Troldtekt®
Natural acoustic solutions

Troldtekt A/S

Sundt indeklima i skoler

Indhold

Akustik: Ro til at høre, hvad der bliver sagt **06**
Opsamling og overvejelser: Bedre akustik i undervisningen 11
Sådan sikrer Troldtekt god akustik 14
Case: Skovbakkeskolen 15

Design: Gør skolen til elevernes sted **16**
Opsamling og overvejelser: Design af klasseværelset 19
Sådan bidrager Troldtekt til et elegant design 20
Case: Skolen på Duevej 24
Case: Søndervangskolen 25

Luftkvalitet: Ren luft løfter læringen **26**
Opsamling og overvejelser: Bedre luft i lokalet 31
Sådan bidrager Troldtekt til bedre luftkvalitet 32
Case: UC Syd 34
Case: Vallensbæk Skole 35

Lys: Det rette mix lyser skoledagen op **36**
Opsamling og overvejelser: Bedre lys i lokalet 41
Sådan bidrager Troldtekt til bedre lys 42
Case: Vibenshus Skole 43

Økonomi: Det bedste indeklima for budgettet **44**
Fire undersøgelser i et økonomisk sundhedstjek 48
Sådan bidrager Troldtekt til en sund økonomi 50
Case: Grønløkkeskolen 51

Forside:
Skovbakkeskolen i Odder, CEBRA Arkitekter
Foto: Adam Mørk

Børn bruger hvert år **20 procent** af alle deres vågne timer på at gå i skole. Derfor har de fysiske rammer stor betydning.

I denne bog får du viden om **skolers indeklima** – og konkrete byggetekniske tips til at forbedre det.

Sundt indeklima i skoler

Det er skolebørnene, der udgør fremtidens Danmark. Derfor skal vi give dem de bedste rammer til at udvikle sig og lære nyt. Det er alle formentlig enige i. Ikke desto mindre er mange skolebygninger så nedslidte, at det går ud over læringen. For eksempel har omkring 90 procent af skolerne problemer med dårlig luftkvalitet – og forskere har dokumenteret, at det koster på både sygefravær og læringskurve.

Heldigvis er der også skoler, som tilbyder forhold i verdensklasse. Her har bygherrer og rådgivere gjort deres hjemmearbejde for at vælge de bedst mulige løsninger. For at få akustik, luftkvalitet, lys, design og økonomi til at gå op i en højere enhed.

Netop de fem aspekter af skolebyggeri kan du læse om her i bogen. I hvert kapitel får du fakta fra forskningen og konkrete tips til at skabe de bedste byggetekniske løsninger. Du kan også læse, hvilken forskel Troldtekt akustikløsninger gør inden for hvert område. Endelig kan du tage med på en inspirationstur til vellykkede skolebyggerier – og få rådgivernes overvejelser bag.

Akustik, luft, lys, design og økonomi kan ikke ses som enkeltstående områder, når en skole skal bygges eller renoveres. Her handler det om at fokusere på helheden. Flere steder i bogen, kan du derfor læse om løsninger, der slår flere fluer med ét smæk.

Netop helheden er også centralt i den bæredygtige bølge, der vokser år for år. Certificering af bæredygtigt byggeri – i Danmark typisk efter DGNB-standarden – bliver mere og mere udbredt. For at opnå point nok til en certificering skal der være styr på de faktorer, der tilsammen skaber et sundt indeklima. Det giver mening. For det er ikke særlig bæredygtigt at designe skoler, som hæmmer elevernes muligheder for at lære.

God læselyst!

Vallensbæk Skole:
Eleverne klarer sig bedre
i lokaler med ventilation.

Skolen på Duevej:
Den nye tilbygning er Danmarks første
DGNB-certificerede skolebygning.

Vibenshus Skole:
Den gamle skole har
fået et arkitektonisk løft.

UC Syds campus i Aabenraa:
Masser af lys og luft
i arkitekturen.

Skovbakkeskolen:
En by i byen med indre torve, gader
og rum til fordybelse eller leg.

Akustik

Ro til at høre, hvad der bliver sagt

Støj og akustik har stor betydning for elevernes læring – og for lærernes arbejdsmiljø. Hvis du klapper i hænderne i et klasserum med god akustik, skal lyden dø hurtigere, end du kan sige "efterklangstid".

Elever, der råber, skramler med stole, klikker med kuglepenne, leder efter madpakken, taber en bog på gulvet eller afbryder hinanden og læreren. På en almindelig skoledag er lydniveauet højt i klasseværelset.

Det er formentlig logisk for de fleste, at det kan være svært for eleverne at lære nyt, når de ikke kan høre, hvad læreren siger. Men ifølge Dansk Center for Undervisningsmiljø (DCUM) påvirker støj ikke kun hørelsen. Det påvirker også opmærksomhed, hukommelse og evnen til at tage beslutninger.

Forklaringen er, at når eleven ikke kan høre, hvad der bliver sagt ved tavlen, gætter eleven helt ubevidst på, hvad læreren siger. Det ligger beslag på ressourcer i arbejdshukommelsen, så der er mindre kapacitet til at forstå og bearbejde indholdet af budskabet og huske det.[1]

DCUM peger også på en række andre grunde til, at gode lydforhold i klasseværelset er vigtige:

Børn bruger deres hørelse til at udvikle deres sprog.

Børn er mere generet af dårlig akustik og støj end voksne. Voksne kan opfatte, hvad der bliver sagt, selvom baggrundsstøjen er kraftigere end talen, det kan børn ikke.

Jo yngre eleverne er, jo mindre kan de forstå, når det støjer. I kraftig baggrundsstøj opfatter et barn på 6 år for eksempel kun halvt så mange sætninger som et barn på 12-13 år.

Flere forskningsprojekter har peget på, at støj især er generende for børn med særlige behov.[2] Børn med nedsat hørelse eller tosprogede elever er også ekstra belastede af dårlig akustik.

[1] **'Lyd i grundskolen'**, DCUM, 2016

[2] **'Clever Classrooms'**, Salford University, 2015

FORSKELLEN PÅ LYD OG STØJ

Lyd er trykbølger, der bevæger sig gennem luften. Normalt skelner man mellem lyd og støj. Behagelige, ordnede bølger kalder vi for lyd, mens kaotiske og påtrængende bølger kategoriseres som støj.

0,6 sek

Der må højst gå 0,6 sekunder, før lydniveauet i et klasserum er faldet med 60 decibel.

0,4 sek

Der må højst gå 0,4 sekunder, før lydniveauet i et rum til gruppearbejde er faldet med 60 decibel.

Desuden er støj den indeklimafaktor, der betyder mest for, om lærere søger andet job, og hvor højt sygefraværet er på lærerværelset.[3]

Forskellige slags støj
Der er altså al mulig grund til at være opmærksom på skolens lydmiljø samt på, hvordan det kan forbedres, så der bliver skabt et undervisningsmiljø med plads til både læring og trivsel.

For at forstå, hvordan det gøres, ser vi først nærmere på, hvad der støjer i klasseværelserne. Det har forskerne bag rapporten Clever Classrooms fra Salford University undersøgt. Støj i klasseværelset kan ifølge rapporten opdeles i to kategorier. *Udefrakommende støj og intern støj*.[4]

Udefrakommende støj er for eksempel forstyrrende lyde fra en stærkt trafikeret vej, et fællesområde eller legepladsen i skolegården. Denne type støj kan reduceres eller undgås, hvis arkitekten har fokus på påvirkninger fra det omkringliggende miljø i designfasen af en ny skole. Andre gange – for eksempel ved skolerenoveringer – kan man lægge en dæmper på udefrakommende støj ved at placere gangarealer, depotrum eller toiletter mellem støjkilden og klasselokalet.

Intern støj omfatter både luftbåren lyd, der bliver skabt i klasselokalet, og lyde, der overføres fra selve bygningen – for eksempel fra et klimanlæg, der blæser. Luftbårne lyde fra en stol der skramler, en dør, der smækker, eller tale kan enten opfattes positivt (så er det bare lyd) eller negativt (så er det støj). Alle luftbårne lyde reflekteres fra vægge og lofter, og hovedparten af den lyd, som lærer og elever hører, er refleksioner. Derfor er det afgørende, at efterklangstiden i klasseværelset er lav – at lyden er hurtig til at "dø ud" i rummet.

[3] **'Indeklima og fagligt udbytte',** DCUM, 2013

[4] **'Clever Classrooms',** Salford University, 2015

4 m

Når der er fire meter eller mere til loftet, skal det lydabsorberende areal i rummet være større end gulvet.

På **www.bygningsreglementet.dk** kan du se **vejledningen om lydforhold** i undervisningsbygninger.

Regler for efterklangstid
I 2008 blev kravene til akustik i undervisningslokaler skærpet, og Bygningsreglementet stiller krav til efterklangstiden i undervisningslokaler. 0,6 sekunder må der gå, før lydniveauet er faldet med 60 decibel, og er der tale om rum til gruppearbejde, må der kun gå 0,4 sekunder. I rum med over fire meter til loftet skal det lydabsorberende areal være større end gulvet.

Mads Bolberg, som dengang var akustikspecialist i virksomheden DELTA Acoustics, har til en artikel på troldtekt.dk forklaret, hvordan skolerne kan indrettes, så de overholder akustikkravene.[5]

> “I undervisningsrum, hvor kravene til efterklangstid er 0,6 sekunder, er det typisk nok med en rigtig god lydabsorbent på loftfladen i kombination med den rette møblering. Til de lokaler, hvor efterklangstiden skal ned på 0,4 sekunder, må man typisk have fat i en specialist, for her bliver det virkelig svært,”

siger Mads Bolberg og fortsætter:

> “Dels er rumformen meget afgørende, dels skal der også lydabsorberende materiale på dele af væggen – og det er ikke ligegyldigt, hvilke vægge og hvor på væggene. Sammen med akustikbeklædning kan man også bringe for eksempel lyddæmpende gardiner i spil. Og reoler med perforerede plader, hvor man bruger hulrummet bagved til at opnå den rette effekt.”

Han understreger, at mange akustiske udfordringer kan løses med planlægning. Mere om det i næste afsnit.

[5] www.troldtekt.dk

Den tosprogede Montessori-skole i Ingelheim i Tyskland er tegnet af sander.hofrichter architekten.

Foto: Markus Bachmann

Opsamling og overvejelser: Bedre akustik i undervisningen

Akustikken med fra start
Det er en god idé at tænke akustik med allerede i dispositionsforslaget til en ny skole. Dels kan det blive en dyr proces at tilpasse klasselokalet til kravene efterfølgende, dels kan det ende med en stor installation, fordi man er nødt til at komme meget lydabsorberende materiale på væggene.

Høj taleforståelighed
Er der lang efterklangstid i et lokale, når de talte ord ikke at dø ud, før de næste ord når frem til lytteren. Det giver en dårlig taleforståelighed, og lytteren har svært ved at forstå, hvad der bliver sagt. Bliver lyden derimod absorberet, giver det en kort efterklangstid, god akustik og høj taleforståelighed. Man kan forbedre taleforståeligheden ved på forhånd at simulere i en tredimensionel model, hvordan en taler vil lyde i rummet.

Gode absorbenter
Forskellige materialers lydabsorberende virkning – også kaldet absorptionskoefficient – er meget forskellig. Derfor er det vigtigt at tænke på akustikken i valget af materialer. Mens beton og murværk praktisk talt ikke absorberer lyd, er tæpper, tekstiler og træbeton (Troldtekt) meget akustikvenlige løsninger. Beton har en absorptionskoefficient på 0,01-0,02, svarende til 1-2 procent. Til sammenligning har Troldtekt med bagvedliggende mineraluld typisk en absorptionskoefficient på 0,8-0,9, svarende til 80-90 procent.

Rum efter funktion
Skolens lokaler kan indrettes efter, hvilken aktivitet der skal foregå i dem, så børn og voksne bevæger sig rundt i forskellige miljøer i løbet af dagen. I læsehjørnet skal der være stille, mens tonerne gerne må hænge længere i musiklokalet. Lyden kan også justeres mellem folkeskolens ældste og yngste klasser, hvor der er stor forskel på støjniveauet.

Specialisterne på banen
Det er en god idé at få akustikspecialister på banen i rette tid. Nogle gange kommer de for sent ind i billedet, og det nytter ikke noget, hvis man for eksempel allerede har valgt glasvægge til det meste af sit byggeri.

Forskellige materialers lydabsorberende virkning – også kaldet absorptions-koefficient – er meget forskellig. Derfor er det **vigtigt at tænke på akustikken** i valget af materialer.

Roskilde Katedralskole er tegnet af Sweco Arkitekter.

Foto: Thomas Mølvig

Sådan sikrer Troldtekt god akustik

For at overholde Bygningsreglementets krav til efterklangstiden i undervisningslokaler er det nødvendigt med gode, lydabsorberende materialer. Det kan for eksempel være Troldtekt akustikplader.

FORDELE VED TROLDTEKT AKUSTIKPLADER

- Troldtekt akustikpladers åbne struktur absorberer lyden.
- Høj lydabsorption giver kort efterklangstid.
- Kort efterklangstid gør det nemmere at høre, hvad der bliver sagt.
- Støjgener minimeres.

Akustikken i et klasseværelse kan beskrives ved lokalets efterklangstid – altså hvor længe en lyd er om at dø ud i lokalet. Efterklangstiden er meget afhængig af overfladestrukturen i lokalet. Hårde og glatte overflader som beton, glas og gips giver en lang efterklangstid, fordi lyden reflekteres mange gange, før den forsvinder. Har overfladerne i rummet derimod en åben overfladestruktur som Troldtekt akustiklofter, vil lyden hurtigt dø ud. Det giver en kort efterklangstid og dermed en rigtig god akustik.

Et naturligt produkt

Troldtekt akustikplader er fremstillet af naturprodukterne træ og cement. Kombinationen af træ og cement skaber Troldtekts unikke lydabsorberende egenskaber og sikrer god akustik i lokalet. Materialet har samtidig en naturlig styrke, tåler fugtige omgivelser og giver effektiv brandsikring.

Bred mulighed for variation

Troldtekt tilbyder adskillige akustikløsninger, baseret på valg af overfladestruktur, kanter, ophæng, farve, pladestørrelse og pladetykkelse. Med løsningerne får du også muligheden for at integrere og skjule en række funktioner i loftet, herunder højttalere og ventilation, der gør underværker for indeklimaet.

Få den bedste effekt

Når et Troldtekt loft skal give bedst mulig effekt, spiller konstruktionen en vigtig rolle. Det giver optimal effekt, når akustikloftet monteres med en afstand på 200-300 millimeter til det faste loft, og når Troldtekt pladerne har et lag bagvedliggende mineraluld.

Også god til en renovering

Produktet Troldtekt akustik Plus er en videreudvikling af de klassiske akustikplader. Mineralulden er limet fast bag på selve pladen og er derfor nemmere for håndværkere at arbejde med, end når mineralulden ligger løst. Desuden har Troldtekt akustik Plus en indbygningshøjde på kun 43 millimeter og giver således en stor lydabsorberende effekt i lokaler, der ikke tillader plads til et hulrum på 200-300 millimeter.

Troldtekt akustik Plus kan nemlig monteres på et eksisterende loft af for eksempel gips. Både ved nybyggeri og renovering bliver Troldtekt akustik Plus ofte valgt i undervisningslokaler. Også på et lærerværelse eller i et gangareal med lavt til loftet sikrer løsningen bedre akustik – uden behov for store ombygninger.

Case: Den nye skole er en by i byen

Der er milevidt fra fortidens stramme skolebygninger til nutidens læringsarkitektur. Den nybyggede Skovbakkeskolen i Odder er en by i byen med indre torve, gader og rum til fordybelse eller leg. Rummene glider over i hinanden, og overalt er der nye vinkler og kig til nye steder.

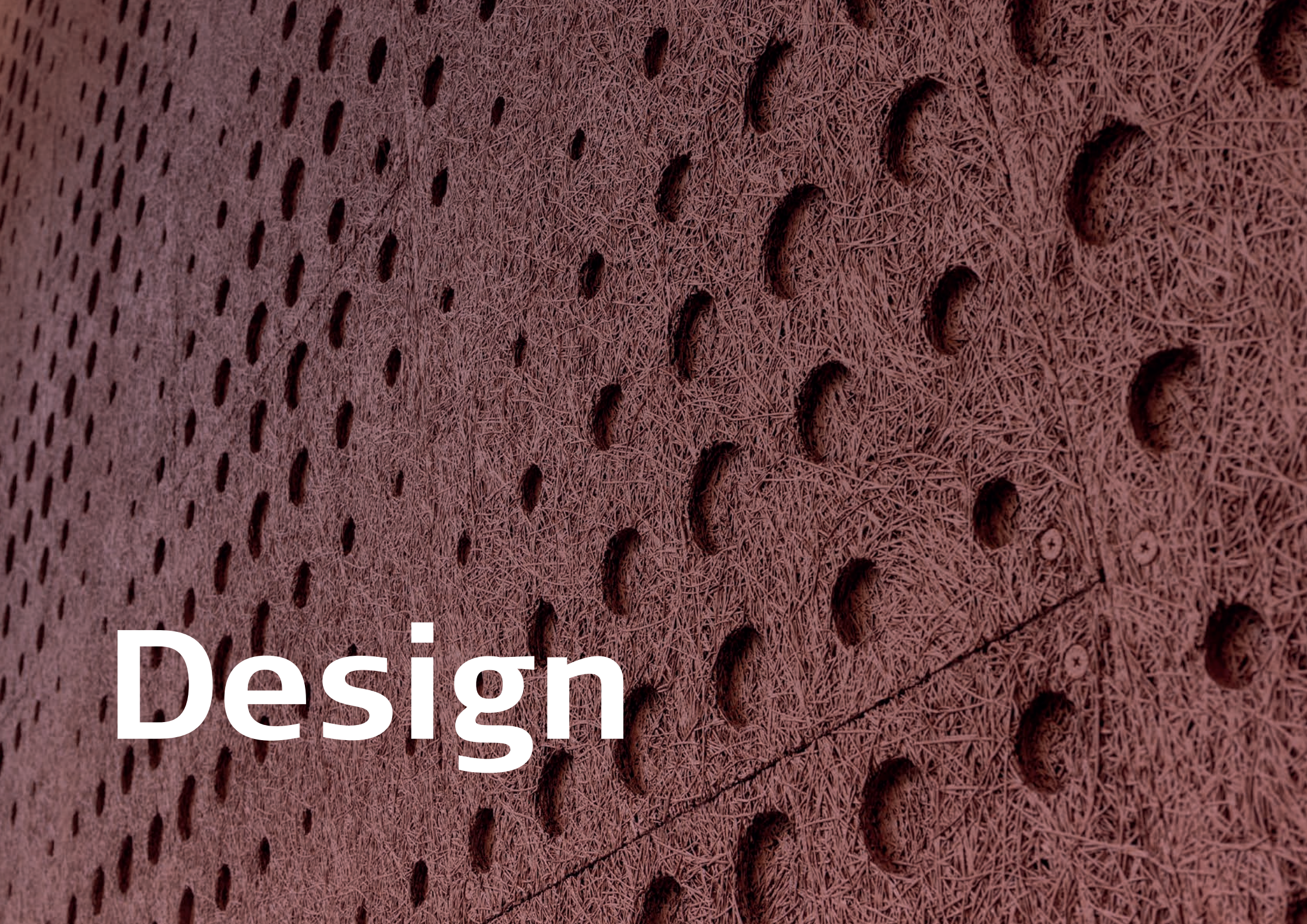
Skolens store fællesrum og mange aktive gangarealer bød akustisk set på en udfordring af store dimensioner. Nogle steder endda med meget højt til loftet og gigantiske skrå flader, der mødes i dramatiske vinkler. Løsningen blev montering af hvide Troldtekt akustikplader, som både visuelt og lydmæssigt giver ro i "de offentlige zoner".

Skovbakkeskolen var blandt finalisterne til ArchDailys 'Building of the Year 2018' i kategorien 'Best Applied Products'. Skolen modtog desuden hædrende omtale i kategorien 'Åben' ved uddelingen af prisen 'Årets Skolebyggeri 2018'.

Læs mere og se flere billeder fra **Skovbakkeskolen** ↗

Skovbakkeskolen i Odder er tegnet af CEBRA arkitekter.

Foto: Thomas Mølvig



Design

Gør skolen til elevernes sted

Selv om mange klasseværelser ved første blik ser ens ud, kan der være stor forskel på, hvordan de understøtter undervisningen. Skolens indretning gemmer på et stort potentiale for bedre trivsel og indlæring. Nøglen er at få eleverne til at føle sig hjemme.

Sprækkede linoleumsgulve, huller i vægge, iturevne plakater og ubekvemme stole med ridsede metalben på snorlige række. Mange klasseværelser ser desværre ud, som de gjorde for 50 år siden. Dengang, hvor læring var en stillesiddende, koncentreret aktivitet og skolens mange mellemrum – gange, trapper og aula – udelukkende blev brugt som transportkorridorer.

I den moderne folkeskole er idealerne om læring, bevægelse og idræt ganske anderledes. Derfor er det væsentligt at se på, hvordan designet i skolens lokaler kan følge med og understøtte nutidens undervisning. Gennemtænkte klasseværelser kan forbedre elevernes faglighed med cirka 16 procent på et enkelt år.[1]

Den æstetiske dimension, for eksempel farver og lys, har stor betydning i menneskers liv. Og Dansk Center for Undervisningsmiljø (DCUM) påpeger i gentagne trivselsmålinger, at der er en klar sammenhæng mellem trivsel og indlæring.[2] Hvis eleverne føler sig veltilpasse og har det godt, er de mere åbne for at modtage, for at deltage – og for at lære. Lad os se på mulighederne i skolens vigtigste rum, klasseværelset.

Fleksibilitet og plads på gulvet

Designet er med til at signalere, hvad der skal ske i et klasseværelse, og hvordan aktiviteterne skal udfolde sig. Det er væsentligt, at indretningen kan rumme både boglige, individuelle opgaver, gruppearbejde og fysisk læring, som alle er væsentlige elementer i moderne klasseundervisning. Fleksibilitet er et nøgleord for alle klasserum.[3]

Konkret kan det blive udmøntet i, at et areal i midten af rummet fritlægges til fysisk udfoldelse. Så bliver der for eksempel plads til at hoppe et ord frem på et gulvtastatur, træne femtabellen i en hinkerude eller at få tempoet ud af klassen med meditation og afslapning på tæpper. Er der trangt i klasseværelset, kan lette, mobile møbler, som nemt skubbes til side, være et godt alternativ til almindelige borde og stole.

[1] **'Clever Classrooms',** Salford University, 2015

[2] For eksempel, **dcum.dk**

[3] **'Clever Classrooms',** Salford University, 2015

Forskere har via undersøgelser i klasseværelser formuleret følgende tommelfingerregler: [6]

- Arkitekturen i klasseværelset kan bidrage til at skrue op eller ned for den visuelle stimulans. For eksempel kan et højt loft med simple former dekomprimere rummet, mens farver på loftfladen kan tilføje kompleksitet.
- For at fastholde elevernes koncentration i undervisningen skal 20-50 procent af vægarealet holdes fri for dekoration.
- Et helt farveløst miljø kan virke understimulerende og bidrage til rastløshed og koncentrationsbesvær.
- Et klasseværelse med hvide vægge og én farvet væg synes at give de bedste forudsætninger for indlæring.
- Farvevalg på gulve, gardiner, lofter, borde og stole kan bruges til at justere det samlede indtryk af klasseværelset.

Mange klasseværelser er firkantede, hvilket fungerer fint for større elever. Til skolens yngste klasser kan en varieret grundplan derimod være en fordel, fordi det giver mulighed for at skabe forskellige aktivitetsområder. Til en købmandsbod, en scene eller måske et læsehjørne med bøger. Zoner kan også skabes via afmærkninger i gulvet. Det kan være med tape, kridt eller maling, som signalerer, at denne del af lokalet er afsat til en bestemt aktivitet.

Følelsen af at høre til

Når vi føler os hjemme et sted, er vi mere tilbøjelige til at tage medansvar og byde ind på opgaver. Flere fysiologiske og psykologiske undersøgelser er kommet frem til, at personorienteret tilpasning af et rum har stor betydning for, i hvor høj grad et individ vil udvikle identitet og selvværd, når vedkomne opholder sig i rummet.[4] Det er altså væsentligt, at alle klasseværelser på skolen ikke tager sig ens ud, men at man tydeligt fornemmer, at det er her, 3.A hører hjemme.

Det kan gøres ved at hænge elevprojekter på væggene. Når man udstiller modeller, plancher eller projekter, som eleverne har skabt i undervisningen, højner det samtidig indholdets værdi og gør eleverne stolte af deres arbejde. Og det er da langt sjovere, end at et projekt ender sammenkrøllet på bunden af skoletasken. Udstilling af elevernes arbejde har vist sig at have en positiv effekt på elevernes engagement og involvering i undervisningen.[5]

Et andet greb kan være at lade eleverne have medindflydelse på, hvordan klasseværelset tager sig ud. De kan selv producere knagen til skoletasken eller navneskiltet til deres skuffe og skab. At stole og borde ergonomisk passer til børnenes alderstrin, er en naturlig forudsætning for, at eleverne oplever lokalet som skabt til dem.

En vigtig balance

Udsmykning kan altså have positiv indflydelse på elevernes trivsel. Det tager den bæredygtige DGNB-certificering af danske undervisnings- og børneinstitutioner også højde for. Arkitektonisk kvalitet og bygningsintegreret kunst er begge pointgivende parametre. Alligevel er udsmykning et område, som skal angribes med mådehold, for et virvar af visuelle udtryk og stærke farver kan stjæle opmærksomhed fra undervisningen.

[4] **'Clever Classrooms',** Salford University, 2015

[5] **'Ulrich: A place of their own: children and the physical environment',** Human Ecology. 2004

[6] **'Clever Classrooms',** Salford University, 2015

Opsamling og overvejelser: Design af klasseværelset

Eleverne i spil
Det er et godt udgangspunkt at kende potentialer og udfordringer ved den konkrete skoles rumligheder, brugere og kontekst. Lærere og elever kan med fordel tænkes med i indretningen af klasseværelset. Når eleverne er med til at bestemme og omsætte ideer til virkelighed, stiger deres følelse af ejerskab og ansvar for klasseværelset.

Plads til bevægelse
Der eksisterer mange gamle regler og traditioner for, hvordan et klasseværelse skal indrettes. Kun få matcher undervisningen i den moderne folkeskole. Det er vigtigt at gøre op med traditionerne for at skabe plads til mere bevægelse og både fysisk og inaktiv undervisning.

Klasserum i zoner
Fleksible rum giver plads til flere funktioner. Mobilt inventar, depotplads og optegning på gulvet kan inddele klasseværelset til forskellige aktiviteter. Især på de yngste klassetrin er det væsentligt med forskellige aktivitetsområder, der kan understøtte indlæring baseret på leg.

God plads på væggen
God plads på væggene kan være vigtigt i forhold til at formidle relevant viden og pirre elevernes nysgerrighed for et emne. Plancher og plakater med elevernes arbejde fremmer følelsen af at høre hjemme. Lave reoler og skabe optager ikke unødig vægplads.

Overvej udsmykning
Farverne og lyset i et rum påvirker os og vores adfærd – og de resultater, vi formår at skabe. Det kan være en fordel først at vælge farve til de elementer, der ikke er nemme at ændre – vægge, gulv og lofter – og dernæst tilpasse det samlede indtryk af rummet med for eksempel kuløren på stole, borde og gardiner.

Sådan bidrager Troldtekt til et elegant design

Med en bred variation af farver, strukturer og designløsninger kan Troldtekt loft- og vægbeklædning bruges til at skabe unikke klasseværelser på den moderne skole.

Se mere om de spændende **designløsninger** ↗

I de fleste rum er loftet den største sammenhængende flade. Derfor er det oplagt at beklæde loftsfladen med et materiale, som giver et løft til arkitekturens æstetik og ovenikøbet sørger for høj akustisk komfort. Troldtekt opfylder begge kriterier og giver arkitekter stor frihed til at designe deres eget udtryk.

Troldtekt vægbeklædning kan være et effektfuldt supplement til akustikloftet i skolens store undervisningslokaler og fællesrum. Når du vælger Troldtekt som vægbeklædning, får du samtidig mulighed for at tilføre rummet et spændende udtryk – kun fantasien sætter grænser.

SKAB ET UNIKT TROLDTEKT DESIGN TIL SKOLENS RUM

Vælg selv farve og struktur
Malede akustikplader eller naturmaterialernes egne farver? Grov eller extrem fin struktur? Troldtekt kan leveres enten som naturplader eller som malede plader. Naturpladerne består af træuld blandet med enten hvid eller grå cement, og blandingen bliver til de to varianter lys natur og grå natur. Malet Troldtekt kan i princippet leveres i alle farver.

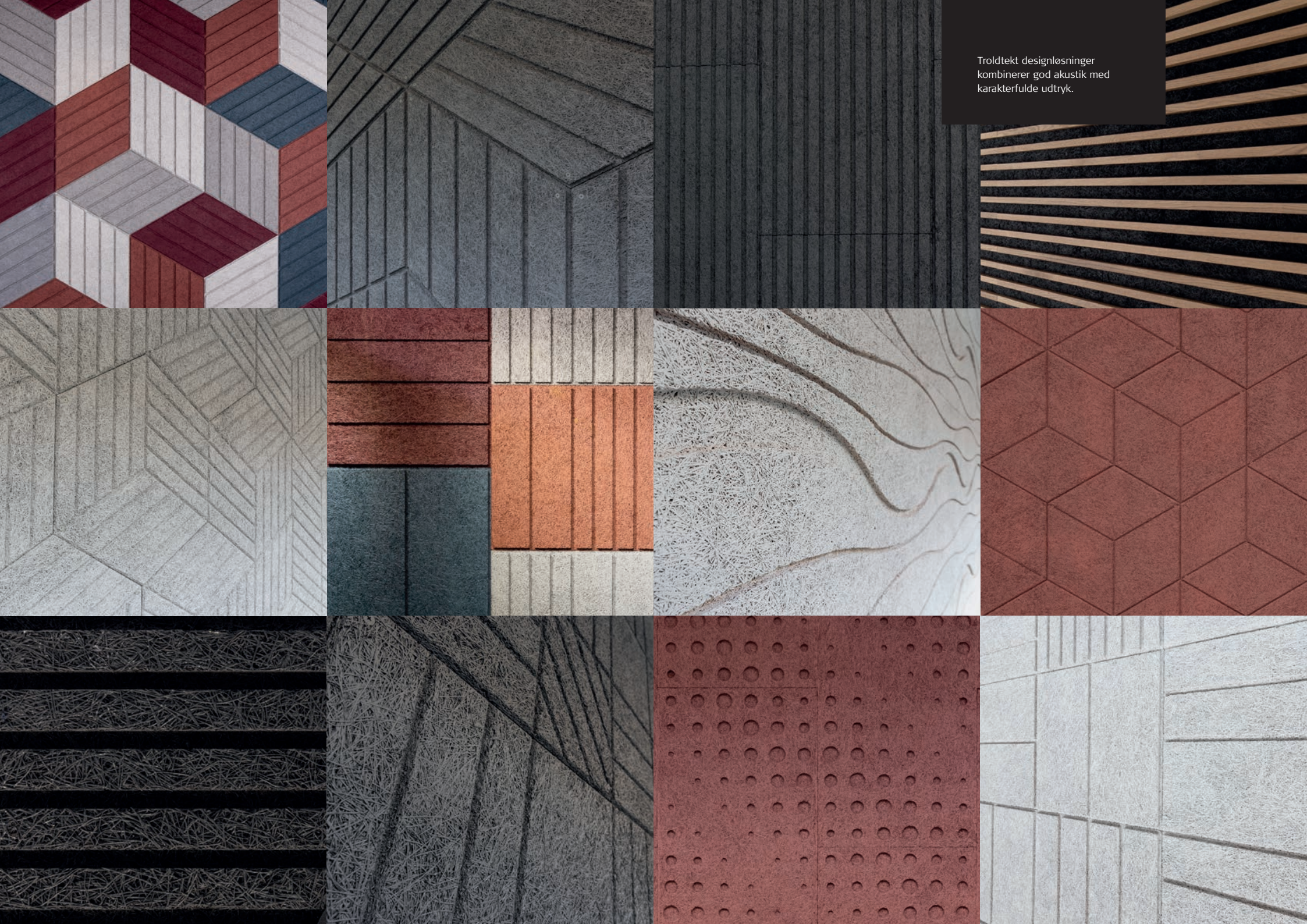
Få et unikt motiv
Med Troldtekt dekoration får lofter, vægge og indrammede vægpaneler en individuel udsmykning, der samtidig giver rummet god akustik. Avanceret printteknologi gør det muligt at overføre motiver af enhver type og smag direkte på Troldtekt. Pladernes karakteristiske, rustikke overflade giver motivet en spændende dimension og rummet en individuel udsmykning.

Design med et særligt udtryk
Troldtekt tilbyder en række industrielt producerede designløsninger, som i kraft af montering, farver, mønstre eller CNC-bearbejdning giver rummets flader et helt særligt udtryk. Det giver arkitekten stor fleksibilitet i forhold til at sætte sit eget præg på designet.

Troldtekt designløsninger kombinerer god akustik med karakterfulde udtryk. Designeserien er vinder af **ICONIC Awards 2019** og **German Design Award 2020.**

GERMAN DESIGN AWARD WINNER 2020

ICONIC AWARDS 2019 INNOVATIVE ARCHITECTURE winner



Troldtekt designløsninger kombinerer god akustik med karakterfulde udtryk.

Constructa A/S står bag renoveringen af Grejsdalens Efterskole.

Foto: Helene Høyer Mikkelsen

“ Smukke rum skaber smukke tanker, og der er mange, som er overbeviste om, at skønhed, sandhed og godhed er tre sider af samme sag – måske endog identiske kvaliteter i menneskelivet, hvis man kigger dybt nok. Så en skøn skole indgyder med stor sandsynlighed elever **mere indsigt, mere ansvarlighed og mere mod på livet**...

...At lade børn tilbringe store dele af deres liv på nedslidte skoler svarer på en måde til at lade dem læse forældede lærebøger.” [7]

Hans Henrik Knoop, lektor ved Aarhus Universitet (DPU)

[7] Blandt andet foreningen Skøn Skole, **www.skoenskole.dk**

Case: Grøn helhed midt på Frederiksberg

Den ældste del af Skolen på Duevej blev taget i brug for mere end 100 år siden – og er i dag fredet. Nu har skolen på Frederiksberg fået en ny tilbygning, der er Danmarks første DGNB-certificerede skolebygning. Tilbygningen, som er tegnet af AART Architects og Nordic, har opnået en guldcertificering. Den er suppleret af DGNB Diamant, som er en udmærkelse til certificeret byggeri med høj arkitektonisk kvalitet.

Den nye tilbygning er tegnet med stor vægt på helheden og samspillet med omgivelserne, så den arkitektonisk passer ind i gadebilledet. Tilbygningen ligger i forlængelse af de øvrige skolebygninger langs Duevej, og fra gaden kan man se ind i den sænkede idrætshal med vinduespartier på begge sider og derved også følge med i livet i skolegården på den anden side af bygningen.

Også når det gælder de bæredygtige principper, er der tænkt i helheder med integreret regnvandsløsning, bærende, velisolerede ydervægge og naturlig ventilation. Indeklimaet er afgørende for en velfungerende skole, og på Duevej bidrager Troldtekt akustikplader til god akustik. Samtidig vægter Troldtekt positivt i DGNB-certificeringen.

Læs mere og se flere billeder fra **Skolen på Duevej** ↗

Tilbygning til Skolen på Duevej er tegnet af AART Architects og Nordic.

Foto: Helene Høyer Mikkelsen

Case: En ny æra for Søndervangskolen

Søndervangskolen er et mønstereksempel på en velfungerende multikulturel skole, der har rejst sig på ny efter en gennemgribende renovering. Her er alle klasselokalerne og øvrige læringsrum fleksibelt indrettet, så de understøtter differentieret undervisning.

Friis & Moltke har stået bag renoveringen af lokalerne, og arkitekterne SMAK har desuden designet den 1,2 kilometer lange "Bevægelsessti", der fortsætter rundt i gangarealet på hele skolen. Med varierede aktivitetszoner bidrager den til at gøre motion og leg til en integreret del af undervisningen på skolen.

Der er i alle skolens rum gjort meget ud af det akustiske miljø, og Troldtekt akustikplader i lys natur er en elegant baggrund for gangarealernes høje aktivitetsniveau. I særlige bokse er der klatretove og legeredskaber, og her er der monteret malede akustikplader i sort, grøn, rød og gul. På Søndervangskolen går læring og leg op i en højere enhed.

Læs mere og se flere billeder fra **Søndervangskolen** ↗

Renoveringen af Søndervangskolen er tegnet af Friis og Moltke Architects, SMAK Architects og Grethe Sandholm.

Foto: Thomas Mølvig

Luftkvalitet

Ren luft løfter læringen

Eleverne klarer sig bedre, når der er frisk luft og fornuftige temperaturer i klasselokalet. Det er forskerne enige om. Alligevel er luften for tung i de fleste skoler. Den gode nyhed er, at paradokset kan løses.

Hver dag ringer klokken ind til høje temperaturer, for lidt ilt og ingen ventilation på alt for mange skoler. Det er et stort problem for de unge hjerner, der arbejder langsommere og med dårligere resultater, når luften er tung.

Forskerne har gennem årene stået i kø for at fremlægge data, der viser seriøse problemer med luftkvaliteten. Årsagen er som oftest utilstrækkelig eller manglende ventilation. Det er ganske paradoksalt, for de samme forskere har tydeligt påvist, at eleverne klarer sig bedre, når ilt- og temperaturniveauet er acceptabelt.

Lad os se på nogle af de mest opsigtsvækkende data:

- Danske børn bruger cirka 11.000 timer på at gå i folkeskole.
- Det svarer til 20 procent af deres vågne tid over en periode på 10 år.
- I 9 ud af 10 danske klasselokaler er der hen over en skoledag problemer med luftkvaliteten.
- 6 ud af 10 lokaler har generelt for høj CO_2-koncentration.[1]

For høj koncentration vil sige, at CO_2 i lokalerne "fylder" over 1.000 ppm (parts per million). Selvom det står lidt bedre til i Norge og Sverige, er der også problemer her. Og i Tyskland er der gennemsnitligt målt 1.383 ppm i 519 klasselokaler – altså også et stykke over anbefalingen.[2] Til sammenligning rummer luften udendørs under 400 ppm.

Større fravær, dårligere resultater

Men hvor stor betydning har luftkvaliteten så for eleverne? Det korte svar er: Stor. Det lidt længere svar kan findes i en række studier.

For det første er det dokumenteret, at dårlig luft går ud over velbefindende og helbred. En amerikansk undersøgelse viser, at elevers fravær stiger med cirka en halv skoledag om året for hver 100 ppm stigning i CO_2-koncentrationen. 1.500 ppm koster altså tre fraværsdage mere end 900 ppm.[3]

[1] **'Indeklima i skoler',** Realdania, 2017
[2] **'Fraunhofer IBP',** 2016
[3] **'Indeklima i skoler',** Realdania, 2017

10%

Forsøg påviser 10 procent bedre indlæring i lokaler med ventilation.

3 dage

Forskning viser, at en CO_2-koncentration på 1.500 ppm koster tre fraværsdage mere om året end en koncentration på 900 ppm.

For det andet klarer eleverne sig bedre i frisk luft. Forskellige internationale studier viser, at eleverne øger hastigheden og nøjagtigheden i forskellige koncentrationskrævende opgaver med mellem 2,2 og 15 procent, når ventilationsraten stiger, og temperaturreguleringen forbedres.[4] I et ph.d.-studie fra Vallensbæk Skole i Danmark klarede eleverne sig 10 procent bedre i lokaler med ventilation end i lokaler uden.[5]

Hvorfor er problemet så udbredt?

Vi ved altså, at skolernes indeklima er for dårligt, og at det har betydning for elevernes læring. Men hvorfor bliver der så ikke gjort mere ved det? Formentlig bunder svaret i økonomi. Der bliver ellers investeret ret store summer i skolebyggeri – 18 milliarder kroner i Danmark i 2007-2014, viser tallene.

Men ifølge flere eksperter "vinder" jagten på energibesparelser ofte over det gode indeklima, når investeringerne skal prioriteres.

> "Vi ved, at mange skoler har et stort efterslæb, når det gælder vedligehold. Derudover har kommunerne fokus på energirenovering, når de skal renovere. Det kommunale anlægsloft og nye indretningsbehov som følge af den nye folkeskolereform tvinger kommunerne til at prioritere. Men det løser ikke skolernes indeklimaproblemer, der er så store, at noget skal gøres. Det er vi nødt til at tage alvorligt,"

har Jørn Toftum, lektor ved DTU, blandt andet udtalt.[6]

[4] **'Indeklima i skoler',** Realdania, 2017

[5] **DTU Byg,** 2013

[6] **'Fokus på indeklimaet i skolerenoveringer'** www.realdania.dk

11.000

Danske børn bruger i gennemsnit 11.000 timer i skolen.

90%

I 9 ud af 10 klasselokaler overstiger CO_2-niveauet 1.000 ppm i løbet af skoledagen.

Alice Andersen, civilingeniør i indeklima og energi hos COWI, formulerer det sådan her:

> “Selvom der i det sidste årti er investeret massivt i at energioptimere skoler, så er indeklimaet samlet set ikke forbedret betydeligt, og vi halter efter både Norge og Sverige på det område. Hvis fokus alene er på varme-isolering og totaløkonomiske regnestykker, så er der en risiko for, at man glemmer vilkårene for elever og lærere.”[7]

Alice Andersen bringer også en anden særdeles relevant pointe til torvs: Når byggeriet er i gang, ligger der ikke en stor merudgift i at forbedre indeklimaet. Og driften af et ventilationsanlæg behøver ikke sende energiregningen i vejret. Mere om det i næste afsnit.

[7] **'Styrk skolens indeklima'** www.troldtekt.dk

“Hvis fokus alene er på varmeisolering og totaløkonomiske regnestykker, så er der en risiko for, at man glemmer vilkårene for elever og lærere.”

Alice Andersen, civilingeniør, COWI

Opsamling og overvejelser: Bedre luft i lokalet

Fleksible vinduer
Naturlig ventilation fra åbne vinduer kan afhjælpe problemerne med dårlig luftkvalitet. Her er det en god idé at give brugerne stor fleksibilitet i form af mange muligheder for opluk. På varme dage kan der måske være brug for at åbne store vinduer, mens smalle vinduer i toppen af lokalet andre gange kan være mere velegnede.

Vinduesglas med solafskærmning
Vinduer med solafskærmning i glasset sørger for at holde temperaturen i klassen på et fornuftigt niveau, når det er varmt udenfor. Solafskærmningen reducerer også energiforbruget til ventilation eller aircondition.

Større rum har betydning
Lokalets volumen og antallet af mennesker i det har i sagens natur betydning for luftkvaliteten. Derfor kan det være en fordel at designe rum med højere til loftet. Selv store rum kan dog ikke fjerne behovet for udluftning. Et studie viser, at CO_2-niveauet runder 1.000 ppm efter 26 minutter, når der sidder 30 elever i et lokale på 78 kubikmeter (uden ventilation). Der går 55 minutter i et lokale på 300 kubikmeter.[8]

Automatiseret indeklima
Der findes forskellige tekniske virkemidler, som gør det nemmere for lærere og elever at huske behovet for naturlig ventilation. En CO_2-sensor kan afsløre, når luftkvaliteten nærmer sig "rød alarm". Automatisk styring af vinduernes åbne- og lukkefunktion er også en mulighed, som kan gøre det lettere at lufte ud efter behov.

Mekanisk ventilation
Manglende ventilation er en primær årsag til dårligt indeklima i klasserne. Der vil som hovedregel være brug for at supplere naturlig udluftning med et mekanisk system – enten i form af en traditionel løsning med dyser og kanaler i loftet eller i form af et moderne alternativ som for eksempel et ventilationsloft med diffus indblæsning ved lavt tryk. En sådan løsning har den fordel, at systemet hverken giver træk, støj eller synlige installationer – og samtidig er driftsomkostningerne markant lavere. Læs mere i næste afsnit.

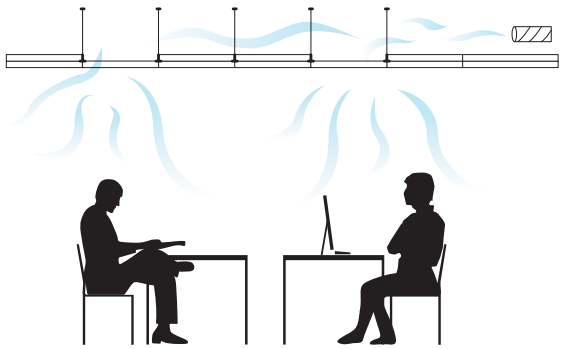
[8] **'Clever Classrooms',** Salford University, 2015 ↗

Sådan bidrager Troldtekt til bedre luftkvalitet

Akustiklofter med Troldtekt ventilation giver frisk luft uden træk, støj og synlige installationer. Samtidig kan løsningen reducere energiforbruget med over 70 procent i forhold til traditionelle ventilationssystemer.

I et lokale med Troldtekt ventilation strømmer frisk luft ind ved lavt tryk. I praksis er løsningen et akustikloft, der samtidig fungerer som indblæsningsflade. Det betyder, at du slipper for synlige ventilationsrør og indblæsningsarmaturer. Det minimale tryktab gennem loftet sikrer, at den friske luft bliver fordelt jævnt i lokalet. Troldtekt ventilation er udviklet særligt til komfortventilation i kontorer, skoler og institutioner.

Et system med aktive og passive plader
Ventilationsloftet er opbygget af aktive og passive Troldtekt akustikplader. Det er via de aktive plader, at frisk luft strømmer ind i lokalet. De passive plader har forseglet mineraluld limet på bagsiden og hindrer på den måde luftgennemstrømning. Lokalets størrelse har betydning for fordelingen mellem de to pladetyper, men typisk vil 10-20 procent af loftet være aktive plader.



Fladen til indblæsning er dermed væsentligt større end i de fleste traditionelle ventilationssystemer, hvor luften ledes ind gennem ventilationskanaler. Det betyder, at du undgår gener fra træk, samtidig med at det lave tryk giver et markant reduceret energiforbrug.

Gode muligheder for køling
Troldtekt ventilation sikrer en optimal rumventilation og er en økonomisk fornuftig løsning til effektivt at kontrollere indeklimaet. Ventilationsloftet giver mulighed for et stort luftskifte på op til otte gange i timen, og indblæsningstemperaturen er 1-8°C under rumtemperaturen. Der er altså mulighed for en køleeffekt, som du normalt kun opnår med en kombination af ventilation og kølelofter.

Nemt at skjule andre installationer
Det nedhængte ventilationsloft fylder kun cirka 200 millimeter i højden, men giver mulighed for at skjule alle øvrige installationer og teknik (for eksempel vand, varme, el og sprinkler) i hulrummet mellem loft og ventilationsflade. Det fleksible ophængssystem gør det enkelt at demontere pladerne, så der er nem adgang til udskiftning eller inspektion af installationerne.

“Det er vigtigt i et undervisningsrum, at der ikke er larm og trækgener. De ting klarer Troldtekt loftet på en rigtig fin måde.”

Peer Teglgaard Jeppesen, Design Director & Partner hos Henning Larsen Architects, om Troldtekt ventilation

Se filmen fra
UC Syds campus i Åabenraa

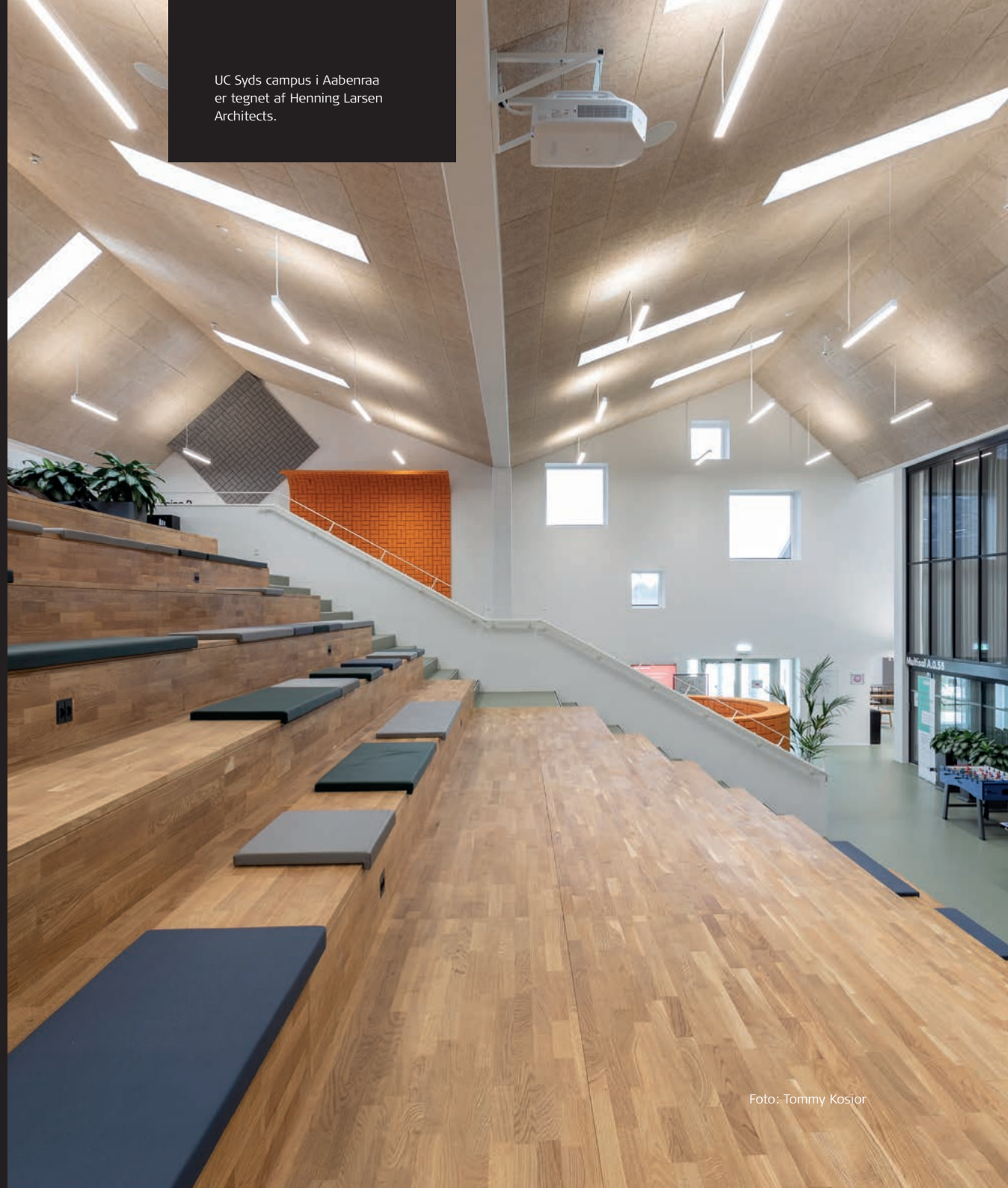
Case: Sunde rammer om læringen i Aabenraa

UC Syds nye campus i Aabenraa er opbygget som en lille by med gader og torve. Arkitekturen byder på masser af dagslys, ventilation og god akustik. Flere uddannelser er samlet under ét tag, og Henning Larsen Architects har skabt en skole, der med sine tværgående længer med saddeltag passer til den sønderjyske købstad i både skala og profil.

For at kunne udnytte dagslyset optimalt er alle undervisningslokaler placeret i ét plan, så der er mulighed for at trække ovenlys ned i rummet. I de skrå lofter er der etableret Troldtekt loftsventilation, som ved lavt tryk – og uden synlige armaturer eller rør – fordeler den luft, der blæser ind via aktive akustikplader. Den såkaldt diffuse ventilation sparer energi og giver ingen træk, fordi luften fordeles jævnt i lokalet.

I en film på Troldtekts hjemmeside fortæller Peer Teglgaard Jeppesen, Design Director & Partner hos Henning Larsen Architects, om tankerne bag arkitekturen – og om valget af Troldtekt lofter med integreret ventilation.

Læs mere og se flere billeder fra
UC Syds campus i Aabenraa ↗



UC Syds campus i Aabenraa er tegnet af Henning Larsen Architects.

Foto: Tommy Kosior

Case: Frisk luft har effekt som et ekstra skoleår

Elever klarer sig 10 procent bedre, når luftkvaliteten er i top. Det viser et DTU-forsøg på Vallensbæk Skole, hvor to lokaler fik monteret et ventilationsloft fra Troldtekt. Forsøget var en del af en ph.d.-afhandling.

Resultaterne er markante: I det forbedrede indeklima nåede eleverne fem procent flere opgaver og lavede halvt så mange fejl.

"Når vi sammenholder de to resultater, når vi frem til, at eleverne klarer sig ti procent bedre i den gode luftkvalitet. Set over et helt skoleforløb på ti år svarer det jo til et års ekstra læring," siger civilingeniør Søren Terkildsen, der forsvarede sin ph.d. i september 2013.

Før det nye ventilationsanlæg blev installeret på Vallensbæk Skole, kunne CO_2-koncentrationen nå over 2.000 ppm i de timer, hvor eleverne brugte lokalerne. Efter installering af Troldtekt ventilationsloftet holdt den målte CO_2-koncentration sig under 900 ppm.

Læs mere om forsøgsprojektet på **Vallensbæk Skole** ↗

DTU har gennemført forsøg på Vallensbæk Skole.

Foto: Helene Høyer Mikkelsen

Lys

Det rette mix lyser skoledagen op

Dagslys i klassen er sundt og løfter elevernes præstationer. På de nordlige breddegrader bliver mange lektioner dog afholdt, mens det er dunkelt udenfor. Derfor er kunstige lyskilder ikke mindst her et vigtigt supplement.

De fleste af os kan mentalt mærke forskel på en lys sommerdag og en dyster vinterdag. Dagslys har en positiv effekt på vores velbefindende – og bør derfor spille hovedrollen i lokaler til undervisning. Men på gråvejrs- og vinterdage må kunstlyset mere i spil, og her er der vigtige krav til lyskilderne. Mere om dem senere. Lad os først se på dagslyset.

Både bygningens orientering mod verdenshjørnerne og det enkelte lokales geometri har stor betydning for lysindfaldet. Især i dybe lokaler kan det blive en udfordring for arkitekterne at sikre en jævn fordeling af dagslys og få lys nok til den inderste del af rummet. Her vil ovenlysvinduer være en oplagt løsning.[1]

For at sikre størst muligt lysindfald gennem skoledagen kan det være fristende at placere vinduesfacaderne mod syd. Når vinduerne peger i den retning, er det dog afgørende med god ekstern solafskærmning for at undgå blænding og overophedning. Ofte vil det være en bedre idé at holde de største vinduespartier vendt mod nord, hvor lyset er mindre kraftigt og mere ensartet dagen igennem.[2]

Store vinduer og lyse overflader

En metode til at beregne mængden af naturligt lys er den såkaldte *window to floor ratio*. Den beskriver forholdet mellem vinduernes samlede areal og gulvets areal. Et fransk forskningsstudie viser en ganske interessant sammenhæng mellem netop det forhold og elevernes præstationer.

I studiet har knap 3.000 elever fra 12 europæiske lande løst opgaver under forskellige lysforhold. Eleverne i lokaler med en høj *window to floor ratio* klarede sig signifikant – cirka 15 procent – bedre end de elever, der sad i lokaler med en mindre andel af vinduer.[3] Samme konklusion er et grundigt amerikanske studie med 21.000 elever kommet frem til. Her gjorde elever i lokalerne med de største vinduesarealer 15-23 procent større fremskridt i matematik og læsning over et år end elever i lokaler med det mindste areal af vinduer.[4]

[1] For eksempel, By og Byg Resultater 031: **'Lyset i skolen. Effektiv belysning med høj dagslysudnyttelse',** 2004 ↗

[2] **'Clever Classrooms',** Salford University, 2015 ↗

[3] **'Impact of Lighting on School Performance in European Classrooms',** bl.a. Epidemiology of Allergic and Respiratory Diseases Department (EPAR), 2013 ↗

[4] **Daylighting in Schools – An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance,** The Pacific Gas and Electric Company, 1999 ↗

15%

Elever i lokaler med et stort vinduesareal i forhold til gulvarealet klarer sig cirka 15 procent bedre, end når vinduesarealet er lille.

En dansk forskningsrapport om lysforhold i skoler fremhæver, at lyse overflader i rummet giver en bedre udnyttelse af dagslyset – og i nogle tilfælde kan opveje et lavere vinduesareal. Rapporten peger også på, at der især i de dybe lokaler er behov for en fleksibel solafskærmning, som på den ene side skærmer på de varme og solrige dage, men som på den anden side tillader tilstrækkeligt lysindfald på dage med skyet vejr.[5]

LED kan give mest lys for pengene

Dagslyset gør det ikke alene, når lærere og elever skal se, hvad der foregår i klassen. Det gælder især i mørke måneder – og især på de nordlige breddegrader. I Danmark har Arbejdstilsynet fastsat krav til lys i skoler, og her fremgår det, at styrken på det kunstige lys i skoler skal være mindst 300 lux.

Samtidig anbefaler tilsynet, at værdien Ra fra de kunstige lyskilder ligger på mindst 80 i lokaler, hvor mennesker opholder sig længe – for eksempel et klasserum. Ra er et udtryk for, hvor god farvegengivelsen er. Skalaens maksimum er 100, hvilket svarer til dagslys, og nyere LED-lys er oppe i nærheden af 95, mens også halogenpærer ligger højt. Til gengæld ligger lysstofrør ofte på en noget lavere værdi.[6]

LED-belysning er særlig interessant, fordi det i dag er muligt at "få meget lys for pengene" – og dermed tilgodese kravene til god driftsøkonomi og energieffektivitet.[7] Dog er det vigtigt at vælge en LED-løsning, hvor de enkelte dioder lever op til krav for ensartet farvegengivelse. Selv små afvigelser kan give et dårligere lysmiljø i rummet. Spektret for farvegengivelse opgøres med den såkaldte MacAdam-ellipse.[8]

[5] By og Byg Resultater 031: **'Lyset i skolen. Effektiv belysning med høj dagslysudnyttelse'**, 2004 ↗

[6] Læs om valg af belysning på **Indeklimaportalen** ↗

[7] For eksempel **'Få styr på belysningsanlæg', Energistyrelsen**, 2017 ↗

[8] Læs mere om **MacAdam-ellipsen** ↗

300 lux

Lysstyrken fra klasserums kunstige lyskilder skal være mindst 300 lux.

76 %

Forskning viser, at elever præsterer bedre, når de får en stor mængde indirekte lys (76 procent) i undervisningen, end når en lav andel af lyset er indirekte (46 procent).

Indirekte lys og fokuseret lys

Også når det gælder de kunstige lyskilder, spiller loft- og vægflader en stor rolle for rummets samlede udtryk. Refleksionen fra lyse overflader kan give et markant lystilskud til rummet.

Faktisk kan indirekte belysning fra lofter og vægge øge elevernes velbefindende. Det har svenske forskere påvist i et forsøg på en skole i London. I forsøgslokalerne kom 76 procent af lyset fra indirekte kilder (vægge og lofter). I de øvrige rum var 46 procent af lyset indirekte. Elever, som fik mere indirekte lys, havde størst indhold af hormonet kortisol, der gør en vågen og oplagt. Samtidig havde de mindre melatonin, der gør en søvnig. Det gjorde dem i stand til at præstere bedre resultater.[9]

I et andet og nyt studie fra 2017 har forskere fra Kunstakademiets Arkitektskole, DTU og Aarhus Universitet sammen med Henning Larsen Architects og SWECO undersøgt effekten af fokuseret lys i klassen. I praksis vil det sige, at lokalet i stedet for loftsbelysning, som oplyser hele rummet, har pendler over de enkelte borde.

Forsøget foregik på den nye Frederiksbjerg Skole i Aarhus og ledte frem til en opsigtsvækkende sammenhæng mellem lys og støj: Når pendlerne var tændt, var der i gennemsnit 1,7 decibel lavere støjniveau, end når den generelle loftsbelysning var tændt.[10]

[9] Læs om forsøget på producenten **Fagerhults hjemmeside** ↗

[10] Læs mere om forsøget på **Indeklimaportalen** ↗

Harlev Skole- og Folkeskole-bibibliotek er tegnet af SAHL Arkitekter A/S

Foto: Thomas Mølvig

Opsamling og overvejelser: Bedre lys i lokalet

Vinduer efter dagslyset
Dagslyset skal gerne være den primære kilde til lys i rummet. Derfor er store vinduespartier velkomne – så længe lysindfaldet er til at kontrollere. Store vinduer vendt med nord kan være en fordel, fordi lyset fra nord er mere ensartet hen over skoledagen end lyset fra syd.

Fleksibel solafskærmning
Især i lokaler med lyse flader og whiteboards er der risiko for genskin, og for at eleverne kan blive blændet, Solafskærmning kan holde temperaturen i lokalet på et rimeligt niveau og forhindre meget direkte sollys. Fleksibel solafskærmning, som kan vippes til forskellige indstillinger og på den måde tilpasses dagslyset, er en mulighed. Det samme er vinduesglas med indbygget solafskærmning.

Ovenlys og LED
Rummets geometri har betydning for mængden af dagslys. I mange moderne skoler er der dybere rum, og her kan lys fra facadevinduerne have svært ved at række helt ind til lokalets inderste del. Derfor kan korrekt placerede ovenlysvinduer være en god løsning. Hvis naturligt ovenlys ikke er en mulighed, kan man skabe kunstigt ovenlys med LED-belysning.

Lyse overflader
Lofter og vægge i hvid eller lyse farver giver både det naturlige og det kunstige lys bedre betingelser. Det skyldes, at lyse farver reflekterer lyset bedre. Hvide vægge og lofter giver også mulighed for indirekte belysning, som har en god effekt på elevernes præstationer.

Tekniske krav til kunstlyset
Inden du vælger lyskilder til en nybygget eller renoveret skole, kan du få regnet lyssætningen grundigt igennem af en teknisk ekspert. Lux, Ra-værdi og MacAdam-ellipsen er nogle af de begreber, det er vigtigt at tage højde for.

Sådan bidrager Troldtekt til bedre lys

Troldtekt belysning er en serie af indbygningsarmaturer, som er specielt designet til indbygning i Troldtekt akustiklofter. Med løsningen får skolen en arkitektonisk enkel løsning, som opfylder kravene til moderne kunstlys.

Troldtekt belysning er et komplet loftssystem, der består af specielt tilskårne Troldtekt akustikplader, indbygningsarmaturer, alle nødvendige monteringsbeslag, glas med mere. Troldtekt pladerne bliver leveret med lampehuller – det letter monteringsarbejdet og sparer tid på byggepladsen.

Fremstår som samlet helhed
Belysningsserien Wave er designet af Cubo Arkitekter og kendetegnet ved det bølgeformede glas, der giver et unikt design og en optimal lysspredning uden at blænde. Alle seriens armaturer er planforsænkede, så kun glasset "svæver" under loftsfladen. På den måde fremstår loft og belysning som en samlet helhed.

Troldtekt belysning kan leveres med LED-lyskilder – og i forskellige dimensioner (rundt, tværgående eller som en langsgående rende i loftet).

Vi kan regne for dig
Troldtekt tilbyder projekterende rådgivning og vejledning om dimensionering af lys, ligesom vi kan tilbyde uforpligtende lysberegninger.

Troldtekt akustikplader fås i en række farver, og netop farven har stor betydning for kravene til belysning i rummet. En testrapport fra DELTA Lys og Optik viser lysrefleksionen for forskellige typer Troldtekt plader:

Pladetypers total-reflektans i procent

70,8	55,2	26,3
Troldtekt akustik, hvidmalet	Troldtekt akustik, lys natur	Troldtekt akustik, grå natur

Case: Arkitektonisk løft med varme toner

Vibenshus Skole fra 1892 har gennemgået en større renovering, mens en enkel tilbygning arkitektonisk løfter skolen ind i nutiden med et udtryk, der frem for alt signalerer åbenhed. Nova5 Arkitekter har stået bag renoveringen.

Den gamle skole på Østerbro er nu energimæssigt helt up to date, og store glaspartier åbner op mod omgivelserne, så der kommer masser af dagslys ind i lokalerne, ligesom ovenlys i gangen giver stemningsfuld belysning og understreger de stoflige flader.

Indenfor er Troldtekt belysning, i form af indbyggede armaturer med matteret glasplade, fint integreret i Troldtekt loftfladerne. Belysningen med henholdsvis runde armaturer i fællesarealerne og aflange armaturer i undervisningslokalerne er en naturlig del af Troldtekt akustikpladernes forbandt. En løsning, der understøtter billedet af en moderne og menneskelig skole, hvor rammerne for hverdagen er enkle og smukke.

Læs mere og se flere billeder fra **Vibenshus Skole** ↗

Nova5 Arkitekter har stået bag renoveringen af Vibenshus Skole.

Foto: Helene Høyer Mikkelsen

Økonomi

Det bedste indeklima for budgettet

En ting er ønsker, noget andet er budget. Sådan er virkeligheden på mange danske folkeskoler, når det er nødvendigt at renovere eller bygge nyt. Ofte bliver indeklima ofret for energibesparelser, men de to ting kan følges ad.

I perioden fra 2007-2014 blev der brugt 18 milliarder kroner på at renovere og bygge skoler. Desværre er luftkvaliteten stadig for dårlig i 60 procent af klasserne.[1] Skolerenoveringer kommer nemt til at handle om energibesparelser eller om at løse et aktuelt problem. For eksempel nedslidning, pladsmangel eller fund af skadelige stoffer i ældre byggematerialer. Men på den lange bane vil det kunne betale sig at løfte blikket fra et snævert fokus og se på skolerenoveringen i en bredere sammenhæng.

En skolerenovering, som både sikrer effektiv indeklima- og energistyring, gode læringsmiljøer og en fornuftig økonomisk bundlinje, giver ikke kun øget brugsværdi for lærere og elever. Det er også en værdiskabende investering for bygherren, altså kommunen. Hvem vil ikke gerne kunne tiltrække nye borgere ved at love dem de bedste skoler med de bedste forudsætninger for at lære? Og mon ikke de dygtigste medarbejdere vil søge mod skoler, hvor det er rart at opholde sig?[2]

Lad os se nærmere på, hvordan økonomien i en skolerenovering rækker længst. Og hvordan man kan evaluere økonomien i renoveringen, hvis man vil se på andet end byggesum og energiforbrug før og efter.

Én løsning til flere problemer

Alice Andersen er civilingeniør hos COWI og har i snart to årtier arbejdet med energi, ventilation og indeklima. Hun rådgiver skoler om, hvordan de får mest muligt for pengene ved at arbejde ud fra en holistisk tilgang til byggeri. Altså at se ud over varmeisolering og totaløkonomiske regnestykker og inddrage behov og trivsel hos de lærere og elever, der skal bruge deres hverdag på skolen.

I en artikel på troldtekt.dk beskriver Alice Andersen, hvordan det er muligt at forbedre skolens indeklima uden store merudgifter, når renoveringen alligevel er i gang. Det handler om at løse to, tre eller flere problemer med én løsning. Hun fremhæver, at selv små forbedringer i klasseværelset er væsentlige.[3]

[1] **'Indeklima i skoler',** Realdania, 2017

[2] **Renover din skole helhedsorienteret,** Gate 21, april 2018

[3] **'Styrk skolens indeklima'** www.troldtekt.dk

“ **Problemet er typisk, at CO_2-niveauet i klasserne er meget, meget højere** end den anbefalede grænse på 1.000 ppm (parts per million). Nogle steder betyder skolens geometri, at det kan blive ret dyrt at renovere sig under 1.000 ppm.

Men det vil næsten altid være muligt at arbejde med forbedringer, der kan bringe koncentrationen af CO_2 tættere ned mod grænsen, og det er jo meget bedre end ikke at gøre noget. Undersøgelser viser, at hvis CO_2-koncentrationen reduceres fra 2.000 til 1.200 ppm, så stiger elevernes præstationsevne med 6 procent.”

Alice Andersen, civilingeniør, COWI

50%

Halvdelen af de danske folkeskoler er bygget i 1960'erne og 1970'erne.

10%

Kun en tiendedel af de danske skoler er blevet bygget efter 1995, hvor Bygningsreglementet indførte krav til ventilation.

Ved at se på den enkelte løsning som én enhed med flere funktioner, kan man skabe sunde tiltag, som ikke slår bunden ud af budgettet. Klimaskærmen kan både have ekstra opluk af vinduer og automatisk styring af vinduernes åbne- og lukkefunktion. Vinduesglas kan både skærme mod solen og sikre godt dagslys. Og de bedste ventilationslofter kan både sørge for stort luftskifte uden træk og være akustikregulerende.

Alice Andersen formulerer tre spørgsmål, som den indeklimavenlige rådgiver kan stille sig selv for at holde skolens helhedsbehov op mod mulighederne i en renovering eller et skolebyggeri:

- Hvad skal der til for at nå ned på det ønskede energiforbrug?
- Hvad har elever og lærere mest brug for?
- Hvad vil det kræve af facader, ventilation og dagslys at opfylde behovene?

Prioritering – fremtiden tæller også

Vedligeholdelsesefterslæbet er stort på de danske skoler, men muligheden for at renovere sig til en bedre skole eller bygge en helt ny skole afhænger af kommunens økonomiske råderum. Det er væsentligt at finde og prioritere løsninger, som er økonomisk bæredygtige – det vil sige, at de både på kort og lang sigt er fornuftige valg. Forbedringer på skolerne i dag skal kunne spille sammen med langsigtede forbedringer, som kan gennemføres, når økonomien tillader det, eller når nye behov opstår.

Gate21-projektet 'Skolerenovering i en helhed'[4] forsøger at komme med svar på, hvordan man kan evaluere økonomien i en skolerenovering på en måde, der er mere nuanceret end at se på byggeomkostninger og energibesparelser.

[4] **'Skolerenovering i en helhed'** www.gate21.dk

18 mia.

I perioden fra 2007-2014 blev der brugt 18 milliarder kroner på at renovere og bygge skoler...

Anbefalingen er at evaluere økonomien ud fra fire synsvinkler – og på den måde få en nuanceret forståelse af, hvorvidt renoveringen er økonomisk bæredygtig.[5] Læs om de fire vinkler i næste afsnit.

Det skal bemærkes, at metoden ikke tager højde for de afledte gevinster af renoveringen. Det kan være øget bygningsværdi, øget udlejningspris, forbedret læring som følge af bedre indeklima eller øget kvalitet for skolens lærere og elever.

FIRE UNDERSØGELSER I ET ØKONOMISK SUNDHEDSTJEK[6]

Bygge- og anlægsomkostninger

Omfatter alle udgifter til konstruktioner, byggematerialer og tekniske installationer samt håndværkere. Omkostninger i forbindelse med nedrivning og bortskaffelse inden gennemførelse af løsningen skal også regnes med. Herefter kan du evaluere den samlede totalomkostning i kroner per kvadratmeter.

Levetid for renoveringen

Robuste løsninger med lange levetider kan på lang sigt være en totaløkonomisk gevinst. Også i tilfælde hvor de kræver en merinvestering i bygge- og anlægsfasen. Du kan beregne skolerenoveringens levetid ved at sammenfatte referencelevetider for de enkelte bygningsdele og hovedkomponenter i én gennemsnitlig levetid, der angives i år.

[5] Økonomi er et af i alt otte fokusområder, der bliver behandlet i et **evalueringsværktøj,** som kan bruges til at gennemføre en systematisk gennemgang af et skolerenoveringsprojekt.

[6] **'Skolerenovering i en helhed'** www.gate21.dk

60%

... men desværre er luftkvaliteten stadig for dårlig i 60 procent af klasserne.

Drift og vedligeholdelse
Omkostninger til drift og vedligehold kan du evaluere ved at betragte driftsomkostningerne over en brugsperiode på for eksempel 50 år. Omkostningerne omfatter for eksempel faste, årlige omkostninger til drift, diverse eftersyn, vedligeholdelse, eventuelle reparationer og udskiftninger.

I en tidlig design- eller planlægningsfase kan det måske være svært at sige noget præcist om de fremtidige drift- og vedligeholdelsesforhold. Derfor kan du som alternativ vælge en mere simpel tilgang og udelukkende fokusere på omkostninger til drift og vedligehold af de tekniske systemer, som indgår i skolerenoveringen.

Fleksibilitet og tilpasningsmuligheder
Ud fra et totaløkonomisk perspektiv er det et stort plus, hvis byggeriet er så fleksibelt, at det kan ændres eller tilpasses, når lærere og elever får nye behov. Klassekvotienten kan for eksempel stige eller nye aktiviteter kan rykke ind i klasseværelset. Det er også væsentligt at se på fleksibiliteten i de nye tekniske systemer. Om der er mulighed for at skrue op for luftmængden i ventilationsløsningen eller ændre belysningen uden væsentlige omkostninger.

Sådan bidrager Troldtekt til en sund økonomi

Med Troldtekt akustikløsninger får bygherrer god akustik, et sundt indeklima og et positivt aftryk i det bæredygtige regnskab – alt sammen til en meget konkurrencedygtig pris.

Træbeton er et produkt, der effektivt regulerer akustikken til en lavere pris end mange andre akustikløsninger på markedet. Det gør Troldtekt til et foretrukket valg i nybyggede og renoverede skoler.

Lang levetid uden vedligehold
Troldtekt er et robust materiale, der kombinerer styrken fra cement med træets åndbarhed. Det betyder, at lofter og vægge af Troldtekt akustikplader kan tåle både fugt og boldskud. Og det betyder, at akustikpladerne har en levetid på mindst 75 år, samtidig med at pladerne stort set ikke skal vedligeholdes.

Da Troldtekt ovenikøbet er enkelt og billigt at montere, er totaløkonomien ved at vælge løsningen sund. I mange byggerier holder Troldtekt så godt, at lofterne kan leve videre efter en større renovering – også i tilfælde, hvor bygningen skal bruges til helt nye formål.

Frisk luft med en lav energiregning
Det totaløkonomiske regnestykke i et skolebyggeri kan blive endnu bedre, når Troldtekt bliver valgt som ventilationsloft. Akustiklofter med Troldtekt ventilation giver frisk luft i klasserum uden træk, støj og synlige installationer. Samtidig kan løsningen reducere energiforbruget med over 70 procent i forhold til traditionelle ventilationssystemer – en besparelse, der i længden batter på driftsbudgettet.

Meget bæredygtighed for pengene
Flere bygherrer – herunder også offentlige – stiller krav om en bæredygtighedscertificering af deres projekter. Troldtekt bidrager dokumenteret til pointene i de førende internationale certificeringer: DGNB, LEED og BREEAM.

I både Danmark og Tyskland er DGNB den mest udbredte certificering, og Rambøll har kortlagt, at Troldtekt bidrager til point, som vægter over 50 procent i den samlede certificering. På den måde får bygherrer meget bæredygtighed for pengene ved at vælge en akustikløsning fra Troldtekt.

Case: Grønløkkeskolen valgte et multifunktionelt loft

Ingeniører fra rådgivningsfirmaet Ekolab holdt især luppen over de mulige ventilationsløsninger, som udgjorde størstedelen af renoveringen på Grønløkkeskole ved Aarhus. Seks løsninger blev vurderet inden valget faldt på Troldtekt ventilation.

– Ud over et lavt energiforbrug er det smart, at ventilationsloftet fra Troldtekt kan så mange forskellige ting og mere end nogen anden løsning på markedet. Loftet sørger for frisk luft, har gode køleegenskaber, forbedrer akustikken og regulerer fugt. Det er endda også muligt at integrere belysning og lydsystemer. Løsningen er et eksempel på en bygningsdel, der er multifunktionel, og hvor bygningsklimatisering er integreret i bygningen, forklarer Jørgen Lange, ingeniør og direktør i Ekolab.

Ekolab gav de seks forskellige ventilationsløsninger point inden for blandt andet økonomi, drift, holdbarhed og indeklima. I den økonomiske vurdering valgte Ekolab at beregne totaløkonomien over en 15-årig periode. Decentral ventilation via Troldtekt ventilationslofter faldt ud som den billigste løsning, blandt andet fordi energiforbruget til transport af luft lå 30 procent under en løsning med central ventilation.

Læs mere og se flere billeder fra **Grønløkkeskolen** ↗

Ekolab har været rådgiver på energirenoveringen af Grønløkkeskolen.

Foto: Tommy Kosior

DK - 2020 version 01

Troldtekt A/S
Tlf. +45 8747 8100
info@troldtekt.dk
www.troldtekt.dk

Troldtekt®
Natural acoustic solutions