

# Indeklima i skoler



Eksempelsamling 2021

# Indeklima i skoler

## Eksempelsamling 2021

Udgivelsesår: 2021

Faglig operatør: Smith Innovation  
Redaktør og tekst: asbjørnjensen  
Layout: Christel Franke  
Fotografer: Søren Svendsen [omslag, s. 48-49 og s. 80-81], Leif Tuxen [s. 8-9, og s. 32-33], Christian B / Yellows Collective [s. 16-17 og s. 64-65] og Claus Bjørn Larsen [s. 96-97]

Fotos:

Skolen i Bymidten, Helsingør:

Omslag, s. 48-49 og 80-81

Arresø Skole, Magleblæk, Frederiksværk:  
s. 8-9

Frederiksberg Skole, Aarhus:

s. 16-17 og 64-65

Mosedeskolen, Greve:

s. 32-33

Virring Skole, Skanderborg:

s. 96-97

Udgivet af: Realdania

Tryk: Dystan & Rosenberg

Oplag: 1.500

ISBN: 978-87-93360-30-3



**30** eksempler

**5** indeklima-  
kategorier

**22** kommuner

# Indholdsfortegnelse



## Beslutningsstøtte

---

- |       |   |       |  |       |  |
|-------|---|-------|--|-------|--|
| s. 20 | <b>Screening med indeklimateværktøjet giver effektiv kortlægning af indeklimaet</b><br>Silkeborg, Randers og Frederikshavn Kommuner | s. 24 | <b>Databaseret indeklimate og energiledelse sparer penge og dårlig luft</b><br>Sjælsøskolen, Rudersdal Kommune   | s. 28 | <b>Helhedsorienteret indeklimarenovering som systemleverance</b><br>Byens Skole, Valby i København |
| s. 22 | <b>Screening koblet til bygningsdrift sikrer prioritering af indeklimaet</b><br>Helsingør Kommune                                   | s. 26 | <b>Digital lokalemonitorering øger trivlsen og nedbringer CO<sub>2</sub></b><br>Frederiksbjerg, Læssøesgades og Skåde skoler samt Lisbjergskolen, Aarhus Kommune | s. 30 | <b>Indeklimaambassadører skal løse indeklimaufordringer lokalt</b><br>Aarhus Kommune               |



## Nudging

---

- |       |   |       |  |       |  |
|-------|---|-------|--|-------|--|
| s. 36 | <b>Sensorer giver data til indeklimateforsøg i naturfagsundervisningen</b><br>Skt. Knuds Skole, Aarhus Kommune                | s. 40 | <b>Undervisning og sensordata ændrer adfærd og nedbringer CO<sub>2</sub></b><br>Humblebæk Skole, Fredensborg Kommune, og Reerslev Skole, Høje-Taastrup Kommune | s. 44 | <b>Smartlamperne viser, hvornår indeklimaet beder om en udluftning</b><br>Taastrup Realskole, Taastrup |
| s. 38 | <b>En sky og undervisning sikrer god udluftning</b><br>Nørre Aaby Skole og Fjelsted Harndrup Børneunivers, Middelfart Kommune | s. 42 | <b>Viden og egne prototyper giver eleverne bedre indeklimaadfærd</b><br>Bankagerskolen, Horsens Kommune  | s. 46 | <b>Kunstig kanariefugl advarer om dårligt indeklima</b><br>Kokkedal Skole, Fredensborg Kommune         |



## Mindre projekter

---

- |       |   |       |  |       |  |
|-------|---|-------|--|-------|--|
| s. 52 | <b>Rum-i-rum med farver og akustikerelementer</b><br>Fløng Skole,<br>Høje-Taastrup Kommune      | s. 56 | <b>Plasticflasker blev til nye lofter og opslagstavler, der forbedrer akustikken</b><br>Skovlyskolen,<br>Rudersdal Kommune | s. 60 | <b>Solfilm sænker temperaturen bag store glaspartier</b><br>Herstedlund Skole og<br>Herstedøster Skole,<br>Albertslund Kommune |
| s. 54 | <b>Zoneopdelt rum mindsker støj og styrker læringen</b><br>St. Magleby Skole,<br>Dragør Kommune | s. 58 | <b>Ventilatorer i højloftede rum giver bedre temperatur hele året</b><br>Høng Skole,<br>Kalundborg Kommune                 | s. 62 | <b>Overfladecoating af gulve reducerer støv markant</b><br>Fjordskolen,<br>Aabenraa Kommune                                    |



## Renovering

---

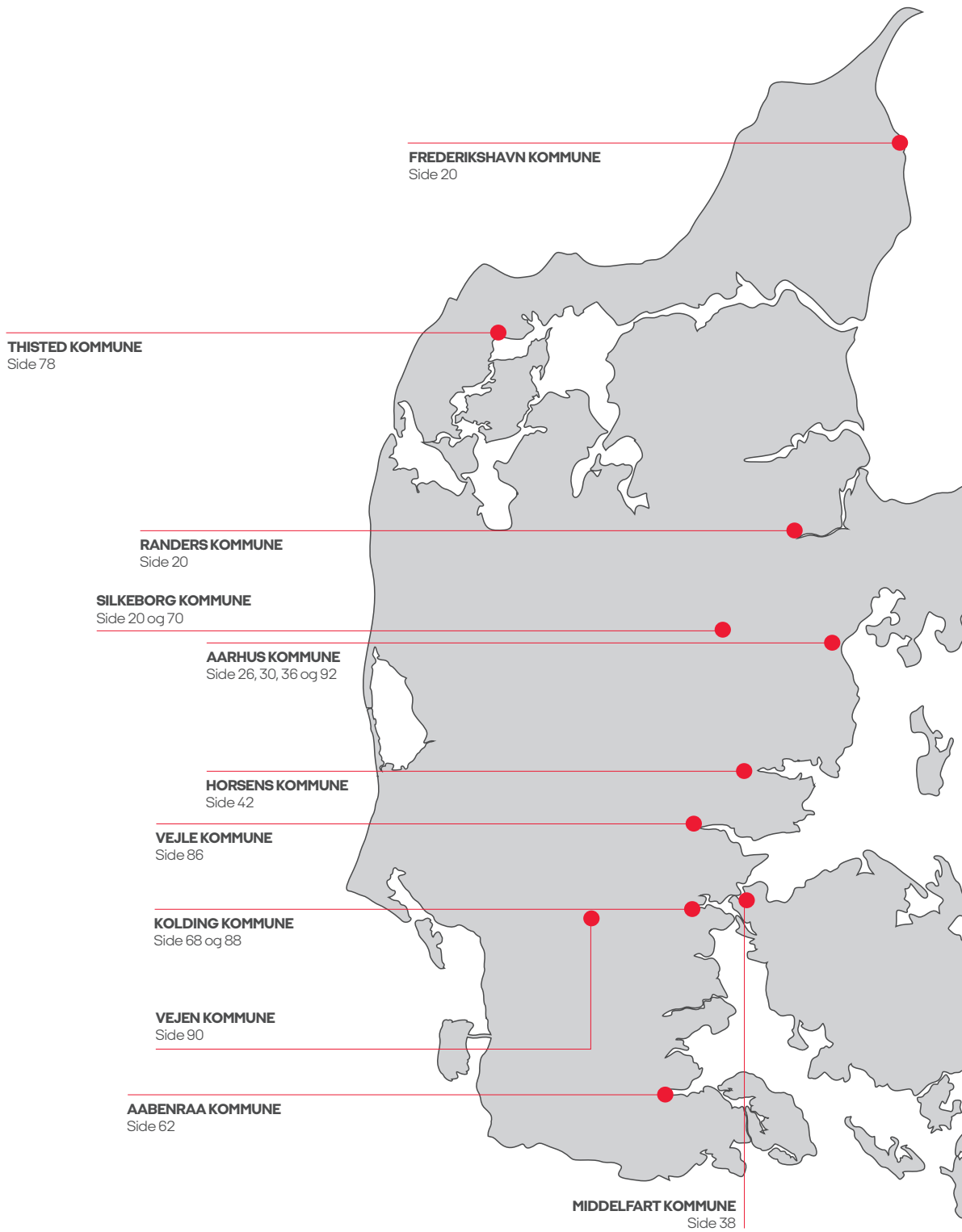
- |       |   |       |  |       |  |
|-------|---|-------|--|-------|--|
| s. 68 | <b>Helhedsorienteret indeklimarenovering med stor energibesparelse</b><br>Bakkeskolen, Kolding Kommune      | s. 72 | <b>Børnehuse integrerer SFO i akustisk dårlige fællesrum</b><br>Usserød Skole,<br>Hørsholm Kommune               | s. 76 | <b>Ovenlys løser indeklimaproblemer med frisk luft og dagslys</b><br>Endrupskolen og Langebjergskolen, Fredensborg Kommune |
| s. 70 | <b>Helhedsorienteret indeklimarenovering efter Silkeborg-modellen</b><br>Sølystskolen,<br>Silkeborg Kommune | s. 74 | <b>Skimmelsvamp i taget førte til en helt ny skole med godt læringsmiljø</b><br>Vemmedrupskolen,<br>Køge Kommune | s. 78 | <b>Adaptivt LED-lys optimerer læring og energiforbrug</b><br>Tilsted og Hanstholm Skoler,<br>Thisted Kommune               |

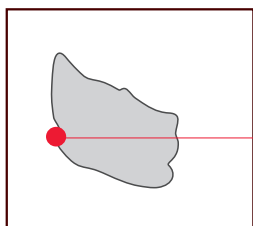


## Renovering gennem ventilation

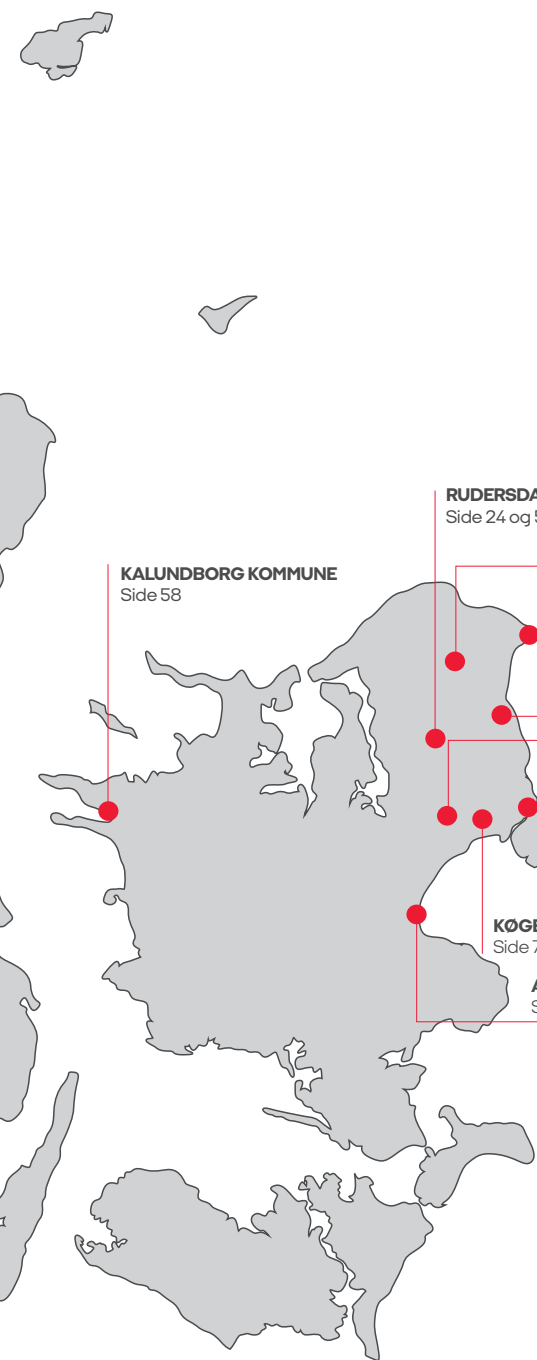
---

- |       |   |       |   |       |   |
|-------|---|-------|---|-------|---|
| s. 84 | <b>Diffus ventilation gennem akustiklofter sparer penge og plads</b><br>Skolen i Bymidten,<br>Helsingør Kommune | s. 88 | <b>Sektionsopdelt ventilationsanlæg integreret i gammel skolebygning</b><br>Sdr. Vang Skole,<br>Kolding Kommune | s. 92 | <b>Diskrete decentrale ventilationsanlæg med diffus indblæsning</b><br>Skåde Skole, Aarhus Kommune                      |
| s. 86 | <b>Skræddersyet skoleventilation med tekstilkanaler</b><br>Bredballe Privatskole,<br>Vejle                      | s. 90 | <b>Opgradering af eksisterende anlæg med tekstilkanaler uden trækgener</b><br>Østerbyskolen,<br>Vejle Kommune   | s. 94 | <b>Decentrale ventilationsanlæg fungerer som indeklimabyggeklodser</b><br>Søndermarkskolen,<br>Bornholms Regionskommune |





**BORNHOLMS REGIONSKOMMUNE**  
Side 94



**KALUNDBORG KOMMUNE**  
Side 58

**RUDERSDAL KOMMUNE**  
Side 24 og 56

**FREDENSBORG KOMMUNE**  
Side 40, 46 og 76

**HELSINGØR KOMMUNE**  
Side 22 og 84

**HØJETAASTRUP KOMMUNE**  
Side 40, 44 og 52

**HØRSHOLM KOMMUNE**  
Side 72

**KØBENHAVNS KOMMUNE**  
Side 28

**DRAGØR KOMMUNE**  
Side 54

**KØGE KOMMUNE**  
Side 74

**ALBERTSLUND KOMMUNE**  
Side 60









# Forord

Hvilke løsninger kan forbedre indeklimaet i landets skoler? Det er et centralt spørgsmål hos os i Realdania, da vi har fokus på at forbedre indeklimaet generelt, og særligt de steder, hvor børn færdes. Grundlaget for et sundt voksenliv skabes, når man er barn. Og netop derfor fortjener børns indeklime ekstra meget opmærksomhed.

Vores kampagne Skolernes indeklime har som mål at øge elevernes indlæring, trivsel og sundhed ved at forbedre indeklimaet i landets skoler.

Vi ved, at indeklimaet i landets skoler er udfordret af en ældre bygningsmasse med stort behov for renovering og vedligehold samt fysiske rammer, som ikke understøtter nutidens undervisningsformer. I størstedelen af skolerne i hele landet bliver grænseværdierne for især CO<sub>2</sub> og støj overskredet i store dele af undervisningstiden, ligesom der ofte er utilstrækkelig belysning og en utilfredsstillende temperatur.

Vi ved til gengæld også, at der er mange gode eksempler fra hele landet på, hvordan indeklimaet i skoler kan forbedres. I denne eksempelsamling har vi inviteret kommuner og skoler til at dele deres gode løsninger og tiltag, så de kan tjene som inspiration, der kan gavne både elever og lærere.

Eksemplerne i samlingen her viser, at der er mange veje til at skabe positiv forandring, alt efter behov og budget. Løsningerne spænder bredt: fra nudging og undervisningsforløb, der giver bedre indeklime, til større renoveringer, hvor flere indeklimeparametre sammentænkes – det giver bedre resultater, end hvis blot parametrene var forbedret enkeltvis.  $1 + 1 = 3$ .

Eksempelsamlingen her er den tredje publikation i serien "Indeklima i skoler". Serien består desuden af en statusrapport, der samler viden om indeklimaet, samt en håndbog til det strategiske arbejde med indeklime i skoler. Alle publikationer findes på Realdanias hjemmeside.

Tak til alle de medvirkende kommuner, skoler, rådgivere og producenter for at dele erfaringer og læringer.

God læselyst!

Anne Gade Iversen  
Projektleder, Realdania

# Indeklimaet kræver handling

Af Mikkel Thomassen,  
partner i Smith Innovation

## Tænk jer om, inden I vælger

Meget at vælge imellem. Sådan kan man måske bedst sammenfatte indholdet og budskabet i denne eksempelsamling. Løsninger til at forbedre indeklimaet i landets skoler er i rivende udvikling. Og næsten uanset brugernes behov og bygningernes tilstand findes der en løsning, der passer.

Variationen rummer et løfte: I kan finde en brugbar løsning! Men rummer også en forpligtigelse: Tænk jer om, inden I vælger!

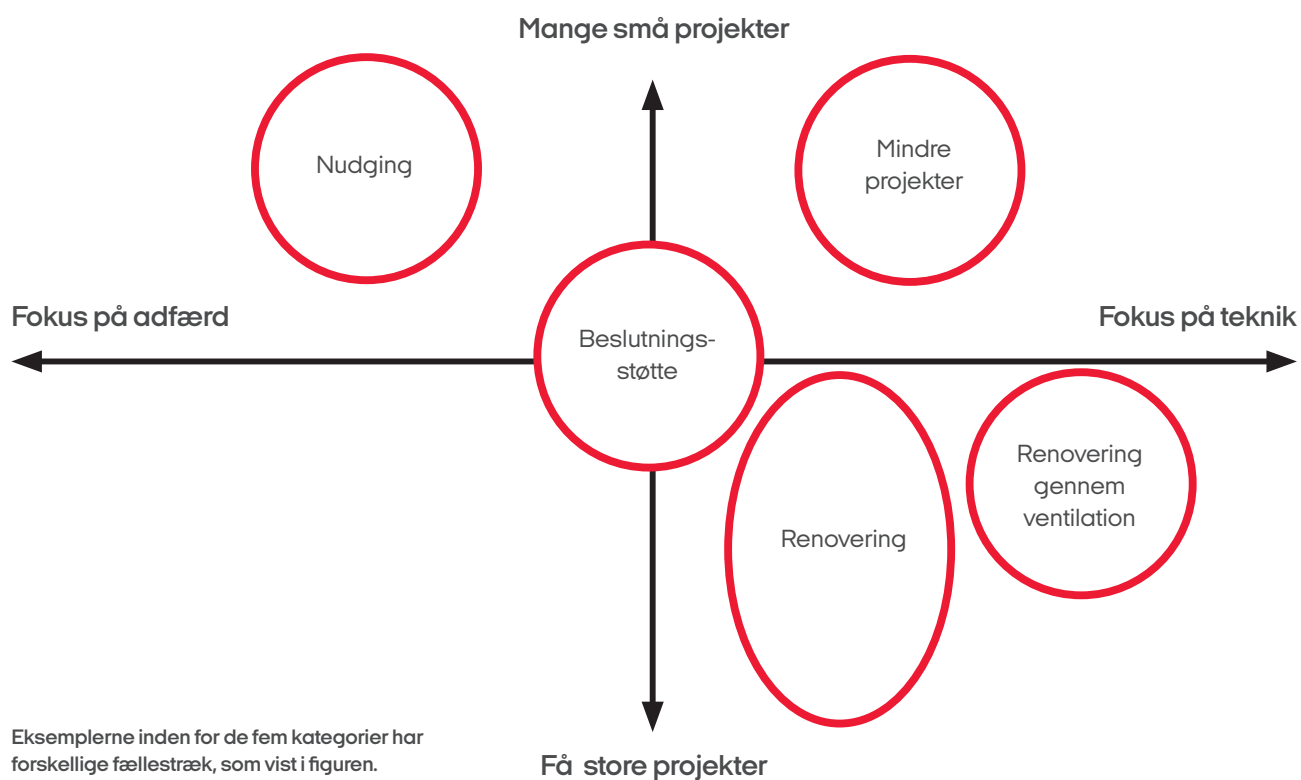
I håndbogen Indeklima i skoler viste vi, hvordan man som kommune kan arbejde strategisk med at nå frem til og forankre konkrete indeklimaindsatser. I denne eksempelsamling går vi spadestikket dybere og viser forskelligheden i disse konkrete indsatser. Håndbogen og denne eksempelsamling kan derfor med fordel læses sammen.

## Brug forskellige tilgange

Skoler og kommuner er ikke ens. Og det skal løsningerne heller ikke være. Vi er med denne eksempelsamling bevidst gået efter at vise løsningstilgange, der passer til forskellige økonomiske, pædagogiske og tekniske udgangspunkter.

Samlingen rummer både eksempler inden for veletablerede løsningstilgange, eksempelvis ventilationsprodukter, og en række nye redskaber i værktøjskassen, eksempelvis nudging.

Eksempelsamlingens hovedkategorier – beslutningsstøtte, nudging, mindre projekter, renovering og renovering gennem ventilation – svarer til forskellige kommunale tilgange til, hvordan, og af hvem, skolernes indeklima skal forbedres.



Eksemplerne inden for de fem kategorier har forskellige fællestræk, som vist i figuren.

Som det fremgår af figuren, har kommunerne forskellige tilgange til følgende to strategiske spørgsmål:

- **Skal forbedringen ske gennem mange små projekter eller få store?** Nogle kommuner vælger at fordele investeringerne løbende ud over mange skoler; andre har øget vægt på færre, men større løft gennem helhedsrenovering.
- **Har man fokus på adfærd eller det tekniske?** Hos nogle kommuner tager indeklimalindsatsen afsæt i skolens brugere og er i høj grad drevet af pædagogiske målsætninger og inddragelse; andre tager mere afsæt i bygningerne og anlægger en mere teknisk tilgang til at forbedre indeklimaet.

Tilgangene rummer hver især styrker og svagheder. De viser, at uanset hvilket udgangspunkt man har som skole og kommune, findes der løsninger. Budskabet herfra er, at forskellige tilgange med fordel kan kombineres over tid, så både skolens fysiske rammer og den daglige adfærd forbedres og hænger sammen.

Valget af løsning er også ofte et valg af, hvem der får mulighed for at forbedre indeklimaet. Nudgingredskaber involverer, og er ofte drevet af, lærere og elever (med mulig kobling til driften). Mindre projekter kan gennemføres løbende på skolen og finansieres over driften og har derfor det tekniske personale og driftsafdelingen som hovedaktører. Større renoveringsprojekter, herunder ventilationsløsninger, er forankret i kommunernes byggetekniske funktioner.

Et andet vigtigt budskab er derfor at huske at give plads til forskellige aktører. Det er med til at holde fokus på både de tekniske og de pædagogiske faktorer i indeklimaarbejdet – og det forankrer indsatsen bredere i kommunen.

## Vælg klogt, og få mest muligt ud af arbejdet

Eksemplerne i samlingen her omhandler i sagens natur indeklimalma. Men de rummer også bud på, hvordan en række øvrige hensyn kan tilgodeses. Og dermed, hvordan forhindringer for at forbedre indeklimaet kan fjernes. Ved at vælge klogt kan man som kommune:

- **Få styr på finansieringen.** Eksempelvis ved at fokusere på nålestiksoperationer, der løser ét problem ad gangen, og som gennem mange små skridt løfter indeklimaet. Eller ved at samtænke indeklimalma med besparelser på drifts- og energibudgetterne. Indeklimaindsatser, der aktiverer uudnyttede arealer, er også en effektiv måde at få budgettet til at hænge sammen på.
- **Få styr på overblikket.** Eksempelvis via løsninger, der kobler data om indeklimalma og adfærd op på driftssystemerne. Eller løsninger, der gør det nemt og billigt at registrere, hvordan indeklimaet er i dag, og dermed, hvor der er særligt behov for forbedringer.
- **Få styr på inddragelsen og den daglige adfærd.** Eksempelvis ved at vælge renoveringsløsninger, hvor det fysiske indeklimalma understøtter de pædagogiske målsætninger. Eller løsninger, hvor elever har mulighed for at forstå og påvirke indeklimaet både i undervisningen og frikvarteret.

Indeklima er vigtigt. Både direkte for elevernes og personalets trivsel og som en løftestang til at udvikle skolerne, så de passer til nutidens behov og pædagogik. Mulighederne er mange. Valget er jeres.

# Hvad er godt indeklima?

Der er fire traditionelle parametre i et godt indeklima: luft, lyd, lys og temperatur. Lokalet er det femte forhold, som har betydning for vores oplevelse af indeklimaet. Det handler dels om, hvorvidt vi befinder os godt i lokalet, og dels om, hvorvidt lokalet understøtter de aktiviteter, der foregår i det.

De 30 eksempler, der bliver beskrevet over de næste sider, løfter på hver sin måde indeklimaet i mange af landets skoler. Nogle fokuserer primært på ét parameter eller er begyndt som et mindre pilotprojekt. Andre indgår som del af en større ombygning af hele skolen. Stort eller småt; alle har de det tilfælles, at både eleverne og de ansatte oplever forbedret indeklima og dermed også forbedret indlæring og trivsel.

Uanset fokus og ambitionsniveau er det helt afgørende at indsamle viden om – eller kortlægge – indeklimaets tilstand på skolerne for at kunne prioritere indsatsen bedst muligt.

Selvom frisk luft ofte er det parameter, der er mest i fokus, er der mange fordele for både indeklimaet og økonomien, hvis forbedringer på flere parametre bliver tænkt sammen. Det indebærer både at forholde sig til alle fire indeklimaparametre og til at arbejde med indretningen og funktionaliteten af lokalet, i forhold til hvad, det skal bruges til.



## LUFT

- CO<sub>2</sub>-niveauet i rummet er på et lavt niveau.
- Partikelforurening er minimeret.
- Mængderne af afdampede kemiske stoffer til luften og kemikalier bundet til støvpartikler er minimeret.
- Luften er fri for svamp.



## LYD

- Efterklangstiden er tilpasset rummets funktion.
- Der er lavt maksimalt lydtryksniveau.
- Der er et lavt støjniveau udefra og fra installationer.



## LYS

- Der er tilstrækkeligt dagslys.
- Der er ensartet lysniveau uden blænding.
- Der er et godt kunstlys, som giver generel belysning og koncentrationskabende arbejdslys af god kvalitet.
- Der er taget hensyn til lysbehov ved placering af aktiviteter.



## TEMPERATUR OG RELATIV LUFTFUGTIGHED

- Temperatur og luftfugtighed i rummet er på et behageligt niveau til stillesiddende aktiviteter.
- Vinduer og facade giver ikke anledning til kuldnedfald eller kolde overflader. Samtidig lukker vinduerne tæt, og ventilationen er udformet, så generende træk ikke opstår.
- Der er mulighed for solafskærmning.



## LOKALE

- Materialer og overflader er hensigtsmæssige og indbydende.
- Lokalet virker velholdt, rent og ryddeligt.
- Lokalet er stort og fleksibelt nok til antallet af brugere.
- Inventaret understøtter de pædagogiske målsætninger.
- Lokalet er placeret hensigtsmæssigt i forhold til øvrige faciliteter.
- For alle elementer skal der tages højde for, at lokalerne skal fungere både med få og relativt mange personer til stede.

Kilde: Beskrivelserne af parametrene luft, lyd, lys og temperatur er baseret på "Sådan skaber vi bedre indeklima i folkeskolerne" fra Frinet. Beskrivelsen af lokale er baseret på erfaringer fra de 12 kommuner, der i et pilotprojekt har arbejdet med strategiske indeklimaplaner.

# Indeklimaets tilstand

Indeklimaet har det dårligt på de danske skoler. I størstedelen af klasseværelserne i hele landet bliver grænseværdierne for især CO<sub>2</sub> og støj overskredet i store dele af undervisningstiden, ligesom der ofte er utilstrækkelig belysning.

Dårligt indeklima påvirker børns indlæring og trivsel, hvilket fremgår af statusrapporten Indeklima i skoler fra 2017, foretaget for Realdania af Center for Indeklima og Energi ved Danmarks Tekniske Universitet og Alexandra Institutet.

Et usundt indeklima resulterer i tabt udbytte af undervisningen, ligesom astma og allergi er blandt de hyppigste fraværsårsager i skolen.

Undersøgelser viser også, at børn klarer sig 9 pct. dårligere i tests, hvis de opholder sig i lokaler med dårligt indeklima. Det svarer populært sagt til, at elever på skoler med rigtig dårligt indeklima kan være et år bagud, når de når 9. klasse. Dertil kommer de sundhedsmæssige effekter på helbred og generel trivsel hos børn og voksne, som både påvirker vores samfund her og nu og samfundsøkonomien på længere sigt.



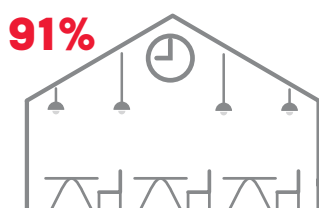
> 1/2 mio. børn går i folkeskolen.<sup>1</sup>



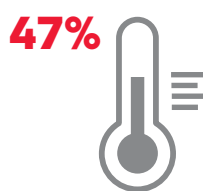
9% dårligere testresultater ved dårligt indeklima.<sup>2</sup>



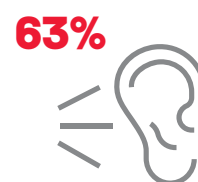
90% af landets folkeskoler er bygget før 1995, hvor der ingen krav var om ventilation. [Base: 1.289 skoler]<sup>3</sup>



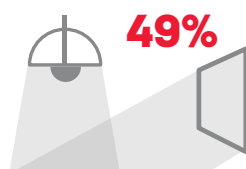
91% af klasseværelsernes CO<sub>2</sub>-niveau overstiger dagligt grænseværdien på 1.000 ppm. [Base: 245 klasser]<sup>3</sup>



I 47% af brugstiden i klasseværelserne overstiger CO<sub>2</sub>-niveauet grænseværdien på 1.000 ppm. [Base: 245 klasser]<sup>3</sup>



63% af brugstiden opholder eleverne sig i et lydtrykniveau over 63 dB. [Base: 98 klasser]<sup>3</sup>



49% af klasseværelserne har i brugstiden et belysningsniveau lavere end grænseværdien på 300 lux. [Base: 74 klasser]<sup>3</sup>

1: Danmarks Statistik, 2019  
2: Indeklima i skoler, DTU, 2011  
3: Indeklima i skoler, Realdania, 2017









# Beslutningsstøtte

Et godt indeklima er ikke kun afhængigt af luftstrømme, men også af data- og beslutningsstrømme. Eksemplerne i afsnittet her er derfor procesorienterede og viser forskellige screeningsværktøjer, integrerede driftssystemer og måder at styre projekter på. Fælles for dem er, at de fungerer som beslutningsstøtte for det, der sker før og efter gennemførelsen af de tekniske løsninger og aktiviteter.

Inden projektet gennemføres, kan en visuel screening være et relativt enkelt værktøj til at kortlægge den nuværende indeklimasituation. Udbyttet er et værdifuldt overblik, som kan være med til at sikre politisk opbakning, midler og prioritering af aktiviteter til at forbedre indeklimaet.

Når data om indeklimaet bliver integreret med eksisterende systemer til bygningsstyring, får de driftsansvarlige flere muligheder for at styre bygningerne og optimere indeklima og energiforbrug. Samtidig. Tilføjes der derudover information om lokalernes indretning og egnethed til forskellige undervisningstyper, kan det enkelte rum også blive matchet med aktivitet – og dermed sikre bedre undervisning på de samme arealer.

Selv med den bedste forberedelse er det en kompleks opgave at styre et renoveringsprojekt og vælge den rette indeklimaløsning. En samlet systemleverance kan være en måde at finde tryk på, hvis den samme leverandør tager det fulde ansvar: på tværs af byggeriets mange fag og komponenter – fra beregning til udførelse og med en garanti for driften og de forudsatte forbedringer af indeklimaet.

Personer, der bliver uddannet til at løse konkrete indeklimaproblemer ude i skolerne, kan også være med til at sikre gode beslutninger og bygge bro mellem det pædagogiske og det tekniske.

# Screening med Indeklimaværktøjet giver effektiv kortlægning af indeklimaet



## 2019

### Opnået resultat:

- 150 skoler screenet på et år.
- 3-5 minutter pr. klasselokale.
- 90 pct. nøjagtighed

Videreudvikles af Transition, Dansk Center for Undervisningsmiljø (DCUM), Aalborg Universitet, Aarhus Universitet og Danmarks Tekniske Universitet. Gøres tilgængeligt for skoler i Masseeksperimentet 2021.

### Finansiering:

Egenfinansiering: 750.000 kr. Realdania har som en del af kampagnen Skolernes indeklima støttet med 750.000 kr. til udvikling af kommunens strategiske indeklimaplan, hvori udviklingen af prototypen på screeningsværktøjet indgår.

### Partnere:

Thomas Kjems Lyngvad, Silkeborg Kommune  
 Alexandar Laumann, Randers Kommune  
 Bo Allan Niebuhr, Frederikshavn Kommune  
 Transition ApS [rådgiver]

### Kontakt:

Rasmus Martens Jakobsen  
 rasmus@transition.nu

### Parametre



Indeklimaværktøjet tilbyder en simpel og omkostningseffektiv måde at identificere indeklimaproblemerne i en kommunes folkeskoler på. Helt ned på lokaleniveau.

Svar på 45 spørgsmål om et klasselokales visuelle bygningstilstand, og få en vurdering af det nuværende indeklima samt en pris på de nødvendige forbedringer. Det er essensen af en screening med det digitale indeklimaværktøj. Spørgsmålene afklarer atmosfærisk indeklima, akustisk indeklima, belysning og termisk indeklima.

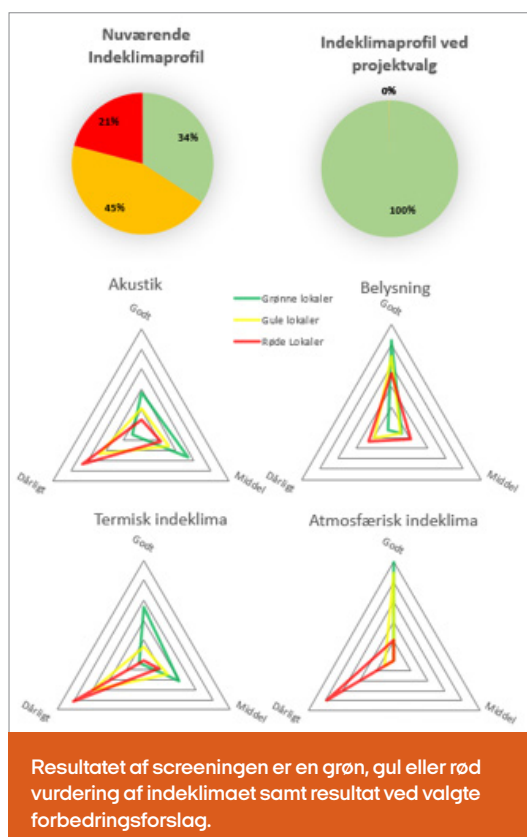
Værktøjets styrke er, at det er omkostnings-effektivt og giver et godt overblik over den aktuelle indeklimatilstand samt en idé om investeringsbehovet. Prototypen på indeklimaværktøjet er oprindelig udviklet i Silkeborg og senere sammen med Randers og Frederikshavn Kommuner. Værktøjet bliver gjort frit tilgængeligt for skoler i Masseeksperimentet 2021.

### Eksempelværdi

Til dato er der screenet flere end 150 skoler og 5.500 klasselokaler i syv kommuner. Værktøjet er tidsbesparende, omkostningseffektivt og giver en god vurdering af de generelle indeklimaforhold.

Projektet illustrerer, hvordan en kommune relativt enkelt kan få overblik over indeklimaets tilstand på skolerne som grundlag for både politiske beslutninger og administrative prioriteringer.

Værktøjet præsenterer kun tekniske standardløsninger og fokuserer ikke på f.eks. rumlige løsninger, der også bidrager til at forbedre indeklima og læringsmiljø, eller atypiske lokaler. Det vil derfor kræve andre typer af detailmålinger.



## Hvad er der gjort i eksemplet?

Indeklimaværktøjet er oprindeligt udviklet i forbindelse med Silkeborg Kommunes arbejde med en strategisk indeklimaplan. Der var stort behov for på en enkel måde at klarlægge den aktuelle indeklimatilstand på skolerne med afsæt i en simpel lokalescreening – uden opstilling af sensorer og tidskrævende tekniske målinger.

### Teknisk løsning

Værktøjet kombinerer en screening af lokalernes indeklimaforhold med et spørgeskema om brugernes oplevelse af indeklimaet. Via et beregningsmodul udviklet af rådgiverne bliver indtastningerne vægtet i forhold til de valgte indeklimaparametre, og der tildeles point for indeklimaet.

På baggrund af Silkeborg Kommunes erfaringer med tidligere indeklimaoptimeringer fik værktøjet tilført økonomiske nøgletal for flere typer af standardløsninger, f.eks. akustikloft og mekanisk ventilation. Det gør det muligt at estimere omkostningerne forbundet med at installere dem i lokalet.

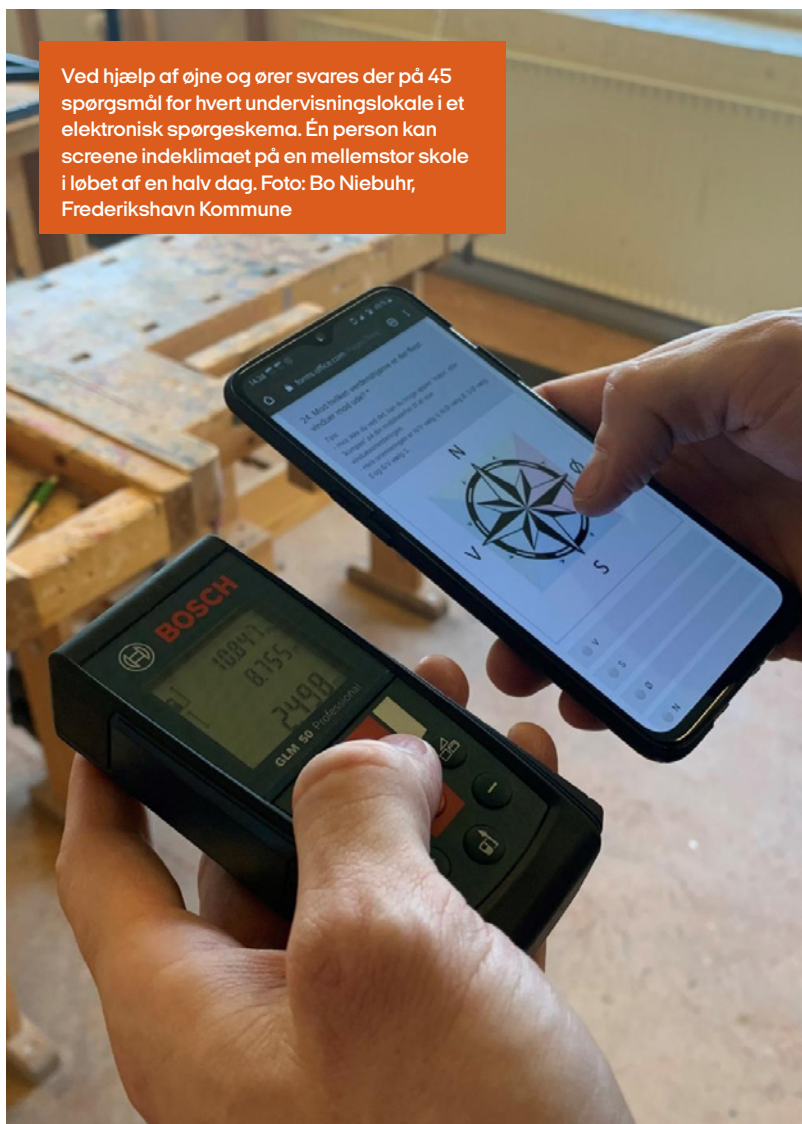
Outputtet er en grøn, gul eller rød vurdering af det nuværende indeklima, inklusive forslag til og pris på, hvad der evt. skal til for at gøre vurderingen grøn, dvs. godt indeklima. Resultaterne kan vises både på lokaleniveau, på skoleniveau og for hele kommunen.

Præcisionen af værktøjet blev testet ved at foretage tekniske målinger i en række udvalgte klasselokaler og lade indeklimaekspertter vurdere dem på den samme rød-gul-grøn-skala som værktøjet. Præcisionen var 90 pct.

### Organisatorisk effekt

Prototypen er udviklet af Silkeborg Kommune med rådgiverne Transition ApS – og videreudviklet i samarbejde med Randers Kommune og Frederikshavn Kommune. Alle tre kommuner har været en del af et pilotprojekt i forbindelse med Realdanias kampagne Skolernes indeklima.

Ved hjælp af øjne og ører svares der på 45 spørgsmål for hvert undervisningslokale i et elektronisk spørgeskema. Én person kan screene indeklimaet på en mellemstor skole i løbet af en halv dag. Foto: Bo Niebuhr, Frederikshavn Kommune



I udviklingsprocessen er spørgeskemaet blevet optimeret ved at lade 9. klasse-elever, arbejdsmiljørepræsentanten, teknisk servicepersonale samt ingeniører screene de samme lokaler. Efter at have tilpasset spørgsmålsformuleringer og metodik til introduktion af værktøjet kan screening nu foretages af alle med enslydende resultater.

Afgangselever på en skole i Silkeborg overværede en times oplæg om bygningsfysik og screenede herefter hele skolen med samme resultatet som ingeniørerne. Det viste, at værktøjet også kan bruges som en del af en pædagogisk læringsproces, hvilket bidrager til at forankre viden om det gode indeklima hos både elever og personale.

# Screening koblet til bygningsdrift sikrer prioritering af indeklimaet



2019-2020

## Opnået resultat:

- Alle kommunens skoler screenet.
- Integreret med skolens driftssystem.
- En hel skole screenes på én dag.
- Politisk prioritering af indeklimaprojekter.

## Finansiering:

Kortlægning af tre skoler er en del af kommunens strategiske indeklimaplan, finansieret af Realdania som del af kampagnen Skolernes indeklima. Egenfinansiering af efterfølgende screening af 18 skoler samt behandling af data: ca. 300.000 kr.

## Partnere:

Helsingør Kommune  
Teknologisk Institut [rådgiver]

## Kontakt:

Martha Katrine Sørensen  
mks@teknologisk.dk

## Parametre



Screeningen viser indeklimatilstanden og forbedringspotentialet på lokaleniveau og på skoleniveau. Det styrker prioriteringen af midler til indeklimaforbedringer.

Udviklingen af et enkelt screeningsværktøj har vist sig effektivt til at give et overordnet billede af indeklimatilstanden på skolerne i kommunen.

Systemet er udviklet i samarbejde med de bygningsansvarlige/driften og koblet til kommunens eksisterende styringsværktøjer. På den måde er indeklimaet blevet en integreret del af arbejdet med drift, vedligehold og renovering. Helt fra skoleniveau over forvaltning til politisk niveau.

Det er forventningen, at kommunen får mere indeklima for pengene i den løbende drift og vedligehold, fordi det er blevet et styringsparameter. De nye data giver også de driftsansvarlige bedre muligheder for at løfte indeklimaet, når de indstiller til f.eks. større renoveringsprojekter. Konkret er der politisk bevilget midler til forbedret ventilation, og dermed luftkvalitet, på foreløbig én skole.

## Eksempelværdi

Screeningsværktøjet er tidsbesparende, omkostningseffektivt og giver en god vurdering af de generelle indeklimaforhold. Eksemplet illustrerer, hvordan en kommune relativt enkelt kan få overblik over indeklimaets tilstand på skolerne som grundlag for både politiske beslutninger og administrative prioriteringer.

Dette værktøj er udviklet specifikt til de bygnings- og driftsansvarlige og kan integreres i det eksisterende bygningsstyringsystem. På den måde bliver det gode indeklima indbygget som en del af målene for den løbende drift og udvikling af skolebygningerne. Er ønsket også at forbedre indeklimaet gennem rumlige eller pædagogiske tiltag, vil det kræve en indsats ud over screeningen.



På Nordvestskolen er der efter screening blevet bevilget midler til renovering og forbedret ventilation. Foto: Helsingør Kommune

## Hvad er der gjort i eksemplet?

Via midler fra Realdanias kampagne Skolernes indeklimate blev indeklimaet kortlagt detaljeret i udvalgte lokaler på tre skoler i Helsingør Kommune. Kortlægningen pegede på et behov for mere viden og større overblik for at kunne prioritere indsatsen bedre på alle kommunens skoler. I samarbejde med Teknologisk Institut og kommunens driftsfolk er der udviklet et enkelt screeningsværktøj, som er koblet direkte til skolernes facility management-system.

### Organisatorisk effekt

Deltagelsen i pilotprojektet har øget det politiske fokus på indeklimaet i kommunen. Fordi værktøjet er omkostningseffektivt, har det været muligt at screene alle kommunens skoler. Det giver et samlet overblik og dermed bedre grundlag for at prioritere midlerne. Konkret har screeningerne også ført til bevillinger til at forbedre indeklimaet på foreløbig en enkelt skole i kommunen.

Den organisatoriske effekt går helt ned på skoleniveau. Dels fordi screeningen er forankret i de bygningsansvarliges daglige bygningsstyringsværktøjer, så godt indeklimate nu indgår som et styringsparameter. Dels, og især, fordi den indledende screening bliver foretaget af rådgiveren i samarbejde med driftspersonalet, der bliver trænet i systemet og samtidig overtager ansvaret for den efterfølgende opdatering. Det er forventningen, at kommunen vil få mere indeklimate for pengene, fordi indeklimatepotentialerne bliver en integreret del af det løbende arbejde med vedligehold og renovering.

### Teknisk løsning

Screeningværktøjet bygger på visuelle registreringer af udvalgte fysiske forhold i og omkring lokalene. Hvert lokale får tildelt en klassificering inden for de fire områder luft, lyd, lys og temperatur samt en klassificering af det samlede indeklimate. Resultaterne samles på skole- og bygningsniveau. Fordi værktøjet kan integreres i skolernes facility management-system (DaluxFM), bliver indeklimaet

Rum

Akustik indeklimate

Absorption, loft	3. Over halvdelen	Trafikstøj	1. Intet
Absorption, an...	1. Intet	Støj udefra	3. Moderat
Refl. overflader	2. Under halvdelen	Akustisk fleksi...	Nej
Støj fra bygning	3. Over halvdelen	Akustisk Fleksibilit...	

Visuelt indeklimate

Belysningsstyr...	1. Tilstrækkelig	Solafskærmn., ...	Nej
Regelmæssigh...	2. U hensigtsmæssig	Solafskærmn., ...	3. Solafskærmning
Blænding	1. Intet	Solafskærmn., ...	Nej
Dagslys	2. Normale vinduer	Visuel fleksibilit...	Nej
Dagslys, tillæg	1. Ovenlys	Visuel Fleksibilitet ...	
Solafskærmn., ...	1. Intet		

Atmosfærisk indeklimate

Ventilation	3. Mekanisk, udsugning	Rengøringsven...	Nej
Lugtgener	Nej	Atmosfærisk fl...	Nej
Lugtgener tekst		Atmosfærisk Fleks...	
Rengøring	Ja	Ventilation, till...	Nej
Rengøringsven...	Ja		

Termisk indeklimate

Utætheder	1. Tætte vinduer	Overtemperatur	Nej
Udeluftventiler	3. Nej	Overtemp. rer	Nej
K...			Nej
K...			Nej
L...			bilit...

Screeningen er integreret med skolens bygningsstyringssystem. Driftspersonalet kan se indeklimatepotentialer og selv opdatere data. Screenshot: Martha Katrine Sørensen

Gem Annuller

en synlig del af arbejdet med løbende drift, vedligehold og renovering.

Processen for screening:

1. Først indhentes materiale om skolen, f.eks. tegninger, isoleringsstandard og evt. udtalelser om indeklimateforhold fra brugere og drift.
2. Skolens bygningsansvarlige opretter de relevante parametre i skolens facility management-system.
3. Rådgiveren gennemgår skolen sammen med en driftsmedarbejder, og registreringer bliver noteret i skolens facility management-system.
4. Samme dag drøfter rådgiveren skolens konkrete indeklimateforhold med driftsfolkene, og efter en kort databehandling modtager skolen resultatet fra rådgiveren, herunder potentialer for at forbedre indeklimate inden for hvert af parametrene.

# Databaseret indeklima- og energiledelse sparer penge og dårlig luft



2019 →

## Forventet resultat:

- Indeklima aktivt integreret i bygningsstyring.
- Visualisering af indeklimatilstand i lokaler.
- 15-40 pct. energibesparelse fra optimeret brug af ventilation.

## Finansiering:

Egenfinansiering: 272.400 kr. for Sjælsøskolen med forventet tilbagebetalingstid på 3,5 år [takket være energibesparelser]. Udbygges i de kommende år til flere skoler.

## Partnere:

Rudersdal Kommune (Skoleområdet samt Teknik & Miljø)  
IQ Energy Nordic (Leverandør)  
Vitani (Leverandør)  
Climify, DTU (Leverandør)

## Kontakt:

Søren Hansen  
soha@rudersdal.dk

Nye data og optimering på det eksisterende ventilationsanlæg fører både til bedre indeklima og betydelige energibesparelser.

Ved at opsætte 50 indeklimasensorer på Sjælsøskolen og få dataudvekslingen koblet sammen med drifts- og energiledelsessystemerne, er det nu muligt at optimere ventilationsanlæggets driftsmønster og foretage helt lokale justeringer efter behov. Det sikrer, at der er et godt indeklima, når der er behov for det – og at ventilationsanlægget går ned i ydelse/energiforbrug, når der ikke er.

Databaseret indeklima- og energiledelse har styrket det tværfaglige samarbejde, både på tværs af kommunens forvaltninger og mellem teknikere, brugere og leverandører. God luft og godt indeklima er blevet integreret som ligeværdige parametre i forhold til energibesparelser. Og resultaterne er så gode, at projektet vil blive udbredt til flere skoler og en stor del af kommunens bygninger i de kommende år.



De 50 indeklimasensorer på Sjælsøskolen udveksler data med energiledelsessystemerne. Det gør det muligt at optimere på indeklima og energiforbrug samtidig. Foto: Rudersdal Kommune

## Eksempelværdi

Projektet viser, hvordan indeklimaet kan forbedres alene gennem bedre dataindsamling og styring. Integration af data fra indeklimasensorer i eksisterende driftssystemer gør indeklimaet til et ligeværdigt optimeringsparameter i forhold til energibesparelser.

Eksemplet har organisatorisk effekt, fordi det på mange niveauer integrerer forskellige systemer og fordrer tværfagligt samarbejde. I det omfang, der også er behov for at forbedre andre af indeklimaets parametre, herunder lokalernes indretning, vil det være nødvendigt at supplere med andre former for screening eller gennemgang, når der tages stilling til renoveringsbehov.

## Parametre





## Hvad er der gjort i eksemplet?

Rudersdal Kommune arbejder med at øge og optimere kvaliteten i bygningerne. Med særligt fokus på indeklima og potentialet for at optimere ventilationsanlæggenes energimæssige performance.

### Organisatorisk effekt

Energiledelsesprojektet bygger bro over indeklimaets udfordringer: Fra Skoleområdet fokus på læring og trivsel [hvor godt indeklima spiller en stor rolle] til Teknik & Miljø, der har fokus på effektiv og energibesparende bygningsdrift. På Sjælsøskolen er de to parametre blevet koblet dynamisk sammen via indeklimasensorer og dataudveksling mellem de nuværende bygningssystemer. Skolebygningen bliver "smartere", og de ansvarlige får både mulighed for at optimere inden for rammerne samt bedre overblik over, hvor det vil være nødvendigt f.eks. at renovere for at forbedre indeklimaet.

Samspelet og den fri dataudveksling mellem de forskellige driftssystemer og leverandører er en anden vigtig del af projektet. Og den visuelle fremstilling af sensor-data på plantegninger over lokalerne gavner dialogen mellem teknikere, ejendomssejer og ejendomsbruger. Det styrker det tværfaglige samarbejde.

I første omgang er det primært bygningens tekniske serviceleder, der justerer anlæggene i forhold til brugeradfærden. På sigt er det ambitionen at involvere lokalebrugerne aktivt, så de via data/sensorer også selv kan bidrage til det gode indeklima.

### Teknisk løsning

Hele ideen er at skabe sammenhæng mellem de eksisterende energistyringssystemer på skolerne og sensorer, der måler indeklimaet i de forskellige lokaler, samt at få data udlæst i realtid for at kunne optimere systemerne, i forhold til hvornår luften er dårlig i bestemte lokaler.

50 indeklimasensorer er installeret i Sjælsøskolens lokaler. De logger løbende temperatur, luftfugtighed, CO<sub>2</sub>-niveau m.v. Sensorerne bliver koblet sammen med energiforbruget [og dermed luftskiftet] på ventilationsanlæggenes. Det er nyskabende i projektet, at flere af kommunens driftssystemer bliver koblet sammen, så de kan udveksle data:



- EMS-systemet Eniscope er et realtidsenergistyrsystem.
- Data fra energistyringssystemet og indeklimasensorerne udveksles med Omega EMS fra Vitani, som er Rudersdal Kommunes eksisterende energisystem, og
- Climify, som er en nyudviklet software fra DTU, der gør det muligt at illustrere energi- og indeklimadata direkte på skolens plantegninger. Se illustration.

Via dataanalyse kan kritiske områder og tidspunkter blive lokaliseret – både i forhold til indeklima og energiforbrug. Det er forventningen, at Climify vil kunne vise bygningens samlede tilstand over en given periode. Ud over at optimere ventilationsanlæggenes driftsmønster kan den tekniske serviceleder også se, hvor der i særlige situationer er brug for at ændre kapaciteten. F.eks. for at kompensere for høje CO<sub>2</sub>-niveauer eller temperaturer i bestemte lokaler.

På grund af COVID-19-pandemien har analyserne endnu ikke kunnet færdiggøres. Men det er forventningen, at både det målte og det oplevede indeklima bliver forbedret, samtidig med at energiforbruget på ventilationsanlæggenes kan nedbringes med 15-40 pct. Databaseret energiledelse vil blive udbredt til en lang række af kommunens øvrige skoler og bygninger i de kommende år.

# Digital lokalemonitorering øger trivslen og nedbringer CO<sub>2</sub>



## 2019-2022

### Forventet resultat:

- Nedbringer luftens indhold af CO<sub>2</sub>.
- Integration af rumlige, pædagogiske og tekniske elementer.
- Foreslår forbedringer og måler på indeklimateffekten af dem.
- Øger trivsel og understøtter differentieret undervisning.

### Finansiering:

Offentlig-privat finansiering mellem partnerne. Samlet projektbudget: 4,2 mio. kr. Realdania har som en del af kampagnen Skolernes indeklimate støttet med 1,3 mio. kr. til udvikling af nye løsninger.

### Partnere:

Aarhus Kommune  
CEBRA Architecture [rådgiver]  
New Nordic Engineering [rådgiver]

### Kontakt:

Mikkel Hallundbæk Schlesinger  
ms@cebraarchitecture.dk

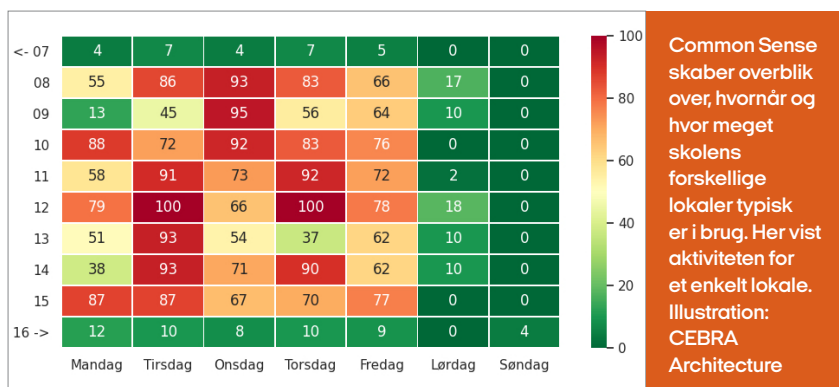
### Parametre



Den digitale platform gør skolebygningen smartere ved at kombinere sensordata med brugernes input – og omsætter det til bedre lokalematch og indeklimate.

Common Sense handler om at bruge skolens lokaler bedre. Det foregår via appen **Common Sense**, hvor brugeren vælger en pædagogisk aktivitet og får anbefalinger til at booke de optimale lokaler. En forudgående registrering har kortlagt lokalernes indretning og forskellige kvaliteter. Og takket være løbende input fra sensorer – der registrerer brug, luftkvalitet og temperatur – viser systemet brugeren tilgængelige lokaler, der **matcher den ønskede aktivitet**. Udbyttet er **bedre indeklimate og mere differentieret undervisning**.

Pilotprojektet er stadig under udvikling og testet på fire skoler i Aarhus. Ud over styrket læring, trivsel og forbedret indeklimate på skolerne er det forventningen, at systemet vil **styrke vidensgrundlaget**, når kommunen i fremtiden skal prioritere og udvikle skoleområdet.



### Eksempelværdi

Common Sense er et godt eksempel på, hvordan man kan gøre en bygning smartere ved at tilføje teknologi, der gør brugen af den mere dynamisk. Både via sensorer, så bygningsstyringssystemerne kan tilpasse sig brugerne, og især i kraft af at brugerne bliver guidet til at foretage bedre valg, ligesom de løbende gør systemet klogere ved at vurdere oplevelsen af et benyttet rum og pege på forbedringsmuligheder.

Stimulerende fysiske miljøer kombineret med gode indeklimateløsninger er effektive midler til at forbedre både trivsel og læring. Eksemplet udnytter ny teknologi til at bygge bro mellem optimering af teknisk drift og en styrkelse af det pædagogiske arbejde. Hvis projektet ved afslutningen lever op til forventningerne, kan Common Sense blive et vigtigt værktøj for skolerne og give kommunerne et styrket vidensgrundlag, når de skal prioritere og planlægge på skoleområdet.

## Hvad er der gjort i eksemplet?

På de fleste skoler er udnyttelsesprocenten på lokalerne aldrig 100 pct., og mange lokaler bliver ikke brugt optimalt i forhold til deres specifikke kvaliteter. Common Sense skal hjælpe med at få spredt undervisningen ud på flere lokaler på skolerne. Både for at understøtte forskellige læringsformer og for at forbedre indeklimaet ved at udnytte hele skolens areal bedre.

### Teknisk løsning

For brugeren består Common Sense af en appbaseret digital platform. Den giver overblik over tilgængelige lokaler og foreslår – i kombination med den ønskede aktivitet – hvilke steder på skolen der både er velegnede og ledige. Efter brug bedømmer brugeren oplevelsen af lokalet og kan komme med forslag til forbedringer.

Common Sense kombinerer velkendte og gennemprøvede tekniske løsninger (sensorer) med en ny måde at bruge data på. Udviklingen er foregået i tæt dialog med skolens medarbejdere, hvor ønsker til undervisningsrummene og forbedringer er kortlagt. Eksisterende viden fra f.eks. trivselsundersøgelser er også blevet anvendt.

Der er installeret i alt 800 sensorer på de fire skoler i Aarhus. Bevægelsessensorer registrerer bevægelse, temperatur og luftfugtighed. Andre registrerer, om CO<sub>2</sub>-niveauet er opad- eller nedadgående.

De fire skoler er udvalgt, fordi de repræsenterer forskellige problemstillinger, som er vigtige at afprøve i udviklingen:

- Læssøesgades Skole har som gammel midtbyskole udfordringer med temperatur og CO<sub>2</sub>.
- Skåde Skole er udbygget i etaper og ønsker at anvende de mange forskellige rumtyper bedre.
- Frederiksbjerg Skole er fra 2016 og har brug for at udnytte den begrænsede plads bedre til differentieret undervisning.
- Lisbjergskolen er delvis nybygget og vil teste og optimere indretningen af de nye faciliteter.

Efterhånden som systemet opsamler viden om brug, adfærd og oplevelse af lokalerne, kan det lære at forudsæ belastninger. Ventilationssystemet kan så f.eks. øge luftskiftet, vinduer vil kunne åbnes forud for brug, og der kan skrues ned for varmen i ubenyttede lokaler.

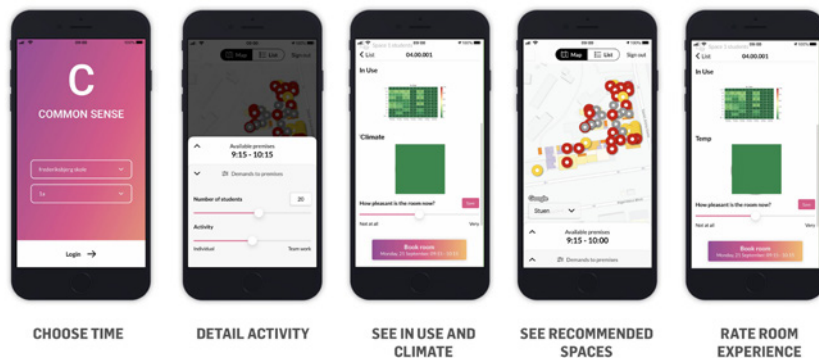
### Organisatorisk effekt

Skoleledelsen får ved hjælp af Common Sense overblik over brugen af lokalerne og indeklimaet i dem. Systemet gør bygningen smartere og hjælper både undervisere og ledelse med at bruge de eksisterende faciliteter bedre og identificere relevante forbedringer. Og de mindst brugte lokaler kan blive forbedret eller få ny indretning.

Systemet kan skaleres og udvides med flere indeklima-parametre (f.eks. lyd og lys). Der er mulighed for at vælge forskellige niveauer af funktionalitet i systemet, og når flere skoler indgår som her, kan data skaleres fra skoleniveau til kommunalt niveau. Ambitionen er, at Aarhus Kommune kan skabe helhedsbilleder og afdække sammenhænge. Det vil give et mere solidt vidensgrundlag at planlægge renovering, udvidelse eller nybygning af skoler ud fra.

Common Sense er et pilotprojekt. Systemet er under løbende udvikling. Testen af effekten og potentialer ved systemet er på grund af COVID-19 blevet forlænget frem til 2022. Først herefter vil der være overblik over de faktiske resultater.

Common Sense-appen anbefaler ledige lokaler, der både understøtter den ønskede aktivitet og tilbyder godt indeklima. Illustration: CEBRA Architecture



# Helhedsorienteret indeklima-renovering som systemleverance



2018

## Opnået resultat:

- Forbedret akustik.
- Lys > 600 lux ved alle borde.
- CO<sub>2</sub> < 900 ppm hele dagen, hele ugen.
- 8-12 pct. forbedret kognitiv formåen.
- Transparent og tryk renoveringsproces.

## Finansiering:

Egenfinansiering. Samlet projekt: ca. 5 mio. kr.  
Indeklimaforbedringer kostede 2.700 kr. pr. m<sup>2</sup>.

## Partnere:

Byens Skole [lilleskole]  
aereNmore [indeklimaentreprenør]  
Saint-Gobain [producent]  
DTU-BYG [forskning]

## Kontakt:

Morten May  
mm@byensskole.dk

## Parametre



Én leverandør til et samlet indeklimaprojekt har sparet mange bekymringer. Og ud over et samlet fokus på indeklimamæssige parametre fik skolen garanti for resultaterne.

Byens Skole, som er en lilleskole, har gennemført en **helhedsorienteret renovering** af lokaler og indeklimaet på mellemtrinet som en **samlet systemleverance**. Det vil sige, at én leverandør har taget ansvar for dimensionering, den samlede indeklima-renovering af **både ventilation, lys og akustik** samt udstedt en **garanti for, at resultatet** blev som lovet. Det har givet skolens ledelse transparens og tryghed og en oplevelse af et bedre projekt med reducerede omkostninger.

Både elever og lærere oplever forbedret trivsel efter renoveringen. Et forsker-team fra DTU har fulgt projektet, og deres målinger viser, at **elevernes kognitive formåen er forbedret signifikant med 8-12 pct.** Det er sket som følge af gensidigt forstærkende effekter af at forbedre både luft og lys, samtidig med at akustikken er god.

		BR15	Krav
Lys	Lysstyrke på bordniveau i klasselokaler	> 300 lux	> 600 lux
	Lysstyrke på bordniveau i gangarealer	> 300 lux	> 300 lux
Akustik	Efterklangtid i Klasserum	0,6 s	0,6 s
	Efterklangtid i Fællesareal	0,4 s	0,4 s
Ventilation	Ventilationskapacitet	5 l/s pr. person	7 l/s pr. person
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> niveau i klasserum og gangarealer	-	< 900 PPM

Kravene til det samlede indeklimaprojekt var defineret på forhånd, og leverandøren gav garanti for resultaterne. Illustration: aereNmore

## Eksempelværdi

Indeklimaforbedringer er ofte teknisk komplicerede, især når flere af de indeklimamæssige parametre bliver ændret samtidig. Eksemplet viser, hvordan en samlet systemleverance kan være med til at reducere kompleksiteten i et renoveringsprojekt og samtidig give skolen større tryghed omkring både økonomien og de lovede resultater.

De forskningsmæssige resultater fra projektet viser, hvorfor det er så væsentligt at arbejde helhedsorienteret med indeklimaet: Der er en positiv cocktail-effekt på elevernes kognitive formåen, når flere parametre forbedres samtidig. Projektet er dermed også med til at dokumentere, at en investering i et godt indeklima på alle parametre har en direkte effekt på elevernes læring, trivsel og sundhed.

## Hvad er der gjort i eksemplet?

Byens Skole er Danmarks største lilleskole med 460 elever. Som en del af skolens udvikling skulle lokalerne til mellemtrinnene renoveres. Oplevelsen af akustik og belysning suppleret med en måling af CO<sub>2</sub> og temperatur havde gjort det tydeligt, at også indeklimaet skulle forbedres betydeligt. Uden en kommunal forvaltning i ryggen var det vigtigt for skolen at alliere sig med partnere, der kunne give tryghed for selve renoveringen, men også dokumentation for resultatet af det helhedsorienterede arbejde med at forbedre indeklimaet.

### Organisatorisk effekt

Skolens ledelse har ikke forudsætninger for at håndtere et komplekst renoveringsprojekt eller de faglige kompetencer til at beregne og optimere samspillet mellem de indeklimamæssige parametre.

Skolen valgte at samarbejde med aereNmore om en samlet systemleverance på lofter, belysning og ventilation, hvor de enkelte parametre lyd, lys, luft og temperatur dels lever op til indeklimakravene, og dels fungerer i en helhed. Leverandøren garanterer også, at indeklimaet lever op til det forudsatte efter installationen, hvilket det har gjort.

Det har givet økonomisk transparens og en byggeproces med meget reducerede variabler fra skolens side. Skolens ledelse oplever også, at de har reduceret egen tid samt udgifter til rådgivere og byggeledelse. Skolen har kun forholdt sig til maleren, gulvmanden og den del af tømrerarbejdet, der handlede om ruminddeling.

Tre forskere fra DTU har sideløbende gennemført en undersøgelse af indeklimaets påvirkning af elevernes kognitive formåen (reaktionstid, koncentration, logik og evne til at løse matematiske opgaver). Ved at ændre på indstillinger for lys og ventilation var det muligt at gennemføre et cross-over-studie med godt og mindre godt indeklima. Resultaterne peger på en isoleret effekt på 2 pct. ved alene at forbedre hhv. luft og lys. Men hvis man forbedrer både lys og luft (samtidig med at akustikken er god), opnår man en statistisk signifikant forbedring af elevernes kognitive formåen på 8-12 pct.

### Teknisk løsning

Luftkvaliteten er sikret med diffus ventilation uden træk og støj. Styring sikrer, at luften følger eleverne, uanset om de er i klasselokalet eller i fællesarealerne på gangene. Det kunstige lys har en dynamisk farvetemperatur (turnable white) med dokumenteret effekt på elevernes velbefindende og præstationer, særligt i matematik. Akustikken er designet som en kombination af lofter og vægabsorbenter kombineret med arbejdsborde i fællesarealerne med særlig dæmpning.

### Rumlig forandring

Skolen har selv stået for ændret ruminddeling, særligt ved gangarealerne. Her er der blevet etableret arbejdspladser til fordybelse. Det understøtter dels de forskellige pædagogiske aktiviteter, dels spreder det eleverne over et større areal i undervisningen, hvilket også bidrager positivt til indeklimaet.



Korridor og klasseværelse efter renovering af ventilation, lys, akustik og lokaler. Foto: Laura Stamer

# Indeklimaambassadører skal løse indeklimaudfordringer lokalt



## 2020-2023

### Forventet resultat:

- Styrket forankring af indeklimaindsatser på skolerne.
- Forbedret indeklima og læring gennem kobling af pædagogisk praksis og de fysiske rammer.
- Bedre udnyttelse af de fysiske rammer.
- Dokumentation for klare effekter af uddannelsen.

### Finansiering:

2020-2021: Egenfinansiering af pilotprojekt med 260.000 kr.

2021-2023: Egenfinansiering af færdigudvikling af uddannelsen med 1 mio. kr. og støtte fra Realdania med 1 mio. kr. til følgeforskning.

### Partnere:

Aarhus Kommune, Børn og Unge  
Designskolen [forskning], Aarhus Universitet:  
Institut for Pædagogik og Uddannelse [forskning] samt Institut for Byggeri og  
Bygningsdesign [forskning],  
Dansk Center for Undervisningsmiljø, DCUM [forskning]

### Kontakt:

Christoffer Vengsgaard  
chrikve@aarhus.dk

### Parametre



Indeklimaambassadørerne arbejder på de enkelte skoler med at få de fysiske rammer og pædagogisk praksis til at skabe bedre indeklima, læring og trivsel.

De pædagogiske indeklimaambassadører er brobyggere mellem rum og pædagogik og bliver som lokalt forankrede fagpersoner i stand til at omsætte viden og løse indeklimaudfordringer på den enkelte skole. Uddannelsen til indeklimaambassadør tager afsæt i en antagelse om, at de fysiske rammer ikke gør det alene. Forbedret læring og indeklima kræver også bedre organisering og pædagogisk praksis.

Uddannelsen henvender sig til pædagogisk personale, ledere og teknisk servicepersonale på skoler og i fritidstilbud. Den er udviklet i et pilotprojekt og vil nu blive færdigudviklet i samarbejde med et forskerteam og udbredt til alle skoler i Aarhus Kommune. Forventningen er, at resultaterne vil dokumentere, at indeklimaambassadørerne bidrager til at forbedre læring, trivsel og indeklima på skolerne. En national uddannelse vil efter afslutningen på forskningsprojektet blive udbudt af DCUM.



Indeklimaambassadørerne kan hjælpe med at koble nye fysiske rammer og pædagogisk praksis for at forbedre både læring og indeklima. Her Frederiksberg Skole i 2016. Foto: Christian B/Yellows Collective

### Eksempelværdi

Eksemplet har fokus på udvikling af indeklimaet med udgangspunkt i kompetenceløft og brobygning. De pædagogiske indeklimaambassadører vil have fokus på samspillet mellem rum, teknik, pædagogik og adfærd med elevernes trivsel som det styrende parameter. Den organisatoriske effekt er betydelig. Både fordi uddannelsen vil blive udbredt til alle skoler i Aarhus Kommune, og fordi indeklimaambassadørerne er lokalt forankret på skolen, hvor de kan spille en vigtig rolle i højere prioritering af indeklimaet i hverdagen.

Hvis resultaterne af følgeforskningen er så gode som forventet, vil det styrke argumentet for at tænke pædagogik, rum og adfærd mere ind i arbejdet med det forbedrede indeklima. Alle landets kommuner vil også få glæde af erfaringer og dokumentation. Enten fra forskningen eller når DCUM forventer at udbyde en national udgave af uddannelsen til pædagogisk indeklimaambassadør fra 2023.



Fra uddannelsens pilotprojekt på Læssøesgade Skole i Aarhus, hvor deltagerne arbejder med at kategorisere forskellige rum.  
Foto: Mette Blicher Folmer

### Hvad er der gjort i eksemplet?

Selvom der er foretaget betydelige investeringer i skolerenoveringer, er der ikke sket et tilstrækkeligt løft af skolernes indeklime. Ved at give personalet på skoler både viden og handlekompetencer kan de renoverede skoler lykkes med at få et godt indeklime.

#### Organisatorisk effekt

Projektet er startet som et pilotprojekt i 2020-2021, hvor de første lærere, pædagoger, ledere og tekniske serviceledere blev uddannet som indeklimeambassadører – brobyggere mellem rum og pædagogik. De er fagpersoner, der kan omsætte viden og løse indeklimeudfordringer i en lokal kontekst.

Fire caseskoler har dannet ramme om undervisningsgangene i pilotprojektet. Deltagerne har modtaget undervisning, besøgt hinandens skoler og sparret om mulige forbedringer af indeklimeet gennem ændret brug af lokaler og pædagogisk praksis. Undervejs er de blevet fulgt af et forskersteam. Mellem undervisningsgangene sætter deltagerne selv aktioner – eller interventioner – i gang på egen skole.

Samarbejdet mellem tekniske serviceledere og pædagogisk personale er vigtigt, fordi både det rumlige, det pædagogiske og de tekniske løsninger skal udvikles i sammenhæng. Efter endt uddannelse vil deltagerne have viden om betydningen af adfærd og om forholdet mellem rum og pædagogik i forhold til indeklime, og de kan vejlede i bedre brug af de fysiske rammer på skolerne.

Resultaterne er lovende. Aarhus Kommune vil nu færdigudvikle uddannelsesforløbet og dokumentere de

positive effekter via et tværfagligt forskningsprojekt i perioden frem til 2023. Forskerne samler resultater fra eksisterende studier og vil gennemføre interviews, observationer og eksperimenter i forbindelse med den videre udvikling af uddannelsesforløbet. Det er forventningen, at resultaterne vil dokumentere de positive effekter af at udvikle rum, adfærd, pædagogik og indeklime i praksis

#### Adfærdspåvirkning og rumlig forandring

Pilotprojektet har peget på en række af de områder, som indeklimeambassadørerne vil have fokus på, f.eks.:

- Skabe flere kloge kvadratmeter, så "døde" områder ved gangarealer, reposer osv. bliver udnyttet bedre til f.eks. fordybelse.
- At pædagogisk personale og tekniske serviceledere i fællesskab identificerer og prioriterer relevante indeklimeforbedringer.
- Moderniserede skolelokaler indrettet med fokus på forskellige læringsmiljøer (fordybelse, formidling og projektarbejde), men hvor den pædagogiske praksis endnu ikke formår at udnytte rammerne til fulde.
- Involvere elevråd i at udnytte skolens arealer bedre, men også stimulere til bedre indeklimeadfærd.

I 2023 vil uddannelsen af pædagogiske indeklimeambassadører være afprøvet og kvalificeret gennem forskning. Resultaterne bliver offentligt tilgængelige. Aarhus Kommune planlægger at implementere uddannelsen på alle skoler, og DCUM vil udbyde et komplet uddannelsesforløb til alle interesserede kommuner.









# Nudging

· Nudging er en metode, hvor viden og hjælpemidler bruges aktivt  
· til at påvirke adfærden hos brugerne i en ønsket retning. I disse  
· eksempler for at forbedre indeklimaet.

· Det er en indsats, der kan sættes i gang hurtigt uden hverken store  
· ombygninger eller omkostninger.

· De seks eksempler giver et billede af, hvordan brugen af nye  
· måder at indsamle og visualisere data om indeklimaet på vinder  
· frem. Det er særlig oplagt at bruge i skolesammenhæng, fordi de  
· tekniske hjælpemidler ikke står alene, men bliver koblet aktivt til  
· undervisningen som det bærende element.

· Der bliver arbejdet med at understøtte de roller og det ansvar,  
· eleverne får for fællesskabet i klassen, f.eks. i forbindelse med  
· dukseordninger. Fokus er på at integrere god indeklimaadfærd  
· i hverdagen, ofte med stort fokus på udluftning for at nedbringe  
· CO<sub>2</sub>-niveauet. Men det er relativt enkelt at udvide fokus til flere  
· indeklima-parametre, for sensorerne indsamler typisk også data  
· om lyd, temperatur samt partikler i luften, og i flere af eksemplerne  
· bliver brugernes oplevelser af indeklimaet i lokalerne også ind-  
· tastet.

· Nudgingeksemplerne er i udgangspunktet særligt rettet mod  
· elever og pædagogisk personale. Hvis de indsamlede data  
· også bliver integreret med skolernes systemer til bygningsdrift,  
· får driftspersonalet nye muligheder for at optimere ejendoms-  
· driften og kan således være med til at pege på f.eks. relevante  
· tekniske indeklimaforbedringer.

· Nudging som en af vejene til forbedret indeklima er et felt under  
· udvikling.

· Fremover kan vi forvente at se flere løsninger, som udnytter stadig  
· bedre og billigere teknologi til at indsamle data om både det  
· oplevede og det målte indeklima – og sætter det ind i både en  
· undervisnings- og en driftssammenhæng.

# Sensorer giver data til indeklimaforsøg i naturfagsundervisningen



## 2020-2021

### Forventet resultat:

- Eleverne lugter mere ud.
- Fald i gennemsnitligt CO<sub>2</sub>-niveau.
- Større fokus på skolens indeklima.

### Finansiering:

Egenfinansiering af et indeklimasæt til 5.999 kr., der består af tre sensorer, en hub samt et årsabonnement. Herefter 40 kr. i abonnement pr. md. pr. enhed. Undervisningsmateriale er gratis.

### Partnere:

Skt. Knuds Skole  
Sundluft.dk (udvikler og leverandør)

### Kontakt:

Lars Odgaard  
info@sundluft.dk

Det usynlige indeklima bliver gjort synligt i naturfagsundervisningen ved hjælp af sensorer. Eleverne forstår, hvad der forringer indeklimatet, og handler for at forbedre det.

Biologilæreren på Skt. Knuds Skole oplevede elevernes faldende koncentration og træthed, efterhånden som de enkelte lektioner skred frem. Udfordringen var at få eleverne til at forstå, at årsagen var mangel på frisk luft, og til at tage et medansvar for at bidrage til et bedre indeklima. Derfor bestilte biologilæreren et indeklimasæt, der består af et undervisningsforløb til naturfagsundervisningen i udskolingen, sensorer og et datainterface. Det har givet eleverne større indeklimabevidsthed.

Erfaringerne tyder på, at elevernes adfærsændringer især består i, at de lugter oftere ud, hvilket bidrager til at holde CO<sub>2</sub>-niveauet nede. Fordi **sensor-data bliver indsamlet og lagret digitalt** hvert femte minut, giver systemet også skolens ledelse og det driftsansvarlige personale viden om luftens kvalitet – og dermed indeklimaets udsving – på skolen.



Livedata om indeklimatet kan downloades ved at scanne QR-koden ved sensorerne.  
Foto: Lars Odgaard

## Eksempelværdi

Projektet har fokus på luftkvalitet og temperatur, og adfærdspåvirkning indgår som en del af lærernes undervisning i naturfag i skolens faglokaler. Der er potentiale for, at lærere og elever tager deres viden med over i andre lokaler og fag, samt at teknisk personale/driftspersonale bruger systemet som et værktøj til at monitorere og handle i forhold til luftens betydning for indeklimatet.

Et eksempel på, hvordan det selv med en begrænset investering er muligt at indsamle data og få viden om luftens tilstand i en række lokaler på skolen – og koble det til ændret adfærd hos både elever, lærere og teknisk personale.

### Parametre



## Hvad er der gjort i eksemplet?

Elevernes koncentration var faldende, og trætheden stigende i løbet af lektionerne. Eleverne mente selv, at det skyldtes for lidt søvn og for lange lektioner, ikke mangel på frisk luft. Biologilæreren på Skt. Knuds Skole var overbevist om, at det skyldtes dårlig luftkvalitet og bestilte indeklimasættet. Det består af et undervisningsforløb til naturfagsundervisningen i udskolingen, sensorer og et datainterface – og har bidraget til større indeklima-bevidsthed, mere udluftning og bedre koncentration i undervisningen.

## Adfærdspåvirkning

Forløbet i naturfagsundervisningen har hjulpet med at visualisere, hvor meget elevernes udluftningsadfærd kan påvirke indeklimaet – og især hjælpe med at holde CO<sub>2</sub>-niveauet nede.

Undervisningsforløbet formål er at synliggøre data for den luft, eleverne bevæger sig i, gøre dem opmærksomme på konsekvenserne af dårligt indeklima samt deres egne handlemuligheder.

Forløbet er tilrettelagt, så det understøtter den naturvidenskabelige metode:

1. Der stilles **spørgsmål** på baggrund af observationer af indeklimaet.
2. Herefter opstiller eleverne **hypoteser** om forventninger til eksperimentet.
3. **Undersøgelsen** tager afsæt i, hvordan deres hypoteser viser sig i sensordata.
4. **Analysedelen** består i at sammenligne data fra regneark med data fra spørgeskemaer.
5. **Konklusionen** består i at fremlægge processen og resultaterne.

Undervisningsmaterialet indeholder lærervejledninger, opgaveark samt forslag til yderligere aktiviteter. Forløbet kan udvides og tilpasses alt efter elevernes niveau og den tid, de har til rådighed. Data kan f.eks. downloades for at vise data over tid. Via en QR-kode kan eleverne altid scanne realtidsdata for indeklimaet, de kan foretage målinger over længere tid eller vælge at supplere med spørgeskemaundersøgelser.



Ved at opsætte infoskærme på skolen kan systemet bidrage til at hæve den generelle opmærksomhed i forhold til god indeklimaadfærd på skolen. Skolen kan også arbejde videre med indeklimaet ved f.eks. at udpege indeklimaambassadører, indeklimadukse, starte et projekt i elevrådet osv.

## Teknisk løsning

Indeklimakittet fra sundluft.dk indeholder tre sensorer og en hub. De to sensorer måler på syv forskellige parametre [CO<sub>2</sub>, temperatur, luftfugtighed, flygtige organiske forbindelser/TVOC, lufttryk, lys samt radon] og kan med fordel sættes op i f.eks. klasselokalet og i faglokalet. Den tredje sensor er mindre og kan f.eks. sættes op på et kontor eller et gangareal. Hubben sender data fra sensorerne til skyen, så alle elever kan aflæse data i en browser på computeren eller en mobil enhed. Dermed kan eleverne indsamle dataserier over flere dage, samt i løbet af en enkelt undervisningstime, hvor de bruger naturfagslokalet som "laboratorium".

Sættene kan udvides efter behov og økonomi. Og personalet, der er ansvarlig for den daglige drift, kan også bruge systemet til at overvåge den del af indeklimaet, der er påvirket af luft og temperatur. På grund af COVID-19 har flere faglokaler været lukket ned, efter projektet blev gennemført, hvilket har forsinket opfølgning med blandt andet måledata på faktiske resultater.

# En sky og undervisning sikrer god udluftning



## 2019-2021

### Opnået resultat:

- Tid > 1.000 ppm CO<sub>2</sub> reduceret fra over 3 til under 1 ½ time pr. skoledag.
- Tid > 2.000 ppm CO<sub>2</sub> reduceret fra 30 til under 1 minut pr. skoledag.

### Finansiering:

Skyen koster 1.595 kr. pr. stk., og undervisningsmaterialet til fire lektioner i natur/teknik koster 1.995 kr.

Udvikling og gennemførelse af det samlede projekt har kostet 2,5 mio. kr. Realdania har, som en del af kampagnen Skolernes indeklima, støttet med 1,2 mio. kr. til test af Skyen på 40 skoler.

### Partnere:

Middelfart Kommune, Nørre Aaby Skole og Fjeldsted Harndrup Børneunivers.  
ÅBN [udvikler/leverandør].  
Forlaget Alinea [undervisningsmateriale].  
Implement Consulting Group [rådgiver]

### Kontakt:

Kristoffer Jensen  
kj@aabn.io

### Parametre



Når Skyen skifter farve til rød, springer de børn, der har tjansen som "luftens helt" op og åbner vinduerne. Nye udluftningsvaner giver bedre luft – og koncentration.

Kombinationen af undervisning i godt indeklima og en sensor – forklædt som en lysende sky, der skifter farve, når CO<sub>2</sub>-niveauet stiger i lokalet – får eleverne til at lufte ud. Det giver bedre luft og markant højere koncentration, især sidst på dagen. Projektet viser, at adfærdspåvirkning kan være med til at løse problemer med for højt CO<sub>2</sub>-niveau på skoler, der ikke har råd til at investere i nye og dyre tekniske løsninger. Eller hvor det eksisterende ventilationsanlæg ikke har kapacitet nok i spidsbelastningsperioder.

Skyen og det tilhørende undervisningsmateriale til natur/teknik er blevet **testet på 40 skoler i hele landet**. Resultaterne viser, at de interaktive sensorer virker bedst i kombination med et undervisningsforløb om betydningen af god luft. Her bliver engagementet hos både lærere og elever løftet, og adfærdspåvirkningen er størst.

### Eksempelværdi

Eksemplet viser, at adfærd ændringer kan ske i en kombination af et nudge (skyen, der skifter farve), viden (undervisningsmaterialet) samt hjælp til at fastholde de nye vaner. Skyen er testet, og effekten dokumenteret på 40 skoler i hele landet. Potentialet for en hurtig reduktion af CO<sub>2</sub>-niveauet er godt, og eksemplet viser, at det er muligt at forbedre indeklimaet inden for en meget overskuelig økonomisk ramme.

Både Skyen og undervisningsmaterialet er udviklet og alment tilgængeligt. Det tværgående samarbejde mellem skolerne, producenten, rådgivere og professionelle udviklere af undervisningsmaterialer sikrer høj faglighed i både udvikling og test. I eksemplet er fokus på CO<sub>2</sub>. Det er dog vigtigt at huske, at det kun er ét af flere elementer i det gode indeklima.



Skyen er et interaktivt "hudge" og en sensor, der måler CO<sub>2</sub>-niveauet i lokalet. Blåt lys: OK. Rødt lys: Der skal luftes ud! Foto: ÅBN

## Hvad er der gjort i eksemplet?

CO<sub>2</sub> er usynligt, og det er for sent at reagere på høje koncentrationer med f.eks. udluftning, når symptomer som hovedpine, træthed og koncentrationsbesvær melder sig. Leverandøren er i stedet gået til udfordringen med fokus på adfærd ændringer som en enklere måde at forbedre indeklimaet på på kort sigt.

### Teknisk løsning

Brugerne har været i fokus gennem hele design- og udviklingsprocessen. Observationer og kvalitative analyser i en række klasselokaler viste, at luftkvaliteten var for dårlig – uanset om klasserne havde ventilationsanlæg eller ej.

Udviklingsforløbet viste også forskellige behov: Lærerne havde brug for konkrete anbefalinger til, hvornår de skulle åbne og lukke vinduerne. Elevernes reaktioner har haft betydning for farvemarkeringerne. Skyen lyser netop blå (og ikke grøn), når indeklimaet er godt, fordi eleverne forbinder farven grøn med noget giftigt og ildelugtende skraldespande. Og det tekniske personale har brug for sensorer, der er placeret rigtigt, og sikkerhed for, at de kan anvende de opsamlede data.

Udviklingen af den tekniske løsning består derfor af en synlig sensor, der er udformet som en sky. Sensorerne bliver opsat i klasselokalet og kommunikerer direkte til klassen. De elever, der som en del af klassens dukse-

ordning er udnævnt som "luftens helte" – altså udluftningsansvarlige – lufter ud, når skyen lyser rødt.

### Adfærdspåvirkning

Ændringen af udluftningsadfærden i en klasse starter med et undervisningsforløb udviklet til natur/teknik. I materialet bliver "sund luft" sammenlignet med "sund mad", fordi den luft, eleverne indtager, også skal være sund.

Materialet består af fire kapitler til fire lektioner:

1. Hvordan luft påvirker krop og hjerne, og hvorfor det er vigtigt at indånde frisk luft.
2. Eleverne arbejder teoretisk med luft, og hvorfor luft er så vigtigt for liv på Jorden.
3. Konkret inspiration om mad og sund luft.
4. Der bliver arbejdet med gode vaner, hvor sund luft indgår på lige fod med sund mad og motion.

Klassen laver et fælles indeklimaløfte for indeklima- adfærden, f.eks.: Hvor hænger vi overtøjet? Hvornår lufter vi ud? Hvor meget skal duksene gøre rent? Hvad skal radiatortermostaten stå på? Indeklimaløftet bliver underskrevet og hængt op i klassen.

Løsningen er blevet testet på i alt 40 skoler. Både Nørre Aaby Skole og Fjelsted Hørndrup Børneunivers i Middelfart Kommune indgik i testgruppen, der fik både Skyen, undervisningsmaterialer og ideer til at fastholde de

gode vaner. Begge skoler er så glade for både resultaterne og de nye udluftningsvaner, at de er fortsat med Skyen efter testperioden.

De endelige testresultater viser, at tiden med CO<sub>2</sub> over 1.000 ppm bliver reduceret fra gennemsnitligt tre timer til under halvdelen time pr. skoledag.

Og tiden med over 2.000 ppm bliver reduceret fra mere end 30 minutter til under 1 minut pr. skoledag.



# Undervisning og sensordata ændrer adfærd og nedbringer CO<sub>2</sub>



## 2019-2020

### Opnået resultat:

- Humlebæk Skole: CO<sub>2</sub> > 1.000 ppm faldet fra 45 til 15 pct. af brugstiden.
- Reerslev Skole: CO<sub>2</sub> > 1.000 ppm faldet fra 32 til 14 pct. af brugstiden.

### Finansiering:

Projektet er gennemført for 1,3 mio. kr. Halvdelen finansieret af CLIMAID, den anden halvdel med støtte fra Realdania som en del af kampagnen Skolernes indeklima.

### Partnere:

Fredensborg Kommune  
Høje-Taastrup Kommune  
Københavns Universitet, Antropologi [forskning]  
InQvation [co-creation lab]  
CLIMAID [leverandør]

### Kontakt:

Søren Andersen  
s.andersen@climaid.dk

### Parametre



Eleverne påtager sig god udluftningsadfærd og forstår betydningen af godt indeklima takket være kombinationen af undervisning, måledata og deres egen feedback.

CLIMAID-undervisningsforløbet er udviklet til mellemtrinnet og kan indgå i undervisningen i flere fag. Via sensorer og elevernes oplevelser indsamles data om indeklimaets tilstand på skolen, som bliver analyseret og visualiseret. I undervisningen lærer børnene at forstå indeklimaets betydning, så de gennem en række øvelser kan udvikle og håndhæve klassens egne regler for god indeklimaadfærd. Og som opfølgning måler de selv effekten af deres arbejde i form af sænkede CO<sub>2</sub>-koncentrationer.

På de to skoler i Fredensborg og Høje-Taastrup Kommuner lykkedes det at sænke CO<sub>2</sub>-koncentrationerne betydeligt i perioden under og efter undervisningsforløbet. Fordi data bliver opsamlet og lagret, har skolens ledelse samtidig fået en delvis kortlægning af indeklimaets tilstand på skolerne, som kan indgå i den fremtidige prioritering af ressourcer til f.eks. renovering m.v.



Elever på Fredensborg Skole præsenterer ideer til, hvordan de kan visualisere indeklimaet. Foto: CLIMAID

### Eksempelværdi

Projektet viser, hvordan det er muligt at opnå en hurtig og synlig effekt for en beskedent investering, samt at adfærdstiltag kan være med til at forbedre indeklimaet på mange skoler, indtil der er midler og ressourcer til at foretage større og nødvendige renoveringsprojekter. Forløbet kan integreres i flere fag på mellemtrinnet.

Eksemplet skaber merværdi gennem den systematiske indsamling af sensordata, der sammen med en kortlægning af adfærd giver både skolens ledelse og kommunen et overblik over indeklimaets tilstand. Projektet har vist, at konceptet kan bruges i den helt tidlige fase af et renoveringsprojekt og hjælpe med at afklare potentialet for indeklimaforbedringer – og, i den forbindelse, hvilke projekter der med fordel kan gennemføres før andre.



## Hvad er der gjort i eksemplet?

Fredensborg Kommune og Høje-Taastrup Kommune har arbejdet sammen i et projekt om at sikre og anvende data. Her bliver de spurgt af leverandøren, om de vil være med til at teste et forløb, der kombinerer indeklimate målinger med et undervisningsforløb.

## Adfærdspåvirkning

CLIMAID Academy-undervisningsforløbet er udviklet til mellemtrinet og passer til konceptet 21st STEM, hvor eleverne kan arbejde med idégenerering og prototypeudvikling på tværs af natur/teknik, idræt og dansk.

Undervisningsforløbet "Mit og mit indeklimate" kan forløbe som en temadag, en temaugue eller blive inddraget i den daglige undervisning og består af fem faser:

- Introduktion – viden om indeklimate og udeklimate, intro til et indeklimate spil og adgang til sensordata fra egen klasse.
- Mit indeklimate – hvordan man kan påvirke indeklimate, og hvordan det påvirker eleverne.
- Det synlige indeklimate – eleverne udvikler ideer til, hvordan indeklimate kan gøres synligt med og uden skærme.
- Vores indeklimate – klassen definerer syv målbare regler for, hvordan de vil sikre et godt indeklimate.
- Opfølgning – to til fire uger senere vender eleverne tilbage til reglerne og tjekker måledata for at beregne, om de har overholdt det aftalte.

Undervisningsforløbet gør indeklimate både synligt og håndgribeligt, og via materialet kan lærere og elever arbejde med de muligheder, de har for at påvirke indeklimate gennem deres adfærd.

Målinger viser, at de gennemsnitlige CO<sub>2</sub>-koncentrationer over 1.000 ppm er faldet til en tredjedel og under halvdelen på henholdsvis Humlebæk Skole [fra 45 til 15 pct. af tiden] og Reerslev Skole [fra 32 til 14 pct. af tiden]. Eleverne omsætter deres viden om indeklimate til blandt andet effektiv udluftning. Der var også opsat sensorer i en række lokaler/klasser, som ikke deltog i forløbet. Her blev der ikke registreret ændringer.

## Teknisk løsning

Både til Humlebæk Skole og Reerslev Skole er der foretaget mindre tilkøb af sensorer, der måler CO<sub>2</sub>, temperatur, luftfugtighed og tilstedeværelse i lokalet.



Sensorerne indsamler data, og eleverne vurderer deres oplevelser af indeklimate. Data lagres via den tilhørende softwareplatform CLIMAID Insight, hvor de kan blive analyseret og visualiseret. Platformen kan håndtere forskellige sensortyper, og løsningen kan op- og nedskaleres efter behov og økonomi.

I gennem forløbet opnår skoleledelsen, de driftsansvarlige, lærerne og eleverne en fælles forståelse for, hvilke indeklimateproblemer der er i klasselokalerne. Via de indsamlede måledata bliver det tydeligt, hvor meget adfærden kan bidrage til at påvirke indeklimate, og hvilken kvalitet indeklimate i skolens forskellige lokaler har.

Projektet har vist, at konceptet kan bruges i den helt tidlige fase af et renoveringsprojekt. Kortlægningen af både det målte indeklimate og brugernes indeklimateadfærd kan hjælpe med at afklare, hvor det f.eks. er muligt at opretholde et rimeligt indeklimate med god indeklimateadfærd, og hvilke skoler der skal prioriteres før andre, når midlerne til renovering er begrænsede.

# Viden og egne prototyper giver eleverne bedre indeklimaadfærd



2019-2020

## Opnået resultat:

- Halvering af CO<sub>2</sub>-målinger over 1.000 ppm.
- Målinger over 75 dB reduceret til en tredjedel.
- Halveret antal målinger over 70 dB.

## Finansiering:

Engel Friis Fonden, VIA University College samt medfinansiering fra Bankagerskolen. Total projektkøkonomi: 226.000 kr.

## Partnere:

Bankagerskolen  
VIA University College  
[Forskningscenter for byggeri, energi, vand og klima]

## Kontakt:

Andrea Mortensen  
amot@via.dk

## Parametre



Eleverne er blevet bevidste om deres adfærd, husker ventilation i lokalet ved pauser og hjælper hinanden med at reducere støjniveauet.

Eksemplet, der er et pilotprojekt, undersøger hvordan ændret adfærd hos elever påvirker luftkvalitet og lydniveau.

Projektet blev gennemført med to 5. klasser på skolen. Den ene klasse har fungeret som referenceklasse, mens den anden blev undervist i "det gode indeklima" og involveret i at udvikle en række nudgingværktøjer, som efterfølgende blev indarbejdet i klassen.

Resultaterne er gode og viser, at det er muligt at få eleverne til at tage

**medejerskab og ændre adfærd** i forhold til indeklimaet. Pilotprojektet viser også en betydelig positiv effekt på indeklimaet. I hvert fald på kort sigt i forsøgsperioden og i sammenligning med referenceklassen på skolen.

## Eksempelværdi

Projektet skaber merværdi gennem elevernes medudvikling af både værktøjer og nye adfærdsrutiner. Netop elevernes medudvikling tillægges stor betydning for, at det er lykkedes at vise så gode resultater.

Eksemplet viser også, hvordan det er muligt at opnå en hurtig og synlig effekt for en beskeden investering. Samt at adfærdstiltag kan være med til midlertidigt at forbedre indeklimaet, indtil der er midler og ressourcer til at foretage større og nødvendige renoveringsprojekter.

Eksemplet viser, hvordan VIA University Colleges erfaringer med at bruge nudging til at forbedre indeklimaet i private hjem bliver overført til skolen med succes. Og her med den væsentlige pædagogiske tilføjelse, at selve udviklingsarbejdet bliver integreret i undervisningen.



Eleverne udviklede mange fantasifulde nudgingværktøjer. Blandt andet en "lysbombe", der udsender et kraftigt lyssignal, når underviseren oplever for meget støj i klassen og trykker på knappen. Foto: Andrea Mortensen, VIA University College

## Hvad er der gjort i eksemplet?

VIA University College tog initiativ til projektet i forlængelse af et andet projekt, hvor nudging blev brugt til at forbedre indeklimaet i private hjem. Via dialog med Horsens Kommune blev Bankagerskolen samarbejdspartner, og projektet blevskåret til, så begge parter kunne se sig selv i det.

Pilotprojektet blev gennemført med to 5. klasser på skolen. I begge klasser blev der monteret målere, som registrerede CO<sub>2</sub>-niveau, luftfugtighed, temperatur og støj. Alle eleverne udfyldte også et spørgeskema, som afklarede deres oplevelse af indeklimaudfordringerne. Målingerne i begge klasser fungerede som baseline og viste, at problemer især skyldtes højt CO<sub>2</sub>-niveau og støj. Herfra var det kun den ene af klasserne, der blev involveret, mens den anden fungerede som reference.

## Adfærdspåvirkning

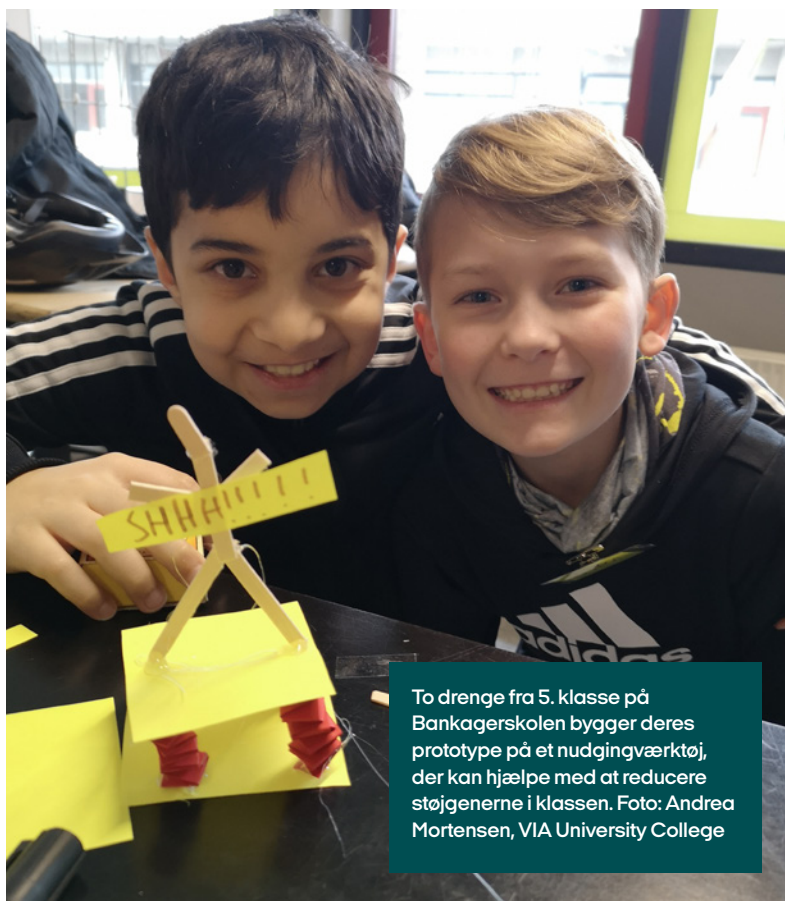
Hovedgrebet i projektet bestod i at involvere eleverne i udvikling af nudgingværktøjer for på den måde at opnå ejerskab til de interventioner og den optimerede adfærd, der skal forbedre indeklimaet. Eleverne blev undervist i "det gode indeklima", indeklimaets påvirkning af deres daglige trivsel samt nudging som værktøj til at ændre uhensigtsmæssig adfærd.

Nudgingværktøjerne blev udviklet i en workshop over to dage. Undervisningsmaterialet, som blev udviklet i et samarbejde mellem forskerne og underviserne, tog afsæt i resultaterne fra indeklimamålingerne af det specifikke lokale. Workshoppen er tilrettelagt efter 4D-modellen [Discover, Dream, Design, Deliver], der understøtter entreprenørskabskompetencer hos eleverne.

**Discover:** Eleverne diskuterede først de udfordringer, der var i deres lokale med høj CO<sub>2</sub>-koncentration og støj. Hvordan de selv oplevede udfordringerne, og hvad de kan skyldes.

**Dream:** Her blev elevernes ideer til løsninger sluppet løs i mindre grupper. Hver idé blev skrevet ned på en post-it og ikke bedømt på dette tidspunkt.

**Design:** Der blev brugt tid på at kvalificere ideerne. Hvilke var de bedste, og kunne nogle evt. kombineres?



To drenge fra 5. klasse på Bankagerskolen bygger deres prototype på et nudgingværktøj, der kan hjælpe med at reducere støjgenerne i klassen. Foto: Andrea Mortensen, VIA University College

Eleverne anvendte fælles udvælgelsesværktøjer, og et par ideer i hver gruppe blev bygget, og gruppen udvalgte deres bedste idé.

**Deliver:** Eleverne pitchedede deres endelige idé og beskrev både den samt en model for resten af klassen.

Herefter blev ideerne produceret af forskerne fra VIA University College og implementeret i klassen. Det var vigtigt for projektet, at alle eleverne kunne se deres egne ideer i de værktøjer, de efterfølgende skulle bruge til at støtte en bedre klimaadfærd.

Konceptet er bygget over en metode, der er skalerbar og hurtig. Gennemførelsen kræver didaktiske overvejelser og tilrettelæggelse af undervisningsmaterialets niveau afhængig af klassetrin. Indeklimaet skal også først undersøges i de klasselokaler, der deltager. Samtidig kan de udvalgte klasser blive ambassadører for det gode indeklima på skolen og derigennem skabe yderligere værdi.

# Smartlamperne viser, hvornår indeklimaet beder om en udluftning



## 2019-2021

### Opnået resultat:

- Bedre indeklimaadfærd [udluftning og spredning af undervisning].
- CO<sub>2</sub>-niveau < 1.000 ppm via udluftning.
- Data kan kobles til driftssystemer mhp. optimering af systemer og prioritering af fremtidige renoveringer.

### Finansiering:

Privat finansieret med 103.000 kr. fra Taastrup Realskole til sensorer og brugerabonnement samt ca. 500.000 kr. fra Geokon til udvikling af den digitale platform.

### Partnere:

Taastrup Realskole  
Geokon A/S [leverandør]

### Kontakt:

Erik Kirsbo  
ek@geokon.dk

### Parametre



Når smartlamperne lyser orange eller rød, er det tid til at lufte ud. De nye rutiner i klassen holder både temperatur og CO<sub>2</sub>-niveau på et indlæringsvenligt niveau.

KlimaBot er en analysepakke, der består af sensorer, smartlamper, router og en digital platform. Gennem et undervisningsforløb får lærere, elever og ledelse viden om indeklima og bliver trænet i at lufte ud og i alternativ brug af skolens arealer – når CO<sub>2</sub>-niveauet eller temperaturen overskrider det anbefalede niveau. Det har givet bedre indeklima i de deltagende klassers undervisningslokaler.

De indsamlede sensordata fra skolen bliver inddraget i undervisningen. Fordi data kommer fra sensorer i alle lokaler og gangarealer, er det forventningen, at driftspersonalet kan bruge dem til at optimere skolens tekniske systemer samt foretage bedre prioriteringer af fremtidige bygningsforbedringer til gavn for indeklimaet.

### Eksempelværdi

Projektet viser, at det er muligt at opnå en hurtig og synlig forbedring af luftkvaliteten via en kombination af målesensorer, undervisning, lysende signallamper og ændret udluftningsadfærd. Opsætning af sensorer på hele skolen kræver en vis investering. Til gengæld er det potentielle udbytte stort på længere sigt, fordi driftspersonale og ledelse får overblik over indeklimaproblemer og dokumentation for effekten af at ændre adfærd eller renovere.

Der foreligger læringsmateriale til elever i indskoling, mellemtrin og udskoling, som er frit tilgængeligt for andre skoler. Det styrker forankringen af både viden og adfærd på skolen, og systemet kan tilpasses til alle klassetrin. Portalen kan udbygges til også at måle f.eks. lys, lyd og partikler.

Dato	Stof	ppm	Bemærkninger
23-08-2021 15:11	CarbonDioxide	577	Tomt lokale
23-08-2021 14:39	CarbonDioxide	602	Tomt lokale
23-08-2021 14:07	CarbonDioxide	707	Tomt lokale
23-08-2021 13:36	CarbonDioxide	799	Åbne vinduer
23-08-2021 13:04	CarbonDioxide	881	Åbne vinduer
23-08-2021 12:32	CarbonDioxide	1058	Lukkede vinduer
23-08-2021 12:00	CarbonDioxide	1005	Lukkede vinduer
23-08-2021 13:28	CarbonDioxide	758	Åbne vinduer
23-08-2021 12:57	CarbonDioxide	908	Åbne vinduer
23-08-2021 12:25	CarbonDioxide	836	Åbne vinduer
23-08-2021 11:53	CarbonDioxide	1178	Lukkede vinduer
23-08-2021 11:21	CarbonDioxide	1138	Lukkede vinduer
23-08-2021 10:50	CarbonDioxide	966	Åbne vinduer
23-08-2021 10:18	CarbonDioxide	869	Åbne vinduer
23-08-2021 09:46	CarbonDioxide	856	Åbne vinduer
23-08-2021 09:14	CarbonDioxide	1311	Lukkede vinduer
23-08-2021 08:43	CarbonDioxide	1363	Lukkede vinduer
23-08-2021 08:11	CarbonDioxide	783	Eleverne møder ind
23-08-2021 07:39	CarbonDioxide	547	Før skolestart
23-08-2021 07:07	CarbonDioxide	535	Før skolestart

Måledata fra en aktiv klasse, august 2021.  
CO<sub>2</sub>-niveauet falder ca. 25 pct. efter udluftning.  
Illustration: Geokon A/S

## Hvad er der gjort i eksemplet?

Taastrup Realskole er en privatskole med 700 elever. Skolen har testet KlimaBot i et 12-måneders projektsamarbejde med leverandøren Geokon A/S. KlimaBot kombinerer adfærdsændrende tiltag gennem undervisning med indsamling af sensordata på skolen.

### Adfærdspåvirkning

Projektet er gennemført med deltagelse af en lærergruppe, elever fra udskoling, skoleledelsen og medarbejdere fra leverandøren. Opsatte sensorer indsamler data, som via leverandørens digitale platform bliver stillet til rådighed for skolen, mens det er elever og lærere, der driver projektet og indarbejder det i undervisningen.

Fokus er på at forbedre indeklimaet fra dag 1 gennem jævnlig udluftning og evt. alternativ brug af arealerne på skolen. Smartlamper måler henholdsvis CO<sub>2</sub>-niveauet og temperaturen og markerer med grøn, orange og rød, hvornår der skal luftes ud. For andre lokaler bliver udluftningsadfærden aftalt med underviseren, typisk midt i timen og i frikvarteret.

Elementerne i undervisningen består blandt andet af:

- Indsamling af **indeklimadata** (fra skolen), som inddrages i undervisningen i faget natur/teknik.
- Eleverne **analyserer** deres egne adfærdsforbedrende tiltag og faktiske indeklimaforbedringer.
- **Konkurrencer** mellem eleverne for at motivere arbejdet.
- Materialer og analyseresultater kan **deles på tværs** og bruges af senere deltagere.

Der er store variationer i målingerne fra klasse til klasse afhængig af antal elever og deres opmærksomhed på at åbne vinduerne. Målinger af CO<sub>2</sub>-niveauet i lokaler med undervisning uden udluftning varierer typisk fra 1.140 til 1.685 ppm. I en aktiv klasse viser målinger, at udluftning giver en reduktion i CO<sub>2</sub>-niveauet på ca. 25 pct. og sænker niveauet til under 1.000 ppm.

Effekten er lige god sommer og vinter, men det kræver større opmærksomhed at gennemføre udluftningen i vinterhalvåret.



### Teknisk løsning

I forbindelse med projektet har skolen opsat 61 sensorer i alle lokaler og på gangarealer. Sensorerne måler på CO<sub>2</sub>, temperatur og luftfugtighed og sender løbende data til Geokons digitale platform.

Hertil kommer tre smartlampesæt a to lamper. Den ene måler temperaturen, og den anden CO<sub>2</sub>-koncentrationen. Lamperne er flytbare og kommunikerer via deres egen router med sensorerne i rummet, hvor de med grøn, orange og rød markerer god, problematisk eller kritisk værdi.

Taastrup Realskole har valgt at fortsætte samarbejdet efter projektperioden for at gøre indeklimaforbedrende adfærd til en naturlig del af hverdagen på skolen. Den permanente tilstedeværelse af sensorer gør det muligt for skolens driftsansvarlige at analysere, hvor der er behov for at optimere på driftssystemerne. Det er forventningen, at systemet vil hjælpe ledelsen med at afklare og foretage bedre prioriteringer af fremtidige bygningsforbedringer.

# Kunstig kanariefugl adværer om dårligt indeklima



2019-2021

## Forventet resultat:

- Sænket CO<sub>2</sub>-niveau og bedre udluftningsadfærd.
- Udvidet brug af indeklima til aktiv læring.
- Partnerskab fortsætter på andre skoler.

## Finansiering:

AirBird er på markedet og koster fra 1.500 kr. pr. stk. Offentlig-privat finansiering af erhvervsforskerprojekt. Det tværfaglige samarbejde mellem VELUX, GXN og LeapCraft, der har ført til AirBird, er støttet af Realdania.

## Partnere:

Fredensborg Kommune  
Kokkedal Skole  
VELUX Group A/S, CBS  
[forskervært og vejleder]  
Lara Anne Hale [erhvervsforsker]  
VELUX Group, GXN, LeapCraft  
[udvikling/producent]

## Kontakt:

Thorbjørn Færing Asmussen,  
thorbjorn.asmussen@velux.com

## Parametre



Dårlig luft er usynlig. Med kanariefuglen bliver den gjort synlig og tilstedeværende, og både lærere og elever følger den pippende sensors opfordringer til at lufte ud.

En sensor, der måler CO<sub>2</sub>, temperatur og relativ luftfugtighed, er forklædt som en kunstig kanariefugl. Når den flytter ind i klasselokalet, adværer den med venlige pip om behovet for at lufte ud – og måske holde en lille pause. I kombination med undervisning om et godt indeklima fungerer den kunstige kanariefugl som et "nudge", der næsten får karakter af klassens kæledyr.

Kanariefuglen AirBird er et konkret udbytte af et offentlig-privat partnerskab, der har fokus på at udvikle en samarbejdsstrategi og indeklimaplan for kommunens skoler. Heri indgår et erhvervsforskerprojekt, hvor forskeren ved brug af blandt andet antropologisk forskning har testet adfærdsmæssige greb for at inddrage brugerne og øge engagementet for indeklimaet. Sensoren forklædt som kanariefugl er resultatet af en co-creation mellem forskellige erhvervsvirksomheder.



Kortlægning af indeklimaet før renovering viste, at der især er problemer med højt CO<sub>2</sub>-niveau i lokalerne. Foto: Lara Anne Hale

## Eksempelværdi

Den kunstige kanariefugl er et nudge, som bliver integreret i dagligdagen i klasselokalet og inspirerer til bedre indeklimaadfærd. Styrken er især sensorens evne til at appellere følelsesmæssigt til både børn og voksne. Og fordi mange sensorer kan sende data til bygningens centrale styringsenhed, er der potentiale for også at optimere og opnå bedre driftsstyring.

Projektet er et eksempel på et visionært partnerskab mellem en kommune, et universitet og virksomheder, der kobler forskning [teknisk og social baseline over indeklimaets tilstand], udvikling af ny teknologi [AirBird] med et strategisk og helhedsorienteret arbejde med indeklima.

## Hvad er der gjort i eksemplet?

Fredensborg Kommune har planer om at renovere Kokkedal Skole for 35 mio. kr. som en del af det større program Fremtidens Folkeskoler i kommunen. I forbindelse med kortlægning af indeklimaet på skolen [forud for renoveringen] opstod ideen om at tilknytte et erhvervsforskerprojekt med afsæt i et offentlig-privat partnerskab. Målet er at udvikle en samarbejdsstrategi og en indeklimaplan for skolen. Udviklingen af den kunstige kanarieflugt opstod undervejs som en spinoff og er på den måde blevet et selvstændigt projekt sideløbende med det forestående renoveringsprojekt.

### Adfærdspåvirkning

Erhvervsforskeren har benyttet en kombination af tekniske målinger og etnografiske metoder til at kortlægge adfærden og brugen af klasselokaler og fælles atrium. Kortlægningen viste, at der især er problemer med højt CO<sub>2</sub>-niveau.

En af tilgangene til at løse problemerne er adfærdsmæssig påvirkning, og ideen om et emotionelt appellerende nudge opstod. Sammen med forskerværten VELUX blev der igangsat et co-creation-projekt om at designe, udvikle og sætte AirBird i produktion i samarbejde mellem VELUX, Leapcraft og GXN. En prototype blev testet i tre klasseværelser på skolen. Blandt andet for at udfordre undervisernes oplevelse af, at de luftede tilstrækkeligt ud.

Kombinationen af kommunikation om indeklimaet til lærere og elever samt AirBird i klasselokalet påvirkede adfærden. Fuglen pipper, når CO<sub>2</sub>-niveauet bliver for højt, så både lærere og elever bliver opmærksomme på dårlig luft, og eleverne lugter ud. Fuglen er samtidig blevet en populær klassekammerat. Produktet er blevet udviklet, så det kan kobles til en bygnings digitale styringssystemer og f.eks. hjælpe driftspersonalet med at overvåge og optimere indeklimaet.

AirBird kan placeres i klasselokalet, hvor den måler CO<sub>2</sub>, temperatur og relativ luftfugtighed. Den kunstige kanarieflugt pipper, når der skal frisk luft til. Og data kan sendes til skolens bygningsstyringssystem og driftspersonale. Foto: Morten Asbjørn Jensen



### Organisatorisk effekt

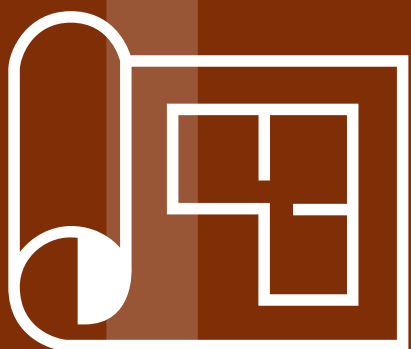
En omfattende baseline af sociale og tekniske forhold i skolebygningen indgår som grundlag for den kommende større renovering af skolen. Fokus er på både at forbedre indeklimaet, modernisere læringsrummene og reducere energiforbruget. Samarbejdsstrategien har haft fokus på tre niveauer i indeklimaplanen:

- Individuelt/adfærdsniveau. Herunder bl.a. nudging som den kunstige kanarieflugt i eksemplet.
- Facilitetsstyringsniveau. Herunder at give driften bedre værktøjer til at overvåge, styre og optimere både indeklima og energiforbrug.
- Kommunalt niveau. For at bidrage til at løfte Fredensborg Kommunes vision om at skabe de bedste rammer for undervisning i folkeskolen ved at vise, at samarbejde giver de bedste resultater.









# Mindre projekter

· Meget for lidt. Sådant kan man måske bedst betegne denne  
· kategori. Med små forbedringer af bygningsdele, inventar eller  
· rengøring er det muligt at opnå markante forbedringer i forhold  
· til støj, temperatur og – ikke mindst – akustik.

· De seks eksempler er desuden kendetegnet ved, at de er af-  
· grænsede og enkle at udføre. Enten som et mindre renoverings-  
· projekt, der gennemføres med minimal gene i hverdagen, og mens  
· skolen er åben. Eller som en del af den daglige drift.

· Det er bemærkelsesværdigt, at de i byggeteknisk forstand mindre  
· komplicerede projekter giver plads til at rumme en række vigtige  
· hensyn: Udvikling af lokaler sammen med og for elever med  
· særlige behov. Brug af genbrugsmaterialer. Eller vægt på farver  
· og taktile overflader, der stimulerer alle sanser og styrker sammen-  
· hængen mellem rum og læring.

· Det er også værd at bemærke, at alle eksemplerne indgår på de  
· eksisterende rammers præmisser. Ved at tilpasse sig, når der er  
· kvaliteter, der skal bevares. Eller ved at tilføje elementer, når der er  
· brug for nye funktioner.

· Selvom projekterne er små, er de på ingen måde hovsaløsninger.  
· Snarere vidner de om, at man kan nå langt med "rumakupunktur",  
· hvor indsatsen rettes præcist mod det særlige indeklima-para-  
· meter, der ønskes forbedret.

# Rum-i-rum med farver og akustikelementer



2019

## Opnået resultat:

- Det lydabsorberende areal lever op til bygningsreglementets krav.
- Støjniveau og taleforståelse under leg er forbedret.

## Finansiering:

Kommunal egenfinansiering af projektet. Samlet investering på 102.500 kr. inklusive montering.

## Partnere:

Fløng Skole  
Alpha Akustik (leverandør)

## Kontakt:

Alpha Akustik  
post@alpha-akustik.dk

Tidligere var rumklangen i fælleslokalet som lyden i en sports-hal. Efter projektet er lyden dæmpet, og børnene kan lege i de forskellige zoner uden at forstyrre andre aktiviteter.

Fællesområdet i SFO'en på Fløng Skole er blevet akustikreguleret og opdelt i forskellige fordybelseszoner for at reducere både støjni-veauet og skabe bedre rammer om aktiviteterne i rummet. Akustiske skærmvægge i kombination med akustikbilleder og akustikvægge tilgodeser begge behov.

Løsningen er blevet udviklet i et tæt samarbejde mellem det pædagogiske personale, en designer og en akustiker fra leverandøren.

Materialer, farver og opdelingen i rum-i-rum indikerer, hvilke aktiviteter forskellige områder egner sig til. Ved at tilføre

store mængder lydabsorbenter dæmpes lyd og efterklangstid. Fællesrummets indeklima er blevet forbedret lydmæssigt, og absorbenterne har bidraget til at optimere anvendelsen af lokalet.



Farvede akustikelementer markerer forskellige aktivitetszoner.  
Foto: Marie Møller-Hansen/Alpha Akustik

## Eksempelværdi

Projektet er et eksempel på samtænkning af tekniske og rumlige tiltag i forhold til støjdemning. Indeklimaet i fællesrummet har fået en betydelig opgradering, inden for et relativt lille budget, gennem lydabsorbering og adfærdsændringer.

Inddragelsen af det pædagogiske personale i samarbejdet med rådgivere og leverandør er en styrke. Det har givet vigtige input til udformningen og den visuelle udførelse af den tekniske løsning, samt at fleksibiliteten i rummet understøtter det pædagogiske arbejde.

## Parametre





### Hvad er der gjort i eksemplet?

Personalet havde tidligere svært ved at bruge fællesrummet i SFO'en optimalt på grund af dårlige akustiske forhold. Der var for meget støj og uro. Sammen med skolens ledelse blev der taget initiativ til en forbedring af indeklimaet og trivselen i fællesrummet. Projektet har både haft fokus på at regulere akustikken og optimere lokalets indretning.

### Teknisk løsning

Bygningsreglementet stiller, i fællesrum med loftshøjde over 4 meter og rumvolumen større end 300 kubikmeter, krav til størrelsen af de lydabsorberende arealer. Rationalet er, at lyd miljøet skal give mulighed for at føre samtaler med høj taleforståelse. Men også, at flere børn kan opholde sig og dyrke forskellige aktiviteter samtidig, uden at støjniveauet bliver generende.

Selve den støj dæmpende løsning består af forskellige akustiske skærmvægge i kombination med akustikbilleder på væggene og faste akustikvægge. F.eks. er gamle blændede vinduer blevet udfyldt med en tekstilbeklædt lydabsorbent. Leverandørens akustiker har udregnet, hvor meget absorberende materiale der skulle tilføres rummet, samt stået for produktion og opsætning.

### Rumlig forandring

Motiverne, farvesammensætningen og funktionsopdelingen af fællesrummet er skabt gennem et tæt samarbejde mellem personalet, indretningsdesigneren og akustikeren. Det nye akustikinventar fungerer som visuel nudgning for børnene:

- Skovmotivernes brune og grønne farver markerer de områder, hvor man sidder og spiser.
- De røde nuancer markerer teaterscenen, hvor man optræder og henvender sig til andre.
- De blå og gule farver markerer forskellige kreative rum, hvor man kan fordybe sig, f.eks. tegne.

Skærmvæggene er lette at flytte rundt på, så de mange mulige rum-i-rum kan understøtte forskellige aktiviteter. De akustiske beregninger viser, at fællesrummet lever op til bygningsreglementets krav. Støjniveauet i lokalet er faldet, taleforståelsen er forbedret, og indeklimaet har fået et væsentligt løft både lyd mæssigt, visuelt og rumligt.

# Zoneopdelt rum mindsker støj og styrker læring



2019

## Opnået resultat:

- Perioder over 60 dB reduceret fra 8 pct. til 3 pct.
- Færre timer med temperatur over 26°C.
- Eleverne oplever bedre trivsel og koncentration.

## Finansiering:

Egenfinansiering af udgifter til rådgiverhonorar. Lamper og akustikpaneler sponsoreret af producent. Alt inventar er genbrug. Realdania har givet 750.000 kr. i støtte til Dragør Kommunes strategiske indeklimaplan, som en del af kampagnen Skolernes indeklima.

## Partnere:

Dragør Kommune  
Store Magleby Skole  
Arkitema Architects [rådgiver]

## Kontakt:

Line Ditlev  
lined@dragoer.dk

## Parametre



Zoneinddelingen af klasselokalet giver plads til forskellige læringsituationer, bedre inklusion og markant lavere støjniveau.

Store Magleby Skole har gennem flere år arbejdet med **zoneopdeling i fællesarealerne** og var interesseret i at afprøve, hvilken effekt nyindretning af klasselokalerne har på indeklima og trivsel. Ikke mindst fordi testklassen på skolen har otte børn med inklusionsudfordringer.

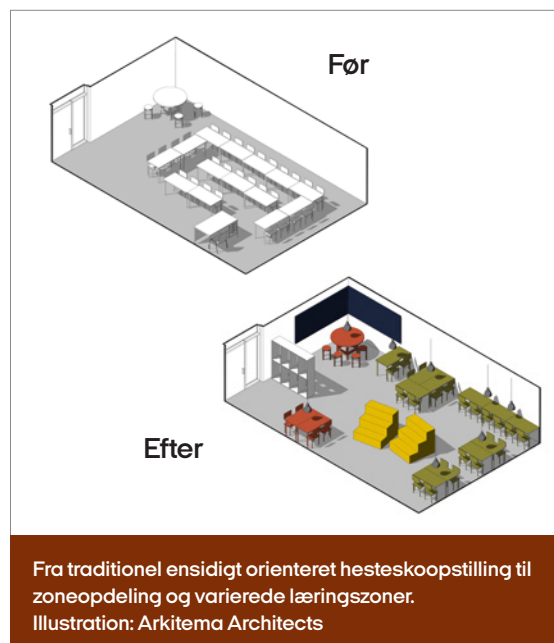
Det har været en stor overraskelse, at **støjniveauet er blevet sænket markant**, efter at de fysiske rammer er ændret, så de understøtter de **forskellige læringsituationer** formidling, projektflade og fordybelse. Eleverne er også blevet bedre til at lufte ud, hvilket især har sænket temperaturen.

Det meste af inventaret er **genbrug** fra klasselokalet suppleret med ting fra skolens depot. Og selve gennemførelsen er **sket i et fint samarbejde** mellem skolens ledelse, klasselæreren, eleverne og skolens driftspersonale.

## Eksempelværdi

Projektet er et godt eksempel på, hvordan man ved enkle og billige greb kan foretage rumlige forandringer, der både styrker læringen og forbedrer indeklimaet. Ændringerne understøtter samtidig ambitionen om mere bevægelse og mulighed for holddeling af eleverne, hvilket øger trivslen og giver bedre fysiske rammer til at rumme elevernes individuelle læringsbehov.

Samarbejdet mellem både ledelse, lærere, elever og driftspersonale er positivt. Det styrker den fælles forståelse for sammenhængen mellem trivsel, læring og indeklima. Med få ekstra midler kan man som her også forbedre lys og akustik og på den måde få arbejdet sammenhængende med flere af indeklimaets parametre.



## Hvad er der gjort i eksemplet?

Zoneopdelte rum kan, især i indskolingen, være med til at understøtte skolereformens krav om blandt andet bevægelse og mulighed for holddeling i alle klasser. I Dragør Kommune og mange andre steder findes der stadig helt traditionelt indrettede klasselokaler. Projektet var drevet af ambitionen om at undersøge, hvordan nyindretning af et traditionelt klasselokale kan bidrage til at forbedre indeklimaet. 2. c på Store Magleby Skole blev udpeget til forsøgsklasse.

### Rumlig forandring

Zoneopdeling er en tydelig kodning af et rum, så både lærere og elever nemt kan overskue, hvad der skal foregå hvor og hvordan. De oftest brugte begreber er formidling, projektflade og fordybelse, som også er dem, Dragør Kommune arbejder med. Opdelingen er med til at skabe fokus og bevægelse mellem zonerne i løbet af timerne og understøtter de naturlige pauser i undervisningen, som mange har brug for i løbet af dagen.

I et samarbejde mellem rådgiveren og klassens lærere blev den fysiske indretning og inventaret i klasselokalet gen tænkt. Sammen med driftspersonalet lykkedes det at genbruge inventar og supplere med effekter fra skolens depot. Den fysiske forandring blev igangsat i sommerferien.

Før var klasselokalet et helt traditionelt rum på 58 m<sup>2</sup>, ensidigt belyst, med et smartboard fastmonteret på den ene væg og samtlige 26 borde placeret i en hestesko vendt mod smartboardet. Nu er klasselokalet opdelt, så gul zone understøtter formidling, grøn zone understøtter projektflade, og orange zone understøtter fordybelse.

Rummet er tydeligt kodet. Når man sætter sig på trappen, ved alle, at nu skal der ske en formidling osv. Det giver fokuseret koncentration og bevægelse mellem de forskellige læringsituationer. Den rumlige forandring er blevet støttet af akustikpaneler og nye loftspendler, som er med til at tydeliggøre de nye arbejds- og fokusområder.

Ved en opstartsworkshop med klassen blev der spurgt ind til trivsel. Og der blev fulgt op med de samme spørgsmål efter den nye indretning. Sensorer har ligeledes målt CO<sub>2</sub>, lydniveau og temperatur i klassen før og efter. Selvom børnene generelt var glade for at gå i klassen og i skolen, oplever de forbedret trivsel med den nye indretning. Det er rart at kunne bevæge sig rundt og f.eks. vælge imellem at sætte sig på trappen og læse eller hygge i hjørnet. Alle elever har også bemærket, at der er blevet mere ro, og at de har mindre hovedpine.

Via sensorer opsat i lokalet er det dokumenteret, at især perioder med støj over 60 dB er faldet fra 8 pct. til 3 pct. af tiden. Og fordi eleverne spreder sig og er gode til at lufte ud, er perioder med temperaturer over 26°C faldet fra 32 pct. til 8 pct. af tiden.

### Organisatorisk effekt

Ud over Store Magleby Skole er der gennemført tilsvarende forsøg på Dragør Skole og Nordstrandskolen. Her er der også gode resultater i form af især mindre støj, højere koncentration og bedre trivsel. Forsøgene har været med til at sætte fokus på koblingen mellem indeklima, adfærd, rum og læringsniveau både på forvaltningsniveau og politisk.



# Plastflasker blev til nye lofter og opslagstavler, der forbedrer akustikken



2018-2019

## Opnået resultat:

- Efterklangstid i vandrehal reduceret fra 2,0-2,5 til 0,8-0,9 sek.
- Akustik møder BR-krav i alle møblerede lokaler.
- Omkostningseffektiv lydabsorbent af bæredygtigt materiale.

## Finansiering:

Loftsplader, opslagstavler samt montage er finansieret af Rudersdal Kommune og beløber sig til ca. 250.000 kr.

## Partnere:

Rudersdal Kommune  
Arkitektfirmaet Arktiv ApS [rådgiver]  
Intelligent Space ApS [producent]

## Kontakt:

Svend Hangaard  
svend@intelligentspace.dk

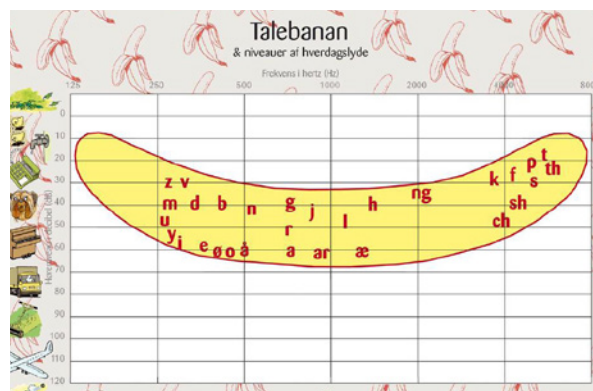
## Parametre



Genanvendte plastflasker har vist særlig gode lydabsorberende egenskaber og formbarhed. Og fordi gamle asbestholdige plader bliver forsejlet under de nye loftsplader, sparer løsningen både tid og penge.

Asbest i loftsplader og dårlig akustik indgik som en helt konkret udfordring, da Skovlysskolen skulle helhedsrenoveres. Ved at anvende det innovative materiale Soundscapes™, der består af spundet genanvendt plastikgarn, opnår man både en klasse A-akustisk ydeevne og et udseende, der respekterer den bevaringsværdige 60'er-skoles stramme arkitektur. Samtidig var det muligt at forsejle de gamle asbestholdige loftsplader bag de nye plader og dermed undgå en dyr og omfattende nedlukning af skolen.

Akustikrenoveringen er sket i samarbejde med skolens hørehæmmede børn, deres forældre og skolens ledelse. De innovative løsninger er blandt andet udviklet for at sikre optimale akustiske betingelser for de såkaldte Cochlear Implants [et avanceret høreapparat]. Tilføjelsen af fleksible akustikdæmpende opslagstavler gør det endvidere let at tilpasse alle lokaler akustisk til høre-børnene – og skolen får i realiteten mange flere undervisningsegne kvadratmeter uden at bygge nyt.



I skoler er taleforståelse vigtigt. Da de fleste sproglyde ligger i spektret ca. 250-4.000 Hz, er det også her, man vil nedsætte efterklangstiden. Illustration: Copyright, Center for Høretab

## Eksempelværdi

Projektet er et eksempel på, hvordan en aktiv forældregruppe til hørehæmmede børn fik sat fokus på problemer med skolens akustik. De forbedrede efterklangstider og mulighed for fleksibel tilpasning af flere lokaler til det pædagogiske arbejde forbedrer ikke alene trivslen for de hørehæmmede børn. Alle skolens børn har glæde af projektet.

Den tekniske løsning er innovativ og bæredygtig. Forsejling af gamle asbestholdige eternitplader sparer mange penge i renoveringen. De genanvendte plasticflasker af polyetylentereftalat (forkortet PET) er et eksempel på upcycling. Ikke alene har materialet fremragende akustiske egenskaber, det er også meget fleksibelt. Eksemplet kan fungere som inspiration ved renovering af mange skoler med tilsvarende udfordringer.



## Hvad er der gjort i eksemplet?

Helhedsrenoveringen af Skovlyskolen har haft fokus på forbedring af de pædagogiske rammer, indeklimaet og energiforbruget med respekt for den bevaringsværdige 60'er-arkitektur. Skolens asbestholdige loftsplader udgjorde en selvstændig udfordring, og inklusionen af hørehæmmede børn stillede særlige krav til akustikforbedring.

### Teknisk løsning

Rådgiver og producent har udviklet en løsning, hvor genanvendt PET fra plasticflasker i det svenske returflaskesystem bliver spundet til store baller, der ligner uld eller bomuld. Fibrene kan bruges til tøj eller, som her, presses sammen til meget stabile og robuste plader med en klasse A-akustisk ydeevne [Soundscape<sup>TM</sup>].

Det innovative i løsningen er, at pladerne har kunnet monteres direkte neden under de eksisterende asbestholdige loftsplader. Fordi eternitpladerne ikke var nedbrudt, blev de forseglede med en maling og monteret med Soundscapes<sup>TM</sup>-pladerne. Materialet har den fordel, at pladernes overflade ligner de oprindelige eternitplader, så løsningen passer fuldstændig ind i den originale arkitektur. Herudover er materialet blevet brugt i mobile akustiske opslagstavler.

Anvendelse af PET som lydabsorbent har vist sig som en stor styrke. Materialet er hygiejnisk, let, robust, bæredygtigt og æstetisk tiltalende. Og produktionen er meget fleksibel og omkostningseffektiv. I dette tilfælde har det været billigere at nyudvikle løsningen end at bruge eksisterende materialer og metoder. Det har muliggjort en mere omfattende akustikopgradering på skolen, end hvis f.eks. de gamle asbestholdige plader skulle have været nedtaget.

### Rumlig forandring

Hørehæmmede børn med Cochlear Implant er særligt følsomme over for både meget lang og meget kort efterklangstid. Skolen har en del hørehæmmede elever,



Loftsplader og opslagstavler produceret af genanvendt PET-plast forsejler gamle asbestholdige loftsplader og forbedrer akustikken markant. Foto: Intelligent Space ApS

og projektet er gennemført i et samarbejde mellem disse elever og deres forældre. Bl.a. er børnenes særlige behov for generel dæmpning, høj taleforståelse og bevaret klang kortlagt sammen med andre patientforeninger.

For at tilgodese børnenes særlige akustikkrav blev løsningen med fleksible opslagstavler udviklet. De er ved hjælp af et skinnesystem monteret på væggene i vandrehallen og i udvalgte klasselokaler. Ud over at være særligt effektive til at akustiktilpasse lokalet/området til de hørehæmmede børn udvider opslagstavlerne de pædagogiske muligheder og tilføjer skolen flere undervisningseggede kvadratmeter. Samtidig er de produceret, så de kan flytte med børnene rundt på skolen, når de f.eks. skifter klasseværelse.

Efterklangstiden i vandrehallen er reduceret fra 2,0-2,5 til 0,8-0,9 sek., og i de udvalgte klasselokaler holdes efterklangstiderne under 0,6 sek. for alle frekvensbånd. Generelt har alle elever og skolens personale bemærket den forbedrede akustik og de positive effekter på trivlsen.

# Ventilatorer i højloftede rum giver bedre temperatur hele året



2020

## Forventet resultat:

- Bedre komforttemperatur i gulvhøjde.
- Oplevet temperatursænkning på 5°C på varme dage.
- 24 pct. varmebesparelse i vinterhalvåret.

## Finansiering:

Kalundborg Kommune har finansieret levering og opsætning af tre HVLS-ventilatorer. Samlet pris: ca. 150.000 kr.

## Partnere:

Kalundborg Kommune  
Nordicco A/S (producent)  
WERTHs EI (installatør)

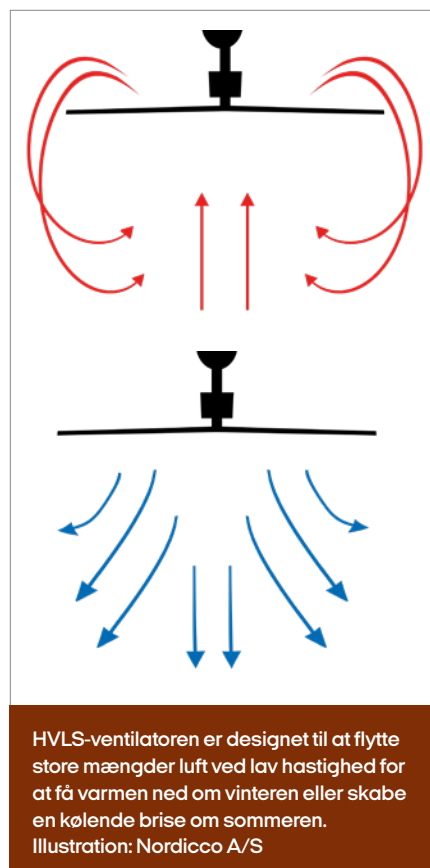
## Kontakt:

Dennis Thomsen  
dennis@nordicco.eu

Med store loftsventilatorer bliver varmen fordelt i højloftede rum. Det giver bedre indeklima, samtidig med at der kan spares betydeligt på energiforbruget.

Det er et kendt problem, at varmen stiger til vejrs i sportshaller og højloftede atriumlokaler. Således også på Høng Skole, hvor der ofte var stor temperaturforskel mellem gulv og loft. Om vinteren kræver det meget energi at varme op for at opnå komforttemperatur i gulvhøjde. I særlig varme perioder oplever brugerne desuden, at det bliver for varmt, når de dyrker sport i hallen.

Der er med stor succes blevet opsat såkaldte High Volume Low Speed-ventilatorer [HVLS-]. To i sportshallen og en i et højloftet atrium. Det aflaster ventilationsanlægget, og indeklimaet bliver forbedret med mere konstant temperatur. Om vinteren bliver varmen ført mod gulvet, hvilket sparer energi. Og om sommeren giver luftens bevægelser en oplevet temperatursænkning [chill-faktor] på op til 5°C på varme dage.



HVLS-ventilatoren er designet til at flytte store mængder luft ved lav hastighed for at få varmen ned om vinteren eller skabe en kølende brise om sommeren.  
Illustration: Nordicco A/S

## Eksempelværdi

Projektet er et eksempel på, hvordan man billigt og enkelt kan holde den varme luft nede ved gulvet i mange højloftede lokaler på skoler og i idrætshaller rundt omkring i landet. Ud over forbedret trivsel er den potentielle energibesparelse stor. Det betyder lav tilbagebetalingstid for installationen.

Eksemplet viser også, hvordan drifts- og servicefolk kan få nye muligheder for at forbedre indeklimaet uanset evt. begrænsninger i det eksisterende varme- og ventilationsanlæg. HVLS-ventilatorerne vil kunne bidrage til en mere effektiv opvarmning om vinteren og køling om sommeren i de fleste store højloftede rum.

## Parametre



## Hvad er der gjort i eksemplet?

Kalundborg Kommune søgte en løsning til at opnå en bedre varmefordeling i især idrætshaller og gymnastiksale. Eksisterende ventilationsanlæg tilførte varme til rummene, som stiger til vejrs og ikke bliver udnyttet effektivt. Den dårlige temperaturfordeling påvirker indeklimaet og trivslen negativt for brugerne.

### Teknisk løsning

På Høng Skole blev der opsat to HVLS-ventilatorer i idrætshallen og en i et højloftet opholdsrum med et stort glasparti. Ventilatorerne påvirker indeklimaet både sommer og vinter.

I vinterhalvåret sørger ventilatoren for temperaturudligning på tværs af rummet. Metoden er simpel: HVLS-ventilato-

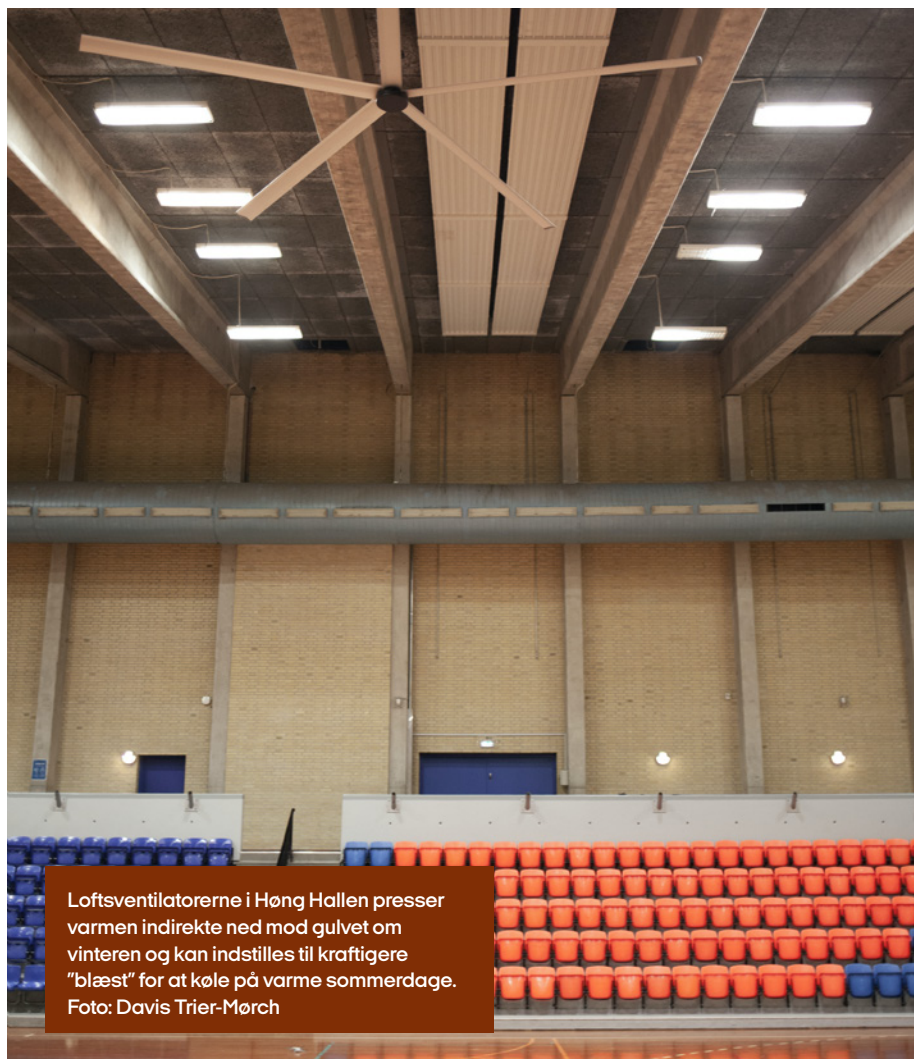
erne presser den varme luft nedad og rundt i lokalet, luften bliver opblandet, og man opnår samme temperatur i hele lokalet. På den måde undgår man, at varmeanlægget skal tilføre unødvendig varme for at opnå komforttemperatur i gulvhøjde. Den mere konstante temperatur forbedrer indeklimaet, og fordi indblæsnings-temperaturen på varmeanlægget kan sænkes, spares der samtidig energi.

Under hedeølgen i 2020 eksperimenterede servicelederen med at køre ventilatorerne i "forward mode", hvilket giver en mere direkte tilførsel af luften i hallerne. Brugere oplevede den kraftigere luftstrøm meget positivt, fordi den svalende vind virker kølende.

Om vinteren bruges primært "reverse mode", som fordeles luften mere indirekte ned mod gulvet.

Baseret på stamdata fra Høng Hallen og aflæsningsdata fra målere i hallen forventes energibesparelsen ved at opsætte HVLS-ventilatorerne at være 24 pct. Det svarer til ca. 40.000 kr. om året. Chill-faktoren om sommeren er anslået til 5°C på varme dage, fordi temperaturen opleves som værende lavere, når luften er i bevægelse. Det kræver i øvrigt også væsentlig mindre energi at sætte luften i bevægelse end at køle den med f.eks. et aircondition-anlæg.

Tilfredsheden er stor hos de teknisk ansvarlige, og de store loftsventilatorer er efterfølgende blevet installeret i alle kommunens større haller. På grund af COVID-19 har mange skoler og haller været nedlukket i lange perioder i vinteren 2020-2021. De afsluttende beregninger følger efter en normal driftsperiode.



Loftsventilatorerne i Høng Hallen presser varmen indirekte ned mod gulvet om vinteren og kan indstilles til kraftigere "blæst" for at køle på varme sommerdage.  
Foto: Davis Trier-Mørch

# Solfilm sænker temperaturen bag store glaspartier



## 2020

### Forventet resultat:

- 2-3°C lavere indetemperatur.
- Mindre blænding og reflekser på tavle og borde.

### Finansiering:

Kommunal egenfinansiering. Samlet investering inkl. rådgivning og opsætning: ca. 500.000 kr.

### Partnere:

Miljø & Teknik, Albertslund Kommune  
Transition ApS (rådgiver)  
Daki (leverandør)

### Kontakt:

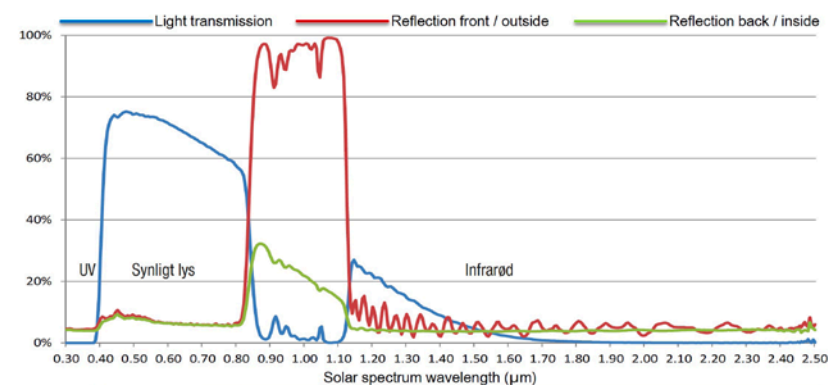
Rasmus Martens Jakobsen  
rasmus@transition.nu

Solfilm sænker temperaturen i lokalerne. Både elever og lærere oplever også færre problemer med blænding og reflekser, hvilket er en uventet bonuseffekt.

Herstedlund Skole og Herstedøster Skole havde problemer med overtemperaturer i mange lokaler. Opsætning af udvendig solfilm på alle østvendte vinduer forventes at sænke indetemperaturen med 2-3°C. Det valgte produkt har både stor udvendig varmeafvisning og lav spejleffekt. Kommunen ønsker nemlig at respektere skolernes arkitektur ved at vælge en næsten usynlig solfilm.

Som en del af arbejdet med Albertslunds Kommunes strategiske indeklimateplan er indeklimate på skolerne blevet kortlagt. Den viser blandt andet, at det er nødvendigt at sænke temperaturen i en stor del af særligt de østvendte lokaler på de to skoler. Solfilm er valgt som en omkostningseffektiv løsning, der kan gennemføres hurtigt.

## Solar egenskaber og lystransmission



Den valgte solfilm fra 3M afviser 52 pct. af solenergien, blokerer UV-stråler og reducerer genskær med 21 pct. Illustration: 3M

## Eksempelværdi

Projektet viser, hvordan solfilm kan være en effektiv måde at løse indeklimateproblemer med overtemperaturer i soludsatte lokaler på. Metoden er omkostningseffektiv og kan udføres uafhængigt af andre indeklimateprojekter – uden at ændre på bygningernes arkitektur eller æstetiske udtryk i øvrigt.

Eksemplet viser værdien af at have udarbejdet en strategisk indeklimateplan med prioriterede indsatser for alle kommunens skoler. Det giver effektiv prioritering af midlerne, når man som her gennemfører de mest omkostningseffektive tiltag med størst relativ indeklimateffekt først.

### Parametre



## Hvad er der gjort i eksemplet?

Den strategiske indeklimaplan i Albertslund Kommune er udarbejdet i et pilotprojekt som en del af Realdanias kampagne Skolernes indeklima. I planen indgår, at to af kommunens skoler skal have solfilm på alle østvendte vinduer for at afhjælpe indeklimaproblemer som følge af overtemperaturer i en stor del af lokalerne.

### Teknisk løsning

Problemet med overtemperaturer kan løses på forskellige måder. Solfilm er en meget lidt indgribende løsning, der samtidig respekterer bygningens arkitektur og æstetik, modsat hvis der f.eks. bliver ændret i vinduespartiernes størrelse, opsat markiser eller pergolaer.

Erfaringer viser, at solfilm har den bedste effekt, når den bliver monteret udvendig. I Albertslund var det endvidere vigtigt, at solfilmen ikke virker som et spejl udefra, at den har størst mulig solafvisende effekt, høj lystransmission og klar toning. Valget faldt på en solfilm fra 3M med følgende produktgenskaber:

- Afviser 52 pct. af solenergien.
- Er monteret udvendig.
- Udvendig refleksion på 8 pct.
- Lystransmission på 70 pct.

Selvom solfilmen er med til at forbedre indeklimaet, indebærer løsningen også flere kompromisser.

Solfilmen blokerer blandt andet for et muligt varmetilskud om vinteren, der ellers kunne bidrage til at reducere energiomkostningerne. Solfilmen kan også kun monteres, når det er over 5°C, for at sikre ordentlig hærkning. Montagen på de to skoler i efteråret 2020 tog til gengæld kun få uger.

Det har ikke været muligt at foretage målinger af den faktiske effekt i sommermånederne på grund af skolenedluknin-

ger [COVID-19]. Den forventede effekt er en reduktion af rumtemperaturen på 2-3°C. Klasseværelserne er udstyret med indeklimasensorer, som vil kunne dokumentere den faktiske effekt.

### Organisatorisk effekt

Albertslund Kommune har haft indeklimaet på den politiske dagsorden i en årrække. Det er tænkt ind i kommunens strategi, og der er afsat midler til at forbedre læringsmiljøet på skolerne. Ud over de tekniske forbedringer af indeklimaet er der fokus på at forankre indeklimaforbedringer helt ned på elevniveau og blandt lærere og serviceledere på skolerne for at styrke gennemførelsen.

Det kommer også til udtryk i kommunens strategiske indeklimaplan, der indeholder en prioriteret oversigt over, hvilke indeklimaprojekter der skal gennemføres i specifikke lokaler på kommunens fire skoler i løbet af de næste år med fokus på alle indeklimaets parametre.

Det organisatoriske fokus på indeklimaet er grunden til, at solfilmsprojektet har kunnet gennemføres som et selvstændigt projekt. Det er en lavthængende frugt og uafhængigt af senere indeklimaforbedringer i de samme lokaler i form af f.eks. akustiklofter, ventilation og ny belysning.



Herstedlund Skoles østvendte facade havde store udfordringer med overtemperaturer. Den opsatte solfilm er stort set usynlig.  
Foto: Marcus Frostholt

# Overfladecoating af gulve reducerer støv markant



2020

## Forventet resultat:

- Reduktion af støv med minimum 40 pct.
- Mindre sygefravær.
- Besparelse på luftfiltre til ventilationsanlæg.

## Finansiering:

Fjordskolen finansierer en årlig merudgift til rengøring på ca. 40.000 kr. Fjordskolen er en del af en større rengøringskontrakt mellem Aabenraa Kommune og Forenede Service.

## Partnere:

Fjordskolen  
Forenede Service [leverandør]  
Aks2tal [producent]

## Kontakt:

Louise Munch Johansen  
ljoh@forenede.dk

Løsningen med en støvbinder til gulvask er overraskende effektiv. Mindre støv forbedrer indeklimaet uden at ændre i rengøringsrutinerne i øvrigt.

Personalet havde mistanke om for meget støv i luften og dårligt indeklima. I samarbejde med Fjordskolens rengøringsleverandør blev en støvbinder tilføjet den daglige rengøringsrutine i form af et 100 pct. biologisk nedbrydeligt vaske-pleje-middel.

Skolen er en specialskole med mange sårbare børn. Det er derfor særlig vigtigt, at løsningen ikke forstyrrer skolens hverdag. Før- og eftermålinger dokumenterer en reduktion af støv i luften på minimum 40 pct. Luftkvaliteten opleves også mærkbart bedre, og forventningen er reduceret sygefravær for både børn og personale.



Støvmålinger med sensorer – før og efter tilsætning af støvbinderen – dokumenterer støvreduktionerne.  
Foto: Aks2tal

## Eksempelværdi

Projektet viser, hvordan et innovativt produkt kan indarbejdes i eksisterende rengøringsrutiner og reducere støvindholdet i luften betydeligt. Den økonomiske investering er begrænset og bliver formentlig overgået af de forventede positive effekter af det forbedrede indeklima. Som en bonus er støvbinderen et biologisk nedbrydeligt produkt, der bidrager til at gøre gulvene mere skridsikre.

Løsningen forstyrrer ikke undervisningen i hverdagen, hvilket er vigtigt i skolesammenhæng. Produktet kan indarbejdes i de almindelige rengøringsrutiner. Det er med til at forenkle implementeringen, også selvom det kræver træning at bruge produktet korrekt.

## Parametre



## Hvad er der gjort i eksemplet?

Arbejds miljøgruppen på Fjordskolen var bekymret over indeklimaet, blandt andet på grund af store mængder støv i luften. Ideen til projektet opstod efter en henvendelse fra kommunens servicepartner og leverandør af rengøring, som foreslog et forsøg med en støvbinder.

### Teknisk løsning

Støvbinderen er et danskproduceret, 100 pct. biologisk nedbrydeligt vaske-pleje-middel til alle gulvtyper, som binder støvet til gulvet. Det er uden duft og konserveringsmidler og uden mærkningspligt [ikke lokalirriterende]. I selve vaskeprocessen bliver gulvet forsynet med en tynd belægning. Belægningen binder støvet, hæmmer ophvirvling af støv og gør gulvet mindre glat. Gulvet fremstår også mere blankt, hvilket bidrager til oplevelsen af rene overflader.

Det er let for leverandørens certificerede medarbejdere at implementere coatingen i de daglige rengøringsrutiner. De betyder også, at det sker uden gene for hverken de sårbare elever eller skolens personale.

Projektet er gennemført i tæt samarbejde med arbejds miljøgruppen. I testperioden foretog producenten førmålinger af støvindholdet på en række kritiske knudepunkter på skolen. Efter tilsætning af støvbinderen i en måned viser tilsvarende målinger en reduktion i støvmængderne på mellem 38 pct. og 96 pct. Testen viste så gode resultater, at støvbinderen nu bliver tilført to gange om ugen og indgår som en fast del af den nuværende rengøringspraksis.

Arbejdsmedicinsk Klinik i Esbjerg har efterfølgende udarbejdet en rapport om Fjordskolens indeklima baseret på interviews med skolens personale omkring en bred vifte af indeklimaparametre. Specifikt på støv er personalets vurdering mere positiv sammenlignet med perioden før brugen af støvbinder og mere positiv sammenlignet med en referencegruppe på 41 danske virksomheder.

Støvbinderen bliver indarbejdet i de daglige rengøringsrutiner.  
Foto: Aks2tal



Der er ikke indsamlet data, der dokumenterer de forventede langsigtede resultater af det forbedrede indeklima. Det er dog alment accepteret, at støv spreder bakterier og husstøvmider samt øger risikoen for at udvikle allergier og andre sygdomme.

Ud over forventet øget trivsel og mindre sygefravær peger producenten på en række typiske besparelser: færre skift af støvfiltre i ventilationsanlæg, mulig energibesparelse samt længere levetid for f.eks. AV-udstyr og andre komponenter, der er følsomme over for støv.







8.KP

04.5.13

FAKTA  
BOGORM

BIBLI

En klar  
skiltning



Renovering

• Gamle skolebygninger kan have svært ved at leve op til nutidens behov. Både fordi de bliver slidt, og fordi kravene til funktioner øges og ændres. De seks renoveringseksempler her anviser løsninger hele vejen rundt om alle indeklimaets parametre, inklusive gentænkning af rummenes disponering og udformning.

• Eksemplerne viser, hvordan man kan løse flere problemer på en gang. Ikke mindst i kombinationen af indeklimaforbedringer og energioptimering. Ofte er indeklimaet ikke anledning til renoveringen. Men ved at tænke helhedsorienteret – også finansielt – og inddrage brugerne får indeklimaet et løft og bliver den mest synlige og oplevede forbedring i dagligdagen.

• Det er værd at hæfte sig ved, at flere af projekterne formår at skabe mange nye kloge kvadratmeter, især i gangarealer og store fællesområder, der inden renoveringen var uden tidssvarende lys og akustik. Endda for en relativt begrænset investering sammenlignet med prisen pr. kvadratmeter for nybyggeri.

• Flere arbejder også med brugerinddragelse som en vej til både at afdække deres behov, samt med hvordan løsningerne vil indgå i undervisningssituationer i dagligdagen. Det er med til at sikre kvaliteten og bidrager samtidig til en øget forståelse for indeklimaet hos brugerne.

• I afsnittet her ser vi også to forskellige tilgange til styring af indeklimaet: den intelligente/automatiske styring og manuel styring ved brugerne. Brugerne fremhæver kombinationen som afgørende.

• Udbyttet, både for indeklimaet og læringen, bliver simpelthen størst, når lærere og elever kan supplere automatikken og interagere ved f.eks. at tilpasse belysningen i lokalet til forskellige undervisningssituationer.

# Helhedsorienteret indeklimarenovering med stor energibesparelse



## 2019-2020

### Opnået resultat:

- CO<sub>2</sub> < 1.000 ppm i brugstiden.
- Træk- og støjfri ventilation.
- 300 lux på arbejdsborde, før 150-200 lux.
- Komforttemperatur omkring 21°C.
- Optimerede lydforhold (ikke målt).
- Energibesparelse (varme og el) på 30 pct.

### Finansiering:

3,8 mio. kr. finansieret via en kombination af vedligeholdelsesbudgettet og kommunens energipulje.

### Partnere:

Kolding Kommune, Kommunale Ejendomme  
Bakkeskolen  
MOE og Niras [rådgivere og performancetest]  
Saint Gobain [rådgiver og leverandør]  
Vagn O. Electric [hovedentreprenør]  
Isoleringsgruppen [underentreprenør]  
Fischer Lighting [genbrug af nedtagne armaturer]  
D-sign Tegnestuen [arkitekt]

### Kontakt:

Lars Højensgård  
larh@kolding.dk

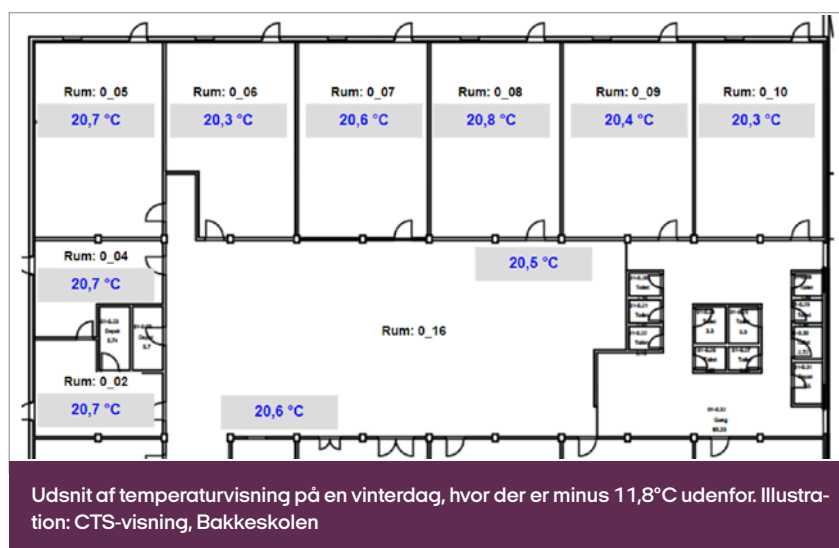
### Parametre



Bygning 1 på Bakkeskolen fra 70'erne er blevet opgraderet, så lokalerne i åben plan nu bliver understøttet af ordentlig luft, lys, lyd og temperatur.

Bakkeskolen er en skole fra 70'erne med utilstrækkelig isolering, nedslidte tekniske anlæg og dårligt indeklima. Behovet for et samtidigt løft af indeklimaet og en energirenovering fødte det helhedsorienterede projekt, som er finansieret via en kombination af vedligeholdelsesbudgettet og kommunens energipulje.

Tidssvarende isolering iht. gældende standarder og et nyt ventilationsanlæg med diffus indblæsning over et akustikdæmpende nedhængt loft med LED-lys er implementeret i ét samlet projekt. Det giver forbedringer af indeklimaet med gode CO<sub>2</sub>-niveauer, nyt arbejdslys, komfortabel temperatur (også om vinteren) og dæmpet akustik under de rå betonelementer. Skolen oplever **førøget trivsel og bedre rammer om indlæringen**, samtidig med at der er opnået en besparelse på 30 pct. på el- og varmeforbrug.



### Eksempelværdi

Projektet viser potentialet ved at arbejde helhedsorienteret med at forbedre flere af indeklimaets parametre i en integreret løsning. Summen af løsningens enkeltelementer har givet skolen en betydelig opgradering af indeklimaet – både hvad angår luft, lys, lyd og temperatur.

Samtidig er den interne ESCO-model (hvor besparelser på energi bliver reinvesteret i andre områder) god inspiration. Kombinationen af finansiering fra kommunens energipulje og andre budgetter (her til renovering) forøger effekten. For både indeklimaet, miljøet og driftsøkonomien.

## Hvad er der gjort i eksemplet?

Bakkeskolen er en 45 år gammel skole på ca. 15.000 m<sup>2</sup>. Skolens luftvarmeanlæg har altid haft for ringe kapacitet og været vanskeligt at styre. I kombination med nedslidte tekniske anlæg og dårlig isolering oplevede skolen problemer med indeklimaet og trivslen. Renoveringsprojektet er gennemført i skolens Bygning 1, der er på ca. 1.500 m<sup>2</sup>.

### Teknisk løsning

Målet med projektet har været at arbejde helhedsorienteret ved både at optimere arbejdsmiljøet og samtidig reducere energiforbruget. I projektet har man også fokuseret på cirkulær økonomi ved at undgå spild, optimere logistik og energiforbrug samt bevare og forny skolebygningerne, så de møder fremtidens krav.

**Nyt ventilations- og varmeanlæg:** Der er installeret et balanceret ventilationsanlæg med varmegenvinding på 85 pct. Anlægget har VAV-styring (variabel luftmængde) og diffus indblæsning gennem nedhængte perforerede gipslofter. Der er opsat nye radiatorer i bygningen.

Varme og ventilation bliver tilpasset behovet i alle rum via et nyt CTS-system (central tilstandskontrol og -styring). Målinger dokumenterer, at de nye anlæg kan holde en komforttemperatur på omkring 21°C (også om vinteren, hvor flere yderlokaler tidligere var for kolde) og CO<sub>2</sub>-niveauet under 1.000 ppm i brugstiden i modsætning til de 1.100-2.000 ppm, som tidligere blev målt.

**Færre støvoverflader:** De nye ventilationslofter er ført helt til siderne med tæt samling, og de tidligere nedhængte armaturer er erstattet af indbyggede armaturer i loftet. Det har reduceret mængden af "støvsamlere" over daglig rengøringshøjde, hvilket også forbedrer luften i lokalene.

**Akustikdæmpning:** Loftspladerne til diffus ventilation er samtidig akustikdæmpende, hvilket er med til at reducere efterklangstiderne i en ellers "rå" betonbygning.

**Ny LED-belysning:** Nye loftsarmaturer holder et korrekt lysniveau (300 lux) på arbejdsbordene i klasselokalerne mod tidligere 150-200 lux. Og både her og i aulaen er der dagslysstyring og bevægelsessensorer. Underviserne har ønsket mulighed for manuel dæmpning for at kunne bruge lyset til at understøtte forskellige læringsituationer. Blandt mulighederne er "jul" og "effektivtid".

Samtænkningen af et renoveringsprojekt med energiforbedring har gjort det muligt at kombinere flere forskellige puljer i kommunen. Indeklimaet lever nu op til moderne krav, hvilket både giver bedre trivsel, læring og sundhed for skolens personale og eleverne.

Der er også blevet isoleret med 400 mm på lofterne og 200 mm på ovenlysvæggene, hvilket i høj grad bidrager til energibesparelsen. Den beregnede samlede energibesparelse på varme og el udgør 30 pct. Det svarer til ca. 172.500 kr. og 43.000 kg CO<sub>2</sub> pr. år.



Klasseværelse efter renovering. Ventilation, lys og akustikdæmpning er indbygget i og over loftet. Foto: Kolding Kommune

Renovering af Bygning 2 er igangsat, og de resterende fire bygninger vil følge efter i de kommende år.

# Helhedsorienteret indeklimarenovering efter Silkeborg-modellen



## 2019

### Opnået resultat:

- CO<sub>2</sub> under 1.000 ppm i hele brugstiden.
- Efterklangstid sænket fra 0,9 til 0,6 sek.
- Forbedret lys med 465 lux [auto] og 1.100 lux [boost].
- Solafskærmning sænker temperaturen med 2-3°C i sommerhalvåret.

### Finansiering:

Kommunal finansiering fra flere puljer: bygningsvedligehold, indeklima, energisparemidler og anlægsmidler til aktivitetsændringer. I alt: 6,5 mio. kr.

### Partnere:

Silkeborg Kommune  
Sølystskolen  
Constructa A/S [totalrådgiver]  
Wils A/S [miljøsanering og udførelse]  
Sinus Installation og Bomavent [lys og ventilation]

### Kontakt:

Thomas Kjems Lyngvad  
thomas.lyngvad@silkeborg.dk

### Parametre



En pragmatisk og helhedsorienteret projektmodel har givet mest muligt indeklimate for pengene på Sølystskolen.

På Sølystskolen er en femtedel af skolens undervisningslokaler blevet indeklimarenoveret. Både luft, lyd, lys, temperatur og lokaler er blevet forbedret betydeligt, samtidig med at den renoverede del af skolen er blevet energiforbedret.

Renoveringen er foregået efter Silkeborg-modellen. Det er en projektmodel, der bruges af Skoleafdelingen og Ejendomsstaben til at prioritere og gennemføre helhedsorienterede indeklimaprojekter. Ideen er at kortlægge indeklimaet og behovene for at vælge den kombination af kendte standardløsninger, der giver mest muligt indeklimate for pengene. Modellen er også en samarbejdsmodel, hvor kommunen og skolens ledelse arbejder tæt sammen med driftspersonalet og rådgivere. Både om at tilpasse løsningen bedst muligt til behovet i de enkelte lokaler og om at gennemføre renoveringen etapevis, mens skolen er i drift.



Renoveringen foregår lokalevis, mens skolen er i drift.  
Illustration: Thomas Kjems Lyngvad, Silkeborg Kommune

### Eksempelværdi

Princippet bag Silkeborg-modellen er renovering, der er indeklimadrevet, pragmatisk og samarbejdsorienteret. Målet er altid at forbedre så mange indeklimaparametre som muligt inden for et overskueligt projekt. Her er brugen af standardløsninger et greb, fordi det mindsker kompleksiteten i projekterne. Etapevis renovering, mens skolen er i drift, er med til at spare tid og omkostninger til blandt andet genhusning.

Der er stor gentagelseseseffekt i eksemplet, fordi der over tid bliver udviklet og afprøvet en lang række løsninger, hvoraf de bedste fremadrettet kan anvendes på andre skoler. Andre kommuner vil også kunne blive inspireret af helheds-tænkningen på tværs af begrænsede budgetter. Fordi der med modellen her både er effekter for indeklima, energibesparelser og bygningsvedligehold, kan forskellige budgetter puljes, så der skabes økonomisk råderum til et større projekt.

## Hvad er der gjort i eksemplet?

Sølystskolen er en skole fra 1961 i et plan, der i 2012 gennemgik en stor modernisering og tilbygning for 60 mio. kr. Store mængder asbest og PCB betød, at bevillingen ikke rakte til hele skolen. Ca. 1/5 af skolens undervisningslokaler var fortsat i original stand uden tilførsel af frisk luft og med utilstrækkelig akustikregulering, manglende solafskærmning, utidssvarende belysning og facader med ringe isoleringsværdi.

### Organisatorisk effekt

Der kan gå år imellem, at der er råd til de helt store renoveringer og ombygninger. Derfor har kommunen udviklet Silkeborg-modellen for indeklimarenoveringer. På baggrund af en screening og en helhedsorienteret tilgang til indeklimaet afklares det, hvilken kombination af forskellige tekniske, klimatiske og indretningsmæssige forbedringer der forventes at give mest indeklima for pengene.

Silkeborg-modellen bygger på fire dogmer:

- Skolen skal være i drift under ombygning – ingen genhusning i pavilloner.
- Der skal bruges standardiserede, autonome og energirigtige løsninger.
- Der skal mest muligt med i projektet. Vi gør det rigtigt og færdigt første gang.
- Der skal være mindre projektering og mere byggeledelse.

Modellen er pragmatisk og omkostningseffektiv. Omkostningerne for en renovering efter Silkeborgmodellen er typisk 6-10 gange lavere pr. elev end ved en traditionel skoleombygning.

Selve projekteringen foregår i et tæt samarbejde mellem Ejendomsstaben, skolens ledelse, teknisk servicepersonale og en byggerådgiver. På Sølystskolen var der blandt andet et ønske om at ombygge og inddrage ubenyttede omklædningsrum til anden anvendelse. Og der blev talt meget om sikkerhed, fordi der også skulle miljøsaneres asbest og PCB.

Projekteringen foregik i 1. halvår, det meste af miljøsaneringen blev gennemført i sommerferien på en tom skole, og byggearbejdet foregik herefter i etaper i andet halvår. To-tre lokaler blev renoveret ad gangen med tilhørende flytning af undervisningen til andre lokaler på skolen. Ibrugtagning skete også løbende samtidig med en evaluering af resultatet, så fejl og mangler blev rettet hurtigt.

### Teknisk løsning

Der er opsat en kombination af forskellige standardløsninger afhængig af behovene i de enkelte lokaler, og indeklimaet er dokumenteret før og efter i et reference-lokale. Blandt de tekniske løsninger er:

- Opsætning af decentrale balancerede ventilationsanlæg, der tilfører frisk tempereret luft. CO<sub>2</sub>-koncentrationer mellem 1.000 og 1.500 ppm er sænket fra 26 pct. til 6 pct. af brugstiden. Luftfugtighed var OK både før og efter.
- Montering af akustiklofter og lyddæmpende gulvbelægning har dæmpet efterklangstiden fra i gennemsnit 0,9 til under 0,6 sekunder [lovkrav].
- Lyskilder med LED, boosterfunktion og tilpasning af farvetemperatur og lysstyrke efter dagslysniveau. 465 lux med autofunktion og 1.100 lux med boost plus forbedret lyskvalitet
- 750 m<sup>2</sup> ny klimaskærm [facadeelementer, vinduer og solafskærmning] sænker energiforbruget og temperaturen med 2-3°C i sommerhalvåret.



Renoveret faglokale med decentralt ventilationsanlæg, akustikloft, ny gulvbelægning, solgardiner og ny LED-belysning. Foto: Thoms Kjems Lyngvad, Silkeborg Kommune

# Børnehuse integrerer SFO i akustisk dårlige fællesrum



2018-2019

## Opnået resultat:

- Reduktion af efterklangstider med 25-60 pct.
- Pædagogisk understøttende rum med god akustik.

## Finansiering:

Kommunal finansiering. Samlet projekt: ca. 7,2 mio. kr.

## Partnere:

Hørsholm Kommune  
Usseørd Skole  
RUM A/S [rådgiver]  
ØLLGAARD Rådgivende Ingeniører A/S [rådgiver]

## Kontakt:

Jakob Rudbeck  
jru@horsholm.dk

Børnehuse giver plads til både fordybelse og fællesaktiviteter. Og de tilfører hjemlighed til de store fællesrum.

Projektet har integreret skole- og SFO-miljøet på Usseørd Skole til et sammenhængende miljø, som stimulerer sanserne, fantasien og lysten til at lære. Takket være børnehuse, der fungerer som rum-i-rum, er de tidligere fællesrum med dårlig akustik blevet transformeret til velfungerende rammer med et rart akustisk indeklima.

Gennem en fælles proces har både brugerne, kommunen og rådgiverne udviklet den innovative løsning. Fra starten har der

været fokus på det gode indeklima og en samtænkning med det rumlige og det pædagogiske. Akustikdæpende materialer og den rumlige programmering har forbedret indeklimaet markant. I dag er der både mulighed for fordybelse, og grupper af børn og voksne kan samtidig have forskellige aktiviteter uden at forstyrre hinanden.



Den perforerede træbelægning dæmper akustikken både udenfor og indenfor i børnehuse.  
Foto: RUM A/S

## Eksempelværdi

Projektets grundlæggende fokus på indeklima og gode læringsrum har drevet udviklingen af den innovative løsning med børnehuse frem. Store fællesrum med dårlig anvendelighed, præget af støj og dårlig akustik, findes på mange skoler. Som sådan er projektet et innovativt eksempel på, hvordan man kan transformere uattraktive kvadratmeter med dårlig akustik til kloge kvadratmeter med stor anvendelighed.

Designet med børnehuse er et enkelt og effektivt greb, som kan transformere eksisterende fællesrum til værdifulde læringsmiljøer, der tilgodeser forskellige behov, herunder behovet for at finde ro. Det designmæssige greb kan skaleres og transformeres på et utal af måder og dermed inspirere andre skoler og kommuner.

## Parametre





## Hvad er der gjort i eksemplet?

På Usserød Skole var pædagogerne bekymrede ved tanken om at integrere SFO'ens tilbud til 0.-2. årgang i indskolingens to store fællesrum, som kun i begrænset grad blev anvendt på grund af støj og dårlig akustik. Derfor var det afgørende, at nyindretningen sikrer, at alle kvadratmeter kan udnyttes effektivt til leg og læring, samt at børn og voksne kan finde steder med ro.

### Rumlig forandring

Projektets hovedgreb blev udviklet gennem en brugerproces, hvor værdier, kulturforskelle og funktionsbehov blev afklaret. Arbejdsgruppen bestod af både medarbejdere fra kommunen, skolen og rådgivere. Indledningsvis medbragte pædagogerne fra de to enheder billeder og udtalelser, som fra hver sit perspektiv repræsenterede vigtige steder, funktioner og behov. Gennem dialogen blev disse input kvalificeret til et visuelt byggeprogram.

Næste trin bestod i at fordele de ønskede "steder" og funktioner i forhold til de eksisterende fysiske rammer. Blandt andet ved at afprøve en række scenarier ved at gennemgå et fiktivt dagsforløb for et barn i afdelingen. Det stod klart, at brugerne havde et gennemgående fokus på at reducere støj og skabe et læringsmiljø med rum-i-rummet, så børnene har mulighed for at finde ro og plads til forskellige lege- og læresituationer i små grupper.

Løsningen blev indbygningen af børnehuse, som både skaber de ønskede rum-i-rummet og samtidig tilføjer akustikregulerende elementer til de store lokaler. Den afgørende test af løsningen foregik i klassesamtaler med børnene om "vores sted" og "hvad det skal kunne". Her blev børnehusenes indretning og størrelse optimeret i forhold til børnenes valg og beskrivelse af steder til givne situationer.

Samarbejdet har været afgørende for udviklingen af den innovative løsning. Processen har været præget af, at alle mødtes om den fælles ambition: at være lydhøre samt at undersøge og integrere de forskellige ønsker og behov, der kan skabe et integreret læringsmiljø.

Det nye fysiske læringsmiljø har været i brug i mere end et år, og integrationen er lykkedes. Både børn og voksne oplever en hverdag i et rart akustisk indeklima, hvor de kan have forskellige aktiviteter i de nye fysiske rammer samtidig. Den varierede indretning sikrer også, at børnene kan søge stille steder, når de har behov for ro.

### Teknisk løsning

Børnehusene er udført med perforeret træbeklædning, som regulerer akustikken i det omgivende rum. Indvendigt er de foret med bl.a. tæppebeklædning, som omslutter brugerne lydæssigt, og forskelligt interiør, der bidrager til at give de forskellige huse individuel karakter.

Tekniske målinger viser, at der er sket en reduktion af efterklangstiden på mellem 25-60 pct. på forskellige steder i de ca. 2.000 m<sup>2</sup>, der er blevet nyindrettet. I Flexlokalet fra 0,5 til 0,3 sek. I Samlingsrummet fra 0,9 til 0,6 sek. I Himmelrummet fra 1,5 til 0,6 sek. og i Cafeen fra 0,6 til 0,45 sek.



# Skimmelsvamp i taget førte til en helt ny skole med godt læringsmiljø



2017-2021

## Forventet resultat:

- Acceptabel temperatur og CO<sub>2</sub>-niveau [BSim-simulering].
- Ovenlys/dagslys.
- Øget rumvolumen og lav efterklangstid.
- Forbedret læringsmiljø.
- Reduceret energiforbrug.

## Finansiering:

Kommunal egenfinansiering.  
Pris for samlet projekt: ca. 100 mio. kr.

## Partnere:

Køge Kommune, ETK Ejendomme  
Skoleafdelingen og Vemmedrupskolen  
KANT Arkitekter [nu Sweco Architects]  
Orbicon [rådgiver]  
Elindco A/S [entreprenør]

## Kontakt:

Giulia Lorenzen,  
giulia.lorenzen@koege.dk

## Parametre



Tidligere var klasselokalerne en mørk hule. I fremtiden kommer man ind i høje og lyse rum, der kan understøtte forskellige læringsstile. Og med konstant temperatur og ordentlig luft.

En planlagt udskiftning af et utæt tag blev udfordret af massiv skimmelsvamp, som gjorde det nødvendigt at fjerne alt på nær de bærende konstruktioner. Det gav mulighed for at gentænke hele skolen i et tæt samarbejde mellem kommunens forvaltninger, skolens personale og arkitekterne.

Nye, tværgående og hævede tagkonstruktioner har skabt grundlaget for det, der vil blive oplevet som en helt ny skole. De høje og luftige rum giver plads til et nyt og tidssvarende ventilationssystem, bedre dagslys samt mere fleksible og moderne lokaler. Selvom den omfattende renovering tog afsæt i et teknisk behov [utæt tag], har projektet i høj grad haft som mål at skabe nye læringsmiljøer, som skal fremme både trivsel og pædagogiske visioner.



Det nye hævede tag giver både lys, flere kubikmeter og plads til et moderne ventilationsanlæg. Illustration: Kant Arkitekter [nu Sweco Architects]

## Eksempelværdi

Projektet viser potentialet i et tæt samarbejde mellem alle parter helt fra starten. Godt indeklima, moderne læringsmiljøer, udnyttelse af de forskellige faciliteter samt energibesparelser er tænkt sammen med respekt for skolens særlige ånd. Det har været afgørende for den meget vellykkede nytænkning af skolen.

Uanset størrelse eller omfang er eksemplet god inspiration til andre, der skal i gang med en større renovering af en tagkonstruktion. Det viser, hvordan man kan tænke tekniske løsninger sammen med rumlige tiltag og på den måde udnytte en større renovering til at skabe merværdi på mange områder. Med fokus på alle indeklimaets parametre samt reduceret energiforbrug.

## Hvad er der gjort i eksemplet?

Skimmelsvamp gjorde det nødvendigt at handle resolut. Børnene blev flyttet til andre lokationer og herefter til en midlertidig pavillonskole på skolens egen boldbane. Gentænkning af skolen gjorde det muligt at gennemføre en helhedsrenovering – i stedet for en tagudskiftning – hvilket gav nye muligheder.

## Organisatorisk effekt

Det tætte samarbejde bliver fremhævet som afgørende for det gode resultat. Både mellem forvaltningerne og mellem skolen og kommunen, ETK Ejendomme. Åbne dagsordener har givet plads til at drøfte alle relevante emner og sikret, at alles kompetencer kom i spil, samt at alle delte den helhedsorienterede tilgang til projektet, som tænker indeklima, energiforbrug og læringsmiljø sammen.

I processen blev skolens funktioner kastet op i luften og gentænkt. Resultatet er en helt ny indretning, der imødekommer kravene til den moderne folkeskole. Skolens nye

indretning er beskrevet som en blomst omkring Skoletorvet, der er skolens hjerte og stedet, hvor man kan opleve børn i læringsmiljøer hele dagen.

## Teknisk løsning

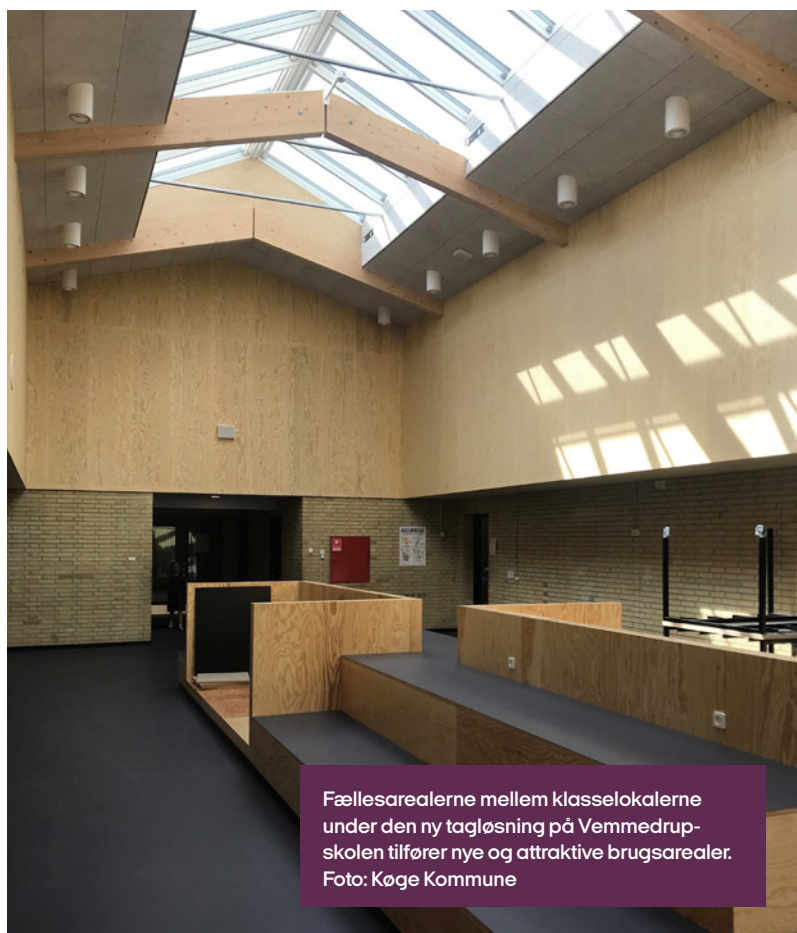
Hele tagkonstruktionen bliver ændret. Skolen består af en lang bygning, hvorfra der er forbindelse til fem huse. Hvert hus var bygget op som to længer med ensidig taghældning og et gangareal imellem med lavere taghøjde. Den nye tagkonstruktion er et sadeltag, der favner begge længer og gangarealet. Alle lette facader skiftes, og alle facadepartier overholder bygningsreglementets krav til isoleringstykkelser. Det gælder også det nye sadeltag med 300 mm isolering.

Tidligere havde skolen både central og decentral ventilation. Det centrale ventilationsanlæg havde svært ved at leve op til nutidens krav om luftskifte. Med den nye tagkonstruktion opnås der bedre plads til ventilationsinstallationer, og hele skolen får nyt, centralt anlæg, der sikrer luftskiftet i både klasselokaler og fællesområder. En simulering af det fremtidige indeklima anslår, at både temperatur og CO<sub>2</sub>-niveau vil være tilfredsstillende i langt det meste af brugstiden – med forventning om sænket energiforbrug. Faktiske data kan indsamles efter indflytning i slutningen af 2021.

## Rumlig forandring

Alle klasselokaler får loft til kip med ovenlys, og der kommer store vinduespartier i hele facaden. Lokalerne får større volumen (mere luft) og ovenlys. Akustikplader reducerer efterklangstiden, og der er tænkt flere muligheder for projektarbejde ind i løsningen med blandt andet specialfremstillede pædagogiske møbler.

Det store fællesområde mellem klasselokalerne i hvert af husene blev ikke udnyttet før. Projektet er udvidet med mange kloge kvadratmeter. I dag ligger f.eks. alle faglokaler ud til Skoletorvet, som også kan blive inddraget i aktiviteterne. Tilsvarende kan faglokalerne blive inddraget i SFO'ens aktiviteter.



Fællesarealerne mellem klasselokalerne under den nye tagløsning på Vemmedrupskolen tilfører nye og attraktive brugsarealer. Foto: Køge Kommune

# Ovenlys løser indeklimaproblemer med frisk luft og dagslys



## 2014-2015

### Opnået resultat:

- Tid med CO<sub>2</sub> > 1.000 ppm reduceret med mere end 50 pct.
- Naturlig ventilation holder rumtemperaturen mellem 20 og 25°C.
- Dagslysfaktoren hævet til ca. 4,5 pct. i gennemsnit.

### Finansiering:

Kommunal finansiering. Renovering af de to første etaper har kostet ca. 4 mio. kr. VELUX har bidraget med testudstyr m.v. som en del af udviklingen af løsningen.

### Partnere:

Fredensborg Kommune  
VELUX A/S og VELUX Danmark  
[producent og leverandør]  
CO Rådgivning [rådgiver]

### Kontakt:

Henrik Norlander Smith  
henrik.norlander@velux.com

### Parametre



Ovenlysvinduerne lukker dagslyset ind og tilfører frisk luft samt bidrager med temperaturregulering, når klimasensorer åbner og lukker dem.

Smuldrende og defekte tagplader på Endrupskolen og Langebjerg Skole gjorde det nødvendigt at udskifte taget. Den situation blev udnyttet som en mulighed til samtidig at isolere taget yderligere og tilføje et stort antal ovenlysvinduer for at løse de eksisterende problemer med dårlig luftkvalitet.

Via et samarbejde med producenten er der udviklet en unik løsning, hvor den beregnede placering af ovenlysvinduerne lukker mere dagslys ind. Og hvor sensorstyret åbning og lukning af ovenlysvinduerne sikrer bedre temperaturstyring, ligesom CO<sub>2</sub>-niveauerne holdes nede via udluftning. Brugerne har desuden mulighed for individuel styring af funktionerne, herunder at mørklægge lokalene. Ud over bedre indeklima spares der også energi takket være ny isolering og mindre brug af elektrisk lys.



Ovenlysvinduerne forøger dagslysfaktoren betydeligt i alle lokaler. Her Nordhuset på Langebjerg Skole. Illustration: VELUX A/S

### Eksempelværdi

Eksemplet viser et muligt alternativ til udskiftning af et utilstrækkeligt eller ineffektivt ventilationssystem. Hvis arkitekturen tillader det, kan ovenlysvinduer med sensorstyring sikre udluftning med frisk luft, som sænker CO<sub>2</sub>-niveauet, når der er behov for det. Samtidig bliver indeklimaet også forbedret på flere andre parametre, her dagslys og temperatur.

En relativt enkel sensorstyring af de mekaniske funktioner i kombination med brugernes mulighed for også selv at tilpasse indeklimaet er interessant. Projektet er også et godt eksempel på samarbejde mellem en kommune og en producent om at udvikle nye løsninger, der vil kunne gentages og implementeres på andre skoler.

## Hvad er der gjort i eksemplet?

Allerede i 2011 stod det klart, at defekte tagplader på Endrupskolen og Langebjerg Skole kaldte på en total tagrenovering. I samarbejde med VELUX blev der udviklet en løsning, der samtidig kunne forbedre det dårlige indeklima med frisk luft og dagslys.

### Teknisk løsning

Tidligt i samarbejdet blev der foretaget en testrenovering af to klasselokaler på Endrupskolen. Her blev ideen om flere ovenlysvinduer prøvet af i kombination med den tekniske løsning til selve tagkonstruktionen. Udluftning via ovenlysvinduerne ville kunne supplere skolens eksisterende mekaniske ventilationssystem, som ikke alene kunne sikre luftskiftet. De første målinger viste gode resultater med forbedret dagslysfaktor, bedre temperaturstyring og mindre CO<sub>2</sub>-koncentration.

Principperne blev brugt til renovering af Nordfløjen [2014] samt Blok B1 og B2 [2015] på Langebjerg Skole. I alt ca. 2.000 m<sup>2</sup> tag. Der er generelt blevet isoleret udad for at løfte bygningernes energiprformance. Samtidig er der blevet tilføjet et stort antal ovenlysvinduer, som bidrager med tre ting:

- Dagslys fra oven, som i højere grad fordeler sig jævnt over det meste af brugsarealet i lokalerne nedenunder.
- Udluftningsmulighed, der samtidig udnytter, at den varme luft stiger til vejrs.
- Solafskærmning udvendig på syd-/vestvendte vinduer samt indvendige mørklægningsgardiner på alle vinduer.

Ovenlysvinduerne har en række mekaniske funktioner, der bliver styret via sensorer i lokalerne. I klasseværelserne åbner separat trådløs styring vinduerne, når CO<sub>2</sub>-koncentrationen overstiger 1.100 ppm – og lukker dem igen ved 750 ppm.

På de syd-/vestvendte vinduer kontrollerer klimasensorer, hvornår det er nødvendigt at rulle den udvendige solafskærmning ned for at sikre en behagelig temperatur – hvilket kan kombineres med at åbne de højsiddende ovenlysvinduer for at opnå en forstærkende skorstenseffekt.

Den relativt enkle styring af vinduerne er valgt frem for et dyrt og kompliceret controlsensorsystem. Dels fordi det forventes at have kræve vedligehold, dels fordi systemet er enkelt af forstå for brugerne, der også altid kan overstyre det i de enkelte rum, hvis de ønsker det.

Resultaterne for indeklimaet er blevet dokumenteret ved sensormålinger i renoverede og ikke-renoverede lokaler. Data er indsamlet forår og efterår 2015:

- I de ikke-renoverede lokaler lå CO<sub>2</sub>-niveauet > 1.000 ppm i 30-60 pct. af tiden. I de renoverede lokaler er det faldet til 20-35 pct. af tiden om efteråret – og endnu lavere om foråret.
- Temperaturen holdes inden for det optimale niveau på mellem 20 og 25°C, selv når vinduerne åbner og lukker for at skabe naturlig ventilation.
- Den nye placering af ovenlysvinduer i de forskellige rum har hævet dagslysfaktoren fra et gennemsnit på godt 3 pct. til over 4,5 pct. Det øger komforten og betyder, at den tid, hvor lyset er tændt, er faldet fra 45 pct. til ca. 20 pct. Det giver et besparelsespotentiale på 55 pct. af energiforbruget til belysning.

Renoveringen er fortsat. Fase 6 er netop afsluttet på Langebjerg Skole, og sidste fase forventes afsluttet i 2022. Renoveringen af Endrupskolen er i politisk proces.



# Adaptivt LED-lys optimerer læring og energiforbrug



2019-2021

## Opnået resultat:

- Op til tre gange lyseffekt ift. krævet minimum på 300 lux.
- Lever op til kommende krav om kontekstbelysning, kontrast og blænding.
- Høj farvegengivelse (RA 92-96) og balance af rettet/diffust lys.
- Understøtter forskellige undervisningsaktiviteter og sociale situationer.
- Energioptimering ved brugertilpasset drift.

## Finansiering:

Samlet udgift til forskningsprojekt/test på skoler: ca. 4,2 mio. kr. Støttet af ELFORSK med ca. 1,8 mio. kr. Resten primært finansieret af KHR og Thisted Kommune samt i mindre grad af de øvrige partnere.

## Partnere:

Thisted Kommune, Tilsted Skole og Hanstholm Skole  
KHR Architecture (rådgiver og forskning)  
Station Inter Views (underrådgiver og forskning)  
Dansk Center for Lys (rådgiver)  
RUC (forskning)  
Glamox (leverandør)

## Kontakt:

Kjell Yngve Petersen, kyp@khr.dk

## Parametre



Brugerstyring af LED-armaturerne gør lyset til et pædagogisk redskab, der aktivt understøtter forskellige lærings-situationer.

Takket være nye lyskilder med den seneste LED-teknologi er både det tekniske indeklima (lys) og adfærden i undervisningen blevet forbedret på Tilsted Skole og Hanstholm Skole. Faktisk fungerer lyset i dag som et aktivt element, der understøtter de forskellige undervisningssituationer, hvor både elever og lærere løbende bidrager til at optimere lyset til de aktuelle aktiviteter.

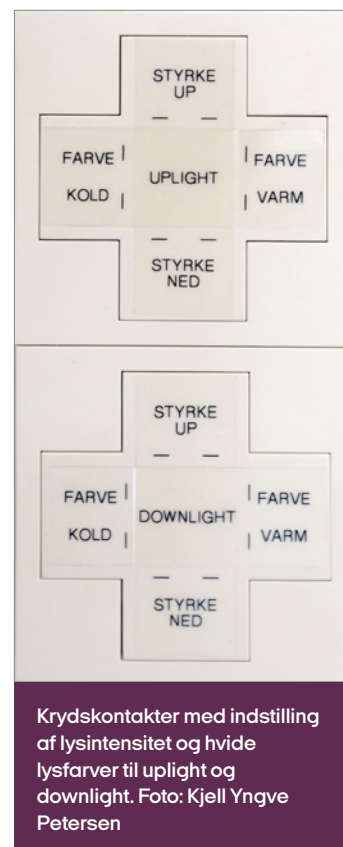
Forskningsprojektet har afdækket potentialet ved de nye LED-lyskilder og især vist betydningen af at inddrage brugerne som aktive medspillere, så mulighederne i det nye lys udnyttes bedst muligt. Den bæredygtige optimering har ud over høj lyskvalitet med forbedret trivsel og indlæring også givet en generel energi-optimeret drift.

## Eksempelværdi

Projektet er et eksempel på, hvordan man med lyset som virkemiddel kan understøtte den undervisning og stemning, der ønskes i et lokale. Samt at brugernes forståelse for den effekt, forskellige lyssætninger har på læringsmiljøet, er vigtig, for at lyset aktivt bliver brugt af elever og lærere i hverdagen.

Det tværfaglige samarbejde mellem brugere, forskere, teknisk personale og leverandører har givet vigtig viden om betydningen af brugerindflydelse på lystilpasning, som andre kommuner og skoler vil kunne få glæde af.

Eksemplet illustrerer også den enorme tekniske udvikling, der er sket inden for lys. Og på det potentiale for både læring, trivsel og energiforbrug, der vil være i at udskifte belysningen på mange skoler. Inden for få år vil LED-lyskilder formentlig være så energieffektive, at det ikke giver mening at vælge andet end den højeste kvalitet af lys.



## Hvad er der gjort i eksemplet?

Thisted Kommune meldte sig til samarbejde om et forskningsprojekt, der skulle undersøge LED-belysningspotentiale for lysoptimering for både at energioptimere og styrke læringsmiljøerne. Tilsted Skole og Hanstholm Skole i Thisted Kommune blev test-skoler i projektet, fordi de oplevede mange af de kendte lysrelaterede indeklimaproblemer: forstyrrende kunstlys, smartboards, der ikke var til at se, gardiner, der var trukket for, og ingen muligheder for at tilpasse lyset til forskellige undervisningssituationer.

### Teknisk løsning

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem forskere, lysdesignere, elever, lærere og tekniske servicefolk.

På hver skole blev to lærere og to 5. klasser udvalgt til at deltage i udviklingsforløbet, og LED-armaturer med de nyeste teknologier blev i sommerferien 2019 installeret i fire klasselokaler og udvalgte fællesrum.

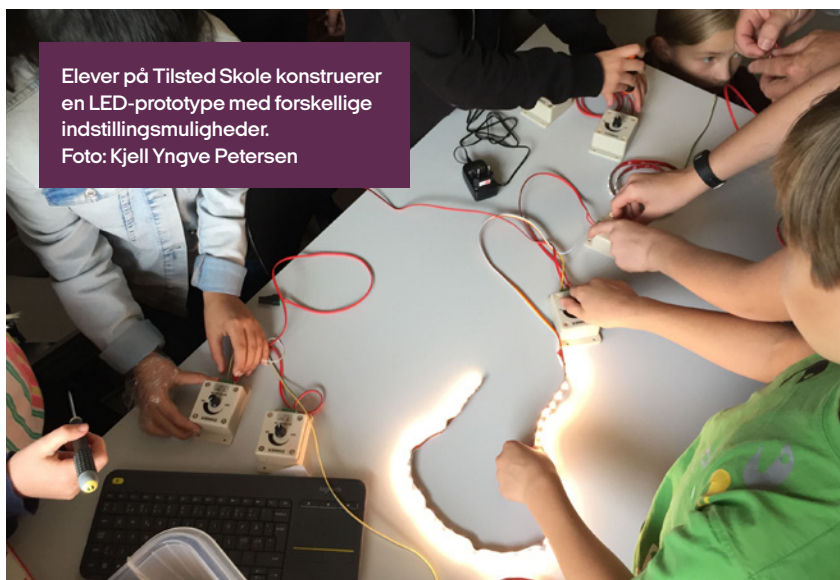
Armaturerne, der blev hængt op i en lidt lavere højde end de gamle, har både uplight- og downlightlys. Det gør det muligt at justere og balancere kunstlyset i forhold til dagslyset i rummet og i forhold til de hyppige skift mellem skærm-baserede individuelle og kollektive undervisningssituationer.

LED-armaturerne kan levere to-tre gange minimumsbelysningsniveauet, og den høje farvegengivelse [RA 92-96] betyder, at ting, omgivelser og ikke mindst mennesker fremstår i alle deres farver og nuancer.

### Adfærdspåvirkning

De udvalgte klasser og klasselokaler har fungeret som "Living Labs", hvor både forskere, elever, lærere og kommunens tekniske servicefolk havde til opgave at undersøge, hvilke kvaliteter og begrænsninger der ligger i et åbent, brugerstyret design.

I workshops eksperimenterede de blandt andet med brug af kunstlys, varieret rumindretning og dagslysendtag samt brug af afskærmning, computere og smartboards. Og i løbet af et år med designforandringer og fælles processer er der udviklet et optimalt fungerende lyssystem i alle testlokaler.



Elever på Tilsted Skole konstruerer en LED-prototype med forskellige indstillingsmuligheder.  
Foto: Kjell Yngve Petersen

På Tilsted Skole har lærere og elever udviklet fire lysscenerier. De passer til fire grundlæggende undervisningssituationer og fungerer for klasselæreren som et pædagogisk understøttende værktøj, hvorfra der justeres yderligere, til der opnås et passende lysmiljø:

- Chrome [når man arbejder på computeren].
- Elevarbejde [når man læser eller skriver ved bordene].
- Fælles [når klassen skal kommunikere indbyrdes og se hinanden tydeligt].
- Hygge [til hyggestunder].

På Hanstholm Skole har man valgt et mere åbent flow i styringen uden faste scenarier. Men også her bliver lyset anvendt som en didaktisk markør af skift i fokus og koncentration.

På begge skoler er eleverne meget velkomne som "pilfingre", og de forholder sig hele tiden aktivt til, om den aktuelle belysning er god for dem. I det hele taget oplever lærerne, at klassen vinder værdifuld koncentrationstid, fordi lyset hele tiden understøtter undervisningen.

Ud over høj kvalitet af lysmiljøet og den aktive brugerindflydelse opnås der optimeret drift og effektiviseret energiforbrug. Begge skoler har efterfølgende valgt at installere tilsvarende belysning i de øvrige klasselokaler.









# Renovering gennem ventilation



# Diffus ventilation gennem akustiklofter sparer penge og plads



2017-2019

## Opnået resultat:

- CO<sub>2</sub> sænket fra over 1.500 ppm i 40-75 pct. af skoletiden til under 1.000 ppm i 95 pct. af skoletiden.
- Efterklangstider reduceret fra 0,75-1 sek. til 0,4-0,5 sek.
- Lavere installationsomkostninger og energibesparelser ift. traditionel løsning.

## Finansiering:

Egenfinansiering af det samlede skole-renoveringsprojekt: ca. 400 mio. kr. Heraf ca. 18,5 mio. kr. til ventilationsprojektet. Støtte fra Realdania til kortlægning og dokumentation af indeklima som en del af kampagnen Skolernes indeklima.

## Partnere:

Helsingør Kommune  
Arkitektfirmaet Kjær & Richter [rådgiver]  
Ingeniørfirmaet Lyngkilde [rådgiver]  
Teknologisk Institut [rådgiver]  
Knauf [leverandør]

## Kontakt:

Frank Sørensen  
FrankKondrup.Soerensen@knauf.com

## Parametre



Akustikloftet dæmper lyden og skjuler det nye ventilationsanlæg. Både børn og voksne trives bedre i rolige lokaler med frisk luft.

Skolen i Bymidten er et af de første skoleprojekter i Danmark, hvor der er brugt diffus ventilation i kombination med akustikloftet som en del af indeklimarenoveringen. Den gamle og bevaringsværdige skole har været udfordrende at renovere. Med løsningen er indeklimaet blevet forbedret markant, så både CO<sub>2</sub>-niveauer og efterklangstider ligger under grænseværdierne i de renoverede klasselokaler.

Ud over at forbedre indeklimaet er løsningen omkostningsbesparende. Både på indbygningsprisen, fordi den diffuse indblæsning gennem de perforerede gipsplader i loftet kræver færre og mindre rør, og på energiforbruget, fordi den diffuse ventilation kræver mindre tryk og dermed et mindre teknisk anlæg. Gips er et 100 pct. genanvendeligt materiale i modsætning til flere traditionelle akustikdæmpende materialer.



Indblæsningen sker i hulrummet over de perforerede gipsplader, der både slipper den friske luft ind i lokalet og dæmper akustikken. Foto: Knauf

## Eksempelværdi

Eksemplet viser potentialet ved at kombinere ventilation og akustiklofter. Brugen af perforerede gipsplader løser to problemer i ét, idet pladerne både er akustikdæmpende og kan bruges til diffus indblæsning. På skoler med lav loftshøjde vil løsningen umiddelbart kunne indbygges i lofterne uden at ændre væsentligt på arkitekturen eller rumoplevelsen.

Projektet er innovativt, for så vidt at løsningen er både pladsbesparende, omkostningseffektiv og bruger et genanvendeligt materiale. Forbedringen af indeklimaet for parametrene luft og lyd er betydelig, og resultaterne er veldokumenterede. Det vil også være enkelt at kombinere løsningen med andre indeklimaforbedrende elementer, f.eks. ny belysning.

## Hvad er der gjort i eksemplet?

Skolen i Bymidten er Helsingørs ældste skole og har bevaringsværdig arkitektur. Skolen er blevet udbygget i flere omgange mellem 1886 og 1975. I forbindelse med et stort renoverings- og tilbygningsprojekt i 2017-2019 kortlagde Teknologisk Institut indeklima-udfordringerne og konstaterede især problemer med høje CO<sub>2</sub>-koncentrationer og lange efterklangstider.

### Teknisk løsning

Helt generelt var skolen meget nedslidt og trængte til en kraftig opgradering af de i alt 18.000 m<sup>2</sup>. Indeklimaprojektet fokuserede på akustiklofter i gips som en løsning, der både kunne forbedre akustikken og indgå som et ventilationsloft til diffus ventilation. På den måde ville det blive muligt at forbedre både akustik og luftkvalitet, uden at det gik væsentligt ud over rumhøjden i de gamle lokaler.

Det, der især kendetegner løsningen, er:

- **Effektiv luftfordeling i lokalerne:** Det perforerede gipsloft fungerer som diffus indblæsning, og derfor bliver luften fordelt i hele rummet uden trækgener.
- **10 gange luftskifte i timen med mindre tryk:** Diffus ventilation er mere effektivt end systemer med indblæsningsrør, og derfor kan den samme luftkvalitet opnås med et 20 pct. mindre anlæg, hvilket giver en tilsvarende energibesparelse.
- **Ingen indblæsningsrør i lokalerne:** Den diffuse ventilation kræver langt færre rør og en simple konstruktion. Materialebesparelsen er anslået til 25.000 kroner pr. klasseværelse.
- **Lav indbygningshøjde:** Der bliver sparet op til 50 cm af rumhøjden i forhold til traditionelle opbygninger. Det er med til at sikre skolens arkitektoniske udtryk.
- **Gipslofterne er et naturligt og rent materiale:** Gips egner sig godt til indeklimamiljøer med børn. Gips kan genanvendes 100 pct. i modsætning til en del andre akustiske materialer.

Teknologisk Institut har været tilknyttet projektet for at

Et af de renoverede klasselokaler, hvor ventilationsanlægget er skjult over de nedhængte akustiklofter. Foto: Knauf



dokumentere indeklimaforbedringer på luft og lyd. Fordi skolen består af forskellige bygninger, har det været muligt at foretage før- og eftermålinger ved at sammenligne den renoverede del af skolen med den ikke-renoverede del af skolen.

Før nåede CO<sub>2</sub>-niveauerne i gamle klasselokaler uden ventilation over 3.000 ppm, og niveauet var over 1.500 ppm i 40-75 pct. af tiden. Det er langt over grænseværdien på 1.000 ppm. De akustiske værdier i de samme lokaler lå på 0,75-1 sek., hvilket er et godt stykke fra grænseværdierne på < 0,6 sek. i klasselokaler.

I de renoverede klasselokaler er luftkvaliteten nu under 1.000 ppm i 95 pct. af skoletiden og når på intet tidspunkt over 1.200 ppm. Efterklangstiden i lokaler med akustiklofter i perforeret gips er nu målt til mellem 0,4 og 0,5 sek.

# Skræddersyet skoleventilation med tekstilkanaler



2017-2018

## Opnået resultat:

- CO<sub>2</sub> < 800 ppm i mere end 90 pct. af skoletiden.
- Luftfugtighed ml. 30 og 55 pct. i ca. 98 pct. af skoletiden.
- Temperatur ml. 21 og 25°C i ca. 90 pct. af skoletiden.

## Finansiering:

Egenfinansiering af ny tilbygning. Heraf 650.000 kr. til samlet ventilationsløsning.

## Partnere:

Bredballe Privatskole  
Vent2U [konceptudvikler]  
KE Fibertec A/S [producent]  
Petrowsky A/S [installation og vedligehold]

## Kontakt:

Lillian K. Kofod  
lkk@vent2u.dk

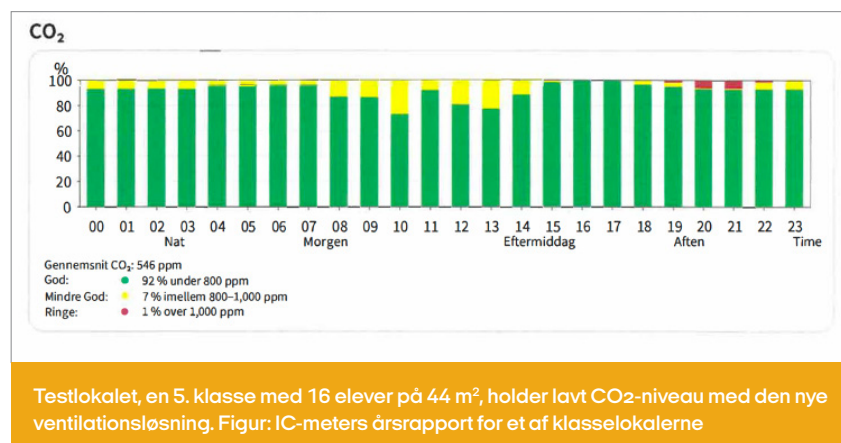
## Parametre



Via perforerede tekstilkanaler ledes frisk luft ind i lokalerne til præcis den højde, hvor børnene arbejder.

Ventilationsløsningen med tekstilkanaler er dimensioneret og designet nøjagtigt til behovet i den nye tilbygning på Bredballe Privatskole. Den særlige **perforering af stoffet** i ventilationskanalerne sender den **friske luft direkte** til den højde, hvor børnene trækker vejret. **Effekten på indeklimaet er god** med lave CO<sub>2</sub>-niveauer, jævn komforttemperatur og behagelig luftfugtighed.

Løsningen er både **pladsbesparende og effektiv** i forhold til en række traditionelle løsninger med opblandingsventilation og direkte indblæsning. Ventilationsprincippet er i stand til at sænke CO<sub>2</sub>-niveauet med et relativt lavt luftskifte og med en beregnet **energibesparelse** på mere end 50 pct.



## Eksempelværdi

Projektet er et eksempel på en effektiv ventilationsløsning, der ved brug af perforerede tekstilkanaler leverer fine indeklimaværdier for CO<sub>2</sub>, temperatur og luftfugtighed. Løsningen er innovativ både teknologisk og materialemæssigt, og der er dokumentation for resultaterne. Det bliver interessant at følge langtidserfaringerne med brug af tekstilkanaler til ventilation og deres robusthed sammenlignet med mere traditionelle løsninger.

Ud over forbedring af indeklimaet på en række parametre er løsningen pladsbesparende og har høj effektivitet. Det giver et potentiale for besparelser på både installation og energiforbrug. Løsningen er også egnet til indbygning i eksisterende lokaler, hvor der er begrænset plads under loftet.

## Hvad er der gjort i eksemplet?

I forbindelse med en tilbygning til Bredballe Privatskole blev der indgået aftale med et ventilationspartnerskab om at installere en ny type ventilation med diffus indblæsning. Systemet benytter særlige tekstilkanaler, som er med til at sikre ensartet luftfordeling af udeluft i næsehøjde uden træk.

### Teknisk løsning

Vent2Learn er et kontrolleret højeffektivt ventilationssystem udviklet specielt til CO<sub>2</sub>-optimeret skoleventilation. Systemet benytter laminar indblæsning (luftstrømme uden hvirvler) med et designet hulmønster og kontrolleret permeabilitet gennem stofkanaler.

Systemet, der er udviklet sammen med KE Fibertec, bliver dimensioneret og designet til at levere den rette luftmængde i den højde, som modsvarer brugen af de enkelte rum – ved forskelligt tryk og hastighed. Tekstilkanalerne har et hulmønster, som sikrer et laminart luftflow, hvilket tilfører ren udeluft til både siddende og stående i lokalet. Ifølge udviklerne giver det en meget effektiv luftfordeling og bedre luftkvalitet takket være mindre opblanding med den "forurenede" luft i lokalet.

Ventilationsprincippet er dokumenteret på Teknologisk Institut og DTU Byg. For at holde CO<sub>2</sub>-niveauet på maksimalt 1.000 ppm kræver det blot 50 pct. af det luftskifte, som et tilsvarende system med opblandet ventilation ville skulle levere. Men fordi bygningsreglementet kræver en højere minimumsudskiftning af luften, har man øget luftskiftet til 64 pct. Den positive effekt er, at luftkvaliteten bliver tilsvarende højere.

Installationen er pladsbesparende i forhold til traditionel opblandingsventilation. Dermed bliver det muligt at bevare mere af loftshøjden, når løsningen installeres i eksisterende bygninger, ligesom det giver en besparelse ved nybyggeri, hvor der kan bygges lavere. Besparelse på installationen alene er 30 pct. Og det mindre anlæg giver en beregnet energibesparelse på mere end 50 pct. Hertil kommer, at tekstilkanalerne har høj støvbæreevne og er et 100 pct. nedbrydeligt og genanven-

Tekstilkanalernes særlige hulmønster leder effektivt den friske luft ned til børnene. Foto: Lillian K. Kofod



deligt materiale med Cradle to Cradle-certifikat. Resultaterne er gode på Bredballe Skole, hvilket er dokumenteret over en testperiode på 3,5 år i tre referencelokaler. Her er CO<sub>2</sub>, temperatur og luftfugtighed blevet målt med sensorer i et lokale uden ventilation og i to lokaler med det nye system.

- CO<sub>2</sub>-niveauet uden mekanisk ventilation er over 1.000 ppm i 25 pct. af tiden. Det er reduceret til hhv. 1 og 4 pct. af tiden i de to referencelokaler med Vent2Learn installeret. Med Vent2Learn installeret er CO<sub>2</sub>-niveauet under 800 ppm i 90 pct. af tiden.
- Temperaturen uden mekanisk ventilation er tilfredsstillende i skoletiden med tendens til lidt kolde lokaler om morgenen. Med Vent2Learn installeret holdes temperaturen mere jævn over hele døgnet og er mellem 21 og 25°C i ca. 90 pct. af skoletiden.
- Luftfugtigheden er for høj – og ringe – i 30 pct. af tiden i lokalet uden ventilation. Det er reduceret til under 2 pct. af tiden i lokalerne med Vent2Learn installeret.

# Sektionsopdelt ventilationsanlæg integreret i gammel skolebygning



2018-2020

## Forventet resultat:

- CO<sub>2</sub>-niveau < 1.000 ppm.
- Eliminering af træk og kuldepåvirkning.
- Behovsstyret luftskifte.
- Bedre lysforhold.

## Finansiering:

Kommunal finansiering plus energisparelån. Samlet projekt: 4,3 mio. kr., heraf ventilation: 3,5 mio. kr. Intern ESCO-model giver den forventede energibesparelse som tilskud til projektet.

## Partnere:

Kolding Kommune  
NiH Energy [bygherrerådgiver]  
Airteam [leverandør af ventilation]  
OJ-CTS [leverandør af styringsanlæg]  
Dansk Belysnings Montage [leverandør af lys]  
CVE Teknik [leverandør af VVS]

## Kontakt:

Michael Kjær Maagaard  
micma@kolding.dk

## Parametre



Flere centrale ventilationsanlæg er blevet diskret indbygget i den gamle skolebygning og løfter indeklimaet til tidsvarende standard.

Sdr. Vang Skoles systemer med naturlig ventilation gav dårligt indeklima i form af højt CO<sub>2</sub>-niveau, kulde og træk. Med renoveringsprojektet er der blevet installeret flere centrale og højeffektive ventilationsanlæg. De mindre anlæg kræver mindre rørdimensioner. Det har gjort det muligt at indpasse indblæsningen af luft fra den innovative ventilationsløsning over det eksisterende loft og i nye installationsvægge i gangarealerne. Samtidig er grundbelysningen i skolens lokaler blevet udskiftet med LED-armaturer.

De nye installationer er behovsstyret og dimensioneret til at opfylde kravene til luftskifte, godt lys samt lavt energiforbrug. Den forventede energibesparelse til varme, drift og belysning over de næste 10 år bidrager direkte til anlægsudgiften via Kolding Kommunes energihandleplan.



Sdr. Vang Skole er en smuk bygning, der ikke er dimensioneret til et moderne ventilationsanlæg. Foto: Kommunale Ejendomme, Kolding

## Eksempelværdi

Projektet er et godt og innovativt eksempel på, hvordan man kan installere et tidssvarende centralt ventilationsanlæg i en gammel skolebygning med respekt for arkitekturen. Ved at dele installationen op i flere mindre anlæg kan ventilationsrør holde mindre dimensioner og blive indbygget over det eksisterende nedhængte loft uden at bryde skolens brandceller. Da skolen også trængte til ny belysning, og når der alligevel blev arbejdet over og under det nedhængte loft, valgte kommunen også at skifte til LED-belysning.

Eksemplet går også foran ved at udnytte de betydelige energibesparelser til at løfte indeklimaet. Kommunens interne ESCO-model gør det muligt at lade den forventede energibesparelse over 10 år indgå som et direkte tilskud til fornyelse af installationer og optimering af indeklimaet. ESCO [Energy Service Company] er en model, der beskriver en samarbejds- og finansieringsmodel, hvor energibesparelser betaler for optimering og fornyelse af eksempelvis bygninger.



## Hvad er der gjort i eksemplet?

Sdr. Vang Skole er en ældre skole fra 1910, der løbende er om- og tilbygget. Den eksisterende naturlige ventilation var svær at styre og utilstrækkelig. Ét system åbnede vinduer, når CO<sub>2</sub>-niveauet var for højt. Og i den nyere del af skolen tilførte et andet system forvarmet luft fra kælderskakte med aftræk fra en lem i loftet, som blev styret manuelt. Fælles for systemerne var, at erstatningsluften var for kold i vinterhalvåret, og trækgener gjorde, at man undlod at åbne vinduer og lemme. Konsekvensen var dårligt indeklima.

## Teknisk løsning

Den største udfordring bestod i at montere et moderne balanceret ventilationsanlæg med varmegenvinding, der både kan levere tilstrækkeligt luftskifte, effektiv varmegenvinding og passes ind i den gamle skoles arkitektur. Den valgte løsning anvender flere centrale ventilationsanlæg, der er behovsstyret via VAV-spjæld og sensorer. Fordi anlæggene er mindre, kan størrelsen på ventilationsrørene minimeres og føres over det eksisterende nedhængte loft og i nye installationsvægge.

Hvor det var muligt, er der valgt diffus ventilation med indblæsning over loftet og udsugning i gangen via overtryksventiler i væggen. Hovedparten af ventilationsanlæggene er placeret uden for bygningen, men for at få ventileret lokalerne i midten af skolen blev der indbygget to kompakte ventilationsanlæg. De er så flade, at hele anlægget

kan placeres over et nedhængt loft og effektivt forsyne tre-fire lokaler.

Sdr. Vang Skole er som de fleste større bygninger opdelt i flere brandceller. Ved at gå ned i dimension og dele ventilationsanlægget op i flere separate anlæg undgår man at gennembryde brandcellerne med ventilationsrør. Det har sparet mange penge til etablering af brandspjæld, som både er dyre i indkøb og skal serviceres.

Skolelukningen under COVID-19-pandemien har forsinket dokumentation af resultaterne. De nye ventilationsanlæg er beregnet og dimensioneret til at kunne levere et CO<sub>2</sub>-niveau på under 1.000 ppm med konstant luftskifte uden træk og kuldepåvirkning.

Skolens grundbelysning er samtidig blevet skiftet til LED-armaturer. Det har sikret et bedre og mere naturligt lys. De fleste nye armaturer kommunikerer trådløst. På den trådløse lyskontakt kan underviseren skifte mellem forskellige forprogrammerede lysscenerier.

Projektet er finansieret med tilskud fra kommunens Energihandleplan, som har gjort det muligt at yde den årlige besparelse over 10 år som tilskud. Den forventede årlige energibesparelse er på 165.000 kWh til varme og drift af ventilationsanlægget samt 30.000 kWh i el til belysning.



En stor del af installationerne er bygget ind bag en ny væg på gangarealet. Her ses samme gangareal før og efter opførelse af væggen. Foto: Kommunale Ejendomme, Kolding



# Opgradering af eksisterende anlæg med tekstilkanaler uden trækgener



2019

## Opnået resultat:

- CO<sub>2</sub>-niveauer holder sig < 1.000 ppm.
- Trækgener ved eksisterende anlæg elimineret.

## Finansiering:

Kommunal egenfinansiering af ventilationsprojekt: ca. 750.000 kr.

## Partnere:

Vejen Kommune  
Airteam Esbjerg [rådgivning og installation]  
Nordomatic [styring af anlæg]  
KE Fibertec [producent]

## Kontakt:

Anders Olsen  
ao@ke-fibertec.dk

Tekstilkanalerne giver en mere effektiv fordeling af den friske luft og eliminerer gener med træk.

Et eksisterende ventilationsanlæg på Østerbyskolen er blevet opgraderet og optimeret. Tekstilkanaler erstatter de gamle indblæsningskanaler i stål, som gav dårligt luftskifte og en oplevelse af træk. Tekstilkanalernes diffuse indblæsning fordeler den friske luft effektivt i lokalerne uden træk. Og et opgraderet bygningsstyringsanlæg sørger for, at der bliver leveret det nødvendige luftskifte.

Resultatet er, at skolens brugere kan arbejde og modtage undervisning i lokaler, hvor CO<sub>2</sub>-niveauet holder sig under grænseværdierne.

Det giver mere trivsel og bedre indlæring i skolens faglokaler, kantine, personalerum og på biblioteket.



På biblioteket er de nye tekstilkanaler tilkoblet det eksisterende ventilationssystem og ført under loftet. Foto: KE Fibertec

## Eksempelværdi

Projektet er et eksempel på, hvordan en opgradering og modernisering af et eksisterende ventilationsanlæg kan sikre det nødvendige luftskifte og større komfort. Tekstilkanalerne kan dimensioneres og tilpasses til mange forskellige lokaler og leverer effektiv indblæsning.

På skoler, hvor det eksisterende ventilationsanlæg stadig har en længere funktionsevne, viser eksemplet muligheden for at renovere det eksisterende system i stedet for at foretage en dyr udskiftning.

Tekstilkanaler er på mange parametre et mere bæredygtigt alternativ til traditionelle løsninger i stål, der bl.a. er mere energikrævende i produktion og transport, og de kan indpasses æstetisk i eksisterende miljøer uden højere omkostning til tilpasning af f.eks. eksisterende lofter.

## Parametre



## Hvad er der gjort i eksemplet?

I forbindelse med en ombygning på Østerbyskolen blev det besluttet at optimere det eksisterende ventilations-system i en række af skolens undervisningslokaler og fællesrum. Formålet var at eliminere eksisterende problemer med træk og samtidig få en bedre fordeling af frisk luft.

## Teknisk løsning

Der er opsat tekstilbaserede kanaler til at fordele indblæsningsluften i skolens kantine, personalerum, faglokaler i naturfag og hjemkundskab samt på skolens bibliotek.

Kanalerne fungerer både som indblæsningsarmatur og transportkanal i rummene. De er dimensioneret nøjagtigt til behovet for luftskifte i de forskellige lokaler og koblet til et nyt bygningsstyringsanlæg [CTS].

I forhold til indblæsningskanalerne i stål i det gamle anlæg giver tekstilkanalerne en mere effektiv og ensartet luftfordeling, og den diffuse indblæsning eliminerer også tidligere trækgener.

Den løsning, der er valgt på Østerbyskolen, er en "Cradle to Cradle"-certificeret løsning, hvor hele tekstilsystemet, inklusive ophæng, kan genanvendes. Materialet har en høj støvbæreevne på 25 gram/m<sup>2</sup> tekstiloverflade og er 100 pct. nedbrydeligt.

I den del af biblioteket, hvor loftshøjden er størst, er tekstilkanalerne ført under loft og hænger som rør i lokalet for at få luftskiftet tættere på brugerne. I resten af de renoverede lokaler er tekstilkanalerne ført umiddelbart på de eksisterende lofter. Alle steder er tekstilerne matchet farvemæssigt med de øvrige materialer i lokalerne.

Generelt angiver producenten, at tekstilkanalernes systemlayout, materialer og dimensionering kan tilpasses i farve og kapacitet til behovet i mange forskellige

lokaler. Systemet er velegnet til anlæg med variabel luftmængde [VAV] eller behovsstyret luftmængde [DCV], ofte styret på CO<sub>2</sub>-værdi, så luften i lokalerne lever op til kravene for godt indeklima.

Der er opsat måleudstyr i et af skolens faglokaler, som overvåger CO<sub>2</sub>-niveau, luftfugtighed, temperatur og lydniveau.

Målinger dokumenterer, at det opgraderede ventilations-system kan levere et

tilfredsstillende luftskifte. Med det mekaniske ventilations-system tændt kommer CO<sub>2</sub>-niveauet i referencelokalet [med 24 elever] ikke over 700 ppm.

Med anlægget slukket, når CO<sub>2</sub>-niveauet efter frokost hurtigt over grænseværdien på 1.000 ppm.



Diffus indblæsning via tekstilkanalerne giver en mere effektiv og ensartet fordeling af den friske luft. Uden træk. Foto: KE Fibertec

# Diskrete decentrale ventilationsanlæg med diffus indblæsning



2020-2021

## Opnået resultat:

- CO<sub>2</sub>-niveauer holdes < 1.000 ppm og tæt på 800 ppm i brugstiden.
- Højt luftskifte på op til 1.200 m<sup>3</sup>/time.
- Varmegenindvinding på 82-93 pct. og trækfri ventilation.
- Konstant temperatur på 22-23°C.

## Finansiering:

IEgenfinansiering af det samlede skole-renoveringsprojekt: ca. 400 mio. kr. Heraf ca. 18,5 mio. kr. til ventilationsprojektet. Støtte fra Realdania til kortlægning og dokumentation af indeklimate som en del af projektet kampagnen Skolernes indeklimate.

## Partnere:

Aarhus Kommune  
rasmusasmus arkitekter [rådgiver]  
InVentilate [leverandør]

## Kontakt:

Lasse Andersen  
la@inventilate.com

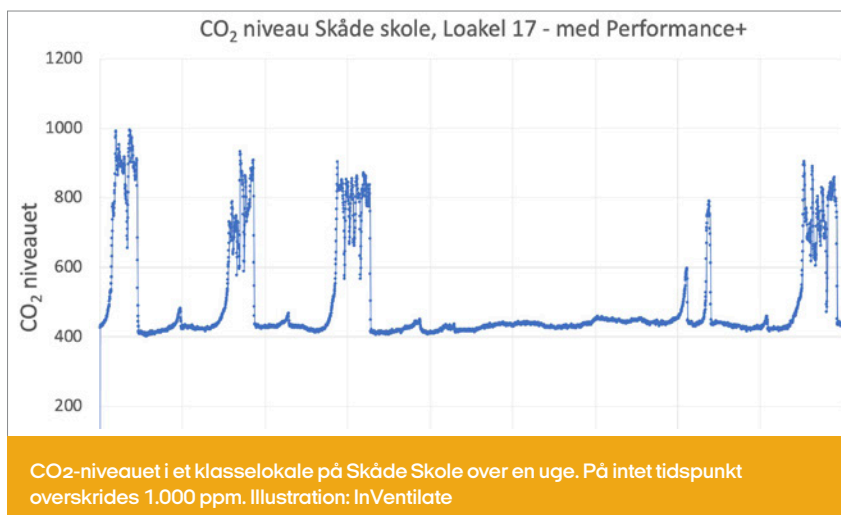
## Parametre



Decentrale modulære ventilationsanlæg kan indbygges enkeltvis i loftet over klasselokalerne – og holder CO<sub>2</sub>-niveauret lavt.

Løsningen på Skåde Skole består af **decentrale** og energieffektive **ventilationsanlæg**, som forbedrer luftkvaliteten i klasselokaler, hvor der tidligere var dårlig luft. Efter installationen holder **CO<sub>2</sub>-niveauret** sig **under 1.000 ppm** i hele brugstiden.

Anlæggene er testet af Teknologisk Institut og indbygget, så produktet tilpasser sig forskellige rumlige begrænsninger, herunder sammen med akustikdæmpende loftsplader. Brugere oplever betydelige forbedringer af indeklimaet og sætter pris på oplevelsen af **frisk luft uden trækgener**.



## Eksempelværdi

Der sker en betydelig teknisk udvikling på ventilationsområdet. De decentrale og modulære anlæg i eksemplet er både energieffektive, komfortable, lydsvage og relativt enkle at indbygge i eksisterende lokaler. De nedbringer CO<sub>2</sub>-niveauret betydeligt og bidrager til at holde en konstant komforttemperatur.

Denne type løsning kan være interessant for mange skoler, hvor der ikke allerede findes et ventilationsanlæg. Anlæggene forbedrer først og fremmest luftkvaliteten. Løsningen vil – efter behov – kunne kombineres med samtidig forbedring af andre af indeklimaets parametre, bl.a. lydabsorbenter i loftet som i dette eksempel.

## Hvad er der gjort i eksemplet?

Leverandøren har udviklet et decentralt ventilations-system specifikt til installation på skoler og i klasselokaler som et alternativ til installation af centrale ventilations-systemer. Kravene til et decentralt ventilationsanlæg er mange. Det skal være diskret, effektivt, lydløst, trækfrit og med lange serviceintervaller. Dette anlæg har et serviceinterval på fem år.

### Teknisk løsning

Systemet Performance+ er modulært og kan indbygges på forskellige måder. Det viser løsningens fleksibilitet i forhold til klasselokalers geometri eller tekniske be-grænsninger.

På Skåde Skole er ventilationssystemet indbygget i et nedsænket loft og afsluttet med akustikdæmpende Troldekt-plader. Her er der plads til en standardstørrelse af systemet, som er 6,6 m langt med indblæsningsplader i stål. I andre projekter er anlægget afsluttet med perforerede gipsplader fra Knauf, der ud over af være akustik-dæmpende fungerer som diffus indblæsning over hele loftsfladen.

Det decentrale anlæg med diffus indblæsning er trækfrit, har meget lavt lufttab og opererer med lavt tryk sammen-lignet med et traditionelt centralt anlæg med direkte indblæsning. Et regenerativt varmegenvindingsprincip og energieffektive ventilatorer giver en SEL-værdi på 250 J/m<sup>3</sup> [energiforbruget til lufttransport], hvilket ifølge producenten giver en energibesparelse på op mod 90 pct. sammenlignet med et traditionelt centralt venti-lationsanlæg.

Produktet er testet af Teknologisk Institut i en prøveopstil-ling med fire anlæg i loftet over et klasselokale. Med venti-lationen tændt holder CO<sub>2</sub>-niveauet sig under 800 ppm. Uden ventilation stiger det i løbet af to timer til over 1.400 ppm. Det gennemsnitlige lydniveau er 27 dB[A], hvilket er under Bygningsreglementets grænse på 30 dB[A]

På Skåde Skole var det gennemsnitlige CO<sub>2</sub>-niveau op til 3.000 ppm før installationen. Efter installationen ligger det under 1.000 ppm i hele brugstiden, og systemet opretholder en konstant temperatur på 22-23°C uden trækgener.

På Skåde Skole er det decentrale ventilations-anlæg monteret over det nedhængte Troldekt-loft med diffus indblæsning gennem de langsgående plader. Foto: Inventilate



# Decentrale ventilationsanlæg fungerer som indeklimabyggeklodser



2018

## Opnået resultat:

- CO<sub>2</sub>-niveau holdes under 1.000 ppm.
- Energibesparelse fra lokal behovsstyring.
- Effektivisering af drift og vedligehold.

## Finansiering:

Kommunen har selv finansieret projektet på Søndermarksskolen med 21,5 mio. kr. Indeklimaregnskabet viser, at investeringen i det gode indeklima samlet koster mellem 2,50 og 3,50 kr. pr. barn pr. dag ved en afskrivning over 30 år, når man medregner både anlægs- og driftsomkostningerne.

## Partnere:

Bornholms Regionskommune  
STEENBERGs tegnestue [totalrådgiver]  
Airmaster [leverandør]

## Kontakt:

Anders Høj  
ah@airmaster.dk

## Parametre

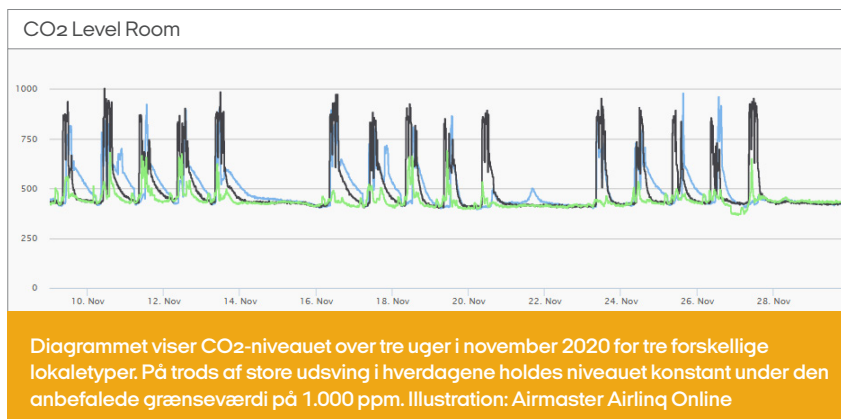


Før var dårlig luft et vilkår. I dag mærker eleverne forbedringen så tydeligt, at de protesterer over at benytte lokaler, hvor det nye ventilationsanlæg er midlertidigt ude af drift.

Installation af decentrale ventilationsanlæg, der er specifikt dimensioneret til det enkelte lokales behov, har givet kontrol over CO<sub>2</sub>-niveauet og temperaturen i klasselokalerne på Søndermarksskolen.

De nye decentrale ventilationsanlæg sikrer frisk luft direkte til hvert lokale. Behovsstyring ved hjælp af CO<sub>2</sub>-sensorer optimerer energiforbruget, fordi anlæggene kun leverer til det faktiske behov. Modulløsningen har den fordel, at renoveringen kan foregå i få rum ad gangen – eller i etaper – hvilket giver minimal gene i undervisningen.

For kommunalbestyrelsen har projektet desuden understøttet betragtningen om, at et godt indeklima er forudsætningen for læringsmiljøet, og dermed styrket beslutningsgrundlaget. Der er truffet politisk beslutning om at indeklimarenovere alle Bornholms skoler inden udgangen af 2021.



## Eksempelværdi

Projektet er et eksempel på, hvordan der kan skabes politisk mobilisering i forhold til indeklimadagsordenen ved at sætte indeklimaet i spil som en væsentlig forudsætning for gode og sunde læringsmiljøer. Politisk har det haft stor effekt, at et indeklimaregnskab viser, at det gode undervisningsmiljø kan opnås for en udgift på mellem 2,50 og 3,50 kr. pr. barn pr. dag.

De decentrale ventilationssystemer i eksemplet fungerer som et byggeklodssystem, der kan tilpasses behovene i de enkelte lokaler og med minimal gene i renoveringsperioden. Systemet kan skaleres, f.eks. ved at begynde i lokaler med mest intensiv brug/størst udfordring med CO<sub>2</sub>-niveau og temperatur og udbygge yderligere på et senere tidspunkt. Energibesparelsen på decentral ventilation er en umiddelbar merværdi, og digital opkobling tilfører nye styringsmuligheder med potentielt større planlægningsikkerhed.

## Hvad er der gjort i eksemplet?

På mange af kommunens skoler oplevede elever og personale dårligt indeklima. Søndermarksskolens gamle centrale ventilationsanlæg nåede ikke ud i alle skolens lokaler, og det kunne heller ikke følge med, når der var mange elever i et lokale. Det gav problemer med luftskiftet, og CO<sub>2</sub>-niveauer nåede over 2.000 ppm i flere lokaler. Samtidig var det mange steder for koldt om vinteren og for varmt om sommeren.

## Teknisk løsning

En ny teknisk løsning med decentrale ventilationsanlæg sikrer frisk luft direkte til hvert lokale. De er specifikt dimensioneret til hvert enkelt lokales behov. Anlæggene kan holde et konstant godt indeklima med lavt CO<sub>2</sub>-niveau og energiforbrug, bl.a. takket være behovsstyring vha. CO<sub>2</sub>-sensorer.

Anlæggene er koblet til leverandørens digitale platform, så de kan styres og overvåges centralt fra en computer eller smartphone. Driftstop påvirker kun ét lokale og opdages hurtigt via alarm. Via platformen kan ventilationsanlæggene endvidere integreres i et eksisterende BMS [Building Management System], så f.eks. servicefolk kan overvåge, optimere og planlægge de samlede serviceopgaver for alle tekniske installationer.

Den digitale opkobling er på mange måder et ressourcebesparende tiltag, der kan tale sammen med en lang række andre tekniske installationer i bygningen. Det sikrer en mere driftssikker og energieffektiv bygning.

De driftsmæssige besparelser ved at anvende den digitale platform er endnu ikke opgjort.

## Organisatorisk effekt

På baggrund af projektet er der truffet politisk beslutning om, at indeklimaforbedring af alle kommunens skoler skal være gennemført inden udgangen af 2021.

Projektet er startet af en lokal ildsjæl fra ejendomskontoret i kommunen, som har stor forståelse for betydningen af et godt indeklima, hvis læringsrummene skal være sunde og gode. Sammen med rådgiveren blev der foretaget en screening af kommunens skoler for at finde de bedste løsninger – herunder ventilation – for de enkelte skoler. Mange steder er decentrale ventilationsanlæg blevet vurderet som det effektive valg. Søndermarksskolen fik som en af de første skoler installeret de nye anlæg.

Et indeklimaregnskab blev udarbejdet. Her blev investeringsbehovet for at opnå godt indeklima på alle kommunens skoler brudt ned på elevplan. Regnskabet viser, at en investering på 2,50-3,50 kr. pr. dag pr. elev vil sikre alle elever et godt indeklima. Det har sat omkostningerne i perspektiv både i offentligheden og hos politikerne.



Airmasteranlægget sidder lokalt i klasselokalet på Søndermarksskolen. CO<sub>2</sub>-sensoren tilpasser effekten til behovet og kan styres og overvåges via en central digital opkobling. Foto: Airmaster







KOLE

# Proces

I oktober 2020 modtog Realdania og Smith Innovation, der er faglig operatør på kampagnen Skolernes indeklima, i alt 51 eksempler på indeklimaprojekter i skoler til eksempelsamlingen.

Realdania og Smith Innovation har herefter været i dialog med indsenderne og udvalgt de 30 eksempler, der indgår i den færdige eksempelsamling.

Eksemplerne er blevet vurderet og udvalgt med vægt på følgende kriterier:

1. **Indeklimæffekt:** Projektet har en tydelig dokumenteret eller forventet effekt på indeklimaet.
2. **Merværdi:** Projektet indvirker positivt på andet end indeklimaet, f.eks. energiforbrug eller trivsel.
3. **Skalerbarhed:** Projektet er designet, så det kan skaleres og duplikeres.
4. **Samarbejde:** Projektet er skabt i samarbejde på tværs af fagligheder, forvaltninger eller lignende.
5. **Innovation:** Projektet løser indeklimaudfordringer på en ny måde, i nye samarbejder eller med ny teknologi.

Det har også været et krav, at projektet var forankret i en skole eller kommune, og at der var opbakning fra skolen eller kommunen til at lade eksemplet indgå.

Derudover har det været vigtigt at vise den store mangfoldighed i både konkrete indeklimaløsninger og i de mange partnere, som er ansvarlige for projekternes gennemførelse. Indsenderne repræsenterer derfor både producenter, skoler, rådgivere, forskere mv.

Yderligere oplysninger og dokumentation er efter behov blevet indhentet hos indsenderne. Herefter er eksemplerne bearbejdet, så særligt indeklimaforbedringerne står tydeligt frem, og formidlingen følger den samme, enkle skabelon. Afslutningsvis har alle eksempler været til gennemlæsning og godkendelse hos indsenderne.

COVID-19 har i nogle tilfælde været en barriere for færdiggørelse af målinger og test. Flere indsendere har f.eks. haft udfordringer med at lave før- og eftermålinger, da der p.g.a. elevernes hjemsendelse manglede data til sammenligning. I disse tilfælde er det beskrevet i eksempelbeskrivelsen.

Tidligere i år færdiggjorde Realdania og Smith Innovation desuden publikationen "Indeklima i skoler – En håndbog til at arbejde strategisk med at forbedre skolernes indeklima", som med fordel kan læses sammen med eksempelsamlingen her.

# Inspiration

## Byg videre på eksisterende viden

På Realdanias hjemmeside findes der bl.a. en række publikationer, der kan udgøre datagrundlaget for eller give inspiration til det videre arbejde med at forbedre indeklimaet. Læs også om nye aktiviteter og projekter, som løbende bliver udviklet.

Link:

<https://realdania.dk/projekter/skolernes-indeklima>

## Samfundsmæssige gevinster

Tal, der beskriver de samfundsmæssige gevinster ved at løfte indeklimaet, kan være med til at sætte indeklimaet på dagsordenen og indgå som et væsentligt element i en strategisk plan for indeklimaet. Der er udviklet et beregningsværktøj. Værktøjet kan hjælpe med at udregne et estimat over de samfundsøkonomiske gevinster, man kan høste ved at forbedre indeklimaet. Modellen er støttet af Realdania og udviklet af Incentive og DTU.

Link:

<https://realdania.dk/publikationer/faglige-publikationer/samfundsøkonomiske-gevinster-ved-forbedret-indeklima>

## Branchevejledningen

En ny branchevejledning viser vejen til bedre indeklima på danske skoler. MOE, NIRAS og Teknologisk Institut står bag, og vejledningen gælder for både nybyggeri og renovering af skoler. Vejledningen skal hjælpe bygherrer, rådgivere og driftsansatte med at specificere og udføre projekter, som giver gode indeklimaforhold for eleverne, og som det samtidig er muligt at realisere.

Link:

<https://realdania.dk/publikationer/faglige-publikationer/branchevejledning-for-indeklima-i-skoler>

## Frinet

”Sådan skaber vi bedre indeklima i folkeskolerne” er en rapport, der giver anbefalinger til forbedring af indeklimaet i folkeskolerne. TEKNIQ Arbejdsgiverne, VELTEK, Rådet for Grøn Omstilling og Blik & Rør har udarbejdet rapporten med CONCITO, Foreningen af Rådgivende Ingeniører, Bygherreforeningen, Dansk Center for Undervisningsmiljø, DTU, Saint-Gobain og Teknologisk Institut som dialogpartnere.

Link:

<https://www.frinet.dk/media/3264/indeklima-notat.pdf>

## DCUM

Dansk Center for Undervisningsmiljø har gennemført en række undersøgelser af undervisningsmiljøet i grundskolen og tilbyder forskellige samlinger af gode råd til at forbedre bl.a. indeklimaet.

Links:

<https://dcum.dk/grundskole/undersogelser/indeklima>

<https://dcum.dk/grundskole/undersogelser/undervisningsmiljoevurdering/kvalitetsvurdering-af-umv-2008>

## Testrapport for Skyen

Skyen er en kombination af en interaktiv sensor og et tilhørende undervisningsmateriale til natur/teknik. Løsningen er testet på 40 skoler i hele landet med gode resultater. Se eksempelbeskrivelsen på side 38.

Link:

<https://realdania.dk/publikationer/faglige-publikationer/saadan-skaber-vi-et-sundere-indeklima-i-skolen>

# Register: Indeklimaparameter

## Luft

Silkeborg, Randers og Frederikshavn Kommuner [Beslutningsstøtte], s. 20  
Helsingør Kommune [Beslutningsstøtte], s. 22  
Sjælsøskolen, Rudersdal Kommune [Beslutningsstøtte], s. 24  
Frederiksbjerg, Læssøesgades, Skåde Skoler og Lisbjergskolen, Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 26  
Byens Skole, Valby i København [Beslutningsstøtte], s. 28  
Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 30  
Skt. Knuds Skole, Aarhus Kommune [Nudging], s. 36  
Nørre Aaby Skole og Fjelsted Hamdrup Børneunivers, Middelfart Kommune [Nudging], s. 38  
Humlebæk Skole, Fredensborg Kommune, og Reerslev Skole, Høje-Taastrup Kommune [Nudging], s. 40  
Bankagerskolen, Horsens Kommune [Nudging], s. 42  
Taastrup Realskole, Taastrup [Nudging], s. 44  
Kokkedal Skole, Fredensborg Kommune [Nudging], s. 46  
Fjordskolen, Aabenraa Kommune [Mindre projekt], s. 62  
Bakkeskolen, Kolding Kommune [Renovering], s. 68  
Sølystskolen, Silkeborg Kommune [Renovering], s. 70  
Vemmedrupskolen, Køge Kommune [Renovering], s. 74  
Endrupskolen og Langebjerg Skole, Fredensborg Kommune [Renovering], s. 76  
Skolen i Bymidten, Helsingør Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 84  
Bredballe Privatskole, Vejle Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 86  
Sdr. Vang Skole, Kolding Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 88  
Østerbyskolen, Vejen Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 90  
Skåde Skole, Aarhus Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 92  
Søndermarks skolen, Bornholms Regionskommune [Renovering gennem ventilation], s. 94

## Lyd

Silkeborg, Randers og Frederikshavn Kommuner [Beslutningsstøtte], s. 20  
Helsingør Kommune [Beslutningsstøtte], s. 22  
Byens Skole, Valby i København [Beslutningsstøtte], s. 28  
Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 30  
Bankagerskolen, Horsens Kommune [Nudging], s. 42  
Fløng Skole, Høje-Taastrup Kommune [Mindre projekt], s. 52  
Store Magleby Skole, Dragør Kommune [Mindre projekt], s. 54  
Skovlyskolen, Rudersdal Kommune [Mindre projekt], s. 56  
Bakkeskolen, Kolding Kommune [Renovering], s. 68  
Sølystskolen, Silkeborg Kommune [Renovering], s. 70  
Usserød Skole, Hørsholm Kommune [Renovering], s. 72  
Vemmedrupskolen, Køge Kommune [Renovering], s. 74  
Skolen i Bymidten, Helsingør Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 84

## Lys

Silkeborg, Randers og Frederikshavn Kommuner [Beslutningsstøtte], s.20  
Helsingør Kommune [Beslutningsstøtte], s. 22  
Byens Skole, Valby i København [Beslutningsstøtte], s. 28  
Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 30  
Herstedlund Skole og Herstedøster Skole, Albertslund Kommune [Mindre projekt], s. 60  
Bakkeskolen, Kolding Kommune [Renovering], s. 68  
Sølystskolen, Silkeborg Kommune [Renovering], s. 70  
Vemmedrupskolen, Køge Kommune [Renovering], s. 74  
Endrupskolen og Langebjerg Skole, Fredensborg Kommune [Renovering], s. 76  
Tilsted Skole og Hanstholm Skole, Thisted Kommune [Renovering], s. 78  
Sdr. Vang Skole, Kolding Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 88

## Temperatur

Silkeborg, Randers og Frederikshavn Kommuner [Beslutningsstøtte], s. 20  
Helsingør Kommune [Beslutningsstøtte], s. 22  
Frederiksbjerg, Læssøesgades, Skåde Skoler og Lisbjergskolen, Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 26  
Byens Skole, Valby i København [Beslutningsstøtte], s. 28  
Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 30  
Skt. Knuds Skole, Aarhus Kommune [Nudging], s. 36  
Taastrup Realskole, Taastrup [Nudging], s. 44  
Kokkedal Skole, Fredensborg Kommune [Nudging], s. 46  
Store Magleby Skole, Dragør Kommune [Mindre projekt], s. 54  
Høng Skole, Kalundborg Kommune [Mindre projekt], s. 58  
Herstedlund Skole og Herstedøster Skole, Albertslund Kommune [Mindre projekt], s. 60  
Bakkeskolen, Kolding Kommune [Renovering], s. 68  
Sølystskolen, Silkeborg Kommune [Renovering], s. 70  
Vemmedrupskolen, Køge Kommune [Renovering], s. 74  
Endrupskolen og Langebjerg Skole, Fredensborg Kommune [Renovering], s. 76  
Bredballe Privatskole, Vejle Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 86  
Sdr. Vang Skole, Kolding Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 88  
Skåde Skole, Aarhus Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 92  
Søndermarks skolen, Bornholms Regionskommune [Renovering gennem ventilation], s. 94

## Lokale

Frederiksbjerg, Læssøesgades, Skåde Skoler og Lisbjergskolen, Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 26  
Byens Skole, Valby i København [Beslutningsstøtte], s. 28  
Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 30  
Fløng Skole, Høje-Taastrup Kommune [Mindre projekt], s. 52  
Store Magleby Skole, Dragør Kommune [Mindre projekt], s. 54  
Skovlyskolen, Rudersdal Kommune [Mindre projekt], s. 56  
Sølystskolen, Silkeborg Kommune [Renovering], s. 70  
Usserød Skole, Hørsholm Kommune [Renovering], s. 72  
Vemmedrupskolen, Køge Kommune [Renovering], s. 74

# Løsningstype

## Teknisk løsning

Silkeborg, Randers og Frederikshavn Kommuner [Beslutningsstøtte], s. 20  
Helsingør Kommune [Beslutningsstøtte], s. 22  
Sjælsøskolen, Rudersdal Kommune [Beslutningsstøtte], s. 24  
Frederiksbjerg, Læssøesgades, Skåde Skoler og Lisbjergskolen, Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 26  
Byens Skole, Valby i København [Beslutningsstøtte], s. 28  
Skt. Knuds Skole, Aarhus Kommune [Nudging], s. 36  
Nørre Aaby Skole og Fjelsted Harndrup Børneunivers, Middelfart Kommune [Nudging], s. 38  
Humblebæk Skole, Fredensborg Kommune, og Reerslev Skole, Høje-Taastrup Kommune [Nudging], s. 40  
Taastrup Realskole, Taastrup [Nudging], s. 44  
Fløng Skole, Høje-Taastrup Kommune [Mindre projekt], s. 52  
Skovlyskolen, Rudersdal Kommune [Mindre projekt], s. 56  
Høng Skole, Kalundborg Kommune [Mindre projekt], s. 58  
Herstedlund Skole og Herstedøster Skole, Albertslund Kommune [Mindre projekt], s. 60  
Fjordskolen, Aabenraa Kommune [Mindre Projekt], s. 62  
Bakkeskolen, Kolding Kommune [Renovering], s. 68  
Sølystskolen, Silkeborg Kommune [Renovering], s. 70  
Usserød Skole, Hørsholm Kommune [Renovering], s. 72  
Vemmedrupskolen, Køge Kommune [Renovering], s. 74  
Endrupskolen og Langebjerg Skole, Fredensborg Kommune [Renovering], s. 76  
Tilsted Skole og Hanstholm Skole, Thisted Kommune [Renovering], s. 78  
Skolen i Bymidten, Helsingør Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 84  
Bredballe Privatskole, Vejle Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 86  
Sdr. Vang Skole, Kolding Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 88  
Østerbyskolen, Vejen Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 90  
Skåde Skole, Aarhus Kommune [Renovering gennem ventilation], s. 92  
Søndermarksskolen, Bornholms Regionskommune [Renovering gennem ventilation], s. 94

## Organisatorisk effekt

Silkeborg, Randers og Frederikshavn Kommuner [Beslutningsstøtte], s. 20  
Helsingør Kommune [Beslutningsstøtte], s. 22  
Sjælsøskolen, Rudersdal Kommune [Beslutningsstøtte], s. 24  
Frederiksbjerg, Læssøesgades, Skåde Skoler og Lisbjergskolen, Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 26  
Byens Skole, Valby i København [Beslutningsstøtte], s. 28  
Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 30  
Kokkedal Skole, Fredensborg Kommune [Nudging], s. 46  
Store Magleby Skole, Dragør Kommune [Mindre projekt], s. 54  
Herstedlund Skole og Herstedøster Skole, Albertslund Kommune [Mindre projekt], s. 60  
Sølystskolen, Silkeborg Kommune [Renovering], s. 70  
Vemmedrupskolen, Køge Kommune [Renovering], s. 74  
Søndermarksskolen, Bornholms Regionskommune [Renovering gennem ventilation], s. 94

## Adfærdspåvirkning

Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 30  
Skt. Knuds Skole, Aarhus Kommune [Nudging], s. 36  
Nørre Aaby Skole og Fjelsted Harndrup Børneunivers, Middelfart Kommune [Nudging], s. 38  
Humblebæk Skole, Fredensborg Kommune, og Reerslev Skole, Høje-Taastrup Kommune [Nudging], s. 40  
Bankagerskolen, Horsens Kommune [Nudging], s. 42  
Taastrup Realskole, Taastrup [Nudging], s. 44  
Kokkedal Skole, Fredensborg Kommune [Nudging], s. 46  
Tilsted Skole og Hanstholm Skole, Thisted Kommune [Renovering], s. 78

## Rumlig forandring

Byens Skole, Valby i København [Beslutningsstøtte], s. 28  
Aarhus Kommune [Beslutningsstøtte], s. 30  
Fløng Skole, Høje-Taastrup Kommune [Mindre projekt], s. 52  
Store Magleby Skole, Dragør Kommune [Mindre projekt], s. 54  
Skovlyskolen, Rudersdal Kommune [Mindre projekt], s. 56  
Usserød Skole, Hørsholm Kommune [Renovering], s. 72  
Vemmedrupskolen, Køge Kommune [Renovering], s. 74

# Noter:



