

Indeklima i skoler





Indeklima i skoler

Udarbejdet af:

Center for Indeklima og Energi
ved Danmarks Tekniske Universitet
Geo Clausen
Jørn Toftum
Gabriel Bekö
Emilie Patricia Dam-Krogh

Alexandra Instituttet
Anne Bøgh Fangel
Kasper Andersen

Udgivelsesår:
2017

Forsidefoto:
Claus Bjørn Larsen

Tryk:
Dystan & Rosenberg

Oplag:
1.200 – 2. udgave

Udgivet af:
Realdania

ISBN:
978-87-93360-09-9



Forord

Hvordan står det til med indeklimaet i de danske folkeskoler? Det er et centralt spørgsmål for os i Realdania, da vi har fokus på indeklimaet generelt og i særdeleshed på de steder, hvor børn færdes.

Undersøgelser viser, at et dårligt indeklima i hjemmet, institutionerne og i skolerne har en negativ betydning for børns trivsel og sundhed. Det er særligt luftens kvalitet, der i mange tilfælde er for dårlig på de danske skoler. Det er et problem, da vi ved, at der er en direkte sammenhæng mellem CO₂-koncentrationen og børns indlæring.

Hvis vi skal sætte effektivt ind over for problemerne, er der behov for et validt datagrundlag, et samlet overblik og en helhedsorienteret tilgang til indeklimaets tilstand i skolerne. På den baggrund satte vi DTU og Alexandra Instituttet i gang med undersøgelsen "Indeklima i skoler".

Konklusionerne fra DTU er interessante og peger på, at der stadigvæk er et stykke vej til at sikre en god luftkvalitet i klasselokalerne. Målingerne viser, at 90% af skoleklasserne i løbet af skoledagen har et CO₂-niveau, der er højere end de 1 000 ppm, som myndighederne anbefaler som øvre grænse.

Også i forhold til renovering går det fortsat trægt med at gøre indeklimaforholdene bedre, da kommuner og skoler prioriterer energisparetiltag, når der skal renoveres. Dermed løses skolernes indeklimaproblemer ikke, og nogle gange er energirenoveringerne ligefrem med til at gøre indeklima-problemerne værre.

Alexandra Instituttets konklusioner på adfærdsområdet giver et mere opløftende resultat, idet de peger på, at det godt kan lade sig gøre at lave enkle og små ændringer i adfærden hos både elever og lærere til fordel for et bedre indeklima.

Med undersøgelsen "Indeklima i skoler" føler vi os klogere og bedre rustet til at fortsætte vores arbejde for skolernes indeklima, og resultaterne skal bruges nu og i fremtiden til at kvalificere hele vores indsats på området for børnenes indeklima.

Kom tæt på alle tal og konklusioner på de næste sider. God læselyst!

Projektleder,
Lene Wiell Nordberg



Introduktion

Denne sammenfatning afrunder den større forundersøgelse [Indeklima i skoler](#) foretaget for Realdania af Center for Indeklima og Energi ved Danmarks Tekniske Universitet og Alexandra Institutet. Forundersøgelsen er en del af indsatsområdet i Realdanias initiativplan [Børnenes indeklima](#).

Forundersøgelsen bearbejder både eksisterende viden samt bidrager med ny viden om de bygningsmæssige faktorer, der kan fremme et komfortabelt, sundt og stimulerende indeklima i skoler.

Forundersøgelsen er opdelt i tre arbejdsplaner med hvert sit tema, som yderligere er underopdelt i mindre arbejdsplaner. Alle arbejdsplaner, på nær WP 1.4 som er formidlet i denne rapport, er udmøntet i særskilte delrapporter. Hver arbejdsplan adresserer forskellige elementer vedrørende indeklimaet i skoler:

WP 1: Status for renovering og indeklima i danske og udenlandske skoler.

- WP 1.1: Oversigt over skolerenoveringer med fokus på at skabe bedre indeklima.
- WP 1.2: Kortlægning af kommunernes planer for opførelse af nye og renovering af eksisterende skolebygninger.
- WP 1.3: Status over skoler indeklima og omfanget af skolerenovering i udvalgte nabolande.
- WP 1.4: Gennemgang af nyere videnskabelig litteratur indenfor indeklima i skoler.

WP 2: Helhedsvurdering af indeklima i klasseværelser.

- WP 2.1: Identifikation af karakteristika for skolebygninger med dårlig og god luftkvalitet ud fra let tilgængelige data om skolebygningerne.
- WP 2.2: Variation i indeklima indenfor og mellem bygningstypologier.
- WP 2.3: Karakterisering af luftkvalitet, støj, temperatur, lys og øvrige bygningsmæssige forhold i udvalgte danske skolebygninger.
- WP 2.4: Indeklima i andre lokaler end klasselokaler.

WP 3: Kortlægnings- og interventionsstudier med fokus på adfærd.

- WP 3.1: Kortlægning af elevers og læreres udluftningspraksis.
- WP 3.2: Vurdering af effekt og varighed af metoder til at påvirke elevers og læreres udluftningsadfærd.



Indhold

Kort om projektet	6
Folkeskolen	7
WP 1: Status for renovering og indeklima i danske og udenlandske skoler	8
WP 2: Helhedsvurdering af indeklima i klasseværelser	16
WP 3: Kortlægnings- og interventionsstudier med fokus på adfærd	26
Konklusioner	31
Rapporter udarbejdet i forbindelse med projektet	33
Referencer til WP 1.3 og 1.4	34

Kort om projektet

Det moderne Danmark er et videnssamfund, som også i fremtiden har behov for en højt kvalificeret arbejdsstyrke. Hertil kræves uddannelse startende i grundskolen. Nedsat indlæring og fravær som følge af et forringet indeklima reducerer elevernes kompetenceopbygning. Der er et oplagt samfundsbehov for viden om hvilke rammer i skoler, herunder indeklima, der minimerer sygdomsfravær og som stimulerer børns indlæring.

I de senere år har flere landsdækkende undersøgelser dokumenteret, at ventilationen i flertallet af danske skoler er utilstrækkelig i forhold til gældende regler.¹ Undersøgelserne har samtidig rejst en række spørgsmål, som bør adresseres for bedst muligt at imødegå skolernes behov for et bedre indeklima. Der bygges kun få nye skoler i Danmark, hvilket understreger, at der er brug for effektive metoder til at opnå de ønskede forbedringer via renovering af eksisterende bygninger og deres installationer. Dertil kræves detaljeret viden om de bygningsmæssige faktorer og ikke mindst brugeradfærd, der er forbundet med det gode indeklima.

Projektet har taget udgangspunkt i tre arbejdsplaner, som har dannet rammerne for undersøgelsen. Arbejdsplanerne har hver adresseret ét overordnet tema:

- WP 1: Status for renovering og indeklima i danske og udenlandske skoler.
- WP 2: Helhedsvurdering af indeklima i klasseværelser.
- WP 3: Kortlægnings- og interventionsstudier med fokus på adfærd.

I det følgende er projektets tre overordnede arbejdsplaner og de dertilhørende undersøgelser og vigtigste resultater beskrevet. For mere udførlig information henvises til delrapporterne. På baggrund af de fundne resultater, er konklusionerne og anbefalingerne beskrevet. Yderligere er opredet hvilke nye undersøgelser og aktiviteter, projektet har givet anledning til.

Projektsrammer

Projektet *Indeklima i skoler* har forløbet i perioden september 2015 – december 2016. Center for Indeklima og Energi ved Danmarks Tekniske Universitet (DTU) og Alexandra Institut har stået for undersøgelserne foretaget i projektet. Projektet er udført på foranledning af Realdania, som en del af initiativplanen *Børnenes indeklima*.

Dataindsamling og målinger

En betydelig del af arbejdet i projektet har bestået af indsamling og analyse af data fra myndigheder, organisationer, kommuner og skoler. Følgende datasæt har ligget til grund for projektet:

Myndigheder og organisationer

- Ministeriet for børn, undervisning og ligestilling: Liste over folkeskoler.
- SKAT: BBR-Ejendomsinformation.
- Energistyrelsen: Energimærker.
- Danmarks statistik: Kommunernes investeringer i folkeskolebygninger.
- Dansk Center for Undervisningsmiljø: Folkeskoleelevers evaluering af undervisningsmiljø.
- Udbudsvagten: Referater, dagsordner og budgetter fra kommunerne.

Kommuner

- Spørgeskemaer vedrørende renoveringer mv. til 98 kommuner.

Skoler

- Målinger i 60 skoler – i alt 250 klasseværelser og 27 faglokaler.
- Bygningsmæssige checklister af skolerne og klasseværelserne.
- Observations- og interventionsstudier i tre skoler.

¹ Se "WP 1.3: Status over skolers indeklima og omfanget af skolerenovering i udvalgte nabolande" i rapporten.

Folkeskolen

Folkeskolen

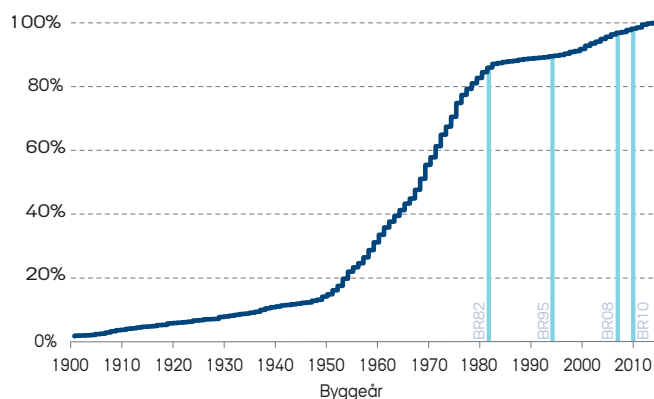
Danske folkeskoler er blandt de skoler i verden, hvor eleverne tilbringer mest tid. En nylig opgørelse fra OECD² viser, at kun i Australien går eleverne mere i skole end i Danmark, og at forskellen mellem antallet af timer i de to lande er marginal. Med indførelsen af den nye folkeskole-reform fra 2014, har eleverne fået endnu længere dage end tidligere. De danske folkeskoleelever tilbringer i gennemsnit 10.960 timer i folkeskolen i løbet af de 10 undervisningspligtige år, hvor gennemsnittet på verdensplan ligger på 7.540 timer ifølge OECD². Dette svarer til, at de danske folkeskoleelever tilbringer ca. 20% af deres vågne timer i skolen pr. år. Elevernes trivsel i skolen er således af større betydning nu end nogensinde før.

Antallet af elever i folkeskolen er faldet gennem de seneste år. Elevtallet er gået fra at være 552.557 i skoleåret 2011/12 til 537.097 i skoleåret 2015/16. Samtidig er elevtallet i de frie grundskoler tilsvarende steget i alle årene.³ Ligeledes er antallet af folkeskoler faldet gennem årene: I 2000 var der 1.671 skoler, hvor der i 2016 var 1.289.⁴ Faldet i antallet af folkeskoler skyldes især administrativ sammenlægning af skoler til større enheder, således at størstedelen af de fysiske skolebygninger er bevaret. Folkeskolernes bygningsmasse-areal omfatter i alt ca. 8.200.000 BBR-m². Klassekvotienterne er derimod steget de senere år, fra at være 20,1 elever pr. klasse i 2009, til at være 21,5 elever pr. klasse i 2015.⁵ Gennemsnittet dækker over en betydelig variation. Opgørelsen i denne undersøgelse viser, at der i 20% af klasserne er mere end 24 elever.

Folkeskolebygningerne

Folkeskolerne i Danmark er bygget fra før 1800-tallet til i dag. Figur 1 viser den kumulative areal-andel af skolebygningerne efter alder. Figur 1 viser også, i hvilke år de forskellige bygningsreglementer trådte i kraft. Ca. 50% af skolebygningerne blev bygget i 1960'erne og 1970'erne, og ca. 10% af bygningerne er blevet bygget efter, at der for første gang optrådte ventilationskrav til lokaler i Bygningsreglementet fra 1995, BR95. I et tillæg til Bygningsreglementet fra 1995 blev der i 2006 for første gang introduceret et energiramme-krav til bygninger (som vi kender dem i dag), og under 5% af skolebygningerne er opført herefter. Størstedelen af skolebygningerne er forældede i forhold til nutidens standarder, og der er således et behov for opgradering af skolerne.

Andel af BBR areal

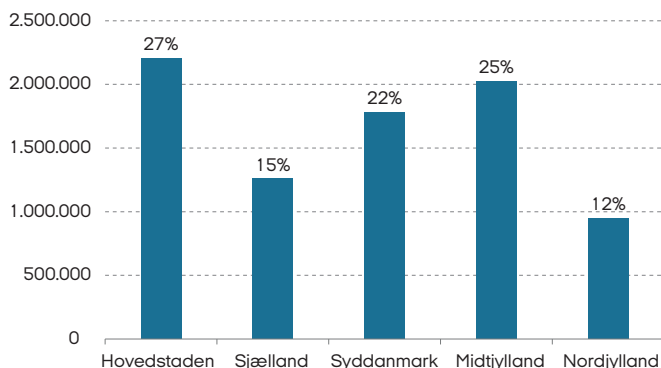


Figur 1: Kumulativ andel af arealet af folkeskolebygningerne efter alder.

Regional fordeling af folkeskolebygningerne

Den regionale fordeling af BBR arealet af folkeskolebygningerne kan ses på figur 2.

BBR areal, m²



Figur 2: Regional fordeling af folkeskolebygningernes areal.

² OECD [2016], Education at a Glance 2016. OECD Indicators, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.187/eag-2016-en>

³ www.uvm.dk. Elevtal i folkeskolen og frie skoler. Undervisningsministeriet.

⁴ www.uvm.dk. Antal grundskoler. Undervisningsministeriet.

⁵ www.statistikbanken.dk, tabel KVOTIEN: Klassekvotienter i grundskolen efter område, klassetrin og skoletype.



WP 1: Status for renovering og indeklima i danske og udenlandske skoler

Introduktion

Den danske regering etablerede i 2007 en kvalitetsfond på 50 mia. kr. til investeringer i perioden 2009-2018 i bl.a. borgernære serviceområder i kommunerne. Et beløb på 22 mia. kr. var reserveret de fysiske rammer i daginstitutioner, folkeskoler samt idræts- og ældreområdet. Selvom kommunerne brugte ca. 18 mia. kr. på renovering og opførelse af nye folkeskolebygninger i perioden 2007-2014⁶, viste Masseeksperimenterne fra hhv. 2009 og 2014, at indeklimaet i de danske folkeskoler ikke var forbedret i den mellemliggende periode.

Regioner og kommuner har forskellig størrelse og befolkningstal, og deres vilkår er forskellige. Kommunernes indtægtsmuligheder er forskellige bl.a. på grund af forskelle i befolkningens indkomstniveau. Udgiftsbehovet hos kommunerne er også forskelligt, idet der er forskelle i bl.a. den sociale struktur og befolkningens alderssammensætning. Kommunerne har derfor forskellige prioriteringer, målsætninger og muligheder, når det kommer til at bygge og renovere folkeskolen.

Der er udarbejdet en oversigt over de tiltag, der de seneste 10 år hyppigst er anvendt ved renovering af danske skoler. Formålet har været at kortlægge renoveringspraksis og identificere, hvilke renoveringstiltag kommunerne fokuserer på, samt hvad baggrunden for renoveringerne har været. Baseret på eksisterende databaser og oplysninger indsamlet fra kommuner og skoler, er der undersøgt sammenhænge mellem skolebygningernes alder, bygningstypologi (som refererer til en bestemt tidsperiode og dertilhørende karakteristika), energimæssig ydeevne og undervisningsmiljøvurderinger. Endvidere er omfanget af kommunernes investeringer anvendt til opgradering af skolebygningerne gennem de seneste år undersøgt. Udover undersøgelser af de seneste års fokus på skolebygninger, er der udarbejdet en oversigt over kommunernes planlagte initiativer til opgradering af skolerne og hvilke ressourcer, der forventes anvendt i løbet af de kommende år. De umiddelbare barrierer for kommunerne for at forbedre skolernes indeklima er desuden beskrevet.

Andre lande i Skandinavien, Europa og oversøisk har også fokus på skolers indeklima og ikke mindst dets betydning for elevernes trivsel, sundhed og læring. Byggetraditioner og -metoder varierer mellem lande. Men med få danske skole-

byggerier de seneste år, kan udenlandske erfaringer bidrage til opbygning af et vidensgrundlag her i landet, som kan anvendes til at identificere løsninger for det gode indeklima også i danske skoler. Samtidig stiger hyppigheden, hvormed relevante studier publiceres, hvilket illustrerer, hvordan der i mange lande er fokus på skolers indeklima. Denne arbejds-pakke har undersøgt de gældende retningslinjer for indeklima i skoler i Danmark og nabolande, og beskrevet disse med fokus på luftkvalitet. Ud fra den eksisterende litteratur er erfaringerne fra flere europæiske udviklingsprogrammer med fokus på indeklima i skoler beskrevet. Der er yderligere udført et litteraturstudium med en gennemgang af den nyere litteratur om sammenhænge mellem klasseværelsernes indeklima og elevernes trivsel, sundhed og læring.

WP 1.1: Oversigt over skolerenoveringer med fokus på at skabe bedre indeklima

Renoveringspraksis

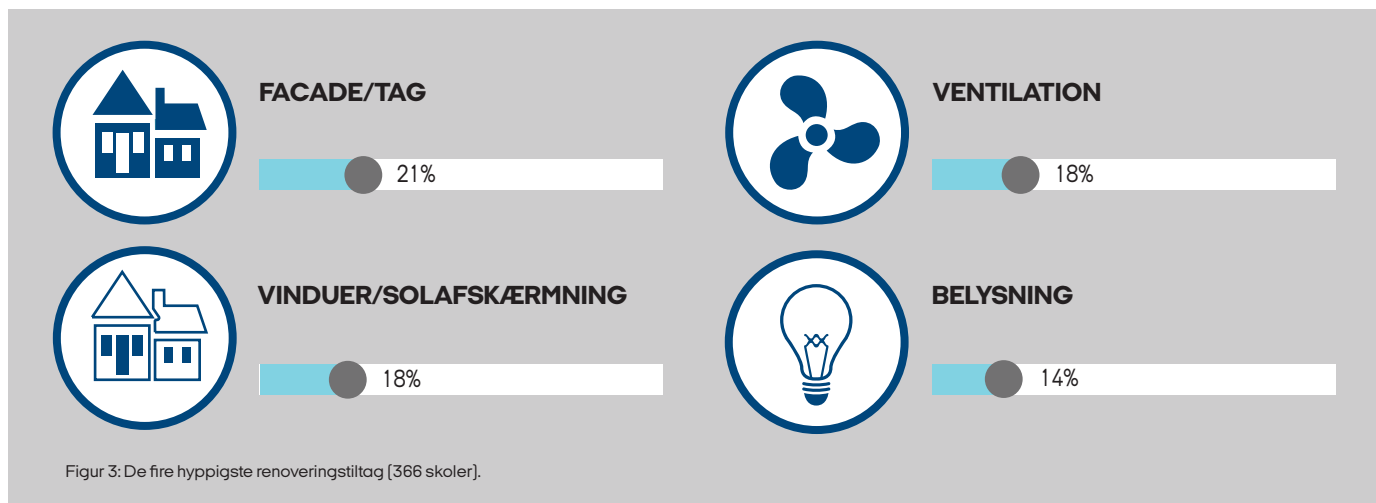
Renoveringspraksis på 366 skoler fordelt på i alt 45 kommuner (alle regioner er repræsenteret) inden for de seneste 10 år blev undersøgt. 125 skoler fra 15 kommuner blev undersøgt via spørgeskemaer og bidrog med information fra perioden 2005-2015. 241 skoler fra 30 kommuner blev undersøgt via gennemgang af dagsordener, referater og andre dokumenter fra kommunalbestyrelser i perioden 2009-2016. De 366 skoler inkluderede i alt 929 renoveringstiltag.

De fire hyppigste renoveringstiltag der er blevet udført inden for de seneste 10 år på de 366 skoler kan ses på figur 3.

De øvrige renoveringstiltag vedrørte varmesystem, bæredygtig energi (eksempelvis solceller og solfangere), akustik, helhedsrenoveringer og andre mindre renoveringer som eksempelvis toiletfaciliteter mv.

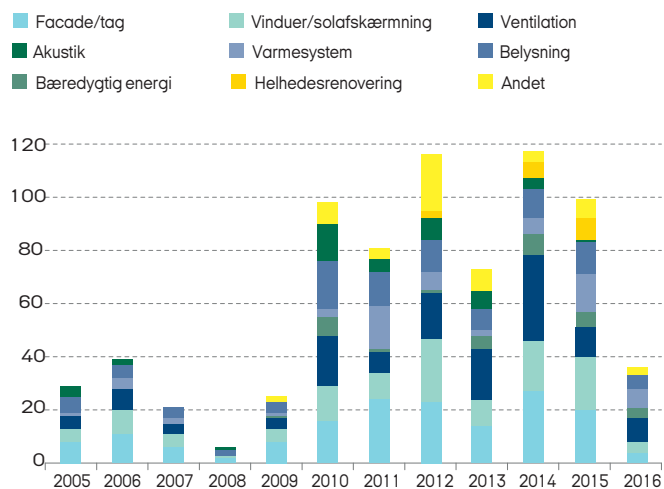
Renoveringstiltagene for alle 366 skoler fordelt på år kan ses på figur 4. Fordelingen inkluderer 742 renoveringstiltag, idet de resterende 187 renoveringstiltag ikke kunne tillægges et specifikt renoveringsår.

⁶ www.statistikbanken.dk, tabel REGK31: Kommunale regnskaber (1000 kr.) efter område, funktion, dransk og art. Anlægskonti. Funktion: 3.22.01-3.22.17 excl. 3.22.03, 3.22.05, 3.22.06.



Figur 4 viser, at der i perioden 2010-2015 blev udført markant flere renoveringer end i perioden 2005-2009.

Antal tiltag



Figur 4: Renoveringstiltag fordelt på år [366 skoler, år 2016 er ikke repræsentativ].

Størstedelen af renoveringerne (hvor der kendes det bagvedliggende motiv) på de 366 skoler, [40%], var udført frivilligt. 7% af renoveringerne var udført pga. påbud fra Arbejdstilsynet. For 53% af renoveringerne var det ikke muligt at finde information om motivet til renoveringen. Påbuddene fra Arbejdstilsynet drejede sig primært om to renoveringstiltag: Ventilation og akustik. Over halvdelen, 58%, af renoveringerne vedrørende akustik, og 25% af renoveringerne vedrørende ventilation var pga. AT-påbud. Generelt havde Region Hovedstaden næsten ingen påbud sammenlignet med de andre regioner.

Der var ingen sammenhæng mellem typen af renoveringstiltag og skolernes bygningstypologi, idet renoveringstiltagene var nogenlunde ligeligt fordelt mellem bygningstypologierne. Til gengæld var der en sammenhæng mellem omfanget af renoveringer og bygningstypologier, idet omfanget af renoveringer, som forventet, var mindre i nyere bygningstypologier.

Investeringer gennem årene

Kommunernes investeringer i årene 2007-2015 for folkeskolerne, for både renovering af eksisterende bygninger og anlæg af nye bygninger viste, at kommunerne i Region Hovedstaden havde de største investeringer alle årene, 1-2 mia. kr. pr. år. Kommunerne i Region Nordjylland havde de laveste investeringer alle årene, 150-250 mio. kr. pr. år.



Investeringerne normaliseret ved arealet af folkeskolerne i kommunerne viste det samme billede: Kommunerne i Region Hovedstaden havde stadig de største investeringer alle årene, 470-870 kr. pr. kvm. folkeskole pr. år. Investeringerne i kommunerne i de øvrige regioner var mere jævnt fordelt og lå mellem 130-510 kr. pr. kvm. folkeskole pr. år. Gentofte og Københavns kommuner havde de højeste investeringer af alle kommuner gennem alle årene med et gennemsnit på hhv. 1.810 og 1.400 kr. pr. kvm. folkeskole pr. år. i de ni år.

Energimæssig ydeevne

Folkeskolebygningernes energimæssige ydeevne blev undersøgt ved brug af Energimærkningsordningen. Energimærkerne blev undersøgt for ca. 89% af folkeskolerne, svarende til et BBR areal på ca. 7.850.000 m². Generelt var energimærkerne bedre i nyere bygninger. Den nyeste bygningstypologi, "projektarbejdsskolen", var mere energieffektiv end den ældste bygningstypologi "landsbyskolen". De mellemliggende bygningstypologier havde mere ligeligt fordelte energimærker, som formodes at skyldes renovering og vedligehold gennem årene. Generelt var energimærke "D" det mest fremherskende, idet 36% af de undersøgte folkeskoler havde dette energimærke, efterfulgt af energimærke "C" og "E", som hhv. 25% og 21% af skolerne havde. De energieffektive bygninger med energimærke A-C havde oftere balanceret mekanisk ventilation end bygninger med energimærke D-G, hvilket stemmer overens med, at flere nye bygningstypologier havde balanceret mekanisk ventilation.

Undervisningsmiljøvurdering

Dansk Center for Undervisningsmiljø [DCUM], har i de tidligere år indsamlet undervisningsmiljøvurderinger for grundskoler via det onlinebaserede værktøj "Termometeret". Undervisningsmiljøvurderinger for elever i 4.-10. klasse fra årene 2012-2014 vedrørende fagligt læringsmiljø, sundhed og indeklima blev sammenholdt med bygningstypologier. I alt 260 skoler [50.550 elevbesvarelser] indgik i denne undersøgelse. En højere andel af eleverne var tilfredse med luftkvaliteten og lufttemperaturen i klasseværelserne i nyere bygningstypologier end i ældre bygningstypologier.

Konklusion – WP 1.1

De hyppigste renoveringstiltag på folkeskolerne inden for de seneste 10 år indikerer, at kommunerne fokuserer på renovering som primært tilgodeser energiforbruget, men at der også i nogen grad bliver taget højde for indeklimaet. Renovering af

bygningers klimaskærm (facade, tag og vinduer), var de to mest anvendte renoveringstiltag, og har en klar indflydelse på energiforbruget, men kan også have indflydelse på indeklimaet. Renoveringstiltagene fordelt på årene 2010-2015 kunne tyde på en forsinket effekt af Kvalitetsfonden, som skulle anvendes i perioden 2009-2018. Generelt kunne der ses en løbende forøgelse i antallet af alle renoveringstiltag, men specielt tiltag som bæredygtig energi (f.eks. solceller og solfangere), belysning og ventilation steg de senere år.

Kommunerne i Region Hovedstaden har haft de største anlægsinvesteringer gennem alle årene sammenlignet med kommunerne i de andre regioner. I de undersøgte renoveringstiltag havde kommunerne i Region Hovedstaden næsten ingen påbud fra Arbejdstilsynet sammenlignet med kommunerne i de andre regioner, hvilket måske kan tilskrives deres store investeringer gennem de sidste mange år. Påbuddene fra Arbejdstilsynet omhandlede primært akustik og ventilation – uden påbud ville disse renoveringstiltag formodentlig ikke forekomme så ofte.

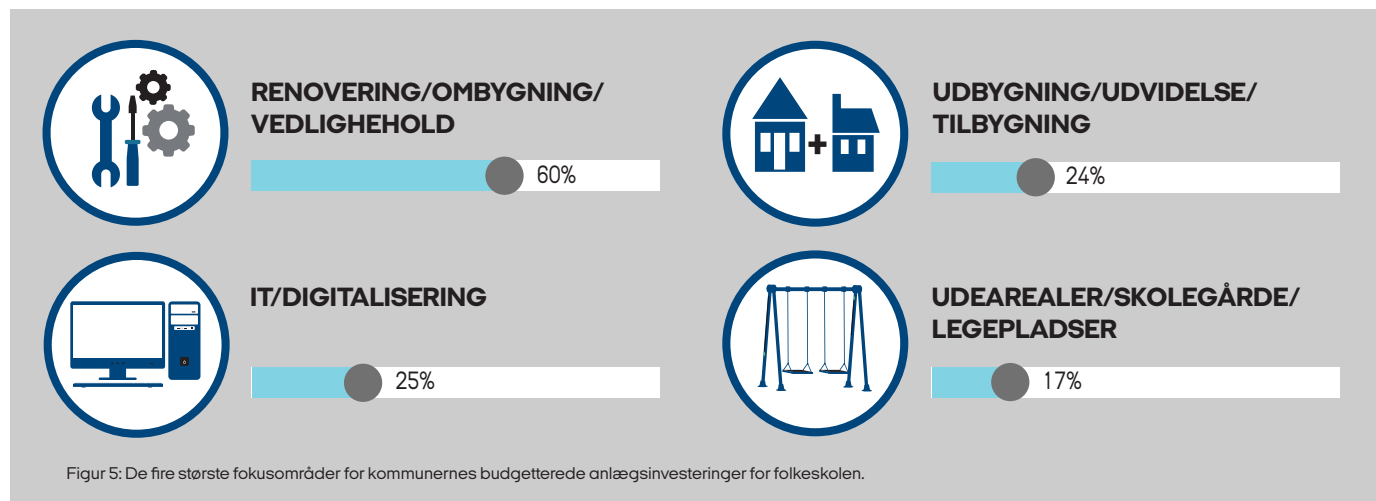
Folkeskolernes energimæssige ydeevne viste, at der stadig er et potentiale for opgradering og renovering af folkeskolebygningerne, idet energimærke "D" var hyppigst forekommende. Den nyeste bygningstypologi, "projektarbejdsskolen", havde både de mest effektive energimærker og de bedste undervisningsmiljøvurderinger i forhold til luftkvalitet og lufttemperatur.

WP 1.2: Kortlægning af kommunernes planer for opførelse af nye og renovering af eksisterende skolebygninger

Kommunernes fremtidige planer

Kommunerne angiver alle i større eller mindre grad i deres budgetter, hvilke områder de har tiltænkt deres fremtidige anlægsinvesteringer for folkeskolen. En opgørelse over de fire største fokusområder i 84 undersøgte kommuner, kan ses på figur 5. Opgørelsen udgør andelen af kommuner, der har angivet, at dette er et fokusområde i planlægningen af deres fremtidige anlægsinvesteringer.

60% af de 84 kommuner har angivet, at nogle af de budgetterede anlægsinvesteringer skal gå til renovering, ombygning og vedligehold af folkeskolerne. Dette er et meget vidt



begreb, og kan således indeholde mange forskellige elementer, fra udskiftning af enkelte vinduer til renovering af hele skoler. Nogle kommuner angav mere specifikt hvilke renoveringer der var tale om, mens andre ikke gjorde: 7% angav, at der var tale om PCB renovering og/eller screening, 7% angav, at det var en decideret energirenovering/optimering, 7% angav, at det var renovering/opgradering af ventilationen og 5% angav, at der var tale om en renovering ift. generel forbedring af indeklimaet. Yderligere angav enkelte kommuner, at det var renovering ift. toiletfaciliteter, solafskærmning og nyt tag. De øvrige fokusområder for de budgetterede anlægsinvesteringer involverede faglokaler/holdlokaler og opførelse af nye skoler. I alt var der 10 kommuner som vil opføre/færdiggøre nybyg af i alt 12 skoler. Til sammenligning er der de seneste 10 år blevet bygget i alt ca. 14 nye folkeskoler på landsplan.

12% af kommunerne begrundede deres valg af fokusområder med folkeskolereformen, som trådte i kraft i sommeren 2014 og indførte længere skoledage samt mere bevægelse i løbet af skoledagen. Folkeskolereformen blev især nævnt i forbindelse med renovering/etablering af udearealer/skolegårde/legepladser og generel renovering af bygningerne.

Et yderligere "anlægsområde" var, at nogle få kommuner havde budgetteret penge til Arbejdstilsyns-puljer [AT-puljer]. Dette er puljer til påbud fra Arbejdstilsynet, som enten ikke er blevet udbudet i tidligere år eller forventes at komme.

Budgetterede investeringer

Kommunernes budgetterede investeringer i årene 2016-2019 for folkeskolerne, for både renovering af eksisterende bygninger og anlæg af nye bygninger blev indsamlet for 84 kommuner. Region Hovedstaden havde budgetteret med de største investeringer alle årene, både i forhold til den totale sum og når normaliseret ved arealet af folkeskolerne i kommunerne. Region Sjælland havde budgetteret med de mindste investeringer. Region Hovedstaden havde budgetteret med 0,64-1,60 mia. kr. pr. år, hvilket svarer til ca. 300-800 kr. pr. kvm. folkeskole pr. år. Region Sjælland havde budgetteret med ca. 90-250 mio. kr. pr. år, hvilket svarer til ca. 80-200 kr. pr. kvm. folkeskole pr. år. København, Frederiksberg og Høje-Taastrup kommuner var de kommuner der især bidrog til, at Region Hovedstaden havde højere budgetter end de andre regioner.

Mulige barrierer for skolernes indeklima

Barrierer for forbedring af folkeskolernes indeklima eksisterer på flere niveauer. Anlægsloftet kan være en af de mere overordnede udfordringer hos kommunerne. Anlægsloftet gør, at der er et loft over de investeringer kommunerne må anvende hvert år. Anlægsloftet er blevet sat ned fra 20 mia. kr. til 16,3 mia. kr. i perioden 2012-2017, et fald på 3,7 mia. kr. Dette betyder at kommunerne i nogle tilfælde er pressede i forhold til investeringer i folkeskoler, samt at de i højere grad må prioritere. Yderligere har kommunernes finansiering af energibesparelser indtil år 2013 ikke indgået i det samlede



anlægsloft, hvilket gør, at de nu yderligere må prioritere, hvilke anlægstiltag de vil gennemføre.

De internationale og nationale fokusområder kan overordnet set også være en barriere for forbedringen af indeklimaet på folkeskolerne. Både EU og den danske regering har fokus på at nå de overordnede reduktionsmål for de mange forskellige energiaftaler, der er indgået. Dermed er der også fokus hos kommuner og regioner på at afvikle støtteordninger og forpligtelsesaftaler, hvilket kan gøre at indeklimaet kan blive nedprioriteret. Langt størstedelen af landets 98 kommuner og alle fem regioner har forpligtet sig til en eller flere energiaftaler, eksempelvis "ELENA-ordningen", "Borgmesterpakt for klima og energi" og "Klimakommune", hvor fokus er på at nedbringe CO₂-emissionen, energieffektivisere bygninger og anlæg, samt at anvende vedvarende energikilder.

Den danske regerings ændringer og nye fokusområder inden for folkeskolen, som f.eks. den nye skolereform fra sommeren 2014 samt implementeringen af reglerne om inklusion fra sommeren 2012, har også haft en effekt på kommunernes valg og prioritering af fremtidige anlæg og anlægsudgifter. Når der fra regeringens side ikke er fokus på indeklimaet i folkeskolerne, vil dette også blive nedprioriteret i kommunerne.

Konklusion – WP 1.2

Der er fortsat opmærksomhed på investeringer til renovering og vedligehold af folkeskolerne hos kommunerne. Der er dog ikke belæg i planer og budgetter for at antage, at den primære motivation er ønsket om et bedre indeklima, idet meget få kommuner angav dette som begrundelse. Derimod indgår regeringens fokusområder og ændringer for folkeskolen, så som folkeskolereform og inklusion, i højere grad i overvejelserne af fremtidige anlægsområder. Et bemærkelsesværdigt område er, at nogle kommuner indregnede udgifter som følge af AT-påbud i deres budgetter, hvilket kan tolkes som at kommunerne således godt ved, at der er forhold som ikke lever op til gældende krav, men vælger at udbedre skaden, når den er påpeget af Arbejdstilsynet, frem for at forebygge.

Indeklimaet i folkeskolen kan være udfordret af, at der overordnet set er andre fokusområder, for regionernes og kommunernes bygninger, både internationalt og nationalt.

Fokus er i høj grad på at nedbringe CO₂-emissionen, energieffektivisere bygninger og anlæg, samt at anvende vedvarende energikilder. Det mindskede anlægsloft, som nu inkluderer energirenoveringer, gør yderligere, at kommunerne må prioritere deres valg.

Flere kommuner i Region Hovedstaden har planer om at fortsætte deres markante investeringer på anlægsområdet i folkeskolerne, og det er fortsat kommunerne i Region Hovedstaden, som har budgetteret med de største investeringer sammenlignet med kommunerne i de øvrige regioner.

WP 1.3: Status over skolers indeklima og omfanget af skolerenovering i udvalgte nabolande

Der findes både nationale, europæiske og internationale kriterier og anbefalinger for indeklima i skoler. Generelt er der ikke markante forskelle i de krav, der stilles i Danmark og vore nabolande, som i sig selv kan forklare de nationale forskelle i klasseværelsernes indeklima. Derimod ser det ud til at faktorer som tilsynsordninger og fordeling af ansvar for skolernes indeklima, varierer mellem landene. Kravene og anbefalingerne for Danmark og vore nabolande kan ses på tabel 1.

Sverige

Den svenske Folkhälsomyndigheten gennemførte i 2014 og 2015 et nationalt tilsynsprojekt i næsten halvdelen af landets skoler med fokus på ventilation og rengøring. Omkring 70% af skolerne i de deltagende kommuner havde været tilset indenfor de seneste tre år og 70% af alle tilsyn var rutinemæssige, mens 10% blev foretaget som resultat af klager. Omtrent 85% af skolerne blev af miljøkontorerne bedømt til at have en god eller ret god luftkvalitet, mens 15% blev bedømt til at have dårlig eller ret dårlig luftkvalitet. Resultaterne af Folkhälsomyndighetens undersøgelse stemmer således godt overens med resultaterne af en stor tværsnitsundersøgelse i 238 svenske klasseværelser [Masseeksperimentet 2009, der viste at 16% af de medvirkende klasseværelser oversteg CO₂-koncentrationen på 1000 ppm], uden at undersøgelserne som følge af forskellige metoder i øvrigt kan sammenlignes. Omtrent 70% af skolerne deltog i obligatorisk ventilationskontrol. I øvrigt fandt undersøgelsen, at 40% af de deltagende skoler havde oplevet klager over ventilationen pga. luftkvalitet, støj, træk og for høj eller lav



	Temperatur min. vinter [°C]	Temperatur max. sommer [°C]	Ventilationsrate [l/s pr. person]	Ventilationsrate [l/s pr. m ²]	CO ₂ max [%/ppm]	Belysningsstyrke [lux]
Danmark	20	26	5	0,35	0,1	300
Sverige	20	26	7	0,35	1000	150
Norge	20	26	7	0,7-2 ⁷	1000	300
Finland	21	25	6	0,35	1200	-
Tyskland	20	26	.. ⁸	.. ⁸	1000	300

Tabel 1: Oversigt over indeklimakrav og -anbefalinger i Danmark og nabolande. [Kravene til ventilationsraten er for voksne personer].

⁷ Tallet afhænger af forventet emission af forurening fra inventar og materialer.

⁸ I Tyskland er delstaterne ansvarlige for krav til skolerne og der er derfor variation mellem delstater.

temperatur i lokalerne. 25% af skolerne havde eller ville få påbudt af miljøkontoret at forbedre ventilationen. Ifølge inspektørerne kunne den manglende opfyldelse af kravene tilskrives, at skolelederne ikke havde tilstrækkeligt kendskab til miljøloven og kravet til egenkontrol samt at de fandt det uklart, hvem som er ansvarlig for skolernes egenkontrol. Skolelederen anses for at være virksomhedsleder og har dermed ansvaret for, at egenkontrollen bliver foretaget.

Norge

Krav til indeklima i norske skoler formuleres af DiBK [Direktoratet for Byggkvalitet] via bygningsreglementet. Yderligere er skolernes indeklima underlagt lov om folkehelsearbejd [folkehelseloven]. En kortlægning af det fysiske undervisningsmiljø i 2008 viste, at 50% af de norske skoler var godkendt efter lov om miljørettet forebyggende sundhed. For at opnå et godt indeklima anbefales tre tiltag:

- Løbende kontrol på hver skole [egenkontrol].
- Kontrol af indeklimaet i forbindelse med godkendelse af byggeri i overensstemmelse med lov om miljørettet forebyggende sundhed.
- Ekstern, uafhængig kontrol.

I Norge har skolelederen ansvaret for, at bestemmelserne i folkehelseloven overholdes og lederen skal rette sig efter påbud fra kommunen. Skolelederen skal også sørge for, at der er etableret et internt kontrolsystem.

Finland

I Finland formuleres krav til skolernes indeklima af Miljøministeriet, som også administrerer det finske bygningsregle-

ment. Det finske Institut for Sundhed og Velfærd, underlagt ministeriet af samme navn, gennemfører løbende et School Health Promotion studie for at fremme sundhed og velvære blandt de 14-20 årige. Hvert andet år gennemføres i finske skoler en national spørgeskemaundersøgelse med fokus på levevilkår, skoleforhold, sundhed og sundhedsrelateret adfærd samt skolens sundhedsydelse. Ordningen har fungeret i mere end 20 år og der findes nu en omfattende database, der løbende er blevet anvendt til analyse af en lang række forhold relateret til skole og sundhed. Med udgangspunkt i de indsamlede data påviste Finell et al. [2016] eksempelvis, at stress i skolen og dårligt forhold mellem lærere og elever havde betydning for oplevelsen af dårligt indeklima.

Tyskland

I Tyskland ligger ansvaret for uddannelse hos de enkelte delstater. Under de fælles nationale krav har de 16 delstater egne krav og der er derfor forskel mellem staterne på de kriterier, der gælder for skolernes indeklima. Det tyske miljøministerium har udgivet en fælles vejledning omkring luftkvalitet og forureningskilder i skoler [Moriske og Szewzyk 2008], men der er alligevel markante forskelle mellem de enkelte delstater. Flere undersøgelser i Tyskland indikerer, at luftkvaliteten i tyske skoler minder om de danske. En undersøgelse i 46 skoler i Bayern fandt eksempelvis, at 92% af skolerne havde en CO₂-koncentration højere end 1000 ppm og 60% højere end 1500 ppm [Fromme et al. 2006]. Ligeledes havde 90% af 40 skoler i Berlin en CO₂-koncentration over 1000 ppm. Ligesom i Danmark var luftkvaliteten mest udfordret i skoler med manuel naturlig ventilation, mens temperaturen generelt var i de ønskede intervaller.



Konklusion – WP 1.3

Gennemgangen har indikeret, at både i Danmark og andre lande defineres krav til skolernes indeklima i forskellig lovgivning for bygninger, arbejdsmiljø, miljø og folkesundhed. Der er således ikke altid klarhed over, hvordan regler fortolkes og udmøntes i praksis. I skoler i både Sverige og Norge har ordninger med regelmæssige tilsyn med skolernes installationer og indeklima medført, at der er konstateret bedre luftkvalitet end i Danmark. I Finland og Danmark gennemføres rutinemæssige vurderinger af undervisningsmiljøet, men vurderingerne er brede og omfatter både levevilkår, skoleforhold og generel sundhed. Regelmæssige og fokuserede tilsyn samt et lokalt forankret ansvar ser således ud til at bidrage til, at der rettes op på utilstrækkelige forhold. Imidlertid er retningslinjer og krav ofte teknisk komplicerede og kan derfor være vanskelige at håndhæve for de, som oven i deres primære funktion (f.eks. undervisning eller personaleledelse) skal forvalte indeklimaet på skolerne.

Der kunne ikke skabes et overblik over egentlige renoveringsprogrammer i vores nabolande. Dette er måske ikke overraskende, når det tages i betragtning, hvor fragmenteret den information viste sig at være i Danmark. Her var det nødvendigt med et omfattende udredningsarbejde for at vurdere omfang af og årsag til gennemførte og planlagte renoveringsinitiativer på danske skoler. For at stimulere renoveringsaktiviteter på skoler i Europa gennemføres aktuelt flere nationale og europæiske forsknings-, demonstrations-, og informationsprojekter. Information om metoder og udbytte ved renovering er således til rådighed, men i hvilket omfang den fører til bredere renovering af skolebygninger er uvist.

WP 1.4: Gennemgang af nyere videnskabelig litteratur inden for indeklima i skoler

Med udgangspunkt i omfattende databaser over videnskabelige publikationer (Web of Science, Scopus) er der udført en gennemgang af litteratur publiceret efter 2006, om sammenhænge mellem klasseværelsets indeklima og elevernes trivsel, sundhed og læring. I det følgende fremhæves udvalgte studier, der enten er gennemført i danske skoler, har relevans også for danske skoler eller som har bidraget med særlig bemærkelsesværdig ny viden om indeklima i skoler og dets påvirkning af eleverne.

Interventionsstudier

En betydelig del af de studier, der kvantificerer indeklimaets effekt på skolebørns præstationer, er udført som interventionsstudier i klasseværelser i praksis, hvor en eller flere indeklimatefaktorer er blevet kontrolleret, mens eleverne har udført forskellige opgaver og tests [e.g. Wargocki & Wyon 2007a; Wargocki & Wyon 2007b; Bakó-Biró et al. 2012; Twardella et al. 2012; Slegers et al. 2012; Barkmann et al. 2012; Sullivan & Osman 2015; Crukley & Scollie 2012]. Ved at forøge ventilationsraten i klasseværelser og forbedre temperaturreguleringen øgedes hastigheden og nøjagtigheden af forskellige koncentrationskrævende opgaver med mellem 2,2% og 15% [Wargocki & Wyon 2007a; Wargocki & Wyon 2007b; Bakó-Biró et al. 2012]. I kontrast hertil fandt Twardella et al. [2012], at dårlig luftkvalitet i klasseværelser generelt ikke reducerede elevernes præstationsevne, men at fejlraten kunne være højere. Lysintensitet, farvetemperatur og lysets dynamik har ligeledes betydning for elevernes humør og præstation i koncentrationskrævende opgaver [Slegers et al. 2012; Barkmann et al. 2012], hvilket med de nye muligheder, der findes for styring af LED-lys kan få betydning for fremtidig indretning af klasseværelser. Klasseværelsets akustik påvirker både høreopfattelse og talegenkendelse og specielt egenskaber som at reflektere, detaljering og taleforståelse bliver reduceret i støjende omgivelser [Sullivan & Osman 2015; Crukley & Scollie 2012].

Testresultater

En anden fremgangsmåde til at vurdere indeklimaets betydning for elevernes indlæring og præstation er at anvende tilgængelige registerdata som f.eks. nationale testresultater eller PISA-resultater. Således fandt Haverinen-Shaughnessy et al. [2015], at der var sammenhæng mellem andelen af elever, der scorede tilfredsstillende i matematik- og læsetests og temperatur og ventilationsrate i de 140 klasseværelser, der indgik i undersøgelsen. Toftum et al. [2015] fandt ligeledes, at elever i danske skoler med balanceret mekanisk ventilation eller mekanisk udsugning scorede højere i de nationale tests end elever i klasseværelser med ventilation via manuel åbning af vinduer.

Sygefravær

I gennem to hele skoleår undersøgte Mendell et al. [2013], hvordan ventilationsforholdene i 162 klasseværelser i skoler i forskellige klimazoner i Californien påvirkede sygefraværet. For hver 1 l/s pr. person højere ventilationsrate i klasseværelset faldt sygefraværet med 1,6%. Tilsvarende fandt Gaihre et



al. [2014], at CO_2 -koncentrationen i klasseværelser var proportional med elevernes fravær og at en stigning i den gennemsnitlige CO_2 -koncentration på 100 ppm var ensbetydende med 0,2% øget fravær, svarende til en halv skoledag om året. Temperatur og luftfugtighed havde ingen sammenhæng med fraværet. I danske skoler var der ingen signifikant sammenhæng mellem ventilationsform og sygefravær, men elever med mest sygefravær havde de klart laveste resultater i nationale test [Kjeldsen 2013].

Adfærd

Et voksende antal studier rapporterer om effekten på indeklima og energiforbrug af elevers og læreres adfærd i skolen. I to danske skoler blev det observeret, at vinduerne blev åbnet hyppigt uden for, men sjældent i opvarmingsseasonen, selv ikke i klasser med en CO_2 -styret enhed til at signalere, hvornår vinduerne burde åbnes [Gao et al. 2014, Heebøll et al. 2017]. Automatisk reguleret åbning af vinduerne havde markant betydning for klasseværelsets CO_2 -koncentration om vinteren. Eleverne var mere positive og angav færre indeklimasymptomer i et klasseværelse med CO_2 -reguleret åbning af vinduer og en udsugningsventilator sammenlignet med klasseværelser med andre ventilationsformer. De Giuli et al. [2012] undersøgte blandt elever i 28 klasseværelser i det nordlige Italien, om børn ligesom mange voksne kunne betragtes som passive modtagere af de indeklimaforhold, de bliver budt i skolen. Der blev observeret høje CO_2 -koncentrationer, utilstrækkeligt lys og en ujævn lysfordeling og samtidig klagede eleverne hyppigst over de termiske forhold, dårlig luftkvalitet og støj. Forholdene i klasseværelserne afhang meget af lærerens individuelle præferencer og derfor anbefales automatisk regulering af indeklimaet i klasseværelser.

Konklusion - WP 1.4

Generelt styrker de mange nyere internationale forskningsresultater vores viden om, at indeklima har betydning for elevers komfort, sundhed, indlæring og sygefravær. Studierne tilstræber at kvantificere effekterne på eleverne af indeklimaet, hvilket er vigtigt for at kunne bedømme cost-benefit af forskellige tiltag til skolenovering. De anvendte metoder og udgangspunkter for sammenligning af indeklimaforhold er dog sjældent ensartede og derfor er der ikke fuldstændig overensstemmelse mellem konklusionerne af de forskellige studier.



WP 2: Helhedsvurdering af indeklima i klasseværelse

Introduktion

Formålet med denne arbejdsmappe var at helhedsvurdere indeklimaet i danske klasseværelser, herunder undersøge betydningen af skolebygningernes typologi, klasseværelsernes indretning og øvrige bygningskarakteristika. Indeklimaet er i denne arbejdsmappe beskrevet og undersøgt i forskellige skolebygninger. De bygningsmæssige faktorer der har størst betydning for skolernes indeklima er identificeret. Der er taget udgangspunkt i en række simple byggetekniske karakteristika samt BBR oplysninger for skolerne. Ud fra målinger og øvrig information om skolerne er det undersøgt, om skolernes indeklima kunne grupperes i forhold til fællestræk i bygnings- og andre karakteristika som byggeår, areal, ventilationsforhold, placering etc.

Masseeksperimenterne i 2009 og 2014 bidrog med øjeblikksværdier af CO₂-koncentrationer i et stort antal danske klasseværelser. Imidlertid er CO₂-koncentrationen kun én ud af mange parametre, der karakteriserer indeklimaets kvalitet. Støj har eksempelvis markant betydning for elevernes udbytte af undervisningen. Samtidig er det sandsynligt, men endnu ikke endeligt påvist, at der kan være vekselvirkning mellem forskellige indeklimaparametre, således at eksempelvis dårlig luftkvalitet eller for høj temperatur kan føre til øget støjniveau, når eleverne bliver trætte eller utilpasse. Projektet har undersøgt flere dimensioner af indeklimaet i de danske klasseværelser samt indeklimaparametrenes samvariation. Kendskab til samvariationer er vigtigt input til prioritering og valg af tekniske løsninger til renovering for at opnå et bedre indeklima i danske folkeskoler.

Projektet har udført målekampaner i 155 klasseværelser på 50 tilfældigt udvalgte danske skoler, hvori der udover luftkvalitetsparametre og termiske forhold, også blev målt akustik og lysforhold. Bygningernes indretning, vedligeholdelsesstandard, rengøringsforhold og tekniske installationer blev registreret og beskrevet, således at eventuelle sammenhænge mellem indeklimaet og bygningerne kunne undersøges.

Tidligere undersøgelser har vist, at luftkvaliteten kan variere mellem klasseværelserne på en skole, især på skoler med naturlig ventilation. Projektet har undersøgt denne variation yderligere, for at vurdere repræsentativiteten af simple målinger, som f.eks. anvendt i Masseeksperimenterne. Projektet har udført målekampaner på ni skoler med op til

10 klasseværelser på hver skole. Målekampanerne blev udført både i og uden for fyringssæsonen.

Elevernes skoledag er sammensat af perioder med ophold i klasseværelset, fællesområder, faglokaler, kantine og uden-dørs. Hidtil har karakterisering af skolernes indeklima primært fokuseret på klasseværelser, men elevernes samlede eksponering afhænger også af forholdene i de øvrige områder. Projektet har udført målinger i 27 fag- og andre lokaler. Indeklimaets variation mellem lokaletyper og elevernes eksponering i løbet af skoledagen kan dermed beskrives.

WP 2.1: Identifikation af karakteristika for skolebygninger med dårlig og god luftkvalitet ud fra let tilgængelige data om skolebygningerne

Luftkvalitetens sammenhæng med karakteristika for skoler blev undersøgt på i alt 77 skoler – 185 klasseværelser. Data for luftkvalitet stammer fra Masseeksperimentet 2014 samt supplerede målinger af CO₂-koncentrationen i 11 af de deltagende skoler. Karakteristikaene blev indsamlet via online spørgeskemaer samt observationer på de 11 skoler.

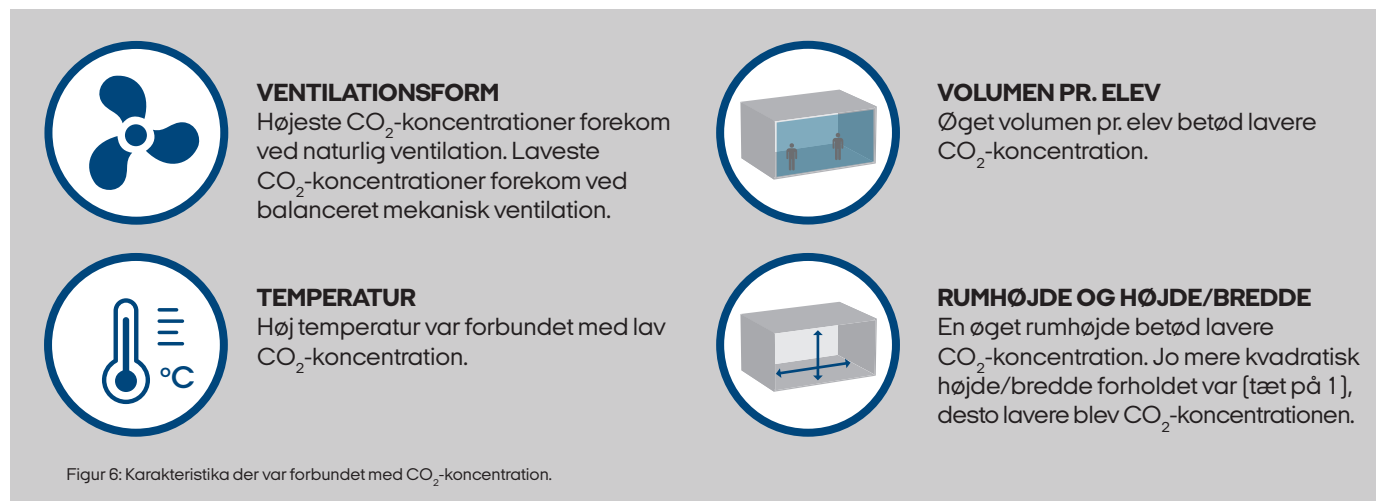
Karakteristika og analyser

Følgende bygningsmæssige karakteristika indgik i statistiske analyser for at beskrive indeklimaet i klasseværelserne:

Bygningstypologi, etage, ventilationsform (naturlig, mekanisk med udsug og balanceret mekanisk ventilation), rumvolumen, rumhøjde, rumdybde, rumbredde, højde/dybde forhold, højde/bredde forhold, dybde/bredde forhold, omkringliggende bygninger/natur, afstand til nærmeste bygning/beplantning, antal vinduer i klasselokalet (totalt og oplukkelige) og orientering/placering af vinduer.

Udover bygningsmæssige karakteristika indgik følgende andre forhold i analyserne:

Udluftningsvaner, lugt, larm, brug af fællesområder, antal elever, volumen pr. elev og temperatur.



Sammenhæng mellem luftkvalitet og karakteristika

CO₂-koncentrationen afhang signifikant af karakteristikaene på figur 6.

Flere karakteristika havde betydning for den målte CO₂-koncentration, f.eks. bygningstypologi og etageplacering.

Konklusion – WP 2.1

Flere karakteristika havde indflydelse på CO₂-koncentrationen i de undersøgte klasseværelser, men den mest dominerende faktor var ventilationsformen. CO₂-koncentrationen var højere i naturligt ventilerede klasseværelser end klasseværelser med balanceret mekanisk ventilation. Temperaturen, det elevspecifikke volumen, rumhøjden og højde/bredde forholdet havde også betydning for CO₂-koncentrationen. Disse karakteristika er således vigtige at overveje, når skoler bygges og/eller renoveres i fremtiden, især ventilationen.

WP 2.2: Variation i indeklima inden for og mellem bygningstypologier

Målinger

Tidligere undersøgelser har vist, at luftkvaliteten kan variere mellem klasseværelserne på en skole. Denne variation er undersøgt yderligere i dette projekt, både i og uden for

fyringssæsonen. Udvalgte indeklimaparametre blev målt i ni skoler i Storkøbenhavn, i en uge i hver klasse. Målingerne i fyringssæsonen (vinterhalvåret) omfattede 85 klasseværelser, og målingerne uden for fyringssæsonen (sommerhalvåret) omfattede 83 klasseværelser. Klasseværelserne var så vidt muligt de samme i de to sæsoner. Alle klassetrin i årgangene 0.-9. klasse var repræsenteret. Målingerne repræsenterer kun brugstiden af klasseværelserne, og inkluderer derfor ikke weekender, aftener og eventuelle skoleferier.

Årstidsvariation

Årstiden havde betydning for CO₂-koncentration, temperatur, relativ luftfugtighed, belysningsstyrke og lydtrykniveau i de ni skoler.

Variationen af de enkelte klasseværelsers gennemsnitlige CO₂-koncentration var generelt større i fyringssæsonen end uden for fyringssæsonen. CO₂-koncentrationen i klasseværelserne var, som forventet, højest i fyringssæsonen, hvor den anbefalede grænseværdi på 1000 ppm var overskredet i 59% af brugstiden. Uden for fyringssæsonen var denne grænse kun overskredet i 12% af brugstiden. I fyringssæsonen overskred CO₂-koncentrationen 2000 ppm, i 11% af brugstiden. CO₂-koncentrationer over 2000 ppm i en sammenhængende periode på 20 min. kan udløse straks-påbud fra Arbejdstilsynet.



Temperaturen var generelt høj i begge sæsoner. Hverken i eller uden for fyringssæsonen blev der målt temperaturer under 18°C, og kun en mindre andel af temperaturer i fyringssæsonen lå i intervallet 18-20°C. I fyringssæsonen var temperaturen i det anbefalede interval 20-26°C i 96% af brugstiden og uden for fyringssæsonen i 82% af brugstiden. Således var temperaturen i 18% af brugstiden uden for fyringssæsonen over 26°C, hvilket må karakteriseres som for varmt.

Den relative luftfugtighed i fyringssæsonen var i det anbefalede interval 25-60% rf i 97% af brugstiden, og uden for fyringssæsonen i 77% af brugstiden. I 3% af brugstiden i fyringssæsonen var den relative luftfugtighed under minimumsgrænsen på 25% rf, og i 23% af brugstiden uden for fyringssæsonen over maksimumsgrænsen på 60% rf. De målte værdier gav dog ikke anledning til bekymring, og er ikke yderligere adresseret her.

Belysningsstyrken i klasseværelserne var generelt lav i begge sæsoner. Minimumniveauet på 300 lux på arbejdsområdet (elevernes skrivebord), blev i fyringssæsonen ikke overholdt i 58% af brugstiden og uden for fyringssæsonen blev det ikke overholdt i 37% af brugstiden. En mulig årsag til dette kan være, at gardinerne/persiennerne var trukket for vinduerne og den elektriske belysning var slukket.

Der var ikke de store forskelle mellem sæsonerne i lydtrykniveauet. Lydtrykniveauet var både i og uden for fyringssæsonen under grænseværdien på 85 dB[A] i 100% af brugstiden. 85 dB[A] er grænsen for, at eventuelle høreskader kan forekomme (over en 8 timers arbejdsdag). I begge sæsoner forekom dog høje lydtrykniveauer, idet der i 56% af brugstiden i fyringssæsonen blev målt lydtrykniveauer i intervallet 65-85 dB[A] og uden for fyringssæsonen i 63% af brugstiden. Til sammenligning kan nævnes, at en normal samtale foregår ved ca. 60 dB[A].

Variation mellem klasseværelser, ventilationsformer og bygningstypologier

Variationen af indeklimaparametrene mellem klasseværelser, ventilationsformer og bygningstypologier i de ni skoler i begge sæsoner blev ligeledes undersøgt.

CO₂-koncentration

Tabel 2 viser de overordnede variationer af de gennemsnitlige CO₂-koncentrationer for klasseværelserne inden for de enkelte skoler i begge sæsoner.

Af tabellen fremgår det, at den største variation af gennemsnits CO₂-koncentrationen for klasseværelserne inden for en skole var i fyringssæsonen på skole VI, en "etageskole" (den næstældste bygningstypologi), hvor seks klasseværelser havde manuel naturlig ventilation og fire klasseværelser balanceret mekanisk ventilation⁹. Den gennemsnitlige CO₂-koncentration varierede fra hhv. 680 ppm til 2345 ppm (en variation på 1665 ppm), med et gennemsnit for hele skolen på 1815 ppm.

Den mindste variation af gennemsnits CO₂-koncentrationen inden for en skole forekom uden for fyringssæsonen, og var på skole VI (som havde den største variation i fyringssæsonen). Her varierede den gennemsnitlige CO₂-koncentration mellem 670 ppm og 805 ppm (en variation på 135 ppm), med et gennemsnit på 715 ppm.

Både i og uden for fyringssæsonen forekom den største variation i CO₂-koncentrationen i klasseværelser med manuel naturlig ventilation. Her varierede koncentrationerne mellem 835 ppm og 2185 ppm (en variation på 1350 ppm) i fyringssæsonen og mellem 600 ppm og 1200 ppm (en variation på 600 ppm) uden for fyringssæsonen. Variationerne i gennemsnits CO₂-koncentrationen var mindst for klasseværelser med balanceret mekanisk ventilation i fyringssæsonen, og mindst for klasseværelser med automatisk naturlig ventilation uden for fyringssæsonen.

CO₂-koncentrationen varierede mellem bygningstypologier, men kun i fyringssæsonen. I fyringssæsonen var der mindst variation af de gennemsnitlige CO₂-koncentrationer i nyere typologier og størst variation i ældre typologier, hvor den næstældste bygningstypologi, "etageskolen", havde den største variation af de gennemsnitlige CO₂-koncentrationer [idet "landsbyskolen" kun var repræsenteret ved ét klasseværelse].

Temperatur

De gennemsnitlige temperaturer i klasseværelserne varierede mest i fyringssæsonen, hvor skole III, en "kamskole" med manuel naturlig ventilation, havde en variation mellem 22,3°C og 26,3°C (en variation på 4°C), med et gennemsnit på 23,3°C. Den mindste variation forekom uden for fyringssæsonen, hvor skole II, en "åbenplansskole" med manuel naturlig ventilation i klasseværelserne, havde en variation mellem 24,1°C og 25,3°C (en variation på 1,2°C), med et gennemsnit på 24,7°C.



Skole	Sæson	Bygningstypologi	Ventilationsform	CO ₂ gennemsnit min.	CO ₂ gennemsnit [alle lokaler]	CO ₂ gennemsnit max.
I	Fyrings	Projektarbejdsskole	Balanceret	825	900	1000
I	Ikke-fyrings	Projektarbejdsskole	Balanceret	675	750	845
II	Fyrings	Åbenplanskole	Manuel naturlig	1015	1255	1465
II	Ikke-fyrings	Åbenplanskole	Manuel naturlig	895	1030	1200
III	Fyrings	Kamskole	Manuel naturlig	965	1490	2165
III	Ikke-fyrings	Kamskole	Blandet	600	705	930
IV	Fyrings	Åbenplanskole	Auto naturlig	885	1070	1150
IV	Ikke-fyrings	Åbenplanskole	Auto naturlig	600	710	890
V	Fyrings	Blandet skole	Blandet	860	1045	2100
V	Ikke-fyrings	Blandet skole	Blandet	715	775	895
VI	Fyrings	Etageskole	Blandet	680	1815	2345 ⁹
VI	Ikke-fyrings	Etageskole	Blandet	670	715	805
VII	Fyrings	Blandet skole	Blandet	800	1395	2040
VII	Ikke-fyrings	Blandet skole	Blandet	600	810	1055
VIII	Fyrings	Blandet skole	Blandet	780	1090	1305
VIII	Ikke-fyrings	Blandet skole	Blandet	545	725	785
IX	Fyrings	Kamskole	Blandet	1070	1360	1685
IX	Ikke-fyrings	Kamskole	Blandet	705	790	940

Tabel 2: Oversigt over variationer af CO₂-koncentration inden for de enkelte skoler i og uden for fyringssæsonen. I alt 163 klasseværelser, 81 klasseværelser i fyringssæsonen og 82 uden for fyringssæsonen. Klasseværelserne på skole III blev renoveret mellem måleperioderne og havde således forskellige ventilationsformer afhængigt af sæson.

⁹ Et klasseværelse på skole VI i fyringssæsonen med balanceret mekanisk ventilation, havde et ikke-fungerende ventilationssystem. Der blev registreret store udsving i både CO₂-koncentration og relativ luftfugtighed i dette klasseværelse.

I fyringssæsonen var det temperaturen i klasseværelser med manuel naturlig ventilation, som varierede mest. Klasseværelser med automatisk naturlig ventilation varierede mindst i fyringssæsonen. Uden for fyringssæsonen varierede temperaturen lige meget i de manuelt og automatisk naturligt ventilerede klasseværelser, men mindre i klasseværelser med balanceret mekanisk ventilation. Temperaturen varierede ikke imellem bygningstypologi.

Belysningsniveau

Belysningsniveauet varierede mest uden for fyringssæsonen. I skole V, en skole med blandet typologi, varierede belysningsniveauet mellem 336 lux og 1 466 lux [en variation på 1 130 lux], med et gennemsnit på 967 lux. Den mindste variation sås også uden for fyringssæsonen, i skole IX, en

”kamskole”, med en variation mellem 356 lux og 381 lux [en variation på 25 lux] og et gennemsnit på 372 lux. Ventilationsform og bygningstypologi havde ikke systematisk betydning for belysningsniveauet inden for nogen af sæsonerne.

Lydtrykniveau og efterklangstid

Variationen i lydtrykniveauet var størst uden for fyringssæsonen. Den største variation, 44-74 dB[A], var i skole I, en projektarbejdsskole med balanceret mekanisk ventilation, med et gennemsnit på 61 dB[A]. Den mindste variation forekom i fyringssæsonen på skole V, en skole med blandet typologi og med blandede ventilationsformer, som varierede mellem 64 dB[A] og 68 dB[A] [en variation på 4 dB[A]], med et gennemsnit på 65 dB[A].



Efterklangstiden [tiden det tager lydtrykniveauet at aftage med 60 dB], blev målt i fyringssæsonen. Målingerne blev ikke foretaget uden for fyringssæsonen, da ingen af klasseværelserne havde skiftet interiør eller havde været renoveret i mellemtiden. I skole III, hvor efterklangstiden blev målt i tre klasseværelser, var efterklangstiden over 0,6 sek., hvilket kan nedsætte talegenkendeligheden. De tre klasseværelser havde alle et hårdt plademateriale som loftsbeklædning, modsat klasseværelserne på de øvrige otte skoler, som alle havde akustik/absorberende plader som loftsbeklædning. I to af klasseværelserne på hhv. skole V og VIII, blev efterklangstiden registreret til at være under 0,4 sek. som også kan give anledning til dårlig talegenkendelighed pga. for høj dæmpning.

Konklusion – WP 2.2

Det er forskelligt hvilke primære udfordringer klasseværelsernes indeklima har afhængigt af sæsonen. I fyringssæsonen var CO₂-koncentrationen den største udfordring, idet klasseværelserne overskred en CO₂-koncentration på 1000 ppm i 59% af brugstiden, hvorimod temperaturen var inden for grænseværdierne. Uden for fyringssæsonen var temperaturen den største udfordring, idet der i klasseværelserne forekom temperaturer over 26°C i 18% af brugstiden, hvorimod CO₂-koncentrationen kun blev overskredet i en mindre del af brugstiden. Den relative luftfugtighed og belysningsstyrken varierede efter sæson; begge var lavere i fyringssæsonen end uden for fyringssæsonen. Lydtrykniveauet var den eneste målte parameter, der ikke varierede nævneværdigt mellem sæsonerne.

Variationer inden for og mellem klasseværelser, ventilationsformer og bygningstypologier viste, at der generelt var store variationer af de undersøgte indeklimaparametre mellem klasseværelser inden for de enkelte skoler. CO₂-koncentrationen kunne i høj grad variere for klasseværelser inden for den samme skole, hvilket var mest udpræget når skolerne havde forskellige ventilationsformer. Det betyder, at målinger i få klasseværelser ikke altid vil være repræsentativ for en hel skole.

Naturligt ventilerede klasseværelser udviste de største udsving i den gennemsnitlige CO₂-koncentration i begge sæsoner. Variationerne af CO₂-koncentration blev mindsket jo nyere bygningstypologi, hvilket også hænger sammen med at klasseværelserne i de nyere bygningstypologier oftere havde balanceret mekanisk ventilation.

De gennemsnitlige temperaturer varierede mest i klasseværelser med manuel naturlig ventilation i begge sæsoner. De gennemsnitlige værdier af den relative luftfugtighed varierede mest i fyringssæsonen, og variationen var størst på en skole med blandede ventilationsformer. De gennemsnitlige værdier af belysningsniveauet udviste størst variation i klasseværelserne uden for fyringssæsonen. Variationen af de gennemsnitlige værdier af lydtrykniveauet varierede ligeledes mest uden for fyringssæsonen. Efterklangstiderne varierede ikke meget i klasseværelserne inden for de enkelte skoler. Der var én skole som havde for høje efterklangstider, som formodes at skyldtes et hårdt plademateriale som loftsbeklædning modsat de andre skoler og klasseværelser, som havde akustik/absorberede loftsbeklædning.

WP 2.3: Karakterisering af luftkvalitet, støj, temperatur, lys og øvrige bygningsmæssige forhold i udvalgte danske skolebygninger

Målinger

Målinger af udvalgte indeklimaparametre i 50 skoler i 155 klasseværelser blev udført i fyringssæsonen. Skolerne lå i hele landet og var nogenlunde jævnt fordelt inden for de fem regioner. Målingerne på de 10 skoler i Storkøbenhavn i fyringssæsonen er desuden medtaget i datagrundlaget, så der i alt var 250 klasseværelser. Alle klassetrin i årgangene 0.-9. klasse var repræsenteret ved målingerne.

Skoler og klasseværelser

I 99% af de i alt 250 undersøgte klasseværelser blev maksimumkravet til antallet af elever i en klasse overholdt, idet kun én klasse havde mere end 30 elever. Dog var der færre klasser, i alt 88%, som overholdt minimumkravet til et rumvolumen på mindst 6 m³/elev.

Klasseværelserne i de ikke så tætbefolkede områder som landsbyområder og mindre byer havde et større rumvolumen pr. elev end skoler i de tæt befolkede områder og indre by. Der var ikke noget der tydede på, at det elevspecifikke volumen hang sammen med bygningstypologi.

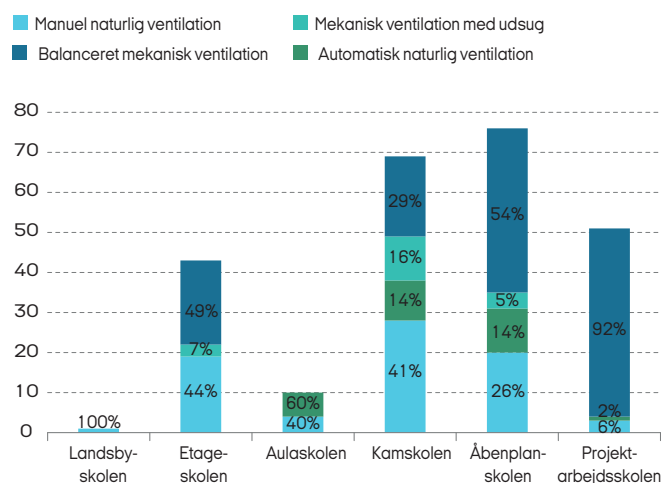
Ventilationsform

I de 250 undersøgte klasseværelser forekom balanceret mekanisk ventilation i 52% af klasseværelserne og manuel

naturlig ventilation i 30%. Der var automatisk naturlig ventilation i 11% af klasseværelserne og mekanisk ventilation kun med udsugning i 7% af klasseværelserne.

I den nyeste bygningstypologi, "projektarbejdsskolen" var der balanceret mekanisk ventilation i 92% af klasseværelserne, og ved de tre nyeste bygningstypologier, "kamskolen", "åbenplanskolen" og "projektarbejdsskolen", steg forekomsten af balanceret mekanisk ventilation jo nyere bygningstypologi, se figur 7.

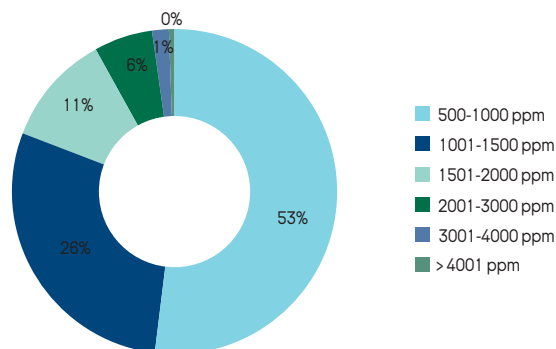
Antal klasseværelser



Figur 7: Fordeling af antallet af klasseværelset ift. ventilationsform opdelt efter bygningstypologi. I alt 250 klasseværelser.

CO₂-koncentration

I de undersøgte klasseværelser overskred CO₂-koncentrationen den anbefalede grænseværdi på 1000 ppm i 47% af brugstiden, og i næsten alle klasseværelser, 91% svarende til 224 klasseværelser, oversteg CO₂-koncentrationen denne grænse i løbet af mindst én sammenhængende 20 min. periode. Grænseværdien på 2000 ppm blev overskredet i 7% af brugstiden, se figur 8.



Figur 8: Fordeling af CO₂-koncentration i brugstiden. I alt 245 klasseværelser.

CO₂-koncentrationen i klasseværelser med balanceret mekanisk ventilation var generelt lavere end i klasseværelser med andre ventilationsformer. Andelen af brugstid med CO₂-koncentrationer over 1000 ppm faldt jo mere "avanceret" ventilationsformen blev, idet CO₂-koncentrationen var over 1000 ppm i 66% af brugstiden i klasseværelser med manuel naturlig ventilation. Klasseværelser med balanceret mekanisk ventilation havde en CO₂-koncentration over 1000 ppm i 31% af brugstiden.

Mindre rumvolumen pr. elev i klasserne, medførte højere andele af brugstid med CO₂-koncentrationer over 1000 ppm. Ved under 6 m³/elev var CO₂-koncentrationen i 53% af brugstiden over 1000 ppm, og 44% ved over 12 m³/elev.

131 klasseværelser ud af de 245 klasseværelser var på et tidspunkt i perioden 1995 - 2016 blevet renoveret. De ikke-renoverede klasseværelser havde en lavere andel af brugstid med CO₂-koncentrationer over 1000 ppm [42%] sammenlignet med de renoverede klasseværelser [50%].

Andelen af brugstid med CO₂-koncentrationer over 1000 ppm var lavere i nyere bygningstypologier. Dette stemmer fint overens med, at forekomsten af balanceret mekanisk ventilation var højere i de tre nyeste bygningstypologier, "kamskolen", "åbenplanskolen" og "projektarbejdsskolen".

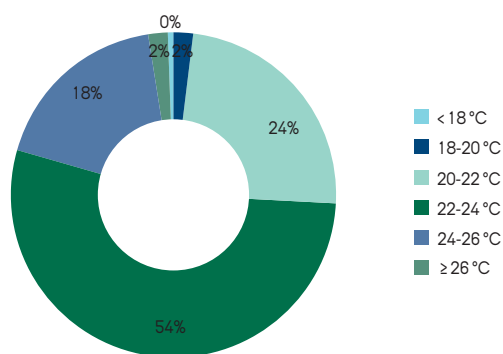
Skoler i Region Sjælland havde den mindste andel af brugstid med CO₂-koncentrationer over 1000 ppm, svarende til 27%. Skoler i Region Nordjylland havde den største andel af brugstid med CO₂-koncentrationer over 1000 ppm,

svarende til 61%. Region Sjælland havde den største andel af balanceret mekanisk ventilation ift. de andre regioner [91%]. Region Nordjylland havde den største andel af manuel naturlig ventilation [38%].

Klasseværelser med vinduer vendt mod et grønt område eller himlen – de mere rolige områder – havde mindre andele af brugstid med CO₂-koncentrationer over 1000 ppm [35-38%], end klasseværelser med vinduer vendt mod skolegården, andre bygninger mv. [49-60%] – de mere larmende områder. Dette kunne tyde på, at der var en større tendens til at åbne vinduer og døre mod de roligere områder.

Temperatur

Temperaturen i klasseværelserne var generelt høj, taget i betragtning at målingerne blev foretaget i fyringssæsonen. Komfort temperaturen mellem 20°C og 26°C, blev dog overholdt i 96% af brugstiden, se figur 9.



Figur 9: Fordeling af temperatur i brugstiden. I alt 245 klasseværelser.

Klasseværelser med automatisk naturlig ventilation havde en tendens til lavere temperaturer end klasseværelser med andre ventilationsformer. Dette kan skyldes, at vinduer/døre oftere bliver åbnet i klasseværelser med automatisk naturlig ventilation og at der dermed oftere kommer kølig luft ind i klasseværelset, end i klasseværelser, hvor elever og lærere selv skal huske at åbne dem.

Klasseværelser med balanceret mekanisk ventilation havde en større andel af brugstid med temperaturer over 24°C end klasseværelser med de andre ventilationsformer. Variationen

af temperaturen var yderligere en anelse mindre i klasseværelser med balanceret mekanisk ventilation. Temperaturen i klasseværelser med balanceret mekanisk ventilation lå inden for komfortintervallet på 20-26°C i 96% af brugstiden, mens klasseværelserne med automatisk naturlig ventilation lå inden for komfortintervallet i 92% af brugstiden.

Andelen af de højere temperaturer i brugstiden steg ved de tre nyeste bygningstypologier, "kamskolen", "åbenplanskolen" og "projektarbejdsskolen". Andelen af balanceret mekanisk ventilation var større jo nyere bygningstypologi, og den balancerede mekaniske ventilation havde en smule højere andel af brugstid med høje temperaturer end de øvrige ventilationsformer. En mulig årsag til dette kan være forkert indregulering af ventilationsanlægget eller for højt set-punkt af temperaturen i klasseværelserne med balanceret mekaniske ventilation.

Blandt klasseværelser med ingen solafskærmning og de to typer af solafskærmning som var vel-repræsenteret; fleksibel indvendig solafskærmning og kombination af fleksibel indvendig og fast udvendig solafskærmning, havde klasseværelser med ingen solafskærmning, som forventet, den største andel af brugstid med høje temperaturer, idet temperaturer over 26°C forekom i 6% af brugstiden.

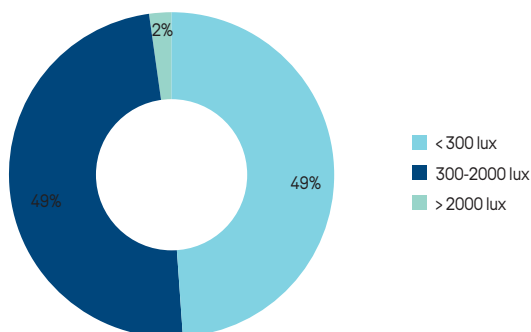
Klasseværelser med direkte sydvendte vinduer havde en større andel af brugstid med høje temperaturer over 26°C end de andre hovedorienteringer, idet dette forekom i 4% af brugstiden, men ellers var der ikke de store forskelle.

Relativ luftfugtighed

Den relative luftfugtighed var inden for det anbefalede interval, 25-60% rf, i 97% af brugstiden i klasseværelserne, og 3% under det anbefalede interval. Det var primært klasseværelserne med balanceret mekanisk ventilation, som havde de for lave relative luftfugtigheder, ift. de andre ventilationsformer. Dette er sandsynligvis forårsaget af et højere luftskifte. Generelt viser dette, at der ikke var nogen nævneværdige problemer med luftfugtighed i klasserne i fyringssæsonen. Dette blev også bestyrket af den bygningsmæssige gennemgang ved registreringerne, idet der heller ikke her blev oplevet nogle problemer med fugt eller skimmelsvamp i nogen af skolerne/klasserne.

Belysningsstyrke

Belysningsstyrken i klasseværelserne var i det anbefalede interval, 300-2000 lux, i blot 49% af brugstiden. 2% af målingerne lå over 2000 lux, og 49% lå under 300 lux, se figur 10. Belysningsstyrken var højest i den halvdel af klasserne, som var tættest på vinduerne, hvor der også var de højeste andele af brugstid med belysningsstyrker over 2000 lux, som evt. kan give problemer med blænding.



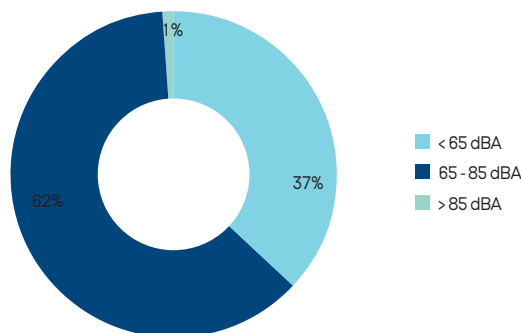
Figur 10: Fordeling af belysningsstyrke i brugstiden. I alt 74 klasseværelser.

I næsten halvdelen af brugstiden havde klasseværelserne for lave belysningsstyrker i fyringssæsonen. En årsag til dette kan være, at gardinerne/persiennerne var trukket for vinduerne og den elektriske belysning var slukket ved eksempelvis undervisning ved brug af smartboards. De lave belysningsstyrker skyldtes umiddelbart ikke manglende mulighed for at opnå passende belysningsstyrke.

Klasseværelserne med de direkte sydvendte vinduer havde som forventet den største andel af brugstid med belysningsstyrker over 300 lux [57%]. Klasseværelserne med de direkte nordvendte vinduer havde den mindste andel af brugstid med belysningsstyrker over 300 lux [39%].

Lydtrykniveau

Lydtrykniveauet i klasserne var under den maksimalt tilladte værdi på 85 dB(A), i 99% af brugstiden. I 63% af brugstiden var lydtrykniveauet over 65 dB(A), som angiver, at der alligevel var forholdsvis høje lydtrykniveauer i en stor del af brugstiden, se figur 11.



Figur 11: Fordeling af lydtrykniveau i brugstiden. I alt 98 klasseværelser.

Det kan generelt kan være svært at differentiere lyd og støj (her defineret som uønsket lyd), og i nogle situationer kan høje lydtrykniveauer være et udtryk for produktivitet og aktivitet, hvordet i andre situationer kan opfattes som værende støjende og generende for koncentrationen. Det var i denne undersøgelse ikke muligt at skelne mellem lyd fra undervisningsaktiviteter, tekniske installationer og udefrakommende støj.

Der var ingen sammenhænge mellem lydtrykniveauet i klasseværelserne og ventilationsform. Der blev heller ikke fundet nogen sammenhænge mellem lydtrykniveauet og den nærliggende trafik ved skolen/klasseværelserne eller mellem lydtrykniveauet og det omkringliggende område ved klasseværelserne. Lydtrykniveauet steg, jo flere elever der var i klasserne, hvilket var forventeligt. Der var en svag positiv sammenhæng mellem CO₂-koncentrationen og lydtrykniveauet.

Konklusion – WP 2.3

Der er stadig udbredte problemer med indeklimaet i klasseværelserne i de danske folkeskoler. Af de parametre, der blev undersøgt i denne undersøgelse foretaget i fyringssæsonen, var det luftkvaliteten, der udgjorde det største problem. I 91% af klasseværelserne oversteg koncentrationen af CO₂ den anbefalede grænse på 1000 ppm i mindst én sammenhængende periode på 20 min. I gennemsnit var grænsen overskredet i 47% af tiden, eleverne var i skole i fyringssæsonen. Der var hyppigt for varmt i klasselokalerne, selvom det var i fyringssæsonen, hvilket med stor sandsynlighed skyldes utilstrækkelig temperaturstyring. I en del af klasseværelserne blev der målt høje lydtrykniveauer. Det var dog ikke muligt at skelne mellem lyd fra undervisningsaktiviteter, tekniske installationer og fra



udefrakommende støj. Der var generelt lave belysningsniveauer i klasserne, men selvom mulighederne for at opnå passende belysning i klasserne var tilstede i langt de fleste tilfælde, blev de ofte ikke udnyttet.

WP 2.4: Indeklima i andre lokaler end klasselokaler

Målinger

Målinger af CO₂-koncentration, temperatur og relativ luftfugtighed blev udført i 27 faglokaler i de ni skoler i Storkøbenhavn, i og uden for fyringssæsonen en uge i hver lokale. Målinger i fyringssæsonen omfattede 18 lokaler og målinger uden for fyringssæsonen omfattede 27 lokaler [forskellen i antallet af lokaler var grundet mere udstyr til rådighed uden for fyringssæsonen]. Målingerne repræsenterer brugstiden af faglokalerne, dvs. tiden hvor elever/lærere har været til stede i lokalerne.

De forskellige typer af faglokaler samt brugstiden i løbet af måleugen kan ses på tabel 3. Faglokalerne blev ikke anvendt i lige så høj grad som klasseværelserne i løbet af en uge. Den gennemsnitlige brugstid for de målte lokaler i fyringssæsonen var 17,1 timer i løbet af en uge, og uden for fyringssæsonen 10,6 timer i løbet af en uge. En gennemsnitlige uge for folkeskoleeleverne er på ca. 34 timer (inkl. pauser).¹⁰

Årstidsvariation

CO₂-koncentrationen i faglokalerne var generelt meget lavere end i klasseværelserne. CO₂-koncentrationen overskred den anbefalede grænseværdi på 1000 ppm i 9% af brugstiden i fyringssæsonen og i 7% af brugstiden uden for fyringssæsonen. I fyringssæsonen lå 8% af CO₂-koncentrationerne i intervallet 1000-1500 ppm, og 1% i intervallet 1500-2000 ppm. Uden for fyringssæsonen lå de 7% i intervallet 1000-1500 ppm. Ingen af lokalerne overskred Arbejdstilsynets grænse på 2000 ppm. De lave CO₂-koncentrationer kunne tilskrives en lavere anvendelsestid samt bedre ventilation, herunder procesventilation.

Temperaturen i faglokalerne var som i klasseværelserne høje i begge sæsoner, og der blev ikke målt for lave temperaturer under 18°C. I fyringssæsonen var temperaturen i intervallet 20-26°C i 95% af brugstiden, og uden for fyringssæsonen i 75% af brugstiden. I fyringssæsonen var der temperaturer over 26°C i 25% af brugstiden.

Den relative luftfugtighed i faglokalerne var meget lig klasseværelserne i begge sæsoner. I fyringssæsonen var den relative luftfugtighed i 93% af brugstiden i det anbefalede interval på 25-60% rf, og uden for fyringssæsonen i 86% af brugstiden.

	Antal lokaler i fyringssæsonen	Antal lokaler uden for fyringssæsonen	Data-timer i fyringssæsonen	Data-timer uden for fyringssæsonen
Fælleslokale	2	2	26,0	10,2
Billedkunst	2	4	6,1	11,7
Fysik	6	8	11,9	7,6
Madkundskab	1	1	9,7	5,6
Gymnastik*	1	1	47,7	32,8
Håndarbejde	1	3	18,8	10,7
Lærerforberedelser	2	4	31,0	13,3
Musik	1	1	7,7	1,1
Sløjde	2	3	13,7	11,1
Alle lokaler [sum/gennemsnit]	18	27	17,1	10,6

Tabel 3: Oversigt over antallet af lokaler målt i og uden for fyringssæsonen samt data-timer i hver sæson. Data-timer er gennemsnitsbrugstiden for faglokalerne i løbet af målingsugen. Fælleslokale refererer til aula, kantine og fælleslokale. * Gymnastiklokalet blev også anvendt i aften timerne af sportsforeninger o. lign.

¹⁰ <https://www.uvm.dk/Uddannelser/Folkeskolen/Fag-timetale-og-overgange/Undervisningenssamlede-laengde>



Variation mellem faglokalerne

De gennemsnitlige værdier for CO₂-koncentration, temperatur og relativ luftfugtighed i lokalerne i brugstiden kan ses i tabel 4.

De gennemsnitlige værdier af de målte parametre, CO₂-koncentration, temperatur og relativ luftfugtighed varierede ikke meget i forhold til lokalernes funktion og anvendelse.

Konklusion – WP 2.4

Brugstiden i faglokalerne var ikke lige så stor som i klasseværelserne. CO₂-koncentrationen var lav sammenlignet med klasseværelserne generelt. Lokalernes gennemsnitlige CO₂-koncentration i brugstiden lå under 1 000 ppm i begge sæsoner. Der er således ikke samme udfordringer med luftkvaliteten i fag- og andre lokaler som i klasseværelserne. Temperaturen og den relative luftfugtighed var meget lig klasseværelserne i begge sæsoner.

	CO ₂ i fyrings [ppm]	CO ₂ i ikke- fyrings [ppm]	Temperatur i fyrings [°C]	Temperatur i ikke-fyrings [°C]	Luftfugtighed i fyrings [%]	Luftfugtighed i ikke-fyrings [%]
Fælleslokale	690	535	23,4	25,7	34	52
Billedkunst	830	890	23,3	25,6	29	57
Fysik	760	680	22,9	25,1	30	53
Madkundskab	545	605	24,1	26,5	33	53
Gymnastik	715	575	22,1	23,8	33	57
Håndarbejde	745	715	20,6	24,2	31	55
Lærerforberedelser	850	575	23,4	25,0	31	48
Musik	935	850	23,7	27,3	29	37
Sløjd	650	655	22,4	24,9	35	53
Alle lokaler (gennemsnit)	755	685	22,9	25,2	31	52

Tabel 4: Oversigt over de gennemsnitlige værdier for CO₂-koncentration, temperatur og luftfugtighed. Antallet af lokaler er det samme som ved tabel 3. Fælleslokale refererer til aula, kantine og fælleslokale.



WP 3: Kortlægnings- og interventionsstudier med fokus på adfærd

Introduktion

Udviklingen gennem de senere år har vist, at en gennemgribende renovering af danske skoler vil være investeringstung og tidskrævende. En mulighed kan derfor være at involvere lærere og elever i at skabe og opretholde et godt indeklima på skolerne. Formålet med arbejdsplan 3 har været at gå tæt på hverdagen og få et kvalitativt indblik i, hvordan indeklimaet opleves, og hvilken rolle indeklimaet spiller i den daglige praksis på skolerne. Som del af undersøgelsen er der gennemført observationer af lærere og elevers adfærd med fokus på indeklimaet i en række udvalgte klasselokaler på i alt tre skoler med forskellige bygningstypologier og klassetrin. Med afsæt i resultaterne af afdækningen er der efterfølgende, i samarbejde med lærerne fra de tre skoler, udviklet og gennemført små eksperimenter i klasserne med det formål at undersøge muligheder og barrierer i forhold til at involvere lærere og elever i at opretholde et godt og sundt indeklima på skolerne. Efterfølgende er effekter af eksperimenterne blevet undersøgt og vurderet. Samtidig med både observationer og eksperimenter blev udvalgte indeklimaparametre målt til at komplementere og støtte de kvalitative observationer og interviews.

WP 3.1: Kortlægning af elevers og læreres udluftningsvaner

Indeklima og handlemuligheder i hverdagen

Formålet med kortlægningen var i udgangspunktet at undersøge, hvilke faktorer der påvirker lærere og elevers udluftningspraksis med henblik på at identificere muligheder for at forbedre denne. Det viste sig imidlertid tidligt i processen at være for snæver en afgrænsning at fokusere specifikt på udluftningspraksis. Med afsæt i ønsket om at identificere og vurdere måder at involvere lærere og elever i at skabe og opretholde et godt indeklima var det nødvendigt at tage et skridt tilbage og se på problemstillingen i en bredere optik. Fokus for undersøgelsen i arbejdsplan 3.1 blev derfor at skabe en helhedsorienteret forståelse for de indeklimaudfordringer, der opleves i det daglige på skolerne.

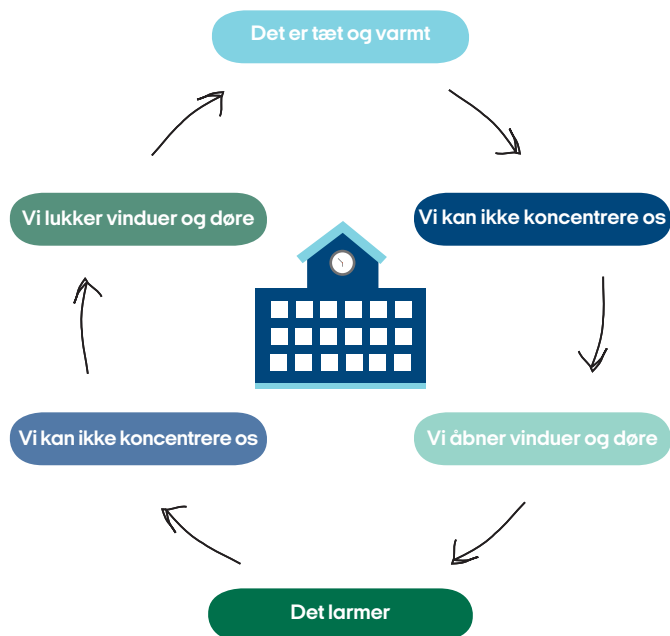
Undersøgelsen blev tilrettelagt som et mindre kvalitativt studie på tre kommunale skoler i Aarhus Kommune. Skolerne blev udvalgt i samarbejde med Aarhus Kommunes Børn og Ungeafdeling for at sikre en bredde i både bygningstørrelse, bygningstypologi og alder. Caseskolerne bestod

således af en mindre oplandsskole fra 1970'erne, en midtbyskole fra 30'erne og en forstadsskole fra 50'erne. I foråret 2016 der blev observeret adfærd i seks skoleklasser fordelt på de tre caseskoler. Observationerne blev efterfulgt af interviewsamtaler med klassernes lærere, hvor vi talte bredt om indeklima i skolen og de udfordringer og problemstillinger, lærerne oplever i deres hverdag. I alt blev 8 lærere interviewet.

Konklusion – WP 3.1

Indeklima, og de udfordringer der relaterer sig hertil, er et voksende tema i skolerne. Det skyldes blandt andet folkeskolereformen, der har sat indeklimaet på skolerne under pres, da elever og lærere nu opholder sig i længere tid på skolerne. Indeklimaudfordringer er blevet mere synlige og spiller derved en større rolle.

Undersøgelsen peger på, at det langtfra er så ligetil at lufte ud, som det ellers umiddelbart kunne tænkes at være. Eksempelvis er to af caseskolerne etageskoler, og det betyder, at vinduer af sikkerhedsmæssige årsager kun må stå på klem, når der opholder sig elever i klasselokaler fra 1. sal og oppefter. Det gør det svært at lufte ordentligt ud i løbet af dagen. Men det er ikke kun sikkerhedsmæssige hensyn, der besværliggør regelmæssig udluftning. Støj udefra fra forskellige aktiviteter og kilder gør, at det ofte er problematisk at 'åbne op' for klasselokalet. Mange klasser har vinduer mod en skolegård, hvor en klasse måske er i gang med at lave 'gange-stratego', eller elever, der har pause, som spiller bold. Bevægelse fra A til B, forskudte pausetider, elever der skal hente computere m.m. gør, at der foregår mange forskelligartede og ofte konfliktende aktiviteter i løbet af en skoledag. Det er et vilkår i den moderne skole. Et vilkår, som selvfølgelig også har indvirkning på, hvilke handlemuligheder lærere og elever har i forhold til at gøre noget ved indeklimaet. I det daglige balancerer lærerne derfor mellem to indeklimaudfordringer, der ofte er i modstrid med hinanden: Behovet for koncentration og ro, og behovet for frisk luft og et behageligt indeklima. Og i den daglige praksis på skolerne vinder behovet for at begrænse støj ofte over de andre indeklimaudfordringer.



Figur 12: Den onde indeklimacirkel.

Som følge af dette mønster føler lærerne sig ofte handlingslammede i forhold til at gøre noget ved indeklimaproblemer. Ikke mindst fordi de typisk står alene med dem.

Skolernes overordnede indretning og udearealer har derfor betydning for, hvilke handlemuligheder den enkelte skole og klasse har for selv at kunne gøre noget for at forbedre indeklimaet. Mange skoler er bygget på et tidspunkt, hvor undervisningen foregik i klasselokalerne og handlede om ro og koncentration. Og hvor alle eleverne havde frikvarter samtidigt. Men i dag ligger pauserne tit forskudt, undervisningen foregår mange forskellige steder, og der er ikke altid roligt. Der er i varierende grad et misforhold mellem de muligheder, som bygningerne tilbyder, og den måde som skolerne gerne vil lave skole på. Lærerne må derfor ofte gå på kompromis.

I interviewene spurgte vi lærerne, hvad de gør i dag for at forbedre indeklimaet på skolerne. Deres svar viser, at de har forsøgt mange forskellige ting, men også at det er svært at

få det til at fungere. De fleste af initiativerne har haft fokus på at regulere adfærd gennem regler. Fælles for initiativerne er, at lærerne typisk fortalte om dem i datid. Ofte lykkes det kun at fastholde initiativerne i en kortere periode. Enten på grund af praktiske udfordringer med at håndhæve reglerne, fordi initiativerne skubbes i baggrunden af andre opgaver, eller fordi initiativerne mangler fælles fokus.

WP 3.2: Vurdering af effekt og varighed af metoder til at påvirke elevers og læreres udluftningsadfærd

Initiativer i hverdagen

Afdækningen pegede på at det er svært at fastholde indeklima initiativer i en travl hverdag, fordi lærerne ofte ender med at stå med det alene. Dette var afsættet for de workshops vi afholdt på caseskolerne, hvor lærerne var med til at udvikle initiativerne der skulle afprøves. Men allerede inden stod det klart, at hvis det skulle være realistisk at lærerne kunne gennemføre det i hverdagen, var det vigtigt at få lagt det rette ambitionsniveau: At det var enkelt og let at gå i gang med. Afsættet blev derfor spørgsmålet 'Hvad er det mindste vi kan gøre, som gør en forskel?'. Vi lod primært lærerne om at definere omfanget og indholdet af initiativerne for at skabe ejerskab og få dem til at forpligte sig i forhold til afprøvningen. Workshoppene blev afsluttet med at hver af lærerne besluttede sig for et eksperiment, de ville stå for at afprøve i deres klasse.



AT GÅ UD I PAUSER

I 3 af klasserne handlede initiativet om pauserne. Det gik ud på at eleverne skulle ud af klasselokalet når der var pause med henblik på at nedbringe koncentrationen af CO₂, så den efterfølgende undervisning kunne fortsætte med det bedst mulige indeklima udgangspunkt.



AFBRÆK I UNDERVISNINGEN

I 2 af klasserne handlede initiativet om at lave afbræk i undervisningen. Det gik ud på at lave små faglige aktiviteter af ca. 10 minutters varighed uden for klasserummet for at få koncentrationen af CO₂ ned.



ELEVERNE LUFTER SELV UD

I den sidste klasse var der fokus på at involvere eleverne ved at give ansvaret for udluftning til de elever, der i forvejen havde opgaven som ordensholdere i klassen. De blev instrueret af deres lærer i at de løbende gennem skoledagen, skulle have et øje på at lufte ud når klassen havde pause, forlod lokalet m.m.

Figur 13: Tre typer af initiativer, som klasserne ville afprøve.

Efter afprøvningen af initiativerne blev der foretaget opfølgende interviews med lærerne.

Fra begejstring til ikke at kunne mærke en effekt

Alle lærerne fortalte i interviewene at det var nemt at gå til og let at gennemføre initiativerne i praksis. De lærere, der havde eksperimenteret med at lave små afbræk i undervisningen havde oplevet, at eleverne var begejstrede. De lærere der eksperimenterede med pauserne havde mødt modstand hos elever, der syntes at det havde været lidt koldt. Men fælles for lærerne var, at de var usikre på om det havde haft den store betydning for indeklimaet. For de havde umiddelbart ikke selv mærket en forskel. Heller ikke på eleverne.

Målinger før og under afprøvning

Til at støtte evalueringen af initiativerne blev indeklimaet i klasserne målt før og under afprøvningen. 5 uger før initiativerne blev igangsat, blev der opsat instrumenter i hver af klasserne, som målte CO₂ koncentration i rummene.



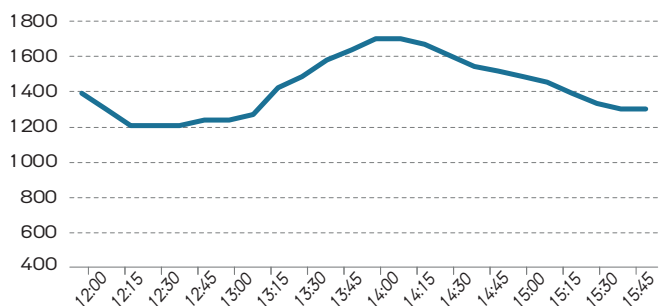
MÅLINGER - AT GÅ UD I PAUSER

Målingerne for de to klasser, som eksperimenterede med at være ude i pauserne, peger på, at det gør en forskel om eleverne opholder sig i klasselokalet i pauser eller ej. Figur 14 viser et udsnit af en typisk dag fra kl. 12 til kl. 16 for en af klasserne fra førmålingen. Klassen har pause fra kl. 12:45 til kl. 13:15. Grafen viser, hvordan der fra pausens begyndelse til pausens slutning forekommer en mindre stigning i koncentrationen af CO₂ [fra lidt over 1200 ppm til ca. 1250 ppm] i løbet af pausen. Det kunne tyde på at

en del elever har opholdt sig i klassen i pausen. Da undervisningen starten igen begynder den derfor i et lokale hvor CO₂ koncentrationen er en anelse højere end da den forrige time sluttede.

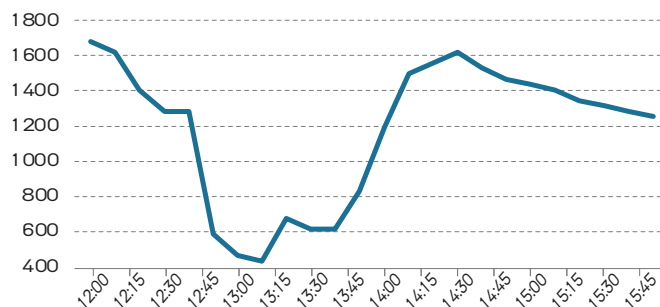
Figur 15 viser på samme måde et udsnit af en typisk dag fra kl. 12 til kl. 16 for den samme klasse fra perioden hvor initiativerne blev afprøvet. Ved pausens begyndelse ses et fald i koncentrationen af CO₂ (fra lidt under 1300 ppm til lidt over 400 ppm). Som det fremgår er det særligt i de første 10 minutter af pausen, der forekommer et markant fald. Følger man grafen kan man se, at der går ca. 45 minutter fra pausen slutter til koncentrationen af CO₂ er tilbage på samme niveau som da pausen begyndte.

CO₂-koncentration [ppm]



Figur 14: CO₂-koncentration før initiativ.

CO₂-koncentration [ppm]



Figur 15: CO₂-koncentration under initiativ.



MÅLINGER - AFBRÆK I UNDERVISNINGEN

Kigger man på målingerne fra de to klasser, der eksperimenterede med at lave små aktiviteter i forbindelse med undervisningen, var der en meget lille variation i koncentrationen af CO₂ i

lokalerne. Det skyldes formentlig, at begge klasser over sommeren skiftede til nye lokaler med ventilation og der derfor var meget lille forskel i den målte CO₂ koncentration i lokalene [GMN 500-600 ppm]. Men kigger man på målingerne fra de klasser der eksperimenterede med at få eleverne ud i pauser, så kunne det tyde på at det gør en forskel at eleverne kommer ud af klasselokalet.



MÅLINGER - ELEVER LUFTER SELV UD

Førmålingerne viser overordnet set et ensartet niveau i forhold til koncentration af CO₂ for den pågældende klasse. I de første to uger hvor klassen eksperimenterede, falder den målte gennemsnitværdi med ca. en fjerdedel (fra lidt over 900 ppm

til lidt under 700 ppm). I den følgende uge forekommer der en klar stigning til lidt over den gennemsnitlige førmåling (på 910 ppm). Herefter falder gennemsnitværdien de følgende de sidste to uger af eksperimentet (med ca. 100 ppm per uge). Det markante fald i CO₂ koncentration i de to første uger af eksperimentet kunne tyde på, at der har været rettet en særlig opmærksomhed på at lufte ud i klassen. En opmærksomhed der så efter et par uger ser ud til at have aftaget igen.

Udfordringer for initiativer i hverdagen

De opfølgende interviews peger på, at det for lærerne i princippet ikke er svært at fastholde et initiativ i seks uger, men at det kan være svært at gøre det til en vane, der bliver en naturlig del af hverdagen. I de uger lærerne afprøvede eksperimenterne oplevede de en række udfordringer med at fastholde initiativerne. Den altoverskyggende udfordring er, at lærerne er i tvivl om hvilken effekt initiativerne har haft. Lærerne kan ikke mærke det, eleverne kan ikke mærke det og så bliver det svært at fastholde det, når hverdagen presser sig på. Men der er også andre udfordringer som kan være vigtige pejlemærker for lærernes mulighed og motivation for at fastholde initiativerne på længere sigt.

Når vanen spænder ben

Lærerne har en travl hverdag med mange ting, der konkurrerer om deres opmærksomhed. Derfor kan det være svært at fastholde fokus i det daglige. De glemmer det simpelthen, eller også sker der noget i dagligdagen, som gør, at initiativerne nedprioriteres og ikke gennemføres. Flere af lærerne peger på, at det handler om at bryde vaner. Både for lærere, men også for elever.

For lærernes vedkommende gør det sig særligt gældende i forhold til de initiativer, der foregår i undervisningen. For det betyder, at de er nødt til at ændre undervisningspraksis, og at flowet i undervisningen bliver anderledes. Det er svært i en travl hverdag.

Når tiden bliver knap

Lærerne peger på, at tid er en faktor, der udfordrer. Det paradoksale er, at til trods for at lærerne med skolereformen har fået mere tid med eleverne, så presses de af ambitionen om at skulle nå mere. Og her bliver tiltag, der bryder flowet i undervisningen, et forstyrrende element, som de derfor fristes til at springe over. Når de fristes til at springe over, så er det også fordi, det simpelthen kommer til at tage for meget tid. Børnene skal have tøj på og af igen. Og når de først kommer uden for klassen, så er de svære at holde styr på. Det betyder, at aktiviteterne kommer til at tage meget længere tid end planlagt, og dermed presses læreren i de aktiviteter, hun ellers har planlagt at gennemføre i undervisningen. Samtidig oplever lærerne, at det ofte også tager tid, før der falder ro over børnene igen, når de er tilbage i klasselokalet.

Når eleverne ikke er med

Der er ingen tvivl om, at eleverne spiller en vigtig rolle i forhold til at fastholde indeklimainitiativer. I de eksperimenter, der har handlet om at komme op fra stolene og ud af klassen, har eleverne været meget motiverede og selv efterspurgt det, når læreren har 'glemt' det.

Anderledes forholder det sig med de eksperimenter, der har haft fokus på at lufte ud eller gå ud i pauserne. Her har eleverne haft svært ved at se formålet med det: "Hvorfor må vi ikke selv bestemme, om vi vil ud i frikvartererne?", "Hvorfor skal vi lufte ud? Det er jo vildt koldt." Eleverne kan ikke mærke, at det gør en forskel, så er det virkelig nødvendigt? Eller også glemmer de det bare – ligesom lærerne – i det daglige.



Flere af lærerne peger på, at det er vigtigt, at de som lærere arbejder med at opbygge vaner hos eleverne, og at det er helt afgørende at have fokus på at involvere og engagere eleverne i det. De skal kunne se meningen med det, og de skal kunne forstå effekten af det.

Udskolingen er en særlig udfordring

Allerede i afdækningen var det tydeligt, at der ligger en helt særlig indeklimateudfordring i udskolingen. Det handler selvfølgelig om, at de er længere tid i skole. Men det handler muligvis også om, at de ikke i samme grad som eleverne i indskolingen og mellemtrin har bevægelse i forbindelse med undervisningen og naturligt kommer ud i frikvarterene. Netop frikvartererne opleves som en særlig udfordring i udskolingen. Eleverne kommer ikke ud af klasserne, men kobler i stedet af foran deres computere og telefoner.

Hvordan skabes langtidsholdbare løsninger?

Til trods for at lærerne havde gode erfaringer med initiativerne og i princippet gerne ville gøre endnu mere for at forbedre indeklimaet i deres klasser, så var de alligevel skeptiske over for, om det var muligt at gøre initiativerne til en permanent del af hverdagen. I hvert fald uden samtidig at gøre en større indsats som skole. I forbindelse med de opfølgende interviews gav lærerne deres bud på en række opmærksomhedspunkter i forhold til, hvordan der kan skabes langtidsholdbare løsninger.

Der skal være fokus på det

Den enkelte lærer kan godt lave forskellige små indsatser i undervisningen. De kan sørge for at åbne vinduer. De kan tilrettelægge undervisningen, så børnene kommer ud. De kan forsøge at skabe gode vaner hos børnene. Men det kan være svært at holde fokus på, når andre agendaer presser sig på. Flere af lærerne peger på, at det er afgørende at involvere hele skolen – hvis det virkelig skal gøre en forskel. At involvere hele skolen kan være med til at fastholde fokus og sikre, at der er en sammenhæng i de initiativer, der igangsættes – både i forhold til lærere og elever.

Det kræver fællesskab

Når det er vigtigt at lave indsatser, der involverer hele skolen, er det også, fordi arbejdet med at skabe et godt indeklima i mange sammenhænge rækker ud over det enkelte klasseværelse. Det handler om pausekulturer, undervisningskulturer, fælles regler og vaner. Noget der kræver, at hele skolen er involveret – både lærere og elever.

At se det bredere

Indeklima i sig selv ryger nemt i baggrunden til fordel for andre ting. Flere af lærerne peger på, at det vil være nemmere at fastholde fokus på indeklimaet, hvis man ser det i et bredere perspektiv og kobler det til nogle af de andre initiativer, der igangsættes på skolerne. Ved at sammentænke indeklimaet med bevægelsesaktiviteter eller indtænke det i det generelle arbejde for at skabe et godt socialt og fagligt arbejdsklima i klasserne, kan indeklimaet blive en mere naturlig del af hverdagens aktiviteter og ikke endnu en opgave, der konkurrerer om lærernes og elevers opmærksomhed.

At det er let og simpelt

Det er svært at lave om på vaner og skabe langsigtede forandringer. Flere af lærerne peger på, at det er helt afgørende at gøre det nemt og simpelt, hvis en bredere kreds af lærere skal i gang med at indtænke indeklimaet i deres daglige undervisningspraksis. Hvis det er meget konkret og let at gå til, og det samtidig er noget, der er fælles fokus på, så er chancerne for at komme i gang og få gjort det i den daglige praksis større. Flere lærere peger på, at der er erfaringer at hente i det arbejde, der laves i forbindelse med bevægelse i undervisningen.

Ejerskab og synlighed

Flere af lærerne peger på, at det er vigtigt at involvere eleverne aktivt, hvis man for alvor ønsker at skabe indeklimaforbedringer gennem ændret adfærd. Ellers bliver initiativerne svære at fastholde. Enten fordi de møder modstand hos eleverne. Eller fordi eleverne ikke går aktivt ind i det. Det handler om at skabe synlighed om, hvorfor det eks. er vigtigt at komme ud i pauserne eller lufte ud i løbet af dagen og inddrage eleverne aktivt som medskabere af de initiativer, der iværksættes.

Konklusion – WP 3.2

Eksperimentet med initiativer peger på, at små adfærdsmændringer er realistiske at gennemføre i hverdagen. Især hvis det er enkelt og meningsfuldt både i forhold til undervisningen og for eleverne. Men ændringer i adfærd skaber også behov for nye typer af faciliteter som fx uderum til udskolingselever og alternative læringsrum. For at sikre fastholdelse på længere sigt vil det være vigtigt at arbejde med bredere initiativer, der har tværgående fokus og ledelsesmæssig opbakning. At koble indeklimateindsatsen med andre satsninger som bevægelse, udeliv, sundhed og det generelle arbejde med trivsel på skolen kan understøtte lærere og elevers ejerskab og styrke fastholdelsen af forandringer.



Konklusioner

- De omfattende målinger udført i denne forundersøgelse viste, at der stadig er udbredte problemer med indeklimaet i de danske folkeskoler. Især klasseværelsernes ventilationsforhold er utilstrækkelige i forhold til gældende retningslinjer. I 91 % af de 245 undersøgte klasseværelser oversteg koncentrationen af CO_2 på et eller andet tidspunkt i løbet af skoledagen den anbefalede øvre grænse på 1000 ppm. I gennemsnit var grænsen overskredet i 47 % af skoletiden i fyringssæsonen og 12 % uden for fyringssæsonen. De gennemsnitlige CO_2 -koncentrationer i faglokaler var generelt lavere end 1000 ppm både i og uden for fyringssæsonen. I disse lokaler overskred CO_2 -koncentrationen 1000 ppm i 9 % af skoletiden i fyringssæsonen og i 7 % uden for fyringssæsonen. Dette kunne tilskrives lavere anvendelsesfrekvens samt at nogle lokaler havde procesventilation. Det var hyppigt for varmt i klasseværelserne og i de andre lokaler, både i og uden for fyringssæsonen. I klasseværelserne var den øvre grænse på 26°C overskredet i 2 % af skoletiden i fyringssæsonen og 18 % uden for fyringssæsonen. De høje temperaturer kunne i fyringssæsonen tilskrives en kombination af høj persontæthed og utilstrækkelig temperaturstyring, mens solindfald i sommermånederne også forårsagede høje temperaturer. I en del af klasseværelserne blev der målt høje lydtrykniveauer. I 63 % af brugstiden var lydtrykniveauet højere end 65 dB[A]. Det var dog ikke muligt at skelne mellem lyd fra undervisningsaktiviteter, tekniske installationer og udefrakommende støj. Der var generelt gode muligheder for at opnå passende belysning i klasselokalerne, men disse muligheder blev ikke udnyttet. Således blev der målt belysningsstyrker under den anbefalede nedre grænse på 300 lux i 49 % af brugstiden i fyringssæsonen og i 37 % af brugstiden uden for fyringssæsonen.
- Det var ikke muligt at finde særlige bygningsmæssige egenskaber som f.eks. typologi eller byggeår, der i sig selv kan benyttes til at udpege skoler, med det værste indeklima. Derimod havde ventilationsforholdene afgørende betydning for luftkvaliteten. I klasseværelser med manuel naturlig ventilation oversteg CO_2 -koncentrationen den anbefalede øvre grænse på 1000 ppm i 66 % af brugstiden. Med balanceret mekanisk ventilation oversteg CO_2 -koncentrationen denne grænse i 31 % af brugstiden [begge i fyringssæsonen].
- Generelt har kommunerne kendskab til skolernes dårlige indeklima, men det går alligevel trægt med at renovere for at forbedre forholdene. Indførelsen af Kvalitetsfonden gav en betydelig forøgelse i antallet af renoveringstiltag, der steg betydeligt i perioden 2010-2015 i forhold til perioden 2005-2009. Hensynet til energiforbrug vejer fortsat tungere end hensynet til et godt indeklima, idet det hyppigste, svarende til 21 % af alle renoveringstiltag, vedrørte skolernes klimaskærm [facade/tag]. Kommunerne forpligtelser i nationale og internationale reduktionsmål og forskellige støtteordninger vedrørende energi påvirker antageligt prioriteringen af renoveringstiltag.
- Undersøgelser af folkeskolernes energimæssige ydeevne viste, at der er et potentiale for opgradering og renovering af skolebygningerne og deres installationer, idet energimærke "D" er hyppigst forekommende. Nyere skoler med balanceret mekanisk ventilation havde en større andel af de energieffektive energimærker end skoler med andre ventilationsformer.
- Der er opmærksomhed på behovet for renovering af skolerne hos kommunerne, idet 60 % af kommunerne angav at renovering, ombygning og vedligehold udgjorde en del af deres fremtidige anlægsplaner for folkeskolen. Der er dog ikke belæg i planer og budgetter for at antage, at den primære motivation er ønsket om et bedre indeklima. Påbud fra Arbejdstilsynet vejer tungt og indregnes til tider i kommunernes budgetter.
- Nye internationale forskningsresultater styrker vores viden om, at dårligt indeklima har betydning for børns komfort, sundhed og indlæring. Blandt særligt nævneværdige resultater er der nu i et stort antal amerikanske skoler dokumenteret en sammenhæng mellem klasseværelsernes ventilation og elevernes sygefravær. Endvidere er der et voksende antal studier, der rapporterer om effekten af elevers og læreres adfærd på skolernes indeklima og energiforbrug.
- Generelt er der ikke markante forskelle i de krav, der stilles til indeklimaet i Danmark og vore nabolande. Derimod ser det ud til, at faktorer som tilsynsordninger og fordeling af ansvar for skolernes indeklima, varierer mellem landene. Både i Danmark og andre lande defineres krav til skolernes indeklima i forskellig lovgivning for bygninger, arbejdsmiljø, miljø og folkesundhed. Der er således ikke altid



klarhed over, hvordan regler bør fortolkes og udmøntes i praksis. I skoler i både Sverige og Norge, som har ordninger med regelmæssige tilsyn med skolernes installationer og indeklima, er der konstateret bedre luftkvalitet end i Danmark. Dette indikerer, at regelmæssige og fokuserede tilsyn samt et lokalt forankret ansvar kan bidrage til at rette op på utilstrækkelige forhold.

- Det kvalitative pilotstudie peger på, at indeklimaet spiller en stor rolle i hverdagen på skolerne. Det er en faktor der konstant påvirker rammerne for undervisningen og har betydning for de valg både lærere og elever foretager i løbet af dagen. Det foregår i et komplekst sammenspil mellem organisatoriske og pædagogiske rammer, de muligheder bygninger giver og hvordan bygningerne tages i brug af lærere og elever. I hverdagen balancerer lærere og elever hele tiden mellem to indeklimaudfordringer, der ofte er i modstrid med hinanden: Behovet for koncentration og ro, og behovet for frisk luft og en behagelig temperatur. I den daglige praksis på skolerne vinder behovet for at begrænse støj ofte over de andre indeklimaudfordringer.
- Udfordringerne på skolerne er meget kontekstafhængige. Klasseværelsens størrelse, placering på skolen samt skolens øvrige faciliteter har betydning for de muligheder, den enkelte skole og klasse har for selv at kunne gøre noget. Det resulterer i handlingslammelse fordi ansvaret for indeklimaet ender hos den enkelte lærer i stedet for at være en fælles koordineret indsats. Det gør det svært at fastholde ellers gode intentioner og initiativer.
- Eksperimentet med initiativer peger på, at små adfærdsmændringer er realistiske at gennemføre i hverdagen. Især hvis det er enkelt og meningsfuldt både i forhold til undervisningen og for eleverne. Men ændringer i adfærd skaber også behov for nye typer af faciliteter som fx uderum til udskolingselever og alternative læringsrum. For at sikre fastholdelse på længere sigt vil det desuden være vigtigt at arbejde med bredere initiativer, der har tværgående fokus og ledelsesmæssig opbakning. At koble indeklima indsatsen med andre satsninger som bevægelse, udeliv, sundhed og det generelle arbejde med trivsel på skolen kan understøtte lærere og elevers ejerskab og styrke fastholdelsen af forandringer.



Rapporter udarbejdet i forbindelse med projektet

Rapporter

- WP 1.1. Oversigt over skolerenoveringer med fokus på at skabe bedre indeklima. Formidlingsrapport.
- WP 1.2. Kortlægning af kommunernes planer for opførelse af nye og renovering af eksisterende skolebygninger. Formidlingsrapport.
- WP 1.3. Status over skolers indeklima og omfanget af skolerenovering i udvalgte nabolande. Formidlingsrapport.
- WP 2.1. Identifikation af karakteristika for skolebygninger med dårlig og god luftkvalitet ud fra let tilgængelige data om skolebygningerne. Formidlingsrapport.
- WP 2.1. Identifikation af karakteristika for skolebygninger med dårlig og god luftkvalitet ud fra let tilgængelige data om skolebygningerne. Analyserapport.
- WP 2.2-2.3-2.4. Indeklimaet i de danske folkeskoler – skolerne, klasseværelserne og faglokaler. Formidlingsrapport.
- WP 3.1-3.2. Indeklima i skoler. Hvordan ser hverdagen ud? Formidlingsrapport.

Studenterrapporter

- Brøgger Larsen, Nanna. Andersen, Lærke. [2015]. Study of associations between building characteristics and the CO₂ concentration in Danish primary schools. Kandidatspeciale. 2015.
- Berg, Pernille. Dam-Krogh, Emilie Patricia. [2015]. Danish Primary School Buildings – A Survey of Associations between Building Characteristics, Energy Consumption, Indoor Climate and Renovation Initiatives. Kandidatspeciale. 2015.
- Hartmann, Anne. [2015]. The effect of different ventilation solutions on noise, exposures and concentration performance of pupils in classrooms in elementary school located in moderate climate. Kandidatspeciale. 2015.
- Rolle Hansen, Stine. [2016]. Evaluation of the Indoor Environment in seven Primary Schools. Kandidatspeciale. 2016.
- Kastrup, Frederik. Reindahl Rasmussen, Jeppe. [2016]. Vurdering af indeklima i klasseværelser. Bachelorprojekt. 2016.
- Han, Anja. Christiansen, Heidi. [2016]. Indeklimaundersøgelser i danske folkeskoler. Bachelorprojekt. 2016.
- Larsen, Chalotte. N. V. Andreasen, Maria. [2016]. Indoor Environment in Danish Primary Schools – A cross-sectional study on the association between indoor environment parameters and building characteristics. Kandidatspeciale. 2016.
- Malmkov, Lasse Sebastian. [2016]. Indoor Climate during the heating season and Renovation Initiatives in Danish Public Schools. Kandidatspeciale. 2016.
- Bozkurt, Izel. Vinter Jakobsen, Anja. [2017]. Seasonal Variation of the Indoor Environment in Danish Classrooms. Kandidatspeciale. 2017.
- Hejjo, Rihab. [2017]. Indeklima i skolers faglokaler. Bachelorprojekt. 2017.



Referencer til WP 1.3 og 1.4

Referencer til WP 1.3

- Finell E, Haverinen-Shaughnessy U, Tolvanen A, Laaksonen S, Karvonen S, Sund R, Saaristo V, Luopa P, Ståhl T, Putus T, Pekkanen J: The associations of indoor environment and psychosocial factors on the subjective evaluation of Indoor Air Quality among lower secondary school students: a multilevel analysis. *Indoor Air*, 2016.
- H.-J. Moriske and R. Szewzyk, "Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden," Umweltbundesamt, Berlin, 2008.
- H. Fromme, S. Dietrich, M. Kiranoglu, D. Twardella, R. Schierl, D. Nowak, et al., "Frische Luft an Bayerischen Schulen Untersuchungen zur Verbesserung der Luftqualität," 2006.
- Haverinen-Shaughnessy, U. et al., 2015. An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance. *Building and Environment*, 93[P1], pp.35-40.
- J.D. Sullivan, H. Osman, E.C.S., 2015. The Effect of Noise on the Relationship Between Auditory Working Memory and Comprehension in School-Age Children. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 58[June], pp.1043-1051.
- Kjeldsen, B.U., 2013. *Sammenhæng mellem luftkvalitet i grundskoler og elevers indlæring*. M.Sc. rapport, institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet [109 sider].

Referencer til WP 1.4

- Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D.J., Kochhara, N., Awbia, H.B., William, M.J., 2012. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, 48, pp.215-223.
- Barkmann, C., Wessolowski, N. & Schulte-Markwort, M., 2012. Applicability and efficacy of variable light in schools. *Physiology and Behavior*, 105[3], pp.621-627.
- Crukley, J. & Scollie, S.D., 2012. Children's speech recognition and loudness perception with the desired sensation level v5 Quiet and Noise prescriptions. *American Journal of Audiology*, 21[2], pp.149-162.
- Gaihre, S. et al., 2014. Classroom carbon dioxide concentration, school attendance, and educational attainment. *The Journal of school health*, 84[9], pp.569-74.
- Gao, J., Wargocki, P. & Wang, Y., 2014. Ventilation system type, classroom environmental quality and pupils' perceptions and symptoms. *Building and Environment*, 75, pp.46-57.
- De Giuli, V., Da Pos, O. & De Carli, M., 2012. Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary schools. *Building and Environment*, 56, pp.335-345.
- Mendell, M.J. et al., 2013. Association of classroom ventilation with reduced illness absence: A prospective study in California elementary schools. *Indoor Air*, 23[6], pp.515-528.
- Sleepers, P.J.C. et al., 2012. Lighting affects students' concentration positively: findings from three Dutch studies. *Lighting Research and Technology*, pp.1-17.
- Toftum, J. et al., 2015. Association between classroom ventilation mode and learning outcome in Danish schools. *Building and Environment*, 92, pp.494-503.
- Twardella, D. et al., 2012. Effect of classroom air quality on students' concentration: results of a cluster-randomized cross-over experimental study. *Indoor air*, 22[5], pp.378-87.
- Wargocki, P. & Wyon, D.P., 2007a. The Effects of Moderately Raised Classroom Temperatures and Classroom Ventilation Rate on the Performance of Schoolwork by Children [RP-1257]. *HVAC&R Research*, 13[2], pp.193-220.
- Wargocki, P. & Wyon, D.P., 2007b. The Effects of Outdoor Air Supply Rate and Supply Air Filter Condition in Classrooms on the Performance of Schoolwork by Children [RP-1257]. *HVAC&R Research*, 13[2], pp.165-191.

