



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Kortlægning og risikovurdering af partikel- og tungmetalemission fra levende lys

FORB nr. 156

April 2017

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Peter Bøgh Pedersen, Teknologisk Institut

Maj Frederiksen, Teknologisk Institut

Poul Bo Larsen, DHI

ISBN: 978-87-93529-81-6

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Indhold	3
Forord.....	6
Sammenfatning og konklusion	7
Ordforklaring.....	13
1. Introduktion	14
1.1 Formål med opgaven	14
1.2 Afgrænsning	14
1.3 Metode.....	14
1.3.1 Baggrundsviden og kortlægning.....	14
2. Baggrundsviden	16
2.1 Lys og voks	16
2.2 Lovgivning og miljømærkninger	18
3. Litteraturgennemgang.....	19
3.1 Opsummering og konklusion	22
4. Kortlægning	23
4.1 Introduktion til kortlægning	23
4.2 Butiksbesøg	23
4.3 Spørgeskemaundersøgelse	25
4.3.1 Mængder	25
4.3.2 Fabrikanter.....	25
4.3.3 Virksomhedernes kriterier for valg af lys.....	26
4.3.4 Vokstyper og vægetyper	26
4.3.5 Sammenfatning.....	26
5. Sundhedsmæssig vurdering.....	27
5.1 Karakterisering og måling af partikler	27
5.2 Påvirkning af indeklima og eksponering	28
5.3 Udpegning af sundhedsskadelige komponenter	29
5.3.1 Konklusion ved udpegning af komponenter.....	31
5.4 Sundhedsmæssig beskrivelse af komponenterne	32
5.4.1 Grænseværdier for luft.....	32
5.4.2 Partikler.....	33

5.4.3	PM2.5 i indeklimaet.....	39
5.4.4	Polyaromatiske kulbrinter, PAH	39
5.4.5	Bly	40
5.4.6	Nikkel	40
5.4.7	Konklusion ved udpegning af grænseværdier	40
6.	Partikelemissions- målinger og kemisk indholdsanalyse.....	42
6.1	Udvælgelse af lys til test.....	42
6.2	Metodebeskrivelser	44
6.2.1	Metodebeskrivelse – partikelemission ved kildekonzentration	44
6.2.2	Metodebeskrivelse – partikelkonzentration i rummet.....	47
6.2.3	Metodebeskrivelse – indholdsanalyse for bly og nikkel	48
6.3	Resultater af partikelemissionsmålinger af kildekonzentrationen.....	49
6.3.1	Partikelantalsmålinger	49
6.3.2	Partikelmassemålinger	53
6.3.3	Diskussion af partikelemissionsmålinger af kildekonzentrationen.....	54
6.3.4	Delkonklusion af kildekonzentrationsmålinger af partikelemissionen.....	57
6.4	Resultater af partikelemissionsmålinger i rum på 20 m ³	57
6.4.1	Partikelantal.....	59
6.4.2	Partikelstørrelse	59
6.4.3	Partikelmasse	60
6.5	Sammenligning af kilde- og rumkonzentrationsmålinger	61
6.5.1	Delkonklusion på partikelemissionsmålingerne	62
6.5.2	Perspektivering af partikelemissionsmålinger	62
6.6	Resultater af indholdsanalyser af bly og nikkel.....	63
6.6.1	Analyser af bly og nikkel på filtre	63
6.6.2	Indholdsanalyser af bly og nikkel i voks og væge fra lys	65
6.6.3	Sammenfatning af analyseresultater.....	67
6.6.4	Vurdering af analyseresultater	70
7.	Eksponeringsscenarier og risikovurdering	71
7.1	Eksponeringsscenarier for partikelemission	71
7.1.1	Eksponeringsberegninger for partikler.....	71
7.1.2	Risikovurdering af scenarier for partikelemission	74
7.1.3	Risikovurdering af partikeleksponeringen	76
7.2	Eksponeringsscenarier for bly og nikkel.....	78
7.2.1	Bly- og nikkelindhold i lysene	78
7.2.2	Eksponeringsniveauer, metalindhold	79
7.2.3	Risikovurdering af eksponering for bly og nikkel.....	81
8.	Samlet vurdering og perspektivering	83
8.1	Diskussion	83
4	Kortlægning og risikovurdering af partikel- og tungmetalemission fra levende lys	

8.2	Usikkerheder og begrænsninger	85
8.3	Forbedring af videns grundlaget	86
8.4	Konklusion	86
Referencer		89
Bilag 1: Spørgeskema		92
Bilag 2: Partikelantalsmålinger.....		95
Bilag 3: Partikelmassemåling.....		103

Forord

Projektet ”Kortlægning og risikovurdering af partikel- og tungmetalemission fra levende lys” er gennemført i perioden april 2015 til maj 2016. Det overordnede formål var at undersøge partikelemissionen fra stagelys og foretage en sundhedsvurdering på de målte emissioner.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem DHI, Teknologisk Institut og Miljøstyrelsen. Denne rapport giver et samlet overblik over det arbejde, der er udført i løbet af projektet.

Projektets styregruppe bestod af:

- Kathe Tønning, projektleder, Teknologisk Institut
- Peter Bøgh Pedersen, seniorspecialist, Teknologisk Institut
- Poul Bo Larsen, faglig specialist, DHI
- Anne Mette Zenner Boisen, Miljøstyrelsen
- Jette Rud Larsen Heltved, Miljøstyrelsen
- Maiken Guldborg Rasmussen, Miljøstyrelsen
- Grete Lottrup Lotus, Miljøstyrelsen

Teknologisk Institut
Aarhus, maj 2016

På baggrund af kommentarer modtaget under rapportens høring, besluttede Miljøstyrelsen i oktober 2016 at udvide projektet med en yderligere række målinger af emissionen fra levende lys målt som rum/eksponeringskoncentrationer. Teknologisk Institut udførte analyserne i december 2016 og Miljøstyrelsen implementerede resultaterne i denne rapport i perioden januar til marts 2017. De ekstra målinger beskrives i afsnit 6.2.2 og resultaterne af disse beskrives i afsnit 6.4. På baggrund af de nye resultater har Miljøstyrelsen ændret i tekstlyden i sammenfatningen, samt i kap. 6, 7 og 8.

Miljøstyrelsen
København, marts 2017

Sammenfatning og konklusion

Introduktion

Nærværende projekt er en del af kemikalieindsatsen, hvor der fokuseres på forbrugernes udsættelse for farlige kemiske stoffer. I den forbindelse blev det valgt at fokusere på levende lys, da en undersøgelse viser, at 39 % af danskerne dagligt eller næsten dagligt tænder levende lys i deres bolig. Dette medfører en højere koncentration af partikler i indeklimaet og potentielt sundhedsmæssige effekter.

Formålet med dette projekt var således at få mere viden om den partikelemission, der udsendes fra stagelys. For at skabe dette overblik blev koncentrationen af de partikler, der emitteres fra de tændte stagelys målt, med særlig fokus på de respirable og ultrafine partikler. Desuden blev den mængde af bly og nikkel, som lysene kan afgive, mens de brænder, kvantificeret. Projektet havde desuden til formål at afklare, om der er en sundhedsmæssig risiko ved ophold i rum med de undersøgte, tændte, levende lys.

Undersøgelsen var inddelt i tre faser: kortlægning og baggrundsviden, analyse af levende lys og sundhedsmæssig vurdering.

Baggrundsviden

Et lys består af voks, væge og evt. farver og additiver. Voksen er et fast stof ved stuetemperatur, men smelter ved opvarmning. Der findes forskellige vokstyper, herunder stearin, paraffin, vegetabilsk voks, animalsk voks og gele. Vægen er typisk fremstillet af bomuld, men også papirvæger kan anvendes. Imprægnering af vægen sker i mange tilfælde for at sikre den korrekte stivhed af vægen, men kan også benyttes for at beskytte vægen mod nedbrydning af den varme voks. Til gennemfarvede lys benyttes oftest et opløseligt farvestof ("*dye*"), mens pigmenter (faste, uopløselige partikler) typisk benyttes til 'overfladefarvning', da disse kan påvirke brændelevnen af lyset.

På lovgivningsområdet er der alene begrænsninger i forhold til indhold af bly, som ikke må overstige 100 ppm i Danmark. Herudover skal det levende lys leve op til EU's General Product Safety Directive (GPSD), som angiver en generisk definition på et sikkert produkt. Indhold af nikkel er ikke specificeret nærmere for levende lys.

Svanemærket er en frivillig nordisk miljømærkningsordning, som stiller krav til, at det levende lys skal være fremstillet af 90 % fornybare materialer, at der ikke aktivt er tilsat en række metaller til lyset, og at lyset ikke indeholder en række organiske forbindelser såsom ftalater og halogenerede opløsningsmidler. Vægen må ikke indeholde metaller overhovedet.

Litteraturgennemgang

Der er i projektet foretaget diverse søgninger i videnskabelige litteraturdatabaser og via søgeord på søgemaskiner for at identificere den litteratur, der omhandler levende lys. Der findes flere studier på området, hvoraf de fleste har en akademisk tilgang. Dvs. at der er foretaget en række mere eller mindre avancerede undersøgelser på enkelte lys. Måleopstillingen omkring studierne varierer afhængigt af formålet med undersøgelsen, ligesom de undersøgte parametre varierer afhængigt af

formålet med studiet. Det er overordnet svært at sammenholde de forskellige litteraturstudier på grund af disse forskelle.

Nogle af studierne tager udgangspunkt i partikelstudier, hvorfor der er benyttet avanceret måleudstyr til præcis at se på partikelstørrelser og partikelmasser. Andre studier har fokus på helbredseffekter, hvorfor der er skelet mere til emission af organiske forbindelser og PM_{2.5}. Endvidere er der andre, som forsøger at klarlægge effekterne af indhold af fx duftstoffer, mens der i andre studier overvejende fokuseres på indhold af specifikke indholdsstoffer som fx bly. Overordnet konkluderer de forskellige studier, at partikelemissionerne fra levende lys udgør en betragtelig andel af den indendørs partikelforurening, folk udsættes for. Desuden viser studierne, at vokstype og renhed af voksen, samt om lyset brænder roligt eller er udsat for træk spiller afgørende ind på mængden og typen af udledte partikler. Herudover viser flere af studierne, at forskellige organiske forbindelser ofte udledes fra de tændte, levende lys, og afhængigt af eksponeringsscenariet kan forekomme i koncentrationer over gældende grænseværdier fra fx WHO, og at lys kan indeholde bly og nikkel.

Overordnet kan det konkluderes, at der foreligger megen tilgængelig litteratur, men at det kan være svært at identificere relevante studier til at danne grundlag for nærværende studie.

Kortlægning

Der er i projektet lavet en kortlægning af salget af hvide stagelys på det danske marked. I perioden 18. juni til 19. august 2015 blev der foretaget 36 butiksbesøg hos detailkæder, stormagasiner og mindre specialforretninger, som alle sælger levende lys. Der blev identificeret 129 forskellige, levende lys fordelt på 56 forskellige mærker. Af disse var 32 hvide stagelys, mens de resterende var farvede lys. Nedenfor findes brændetiden, pris, vokstype mm beskrevet for de 32 hvide stagelys:

- Brændetiden for de enkelte lys er på pakningerne anført til mellem fem og 14 timer.
- Lysenes stykpris varierer mellem 1,20-25,00 kr./stykket.
- Ca. 1/3 af lysene var betegnet som stearinlys (vokstype stearin), 1/3 *Ukendt* og den sidste 1/3 udgøres af vokstyperne paraffin og forskellige typer vegetabilsk voks.
- Syv af lysene er svanemærkede.
- Ca. halvdelen af lysene er produceret i Danmark, EU/Letland, for knap halvdelen er oprindelseslandet ukendt, mens to af lysene er fra Kina.
- På 17 af lyspakningerne var yderligere kundeinformation, som fx "brænder med en klar og rolig flamme", "Lyset bliver ikke bøjet af varme omgivelser", "CO₂-neutralt råmateriale", "Danish quality control", "Godt miljøvalg", "Gennemfarvede – dyppede – selvslukkende", "Stearin, dyppet i farve i yderste lag for kulørtlys", "Håndlavede", "Lys med kanal så de ikke kan dryppe", "Hånddyppede", "Rodebutik", "Vægen er fremstillet af Ökotex certificeret bomuld" og "I genbrugsbutikken kan du indlevere dine gamle stearinrester – hvorefter de smelter dem om til nye lys".

Otte større danske detailkæder blev kontaktet i perioden 26. marts til 16. april 2015 med henblik på at indhente information vedrørende salg af levende lys på det danske marked. I alt besvarede fire detailkæder (COOP, Dansk Supermarked, IKEA og Dagrofa) det fremsendte spørgeskema. Af de indhentede oplysninger fra spørgeskemaundersøgelsen fremgik, at ca. 90 % af de omkring 45 mio. årligt solgte stagelys er hvide stagelys.

Sundhedsmæssig vurdering

Afbrænding af levende lys har stor betydning for indeklimaets indhold af partikler. I projektet blev der derfor foretaget en indledende sundhedsmæssig vurdering for at belyse, hvilke mulige sundhedsskadelige effekter der kan opstå ved udsættelse for partiklerne der dannes ved afbrænding af levende lys.

I en undersøgelse omfattende 56 danske boliger blev der målt gennemsnitsniveauer af ultrafine partikler (dvs. partikler < 100 nm) på mellem $1,5 \times 10^3$ partikler/cm³ og $2,5 \times 10^5$ partikler/cm³. Levende lys blev i denne undersøgelse udpeget som en væsentlig kilde til de højeste partikelniveauer i de hjem, hvor der benyttes levende lys, hvor i gennemsnit op til 60 % af partiklerne i hjemmet stammede fra afbrænding af levende lys.

Ved gennemgang af litteraturen er der imidlertid ikke fundet nogen konkrete undersøgelser, der belyser den sundhedsmæssige betydning af partikler fra afbrænding af levende lys. Data fra det danske CISBO-projekt peger dog på, at der hos beboerne er påvist en lettere grad af påvirkning mht. hjerte-kar-funktion og lungefunktionen relateret til forhøjede niveauer af ultrafine partikler i boligen.

I andre undersøgelser, hvor man har opsamlet og målt partikler fra levende lys, har man påvist kendte sundhedsskadelige komponenter, såsom bly og nikkel samt polyaromatiske kulbrinter (PAH-stoffer herunder benz(a)pyren).

Udeluftens partikelindhold er langt bedre undersøgt end partikelindholdet i indeklimaet. I udeluften måles årlige gennemsnitlige partikelniveauer på 15×10^3 - 18×10^3 ultrafine partikler/cm³ på de værst trafikerede gader, og på stærkt trafikerede gader i København når partikelniveauerne i myldretiden op på 30-40 000 partikler/cm³. Da udeluftens partikelindhold er kendt for at have omfattende sundhedsskadelige effekter, kan det derfor give anledning til bekymring om, hvorvidt partikler fra levende lys også kan medføre tilsvarende sundhedsskadelige effekter.

Viden vedr. den sundhedsmæssige betydning af partikler fra levende lys (og partikler i indeklimaet i det hele taget) er meget begrænset, og der foreligger ikke som for udeluften sundhedsbaserede grænseværdier for indeklimaet mht. indhold af partikler. Imidlertid vurderes viden m.h.t. de sundhedsskadelige effekter fra partikler i udeluft at kunne give et fingerpeg om, hvilke effekter, der kan forventes i forbindelse med partikelforurening i indeklimaet. Dette vil kun være indikationer, da det forventes at partikler i indeklimaet og udeluft vil have en forskellig kemisk sammensætning.

Partikelemissionsmålinger og kemisk indholdsanalyse

Der blev i kortlægningen identificeret 129 forskellige stagelys, hvoraf hvide stagelys udgør 32 stk. De 32 forskellige hvide stagelys er udvalgt til partikelemissionsmåling og kemisk indholdsanalyse. Valget af hvide stagelys begrundes i, at hvide stagelys udgør ca. 90 % af det samlede stagelyssalg på det danske marked.

Til måling af partikelemission fra de tændte, levende lys er der benyttet følgende metoder.

- SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer)
- DustTrak
- Filteropsamling til efterfølgende kemisk analyse af emitterede partikler for indhold af bly og nikkel

Partikelemissionskoncentrationen blev målt henholdsvis tæt ved lyskilden (20 cm over flammen) og ude i rummet (1,5 m fra de tændte lys). Først blev målingerne på de tændte, levende lys foretaget som målinger af en kildekonzentration. Disse målinger er foretaget på alle 32 lys i klimarum med styring af temperatur, luftskifte og luftfugtighed. Dernæst blev der på baggrund af de målte kildekonzentrationsmålinger udvalgt 12 lys (5 paraffinlys og 7 stearinlys) til måling af rum/eksponeringskoncentrationen af partikelemissionen. Disse målinger blev foretaget ved samtidig afbrænding af to lys af samme type i et klimarum på 20 m³ med et luftskifte på 0,5 gang i timen.

Det var på forhånd defineret, at lysene skulle måles under optimale brændeforhold, og derfor var de tændte, levende lys under målingerne placeret i en trådnetscylinder af defineret størrelse og med defineret luftgennemtrængelighed, jf. DS/EN 15426.

Det blev fundet i undersøgelsen af både kildekonzentration og rum/eksponeringskoncentration, at levende lys af vokstypen stearin i gennemsnit udleder dobbelt så mange ultrafine partikler som lys af paraffin, med koncentrationer på henholdsvis 19 mio. partikler/cm³ og 7,8 mio. partikler/cm³ målt ved kilden og henholdsvis 0,8 mio. partikler/cm³ og 0,46 mio. partikler/cm³ målt ude i rummet, dog med stor variation og overlap mellem lys af de to vokstyper. Voks af typen *Ukendt* udleder i gennemsnit 9,8 mio. partikler/cm³ målt ved kilden.

Ligeledes blev det fundet, at stearin og *Ukendt* voks udledte en større partikelmasse end paraffin, alle dog i lave koncentrationer (under 5 µg/m³).

Den gennemsnitlige partikelstørrelse for de emitterede partikler målt i rummet ligger mellem 11 nm og 26 nm, hvilket er større end størrelsen af partiklerne målt ved kilden, som blev målt til at ligge mellem 7-18 nm. Resultatet indikerer, at sker en agglomeration af partiklerne ude i rummet, og det blev observeret, at emissionen fra stearinlys agglomererede til større partikler end emissionen fra paraffinlys. Alle udledte partikler er meget små partikler, som ligger i et relativt snævert størrelsesinterval, hvis det holdes op mod *respirable partikler*, som er partikler med en størrelse under 2,5 µm (2.500 nm).

Der er på de 32 udvalgte lys foretaget kemisk analyse for indhold af bly og nikkel i voks henholdsvis væge samt på opsamlede partikler på filtre. To lys fra hver af de 32 lystyper blev analyseret. Der blev påvist bly i fire af lysenes voks, mens to af lysenes voks indeholdt nikkel. De kemiske analyser viste også, at en stor del af vægerne indeholdt bly, dvs. 26 ud af de 32 forskellige lystyper indeholdt bly i mindst et af de testede lys. Der blev observeret stor variation i indholdet af bly og nikkel, også mellem lys fra samme lystype. Der er også konstateret indhold af bly og nikkel i svanemærkede lys.

Eksponeringsscenarier og risikovurdering

Projektet skal afklare, om der er en sundhedsmæssig risiko ved ophold i rum med de undersøgte tændte, levende lys. Der er således opstillet to eksponeringsscenarier, som både er enkle og realistiske i forhold til brugen af levende lys.

I projektet blev følgende brugerscenarier anvendt til at belyse forbrug af levende lys hos to forskellige typer af forbrugere:

Eksponeringsscenarie 1, regelmæssig bruger

Dette scenarie skal repræsentere den regelmæssige bruger af levende lys, der i weekenden (fredag, lørdag og søndag) har to lys tændt otte timer dagligt. Endvidere opsplittes scenariet i underscenarier med optimal forbrænding og sodende forbrænding.

Eksponeringsscenarie 2, storforbruger

Dette scenarie skal repræsentere storforbrugeren af levende lys, der dagligt året rundt har tændt fire levende lys otte timer om dagen. Dette scenarie kan betragtes som "worst case". Endvidere opsplittes scenariet i underscenarier med optimal forbrænding og sodende forbrænding. Ved sodende forbrænding i dette scenarie anslås to af de fire lys at være placeret i træk medførende sodende forbrænding, idet det skønnes urealistisk, at alle lys afbrændes med urolig og sodende flamme.

Sodende forbrænding er ikke undersøgt i dette projekt, og eksponeringsscenarierne med sodende forbrænding vurderes derfor på baggrund af data fra Pagels et al. (2009), som har undersøgt

emission fra to forskellige stagemlys (et hvidt stearinlys og et blåt blandingslys af stearin og paraffin). Pagels et al. påviste store forskelle i partikelemissionen, afhængigt af om lyset brænder med rolig ikke-sodende flamme (optimal), eller om det brænder med sodende urolig flamme (sodende).

Scenarierne vurderes for anvendelsen af de forskellige vokstyper hver for sig.

Partikelmassen i luften (PM_{2.5}) blev beregnet som gennemsnitlige koncentrationer over et år for de anførte bruger-eksponeringsscenarier, idet de sundhedsskadelige effekter i mest udpræget grad er relateret til den gennemsnitlige eksponering af PM_{2.5} over længere tid. I dette projekt beregnes niveauer fra 0,0008 mg/m³ for scenarie 1 ved optimal forbrænding af to paraffinlys (gennemsnit for alle paraffinlys) og op til 0,013 mg/m³ for scenarie 2 ved optimal forbrænding af 4 stearinlys (stearinlys med højeste partikelmasse). Baseret på studiet af Pagels et al. beregnes niveauer fra 0,006 mg/m³ for optimal forbrænding af to blandingslys af stearin og paraffin (scenarie 1) og op til 0,282 mg/m³ for fire blandingslys af stearin og paraffin med sodende afbrænding af to af lysene (scenarie 2). Beregningerne viser således en markant højere eksponering ved sodende afbrænding af lysene.

M.h.t. antallet af ultrafine partikler i luften blev koncentrationen af disse under afbrænding i de forskellige scenarier i dette projekt beregnet til mellem 916.000 partikler/cm³ (scenarie 1 med paraffinlys) og 3.200.000 partikler/cm³ (scenarie 2 med stearinlys). Baseret på studiet af Pagels et al. beregnes niveauer mellem 135.000 partikler/cm³ (scenarie 1 med blandingslys af stearin og paraffin) og 1.140.000 partikler/cm³ (scenarie 2 med stearinlys). Det højeste niveau blev i begge undersøgelser beregnet ved optimal forbrænding af fire stearinlys (scenarie 2).

Risikovurdering, partikelmassekonzentration PM_{2.5}

Der foreligger ikke nogle grænseværdier for partikelmassen i indeklimaet. Et fingerpeg om den sundhedsmæssige betydning kan dog opnås ved at sammenligne med sundhedsbaserede grænseværdier for udeluften. Dette vil kun give en indikation, da det forventes at partikler i indeklimaet og udeluft vil have en forskellig kemisk sammensætning. Idet de beregnede eksponeringsniveauer for partikelmassekonzentrationen (PM_{2.5}) sammenlignes med WHO's anbefalede grænseværdi for PM_{2.5} i udeluften på 0,010 mg/m³, ses det at for målingerne i dette projektoverskrides denne grænseværdi kun i scenarie 2 (optimal forbrænding af 4 lys samtidigt) for det stearinlys der havde den højest udledte partikelmasse. De beregnede værdier baseret på målingerne af Pagels et al., der også målte ved sodende forbrænding, overskrider derimod WHO's grænseværdi i alle scenarier (på nær scenarie 1 med paraffinlys). Største overskridelse i forhold til WHO's årsværdi på 0,010 mg/m³, hvor denne overskrides med op til 28 gange, opnås for scenarie 2 med fire blandingslys af paraffin og stearin, hvoraf to af lysene soder.

Man kan ikke direkte overføre udeluftsgrenseværdierne til indeluft og dermed anvende disse for emission fra levende lys, men ved at sammenligne værdierne kan dette dog give en første indikation m.h.t. sundhedsskadelige effekter som følge af partikelemission fra levende lys i de anførte scenarier, hvor især scenarier med stort forbrug af lys og sodende afbrænding medfører høje partikeleksponeringer. Om denne ekstra partikeleksponering med fine partikler (PM_{2.5}) – ligesom i udeluften - kan føre til øget forekomst/forværrelse af hjerte-karlidelser og luftvejslidelser blandt brugere bør undersøges nærmere fx ved at undersøge den kemiske sammensætning af partikelemissionen fra levende lys og sammenligne den med indholdet i udeluften.

Risikovurdering, partikelantalskoncentrationen

Der foreligger ikke sundhedsmæssigt baserede grænseværdier m.h.t. antallet af ultrafine partikler i luften, hverken i udeluften eller i indeklimaet. Dette skyldes, at viden fortsat er begrænset m.h.t.

den kvantitative sammenhæng mellem partikelantalskoncentrationen i luften og sundhedsskadelige effekter.

På baggrund af de seneste data opnået i forbindelse med det danske CISBO-projekt vil det imidlertid være forventeligt, at udsættelse for øgede niveauer af partikelantallet kan have negativ indflydelse på lunger og hjerte-karsystemet.

Det skal bemærkes, at primærpartiklerne fra levende lys er meget små (ca. 5 - 30 nm), og at disse partikler ved deponering i luftvejene hovedsageligt vil aflejres i de yderste lungeforgreninger (alveolerne), hvorfra de uopløselige dele af partiklen kun meget langsomt fjernes (måneder til år). Deponeringen og den mulige ophobning i de yderste luftvejsforgreninger vil kunne medføre fremkaldelse af sundhedsskadelige effekter.

Som nævnt afgiver stearinlys i gennemsnit flere partikler end paraffinlys (og også en større partikelmasse). Det er dog forbundet med stor usikkerhed herudfra at konkludere, at stearinlys må anses for mere sundhedsskadelige end paraffinlys, idet dette vil kræve mere viden om partiklernes sammensætning. Afbrændingsomstændighederne vurderes at være af større betydning, end hvorvidt lyset er af stearin eller paraffin, idet et lys, der brænder med sodende flamme, medfører et væsentligt forøget PM_{2.5}-niveau og kulstofniveau i luften, som er meget større end den fundne forskel mellem stearin og paraffinlys, hvilket anses for særligt sundhedsmæssigt betænkeligt.

Risikovurdering, bly og nikkel

De målte niveauer af bly og nikkel i lysene i denne undersøgelse er så lave, at det vurderes, at der ikke opnås sundhedsmæssigt betænkelige eksponeringsniveauer, idet EU's grænseværdier for stofferne ikke overskrides (henholdsvis 0,5 µg/m³ for bly og 0,020 µg/m³ for nikkel i udeluften).

Ud fra erfaringerne fra dette projekt og som en overordnet sundhedsmæssig anbefaling kan det tilrådes at sørge for at lysene brænder med rolig og ikke-sodende flamme, hvilket kan reducere partikelforureningen betydeligt, da et sodende lys kan udsende en 30-70 gange større mængde kulstofpartikler til luften end et ikke-sodende lys. Ved valg af lys bør man således først og fremmest prioritere lys, der brænder med rolig og ikke-sodende flamme.

Ordforklaring

Forkortelse	Forklaring
AAS	Atomic absorption spectroscopy
BTEX	Akronym for benzen, toluen, ethylbenzen og xylener
CCT	Collision Cell Technology
CPC	Condensing Particle Counter
GC-MS	Gas chromatography–mass spectrometry
HS-PTR-MS	High sensitivity proton transfer reaction – mass spectrometer
ICP-AES	Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy
ICP-MS	Inductively coupled plasma mass spectrometry
ICP-OES	inductively coupled plasma optical emission spectrometry
KED	Kinetic Energy Discrimination
LAS-X	Laser aerosol spectrometer
NO _x	Samlet betegnelse for NO og NO ₂
POA	Primary organic aerosol
SOA	Secondary organic aerosol
SMPS	Scanning mobility particle sizer
PAH	Poly aromatic hydrocarbon
PCIS	Personal cascade impactor sampler
PM	Particulate Matter
PTR-MS	Proton transfer reaction – mass spectrometer
TEOM	Tapered element oscillating microbalance
TGA	Thermogravimetric analysis
UV	Ultraviolet
VOC	Volatile organic compound
XAD ₂	Kemisk adsorptionsmateriale
XRF	X-ray fluorescence

1. Introduktion

Projektet er en del af kemikalieindsatsen, hvor der fokuseres på forbrugernes udsættelse for farlige kemiske stoffer. I den forbindelse ønsker man at fokusere på levende lys, da en undersøgelse viser, at 39 % af danskerne dagligt eller næsten dagligt tænder levende lys i deres bolig. Undersøgelsen viser også, at fyrfadsllys er de mest populære lys blandt danskerne (87 % tænder fyrfadsllys) efterfulgt af bloklys (56 %) og stagelys (53 %), og at 41 % af danskerne har tre-fire lys tændt ad gangen (YouGov undersøgelse foretaget for Bolius, november 2014).

De tændte, levende lys afgiver stoffer og partikler, der kan medføre forurening af indeklimaet. Miljøstyrelsen har tidligere foretaget en kortlægning af levende lys, hvor der blev påvist små mængder tungmetaller i lysene, både i voksen og i vægen, men selve emissionen af tungmetaller under afbrændingen af lysene blev ikke undersøgt. Desuden blev prøver af røggassen fra tændte lys analyseret nærmere, og her var især partikelafgivelsen dominerende (Miljøstyrelsen, 2002).

1.1 Formål med opgaven

Formålet med projektet er at få et overblik over den partikelforurening, som udsendes fra stagelys (diameter 20-26 mm). Projektet belyser koncentrationen af partikelemissionen fra de tændte stagelys, herunder særligt de respirable/ultrafine partikler, samt mængden af bly og nikkel, som lysene kan afgive, mens de brænder. Projektet omfatter desuden en vurdering af, om der er en sundhedsmæssig risiko ved ophold i rum med de undersøgte tændte, levende lys.

1.2 Afgrænsning

Indeværende projekt inkluderer ikke duftlys, fødselsdagslys og "årstidslys" (juletræs-, påske-, kalenderlys).

1.3 Metode

Undersøgelsen har været inddelt i tre faser: kortlægning og baggrundsviden, analyse af levende lys og en sundhedsmæssig vurdering.

1.3.1 Baggrundsviden og kortlægning

Aktiviteten er opdelt i følgende underpunkter:

Litteraturgennemgang

Litteratursøgningen er blevet foretaget ved hjælp af søgning på diverse søgemaskiner såsom Google og Google Scholar, samt databaser over videnskabelig litteratur (Science Direct, Springerlink) ved brug af specifikke ord relateret til afbrænding af levende lys. Dette inkluderer bl.a. søgeordene "particles", "emission", "candles", "measuring", "methods", "stearinlys", "partikler", "Svanemærket", "soot", "particulate", "nickel", "lead" og "indoor". I Tabel 1 i Litteraturgennemgang er nævnt en række artikler/studier omhandlende partikelemission fra levende lys og undersøgelser af indhold af fx bly og nikkel i lysene.

Lovgivning og miljømærkning

Der er blevet søgt med diverse søgeord i google, herunder: "Levende lys lovgivning", "levende lys regulering", "svanemærket stearinlys", "levende lys partikler", "candels EU regulation", "candels legislation". Der er desuden blevet søgt på Miljøstyrelsens eller andre relevante instansers hjemmesider, hvor der er søgt på ord som fx "levende lys". Søgningerne resulterede i links til bekendtgørelser, forordninger, rapporter fra Miljøstyrelsen, populærvidenskabelige artikler samt rapporter omhandlende kriterierne for miljømærkning af levende lys. Disse kilder har dannet grundlag for teksten om lovgivning og miljømærkning.

Kortlægning

Der er besøgt 36 butikker, herunder landsdækkende detailkæder (bl.a. IKEA, Bilka, Bahne, Søstrene Grene, Lidl, Fakta, Kiwi, Føtex, Rema 1000, Tiger, Kvickly, Aldi, Plantorama, ILVA, Inspiration og Illums Bolighus), stormagasiner (bl.a. Salling og Magasin), samt mindre specialforretninger (bl.a. Danmission, Bo Grønt, Sundhedskost, Alexandra Blomster, Ren Kost, Pariserhuset og Det gamle apotek) i Aarhus og omegn med henblik på at kortlægge markedsførte lystyper. Ved besøgene blev det noteret, hvilke typer stagelys, der blev markedsført. Tilgængelige emballageoplysninger på produkterne omhandlende bl.a. produktionsland, vokstype og renhed blev noteret.

I kortlægningen er der udfærdiget et spørgeskema (se bilag 1), som efter telefonisk kontakt til relevante virksomheder er udsendt på mail til kontaktpersoner i disse virksomheder. Der er rettet henvendelse til den indkøbsansvarlige/kvalitetsansvarlige for levende lys i de respektive butikker.

Indledende sundhedsvurdering

Litteratursøgningen og litteraturgennemgangen vedrørende emissioner fra lysene udbygges med en litteratursøgning vedrørende de sundhedsmæssige effekter af partikelemissioner fra levende lys. På baggrund af de indsamlede data gives en vurdering af de mulige helbredseffekter af de emitterede partikler, og de forskellige størrelsesfraktioner af disse, samt af partiklernes indholdskomponenter. Der tages stilling til i hvilken udstrækning, der kan opstilles sundhedsmæssigt baserede grænseværdier for emissionerne til brug i en efterfølgende risikovurdering i fase 3 af projektet.

2. Baggrundsviden

I løbet af de seneste 10-15 år er interessen omkring partikelemission fra levende lys steget betragteligt, hvilket skyldes nye og bedre måleteknikker samt et øget fokus på de helbredseffekter, der muligvis kan være i forbindelse med inhalering af ultrafine partikler.

I følgende kapitel beskrives lys og vokstyper med udgangspunkt i den nyeste litteratur på området.

2.1 Lys og voks

Et stagelys består af to komponenter, hhv. en voks og en væge¹. Voksen er ved stuetemperatur et fast stof, som smelter ved opvarmning. Til voksen kan der være tilsat additiver (tilsætningsstoffer), som fx farve, forskellige former for duftstoffer og ”metaloverflader”, som ikke er metal, men et organisk materiale, der ser ud som metal. Overordnet består en voks af estere, som er det kemiske produkt af langkædede fedtsyrer (16-36 carbon-atomer) og langkædede monovalente alkoholer (24-36 carbon-atomer). En voks er vandskyende og inddeles i fire undergrupper: mineralsk, animalsk, vegetabilsk og syntetisk. I de fire undergrupper ligger også andre ”brændsler” som vegetabilsk og animalsk fedt eller rene fedtsyrer, som udgør vegetabilsk og animalsk stearin.

En voks skal være fast ved stuetemperatur og have så højt et smeltepunkt, at lyset ikke bøjer i sollys (Miljøstyrelsen, 2002). Da lysene typisk afbrændes indendørs, er det endvidere vigtigt, at voksen ikke indeholder for mange urenheder, der kan give problemer med forurening (sod) ved afbrænding. Betegnelsen voks benyttes bredt i mange sammenhænge. I denne rapport anvendes det som synonym for det brændbare materiale, som omgiver vægen i lyset. Voks benyttes for et komplekst stof, der ikke er specifikt kemisk defineret, men som kan være fremstillet af råolie (syntetisk voks eller paraffin) eller være af vegetabilsk eller animalsk oprindelse. Voks som stof er defineret ud fra fysisk-tekniske egenskaber. Voks skal have et smeltepunkt over 40 °C. Ved 40 °C skal det kunne smelte uden at dekomponere, og det skal have en blød og formbar overflade. Voks smelter normalt ved temperaturer mellem 50 og 90 °C. I nedenstående er de forskellige ingredienser i lys kort beskrevet.

- Vokstyper
 - Stearin: Stearin til levende lys er en blanding mellem stearinsyre (C₁₈ fedtsyre) og palmitinsyre (C₁₆ fedtsyre) og har typisk et smeltepunkt omkring 60-62 °C. Stearin giver lyset et hvidt udseende.
 - Paraffin: Paraffin til levende lys fremstilles af råolie, typisk C₂₂-C₂₈-kulbrinter, og er en blanding af paraffiner, isoparaffiner og cycloparaffiner. Smeltepunktet er typisk 52-62 °C, men kan være lavere i fx fyrfadslys, da de ofte indeholder C₁₈. Lysene bliver ofte betrukket med et lag paraffin med højere smeltepunkt omkring 70-75 °C, for at undgå at lysene drypper ved afbrænding. Da paraffin er et mineralskprodukt (Fisher Tropsch paraffin er syntetisk) og kan det indeholde rester af alifatiske og aromatiske kulbrinter samt af andre organiske forbindelser. Paraffin er en bred betegnelse, som også kan dække over visse alifatiske forbindelser og visse alkaner.
 - Vegetabilsk voks: Vegetabilsk voks er udtræk fra egnede træsorter, ofte forskellige palmesorter. (Plante-)voksen dannes i planternes overhud og virker som middel mod

¹ MST, 2002

udtørring og forsvarsmekanisme mod insektangreb². Smeltepunktet varierer meget efter vokstypen, men ligger op til 83 °C (fx for karnaubavoks). "Vegetabiliske vokse" fås ofte som palme-, soya- eller rapsolie.

- Animalsk voks: Fx voks baseret på hvaler (spermacet, ikke længere relevant i Danmark) eller bivoks. Voks produceret af bier er et råmateriale, der anvendes til dyre, dekorative lys og lys til religiøse formål. Den romerskkatolske kirke forlanger fx et minimumindhold af bivoks på 10 % (Wolfmeier et al., 1986). Det betyder, at bivoks primært anvendes i Sydeuropa og Amerika.
- Gelé: Gelé til lysfremstilling består af råolie og primært amorfe kulbrinter (sod er et eksempel på en amorf kulbrinte) og kan indeholde rester af alifatiske og aromatiske kulbrinter samt andre organiske forbindelser. Gelé har ikke noget smeltepunkt.

- Væger³

- Væger fremstilles som hovedregel af bomuld og kan have forskellig udformning og tykkelse afhængigt af vokstype, lystype og tykkelse af lyset. Dimensionerne af vægen afgør smeltning, fordampning og afbrænding af lysmaterialet, ligesom vægen transporterer den flydende voks fra smelteområdet til forbrændingszonen. Væger kan være imprægnerede for at sikre stivhed, for at undgå total afbrænding ved antændelse og beskytte mod nedbrydning pga. den varme voks. Det har tidligere været almindeligt at benytte metaltråde af fx bly, tin eller zink til imprægnering af væger, mens det i dag er ulovligt at benytte bly til imprægnering af væger⁴.

- Farver⁵

- Farvning af lys kan ske på forskellig vis. De store lysproducenter udvikler nye farvevarianter årligt for at tilpasse lysene tidens trend (farvevalget hænger ofte sammen med evt. tilsat duft til et lys). Farvning sker typisk enten som en gennemfarvning af lyset (et tilsat farvestof "dye" til voksen) eller som en coatning af lyset (med farvestof/pigment).
- *Dyes* er tilgængelige i både flydende og fast form, tilsættes voksen under fremstillingsprocessen, og er nemme at håndtere for producenterne. *Dyes* er som udgangspunkt letforbrændelige, organiske forbindelser og vil ikke påvirke selve måden lyset brænder på.
- Pigmenter er små, faste partikler, der typisk benyttes til at farve overflader (på tilsvarende vis som maling). Pigmenter er som udgangspunkt uopløselige og vil ikke miste farve over tid. Da pigmenter ikke er letforbrændelige, risikerer disse at påvirke lysets forbrænding. Det er grunden til, at pigmenter typisk kun benyttes til at farve lysene på overfladen og ikke som gennemfarvede lys.
- Private (og nogle mindre lysstøberier) bruger i udpræget grad farven fra farvekridt⁶ til farvning af lys. Kridtet formales og iblandes voksen inden støbeprocessen.

² [http://www.denstoredanske.dk/It, teknik og naturvidenskab/Kemi/Br%C3%A6ndelsesmidler - kul, t%C3%B8rv og gas mv./voks](http://www.denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Kemi/Br%C3%A6ndelsesmidler_-_kul,_t%C3%B8rv_og_gas_mv./voks)

³ MST, 2002

⁴ <http://www.cancer.dk/forebyg/rens-luften/luftforurening/indendoers-luftforurening/stearinlys2/> - henvisning til Miljøstyrelsen, 2002

⁵ <http://candles.org/elements-of-a-candle/colorants/>

⁶ <http://www.ourcandlemaking.com/giving-colors-to-your-candles/>

2.2 Lovgivning og miljømærkninger

Der er forbud mod import og salg af produkter, herunder levende lys, der indeholder bly i koncentrationer over 100 ppm i Danmark (BEK 856, 2009 - specifikt bilag 2 produktkategori 2). Ud over forbuddet mod indhold af bly er der ingen krav om, hvilke stoffer levende lys må indeholde. Der er ingen lovmæssige forbud mod nikkel i levende lys, idet kun produkter, der kan forventes at være i direkte og længerevarende kontakt med huden, er dækket af EU-forordningen på området (EF Nr. 1907/2006, bilag XVII, punkt 27).

Som alle andre produkter i EU skal levende lys, i fravær af specifik lovgivning og regulering, leve op til EU's General Product Safety Directive (GPSD), som angiver en generisk definition på et sikkert produkt. I Danmark gennemføres GPSD via Produktsikkerhedsloven. Producenter opfordres desuden til at efterleve de relevante standarder fra den europæiske komité for standardisering (CEN), hvilket for levende lys inkluderer en standard for produktsikkerhedsmærkater (EN 15494), en standard for specificering af brandsikkerhed (EN 15493) samt en standard, der omhandler måling af sodning (EN 15426). CEN-standarden for måling af sodning anbefaler, at lys ikke giver anledning til et gennemsnitligt sodindeks på over 1,0/time baseret på tre standardiserede målinger, og at sodindekset for hver individuel måling ikke bør overstige 2,0/time. Sodindeks er en simpel målemetode, som foretages ved, at en glasplade placeres i veldefineret afstand over det tændte lys. Efter en forudbestemt tidsperiode, fjernes glaspladen, og lysdæmpningen (pga. den afsatte sod) af glaspladen måles. Man kan ikke umiddelbart lave en præcis korrelation mellem sodindeks og antallet af frigivne partikler.

Svanemærket er en frivillig, nordisk miljømærkningsordning for diverse produkter, der stiller krav til miljø, sundhed, kvalitet og sikkerhed. Der stilles krav om, hvor meget et svanemærket lys må sode (sodindeks på 0,3/time i gennemsnitsværdi for tre prøver som almindelige stagelys, og ingen enkeltprøve over 0,6/time), og der er forbud mod indhold af blandt andet aromatiske og halogenerede opløsningsmidler, ftalater og aktiv tilsætning af en række tungmetaller såsom bly, cadmium, kviksølv, krom (CrVI), kobolt, antimon, zink, kobber, nikkel og aluminium. Vægen må ikke indeholde metaller. Derudover stiller mærket krav om, at 90 % af produktets råvarer er fornybare, hvilket begrænser indholdet af paraffin i lysene (paraffinen skal være fuldraffineret (hydreret) for at kunne blive svanemærket)⁷. Kravene er defineret ud fra ønsket om at begrænse brugen af petroleumsprodukter og ikke ud fra sundhedsmæssige overvejelser, hvorfor svanemærkede lys primært består af fornybare materialer, såsom animalsk stearin. Lys, der lever op til alle sundhedskravene, men som indeholder over 10 % paraffin, kan således ikke opnå svanemærkning.

Svanemærket har i november 2015 opdateret svanemærkningen af levende lys. Forslaget til opdaterede krav har bl.a. været sendt ud til høring blandt Danmarks ni største producenter af levende lys samt til Miljøstyrelsen. Den opdaterede version indeholder skærpede og differentierede krav til sodindeks alt afhængigt af lystype (fyrfadsllys, stagelys, bloklys og olielys (ny tilføjet lystype)).

⁷ Om Svanemærkede Levende Lys – Version 2.0. Baggrund til Miljømærkning, 2014.

3. Litteraturgennemgang

Inden for de seneste år er der blevet publiceret meget litteratur om partikelemission fra levende lys og om muligt indhold af bl.a. bly og nikkel i levende lys. Artiklerne er publiceret af diverse forskningsgrupper, som har haft forskellige formål med deres studier, hvilket vanskeliggør direkte sammenligninger. Artiklerne er identificeret, som anført i afsnit 1.3, ved hjælp af en række søgeord på diverse søgemaskiner (Google, Google Scholar) og databaser over videnskabelig litteratur (Science Direct, Springerlink).

I Tabel 1 er de væsentlige resultater og konklusioner fra udvalgte videnskabelige artikler opstillet. Artiklerne er udvalgt på baggrund af deres relevans for indeværende projekt, dvs. de generelt omhandler udledning af partikler og gasser fra levende lys. Desuden er der udvalgt artikler, som indeholder oplysninger om indhold af urenheder, herunder metaller. Disse artikler er i det efterfølgende beskrevet mere detaljeret. Artiklerne er udvalgt ud fra en vurdering af, hvor dækkende artiklens indhold er i forhold til formålet med denne undersøgelse.

TABEL 1
OVERSIGT OVER IDENTIFICERET LITTERATUR MED OPSUMMERING AF DE VIGTIGSTE KONKLUSIONER.

Artikel	Titel	Konklusion
Marco Derudi et al. (2014)	Emission of air pollutants from burning candles with different composition in indoor environments.	Test af tre (paraffin)lys i testkammer for kemisk sammensætning, VOC, PAH og partikler (PM). Resultater: vokstype og renhed spiller en stor rolle for udledningen.
A. Manoukian et al. (2013)	Emission characteristics of air pollutants from incense and candle burning in indoor atmospheres.	Ventileret testrum til test af røgelsespinde og levende lys (antal uoplyst). VOC og partikler målt med hhv. HS-PTR-MS og CPC. Fundet, at partikeludledning samt udledning af karcinogene forbindelser er sammenlignelige med WHO-grænseværdier.
Melanie Bothe et al. (2010)	Organic aerosol formation in citronella candle plumes.	Test af duftlys (citron, benyttes som udendørs antimyggelys) i smog chamber for dannelse af SOA under indflydelse af ozon (antal uoplyst). SMPS, PTRMS og UV benyttet til at fastslå stor dannelse af SOA.

Artikel	Titel	Konklusion
Joakim Pagels et al. (2009)	Chemical composition and mass emission factors of candle smoke particles.	To repræsentative koniske lys er testet i stålkammer for fysiske og kemiske egenskaber i de tre faser; stabil afbrænding, sodende afbrænding og ulmende (slukning). Første fase viste flest organiske salte, næste fase viste stor PM af sodagglomerater, og sidste fase viste primært organiske forbindelser.
Hsiao-Chi Chuang et al. (2011)	Combustion particles emitted during church services: Implications for human respiratory health.	Undersøgelsen viser, at udledte PM fra fem typer levende lys (og to typer røgelse) under kirkegang langt overskrider EU's retningslinjer for luftkvalitet.
Shirley J Wasson et al. (2002)	Lead in candle emissions.	Test af 100 levende lys for blyemissioner. XRF, AAS, cyklon og LAS-X-analyser. Blyindhold i væger er en stor kilde til blyforurening indendørs.
Jerome O. Nriagu et al. (2000)	Emissions of lead and zinc from candles with metal-core wicks.	14 lystyper med metalimprægnerede væger er testet for bly- og zinkudledning, hvilket viste høje koncentrationer ift. anbefalede mængder.
Gabriel Bekö (2013)	Ultra fine Particles: Exposure and Source Apportionment in 56 Danish Homes.	56 ikkerygerhjem blev undersøgt for total mængde ultrafine partikler i en periode på 45 timer. I hjem, hvor der blev brændt levende lys, var lysene kilde til over halvdelen af partikeleksponeringen.
Torben Eggert et al. (2002)	Kortlægning nr. 6, 2002: Indholdsstoffer i levende lys, der sælges i detailhandlen.	Seks lystyper blev kemisk analyseret og røgemissionerne karakteriseret for VOC'er. Forureningen fra lysene konkluderes at afhænge af lystype, da alle indeholdt små mængder af bl.a. bly og nikkel.

I et studie af Marco Derudi et al. er der foretaget et omfattende studie på tre paraffinbaserede glaslys (lys fremstillet i et glas, klar til brug) i et testkammer, for at undersøge hvordan den kemiske sammensætning spiller ind på udledningen af VOC, PAH og partikelemission. Følgende udstyr blev benyttet: GC-MS, TGA og ICP-OES. O₂, NO_x, SO₂, CO og CO₂ samt temperatur blev monitoreret i testkammeret. Desuden blev der opsamlet gasprøver på filtre, XAD2-rør og i gasposer til analyse, og ved PCIS blev der opsamlet partikler til massebestemmelse. Studiet fandt, at udledning af CO, SO₂, BTEX, PAH'er og PM-emissioner afhænger mere af voks-kvaliteten end af additiver tilsat voksen. Æteriske olier tilsat voksen har yderligere indflydelse på PM-emissionen, partikelstørrelses-formationen og mekanismen omkring partikeldannelse. Konklusioner er baseret på tre testede lys.

Manoukian et al. undersøgte, hvorledes afbrænding af levende lys og røgelsespinde influerer på indeklimaet. Der blev målt på partikelkoncentrationen med CPC samt dannelse af flygtige organiske forbindelser (VOC'er) med HS-PTR-MS. Målingerne blev foretaget kontinuert i et 32 m³ stort testrum med mulighed for at styre luftskiftet og monitorere temperatur og relativ luftfugtighed. Der blev i studiet fundet udledning af en bred vifte af VOC'er samt af karcinogene forbindelser, såsom benzen og formaldehyd, i koncentrationer tæt på WHO's grænseværdier (WHO 2010: 17 µg/m³ hhv. 100 µg/m³). Desuden blev der konstateret en stigende mængde partikler under hele forbrændingsprocessen.

Et studie foretaget af Melanie Bothe så på dannelsen af sekundære organiske aerosolforbindelser (SOA) i stearinlys-røg fra duftlys. Citronduftlys indeholder umættede æteriske olier, som potentielt danner SOA ved reaktion med ozon. Målinger er foretaget i testkammer med SMPS, PTR-MS og UV. Det blev fundet, at signifikante mængder umættede dampe blev udledt, hvilket førte til dannelsen af store mængder SOA under udsættelse for ozon.

Joakim Pagels et al. har foretaget et studie af to koniske lys (ren stearin hhv. blandingsprodukt af stearin og paraffin). Forholdet mellem stearin og paraffin er ikke angivet) for at karakterisere de fysiske og kemiske egenskaber af partikelemissionerne i tre opdeltede faser: stabil afbrænding, sodende afbrænding og ulmende (ved slukning). Formålet var at undersøge de fysiske og kemiske effekter af partikler fra tændte, levende lys i indendørsluft. Testene er foretaget under kontrollerede forhold i et 22 m³ stort rustfrit stål-kammer med styring af temperatur, relativ luftfugtighed og luftskifte. Analyser er foretaget med SMPS, CPC, TEOM samt cyklon og filteropsamling. Resultatmæssig fandt de, at hovedparten af partiklerne under stabil afbrænding består af letopløselige uorganiske salte som ammoniumfosfat, alkalinitrat og natriumklorid. Ved sodende afbrænding ses relativt høje niveauer af sod (elemental carbon/black carbon), mens partiklerne i ulmende tilstand er domineret af organisk materiale.

I et studie af Hsiao-Chi Chuang et al. fra 2011 blev der foretaget en karakterisering af forbrændingspartiklerne fra levende lys og røgelse under en højtidsmesse. Formålet var at belyse risikoen ved afbrænding af levende lys og røgelse i forbindelse med kirkelige handlinger. Undersøgelserne viste, at koncentrationerne var 91,6 µg/m³ PM₁₀ og 38,9 µg/m³ PM_{2.5} for hhv. levende lys og røgelse, hvilket begge er niveauer, som overstiger EU's guidelines for luftkvalitet (25 µg/m³ - se desuden Tabel 5)^{8,9}. Derudover blev udledning af partikler fra fem typer lys og to typer røgelse undersøgt i et smogkammer. Resultaterne viste, at udledning af partikler fra røgelsespinde kan udgøre en risiko for oxidative DNA adduktion, der er ca. 30 gange højere end for tobak.

⁸ http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf

⁹ <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

Den amerikanske pendant til Miljøstyrelsen, US Environmental Protection Agency (Shirley J. Wasson et al. (2002)), foretog i 2001-2002 et stort studie på 100 lys (målt i duplikat), hvor de undersøgte emissionen af bly fra lys med blyholdige væger (hvilket var otte ud af de 100. Af de otte var syv fra Fjernøsten). Formålet var at belyse, om lysvæger indeholder bly. Der blev benyttet XRF, AAS, cyklon og LAS-X til analyserne. Blyvægerne indeholdte mellem 39-74 % bly, det resterende var stof eller papir. Der blev fundet gennemsnitlige blymængder på 100-1.700 µm/h i testkammer, hvilket omregnet til realistiske indendørs forhold svarer til koncentrationer, der var højere end 1,5 µg/m³ (EPA fastsat grænse for blykoncentration i den omgivende luft) ved afbrænding af et enkelt lys eller over 50 µg/m³ (OSHA tilladelig eksponeringsgrænse) ved afbrænding af flere lys samtidig.

Jerome O. Nriagu et al. har i et ældre studie fra 2000 undersøgt frigivelsen af bly fra 14 forskellige mærker af levende lys tilgængelig i Michigan, USA, indeholdende metalimprægneret væger. Formålet med studiet var at belyse problematikken omhandlende levende lys med bly- og zinkholdige væger, idet dette potentielt kan udgøre en helbredsrisiko ifm. inhalering, men også igennem eksponering fra overflader, hvorpå metallerne deponeres efter afbrænding. Emissionerne af bly viste 0,5-66 µg/h, og for zink var emissionerne 1,2-125 µg/h. Målingerne blev foretaget i et testkammer, hvor metaldampene blev opfanget i en syrefælde. Artiklen konkluderer, at afbrænding af fire levende lys af denne type i to timer kan resultere i niveauer af metaller, der er potentielt skadelige for mennesker.

Et stort dansk studie foretaget af Gabriel Bekö et al. har undersøgt 56 danske ikkeryger-hjem i en periode på ~45 timer i hvert hjem for at undersøge, hvilken partikelkoncentration almindelige danskere udsættes for i deres eget hjem. Formålet med undersøgelsen var at afklare, hvorledes danskere udsættes for partikler i deres eget hjem, herunder hvor stor en andel af disse partikler som stammer fra levende lys. Med Nanotracer blev de ultrafine partikler (10-300 nm) målt i hele perioden, og begivenheder blev noteret i dagbog med klokkeslæt. Det har således været muligt at konkludere, hvad de største kilder til eksponering af nanopartikler er. Det blev fundet, at i hjem, hvor der blev afbrændt levende lys, stod disse for over halvdelen af hjemmets daglige eksponering af ultrafine partikler.

En kortlægning for Miljøstyrelsen i 2002 foretaget af Torben Eggert et al. havde til formål at undersøge, hvilke kemiske forbindelser der indgår, og hvilke kemiske forbindelser der afgives fra levende lys i forbindelse med afbrændingen. Seks forskellige typer af lys blev analyseret. Kemiske analyser viste, at lysene indeholdt relative små mængder tungmetaller, herunder bly og nikkel. De største koncentrationer blev fundet i vægerne. Derudover blev der i røggassen analyseret for VOC'er, herunder PAH'er og aldehyder, og sodningsgraden af lysene blev vurderet. Kortlægningen konkluderer, at forureningsgraden afhænger af, hvilken type lys man afbrænder, og at de væsentligste parametre, såsom vokstype, lysets dimensioner og imprægnering af væge, ikke forefindes på forbrugerinformationen.

3.1 Opsummering og konklusion

De fundne artikler viser, at partikelemissionerne fra levende lys generelt udgør en betragtelig mængde af den samlede partikeleksponering, ofte i nogle niveauer der er over gældende grænseværdier eller anbefalede mængder. Artiklerne viser, at måden, hvorpå lysene er analyseret og målt, varierer meget fra studie til studie, hvilket gør det svært entydigt at sammenholde værdier og derfra udlede en samlet konklusion mht. partikelforurening fra levende lys. Enkelte artikler viser, at en del af lysene kan indeholde voks og væge imprægnerede med fx bly eller zink, samt at blyemissionerne kan udgøre en potentiel helbredsskadelig risiko. Endvidere viser en ældre dansk undersøgelse af levende lys, at både væge og voks kan indeholde små mængder af bl.a. bly og nikkel.

4. Kortlægning

4.1 Introduktion til kortlægning

Der er som et led i kortlægningen af levende lys på det danske marked foretaget en række butiksbesøg i perioden 18. juni til 19. august 2015 med det formål, at identificere udvalget af levende lys. Dette er gennemgået i afsnit 4.2, hvorefter der i afsnit 4.3 gennemgås resultaterne af en spørgeskemaundersøgelse, som har været udsendt til nogle af de største detailkæder på det danske marked. Spørgeskemaundersøgelsen er udformet for at afdække, hvor stort markedet for levende lys er, herunder hvor stor andel stagelys udgør. Undersøgelsen er foretaget ved at kontakte de største aktører på markedet for at få det mest retvisende billede.

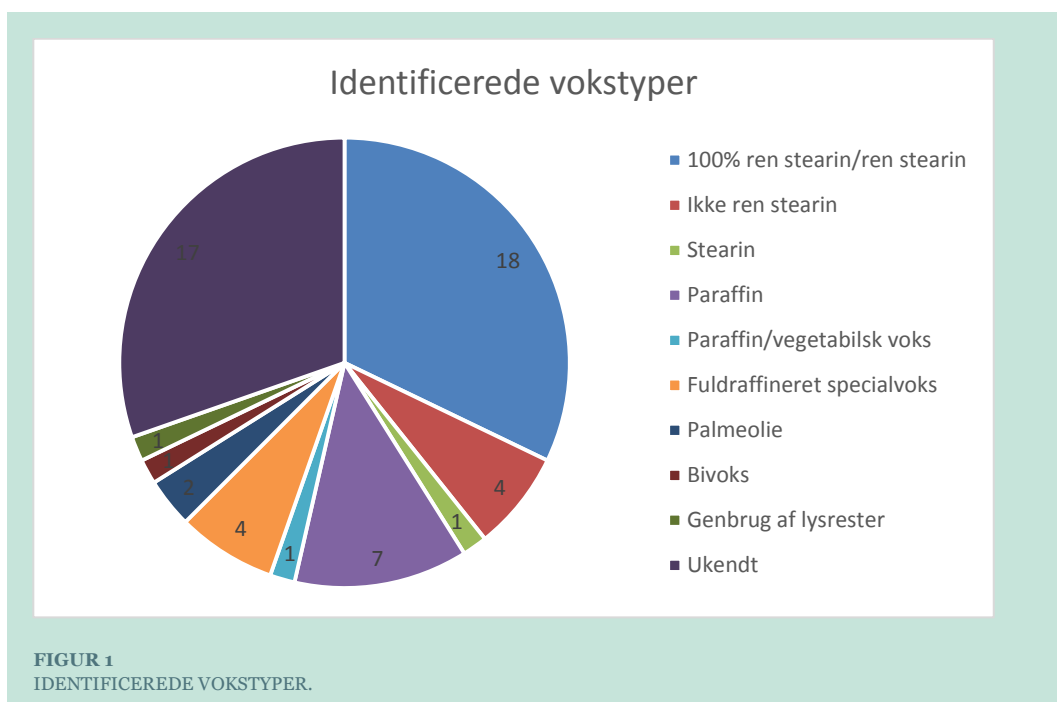
4.2 Butiksbesøg

I alt blev 36 butikker besøgt, herunder landsdækkende detailkæder, stormagasiner, samt mindre specialforretninger (se afsnit 1.3.1 for liste). Det vurderes, at salget af lys fra de besøgte butikker dækker langt hovedparten af solgte lys i Danmark. Otte af de besøgte butikker forhandlede ikke levende lys, mens de resterende 28 butikker markedsførte mellem 1-6 forskellige stagelys, heraf nogle i flere farvevariationer. I alt blev der identificeret 129 forskellige stagelys¹⁰ fordelt på 56 forskellige mærker (et "mærke" kan godt være markedsført i to forskellige butikker og vil i denne sammentælling tælle med begge steder). Både omfanget og detaljegraden af produktinformation (vokstype, brandtid, produktionsland og anden markedsføringsmateriale) på stagelysenes emballage var meget varierende.

Af de informationer, som blev fundet på emballagen, kan det nævnes, at diametrene for stagelysene varierer mellem 20-24 mm og højden mellem 14-40 cm. Butiksbesøgene viste, at 38 mærker af stagelys var hvide, og 32 mærker var farvede (dette giver i alt 70, men enkelte mærker af lystyperne kunne fås i flere farver, og derfor blev endelige antal af forskellige lys 129). Vokstyperne varierede, hvilket kan ses af Figur 1. Desuden havde fem pakninger fremhævet, at lysene var uparfumerede. På de 32 lys, hvor der var tilgængelige oplysninger, varierede brændetiden mellem 5-14 timer. Lysenes stykpris varierer for hovedparten mellem 1,20 – 5,00 kr. Derudover var der enkelte lysmærker, som kostede mellem 7,30-25,00 kr./stykket.

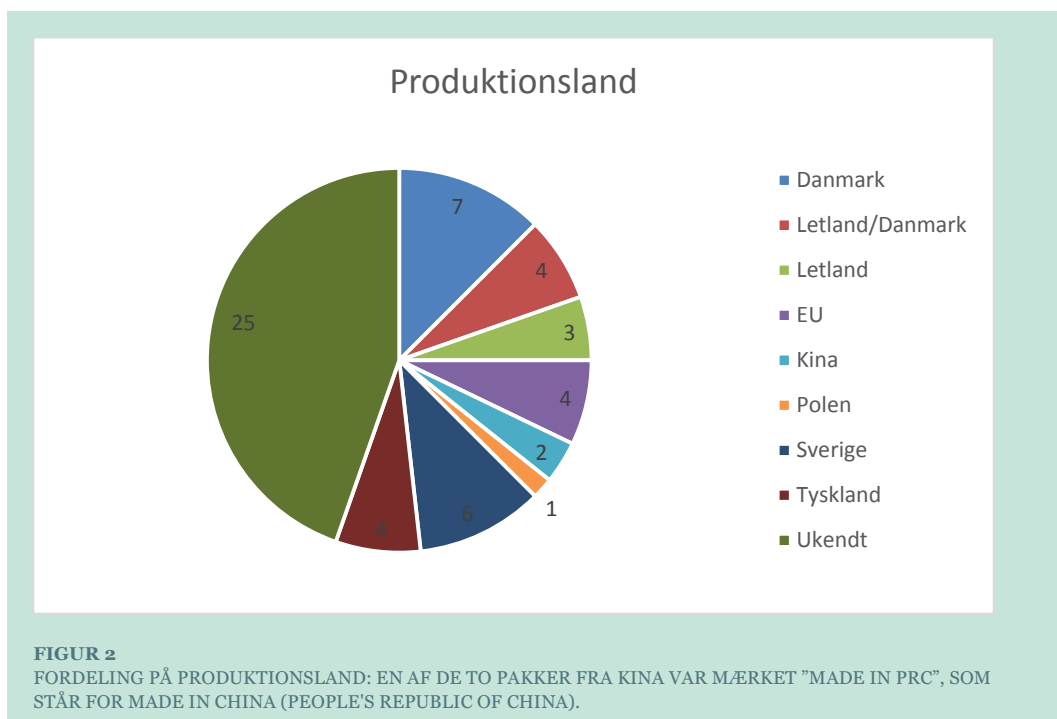
Som det fremgår af den nedenstående Figur 1, hvor de identificerede stagelys er kategoriseret mht. vokstype, udgør *stearin* og *Ukendt* hver ca. 1/3 af de identificerede lys. Den resterende 1/3 udgøres bl.a. af vokstyperne paraffin og forskellige typer af vegetabilsk voks.

¹⁰ Der er i projektet blevet identificeret 129 stagelys. Lys 128 + 129 mangler, hvorfor nummereringen går fra 1-131.



Af de identificerede stagelysmærker var syv svanemærkede.

Som det fremgår af Figur 2, er det for næsten halvdelen (25) af de identificerede lysmærker ikke opgivet, i hvilket land stagelyset er produceret. For de 31 stagelys, hvor fremstillingslandet fremgår af emballagen, oplyses det, at to lystyper er produceret i Kina, og de resterende 29 lys er fremstillet i Europa (heraf syv i Danmark).



17 af pakningerne var forsynet med yderligere kundeinformation. Det kunne fx være ”brænder med en klar og rolig flamme”, ”Lyset bliver ikke bøjet af varme omgivelser”, ”CO₂-neutralt råmateriale”, ”Danish quality control”, ”Godt miljøvalg”, ”Gennemfarvede – dyppede – selvslukkende”, ”Stearin, dyppet i farve i yderste lag for kulørtlys”, ”Håndlavede”, ”Lys med kanal så de ikke kan dryppe”, ”Hånddyppede”, ”Rodebutik”, ”Vægen er fremstillet af Ökotex certificeret bomuld” og ”I genbrugsbutikken kan du indlevere dine gamle stearinrester – hvorefter de smelter dem om til nye lys”.

4.3 Spørgeskemaundersøgelse

Otte større danske detailkæder blev kontaktet i perioden 26. marts til 16. april 2015 med henblik på at indhente information vedrørende salg af levende lys på det danske marked. I alt besvarede fire detailkæder (COOP, Dansk Supermarked, IKEA og Dagrofa) det fremsendte spørgeskema.

Spørgeskemabesvareelserne var for tre af respondenterne meget fyldestgørende, hvorimod den ene respondent kun besvarede dele af det fremsendte spørgeskema. I det nedenstående gennemgås besvareelserne fra spørgeskemaundersøgelsen, og forskelle og sammenfald fremhæves.

Det udsendte spørgeskema fremgår af Bilag 1.

4.3.1 Mængder

Stagelys er den næstmest solgte lystype i Danmark, kun overgået af fyrfadslys. Bloklys indtager tredjepladsen over solgte lys i Danmark, og antallet af bloklys ligger tæt på antallet af stagelys. Andelen af stagelys udgør omkring 17-30 % af det samlede salg af lys i Danmark. Omkring 45 mio. stagelys sælges hvert år fra de fire detailkæder, heraf er ca. 90 % hvide stagelys. Tallene i besvareelserne varierer fra 20.000 til 18 mio. stk./år.

På baggrund af de modtagne, besvarede spørgeskemaer vurderes det, at kortlægningen dækker ca. 90 % af de solgte levende lys (stagelys) i Danmark. Det er ikke muligt at få tallene bekræftet af Dansk Statistik.

4.3.2 Fabrikanten

De mest solgte mærker inkluderer bl.a.: ASP, Änglemark, Bahne Engros, Diana, Ideas Daily (ID), IKEA (private label), Irma, No name og Windsor.

4.3.3 Virksomhedernes kriterier for valg af lys

Der ligger forskellige kriterier til grund for virksomhedernes valg af de mærker levende lys, de fører i deres butikker. Gennemgående spiller kvaliteten af lysene ind som den hovedafgørende faktor. Materialevalget afgøres på baggrund af en vifte af faktorer – lige fra bl.a. interne testprocedurer over europæiske teststandarder for sod og brandtest til lysets størrelse, forpakningsstørrelse, farve, pris og sæson. Mere end halvdelen af besvarelserne indikerer, at prisen spiller afgørende ind på valget af lys. Prisen hænger typisk sammen med kvalitet, brændetid og størrelse.

For omtrent halvdelen er det danske svanemærke en kvalitetsparameter, som er afgørende for detailkædernes valg af førte lys, mens den anden halvdel ikke benytter dette som udvælgelseskriterie. To besvarelser indikerer, at asiatiske lande som fx Kina og Malaysia fravælges som produktionsland, typisk fordi man har oplevet problemer med kvaliteten. Her er det en afgørende parameter for valg af lys, at de er produceret i Danmark eller EU (eller generelt nærområdet for salget af lysene).

En større detailkæde har foretaget en intern undersøgelse (udført af forskere fra DTU) af samtlige lysmærker, der føres i kæden. Undersøgelsen afdækkede bl.a. partikelafgivelsen fra forskellige levende lys i diverse brugssituationer. Undersøgelsen er foretaget for at give detailkæden interne informationer om udledning af partikler i brugssituationer, så kæden kan forholde sig til disse resultater, såfremt der bliver rettet henvendelse til dem desangående. Undersøgelsesrapporten er fortrolig, og resultaterne er derfor ikke gengivet eller refereret til under kortlægningsafsnittet.

4.3.4 Vokstyper og vægetyper

Tre af detailkæderne har kendskab til, hvilke råvarer der benyttes til fremstilling af lysene enten som direkte viden eller via deres engrosled. Stagelysene er typisk fremstillet af 100 % stearin, paraffin eller ofte animalsk eller vegetabilsk fedt. Stearinen er i nogle tilfælde svanemærket, mens paraffinen i nogle tilfælde er RAL-certificeret (tysk certificering af råvarer). I de tilfælde, hvor spørgsmålet om vokstype er besvaret, benyttes disse oplysninger som parameter for udvælgelse af lysene. En butikskæde oplyser, at de kun fører paraffinlys, mens de resterende butikskæder oplyser, at størstedelen af de solgte stagelys består af *stearin* (mellem 80-100 %), og den resterende andel udgøres af paraffin (0-20 %). Få lys er af andre vokstyper, såsom vegetabilsk voks.

Halvdelen af besvarelserne viste, at der er kendskab til vægetypen. Her oplyses det, at vægerne består af bomuld, som kan være fremstillet på forskellig vis eller ud fra forskellige teknikker. I et tilfælde er vægerne ikke-imprægnerede, mens de i et andet tilfælde er imprægnerede med det formål at optimere brænde- og slukningsprocessen. Der er ikke oplyst konkrete imprægneringer, hvoraf det kan ses, hvad der er benyttet som imprægneringsmiddel. Lysets størrelse, form og råmateriale har indflydelse på valg af imprægneringsmetode.

4.3.5 Sammenfatning

De modtagne besvarelser i kortlægningen viser, at stagelys er den lystype, som er den næstmest solgte lystype i Danmark. Ca. 90 % er hvide stagelys, hvoraf ca. 1/3 er stagelys af *stearin*. Butikskæderne benytter ofte viden om lysenes produktionsland, kvalitet, brændetid, pris m.m. til at udvælge deres markedsførte lyster. Certificeringsmærker som Svanemærket benyttes i halvdelen af tilfældene som et udvælgelseskriterium.

5. Sundhedsmæssig vurdering

I dette kapitel fokuseres på de mulige sundhedsskadelige effekter i forbindelse med udsættelse for de partikler, der dannes ved afbrænding af levende lys. Partikler kan beskrives og måles på mange måder, og det er derfor indledningsvist nødvendigt at beskrive måling og karakterisering af partikler i luften lidt nøjere, inden de sundhedsmæssige effekter af partiklerne og indholdsstofferne heri beskrives. Kapitlet omfatter således følgende underafsnit:

- Måling og karakterisering af partikler
- Levende lys og deres påvirkning på indeklima samt beboernes eksponering
- Udpegning af sundhedsskadelige komponenter ud fra data vedr. partikler fra levende lys
- Sundhedsmæssig beskrivelse af komponenterne
- Sundhedsmæssigt baserede grænseværdier for komponenterne.

5.1 Karakterisering og måling af partikler

Partikler i luften (Particulate Matter, PM) er traditionelt blevet målt ved at suge luften gennem filtre med forskellig porestørrelse og derpå bestemme massen af de afsatte partikler på filteret. Afhængigt af porestørrelsen i filtret kan mængden af partikler i luften udtrykkes som enten:

- Totalt suspendede partikler (angivet som massen af TSP dvs. "mg TSP/ m³ luft")
- PM₁₀ (massen af partikler under 10 µm i diameter angivet som "mg PM₁₀/ m³ luft")
- PM_{2.5} (massen af partikler under 2,5 µm i diameter angivet som "mg PM_{2.5}/ m³ luft")
- PM_{0,1} (massen af partikler under 0,1 µm i diameter angivet som "mg PM_{0,1}/ m³ luft")

Partikler under 2,5 µm i diameter benævnes også som "fine partikler", mens partikler under 0,1 µm i diameter benævnes "ultrafine partikler" eller "nanopartikler". Da massen af en partikel er proportional med diameteren i 3. potens, betyder det, at en partikel på 1 µm vejer 1000 gange mere end en partikel på 0,1 µm, hvorfor massen af de ultrafine partikler kun udgør en forsvindende andel af massen, når partikler måles som fx PM₁₀ eller PM_{2.5}.

Omvendt domineres *antalskoncentrationen* af partikler i luften af de ultrafine partikler, især hvor luften domineres af forbrændingspartikler (fra fx levende lys), da sodpartikler fra selve forbrændingskilden emitteres som ultrafine partikler. Optiske måleinstrumenter eller partikeltæller-instrumenter kan indstilles til at måle antalskoncentration af ultrafine partikler og forskellige underinddelinger af partikelstørrelser i "antal partikler/cm³ luft".

For at opnå et mål for forekomsten af forbrændingspartikler i luften kan dette måles som et sodindhold. Sodindhold måles som *black carbon (BC)* ved en optisk metode, som måler sværtningsgraden af et hvidt filter, hvorpå partiklerne er opsamlet. En anden måde er at måle for rent kulstofindhold *elemental carbon (EC)*, som måles med en termisk-optisk metode.

Når der udsendes ultrafine partikler til luften, sker der en hurtig sammenklumpning af disse i luften til større partikler, dvs. levetiden for en ultrafin partikel er forholdsvis kort. I områder med højt

indhold af forbrændingspartikler kan PM_{2.5}-målinger derfor godt være meget influeret af indholdet af disse større sammenklumpninger af forbrændingspartikler.

Målinger af partikler kan foregå ved stationære målinger, der bestemmer mængden af partikler i et rum eller i udemiljøet, fx langs en trafikeret vej, og således beskrive partikelindholdet på en given lokalitet. Er man mere interesseret i en persons eksponering, kan partikelindholdet også bestemmes med personbårne måleinstrumenter, der således kan beskrive en persons samlede eksponering over en dag eller det personlige eksponeringsniveau, der opnås ved at færdes i forskellige mikromiljøer og i forbindelse med forskellige aktiviteter, fx madlavning, bilkørsel etc. (Miljøstyrelsen 2015).

5.2 Påvirkning af indeklima og eksponering

Det er velkendt, at afbrænding af levende lys har stor betydning for indeluftens indhold af partikler (Miljøstyrelsen 2015).

Adskillige undersøgelser har anvendt transportabelt måleudstyr til måling af ultrafine partikler (partikler mindre end 100 nm i diameter) og partikelantal i indeklimaet. I disse undersøgelser er partikelniveauerne målt på forskellige lokaliteter, i forskellige situationer og under forskellige indendørsaktiviteter.

I en undersøgelse omfattende 56 danske boliger rapporterede Bekö et al. (2013) et gennemsnit (geometrisk) på $22,3 \times 10^3$ partikler/cm³ i det tidsrum, hvor beboerne ikke sov. Under søvn og når ingen var hjemme, var de gennemsnitlige niveauer under $6,1 \times 10^3$ partikler/cm³. Der blev fundet meget stor variation i de gennemsnitlige 24 timers niveauer i de 56 boliger, lige fra ca. $1,5 \times 10^3$ partikler/cm³ til $2,5 \times 10^5$ partikler/cm³ for de geometriske middelværdier. I de boliger, hvor der blev afbrændt levende lys, stammede i gennemsnit op mod 60 % af partiklerne fra afbrænding af levende lys, og ved det højest målte niveau stammede 97 % af partiklerne fra afbrænding af levende lys.¹¹

Den gennemsnitlige partikeldiameter var 76 nm (dvs. tilhører fraktionen af ultrafine partikler < 100 nm), mens kun 5 % af de målte partikler var over 120 nm.

En voksen person, der befinder sig 24 timer i et hjem med høj partikelkoncentration, vil således med hver indånding (ca. 1.500 cm³) indånde $1.500 \text{ cm}^3 \times 2,5 \times 10^5 \text{ partikler/cm}^3 = 3,8 \times 10^8$ ultrafine partikler, eller over et døgn ved et dagligt indåndingsvolumen på 20 m³:

$$20 \text{ m}^3 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{m}^3 \times 2,5 \times 10^5 \text{ partikler/cm}^3$$

svarende til i alt 5×10^{12} ultrafine partikler pr. dag.

Tilsvarende resultater er fundet fra en nyere svensk undersøgelse, hvor partikelniveauerne i 22 svenske hjem blev målt over en 7-dages periode om vinteren. De gennemsnitlige døgnniveauer for de 22 hjem lå i intervallet 4×10^3 til 60×10^3 partikler/cm³ (målt som partikler under 300 µm). Levende lys havde størst indflydelse på partikelantallet. I seks hjem skyldtes mere end 60 % af partikelniveauet afbrænding af levende lys (for to hjem ca. 80 %), idet der under afbrændingen af lys blev målt meget varierende partikelniveauer fra ca. 2×10^3 til ca. 2×10^6 partikler/cm³. Sammenholdt med sodmålinger fandt man, at der var god korrelation (korrelationskoefficient på $0,64 \pm 0,26$) mellem sodniveauerne og partikelantallet i forbindelse med afbrænding af levende lys (Isaxon et al., 2015).

Der findes ikke viden om de sundhedsskadelige effekter af de ultrafine partikler i indeklimaet. Ultrafine partikler i udeluften, som indeholder forbrændingspartikler (fx trafikudstødning og brændeovnsrøg) er derimod kendt for at have omfattende sundhedsskadelige effekter hvorfor man

¹¹ Bekö et al., 2013. Exposure and Source Apportionment in 56 Danish Homes, Environ. Sci. Technol. 2013, 47, 10240–10248

indledningsvis kan prøve at sammenligne omfanget af udsættelse for ultrafine partikler i indeklimaet med ultrafine partikler i udeluften (Miljøstyrelsen 2015). Dette er en antagelse, da der mangler publiceret materiale omkring forbrændingspartiklers potentielle sundhedsmæssige effekter i indeklima.

På de værst trafikerede gader vil de gennemsnitlige, årlige partikelniveauer ligge på 15-18.000 ultrafine partikler/cm³, hvilket således er mere end 10 gange under de niveauer, der er målt i private hjem med stort forbrug af levende lys. På stærkt trafikerede gader i København når partikelniveauerne i myldretiden op på 30.000-40.000 partikler/cm³ (NERI 2011).

Trods manglende viden om sundhedseffekter af partikler i indeklimaet er det alene på baggrund af den kraftige udsættelse for antallet af ultrafine partikler ved afbrænding af lysrelevant at se nærmere på de evt. sundhedsmæssige konsekvenser af dette.

Det vil derfor være relevant at eftersøge undersøgelser, der adresserer de sundhedsskadelige effekter af partikler dannet ved afbrænding af lys, samt at se nærmere på partiklernes kemiske sammensætning og størrelsesfordeling for at vurdere evt. effekter.

5.3 Udpegning af sundhedsskadelige komponenter

Nedenfor opsamles data fra de fundne artikler med relevans for den sundhedsmæssige vurdering.

I en undersøgelse af Derudi et al. (2014), hvor emissionen fra tre forskellige lys ved enkeltbestemmelser blev nærmere analyseret i et testafbrændingskammer, er det især udledningen af partikler og PAH, der vurderes særligt kritiske. Således blev der fra et af lysene målt en emission på 239 µg partikler (under 250 nm) og 33,2 µg partikler (over 250 nm) pr. gram forbrændt lys. For de kræftfremkaldende PAH-stoffer og for benz(a)pyren isoleret var afgivelsen henholdsvis 10,9 µg og 3,4 µg pr. gram forbrændt lys.

I et tænkt eksponeringsscenarie, hvor det blev antaget, at to lys blev afbrændt, blev der for et 30 m³ rum med et luftskifte på 0,5 gang/time beregnet en PM_{2.5}-partikelkoncentration i rummet på 98 µg/m³ og et benz(a)pyren niveau på 1,2 ng/m³. Dette blev sammenholdt med en WHO-referenceværdi på 25 µg/m³ for udeluft og en EU-referenceværdi for benz(a)pyren på 1 ng/m³ for udeluft (se grænseværdier i Tabel 5). Betydningen af overskridelse af disse referenceværdier blev dog ikke diskuteret yderligere i undersøgelsen.

Manoukian et al. (2013) målte partikelantallet i forbindelse med afbrænding af et lys i et testrum på 32,3 m³. Efter en time, hvor 5 g lys var brændt, var partikelniveauer steget fra 0,6 x 10⁴ partikler/cm³ til 22 x 10⁴ partikler/cm³ (gennemsnitsværdi af fire test). Emissionshastigheden for lyset blev beregnet til 2 x 10¹³ partikler per time.

Pagels et al. (2009) undersøgte partikelafgivelsen fra to lys: et stearinlys og et stearin/paraffinlys. Ved målingerne blev fire ens lys placeret i et forsøgsrum på 22 m³. Lysene blev afskærmet mod træk med metalrør for at opnå jævn forbrænding med rolig flamme. Målinger under disse omstændigheder blev sammenlignet med målinger, hvor metalrørene var fjernet, og hvor lysene blev udsat for ventilation i rummet med "vindhastighed" på op til 0,4 m/s. Dette medførte en urolig flamme med afgivelse af synlig sod. Måleresultaterne viste, at partiklerne fra ikke-sodende afbrænding af et lys, fremstillet af stearinvoks, hovedsageligt bestod af stoffer, der var fordampelige, idet mere end 90 % af vægten af opsamlede partikler fordampede ved opvarmning til 200 °C. For det andet lys fremstillet af en blanding af stearin og paraffin svandt vægten af partiklerne kun ca. 10 % efter opvarmning.

Forfatterne angiver, at dette er i overensstemmelse med, at partiklerne fra stearinlyset hovedsageligt består af ammoniumfosfat og diammoniumhydrogenfosfat, som er stoffer, der dekomponerer og afdamper ved opvarmning. Forfatterne vurderede, at kilden til disse salte var vægen, idet man kunne genfinde et højt fosfatindhold i vægen, som sandsynligvis var tilsat ammoniumfosfat som flammehæmmer.

I Tabel 2 er emissionen pr. time angivet for forskellige partikelmål, og samme parametre er angivet som emission pr. m³ i Tabel 3 ved afbrænding af 4 lys samtidigt.

TABEL 2

PARTIKELEMISSIONSRATER AF PARTIKELBESTANDDELE FRA TO FORSKELLIGE TYPER LEVENDE LYS (ANGIVET PER LYS) (PAGELS et al., 2009).

Lystype	PM _{2.5}	Kulstof	Organisk materiale	Uorganisk materiale	Partikelantal 16-1000 nm
	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	#/cm ³
Stearin					
Optimal forbr.	2,4	0,14	0,04	2,9	1,14 E+06
Sodende forbr.	8,9	4,5	0,24	3,3	0,89 E+06
Stearin/paraffin					
Optimal forbr.	0,87	0,31	0,05	0,92	0,51 E+06
Sodende forbr.	25,3	19,0	1,3	1,1	0,27 E+06

TABEL 3

PARTIKELNIVEAUER* AF PARTIKELBESTANDDELE FRA TO FORSKELLIGE TYPER LEVENDE LYS EFTER EN TIMES AFBRÆNDING AF FIRE LYS I FORSØGSRUM PÅ 22 M³ (PAGELS et al., 2009).

Lystype	PM ^{**}	Kulstof	Organisk materiale	Uorganisk materiale	Partikelantal 16-1000 nm
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	#/cm ³
Stearin					
Optimal forbr.	214	10	4	200	1,14 E+06
Sodende forbr.	603	340	18	245	0,89 E+06
Stearin/paraffin					
Optimal forbr.	86	20	4	64	0,51 E+06
Sodende forbr.	1604	1424	95	85	0,27 E+06

* De angivne niveauer er iflg. aflæsning af søjlediagrammer angivet i Pagels et al., 2009.

** Ikke angivet som PM_{2.5}, men her angivet som summen af kulstof, organisk og uorganisk materiale.

Det ses, at PM_{2.5}-emissionen stiger voldsomt, når lyset soder og dermed udsender et højt niveau af kulstofpartikler. Omvendt ses et mindre fald i *partikelantallet*, når lyset soder, hvilket sandsynligvis skyldes, at de små primære forbrændingspartikler hurtigt vokser sig større eller klumper sig sammen til større og synlige sodpartikler. M.h.t. kulstofniveau kan ses, at sodende lys udsender en ca. 30-70 gange større kulstofmængde end ikke-sodende lys.

Fx så man under sodende forbrænding en ca. 100 gange højere antalskoncentration af partikler på 270 nm ± 30 nm end ved optimal afbrænding. Antalskoncentrationen af partikler under 100 nm (de ultrafine partikler) var lavere, når lysene dannede sod i forhold til optimal forbrænding. Pga. det lavere antal af ultrafine partikler ved sodende forbrænding opnåedes således et samlet set lavere partikelantal end ved optimal afbrænding af lysene.

Forfatterne konkluderede, at partiklerne ved optimal afbrænding sandsynligvis er mindre sundhedsskadelige, idet indholdet her i stor udstrækning domineres af fordampelige stoffer og vandopløselige salte.

Petry et al. (2014) udførte afbrænding af 11 typer paraffinduftlys i et 2,2 m³ og et 26 m³ testkammer og målte i den forbindelse emissionen og niveauerne af en række flygtige stoffer samt PAH, dioxiner og partikler. Duftstofindholdet i lysene var på ca. 6 %. Partikler var den komponent, der blev emitteret i størst mængde med en emissions hastighed på op til 231 µg PM_{2.5}/t målt i det store testkammer, hvor der blev opnået en kammerkonzentration på 9 µg PM_{2.5}/m³. Ved skalering af dette resultat til et rum på størrelse med et lille toilet estimerede forfatterne, at der kunne opnås en worst-case-konzentration på 90 µg/m³ PM_{2.5}. Da der ikke forelå grænseværdier for partikler i indeklimaet, sammenlignede forfatterne det beregnede PM_{2.5}-niveau på 90 µg/m³ med WHO-værdien (2005) og EU-værdien (2008) for PM_{2.5} i udeluft på henholdsvis 10 µg/m³ og 20 µg/m³ og konkluderede dermed, at PM_{2.5} må anses for en mulig kritisk komponent ved afbrænding af lys. For de enkelte, flygtige, skadelige forbindelser vurderede man, at kun afgivelsen af benzen var en mulig kritisk komponent under worst-case-betingelser.

I en tidligere dansk analyse af seks udvalgte lys blev såvel voks som væger analyseret for metalindhold (Miljøstyrelsen 2002). De højeste niveauer af metaller blev her målt i et blå lys:

TABEL 4
INDHOLD AF METALLER I LYS OG MAKSIMAL KONCENTRATION I INDELUF T (MILJØSTYRELSEN 2002).

Blåt spindelvævslys	Indhold i voks µg/g	Indhold i væge µg/g	Beregnet konc. ved afbrænding µg/m ³
Krom	0,15	<0,2	0,15
Kobber	2,2	1	2,2
Nikkel	0,28	<0,3	0,28
Bly	0,11	0,9	0,11

Kun to ud af de seks lys indeholdte krom, mens kobber, nikkel, bly og zink blev fundet i alle seks lys. Ud fra brændehastigheden af lyset (9,9 g per time) kunne de maksimale koncentrationer (ved 100 % emission til luften) af metallerne i et rum på 20 m³ med et luftskifte på 0,5 gang i timen beregnes efter afbrænding af et lys, se Tabel 4, kolonne 4.

Ved at sammenligne med grænseværdierne i arbejdsmiljøet kunne nikkel og bly udpeges som de mest toksiske og kritiske stoffer.

5.3.1 Konklusion ved udpegning af komponenter

I forbindelse med den sundhedsmæssige vurdering af partikler og metaller emitteret fra afbrænding af levende lys synes det ud fra ovenstående mest relevant at fokusere på:

- PM_{2.5}
- Partikelantalskoncentrationen
- PAH/benz(a)pyren
- Bly
- Nikkel.

Det er dog vigtigt at holde sig for øje, at ovenstående data peger på, at lysenes sammensætning sandsynligvis har væsentlig mindre betydning for evt. sundhedsskadelige effekter end selve forbrændingsomstændighederne, idet sodemissionen stiger markant ved dårlig forbrænding.

Afgivelse af sod opstår primært, når lyset står i træk med urolig flamme, hvis vægen ikke skaber en jævn nedbrænding af lyset, når vægen er for lang, ved manglende lufttilførsel (fx hvis lyset står i et glas), eller hvis lyset har brændt i lang tid.

Sod kan derfor undgås ved at sikre sig, at lyset brænder jævnt ned, står med rolig flamme, ikke er placeret i træk, at vægen ikke er for lang (under 1 cm), og at lyset ikke brænder alt for længe (Boliás, 2014; BEC, 2014).

Nedenfor redegøres for eksisterende grænseværdier for stofferne, og der gives en kort beskrivelse af stoffernes mest kritiske sundhedsskadelige effekter.

5.4 Sundhedsmæssig beskrivelse af komponenterne

5.4.1 Grænseværdier for luft

Der foreligger ikke på EU-niveau formaliserede grænseværdier for luftforureningskomponenter i indeklimaet. EU-Kommissionen gennemførte i 2002-2004 det såkaldte INDEX-projekt, hvor formålet var at udpege de mest relevante luftforurenings-komponenter i indeklimaet og foretage en vurdering af disse. Projektet mandede ud i en nøjere vurdering af stofferne formaldehyd, kulilte, nitrogendioxid, benzen og naftalen (Koistinen et al., 2008).

Derimod har man i EU-regi fastsat en række grænseværdier for at regulere forureningskomponenter i udeluften i forbindelse med direktiv 2008/50/EF om luftkvaliteten og renere luft i Europa. Direktivet omfatter grænseværdier og målværdier for 12 forureningskomponenter, herunder PM₁₀, PM_{2.5}, PAH/benz(a)pyren, bly og nikkel.

WHO har en lang tradition for at fastsætte grænseværdier for forureningskomponenter i luften. I WHO Air Quality Guidelines for Europe fra 2000 er der således foretaget anbefalinger for i alt 35 luftforureningskomponenter (heriblandt partikler, PAH/ benz(a)pyren, bly og nikkel). I 2006 blev vurderingen og anbefalingen for partikler opdateret, idet der blev anbefalet værdier for PM_{2.5} og PM₁₀ (WHO, 2006).

Senest har WHO specifikt foretaget en række anbefalinger for tolerable niveauer af luftforureningskomponenter i indeklimaet. Anbefalingerne omfatter stofferne formaldehyd, kulilte, nitrogendioxid, benzen, naftalen, PAH, trichlorethylen, tetrachlorethylen og radon (WHO, 2010).

Ved de sundhedsmæssige vurderinger af komponenter anvendes samme vurderingsmetode, og værdierne fastsættes på baggrund af, at personer kan blive udsat for komponenten 24 timer i døgnet, uanset om det er i relation til ude- eller indeluft. Det vurderes derfor relevant at anvende anbefalinger/grænseværdier for udeluft i forbindelse med indeluft for konkrete komponenter, da værdierne direkte numerisk overført (og uden justeringer) vil yde den samme beskyttelse af befolkningen.

Nedenfor er angivet de gældende grænseværdier/anbefalinger på luftforureningskomponenterne udpeget i dette projekt:

TABEL 5
EU-GRÆNSEVÆRDIER OG WHO'S ANBEFALEDE VÆRDIER FOR UDVALGTE LUFTFORURENINGSKOMPONENTER.

Forureningskomponent	EU-værdi Dir 2008/50/EF	WHO-værdi
PM _{2.5}	25 µg/m ³ (pr. 2010) 20 µg/m ³ (pr. 2020) Årsværdier*	10 µg/m ³ årsværdi 25 µg/m ³ 24-timers værdi** (WHO, 2006)
Partikelantal/ultrafine partikler	-	-
Benzo(a)pyren (indikator for PAH)	1 ng/m ³ Årsværdi	0,012 ng/m ³ *** 0,12 ng/m ³ *** 1,2 ng/m ³ *** (WHO 2010)
Bly	0,5 µg/m ³ Årsværdi	0,5 µg/m ³ Årsværdi (WHO, 2000)
Nikkel	20 ng/m ³ Årsværdi	2,5 ng/m ³ *** 25 ng/m ³ *** 250 ng/m ³ *** (WHO, 2000)

* Gennemsnitsniveau af 24-timersværdier over et år.

** Målt gennemsnitsniveau over 24 timer.

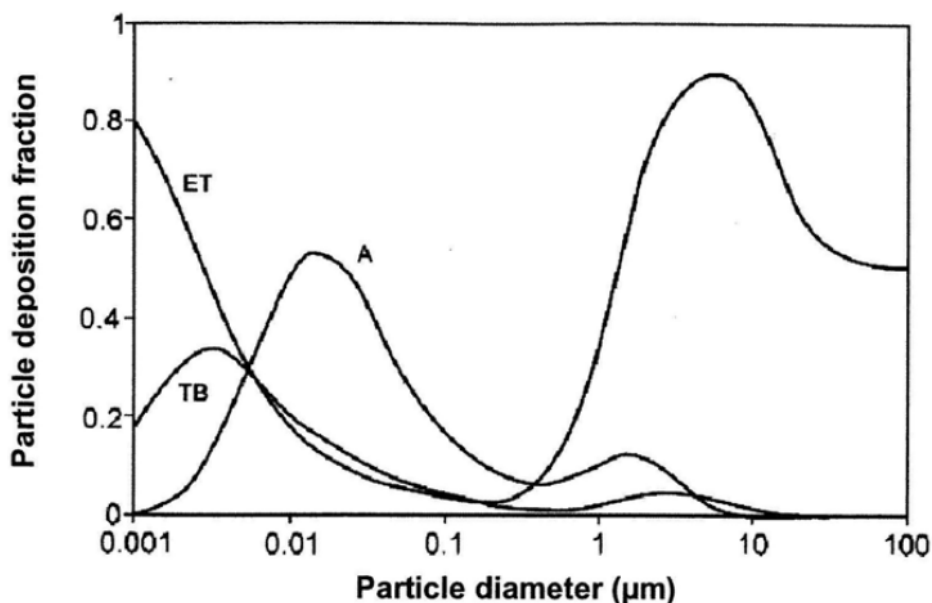
*** De tre anførte niveauer svarer til forøget livstidsrisiko for udvikling af cancer på henholdsvis 10⁻⁶; 10⁻⁵ og 10⁻⁴.

Det kan bemærkes, at der ikke foreligger grænseværdier for partikelantal eller ultrafine partikler, da viden om effekterne af disse fortsat er begrænset. Dette forhold er for nylig blevet belyst i en meget omfattende oversigtsrapport om ultrafine partikler udgivet af Health Effects Institute (2013).

5.4.2 Partikler

5.4.2.1 Partiklers skæbne i lungerne

Ved beskrivelse af de sundhedsskadelige effekter af partikler er det vigtigt at holde sig for øje, at forskellige størrelser partikler aflejres forskellige steder i luftvejene, og at de ultrafine partikler hovedsageligt aflejres i lungernes yderste forgreninger, alveolerne, se Figur 3 (Miljøstyrelsen, 2008).



FIGUR 3
PARTIKELSTØRRELSESAFHÆNGIG DEPONERING AF PARTIKLER I FORSKELLIGE AFSNIT AF LUFTVEJENE.
ET: ØVRE LUFTVEJE (SVÆLG OG LUFTRØR); TB: NEDRE DEL AF LUFTRØR OG BRONKIER; A: ALVEOLER
(MILJØSTYRELSEN, 2008).

Figur 3 viser, at partikler større end 10 µm hovedsageligt aflejres i de øvre luftveje, i svælget og i den øverste del af luftrøret (ET), hvor de efterfølgende typisk bliver fjernet ved hoste eller synkes sammen med spyt/slim. Partikler under 10 µm kan trænge længere ned i luftrør og bronkier (TB, tracheobronkialt område), hvor de efter aflejring kan fjernes ved, at luftvejenes små fimrehår børster dem op i svælget, hvorfra de efterfølgende synkes. Dette sker forholdsvis hurtigt - i løbet af få timer.

Mindre partikler, typisk under 2,5 µm, og især de ultrafine partikler (i størrelsen 0,01 µm til 0,1 µm) aflejres i de yderste luftveje, alveolerne (A), hvor en tilsvarende mekanisme til bortskaffelse af partikler ikke er til stede, og hvor de uopløselige partikler kun fjernes meget langsomt, nedbrydes eller fjernes af makrofager, der er frie celler, som kan optage partikler og transportere dem videre op i luftvejene. Disse ultrafine partikler kan endvidere, som følge af deres ringe størrelse, fra alveolerne trænge ind i det omkringliggende væv i lungerne og via opsamling i lymfevæsken blive transporteret til blodbanen og herfra fordelt til hele kroppen. De mindste ultrafine partikler på få nm og mindre aflejres primært i bronkier og de øvre luftveje.

Fjernelse af uopløselige partikler fra alveolerne er imidlertid en meget langsom proces og kan tage år, hvorfor vedvarende indånding af uopløselige partikler (fx metaller og black carbon) vil medføre ophobning af partikler i alveolerne, som kan føre til kroniske og alvorlige betændelsestilstande og forårsage en række skadelige følgevirkninger (Miljøstyrelsen, 2008).

5.4.2.2 Sundhedsskadelige effekter af partikler

Viden om partiklers sundhedsskadelige effekter stammer altovervejende fra partikler i udeluften. Der foreligger således talrige undersøgelser, der dokumenterer de meget betydelige effekter på folkesundheden. Senest har den danske rapport "Luftforureningens indvirkning på sundheden i Danmark", udgivet af Nationalt Center for Miljø og Energi, udarbejdet en meget omfattende status (DCE, 2014).

Ud fra de aktuelle partikelniveauer i udeluften i Danmark anslår rapporten følgende helbredsmæssige konsekvenser estimeret for år 2011, Tabel 6:

TABEL 6

HELBREDSMÆSSIGE KONSEKVENSER SOM FØLGE AF LUFTFORURENINGEN (PRIMÆRT PARTIKLER) I UDELUFTEN I DANMARK (DCE, 2014).

Sundhedsskadelige effekter	2011 - anslået antal tilfælde -
Kronisk bronchitis	3 300
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	3 380 000
Hospitalsindlæggelser for luftvejsslidelser	179
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser	416
Tilfælde af hjertesvigt	285
Lungekræft	506
Brug af bronkodilatorer blandt børn	88 800
Brug af bronkodilatorer blandt voksne	647 000
Episoder med hoste blandt børn	307 000
Episoder med hoste blandt voksne	666 000
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	215 000
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	240 000
Antal for tidlige dødsfald (pga. kortvarige forhøjede niveauer)	142
Antal for tidlige dødsfald (kronisk eksponeringsniveau)	3 330
Kroniske tabte leveår (YOLL)	35 300
Dødsfald blandt spædbørn	4

Der er, når det gælder udeluftforurening, generel enighed om, at det er forbrændingspartiklerne, der har de største, skadelige effekter på grund af partiklernes indhold af forbrændingskomponenter, som fx kan stamme fra trafikudstødning og fra brændeovnsrøg. Udendørspartikler med et højt indhold af forbrændingskomponenter har således vist sig at have større negativ effekt end partikler med lavt indhold af forbrændingskomponenter.

Vurderingerne af de helbredsmæssige effekter er beregnet ud fra det *massebaserede indhold* af PM_{2.5} i luften (dvs. µg/m³ af partikler mindre end 2,5 µm i diameter), da man for denne partikelstørrelse har fundet den klareste dosis-respons-sammenhæng for de skadelige effekter.

For forbrændingspartikler (der kan måles som elementært kulstof (EC) eller som black carbon (BC)) har man fundet indikationer for, at de sundhedsskadelige effekter af 1 µg/m³ af disse partikler nogenlunde svarer til effekten fra 10 µg/m³ PM_{2.5} (DCE, 2014).

Partikelantallet i luften domineres af de ultrafine partikler, der overvejende udgøres af "friske" forbrændingspartikler, der endnu ikke er koaguleret og vokset til større partikler. Selvom der i stigende grad er mistanke om, at de ultrafine partikler spiller en væsentlig rolle for effekterne på sundheden, er der endnu ikke tilstrækkelige data til at vurdere de sundhedsmæssige konsekvenser for partikelantalskoncentrationen og dermed de ultrafine partikler i luften (Miljøstyrelsen, 2015).

Enkelte undersøgelser har imidlertid ud fra forholdsvis begrænsede data søgt at belyse betydningen af forbrændingspartiklerne og partikelantallet, Tabel 7 (Miljøstyrelsen, 2015).

TABEL 7
SKØN MHT. DOSIS-RESPONS-SAMMENHÆNGE FOR FINE PARTIKLER (PM_{2.5}), FORBRÆNDINGSKOMPONENTER (EC, BS) OG ULTRAFINE PARTIKLER.

Effekter	Stigning i antal tilfælde per år				Reference
	PM _{2.5} (1 µg/m ³)	EC (1 µg/m ³)	BS* (1 µg/m ³)	Antalskonc. (1000 ultrafine partikler/cm ³)	
Antal for tidlige dødsfald (kronisk eksponering)	0,6 %	-	-	0,3 %	Hoek et al., 2010
Antal for tidlige dødsfald (kronisk eksponering)	0,7 %	6 %	-	-	Janssen et al., 2011
Antal for tidlige dødsfald (kronisk eksponering)	0,6 %	6 %	-	-	Hoek et al., 2013
Lungekræft	-	6 %	-	-	Vermeulen et al., 2014
Antal for tidlige dødsfald (akutte forhøjede niveauer)	0,048 %	-	0,068 %	-	Janssen et al., 2011

* BS: Black Smoke er et mål for tilsodning/sværtningegrad af opsamlingsfilteret.

For at anskueliggøre betydningen af disse tal kan det nævnes, at en stigning i dødeligheden på 6 % for danske forhold, hvor der årligt dør ca. 55.000 mennesker, vil svare til ca. 3.300 dødsfald pr. år.

5.4.2.3 Sundhedsskadelige effekter af partikler fra levende lys og i indeklimaet

Levende lys

Ved litteratursøgning er der ikke fundet data, som tilsvarende for udeluften nøjere kan belyse de sundhedsmæssige konsekvenser af indånding af partikler fra levende lys over længere tid.

M.h.t. akutte effekter på luftvejene har Soppa et al. (2015) udført kontrollerede laboratorieundersøgelser, hvor i alt 45 frivillige, raske forsøgspersoner blev udsat for partikler fra afbrænding af levende lys, brødristning og pøsestegning i et testkammer på 48 m³. Med levende lys blev der udført to test med to timers afbrænding af enten 20 eller 40 juletræsls. Fire og 24 timer efter eksponeringen blev der foretaget lungefunktionsundersøgelser ved spirometri.

Lungefunktionsmålene (FEV₁ og FVC og FEV₁/FVC og MEF₂₅₋₇₅ blev sammenholdt med forskellige partikelparametre målt i kammeret (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁ og samlet partikeloverfaldeareal; samt partikelantal af størrelsesfraktionerne <100 nm, 0,5 µm-1 µm, 0,5-2,5 µm og 0,5-10 µm).

For ingen af eksponeringerne, inklusive de to stearinlyseksponeringer, viste undersøgelsen nogen entydig påvirkning af lungefunktionsparametrene. Enkelte statistiske modeller fandt dog en vis sammenhæng mellem de massebaserede parametre og påvirkning af MEF₂₅₋₇₅, som er en lungefunktionsparameter for påvirkning af de fine luftvejsforgreninger.

Nedenfor er angivet partikelmålingerne i forbindelse med eksponeringen. Disse målinger viser, at antallet af partikler over 0,5 µm er forsvindende lavt i forhold til det store antal ultrafine partikler, og at vægten af partikler større end 1 µm også kun udgør en meget lille andel af den samlede partikelmasse.

TABEL 8
KONCENTRATIONER AF PARTIKELANTAL, PARTIKELOVERFLADEAREAL OG PARTIKELMASSE EFTER AFBRÆNDING AF LEVENDE LYS (SOPPA ET AL., 2015).

Partikelantal (antal/cm ³)				
	<100 nm	0,5-1 µm	0,5-2,5 µm	0,5-10 µm
20 lys	191 x 10 ⁴	6,2	9,7	9,9
40 lys	267 x 10 ⁴	1,8	2,7	2,8
Partikeloverflade		Partikelmasse (µg/m ³)		
	µm ² /cm ³	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀
20 lys	2201	47,9	52,6	55,9
40 lys	3840	79,3	80,9	83,7

CISBO

Et større dansk forskningsprojekt vedr. indeklima og sundhed i boliger er netop blevet afsluttet i 2016. Forskningsprojektet omfattede fem forskningsinstitutioner, der arbejdede sammen i Center for Indeklima og Sundhed i Boliger (CISBO). I dette forskningsprojekt, der bl.a. fandt, at partikler fra levende lys har afgørende betydning for den samlede partikeleksponering i indeklimaet (Bekö et al., 2013), indgår der også undersøgelser (se nedenfor), der belyser indeklimaet i relation til helbredseffekter.

Karottki et al. (2014) undersøgte således 78 beboere i de hjem, der var omfattet af partikelmålinger foretaget af Bekö et al. (2013), og som var stærkt påvirket af anvendelsen af levende lys (se kapitel 3,

Tabel 1). Beboerne, der alle var midaldrende, blev undersøgt for kredsløbsfunktion og lungefunktion og fik taget blodprøver til undersøgelse for sundhedsmarkører. Resultaterne viste, at der var en statistisk signifikant sammenhæng mellem partikelniveauerne (målt som partikelantalskoncentrationer for partikler i størrelsen 10-300 nm) i boligerne og reduceret lungefunktion samt højere serumniveauer af markører for diabetes og betændelsesreaktioner hos beboerne. Da de højeste partikelniveauer i boligerne var tæt knyttet til afbrænding af levende lys, vurderede forfatterne, at partikler fra lys kunne spille en væsentlig rolle for disse fund.

En anden undersøgelse af Karotki et al. (2013) vurderede effekten af filtrering af luften i indeklimaet, idet man undersøgte 48 ældre personer, der i 2-ugersperioder fik boligens luft ventileret med og uden isat partikelfilter i et ventilationsapparat. Ved undersøgelse af lunge- og karfunktioner og af biomarkører i blodet kunne der ikke påvises nogen forskelle i relation til de nedsatte partikelniveauer (målt som PM_{2.5} og partikelantal for partikler på 10-300 nm) der blev opnået, når filteret var monteret. I en undergruppe af de ældre, som ikke modtog nogen form for medicin, fandt man dog forbedret karfunktion (målt i fingeren) i sammenhæng med de reducerede niveauer af PM_{2.5}.

I den samme gruppe af ældre undersøgte Karotki et al. (2015) derpå sammenhængen mellem måleresultaterne for lunge- og hjerte-karfunktionsundersøgelserne og biologiske markører i blodet med partikelniveauerne i udeluften såvel som i indeluften. For hver person, der deltog, blev undersøgelserne foretaget syv gange over en 4-ugersperiode, og efterfølgende blev målingerne relateret til udeluftsniveauerne af PM₁₀, PM_{2.5} og partikelantallet samt indluftsniveauerne af PM_{2.5} og partikelantallet (partikeldiameter 10-300 nm). I undersøgelsen blev der fundet signifikant sammenhæng mellem partikelantallet i udeluften og nedsat hjerte-karfunktion (målt i fingeren) og mellem udeluftens PM_{2.5}-niveauer og betændelsesmarkører i blodet. Indluftens PM_{2.5}-niveau i soveværelset var korreleret til forøget niveau af markører for aterosklerose i blodet, mens indluftens niveauer af biologisk materiale (fx mikroorganismer) i støvet var korreleret til øgede niveauer af markører for skadelig påvirkning af lungesvævet.

Olsen et al. (2014) foretog i endnu et CISBO-projekt partikelmålinger (partikelantal for partikelstørrelser i intervallet 10-300 nm og partikelmasse målt som PM_{2.5}) hos 81 ikkerygere i 60 forskellige hjem. Partikelniveauerne blev målt i et 48 timers interval ved anvendelse af dels stationært placerede måleinstrumenter, dels ved personbårne måleinstrumenter. Umiddelbart efter måleperioden blev personerne undersøgt m.h.t. lungefunktion og hjerte-kar-funktion samt biologiske markører i blodet. Den klareste sammenhæng sås for den personlige eksponering m.h.t. partikelantal uden for hjemmet, hvor øgede niveauer var signifikant korreleret til påvirkning af blodkar (målt som nedsat blodgennemstrømning i fingeren). Et stigende antal af ultrafine partikler i hjemmet udviste en sammenhæng til øget blodtryk og til øget indhold af betændelsesmarkører i blodbanen. Sidstnævnte effekts sås også for indluftens PM_{2.5}-indhold.

De tre sidstnævnte CISBO-undersøgelser angav dog intet konkret mht. kilderne til den indendørs partikeleksponering, herunder bidraget fra levende lys.

Samlet indikerer CISBO-undersøgelserne, at partikelniveauet i hjemmet (både målt som partikelantal og som partikelmasse) kan have negative effekter på lungefunktion og hjertekarsystem.

Effekterne er sammenlignelige med effekterne fra udeluftens partikelforurening. Det kan dog være vanskeligt at adskille effekterne mellem inden- og udendørs partikelforurening, idet udeluftens partikler trænger ind i boliger og dermed også udgør en væsentlig andel af den indendørs eksponering.

5.4.3 PM2.5 i indeklimaet

Selvom der er et betydeligt datamateriale, der dokumenterer de sundhedsskadelige effekter af PM2.5 i udeluften (se 5.4.2), er der samlet set et meget begrænset datagrundlag for at vurdere effekterne af PM2.5 i indeklimaet, og især i forbindelse med langvarig eksponering.

I Norge har Folkehelseinstituttet for nylig foretaget vurdering af partikler i indeklimaet for at fremkomme med sundhedsfaglige anbefalinger til koncentrationer i indeklimaet (Folkehelseinstituttet, 2014). Da data til vurderingen af partikler i indeklimaet er meget sparsomme, er anbefalingerne mht. en grænseværdi i stedet baseret på de dosis-respons-sammenhænge, der kendes for partikler i udeluften. Med udgangspunkt i WHO-vurderingen (2006) af udeluftspartikler anbefaler det norske Folkehelseinstitut således en 24-timersværdi for partikler målt som PM2.5 på 15 µg/m³ og en årsværdi på 8 µg/m³. Det fremgår imidlertid ikke klart af vurderingen fra Folkehelseinstituttet, hvorledes netop disse værdier er fremkommet, idet de ligger under WHO's anbefalinger for udeluft.

Det skal i denne forbindelse nævnes, at der ikke foreligger nogen nedre grænse for de sundhedsskadelige effekter af PM2.5 i udeluften, hvorfor de etablerede grænseværdier for PM2.5 ikke kan opfattes som niveauer, der kan beskytte fuldstændigt imod sundhedsskadelige effekter.

Der skønnes dog at være store usikkerheder ved at sammenligne indeluftens indhold af PM2.5 med tilsvarende niveauer i udeluften og effekterne heraf.

På den ene side kan sammenligningen med udeluftspartikler måske overestimere effekter ved partikler fra lys, idet udeluftspartikler kan indeholde de særligt skadelige forbrændingskomponenter (fx fra trafikudstødning og fra brændeovnsrøg). Udeluftspartikler må derfor anses for at være mere komplekse og med et større indhold af fx PAH sammenlignet med partikler fra levende lys, der fortrinsvis består af kulstof og opløselige salte.

På den anden side kan der ved sodende afbrænding af levende lys frigives anseelige mængder kulstofpartikler. Ved sodende afbrænding kan der i indeluftspartiklerne således indgå et højt indhold af kulstof, som kan udgøre en væsentligt større andel af partikelmassen, i forhold til hvad man ser i udeluften. I udeluften udgør forbrændingspartikler, herunder kulstof, sædvanligvis kun en mindre del af PM2.5-niveauet.

5.4.4 Polyaromatiske kulbrinter, PAH

WHO (2010) har i forbindelse med udarbejdelse af *air quality guidelines* for indeluft vurderet, at PAH-stoffer, herunder benz(a)pyren, er uhyre potente kræftfremkaldende stoffer, og at den kritiske effekt efter indånding er udvikling af lungekræft. På grund af stoffernes mutagene egenskaber mener WHO ikke, at der er nogen nedre sikker eksponeringsgrænse for den kræftfremkaldende effekt.

WHO anbefaler, at indholdet af benz(a)pyren kan anvendes som en markør for den samlede kræftfremkaldende effekt i en blanding af PAH-stoffer og angiver i den forbindelse en cancerrisiko på $8,7 \times 10^{-5}$ ved et eksponeringsniveau på 1 ng benz(a)pyren/m³. Dette svarer til, at eksponeringsniveauer på 1,2, 0,12 og 0,012 ng benz(a)pyren/m³ anses for at medføre en øget livstidsrisiko for cancer på henholdsvis 1/10.000, 1/100.000 og 1/1.000.000.

I EU er der for udeluften fastsat en målværdi for indholdet af benz(a)pyren på 1 ng/m³ (målt som årsgennemsnit) jf. Direktiv 2004/107/EF.

5.4.5 Bly

I EU er der fastsat en grænseværdi for bly på 0,5 µg/m³ i udeluften som et årligt gennemsnit (2008/EC/50).

Der kendes ingen nedre grænser for blys neurotoksiske effekter i forbindelse med udviklingen af fostres og børns centralnervesystem. To EU-ekspertkomitéer, EFSA (2011) og risikovurderingskomitéen RAC i Kemikalieagenturet (ECHA, 2011), har vurderet, at indtag på 0,5 µg Pb/kg lgv/d hos børn kan medføre en reduktion i IQ-point på ét point.

Børn i 1-3-årsalderen med en gennemsnitlig legemsvægt på 11,6 kg indånder i gennemsnit 7,0 m³ luft om dagen, hvilket svarer til 0,60 m³/kg lgv/d (NM, 2011). Det vil ved et indhold af bly i luften på 0,5 µg Pb/m³ medføre en eksponering på 0,3 µg Pb/kg lgv/d, altså en daglig dosis, der svarer til et tab på ca. 0,6 IQ-point.

5.4.6 Nikkel

For nikkel er der fastsat en målværdi på 20 ng/m³ i udeluft som årligt gennemsnit (EU-direktiv 2004/107/EF).

Ved indånding af nikkelpartikler (både opløselige og tungt opløselige partikler) medfører dette kroniske betændelsestilstande i lungerne, som efterfølgende kan udvikle sig til kræft. Den fastsatte målværdi skal dels beskytte mod betændelsestilstande i lungerne, dels reducere cancerrisikoen (EU-Commission, 2000).

EU's videnskabelige komité for fastsættelse af grænseværdier i arbejdsmiljøet, SCOEL, har senere vurderet, at der i praksis menes at være en tærskelværdi for nikkels kræftfremkaldende effekt, og at en grænseværdi, der beskytter mod betændelsestilstande i lungerne, også beskytter mod kræft. Som grænseværdi i arbejdsmiljøet anbefalede SCOEL således en værdi på 0,005 mg/m³ som en 8-timers gennemsnitsværdi (SCOEL, 2011).

5.4.7 Konklusion ved udpegning af grænseværdier

I forbindelse med vurdering af partikelemissioner fra levende lys synes det relevant at vurdere de opnåede partikelniveauer i indeklimaet efter afbrænding af lys med følgende referenceværdier:

Partikler

<i>PM_{2.5}</i>	25 µg/m ³	(døgnværdi)
	10 µg/m ³	(årsværdi)

PAH

<i>Benz(a)pyren</i>	1 ng/m ³	(årsværdi)
---------------------	---------------------	------------

Metaller

<i>Bly</i>	0,5 µg/m ³	(årsværdi)
<i>Nikkel</i>	20 ng/m ³	(årsværdi)

For PM_{2.5}, benz(a)pyren og bly gælder, at der ikke er fundet nogen nedre eksponeringsniveauer uden skadelige effekter, hvorfor værdierne repræsenterer tålelige risikoniveauer frem for niveauer uden effekt. For PM_{2.5} vælges som udgangspunkt at anvende værdierne anbefalet af WHO (2006). Disse værdier er lavere end EU-kravene til udeluft, der er fastsat ud fra, hvad der er opnåeligt i de europæiske byer og således afspejler pragmatiske værdier frem for rent sundhedsbaserede værdier. Samtidig synes det vanskeligt at forholde sig til de endnu lavere værdier foreslået af Folkehelseinstituttet i Norge, da argumentationen for deres valg af anbefalede PM_{2.5}-værdier er meget uklar.

Med hensyn til vurdering af niveauerne af partikelantallet i indeklimaet, der primært udgøres af ultrafine partikler mindre end 100 nm, foreligger der ingen vejledende grænseværdier. Her kan vurderingen af akutte effekter sammenholdes med de effekter, der er set, fx i forbindelse med data fra de danske CISBO-undersøgelser.

For kronisk eksponering med ultrafine partikler foreligger der ikke tilstrækkelige data, der belyser sammenhængen med sundhedsskadelige effekter. I Tabel 7 er der angivet nogle skøn, der viser meget stor påvirkning af dødelighed for relativt lille stigning i den årlige middelværdi for partikelantal (1000 partikler/cm³) og for en stigning af uorganisk kulstof (EC) sv.t. 1 µg/m³.

Disse tal må dog anses for meget usikre, da øget dødelighed i højere grad er påvist at være knyttet til PM_{2.5}-niveauerne frem for partikelantallet og EC-niveauerne. For sidstnævnte foreligger der dog kun begrænsede data, der for EC indikerer, at jo større andel af afbrændingspartikler, der er indeholdt i PM_{2.5}, des større er effekten.

6. Partikelemissionsmålinger og kemisk indholdsanalyse

6.1 Udvalgelse af lys til test

Som en del af kortlægningen blev der identificeret 129 forskellige stagelys. Af de 129 lys er alle identificerede hvide stagelys, i alt 32 stk., udvalgt til partikelemissionsmåling og kemisk indholdsanalyse. Valget af hvide stagelys begrundes i, at hvide stagelys udgør ca. 90 % af det samlede stagelyssalg på det danske marked. Der blev i valget af lys også set på parametre som oprindelsesland, om det levende lys er svanemærket, om der findes information om vægetypen, prisspændet lysene imellem og vokstype. Det blev fravalgt at se nærmere på farvede lys i denne undersøgelse - primært fordi andelen af farvede stagelys kun udgør ca. 10 % af den samlede mængde af solgte stagelys i Danmark, men også fordi en tilbundsgående undersøgelse af, om farven (tilsætningsstoffer m.m.) influerer på partikelemissionerne, ville blive for omfattende indenfor projektets rammer.

I Tabel 9 er vist de udvalgte stagelys, som er benyttet i de efterfølgende tests.

TABEL 9
PRODUCENTOPLYSNINGER FOR DE 32 UDVALTE, HVIDE STAGELYS, SOM ER TESTET FOR PARTIKELEMISSION OG INDHOLDSANALYSE.

Lysnummer	Vokstype	Information om væge	Produktionsland	Svanemærket
5	Stearin	Nej	Sverige	Nej
6	Stearin	Nej	Sverige	Nej
12	Paraffin	Nej	Ukendt	Nej
19	Stearin	Nej	Letland/Danmark	Ja
21	Stearin	Nej	Ukendt	Nej
40	Ukendt eller blandet	Nej	EU	Nej
44	Stearin	Nej	Danmark	Ja
45	Stearin	Nej	Ukendt	Nej
46	Paraffin	Nej	Ukendt	Nej
59	Paraffin	Nej	Letland	Nej
69	Stearin	Nej	Ukendt	Ja

Lysnummer	Vokstype	Information om væge	Produktionsland	Svanemærket
70	Stearin	Nej	Letland	Ja
71	Stearin	Nej	Letland	Nej
72	Stearin	Nej	EU	Nej
74	Ukendt eller blandet	Nej	Ukendt	Nej
76	Ukendt eller blandet	Nej	Ukendt	Nej
82	Ukendt eller blandet	Nej	Ukendt	Nej
87	Ukendt eller blandet	Nej	Ukendt	Nej
94	Paraffin	Nej	Ukendt	Nej
100	Stearin	Nej	Ukendt	Nej
101	Stearin	Nej	Ukendt	Nej
102	Stearin	Nej	Ukendt	Nej
103	Stearin	Nej	Ukendt	Nej
105	Ukendt eller blandet	Nej	Ukendt	Nej
111	Ukendt eller blandet	Nej	Ukendt	Nej
113	Ukendt eller blandet	Nej	Danmark	Nej
121	Stearin	Nej	Ukendt	Nej
122	Ukendt eller blandet	Nej	Ukendt	Nej
126	Stearin	Ja	Sverige	Nej
127	Paraffin	Nej	Ukendt	Nej
130	Ukendt eller blandet	Nej	Danmark	Nej

Lysnummer	Vokstype	Information om væge	Produktionsland	Svanemærket
131	Ukendt eller blandet	Nej	Ukendt	Nej

6.2 Metodebeskrivelser

I de følgende afsnit beskrives de anvendte metoder, det anvendte måleudstyr og de klimarum, som er benyttet under målinger af levende lys. Selve måleopstillingen er ligeledes beskrevet og visualiseret. Beskrivelsen af metoderne til projektets analyser af partikelemission målt henholdsvis som kildekonzentration og som rum-/eksponeringskoncentration, samt metoden til indholdsanalyse af bly og nikkel på filtre, væger og voks beskrives i afsnit 6.2.1, 6.2.2 og 6.2.3. Resultaterne af analyserne præsenteres i henholdsvis afsnit 6.3, 6.4 og 6.5.

Medmindre andet er nævnt i teksten, angives den antalsmæssige udledning af partikler i enheden # partikler/cm³ og den masse-mæssige udledning af partikler i enheden mg/m³.

6.2.1 Metodebeskrivelse – partikelemission ved kildekonzentration

Et af projektets formål var at måle koncentrationen af emitterede partikler fra de tændte, levende lys, for dermed at kunne sammenligne partikeludledningen fra stagelys af forskellig vokstype. Dette er gjort ved at vælge en målemetode, som måler kildekonzentrationen af partikler fra lysene både i form af antal og partiklernes størrelsesfordeling (SMPS-måling) og i form af partikelmasse (DustTrak). Det er prioriteret i projektet at måle kildekonzentrationen på så mange lys som muligt, for at få et repræsentativt billede af partikelemissionen fra hvide stagelys på det danske marked. Ud fra betragtningen om, at målingerne skal være så reproducerbare som muligt, er det valgt at måle på lyset under optimal afbrænding, dvs. med rolig flamme og ingen træk, sodning, osv.

Den benyttede metode til emissionsmåling fra levende lys er valgt ud fra, at det er den mest standardiserede metode til bestemmelse af partikelemissioner fra levende lys, og at der med denne forsøgsopstilling sikres ensartet måling forskellige lys imellem. Målemetoden læner sig op af en allerede eksisterende målemetode, nemlig DS/EN15426, som er den anerkendte metode til måling af sodindeks fra levende lys.

SMPS – antalskoncentration og størrelsesfordeling

Til målingerne er benyttet SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer, model 3080) med nanoDMA (Differential Mobility Analyzer, model 3085) fra TSI. NanoDMA størrelsesfordeler partiklerne i op til 167 størrelsesfraktioner. Partiklerne tælles efterfølgende i CPC (Condensation Particle Counter, model 3776, TSI), så der kan aflæses såvel antalskoncentration (antal/cm³) som størrelsesfordeling. Med SMPS er der målt i størrelsesintervallet 4,4-166 nm, hvilket erfaringsmæssigt dækker partikelemissionerne fra levende lys bedst.

Skanningstiden per måling er 180 sekunder med efterfølgende 30 sekunders "down"-skan ("klargøring" til næste skan), hvilket giver opdeling i ca. 100 størrelsesfraktioner (skanningstiden har betydning for antal mulige fraktioneringer).

Til måling af kildekonzentrationen er der foretaget to målinger, som begge er foretaget i triplikatbestemmelse på hvert lys (i alt seks målinger/skanningsperioder på hvert lys). Måleperioden med SMPS per lys er således 21 minutter. Endvidere er der foretaget målinger på to stk. af hvert udvalgt lys (henholdsvis lys A og lys B), dvs. at for hver udvalgt lystype er der gennemført 12 målinger eller samlet 42 minutter.

DustTrak - partikelmasseemission

Til måling af partikelmasseemission fra de tændte, levende lys benyttes DustTrak DRX (model 8533 fra TSI). Partiklerne måles simultant i fem størrelsesfraktioner (PM₁, PM_{2.5}, PM₄, PM₁₀ og total PM, hvor PM står for *Particulate Matter*). PM_{2.5} dækker over massen af partikler med en optisk diameter mindre end 2,5 µm, målt i enheden mg/m³. Tidsopløsningen sættes til 5 sekunder, hvilket gør det muligt at følge udviklingen af partikelmasseemissionen over tid igennem måleperioden. DustTrak detekterer partikelmasse for partikler større end ca. 100 nm og op til ca. 15 µm i koncentrationsområdet 0,001-150 mg/m³.

Da der i projektet er fokus på respirable partikler, er der kun inkluderet partikelmasseemission af partikler med en optisk diameter mindre end 2,5 µm (PM_{2.5}) samt PM_{total}, idet disse danner udgangspunkt for sundhedsvurderingen.

Måling med DustTrak blev startet og afsluttet således, at der er foretaget måling i samme tidsperiode, som SMPS målte.

Måleopstilling

Det utændte, levende stagelys blev placeret i en stagelysholder. Denne blev placeret i en trådnetcylinder (som defineret i DS/EN15426, diameter 230 mm, højde 300 mm, luftgennemtrængelighed 60 ± 5 %), hvorefter højden blev tilpasset, så der var 20 cm fra overkant af lyset til overkanten af trådnetcylinderen. Herefter blev lyset centreret i forhold til trådnetcylinderen.

Måleslanger til SMPS og DustTrak blev placeret hen over øverste kant på trådnetcylinderen – se Figur 4.

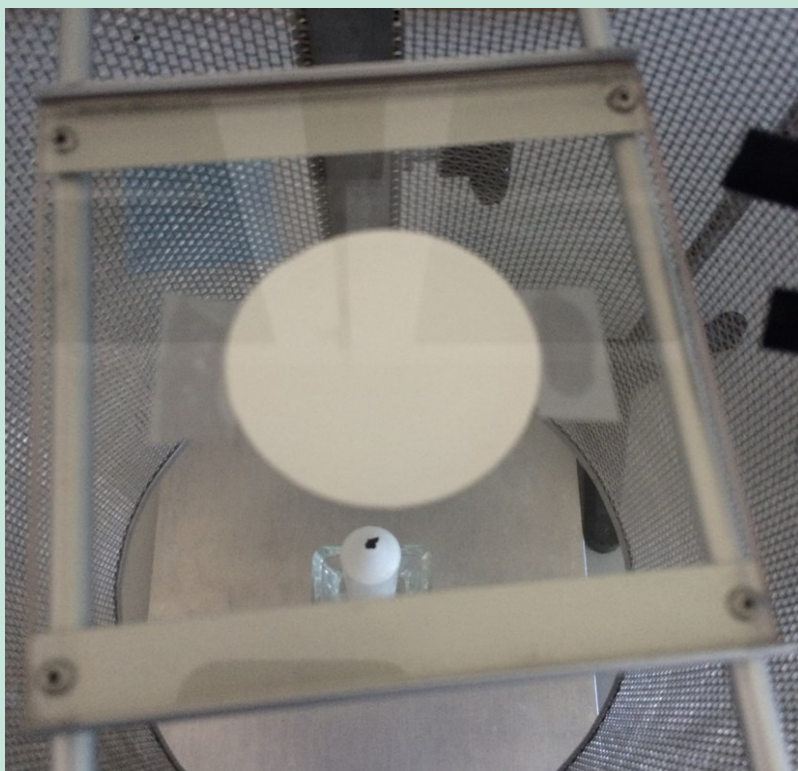
Filteret til passiv opsamling af røg fra det tændte, levende lys blev med to stykker tape fæstnet til en glasplade, som efterfølgende blev placeret i en dertil indrettet holder øverst på trådnetcylinderen – se også Figur 5.

Forsøgsopstillingen var placeret i et klimarum (med et gulvareal på 28 m²), hvori temperatur, relativ luftfugtighed og luftskifte kan kontrolleres. Til forsøgene er der anvendt en temperatur på 23 °C ± 2 °C, en luftfugtighed på 50 % RH ± 5 % RH, og luften er udskiftet to gange i timen¹².

¹² Luftskiftet er sat højere end en halv gang i timen, som normalt antages for et lokale, men på grund af opstillingen med trådnetcylinderen og måleprobernes placering ved overkant af cylinderen, har dette ikke haft indflydelse på antalsmålingerne. Rent visuelt er det kontrolleret, at det højere luftskifte ikke gav anledning til, at lyset blafrede.



FIGUR 4
MÅLEOPSTILLING VED MÅLING AF PARTIKELEMISSION FRA LEVENDE LYS MED SMPS.



FIGUR 5
HER SES ET FILTER PÅHÆFTET GLASPLADEN, SOM ER PLACERET ØVERST I TRÅDNETCYLINDEREN. NEDE I TRÅDNETCYLINDEREN SES DET LEVENDE LYS CENTRERET OG KLAR TIL MÅLING.

Måleperiode

Der er foretaget nulmåling på instrumenterne ved opstart, for at sikre at systemerne er tætte. Derudover er der foretaget baggrundsmåling på luften i lokalet for at få mulighed for at korrigere de efterfølgende målte resultater på emissionerne fra de levende lys.

Det levende lys blev klargjort til måling og tændt. Herefter brændte lyset i en time inden selve målingen for at sikre, at det brændte stabilt. Efter måleperioden blev lyset slukket og luften skiftet i klimarummet, og der blev igen målt på baggrundsluften for at sikre at der ikke blev overført partikelforurening fra målingen af ét lys til et andet. Det blev således sikret, at partikelniveauet i lokalet var under en procent i forhold til partikelniveauet ved den foregående måling – se Figur 6.

1 time	21 minutter	30-60 minutter
Optænding og stabil afbrænding	Måling	Slukning og baggrundsniveau

FIGUR 6
TIDSLINJE FOR MÅLING AF PARTIKELEMISSION FRA LEVENDE LYS.

Efter måling blev lyset pakket i pose og leveret til kemisk indholdsanalyse. Glaspladen med filtreret blev taget ned, filtreret blev pakket i filterbeholder og herefter afleveret til kemisk indholdsanalyse. Glaspladen blev vasket med vand og sæbe og derefter skyllet i demineraliseret vand, inden den blev duptrørret med viskestykke og efterfølgende lufttørret (i et lokale uden for klimarummet). Både filter og glasplade blev håndteret med engangshandsker og pincet.

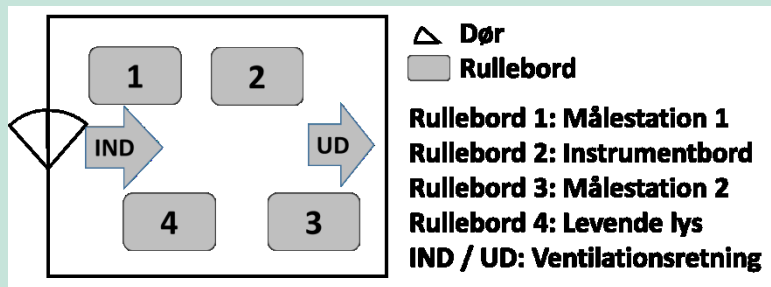
6.2.2 Metodebeskrivelse – partikelkoncentration i rummet

Et andet af projektets formål var at foretage en eksponeringsvurdering af brugssituationen. Til dette blev der foretaget måling af partikelkoncentrationen i et standard rum. På baggrund af resultaterne fra målingerne af kildekonzentrationen blev det besluttet i denne analyse at fokusere udelukkende på lys af vokstypen paraffin og stearin, som er udtaget i kortlægningen af de levende lys, da disse to vokstyper repræsenterer både de laveste og de højeste niveauer af partikelantal og partikelmasse målt i analysen af kildekonzentrationen.

Rum-/eksponeringskoncentrationen af partikler emitteret fra tændte levende lys blev målt i rummet med samme metoder som ved måling af kildekonzentrationen. Partikelantal (PN) og -størrelsesfordeling (PSD) blev udført med SMPS, og der er målt i størrelsesintervallet 4 – 166 nm. Partikelmassekoncentration (PM) er ligeledes målt med DustTrak (se yderligere beskrivelse af metoder i afsnit 6.2.1).

Til måling af rumkoncentrationen blev der benyttet et 20 m³ (3,17 x 2,17 x 2,88 m³) klimarum. Klimarummet er placeret inde i et eksisterende laboratorielokale og består af laboratorievægge på to af siderne og to plastikvægge. Der er indgang til rummet gennem et dobbelt lag plastik, som dækker henholdsvis ydersiden og indersiden af rummet, for at sikre lufttætheden. I rummet er ventilation styret med et luftskifte på ½ gang i timen. Der blev logget temperatur (22-28 °C) og luftfugtighed (% RH = 39-50) i måleperioden.

To målestationer blev benyttet til måling af rumkoncentration af partikler i klimakammeret. De to målestationer blev placeret i diagonalt modsatte hjørner, 40 cm x 60 cm fra væggene, og 125 cm over gulvet (svarer ca. til hovedhøjde for en siddende person). I en afstand på ca. 150 cm fra begge målestationer blev to levende lys placeret i hver deres trådnetscylinder (diameter 230 mm, højde 300 mm, luftgennemtrængelighed 60 ± 5 %) for at sikre optimal forbrænding (se Figur 7).



FIGUR 7
PRINCIPSKITSE AF KLIMAKAMMER OG TESTOPSTILLINGEN BENYTTET TIL MÅLINGER AF RUM-/EKSPONERINGSKONCENTRATIONEN AF PARTIKELEMISSIONEN.

For hver måling blev to lys af samme type tændt¹³ og brændte, til der var opnået stabil partikelkoncentration i klimakammeret (varierede mellem 15-50 minutter). Derefter blev der målt partikelmasseemission med DustTrak på begge målestationer under hele forløbet. Med SMPS blev der i alt målt partikelantalskoncentration og størrelsesfordeling i 8 scan (28 minutter). Der blev udført 2 scan af gangen skiftevis mellem målestation 1 og 2. Efter hver målekampagne blev kammeret grundigt ventileret.

Der blev udført rum-/eksponeringsmålinger på 12 forskellige lys; fem lys af vokstypen paraffin (lys nr. 12, 46, 59, 94 og 127) og syv lys af stearin (nr. 5, 19, 44, 72, 100, 101 og 102).

6.2.3 Metodebeskrivelse – indholdsanalyse for bly og nikkel

Væge og voks blev adskilt ved at flække lyset med en skarp skalpel, hvorefter vægen blev skrabet med skalpellen for at fjerne så meget voks som muligt. Denne adskillelse er vanskelig, hvorfor vægeprøverne formodes at være forurenede med en mindre mængde voks.

Prøvepræparation - væger

Delprøver af væger, nøjagtigt afvejede, blev opløst i 6 ml koncentreret salpetersyre ("subboiling quality") under varmekonsekvens med efterfølgende fortynding til 50 ml med Milli-Q-vand og filtrering resulterende i en syrekoncentration på 1,7 M. Blindprøver blev fremstillet tilsvarende.

Prøvepræparation – voks fra lys

Delprøver af voks, nøjagtigt afvejede, blev ved hjælp af mikrobølgeinduceret opvarmning præpareret med 20 ml 7 M salpetersyre ("subboiling quality"). Den resulterende opløsning blev fortyndet til 50 ml med Milli-Q-vand. Blindprøver blev fremstillet tilsvarende.

Prøvepræparation - filtre

Filtre blev opløst i 3 ml koncentreret salpetersyre ("subboiling quality") under varmekonsekvens med efterfølgende fortynding til 25 ml med Milli-Q-vand resulterende i en syrekoncentration på 1,7 M. Blindprøver blev fremstillet tilsvarende.

Kvantitativ analyse ved ICP-MS

Prøver og blindprøver blev analyseret for indhold af udvalgte grundstoffer ved ICP-MS med CCT i KED-mode og med He som kollisionsgas. Ge, Rh og Re blev anvendt som interne standarder. Kvantificeringen ved ICP-MS blev foretaget over for sporbare, eksterne standarder af grundstofferne. Kalibreringerne blev verificeret over for uafhængige, sporbare kontrolopløsninger.

¹³ De benyttede lys var de samme, som allerede var benyttet en gang før til måling af kildekonzentrationen. De var derfor allerede brændt ned til det 'stabile område' i voksen. Den brugte tid på mellem 15-50 minutter er til der var stabilt partikelniveau i klimakammeret inden selve målingen blev foretaget.

Analysen er udført som ægte dobbeltbestemmelse. Resultaterne er angivet som gennemsnit af disse. Der er dog angivet resultater for begge dobbeltbestemmelser for de prøver, der viste resultater både over og under detektionsgrænsen, og i de tilfælde, hvor resultaterne af dobbeltbestemmelserne varierer mere end metodens usikkerhed.

Metodens detektionsgrænse: 0,05 µg/filter eller 0,05 mg/kg.

6.3 Resultater af partikelemissionsmålinger af kildekonzentrationen

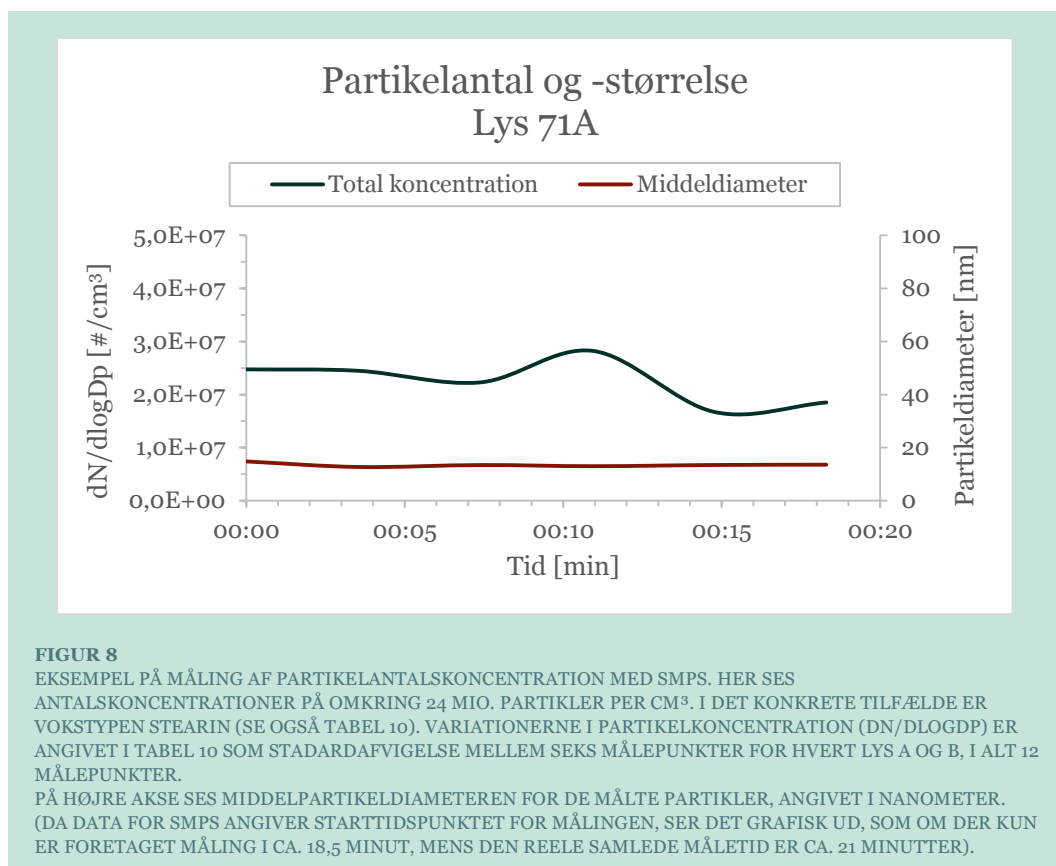
I det følgende præsenteres resultaterne af partikelemissionsmålingerne af kildekonzentrationen i første omgang med udgangspunkt i hvert enkelt lys og sidenhen på baggrund af en typegruppering af lysene.

6.3.1 Partikelantalsmålinger

Generelt var partikeludledningen fra de tændte, levende lys forholdsvis stabil i måleperioden, men enkelte lys varierede med mere end en faktor 3 i den angivne periode. Om variationerne skyldtes ujævnheder/urenheder i voksen, vægen eller noget helt tredje vides ikke. Et enkelt lys (lys nr. 127) udledte markant færre partikler end de resterende lys.

Den målte partikeldiameter er ligeledes relativt stabil gennem hele måleperioden. Kun for et enkelt lys blev der målt en stor variation (lys nr. 127).

I Figur 8 ses et eksempel på antalstælling af partikler foretaget med SMPS. Tilsvarende figurer for de øvrige lys findes i bilag 2.

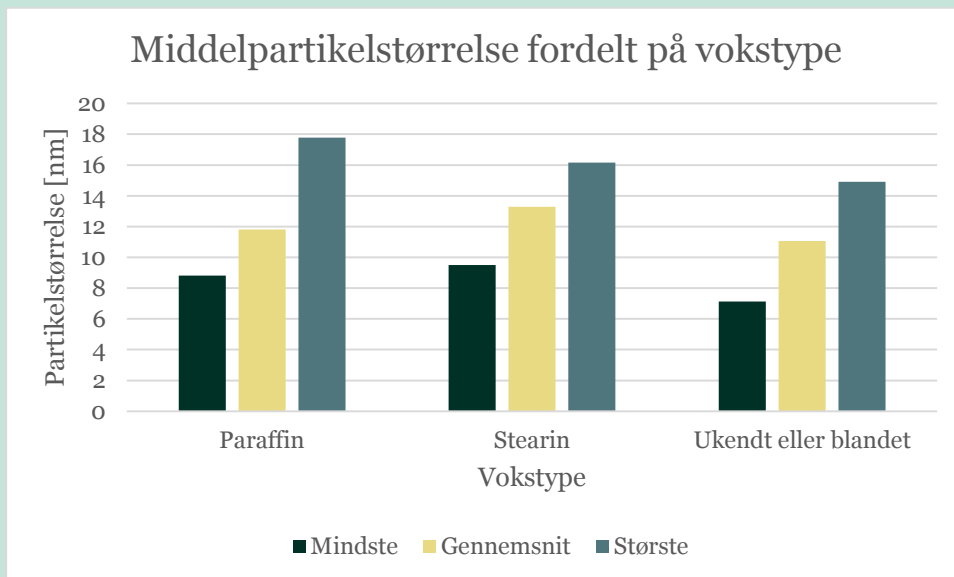


TABEL 10
EMISSION VED KILDEN (20 CM OVER LYSETS FLAMME).
PARTIKELANTALSKONCENTRATION, – DIAMETER OG –MASSEKONCENTRATION MED TILHØRENDE
STANDARDAFVIGELSER ER GENGIVET FOR HVERT AF DE TESTEDE LYS. RESULTATERNE PRÆSENTERES SOM
GENNEMSNITET AF MÅLINGERNE AF LYS A OG B FOR HVER LYSTYPE. LYSENE ER TESTET UNDER OPTIMALE
FORHOLD OG UDEN SODNING.

50 Kortlægning og risikovurdering af partikel- og tungmetalemission fra levende lys

Lys-nummer	Vokstype	Partikel-antalskonc. [#/cm ³]	Standard-afvigelse antalskonc. [#/cm ³]	Middel-partikeldiameter [nm]	Standard-afvigelse partikeldiameter [nm]	Partikel-massekonc. [mg/m ³]	Standard-afvigelse partikel-massekonc. [mg/m ³]
102	Stearin	1,8E+07	6,3E+06	13	1,2	1,2E-02	1,5E-03
103	Stearin	3,6E+06	9,4E+05	10	1,3	8,6E-03	3,6E-03
121	Stearin	1,9E+07	5,0E+06	15	1,4	4,0E-03	4,9E-04
126	Stearin	2,3E+07	4,2E+06	14	0,8	4,2E-03	5,0E-04
40	Fuldraffineret specialvoks	6,5E+06	3,5E+06	9	1,1	1,7E-03	7,3E-04
76	Genbrugt stearin	1,3E+07	3,9E+06	13	1,2	4,9E-03	1,4E-03
74	Palmeolie	1,5E+07	3,2E+06	12	1,3	3,3E-03	6,2E-04
130	Stearin og paraffin	1,2E+07	3,8E+06	12	1,3	3,5E-03	5,9E-04
82	Ukendt	3,4E+06	1,6E+06	9	1,7	7,9E-03	1,1E-03
87	Ukendt	4,6E+06	2,0E+06	9	1,4	1,2E-02	8,2E-03
105	Ukendt	2,2E+07	5,7E+06	15	1,3	3,9E-03	1,2E-03
111	Ukendt	9,9E+05	6,8E+05	7	0,9	3,8E-03	7,8E-04
113	Ukendt	1,4E+07	4,6E+06	13	1,6	3,8E-03	5,5E-04
122	Ukendt	5,4E+06	2,8E+06	10	1,2	4,6E-03	5,7E-04
131	Ukendt	1,1E+07	3,0E+06	14	2,2	3,1E-03	3,1E-04

Af Tabel 10 ses, at partikelstørrelsen generelt er relativt ens for de forskellige lys. Dette vurderes at skyldes afbrændingstypen (stagelys) og forbrændingsprocessen (stabil afbrænding uden sodning). Det ses af tabellen, at middelpartikeldiameteren er i intervallet 7-18 nm. Ved en aerodynamisk partikeldiameter i denne størrelsesorden er partiklerne så små, at de uopløselige dele af disse uden videre vil kunne translokere fra lungevævet (alveolerne) over i blodbanen og derfra transporteres rundt i kroppen.



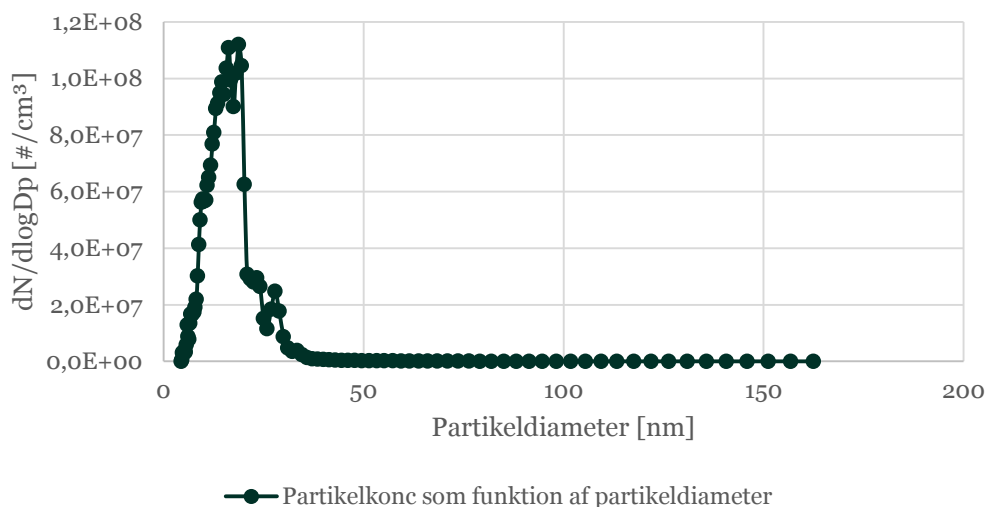
FIGUR 9
MIDDELPARTIKELSTØRRELSEN AF HVER VOKSTYPE ER HER GENGIVET MED DEN MINDSTE, DEN GENNEMSITLIGE OG DEN STØRSTE MÅLTE MIDDELPARTIKELSTØRRELSE.

Som Figur 9 ovenfor viser, er størrelsesintervallet relativt snævert for de emitterede partikler fra levende lys – hvis det holdes op mod begrebet *respirable partikler*, som defineres at være partikler under $2,5\ \mu\text{m}$ (2.500 nm). Der ses en lidt større spredning på partikelstørrelsen udledt fra paraffinlys end fra stearinlys, til gengæld er datagrundlaget bedre for stearinlys på grund af de flere testede lys (16 lys af stearin mod fem lys af paraffin).

Der er ikke foretaget undersøgelse af partikelstørrelsen over tid, dvs. om der sker en ændring af partikelstørrelsen i de forskellige afbrændingsfaser; optændingsfasen, stabil afbrændingsfasen og ulmefasen af det levende lys.

Det har heller ikke inden for rammen af dette projekt været muligt at undersøge partikelstørrelsesfordelingen for samtlige 32 lys (64 med dobbeltbestemmelse). Der er dog udvalgt et tilfældigt lys (lys nummer 100 af stearin), hvor der for et skan er foretaget beregning på partikelstørrelsesfordelingen – se også nedenstående Figur 10, som viser, at koncentrationen af partikler er størst i størrelsesintervallet 5-30 nanometer, hvorefter partikkelkoncentrationen er meget lav.

Partikelkonc som funktion af partikeldiameter Lys nr. 100



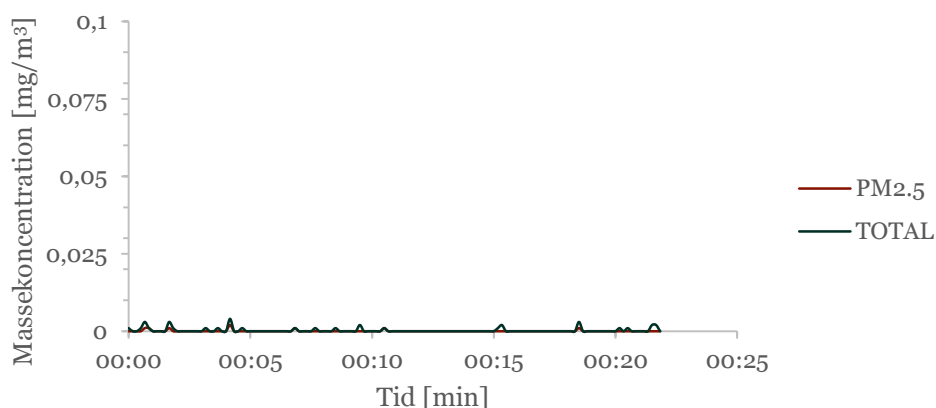
FIGUR 10

FIGUREN VISER PARTIKELKONCENTRATIONEN SOM FUNKTION AF DIAMETEREN FOR LYS 100. DET SES, AT KONCENTRATIONEN ER STØRST I STØRRELSESIINTERVALET 5-30 NANOMETER, HVOREFTER PARTIKELKONCENTRATIONEN ER MEGET LAV.

6.3.2 Partikelmassemålinger

Generelt blev der målt lave koncentrationer i de partikelmassemålinger, der blev foretaget med DustTrak. Grunden til, at de fleste levende lys udledte så lidt partikelmasse, er, at de udledte partikler er så små, at de knap kunne detekteres med instrumentet, og kun ganske få udledte en masse over 0,01 mg/m³. Et eksempel på et af disse lys kan ses i Figur 11.

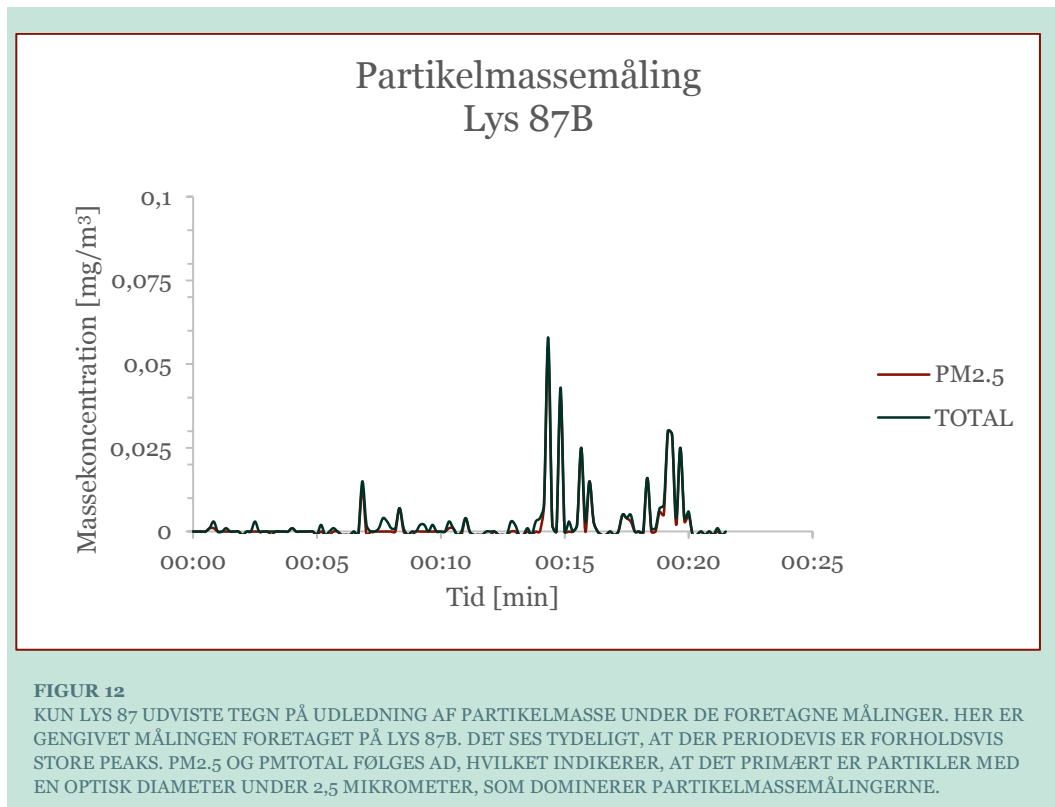
Partikelmassemåling Lys 19B



FIGUR 11

EKSEMPEL PÅ MÅLING AF PARTIKELMASSEKONCENTRATION MED DUSTTRAK. SOM DET VAR TILFÆLDET MED STORT SET ALLE MÅLINGERNE MED DUSTTRAK PÅ TÆNDTE, LEVENDE LYS, BLEV DER NÆSTEN IKKE MÅLT NOGEN 'STORE' PARTIKLER I RØGEN – SE DESUDEN BILAG 3.

Lys 87 (både 87a og 87b) udledte som det eneste levende lys forholdsvis store, stødvise partikelmassekoncentrationer i løbet af den ca. 21 minutter lange måleperiode. Disse koncentrationer nåede op på ca. 0,06 mg/m³, se Figur 12. Tilsvarende figurer for de øvrige lys findes i bilag 3.



6.3.3 Diskussion af partikelemissionsmålinger af kildekonzentrationen

De 32 udvalgte, levende lys er alle blevet kategoriseret ud fra de oplysninger, som producenterne/salgsstederne havde angivet på emballagen. De målte lys er blevet kategoriseret i tre overordnede kategorier, nemlig *stearin*, *paraffin* og *Ukendt eller blandet*:

- Kategorien *stearin*: Det fremgår tydeligt af oplysningerne på emballagen, at lysene er fremstillet af stearin (vokstypen er således stearin, og må ikke forveksles med lys med den hyppigt anvendte betegnelse *stearinlys*, som mere retvisende burde betegnes *levende lys*, dvs. lys, der kan være fremstillet af forskellige vokstyper).
- Kategorien *paraffin*: Det fremgår tydeligt af oplysningerne på emballagen, at lysene er fremstillet af paraffin.
- Kategorien *Ukendt eller blandet*: Enten 1) Det fremgår ikke tydeligt af oplysningerne på emballagen, hvilken vokstype lysene er fremstillet af; eller 2) Det fremgår af oplysningerne på emballagen, at der er anvendt en blanding af flere vokstyper; eller 3) Der er på emballagen beskrevet en voksfremstillingsprocedure uden tydeligt at angive, hvilken vokstype det drejer sig om (fx fuldraffineret voks); eller 4) Lys af andre typer voks, fx lys af "palmeolie".

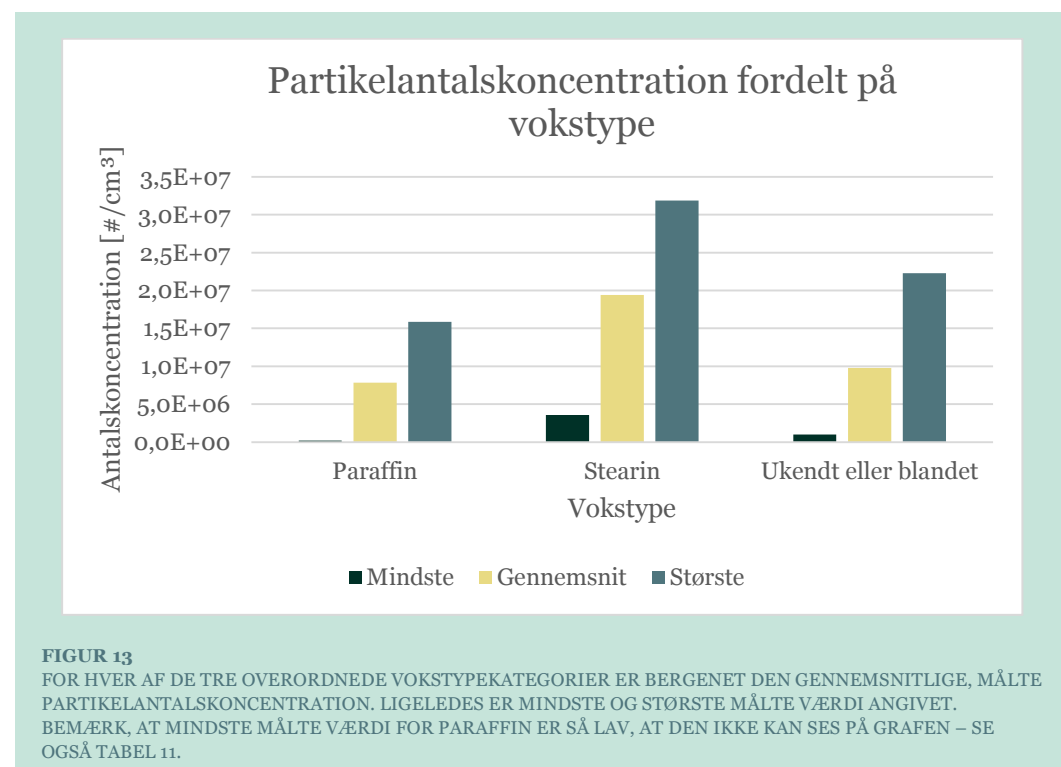
De tre overordnede kategorier gør det muligt at foretage en sammenligning mellem lystypernes partikelemissioner. I Tabel 11 er det angivet, hvor mange lys der er undersøgt fra hver af de tre kategorier. Desuden fremgår den mindste gennemsnitlige partikelantalskoncentration, gennemsnittet af den gennemsnitlige partikelantalskoncentration og den største, gennemsnitlige partikelkoncentration for hver af de tre kategorier. For læsevenligheds skyld vil disse fremover blive benævnt mindste partikelkoncentration, gennemsnitlige partikelkoncentration og største partikelkoncentration.

TABEL 11

VOKSTYPERNE ER GRUPPERET, OG DET ER TALT, HVOR MANGE LYS AF HVER VOKSType DER ER. FOR HVER GRUPPERING ER DER BERGNET EN GENNEMSNITLIG PARTIKELANTALSKONCENTRATION BASERET PÅ DE BEREGNEDE GENNEMSNITSVÆRDIER GENGIVET I TABEL 10 FOR HVERT LYS. STØRSTE OG MINDSTE VÆRDI I HVER GRUPPERING ER LIGELEDEN GENGIVET.

Vokstype	Antal lys af hver vokstype	Mindste gennemsnitlige partikelantalskoncentration [$\#/cm^3$]	Gennemsnitlig partikelantalskoncentration [$\#/cm^3$]	Største gennemsnitlige partikelantalskoncentration [$\#/cm^3$]
Paraffin	5	1,9E+05	7,8E+06	1,6E+07
Stearin	16	3,6E+06	1,9E+07	3,2E+07
Ukendt eller blandet	11	9,9E+05	9,8E+06	2,2E+07

Værdierne i Tabel 11 er gengivet grafisk i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet..**



Lys fremstillet af vokstypen stearin udleder generelt flest partikler med en gennemsnitlig udledning på 19 mio. partikler/ cm^3 . Der er stor variation i antallet af udledte partikler i denne kategori; fra ca. 4 mio. partikler/ cm^3 fra det lys, som udleder færrest, til 32 mio. partikler/ cm^3 fra det lys, som udleder flest partikler.

Lys fremstillet af paraffin har generelt en lavere udledning af partikler. Lys i denne kategori udleder gennemsnitligt 7,8 mio. partikler/ cm^3 . Også i denne kategori er der dog en stor variation i antallet af udledte partikler. Det lys fra kategorien *paraffin*, som udleder flest partikler, udleder 16 mio.

partikler/cm³, hvilket er under det gennemsnitlige antal udledte partikler for lys i kategorien *stearin*. Det lys i kategorien *paraffin*, som udleder færrest partikler, udleder partikelantalsmæssigt blot 1,3 % i forhold til gennemsnittet af lys i de øvrige kategorier. Der blev gennemsnitligt målt 0,2 mio. partikler/cm³ for dette lys.

Kategorien *Ukendt eller blandet* dækker over vokstyper, som enten ikke var angivet på emballagen og derfor er *Ukendt*, eller som ikke entydigt faldt ind under kategorierne *stearin* eller *paraffin*, fx lyset af ”stearin og paraffin” eller ”genbrugt stearin”. Målingerne af partikelemissionerne på lysene i denne kategori lægger sig antalsmæssigt mellem *paraffin*-gruppen og *stearin*-gruppen. Idet der kan være vokstyper af både stearin og paraffin i denne gruppe, er det også forventeligt at se både meget høje og meget lave målte partikelantalskoncentrationer.

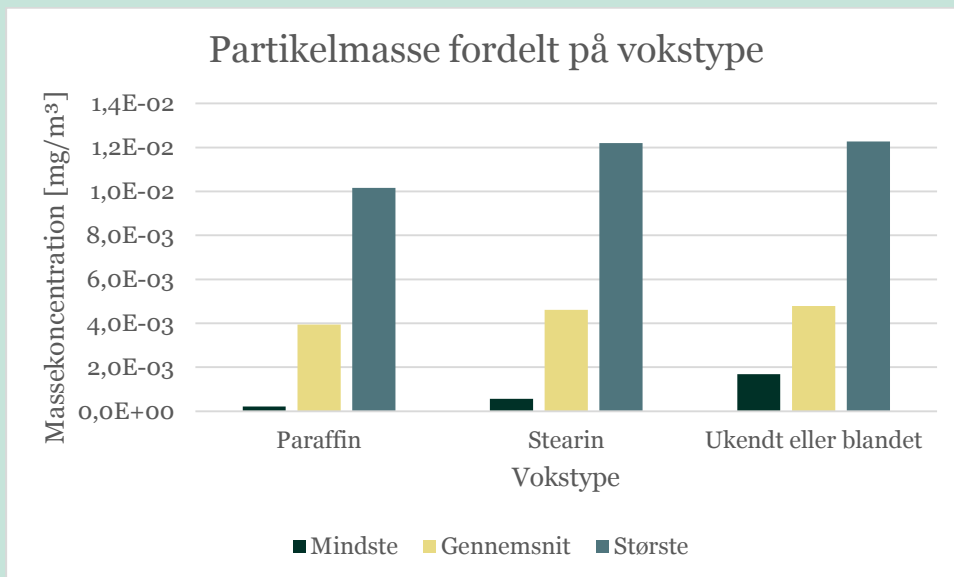
Som det ses i Figur 11, blev der stort set ikke målt nogen partikelmasseemissioner fra de tændte, levende lys. Kun et enkelt lys, lys 87 – Figur 12, viste tegn på decideret udledning af partikelmasse. Lys 87 er kategoriseret under *Ukendt eller blandet*, hvilket vil sige, at der ikke findes nærmere oplysninger om vokstypen. Der er tale om et forholdsvis dyrt lys. Produktionsland er ukendt. Det er derfor ikke muligt at konkretisere en evt. årsag til den øgede partikelmasseemission.

På tilsvarende vis som for partikelantalskoncentrationerne kan partikelmassekoncentrationerne angives. I Tabel 12 er vist værdier for massekoncentrationerne.

TABEL 12
FOR HVER VOKSTYPE ER DER BEREGNET EN GENNEMSITLIG PARTIKELMASSEKONCENTRATION BASERET PÅ DE BEREGNEDE GENNEMSITSVÆRDIER GENGIVET I TABEL 10 FOR HVERT LYS. STØRSTE OG MINDSTE VÆRDI I HVER GRUPPERING ER LIGELEDES GENGIVET.

Vokstype	Antal lys af hver vokstype	Mindste gennemsnitlige partikelmassekoncentration [mg/m ³]	Gennemsnitlig partikelmassekoncentration [mg/m ³]	Største gennemsnitlige partikelmassekoncentration [mg/m ³]
Paraffin	5	2,1E-04	3,9E-03	1,0E-02
Stearin	16	5,6E-04	4,6E-03	1,2E-02
Ukendt eller blandet	11	1,7E-03	4,8E-03	1,2E-02

Værdierne i Tabel 12 er gengivet grafisk i Figur 13.



FIGUR 13
FOR HVER AF DE TRE OVERORDNEDE VOKSTYPEKATEGORIER ER BEREGNET DEN GENNEMSITLIGE MÅLTE PARTIKELMASSEKONCENTRATION. LIGELEDES ER MINDSTE OG STØRSTE MÅLTE VÆRDI ANGIVET. SE DESUDEN TABEL 12.

6.3.4 Delkonklusion af kildekonzentrationsmålinger af partikelemissionen

Ud fra målinger på 32 levende lys kan det konkluderes, at paraffinlys generelt udleder færre partikler end lys af vokstypen stearin.

Den gennemsnitlige partikelstørrelse udledt fra de testede lys uanset vokstype ligger mellem 7 og 18 nm, hvilket er meget små partikler, som ligger i et relativt snævert størrelsesinterval, hvis det holdes op mod *respirable partikler*, som er partikler med størrelse under 2,5 µm (2.500 nm). Der er ikke en væsentlig forskel på størrelsen af partikler udledt fra paraffinlys vs. partikler udledt fra stearinlys.

Alle lys uanset vokstype udledte en meget lav partikelmasse af partikler i det målbare område (partikler af størrelsen 100 nm – 15 µm). Det skal understreges, at alle lys primært udleder partikler af en mindre størrelse med en gennemsnitlig partikelmiddeldiameter på 7-18 nm, hvilket er udenfor DustTrak apparaturets måleområde.

6.4 Resultater af partikelemissionsmålinger i rum på 20 m³

I det følgende præsenteres resultaterne af partikelemissionsmålingerne, som skal repræsentere eksponeringskoncentrationen for brugere af levende lys. Emissionen fra 12 forskellige lystyper blev målt ved samtidig afbrænding af to lys. Målingerne blev foretaget i et klimarum på 20 m³, svarende til det standardværelse, som indgår i det i kap. 7 opstillede eksponeringsscenarie. Rumkoncentrationerne blev målt ved afbrænding af lys af vokstypen paraffin (fem forskellige typer) og lys af vokstypen stearin (syv forskellige typer).

I Tabel 13 ses partikelantalskoncentrationen, den gennemsnitlige partikelstørrelse, samt partikelmassekonzentrations (målt som PM_{2,5}) for de 12 udvalgte lys. Værdierne i tabellen viser det beregnede gennemsnit af værdierne målt ved de to målestationer i rummet.

TABEL 13

EMISSION I RUMMET (MÅLT 1,5 M FRA DE TÆNDTE LYS).

RUMKONCENTRATION VED AFBRÆNDING AF TO LYS SAMTIDIGT. PARTIKELANTALSKONCENTRATION, –DIAMETER OG –MASSEKONCENTRATION MED TILHØRENDE STANDARDAFVIGERLSE ER GENGIVET FOR HVERT AF DE TESTEDE LYSTYPER SOM ET GENNEMSNIIT AF TO MÅLINGER FORETAGET I ET RUM PÅ 20M³ VED AFBRÆNDING AF 2 LYS SAMTIDIGT. LYSENE ER TESTET UNDER OPTIMALE FORHOLD OG UDEN SODNING.

Lys nr.	Voks-type	Partikel-antalskonc. [#/cm ³]	Standard-afvigelse Partikel-antalskonc. [#/cm ³]	Middel-partikel-diameter [nm]	Standard-afvigelse Partikel-diameter [nm]	Partikel masse-konc. [mg/m ³]	Standard-afvigelse Masse-konc. [mg/m ³]
12	Paraffin	1,3E+06	2E+05	22	1	0,003	0,002
46	Paraffin	9,7E+05	2E+05	18	1	0,005	0,002
59	Paraffin	1,1E+06	2E+05	20	1	0,008	0,001
94	Paraffin	8,9E+05	4E+05	16	2	0,010	0,002
127	Paraffin	3,2E+05	7E+04	11	1	0,001	0,001
5	Stearin	1,7E+06	4E+05	21	2	0,020	0,003
19	Stearin	1,7E+06	4E+05	25	2	0,005	0,001
44	Stearin	1,6E+06	3E+05	24	2	0,000	0,001
72	Stearin	1,5E+06	3E+05	20	4	0,012	0,003
100	Stearin	1,5E+06	2E+05	26	1	0,007	0,001
101	Stearin	1,6E+06	3E+05	22	1	0,013	0,002
102	Stearin	1,6E+06	3E+05	22	1	0,004	0,001

I Tabel 14 er det angivet, hvor mange lys der er undersøgt af vokstyperne paraffin og stearin, sammen med oplysninger om den gennemsnitlige partikelantalskoncentration, partikelstørrelse, og partikelmassekoncentration (PM_{2,5}) for hver af vokstyperne (med de laveste og højeste målte værdier i parentes).

TABEL 14

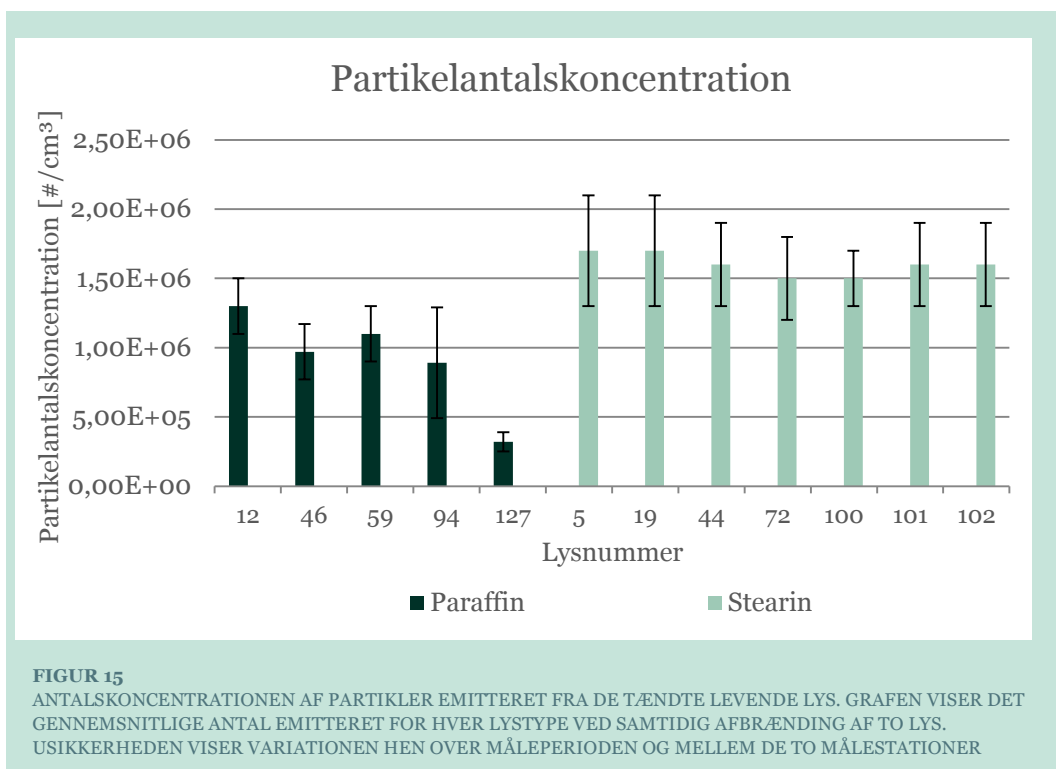
EMISSION I RUMMET (MÅLT 1,5 METER FRA DE TÆNDTE LYS).

GENNEMSNIITET AF PARTIKELANTALSKONCENTRATION, –DIAMETER OG –MASSEKONCENTRATIONERNE VIST I TABEL 13 FOR HENHOLDSVIS PARAFFINLYS OG STEARINLYS. VED AFBRÆNDING AF 2 LYS SAMTIDIGT. GENGIVET SOM GENNEMSNIIT, MED MINIMUM OG MAXIMUM VÆRDI I PARENTES.

Voks-type	Antal lys	Partikelantals-koncentration [n/cm ³]	Partikel diameter [nm]	Partikelmasse-koncentration [mg/m ³]
Paraffin	5	9,16E+05 (3,2E+05 - 1,3E+06)	17,4 (11-22)	5,4E-03 (1,2E-03 – 1,0E-02)
Stearin	7	1,6E+06 (1,5E+06 - 1,7E+06)	22,9 (21- 26)	8,7E-03 (0 – 2,0E-02)

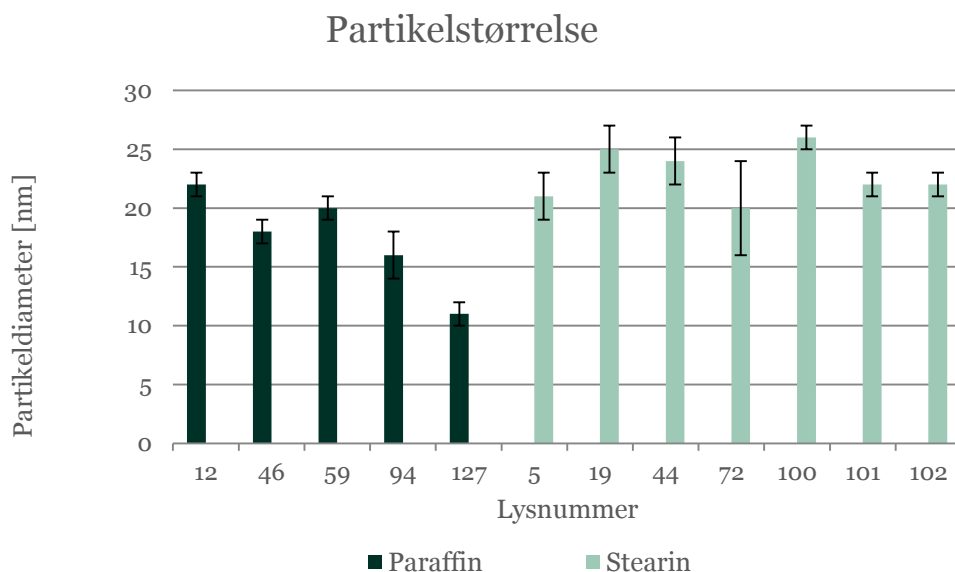
6.4.1 Partikelantal

For de analyserede lys blev partikelantalskoncentrationer i rummet målt i koncentrationer mellem 320.000 og 1,7 mio. partikler/cm³ ved afbrænding af to lys samtidigt. Den højeste koncentration af partikler i klimarummet blev målt ved afbrænding af stearin lys. Således var alle målingerne af rumkoncentrationen højere for de testede stearinlys sammenlignet med de målte rumkoncentrationer ved afbrænding af de testede paraffinlys (Figur 15).



6.4.2 Partikelstørrelse

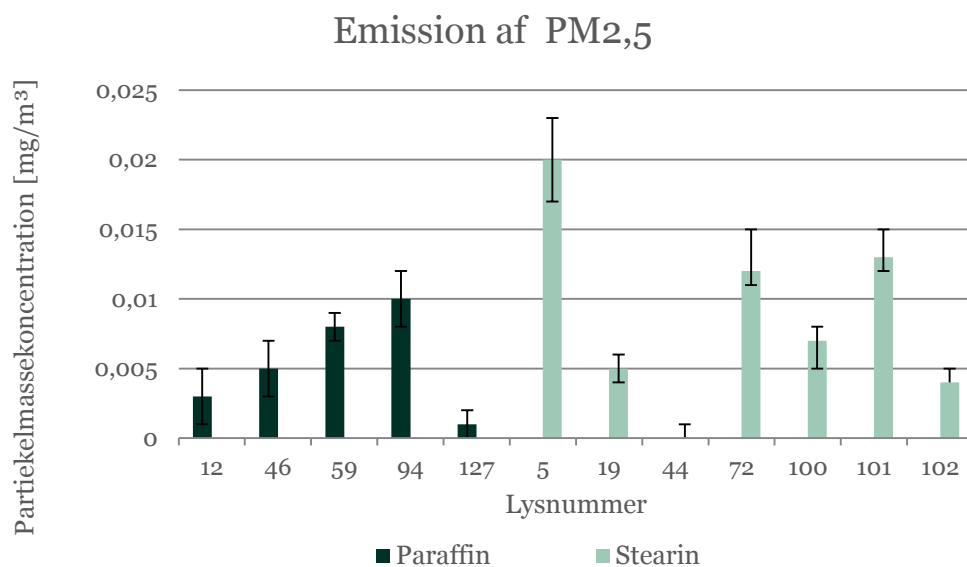
Den gennemsnitlige partikeldiameter for partikler målt i rummet var større for stearin (22,9 nm) end for paraffin (17,4 nm). Den gennemsnitlige partikelstørrelse varierede mere mellem de testede paraffinlys end blandt de testede stearinlys (Figur 16).



FIGUR 16
DEN GENNEMSNITLIGE PARTIKELSTØRRELSE ER VIST FOR HVERT LYSNUMMER. USIKKERHEDEN VISER VARIATIONEN IGennem MÅLEPERIODEN OG MELLEM DE TO MÅLESTATIONER.

6.4.3 Partikelmasse

Partikelmassekoncentrationen (PM_{2,5}) for alle lys var relativ lav og tæt på måleapparatets nedre detektionsgrænse på 0,001 mg /m³. Den højest målte partikelmasse på 0,02 mg /m³ blev målt ved afbrænding af et stearinlys. Lysene af stearin udledte i gennemsnit en smule mere partikelmasse end lysene af paraffin (Figur 17).



FIGUR 17
MASSEKONCENTRATIONEN (PM_{2,5}) AF PARTIKLER EMITTERET FRA DE TÆNDTE LEVENDE LYS. GRAFEN VISER DET GENNEMSNITLIGE ANTAL EMITTERET FOR HVER LYSTYPE VED SAMTIDIG AFBRÆNDING AF TO LYS. USIKKERHEDEN VISER VARIATIONEN HEN OVER MÅLEPERIODEN OG MELLEM DE TO MÅLESTATIONER.

6.5 Sammenligning af kilde- og rumkoncentrationsmålinger

Målingerne for rum-emissionerne (vist i Tabel 13 og Tabel 14) kan sammenlignes med målingerne for kildekonzentrationsmålingerne foretaget lige over lyset (vist i Tabel 10 og Tabel 11). Den gennemsnitlige partikelantalskoncentration, partikelstørrelse og partikelmassekoncentration (PM_{2,5}) for hver af vokstyperne paraffin og stearin målt i de to forsøg kan ses i Tabel 15. Målingerne af rumkoncentration er ganget med en faktor 0,5 for at beregne niveauet pr. lys.

TABEL 15
EMISSION I RUM OG VED KILDE-
PARTIKELANTALSKONCENTRATION, –MIDDELDIAMETER OG –MASSEKONCENTRATION FOR HVER AF
VOKSTYPERNE PARAFFIN OG STEARIN. BASERET PÅ VÆRDIER I TABEL 10 (MÅLING VED KILDE LIGE OVER DET
TÆNDTE LYS) OG TABEL 13 (MÅLING I RUM) OG PRÆSENTERET SOM GENNEMSNIET (MINDSTE – STØRSTE VÆRDI).

Forsøg	Voks- type	Antal lys	Partikelantals- koncentration [#/cm ³]	Partikel- diameter [nm]	Partikelmasse- koncentration [mg/m ³]
Rum (målt 1,5 m fra de tændte lys)	Paraffin	5	4,6E+05 (1,6E+05 – 6,5E+05)	17,4 (11-22)	2,7E-03 (5,0E-04 – 5,0E-03)
Rum (målt 1,5 m fra de tændte lys)	Stearin	7	8,0E+05 (7,5E+05 – 8,5E+05)	22,9 (21- 26)	4,4E-03 (0,0 – 1,0E-2)
Kilde (målt 20 cm over flammen)	Paraffin	5	7,8E+06 (1,9E+05 – 1,6E+07)	12 (9 - 18)	3,9E-03 (2,1E-04 – 1,0E-02)
Kilde (målt 20 cm over flammen)	Stearin	16	1,9E+07 (3,6E+06 – 3,2E+07)	13,4 (10 - 16)	4,6E-03 (5,6E-04 – 1,2E-02)

Partikelantalskoncentrationen i rummet var ligesom partikelantalskoncentrationen målt ved kilden generelt lavere for de analyserede paraffinlys end for de analyserede lys af stearin. For de enkelte lys ses der ingen tydelig sammenhæng mellem partikelantalskoncentrationen ved kilden og den målte partikelantalskoncentration ude i rummet. Forholdet mellem partikelantalskoncentrationen ved kilden og ude i rummet varierede med en faktor mellem 1 og 43 for de analyserede lys med et gennemsnit på 23. Der er således målt relativ ens partikelantalskoncentrationer i rummet for alle lys af vokstypen stearin uafhængigt af de meget varierende kildekonzentrations målt for samme lys.

Partikelstørrelsen af de emitterede partikler målt i rummet havde en middeldiameter på mellem 11 nm og 26 nm, hvilket er større end middeldiameteren af partiklerne målt ved kilden, som var mellem 7 nm og 18 nm. Resultatet indikerer, at der sker en agglomeration af partiklerne ude i rummet. Graden af agglomeration ser ud til at variere mellem partikler fra lys af paraffin og stearin. Der er ikke foretaget måling på hastigheden af agglomeration af partikler, hvorved der ikke i dette studie findes data over, om den tidlige faktor influerer på den samlede agglomeration. Hvor den gennemsnitlige middeldiameter var ens ved kilden (over lyset) på henholdsvis 12 nm og 13 nm for paraffin og stearin, agglomerede partiklerne fra stearinlysene til større partikler ude i rummet, hvor den gennemsnitlige middeldiameter målt til henholdsvis 17 nm for paraffin og 23 nm stearin.

Alle målte massekoncentrationer var lave og tæt på metodens nedre detektionsgrænse. De målte massekoncentrationer i rummet på samme niveau som ved kilden. En forklaring på dette kan være, at emissionen fra alle lys, målt både ved kilden og ude i rummet, primært består af partikler af en mindre størrelse med en gennemsnitlig partikelmiddeldiameter fra 9 nm til 26 nm, hvilket er udenfor DustTrak apparatets måleområde, og dermed ikke bidrager væsentligt til den målte massekoncentration. Der er således ikke konstateret agglomeration af små partikler til større partikler i en sådan grad, at det kan detekteres med DustTrak.

6.5.1 Delkonklusion på partikelemissionsmålingerne

Ud fra målinger på 12 forskellige levende lys kan det konkluderes, at paraffinlys generelt udleder et færre antal partikler end lys af vokstypen stearin. Forskellen i partikelantalskoncentration mellem de to vokstyper var dog mindre ude i rummet end ved kilden.

Den gennemsnitlige middelpartikelstørrelse udledt fra de testede lys var 17 nm for lys af paraffin og 23 nm for lys af stearin, hvilket viser agglomeration af partiklerne ude i rummet i forhold til partikelstørrelsen målt ved kildekonzentrationen. Hvis der tages udgangspunkt i målte data, ses det at partikler fra stearinlys agglomererede i højere grad i rummet end partikler fra paraffin. Den gennemsnitlige middelpartikelstørrelse for alle lys var dog fortsat meget lille, og i en størrelsesorden hvor de uopløselige af partiklerne vil kunne translokere fra lungevævet (alveolerne) over i blodbanen og derfra kunne transporteres rundt i kroppen.

Partikelmassekoncentrationen i rummet var lav for alle lys og på et niveau i samme størrelsesorden som partikelmassen målt som kildekonzentration.

6.5.2 Perspektivering af partikelemissionsmålinger

Der findes på nuværende tidspunkt ikke grænseværdier for partikelantalskoncentrationer. Målinger foretaget med SMPS bliver derfor sammenlignet med enten tidligere studier eller erfaringsværdier.

Antallet af udledte partikler kan holdes op mod antallet af udledte partikler ved almindelig madlavning i hjemmet. Der er foretaget målinger af antallet af ultrafine partikler ved bagning af brød og stegning af kød på varm pande. Dette vil typisk give anledning til 1 million partikler per cm^3 , hvilket er i samme størrelsesorden som den målte antalskoncentration ved brug af levende lys i et rum på 20 m^3 i dette projekt.

En anden hyppigt benyttet erfaringsværdi, når partikelantalskoncentrationen vurderes, er koncentrationen af ultrafine partikler i luften på H. C. Andersens Boulevard i København. En almindelig hverdag vil koncentrationen her typisk ligge på 30.000 - 40.000 partikler/ cm^3 .

Det skal understreges, at det ikke er undersøgt, hvilke typer af partikler det drejer sig om i målingerne på levende lys, altså om det fx er uorganiske salte, organiske (semi)flygtige partikler eller black carbon. Der er kun foretaget kvantificering. For sundhedsvurdering af partikelantallet, se kapitel 7.

6.6 Resultater af indholdsanalyser af bly og nikkel

Efter de foretagne partikelemissionsmålinger blev lysene indleveret til kemisk analyse for indhold af bly og nikkel i henholdsvis voks og væge samt i filtre anvendt til opsamling under afbrændingen. Analysedataene fra de kemiske analyser er præsenteret i nedenstående Tabel 15.

Analyserne er udført som ægte dobbeltbestemmelse, og resultaterne er angivet som gennemsnit af disse. Der er dog angivet resultater for begge dobbeltbestemmelser for de prøver, der viser resultater både over og under detektionsgrænsen på hhv. 0,05 µg/filter og 0,05 mg/kg for voks og væge, og for de prøver, for hvilke resultaterne af dobbeltbestemmelserne varierer mere end metodens usikkerhed. Bemærk, at resultaterne er angivet med forskellige enheder.

6.6.1 Analyser af bly og nikkel på filtre

Ved analysen af filtrene blev der for langt hovedparten af lysene ikke detekteret hverken bly eller nikkel på filtrene fra afbrænding, se Tabel 15. Dog blev der påvist bly på filtrene fra lys 111 og 122 i koncentrationer på henholdsvis 0,60 µg/filter og op til 0,16 µg/filter for mindst et af de testede lys, samt nikkel på filtrene fra mindst et af de testede lys 5, 21 og 103 i koncentrationer på henholdsvis op til 0,17 µg/filter, 0,11 µg/filter og op til 0,11 µg/filter.

TABEL 15

SKEMAET VISER INDHOLDET AF BLY OG NIKKEL OPSAMLET PÅ FILTRE I FORBINDELSE MED AFBRÆNDING AF DE LEVENDE LYS. DER ER ANGIVET RESULTATER FOR BEGGE DOBBELTBESTEMMELSER FOR DE PRØVER, DER VISER RESULTATER BÅDE OVER OG UNDER DETEKTIONSGRÆNSEN, OG FOR DE PRØVER, FOR HVILKE RESULTATERNE AF DOBBELTBESTEMMELSERNE VARIERER MERE END METODENS USIKKERHED.

Prøvenummer	Vokstype	Bly (ved afbrænding) Resultater i µg/filter	Nikkel (ved afbrænding) Resultater i µg/filter
Baggrund, filter	-	<0,05	<0,05
Lys 5A, lys 5B, filter	Stearin	<0,05	0,17/<0,05
Lys 6A, lys 6B, filter	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 12A, lys 12B, filter	Paraffin	<0,05	<0,05
Lys 19A, lys 19B, filter*	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 21A, lys 21B, filter	Stearin	<0,05	0,11/<0,05
Lys 40A, lys 40B, filter	Fuldraffineret specialvoks	<0,05	<0,05
Lys 44A, lys 44B, filter*	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 45A, lys 45B, filter	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 46A, lys 46B, filter	Paraffin	<0,05	<0,05
Lys 59A, lys 59B, filter	Paraffin	<0,05	<0,05
Lys 69A, lys 69B, filter*	Stearin	<0,05	<0,05

Prøvenummer	Vokstype	Bly (ved afbrænding) Resultater i µg/filter	Nikkel (ved afbrænding) Resultater i µg/filter
Lys 70A, lys 70B, filter*	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 71A, lys 71B, filter	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 72A, lys 72B, filter	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 74A, lys 74B, filter	Palmeolie	<0,05	<0,05
Lys 76A, lys 76B, filter	Genbrugt stearin	<0,05	<0,05
Lys 82A, lys 82B, filter	Ukendt	<0,05	<0,05
Lys 87A, lys 87B, filter	Ukendt	<0,05	<0,05
Lys 94A, lys 94B, filter	Paraffin	<0,05	<0,05
Lys 100A, lys 100B, filter	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 101A, lys 101B, filter	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 102A, lys 102B, filter	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 103A, lys 103B, filter	Stearin	<0,05	<0,05/0,11
Lys 105A, lys 105B, filter	Ukendt	<0,05	<0,05
Lys 111A, lys 111B, filter	Ukendt	0,60 (0,63/0,56)	<0,05
Lys 113A, lys 113B, filter	Ukendt	<0,05	<0,05
Lys 121A, lys 121B, filter	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 122A, lys 122B, filter	Ukendt	0,089/0,16	<0,05
Lys 126A, lys 126B, filter	Stearin	<0,05	<0,05
Lys 127A, lys 127B, filter	Paraffin	<0,05	<0,05
Lys 130A, lys 130B, filter	Stearin og paraffin	<0,05	<0,05

Prøvenummer	Vokstype	Bly (ved afbrænding) Resultater i µg/filter	Nikkel (ved afbrænding) Resultater i µg/filter
Lys 131A, lys 131B, filter	Ukendt	<0,05	<0,05

*: Lyset er svanemærket.

6.6.2 Indholdsanalyser af bly og nikkel i voks og væge fra lys

De kemiske analyser for indhold af bly og nikkel viste, at langt hovedparten af lysene ikke indeholder hverken bly eller nikkel i voksen. Dog blev der påvist indhold af bly i fire af lysene (lys 71, 87, 111 og 122) i koncentrationer fra 0,11 mg/kg til 0,37 mg/kg, mens kun to af lysene indeholdt nikkel (lys 19 og 44) i koncentrationer på 0,010 mg/kg til 1,3 mg/kg.

Derimod viste de kemiske analyser, at en stor del af vægerne indeholdt bly, dvs. 26 ud af de 32 prøver. Koncentrationerne varierer fra 0,054 mg/kg til 9 mg/kg. Vægerne i ni af lysene indeholdt nikkel i koncentrationer fra 0,082 mg/kg til 2,5 mg/kg.

TABEL 16

TALLENE LISTET I TABELLEN VISER RESULTATERNE AF DE KEMISKE ANALYSER FOR INDHOLD AF BLY OG NIKKEL I VOKS OG VÆGER. DER ER ANGIVET RESULTATER FOR BEGGE DOBBELTBESTEMMELSER FOR DE PRØVER, DER VISER RESULTATER BÅDE OVER OG UNDER DETEKTIONSGRÆNSEN, OG FOR DE PRØVER, FOR HVILKE RESULTATERNE AF DOBBELTBESTEMMELSERNE VARIERER MERE END METODENS USIKKERHED.

Prøvenummer	Vokstype	Voks		Væge	
		Bly [mg/kg]	Nikkel [mg/kg]	Bly [mg/kg]	Nikkel [mg/kg]
Lys 5A, lys 5B	Stearin	<0,05	<0,05	0,43/0,16	0,69/<0,05
Lys 6A, lys 6B	Stearin	<0,05	<0,05	0,22/0,12	<0,05/2,5
Lys 12A, lys 12B	Paraffin	<0,05	<0,05	0,20/<0,05	<0,05
Lys 19A, lys 19B *	Stearin	<0,05	0,10/0,16	<0,05/0,054	0,082/0,29
Lys 21A, lys 21B	Stearin	<0,05	<0,05	0,45/0,29	0,13/<0,05
Lys 40A, lys 40B	Fuldraffineret specialvoks	<0,05	<0,05	<0,05/3,5	<0,05/0,22
Lys 44A, lys 44B *	Stearin	<0,05	1,3/<0,05	<0,05/0,073	0,093/<0,05
Lys 45A, lys 45B	Stearin	<0,05	<0,05	0,14/0,073	<0,05
Lys 46A, lys 46B	Paraffin	<0,05	<0,05	0,19/0,11	<0,05/0,29
Lys 59A, lys 59B	Paraffin	<0,05	<0,05	0,40/0,22	<0,05
Lys 69A, lys 69B *	Stearin	<0,05	<0,05	0,31/0,22	0,21/<0,05

Prøvenummer	Vokstype	Voks		Væge	
		Bly [mg/kg]	Nikkel [mg/kg]	Bly [mg/kg]	Nikkel [mg/kg]
Lys 70A, lys 70B *	Stearin	<0,05	<0,05	0,19/0,43	<0,05
Lys 71A, lys 71B	Stearin	<0,05/0,16	<0,05	0,29 (0,30/0,29)	<0,05
Lys 72A, lys 72B	Stearin	<0,05	<0,05	0,092/0,15	<0,05
Lys 74A, lys 74B	Palmeolie	<0,05	<0,05	<0,05/1,6	<0,05
Lys 76A, lys 76B	Genbrugt stearin	<0,05	<0,05	<0,05/0,066	<0,05
Lys 82A, lys 82B	Ukendt	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Lys 87A, lys 87B	Ukendt	<0,05/0,37	<0,05	0,069/0,28	<0,05
Lys 94A, lys 94B	Paraffin	<0,05	<0,05	0,094/0,053	<0,05
Lys 100A, lys 100B	Stearin	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Lys 101A, lys 101B	Stearin	<0,05	<0,05	<0,05/0,080	<0,05
Lys 102A, lys 102B	Stearin	<0,05	<0,05	0,056/<0,05	<0,05
Lys 103A, lys 103B	Stearin	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Lys 105A, lys 105B	Ukendt	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Lys 111A, lys 111B	Ukendt	<0,05/0,11	<0,05	1,0/9,0	1,6/<0,05
Lys 113A, lys 113B	Ukendt	<0,05	<0,05	0,25/<0,05	<0,05
Lys 121A, lys 121B	Stearin	<0,05	<0,05	0,31/<0,05	<0,05
Lys 122A, lys 122B	Ukendt	0,22/0,13	<0,05	0,22 (0,24/0,20)	<0,05
Lys 126A, lys 126B	Stearin	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Lys 127A, lys 127B	Paraffin	<0,05	<0,05	<0,05/0,082	<0,05
Lys 130A, lys 130B	Stearin og paraffin	<0,05	<0,05	<0,05/0,077	<0,05
Lys 131A, lys 131B	Ukendt	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

*: Lyset er svanemærket.

6.6.3 Sammenfatning af analyseresultater

Som beskrevet tidligere fremgår resultaterne for begge dobbeltbestemmelser for de prøver, der viser resultater både over og under detektionsgrænsen, samt for de prøver, for hvilke resultaterne af dobbeltbestemmelserne varierer mere end metodens usikkerhed. Det vurderes, at afvigelserne i dobbeltbestemmelserne skyldes inhomogenitet i lysenes enkeltdele, og at dette giver udslag i resultaterne af både indholdsanalyserne og resultaterne for afbrændingen.

Generelt er der påvist mere bly og nikkel i lysenes væger end i voksen, og der er påvist mere bly end nikkel i vægerne fra lysene. Som tidligere nævnt er der påvist bly i vægerne i 26 ud af de 32 lys.

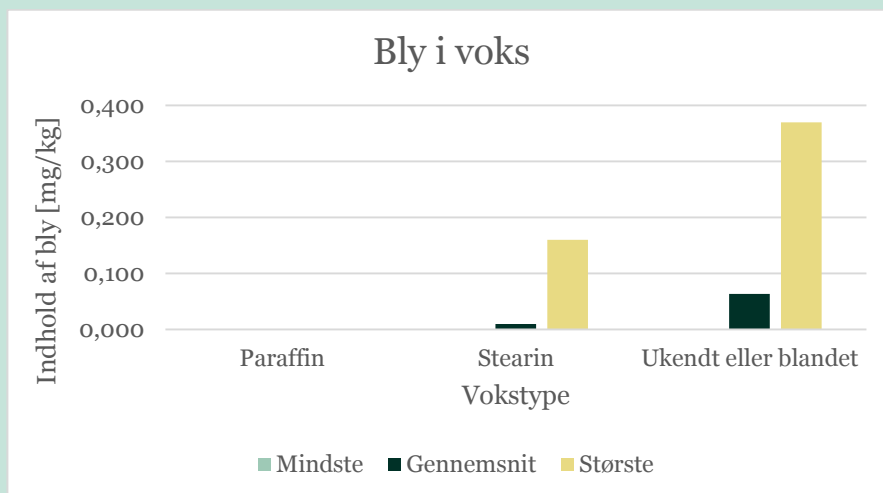
Ingen af de fire svanemærkede lys viste indhold af bly og nikkel ved afbrænding, men der blev påvist indhold af bly og/eller nikkel i alle de fire svanemærkede lys og dette primært i vægerne. De påviste mængder var dog lave, svarende til blyindhold på 0,054-0,43 mg/kg og nikkelindhold på 0,082-1,3 mg/kg. Niveauerne for lysene uden svanemærkning ligger på stort set samme niveauer, dog med undtagelse af lys 6 og lys 111, hvor lys 111 har indhold af bly og nikkel på op til henholdsvis 9 mg/kg og 1,6 mg/kg i vægen, mens lys 6 har et indhold af nikkel på 2,5 mg/kg i vægen.

Sammenholdes resultaterne for filtrene med resultaterne for lysenes enkeltdele, ses det, at nikkel på filtrene fra afbrænding af lys 5 (op til 0,17 µg/filter) og lys 21 (op til 0,11 µg/filter) må stamme fra vægen, hvor indholdene er på henholdsvis op til 0,69 og op til 0,13 mg/kg. Nikkel på filtret fra afbrænding af lys 103 (op til 0,11 µg/filter) kan ikke genfindes i hverken voks eller væge. Indholdet af bly på filtret fra lys 111 (0,60 µg/filter) og lys 122 (op til 0,16 µg/filter) kan stamme fra både voks og væge. Voksen indeholder henholdsvis op til 0,11 mg/kg og op til 0,22 mg/kg, og vægerne indeholder op til 9 mg/kg og 0,22 mg/kg for lys 111 og lys 122.

For bly ses der en sammenhæng mellem påvisning af bly på filtrene fra afbrændingen og niveauerne af bly i både voksen og vægen. Lysene med de højeste niveauer af bly afgiver således bly som partikler (påviselig). Der er dog ikke påvist bly på filtret for afbrænding af lys 71, der også har et relativt højt indhold af bly på 0,29 mg/kg i lysets væge.

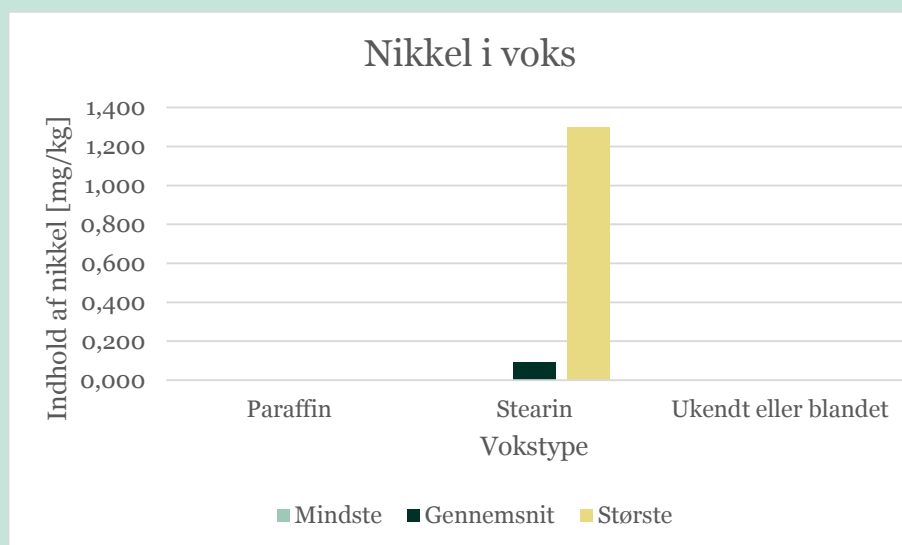
For nikkel på filtre kan der ikke ses nogen klar sammenhæng mellem koncentrationerne i vægerne og voksen, og de filtre, hvor der påvises nikkel. For de to væger med de højeste indhold af nikkel, lys 6 og lys 111, hvor der er påvist henholdsvis op til 2,5 og 1,6 mg nikkel/kg væge, kan der ikke påvises nikkel på filtret for afbrænding. Årsagen kan være den påviste inhomogenitet i koncentrationerne i lysenes enkeltdele.

Nedenstående søjlediagrammer (Figur 14, Figur 15, Figur 16, Figur 17) viser sammenhængen mellem indholdene af bly og nikkel i voks og væger i de forskellige typer af voks. Her ses det tydeligt, at paraffinlysene har de laveste indhold af bly og nikkel i både voks og væge, samt at lysene af stearin indeholder mest nikkel i både voks og væge. Dertil ses det, at lys af ukendt eller blandet voks indeholder mest bly i både voks og væge. Af Tabel 16 for indholdsanalyserne ses, at indholdene af bly primært ses i lysene med ukendt type af voks, men der er dog et højt indhold af bly i vægen fra lyset af fuldraffineret specialvoks.



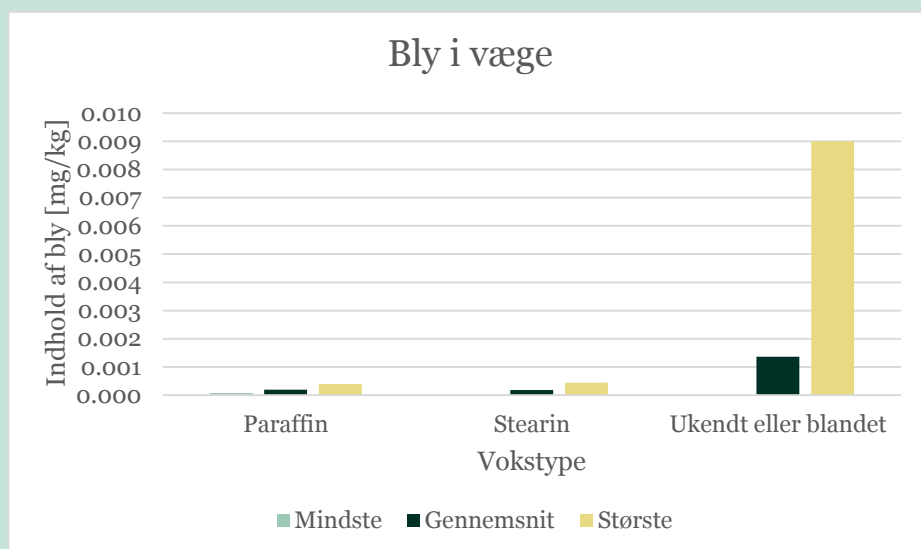
FIGUR 14

FOR HVER AF DE TRE OVERORDNEDE KATEGORIER AF VOKSTYPER ER DER ANGIVET DEN MINDSTE, ET BEREGNET GENNEMSNIET SAMT DEN HØJESTE KONCENTRATION AF BLY I VOKS. BEMÆRK, AT DEN MINDSTE KONCENTRATION ER METODENS DETEKTIONSGRÆNSE, DER HER ER SAT TIL VÆRDEN "0" OG DERFOR IKKE KAN SES I DIAGRAMMET. DETEKTIONSGRÆNSERNE FOR PRØVER UDEN INDHOLD INDGÅR SOM "0" I BEREGNINGEN AF GENNEMSNIET. DER ER ANVENDT DEN HØJESTE VÆRDI FOR DE DOBBELTBESTEMMELSER, DER VISER RESULTATER BÅDE OVER OG UNDER DETEKTIONSGRÆNSEN, OG FOR DE PRØVER, FOR HVILKE RESULTATERNE AF DOBBELTBESTEMMELSERNE VARIERER MERE END METODENS USIKKERHED.



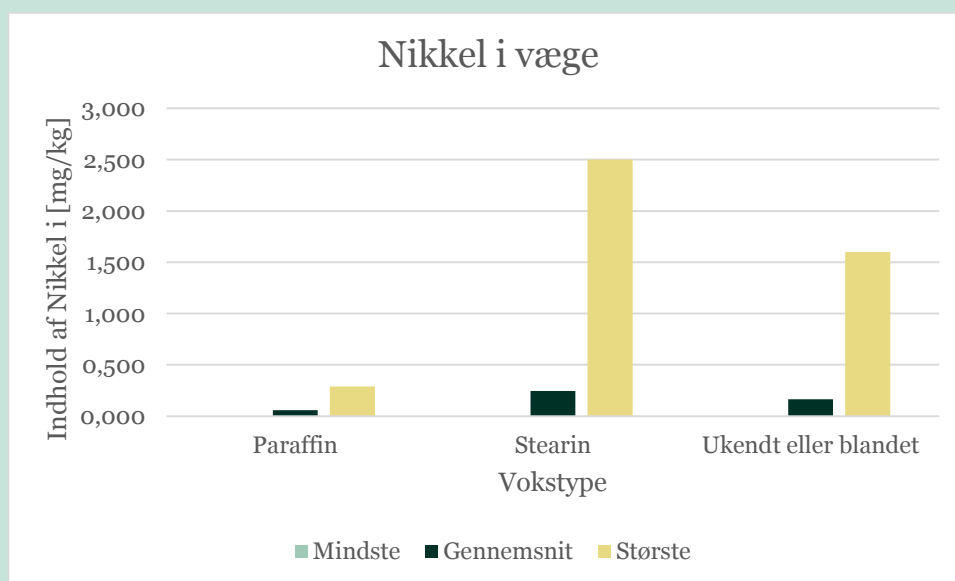
FIGUR 15

FOR HVER AF DE TRE OVERORDNEDE KATEGORIER AF VOKSTYPER ER DER ANGIVET DEN MINDSTE, ET BEREGNET GENNEMSNIET SAMT DEN HØJESTE KONCENTRATION AF NIKKEL I VOKS. BEMÆRK, AT DEN MINDSTE KONCENTRATION ER METODENS DETEKTIONSGRÆNSE, DER HER ER SAT TIL VÆRDEN "0" OG DERFOR IKKE KAN SES I DIAGRAMMET. DETEKTIONSGRÆNSERNE FOR PRØVER UDEN INDHOLD INDGÅR SOM "0" I BEREGNINGEN AF GENNEMSNIET. DER ER ANVENDT DEN HØJESTE VÆRDI FOR DE DOBBELTBESTEMMELSER, DER VISER RESULTATER BÅDE OVER OG UNDER DETEKTIONSGRÆNSEN, OG FOR DE PRØVER, FOR HVILKE RESULTATERNE AF DOBBELTBESTEMMELSERNE VARIERER MERE END METODENS USIKKERHED.



FIGUR 16

FOR HVER AF DE TRE OVERORDNEDE KATEGORIER AF VOKSTYPER ER DER ANGIVET DEN MINDSTE, ET BEREGNET GENNEMSNIET SAMT DEN HØJESTE KONCENTRATION AF BLY I VÆGERNE. BEMÆRK, AT DEN MINDSTE KONCENTRATION ER METODENS DETEKTIONSGRÆNSE, DER HER ER SAT TIL VÆRDEN "0" OG DERFOR IKKE KAN SES I DIAGRAMMET. DETEKTIONSGRÆNSERNE FOR PRØVER UDEN INDHOLD INDGÅR SOM "0" I BEREGNINGEN AF GENNEMSNIET. DER ER ANVENDT DEN HØJESTE VÆRDI FOR DE DOBBELTBESTEMMELSER, DER VISER RESULTATER BÅDE OVER OG UNDER DETEKTIONSGRÆNSEN, OG FOR DE PRØVER, FOR HVILKE RESULTATERNE AF DOBBELTBESTEMMELSERNE VARIERER MERE END METODENS USIKKERHED.



FIGUR 17

FOR HVER AF DE TRE OVERORDNEDE KATEGORIER AF VOKSTYPER ER DER ANGIVET DEN MINDSTE, ET BEREGNET GENNEMSNIET SAMT DEN HØJESTE KONCENTRATION AF NIKKEL I VÆGERNE. BEMÆRK, AT DEN MINDSTE KONCENTRATION ER METODENS DETEKTIONSGRÆNSE, DER HER ER SAT TIL VÆRDEN "0" OG DERFOR IKKE KAN SES I DIAGRAMMET. DETEKTIONSGRÆNSERNE FOR PRØVER UDEN INDHOLD INDGÅR SOM "0" I BEREGNINGEN AF GENNEMSNIET. DER ER ANVENDT DEN HØJESTE VÆRDI FOR DE DOBBELTBESTEMMELSER, DER VISER RESULTATER BÅDE OVER OG UNDER DETEKTIONSGRÆNSEN, OG FOR DE PRØVER, FOR HVILKE RESULTATERNE AF DOBBELTBESTEMMELSERNE VARIERER MERE END METODENS USIKKERHED.

6.6.4 Vurdering af analyseresultater

Af kriteriedokumentet for svanemærkede produkter fremgår det, at der ikke må anvendes bly eller nikkel i produktionen af levende lys, hverken i voksen eller i vægerne. Stofferne må således ikke indgå, medmindre de stammer fra forureninger/urenheder fra råvareproduktionen. De fundne niveauer vurderes at være forureninger/urenheder fra råvareproduktionen af voksen hhv. vægen¹⁴.

I henhold til Blybekendtgørelsen¹⁵, bilag 2 må lys (fyrfadslys og andre lys) ikke indeholde over 100 mg metallisk bly/kg (0,01 %). Der er ikke påvist indhold i lysene eller i dele af lysene over denne grænse. Den højeste koncentration af bly er fundet i lys nr. 111 med et indhold på op til 9 mg/kg i lysets væge, og denne værdi er under 10 % af grænseværdien.

Der er regler for, hvor meget nikkel, produkter, der er beregnet til at komme i længerevarende kontakt med huden, må afgive, men lys falder ikke under denne kategori af produkter. Generelt må de fundne niveauer af bly og nikkel i voks og væger betragtes som lave.

De fundne mængder af bly og nikkel på filtrene i µg/filter kan ikke umiddelbart relateres til en sundhedsmæssig betydning i indeklimaet. For at kunne dette skal de fundne mængder på filtrene kunne relateres til mængden af bly og nikkel per kubikmeter luft med henblik på sammenligning og vurdering i forhold til acceptværdier for luften i indeklimaet.

¹⁴ "Som forureninger regnes rester fra råvareproduktionen, der indgår i det færdige produkt i koncentrationer under 100 ppm (0,0100 vægt-%, 100 mg/kg), men ikke stoffer der er tilsat en råvare eller et produkt bevidst og med et formål, uanset mængde. Forureninger på råvareniveau i koncentrationer over 1,0 % i råvaren regnes dog som indgående stoffer. Kendte fraspaltningssprodukter af indgående stoffer, der har en funktion i produktet, regnes også som indgående." http://www.ecolabel.dk/kriteriedokumenter/o88_2_1_KD.pdf, side 10

¹⁵ BEK nr. 856 af 05/09/2009

7. Eksponeringsscenarier og risikovurdering

I dette kapitel opstilles der eksponeringsscenarier for brugere af levende lys med udgangspunkt i målingerne af partikelniveauerne og lysenes indhold af metaller (angivet i kapitel 6) og ud fra litteraturdata (angivet i kapitel 5). Ud fra de sundhedsmæssige referenceværdier (angivet i kapitel 5) foretages der risikovurderinger af de opstillede eksponeringsscenarier.

Eksponeringsscenarierne vil således omfatte vurdering af de målte parametre fra kapitel 6:

- Partikelantallet ved afbrænding af lys (antal partikler/cm³)
- Partikelmasse ved afbrænding af lys (mg/m³)
- Nikkelindhold i lysene (voks + væge) samt i filterprøver ved afbrænding
- Blyindhold i lysene og i filterprøver ved afbrænding

7.1 Eksponeringsscenarier for partikelemission

I forbindelse med opstilling af eksponeringsscenarier blev det i projektet besluttet at opstille forholdsvis enkelte og realistiske eksponeringsscenarier for brugere af levende lys.

Til illustration af dette er der således udvalgt to brugerscenarier:

Eksponeringsscenarie 1, regelmæssig bruger

Dette scenarie skal repræsentere den regelmæssige bruger af levende lys, der i weekenden (fredag, lørdag og søndag) har to lys tændt otte timer dagligt. Endvidere opsplittes scenariet i underscenarier med optimal forbrænding og sodende forbrænding.

Eksponeringsscenarie 2, storforbruger

Dette scenarie skal repræsentere storforbrugeren af levende lys, der dagligt året rundt har tændt fire levende lys otte timer om dagen. Dette scenarie må betragtes som "worst case". Endvidere opsplittes scenariet i underscenarier med optimal forbrænding og sodende forbrænding. Ved sodende forbrænding i dette scenarie anslås to af de fire lys at være placeret i træk medførende sodende forbrænding, idet det skønnes urealistisk, at alle lys afbrændes med urolig og sodende flamme.

Sodende forbrænding er ikke undersøgt i dette projekt, og eksponeringsscenarierne med sodende forbrænding vurderes derfor på baggrund af Pagels et al. (2009), som har påvist store forskelle i partikelemissionen, afhængigt af om lyset brænder med rolig ikke-sodende flamme (optimal), eller om det brænder med sodende urolig flamme (sodende).

Scenarierne vurderes for anvendelsen af de forskellige vokstyper hver for sig.

7.1.1 Eksponeringsberegninger for partikler

Eksponeringsberegningerne baseres på de målte partikkelkoncentrationer i rummet (jf. Tabel 14). Målingerne af partikkelkoncentrationerne i rummet i dette projekt er alle foretaget under optimal forbrænding, og vil således ikke give viden om eksponeringen ved en ikke-optimal, sodende forbrænding. Da en sodende forbrænding har vist at have stor indflydelse på partikelemissionen, sammenlignes de beregnede eksponeringsniveauer efterfølgende med data fra Pagels et al. (2009),

der foretog eksponeringsrelevante målinger i et forsøgsrum ved afbrænding af fire lys samtidig ved både optimal og sodende forbrænding.

Beregnete eksponeringsniveauer for partikler baseret på målinger i dette projekt

I Tabel 18 nedenfor er eksponeringsniveauerne for stearinlys og paraffinlys angivet ud fra data i Tabel 114 (afsnit 6.4). De målte niveauer i Tabel 14 viser emission ved afbrænding af 2 lys samtidigt i et rum på 20 m³ og kan derfor bruges direkte i eksponeringsscenariet for en regelmæssig bruger (scenarie 1), og ganges med en faktor 2 ved eksponeringsscenariet for en storforbruger, hvor der afbrændes 4 lys (scenarie 2). Målingerne i Tabel 14 antages også at kunne repræsentere et otte timer gennemsnitligt niveau. Da sodende forbrænding ikke blev undersøgt i dette projekt beregnes eksponeringen kun for scenarier med optimal forbrænding.

TABEL 17

EKSPONERINGSSCENARIER, KONCENTRATIONER MHT. PARTIKELANTAL OG MASSE (BEREGNET PÅ BAGGRUND AF VÆRDIER I TABEL 14). VÆRDIERNE VISER GENNEMSNIKTET FOR HVER LYSTYPE, SAMT DEN HØJESTE MÅLING I PARENTES. SCENARIER	Partikelantal (#/cm ³)	Partikelmasse, PM _{2.5} (mg/m ³)
Stearinlys		
2 lys optimal forbrænding	1,6E+06 (1,7E+06)	8,74E-3 (2,0E-2)
4 lys optimal forbrænding	3,2E+06 (3,4E+06)	1,74E-2 (4,0E-2)
Paraffinlys		
2 lys optimal forbrænding	9,16E+05 (1,3E+06)	5,4E-3 (1,0E-2)
4 lys optimal forbrænding	1,8+06 (2,6E+06)	1,08E-2 (2,0E-2)

Sammenligning med litteraturdata

Disse beregnede niveauer kan sammenlignes med niveauerne angivet af Pagels et al. (2009) (se Tabel 18), som foretog målinger af partikelantal og partikelmasse underafbrænding ved både optimale afbrændingsforhold og ved sodende forbrænding. Målingerne blev da foretaget ved samtidig afbrænding af fire hvide stearinlys henholdsvis fire blandingslys (blanding af stearin + paraffin, blandingsforhold ukendt, blåt lys) i et forsøgsrum på 22 m³ og et luftskifte på 0,5 gang pr. time.

TABEL 18

EKSPONERINGSNIVEAUER FOR PARTIKELANTAL OG PARTIKELMASSE VED AFBRÆNDING AF FIRE LYS I FORSØGSNUM PÅ 22 M³ (PAGELS ET AL. 2009).

Scenarier	Partikelantal 16-1000 nm [Antal/cm ³]	PM* [mg/m ³]
Stearin		
4 lys optimal forbrænding	1,14E+06	2,14E-01
4 lys sodende forbrænding	8,9E+05	6,03E-01
Stearin/paraffin		
4 lys optimal forbrænding	5,1E+05	8,6E-02
4 lys sodende forbrænding	2,7E+05	1,6

* Angivet som summen af kulstof, organisk materiale og uorganisk materiale.

Partikelantal

For fire stearinlys ved optimal forbrænding kan der beregnes et eksponeringsniveau på $3,2\text{E}+06$ (max. værdi $3,4\text{E}+06$) partikler/cm³ (for partikler i størrelsen 4,4-166 nm) ud fra målinger i dette projekt (se Tabel 17), mens Pagels et al. (2009) målte et niveau på $1,14\text{E}+06$ partikler/cm³ (for partikler i størrelsen 16-1.000 nm) (se Tabel 19). Dvs. det gennemsnitlige målte niveau i dette projekt er ca. 3 gange højere end niveauet målt i Pagels et al. (2009).

Afvigelsen kan skyldes at Pagels et al. (2009) ikke har målt en stor del af de ultrafine partikler, som primært ligger i intervallet 5-25 nm for levende lys, da de har brugt en målemetode, der måler i størrelsesintervallet 16-1.000 nm. Data fra nærværende projekt viser, at de ultrafine partikler fra stearinlys især ligger i området 5-25 nm.

Partikeldiameter

Målingerne i dette projekt viste en gennemsnitlig partikeldiameter fra stearinlysene på 23 (21 -29) nm ved målinger ude i rummet, jf. Tabel 13 og 14, hvilket er i samme niveau som målingerne hos Pagels et al. (2009), der angav størrelsen af primærpartiklerne til 20-30 nm.

Partikelmasse

For fire stearinlys ved optimal forbrænding er der i dette projekt målt et PM_{2.5}-eksponeringsniveau på $1,74\text{E}-2$ (max værdi: $4,0\text{E}-2$) mg/m³ (svarende til 17,4 - 40 µg/m³), mens Pagels et al. (2009) målte et niveau på $2,1\text{E}-01$ mg/m³ (svarende til 210 µg/m³), dvs. det målte niveau for vægten af partiklerne beregnet ud fra dette projekts målinger er i gennemsnit 12 gange (og minimum 5 gange) under niveauet målt hos Pagels et al. (2009).

Det er vanskeligt præcist at forklare forskellen mellem de to studier. Men afvigelsen kan skyldes flere forskelle i de anvendte metoder. De to studier undersøger et forskelligt antal lys: Pagels et al. måler emissionen fra et stearinlys og et blandingslys af stearin og paraffin, mens dette projekt måler på 7 forskellige stearinlys og fem forskellig paraffinlys, hvilket vil give en større sikkerhed på resultatet. Derudover er forsøgsopstillingen forskellig, idet Pagels bruger en roterende vifte til opblanding af luften mens dette ikke bruges i dette projekt. Pagels et al. viser at netop en ikke-optimal forbrænding har stor indflydelse på PM, så det kan forventes at selv mindre ændringer kvaliteten af afbrændingen kan influere her. En sidste vigtig forskel er at partikelmassen i nærværende projekt måles vha. DustTrak, mens Pagels et al. måler vha. opsamling på filter. Resultatet sætter spørgsmålstegn ved, hvor velegnet DustTrak DXR er til måling af massen af partikler fra levende lys som brænder under optimale formål. Den målte partikelmasse er tæt på metodens detektionsgrænse på 0,001 mg/m³, og alle lys udledte primært partikler som størrelsesmæssigt lå udenfor metodens målebare område (en DustTrak detekterer partikler i størrelsen 100 nm – 15 µm). Det vurderes derfor at målinger med DustTrak vil kunne underestimere partikelmassen i rummet.

Konklusion vedrørende eksponeringsniveauer for partikler

Den målte partikelmasse i undersøgelsen af Pagels et al. (2009) vil muligvis være bedre til at reflektere en brugers eksponering for levende lys end anvendelse af emissionsdata målt i dette projekt, hvor målingerne af partikelmassen er foretaget vha. DustTrak og hvor lysene kun er undersøgt ved optimal forbrænding. Resultater fra begge studier er dog medtaget i risikovurderingen.

Beregne eksponeringsniveauer for partikler baseret på litteraturdata (Pagels et al.)

I Tabel 19 er eksponeringsniveauerne for de forskellige brugerscenarier derfor estimeret på ny med udgangspunkt i data fra Pagels et al. (2009) i Tabel 18. Ved beregning af scenarier for to lys anvendes værdierne fra Pagels et al. (2009) ganget med en faktor 0,5, idet Pagels et al. (2009) anvender fire lys i alle deres opstillinger. Udgangspunktet i scenariet er et rumvolumen på 22 m³ og et luftskifte på 0,5 gang i timen svarende til de omstændigheder, der blev anvendt i undersøgelsen af Pagels et al. (2009).

TABEL 19
OVERSIGT OVER EKSPONERINGSSCENARIER MED ANGIVELSE AF KONCENTRATIONER AF PARTIKELANTAL OG PARTIKELMASSE (BASERET PÅ DATA I PAGELS ET AL. (2009)).

Scenarier	Partikelantal [#/cm ³]	Partikelmasse PM _{2.5} [mg/m ³]
Stearin		
2 lys optimal forbrænding,	5,52E+05	1,07E-01
2 lys sodende forbrænding,	4,45E+05	3,02E-01
4 lys optimal forbrænding,	1,14E+06	2,14E-01
2 lys optimal + 2 lys sodende,	9,97E+05	4,09E-01
Stearin/paraffin (blåt lys)		
2 lys optimal forbrænding	2,55E+05	4,3E-02
2 lys sodende forbrænding	1,35E+05	8,02E-01
4 lys optimal forbrænding	5,1E+05	8,6E-02
2 lys optimal + 2 lys sodende	3,9E+05	8,45E-01

7.1.2 Risikovurdering af scenarier for partikelemission

Som angivet i afsnit 5.4. er der endnu ikke etableret tilstrækkelig viden om de eventuelle sundhedsskadelige effekter af partikler emitteret fra levende lys til at kunne foretage en vurdering af risikoen derved.

For at foretage en præliminær vurdering kan de gennemsnitlige niveauer af partikelmassen, angivet som PM_{2.5}, sammenholdes med grænseværdierne for PM_{2.5} i udeluft. Disse grænseværdier for partikelmassekonzentrationen gælder dog for udeluftspartikler generelt, uanset deres kemiske sammensætning. Der foreligger ikke tilsvarende grænseværdier for partikelantalskoncentrationen i udeluften, som kan anvendes.

Derimod foreligger der sundhedsbaserede værdier i udeluften for konkrete kemiske komponenter, såsom bly og nikkel, som emissionen fra lys kan sammenholdes med.

I Tabel 20 er de relevante grænseværdier for dette projekt angivet.

TABEL 20

EU-GRÆNSEVÆRDIER OG WHO'S ANBEFALEDE VÆRDIER FOR UDVALGTE LUFTFORURENINGSKOMPONENTER I UDELUFT.

Forureningskomponent	EU-værdi Dir 2008/50/EF	WHO-værdier
Partikelmasse (PM _{2.5})	0,025 mg/m ³ (pr. 2010) 0,020 mg/m ³ (pr. 2020) Årsværdier*	0,010 mg/m ³ årsværdi 0,025 mg/m ³ 24-timersværdi** (WHO, 2006)
Bly	0,5 µg/m ³ Årsværdi	0,5 µg/m ³ Årsværdi (WHO, 2000)
Nikkel	20 ng/m ³ Årsværdi	2,5 ng/m ³ 25 ng/m ³ 250 ng/m ³ (WHO, 2000)***

* Gennemsnitsniveau af 24-timersværdier over et år.

** Målt gennemsnitsniveau over 24 timer.

*** De tre anførte niveauer svarer til forøget livstidsrisiko for udvikling af cancer på henholdsvis 10⁻⁶; 10⁻⁵ og 10⁻⁴.

7.1.3 Risikovurdering af partikeleksposeringen

I Tabel 21 er eksponeringsniveauerne for de otte delscenarier fra Tabel 18 og Tabel 19 yderligere blevet udregnet som gennemsnitlige eksponeringsniveauer over 24 timer og over et helt år for herved at kunne sammenligne dem med grænseværdierne i Tabel 20.

TABEL 21
OVERSIGT OVER EKSPONERINGSSCENARIER, PARTIKELANTAL OG PARTIKELMASSE.

Scenarier	Partikel- antals- koncen- tration [antal/cm³]	Partikelmasse, PM2.5 Gennemsnit*		
		8 timer	24 t	år
		[mg/m³]	[mg/m³]	[mg/m³]
Stearin (dette projekt)**				
2 lys optimal forbrænding (8t, 3d/uge)	1,6E+06 (1,7E+06)	0,0087 (0,02)	0,0029 (0,0067)	0,0012 (0,0029)
4 lys optimal forbrænding (8t, 365 d/år)	3,2E+06 (3,4E+06)	0,0174 (0,04)	0,0058 (0,013)	0,0058 (0,013)
Paraffin (dette projekt)**				
2 lys optimal forbrænding (8t, 3d/uge)	9,16E+05 (1,3E+06)	0,0054 (0,01)	0,0018 (0,0033)	0,0008 (0,0014)
4 lys optimal forbrænding (8t, 365 d/år)	1,83E+06 (2,6E+06)	0,0108 (0,02)	0,0036 (0,0067)	0,0036 (0,0067)
Stearin (Pagels et al.)				
2 lys optimal forbrænding, (8t, 3d/uge)	5,52E+05	0,107	0,036	0,015
2 lys sodende forbrænding, (8t, 3d/uge)	4,45E+05	0,302	0,101	0,043●
4 lys optimal forbrænding, (8t, 365 d/år)	1,14E+06	0,214	0,071	0,071●
2 lys optimal + 2 lys sodende, (8t, 365d/år)	9,97+E05	0,409	0,136	0,136●
Stearin/Paraffin (blåt lys, Pagels et al.)				
2 lys optimal forbrænding (8t, 3d/uge)	2,55E+05	0,043	0,014	0,006
2 lys sodende forbrænding (8t, 3d/uge)	1,35E+05	0,802	0,267	0,115●
4 lys optimal forbrænding (8t, 365 d/år)	5,1E+05	0,086	0,029	0,029●
2 lys optimal + 2 lys sodende (8t, 365d/år)	3,9E+05	0,845	0,282	0,282●

* I forhold til 8-timers-PM_{2.5}-værdierne er 24-timersgennemsnittet beregnet ved at korrigere med faktoren 8t/24t = 1/3, mens årsværdierne for weekendscenarierne (3d/uge) yderligere er korrigeret med 3d/7d = 3/7.

**For målingerne i dette projekt vises det beregnede gennemsnit samt den højeste måling for hver vokstype.

Partikelmassekoncentration

Idet de opnåede eksponeringsniveauer i kolonnerne for gennemsnitlig 24-timerseksponering og gennemsnitlig årlig eksponering sammenholdes med de tilsvarende sundhedsbaserede grænseværdier, kan det ses, at alle værdier markeret med fed overskrider de anbefalede WHO-grænseværdier for partikler i udeluft (2006) (enten 0,025 mg/m³ som 24-timersværdi eller 0,010 mg/m³ som årsværdi), mens de ●-markerede værdier også overskrider EU's årsværdi på 0,025 mg/m³.

De værdier, der overskrider WHO-grænseværdierne er primært baseret på Pagels studier, mens det kun var det lys med den højeste PM_{2,5} emission i dette projekt, som overskred WHO's årsværdi.

Største overskridelse i forhold til WHO's årsværdi på 0,010 mg/m³, idet denne overskrides med op til 28 gange for worst-case-scenariet opnås med de fire blandingslys testet af Pagels et al., hvoraf to af lysene soder.

Man ikke direkte kan overføre grænseværdierne for udeluft til indeluft og dermed til emission fra levende lys. Dette er derfor kun en første indikation af, at der muligvis vil optræde sundhedsskadelige effekter som følge af partikelemission fra levende lys i de anførte scenarier, hvor især scenarier med stort forbrug af lys og/eller sodende afbrænding medfører meget høje partikeleksponeringer.

EU's og WHO's værdier er fastsat på baggrund af veldokumenterede dosis-respons-sammenhænge mht. øget dødelighed i befolkningen som følge af partikler i udeluften, hvor især forbrændingspartikler anses at have stor betydning. Det anses dog ikke for velunderbygget at anvende disse dosis-respons-sammenhænge i forbindelse med en risikovurdering af partikler fra levende lys, da viden om effekten af disse partikler fortsat er meget begrænset, og da forbrændingspartiklerne fra levende lys har en anden kemisk sammensætning end forbrændingspartiklerne i udeluft.

Partikelantalskoncentrationen

Mht. partikelantallet svarer eksponeringen i Tabel 21 til de mest belastede hjem beskrevet i Bekö et al. (2013), hvor der blev målt op til $2,5 \times 10^5$ partikler/cm³ (partikelstørrelse 10-300 nm) gennemsnitligt over 24 timer.

Det skal bemærkes, at primærpartiklerne fra levende lys er meget små, ca. 5-30 nm baseret på denne undersøgelse og på undersøgelsen fra Pagels et al. (2009), og at disse partikler ved deponering i luftvejene primært vil aflejres i de yderste lungeforgreninger, alveolerne (se Figur 3), hvorfra de uopløselige dele af partiklen kun meget langsomt fjernes (måneder til år). Deponeringen og den mulige ophobning i de yderste luftvejsforgreninger giver således optimale betingelser for fremkaldelse af sundhedsskadelige effekter.

Især ved sodning optræder der større partikler, som i vid udstrækning skyldes agglomeration af primærpartiklerne. Pagels et al. (2009) fandt således ved sodende forbrænding af lysene en meget ringe påvirkning af antallet af små primærpartikler i luften, mens partikelmassen steg betydeligt som følge af flere større sammenklumpninger af partikler bestående fortrinsvis af kulstof med en partikelstørrelse på omkring 270 nm. Partikler af denne størrelse deponeres i ringere udstrækning (målt som antal) i luftvejene end primærpartiklerne (se Figur 3), og vil derfor hurtigere blive fjernet fra lungerne (timer til dage), men de partikler der så deponeres indeholder så til gengæld mange primærpartikler. Nærværende undersøgelse viser, at partikler fra stearinlys i højere grad agglomererede til større partikler i rummet end partikler fra paraffinlys, jf. afsnit 6.4. Dette kan skyldes, at partikler af stearinsyreforbindelser er mere polære end partikler i emissionen fra paraffinlys. En anden mulighed er, at lys af stearin producerer mere vanddamp end lys af paraffin, hvorved det større fugtindhold kan bidrage til agglomereringen.

Som tidligere nævnt er der yderst begrænset datagrundlag for at vurdere de sundhedsskadelige effekter relateret til partikelantallet, og der er ikke på nuværende tidspunkt fastsat nogen former for grænseværdier, som eksponeringsniveauerne ovenfor kan sammenholdes med. På baggrund af de seneste data opnået i forbindelse med det danske CISBO-projekt (se afsnit 5.4.2.3) vil det imidlertid være forventeligt, at selv kortvarig udsættelse for øgede niveauer af partikelantallet kan have negativ indflydelse på lungesystemer og hjerte-karsystemet.

Som det fremgår af Tabel 11, afgiver stearinlys i gennemsnit flere partikler end paraffinlys og også en lidt større partikelmasse. Det er dog forbundet med stor usikkerhed herudfra at konkludere, at stearinlys må anses for mere sundhedsskadelige end paraffinlys, idet dette vil kræve mere viden om partiklernes sammensætning. Partikler med højt indhold af kulstof må også anses for mere sundhedsmæssigt betænkelige end partikler bestående af opløselige salte – et forhold, der ikke er nøjere belyst i emissionsanalysen i dette projekt.

Afbrændingsomstændighederne vurderes dog at være af større betydning, end hvorvidt lyset er af stearin eller paraffin, idet et lys, der brænder med sodende flamme, medfører et væsentligt forøget partikelniveau og kulstofniveau i luften, hvilket må anses for særligt sundhedsmæssigt betænkeligt.

7.2 Eksponeringsscenarier for bly og nikkel

7.2.1 Bly- og nikkelindhold i lysene

Bly- og nikkelindholdet blev målt i voksen fra lysene og i vægen. Fra Tabel 16, hvor disse data er angivet, kan lysene med de mest markante indhold af bly og nikkel udpeges.

TABEL 23
LYS MED DE HØJESTE INDHOLD AF BLY OG NIKKEL.

	Voks, metalindhold Konc [µg/g]	Væge, metalindhold Konc [µg/g]
Lys nr. 87	0,28 bly	0,37 bly
Lys nr. 111	0,11 bly	9,0 bly
Lys nr. 5	<0,05 nikkel	0,69 nikkel
Lys nr. 44	1,3 nikkel	0,09 nikkel

Disse metalindhold kunne kun i nogen grad genfindes i soden fra lysene afsat på de filtre, der var placeret over lysene (se Figur 5 og Tabel 15). Fra lys nr. 87 kunne der ikke detekteres bly i filteret (<0,05 µg bly/filter), mens der fra lys nr. 111 blev afsat 0,6 µg bly på filteret. Fra lys nr. 44 kunne der ikke detekteres nikkel på filteret (<0,05 µg nikkel/filter), mens der fra lys nr. 5 blev påvist 0,17 µg nikkel på filteret.

Til eksponeringsvurderinger udvælges på denne baggrund lys nr. 111 til vurdering af eksponering for bly og lys nr. 5 til vurdering for eksponering for nikkel, da det for disse lys er vist, at metalindholdet i lysene også genspejles i indholdet af de emitterede forbrændingspartikler.

7.2.1.1 Emissionshastighed for nikkel og bly

Der er tidligere foretaget eksponeringsvurdering for bly og nikkel ved afbrænding af levende lys (Miljøstyrelsen 2002). Eksponeringsvurderingen blev foretaget ved først at estimere emissionshastigheden (kildestyrken) ud fra metalindholdet i voksen og vægen:

$$Emis. hastighed (\mu g/t) = \frac{vægt\ af\ voks\ (g)}{brændtid\ (t)} \times Konc\ i\ voks + \frac{vægt\ af\ væge\ (g)}{brændtid\ (t)} \times Konc\ i\ væge$$

Ved anvendelse af denne beregningsmetode forudsættes altså, at hele indholdet af bly og nikkel i lysene genfindes i de emitterede partikler.

Blyemission lys nr. 111

Afbrændingshastigheden for lys nr. 111 er ved en efterfølgende test blevet målt til 6,86 gram pr. time. Af denne masse skønnes 99,2 % at udgøres af voks og 0,8 % af vægen (data vedr. denne vægtfordeling er fra Miljøstyrelsen (2002), hvor dette forhold fremgår fra et lignende lys). Fra tabel 20 fremgår det, at lys nr. 111 indeholder 0,11 µg/g bly i voksen og 9 µg/g bly i vægen, og ud fra dette beregnes emissionshastigheden for bly:

$$\text{Emiss. lys nr. 111 } (\mu\text{g bly/t}) = 6,8 \text{ g/t} \times 0,11 \mu\text{g/g} + 0,06 \text{ g/t} \times 9 \mu\text{g/g}$$

$$\text{Emiss. lys nr. 111 } (\mu\text{g bly/t}) = 0,75 \mu\text{g/t} + 0,54 \mu\text{g/t} = 1,3 \mu\text{g bly/t}$$

Nikkelemission lys nr. 5

Afbrændingshastigheden for lys nr. 5 blev ved en efterfølgende test målt til 9,1 gram per time. Idet tilsvarende fordeling af vægt mellem voks og væge anvendes, beregnes emissionshastigheden:

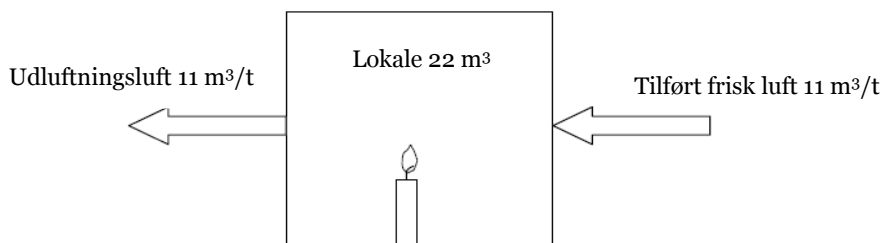
$$\text{Emiss. lys nr. 5 } (\mu\text{g nikkel/t}) = 9,0 \text{ g/t} \times 0,025 \mu\text{g/g} + 0,07 \text{ g/t} \times 0,69 \mu\text{g/g}$$

$$\text{Emiss. lys nr. 5 } (\mu\text{g nikkel/t}) = 0,225 \mu\text{g/t} + 0,048 \mu\text{g/t} = 0,27 \mu\text{g nikkel/t}$$

I beregningerne er nikkelindholdet i voksen sat til 50 % af detektionsgrænsen (<0,05 µg nikkel/filter), idet nikkel ikke kunne detekteres i voksen.

7.2.2 Eksponeringsniveauer, metalindhold

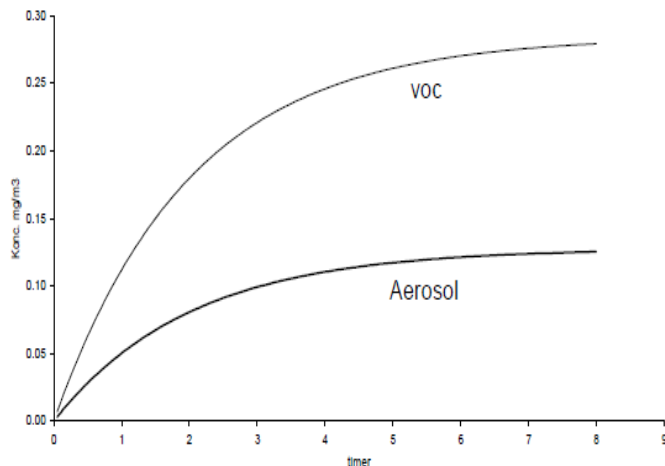
Ved beregning af de maksimalt opnåelige niveauer i et rum anvendes følgende sammenhæng:



FIGUR 22

BOXMODEL SOM UDANGSPUNKT FOR BEREGNING AF LUFTKONCENTRATION I ET RUM MED ET LUFTSKIFTE PÅ 0,5 GANG I TIMEN.

Når et lys brænder, vil koncentrationen af forurening gradvist vokse, indtil der opnås en ligevægt, hvor der fra det brændende lys tilføres lige så stor mængde stof til luftforureningen, som bortventileres fra rummet. Tiltag i luftkoncentration er illustreret i Figur 23.



FIGUR 23

TEORETISK UDVIKLING AF LUFTKONCENTRATIONER AF AEROSOLER (PARTIKLER) OG VOC I RUM MED LUFTSKIFTE PÅ 0,5 GANG I TIMEN (FRA MILJØSTYRELSEN, 2002).

Når koncentrationen i udluftningen ved ligevægt skal modsvare den emitterede mængde fra lyset, kan rumkoncentrationen således beregnes ud fra følgende udtryk:

$$C_M = \frac{E_c}{V \cdot n}$$

Hvor

C_M : luftkoncentrationen af et kemisk stof i rummet luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

E_c : emissionshastigheden for stoffet (mg/t)

V : rumfang af rummet (m^3). Her sat til 22 m^3 *

n : luftskiftet i rummet (t^{-1}). Her sat til $0,5 \text{ t}^{-1}$ *

*her er valgt samme værdier, som ligger til grund for eksponeringsestimerne for partikelniveauerne i Tabel 22.

Som angivet i Miljøstyrelsen (2002) vil rumkoncentrationerne gradvist nærme sig den øvre teoretiske maksimumsværdi efter et vist antal timer som angivet i Figur 23.

Gennemsnitseksposeringen over otte timers afbrænding af levende lys vil ligge et stykke under den teoretiske maksimumsværdi, da eksponeringsniveauet er under gradvis opbygning. Dog vil fortsat ophold i rummet, efter at lyset er slukket, medføre en fortsat eksponering, som nu gradvist aftager, hvorfor det samlet set vurderes rimeligt at estimere eksponeringen ved otte timers afbrænding som lig med ophold ved den teoretiske maksimumsværdi. Den gennemsnitlige, daglige eksponering vil således svare til $8\text{t}/24\text{t} = 1/3$ af den beregnede 8-timersværdi.

Eksponeringsniveau bly

I scenariet med anvendelse af to henholdsvis fire lys kan følgende teoretiske rumkoncentrationer for bly beregnes ud fra emissionshastigheden for bly, der ovenfor blev beregnet til $1,3 \mu\text{g bly}/\text{t}$:

$$C_{\text{bly}}(2 \text{ lys}) = \frac{2 \times 1,3 \mu\text{g bly}/\text{t}}{22\text{m}^3 \cdot 0,5/\text{t}} = 0,24 \mu\text{g bly}/\text{m}^3$$

$$C_{\text{bly}}(4 \text{ lys}) = \frac{4 \times 1,3 \mu\text{g bly}/\text{t}}{22\text{m}^3 \cdot 0,5/\text{t}} = 0,47 \mu\text{g bly}/\text{m}^3$$

Eksponeringsniveau nikkel

Tilsvarende kan for nikkel beregnes (ud fra emissionshastigheden for nikkel på $0,27 \mu\text{g nikkel}/\text{t}$):

$$C_{\text{nikkel}}(2 \text{ lys}) = \frac{2 \times 0,27 \text{ } \mu\text{g nikkel/t}}{22\text{m}^3 \cdot 0,5 / \text{t}} = 0,05 \text{ } \mu\text{g nikkel/m}^3$$

$$C_{\text{nikkel}}(4 \text{ lys}) = \frac{4 \times 0,27 \text{ } \mu\text{g nikkel/t}}{22\text{m}^3 \cdot 0,5 / \text{t}} = 0,10 \text{ } \mu\text{g nikkel/m}^3$$

7.2.3 Risikovurdering af eksponering for bly og nikkel

I forbindelse med risikovurderingen af bly og nikkel ses, at de grænseværdier, eksponeringen skal sammenholdes med, er gennemsnitlige døgnværdier over et år, dvs. et årgennemsnit (for EU's grænseværdier i udeluft henholdsvis 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for bly og 0,020 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for nikkel).

Nedenfor er eksponeringen i forbindelse med afbrænding af lys i otte timer omregnet til årsværdier for de udvalgte scenarier. Bemærk at der i disse scenarier ikke kan skelnes mellem sodende og ikke-sodende forbrænding, idet der ikke haves data for afbrændingshastigheden af lysene ved sodende forbrænding.

TABEL 22
OVERSIGT OVER EKSPONERINGSSCENARIER FOR BLY OG NIKKEL.

Scenarier	Metalkonc. 8 timers gennemsnit [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Metalkonc. Årligt gennemsnit [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Bly (lys nr. 111)		
2 lys optimal forbrænding (8t, 3d/uge)	0,24	0,034
4 lys optimal forbrænding (8t, 365 d/år)	0,47	0,157
Nikkel (lys nr. 5)		
2 lys optimal forbrænding (8t, 3d/uge)	0,05	0,007
4 lys optimal forbrænding (8t, 365 d/år)	0,10	0,033

**I forhold til 8-timersværdierne er de årlige gennemsnit beregnet ved at korrigere med faktoren $8\text{t}/24\text{t} = 1/3$ for de daglige scenarier, mens weekendscenarierne (3d/uge) yderligere er korrigeret med $3\text{d}/7\text{d} = 3/7$.*

Det ses, at scenariet for bly overholder EU's grænseværdier i udeluft for bly på 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Det ses også, at scenariet med anvendelse af fire lys hver dag i otte timer teoretisk set kan medføre, at luftens indhold af nikkel overskrider grænseværdien for nikkel. Det skal dog understreges, at disse beregninger er foretaget ud fra teoretiske worst-case-overvejelser, hvor det forudsættes, at alt indhold af metallerne i lysene emitteres til luften, og at partiklerne kun elimineres fra luften ved luftskiftet i lokalet (dvs. ingen sedimentering af partiklerne eller vedhæftning til lokalets og inventarets overflader). Endelig ville eksponeringsniveauet for nikkel være væsentligt lavere end det beregnede i Tabel 22, hvis man antog, at der slet ikke var nikkel i selve voksen, fremfor at anvende et nikkelindhold på 50 % af detektionsgrænsen i beregningerne.

Så selvom dette teoretiske nikkelscenarie viser overskridelse af grænseværdien for nikkel, er det ikke sikkert, at der er en reel risiko for, at dette sker ved det pågældende lys. Hvorvidt risikoen ved metallerne er til stede i praksis, kan kun afklares ved opfølgende målinger mht. emissions-hastigheden af nikkel fra lysene eller ved målinger i et modelkammerforsøg, hvor forsøgsdesign er målrettet eksponeringsvurdering for brugere.

Der foreligger ikke konkrete grænseværdier for indhold af metaller i levende lys. For bly i artikler er der i den danske blybekendtgørelse fastsat et maksimalindhold på 100 mg bly/kg. EU's grænseværdi for luft udendørs er fastsat til 0,5 µg bly/m³. Hvis man på denne baggrund antager, at luft indendørs skal overholde samme grænseværdi, er grænseværdien i blybekendtgørelsen alt for høj til at kunne anvendes på levende lys med henblik på at kunne sikre indemiljøet. Dette understøttes af de fundne værdier for indholdet af metaller i lysene, jf. Tabel 23.

8. Samlet vurdering og perspektivering

8.1 Diskussion

Formålet med projektet er at få mere viden om den partikelforurening, som udsendes fra tændte stagelys. For at dække dette bredt er der udvalgt 32 hvide stagelys identificeret i forskellige butikker og butikskæder, som sælger bl.a. lys til almindelige forbrugere.

Målingerne i dette projekt er foretaget på 32 forskellige hvide stagelys af varierende højde (mellem 14-40 cm) men med en relativ ens diameter på 20-24 mm. Valget af de 32 hvide stagelys udgør et bredt udvalg fordelt på pris (1,20-25,00 kr./stykket), mærke (fabrikater), produktionsland (primært Danmark/EU/Baltiske lande, men også Kina), svanemærket/ikke-svanemærket, og vokstype (stearin, paraffin, blandingsprodukter og ukendte [ikke-oplyste] vokstyper), se Tabel 9.

Der er i projektet målt på partikeludledning fra stagelys under optimale, stabile afbrændingsforhold lige over de tændte lys samt ude i et standard rum på 20 m³. Der er således ikke målt på et stærkt sodende lys eller under ulmefasen (ved slukning af lyset).

De målte værdier for PM_{2.5} i dette projekt har overordnet været meget lave ift. det forventede, jf. litteraturen. Dette vurderes at skyldes, at den benyttede opstilling i dette projekt til afbrænding af lysene har sikret optimale brændforhold. Der har derfor ikke været påviselig påvirkning af træk eller andet, som har kunnet forårsage sodning – den primære årsag til PM_{2.5}.

Det har ikke været muligt at finde tilstrækkelige oplysninger om vægetyperne i de forskellige lys til at gennemføre en undersøgelse af indflydelsen fra vægen på partikelemissionen.

Vokstypen af de udvalgte lys var primært stearin (ca. 1/3-del af lysene), *Ukendt* vokstype (ca. 1/3-del af lysene) og paraffin og blandingslys. Det er valgt i projektet at kategorisere vokstyperne i stearin (16 stk.), paraffin (5 stk.) og *Ukendt*/blandingslys (11 stk.). På baggrund heraf kan der sammenlignes mellem de forskellige vokstyper.

Ca. 90 % af de solgte stagelys i Danmark i 2014 er hvide stagelys. Det er således fravalgt at undersøge fyrfadslys, bloklys eller olielys, men heller ikke duftlys, farvede lys, fødselsdagslys og ”årstidslys” (juletræs-, påske- og kalenderlys) er en del af nærværende undersøgelse. Hvorvidt data fra nærværende projekt er repræsentativ for andre levende lys af anden udformning og sammensætning er uklart.

Måleresultater

Der ses en klar tendens til, at levende lys af stearin udsender flere partikler end lys af paraffin. Set ud fra en gennemsnitlig betragtning udsender et stearinlys 19 millioner/cm³, mens et paraffinlys udsender 7,8 millioner/cm³, som målt direkte ved lyskilden, og der blev målt rumkoncentrationer af partikler fra stearinlys og paraffinlys på henholdsvis 1,6 millioner/cm³ og 0,92 millioner/cm³, ved samtidig afbrænding af to lys. Gruppen af *Ukendt* vokstype/blandingsprodukter befinder sig imellem stearin og paraffin, hvilket intuitivt giver mening, hvis det antages, at blandingsprodukterne er lys med indhold af både stearin og paraffin.

Det lys, som klart udledte færrest partikler, var et paraffinlys. Lyset udledte $1,9 \cdot 10^5$ partikler/cm³ (190.000/cm³), hvilket er 42 gange færre partikler end gennemsnittet for paraffinlys, og 103 gange færre partikler end gennemsnittet for stearinlys. Omvendt var det lys, som udledte flest partikler, et stearinlys, som udledte $3,2 \cdot 10^7$ partikler/cm³ (32 millioner/cm³), hvilket er dobbelt så mange som gennemsnittet for stearinlys og fire gange så mange som gennemsnittet for paraffinlys.

Variationerne inden for hver vokstype er forskellige, men afspejler til dels deres maksimale og minimale partikeludledning. Baseret på kildekonzentrationsmålingerne ses det at udledningen fra tændte lys af paraffin varierer 84 gange mellem det lys, som udleder færrest partikler, og det, der udleder flest. For stearin er variationen ni gange mellem den laveste og højeste udledning, mens udledningen for den Ukendte vokstype varierer 23 gange. Dette skal ses i forhold til, at den maksimale partikeludledning for paraffin er $1,6 \cdot 10^7$ partikler/cm³ (16 millioner/cm³), mens den maksimale udledning fra stearin er $3,2 \cdot 10^7$ partikler/cm³ (32 millioner/cm³). Variationen inden for hver vokstype dækker således over store forskelle mellem de lys, som udleder færrest henholdsvis flest partikler af hver vokstype. Undersøgelsen viser derfor, at paraffinlysene har en mere varierende kvalitet, hvad angår emission af partikler, sammenlignet med stearinlys, selvom emissionen generelt er lavere for paraffinlys.

Størrelsen af de målte, udledte partikler (gennemsnitlig partikeldiameter) ligger i et forholdsvis snævert interval fra 7-18 nm. Der er ikke den store forskel på, om partiklerne er emitteret fra et stearinlys (13 nm), fra et paraffinlys (12 nm) eller fra et af lysene af Ukendt materiale (11 nm), vurderet ud fra den gennemsnitlige partikeldiameter målt ved kilden. Ved måling af partikelstørrelsen ude i rummet, kan det konstateres at partikelstørrelsen steg til gennemsnitlig 17 nm for paraffinlys og 23 nm for stearinlys, hvilket indikerer at sker en agglomeration af partiklerne i indeluften.

Mht. udsendelse af partikelmasse, hvilket i litteraturen anses for den parameter, der er tættest knyttet til sundhedsskadelige effekter af partikler, udsender stearinlys i gennemsnit en lidt større partikelmasse end paraffinlys. Partikelmasseudledningen for stearinlys ligger gennemsnitlig på 4,6 µg/m³ og 4,4 µg/m³ målt henholdsvis ved kilde og ude i rummet, mens de tilsvarende værdier for paraffinlys ligger på henholdsvis 3,9 µg/m³ og 2,7 µg/m³. Som ved partikelantallet er variationen mellem højeste udledning og laveste udledning inden for vokstyperne størst for paraffin (47 gange), mens den er 22 gange for stearin ved kildekonzentrationsmålingerne.

Blandingsprodukterne/Ukendt varierer kun syv gange mellem højeste udledning og laveste udledning, hvilket afspejler, at minimumsudledningen af partikelmasse for denne gruppe er relativt højere end for stearin og paraffin.

Ovenstående vurderinger gælder for lysene, når de brænder med rolig flamme, dvs. under optimale betingelser.

Variationer mellem lystyperne overskygges dog af afbrændingsomstændighederne. Soder lyset (fx ved afbrænding i træk, ved afbrænding med for lang væge eller ved lys, der ikke brænder jævnt), vil dette have meget stor indflydelse på den partikelmængde, der frigives i form af sodpartikler (med partikeldiameter omkring 270 nm). Litteraturdata har således vist, at lys ved sodende afbrænding emitterer op til 29 gange større partikelmasse end ved optimale afbrændingsforhold. Derimod bliver frigivelsen af ultrafine partikler (partikler under 100 nm) kun påvirket i mindre grad af forbrændingsomstændighederne.

Sundhedsmæssige forhold

Ved de opstillede eksponeringsscenarier for en regelmæssig bruger af levende lys (to lys tændt tre gange om ugen) og for en storforbruger (fire lys tændt hver dag) er det fundet, baseret på Pagels et

al., at begge type brugere i de opstillede scenarier vil blive udsat for massebaserede partikelniveauer, der væsentligt overstiger både WHO's og EU's sundhedsbaserede grænseværdier for partikler i udeluften. Baseret på dette projekts målinger ved optimal forbrænding, overskrides WHO's grænseværdi kun ved afbrænding af fire lys hver dag (scenarie 2) med det stearinlys som havde den højeste partikeludledning.

Det er velkendt, at partikler i udeluften trods deres varierende sammensætning kan medføre alvorlige sundhedsskadelige effekter. Mest markant er en øget dødelighed i befolkningen på 6 % ved en stigning på 10 µg/m³ af det årlige PM_{2.5}-niveau i udeluften. Set i forhold til dette, må de høje partikelniveauer som følge af afbrænding af levende lys vække til eftertanke, da man kan forvente, at den ekstra partikeleksponering vil medføre øget forekomst af luftvejslidelser og hjerte-karlidelser blandt storforbrugere. Her skal igen nævnes, at der mangler dybdegående undersøgelser af de potentielt sundhedsskadelige påvirkninger af indeklima ved afbrænding af levende lys.

Der er yderst begrænset datagrundlag til at vurdere de sundhedsskadelige effekter relateret til det øgede partikelantal, som afbrænding af levende lys medfører. Der er ikke på nuværende tidspunkt fastsat relevante grænseværdier, som det øgede partikelantal kan sammenholdes med.

Stearinlys afgiver i gennemsnit flere partikler end paraffinlys, og også en lidt større partikelmasse. Det er dog forbundet med stor usikkerhed herudfra at konkludere, at stearinlys må anses for mere sundhedsskadelige end paraffinlys, idet dette vil kræve mere viden om partiklernes kemiske sammensætning. Partikler med højt indhold af kulstof må fx anses for mere sundhedsmæssigt betænkelige end partikler bestående af opløselige salte. Dernæst vurderes forbrændingsomstændighederne at have større betydning for en sundhedsmæssig vurdering, end hvorvidt lyset er af stearin eller paraffin. Et lys, der brænder med sodende flamme, medfører således et væsentligt forøget partikelmasseniveau og kulstofniveau i luften, hvilket må anses for særligt sundhedsmæssigt betænkeligt.

Trods fund af metaller i 26 af de 32 udvalgte stagelys, anses de målte niveauer af bly og nikkel i lysene i denne undersøgelse at være så lave, at det ikke vurderes som sundhedsmæssigt betænkeligt.

8.2 Usikkerheder og begrænsninger

Undersøgelsen her er foretaget på meget sammenlignelige hvide stearinlys og paraffinlys af relativt ensartede dimensioner. Det er derfor uklart, i hvilken udstrækning data opnået for disse lys også er repræsentative for andre lys, fx farvede lys; lys af andre dimensioner, fx bloklys; sammensætning og udformning, fx fyrfadsls. For alle typer lys må det dog forventes, at emissionen af partikler målt som partikelmasse vil være væsentlig forøget, hvis de brænder med sodende flamme og under ikke-optimale forhold.

Anvendelse af varierende forbrændingsforhold blev fravalgt i dette projekt, hvis primære sigte var at måle emissionsforskelle mellem hvide stagelys bestående af forskellige vokstyper. Data for en ikke-optimal, sodende forbrænding er derfor fundet i litteraturen og ikke efterprøvet i praksis i dette projekt.

Det har på baggrund af manglende viden vedrørende de sundhedsskadelige effekter af partikler fra levende lys ikke været muligt at foretage en mere præcis risikovurdering af de beskrevne scenarier.

Mht. vurdering af metaleksponeringsscenerierne vurderes der at være meget store usikkerheder i eksponeringsvurderingerne, idet det er et afgørende spørgsmål, i hvilken udstrækning metalindhold i voks og væge også vil blive genspejlet i metalindholdet i de emitterede partikler.

8.3 Forbedring af videns grundlaget

Følgende aspekter vurderes afgørende for at opnå bedre kendskab mht. emission, eksponering og sundhedsmæssig vurdering ved anvendelse af levende lys:

Emission

- Kemisk analyse af emitterede partikler vil ligeledes kunne bidrage til viden om sundhedsrisici ved indånding af partiklerne.
- Betydningen af ikke-optimal afbrænding, dvs. måling af partikelemissionen ved sodning og under ulmefasen.
- Beskrivelse af, hvorledes dimensioner og udformning af det levende lys (stagelys vs. bloklys, fyrfadslys eller dekorative lys) påvirker emissionerne, hvad angår: PM_{2.5}, kulstof (EC), partikelantal (ultrafine partikler), PAH-stoffer, bly og nikkel.

Eksponering

- Yderligere systematiske målinger i et eksponeringskammer med hensyn til vurdering af eksponering for: PM_{2.5}, kulstof (EC), partikelantal (ultrafine partikler), PAH-stoffer, bly og nikkel - både ved optimal og sodende afbrænding

Farlighed og sundhedsmæssig vurdering

- Yderligere datagrundlag for at vurdere sundhedsskadelige effekter af ultrafine partikler/partikelantallet fra levende lys.
- Yderligere toksikologisk testning af partikler fra levende lys mht. effekter og sammenlignelighed med andre partikler, fx udeluftpartikler, dieselpartikler etc.
- Yderligere datagrundlag fra befolkningsundersøgelser med subgrupper med stort forbrug af levende lys mht. sundhedsskadelige effekter.
- Detailanalyser til vurdering af, hvorvidt dosis-respons-sammenhænge fra partikler i udeluften kan appliceres på partikeleksponeringen fra levende lys.

8.4 Konklusion

Målinger på i alt 64 lys i projektet har vist, at hvide stagelys af stearin generelt udleder dobbelt så mange ultrafine partikler som hvide stagelys af paraffin.

Baseret på målingerne af kildekonzentrationen ses det at lys 127 af paraffin var det lys, som emitterede færrest partikler (færre end 200.000 partikler/cm³). Lyset er et forholdsvis dyrt lys (10 kr.) fra et ukendt produktionsland og ikke svanemærket.

De tre lys, som emitterede flest partikler, er af stearin (lys nr. 5, 45 og 100). Disse tre lys emitterede alle flere end 25 mio. partikler/cm³. Lys nr. 5 er fremstillet i Sverige og er det billigste indkøbte lys af de 32 forskellige testede. Lys nr. 45 og 100 har begge ukendt produktionsland og ligger prismæssigt i den billige ende (under 5 kr. per lys). Ingen af lysene er svanemærkede.

Lys 87 emitterede mest partikelmasse (mere end 12 µg/m³). Lyset er af *Ukendt* vokstype og ukendt produktionsland og koster 8 kr./stk. Dernæst følger lys nr. 101 og 102, begge af stearin og begge af ukendt oprindelsesland. Prisen er ca. 7 kr./stk. henholdsvis ca. 11 kr./stk., altså begge i den dyrere ende. Ingen af lysene er svanemærkede.

Der er fundet bly i 26 ud af de 32 forskellige undersøgte væger, og der er konstateret bly i seks af de analyserede vokser. De seks lys, hvor der *ikke* er fundet bly i vægen, ligger prismæssigt fra 5 kr./stk. til 25 kr./stk. Ingen af lysene er svanemærkede (paraffinlys kan ikke opnå svanemærkning).

Der er ikke fundet bly i voksen i de kendte paraffinlys (forstået således, at i de lys, hvis vokstype er kendt, og som er angivet som paraffin, er der ikke fundet bly). Prisen på de fem paraffinlys varierer fra 2,5 kr./stk. til 15 kr./stk. Tre af de seks lys med blyindhold i voksen er stearinlys, de resterende tre er af vokstypen *Ukendt*.

Der er for lys med indhold af bly i både voks og væge påviseligt også fundet blyindhold i opsamlede emitterede partikler fra afbrænding af lyset. Det vil sige, at hvis man afbrænder stagelys med indhold af bly i voks og væge, vil blyet være at genfinde i de emitterede partikler og derfor udgøre en potentiel helbredsmæssig risiko ved indånding.

For ni af lysene er der konstateret nikkel i vægerne (tre af disse er svanemærkede), og to af de ni lys har også et analyserbart indhold af nikkel i voksen. De to lys med indhold af nikkel i voksen er begge stearinlys (og indeholder desuden også bly i voksen). Disse to lys koster 2,5 kr. henholdsvis 5 kr. pr. stk. Prisen for alle ni lys med indhold af nikkel i vægerne varierer mellem 1,2 kr./stk. og 5 kr./stk. for de otte, og ca. 10 kr. for det sidste.

Ved opstilling af forbrugerrelaterede eksponeringsscenarier og risikovurdering er det især den øgede partikeleksponering mht. partikelmasse (PM_{2.5}), der vækker sundhedsmæssig bekymring. Der er således for både den regelmæssige forbruger af levende lys og for storforbrugeren beregnet overskridelser af WHO's og EU's grænseværdier for PM_{2.5} i udeluften.

Selvom man ikke direkte kan overføre udelufts-grænseværdierne til indeluft og dermed til emission fra levende lys, er dette dog en indikation på, at der kan optræde sundhedsskadelige effekter som følge af partikelemission fra levende lys i de anførte scenarier. Især scenarier med stort forbrug af lys og/eller sodende afbrænding medfører meget høje partikeleksponeringer. Man må således forvente, at den ekstra partikeleksponering med PM_{2.5} kan føre til øget forekomst eller forværrelse af luftvejslidelser og hjerte-karlidelser.

Der er kun et yderst begrænset datagrundlag for at vurdere de sundhedsskadelige effekter relateret til det forøgede partikelantal i luften, og der er ikke på nuværende tidspunkt fastsat nogen former for grænseværdier, som eksponeringsniveauerne kan sammenholdes med.

På baggrund af de seneste data opnået i forbindelse med det danske CISBO-projekt vil det imidlertid være forventeligt, at selv korterevarende udsættelse for øgede niveauer af partikelantallet kan have negativ indflydelse på lungerne og hjerte-karsystemet.

Det er med den manglende viden om partiklernes sammensætning vanskeligt at afgøre, hvorvidt stearinlys, der afgiver flere partikler (både som partikelmasse og partikelantal), udgør en større belastning for sundheden end paraffinlys. Derimod anses afbrændingsomstændighederne at være af afgørende betydning, idet lys, der brænder med sodende flamme (fx pga. træk eller for lang væge), medfører et væsentligt forøget PM_{2.5}-niveau og kulstofniveau i luften.

For at imødegå eventuelle sundhedsskadelige effekter af brugen af levende lys kan det derfor tilrådes sørge for at lysene brænder med rolig og ikke-sodende flamme. Denne forholdsregel vil reducere partikelforureningen i form af partikelmasse (PM_{2.5}) betydeligt.

Som nævnt viser målingerne i dette projekt, at paraffinlys ud fra en gennemsnitsbetragtning udsender ca. en halv gang færre ultrafine partikler samt en mindre partikelmasse end stearinlys ved optimal forbrænding. Det er dog forbundet med stor usikkerhed herudfra at konkludere, at stearinlys må anses for mere sundhedsskadelige end paraffinlys, idet dette vil kræve mere viden om partiklernes sammensætning. Ligeledes vurderes afbrændingsomstændighederne at være af større betydning, end hvorvidt lyset er af stearin eller paraffin. Ved valg af lys bør man således først og fremmest prioritere lys, der brænder med rolig og ikke-sodende flamme.

Referencer

- BEC, 2014. Bailey Engineering Cooperation.
<http://www.baileyeng.com/wp-content/uploads/2014/09/CANDLE-SOOT-1.pdf>
- Bekö et al., 2013. Exposure and Source Apportionment in 56 Danish Homes, Environ. Sci. Technol. 2013, 47, 10240–10248
- Bolias, 2014. 10 gode råd om stearinlys.
<https://www.bolius.dk/10-gode-raad-om-stearinlys-14991/>
- Bothe, Melanie, et al., Organic aerosol formation in citronella candle plumes, Air Qual Atmos Health (2010) 3:131–137
- Chuang, Hsiao-Chi et al., Combustion particles emitted during church services: Implications for human respiratory health, Environ Int (2011)
- DCE, 2014. LUFTFORURENINGENS INDVIRKNING PÅ SUNDHEDEN I DANMARK. Sammenfatning og status for nuværende viden. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 96. <http://dce2.au.dk/pub/SR96.pdf>
- Derudi, Marco, et al., Emission of air pollutants from burning candles with different composition in indoor environments, Environ Sci Pollut Res (2014) 21:4320–4330
- ECHA 2011. Committee for Risk Assessment (RAC) Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on lead and lead compounds in jewellery ECHA/RAC/ RES-O-0000001304-85-03/F
- EFSA, 2010. Scientific Opinion on Lead in Food. EFSA EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Journal 2010; 8(4):1570.
- Eggert, Torben, et al., Indholdsstoffer i levende lys der sælges i detailhandlen, Miljøstyrelsen, Kortlægning nr. 6, 2002
- EU-Commission, 2000. AMBIENT AIR POLLUTION BY AS, CD AND NI COMPOUNDS Position Paper. Final Version. October 2000
- EU 2008. EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDET'S AFGØRELSE om Rod Chain (CONTAM); af 21. maj 2008 om luftkvaliteten og renere luft i Europa
- Folkehelseinstituttet, 2014. anbefalte faglige normer for indeklima. Revisjon av kunnskapsgrunnlag og normer. Folkehelseinstituttet .Rapport 2013:7.

Hoek et al., 2010. Concentration response functions for ultrafine particles and all-cause mortality and hospital admissions: results of a European expert panel elicitation. *Environ Sci Technol* 44, 476-482.

Health Effects Institute, 2013. Understanding the health effects of ambient ultrafine particles. HEI Perspectives 3, HEI Review Panel on Ultrafine Particles, Health Effects Institute. 108 pp.

Isaxon C et al., 2015. Contribution of indoor-generated particles to residential exposure. *Atmospheric Environment* 106, 458-466.

Janssen et al., 2011. Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM₁₀ and PM_{2.5}. *Env Hlth Perspec* 119(12), 1691-1699.

Karotki DG, Bekö G, Clausen G, Madsen AM, Andersen ZJ, Massling A, Ketzel M, Ellermann T, Lund R, Sigsgaard T, Møller P, Loft S. 2014. Cardiovascular and lung function in relation to outdoor and indoor exposure to fine and ultrafine particulate matter in middle-aged subjects. *Environ Int.* 2014 Dec;73:372-81. doi: 10.1016/j.envint.2014.08.019. Epub 2014 Sep 16.

Karotki DG, Spilak M, Frederiksen M, Gunnarsen L, Brauner EV, Kolarik B, Andersen ZJ, Sigsgaard T, Barregard L, Strandberg B, Sallsten G, Møller P and Loft S. 2013. An indoor air filtration study in homes of elderly: cardiovascular and respiratory effects of exposure to particulate matter. *Environmental Health* 12, 116.

Karotki DG, Spilak M, Frederiksen M, Andersen ZJ, Madsen AM, Ketzel M, Massling A, Gunnarsen L, Møller P and Loft S 2015. Indoor and Outdoor Exposure to Ultrafine, Fine and Microbiologically Derived Particulate Matter Related to Cardiovascular and Respiratory Effects in a Panel of Elderly Urban Citizens. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12(2), 1667-1686

Koistinen et al. 2008. The INDEX project: executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. *Allergy* 63, 810-819.

Manoukian, A., et al., Emission characteristics of air pollutants from incense and candle burning in indoor atmospheres, *Environ Sci Pollut Res* (2013) 20:4659–4670

Miljøstyrelsen 2002. Indholdsstoffer i levende lys der sælges i detailhandlen. Kortlægning nr. 6. Miljøstyrelsen.

Miljøstyrelsen, 2008. Health effects assessment of exposure to particles from wood smoke. Environmental Project No. 1235.

Miljøstyrelsen, 2015. Exposure to nanomaterials from the Danish Environment. Environmental project No. 1633. Miljøstyrelsen.

NERI, 2011. Particle project report 2008-2010. Particle contribution from traffic in Copenhagen. NERI Technical Report no. 837. National Environment Research Institute.

NM, 2011. Existing Default Values and Recommendations for Exposure Assessment: A Nordic Exposure Group Project 2011.

Nriagu, Jerome O., et al., Emissions of lead and zinc from candles with metal-core wicks, *The Science of the Total Environment* 250 2000. 37]41

Olsen et al., 2014. Vascular and lung function related to ultrafine and fine particles exposure assessed by personal and indoor monitoring: a cross-sectional study. *Environmental Health* 13: 112. DOI: 10.1186/1476-069X-13-112

Pagels, J., et al., Chemical composition and mass emission factors of candle smoke particles, *Aerosol Science* 40(2009)193–208

Petry et al., 2014. Human health risk evaluation of selected VOC, SVOC and particulate emissions from scented candles. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 69, 55–70.

SCOEL, 2011. Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for nickel and inorganic nickel compounds. SCOEL/SUM/85 June 2011.

Soppa et al., 2015. Respiratory effects of fine and ultrafine particles from indoor sources – A randomized sham-controlled exposure study of healthy volunteers. *Int. J Environ Res Public Health* 11, 6871-6889

Vermeulen R, Silverman DT, Garshick R, Vlaanderen J, Portengen L, Steenland K, 2014. Exposure-Response Estimates for Diesel Engine Exhaust and Lung Cancer Mortality Based on Data from Three Occupational Cohorts. *Environ Health Perspect* 122, 172-177.

Wasson, Shirley J., et al., Lead in candle emissions, *The Science of the Total Environment* 296 (2002) 159–174

WHO, 2000. Air quality guidelines for Europe. Second edition. WHO Regional Publications, European Series, No. 91

WHO, 2006. Particulate matter. In *Air Quality Guidelines Global Update 2005*. 217-306.

WHO, 2010. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. WHO Regional Office for Europe.

Bilag 1: Spørgeskema



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Levende stagelys

Spørgsmålene omhandler alene stagelys (diameter 20-27 mm)

På vegne af Miljøstyrelsen er Teknologisk Institut i samarbejde med DHI i gang med at kortlægge markedet for levende stagelys i Danmark.

I kortlægningen er der fokus på stagelys og specielt deres udledning af partikler og visse tungmetaller ved afbrænding. I den forbindelse vil vi gerne have yderligere oplysninger om stagelysene, som kan købes på det danske marked. Indledningsvis vil vi dog gerne have jer til at oplyse de tre lystyper, I sælger flest af.

Vi vil bede jer besvare alle de spørgsmål, I kan, så godt som muligt.

Skulle der være spørgsmål til ovenstående, er I meget velkomne til at kontakte os.

Christian Fischer, telefon 72 20 25 85, e-mail chfi@teknologisk.dk

Peter Bøgh Pedersen, telefon 72 20 26 40, e-mail pbbp@teknologisk.dk

Vi vil sætte pris på, at I svarer hurtigt tilbage, og vi vil tillade os at kontakte jer, hvis ikke vi har hørt fra jer inden d. 13. april 2015. Returneres til: pbbp@teknologisk.dk.

Dato:

Virksomhed:

Spørgsmål 1
Nævn de tre typer af lys i prioriteret rækkefølge, som I sælger flest af: (fx fyrfad, stagelys, bloklys, olielys, kertelys, duftlys, flydelys, ...)
1:
2:
3:
Spørgsmål 2
Hvor mange stagelys sælger I om året?

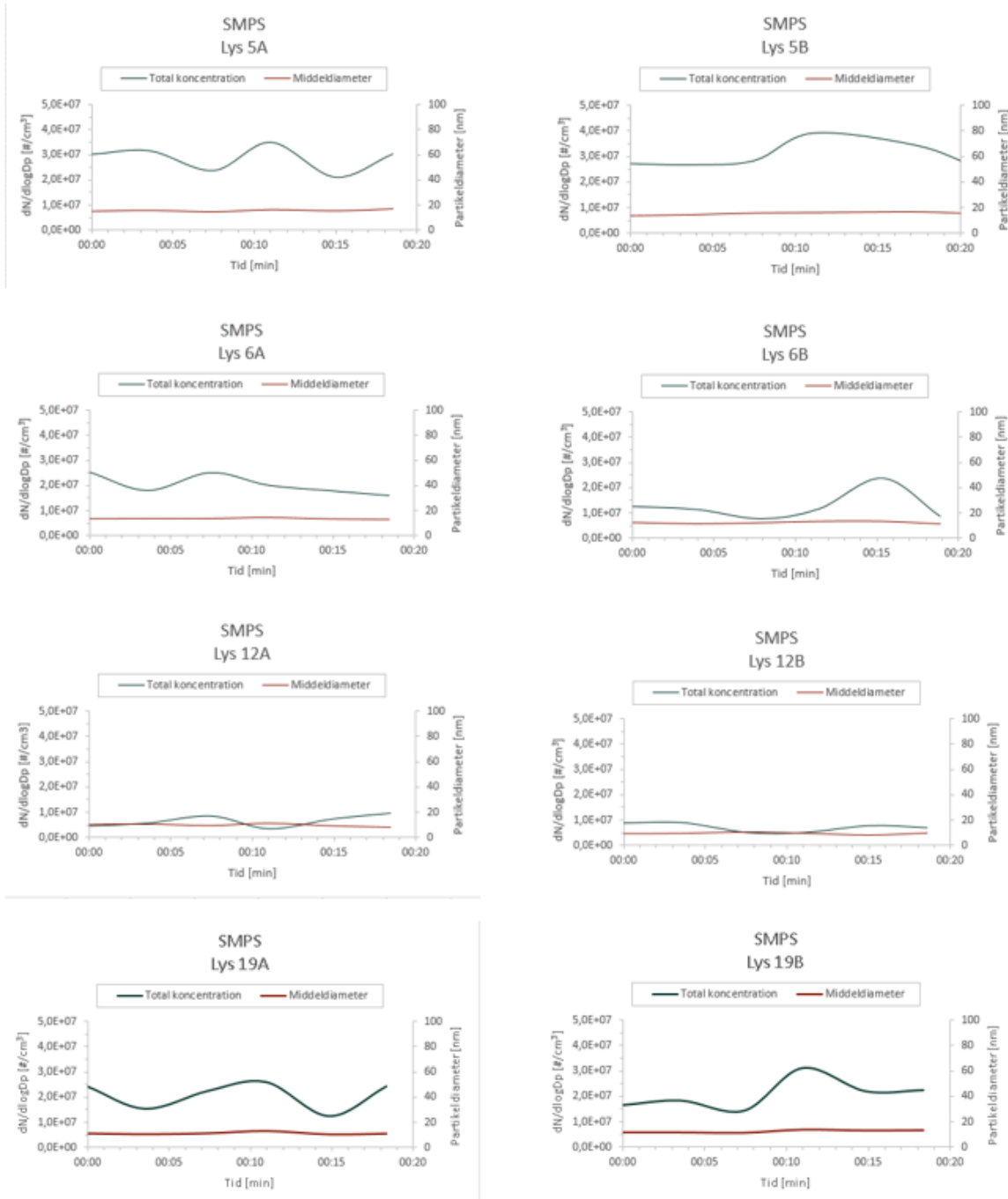


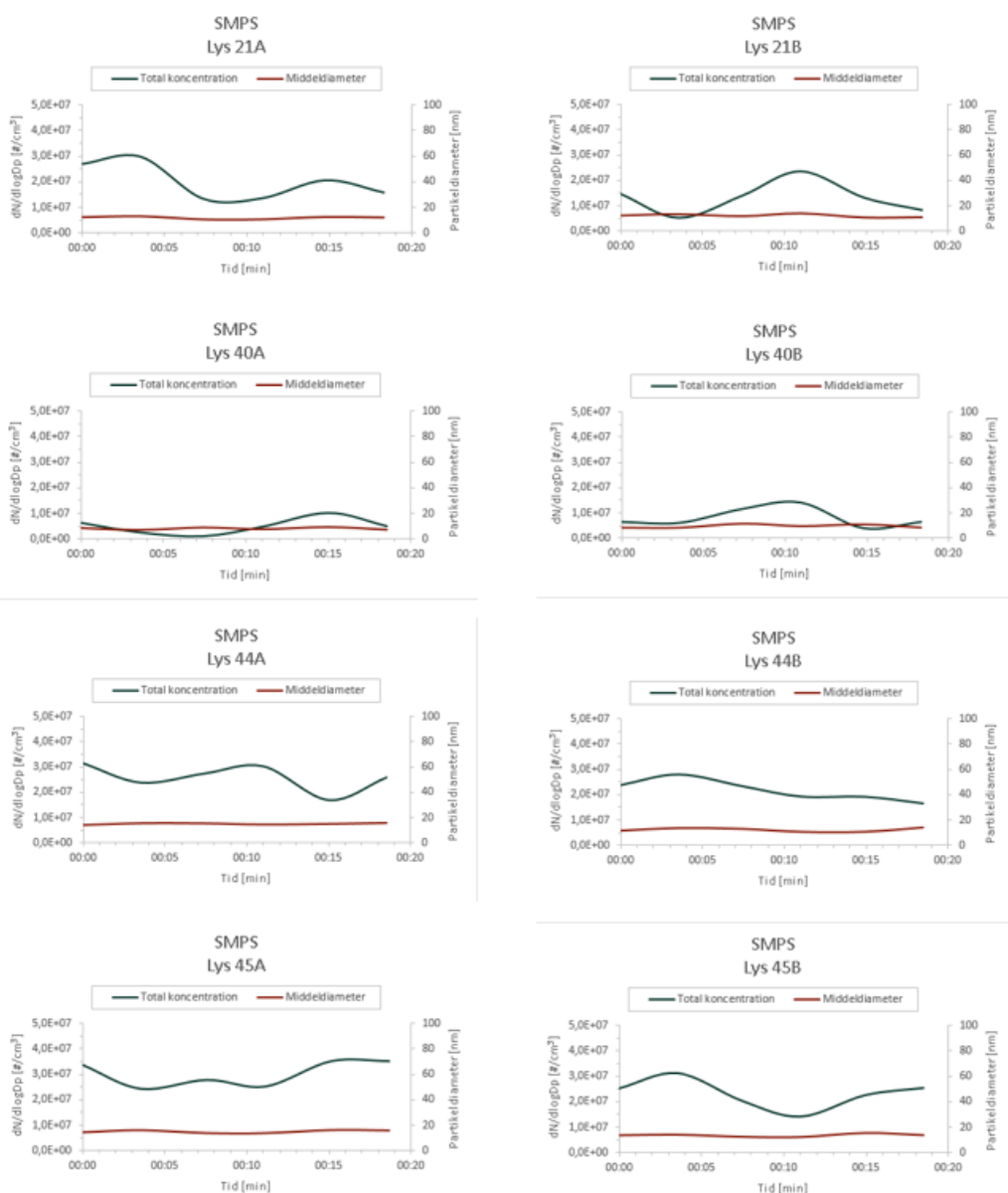
Spørgsmål 3
Hvor stor andel udgør stagelys af jeres samlede salg af levende lys?
Angiv gerne total antal stagelys ud af total antal samlede levende lys:
Angiv alternativt andel i procent:
Spørgsmål 4
Hvor stor andel af jeres samlede salg af stagelys udgøres af <i>hvide</i> (ufarvede) stagelys?
Angiv gerne total antal <i>hvide</i> stagelys:
Angiv alternativt andel i procent:
Spørgsmål 5
Hvilke mærker af stagelys forhandler I? (fx ASP-Holmblad, Broste Copenhagen, Windsor, ...)
Spørgsmål 6
Hvilke forskellige vokstyper er de forskellige stagelys fremstillet af? (fx stearin, paraffin, bivoks, hærdede vegetabiliske olier, andre...)
Angiv andel af stagelys af stearin, paraffin, osv. ud af jeres samlede salg (evt. i procent):
Ved voksblandinger, hvor det ikke er 100% rene vokstyper, angiv gerne et blandingsforhold:
Spørgsmål 7
Hvilke kriterier udvælger I jeres stagelys til salg i jeres butik ud fra? (fx vokstype, voksrenhed, brændetid, produktionsland, Svanemærket, farveudvalg, sæson/højtider, pris, andet...)

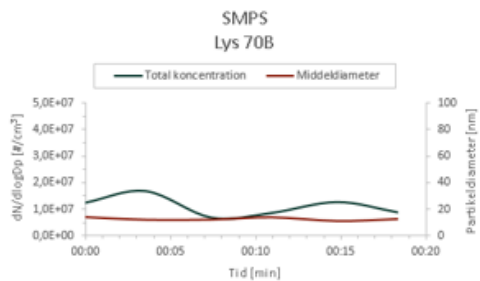
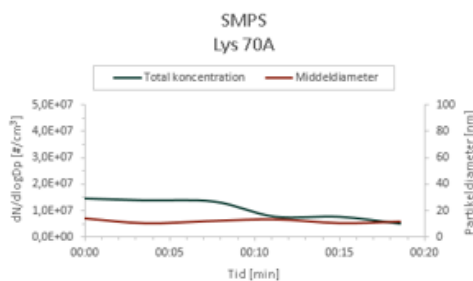
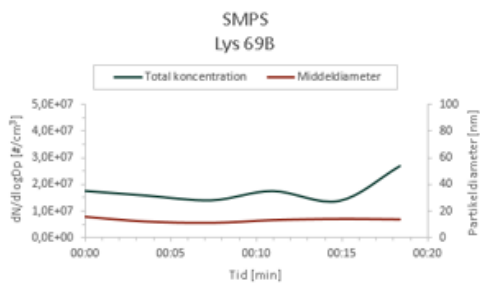
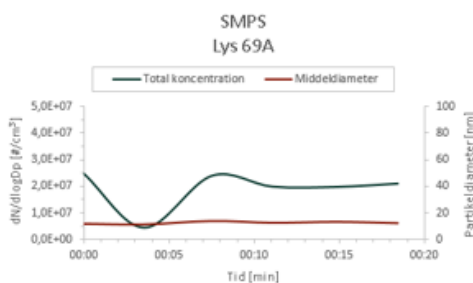
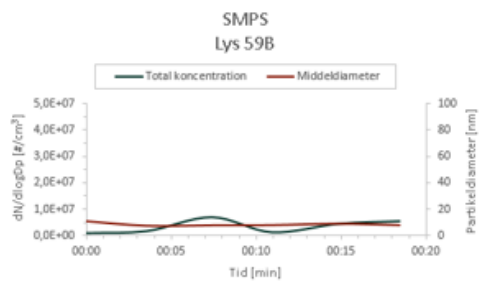
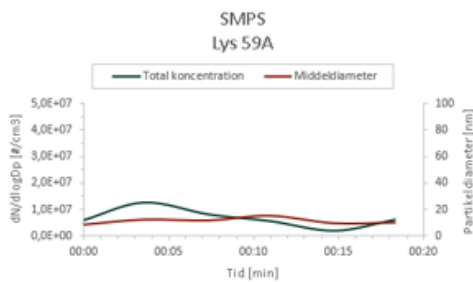
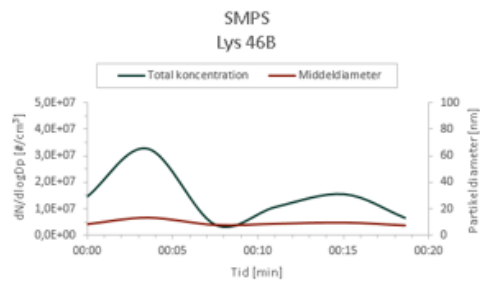
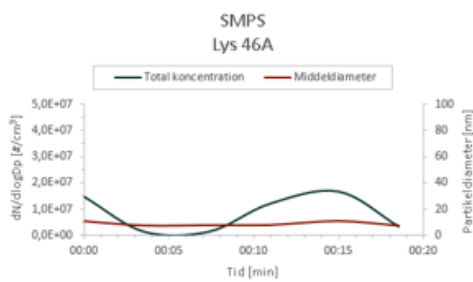


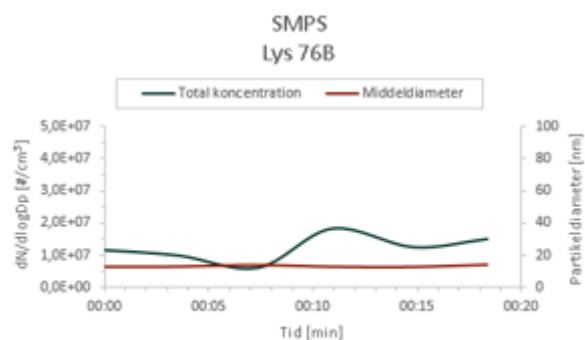
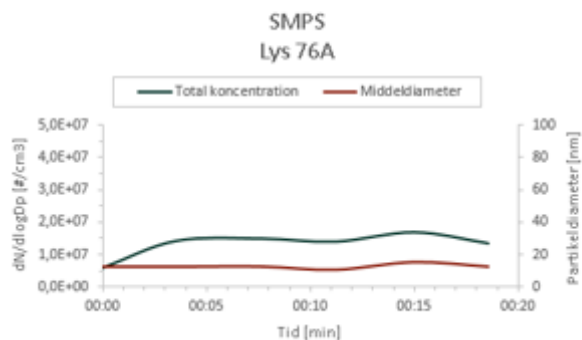
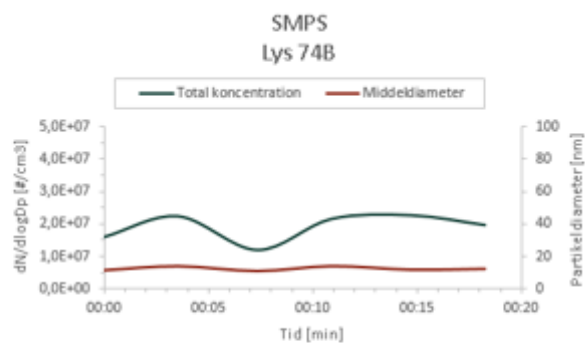
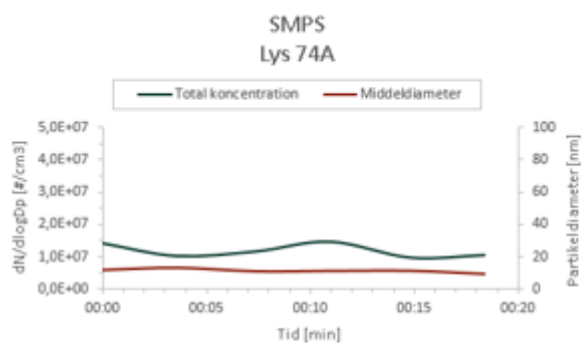
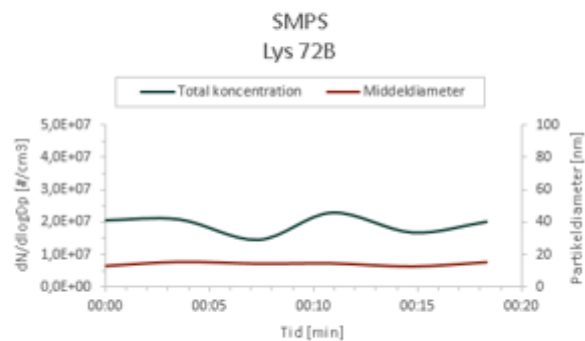
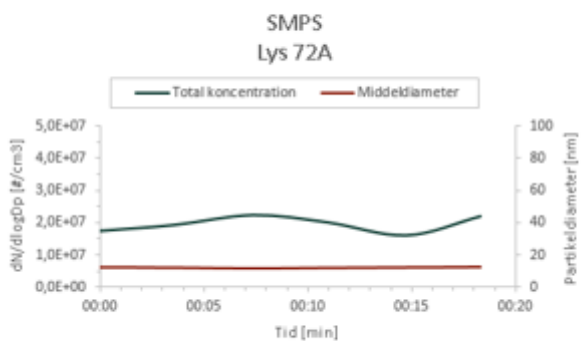
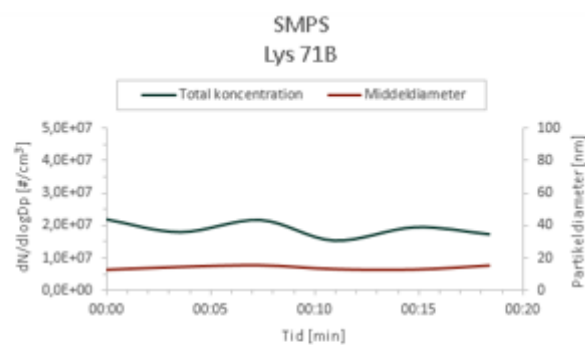
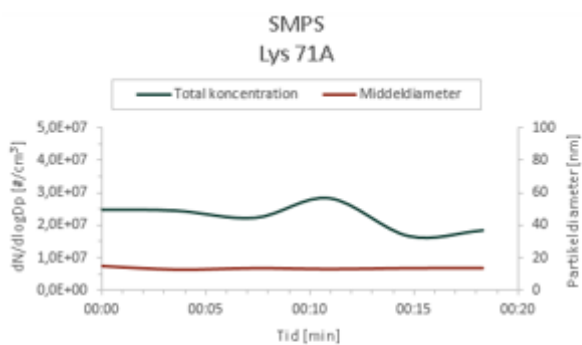
Spørgsmål 8
Sælger I Svanemærkede stagelys?
Hvis ja, hvor stor andel af jeres stagelys er Svanemærket?
Spørgsmål 9
Sælger I speciallys fra fx mindre selvstændige producenter?
Hvis ja, hvilke?
Hvis nej, hvorfor ikke?
Spørgsmål 10
Er prisen afgørende for, hvilke lys I har i jeres portefølje?
Hvis ja, hvad er jeres maksimumspris?
Hvis ja, hvad er kundernes maksimumspris?
Spørgsmål 11
Vælger/fravælger I stagelys på baggrund af produktionsland?
Hvis ja, hvilke produktionslande fravælger I?
Er der nogle produktionslande/-områder, som I foretrækker? (fx EU, USA, Danmark, Kina, ...)
Spørgsmål 12
Har I kendskab til vægetype i de stagelys, som I forhandler? (fx speciel imprægnering af bomuldsvæge)
Hvis ja, hvilke forskellige vægetyper er der i de stagelys, som I forhandler?
Hvis ja, bruger I viden om vægetyper til at vælge/fravælge stagelys i jeres portefølje?

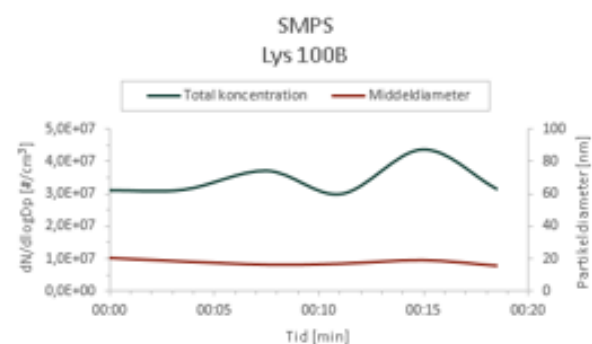
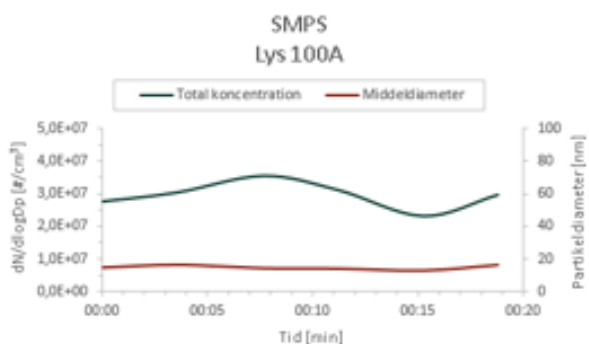
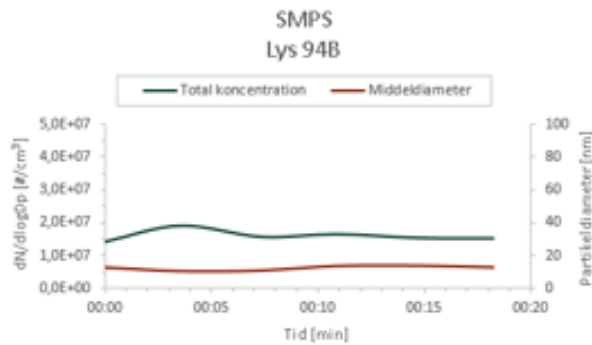
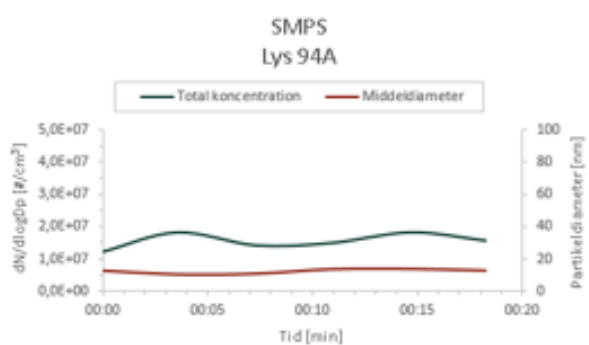
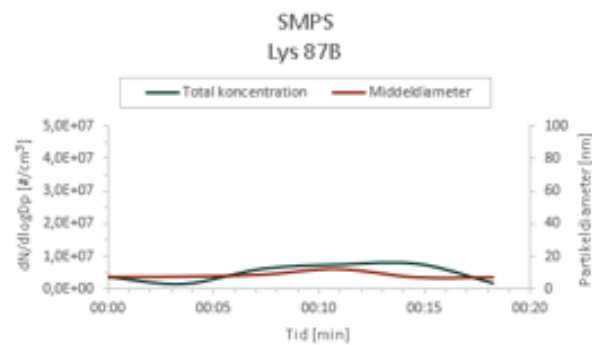
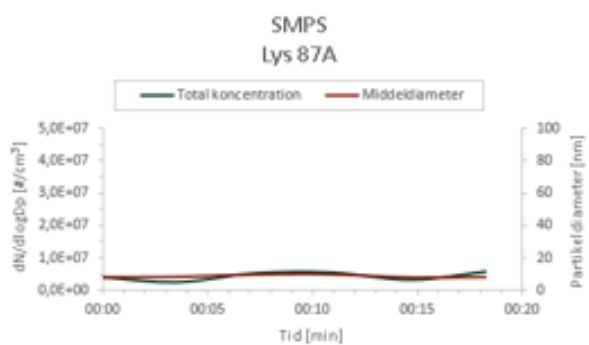
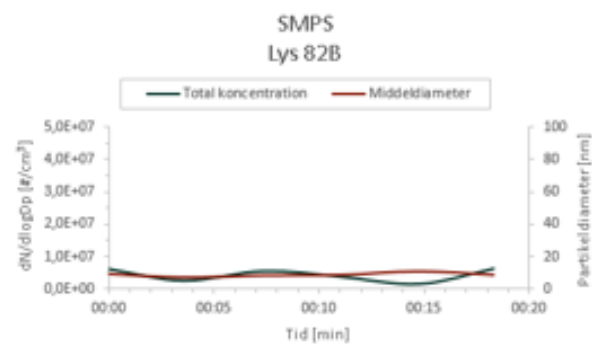
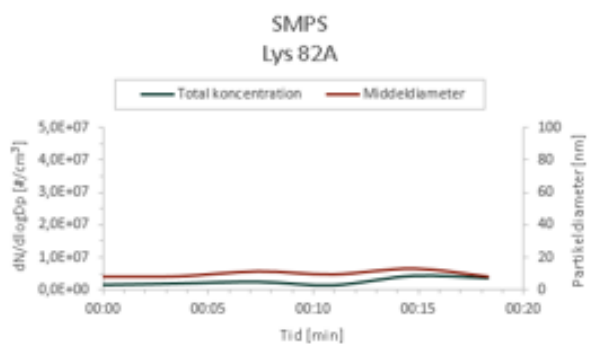
Bilag 2: Partikelantalsmålinger

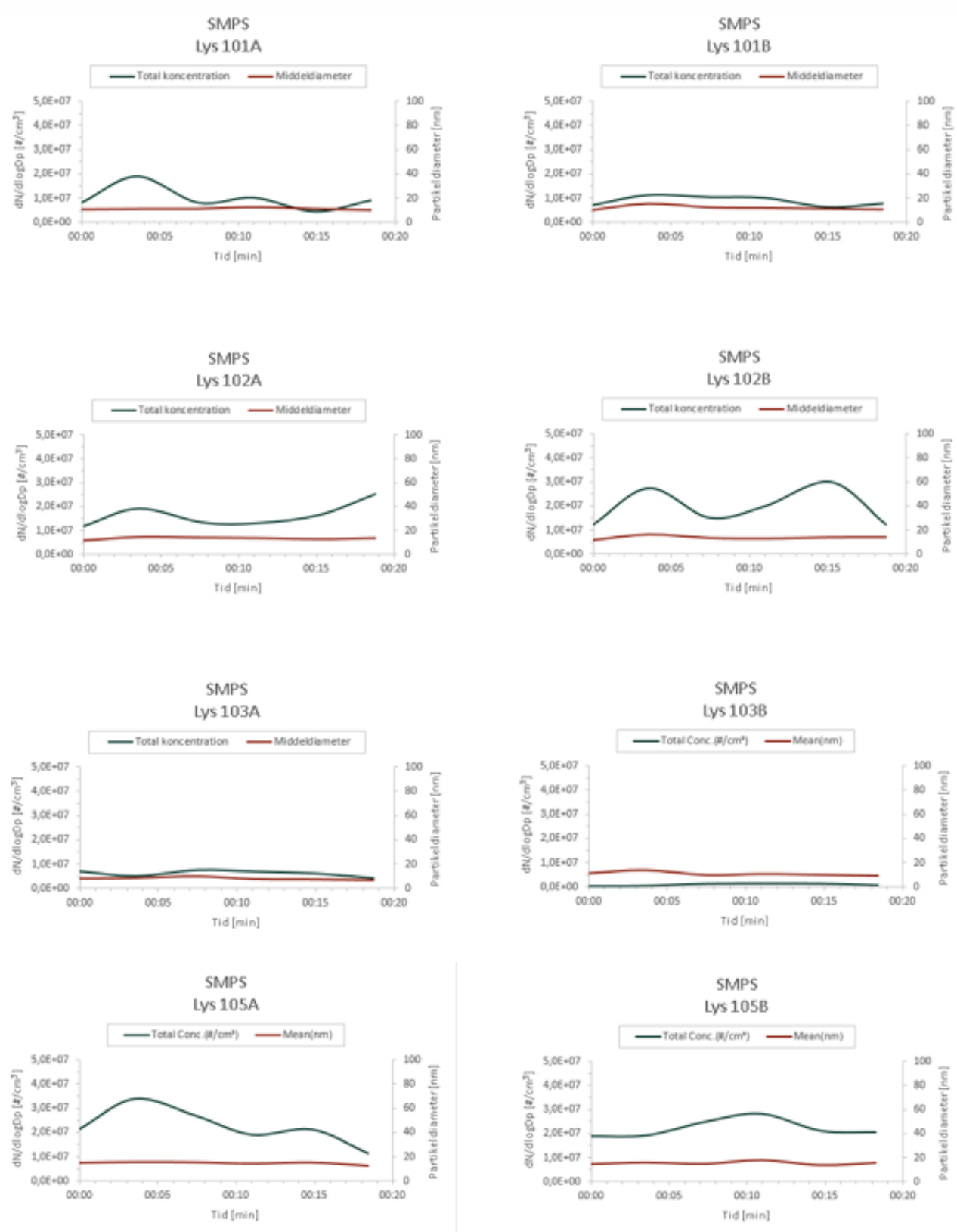


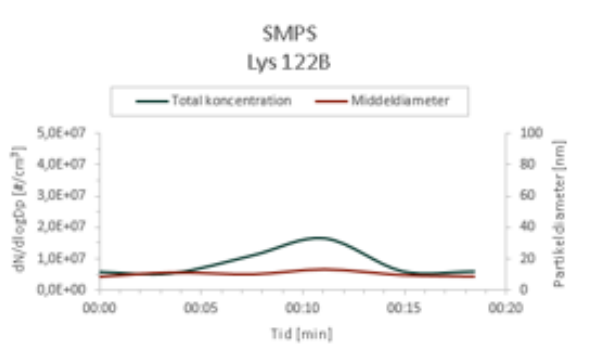
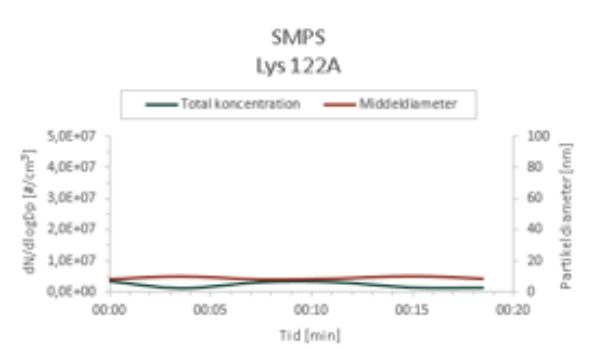
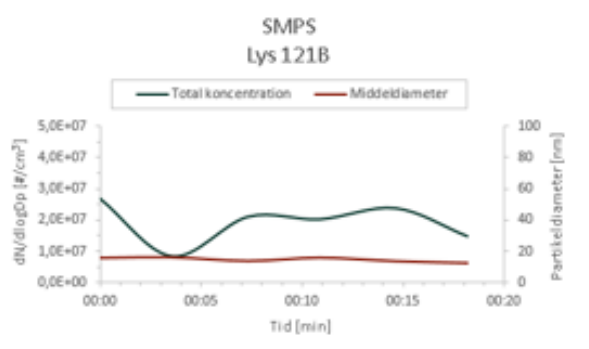
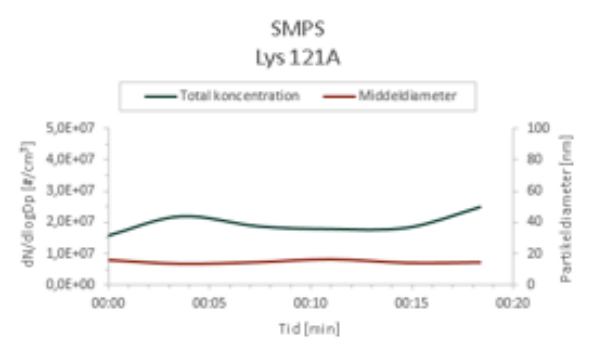
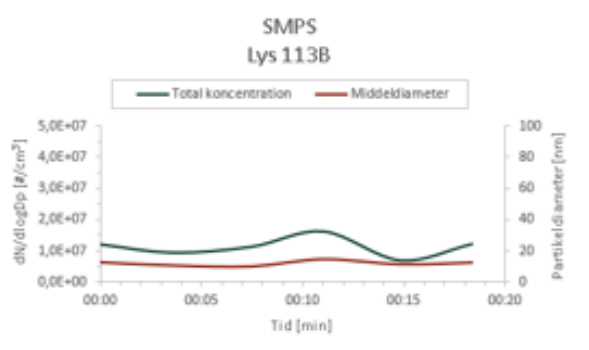
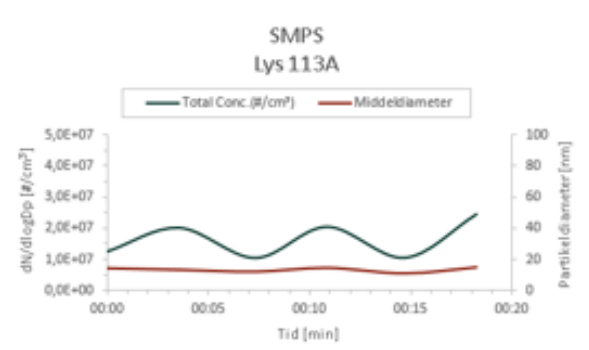
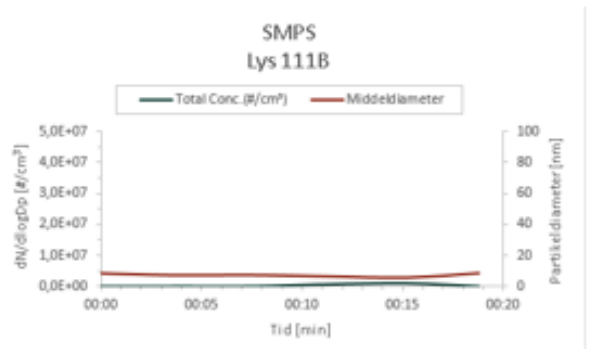
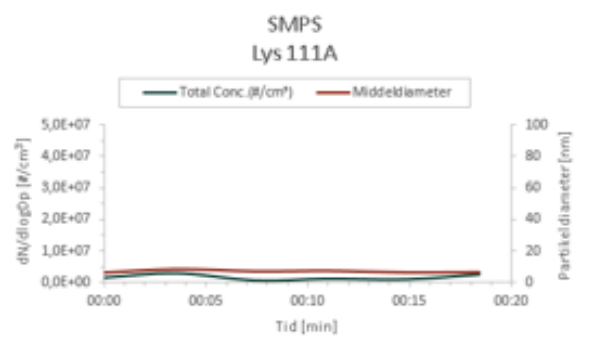


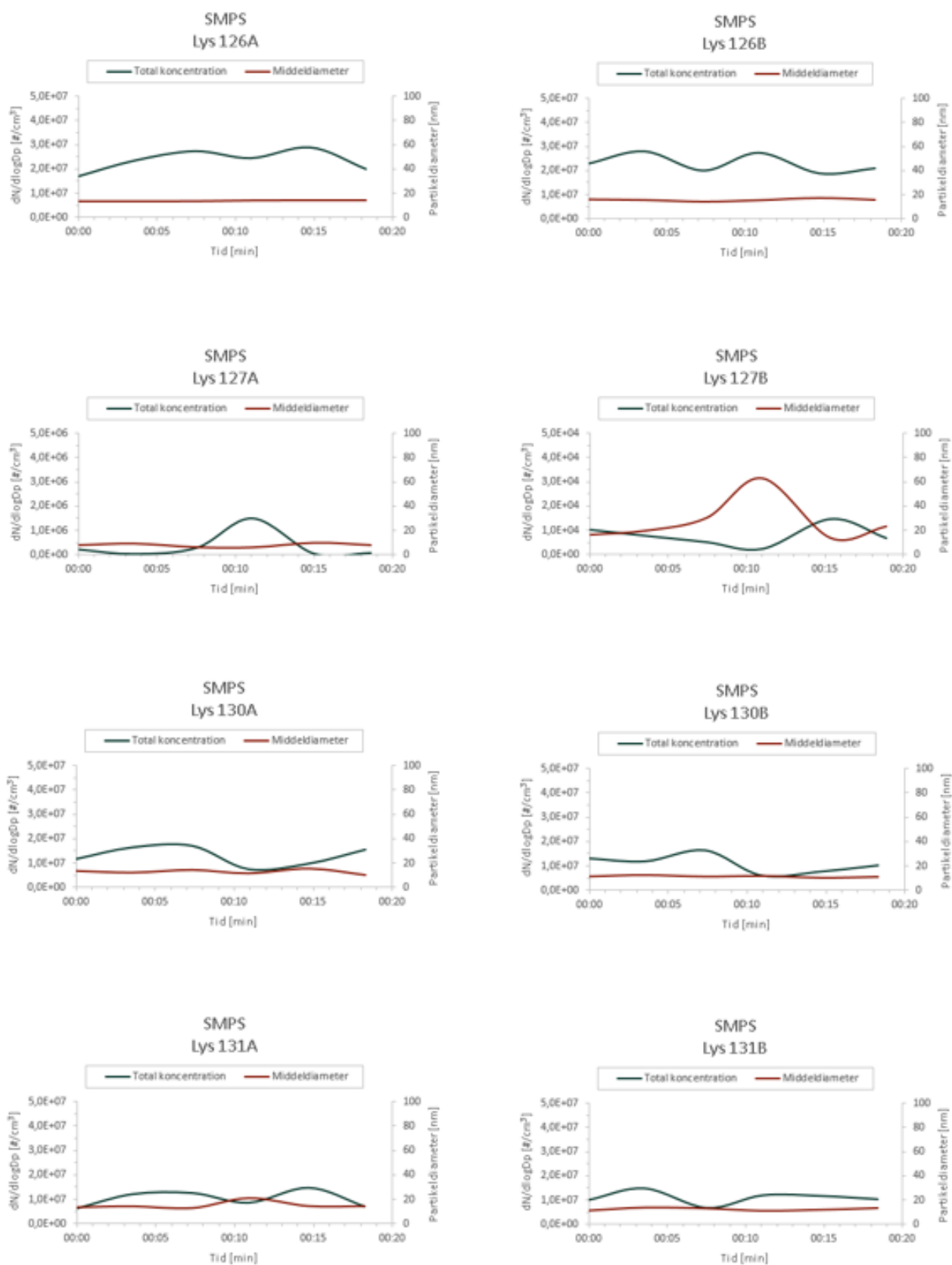




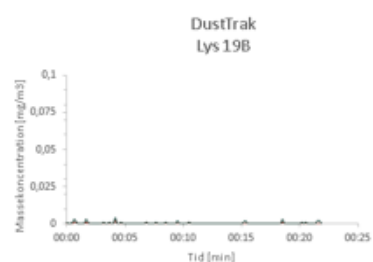
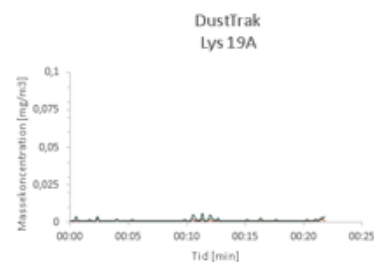
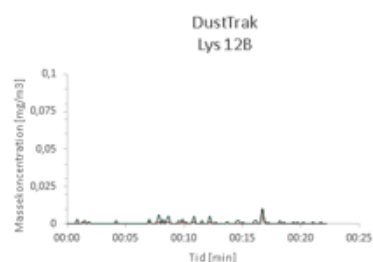
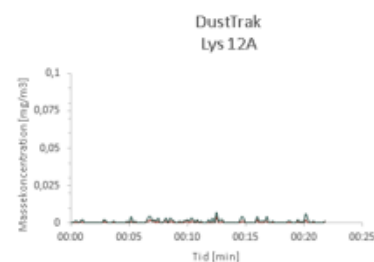
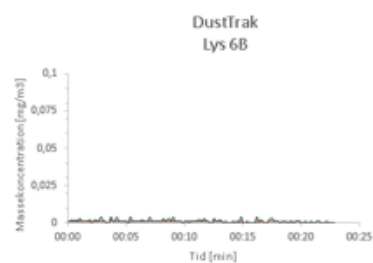
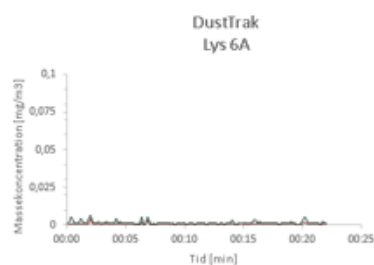
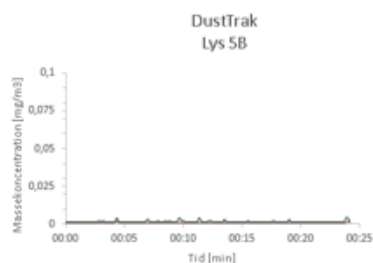
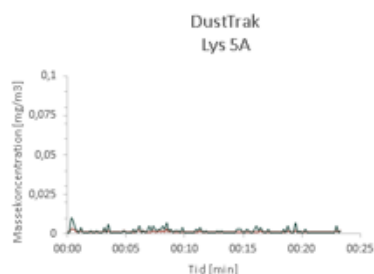


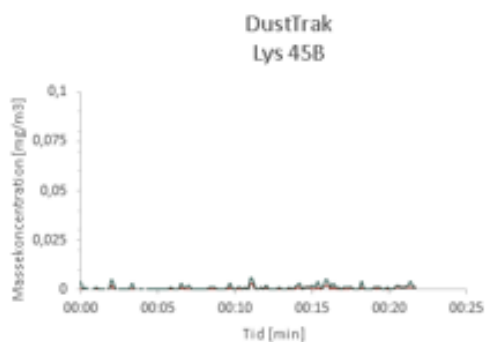
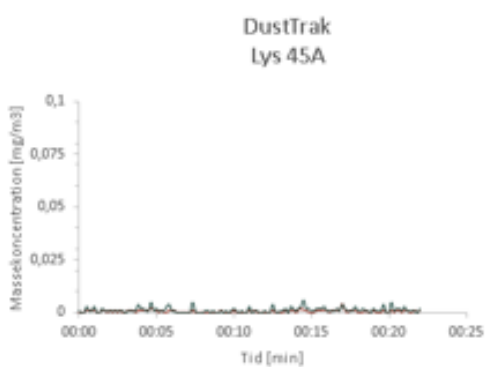
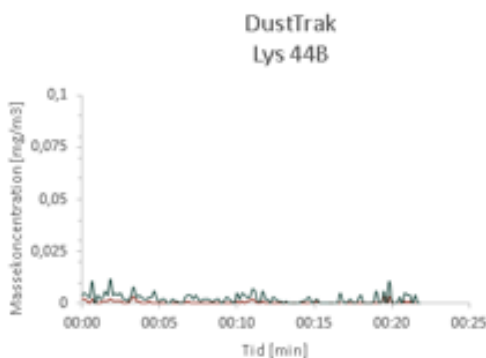
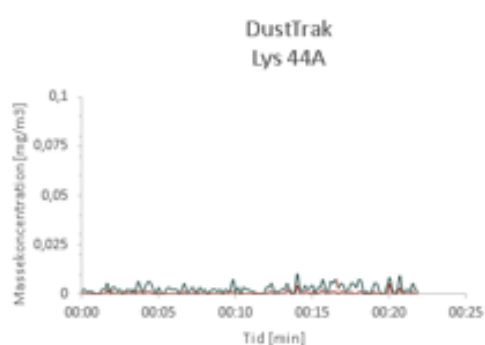
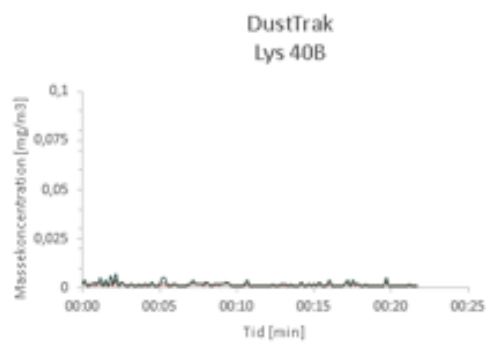
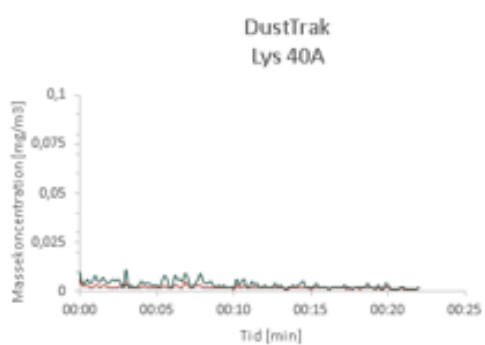
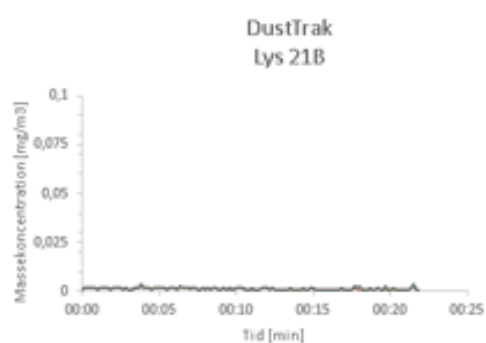
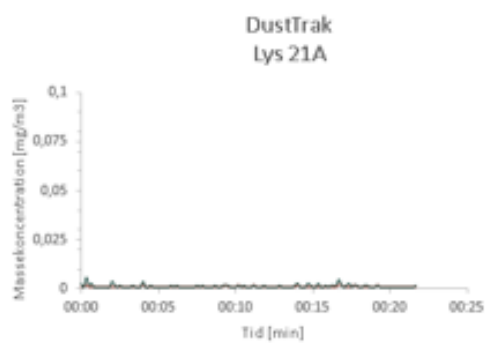


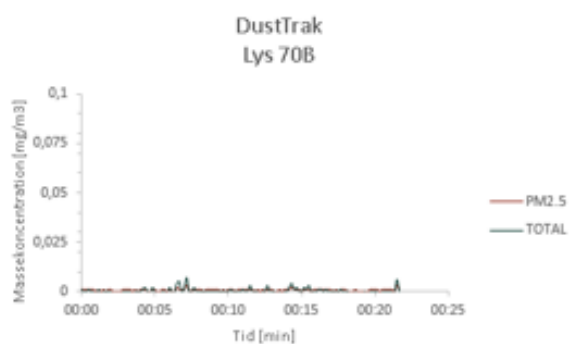
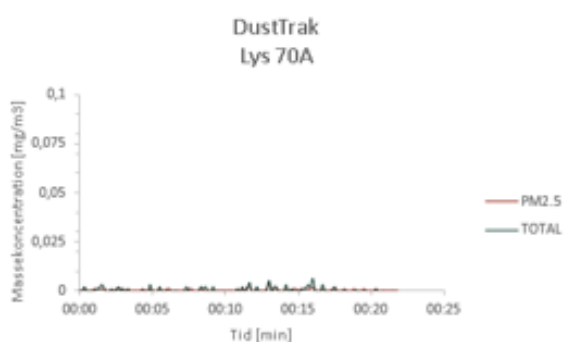
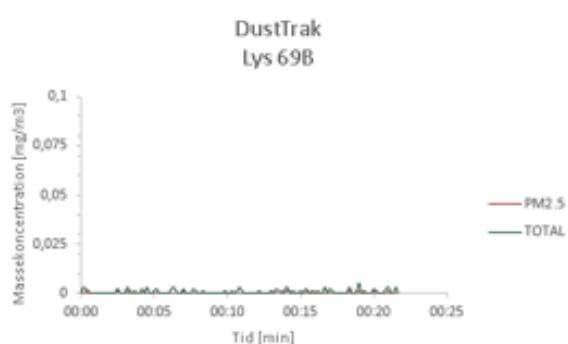
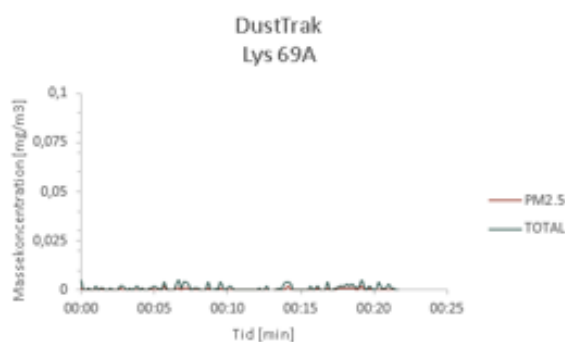
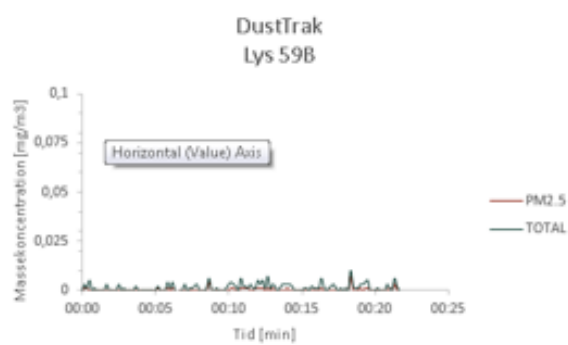
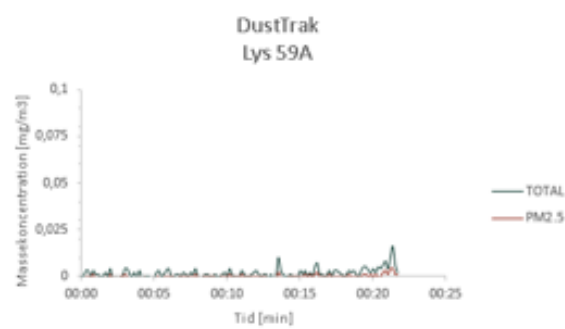
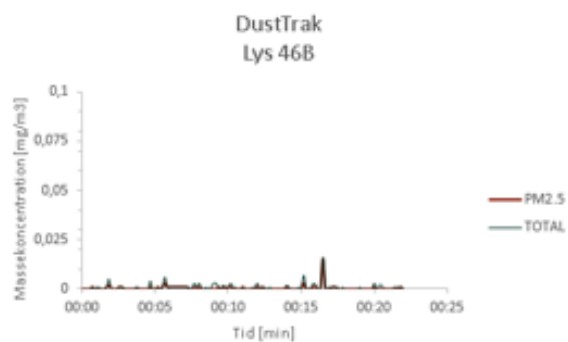
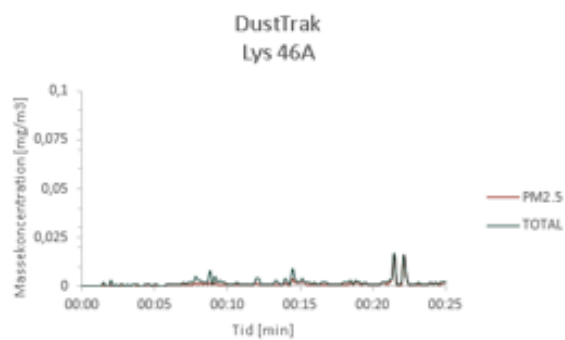


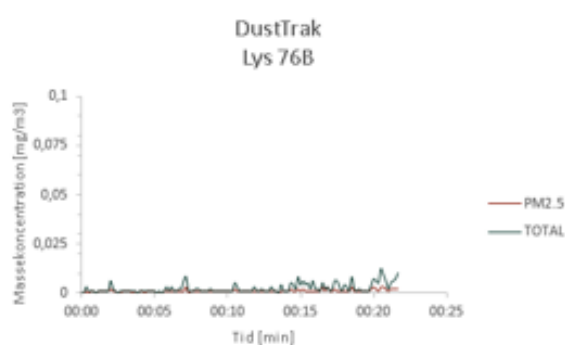
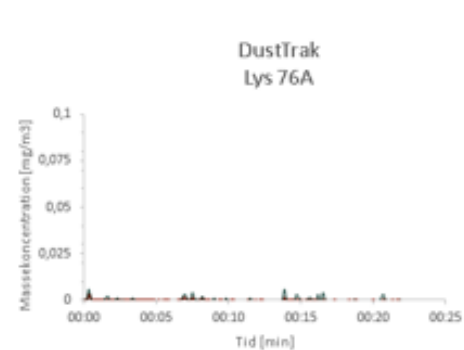
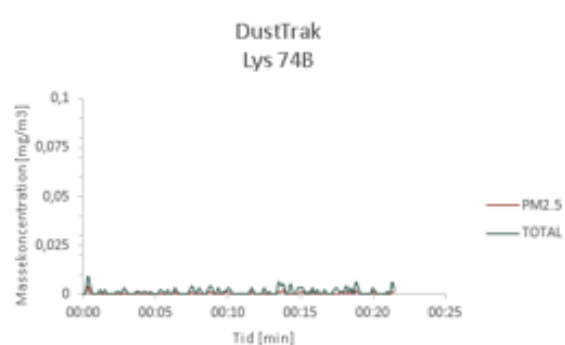
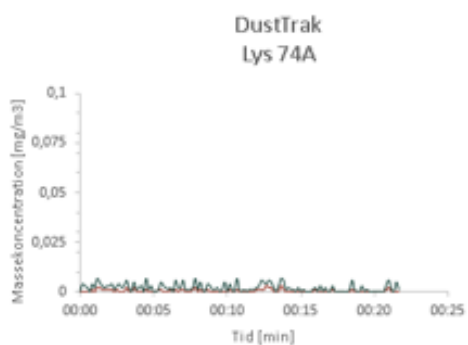
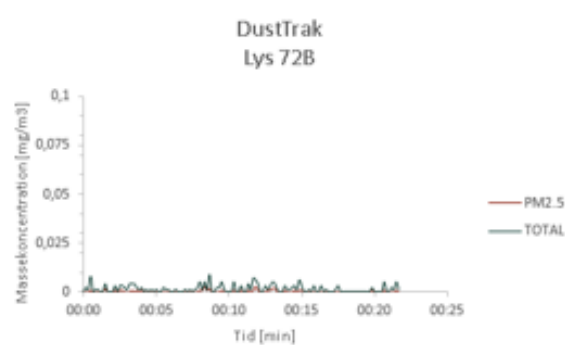
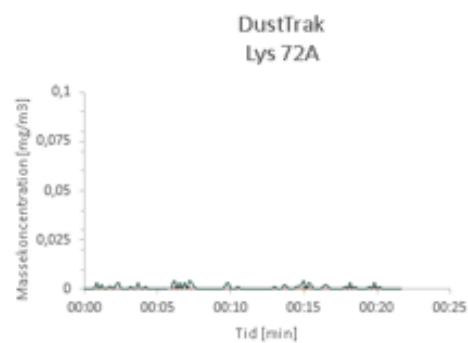
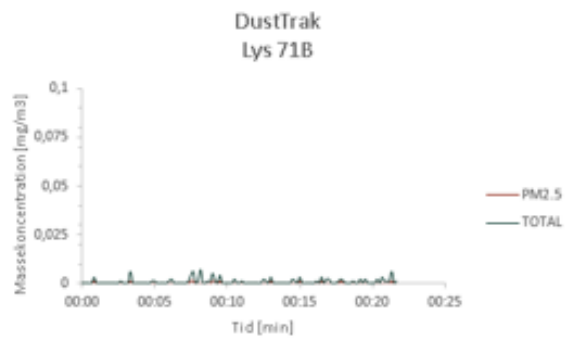
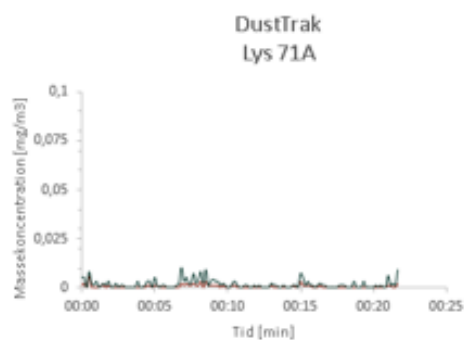


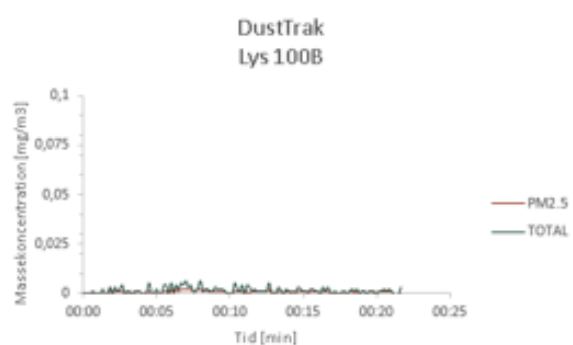
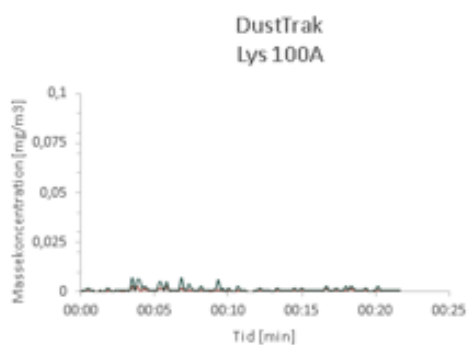
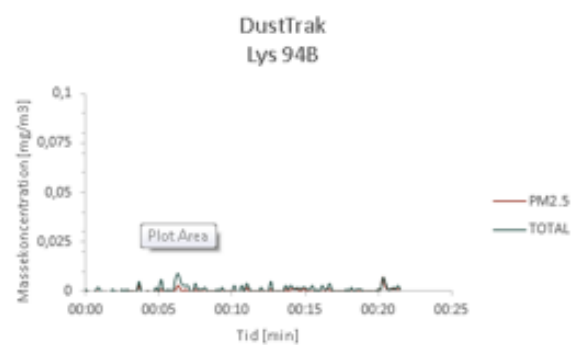
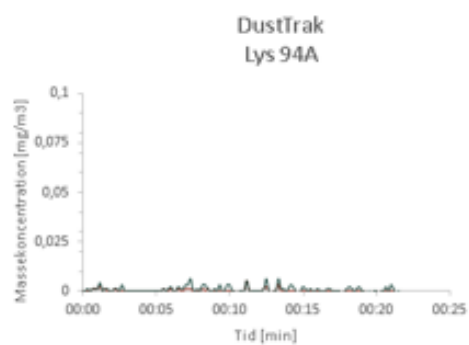
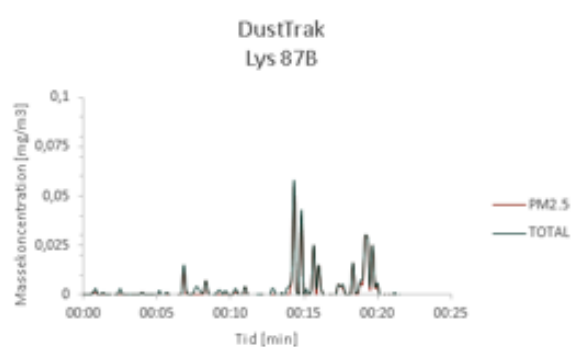
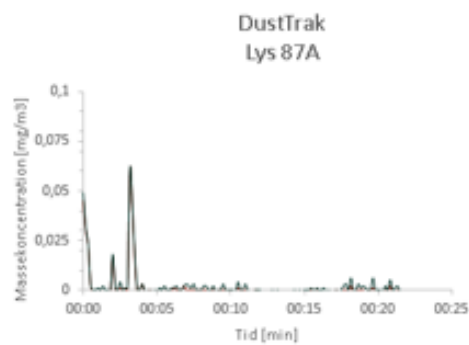
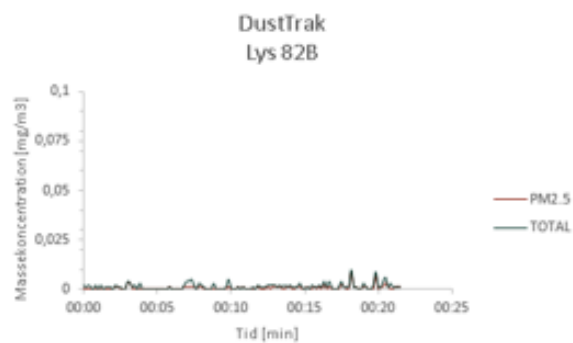
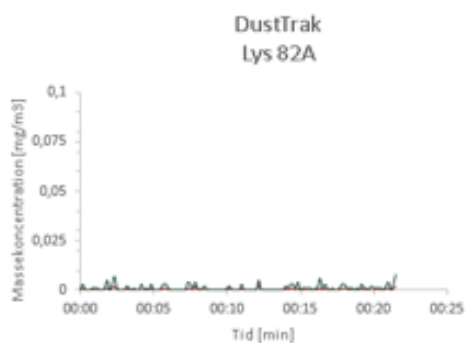
Bilag 3: Partikelmassemåling

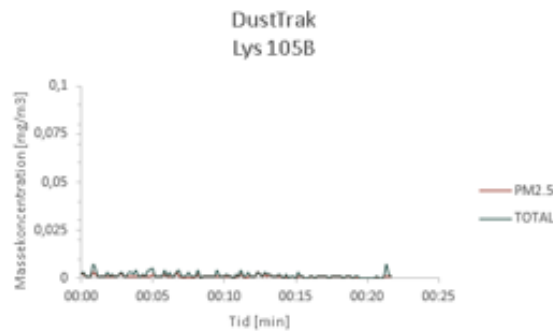
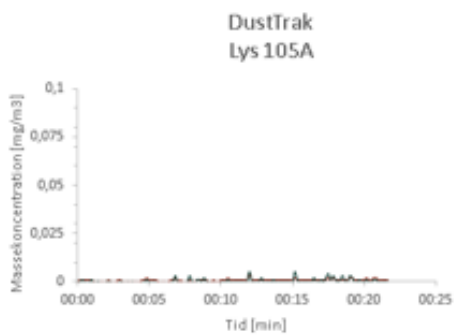
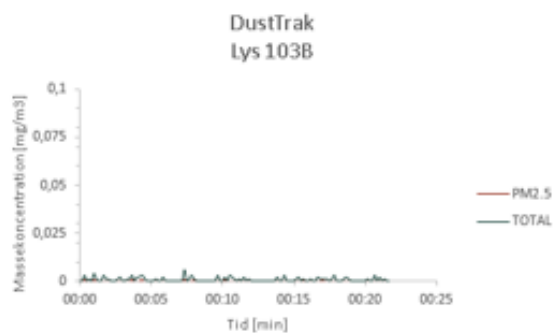
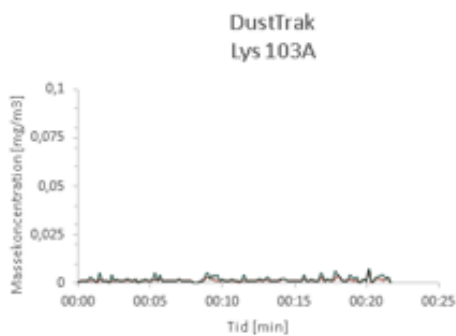
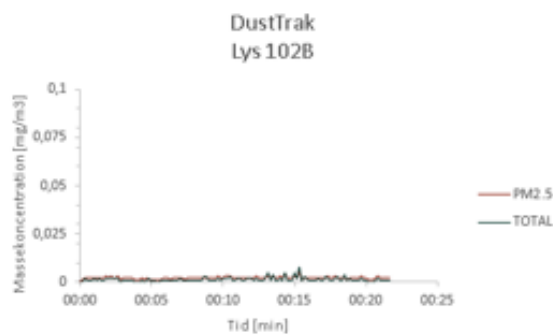
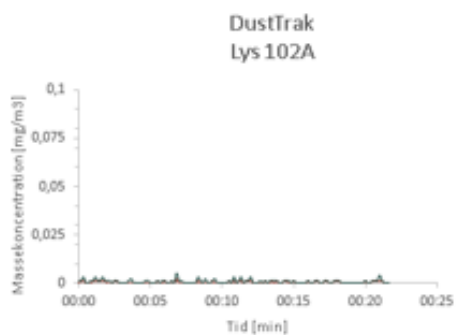
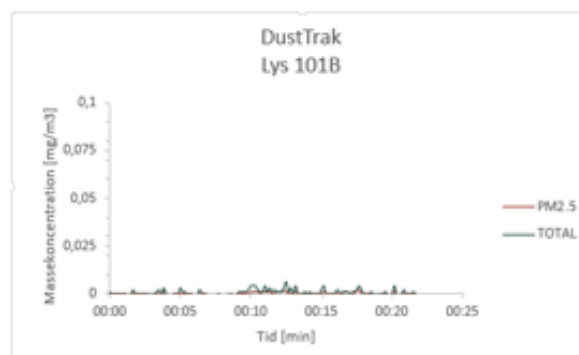
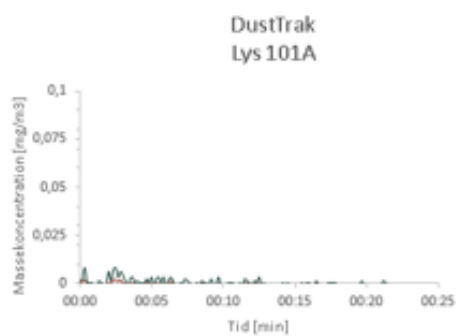


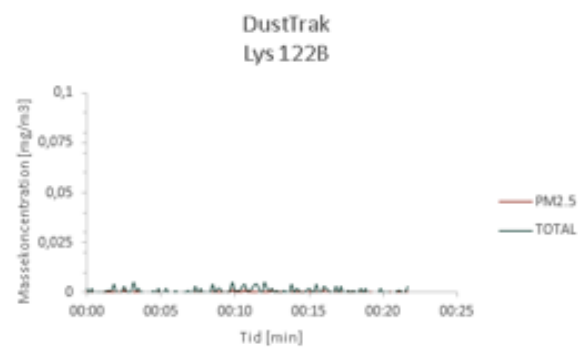
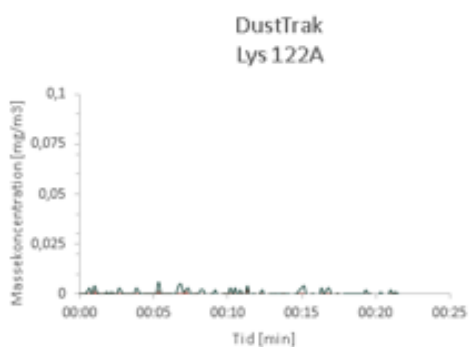
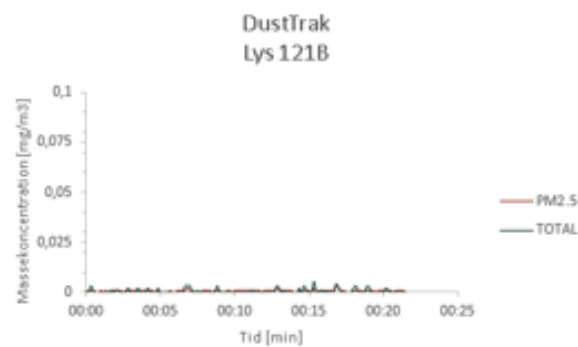
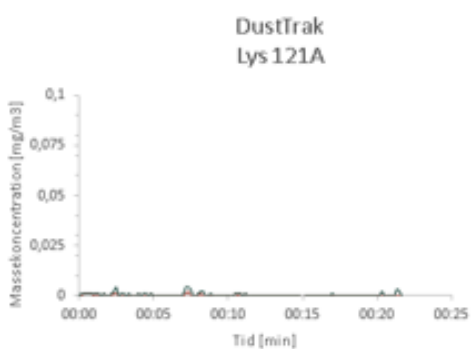
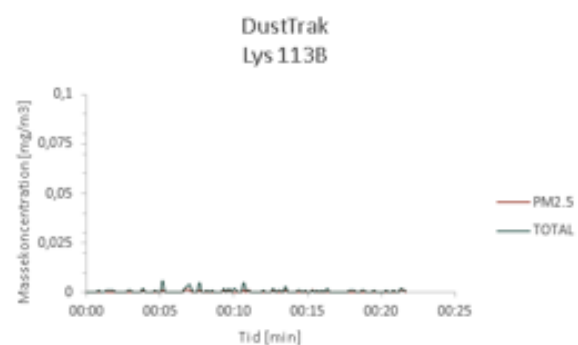
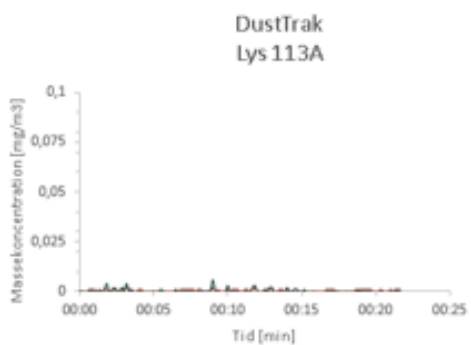
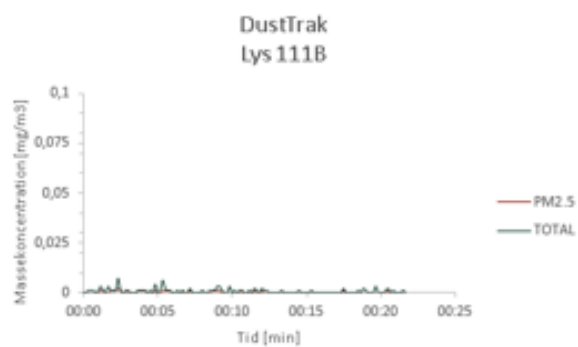
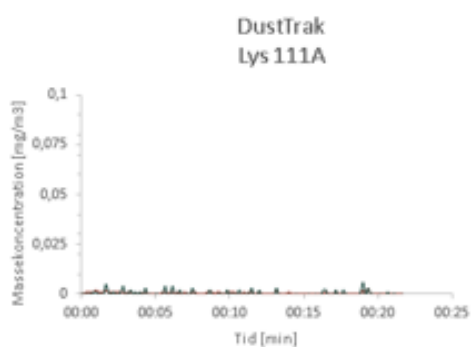


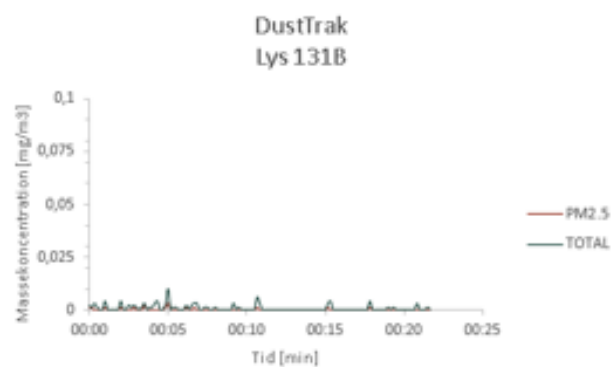
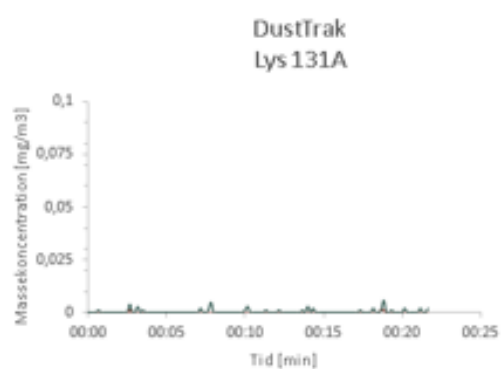
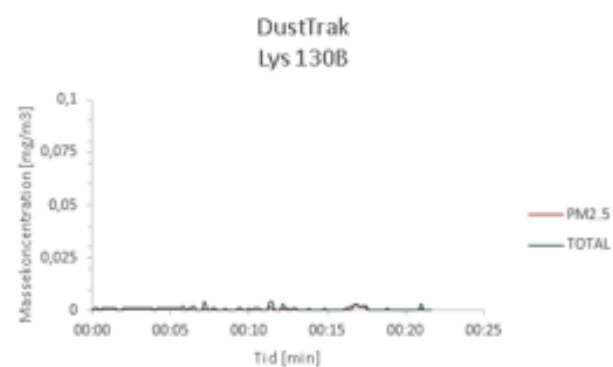
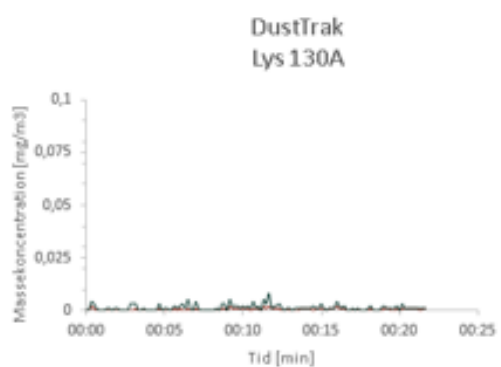
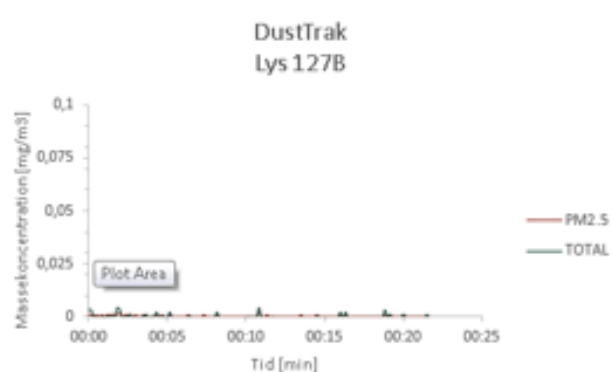
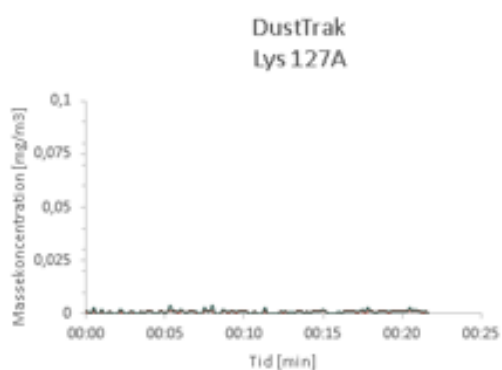
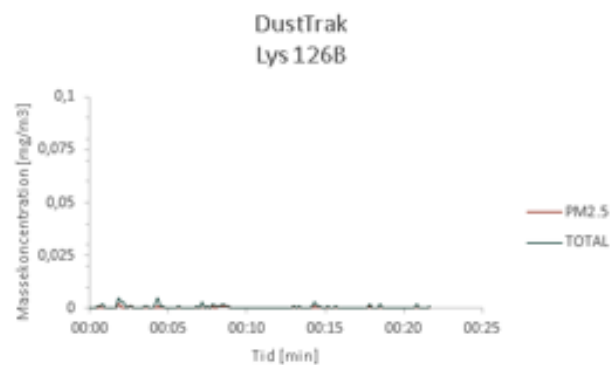
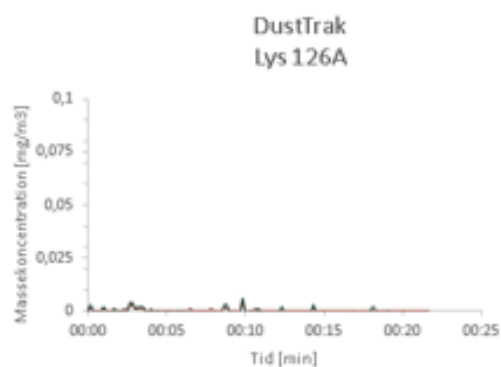












Kortlægning og risikovurdering af partikel- og tungmetalemission fra levende lys

Mange danskere tænder dagligt eller næsten dagligt levende lys i deres bolig, hvilket medfører en højere koncentration af partikler i indeklimaet. Formålet med denne rapport er at samle mere viden om den partikelemission, der udsendes fra levende lys, og vurdere om der er en sundhedsmæssig risiko forbundet ved ophold i rum med tændte lys. Undersøgelsen var inddelt i tre faser: kortlægning og baggrundsviden, analyse af levende lys og sundhedsmæssig vurdering. Kortlægningen identificerede 129 forskellige stagelys fordelt på 56 forskellige mærker, herfra blev 32 hvide lys udvalgt til de følgende analyser. Partikelemissionskoncentrationen blev målt henholdsvis tæt ved lyskilden (20 cm over flammen) og i et klimarum på 20 m³ (1,5 m fra de tændte lys). Derudover blev indhold af bly og nikkel analyseret i voks og væge samt på opsamlede partikler på filtre. Undersøgelsen fandt at levende lys ved optimal forbrænding udleder et højt antal partikler, men med en relativ lille partikelmasse. Der blev ikke fundet en sundhedsmæssig risiko forbundet med de undersøgte lys i denne rapport, som alle blev undersøgt under optimale forbrændings omstændigheder. De målte niveauer af bly og nikkel i lysene i denne undersøgelse er under EU's grænseværdier og der ikke opnås sundhedsmæssigt betænkelige eksponeringsniveauer. Ved beregning ud fra målinger fra en undersøgelse fundet i litteraturen som målte partikelemissionen ved sodende forbrænding, vurderes partikelemissionen dog at være mere betænkelig. Det tilrådes derfor at vælge lys som brænder med en rolig og ikke-sodende flamme, hvilket reducerer partikelforureningen betydeligt.



Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

www.mst.dk