

Ultrafine partikler

Kortlægning af partikelniveauer i boliger

Marts 2020



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Ultrafine partikler

Kortlægning af partikelniveauer i boliger

Støttet af:

Grundejernes Investeringsfond og Realdania

Udarbejdet af:

Anna Heebøll og Rikke Juel Lyng

Teknologisk Institut

Gregersensvej 4

2630 Taastrup

Byggeri og Anlæg

Kvalitetssikret af:

Martha Sørensen, tlf. 7220 2767, mks@teknologisk.dk

Thomas Witterseh, tlf. 7220 2311, twi@teknologisk.dk

Marts 2020

Resultater af Institutts opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag. Institutts navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionssekretariatet.



Indholdsfortegnelse

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Indledning | 4 |
| 2. | Resumé..... | 4 |
| 3. | Baggrund..... | 5 |
| | Udendørs eksponering..... | 6 |
| | Indendørs eksponering..... | 6 |
| | Relevans og nyhedsværdi | 6 |
| 4. | Formål..... | 7 |
| | Målgruppe..... | 7 |
| 5. | Metode | 7 |
| | 5.1. Indsamlede data | 8 |
| | 5.2. Måleudstyr | 9 |
| | 5.3. Databehandling..... | 10 |
| 6. | Resultater | 11 |
| | 6.1. Beskrivelse af målecases | 11 |
| | 6.2. Registrerede forhold i forbindelse med målingen | 13 |
| | 6.3. Indendørs partikelkoncentrationer | 14 |
| | 6.4. Udendørs partikelkoncentrationer..... | 15 |
| | 6.5. Koncentrationer ved forskellige aktiviteter | 18 |
| | 6.6. Er partikelkoncentrationen indendørs højere i byerne end på landet? | 20 |
| 7. | Diskussion | 21 |
| 8. | Konklusion | 22 |
| 9. | Perspektivering..... | 23 |
| 10. | Litteratur | 24 |
| | Bilag 1. Registreringsseddel | 27 |
| | Bilag 2. Målinger ved aktivitet | 29 |
| | Bilag 3. Målinger, hvor aktivitet ikke kendes..... | 31 |



1. Indledning

Sundhedsfaglig forskning i effekter af eksponering for ultrafine partikler har i flere tilfælde påvist negative sundhedsmæssige påvirkninger. Til trods for de sundhedsfaglige forskningsresultater, findes der på nuværende tidspunkt ingen grænseværdier for ultrafine partikler i indeklimaet i Danmark eller EU.

Dette projekt tilvejebringer viden om de faktiske niveauer af ultrafine partikler i danske boliger. Det er tanken, at projektets resultater kan danne baggrund for et større forsknings- og udviklingsarbejde, der kan bane vejen for etablering af grænseværdier for ultrafine partikler og fremtidssikring af den sunde bolig.

Projektet er udført i perioden oktober 2018 – marts 2020 og er finansieret af Grundejernes Investeringsfond og Realdania.

2. Resumé

Der er gennemført 103 målinger i alt. Størstedelen af målingerne (74 %) er foretaget i Region Hovedstaden. Omtrent en fjerdedel af målingerne er foretaget i de øvrige regioner i Danmark. 68 målinger er foretaget i København. Resultaterne repræsenterer således primært byområder.

Måling af koncentrationen af ultrafine partikler blev foretaget indendørs i køkken eller stue. Der blev foretaget samtidige målinger af koncentrationen udendørs. Målingerne blev foretaget over en periode på typisk 45-60 minutter og foregik på alle tidspunkter/vilkårligt i løbet af dagen og i et enkelt tilfælde i nattetimerne.

66 % af målingerne kan kategoriseres som "baggrundsmålinger". Det vil sige målinger, hvor der ikke blev registreret partikelgenererende aktivitet undervejs, såsom madlavning eller stearinlys-afbrænding. De resterende cirka 35 % udgør "målinger ved aktivitet". Resultater for indendørs koncentration er gengivet i tabel 1.

Tabel 1. Resultater for *indendørs* koncentration under baggrundsmålinger og ved aktivitet, afrundet

| | Cases | Middelkoncentration | Median | Max. |
|---------------|-------|---------------------|--------------|---------------|
| Baggrund | 65 | 3.700 pt/cc | 3.100 pt/cc | 14.100 pt/cc |
| Ved aktivitet | 38 | 29.600 pt/cc | 13.500 pt/cc | 315.200 pt/cc |



Resultaterne for alle indendørs og udendørs målinger er opsummeret i tabel 2.

Tabel 2. Resultater for alle *indendørs og udendørs* målinger, afrundet.

| | Cases | Middelkoncentration | Median | Max. |
|-----------|-------|---------------------|-------------|---------------|
| Indendørs | 103 | 12.400 pt/cc | 4.400 pt/cc | 315.200 pt/cc |
| Udendørs | 94 | 7.200 pt/cc | 5.800 pt/cc | 96.000 pt/cc |

På baggrund af projektets resultater for baggrundsmålinger, blev en "lav", "normal", og "høj" koncentration af ultrafine partikler i indeluften defineret som angivet i tabel 3. "Normal" koncentration er defineret som koncentrationer mellem 25- og 75-percentilen for alle 65 baggrundsmålinger. Partikelkoncentrationer under eller over betragtes som henholdsvis "lav" eller "høj".

Tabel 3. Fundne niveauer i partikelkoncentration i 65 baggrundsmålinger.

| Lav | Normal | Høj |
|----------------|-------------------|---------------|
| < 25-percentil | 25-75-percentil | >75-percentil |
| < 2.200 pt/cc | 2.200-4.600 pt/cc | > 4.600 pt/cc |

3. Baggrund

Ultrafine partikler (UFP) er meget små partikler med en diameter på 10-100 nm. Ultrafine partikler i indåndingsluften fanges ikke i de øvre luftveje, men kan trænge langt ned i lungerne. Videnskabelige studier har påvist, at ultrafine partikler kan trænge gennem lungevævet og ud i blodbanerne, og at de udskilles meget langsomt fra kroppen [1, 2, 11]. De samme studier forventer, at eksponeringen igennem indånding af især kunstigt fremstillede nanopartikler vil øges i fremtiden.

Center for Indeklima og Sundhed i Boliger (CISBO) har dokumenteret, at én af de største kilder til ultrafine partikler i indeklimaet i Danmark er stearinlysafbrænding. Partiklerne, som dannes ved denne type afbrænding, minder om dieselforurening, der er associeret med øget dødelighed som følge af lunge- og hjerte-kar-sygdomme [18]. Flere studier af kortvarig eksponering indikerer, at UFP har en negativ sundhedsmæssig effekt på mennesker [7, 8, 9, 10]. Andre har påvist, at eksponering for partikler fra afbrænding af stearinlys kan associeres med inflammation og cytotoxicitet (giftighed overfor celler) i lungerne hos mus [20]. Yderligere har et studie af sammenhængen mellem kortvarig eksponering for ultrafine partikler og helbredsmæssige effekter hos mennesker indikeret øget risiko for hjerte-kar-sygdomme [21]. Risikoen ved langvarig eksponering er kun be-lyst i begrænset omfang [12].



Udendørs eksponering

Kilderne til ultrafine partikler i udeluften er blandt andet trafik og industri. Derfor afhænger niveauet af UFP blandt andet af lokationen – by eller land, tæt eller lavt befolkede områder – tidspunktet på døgnet samt vindforhold [3]. Flere studier har undersøgt eksponeringen udendørs i specifikke lokationer [4, 5]. I Danmark er den udendørs eksponering undersøgt i forbindelse med et CISBO projekt [6], hvor 59 personers eksponering blev monitoreret over en periode på 48 timer. En af konklusionerne var, at eksponeringen udendørs kun udgjorde cirka 5 % (ekskl. transport) af den samlede daglige eksponering.

Indendørs eksponering

Samme studie viste, at 90 % af den daglige eksponering for ultrafine partikler, finder sted inden døre – og at en væsentlig del af den indendørs eksponering sker i boligen [6].

I indeklimaet er aktiviteter såsom madlavning, rygning, rengøring og stearinlysafbrænding samt genstande som luftfriskere, elektriske apparater og brændeovne, de typiske kilder til ultrafine partikler. Eksponeringen er primært undersøgt under kontrollerede laboratorieforsøg [13-17].

Et studie fra 2012, støttet af Grundejernes Investeringsfond, Ministeriet for By, Bolig og Landdistrikter samt Landsbyggefonden, viser, at 9 % af den luft, der overføres fra rygerhjem til ikke-rygerhjem i etageboliger, kan være forurenede luft [22].

Relevans og nyhedsværdi

Den reelle eksponering for ultrafine partikler i danske boliger er i dag kun belyst i begrænset omfang. Der findes kun begrænset empiri for partikkelkoncentration, -variation og partiklernes karakter. Et omfattende datasæt for de reelle partikkelkoncentrationer i boliger vil derfor være med til at belyse forholdene i danske boliger.

I dag har indeklimarådgivere, bygherrer og boligejere ikke noget egentligt vurderingsgrundlag i forhold til hvilken partikkelkoncentration, der kan karakteriseres som "lav", "normal" eller "høj". Da den reelle eksponering og de sundhedsmæssige effekter heraf ikke kendes, findes der heller ikke noget grundlag for at fastlægge hvilken partikkelkoncentration, der er for høj.

Grundlaget for, at løsninger til afhjælpning og forebyggelse af eksponering for ultrafine partikler fremtidssikrer den sunde bolig er, at løsningerne designes og målrettes specifikt til de aktiviteter og tidspunkter, hvor eksponeringen er skadelig. Målinger af faktiske partikkelkoncentrationer kan danne grundlag for dybdegående sundhedsfaglig forskning i de sundhedsmæssige effekter af eksponering for ultrafine partikler.



4. Formål

Formålet med projektet er at bidrage til fremtidssikring af sunde boliger gennem opbygning af viden om de faktiske niveauer af ultrafine partikler i danske boliger. Denne viden er i høj grad relevant for rådgivere, bygherrer og boligejere, og for samfundet.

Målsætningen for projektet er:

- At øge kendskabet til den reelle eksponering af ultrafine partikler i danske boliger.
- At etablere et omfattende datagrundlag i forhold til partikelkoncentrationer i danske boliger.
- At resultaterne for partikelkoncentration kan fungere som et vurderingsgrundlag for bygherrer og boligejere i forhold til hvilket eksponeringsniveau, der kan karakteriseres som "lavt", "normalt" og "højt".
- At projekresultaterne indgår i baggrundsmaterialet for et efterfølgende forsknings- og udviklingsarbejde, hvor helbredseffekter af typiske partikelkoncentrationer i boliger undersøges dybdegående.
- At samle den etablerede referencegruppe med henblik på at planlægge det videre forsknings- og udviklingsarbejde.

Målgruppe

Projektets resultater henvender sig til rådgivere og boligejere. Etableringen af en "baseline" i forhold til partikelkoncentration vil give målgruppen et bedre vurderingsgrundlag mht. typiske niveauer.

Det er endvidere håbet, at projektets resultater kan danne baggrund for yderligere forsknings- og udviklingsarbejde med henblik på at beskrive og vurdere de sundhedsmæssige risici ved udsættelse for ultrafine partikler i boliger.

5. Metode

Arbejdet i projektet har primært bestået i indsamling af måledata, som kunne udgøre et empirisk grundlag for analysen. Målet var at indsamle så mange målinger som muligt fra boliger rundt om i landet.

Der blev defineret et paradigme for indsamlingen af data på baggrund af de praktiske omstændigheder, såsom adgang til boliger og projektets økonomiske rammer på den ene side, samt målet om et omfattende datagrundlag og en acceptabel præcision i de indsamlede oplysninger, på den anden side.

Det blev prioriteret at indsamle målinger fra så mange boliger som muligt. Kombineret med en forventning om, at adgangen til boliger ville være begrænset, blev måleperioden i de enkelte boliger begrænset til nogle få timer. Derfor blev kompleksiteten af målemetoden holdt på et niveau, der muliggjorde, at måleudstyret kunne opstilles og klargøres i boligen i løbet af kort tid (cirka 5-10 minutter).



Da langt hovedparten af målingerne er foretaget i beboede boliger, har muligheden for at kontrollere og styre omstændighederne/begivenhederne i løbet af målingen været begrænset. Således varierer fx ventilationsforhold, antallet af tilstedeværende personer samt partikelgenererende aktiviteter fra måling til måling.

5.1. Indsamlede data

Måling af koncentrationen af ultrafine partikler blev foretaget indendørs i køkken eller stue. Der blev foretaget samtidige målinger af koncentrationen udendørs.

Under måling af partikelkoncentrationen blev der ligeledes foretaget registrering af temperatur, relativ luftfugtighed og CO₂-koncentration indendørs og udendørs.

Der blev målt i 1-minut-interval – i minimum 45-60 minutter. Målingerne foregik på alle tidspunkter/vilkårligt i løbet af dagen og i et enkelt tilfælde i nattetimerne.

For at beskytte måleinstrumentet under målingerne udendørs blev det så vidt muligt placeret under overdækning, fx i carport, under udhæng eller lignende.

Derudover blev der registreret geografisk lokation for boligen, forskellige bygningsforhold, ventilationsforhold og aktiviteter i boligen før og under målingen. Registreringen blev foretaget af enten en konsulent eller beboeren selv (jf. Bilag 1. Registreringsseddel).

Herunder ses de registrerede forhold.

Bygningsforhold:

- Byggeår
- Bygningstype: Etagebolig, rækkehus eller villa/parcelhus

Ventilationsforhold ved målingens start:

- Udluftning
- Udsugning tændt
- Aftrækskanaler åbne
- Emhætte tændt
- Mekanisk indblæsning og udsugning tændt

Aktivitet og tidspunkt den pågældende dag inden målingen og under målingen for:

- Udluftning
- Emhætte tændt
- Kogning/elkoger
- Stegning/brødristning
- Tændte stearinlys
- Rygning



- Brændeovn tændt
- Pejs/åben ovn tændt

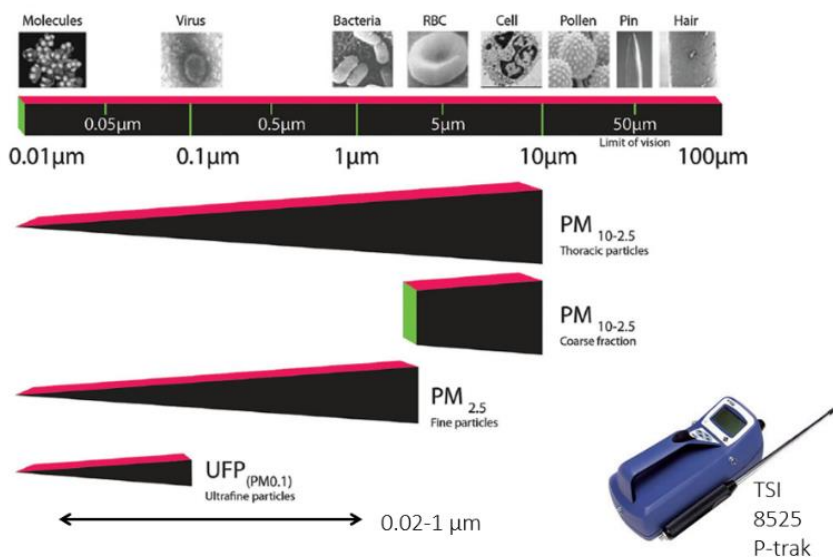
Forud for målingen blev beboerne gjort opmærksom på, at partikelgenerende aktiviteter helst skulle undgås inden og under målingen, så flest mulige målinger kunne repræsentere en "baggrundskoncentration".

Der blev målt i boliger i byområder og på landet i forskellige dele af landet.

5.2. Måleudstyr

Det anvendte udstyr til at måle partikelkoncentrationen er af mærket TSI P-Trak 8525. På baggrund af litteraturstudiet vurderedes det, at udstyret er velafprøvet og anvendt i andre lignende studier.

Ultrafine partikler er defineret som partikler, der er $0,1 \mu\text{m}$ og mindre. De betegnes også som $\text{PM}_{0.1}$. P-Trak 8525 måler partikelantallet i luften pr. cm^2 (pt/cc) i intervallet $0,02 \mu\text{m}$ til $1 \mu\text{m}$ i diameter. Derfor inkluderer de målte partikelkoncentrationer en større fraktion end $\text{PM}_{0.1}$ – instrumentet og inkluderer således også en del af de såkaldte fine partikler. Fine partikler defineres som partikler med en diameter op til $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$). Måleområdet for instrumentet er $0 - 500.000$ partikler pr. cm^3 .



Figur 1. Partikelfraktioner og måleintervallet for det anvendte udstyr; P-Trak 8525, er markeret med en pil.

Til at måle CO_2 -koncentration, temperatur og relativ luftfugtighed blev der anvendt loggere af mærket Luftt Opus20.



Af Figur 2 herunder ses kufferten med det udstyr, som er anvendt til målingerne. På billedet i midten og til højre ses en måleopstilling henholdsvis indendørs og udendørs.



Figur 2. Billeder af udstyr i transportkuffert og under måling.

5.3. Databehandling

Indsamlingen af data er foretaget i henhold til Persondataloven og således kan resultaterne ikke længere spores tilbage til den eksakte adresse for den enkelte bolig.

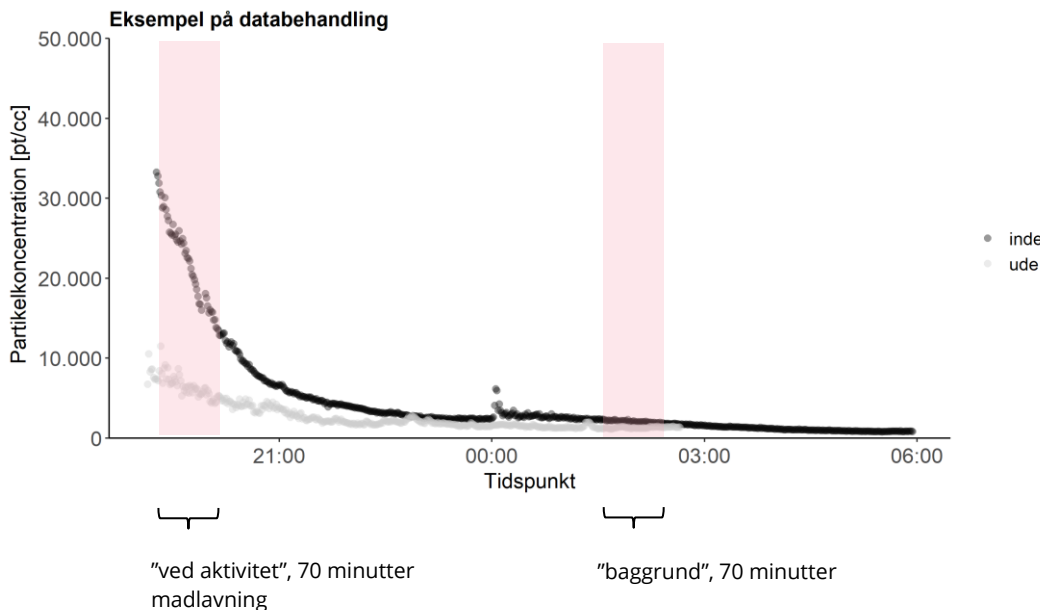
Databehandlingen bestod i organisering og vurdering af data. I første omgang blev hver enkelt måling vurderet i forhold til validitet og brugbarhed. En del af målingerne måtte sorteres fra på grund af manglende data, fejl under målingen eller for kort varighed. De resterende data blev vurderet og grupperet i to grupper: 1) baggrundmålinger og 2) måling ved aktivitet.

Aktiviteter, der kunne påvirke måleresultaterne, blev identificeret på baggrund af oplysninger fra registreringssedlen, der blev udfyldt i forbindelse med målingen. De registrerede data om aktiviteter blev sammenholdt med måledata. I nogle tilfælde var der *ikke* registreret aktivitet, men partikkelkoncentrationen viste pludselig stigning i koncentrationen fx fra omkring 8.000 pt/cc til 250.000 pt/cc. I disse tilfælde blev målingen grupperet som "måling ved aktivitet", selvom aktivitetens art ikke var kendt.

Endelig er analysen lavet på baggrund af data fra maksimalt 70 minutter af måleperioden. Langt de fleste målinger blev foretaget over 45 til 60 minutter. I nogle tilfælde blev der målt over længere tid end 70 minutter. Da blev den første del af målingen brugt i analysen.



På Figur 3 ses den enkelte måling, hvor målingen fortsatte over hele natten og dermed over to dage. Den første del af målingen foregik under madlavningsaktiviteter. Efter midnat nåede partikelkoncentrationen et næsten stabilt niveau, og denne del blev derfor betragtet og anvendt som en baggrundsmåling for den efterfølgende dag.



Figur 3. Eksempel på princip for databehandling.

Bemærk, at målingen, der ses herover, er et særtilfælde, da de øvrige målingers varighed, i langt de fleste tilfælde, var omkring en time.

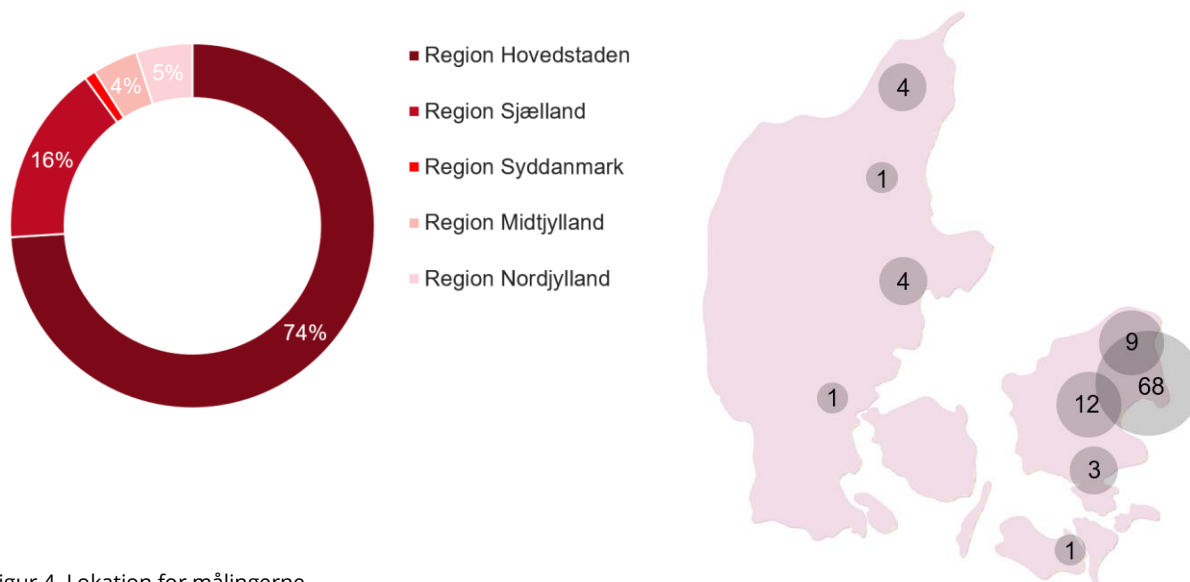
6. Resultater

6.1. Beskrivelse af målecases

Der er indsamlet data fra i alt 103 målinger i projektet.

Størstedelen af målingerne (74 %) er foretaget i Region Hovedstaden. 68 målinger er foretaget i København. Resultaterne repræsenterer således primært byområder.

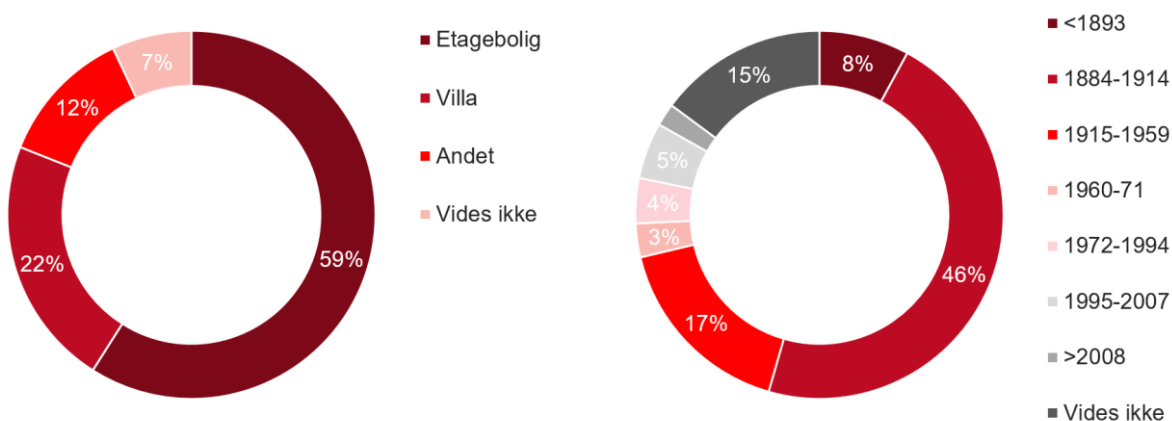
Omtrent en fjerdedel af målingerne er således foretaget i de øvrige regioner i Danmark; Region Sjælland, Syddanmark, Midtjylland og Nordjylland. 16 % af målingerne er foretaget i Region Sjælland – 12 målinger på Midtsjælland, 4 fra den sydlige del af Sjælland og Falster.



Figur 4. Lokation for målingerne.

Over halvdelen, (59 %) af målingerne, kommer fra etagebyggeri, 22 % fra villaer og 12 % fra andre bygningstyper fx rækkehuse eller plejeboliger (jf. Figur 5).

Knap halvdelen er boligerne er opført i perioden 1894-1914. Den næstmest repræsenterede periode er perioden 1915-1959, som udgør 17 % af boligerne. Ved 7 % og 15 % af målingerne blev henholdsvis bygningstypen og byggeåret ikke registreret. Det må antages, at en stor del af boligerne er renoveret og moderniseret siden byggeåret. Oplysninger om dette er dog ikke indsamlet.



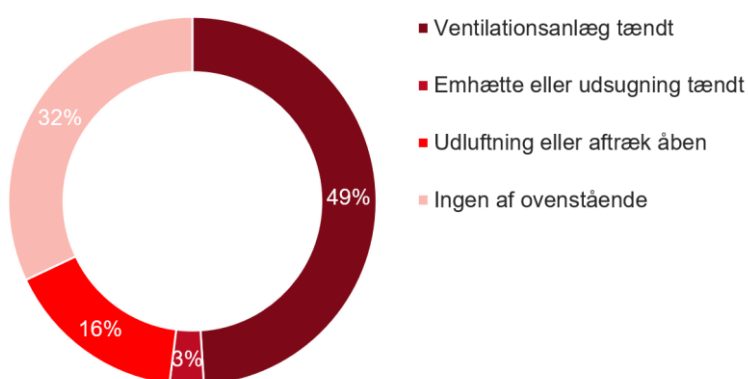
Figur 5. Bygningstyper og byggeår.



6.2. Registrerede forhold i forbindelse med målingen

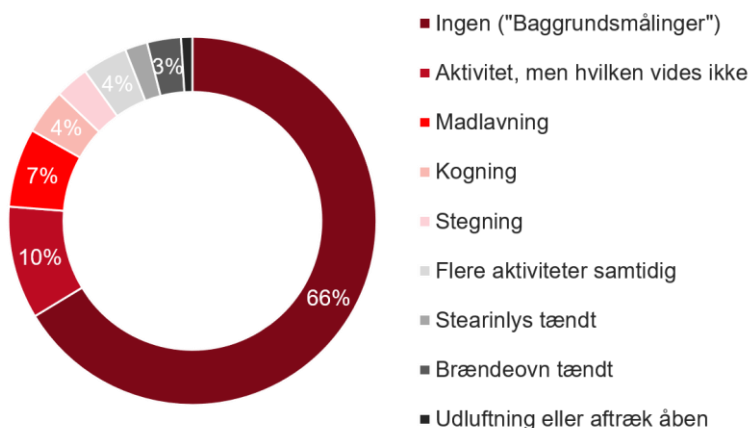
For at give en indikation af forhold, som kan have indflydelse på de målte partikelkoncentrationer, blev ventilationsforhold og aktiviteter registreret i forbindelse med målingerne.

Partikelgenererende aktivitet og udluftning er registreret for den pågældende dag inden målingen samt under målingen. Ventilationsforhold (fx åbne udeluftventiler) blev som minimum registreret ved målingens start.



Figur 6. Registrerede ventilationsforhold ved målingens start.

I knap halvdelen af boligerne var der balanceret mekanisk ventilation i drift. Omkring 30 % af boligerne var naturligt ventileret, men udeluftventiler/aftræk lukket. I 16 % af boligerne var der aftrækskanaler åbne, eller der blev foretaget udluftning gennem vinduer (jf. Figur 6).



Figur 7. Registrerede aktiviteter inden eller under målingen.

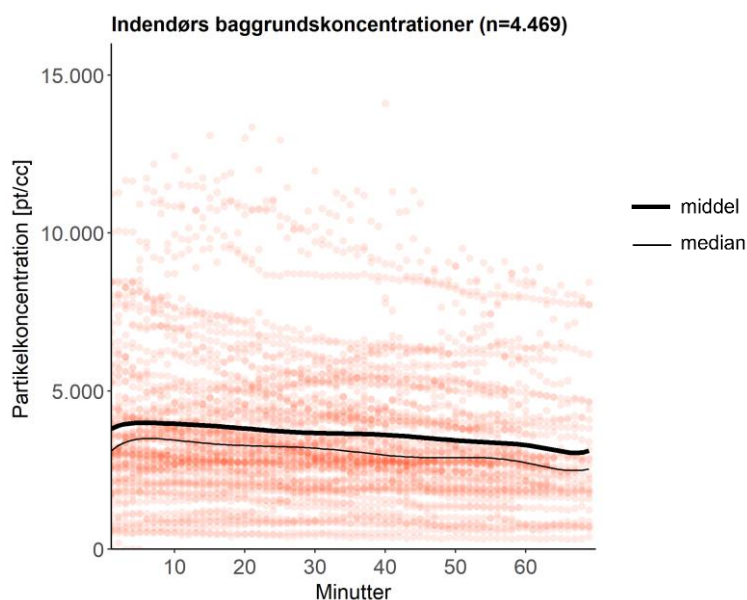


66 % af målingerne kan kategoriseres som "baggrundsmålinger" (jf. Figur 7). Det vil sige målinger, hvor der ikke blev registreret partikelgenererende aktivitet undervejs, såsom madlavning eller stearinlysafbrænding. De resterende cirka 35 % udgør "målinger ved aktivitet".

6.3. Indendørs partikelkoncentrationer

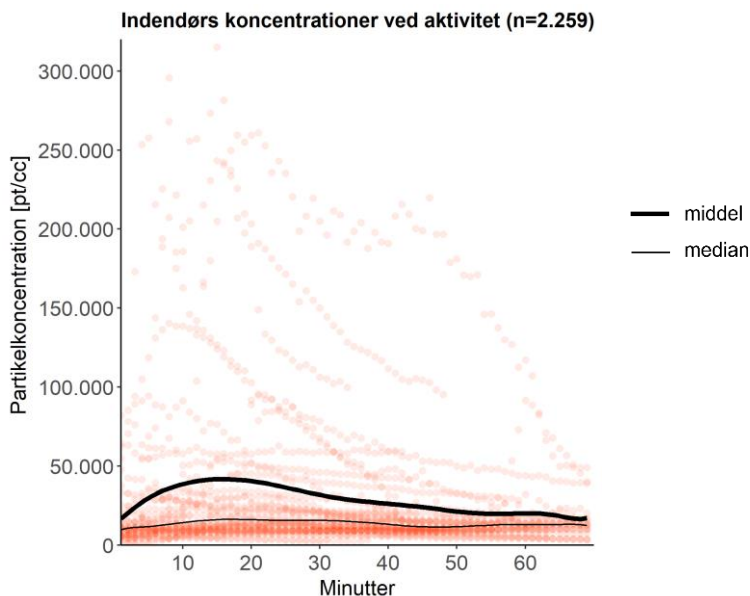
Middelkoncentrationen og medianen for baggrundsmålingerne indendørs var henholdsvis omkring 3.700 pt/cc og 3.100 pt/cc, og svagt faldende over tid. Måleusikkerheden taget i betragtning, var middel og median næsten konstant. I de målinger, der kategoriseres som baggrundsmålinger, observeredes der således ingen væsentlig ændring i koncentrationen i måleperioden.

For 75 % af målepunkterne var koncentrationen under 4.600 pt/cc (75-percentilen). Den højeste partikelkoncentration var 14.100 pt/cc.



Figur 8. Målte "baggrundskoncentrationer" indendørs over tid i 65 boliger.

De øvrige indendørs målinger, som er udført under aktivitet, der kan generere partikler, ses i Figur 9. Der ses 2.259 individuelle målepunkter fra 38 målinger.



Figur 9. Målte *indendørs* partikelkoncentrationer over tid ved *aktivitet* i 38 boliger.

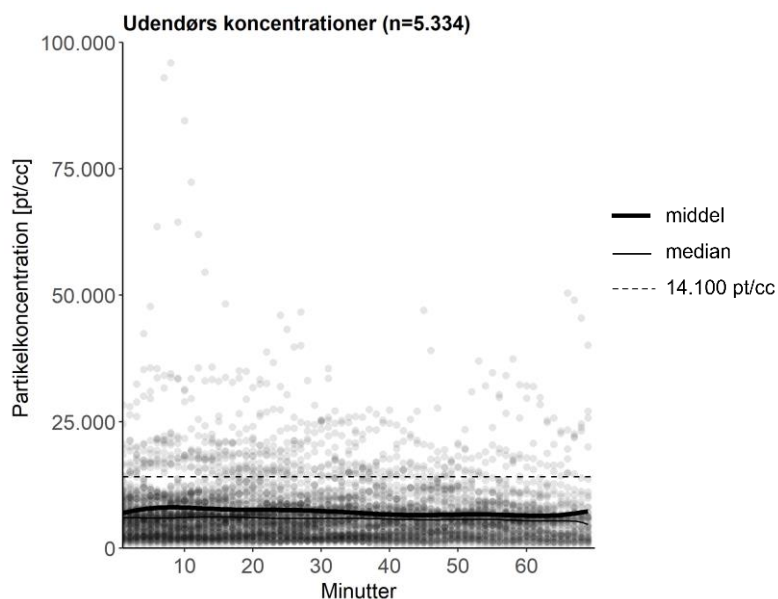
Figuren viser, at der under aktivitet er målt væsentligt højere koncentrationer end for "baggrundsmålingerne". Den højeste partikelkoncentration var, afrundet til nærmeste hundrede; 315.200 pt/cc, og 75% af målepunkterne er under 27.300 pt/cc (75-percentilen).

Den gennemsnitlige koncentration og medianen var henholdsvis cirka 29.600 pt/cc og 13.500 pt/cc. Gennemsnittet over tid (jf. Figur 9) er i disse målinger stigende i første del af målingen, og falder derefter. Stigningen er 25-30.000 pt/cc i løbet af de første 15 minutter af måleperioden. Variationen er, som forventet, væsentligt større end for baggrundsmålingerne.

6.4. Udendørs partikelkoncentrationer

Udendørs blev der målt op til cirka 96.000 pt/cc. I 9 tilfælde blev der ikke foretaget måling uden-dørs. På Figur 10 ses 5.334 individuelle målepunkter fra 94 målinger.

For sammenligningens skyld viser den stiplede vandrette linje den højeste målte koncentration i de indendørs baggrundsmålinger (14.100 pt/cc).

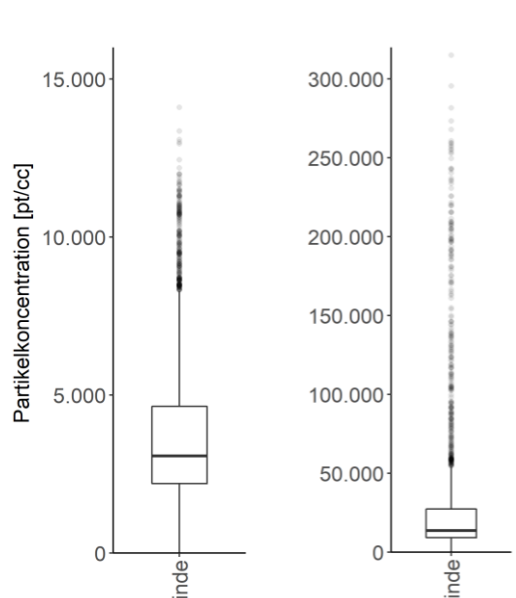


Figur 10. Alle *udendørs* partikelkoncentrationer målt over tid i 94 målinger.

Figur 10 viser, at middel og median for udendørskoncentrationen er tæt på at være konstant i måleperioden. Middelkoncentrationen og medianen er henholdsvis omkring 7.200 pt/cc og 5.800 pt/cc – altså næsten dobbelt så høj som for de indendørs baggrundsmålinger. 75-percentilen er knap 8.800 pt/cc.

I Figur 11 ses boksplots af de indendørs partikelkoncentrationer i de to grupper: "baggrund" og "ved aktivitet". Figuren viser de samme resultater, som ses i Figur 8 og Figur 9.

I et boksplot indikerer boksens bund 25-percentilen (Q1) og boksens top 75-percentilen (Q3). Boksen indeholder således halvdelen af alle observationer. Den vandrette streg gennem boksen viser medianen. Boksens højde betegnes IQR (interkvartilområdet). Endepunkterne på de lodrette linjer er "minimum" og "maksimum" defineret som hhv. $Q1 - 1,5 \text{ IQR}$ og $Q3 + 1,5 \text{ IQR}$. Målepunkter, der ligger ud over minimum og maksimum, kaldes "outliers" (ekstreme værdier).



Figur 11. Boksplots af indendørs partikelkoncentrationer i baggrundsmålinger (venstre) og målinger under aktivitet (højre). Bemærk, at der er forskellig y-akse.

Tabel 4. Resultater for *indendørs* koncentration under baggrundsmålinger og ved aktivitet, afrundet.

| | Cases | Middelkoncentration | Median | Max. |
|---------------|-------|---------------------|--------------|---------------|
| Baggrund | 65 | 3.700 pt/cc | 3.100 pt/cc | 14.100 pt/cc |
| Ved aktivitet | 38 | 29.600 pt/cc | 13.500 pt/cc | 315.200 pt/cc |

Resultaterne for alle indendørs og udendørs målinger er opsummeret herunder.

Tabel 5. Resultater for *alle indendørs og udendørs* målinger, afrundet.

| | Cases | Middelkoncentration | Median | Max. |
|-----------|-------|---------------------|-------------|---------------|
| Indendørs | 103 | 12.400 pt/cc | 4.400 pt/cc | 315.200 pt/cc |
| Udendørs | 94 | 7.200 pt/cc | 5.800 pt/cc | 96.000 pt/cc |

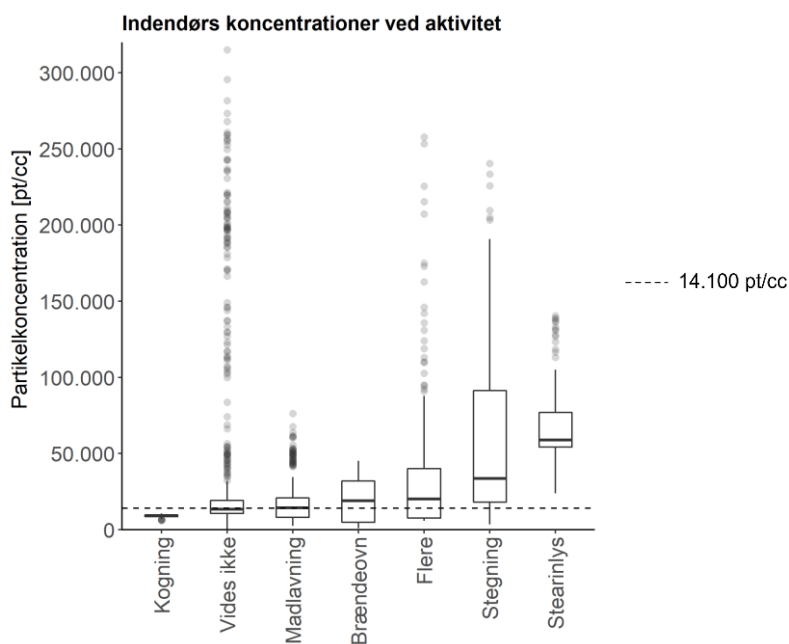


6.5. Koncentrationer ved forskellige aktiviteter

Dette afsnit præsenterer de målte koncentrationer ved forskellige aktiviteter.

Figur 12 viser alle målingerne, ordnet efter stigende median. I Bilag 2 ses resultaterne for hver type af aktivitet.

Der er stor variation i profilet på graferne og stor variation i de målte niveauer, hvilket ligeledes fremgår af Figur 12.



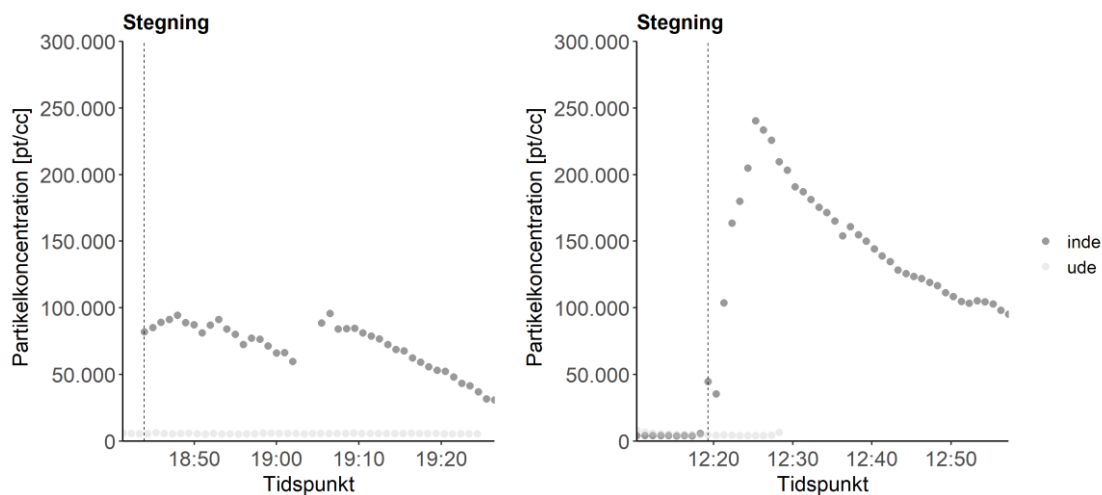
Figur 12. Indendørs koncentrationer ved forskellig aktivitet. Den tynde stiplede linje markerer den højeste koncentration for "baggrundsmålinger"; 14.100 pt/cc.

I de tilfælde, hvor aktiviteterne omfattede stegning, var de målte koncentrationer høje.

I Figur 13 ses to eksempler. På figuren til venstre er der registreret stegning ved målingens start. Koncentrationen er mellem 70-100.000 pt/cc, hvorefter den falder til omkring 40.000 pt/cc i løbet af cirka 10-15 minutter. Til højre ses et eksempel, hvor stegningen blev påbegyndt under målingen (ca. kl. 12:20). Her stiger koncentrationen fra omkring 5.000 pt/cc til knap 250.000 pt/cc i løbet af 10 minutter.

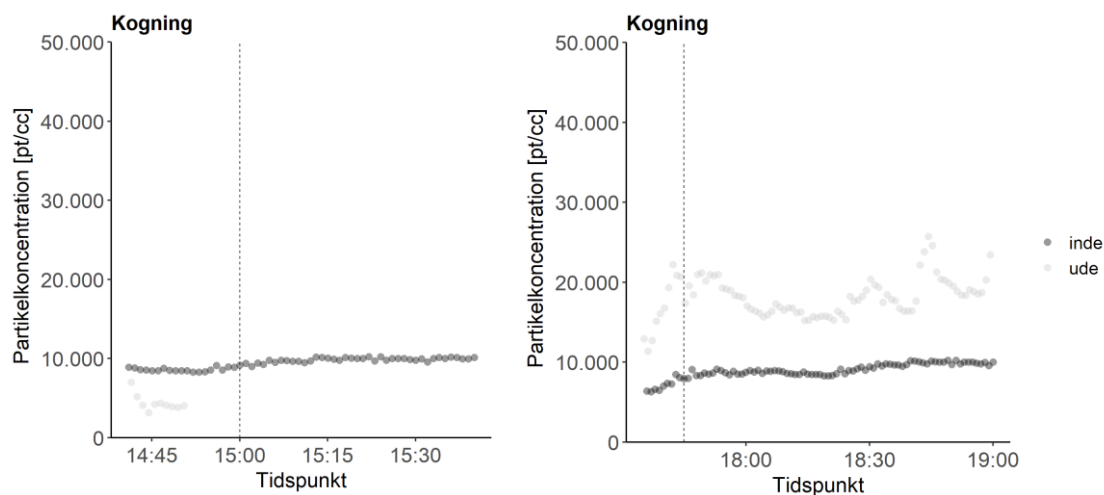
Koncentrationen falder gradvist i løbet af den efterfølgende halve time til cirka 100.000 pt/cc ved måleperiodens afslutning. Ved målingen vist til højre er det registreret, at der er mekanisk ventilation i boligen.

For målingen til venstre er det registreret, at der blev luftet ud i løbet af måleperioden. De målte niveauer indikerer, at udluftningen er foretaget omkring kl. 19:05.



Figur 13. To eksempler på målte koncentrationer under stegning.

Figur 14 viser eksempler på målinger, hvor aktiviteterne omfatter kogning. I begge tilfælde afviger de målte niveauer ikke fra baggrundsmålingerne (<14.000 pt/cc). Der ses ingen ændring i de målte koncentrationer ved det registrerede tidspunkt for kogningens start. Der er således ikke indikationer på, at kogning af vand genererer ultrafine partikler.

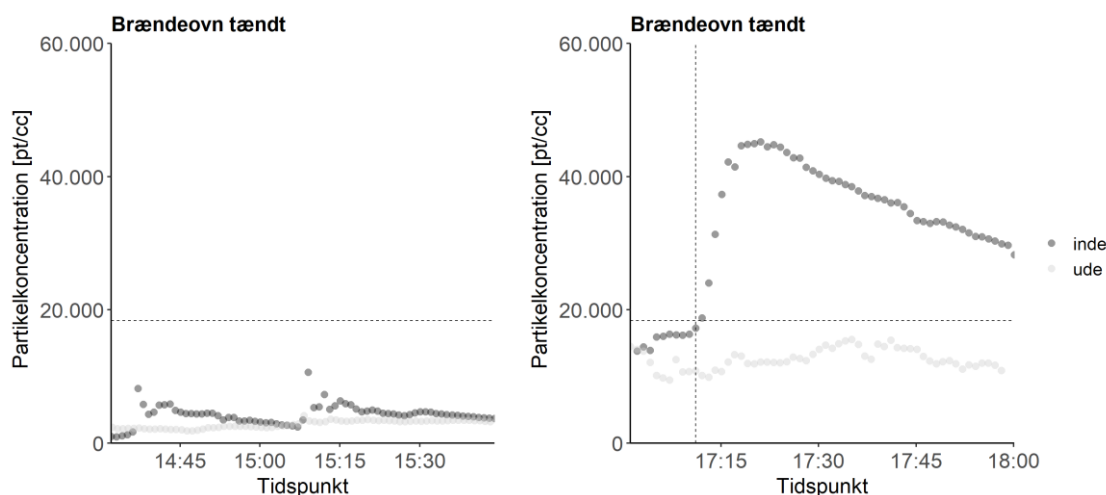


Figur 14. To eksempler på koncentrationer ved kogning. Venstre: Registreret starttidspunkt kl. 15:00. Højre: Registreret starttidspunkt kl. 17:40.



I Figur 15 ses eksempler på målinger foretaget, mens der var brændeovn tændt.

Under målingen vist på figuren til venstre blev der fyret op i brændeovnen to gange i løbet af måleperioden; ca. kl. 14:30 og kl. 15:10. Der ses stigning i koncentrationen omkring disse tidspunkter, hvilket tyder på, at der slipper partikler ud, når brændeovnen åbnes. Koncentrationen under hele målingen er dog mellem 5-10.000 pt/cc.



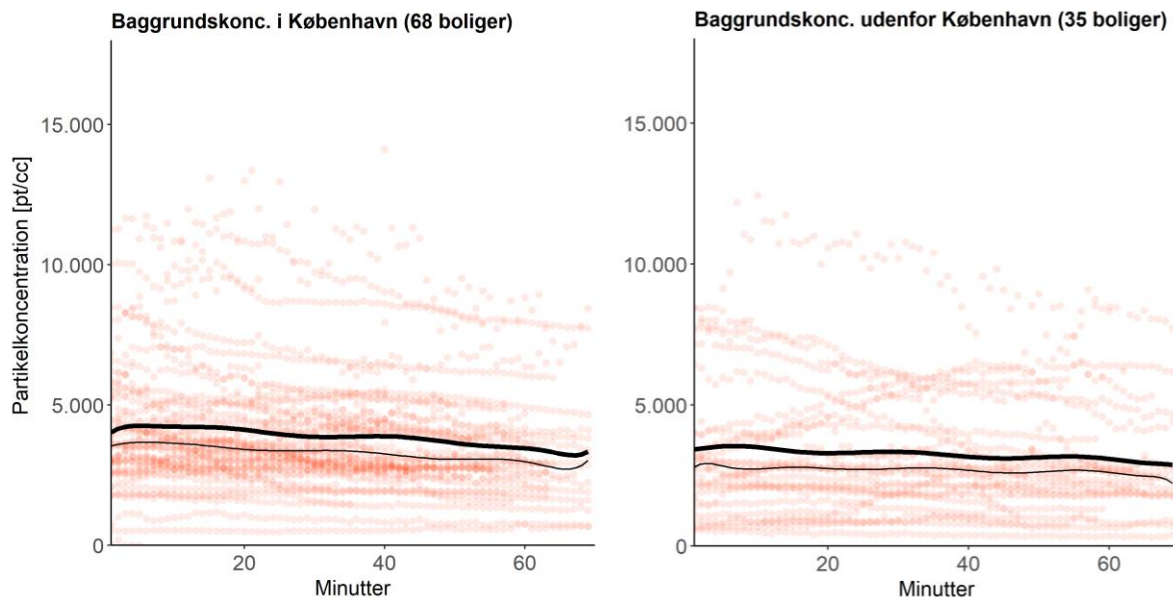
Figur 15. Eksempler på målte koncentrationer med en brændeovn tændt.

I figuren til højre ses et andet niveau i partikkelkoncentrationen. Lidt over kl. 17 tændes brændeovnen, og koncentrationen stiger fra omkring 15.000 pt/cc til knap 50.000 pt/cc i løbet af 5-10 minutter. Koncentrationen falder kun svagt over resten af målingen. Ventilationsforholdene under disse målinger er ikke registreret.

6.6. Er partikkelkoncentrationen indendørs højere i byerne end på landet?

En stor del af partiklerne i indeluften stammer fra indendørs kilder og genereres fx ved aktiviteter såsom madlavning og afbrænding af stearinlys. Herudover transporteres en del partikler ind udefra med ventilationsluften. Partikler i udeluften stammer især fra trafik.

Det er derfor nærliggende at undersøge om baggrundsniveauerne indendørs er højere i boliger i byområder end i boliger, der er længere fra tæt trafik.



Figur 16. Baggrundskoncentrationer indendørs i København (tv.) og udenfor København (th.).

Der ses ingen markant forskel på baggrundskoncentrationen indendørs i København i forhold til udenfor København.

Middelkoncentrationen indendørs er cirka 3.900 pt/cc i København og 3.300 pt/cc udenfor København. Dette på trods af, at den målte *udendørs* middelkoncentration var henholdsvis 9.000 pt/cc og 5.100 pt/cc i og uden for København.

Tabel 6. Middelkoncentrationen i afrundede tal. Indendørskoncentrationen er angivet for baggrundsmålinger.

| | København | Udenfor København |
|-----------|-------------|-------------------|
| Indendørs | 3.900 pt/cc | 3.300 pt/cc |
| Udendørs | 9.000 pt/cc | 5.100 pt/cc |

7. Diskussion

Det viste sig vanskeligt at indsamle tilstrækkelige oplysninger om bygningsforhold, ventilationsforhold og aktiviteter for samtlige bygninger og målinger. Validiteten af de registrerede oplysninger om fx bygnings- og ventilationsforhold, der kun blev registreret ved målingens start, må derfor forventes af variere. Luftsiftet har betydning for bortventilering af partikler, der genereres inden døre, samt tilførsel af evt. partikelforurening udefra. Der blev ikke foretaget måling af luftsiftet i nærværende projekt.



Oplysninger om aktiviteter blev registreret af beboeren selv, og det viste sig at være vanskeligt at indsamle informationer i forbindelse med alle målinger på en grundig/konsekvent måde. I fremtidige studier bør muligheden for at indsamle lignende oplysninger på en anden og bedre måde overvejes.

Usikkerheden i beboernes registrering af aktiviteter gjorde det nødvendigt at gennemgå og vurdere hver enkelt måling, for fx at kunne foretage grupperingen imellem "baggrundsmåling" og "måling med aktivitet".

Med hensyn til resultaterne for målinger ved forskellige aktiviteter, kan det diskuteres om man på det foreliggende grundlag kan fastlægge nogle typiske niveauer, profiler i koncentrationen og lignende tendenser. Datagrundlaget for hver enkelt type aktivitet er begrænset, da der for nogle typer aktivitet kun er tale om mindre end en håndfuld boliger. Det vurderes dog muligt at sammenligne baggrundsmålinger med målinger ved aktivitet som en samlet gruppe.

I nærværende projekt er der hovedsageligt foretaget måling af partikelkoncentrationer i boliger i hovedstadsområdet og på Sjælland. Der er ikke indikationer på, at partikelkoncentrationer inden døre vil adskille sig i andre dele af landet, men det bør alligevel tilstræbes at opnå et mere repræsentativt udsnit af boligerne i Danmark ift. fx landsdel og bygningstype.

8. Konklusion

Ud fra projektets resultater for baggrundsmålinger blev en "lav", "normal", og "høj" koncentration af ultrafine partikler i indeluften defineret som angivet i Tabel 7. "Normal" koncentration er defineret som koncentrationer mellem 25- og 75-percentilen for alle 65 baggrundsmålinger. Partikelkoncentrationer under eller over betragtes som henholdsvis "lav" eller "høj".

Tabel 7. Fundne niveauer i partikelkoncentration i 65 baggrundsmålinger.

| Lav | Normal | Høj |
|----------------|-------------------|---------------|
| < 25-percentil | 25-75-percentil | >75-percentil |
| < 2.200 pt/cc | 2.200-4.600 pt/cc | > 4.600 pt/cc |

For baggrundskoncentrationen sås ikke en stor variation i middel og median over tid. Det vil derfor være rimeligt at nøjes med fx 10-20 minutters måling for at kunne vurdere om baggrunds niveauet er "normalt". Dette gælder *kun*, hvis der *ikke* har været/er partikelgenererende aktivitet som madlavning eller stearinlysafbrænding inden eller under målingen. Såfremt der har været/er partikelgenererende aktivitet, bør måleperioden være længere.



Her sammenfattes projektets konklusioner:

- Resultaterne repræsenterer primært etageboliger i byen, da mere end halvdelen af målingerne er foretaget i etagebyggeri i København. Der blev indsamlet 103 målinger i alt.
- 65 målinger kunne betegnes som "baggrundsmålinger" uden kendte partikelgenererende aktivitet. I de resterende 38 målinger var der partikelgenererende aktivitet af forskellig art.
- I baggrundsmålingerne blev der målt op til 14.100 pt/cc. Middelkoncentrationen var, afrundet til nærmeste hundrede; 3.700 pt/cc.
- I målinger ved aktivitet blev der målt op til og 315.200 pt/cc. Middelkoncentrationen var i afrundet tal; 29.600 pt/cc.
- Der var som forventet store variationer og pludselige stigninger i partikelkoncentrationen, når der var partikelgenererende aktivitet i boligerne. Disse målinger er kendetegnet ved at være meget forskellige og derfor er det, som forventet, vanskeligt at definere et typisk niveau ved aktivitet.
- Udendørs blev der målt op til 96.000 pt/cc og middelkoncentrationen var 7.200 pt/cc.
- Den indendørs middelkoncentration i København kontra udenfor København, var ikke væsentlig forskellig (3.900 pt/cc og 3.300 pt/cc hhv.) på trods af, at den udendørs middelkoncentration var næsten en faktor 2 højere i København i forhold til udenfor København (hhv. 9.000 pt/cc og 5.100 pt/cc).
- I målingerne med partikelgenererende aktiviteter var medianen højest ved 1) stearinlysafbrænding, og dernæst – rangeret efter medianen: 2) stegning, 3) flere aktiviteter samtidig, 4) brændeovn tændt, 5) madlavning.

9. Perspektivering

Formålet med nærværende projekt er at bidrage til fremtidssikring af sunde boliger gennem opbygning af viden om de faktiske niveauer af ultrafine partikler i danske boliger.

Der er brug for øget viden om, hvilket eksponeringsniveau, der er "for højt". Det er derfor samtidig et håb, at projektresultaterne kan indgå i baggrundsmaterialet for forsknings- og udviklingsarbejde, hvor 1) helbredseffekter af typiske partikelkoncentrationer i boliger undersøges, og 2) grænseværdier for ultrafine partikler defineres.



10. Litteratur

[1] Oberdörster, G., Oberdörster, E., Oberdörster, J. (2005) "Nanotoxicology – An emerging discipline", *Environmental Health Perspective* 113, (7) 823-839.

[2] Oberdörster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., Carter, J., Karn, B., Kreyling, W., Lai, D., Olin, S., Monteiro-Riviere, N., Warheit, D., Yang, H. (2005) "Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy", *Particle and Fibre Toxicology* 2:8. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-2-8>.

[3] Simon, M.C., Hudda, N., Naumova, E.N., Levy, J.I., Brugge, D., Durant, J.L. (2017) "Comparisons of traffic-related ultrafine particle number concentrations measured in two urban areas by central, residential and mobile monitoring", *Atmospheric Environment* 169, 113-127.

[4] Grana, M., Toschi, N., Vincentini, L., Pietroiusti, A., Magrini, A. (2017) "Exposure to ultrafine particles in different transport modes in the city of Rome", *Environmental Pollution* 228, 201-210.

[5] Isley, C.F., Nelson, P.F., Taylor, M.P., Mazaheri, M., Morawska, L., Atanacio, A.J., Stelcer, E., Cohen, D.D., Morrison, A.L. "Airborne ultrafine particles in a Pacific Island country: Characteristics, sources and implications for human exposure", *Environmental Pollution* 231, 367-378.

[6] Bekö, G., Kjeldsen, B.U., Olsen, Y., Schipperijn, J., Wierzbicka, A., Karottki, D.G., Toftum, J., Loft, S., Clausen, G. (2015) "Contribution of various microenvironments to the daily personal exposure to ultrafine particles: Personal monitoring coupled with GPS tracking", *Atmospheric Environment* 110, 122-129.

[7] Delfino, R.J., Sioutas, C., Malik, S. (2005) "Potential role of ultrafine particles in associations between airborne particle mass and cardiovascular health", *Environmental Health Perspectives* 113 (8). <https://doi.org/10.1289/ehp.7938>

[8] Weichenthal, S., Dufresene, A., Infante-Rivard, C. (2007) "Indoor ultrafine particles and childhood asthma", *Indoor Air* 17 (2). <https://doi.org/10.1289/ehp.7938>

[9] Mills, N.L., Donaldson, K., Hadoke, P.W., Boon, N.A., MacNee, W., Cassee, F.R., Sandström, T., Blomberg, A., Newby, D.E. (2009) "Adverse cardiovascular effects on air pollution", *Nature Clinical Practice Cardiovascular Medicine* 6, 36-44.

[10] Ruckerl, R., Schneider, A. (2011) "Health effects of particulate air pollution", *Inhalation Toxicology* 23 (10), 555-592. <https://doi.org/10.3109/08958378.2011.593587>



- [11] Hinds, C. (1999) "Aerosol technology. Properties, Behavior and Measurement of Airborne particles", John Wiley & Sons Inc
- [12] HEI Review Panel on Ultrafine Particles (2013) "Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles", HEI Perspectives 3, Health Effects Institute of Boston.
- [13] Salthammer, T., Schripp, T., Uhde, E., Wensing, M. (2012) "Aerosols generated by hardcopy devices and other electrical appliances", *Environmental Pollution* 169, 167-174.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.01.028>
- [14] Wallace, L. (2006) "Indoor Sources of Ultrafine and Accumulation Mode Particles: Size Distributions, Size-Resolved Concentrations, and Source Strengths", *Aerosol Science and Technology* 40 (5), 348-360. <https://doi.org/10.1080/02786820600612250>
- [15] He, C., Morawska, L., Hitchins, J., Gilbert, D. (2004) "Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses", *Atmospheric Environment* 38 (21), 3405-3415. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.03.027>
- [16] Weschler, C. (2006) "Indoor chemistry as a Source of Particles", Fra: Morawska, L. (ed.), Salthammer, T. (ed.) *Indoor Environment: Airborne Particles and Settled Dust*. John Wiley & Sons Inc
<https://doi.org/10.1002/9783527610013.ch3b>
- [17] Hussein, T., Glytsos, T., Ondráček, J., Dohányosová, P., Ždímal, V., Hämeri, K., Lazaridis, M., Smolík, J., Kulmala, M. (2016) "Particle size characterization and emission rates during indoor activities in a house", *Atmospheric Environment* 40 (23), 4285-4307. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.053>
- [18] Bekö, G., Weschler, C.J., Wierzbicka, A., Karottki, D.G., Toftum, J., Loft, S., Clausen, G. (2013). "Exposure and Source Apportionment in 56 Danish Homes", *Environmental Science and Technology*, 47 (18), 10240–10248
- [19] Johansson, H.K.L., J. S. Hansen, Elfving, B., Lund, S.P., Kyjovska, Z.O., Loft, S., Barfod, K.K., Jackson, P., Vogel, U., Hougaard K.S. (2017) "Airway exposure to multi-walled carbon nanotubes disrupts the female reproductive cycle without affecting pregnancy outcomes in mice", *Particle And Fibre Toxicology* 14, 17. <https://doi.org/10.1186/s12989-017-0197-1>
- [20] Skovmand, A., Gouveia, A.C.D, Koponen, I.K., Møller, P., Loft, S., Roursgaard, M. (2017) "Lung inflammation and genotoxicity in mice lungs after pulmonary exposure to candle light combustion particles", *Toxicology Letters*, 276, 31-38



[21] Jantzen, K., Møller, P., Karottki, D.G., Olsen, Y., Bekö, G., Clausen, G., Hersoug, L-G., Loft, S. (2016) "Exposure to ultrafine particles, intracellular production of reactive oxygen species in leukocytes and altered levels of endothelial progenitor cells", *Toxicology* 359-360, 11-18.
<https://doi.org/10.1016/j.tox.2016.06.007>

[22] Afshari, A., Bergsøe, N.C. (2012) "Naborøg - afværgeløsninger", SBI 2012:08, Statens Byggeforskningsinstitut



Bilag 1. Registreringseddel

Baggrundsinformation – Udfyldes af Teknologisk Institut

Initialer: _____

Opgavenummer: _____ (fx 842311)
Dato: _____ (fx 26-11-2018)
Starttidspunkt: _____ (fx kl. 10.15)

Placering indendørs: _____
(sæt X) Stue
 Køkken
 Køkken-alrum
Vindue(r) mod vej i rummet? Ja Nej

Placering udendørs: _____ (fx carport)

Vejnavn: _____ (fx Kirkestræde)
Postnummer og By: _____ (fx 4600 Køge)
Bygningens alder: _____ (fx 1981 eller 1950'erne)
Bygningstype: (sæt X) Etagebolig
Angiv etage: _____ (fx 1. sal)
 Rækkehus
 Villa/parcelhus eller lignende

Ventilationsforhold ved målingens start:

Sæt evt. flere X. Udluftning gennem vinduer og/eller døre
 Udsugning tændt
 Aftrækskanaler åben/åbne (ikke spalteventiler)
 Emhætte tændt
 Mekanisk indblæsning og udsugningsanlæg tændt
 Ingen af ovenstående

Kommentarer til ventilationsforhold:

VEND !



Side 2

Aktiviteter i boligen – Udfyldes af beboer

Aktiviteter før måling (den pågældende dag) og under målingen registreres herunder.

Eksempel

| | |
|---------------------------------------|---|
| Udluftning | Kl. 9.20-9.35 |
| Emhætte (eller anden udsugning) tændt | |
| Kogning (også med elkoger) | Kl. 7.10, kl. 15.30 |
| Stegning og/eller brødristning | Kl. 7.10 |
| Tændte stearinlys | Kl. 10-11 |
| Rygning | Kl. 13.30 |
| Brændeovn tændt | Kl. 16.15, 18.30 (der blev fyret op disse to gange) |
| Pejs (eller anden åben ovn) tændt | |
| Ingen af ovenstående (sæt X) | |

Udfyld herunder

| | |
|---------------------------------------|--|
| Udluftning | |
| Emhætte (eller anden udsugning) tændt | |
| Kogning (også med elkoger) | |
| Stegning og/eller brødristning | |
| Tændte stearinlys | |
| Rygning | |
| Brændeovn tændt | |
| Pejs (eller anden åben ovn) tændt | |
| Ingen af ovenstående (sæt X) | |

Kommentarer til aktiviteter: _____

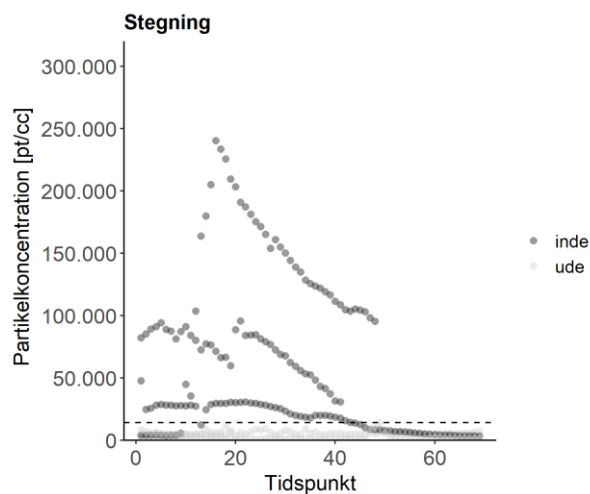
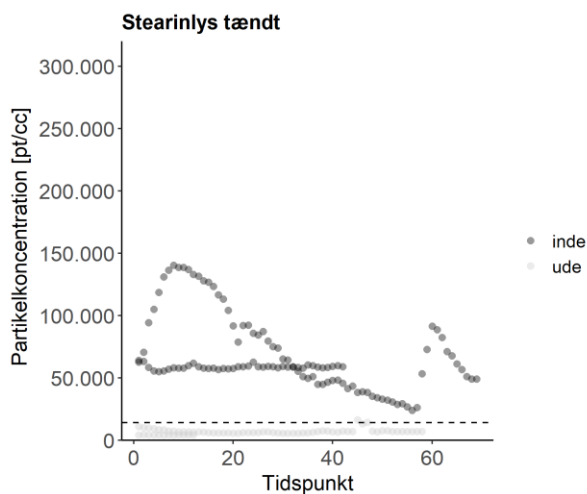
Tak for hjælpen!



Bilag 2. Målinger ved aktivitet

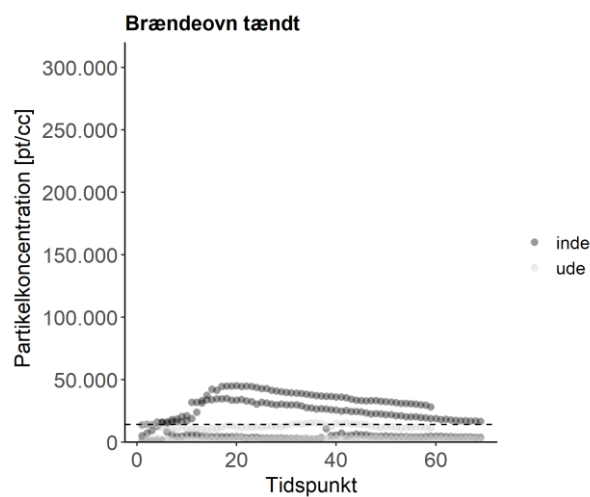
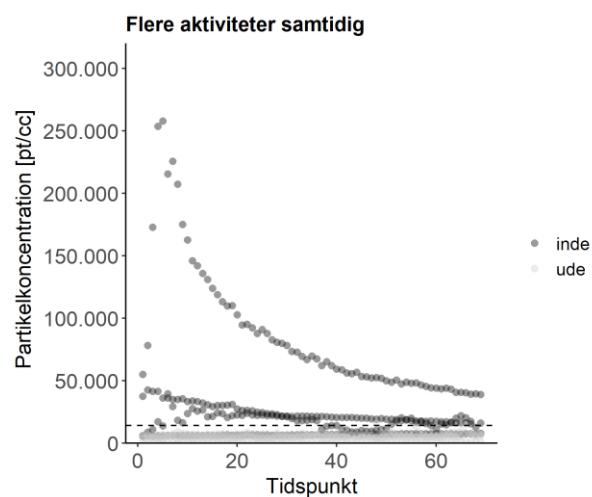
Stearinlysafbrænding: 2 målinger

Stegning: 3 målinger



Flere aktiviteter samtidig: 4 målinger

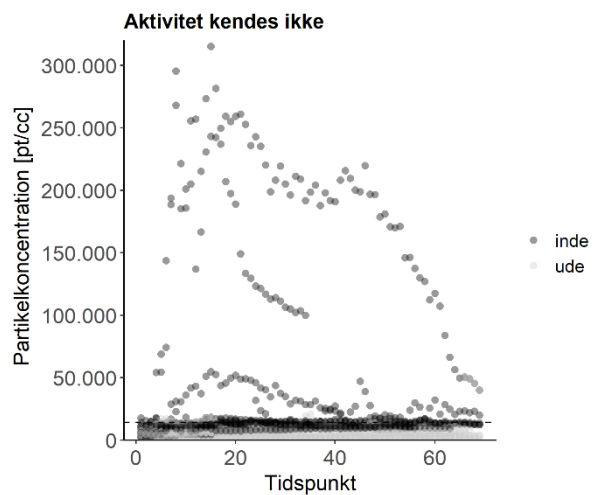
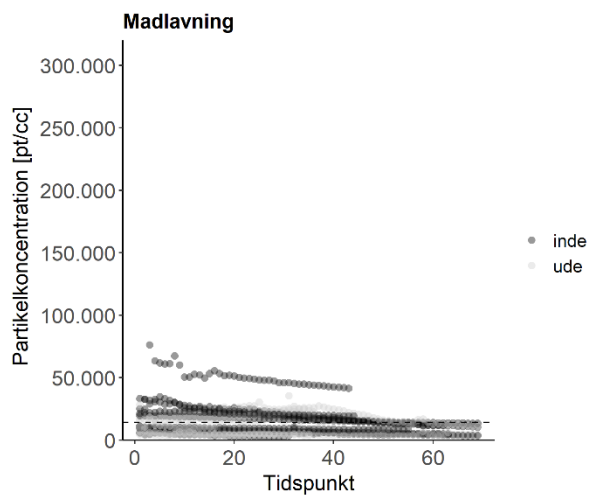
Brændeovn tændt: 3 målinger



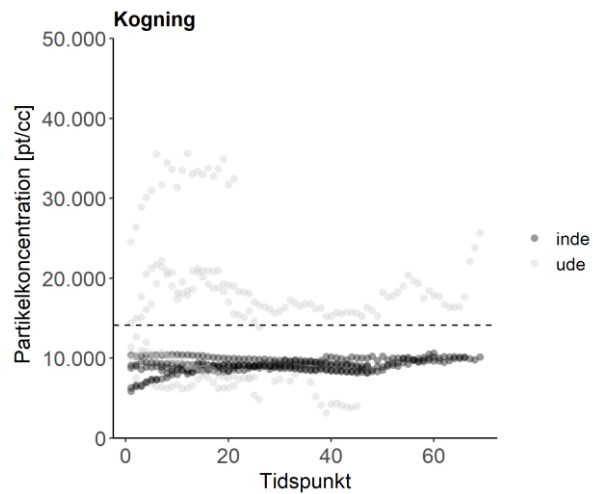
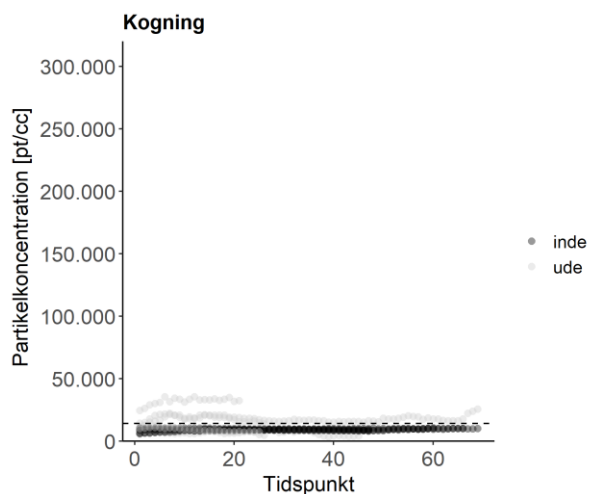


Madlavning: 8 målinger

Aktivitet kendes ikke: 11 målinger. Se også Bilag 3.



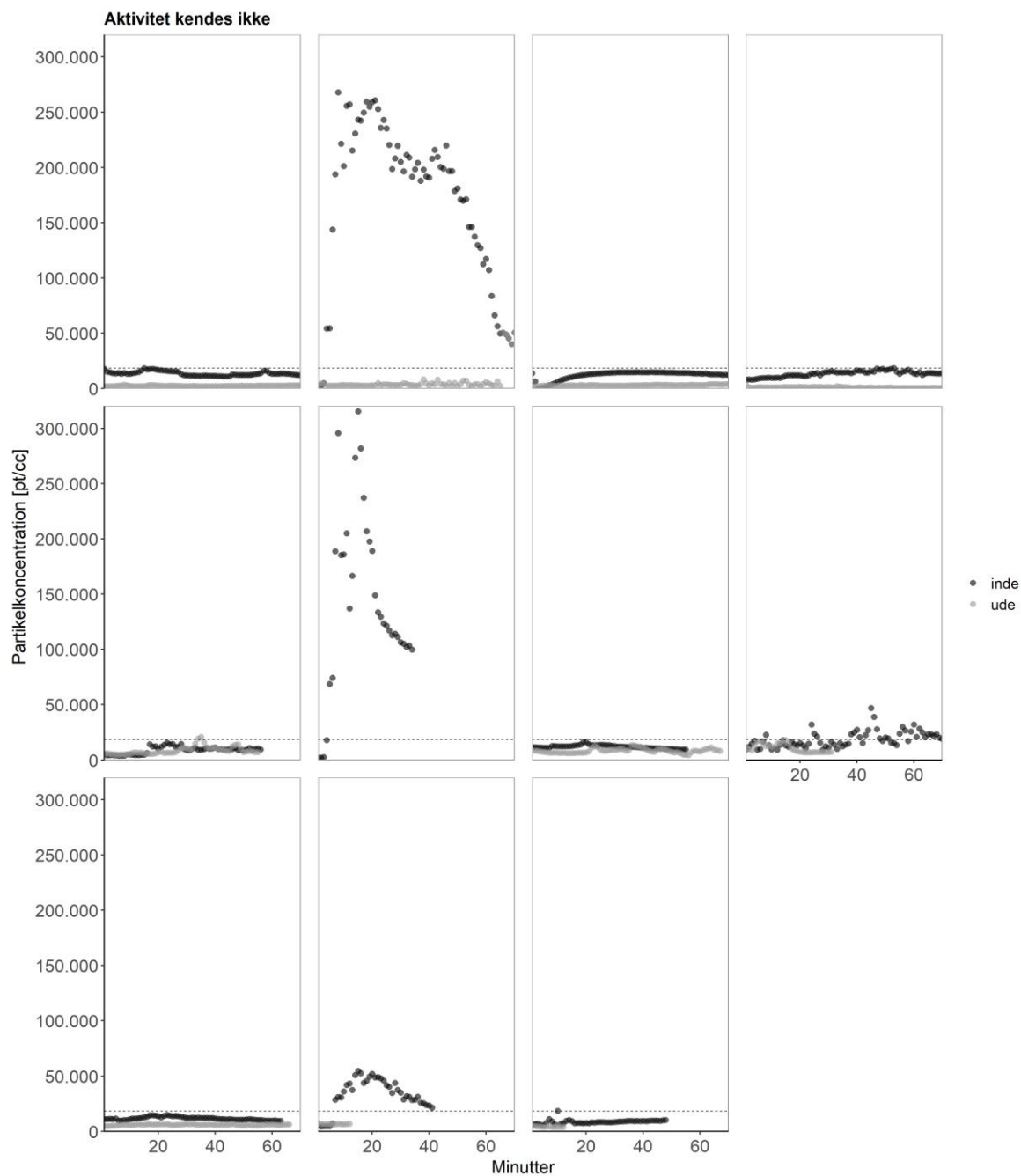
Kogning: 5 målinger





Bilag 3. Målinger, hvor aktivitet ikke kendes

Herunder ses de 11 målinger, hvor det er vurderet, at der var partikelgenererende aktivitet undervejs.





Her ses målingerne enkeltvis. Bemærk at y-aksen er forskellig.

