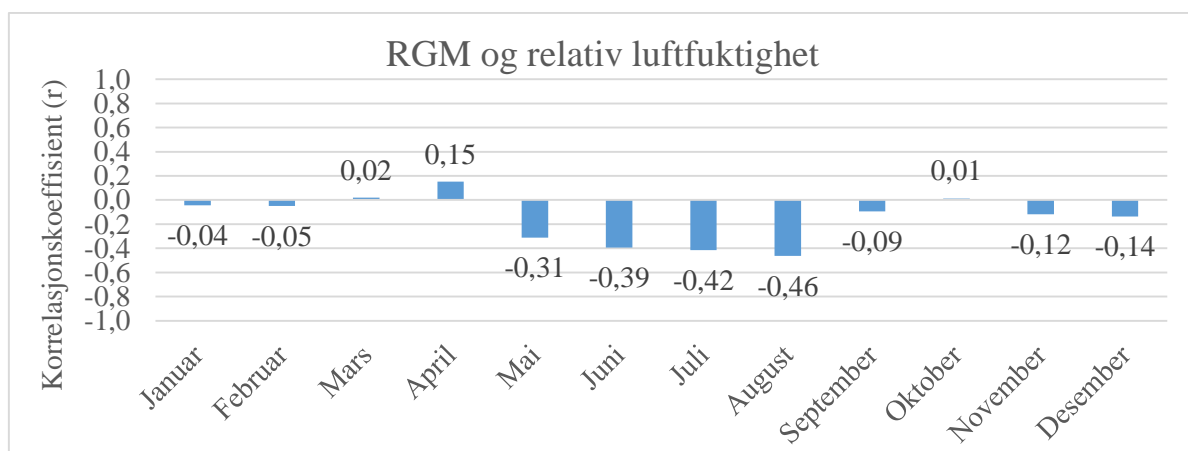


Figur 4.19: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom RGM og temperatur, Ny-Ålesund 2007-2012.

RGM viser en antikorrelasjon med temperatur i mars (-0,42) (Fig. 4.19). Dette er samtidig som GEM har en positiv korrelasjon med temperatur. Selv om GEM og RGM ikke har en signifikant korrelasjon denne måneden, er det likevel tenkelig at antikorrelasjonen mellom RGM og temperatur henger sammen med oksidasjon av GEM til RGM. Det er ingen korrelasjon mellom  $[\text{RGM}] > 30 \text{ pg m}^{-3}$  og temperatur, men det er en antikorrelasjon for konsentrasjoner mindre enn  $30 \text{ pg m}^{-3}$  (-0,53). De høye konsentrasjonene av RGM i mars

forekom mellom  $-22,9$  og  $0$  °C. Fra Alert er det rapportert at økte konsentrasjoner RGM forekom blant annet når temperaturen oversteg  $-10$  °C (Cobett, et al., 2007).

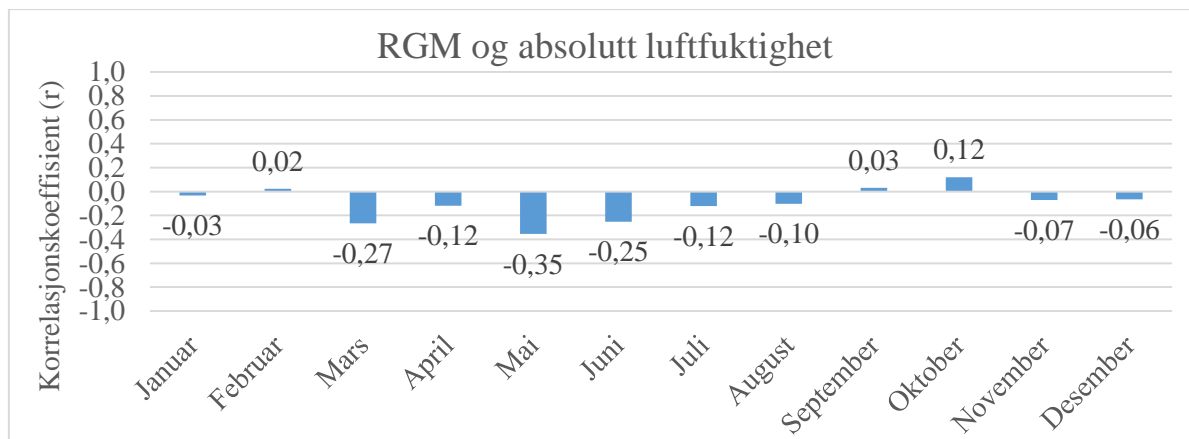
Om sommeren, i juli, finnes det høye verdier [RGM] (Fig 4.5). Verdier over  $30$   $\text{pg m}^{-3}$  forekom for det meste mellom  $4$  og  $8$  °C, men viste ingen korrelasjon med temperatur. Mediantemperatur i juli er  $2,9$  °C (Tab. 5), så høy [RGM] forekom ved noe høyere temperaturer. Steen et. al. (2011) fant heller ingen korrelasjoner mellom RGM og temperatur om sommeren. Ved grundigere studier av reemisjonsepisoder om sommeren, er det likevel observert korrelasjoner mellom RGM og temperatur (Moen, 2012).



Figur 4.20: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom RGM og relativ luftfuktighet, Ny-Ålesund 2007-2012.

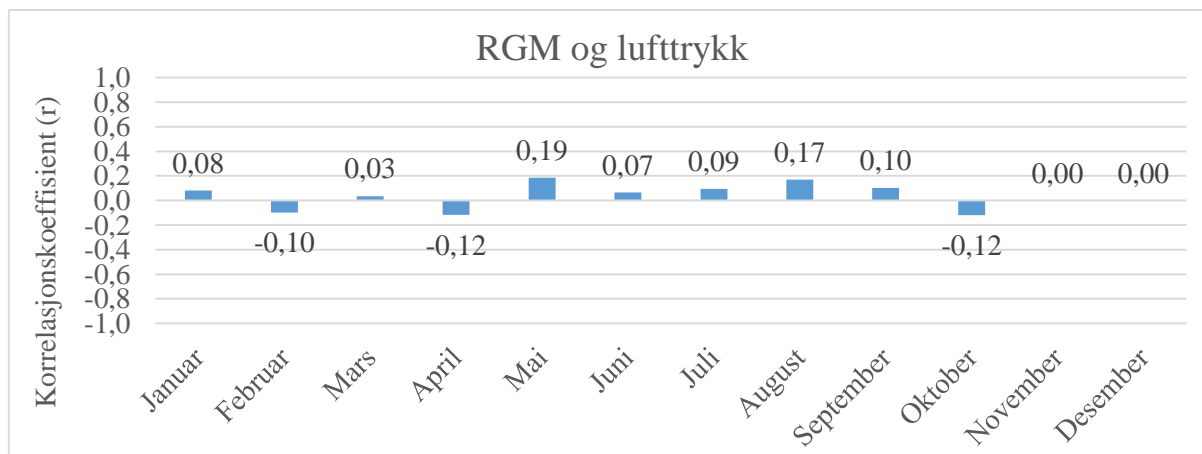
Relativ luftfuktighet og RGM har en antikorrelasjon i månedene juli ( $-0,42$ ) og august ( $-0,52$ ). Dette er måneder der relativ luftfuktighet er på sitt høyeste i løpet av året, men med store variasjoner (Tab. 5, Fig. 4.9). I juli og august har GEM en positiv korrelasjon med relativ luftfuktighet (Fig 4.15). Det er tidligere blitt rapportert om antikorrelasjoner mellom RGM og relativ luftfuktighet (Poissant, et al., 2005; Mason & Sheu, 2005). Fra studier i Ny-Ålesund i perioden 2007-2008 var det ingen signifikante korrelasjoner mellom RGM og relativ luftfuktighet (Steen, et al., 2011). Likevel, under episodestudier av reemisjonsepisoder på sommeren i Ny-Ålesund er det funnet sterke antikorrelasjoner mellom RGM og relativ luftfuktighet. Da var den relative luftfuktigheten lav når [RGM] var høy (Moen, 2012). Det ble foreslått at dette hendte fordi det ved lavere fuktighet er mindre RGM som vil bli adsorbent på aerosoler (Pirrone, et al., 1996). Det samme kan sies om lavere [RGM] ved høyere luftfuktighet, da mer RGM kan bindes til aerosoler. I denne studien var medianen til

relativ luftfuktighet 63,9 % ved  $[RGM] > 30,0 \text{ pg m}^{-3}$ , og 90,8 % ved  $[RGM] < 9,0 \text{ pg m}^{-3}$  under sommermånedene juni, juli og august.



Figur 4.21: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom RGM og absolutt luftfuktighet, Ny-Ålesund 2007-2012.

Absolutt luftfuktighet viste ingen korrelasjoner med RGM når hele måneder ble studert (Fig. 4.21).

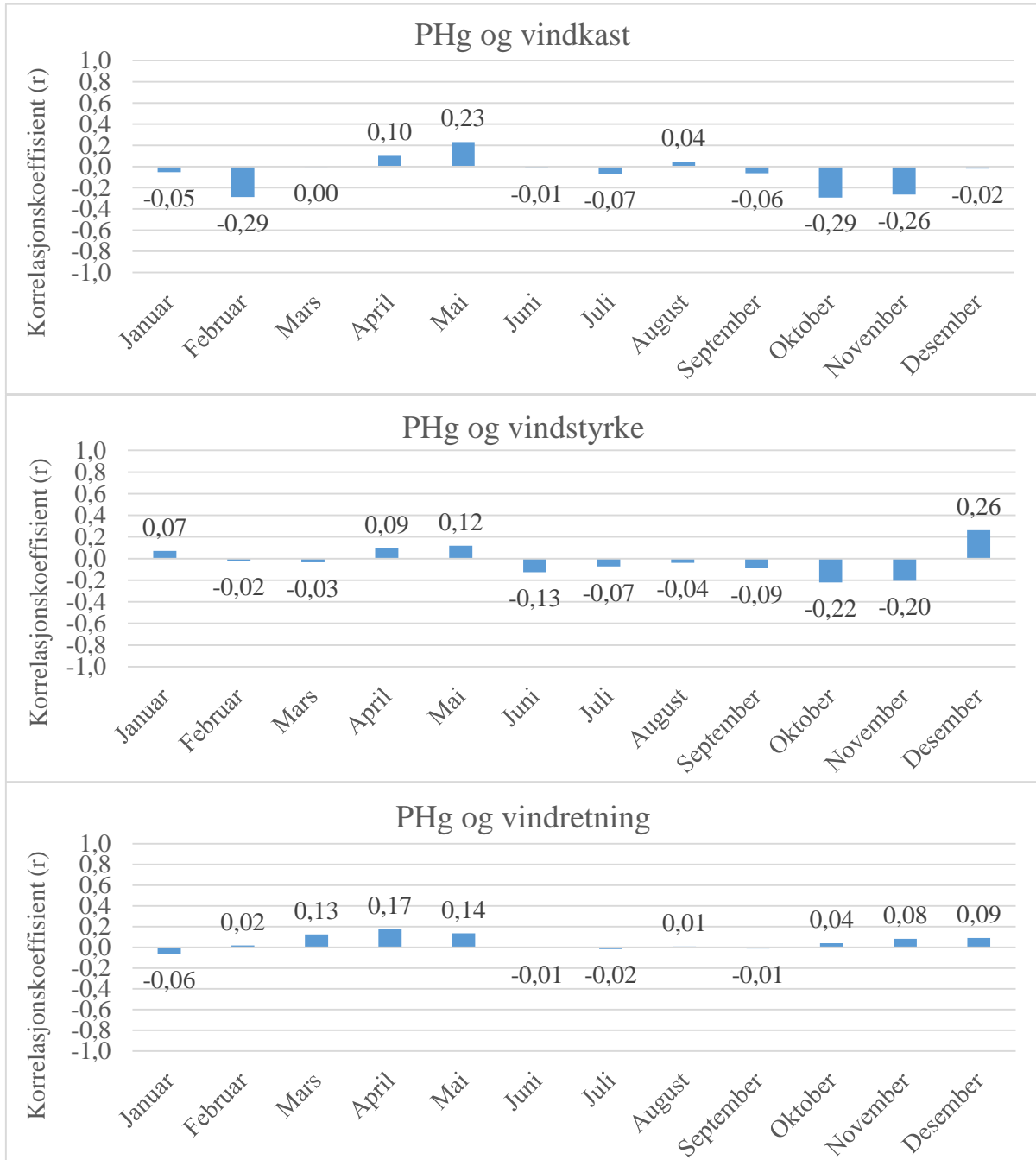


Figur 4.22: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom RGM og relativ luftfuktighet, Ny-Ålesund 2007-2012.

RGM og lufttrykk hadde ingen korrelasjoner når hele måneder ble studert (Fig. 4.22).

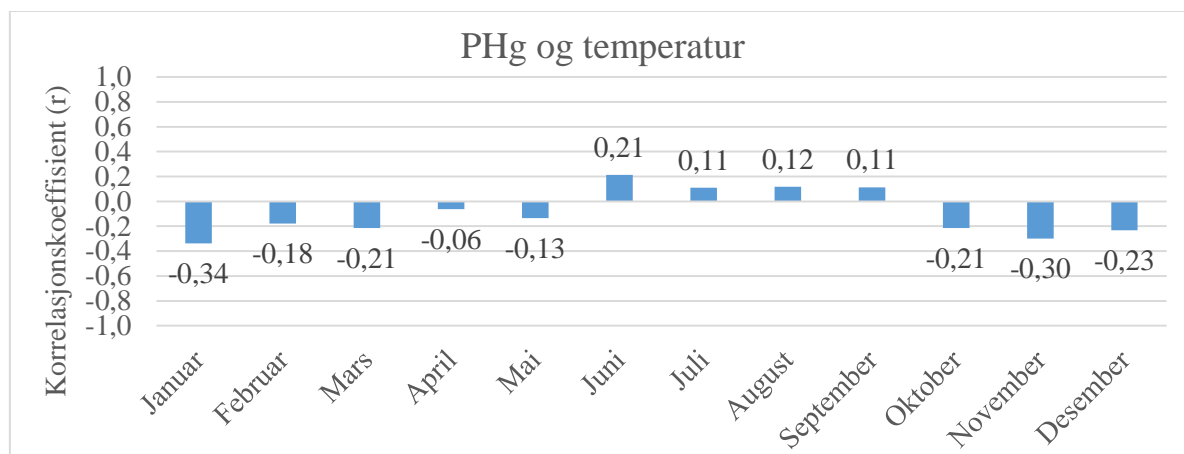
## PHg

I figurene 4.23-27 finnes en oversikt over korrelasjonsanalysen for PHg mot de ulike meteorologiske dataene.



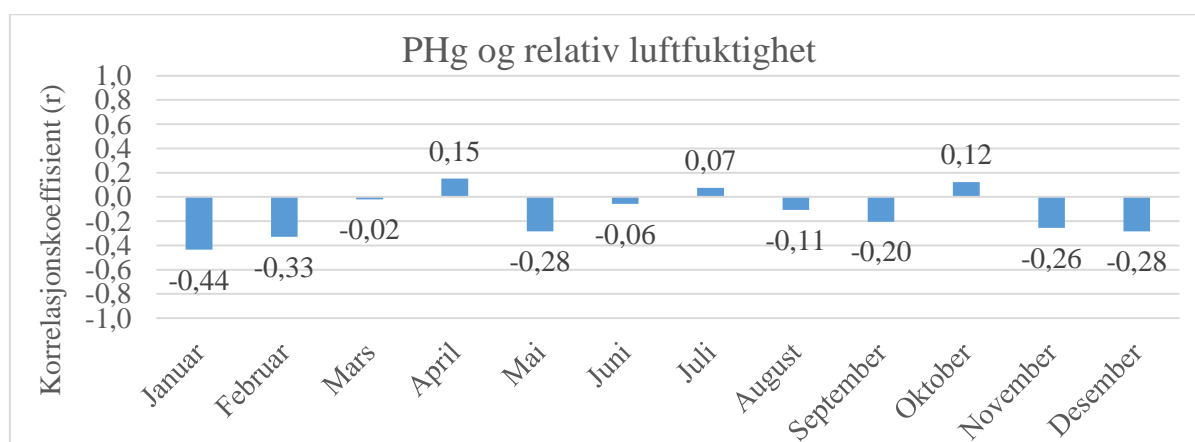
Figur 4.23: Korrelasjonsdiagrammer for korrelasjoner mellom PHg og vindkast, vindstyrke og vindretning, Ny-Ålesund 2007-2012.

PHg viser ingen signifikante korrelasjoner med vindrelaterte data som vindkast, vindstyrke og vindretning (Fig. 4.23). PHg er, som beskrevet tidligere, høyest på vinteren og deler av våren (november- april), og lavest på sommer og deler av høst (mai-oktober) (Fig. 4.5). En studie gjort mellom februar og juni i 2005 ved Alert viste at [PHg], blant andre faktorer, økte ved lav vindstyrke ( $< 3$  m/s) under fortykningsepisoder (Cobett, et al., 2007).



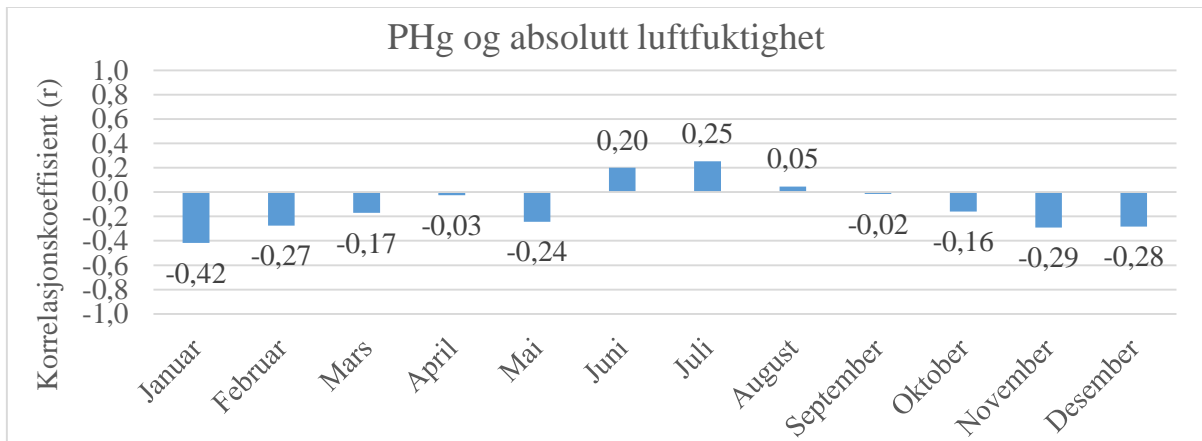
Figur 4.24: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom PHg og temperatur, Ny-Ålesund 2007-2012.

PHg og temperatur viser ingen signifikante korrelasjoner (Fig. 4.24). Senere i avsnittet finnes korrelasjonsdiagram for hvordan forholdet mellom PHg og RGM, Hg(f) varierer med temperatur.



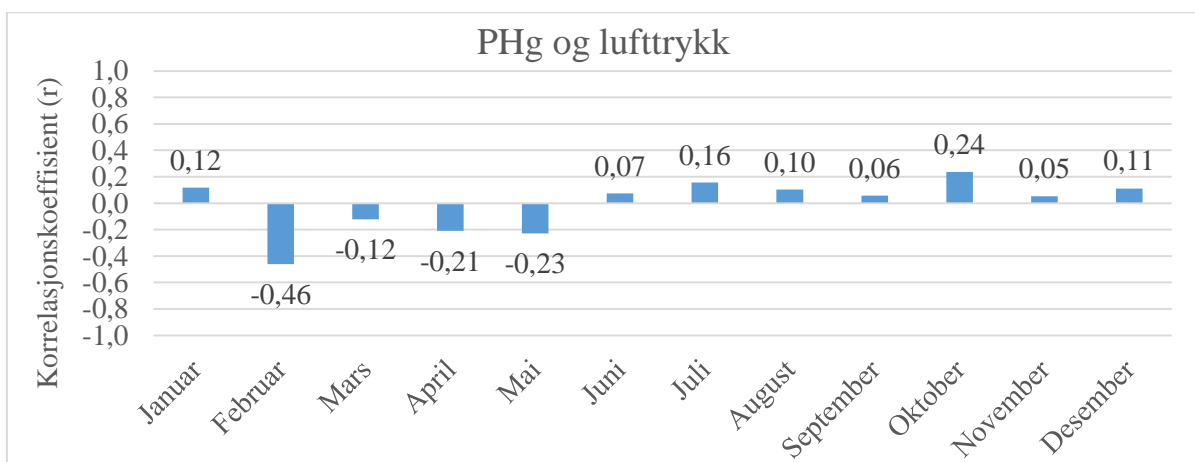
Figur 4.25: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom PHg og relativ luftfuktighet, Ny-Ålesund 2007-2012.

Relativ luftfuktighet og PHg har en antikorrelasjon i januar (-0,44) (Fig. 4.25). Den relative luftfuktigheten i januar ligger på et middelnivå i forhold til resten av året (85 %) (Tab. 5). Medianen til relativ luftfuktighet, i januar, for [PHg] > 50  $\mu\text{g m}^{-3}$  er 70,6 %, og for [PHg] < 9,0  $\mu\text{g m}^{-3}$  er den 89,4 %. Grunnen til en antikorrelasjon kan være en høyere avsetningsrate for PHg ved høyre luftfuktighet (Xiao, et al., 1991).



Figur 4.26: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom PHg og absolutt luftfuktighet, Ny-Ålesund 2007-2012.

Absolutt luftfuktighet og PHg viser også en antikorrelasjon i januar (-0,42) (Fig. 4.26), og knyttes også til en høyere avsetningsrate ved høyere luftfuktighet.



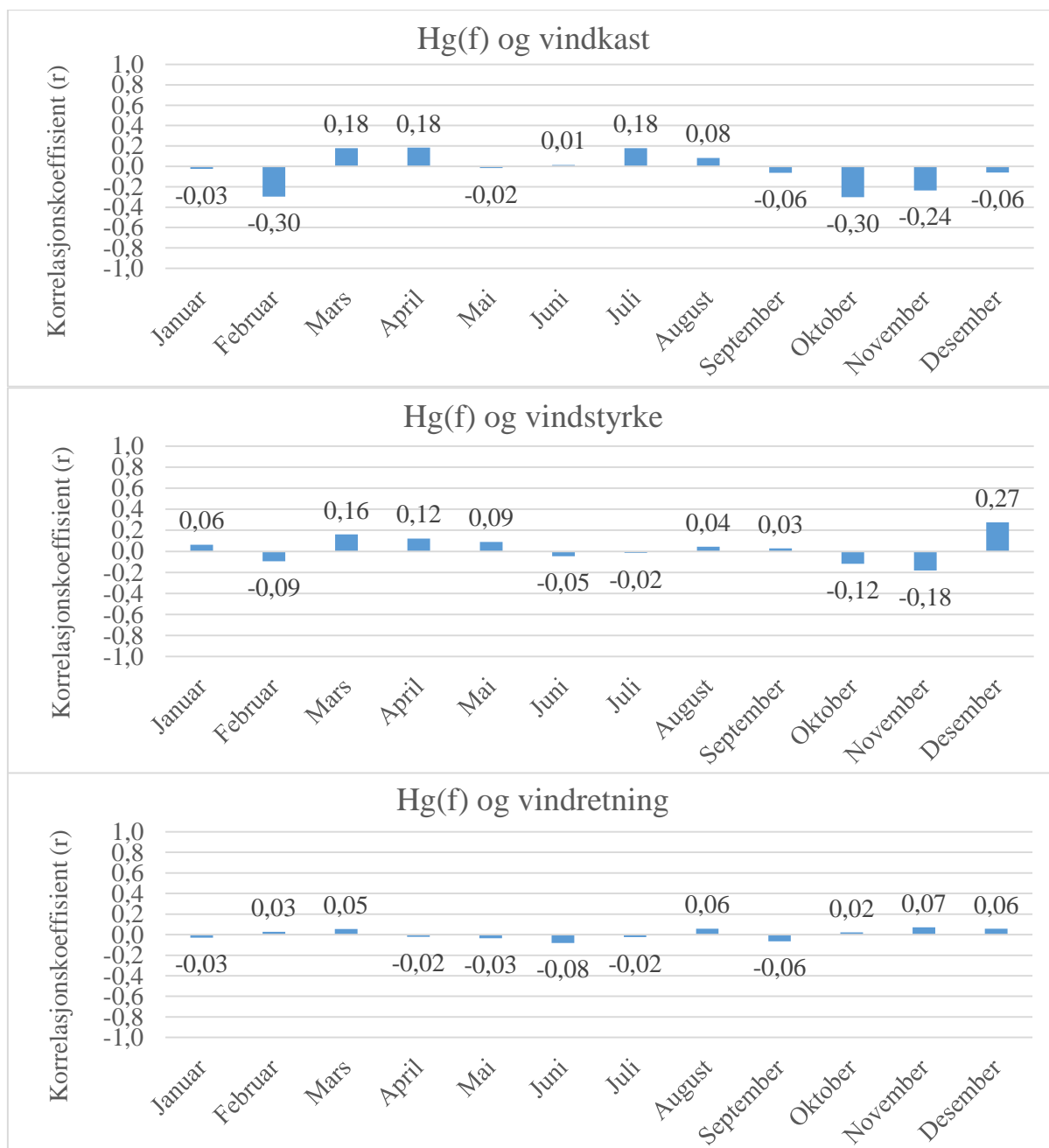
Figur 4.27: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom PHg og lufttrykk, Ny-Ålesund 2007-2012.



Luftrykk og PHg viser en antikorrelasjon i februar (-0,46) (Fig. 4.27). Dette er en måned GEM har en positiv korrelasjon med luftrykk (Fig.17). Februar er en måned med høyere konsentrasjon PHg enn ellers i året, men også en måned med store variasjoner i konsentrasjon (Tab. 3, Fig. 4.5). Antikorrelasjonen kan komme av lavtrykksluftmasser som kommer og inneholder aerosoler slik at PHg dannes (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016).

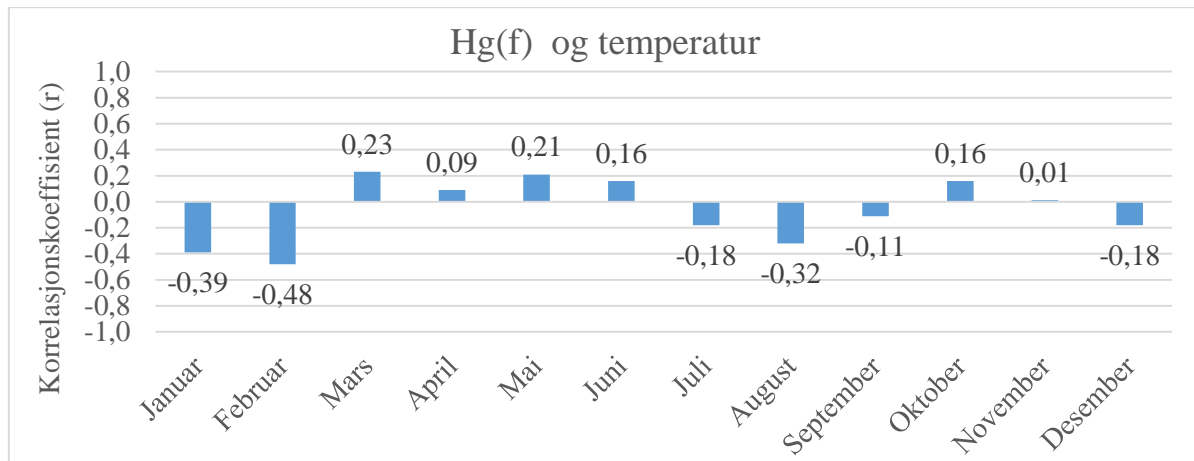
## Hg(f)

I figurene 4.28-32 finnes en oversikt over korrelasjonsanalysen for Hg(f) mot de ulike meteorologiske dataene.



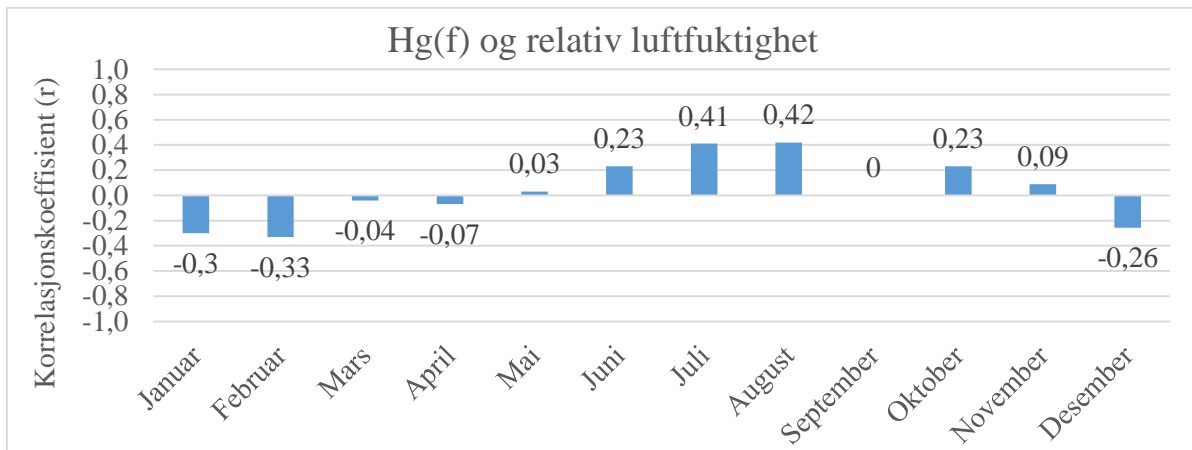
Figur 4.28: Korrelasjonsdiagrammer for korrelasjoner mellom Hg(f) og vindkast, vindstyrke og vindretning, Ny-Ålesund 2007-2012.

Hg(f) viser ingen korrelasjoner med vindrelaterte data (Fig 4.28). Dette tyder på at vind har lite til ingen innvirkning på forholdet mellom PHg og RGM hele måneder sett under ett.



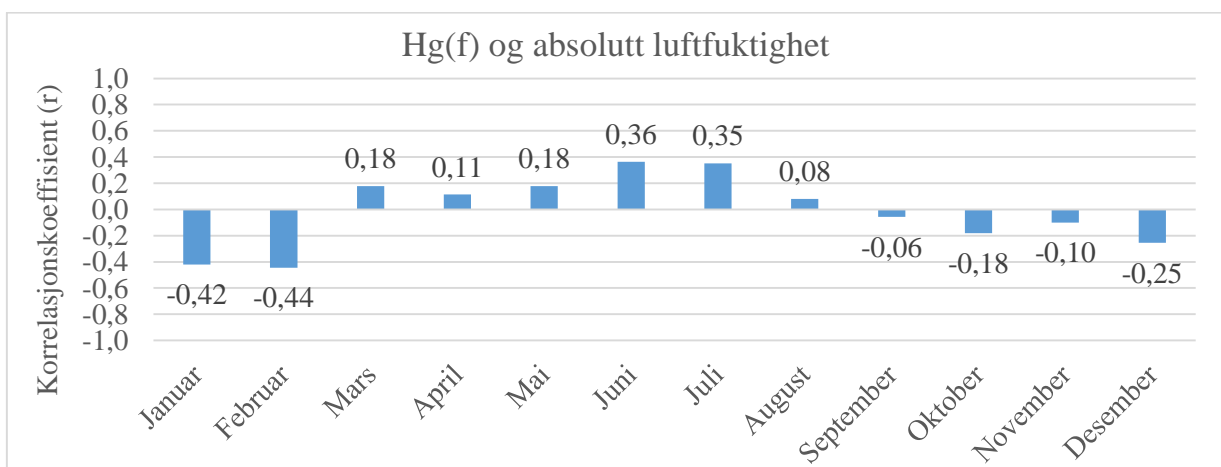
Figur 4.29: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom Hg(f) og temperatur, Ny-Ålesund 2007-2012.

I februar finnes det en antikorrelasjon mellom Hg(f) og temperatur (-0,48) (Fig 4.29). Dette viser at kaldere temperaturer har en større dominans av PHg, og omvendt ved høyere temperaturer. Dette er en måned med høy Hg(f) (0,95) (Tab. 4, Fig. 4.6), og med noen av de laveste mediantemperaturene i året (-11,4 °C) (Tab. 5, Fig. 4.9). I februar var mediantemperatur for Hg(f) < 0,5 lik -5,7 °C, og for Hg(f) > 0,5 var den -13,7 °C. Median til Hg(f) er ikke under 0,5 i løpet av året, men i mai blir Hg(f) lik 0,5. Da var mediantemperaturen -5,0 °C. Tidligere studier ved Alert har også funnet at høyere Hg(f) assosieres med lavere temperaturer, men da var det månedene mars til juni som ble undersøkt (Steffen, et al., 2014). Modellerende studier har også foreslått at ved kaldere lufttemperaturer vil PHg være den dominerende specien foran RGM (Amos, et al., 2012). Steffen et al. (2014) foreslo at lavere temperaturer resulterer i dannelsen av PHg fra RGM om våren, heller enn at partikler som ankommer Alert på denne tiden inneholder store mengder kvikksølv fra kilderegionen sin. Om dette også kan være gjeldende for Ny-Ålesund i starten av året er vanskelig å si.



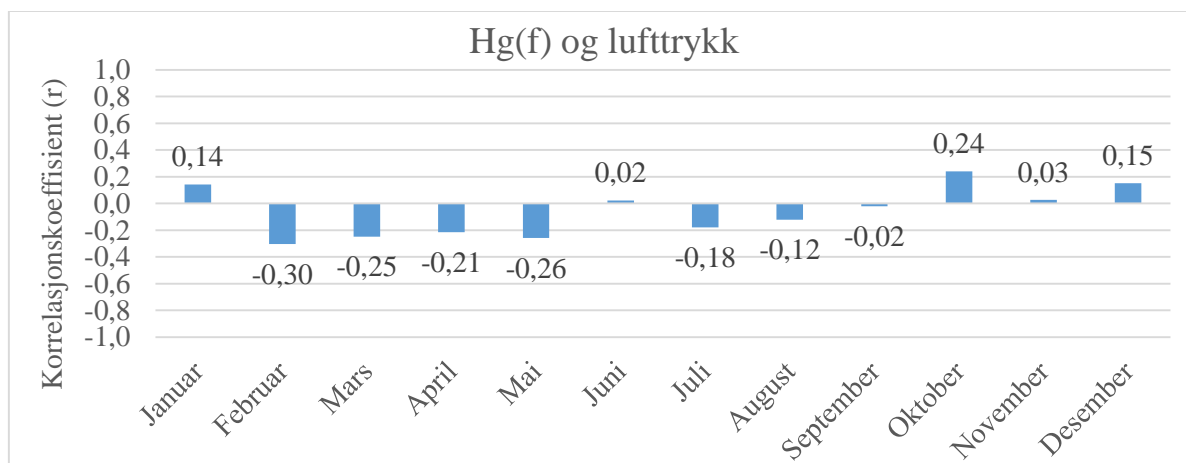
Figur 4.30: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom Hg(f) og relativ luftfuktighet, Ny-Ålesund 2007-2012.

Relativ luftfuktighet og Hg(f) korrelerer i juli (0,41) og august (0,42) (Fig. 4.30). I disse månedene er det hverken en tydelig dominans av RGM eller PHg gjennom hele måneden, da median for Hg(f) er lik 0,5 (Tab. 4). Relativ luftfuktighet er på noe av sitt høyeste i året (89,0-93,6 %) (Tab. 5). I disse månedene øker og synker Hg(f) med den relative luftfuktigheten, som vil si at jo høyere luftfuktighet, jo større andel PHg finnes i forhold til totalt PHg og RGM. I juli var median for luftfuktighet ved Hg(f) < 0,5 lik 65,7 %. Ved Hg(f) > 0,5 var den 90,4 %. I august var de henholdsvis 73,3 % og 97,3 %. [PHg] er relativt lav og stabil på sommeren, mens [RGM] synker i juli og august etter de høye konsentrasjonene tidligere på sommeren (Fig. 4.5).



Figur 4.31: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom Hg(f) og absolutt luftfuktighet, Ny-Ålesund 2007-2012.

Absolutt luftfuktighet og Hg(f) viser antikorrelasjoner i januar (-0,42) og februar (-0,44) (Fig. 4.31). I januar og februar var Hg(f) høy (0,94-0,95), samtidig som absolutt luftfuktighet var lav (1,59-1,84 g m<sup>-3</sup>) (Tab. 4, Tab. 5). Januar og februar er måneder med lav [RGM] og lav absolutt luftfuktighet (Fig. 4.5, Fig. 4.9), og som beskrevet tidligere vil PHg da kunne ha en lavere avsetningsrate (Xiao, et al., 1991).



Figur 4.32: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom Hg(f) og lufttrykk, Ny-Ålesund 2007-2012.

Hg(f) og lufttrykk har ingen korrelasjoner når hele måneder studeres (Fig. 4.32).

### 4.5.3 Aerosoler

I dette avsnittet presenteres korrelasjonsanalysen mellom de ulike kvikksølvspesiene og størrelsesfordelingen til aerosoler. Like måneder de ulike årene er samlet og studert. Det er få korrelasjoner i de ulike månedene. Som nevnt tidligere finnes det sannsynligvis flere data som skulle vært fjernet, men det vises trolig ikke i resultatene (J. Ström, personlig kommunikasjon, mai 2016). Figurene A.1-A5 finnes i vedlegg, og viser korrelasjonsdiagrammer for de spesiene i de månedene det finnes korrelasjoner. De månedene det ble funnet korrelasjoner i er februar (GEM), mars (GEM, RGM) og desember (PHg, Hg(f)). Fra figurene A.2-A.5 kan det enkelt observeres at det finnes et mønster i korrelasjonskoeffisienter mellom de ulike størrelsesklassene. Tegn til korrelasjon oppstår rundt 50 til 80 nm, og dette er nær den størrelsen der "cloud activation" skjer (J. Ström, personlig kommunikasjon, mai 2016). Partikler større enn rundt 60 nm inkorporeres i skydråper, mens partikler mindre enn denne størrelsen fortsetter som aerosoler innimellom skydråpene (J. Ström, personlig kommunikasjon, mai 2016).

I februar korrelerer GEM med størrelsesklassene 31,6 nm og 39,8 nm ("aitken mode") med korrelasjonskoeffisienter henholdsvis 0,45 og 0,43 (Fig. A.1). Partikkelstørrelsene 31,6 nm og 39,8 nm utgjør mindre enn 10 % av totalkonsentrasjon av aerosoler (Fig.4.10), og som tidligere nevnt i avsnitt 2.3 er partikkeltettheten ved Zeppelin generelt lav på denne tiden av året. Årsaken til korrelasjonen kan være at GEM kan komme med luftmasser, samtidig som det i februar er lite lys til å transformere GEM (J. Ström, personlig kommunikasjon, mai 2016).

I mars antikorrelerer GEM med størrelsesklassene 501,2 nm og 631,0 nm ("accumulation mode") med korrelasjonskoeffisienter henholdsvis -0,41 og -0,40 (Fig. A.2). Partikkelstørrelsene 501,2 nm og 631,0 nm utgjør mindre enn 5 % av total aerosolkonsentrasjon i mars (Fig. 4.10). Denne måneden finnes det mer lys enn tidligere i året, og GEM som bindes til store partikler, og dermed konverteres til PHg, kan forklare antikorrelasjonen (J. Ström, personlig kommunikasjon, mai 2016).

RGM korrelerer i mars med størrelsesklassene 398,1 nm, 501,2 nm og 631,0 nm ("accumulation mode"), med korrelasjonskoeffisientene 0,43, 0,49 og 0,45 (Fig. A.3). Det foreslås at større partikler er en "sink" for RGM (J. Ström, personlig kommunikasjon, mai 2016). De store partiklene vil også kunne fjerne RGM atmosfæren dersom de er inkorporert i

hydrometeorer som for eksempel regn eller snø (J. Ström, personlig kommunikasjon, mai 2016).

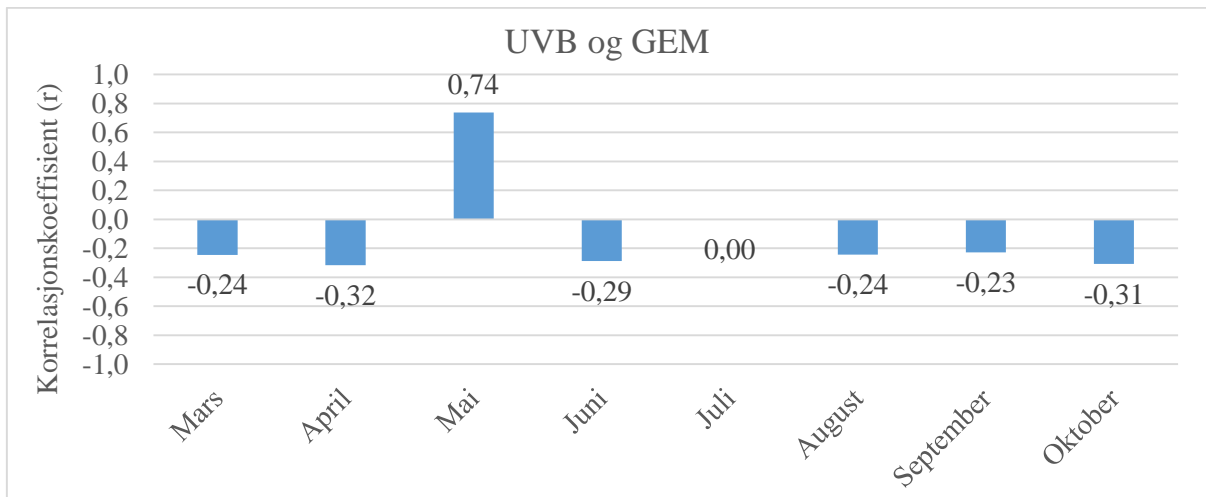
I desember har PHg og Hg(f) positive korrelasjoner med størrelsene 10,0 nm, 12,6 nm og 15,8 nm (''aitken mode'') (Fig. A.4, Fig. A.5). Korrelasjonskoeffisientene for PHg er henholdsvis 0,80, 0,86 og 0,63. For Hg(f) er de 0,70, 0,82 og 0,54. Størrelsesområdet de korrelerer med utgjør under 5 % av total aerosolkonsentrasjon i en periode der total aerosolkonsentrasjon generelt er lav (Ström, et al., 2003; Wang, 2012). Siden små partikler for det meste kommer fra regionale kilder på vinteren, kan de positive korrelasjonene komme av at PHg og de små partiklene har de samme kildene (J. Ström, personlig kommunikasjon, mai 2016).

#### 4.5.4 UVB-stråling

I dette avsnittet blir korrelasjoner mellom de tre ulike kvikksølvspeciene, samt Hg(f), og UVB-stråling undersøkt.

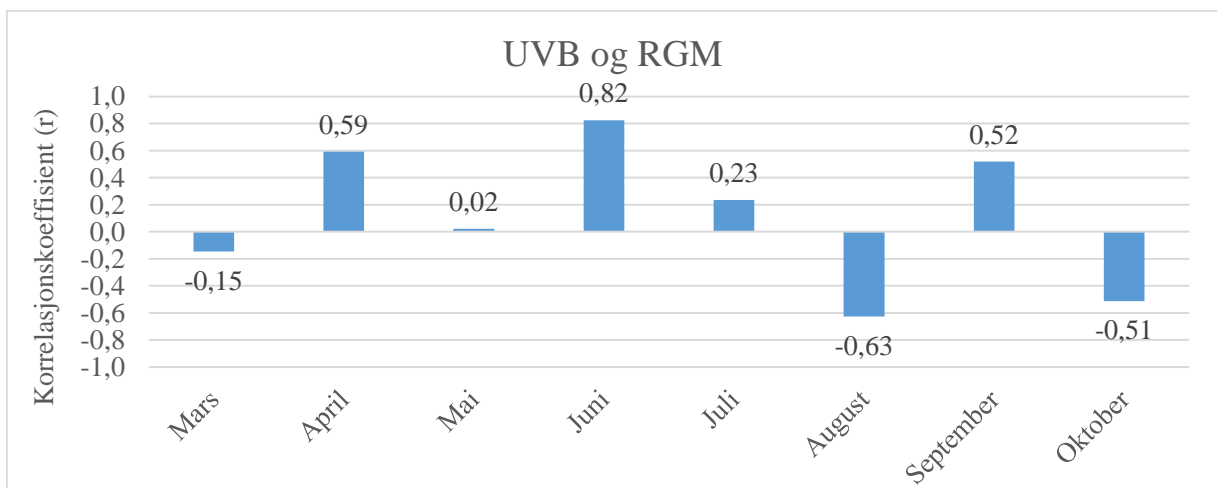
Det ble ikke funnet noen signifikante korrelasjoner mellom kvikksølv og UVB-stråling for hele perioden eller når månedene var klassifisert sammen. Det ble heller ikke funnet korrelasjoner for enkeltmånedene de ulike årene. Det ble derimot funnet korrelasjoner når medianen for de ulike månedene, for hvert av årene i studieperioden, ble analysert mot medianen for UVB-stråling de ulike månedene, for hvert av årene. For GEM og UVB var det seks år som var med i analysen bortsett fra i mars der det ikke var data for GEM. For RGM og PHg var det seks år for april til mai, og fem år i mars og etter mai, da det manglet RGM- og PHg-data fra mars 2007 og i månedene etter mai i 2012. Det samme gjelder derfor også Hg(f). Dette betyr at det i hvert diagram (Fig. 4.33-36) er brukt fem eller seks medianer av kvikksølvspecien og UVB-strålingen for å finne korrelasjonskoeffisient for hver måned.

Figurene 4.33-36 viser korrelasjonene mellom de ulike kvikksølvspeciene og UVB-stråling for de ulike månedene.



Figur 4.33: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom GEM og UVB-stråling, Ny-Ålesund 2007-2012.

UVB og GEM viser en korrelasjon i mai (0,74) (Fig. 4.33). Det viser at de årene GEM hadde høyere medianverdi i mai, var også UVB-strålingen sterkere. Tilsvarende gjelder også for lavere medianverdier av GEM, da var også UVB-strålingen svakere. Korrelasjonen skyldes trolig reemisjon av GEM (Berg, et al., 2013).



Figur 4.34: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom RGM og UVB-stråling, Ny-Ålesund 2007-2012.

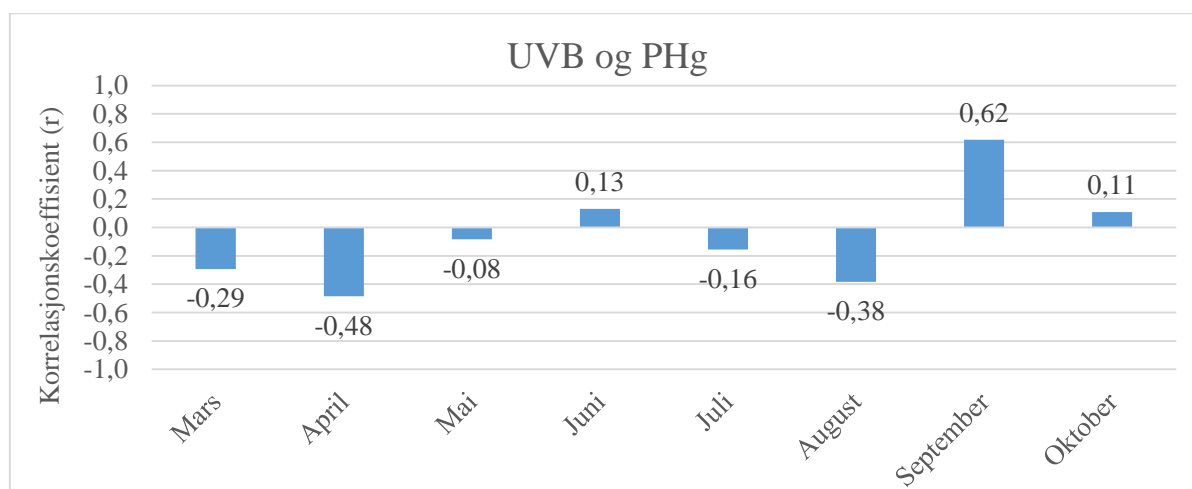
UVB og RGM viser positive korrelasjoner i april (0,59), juni (0,82) og i september (0,52) (Fig. 4.34). Antikorrelasjoner finnes i august (-0,63) og oktober (-0,51). Korrelasjonen i april kan knyttes til AMDEer som inntreffer da mer lys fører til mer dannelse av RGM (Lindberg,



et al., 2002). Korrelasjonen i juni knyttes til at dannelse av RGM er fotokjemisk mediert, og ikke utelukkende dannet ved AMDEer (Steen, et al., 2011) . Korrelasjonen i september kan ha sin grunn i at det på dager med skyer kommer luftmasser med RGM (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016).

UVB-strålingen må over en viss terskelverdi for å sette i gang oksidasjonsprosessene av GEM til RGM, men denne verdien er ikke kjent (O. Engelsen, personlig kommunikasjon, mai 2016). Dersom augustmånedene i studien har vært preget av skyer, kan dette være en årsak til antikorrelasjonen, da oksidasjonsprosessene ikke får kommet tilstrekkelig i gang (O. Engelsen, personlig kommunikasjon, mai 2016; T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016)

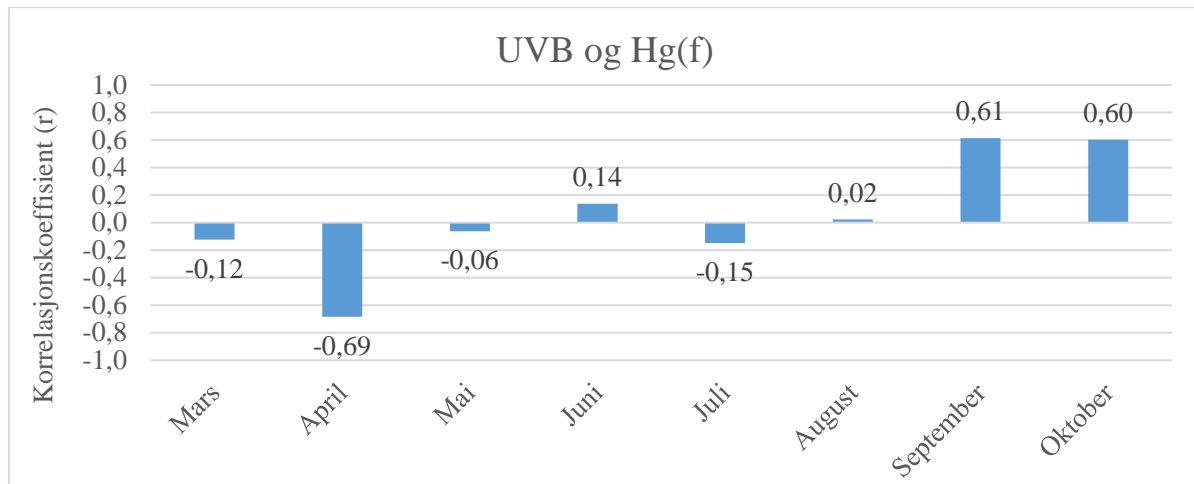
I oktober finnes det ikke UVB-data etter 10. oktober, og er dermed ikke representativ for hele måneden. Korrelasjonen kan muligens likevel knyttes til de samme mulige årsakene som for august.



Figur 4.35: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom PHg og UVB-stråling, Ny-Ålesund 2007-2012.

UVB og PHg viser en antikorrelasjon i april (-0,48), og en positiv korrelasjon i september (0,62) (Fig. 4.35). I april har de høye PHg-verdiene blitt målt ved svakere UVB-stråling og omvendt, når de ulike årene sammenlignes. I september er høyere PHg-verdier målt ved sterkere UVB-stråling. Antikorrelasjonen i april kan komme av at PHg kommer med luftmasser på dager med skyer (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016). Korrelasjonen

i september kan ha sin grunn i at det på dager med skyer kommer luftmasser med aerosoler som kvikksølv er bundet til (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016).



Figur 4.36: Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom Hg(f) og UVB-stråling, Ny-Ålesund 2007-2012.

UVB og Hg(f) har en antikorrelasjon i april (-0,69), og positive korrelasjoner i september (0,61) og oktober (0,60) (Fig.4.36). I april har PHg en liten dominans (0,59), mens i september er det ingen dominans av PHg eller RGM (0,50) (Tab.3). Antikorrelasjonen i april knyttes til antikorrelasjonen mellom PHg og UVB i april. Korrelasjonen i september er knyttes til luftmasser der kvikksølv er bundet til aerosoler (T. Berg, personlig kommunikasjon, mai 2016). I oktober er det som nevnt kun data til 10. oktober, og representerer dermed ikke hele måneden, men kan ha samme forklaring som september kan ha.

For å sjekke for korrelasjoner innenfor kortere tidsperioder ble det valgt ut noen tilfeldige uker innenfor ett år, men det ble ikke funnet noen korrelasjoner for noen av speciene. Det ble også plukket ut tilfeldige dager innenfor ett år. Da ble sterke korrelasjoner funnet, men det var også flere dager uten korrelasjoner. På grunn av tid, og at denne studien ønsker å se på generelle sammenhenger gjennom året, er det ikke gått nærmere inn på enkelte episoder, selv om det tidvis finnes klare korrelasjoner mellom de ulike kvikksølvspeciene og UVB.

## 5 Oppsummering

I denne oppgaven har fordelingen av de tre kvikksølvspesiene GEM, RGM og PHg blitt undersøkt for korrelasjoner med hverandre, ulike meteorologiske forhold, aerosolstørrelsesfordeling og UVB-stråling. Studien er gjort ved å klassifisere dataene i måneder for å se om det finnes generelle sammenhenger i de ulike delene av året. I dette avsnittet trekkes de viktigste momentene fra oppgaven frem.

GEM og RGM viste en negative korrelasjon i april, og årsaken til dette trekkes til oksidasjon av GEM til RGM som knyttes til perioder med AMDEer. RGM og PHg viste en positiv korrelasjon samme måned, og trekkes til at når mer RGM dannes vil også noe kunne bindes til partikler som PHg. En positiv korrelasjon mellom RGM og PHg i september kan komme av spesiene kommer og fjernes ved de samme luftmassene. I januar finnes en negativ korrelasjon mellom GEM og PHg som kan komme av langtransporterte luftmasser med aerosoler som GEM bindes til slik at PHg dannes.

Av de meteorologiske dataene var det temperatur, absolutt og relativ fuktighet, og lufttrykk som ble funnet å ha en sammenheng med konsentrasjonene av GEM, RGM, PHg, og med Hg(f). Vindrelaterte data viste ingen signifikante korrelasjoner for månedsperioder.

Temperatur viste sammenhenger med GEM, RGM og Hg(f). Blant annet hadde GEM en lengre periode om våren med positive korrelasjoner med temperatur. RGM hadde en negativ korrelasjon i mars. Disse resultatene har blitt knyttet til AMDEer som inntreffer i denne delen av året. En negativ korrelasjon mellom Hg(f) og temperatur i februar viste at høyere konsentrasjoner PHg i forhold til RGM forekom ved kaldere temperaturer.

Absolutt og relativ fuktighet viste sammenhenger med GEM, RGM, PHg og Hg(f). GEM hadde flere måneder i løpet av året med positive korrelasjoner, mens RGM hadde negative korrelasjoner om sommeren og PHg om vinteren. Hg(f) viste negative korrelasjoner om vinteren og positive om sommeren. Høyere luftfuktighet er blitt knyttet til høyere avsetningsrate for RGM og PHg, og omvendt.

Luftrykk viste sammenhenger med GEM og PHg. I februar hadde GEM en positiv korrelasjon med luftrykk samtidig som PHg hadde en negativ korrelasjon. Ved lavtrykk kan luftmasser som kommer inneholde aerosoler som fører til dannelse av PHg fra GEM. I juli viser GEM en negativ korrelasjon med luftrykk. Ved lavtrykk kan luftmasser komme fra områder med høy konsentrasjon av GEM.

Størrelsesfordelingen av aerosoler ble assosiert med GEM, RGM, PHg og Hg(f). GEM hadde en positiv korrelasjon med ‘‘aitken mode’’-partikler i februar. I mars hadde GEM en negativ korrelasjon med ‘‘accumulation mode’’-partikler samtidig som RGM hadde en positiv korrelasjon med disse partiklene. PHg og Hg(f) viste positive korrelasjoner med ‘‘aitken mode’’-partikler i desember. Korrelasjonene kan være knyttet til luftmasser som kommer til Ny-Ålesund, da de ulike speciene kan transporteres med dem, og/eller at aerosoler i luftmassene binder kvikksølv.

UVB-stråling viste en sammenheng med GEM, RGM, PHg og Hg(f). I mai viste GEM positive korrelasjoner med UVB-stråling, og mer reemisjon av GEM ved økt doserate UVB-stråling kan være årsaken. RGM viste en positiv korrelasjon i april, samtidig som PHg og Hg(f) viste negative korrelasjoner. I april fører lys til mer dannelse av RGM ved oksidasjon av GEM. PHg kan i april komme med luftmasser på dager med skyer. Den positive korrelasjonen mellom RGM og UVB-stråling i juni tyder på at RGM er fotokjemisk mediert, og ikke utelukkende dannet ved AMDEer. RGM, PHg og Hg(f) viser alle positive korrelasjoner med UVB-stråling i september. En mulig forklaring på dette er at på solrike dager i september kommer luftmasser som inneholder RGM og PHg.

Ved senere studier for sammenligning av de ulike kvikksølvspesiene med de type data som er brukt i denne oppgaven, kan det være lurt å se på mer langsiktige målinger. Det kan være store variasjoner innenfor de samme månedene de ulike årene, så en lengre periode kan statistisk sett gi et enda klarere bilde av generelle sammenhenger. I tillegg vil det være interessant å sammenligne resultatene med andre arktiske områder.

# Referanser

- Ahrens, C. D. (2000). *Meteorology Today*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- AMAP. (1997). *AMAP Assessment Report: Climate Change, Ozone Depletion, and Ultraviolet Radiation*. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme.
- AMAP. (1998). *AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP).
- AMAP. (2009). *AMAP Assessment 2009: Human Health in the Arctic*. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP).
- AMAP. (2011). *Arctic Pollution 2011*. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP).
- AMAP/UNEP. (2013). *Technical Background report to the Global Atmospheric mercury assessment*. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme / UNEP Chemicals.
- Amos, H. M., Jacob, D. J., Holmes, C. D., Fisher, J. A., Wnag, Q., Yantosca, R. M., . . . Sunderland, E. M. (2012). Gas-particle partitioning of atmospheric Hg(II) and its effect on global mercury deposition. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(1):591-603.
- Andersson, M. E., Sommar, J., Gårdfeldt, K., & Lindqvist, O. (2008). Enhanced concentrations of dissolved gaseous mercury in the surface waters of the Arctic Ocean. *Marine Chemistry*, 12(1):190-194.
- ATSDR. (1999). *Toxicological profile for mercury*. Atlanta: U.S. department of health and human services.
- Barrie, L. A., Gregor, D., Hargrave, B., Lake, R., Muir, D., Shearer, R., . . . Bidleman, T. (1992). Arctic contaminants: sources, occurrence and pathways. *The Science of the Total Environment*, 122(1-2):1-74.
- Berg, T., Fjeld, E., & Steinnes, E. (2006). Atmospheric mercury in Norway: Contributions from different sources. *Science of the Total Environment*, 369:3-9.

- Berg, T., Pfaffhuber, K. A., Cole, A. S., Engelsen, O., & Steffen, A. (2013). Ten-year trends in atmospheric mercury concentrations, meteorological effects and climate variables at Zeppelin, Ny-Alesund. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(13):6575-6586.
- Berg, T., Sekkesæter, S., Steinnes, E., Valdal, A. K., & Wibetoe, G. (2003). Springtime depletion of mercury in the European Arctic as observed at Svalbard. *Sci. Total Environ.*, 304(1):43-51.
- Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., Davidson, O., . . . Kundzewicz, Z. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Genève: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Braathen, G., Dahlback, A., Svenøe, T., & Hansen, G. H. (1998). *Overvåking av ozonlaget: Årsrapport 1997*. Oslo: Statlig program for forurensningsovervåking.
- Brooks, S., Lindberg, S., Southworth, G., & Arimoto, R. (2003). Springtime atmospheric speciation in the McMurdo Antarctica coastal region. *Atmospheric Environment*, 42(12):2885-2893.
- Burkow, I. C., & Kallenborn, R. (2000). Sources and transport of persistent pollutants to the Arctic. *Toxicology Letters*, 112-113:87-92.
- Carlson, T. N. (1981). Speculations on the movement of polluted air to the Arctic. *Atmospheric Environment*, 15(8):1473-1477.
- Cobett, F. D., Steffen, A., Lawson, G., & Van Heyst, B. J. (2007). GEM fluxes and atmospheric mercury concentrations (GEM, RGM and Hgp) in the Canadian Arctic at Alert, Nunavut, Canada (February–June 2005). *Atmospheric Environment*, 41(31):6527-6543.
- Cole, A. S., & Steffen, A. (2010). Trends in long-term gaseous mercury observations in the Arctic and effects of temperature and other atmospheric conditions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(10):4661-4672.
- Constant, P., Poissant, L., Villemur, R., Yumvihoze, E., & Lean, D. (2007). Fate of inorganic mercury and methyl mercury within the snow cover in the low arctic tundra on the shore of Hudson Bay (Québec, Canada). *Journal of Geophysical Research*, 112(D8):doi:10.1029/2006JD007961.
- Dommergue, A., Ferrari, C. P., Amyot, M., Brooks, S., Sprovieri, F., & Steffen, A. (2009). Spatial Coverage and Temporal Trends of Atmospheric Mercury Measurements in Polar Regions. I N. Pirrone, & R. P. Mason, *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere* (ss. 293-322). New York: Springer Science+Business Media.
- Dommergue, A., Ferrari, C. P., Gauchard, P., & Boutron, C. F. (2003). The fate of mercury species in a sub-arctic snowpack during snowmelt. *Geophysical Research Letter*, 30(12):doi:10.1029/2003GL017308.
- Douglas, T. A., Sturm, M., Simpson, W. R., Brooks, S., Lindberg, S. E., & Perovich, D. K. (2005). Elevated mercury measured in snow and frost flowers near Arctic sea ice leads. *Geophysical Research Letters*, 32(4):doi:10.1029/2004GL022132.

- Driscoll, C. T., Mason, R. P., Chan, H. M., Jacob, D. J., & Pirrone, N. (2013). Mercury as a Global Pollutant: Sources, Pathways, and Effects. *Environmental Science & Technology*, 47(10):4967-4983.
- Ebinghaus, R., Kock, H. H., Temme, C., Einax, J. W., Löwe, A. G., Burrows, J. P., . . . Schroeder, W. (2002). Antarctic Springtime Depletion of Atmospheric Mercury. *Environ. Sci. Technol.*, 36(6):1238-1244.
- Engvall, A. C., Krejci, R., Ström, J., Treffeisen, R., Scheele, R., Hermansen, O., & Paatero, J. (2008). Changes in aerosol properties during spring-summer period in the Arctic troposphere. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(3):445-462.
- Fu, X., Feng, X., Dong, Z., Yin, R., Wang, J., & Zhang, H. (2010). Atmospheric gaseous elemental mercury (GEM) concentrations and mercury depositions at a high-altitude mountain peak in south China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10:2425-2437.
- Gauchard, P., Aspmo, K., Temme, C., Steffen, A., Ferrari, C., T., B., . . . Boutron, C. (2005). Study of the origin of atmospheric mercury depletion events recorded in Ny-Ålesund, Svalbard, spring 2003. *Atmospheric Environment*, 39(39):7620-7632.
- GAWSIS. (2014, November). *Zeppelin Mountain (Ny Ålesund) (Norway): GAW Global station in WMO Region VI - Europe*. Hentet fra GAWSiS Station Information System: <https://gawsis.meteoswiss.ch/GAWSIS//index.html#/search/station/stationReportDetails/459>
- Goldman, L. R., Shannon, M. W., & Committee on Environmental Health. (2001). Technical Report: Mercury in the Environment: Implications for Pediatricians. *Pediatrics*, 108(1), 108(1):197-205.
- Hirdman, D., Aspmo, K., Burkhardt, J. F., Eckhardt, S., Sodemann, H., & Stohl, A. (2009). Transport of mercury in the Arctic atmosphere: Evidence for a spring-time net sink and summer-time source. *Geophysical Research Letter*, 36(12):doi:10.1029/2009GL038345.
- Hirdman, D., Sodemann, H., Eckhardt, S., Burkhardt, J. F., Quinn, P. K., Sharma, S., . . . Stohl, A. (2010). Source identification of short-lived air pollutants in the Arctic using statistical analysis of measurement data and particle dispersion model output. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10:669-693.
- Holloway, T., Voigt, C., Morton, J., Spak, S., Rutter, A., & Schauer, J. (2012). An assessment of atmospheric mercury in the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model at an urban site and a rural site in the Great Lakes Region of North America. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12:7177-7133.
- IARC. (1992). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Solar and Ultraviolet Radiation*. Lyon: World Health Organization: International Agency for Research on Cancer.
- Landis, M. S., Stevens, R. K., Schaedlich, F., & Prestbo, E. M. (2002). Development and Characterization of an Annular Denuder Methodology for the Measurement of Divalent Inorganic Reactive Gaseous Mercury in Ambient Air. *Environ. Sci. Technol.*, 36(13):3000-3009.

- Lehnherr, I. (2014). Methylmercury biogeochemistry: a review with special reference to Arctic aquatic ecosystems. *Environmental Reviews*, 22:1-15.
- Lindberg, E. S., Brooks, S., Lin, C. J., Scott, K. J., Landis, S. M., Stevens, R. K., . . . Richter, A. (2002). Dynamic Oxidation of Gaseous Mercury in the Arctic Troposphere at Polar Sunrise. *Environ. Sci. Technol.*, 36(6):1245-1256.
- Lindberg, S., Bullock, R., Ebinghaus, R., Engstrom, D., Feng, X., Fitzgerald, W., . . . Seigneur, C. (2007). A Synthesis of Progress and Uncertainties in Attributing the Sources of Mercury in Deposition. *Ambio*, 36(1):19-32.
- Lu, J. Y., & Schroeder, W. H. (2004). Annual time-series of total filterable atmospheric mercury concentrations in the Arctic. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 56(3):213-222.
- Lu, J. Y., Schroeder, W. H., Barrie, L. A., Steffen, A., Welch, H. E., Martin, K., . . . Richter, A. (2001). Magnification of atmospheric mercury deposition to polar regions in springtime: the link to tropospheric ozone depletion chemistry. *Geophysical research letters*, 28(17):3219-3222.
- Macdonald, R. W. (2005). *Climate Change, Risks and Contaminants: A Perspective from Studying the Arctic*. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal.
- Manahan, S. E. (2010). *Environmental Chemistry*. Boca Raton, Fl.: CRC Press.
- Mason, R. P., & Sheu, G. R. (2005). Role of the ocean in the global mercury cycle. *Global biogeochemical cycles*, 16(4):doi:10.1029/2001GB001440.
- Miljødirektoratet. (u.d.). *Miljøstatus i Svalbard*. Hentet fra <http://fylker.miljostatus.no/svalbard/>
- Moen, I. M. (2012). Fraksjonering av atmosfærisk kvikksølv på Zeppelin, Ny-Ålesund. Masteroppgave, NTNU.
- Munthe, J., Wängberg, I., Pirrone, N., Iverfeldt, Å., Ferrara, R., Ebinghaus, R., . . . Lu, J. (2001). Intercomparison of methods for sampling and analysis of atmospheric mercury species. *Atmospheric Environment*, 35:3007-3017.
- Nghiem, S. V., Rigor, I. G., Richter, A., Burrows, J. P., Shepson, P. B., Bottenheim, J., . . . Asplin, M. G. (2012). Field and satellite observations of the formation and distribution of Arctic atmospheric bromine above a rejuvenated sea ice cover. *Journal of Geophysical Research*, 117(D17):1-15.
- Norsk Polarinstitutt. (u.d.). *Svalbard*. Hentet fra Norsk Polarinstitutt: <http://www.npolar.no/no/arktis/svalbard/>
- Pacyna, E. G., Pacyna, J. M., Sundseth, K., Munthe, J., Kindbom, J., Wilson, S., . . . Maxson, P. (2010). Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020. *Atmospheric Environment*, 44(20):2487-2499.



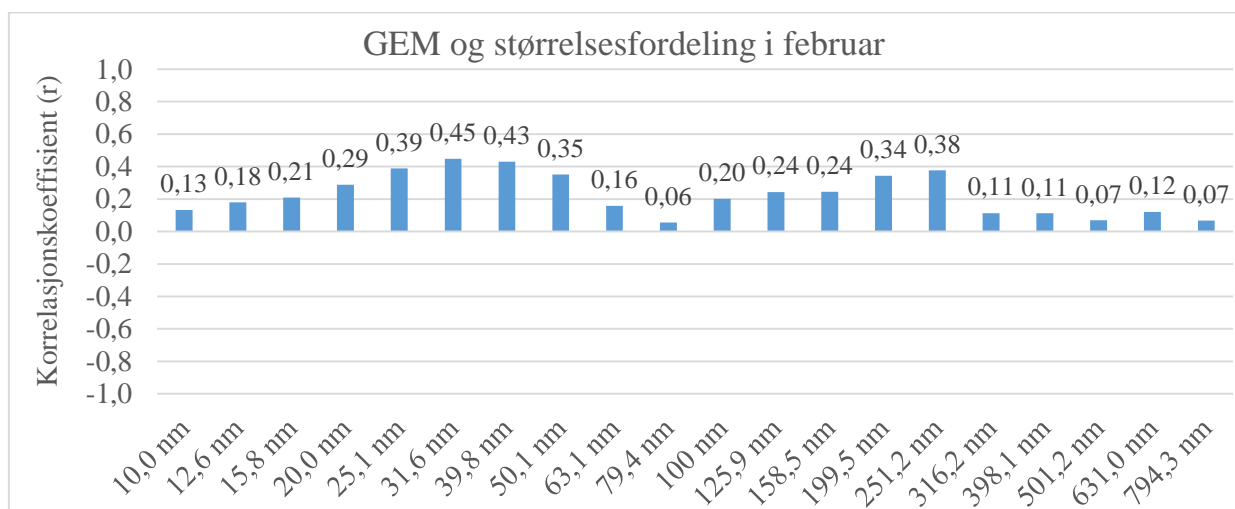
- Peterson, C., & Gustin, M. (2009). Atmospheric mercury concentrations and speciation measured from 2004 to 2007 in Reno, Nevada, USA. *Atmospheric Environment*, 43(30):4646-4654.
- Pirrone, N., Cinnirella, S., Feng, X., Finkelman, R. B., Friedli, H. R., Leaner, J., . . . Telmer, K. (2010). Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(13):5951-5964.
- Pirrone, N., Keeler, G., & Allegrini, I. (1996). Particle size distributions of atmospheric mercury in urban and rural areas. *Journal of Aerosol Science*, 27:13-14.
- Poissant, L., & Pilote, M. (2003). Time series analysis of atmospheric mercury in Kuujuaarapik/Whapmagoostui (Québec). *J. Phys. IV France*, vol. 107:1079-1082.
- Poissant, L., Pilote, M., Beauvais, C., Constant, P., & Zhang, H. H. (2005). A year of continuous measurements of three atmospheric mercury species (GEM, RGM and Hgp) in southern Québec, Canada. *Atmospheric Environment*, 39(7):1275-1287.
- Ramanathan, V., Crutzen, P. J., Kiehl, J. T., & Rosenfeld, D. (2001). Atmosphere - Aerosols, climate, and the hydrological cycle. *Science*, 294:2119-2124.
- Ruus, A., Øverjordet, I. B., Braaten, H. V., Evenset, A., Christensen, G., Heimstad, E. S., . . . Borgå, K. (2015). Methylmercury biomagnification in an Arctic pelagic food web. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(11), 34(11):2636-2643.
- Schroeder, W. H., & Munthe, J. (1998). Atmospheric Mercury - An Overview. *Atmospheric Environment*, 32(5), 809-822.
- Schroeder, W. H., Anlauf, K. G., Barrie, L. A., Lu, J. Y., Steffen, A. S., & Berg, T. (1998). Arctic springtime depletion of mercury. *Nature*, 394(6691):331-332.
- Sedgwick, P. (2011). Standard deviation versus standard error. *BMJ*, 343:doi:10.1136/bmj.d8010.
- Seinfeld, J. P., & Pandis, S. N. (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, Inc.
- Selin, N. E., Jacob, D. J., Park, R. J., Yantosca, R. M., Strode, S., Jaeglé, L., & Jaffe, D. (2007). Chemical cycling and deposition of atmospheric mercury: Global constraints from observations. *Journal of Geophysical Research*, 112(D2):doi:10.1029/2006JD007450.
- Sharma, S., Ishizawa, M., Chan, D., Lavoué, D., Andrews, E., Eleftheriadis, K., & Maksyutov, S. (2013). 16-year simulation of Arctic black carbon: Transport, source contribution, and sensitivity analysis on deposition. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(2):943-964.
- Simpson, W. R., von Glasow, R., Riedel, K., Anderson, P. A., Bottenheim, J., Burrows, J., . . . Wolff, E. (2007). Halogens and their role in polar boundary-layer ozone depletion. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7:4375-4418.
- Skov, H., Christensen, J. H., Goodsite, M. E., Wåhlin, P., Geernaert, G., Heidam, N. Z., & Jensen, B. (2004). Fate of Elemental Mercury in the Arctic during Atmospheric

- Mercury Depletion Episodes and the Load of Atmospheric Mercury to the Arctic. *Environ. Sci. Technol.*, 38(8):2373-2383.
- Stamnes, K., & Tsay, S. (1992). Ultraviolet Radiation in the Arctic: The Impact of Potential Ozone Depletions and Cloud Effects. *Journal of Geophysical Research*, 97(D8):7829-7840.
- Steen, A. O., Berg, T., Dastoor, A. P., Dunford, D. A., Hole, L. R., & Pfaffhuber, K. A. (2009). Dynamic exchange of gaseous elemental mercury during polar night and day. *Atmospheric Environment*, 43(35):5604-5610.
- Steen, A. O., Berg, T., Dastoor, A. P., Durnford, D. A., Engelsen, O., Hole, L. R., & Pfaffhuber, K. A. (2011). Natural and anthropogenic atmospheric mercury in the European Arctic: a fractionation study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(13):6273-6284.
- Steffen, A., Bottenheim, J., Cole, A., Ebinghaus, R., Lawson, G., & Leitch, W. R. (2014). Atmospheric mercury speciation and mercury in snow over time at Alert, Canada. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(5):2219-2231.
- Steffen, A., Douglas, T., Amyot, M., Ariya, P., Aspö, K., Berg, T., . . . Temme, C. (2008). A synthesis of atmospheric mercury depletion event chemistry in the atmosphere and snow. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(6):1445-1482.
- Steffen, A., Lehnher, I., Cole, A., Ariya, P., Dastoor, A., Durnford, D., . . . Pilote, M. (2015). Atmospheric mercury in the Canadian Arctic. Part I: A review of recent field measurements. *Science of the Total Environment*, 509-510:3-15.
- Steffen, A., Schroeder, W., Macdonald, R., Poissant, L., & Konoplev, A. (2005). Mercury in the Arctic atmosphere: An analysis of eight years of measurements of GEM at Alert (Canada) and a comparison with observations at Amderma (Russia) and Kuujjuarapik (Canada). *Science of The Total Environment*, 342(1):185-198.
- Stern, G. A., Macdonald, R. W., Outridge, P. M., Wilson, S., Chételat, J., Cole, A., . . . Zdanowicz, C. (2012). How does climate change influence arctic mercury? *Science of the Total Environment*, 414:22-42.
- Stohl, A. (2006). Characteristics of atmospheric transport into the Arctic troposphere. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111(D11):111.
- Ström, J., Umegård, J., Tørseth, K., Tunved, P., Hansson, H.-C., Holmén, K., . . . König-Langlo, G. (2003). One year of particle size distribution and aerosol chemical composition measurements at the Zeppelin Station, Svalbard, March 2000–March 2001. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28(28):1181-1190.
- Tekran. (2006). The Tekran® Ambient Monitoring System: Continuous Ultra-Trace Mercury Vapor Analysis. Knoxville, TN.: Tekran Instruments Corporation.
- Tekran. (2008a, August). *Model 1130 Mercury Speciation Unit*. Hentet fra Tekran Instruments Corporation: [http://www.tekran.com/files/facts\\_1130\\_r101.pdf](http://www.tekran.com/files/facts_1130_r101.pdf)
- Tekran. (2008b). *Model 1135 Particulate Mercury Unit*. Hentet fra Tekran Instruments Corporation: [http://www.tekran.com/files/facts\\_1135\\_r102.pdf](http://www.tekran.com/files/facts_1135_r102.pdf)

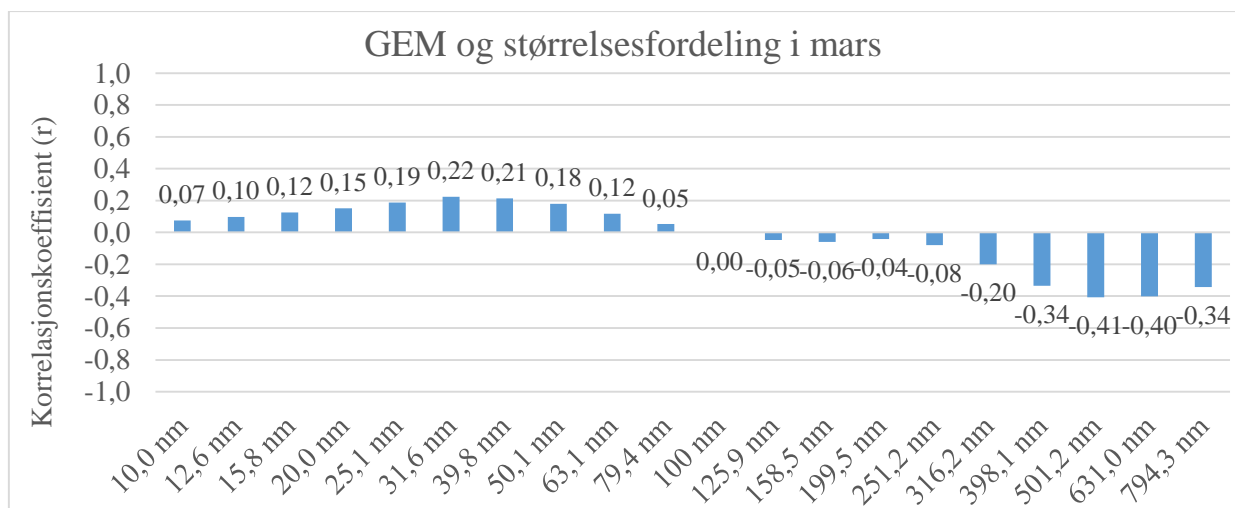
- Tekran. (2009). *New Tekran Pre-Packed and Batch Tested Soda lime Traps*. Hentet fra Tekran Instrument Corporation:  
[http://www.tekran.com/files/data\\_Sodalime\\_Trap.r101.pdf](http://www.tekran.com/files/data_Sodalime_Trap.r101.pdf)
- Tekran. (2016). *Products: Ambient Air*. Hentet fra Tekran Instrument Corporation:  
<http://www.tekran.com/products/ambient-air/overview/>
- The University of Manchester. (u.d.). *Differential Mobility Particle Sizer (DMPS)*. Hentet fra Centre for Atmospheric Science:  
<http://www.cas.manchester.ac.uk/restools/instruments/aerosol/differential/>
- Tunved, P., Ström, J., & Krejei, R. (2013). Arctic aerosol life cycle: linking aerosol size distributions observed between 2000 and 2010 with air mass transport and precipitation at Zeppelin station, Ny-Alesund, Svalbard. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(7):3643-3660.
- Walker, J. B., Houseman, J., Seddon, L., McMullen, E., Tofflemire, K., Mills, C., . . . Oostdam, J. V. (2006). Maternal and umbilical cord blood levels of mercury, lead, cadmium, and essential trace elements in Arctic Canada. *Environmental Research*, 100(3):295-318.
- Wang, P. (2012). *Atmospheric mercury speciation and aerosol properties at Ny-Ålesund*. NTNU: Masteroppgave.
- Wierig, H. J. (2004). *Properties of fresh concrete: proceedings of the international RILEM colloquium*. Hanover: CRC Press.
- Wilhelmsen, M. (2010, November). *Korrelasjon og årsakssammenheng*. Hentet fra Matematikk.org: <https://www.matematikk.org/artikkel.html?tid=102106>
- Xiao, Z. F., Munthe, J., & Lindqvist, O. (1991). Sampling and determination of gaseous and particulate mercury in the atmosphere using gold-coated denuders. *Water Air & Soil Pollution*, 56(1):141-151.

# A Vedlegg

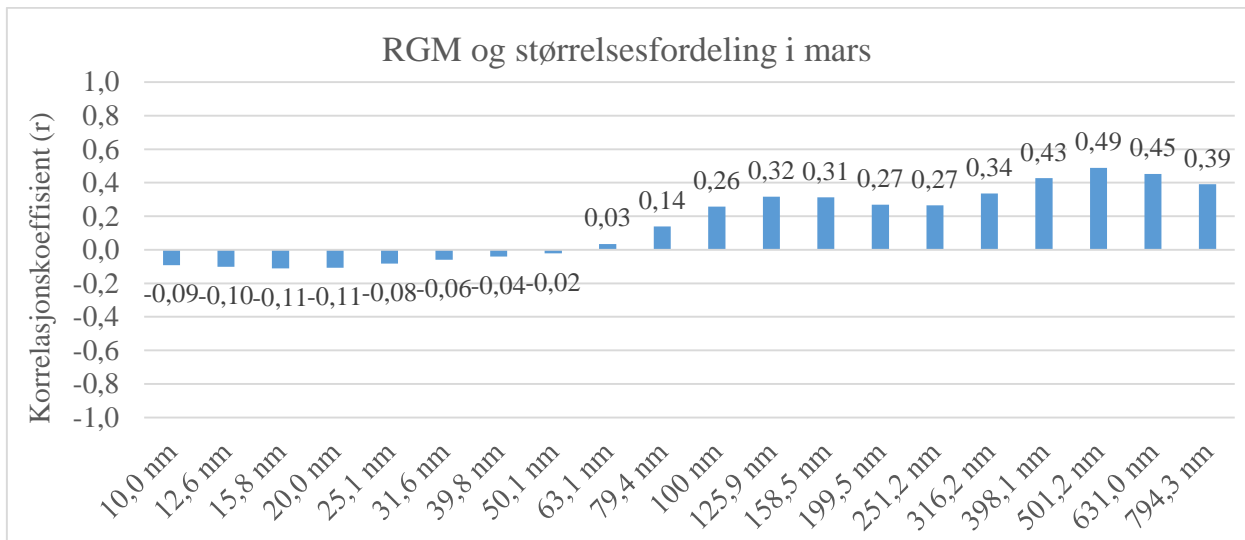
Figur A.1-A.5 viser de signifikante korrelasjonene mellom kvikksølv og aerosolstørrelsesfordeling.



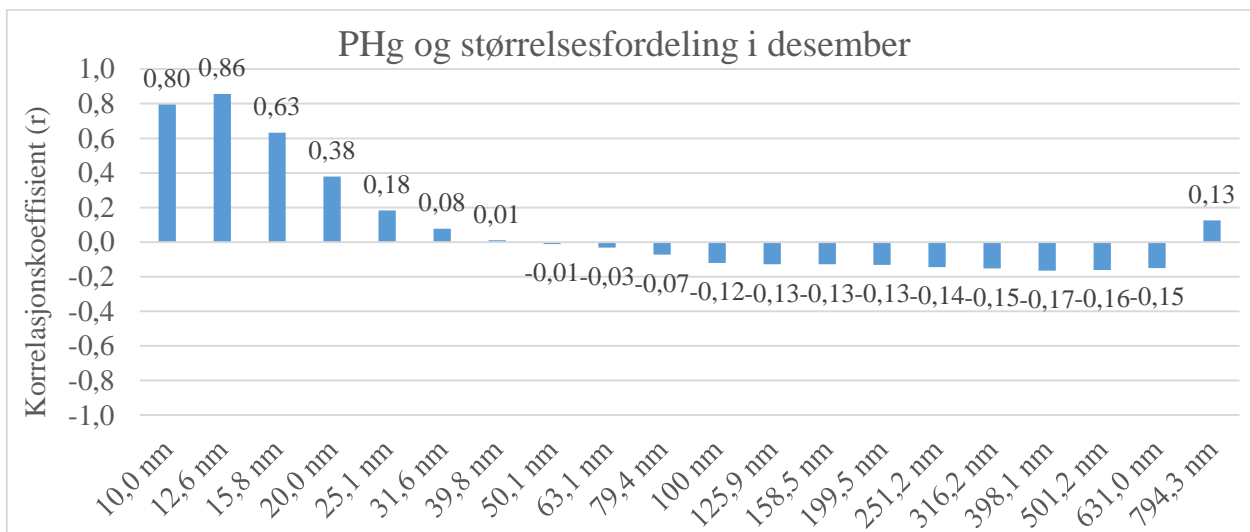
Figur A.1 Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom GEM og aerosolstørrelsesfordeling, Ny-Ålesund, februar 2007-2010.



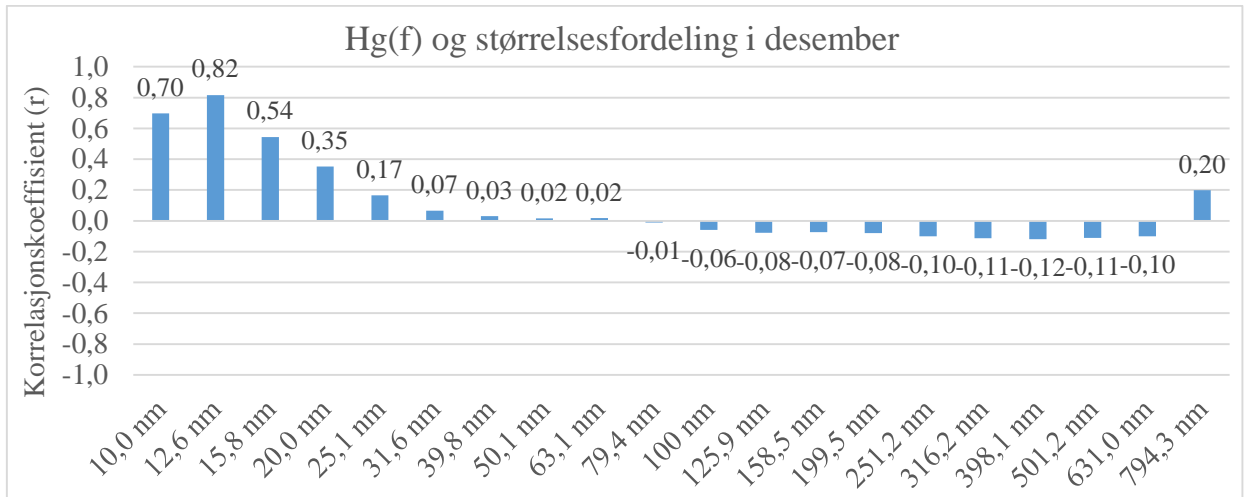
Figur A.2 Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom GEM og aerosolstørrelsesfordeling, Ny-Ålesund, mars 2007-2010.



Figur A.3 Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom RGM og aerosolstørrelsesfordeling, Ny-Ålesund, mars 2007-2010.



Figur A.4 Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom PHg og aerosolstørrelsesfordeling, Ny-Ålesund, desember 2007-2010.



Figur A.5 Korrelasjonsdiagram for korrelasjoner mellom Hg(f) og aerosolstørrelsesfordeling, Ny-Ålesund, desember 2007-2010.