Hvad er fornuftige indeklimaparametre og hvordan overvåges det om bygningen overholder det?

Pawel Wargocki, DTU, Professor
Davide Calì, CLIMIFY, COE

Presented by

Climify

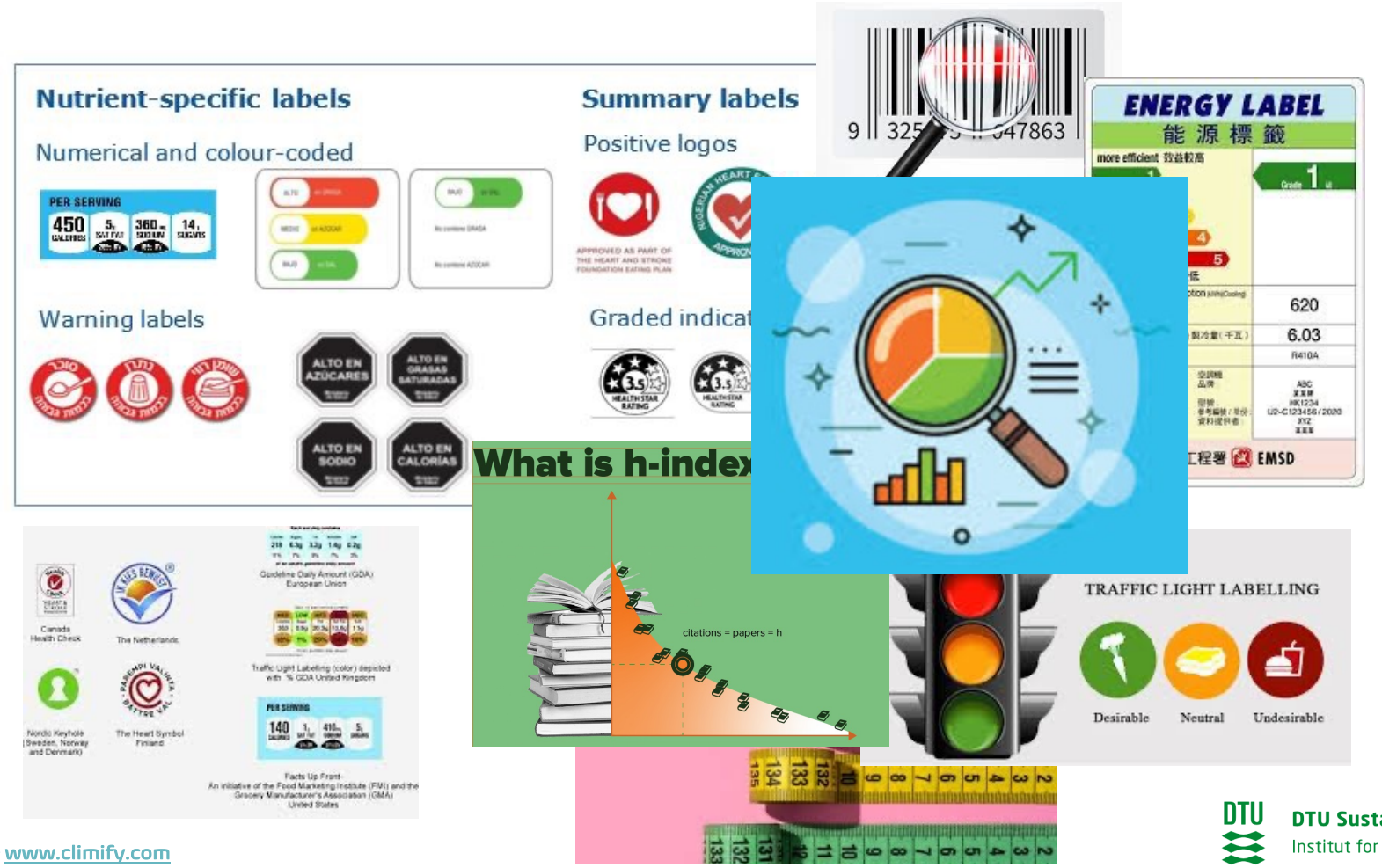
& by

DTU

TRY IT YOURSELF!
app.eu.climify.com
Username: feelthecomfort
Password: savetheclimate

DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

VI ER OMGIVET AF FORSKELLIGE MÆRKEORDNINGER



INGEN METODE TIL MÆRKNING AF INDEKLIMA/INDEMILJØET

Climify

Nutrition Facts

Serving Size 1 cup (228g)
Servings Per Container 2

Amount Per Serving	
Calories 250	Calories from Fat 110
	% Daily Value*
Total Fat 12g	18%
Saturated Fat 3g	15%
Trans Fat 3g	
Cholesterol 30mg	10%
Sodium 470mg	20%
Potassium 700mg	20%
Total Carbohydrate 31g	10%
Dietary Fiber 0g	0%
Sugars 5g	
Protein 5g	
Vitamin A	4%
Vitamin C	2%
Calcium	20%
Iron	4%

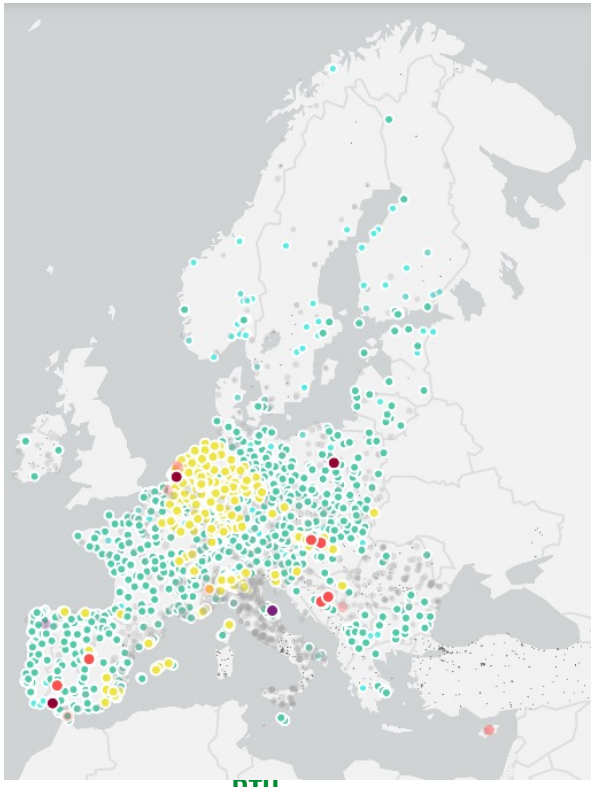
* Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your Daily Values may be higher or lower depending on your calorie needs.

	Calories:	2,000	2,500
Total Fat	Less than	65g	80g
Sat Fat	Less than	20g	25g
Cholesterol	Less than	300mg	300mg
Sodium	Less than	2,400mg	2,400mg
Total Carbohydrate		300g	375g
Dietary Fiber		25g	30g

?

Indeklima indeks

Europæisk Luftkvalitets Indeks (udeluft)



DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

HAR VI BRUG FOR INDEKLIMAMÆRKNING?

- Mangel på indeklimamærkning eller uenighed om, hvad der skal udgøre sådan en mærkning, **er en væsentlig barriere**,

  der holder tilbage innovationen af indeklima teknologier,

  der fremmer udokumenterede metoder til måling af indeklima,

  der nægter deres høje effektivitet og autenticitet, hvilket alt til sammen resulterer i at undervurdere vigtigheden af indeklima i forskellige kreditordninger relateret til bygget miljø

Kilde: Steinemann et al. (2016)

EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV (EU) 2024/1275 AF 24. APRIL 2024 OM BYGNINGERS ENERGIMÆSSIGE YDEEVNE

Artikel 13

Tekniske bygningsinstallationer

4. Medlemsstaterne fastsætter krav til gennemførelsen af passende standarder for indeklimaets kvalitet i bygninger for at opretholde et sundt indeklima.

5. Medlemsstaterne skal kræve, at nulemissionsbygninger, der ikke anvendes til beboelse, udstyres med måle- og kontrolanordninger til overvågning og regulering af den indendørs luftkvalitet. I eksisterende ikke-beboelsesbygninger skal der stilles der krav om installation af sådanne anordninger, når en bygning gennemgår større renoveringsarbejder, såfremt det er teknisk og økonomisk muligt. Medlemsstaterne kan kræve, at sådanne anordninger installeres i beboelsesbygninger.

OVERVÅGNING OG DOKUMENTATION AF KVALITETEN AF INDEMILJØ ER AF AFGØRENDE BETYDNING

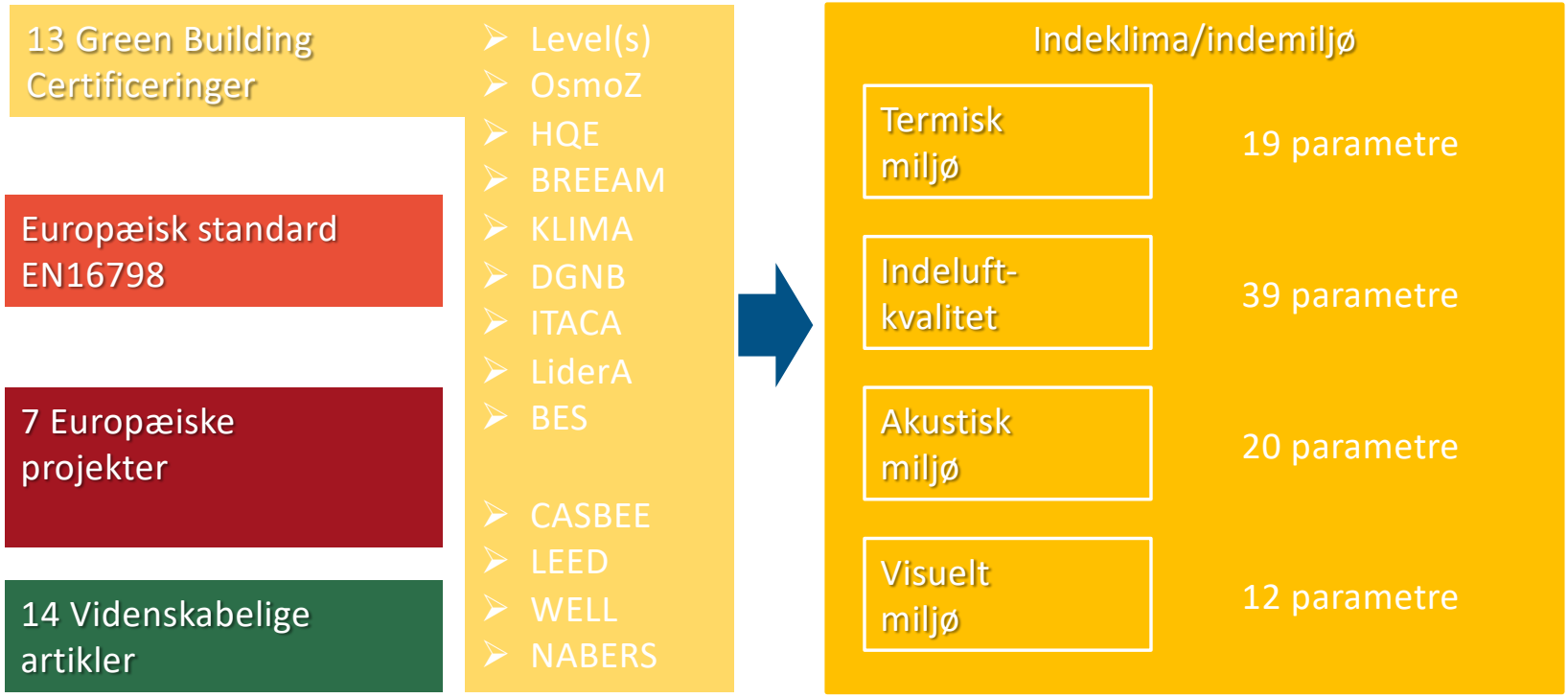
Climify

- Nyttige data for alle bygningsinteressenter og yderligere incitamenter til forbedring af kvaliteten af inde miljø
- Oprettelse af benchmark, reference, opbygning af database
- Overvågning af præstation - overholdelse og vedligeholdelse
- Input til bæredygtige investeringer og teknologiske fremskridt
- Input til kontrol og kunstig intelligens
- Input til energisimulering og reducering af performance-gap
- Input til økonomiske beregninger
- Demonstrer usynlig - beboerne føler sig trygge (ingen risici)
- Øget opmærksomhed

HVIS DU STADIG TVIVLER...

- .... så gæt indeluftkvalitet nu

FORSKELLIGE INDEKLIMAPARAMETRE ER INKLUDERET I NUVÆRENDE CERTIFICERINGSORDNINGER OG STANDARDER



Kilde: Wei et al. (2020)

OFTEST BRUGT METODE TIL VURDERING AF INDELUFTSKVALITET

- Ventilationsrate
- Kuldioxid (CO_2) [CO_2 => Ventilationsrate]
- Koncentration of volatile organic compounds (TVOC)
- Temperatur og fugtighed

- Acceptabilitet (eller percent utilfredse) af indeluftkvaliet
- Klager over (eller tilfredshed) med indeluftskavtitet eller akute helbredssymptomer (SBS)

Climify

Vi har brug for et indeklima målestok

DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

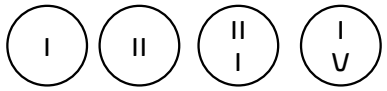
TAIL-ORDNING TIL AT VURDERE KVALITET AF INDEMILJØ (IEQ)

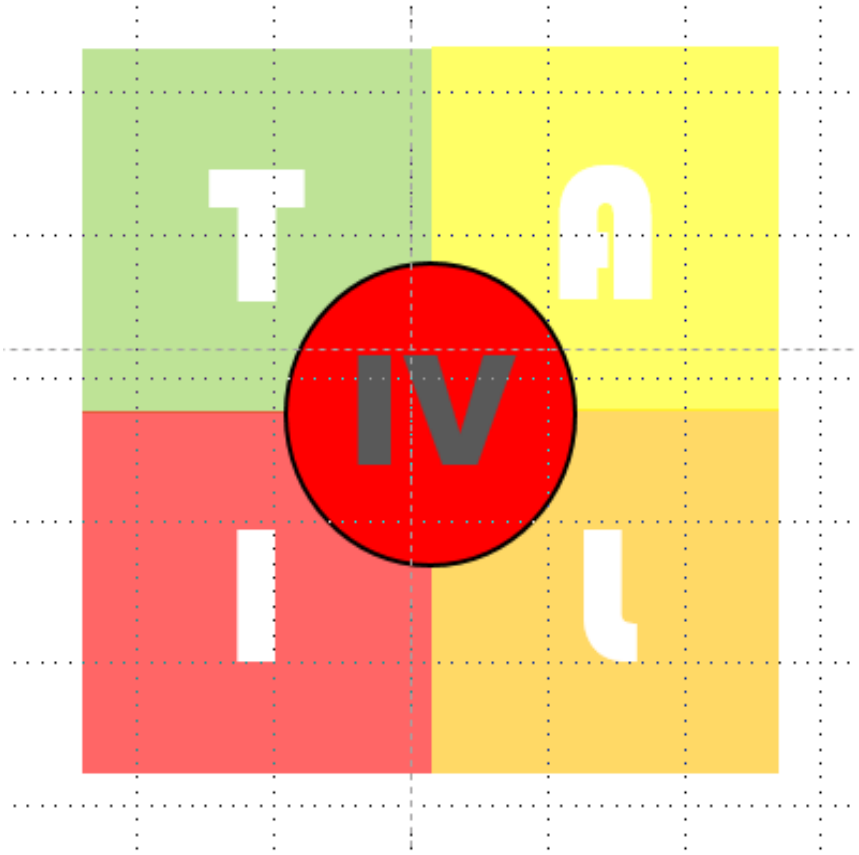
Climify

Fire komponenter:

- Termisk miljø
- Akustisk miljø
- Indeluftkvalitet
- Lys - visuelt miljø

Samlet kvalitet (IEQ):





Kilde: Wargocki et al. (2020)

TOLV PARAMETRE DEFINERER TAIL

	Parameter	Målinger	Modelering	Visuelt inspektion
T	Temperatur (°C)	×		
A	Støj (dB(A))	×		
I	CO_2 (ppm)	×		
	Ventilationsrate (L/s)	×		
	Formaldehyd (µg/m³)	×		
	Benzen (µg/m³)	×		
	$PM_{2.5}$ (µg/m³)	×		
	Radon (Bq/m³)	×		
	Relativ fugtighed (%)	×		
	Synlig skimmelsvamp (cm²)			×
L	Dagslys faktor (%)		×	
	Belysningsstyrke (lux)	×		

KLASSIFICERING AF PARAMETRE INKLUDERET I TAIL: INDELUFTKVALITET

Climify

Quality of indoor air quality (I)	Green	Yellow	Orange	Red
Carbon dioxide (concentration above outdoors)[1,2]	≤550 ppm	≤800 ppm	≤1350 ppm	If other quality levels cannot be achieved
Ventilation rate[3,7]	≥(10 L/s/p + 2.0 L/s/m^{2}floor)	≥(7 L/s/p + 1.4 L/s/m^{2}floor) and <(10 L/s/p + 2.0 L/s/m^{2}floor)	≥(4 L/s/p + 0.8 L/s/m^{2}floor) and <(7 L/s/p + 1.4 L/s/m^{2}floor)	If other quality levels cannot be achieved
Relative humidity offices[2,4]	≥30%≤50%≥	≥25%≤60%≥25% and ≤60%	≥20%≤70%≥20% and ≤60%	If other quality levels cannot be achieved
hotel rooms[2,4,5]	30% and ≤50%			
Visible mold[6,7]	No visible mould	Minor moisture damage, minor areas with visible mould (<400 cm^2)	Damaged interior structural component, larger areas with visible mould (<2500 cm^2)	Large areas with visible mould (≥2500 cm^2)
Benzene[7]	<2 μg/m^3	≥2 μg/m^3	no criteria	≥5 μg/m^3
Formaldehyde[7]	<30 μg/m^3	≥30 μg/m^3	no criteria	≥100 μg/m^3
Particles $PM_{2.5}$ (gravimetric)[7]	<10 μg/m^3	≥10 μg/m^3	no criteria	≥25 μg/m^3
Particles $PM_{2.5}$ (optical)[7]	<10 μg/m^3	≥10 μg/m^3	no criteria	≥25 μg/m^3
Radon[7,8]	<100 Bq/m^3	≥100 Bq/m^3	no criteria	≥300 Bq/m^3

CASE STUDIER

Kontor bygning

November – December 2019

Hotel

April 2019

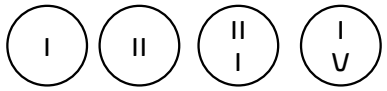
PREDICTAIL, EN METODE TIL VURDERING AF SIMULERET KVALITET AF INDEMILJØ (IEQ)

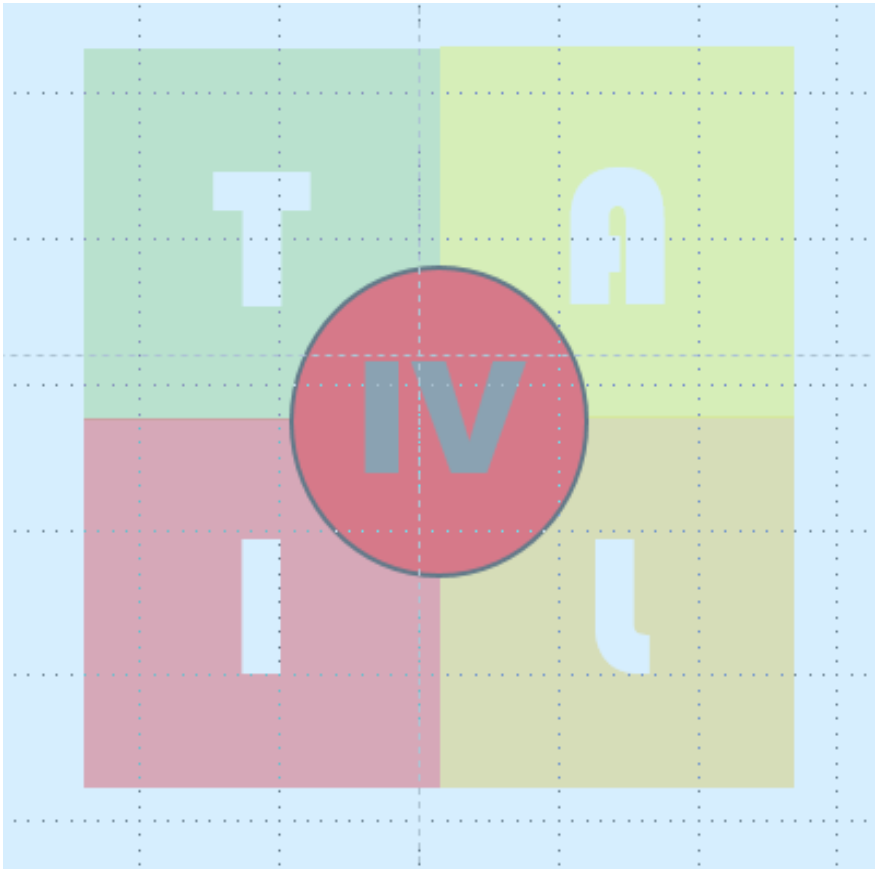
Fire komponenter:

- Termisk miljø
- Akustisk miljø
- Indeluftkvalitet
- Lys - visuelt miljø

Samlet kvalitet (IEQ):

-





Kilde: Wei et al. (2021)

FAIRyTAIL (EVENTYR OM TAIL)

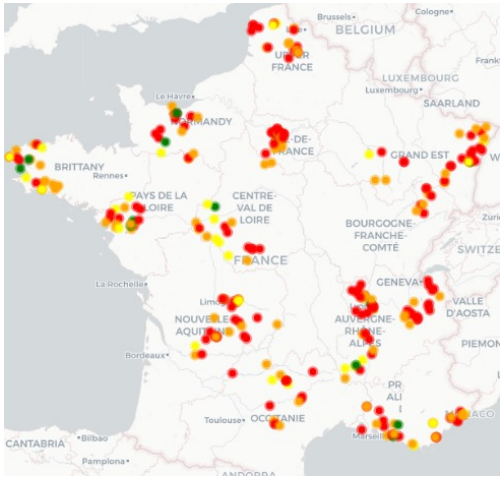
Climify

- Framework for vurdering af komponenterne og den overordnede kvalitet af inde miljø (IEQ)
- TAIL og PredicTAIL giver et komplet værktøj, der gør det muligt at karakterisere kvaliteten af inde miljø (IEQ) i bygninger.
- Muliggør sammenligninger på tværs af hele bygningsmassen, da det samme måleværktøj anvendes
- Præstationsmåling baseret på målinger og vurdering, ikke vurderingen af løsninger som muliggør t man kan opnå en vis kvalitet. Der gives ingen vilkårlige points.
- Ingen kompromis, ingen gennemsnit eller vægtning. Alle komponenter betragtet som vigtige.
- Omfatter både komfort og sundhed
- Enkel, men forventes at øge interesse af investorer, og kan udvikles videre
- Oprindeligt designet til hoteller og kontorer, men kan bruges til alle bygninger
- Oprindeligt designet som før-efter sammenligningsmetode, men kan bruges som et absolut mål

DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

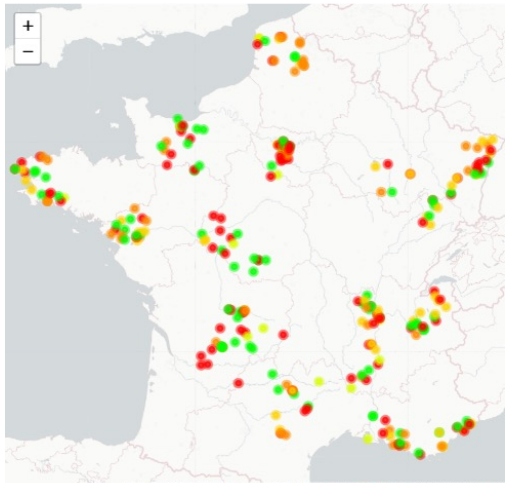
TAIL I 308 SKOLER I FRANKRIG

High, desired	Medium	Ordinary	Low - undesired



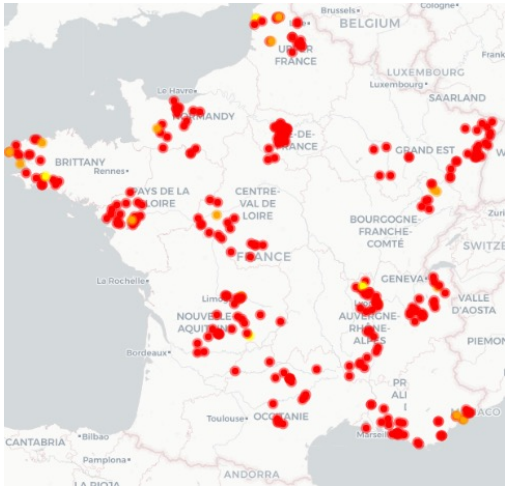
Quality of thermal environment

(T)



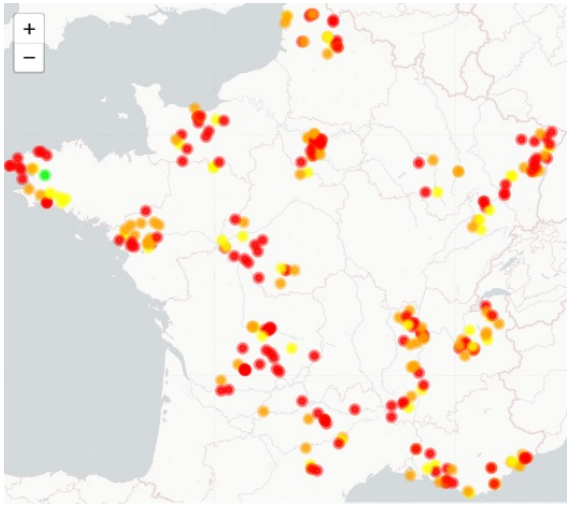
Quality of acoustic environment

(A)



IAQ

(I)



Quality of luminous environment

(L)

Source: Tran et al. (2023)

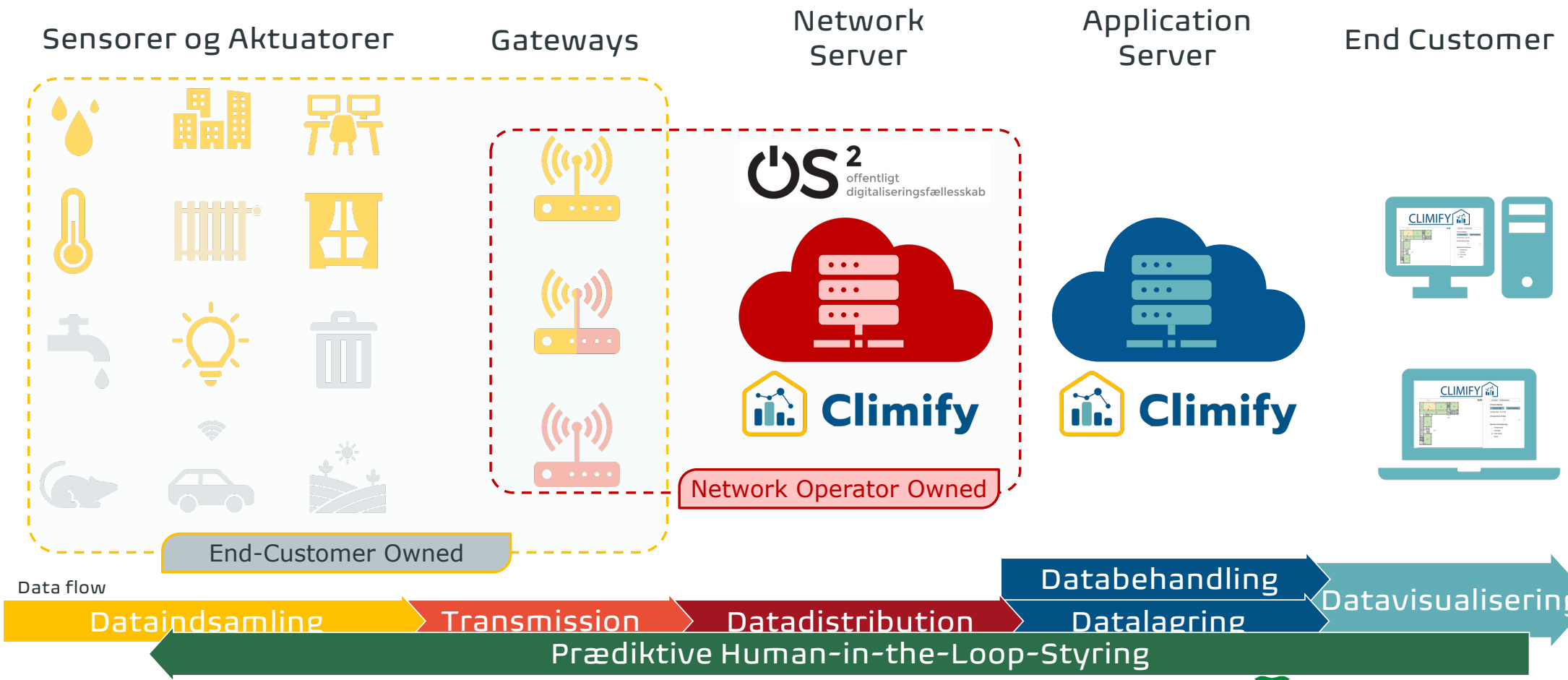
DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

Sådan etablerer vi et monitoreringssystem: 1. Sensorerne

- Vi anbefaler at måle:
  - Temperatur,
  - relativ luftfugtighed,
  - CO_2-koncentration,
  - lys,
  - tilstedeværelse
- og i visse tilfælde også:
  - VOC og
  - støjniveau.

Sådan etablerer vi et monitoreringssystem:
2. LoRaWAN Network

Climify



Sådan etablerer vi et monitoreringssystem:
3. Application Server

Climify

The CLIMIFY HUB, that connects all apps, mobile apps, data and APIs together.

DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

Høje Taastrup Living Lab: Borgerskolen

- **Type af Living Lab:** Folkeskole
- **Byggeår:** 1901
- **Sidste renovering:** 2010
- **Antal etager:** 3
- **Størrelse:** 800 m²
- **Ventilationssystem:** Mekanisk balanceret ventilation, udsugning og naturlig ventilation
- **Varmeanlæg:** Radiatorer af forskellig alder i forskellige dele af bygningen
- **Kølesystem:** Ingen køling
- **Bygningsstyringssystem (CTS):** LTECH CTS

Timeline

Climify

Forvurdering

Etablering
- Installation af sensorer
- Tilslutning til målings-tjenester*

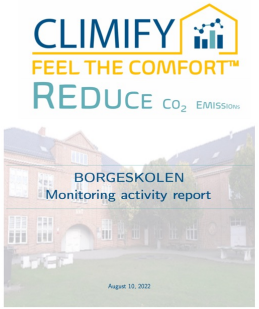
Vurdering og planlægning.
- Vurdering af indeklima* og energiforbrug
- Identifikation af specifikke aktuatorer

Retrofit-tiltag
- Installation af smarte thermostat-ventiler
- Registrering af retrofit i bygnings log

Vurdering og planlægning.
- AI og ISO 50001 baseret Vurdering
- Identifikation af yderligere retrofit-tiltag

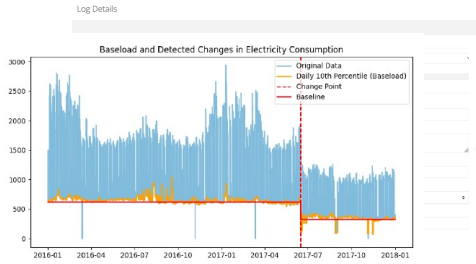
ELOVE

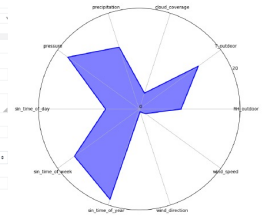
e.g. ElOverb ata, Enisc



By

Arb





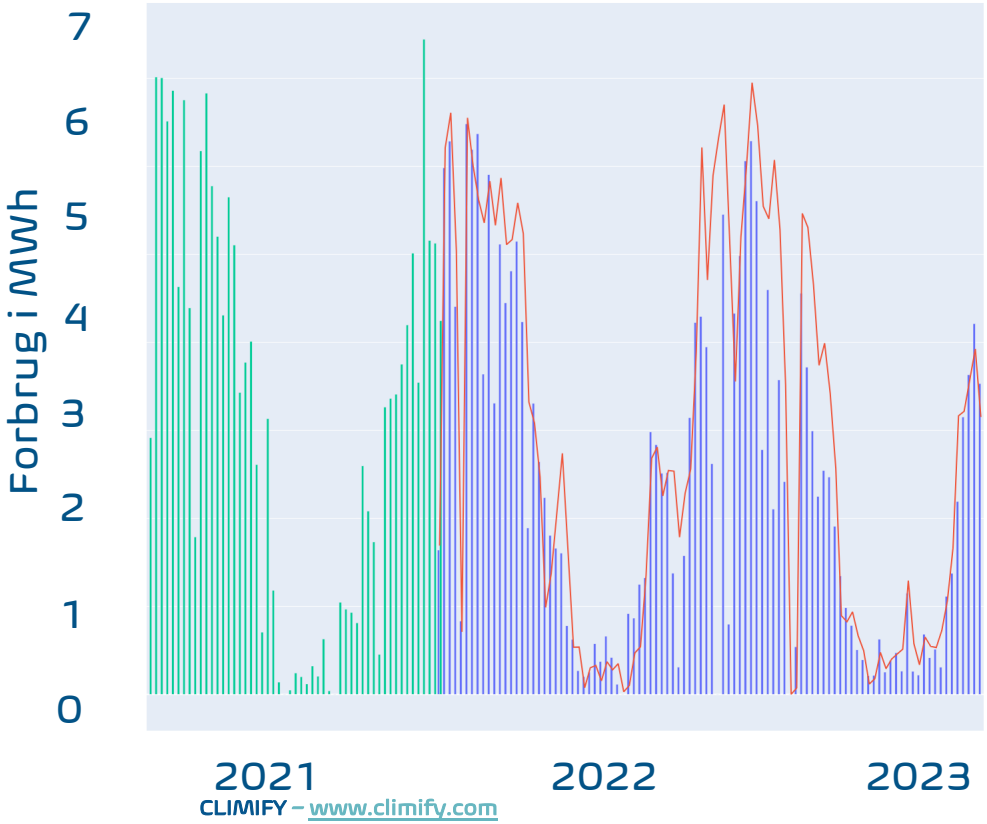
BR18, Arbejdstilsynet, Skimmelrisiko

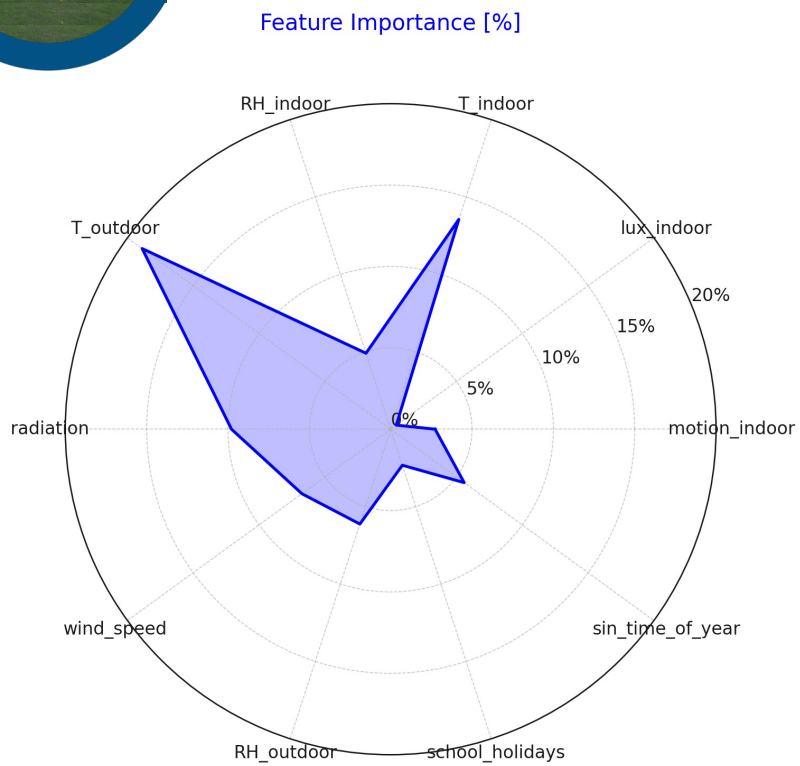
DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

Resultater af Case Boregrskole

Climify

Før Climify | Med Climify | Uden Climify

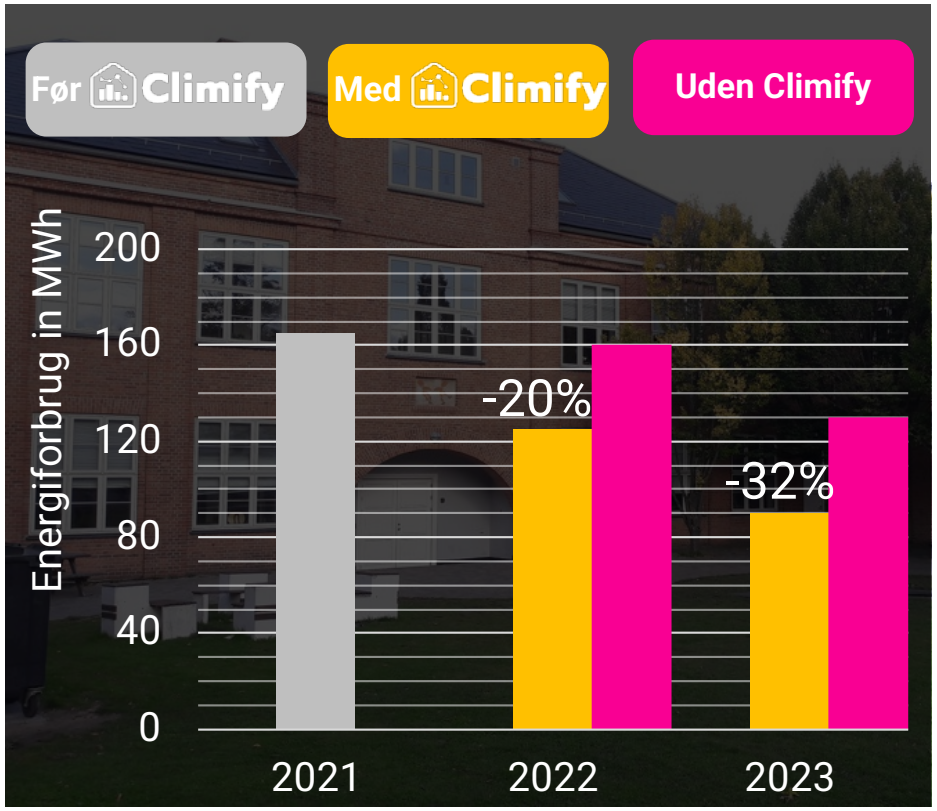




Legend
- Actual District Heating consumption (MWh)
- Predicted District Heating consumption (MWh)
- Baseline District Heating consumption (MWh)

DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

Resultater af Case Boregrskole



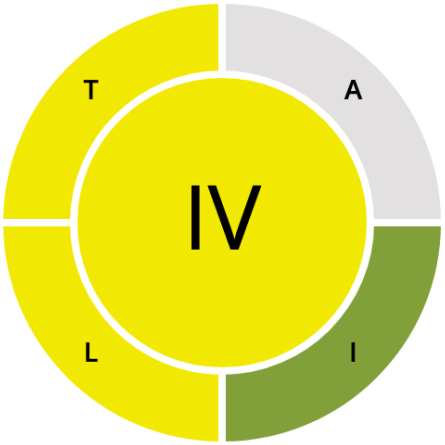
	2021	2022	2023
Fjernvarme*	110.000 kr.	83.300 kr.	60.000 kr.
Fjernvarme høj¨ temperature straff**	12.000 kr.	0 kr.	0 kr.
Elforbrug***	80.000 kr	72.000 kr.	72.000 kr.
Besparelser		43.300 kr.	46.600 kr.

* Estimeret omkostning baseret på energipriserne i 2021.
** Estimerede besparelser baseret på HTK's interne beregninger.
*** Estimerede besparelser baseret på HTK's interne beregninger.

DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

Resultater af Case Boregrskole

- Hardwareomkostning: 53.000 kr.
- Installation: 10.000 kr.
- Årlig softwareafgift: 10.000 kr.
- ROI: mindre end 2 år

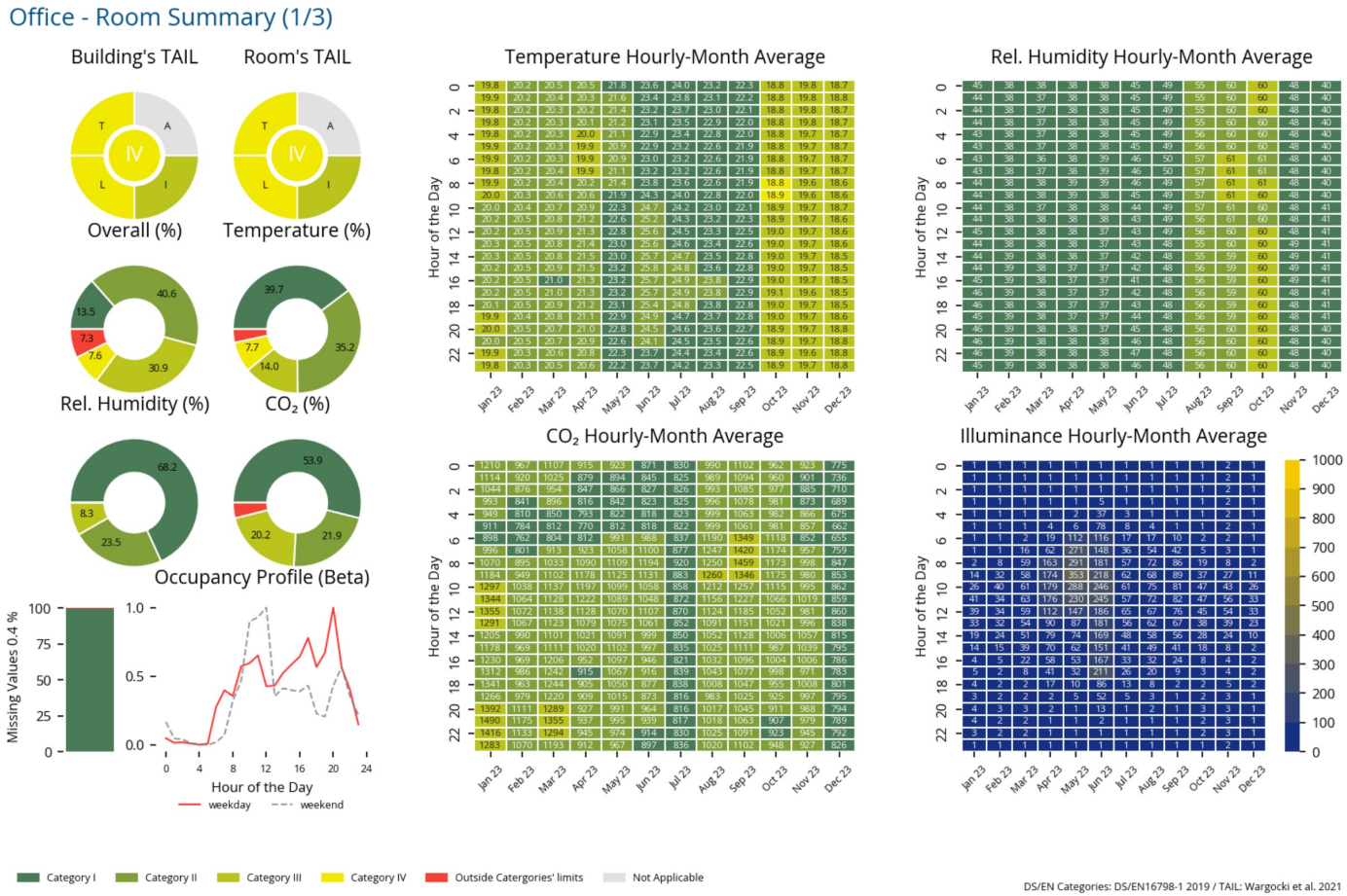


* Estimeret omkostning baseret på energipriserne i 2021.
** Estimerede besparelser baseret på HTK's interne beregninger.
*** Estimerede besparelser baseret på HTK's interne beregninger.

DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

Resultater af Case Boregrskole

- Hardwareomkostning: 53.000 kr.
- Installation: 10.000 kr.
- Årlig softwareafgift: 10.000 kr.
- ROI: mindre end 2 år



DS/EN Categories: DS/EN16798-1 2019 / TAIL: Wargocki et al. 2021

DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

Timeline

Climify

Forvurdering

Etablering
- Installation af sensorer
- Tilslutning til målings-tjenester*

Vurdering og planlægning.
- Vurdering af indeklima* og energiforbrug
- Identifikation af specifikke aktuatorer

Retrofit-tiltag
- Installation af smarte thermostat-ventiler
- Registrering af retrofit i bygnings log

Vurdering og planlægning.
- AI og ISO 50001 baseret Vurdering
- Identifikation af yderligere retrofit-tiltag

Tak til EUDP for støtten til projektet Human-in-the-Loop Digitalisering & Energi Management af Bygninger - HuiL-DEMand

https://www.byggeplads.dk/partnere/jyllands/artikler/fokus-paa-udvendige-persienner

DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

Presented by

Climify

Hvad er fornuftige indeklimaparametre og hvordan overvåges det om bygningen overholder det?

Pawel Wargocki, DTU, Professor
Davide Calì, CLIMIFY, COE

Tak for i dag!

& by

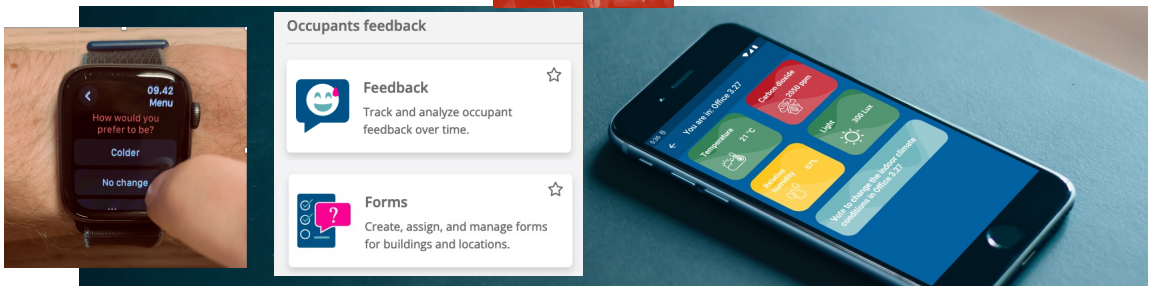
DTU

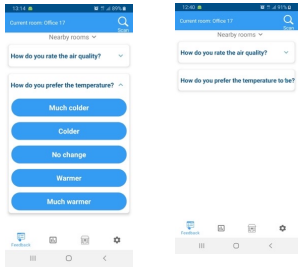
DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

TRY IT YOURSELF!
app.eu.climify.com
Username: feelthecomfort
Password: savetheclimate

Sådan etablerer vi et monitoreringssystem:
3. Application Server

Climify

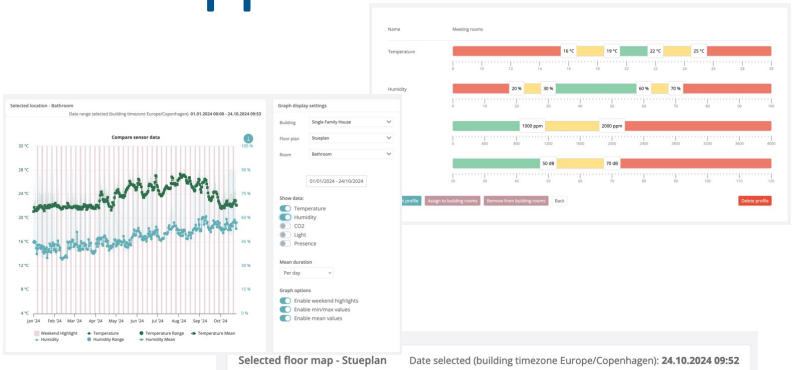


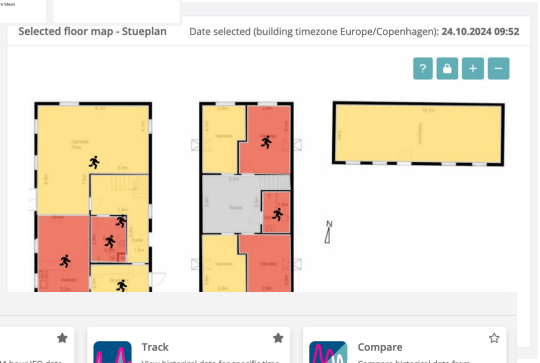


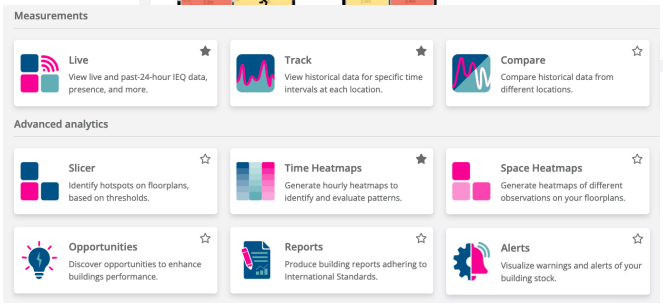
DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

Sådan etablerer vi et monitoreringssystem:
3. Application Server

Climify



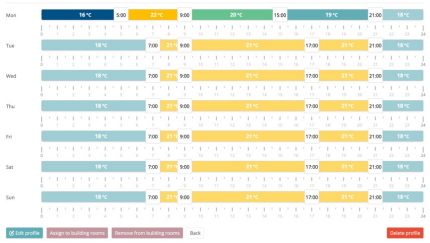


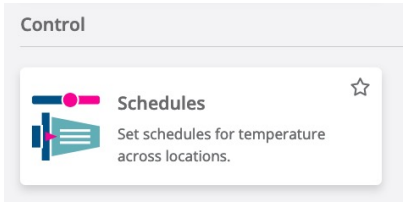


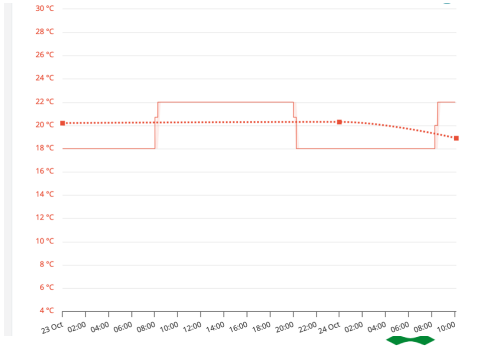
DTU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi

Sådan etablerer vi et monitoreringssystem:
3. Application Server

Climify







CLIMIFY – www.climify.com

TU Sustain
Institut for Miljø- og Ressourceteknologi