

Rapportnummer - Åpen

Rapport

Inneklima i energieffektive boliger - en litteraturstudie

Forfattere

Judith Thomsen

Magnar Berge (NTNU og HiB)



SINTEF Byggforsk
Energi og arkitektur
2012-01-31

SINTEF ByggforskPostadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 TrondheimSentralbord: 73593000
Telefaks: 73598285byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Foretaksregister:
NO 948007029 MVA

Rapport

Inneklima i energieffektive boliger

- en litteraturstudie

EMNEORD:Passivhus,
Boliger,
Inneklima,
Målinger,
Brukerperspektiv,
Litteraturstudie,**VERSJON**

02

DATO

2012-01-31

FORFATTEREJudith Thomsen
Magnar Berge (NTNU og HiB)**OPPDRAGSGIVER**

Enova SF

OPPDRAGSGIVERS REF.

Sverre Inge Heimdal

PROSJEKTNR

3B060701

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

48

SAMMENDRAG**Inneklima i energieffektive boliger
- en litteraturstudie**

Det er i dag stor fokus på tiltak som kan redusere global oppvarming. Flere internasjonale studier viser at energieffektivisering av bygninger er det enkleste og mest kostnadseffektive klimatiltaket. Passivhus kjennetegnes ved at byggene er mer lufttette, har mer isolasjon og har balansert mekanisk ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning. I rapporten stilles spørsmål om dette ensidige fokuset på energisparing, og "endring" av byggemåte kan ha en negativ effekt på inneklima og folks helse. Rapporten belyser innvirkning av energieffektiverende tiltak i bygninger på inneklima gjennom en omfattende litteraturstudie. Mulige målkonflikter mellom energisparing, inneklima og brukeratferd skal avdekkes og beskrives. Basert på funn fra studiene er det lite som tyder på at inneklima i passivhus er dårligere enn i konvensjonelle hus. Både målinger og brukernes opplevelse av inneklima er stort sett positive. En stor andel beboere er fornøyde eller veldig fornøyde med å bo i passivhus. Studiene peker imidlertid også på mulige vinter- og sommerproblemer med innetemperaturen. Luftkvalitet avhenger mer av ventilasjonsprinsippet enn av byggestandard, dvs. passivhus eller lavenergihus. Installasjon av balanserte ventilasjon med tilstrekkelig luftskifte må anses som avgjørende for å kunne opprettholde bra luftkvalitet og termisk komfort i vintermånedene i bygninger med høy isolasjonsstandard og lave luftlekkasjetall.

SINTEF Byggforsk

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 Trondheim

Sentralbord: 73593000
Telefaks: 73598285

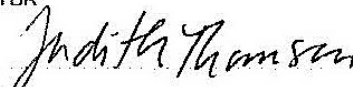
byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>

Foretaksregister:
NO 948007029 MVA

UTARBEIDET AV
Judith Thomsen

SIGNATUR

JT

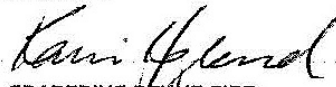


KONTROLLERT AV
Jonas Holme og Sverre Holøs

SIGNATUR

GODKJENT AV
Karin Høyland

SIGNATUR



RAPPORTNR **ISBN**

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
02	2012-01-31	Versjon 2. Kommentert av Sverre Inge Heimdal og Sverre Holøs

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
1.1	Målet med studien.....	6
1.2	Avgrensning	6
1.3	Definisjon lavenergi- og passivhus:	7
2	Inneklima, komfort og helse	8
2.1	Forståelse av inneklima i de forskjellige studiene	8
2.2	Veiledning fra WHO ifm inneklimarelaterte belastninger for helse og komfort	9
2.3	Subjektiv opplevelse av komfort og romtemperatur	10
3	Sammendrag av feltstudier med lavenergi- og passivhus	12
3.1	Termisk miljø.....	12
3.2	Atmosfærisk miljø	23
3.3	Akustisk miljø.....	36
3.4	Generell brukertilfredshet	36
4	Hva har trigget undersøkelsene?	38
5	Overførbarhet til norske forhold	39
6	Konklusjon	40
6.1	Oppsummert om termisk miljø:	41
6.2	Oppsummert om atmosfærisk miljø:.....	41
6.3	Oppsummert om akustisk miljø:	42
6.4	Oppsummert om generell tilfredshet:	42
7	Referanser	44

1 Innledning

Det er i dag stor fokus på å redusere klimagasser som kan medvirke til en global oppvarming. Flere internasjonale studier viser at energieffektivisering av bygninger er det enkleste og mest kostnadseffektive klimatiltaket. Energieffektivisering av bygg bidrar til et redusert behov for kraftproduksjon. Nasjonale og internasjonale føringer legger opp til en implementering av passivhus, som kjennetegnes ved at byggene er mer lufttette, har mer isolasjon, og er utstyrt med et balansert mekanisk ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning. Et viktig spørsmål er om dette ensidige fokuset på energisparing, og "endring" av byggemåte kan ha en negativ effekt på inn klimaet og beboernes helse. Usikkerheten består blant annet i hvorvidt luftskiftet i lufttette hus blir godt nok i forhold til å fjerne fukt, gasser, partikler og mikroorganismer i inneluften. Det stilles også spørsmål hvorvidt høyere isolasjonstykkelse kan medføre en økt risiko for fuktskade og om temperaturen i byggene kan bli for høy om sommeren. Støy og vibrasjoner fra ventilasjonsanlegg, samt risiko for mikrobiologisk vekst i ventilasjonsanlegg er også pekt på som en mulig utfordring.

Konseptet passivhus handler spesielt om reduksjon av energibruk. Det er fullt mulig å skape dårlige løsninger ifm arkitektur, byggeløsninger og inn klima også innenfor dette konseptet. Et avgjørende spørsmål er om disse nye, lufttette husene gir en potensielt høyere risiko for dårlig inn klima?

Inneluft som er forurenset, er potensielt helseskadelig. Det er derfor generelt et behov i alle hus for utskifting av luft for å sikre et sunt inn klima. I eldre hus bidro luftlekkasjer vesentlig til luftskifte og kunne til dels bidra positivt til inn klima. Luftskifte varierte imidlertid mye avhengig av tetthet samt vind- og temperaturforhold og var i mange tilfeller ikke tilstrekkelig til å opprettholde god luftkvalitet og unngå fuktskader. I nyere, tette hus skiftes luften ikke like mye gjennom lekkasjer som i utette hus. Dersom det for eksempel ved en energiteknisk rehabilitering tettes igjen luftlekkasjer, vil det naturlige luftskifte reduseres. Hvis det ikke samtidig gjennomføres tiltak som sørger for et tilstrekkelig luftskifte (f.eks. installering av balansert ventilasjon), vil luftkvaliteten kunne forverres gjennom økt belastning med fukt og skadelige stoffer. Derfor er det viktig å være bevisst på hvordan man kan sikre tilstrekkelig ventilasjon også i hus med redusert luftlekkasjer. For å unngå byggefeil og negative resultater i form av dårlig inn klima, er kunnskap om varme- og fukttekniske sammenhenger essensielt.

Høy lufttetthet, økt isolasjonstykkelse eller balansert ventilasjon med varmegjenvinning er ikke innført med de første passivhusene, men har blitt brukt i flere tiår. Krav i gjeldende Byggeteknisk forskrift (TEK10) er basert på de samme tiltak som i passivhus. Skepsis og bekymring handler dermed ikke bare om passivhus, men om tette energieffektive bygninger med et balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning.

Studier viser at energisparende tiltak og endringer i teknologi opp gjennom årene har til dels ført til en forverring av inn klima. Künzle (2009) beskriver situasjonen i Tyskland fra 1950-årene, hvor fyringsolje ble rimeligere og derfor sentrale oppvarmingsanlegg fikk stor utbredelse. Termostatstyring var ulønnsomt før energikrisen, temperaturreguleringen skjedde derfor mye vha. vinduslufting. Dette førte til lav relativ fuktighet i vintermånedene, som igjen førte til at problemer med muggsopp så godt som ikke eksisterte. Etter energikrisen endret fyringsvaner seg betydelig. For å spare energikostnader, ble det installert termostatventiler og man luftet mindre, noe som førte til økt relativ fuktighet og problemer med muggsopp i mange boliger.

Dehli og Bouse (2004) beskriver et boligkompleks i Berlin, som opprinnelig ble oppført på 1950-tallet, og ble rehabilitert i årene 1993 til 1998, hvor tak og yttervegger ble etterisolert og utette trevinduer ble erstattet

med tette og varmeisolerende vinduer. Vinduene hadde luftespalter, som imidlertid etter kort tid ble tettet igjen av støv, slik at luftskifte ble betydelig redusert. Kort tid etter fullført rehabilitering ble det derfor avdekket muggsopp som følge av for høy relativ luftfuktighet, som igjen skyldtes manglende luftskifte. Allerede 2001 ble det derfor nødvendig med en ny rehabilitering. Det ble installert mekanisk fuktstyrt avtrekk, som førte til at muggsopp-problemet i boligene ble eliminert. Det ble i tillegg gjennomført spørreundersøkelser blant leietagerne, hvor tilbakemeldinger er enstemmig positive til det mekaniske ventilasjonsanlegget og luftkvaliteten.

Hittil er det få studier i Norge som har undersøkt effekter av økt isolasjon, økt tetthet og balansert ventilasjon på inneklimate i lavenergi- og passivhus. Vi ønsker derfor å belyse erfaringer med energieffektiviserings tiltak gjort i andre land hvor det før(t)es lignende diskusjoner om mulige målkonflikter mellom energi-effektiviserende tiltak og inneklimate.

I en kunngjøring fra det tyske føderale miljøorgan, Umweltbundesamt, konkluderer kommisjonen for inneklimate (Innenraumlufthygiene) med *at det er mulig å oppnå både energisparing i bygninger og et godt inneklimate*. Ifølge Umweltbundesamt (2006) vil en implementering av energikrav medføre forbedrede isolasjonsverdier og reduserte kuldebroer. Dette medfører høyere overflatetemperaturer ved yttervegger, noe som igjen fører til økt termisk komfort og reduserer faren for muggvekst. I nye bygg vil den relative fuktigheten i inneluften kunne være ca. 60 % om vinteren uten at det medfører risiko for muggvekst. I eldre bygg vil grensen for relativ fuktighet i inneluften ofte være ca. 50 %. Kravet om lufttetthet i nye bygg bidrar til å redusere fuktskader og redusert varmetap gjennom uønsket luftskifte, men *det nødvendige luftskifte kan kun sikres ved aktiv vinduslufting eller mekaniske ventilasjonsanlegg*. Umweltbundesamt (2006) konkluderer med at en energireducerende byggemåte og godt inneklimate ikke er motsetninger, tvert imot vil en kunne oppnå forbedringer både med hensyn til energibruk og inneklimate.

1.1 Målet med studien

Vi ønsker å belyse endringer i energikrav sett i sammenheng med målt og opplevd inneklimate i energieffektive hus. Det overordnede målet er å bidra til en videre utvikling av energieffektive bygninger som er bra for helse, har et høyt komfortnivå og høy brukertilfredshet. **Rapporten skal kartlegge innvirkning av energieffektiviserende tiltak i bygninger på inneklimate gjennom en omfattende litteraturstudie.** Mulige målkonflikter mellom energisparing, inneklimate og brukeratferd skal avdekkes og beskrives. Innvirkning av økte isolasjonstykkelser, tetthet, mekaniske balanserte ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning på opplevd komfort, luftkvalitet og helse skal belyses.

1.2 Avgrensning

Rapporten er begrenset til studier av inneklimate hovedsakelig i passivhus, men vi har også tatt med noen relevante studier gjennomført på lavenergihus. Rapporten ser kun på erfaringer med boliger og ikke på andre bygningstyper.

Utviklingen av passivhus har ikke kommet like langt i Norge som i andre europeiske land. Passivhusene vi har i Norge er relativt nye, og det finnes hittil lite erfaringer med inneklimate i disse husene. Spesielt mangler vi langtidserfaringer. Derfor har vi sett på studier fra land hvor passivhuskonseptet er mer utbredt enn i Norge, hovedsakelig studier fra Østerrike og Tyskland, noen fra Sverige og få fra andre land. Studiene har vi funnet gjennom litteratursøk, søk på internettet og i konferansepublikasjoner. Det finnes et stort spekter av studier med helhetlig tverrfaglig fokus og vurdering innenfor fagene arkitektur, ingeniørfag, medisin, psykologi og mikrobiologi¹, og vi har derfor bare valgt ut de som er mest relevante for vår problemstilling.

¹ Databaser som vi søkte i er blant annet: Academic Search Elite, Engineering Village, Google Scholar, Pubmed, ScienceDirect, SpringerLink

Ofte har studiene tatt en helhetlig vurdering av passivhus. Disse vurderingene inkluderer også andre aspekter enn inneklima, f.eks. målt energibruk, materialbruk, byggeprosess, tekniske løsninger, salg og markedsføring, etc. Det er temaer som vi ikke kan behandle innenfor rammer for denne rapporten. Litteratursøk viser at de fleste studiene som er gjennomført, eksisterer i rapportform og som konferanseartikler. Studier som har blitt presentert på internasjonale konferanser, har vanligvis gått gjennom en kvalitetssikring, dvs. at en sakkyndig har godkjent artikkelen for publikasjon. De færreste studiene vi har brukt og funnet, er publisert i internasjonale vitenskapelige journaler.

1.3 Definisjon lavenergi- og passivhus:

Lavenergibygninger generelt bruker mindre energi til oppvarming enn dagens gjennomsnitt. Ifølge NS3700 (Standard Norge 2009) er kravet for det totale energibehovet til oppvarming i lavenergihus maksimalt 30 kWh / m² / år. Passivhus er en videreutvikling av lavenergihus. Varmetapet i passivhus er redusert til et så lavt nivå at oppvarmingsanlegget (gulvvarme, radiator, panelovn, vedovn etc.) kan reduseres betraktelig eller til og med sløyfes helt. Det resterende beskjedene varmebehovet kan i visse tilfeller dekkes gjennom tilførsel av oppvarmet luft fra ventilasjonsanlegget som en uansett må ha i et passivhus. Den tyske passivhus definisjonen var den første og opprinnelig den mest brukte standarden. Passivhaus Institut i Darmstadt, Tyskland definerer passivhus som følgende (www.passiv.de/English/PassiveH.HTM):

- *Et passivhus er et bygg hvor et behagelig inneklima kan oppnås uten et aktivt oppvarmings- eller kjøleanlegg. Huset varmer og kjøler seg selv, derfor "passiv".*
- *Forutsetning for dette er at årlig energibehov til oppvarming skal være mindre enn 15 kWh/(m²a).*
- *Det totale primære² energibruk for oppvarming, varmtvann, strøm, elektrisk utstyr og belysning skal ikke være mer enn 120 kWh / m² / år.*

I Norge brukes i dag en egen standard NS3700 (Standard Norge 2009) for boliger og SINTEF prosjektrapport 42 for yrkesbygg (Dokka et al. 2009). Kriterier for yrkesbygg er planlagt utgitt som NS3701. Krav i NS3700 er i stor grad basert på den opprinnelige passivhusdefinisjonen fra Passivhaus Institut, men med en tilpasning til norsk klima. Det tas utgangspunkt i hovedkravet om maksimalt energibehov til oppvarming på 15 kWh/m²/år. For boliger i kalde strøk, samt for små eneboliger, tillates imidlertid et noe høyere energibehov til oppvarming. Det er i tillegg satt minstekrav til bygningskomponenter og tekniske installasjoner som må overholdes uansett klima og størrelse.

Tiltak som skiller passivhus fra konvensjonelle bygninger og som er relevant for inneklima er oppgitt nedenfor:

- Høyisolert klimaskjerm (tak, yttervegger, gulv, vinduer og dører)
- Fortrinnsvis orientering av vinduer mot sør for utnyttelse av varmetilskudd
- Minimalisering av kuldebroer
- Minimalisering av luftlekkasjer
- Mekanisk balansert ventilasjon med varmegjenvinning
- Eventuell varmetilførsel gjennom ventilasjonsluft
- Eventuell forvarming/kjøling av tilluft i grunnvarmeveksler

Innvirkning av de oven nevnte tiltak på inneklima skal vurderes i denne rapporten.

I tillegg søk på hjemmesider til følgende institutt: IRB Fraunhofer Institut, Passivhaus Institut, IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie, IWU- Institut Wohnen und Umwelt.

² Som primærenergifaktor for elektrisitet brukes 2,7. Et primærenergibruk på 120 kWh/m²/år tilsvarer et totalt energibehov uten primærenergifaktorer på ca. 80 kWh/m²/år.

2 Inneklima, komfort og helse

Inneklima omfatter følgende Aas et al. (2009):

- Termisk miljø
- Atmosfærisk miljø (forurensninger, gasser, fukt, fibre og partikler)
- Akustisk miljø (støy)
- Aktinisk miljø (lys, radon, stråling)
- Mekanisk miljø (følesans og smerteopplevelse, ergonomi og ulykker)

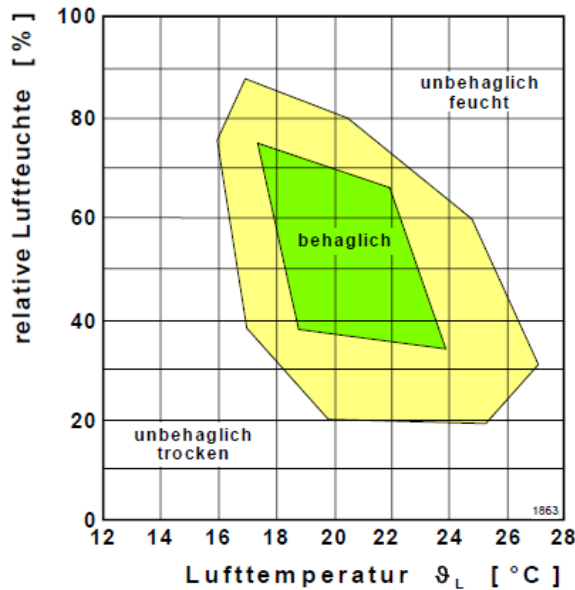
I rapporten ser vi hovedsakelig på de første tre punktene: termisk miljø, atmosfærisk miljø og akustikk miljø. Når det gjelder aktinisk miljø, omhandler denne rapporten kun radonbelastning i et tilfelle.

2.1 Forståelse av inneklima i de forskjellige studiene

Temperatur: Studiene beskriver 26⁰C som maksimal komfortabel innetemperatur om sommeren, én studie bruker 25°C som grenseverdi. Høyere innetemperatur enn henholdsvis 25/26°C beskrives som overoppheting. Noen timer per år med innetemperaturene over denne grenseverdien beskrives allikevel som akseptabel. Maksimal innetemperaturen henger også tett sammen med maksimal utetemperatur. Den nedre grensen for komfortabel innetemperatur ble beskrevet som 20°C på vinteren. Lavest akseptable innetemperatur i Tyskland ble dog referert til som 19°C (DIN 4108/del6), men det er ingen verdi studiene har forholdt seg til.

Luftfuktighet: Generelt er menneskets persepsjon av tilstrekkelig luftfuktighet nokså dårlig utviklet. I studiene vi har sett på, ble det definert en nedre grenseverdi for relativ luftfuktighet som 30 %. Under 30 % er ansett for å være for tørr inneluft. For å oppleve luftfuktigheten som behagelig burde den allikevel ligge over 30 %. Det er forskjeller i definisjonen også i studiene. En studie definerer normalverdien om vinteren så høy som 40-60 % (Isaksson & Karlsson 2006). I tillegg til komfortsyn burde luftfuktigheten også vurderes i forhold til kondensrisiko og fare for utvikling av midd.

Flere studier henviser til et komfortdiagram, som viser opplevd komfort avhengig av temperatur og relativ luftfuktighet (Figur 1).



Figur 1: Termisk komfort avhengig av temperatur og relativ luftfuktighet (Hinnen 2008).

Luftkvalitet: I flere studier ble det foretatt målinger av CO₂-nivåer for vurdering av luftkvalitet. Det henvises til Max Josef von Pettenkofer, som allerede 1858 anbefalte at CO₂-konsentrasjonen i rom ikke bør overskride 1000 ppm. Denne grenseverdien brukes også i Norge i dag, og settes som anbefalt øvre grenseverdi fra Institutt for folkehelse og Arbeidstilsynet. Noen studier referer også til grenseverdi på 1500 ppm fra den tyske standarden DIN 1946. I noen studier ble det i tillegg målt konsentrasjoner av flyktige organiske forbindelser (VOC), muggsoppспорer, støv, pollen og radon.

Luftskifte/per time: Passivhaus Institut har definert at luftskiftet av hensyn til luftkvalitet aldri må bli lavere enn 0,3 omskiftninger per time (h⁻¹). Derimot kan høyt luftskifte redusere fuktigheten i luften, og luften kan oppleves som tørr. Ved målinger av luftskifte har man funnet tall mellom 0,25 - 0,7 h⁻¹ i passivhus. Krav til luftveksling i Norge gis i Teknisk forskrift til Plan- og Bygningsloven (TEK 2010) 1,2 m³/h* m² oppvarmet areal, tilsvarende 0,5 h⁻¹ med normal takhøyde. For mindre leiligheter blir kravet til luftskiftet høyere enn dette, fordi det også stilles krav til avtrekksmengder.

Lysforhold er også et viktig aspekt ved inneklima, men omtales ikke i denne rapporten. Det har heller ikke vært et tema i de fleste rapportene vi har sett på.

2.2 Veiledning fra WHO ifm inneklimarelaterte belastninger for helse og komfort

WHO er opptatt av inneklima belastninger for helse og komfort. I henhold til anbefalinger fra verdens helseorganisasjon (WHO 2009) er ventilasjon og fuktkontroll avgjørende for begrensning av muggsopp og husstøvmidd. Det gjøres oppmerksom på at våte overflater i luftbehandlingssystemer alltid utgjør en risiko for mikrobiologisk vekst og forurensing, og det presiseres at ventilasjonsanlegg må planlegges og driftes slik at mikrobiologisk vekst unngås. Veiledningen angir tiltak for fuktkontroll ved nybygg og eksisterende bebyggelse.

I nybygg inneholder veiledningen tiltak for klimaskjermen, ventilasjon og oppvarming. Anbefalte tiltak er bl.a. å:

- forbedre de termiske egenskaper for vinduer og klimaskjermen for å øke overflatetemperaturer og dermed hindre kondens og muggvekst

- bruke dampsperre for å hindre vanndamptransport inn i konstruksjonen
- sørge for vinduer som kan åpnes i alle oppholdsrom
- sørge for tilstrekkelig og kontrollerbar ventilasjon
- ventilere alle rom
- bruke balansert ventilasjon med varmegjenvinning for å redusere relativ luftfuktighet innendørs
- bruke et sentralt varmeanlegg
- kontrollere romtemperaturer ved hjelp av termostat

For eksisterende bygg angis som tiltak endring av brukervaner og rehabilitering:

- begrense bruken av luftfuktere
- øke romtemperaturen for å redusere den relative luftfuktigheten
- øke ytelsen av ventilasjon (naturlig eller mekanisk)
- installere et mekanisk ventilasjonsanlegg
- installere bedre vinduer for å hindre kondens

Ifølge WHO (2009) er en tilstrekkelig tilførsel av uteluft nødvendig for å fjerne forurensninger og fukttilskudd innenfra. Lufttilførsel kan enten skje ved naturlig eller mekanisk ventilasjon. Feil i ventilasjon kan føre til alvorlige helseproblemer og byggskader.

2.3 Subjektiv opplevelse av komfort og romtemperatur

Komfortopplevelse er en viktig del av velvære og trivsel. Nicol & Roaf (2005) fokuserer på det dynamiske samspillet mellom bygninger og deres beboere ifm opplevd termisk komfort. Studier har vist at beboernes evaluering av termisk komfort er kontekstavhengig og varierer med tiden. Definisjonen av individuell termisk komfort er blant annet beskrevet i ASHRAE standard 55-2004 som *"tilstanden i sinnet som opplever tilfredshet med det termiske miljøet"*.

Krapmeier (2006) henviser til at komfort/behagelighet i boliger gjennom historien alltid har stått høyt på ønskelisten. Han henviser til ømfintlighet og sanseterskel til mennesker når det gjelder termisk komfort. Sansetersklene for lufttemperatur er $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, for forskjellen mellom luft- og overflatetemperatur er der 2°C , for luftbevegelse $0,1\text{ m/s}$, for strålevarme 25 W/m^2 , mens når det gjelder relativ luftfuktighet er sanseterskelen $\pm 15\%$.

Gjennomfører man beboerundersøkelser bør det varierende forhold mellom mennesker, klima og bygningen tas med i enhver sluttvurdering. Nicol & Roaf (2005) beskriver 3 generaliserbare reaksjoner som folk har på endringer i termisk komfort:

1. Opplevd termisk komfort er en tilvenningssak. Forskning over 40 år har vist at folks opplevelse av komfortabel innetemperatur ligger nært gjennomsnittstemperaturen de har opplevd over tid. I forskjellige kulturer har folk forskjellige opplevelser av komfortabel temperatur. Temperaturen kan variere ± 2 grader før det oppleves som ukomfortabelt eller unormalt sammenlignet med det som oppleves som vanlig. I tilfeller der beboerne har kontroll over temperaturen så kan variasjonen være høyere ("forgiveness") enn i bygninger der beboerne ikke har kontroll selv.
2. Opplevd komfort er et resultat av det dynamiske samspillet mellom mennesker og bygningen i en bestemt sosial kontekst og ikke en permanent oppfyllelse av fysiologiske forhold for termisk komfort. Viktig for opplevd komfort innendørs er også utendørsklimaet som ikke er det samme fra time til time, og er lite forutsigbart. Derfor er det beskrevet som spesielt viktig at hver bygning oppfyller mulighetene for individuell tilpasning.

3. Tid og forandring er et viktig aspekt som har innflytelse på opplevd termisk komfort. Det er begrenset hvor fort temperaturen kan tilpasses og kortfristede tilpasninger skjer f.eks. gjennom å ta på / av klær. Endringer er naturlig og matematisk forutsigbar komfort temperatur kan derfor ikke fullstendig reflektere hvordan realiteten oppleves av individet. Dette forklarer hvorfor simuleringer og målinger ikke fullstendig beskriver individuell opplevelse.

I studier av termisk komfort har forskere prøvd å lage en "komfort indeks" ved å måle forskjellige variabler. Det viser seg imidlertid at kompleksiteten i termisk komfortopplevelse ikke dekkes tilstrekkelig av slike metoder. Hvis flere variabler skulle bli inkludert blir oppgaven fort kompleks og feilkilder øker. Derfor er det viktig å se opplevd komfort og "objektive" målinger i sammenheng.

Rohregger et al. (2004) beskriver opplevelsen av termisk komfort som en kombinasjon av en fysiologisk tilstand for kroppen og den subjektive opplevelsen for en person. Termisk komfort oppleves når en person kan opprettholde "termisk balanse", dvs. at varmetap fra kroppen og den varmen kroppen produserer er like store. Blir det forskjell mellom varmetap og produksjon blir det et behov for å regulere opplevd temperatur. Dette gjøres dels av kroppen selv (perspirasjon, økt eller minsket blodsirkulasjon i ekstremitetene), dels gjennom adferd (ta klær av og på, øke eller minsk bevegelse, kald eller varm drikke). Fanger (1972, i Rohregger et al. 2004) har sett på sammenheng mellom temperaturvariasjon og tilfredshet (fig.1). Han ser på personers opplevelse av +3 grader over og - 3 grader under optimal temperatur. Optimal temperatur bestemmes i følge Fanger hovedsakelig av aktivitet / metabolisme og bekledding. I tillegg påvirkes den av vaner, tidsånd, kultur). PPT (predicted percentage of dissatisfied) angir den statistiske andelen misfornøyde av en populasjon når temperaturen er over eller under optimal temperatur. Når det er + 3 eller - 3 grader er det sannsynlig at 99,2 prosent av testpersonene misfornøyd med opplevd romtemperatur.

Bezeichnung	PMV - Index	PPD - Index
zu warm (hot)	+3	99,1
warm (warm)	+2	76,8
etwas warm (slightly warm)	+1	26,1
neutral (neutral)	0	5,0
etwas kühl (slightly cool)	-1	26,1
cool (cool)	-2	76,8
kalt (cold)	-3	99,1

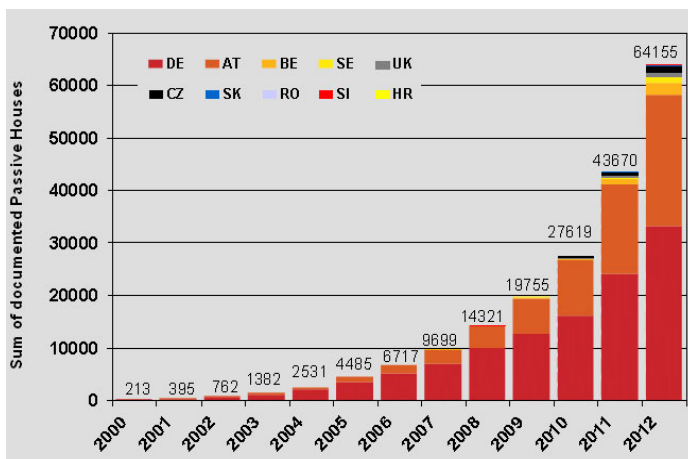
Abb.2.1: Psychophysische Beurteilungsskala für Predicted mean Vote (PMV) und Predicted Percentage of dissatisfied (PPD)

Figur 2: Skala for å se sammenheng mellom temperaturavvik fra normalen (nøytral) og prosentandel misnøye

Figur 2 viser også at det alltid vil være noen misfornøyde personer selv om temperaturen ligger på det som er definert som optimal temperatur (5 % misnøye). Nyere undersøkelser konkluderer at andelen misnøye ved optimal temperatur er enda høyere enn 5 % og helt opp til 15 % (Mayer 1990 og 1993 in Rohregger et al.). Det er her viktig å være klar over at opplevd temperatur er mer sammensatt enn lufttemperatur. Luft-hastighet, strålingstemperatur og luftfuktighet har stor innflytelse på operativ temperatur som er det som påvirker kroppens varmebalanse. Opplevd temperatur og komfort påvirkes i tillegg også av lufthastighet, strålingsasymetri og horisontale og vertikale temperaturforskjeller. Det er utviklet tilsvarende skalaer for PPD for flere av disse.

3 Sammendrag av feltstudier med lavenergi- og passivhus

Erfaringer med lavenergi- eller passivhus i Norge er fremdeles begrenset og hittil finnes kun få studier som dokumenterer erfaringer (Klinski et al. SINTEF rapport planlagt feb. 2012). Studiene i følgende avsnitt er derfor i hovedsak basert på studier fra Sverige, Danmark, Tyskland, Østerrike og Sveits, hvor antallet lavenergi- og passivhus er betraktelig høyere enn i Norge per i dag (Tyskland, Østerrike og Sverige vises i figur 3).



Figur 3: Trend i utvikling av passivhus i 10 europeiske land på slutten av 2010 (prognose for utviklingen 2011 og 2012). Norge er ikke inkludert i grafikken. (rødt: Tyskland, oransje: Østerrike, lysegult: Sverige)
(kilde: <http://www.pass-net.net/situation/index.htm>)

Studiene fokuserer i stor grad på følgende temaer som vi også kommer til å bruke for å organisere det følgende avsnittet:

1. Termisk miljø: komfort, målt og opplevd romtemperatur
2. Atmosfærisk miljø: luftkvalitet, luftfuktighet, luftskiftet, CO₂, muggsopp, skadelige stoffer
3. Akustisk miljø: Lyd / støy
4. Generell brukertilfredshet

Studiene har brukt forskjellige metoder for å undersøke temaene relatert til inneklimate. De kom fram til resultatene både gjennom målinger og gjennom å undersøke brukernes subjektive oppfatning av inneklimateforholdene gjennom spørreundersøkelse eller dybdeintervjuer. Vi har valgt ut de studiene som ser resultatene fra "objektive" målinger og brukernes subjektive perspektiv i sammenheng.

3.1 Termisk miljø

Ifølge **Krapmeier (2006)** er passivhuskonseptet ett av de få byggekonseptene som gir muligheten til å tilfredsstillende krav til høy komfort med bruk av meget lite energi. Med hensyn til sommerkomfort, vil passivhus gi mindre risiko for overoppheting i områder hvor det er kjølig om natten og varmt om dagen. Gjennom natten kan bygget kjøles ned ved hjelp av vinduslufting og den godt isolerte klimaskjermen vil isolere mot varmen utenfra om dagen.

Doppelbauer & Mahdavi (2010) har sammenlignet to boligblokker med 27 leiligheter hver, på henholdsvis lavenergi- og passivhusnivå i Wien, Østerrike. Husene ble bygget i 2007 med identisk planløsning og av samme utbygger. Lavenergiblokken har noe mindre isolasjonsstandard enn passivhusblokken og er basert på en fuktstyrt grunnventilasjon med spalteventiler i vinduer og avtrekk på bad, ellers basert på vinduslufting.

Passivhusblokken inneholder et sentralt balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning, hvor beboerne kan styre temperatur og luftmengde. Fra februar til juni 2009 ble det gjennomført målinger av innelufttemperatur, relativ fuktighet og CO₂ i soverom og stue. Målinger ble gjennomført i én stor og én liten leilighet i hver av de to henholdsvis lavenergi- og passivhusblokkene.

For å vurdere termisk komfort ble andel tid beregnet hvor temperatur og relativ luftfuktighet ligger innenfor komfortområde. Resultatene viser omtrent like verdier for de to passivhusleilighetene og én lavenergileilighet. Den ene lavenergileiligheten viser tydelig dårligere verdier, det ble målt temperaturer om sommeren over 30°C. Vindusstørrelsen viste seg å være hovedfaktor for høye innetemperaturer. For noen beboere var for høye temperaturer et problem, særlig for beboere i leiligheter vendt mot sør.

Ebel et al. (2003) undersøkte 24 lavenergiboliger og 22 passivhusboliger ved Wiesbaden i Tyskland i forhold til energibruk, inneklimate og brukerinnevirking. Boligene er i rekkehusform og ble alle bygget i 1997 av samme utbygger. Konstruksjonsmessig ble både lavenergiboligene og passivhusboligene utformet på samme måte. Det som i hovedsak skiller lavenergiboligene fra passivhusboligene er valg av vinduer og ventilasjonsprinsipp. Når det gjelder oppvarming, ble det både i lavenergi- og passivhusboligene installert et konvensjonelt oppvarmingsanlegg med små radiatorer.

Når det gjelder tilfredshet med temperaturforholdene om vinteren, viser spørreundersøkelsen at nesten alle beboere er fornøyd eller meget fornøyd. Beboere i passivhusboliger er noe mer fornøyd enn beboere i lavenergiboliger. Det ble konstatert at fornøydhetsgraden ikke korrelerer signifikant med målt temperatur. Det ble imidlertid registrert en signifikant korrelasjon mellom innstilt romtemperatur om vinteren og romtemperatur om sommeren, noe som tyder på at toleranseområdene er forskjøvet hos de forskjellige beboerne. De som ønsker høyere temperaturer om vinteren, tillater også høyere temperaturer om sommeren, mens de som holder en lavere temperatur om vinteren, ønsker også å ha det kjøligere om sommeren.

Temperaturforholdene om sommeren ble i snitt vurdert noe dårligere enn temperaturforholdene om vinteren. Beboere av passivhusboliger er noe mer tilfreds med temperaturforholdene om sommeren. Det ble målt en noe høyere overopphetingsfrekvens i lavenergiboligene (i snitt 7,5 % av tiden over 25°C) enn i passivhusboligene (6,5 %). Det ble ikke installert solskjerming fra utbyggeren og bare delvis ettermontert av beboerne. Spørreundersøkelser viste imidlertid at solskjerming hadde lite innvirkning på tilfredshet med temperaturforholdene om sommeren.

Isaksson & Karlsson (2006) har undersøkt termisk komfort og romoppvarming i 20 lavenergirekkehus i Lindås, sør for Göteborg. Artikkelen har som mål å beskrive bygningene gjennom både tekniske og sosiale aspekter. Metodene de brukte var kvalitative intervjuer med beboere samt målinger av fysiske parameter. Kombinasjonen av kvalitative intervjuer og målinger er viktig for å se resultatene i kontekst av beboernes hverdag. Oppvarming i rekkehusene i Lindås er i stor grad basert på passive varmetilskudd fra elektrisk utstyr, belysning, beboere og solinnstråling. På kalde dager kan et ettervarmeaggregat i ventilasjonssystemet med en effekt på 900W brukes i tillegg.

Temperaturmåling ble gjennomført i alle husene. Målingene viste at innetemperaturen var temmelig konstant gjennom hele året. Gjennomsnittstemperaturen i husene varierer med 3°C mellom vinter- og sommertemperatur. Maksimaltemperatur og minimaltemperatur som ble målt gjennom året, var henholdsvis 25.7°C og 15.5°C. Temperaturforskjeller ble også målt mellom midt-hus og gavlhus. Gavlhusene hadde en lavere gjennomsnittlig temperatur enn midt-hus. Andre etasje i alle husene er gjennomsnittlig varmere enn første etasje. Gulvtemperaturen var også gjennomsnittlig lavere i første etasje enn i andre etasje. Gulvtemperaturen lå mellom 0.3-1.2°C under målt lufttemperatur (målt 1.2m over gulvet). Forfatterne skriver også at husene trenger aktivitet, dvs. beboerne for å oppnå en akseptabel innetemperatur. Når beboerne er hjemme om kvelden viser målingene at innetemperaturen i første etasje stiger ca. 1°C.

Intervjuene viste at ønsket innetemperatur er 20-21°C, men noen foretrekker 22-23°C. Mange var enige om at varmeanlegget fungerer godt. Om vinteren når ovnen er på, opplevde beboerne varierende innetemperatur. En av beboerne sier at "*... varmesystemet alene er ikke i stand til å opprettholde temperaturen som er satt, men har behov for bistand fra andre varmekilder som for eksempel apparater, radiatorer eller mennesker. Hvis ingen er hjemme, vil systemet ikke være i stand til å opprettholde den satte innetemperatur*" (Isaksson and Karlsson 2006):1684). Undersøkelsen viser at folk eksperimenterer med å varme opp huset, som for eksempel ved å la dører åpne og tenne lys. Gavlhusene hadde en lavere gjennomsnittlig temperatur enn midt-hus. Også gulvet i første etasje opplevdes som kaldt av mange beboere. Forbedringer for å øke komfort kan være å regulere temperaturredynamikken bedre. Når husene står tomme over en tidsperiode, tar det en halv dag å varme det opp. Derfor lar noen av beboerne varmen stå på når de er borte. En automatisk styring for varmesystemet kunne løst disse problemene. Innetemperaturen var ofte høyere enn opplevd temperatur, noe som indikerer at den subjektive opplevelsen av termisk komfort er forskjellig fra person til person.

Samuelsson & Lüddeckens (2009) studerer inneklime i passivhus i sin masteroppgave. De gjorde en undersøkelse av tre forskjellige passivhus, i Oxtorget, Frillesås og Gumslöv i Sverige, for å undersøke brukertilfredshet med i husene. Spørsmål de stilte beboerne handlet om opplevd temperatur og temperaturvariasjoner, trekk, og opplevd inneklime. Samuelsson & Lüddeckens har også beregnet energibruk og simulerte inneklimate for to av prosjektene. Resultatene mellom de to modellene varierer ikke mye, verken i form av energibruk, eller i form av oppvarming. Modellene indikerer at i teorien er varmeveksleren og en ekstraovn for kalde dager nok til å varme opp husene i løpet av vinteren. Resultatene fra spørreundersøkelsen viser imidlertid at noen beboere har hatt problemer med innetemperaturen om vinteren. Spesielt i et av de tre prosjektene rapporterer mer enn 50 prosent av beboerne at det er for varmt om sommeren og for kaldt om vinteren. Samuelsson & Lüddeckens (2009) mener at problemet med simuleringmodellen er at den ikke kan simulere virkeligheten på en tilstrekkelig måte og derfor ikke fanger opp hvordan temperaturen faktisk oppleves av beboerne. Dette ble også poengtert av Nicol & Roaf (2005).

Beboerne som var mest fornøyd med boligen, bodde i Frillesås (se også Jansson 2010). De hadde bare noen få negative kommentarer, for eksempel på trekk og støy fra ventilasjonsanlegget. Beboerne på Gumslöv var minst fornøyd. De kritiserte at de ikke kan justere temperaturen, og at værforholdene påvirker innetemperaturen. De rapporterer også temperaturforskjeller på 3 - 4°C mellom rom om vinteren. Ventilasjonsanlegget fungerte ikke tilstrekkelig eller fungerte ikke i det hele tatt, og derfor bruker de ekstra oppvarming om vinteren, noe som påvirker strømforbruket. Om sommeren er temperaturen ofte for høy.

Samuelsson & Lüddeckens (2009) reflekterer over hvorfor innetemperaturen oppleves så forskjellig i de tre bygningene. Deres hypotese er at konstruksjonssystemet kan være en årsak til forskjellen i opplevd innetemperatur. De tror at en tung konstruksjon, f.eks. betong og stål brukt i Frillesås og Oxtorget, fungerer som en bedre varmelagringsplass enn en lett konstruksjon som tre / aluminium som brukes i Gumslöv. En annen hypotese er at effekten av varmeenheter ikke er tilstrekkelig. Etter å ha testet begge hypotesene ved å gjennomføre simuleringer og beregninger, kunne de ikke bekrefte sine hypoteser. De konkluderer med at bygningene skal fungere uten å endre konstruksjonssystemet eller oppvarmingsenhet. De kan ikke gi et klart svar på hvorfor tilfredsheten med innetemperaturen er så forskjellig i disse to tilfellene. Ulempen med studien er at det mangler måledata som kan sees i sammenheng med beboernes subjektive opplevelser og simuleringen. Jansson (2010) har senere foretatt målinger i de samme leilighetene (se neste studie).

De diskuterer også flere andre aspekter som kunne forklare hvorfor romtemperaturen ikke oppleves på samme måte som simulert. Et aspekt de vurderte, er ventilasjonsviftenes beliggenhet på toppen av veggen. Dersom varm luft injiseres for sakte, kan det være en opphopning av varm luft under taket, mens gulvet forbli kaldt. Da vil oppfattet innetemperatur være lavere enn den målte temperaturen. Volumet av injisert varm luft er den samme for alle rom. Noen av rommene kan imidlertid trenge et høyere volum enn andre for å oppnå samme temperatur, grunnet færre elektriske apparater eller færre personer som bruker rommene.

Nye elektriske apparater bruker også mindre og mindre energi, noe som betyr at de også produserer mindre varme enn hva som kan legges til grunn i beregningene. Samuelsson & Lüddeckens diskusjon viser hvor vanskelig det er å forutsi inneklimateet nøyaktig gjennom simuleringer. Den viser også utfordring av subjektiv opplevd temperatur. (Nicol and Roaf 2005) sier at studier av termisk komfort viser at innendørs temperatur evalueres ulikt av beboerne. Evalueringene er kontekstavhengige og varierer over tid. Dette kan forklare forskjellen mellom opplevd komfort og simulert inneklimateet funnet av Samuelsson & Lüddeckens (2009). For å validere dette burde det allikevel tas målinger av både temperatur og luftveksling. Det understrekes også at disse problemene er ikke nye problemer som oppsto med passivhus.

Jansson (2010) har skrevet dr.avhandling om passivhus i Sverige. Hun hadde 4 caser, en enebolig i Lidköping, et boligprosjekt på Allingsås (rehabiliteret til passivhus) og som Samuelsson & Lüddeckens (2009), boligene på Frillesås og Oxtorget.

Jansson sammenligner målinger av innetemperatur over et år og beboernes tilfredshet med romoppvarming i de 4 prosjektene. Den opplevde innetemperaturen varierte mye mellom prosjektene og noen ganger også mellom leilighetene i prosjektene. Intervjuene ble gjennomført på ulike årstider noe som kan forklare variasjon i svarene. De fleste beboere som opplevde en for varm innetemperatur, brukte også mange elektriske apparater over en lang periode hver dag, noe som kan forklare at det var varmere i noen leiligheter enn andre. De beboerne som opplevde en lav innetemperaturen var for det meste stillesittende. Ønsket innetemperatur varierte mellom 20 og 23°C, men de fleste svarte at de ville ha en innetemperatur på 22 - 23°C.

For å redusere innetemperaturen åpnet beboerne vinduene og økte farten på vifta. Beboerne som opplevde at deres leiligheter ble altfor varm, sa at det ville være ønskelig å variere innetemperaturen mellom rom. For å øke innetemperaturen om vinteren hvis nødvendig, økte de temperaturinnstillingen på displayet og tok på ekstra klær. De fleste beboerne svarte at de ikke hadde opplevd leiligheten som for kald. De beboerne som har hatt det for kaldt, ønsket en "skikkelig" ovn og ikke kun luftoppvarming gjennom ventilasjon. Som også i Samuelsson & Lüddeckens (2009) viser Janssons (2010) funn at beboerne på Frillesås var veldig fornøyd med innetemperaturen. På Oxtorget ønsket 50 % av beboerne å ha det varmere om vinteren, mens de andre 50 % var fornøyd.

Jansson (2010) har funnet at korrelasjonen mellom målt innetemperatur i de fire prosjekter og svarene i intervjuene varierer. I (Allingsås) var det stor overensstemmelse. Den målte lave innendørs temperaturen i leilighetene i første etasjen er bekreftet i intervjuene akkurat som den målte høye innetemperaturen om sommeren i leilighetenes tredje etasje. I eneboligen i Lidköping er variasjonen av innetemperatur beskrevet av leietakerne akkurat som det ble målt; med lavest innetemperaturen på morgenen og en økning av innetemperaturen i løpet av dagen.

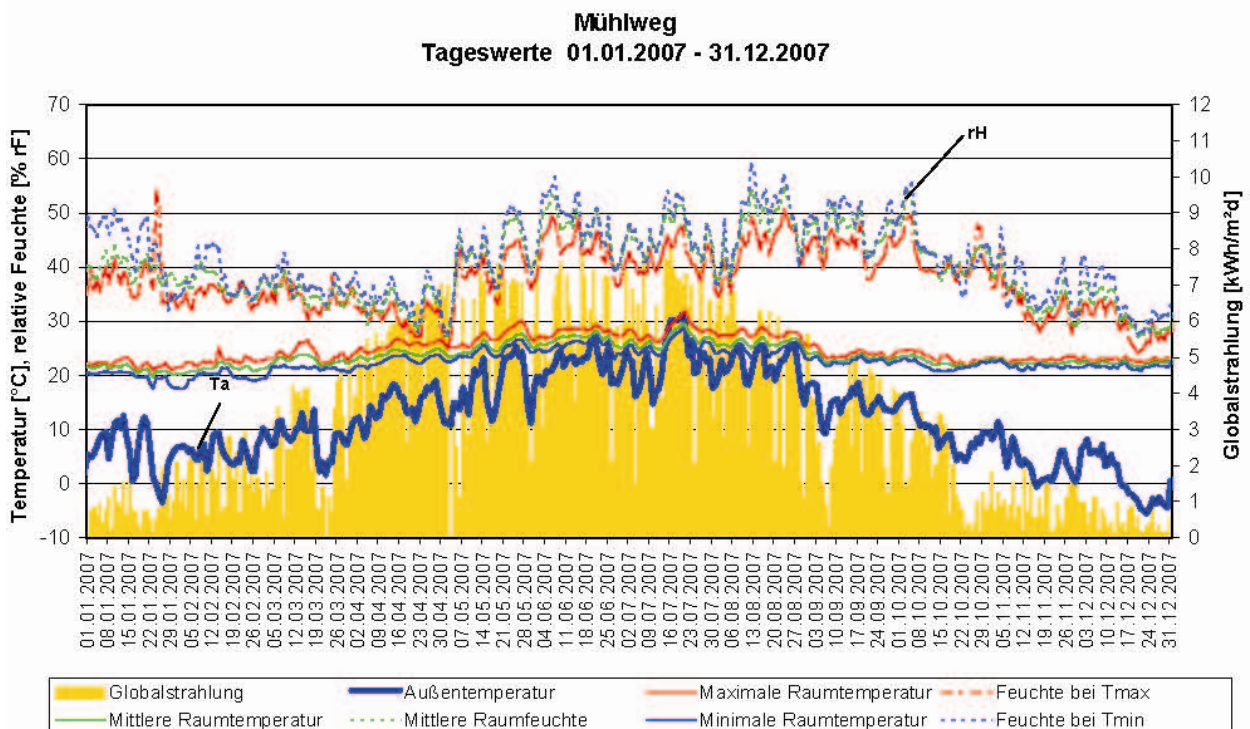
Jansson (2010) gjør også oppmerksom på kobling av ventilasjon og oppvarmingssystem er noe som krever nytenkning. Familien i eneboligen i Lidköping opplevde stor variasjon av innetemperatur mellom etasjene og rommene, noe som kan skyldes plassering av tilluftsenheter. Jansson (2010) nevner flere slike eksempler, og konkluderer med at ventilasjonsanlegget når det brukes som oppvarmingssystem, ikke kan planlegges som et vanlig ventilasjonsanlegg. Det må tas hensyn til at den oppvarmede luften når fram til alle rom med krav til termisk komfort.

Wagner et al. (2010) har etterprøvd flerfamiliehus (4 hus, 70 leiligheter) i Mühlweg i Wien, Østerrike. Husene i Mühlweg er oppført i tre / massivtrekonstruksjon og oppfyller passivhusstandard. Wagner et al. (2010) utførte målinger på oppvarmingsbehov, strømforbruk og "behagelighetsparameter" som omfatter innetemperatur om sommeren og vinteren, og antall timer definert som overoppheting ($t > 26^{\circ}\text{C}$). Målingene ble foretatt i to måleperioder, første året og andre året. Wagner et al. (2010) har også gjennomført en

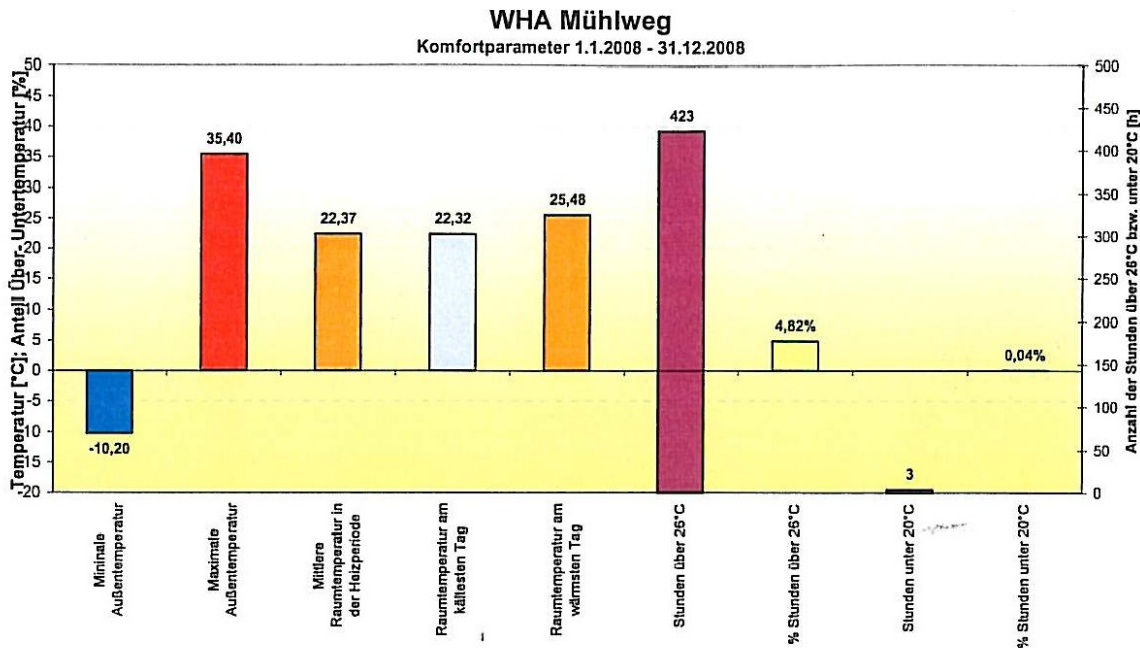
spørreundersøkelse (31 svar) og fem kvalitative intervjuer med beboere og ett kvalitativt intervju med driftsansvarlig. Resultatene fra målingene står delvis i kontrast til tilfredshetsundersøkelsen blant beboerne.

Resultatene viser at maksimalromtemperatur i andre måleperioden var 28°C. Over hele måleperioden var temperaturen over 26°C i 4,8 % av årets timer (ca. 440 timer/år), noe som beskrives som et veldig bra resultat i denne studien. I Norge er kriteriene strengere. TEK 10 krever at ikke mer enn 50 timer per år overstiger 26°C. Utetemperaturen i Norge er gjennomsnittlig lavere enn i Østerrike. Det kan også være en forklaring hvor det aksepteres flere timer/år med innnetemperaturer over 26°C enn i Norge. Målt romtemperatur ble sett i sammenheng med målt utetemperatur i Wagner et al (2010) Målt romtemperatur på den varmeste dagen (utetemperatur på 36,4°C) var 26,48°C. Variasjonen mellom husene var større i første måleperioden enn i andre. Under første måleperiode lå gjennomsnittlig romtemperatur på 23,9°C og i andre måleperiode på 23,3°C.

Generelt er nesten alle beboere tilfredse med leiligheten og flere sier også at leiligheten har et veldig behagelig innneklima. Det rapporteres allikevel problemer med at det er for varmt / for kaldt om sommeren / vinteren. Beboerne mener at for lav romtemperatur om vinteren skyldes utilstrekkelig kapasitet for oppvarming gjennom ventilasjonsanlegget (Lüftungsanlage). Det ble ikke målt romtemperatur under 20°C om vinteren, men de fleste studiene fant at beboerne foretrekker innnetemperaturer mellom 22-23°C (feks. Jansson 2010). Om sommeren bruker beboerne solavskjermingen aktivt for å beskytte seg mot overoppheting, noe de ikke alltid lykkes med. Selv om beboerne ikke alltid opplevde temperaturen som behagelig, konkluderer rapporten med at verdiene som ble målt er gode og oppfylder behagelighetskravene (ikke romtemperatur under 20°C på vinteren, og få timer gjennom året over 26°C).

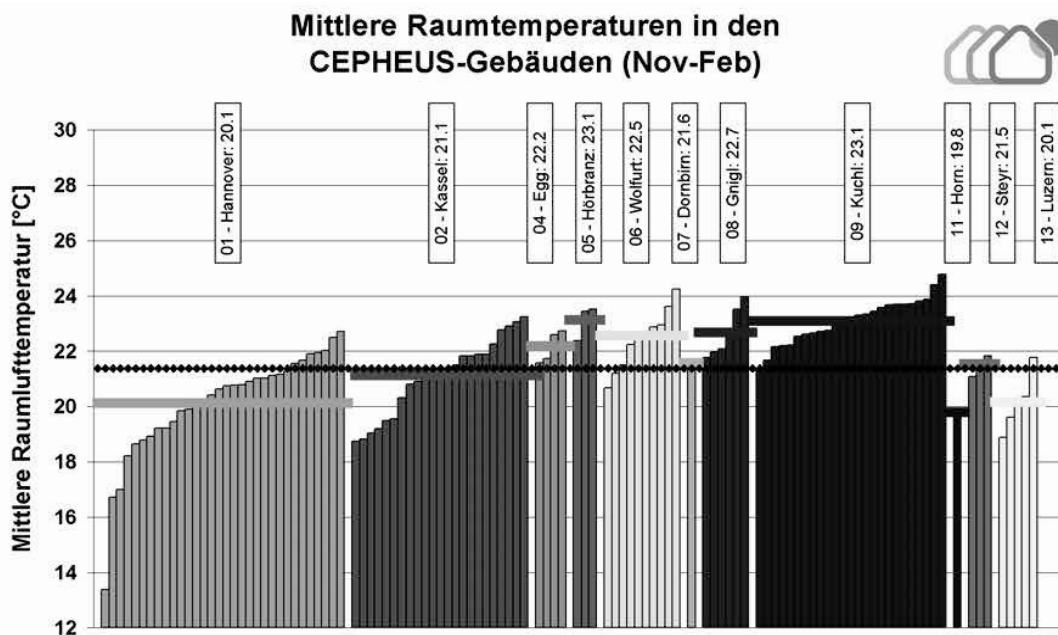


Figur 4: Romtemperatur og utetemperatur første målåret (blått, tykk linje: utetemperatur, rødt, grønn, blått, grått: innnetemperatur i leilighetene, gult: stråling, stiplede linjer: luftfuktighet)



Figur 5: Oversikt over temperaturdata (venstre til høyre: min. utetemp, maks. utetemp., gjennomsnittlig romtemp. I oppvarmingsperioden, romtemp. Kaldeste dag, romtemp. Varmeste dag, timer per år over 26°C, timer under 26°C, timer under 20°C, prosent timer under 20°C)

Schnieders og Hermelinks (2006) studie handler om målinger og brukerundersøkelser i 100 leiligheter i Tyskland, Østerrike og Sveits oppført på passivhusnivå. Undersøkelsene ble gjennomført innenfor EU-prosjektet CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standard). Artikkelen presenterer målt innetemperatur i CEPHEUS prosjektene. Figur 6 viser gjennomsnittlig innetemperatur om vinteren. Den svarte linjen viser gjennomsnittstemperaturen som ligger på ca. 21,5°C.

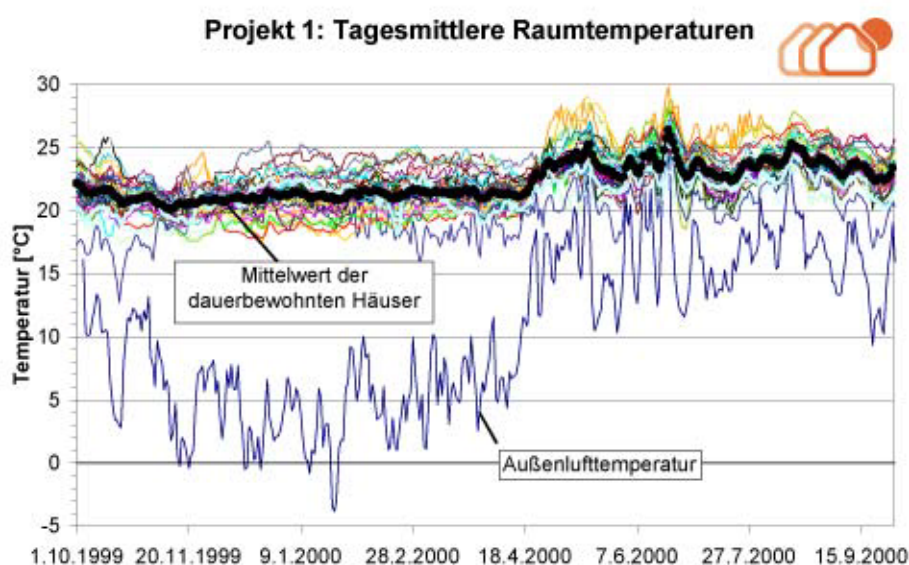


Figur 6: gjennomsnittlig vinter romtemperatur i CEPHEUS prosjektene (nov-feb)

De fleste beboerne hadde satt temperaturen på 21 – 22°C, men hele spennet lå mellom 17-25°C for de bebodde leilighetene (målt temperatur under 17°C er i ubebodde leiligheter). Målt sommertemperatur viser at det bare på enkelte dager ble målt høyre innetemperatur enn 27°C. Mer detaljerte undersøkelser ifm CEPHEUS-prosjektet viser også at beboerne har stor innflytelse på innendørstemperaturen om sommeren gjennom bevisst lufting og bruk av solavskjerming. Dette er nærmere beskrevet i Peper, Feist, and Kah (2001).

Schnieders & Hermelink (2006) går i dybden i ett av CEPHEUS prosjektene, to flerefamiliehus i Kassel (17 og 23 leiligheter) i Tyskland, bygd som sosialboliger. De har gjennomført en omfattende beboerundersøkelse og intervjuet nesten alle beboere (84,2 % i det ene bygget og 92,3 % i det andre). Til forskjell fra vanlige varmekilder skjer oppvarmingen gjennom ventilasjonssystemet langsommere enn det beboerne var vant til. Før den første vinteren var flere beboere bekymret for om oppvarming gjennom ventilasjonsanlegget ville være tilstrekkelig. At det ikke fantes vanlige ovner ble forstått slik at det ikke fantes en varmekilde. Denne skepsisen har gitt seg etter den første vinteren, og tilfredshet med oppvarmingen var på 4,7 på en skala fra 1-6. Temperaturen som beboerne beskriver som akkurat passe, varierer mellom 19,4 – 24°C. Målt gjennomsnittstemperatur var 21,5°C.

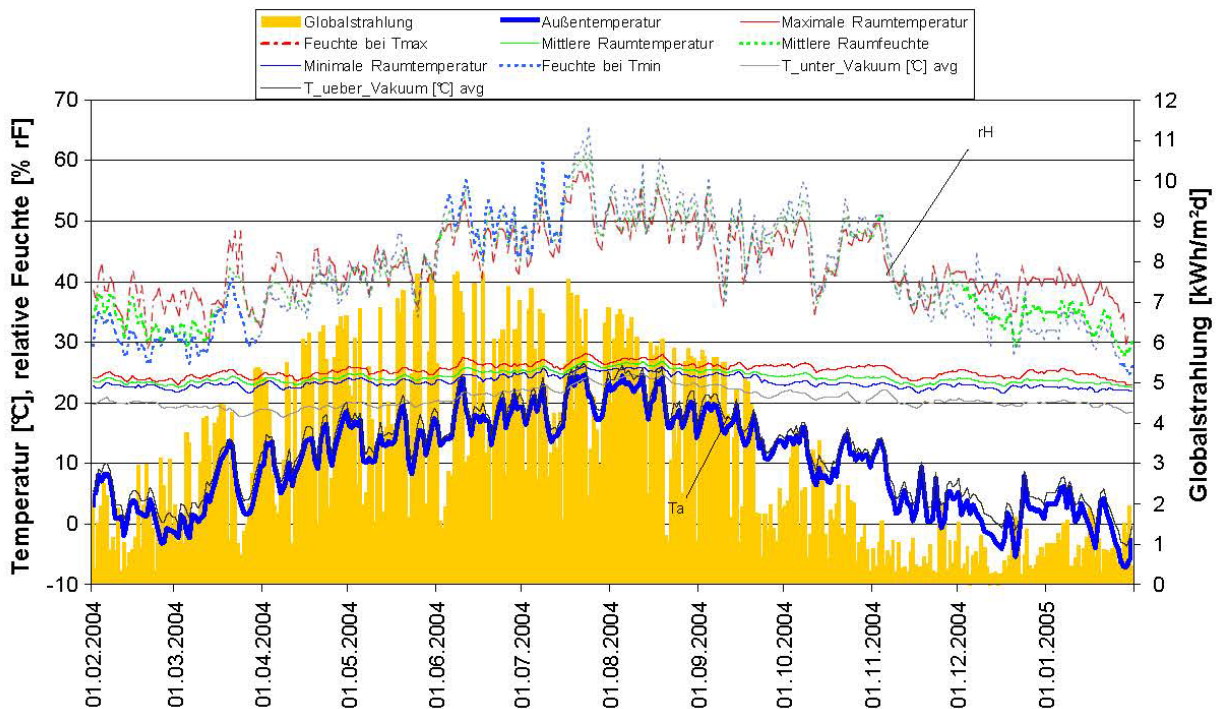
Peper, Feist & Kah (2001): Undersøkelsen oppsummerer målinger fra 32 passivhus i Hannover-Kronsberg. Husene sto ferdig i slutten av 1998. Målingen ble foretatt mellom 1999 og 2001. Temperaturmålingene viser 21,1°C som gjennomsnittelig innetemperatur om vinteren. Temperaturen viste seg å være stabil også på dagene med kaldest utetemperatur. Det var også lite variasjon mellom overflatetemperatur og lufttemperatur i leilighetene, noe som vanligvis oppfattes som behaglig. Innetemperaturen holdt seg over lavest akseptabel innetemperatur på 19°C (DIN 4108/Teil 6). Også innetemperaturen om sommeren viste seg å være innfor det som beskrives som komfortabel. På den varmeste dagen lå gjennomsnittsverdien på innetemperatur på 25,7°C (sommerkomfortgrense definert som 26°C). Det var kun mellom 1 og 4 dager det ble målt høyre temperatur enn 26°C, spesielt i de øverste etasjene. Overopphetingsprosenten beregnes dermed til 1,1 % av timene om sommeren. Det er såpass lite at innetemperaturnivået beskrives som veldig komfortabelt om sommeren. Den individuelle leilighetstemperaturen varierte mellom +/- 2°C fra gjennomsnittstemperaturen for alle de målte leilighetene. Det tyder på at individuell brukeratferd, som bruk av solavskjerming, vinduslufting, og bruk av elektrisk utstyr (avgir varme) har mye å si for innetemperaturen.



Figur 7: Gjennomsnittlig romtemperatur i leilighetene (svarte linje: gjennomsnitt for alle leilighetene, blått: utetemperatur).

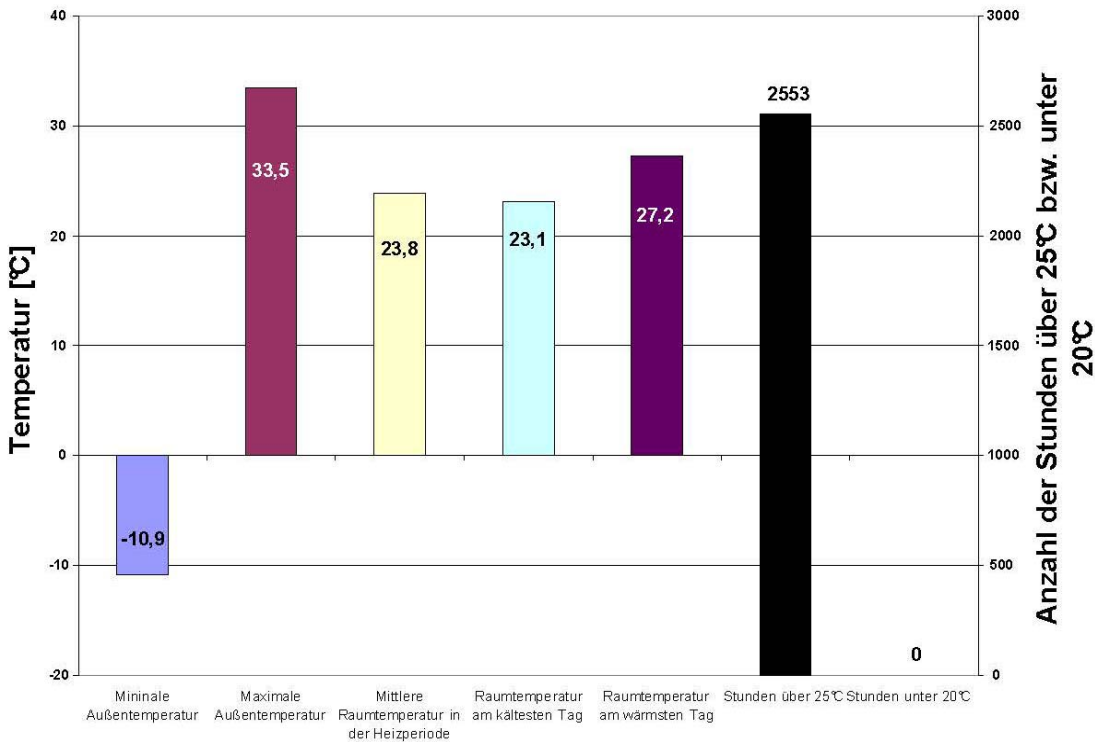
Den tykke, svarte linjen (fig. 7) viser gjennomsnittstemperaturen i de bebodde husene. Om vinteren, når vinduene stort sett er lukket, er temperaturen stabil. Interessant er det også å se på avvikene som kan forklares gjennom beboernes adferd. Ett soverom i en leilighet viser stor avvik fra de andre. Den lave temperaturen på 12°C målt på høsten 1999 tyder på at vinduet sto åpen samtidig som utetemperaturen falt betraktlig. Romtemperaturen i dette rommet er konstant lavere enn i de andre rom/leiligheten, unntatt på de kaldeste dagene om vinteren. Det tyder på at soveromsvindu var lukket i den kaldeste perioden. Et annet eksempel er unormal høy innetemperatur i en leilighet om sommeren. Oversikten over oppvarmingsbehovet viser at beboerne i denne leiligheten hadde varmen slått på også på sommeren.

Wagner & Jähnig (2007) har undersøkt energibruk og inneklimateforhold i et passivhus med 5 leiligheter i Solarcity Linz, Østerrike. De har både tatt målinger og undersøkt bruken av og tilfredshet med husene. Komfortparametere som romtemperatur og relative luftfuktighet ble kartlagt og sett i sammenheng med utendørsparametrene. Hver leilighet er utstyrt med balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Romtemperaturen i første året var alltid over 20°C. Om sommeren lå gjennomsnittlig romtemperatur ofte over 25°C (fig. 8).



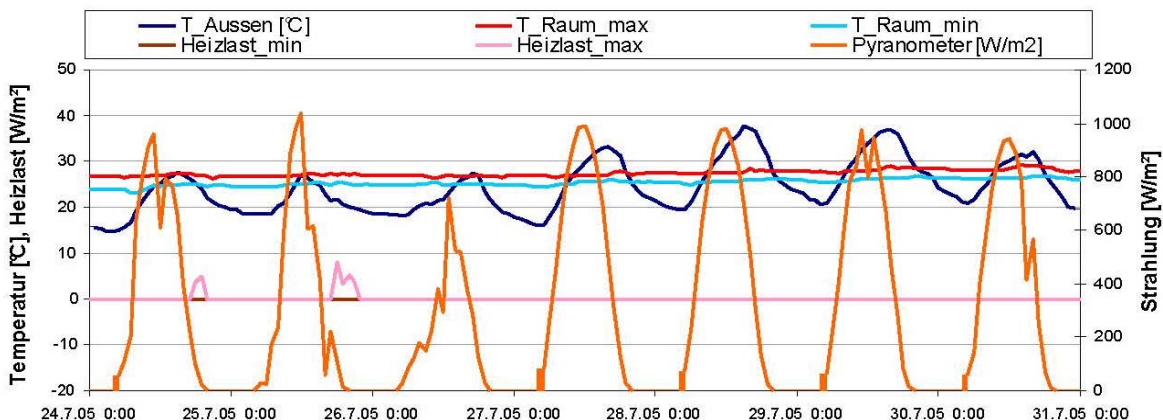
Figur 8: Inneklimate Solarcity Linz første mål-året feb 2004 – jan 2005. (blått, tykk linje: utetemperatur, rødt, grønn, blått, grått: innetemperatur i leilighetene, gult: solinnstråling, stiplede linjene: luftfuktighet)

Nest figur (fig. 9) viser målt gjennomsnittlig innetemperatur ved varmest og kaldeste dag, i tillegg antall timer over 25°C og under 20°C gjennom hele året. Ingen timer under 20°C ble målt. Antall timer over 25°C var relativt høyt (2553 timer) og det ble målt 400 timer over 25°C under oppvarmingsperioden. Det betyr at beboerne har varmet opp leiligheten til innetemperaturer over 25°C i perioder om vinteren. På den varmeste dagen, med en utetemperatur på 33°C, ble det målt en innetemperatur på 27,2°C som ikke er spesielt varmt i forhold til utetemperaturen. På den kaldeste dag, med en utetemperatur på -10,9°C, lå innetemperaturen fortsatt på relativ varme 23,8°C. Forfatterne kommenterer den høye gjennomsnittlige innetemperaturen. De fant ut at under oppvarmingsperioden på vinteren lå gjennomsnittlig romtemperatur i alle leilighetene på nesten 24°C. Målinger ble også tatt gjennom andre året, og temperaturene er nesten helt identiske med det første året.



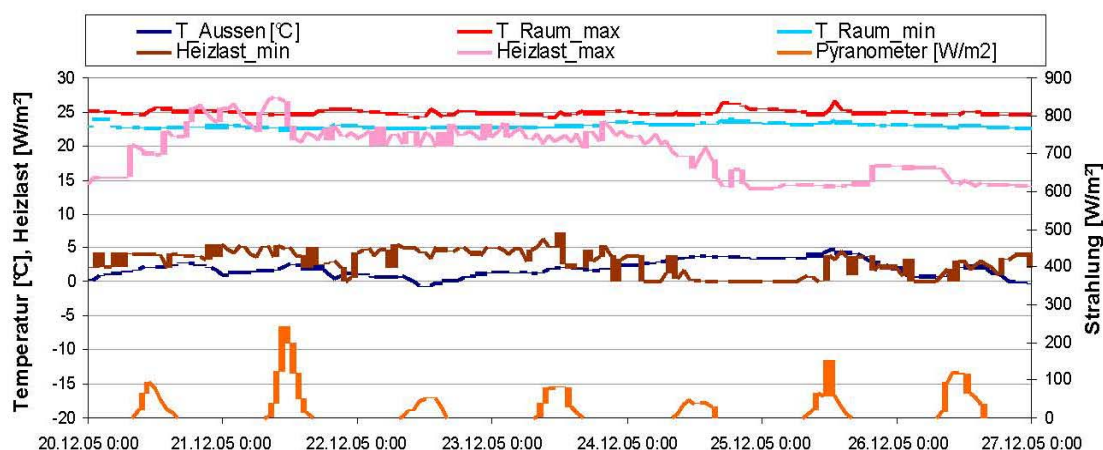
Figur 9: Temperaturfordeling over året. Tekst fra høyre til venstre: minimal utetemperatur, maks. Utetemperatur, midles romtemperatur (oppvarmingsperiode), romtemperatur kaldeste dag, romtemp. Varmeste dag, timer over 25°C, timer under 20°C.

Figur 10 viser temperaturfordeling i en varm og solrik uke om sommeren. Romtemperaturen ligger nesten ikke over målt vintertemperatur. I to leiligheter ble det til og med slått på ovn på to av dagene. Ellers er temperaturen overraskende konstant. Forfatterne sier at det tyder på at de passiv-solare gevinstene kan holdes ønskelig lavt også på en varm og solrik sommerdag. Dette må enten skje gjennom solavskjerming eller termisk masse.



Figur 10: Ute- og innetemperatur på en varm og solrik sommerdag (rødt: innetemperatur leilighet maks, lyseblått: innetemperatur leilighet min., brun: oppvrming min., rosa: oppvarming maks, mørkeblått: utetemperatur, oransje: solinnstråling)

Figur 11 viser er overskyet vinteruke. Romtemperaturen er stabil og nesten på samme nivå som under sommeruken.



Figur 11: Ute- og innetemperaturen på en overskyet uke om vinteren (rødt: innetemperaturen leilighet maks, lyseblått: innetemperaturen leilighet min., brun: oppvarming min., rosa: oppvarming maks, mørkeblått: utetemperatur, oransje: solinnstråling)

Beboerundersøkelsen består av et spørreskjema til alle 5 leilighetene, (beboerne er mellom 30 og 50 år, noen har barn) pluss dybdeintervjuer med 2 av de 5 beboerne. Resultatene fra spørreskjemaet viser at beboerne opplever oppvarmingsmulighetene som ikke tilfredsstillende. To husholdninger kommenterer at det har vært problemer med oppvarmingssystemet og solfangerne til varmtvannforsyning. Alle beboerne har satt temperaturen på luftoppvarmingen på et relativt høyt nivå, to leiligheter hadde satt den til hele 28°C, én på 26°C, én på 24°C, og én på 22°C. Når beboerne ble spurt hvorfor de satt temperaturen så høyt svarer alle at en innetemperaturen på 20-21°C kan kun oppnås ved å stille temperaturen så høyt. Dette står i motsetning til målingene som viste at temperaturen ikke lå under 20°C. Alle beboere sier at temperaturen i leilighetene er for lav og at oppvarmingssystemet har ikke fungert skikkelig. 20°C er ikke opplevd som tilstrekkelig i alle rom, for eksempel på arbeidsrommet hvor man sitter stille eller i barnerom.

I et intervju med arkitekten og energirådgiveren sier de at målingene ble tatt med måleapparater av høy kvalitet og at de stoler på resultatene. De påpeker også at bruk av leiligheten har noe å si. De så at noen beboere har stengt solavskjermingen om dagen og dermed ikke fått nytte av de passive solargevinstene. Arkitekten og rådgiveren var på besøk og opplevde leilighetene som overoppvarmet. Studien konkluderer med at avviket mellom målt og opplevd temperatur ikke kunne forklares vitenskapelig. Det er en åpen diskusjon om det har noe med en relativt åpen planløsning å gjøre, hvor varm luft stiger opp i de øvre etasjene. Arkitekten og energirådgiveren sier også at det har vært problemer med justering av temperaturen i innkjøringsfasen, noe som kan forklare beboernes dårlige opplevelser. Dette kan alltid være en utfordring i nye hus. Arkitekten oppfordrer allikevel til å utstyre også passivhusleiligheter med tilstrekkelig oppvarmingsmuligheter, slik at forskjellige komfortbehov kan oppfylles. Husholdningene ble kontaktet igjen ett år senere og tilfredsheten med oppvarmingssystemet hadde økt betraktelig.

En Rapport utgitt fra **Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie i Østerrike (Bmvit, 2011)** sammenligner resultatene fra målinger gjennomført i 5 passivhusboliger i Østerrike som ble bygd innenfor programmet "Haus der Zukunft". Alle prosjektene er flerefamiliehus med 30 – 140 boliger per prosjekt. Noen av prosjektene har også blitt belyst i andre rapporter (se Treberspurg & Smutny 2009, Keul 2010, Wagner et al. 2010). Prosjektene ble evaluert gjennom bruk av kvantitative målinger og kvalitative sosialvitenskapelige studier. I en sammenligning med 60 andre demonstrasjonsbygninger ved bruk av et

evalueringsverktøy (Total Quality Bauen, TQB 2004) scorer de 5 prosjektene på et høyt nivå (4 av 5 mulige poeng). Undersøkelsen TQB har ikke blitt referert til i detalj.

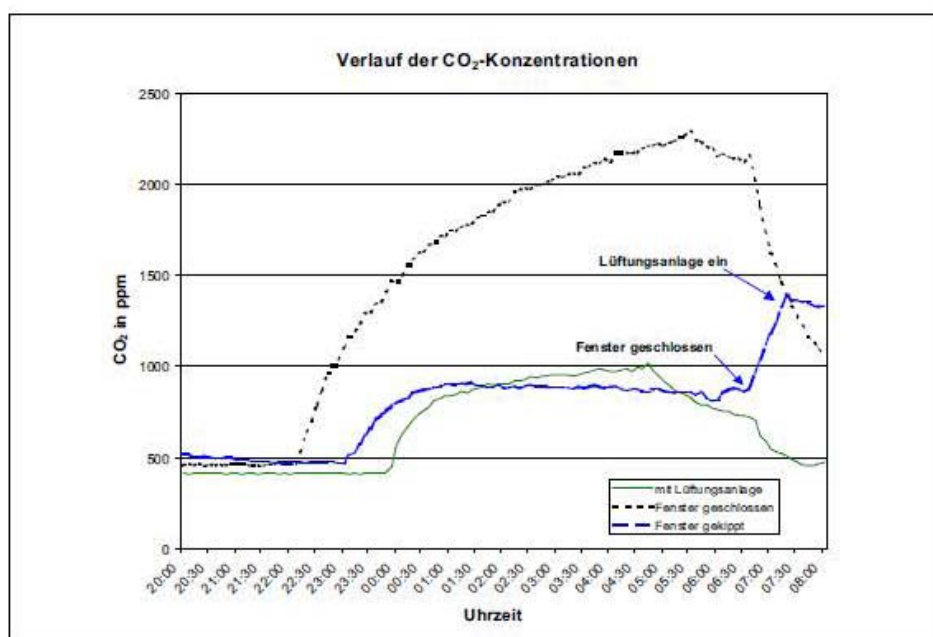
Avsnittet om målt temperatur viser at gjennomsnittlig temperatur for alle leilighetene i hvert prosjekt. Temperaturen ligger ikke under 21°C i noen av prosjektene. To av prosjektene har en litt høyere gjennomsnittstemperatur enn de andre tre prosjektene. Forfatterne mener at det virker å være en utfordring å utnytte passiv-solar energibruk samtidig som å sikre solavskjerming når det behøves.

Oppsummerende skriver forfatterne at beboerne var fornøyde med boligen og inneklima i leiligheten. I noen av prosjektene har det allikevel vært problemer med overoppheting, noe som ikke kan knyttes til oppvarmingssystemet gjennom ventilasjon. I følge rapporten skyldes overopphetingen faktorer som store glassflater, leilighetenes orientering eller ikke tilfredsstillende type solavskjerming. Det er faktorer som bør tas hensyn til allerede i planleggingsfasen. Forfatterne skriver også at de gjennom deres arbeid har sett en endring av komforttemperaturen over årene. I tidligere gjennomførte undersøkelser ble en innendørs-temperatur på 20°C vinterstid oppfattet som komfortabel, i dag vil folk helst ha 22°C.

Berndgen-Kaiser, Fox-Kämper & Holtmann (2010) gjennomførte i 2005 en spørreundersøkelse i Nordrhein-Westfalen (delstat i Tyskland) for å kartlegge byggkostnader, energimessig kvalitet, inneklima og brukertilfredshet for 220 passivhusboliger. Boligene var bygget i perioden 1999 til 2005. Det ble konstatert en meget høy brukertilfredshet. Inneklima og termisk komfort om vinteren ble vurdert meget positivt. Omtrent 95 % av beboerne definerer temperaturforholdene om vinteren som behagelig. Det ble registrert problemer med overoppheting i sommermånedene, som i hovedsak skyldtes manglende solskjerming. 38 % av beboerne klager over for høye temperaturer om sommeren.

3.2 Atmosfærisk miljø

Rohregger et al. (2004) definerer luftkvalitet i boligen gjennom alle ikke-termiske aspekter som har innflytelse på beboernes velvære og helse. Høy luftkvalitet defineres gjennom lav andel skadelige stoffer i luften. Videre er CO₂-innholdet av luften en indikator for luftkvaliteten. Etter Pettenkofer, allerede fra 1858, skal ikke CO₂-konsentrasjonen i rom overskride 1000 ppm. Denne grenseverdien blir også lagt til grunn i dag, for eksempel fra Institutt for folkehelse og Arbeidstilsynet (CO₂-konsentrasjon i frisk luft utendørs varierer men ligger rundt 3-400 ppm). Rohregger et al. (2004) viser utviklingen av CO₂-konsentrasjon på ett soverom gjennom natten med a) balansert ventilasjon, b) lukket vindu, c) vindu på gløtt.



Figur 12: CO₂-konsentrasjon på ett soverom på tre ulike dager med a) balansert ventilasjon (grå kurve), b) lukket vindu (stiplet kurve) og c) med vindu på gløtt (blå kurve).

Figur 12 viser at ved lukket vindu ligger CO₂-konsentrasjon over 1000 ppm allerede etter 2 timer. Med vindu på gløtt og balansert ventilasjon kan konsentrasjonen holdes under 1000 ppm gjennom hele natten. Den blå kurven viser også at CO-konsentrasjon øker momentant når vinduet ble lukket (rundt kl 7:00).

Doppelbauer & Mahdavi (2010) har i tillegg til termisk komfort målt CO₂-nivået i husene og gjennomført en spørreundersøkelse blant beboere i lavenergi- og passivhusene i Wien. Hensikten var å undersøke brukernes tilfredshet med luftkvalitet og med de tekniske installasjonene. Når det gjelder brukerundersøkelser, så var antall spurte personer få (5 personer som bodde i passivhusleiligheter og 6 personer som bodde i leiligheter), så resultater gir kun et begrenset innblikk.

Målingene viser at CO₂-nivået stort sett ligger innenfor akseptable grenser for alle leilighetstyper (27 passivhus og 27 lavenergihus), kun én ligger deler av tiden på verdier over Pettenkofer-grensen på 1000 ppm. CO₂-nivået i passivhusleiligheter ligger generelt noe lavere enn i lavenergihusleiligheter, og hyppigheten av høye CO₂-nivåer er mye lavere i en passivhusleilighet enn i en lavenergieilighet. Noen klaget over lav luftfuktighet i passivhusleiligheter om vinteren, mens noen beboere i lavenergieiligheter syntes luftfuktigheten var for høy om vinteren. Særlig i måneder med lave utetemperaturer når vinduene i lavenergi boliger holdes mer lukket, viser det seg at CO₂-nivået er lavere i passivhusleiligheter enn i lavenergieiligheter, noe som har sin årsak i bruken av det balanserte ventilasjonsanlegget i passivhus.

Isaksson & Karlsson (2006) har målt luftfuktighet og luftskifte i lavenergiboligene på Lindås. Luftfuktigheten i alle rom ble loggført i et ubebodd testhus. Utendørs relative luftfuktighet på målingstidspunktet i oktober lå på 30 %. Innendørs ble det målt luftfuktighet mellom 32 -33 %, dvs luften var relativt tørr på målingstidspunktet (studien definerer 40 % - 60 % som normalt). Det ble også målt luftfuktighet på badet i 5 bebodde hus. Resultatet viser 38 - 50 %. Forfatterne går ut i fra at de andre rommene i huset har lavere luftfuktighetsnivå enn badet, noe som indikerer at relative luftfuktighet i husene er antatt lav. Allikevel sier mange av beboerne at de opplever luftkvaliteten som god.

Kah et al. (2010) har gjennomført en sammenligning av eldre boligblokker som ble rehabilitert henholdsvis til lavenergi- og passivhusnivå. I årene 2005/2006 ble det gjennomført en totalrehabilitering av to konstruksjonsmessig like boligblokker i Ludwigshafen i Tyskland. Byggene var opprinnelig bygget i 1965 med tre etasjer og med 12 leiligheter i hver blokk. Den ene blokken ble rehabilitert til passivhusnivå med et balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning. Oppvarming skjer via ettervarme av ventilasjonsluften, kun på badet var det installert en radiator i tillegg. Den andre blokken ble rehabilitert til lavenerginivå. Når det gjelder reduksjon av kuldebroer og luftlekkasjer, ble de samme detaljene som i passivhusrehabiliteringen brukt. Isolasjonsverdier for vegger og vinduer er ikke like bra som i passivhusrehabiliteringen. I lavenergihusene ble det ikke installert et balansert ventilasjonsanlegg. Luftskifte må skje ved vinduslufting.

Begge blokkene ble undersøkt vinteren 2009/2010 over en periode på to måneder med hensyn til luftskifte. Når det gjelder blokkene med vinduslufting ble det gjennomført indikatorgass-målinger som grunnlag for beregning av luftmengder. Målingene vist at vindusinnretninger som solskjerming og forheng har en betydelig innflytelse på luftskifte. For blokkene med vinduslufting ble det konstatert et meget varierende luftskifte, med forskjeller opp mot en faktor 10. Som middelverdi ble det estimert luftskifte mellom $0,18 \text{ h}^{-1}$ og $0,33 \text{ h}^{-1}$. I passivhusboligene med mekanisk balansert ventilasjon ble det beregnet et luftskifte på $0,48 \text{ h}^{-1}$.

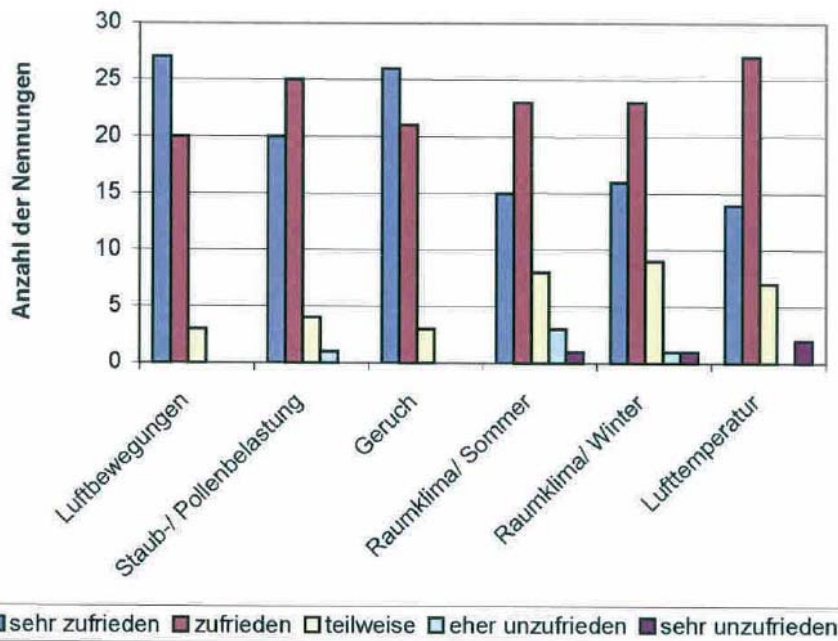
Målinger av luftkvalitet viser tydelig bedre verdier i boligene med balansert ventilasjon. I boligene med vinduslufting var det lav luftkvalitet i snitt 70 % av tiden ($\text{CO}_2 > 1400 \text{ ppm}$), i boligene med balansert ventilasjon 34 % av tiden. I tider ved typisk tilstedeværelse, f.eks. om natten, er det lav luftkvalitet 81 % av tiden i boligene med vinduslufting og 44 % av tiden i boliger med balansert ventilasjon. Det ble konstatert til dels for lave luftmengder i boliger med balansert ventilasjon i forhold til planlagt luftmengde. Undersøkelsen tyder på at en såkalt naturlig ventilasjon (vindus-/ventillufting) i praksis fører til et lavere luftskifte enn det som kreves for å opprettholde en tilstrekkelig luftkvalitet. Det konkluderes med at en ved dagens byggemåte i det minste bør ha mekanisk avtrekksventilasjon for å sikre et godt inn klima.

Wagner & Jähnig (2007) har undersøkt energibruk og innklimaforhold i ett passivhus med 5 leiligheter i Solarcity Linz, Østerrike. Målt relative luftfuktighet om vinteren var på 30-40 %, noe som beskrives som relativt lavt av forfatterne.

Beboerundersøkelsen og målinger viser at beboerne nesten ikke lufter gjennom vinduer om vinteren. Luftskifte gjennom første vinter lå på 0,5 omskiftninger per time (h^{-1}) mens den gjennom andre vinteren lå bare på $0,25\text{-}0,35 \text{ h}^{-1}$. Forfatterne mener at det tyder på at beboerne har nedjustert utlufting, antakeligvis for å redusere opplevd trekk. Om sommeren var tallene mellom $0,4\text{-}07 \text{ h}^{-1}$.

Van Dongen og Steenbekkers (1993) i **Ginkel & Hasselaar (2006)** undersøkte brukervaner med hensyn til ventilasjon. De fant ut at ved utetemperaturer rundt null blir vinduer og tilluftsventiler holdt lukket hele natten i 90 % av soverommene. Selv ved utetemperaturer over $13 \text{ }^\circ\text{C}$ holdes tilluftsåpninger lukket for over 50 % av soverommene.

Fraunhofer-Instituttet har etterprøvd 78 passivhusboliger bygget i året 2000 for å vurdere energibruk og brukertilfredshet (Gölz 2003, i **Dehli et al. 2004**). Når det gjelder brukertilfredshet, gikk dette spesielt på tilfredshet med ventilasjonsanlegget, som også ble brukt til oppvarming. Kriterier var luftbevegelser, støv-/pollenbelastning, lukt, sommerkomfort, vinterkomfort og lufttemperatur. Størsteparten av beboere var meget fornøyd eller fornøyd, som vises i diagrammet nedenfor.



Figur 13: Brukertilfredshet med ventilasjonsanlegget (luftbevegelse/trekk, støv + pollen, lukt, romklima sommer, romklima vinter, lufttemperatur)

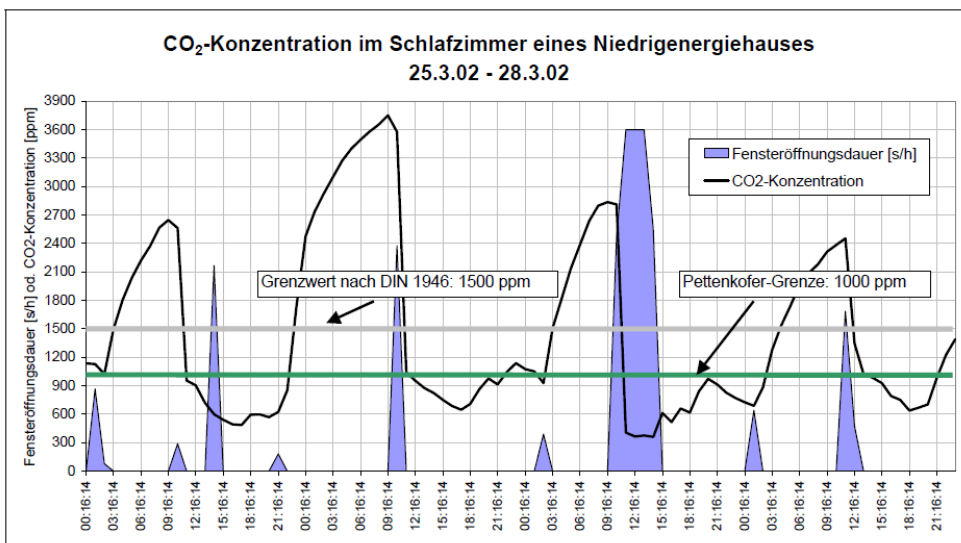
Dehli et al (2004) gjennomførte en brukerstudie i et lavenergiboligkompleks i Leipzig, som ble bygget 1994 til lavenergistandard for å vurdere aksept for lavenergiteknologier. 28 like boliger ble undersøkt. For å ha et sammenligningsgrunnlag, ble det mekaniske ventilasjonsanlegget i to av boligene slått av i måleperioden. Beboerne benyttet seg da av vinduslufting. Brukerundersøkelser viser at beboere i boliger med mekanisk ventilasjon ikke dropper vinduslufting fullstendig, men av forskjellige årsaker supplerer luftskifte vha. vinduslufting, f.eks. pga. behov for kjølig luft på soverommet. Dehli et al. (2004) har også målt bakterie- og soppbelastning i boligkomplekset i Leipzig. Husene er utstyrt med forskjellige typer ventilasjon, hvorav to hus er kun ventilert gjennom tradisjonell vinduslufting, et hus har kun avtrekksventilasjon, de andre er utstyrt med balansert ventilasjon. Resultatene viste en reduksjon på omtrent 70 % i boligene med både avtrekks- og balansert ventilasjon i forhold til boligene med kun vinduslufting og uten ventiler. Det ble ikke avdekket kilder til mikrobiologisk belastning i noen av ventilasjonsanleggene i boligene.

Når det gjelder frykten for biologisk vekst i ventilasjonsanlegg i passivhus, presiserer **Krapmeier (2006)** at det balanserte ventilasjonsanlegget i passivhus ikke må forveksles med klimaanlegg, som delvis er omluftbaserte og hvor mangler i drift og vedlikehold har ført til dårlig inneluft og helseplager. Vinduslufting vil på grunn av en vesentlig kortere fyringssesong kunne benyttes i passivhus lengre utover høsten og tidligere om våren enn i et konvensjonelt hus.

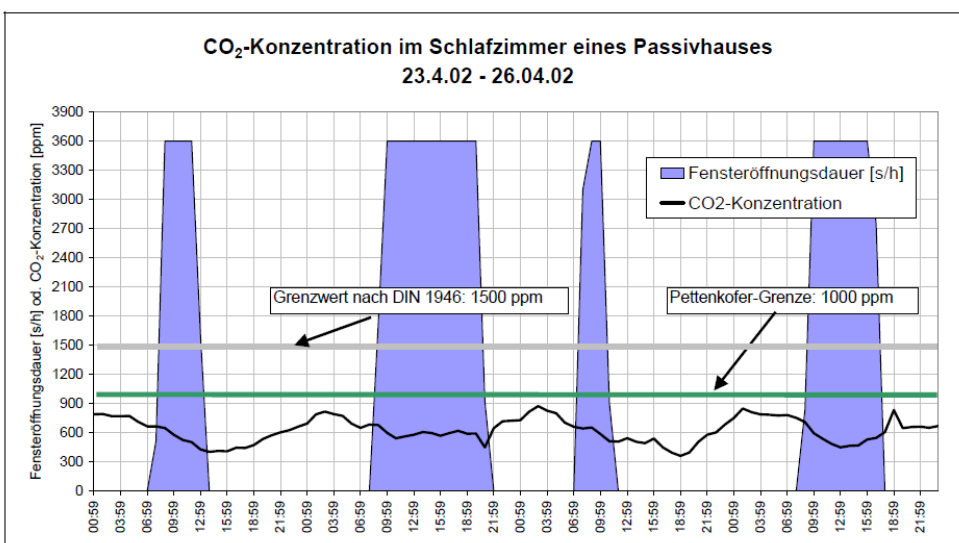
Ebel et al. (2003) undersøkte 24 lavenergiboliger og 22 passivhus i Wiesbaden, Tyskland. Det som i hovedsak skiller lavenergiboligene fra passivhusboligene er valg av vinduer og ventilasjonsprinsipp. I lavenergiboligene ble det installert avtrekksventilasjon med fuktstyrte tilluftsventiler i vinduer. I passivhusboligene ble det installert et balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning.

Spørreundersøkelsene viste at alle beboere i *passivhusene* benyttet seg av ventilasjonsanlegget. Både tilbakemelding fra beboere og sporgassmålinger viser at ventilasjonsanlegget gir god luftkvalitet. I *lavenergiboligene* med avtrekksventilasjon og fuktstyrte tilluftsventiler ble det avdekket meget lave luftmengder som særlig om vinteren med lav luftfuktighet ikke var tilstrekkelig til å sikre en tilfredsstillende luftkvalitet. I tillegg var det lokale luftskifte i oppholdsromene lavere enn i boliger med balansert ventilasjonsanlegg.

I figurene 14 og 15 vises målte CO₂-konsentrasjoner for soverom i henholdsvis en lavenergi- og passivhusbolig. I lavenergiboligen ble det målt CO₂-verdier på over 3600 ppm, som ligger langt over anbefalte grenseverdier, mens for passivhusboligen lå CO₂-nivået kontinuerlig under 1000 ppm.

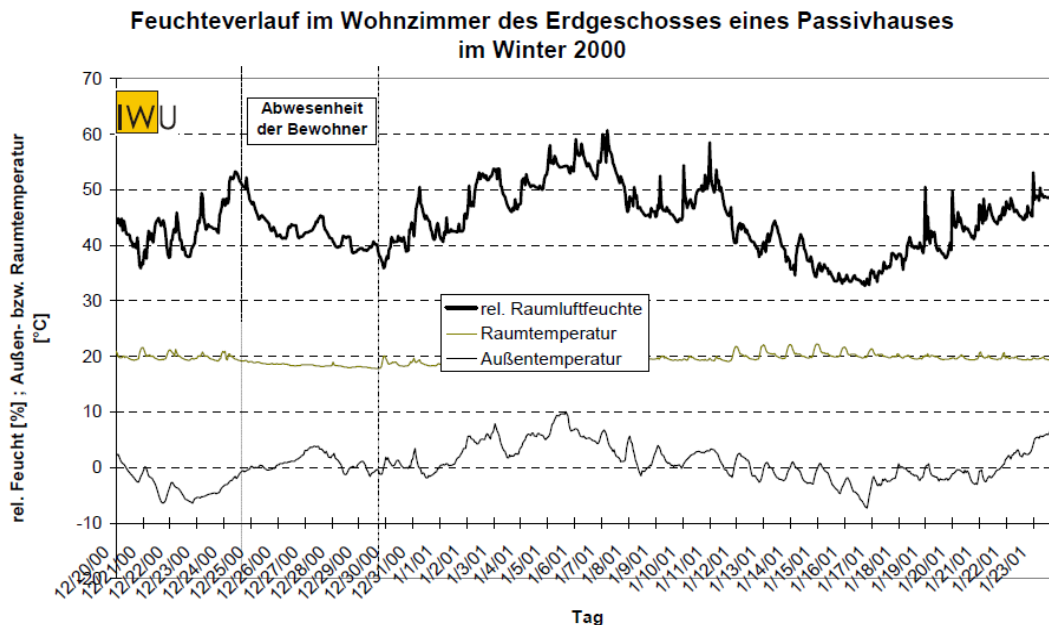


Figur 14: CO₂-konsentrasjon på soverommet i en lavenergibolig med fuktstyrt avtrekksventilasjon (svart kurve viser CO₂-konsentrasjon, lilla felter viser perioder for vinduslufting)



Figur 15: CO₂-konsentrasjon på soverommet i en passivhusbolig med balansert ventilasjon (svart kurve viser CO₂-konsentrasjon, lilla felter viser perioder for vinduslufting)

I passivhusene lå luftskifte på mellom 0,45 og 0,54 omskiftninger per time. Det viste seg at beboere vurderer luften subjektiv til å være for tørr selv ved tidligere antatte komfortnivå på mellom 30 og 50 %. Det foreslås at en noe redusert luftmengde ville øke den relative luftfuktigheten og dermed vil kunne øke komfort for beboere.



Figur 16: Relativ fuktighet og temperatur i vintermånedene (svart kurve nede: utetemperatur, kurve midten: romtemperatur, svarte kurve øverst: relative romluftfuktighet)

Når det gjelder vinduslufting, benytter alle beboere seg av muligheten til å åpne vinduer, men beboere i passivhusene åpner vinduer mindre enn beboere i lavenergiboliger. Vinduer åpnes i hovedsak om sommeren, hvor det gir et avgjørende bidrag til kjøling av boligen. Vinduslufting er veldig avhengig av værforholdene, i de kaldeste periodene og ved lite solinnstråling er vinduene stort sett lukket.

I lavenergiboligene ble det målt luftvekslinger mellom 0,13 og 0,15 h⁻¹ ved bruk av avtrekksventilasjon og fuktstyrte tilluftsventiler. Slike lave luftvekslinger kan forklare at det luftes 2,5 ganger så mye i fyringsperioden ved hjelp av vinduslufting i lavenergiboligene enn i passivhusboligene. Brukervaner med hensyn til vinduslufting varierer mye: En del beboere har ofte et vindu åpent om natten, men over 70 % av beboere i passivhusboligene åpner vindu bare i korte perioder om vinteren. Flertallet av beboerne av passivhusboligene anså det som en komfortgevinst å slippe å måtte åpne vinduer for å få friskluft.

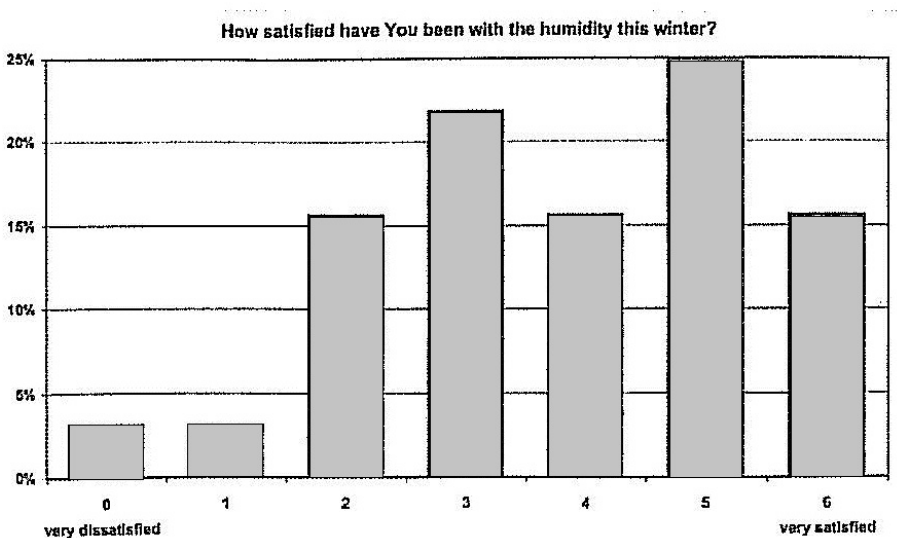
I spørreundersøkelsen ble det spurt om endringsønsker for ventilasjonsanlegget. Flere beboere ønsket seg mindre støy, og noen ønsket seg bedre filterting av støy og skadelige stoffer fra uteluften.

Ifølge **Schnieders (2003)** er vinduslufting generelt en god metode for å oppnå et luftskifte og dermed uttynning av forurensninger, men vil ikke i alle situasjoner gi det nødvendige luftskifte som skal til for å oppnå en tilstrekkelig inneluftkvalitet. En tilstrekkelig luftmengde for å opprettholde en god luftkvalitet vil om vinteren gi et betydelig varmetap (hvis tilføyd gjennom vinduslufting). Bruken av kontrollert lufting ved hjelp av et mekanisk, balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning blir ansett som løsning på denne målkonflikten. Brukere vil kunne redusere vindusluftingen for å spare energi eller for å redusere støybelastning utenfra.

Målingene **Wagner et al. (2010)** gjennomførte i flerfamiliehusene i Mühlweg i Wien, Østerrike viste en gjennomsnittlig målt luftfuktighet på 40 % i første måleperiode på ett år, og på 42 % i andre måleperiode. Luftfuktighet på under 30 % ble kun målt 3,1 % av dagene over året (under 30 % er definert som for tørr luft). Ut fra målingene konkluderer undersøkelsen med at verdiene for luftfuktigheten er gode. I beboerundersøkelsen rapporterer noen beboere allikevel at luften kan oppleves som for tørr. Forfatterne fant også store forskjeller i målt luftfuktighet mellom leilighetene, og de forklarer forskjeller som et resultat av beboernes atferd.

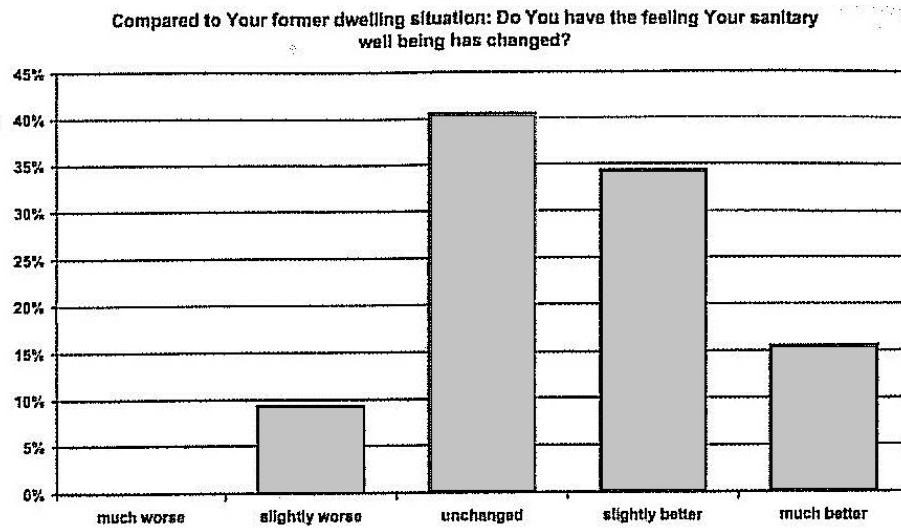
Noen beboere hadde også problemer med å regulere tilførsel av luft og sier også at de ikke kjente noe forskjell i luftmengende selv om de regulerer den opp eller ned. Bare 50 % av respondentene var fornøyd med ventilasjonsanlegget mens noen er lite fornøyd eller misfornøyde. For varmt, for lite varmetilførsel, tørr luft, lukt, støy og trekk nevnes som årsaker til misnøye.

Schnieders & Hermelink (2006) har gjennomført en omfattende beboerundersøkelse i to flerfamilie - passivhus i Kassel. De studerte beboernes luftingsvaner i forbindelse med energibalansen. Det viste seg at lufting gjennom vinduer holdt seg på et såpass ubetydelig nivå at det ikke hadde forstyrende konsekvenser for den generelle målte energibalansen i huset (dvs. det ble ikke brukt vesentlig mer energi fordi vinduene ble åpnet). I forskjellige studier er det diskutert om balansert ventilasjon er kilde til lav luftfuktighet. Beboerne i Kassel ble også spurt om hvordan luftfuktigheten opplevdes. De fleste viser seg å være fornøyde og rapporterer ikke problemer med for tørr luft. Forskerne fant en sammenheng mellom høy grad av vinduslufting i enkelte leiligheter og skepsis til balansert ventilasjon.



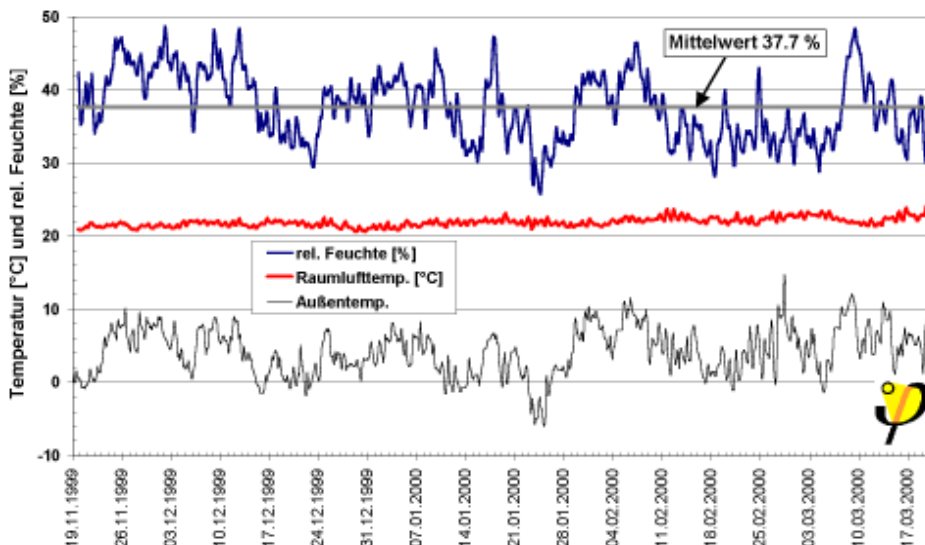
Figur 17: Hvor fornøyd har du vært med luftfuktigheten denne vinteren?

Schnieders & Hermelink (2006) rapporterer at redselen for at husene ville være for tette er generelt utbredd, men i disse husene ble det ikke rapportert problemer med muggsopp. I spørreundersøkelsen ble beboerne også spurt om de opplever bedre helse enn i den forrige boligen sin (fig.17). Noen opplever at helsen er litt bedre enn før.



Figur 18: Opplever du at ditt velvære og helse har forandret seg etter å ha flyttet til din nye bolig?

Peper et al. (2001) foretok luftfuktighetsmålinger i Hannover-Kronsberg i to passivhus gjennom vinterhalvåret 1999-2000. Resultatene viser romluftfuktighet mellom 26 - 49 %, med en gjennomsnittsverdi på 38 % (fig.19). Endringer i romluftfuktigheten kunne ikke forklares med endringer innnetemperaturen siden den var konstant på vinterhalvåret, men den relative inneluftfuktigheten korrelerte med den relative uteluftfuktigheten.



Figur 19: Målinger av relative romluftfuktighet (blå kurve), romtemperatur (rød kurve), sett i forhold til utetemperaturen (svart kurve).

Rapporten konkluderer at den relative romluftfuktigheten var på et tilfredsstillende nivå. Veldig korte perioder under 30 % anses som uproblematisk. Siden luftfuktigheten innendørs korrelerer med luftfuktigheten utendørs, kan den reguleres gjennom mer eller mindre ventilering gjennom ventilasjonsanlegg eller vinduslufting.

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie i Østerrike (**Bmvit, 2011**) sammenligner resultatene fra målinger gjennomført i 5 passivhusboliger i Østerrike som ble bygd innenfor programmet "Haus der Zukunft". Alle prosjektene er flerefamiliehus med 30 – 140 boliger per prosjekt. Resultatene ifm

målinger av luftkvaliteten viser at luftfuktighet under 30 % ble målt på maksimalt 12,55 % av timene på årsbasis i ett av prosjektene, mens i tre av prosjektene var det kun 3,23-4,17 % av timene på årsbasis. Noen beboere klaget allikevel over tørr luft i leilighetene, og klagenes samsvarer med perioder med målt lavt luftfuktighet.

Berndgen-Kaiser, Fox-Kämper & Holtmann (2010) gjennomførte i 2005 en spørreundersøkelse i Nordrhein-Westfalen (delstat i Tyskland) for å kartlegge byggkostnader, energimessig kvalitet, inneklime og brukertilfredshet for 220 passivhusboliger. Boligene var bygget i perioden 1999 til 2005.

Når det gjelder opplevd fuktinnhold, var 3/4 av beboerne fornøyd, 21 % opplevde inneluften som for tørr. Når det gjelder luftevaner oppga halvparten at de aldri supplerer med vinduslufting og 43 % gjør det sjeldent. Supplerende vinduslufting av soverom ble benyttet i få tilfeller.

Når det gjelder bygningsteknisk kvalitet, opplyste beboerne om muggsoppvekst i 7 % og kondens på bygningsdeler i 11 % av boligene. Ventilasjonsanlegget blir tilskrevet en sentral betydning for fuktproblemer. Som indikator for utilstrekkelig funksjon av ventilasjonsanlegget angis støyproblemer. Det ble avdekket en korrelasjon mellom plagsom støy og fuktskader. 13 % av beboerne opplevde støy fra ventilasjonsanlegget som forstyrrende. Undersøkelser viste at fuktproblemer i mange tilfeller skyldes byggfukt, som i kombinasjon med mangler ved ventilasjonsanlegget førte til fuktskader. Resultatene tyder på manglende kompetanse i forbindelse med planlegging og installasjon av ventilasjonsanlegg. I tillegg manglet det i svært mange tilfeller en innføring i den tekniske installasjon for beboerne. I alle boliger manglet innreguleringsprotokoller for ventilasjonsanleggene.

Toepfer & Leimer (2005) undersøkte tre bebodde høysisolerte boliger, hvor av to var utstyrt med balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Luftsifte i den tredje var basert på vinduslufting. Energistandard er ikke spesifisert mer nøyaktig, men antatt å være lavenergi. Målinger ble gjennomført i august 2003, november 2003, mars 2004 og juni 2004. I boligene med balansert ventilasjon ble det tatt prøver av uteluften, bak filteret for luftinntaket, ved tilluftsventiler og i romluften i stue og barnerom. I huset med vinduslufting ble det tatt prøver av uteluften og romluften i stue og soverom. I tillegg ble det gjennomført undersøkelser i testrom, hvor luftsifte i ett rom var basert på balansert ventilasjon og i ett rom basert på vinduslufting. I testrommene ble det også anlagt kuldebroer for å vurdere innvirkning av ventilasjonsmetode på soppvekst på overflater.

Målinger av soppsporer i romluften viser at det for begge ventilasjonsmetoder kan registreres en reduksjon i antall muggsopp i forhold til konsentrasjonen i uteluften. Undersøkelser i testrommene viser at et balansert ventilasjonsanlegg gir en større reduksjon enn vinduslufting, mens denne effekten ikke kunne registreres i de bebodde boligene.

I det balanserte ventilasjonsanlegget, og delvis også i romluften, ble det registrert en lett endring i sammensetning av muggsopptyper, noe som ikke ble registrert i testrommet eller boligene med vinduslufting. Dette indikerer at et balansert ventilasjonsanlegg kan være en kilde for noen typer muggsopp. Det ble registrert helseskadelige muggsopparter, men de målte konsentrasjoner antas imidlertid å være for lave til å ha en helsemessig konsekvens. Det ble registrert at lange utskiftningsintervaller av filtre fører til en akkumulering av muggsoppsporer. Det ble også målt mykotoksiner på filtre. Konsentrasjon for flyktige organiske forbindelser (VOC) økte i takt med økte filterskiftintervaller. Når det gjelder muggsoppvekst på overflater på grunn av kuldebroer, ble det vist at et kontinuerlig luftsifte ved hjelp av et balansert ventilasjonsanlegg forhindrer muggsoppvekst. I testrommet med vinduslufting ble det registrert en betydelig muggsoppvekst, mens det i testrommet med balansert ventilasjon ikke ble registrert muggsoppvekst.

Undersøkelsene i de bebodde boligene viste at personen som har ansvar for drift og vedlikehold, har stor innflytelse på tilstanden av ventilasjonsanlegget. Manglende filterskift eller rengjøring fører til en betydelig nedsmussing av ventilasjonsanlegget, noe som førte til soppsporeholdig støvansamlinger rundt tilluftsventiler. I begge husene med ventilasjonsanlegg ble anbefalte utskiftingsintervaller overskredet. Av økonomiske grunner ble filtre vasket eller støvsuget isteden for byttet i henhold til anbefalte utskiftingsintervaller. I det ene tilfellet ble originale filtre erstattet med en selvbygget filterramme og tilpassede filtermatter som ble skiftet etter seks måneder.

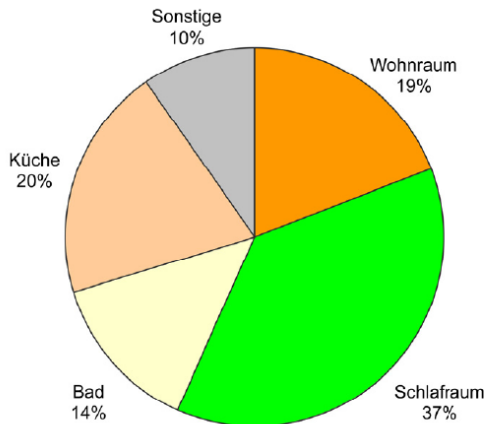
Målinger av muggsoppспорer og registrering av tilsmussing, som gir næring til muggsoppvekst, viser at et potensial for mikrobiologisk vekst i ventilasjonsanlegg er tilstede, særlig i perioder med høy luftfuktighet. Dette vil kunne unngås ved å planlegge og å installere anleggene slik at brukervennlighet og rengjøringsmulighet er sikret. I tillegg er det nødvendig med god informasjon om drift og vedlikehold til brukerne.

Toeper & Leimer konkluderer med at bruken av balanserte ventilasjonsanlegg ikke prinsipielt bør avvises ut fra bygningsbiologiske hensyn. Han presiserer at dette gjelder anlegg uten luftfuktere og kjøling, noe som finnes i noen anlegg. Erfaringer fra kontaminerte klimaanlegg kan ikke overføres på ventilasjonsanlegg som brukes i dag. Det gis anbefalinger for videre utvikling av ventilasjonsanlegg, hvor det legges til rette for enkel drift og vedlikehold; for eksempel at filtre bør kunne skiftes uten bruk av verktøy og kunne rengjøres i oppvaskmaskinen.

Oswald et al. (2007) gjennomførte en omfattende spørreundersøkelse blant sakkyndige som driver med skadetaksering for å vurdere om det er økt risiko for muggsoppforekomst i høyisolerte bygg. 1603 sakkyndige ble spurt, hvorav 171 responderte. Hypotesen om at bygg som bygges i henhold til økte energikrav har en økt forekomst av muggsopp kunne ikke bekreftes i undersøkelsen. Ut fra svarene ble det stipulert at av alle vurderte skadetilfellene med muggsoppforekomst var 12 % i høyisolerte bygninger og 88 % i eldre bygninger.

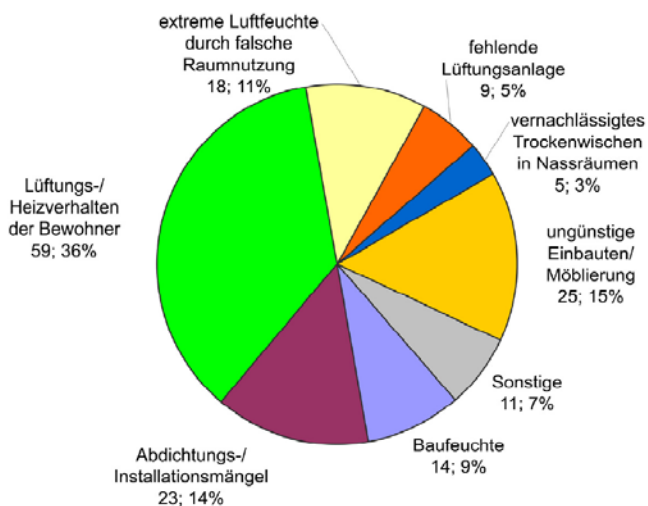
Når det gjelder årsaker til fuktskader, ble det konstatert at omtrent en tredjedel av muggsoppskadene ikke har noe sammenheng med varmeisolering og ventilasjon, men skyldes tettings- eller installasjonsfeil, samt byggfukt og manglende vedlikehold av fuger i våtrom. Nesten en tredjedel av muggsoppskadene har ifølge de sakkyndige sin årsak i manglende lokal varmeisolering, det vil si kuldebroer. Disse skadene oppstår i hovedsak i vindussmug, i hjørner og ved sokkelen. Den siste tredjedel av muggsoppskadene har sin årsak i ventilasjonsforholdene. Det står ikke på manglende mulighet for lufting, men i hovedsak på luftevaner til beboerne.

Når det gjelder fordeling mht. skadested, utgjør soverommet med 37 % den største andelen (fig. 20). Som årsak oppgis utilstrekkelig ventilasjon og for lav overflatetemperatur, som skyldes lav romtemperatur og/eller utilstrekkelig varmeisolering (fig. 21).



Figur 20: Romvis fordeling av skadested (grønt: soverom, gult: bad, lysebrunt: kjøkken, grått: andre rom, oransje: stue)

Mht. fordeling av skadeårsak, utgjør lufte- og fyringsvaner den største andelen.



Figur 21: Årsak til fuktskade (grønt: ventilering og oppvarming, gult: ekstrem høy luftfuktighet pga. feil bruk av rommet, oransje: manglende ventilasjonsanlegg, blått: ikke tørket opp veske/fukt f.eks. på badet, lysebrunt: ugunstig plassering av fast inventar/møblering, grått: annet, lilla: fukt i konstruksjon /byggefukt, mørkerød: manglende tetting/ isolasjon)

Münzenberg og Thumulla (2003) gjennomførte en måleteknisk oppfølging av luftkvaliteten i 4 passivhus i Nürnberg for å tallfeste og vurdere belastning med skadelige stoffer og mikroorganismer. Boligene ble bygget med murvegger med utenpåliggende plastisolasjon (EPS) og tretak med celluloseisolasjon. Materialer ble valgt med hensyn til økologiske vurderinger. Det ble gjennomført målinger av lettflyktige organiske forbindelser (VOC), soppsporer, radon og konsentrasjon av luftioner over en tidsperiode på to år. Når det gjelder VOC, ble det målt en reduksjon til et akseptabelt nivå innen få måneder etter innflytting. Sammenlignet med erfaring fra konvensjonelle bygg uten balansert ventilasjon, hvor verdiene ligger betydelig høyere ett år etter innflytting, tyder dette på en positiv effekt av det balanserte ventilasjonsanlegget. I kontrollbygg med vinduslufting har det vist seg at forurensningsnivåer, selv etter et fullstendig luftskifte, allerede etter få minutter stiger til det opprinnelige nivået. Som årsak angis lagring i overflater, som etter vindusluftingen igjen avgir forurensninger. Det konkluderes med at kun et permanent luftskifte er i stand til å holde konsentrasjonen varig på et lavt nivå.

Det gjøres oppmerksom på at selv om det ble lagt vekt på en reduksjon av skadelige stoffer ved valg av materialer, så ble det allikevel målt skadelige stoffer. Dette betyr at en i konvensjonelle hus uten et mekanisk ventilasjonsanlegg i mange tilfeller må regne med en høyere konsentrasjon av forurensninger og skadelige stoffer enn en ofte forventer.

Når det gjelder soppsporer, stilles det spørsmål om konsentrasjonen av soppsporer i inneluften i passivhus skiller seg fra konsentrasjonen i konvensjonelle bygg med vindus-/ventillufting. Resultater fra de fire passivhusene ble sammenlignet med resultater fra et hus med mekanisk avtrekksventilasjon. Siden soppsporer også forekommer i uteluften og nivåer varierer med årstiden, ble målinger foretatt både inne og ute for å kunne tallfeste endring i konsentrasjonen.

Det ble ikke konstatert en signifikant økt konsentrasjon av soppsporer i inneluften i forhold til uteluften. I de fleste tilfellene var antall soppsporer tydelig lavere enn konsentrasjonen i uteluften. Konsentrasjonene i inneluften ligger erfaringsmessig på samme nivåer som i konvensjonelle boliger som ikke er angrepet av muggsopp.

I jordvarmeveksleren³, som anses som et kritisk punkt med hensyn til mulig mikrobiologisk vekst, særlig på grunn av kondens om sommeren, ble det i måleperioden ikke konstatert noen uregelmessigheter. Det konkluderes med at den utbredte antakelsen om at balanserte ventilasjonsanlegg forsterker eller fremkaller en mikrobiologisk belastning i boliger, ikke kunne bekreftes i de undersøkte boligene. Konsentrasjoner i kontrollbygget uten balansert ventilasjon lå over konsentrasjoner i passivhusene, noe som forklares med at det brukes partikkelfilter i balanserte ventilasjonsanlegg. Det bemerkes at slike partikkelfilter imidlertid også kan bli til en ulempe dersom de selv blir en kilde for muggsopp. Dette kan skje ved væromslag fra kaldt til varmt i vinterhalvåret eller ved uheldig plasserte filter i sommerperioden, hvis filter gjennomfuktes over lengre tid og ventilasjonsanlegget står avslått over en lengre periode. Det er derfor behov for tilsvarende undersøkelser i bygg med dårligere vedlikehold og tidvis drift av ventilasjonsanlegg.

Kontinuerlige målinger av radon viser en noe lavere konsentrasjon enn i kontrollboligen med vinduslufting, noe som trolig skyldes et større luftskifte. I passivhuset ble det også gjennomført målinger i en bod som ikke var tilknyttet ventilasjonsanlegget. Der ble det målt betydelig høyere verdier.

Mistanken om at radonkonsentrasjonen økes ved bruk av luftkanaler i grunnen (jordvarmeveksler), kunne ikke bekreftes i denne undersøkelsen. Det presiseres imidlertid at denne undersøkelsen må anses som en stikkprøve og resultater ikke kan generaliseres. Feil i byggefasen vil kunne medføre at radonkonsentrasjonen øker ved bruk av luftkanaler i grunnen.

Målinger i to passivhus viste at både den kvantitative og kvalitative sammensetning i inneluften samsvarte med verdier målt i konvensjonelle bygg. De undersøkte ventilasjonsanlegget forminsket dermed ikke kvaliteten av tilluften. Basert på bygningsbiologiske kriterier er det her samsvar mellom tilført friskluft og naturlig uteluft.

Treberspurg & Smutny (2009) har evaluert 6 passivhusområder i Wien (flerefamiliehus) som har vært bebodd i minst 2 år. I forbindelse med ventilasjonsanlegget konkluderer de at balansert ventilasjon i passivhus bidrar til mindre muggsopp og til mindre pollen- og finstøv belastning. Dessuten bidrar det til bedre søvnkvalitet pga. lavere CO²-konsentrasjon (see også Rohregger et al. 2001). Når vindusventilasjon brukes i tillegg til balansert ventilasjon er pollenbelastning naturlig nok ikke mindre og brukerne kan bli skuffet.

³ Friskluftkanaler føres i grunnen i en viss lengde for forvarming-/kjøling av tilluft.

I årene 1997 og 1998 har **Leech, Raizenne & Gusdorff (2004)** gjennomført en studie av helsen hos beboere i nye energieffektive boliger i Canada. De ønsket å undersøke mulige endringer i helseforhold i løpet av et år. Spørreundersøkelser ble gjennomført rett etter innflytting og ett år etter innflytting.

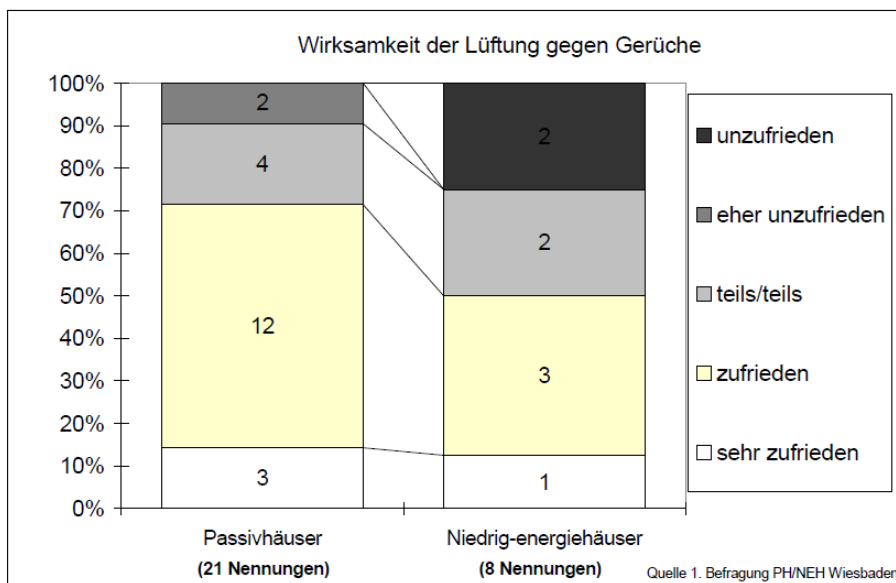
Testgruppeboligene besto av 52 såkalte R-2000TM-boliger med til sammen 128 beboere. R-2000TM-boliger er utviklet av den canadiske regjeringen. Primære kriterier er at bygninger skal ha en tett klimaskjerm og ha mekanisk balansert ventilasjon med varmegjenvinning, sammenlignbart med lavenergi- og passivhus. Kontrollboligene besto av 53 nye konvensjonelle boliger (149 beboere) i det samme geografiske område og samme prisklasse. Undersøkelser ble gjennomført som telefonintervjuer, hvor en voksen svarte på vegne av alle beboere. Spørsmålene skulle gi svar beboernes helsekarakteristikker i året før intervjuet og gikk ut på å kartlegge generelle symptomer, luftveisplager, astma, kronisk obstruktiv lungesykdom (COPD), hjertefeil og bruk av medisiner.

Første intervjurunden gikk ut på å kartlegge helsestatus før innflytting i de nye boligene og ga ingen signifikante forskjeller mellom test- og kontrollgruppen med hensyn til helse. Ved andre intervjurunde ble det avdekket at for beboerne i R-2000TM-boliger var 10 % av respondentene ikke klar over at de hadde et balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning. For de resterende rapporterte 78 % at de forsto virkemåten. Kun 76 % brukte det balanserte ventilasjonsanlegget om vinteren og 58 % om sommeren. I kontrollgruppen var det færre som hadde et balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning (62 %). Resultatene viser en signifikant positiv endring i symptomer i testgruppen etter 1 år, mens endring i symptomer i kontrollgruppen i snitt var marginale. Ved nærmere analyse av de enkelte symptomer, ble det konstatert signifikant positiv endring når det gjelder tørrhet i hals, hoste, tretthet og ømfintlighet. For symptomer, hvor en sammenheng med inneklime er usannsynlig, ble det ikke konstatert signifikante endringer.

Studien indikerer at testgruppen får forbedret helse etter ett år. Det presiseres at studien ikke går inn på årsakssammenhenger, noe som krever videre studier. Det antydes imidlertid en sannsynlig sammenheng mellom redusert fuktinnhold i romluften og helse, noe også andre studier viser. Det konkluderes med at ingenting i disse resultatene tyder på en forverring i helsen hos beboere i lufttette og energieffektive hus, selv om beboerne delvis ikke helt forsto ventilasjonssystemet.

Jansson (2010) har i en studie av 4 passivhus/områder funnet at beboerne opplever frisk og god luftkvalitet gjennom hele året. Dette indikerer at det mekaniske ventilasjonsanlegget er velfungerende og en god løsning for ventilasjon av boliger. Jansson (2010) påpeker også betydningen av et godt planlagt ventilasjonssystem, for å oppnå et vel fungerende passivhus. Hun mener at ventilasjonssystemet må planlegges tidlig i designprosessen og at noen må ta fullt ansvar for ventilasjonssystem hele veien gjennom byggeprosessen.

Ebel et al. (2003) har undersøkt forskjell mellom opplevelse av lukt i lavenergiboligene og passivhusene i Wiesbaden. I lavenergiboligene ble det målt luftvekslinger mellom 0,13 og 0,15/h ved bruk av avtrekksventilasjon og fuktstyrte tilluftsventiler. Slike lave luftvekslinger kan forklare at det luftes 2,5 ganger så mye i fyringsperioden ved hjelp av vinduslufting i lavenergiboligene enn i passivhusboligene. Allikevel blir ventilasjonseffektiviteten mot lukt vurdert dårligere i lavenergiboligene enn i passivhusboligene (fig.22).



Figur 22: Fornøydhetsgrad med ventilasjonseffektivitet mot lukt

3.3 Akustisk miljø

Jansson (2010) har også undersøkt støynivå fra ventilasjonsanlegget i to av de passivhusene som hun evaluerte i Sverige. Det målte nivået av internt generert lyd fra ventilasjonsenheten i de to prosjektene (Oxtorget og Lidköping) viste et resultat bedre enn den angitte lydklassen. Også beboerne beskrev sine leiligheter som svært stille. Jansson (2010) skriver at en vanlig antakelse om mekanisk ventilasjon er at den internt genererte lyden forstyrrer beboerne, noe som ikke bekreftes av hverken målinger eller svar fra beboerne i de to prosjektene.

Wagner (2010) rapporterte derimot at noen beboere i boligene i Wien opplevdet støy fra ventilasjonsanlegget som forstyrrende. Det samme rapporterer **Ebel et al. (2003)** i sin spørreundersøkelse fra Wiesbaden, Tyskland. Beboerne ble spurt om endringsønsker for ventilasjonsanlegget, og en stor andel av beboerne ønsket seg mindre støy fra ventilasjonsanlegget.

Schnieders & Hermelink (2006) fant at enkelte beboere rapporterte støy fra ventilasjonsanlegget som et problem. Det viste seg at problemet kunne løses gjennom enkle justeringer av anlegget og ved å informere beboerne om nødvendige tiltak (f.eks. skifte filter oftere). Også lukt var et problem i noen leiligheter før beboeren fikk tilstrekkelig informasjon om hvordan de skulle bruke ventilasjonssystemet.

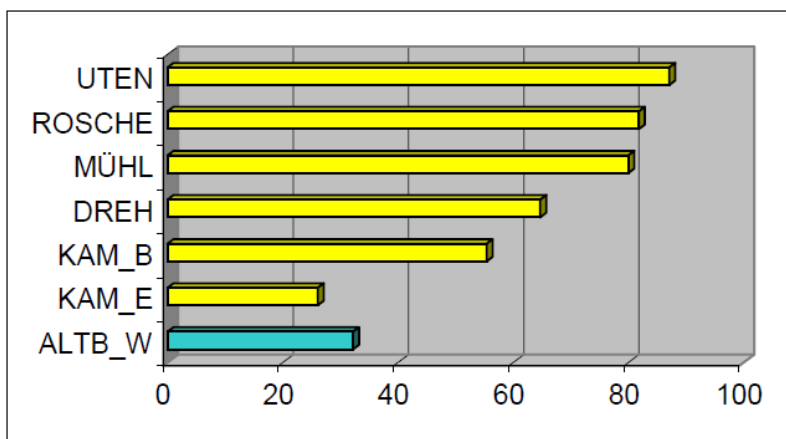
I de 5 prosjektene i Østerrike som **Bmvit (2011)** sammenlignet i sin rapport har det ikke vært registrert klager over støy fra ventilasjonsanlegget, som forfatterne mener har ofte vært et problem tidligere i andre prosjekter. Heller ikke lydoverføring gjennom ventilasjonsanlegget har blitt nevnt som et problem. Derimot ble det nevnt at lukt virker å bli overført gjennom ventilasjonsanlegget mellom rommene i leiligheten, men også fra andre leiligheter.

Berndgen-Kaiser, Fox-Kämper & Holtmann (2010) rapporterte at 13% av beboerne i de 220 passivhusboligene opplevde støy fra ventilasjonsanlegget som forstyrrende. Støy fra ventilasjonsanlegget kunne ofte kobles til feil eller vedlikeholdsproblemer med ventilasjonsanlegget.

3.4 Generell brukertilfredshet

Antall brukerundersøkelser i **Doppelbauer & Mahdavi (2010)** var få (5 i passivhus, 6 i lavenergileiligheter), men blant de som ble spurt var det høy tilfredshet i både lavenergi- og passivhusleilighetene. I passivhusleilighetene ble det konstatert en høy aksept for det balanserte ventilasjonsanlegget. Målingene i Doppelbauer & Mahdavi (2010) sammenfattes med at passivhus, sammenlignet med lavenergihus, bruker betydelig mindre energi og gir noe bedre innneklima.

Keul (2010) har evaluert brukertilfredshet i seks passivhusboligblokker med til sammen 425 boliger i Wien i tidsrommet 2007 til 2008. Som kontrollgruppe ble tilsvarende undersøkelse også gjennomført i 156 eldre boliger. Undersøkelsen ble gjennomført ved utsendelse av spørreskjema til beboerne. Alle bygg ble evaluert omtrent et halvt år etter innflytting. Det ble konstatert en tydelig sammenheng mellom fornøydhet og teknologiformidling. God kommunikasjon mellom beboere og utbygger/driftspersonell hadde stor innvirkning. I det ene tilfellet (Kammalweg E), hvor fornøydhetsgraden var lavere enn i kontrollgruppen, skyltes det problem med det tekniske anlegget og dårlig kommunikasjon. I tre av boligkompleksene var de gjennomsnittlige fornøydhetsnivåene meget høye og korrelerte med teknologiformidling og sympati for boformen. Figur 23 viser prosentandelen ”meget fornøyd” beboere i de seks forskjellige boligkompleksene.

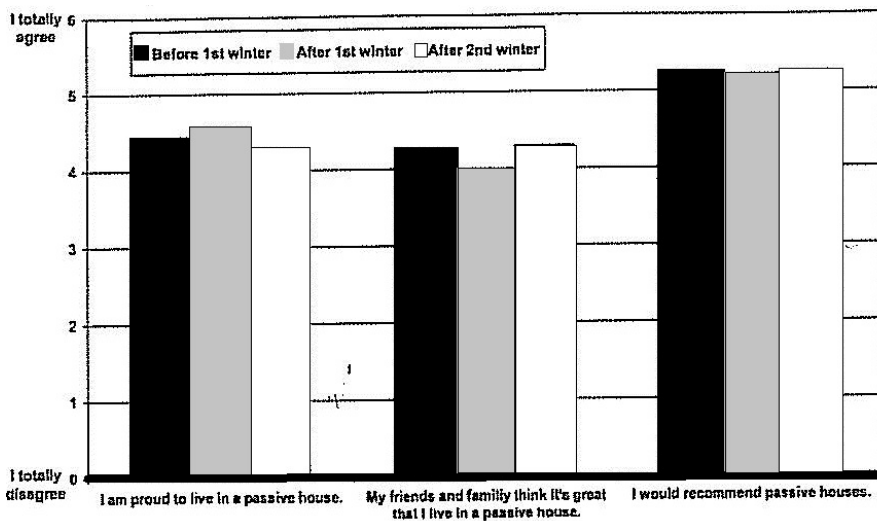


Figur 23: Prosentandel "meget fornøyde" beboere i seks passivhusboligkompleks (gult) og ett konvensjonelt boligkompleks (blått)

Det ble også konstatert at beboere/kjøpere av passivhus mht. holdninger ikke er en spesiell "grønn" gruppe, men sammensatt av en sosial "mainstream". Keul konkluderer med at passivhus er egnet som "mainstream", dersom forståelse og informasjon vokser gjennom brukbar teknologiformidling.

Spørreundersøkelsen **Wagner et al. (2010)** har gjennomført i flerfamiliehusene i Mühlweg i Wien (også ett av prosjektene i Keul 2010) viser at beboerne var generelt veldig fornøyd eller fornøyd med huset (25 av 31 respondenter), til tross for mindre problemer med for høy/lav innetemperatur og tørr luft. To tredjedeler av informantene svarer at de helt sikkert eller ganske sikkert ville flytte til passivhus igjen, hvis de kunne velge på nytt. Bare 50 % av respondentene er fornøyd med ventilasjonsanlegget mens noen er lite fornøyd eller misfornøyd. Beboerne fikk informasjon om ventilasjonsanlegget i form av en brukerhåndbok. Mer enn 50 % av de som ble spurt, mener at informasjonen ikke var tilstrekkelig og ønsket seg personlig veiledning. Det har også blitt avholdt et møte om bruk av ventilasjonsanlegget, men de fleste visste ikke om det. Her er det tydelige forbedringsbehov.

Schnieders & Hermelink (2006) undersøkte om beboerne opplever økt eller redusert komfort ved å bo i passivhus. De fleste beboerne sier at de raskt ble vant til huset og at enkel kontroll av ventilasjon, svært høy termisk komfort og bra luftkvalitet gjorde at de er tilfredse med boligen. I tillegg påpeker de at det er en fordel at kostnader for oppvarming er lave. De fleste beboerne ville også anbefale andre å flytte til passivhus, og mange er stolte av å bo i passivhus (fig. 24).



Figur 24: Beboernes oppfatning av å bo i passivhus før og etter første vinteren og etter andre vinteren.

Treberspurg & Smutny (2009) har evaluert 6 passivhusområder i Wien (flerefamiliehus) som har vært bebodd i minst 2 år. De fokuserte på energibruk og brukertilfredshet. For å evaluere brukertilfredshet brukte de spørreskjema og intervju som metode. De har foretatt samme type undersøkelse i lavenergiboliger fra samme tidsperiode. Resultatene viser at 5 av 6 passivhusområder oppnådde høyere tilfredshets enn lavenergiområdene, unntatt ett prosjekt som var på samme nivå som lavenergiboligene. God kommunikasjon med driftspersonell og forvaltning økte tilfredsheten. Brukerinstruksjoner for ventilasjon og oppvarmings-system ble også oppfattet som positivt.

4 Hva har trigget undersøkelsene?

Hensikten med de fleste studiene var å etterprøve passivhus som innovative og nye måter å bygge på. Teknologi-utvikling, etterprøving av funksjonalitet, brukernes opplevelse, luftkvalitet, termisk komfort etc. har vært av interesse å kartlegge i studiene. Noen studier svarer også på skepsis og fordommer mot passivhus. Eksempler for mål og motivasjon fra noen studier er:

Treberspurg & Smutnys (2009) mål var å lære fra eksisterende pionerprosjekter for å bygge flere energieffektive og brukervennlige passivhus. Forfatterne ønsker å teste om husene fungerer og ville undersøke fordeler og ulemper med passivhuskonseptet.

Målet med passivhus-pilotprosjektene i Wagner et al. (2010) ble f.eks. beskrevet som en videreutvikling av lavenergihusene for å redusere energibruken enda mer, bruke fornybare energikilder, økologiske materialer, og å oppnå brukertilfredshet til overkommelige kostnader.

Rohregger et al. (2004) ønsket å sammenligne luftkvalitet i hus uten - og med mekanisk ventilasjon. De mener resultatene bidrar til at oppdragsgiver bestemmer seg lettere for å installere mekanisk ventilasjon. Markedsføring er også en viktig del i rapporten. De tilføyer at dersom passivhus skal bli akseptert i markedet er det viktig å befeste hovedargumentene for passivhus som f.eks. lavere kostnader, miljøaspektet og høyere komfort. Kommunikasjon til kjøpere og byggebransjen er viktig i denne sammenheng.

Peper et al. (2001) skriver at passivhusområdet på Hannover-Kronsberg skulle vise at en klimanøytral bydel er mulig og at passivhus er økonomisk forsvarlig. For å kontrollere resultatene og for å si noe om oppfylling av konseptet, har det blitt gjennomført omfattende målinger som er rapportert i studiene.

Tidslinjen for studiene strekker seg fra 1997 tallet (første passivhus) til i dag. Selv om passivhus er mer etablert i andre land og teknologiutviklingen (f.eks. ventilasjon) har formodentlig gått framover siden begynnelsen av 2000 tallet, er resultatene fra studiene interessant i en norsk sammenheng hvor det fortsatt registreres skepsis i deler av bransjen og befolkningen.

5 Overførbarhet til norske forhold

Ikke alle erfaringer fra studiene kan brukes én til én og tilpasning til norsk klima må tas. Vi får en pekepinn av evalueringene fra andre land, og funnene tyder lite på alvorlige problemer med passivhus, heller tvert imot. Evaluering av de nye passivhusene i Norge bør ta hensyn til lokale forhold som klima, måter å bygge på, tilgjengelighet av materialer og tekniske systemer.

I flere av studiene er det valgt å sammenligne prosjekter som har store likhetstrekk, men visse ulikheter i løsninger. Overførbarheten kan bli redusert dersom byggemåte, bruk eller klima i prosjektene er vesentlig forskjellig fra forholdene man ønsker å overføre resultater til. Det er derfor grunn til å ta hensyn til likheter og forskjeller mellom passivhus og andre hus i Norge kontra de land man har hentet inn erfaringer fra.

Klima:

De klimatiske forholdene i de delene av Norge der flertallet av befolkningen bor adskiller seg ikke dramatisk fra Sverige, Østerrike eller deler av Tyskland, men belastningen fra slagregn og fryse/tine-sykler er i deler av landet så stor at det må tas spesielle hensyn til utforming og materialvalg i fasade, tak, luftinntak, m.m.. Dette gjenspeiles av at nedbør utenfra er en langt viktigere skadeårsak i Norge, enn i andre land. Ytterkonstruksjoner, luftinntak og lignende kan derfor ikke uten videre overføres fra områder med mindre utfordrende klima til for eksempel vestkysten av Norge.

Ventilasjon:

I Norge har mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning i lang tid vært anbefalt som en god løsning, og har vært i vanlig bruk i de fleste typer boliger i en ti-årsperiode. Alternativene har vært mekanisk avtrekksventilasjon eller naturlig avtrekksventilasjon, og det har siden 1969 ikke vært anledning til å basere ventilasjon av boliger kun på vinduslufting. Mange av undersøkelsene fra Tyskland og Østerrike sammenligner passivhus med mekanisk ventilasjon og andre hus som til dels kun er ventilert ved vinduslufting og infiltrasjon gjennom ikke planlagte utettheter. Disse er av begrenset relevans ved vurdering av norske passivhus mot normal byggeskikk etter 2007, men av større relevans ved vurdering mot eldre bebyggelse eller ”alternative lavenergiløsninger” som bygger på reduserte ventilasjonsmengder.

Luftoppvarming:

Muligheten for å benytte luftoppvarming som eneste oppvarmingskilde er en del av den opprinnelige passivhusdefinisjonen. Dette oppvarmingsprinsippet gir en del utfordringer, og krever en annen utforming av ventilasjonsanlegget enn det som normalt benyttes i Norge.

Varmesystem:

En nasjonal særegenhet i Norge har vært tilgang til billig strøm. Dette har ført til at elektrisk oppvarming har en mye større utbredelse enn i de fleste andre land. Også gulvvarme (elektrisk eller vannbåren) har en betydelig utbredelse. Det er ikke gitt at undersøkelse av termisk komfort vil gi samme resultater for luftoppvarmingssystemer i en norsk sammenheng som i studier der radiatoroppvarming er referansen.

Mugg- og fuktskader:

Kondensskader som følge av dårlig isolering (kuldebroer), høy fuktproduksjon og lite ventilasjon synes å være en langt vanligere skadeårsak i Tyskland, Østerrike, og til dels Nord-Amerika enn i nyere norsk bebyggelse. Til gjengjeld kan det se ut som fuktskader som skyldes byggefukt, kondens inne i konstruksjoner, inntrengning av regnvann, bruksvann fra dusjing og oppfukting fra rørbrudd er minst like vanlig i Norge. Ved vurdering av fuktskadesikkerhet i passivhus er det viktig å bygge denne på reelle skadeårsaker under norske forhold.

6 Konklusjon

Basert på funn fra studiene er det lite som tyder på at inneklimate i passivhus er dårligere enn i konvensjonelle hus, snarere tvert om. Både målinger og brukernes opplevelse av inneklimate er stort sett positive. Som nevnt innledningsvis, er det også innenfor passivhuskonseptet fare for byggefeil og utilfredsstillende arkitektoniske løsninger. Hvis det byggetekniske er utført på en riktig måte, har passivhus klare fordeler sammenlignet med konvensjonelle hus, også med hensyn til inneklimate.

Det konkluderes med følgende positive innvirkninger av passivhuskonseptet på inneklimate:

- 1) Økt termisk komfort om vinteren pga. varmere overflater på yttervegger, yttertak, gulv på grunn og ikke minst vinduer. Redusert risiko for kondens og muggvekst på innvendige overflater
- 2) Økt uttynning av forurensninger og lukter pga. jevn og kontinuerlig luftskifte gjennom det mekaniske balanserte ventilasjonsanlegget.
- 3) Redusert støv- og pollenbelastning gjennom filtrering i det balanserte ventilasjonsanlegget.
- 4) Redusert risiko for høye radonkonsentrasjoner pga. reduserte luftlekkasjer i grunnen, kontinuerlig luftskifte og lavere undertrykk som følge av bruken av et balansert ventilasjonsanlegg.
- 5) Redusert risiko for fuktskader i konstruksjonen som følge av gjennomgang av vanddamp i luftlekkasjer.
- 6) Reduserte vekstbetingelser for husstøvmidd pga. redusert relativ luftfuktighet i oppvarmingsperioden som følge av et økt luftskifte.
- 7) Redusert støybelastning utenfra som følge av at et redusert behov for vinduslufting.

Mulige negative innvirkninger av passivhuskonseptet på inneklimate synes å være knyttet til mangler ved prosjektering, bygging og drift. Som kritiske områder angis følgende:

- 1) Økt sårbarhet i forhold til manglende uttørking av byggefukt i økte konstruksjonstykkelser, som gir økt risiko for fuktskader.
- 2) Støy fra ventilasjonsanlegg.
- 3) Mikrobiologisk vekst i ventilasjonsanlegg som følge av feil eller manglende vedlikehold, samt vannansamlinger i anlegget.
- 4) Overoppheting om sommeren i hovedsak som følge av manglende solskjerming.

Opplevelsen av tørr luft pga. meget lav relativ luftfuktighet i oppvarmingsperioden gjelder ikke spesielt for passivhus, men kan registreres i alle bygg med høyt luftskifte. Et luftskifte basert på luftlekkasjer som vi ofte finner i gamle hus, vil kunne fungere ved svært høye lekkasjetall, men kan med hensyn til energibruk og termisk komfort ikke anbefales. Det er viktig å være klar over at også relativt gamle hus kan ha lave lekkasjetall, spesielt dersom vinduer er skiftet.

Installasjon av balansert ventilasjon med tilstrekkelig luftskifte må anses som avgjørende for å kunne opprettholde bra luftkvalitet og termisk komfort i vintermånedene i bygninger med høy isolasjonsstandard og lave luftlekkasjetall.

Ved energieffektiviserende tiltak må alltid konsekvenser for fuktsikkerhet og inneklimate vurderes, noe som bør tydeliggjøres i regelverket og formidling i praksis. Spesielt ved rehabilitering kan en ensidig fokusering på energi-effektiviserende tiltak føre til redusert luftskifte og endrede temperaturforhold. Å velge bort balansert ventilasjon i rehabiliteringsprosjekter kan føre til fuktskader og dårlig inneklimate.

6.1 Oppsummert om termisk miljø:

Flere studier målte innetemperatur både i passivhus og lavenergihus. Beboerne i passivhusene synes i gjennomsnittet å være litt mer fornøyd med opplevd termisk komfort enn beboerne i lavenergihusene. Studiene viser også at det er både vinter- og sommerproblemer. Disse reflekteres ofte ikke gjennom målingene men gjennom brukernes opplevelse. Målingene viser få timer med overoppheting om sommeren, og ingen studie viser innetemperatur under 20 grader om vinteren (unntak: ubebodde leiligheter). Det virker også som om vinterproblemene er mest diskutert i de svenske studiene, selv om også beboere i andre land rapporterer kjølig innetemperatur vinterstid. Statistisk sett er dagene med overoppheting på sommeren, dvs. over 26 grader innetemperatur, relativt få. Allikevel er overoppheting et problem som beboerne er opptatt av. Noen få dager med overoppheting kan oppleves som plagsomme for den enkelte beboer, selv om disse dagene utgjør bare en liten andel i statistikken.

Det er også forskjell mellom målt temperatur, som viser seg å ligge innenfor komfortsonen (20-25/26grader) i de fleste studiene, og beboernes opplevelse. Studiene kan ikke alltid gi svar på hvorfor det er forskjell mellom målinger og opplevelse. Dette må ikke nødvendigvis være relatert til bygget, men kan forklares gjennom teorier om termisk komfort (se avsnitt 2.4). Virkelighetens kompleksitet er vanskelig å simulere og måle. Den psykologiske modellen (fig 2) viser også at det alltid vil være en andel misfornøyde selv om temperaturen statistisk sett er definert som optimal. Dette henger sammen med vaner, forventninger, kulturelle forskjeller, bekledning, og hver persons egen kroppslig opplevelse. De fleste studiene viser også at beboernes aktiviteter har en stor innflytelse på innetemperaturen gjennom bruk av huset.

En studie (Ebel et al. 2003) viste også at målt temperaturvariasjon mellom leilighetene utgjorde ingen forskjell i fornøydhetsgraden. Det bekrefter folks ulike komfortopplevelser. Studien kom fram til to grupper folk; de som ble lite forstyrret av varm temperatur på sommeren ville også ha det varmt om vinteren. De som klaget over varmen om sommeren ville også ha det kjølig om vinteren.

Forventningene til komfort i passivhus er høyere enn til komfort i "vanlige" boliger. Det vises også i studiene at mange faktisk opplever høy komfort i passivhus. Vi kan allikevel anta at den subjektive opplevelsen aldri kommer til å være perfekt for alle. For at det kan bli tilnærmede perfekt, konkluderer flere av studiene med at mulighetene for oppvarming burde være slik at de dekker behovet til ulike personer og kan gi flest mulig beboere en komfortabel innetemperatur på vinteren. Beboerne har også innflytelse på sommerkomfort gjennom å lufte og bruke / installere solavskjerming. En gjennomgående anbefaling her er at beboerne generelt bør informeres bedre om individuelle påvirkningsmulighetene. Designkriteria som vindusstørrelse og vindusorientering (for eksempel mot vest og øst uten solavskjerming) viste seg å være hovedfaktor som hadde innflytelse på innetemperatur.

6.2 Oppsummert om atmosfærisk miljø:

Med hensyn til luftkvalitet er det tydelig at den avhenger mer av ventilasjonsprinsippet enn av byggestandard, dvs. passivhus eller lavenergihus. Alle passivhus i studiene er bygd med balansert ventilasjon mens dette varierer i lavenergihus. Noen lavenergihus er kun ventilert gjennom vinduslufting.

Målingene viser at CO₂-konsentrasjon i hus med balansert ventilasjon (både passivhus og lavenergihus) holdes under 1000 ppm. I soverom uten balansert ventilasjon og uten kontinuerlig vinduslufting stiger CO₂-konsentrasjon raskt over anbefalt nivå. Vinduslufting er også effektiv i henhold til CO₂-nivå, men viser meget variert tilførsel av luftmengder. Luftkvaliteten er gjennomgående bedre i hus med balansert ventilasjon. Beboere i hus med balansert ventilasjon opplevde lite behov for å åpne vinduene om vinteren. Kontinuerlig luftskifte gjennom balansert ventilasjon holdt også andelen andre skadelige stoffer (fra avgassing av materialer i huset og fra uteluften) i inneluften på et lavt nivå. Pollen og finstøv belastningen var mindre pga. partikkelfilter brukt i ventilasjonsanlegget. Vedlikehold av ventilasjonsanlegget og filterskifte er en viktig forutsetning for å opprettholde luftkvaliteten. To studier kommer fram til at beboerne opplever en noe forbedret helse etter at de flyttet til mekanisk ventilerte boliger.

I hus med balansert ventilasjon er ofte luftfuktigheten lavere enn i vindusventilerte hus, spesielt om vinteren. Luftfuktigheten innendørs henger tett sammen med luftfuktigheten utendørs. Har man høyt luftskifte blir luften tørrere enn ved lavere luftskifte. Målingene viser at enkelte hus hadde luftfuktighet under 30 % i korte perioder, ellers lå luftfuktigheten over denne nedre grenseverdien. Noen beboere bekrefter målingene og opplever luften i boliger med balansert ventilasjon periodevis som for tørr. Luftfuktigheten virker generelt å oppleves litt lav i passivhusene som ble studert.

Lukt som spres seg gjennom ventilasjon til andre rom har i noen tilfeller blitt rapportert som en forstyrrende faktor.

Muggsoppforekomst i høyisolerte hus med mekanisk/ balansert ventilasjon ble funnet lavere enn i hus med vindusventilering. Dette forutsetter, som i alle bygg, at tettingen, isoleringen og installasjon har blitt gjennomført uten byggefeil.

Ebel et al. (2003) viser også at luftskifte i bygninger med kun naturlig ventilasjon er for lav til å oppfylle krav om tilstrekkelig luftveksling. Et lavt luftskifte fører til høyere relativ luftfuktighet som igjen fører til økt risiko for fuktskader og økt forekomst av husstøvmidd. Studiene viser også at det er bygninger med naturlig ventilasjon som i praksis ofte blir ”for tett”, noe passivhus feilaktig har blitt assosiert med.

6.3 Oppsummert om akustisk miljø:

I noen av de evaluerte husene føler beboerne seg forstyrret av lyden fra ventilasjonsanlegget, i andre studier ble det ikke rapportert noen problemer med lyd og støy. Målinger av lydnivået har ikke blitt gjennomført i noen av studiene. Noen beboere sier at lyden er en vanesak, andre sier at ventilasjonslyden høres fordi huset er så godt isolert at ingen lyd fra utsiden trenger inn. De tekniske spesifikasjonene av ventilasjonsanleggene ble ikke sammenlignet, og lydnivået avhenger muligens av type anlegg. En studie påpeker også at støy fra ventilasjonsanlegget kunne fjernes gjennom enkle tiltak og regelmessig vedlikehold. Enkelt vedlikehold som beboerne kan utføre selv, bør gis større oppmerksomhet. Avsluttende kan vi si at vi mangler flere studier av akustisk miljø i passivhus.

6.4 Oppsummert om generell tilfredshet:

Studiene konkluderer med at en stor andel av beboerne er fornøyde eller veldig fornøyde med å bo i passivhus. Det er en tydelig sammenheng mellom tilfredshet og teknologiformidling og kommunikasjon med f.eks. driftspersonell. Problemer med ventilasjonsanlegget i to prosjekter resulterte i lavere tilfredshet. Andre aspekter som har innflytelse på generell tilfredshet, er opplevelse av høy termisk komfort, bra luftkvalitet og lave kostnader til oppvarming. I en studie ville to tredjedeler av beboerne igjen flytte til et passivhus hvis de kunne velge eller de ville anbefale det til andre. Mange beboere er også stolte av å bo i et passivhus.

Selv om vi ikke har studert det aktive miljø i detalj er det nevneverdig at en studie (Münzenberg & Thumulla 2003) målt lavere radonkonsentrasjon i et passivhus enn i et konvensjonelt hus med vinduslufting. Som årsak angis det økt tetthet og større luftskifte i passivhuset.

7 Referanser

Aas, K., Andersen, T., Becher, R., Berner, M. & Holmen, T. L. (1995) Barns innemiljø - En undersøkelse av norske boliger. *Tidsskr Nor Lægeforen*, 115, s. 2048-51.

Aas, K., S. O. Hanssen, et al. (2009). *Hus og helse*, Rapport SINTEF Byggforsk/Statens Bygningstekniske Etat

Berndgen-Kaiser, A., Fox-Kämper, R. & Holtmann, S. (2010) *Leben im Passivhaus - Baukonstruktion, Baukosten, Energieverbrauch, Bewohnererfahrungen*, ILS-NRW- Schriften Bd. 202

Bmvit (Ed.) (2011), *Ergebnisse der messtechnischen Begleituntersuchung von "Haus der Zukunft" – Demonstrationsbauten*, Projektbericht "Haus der Zukunft", Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, AT

Dehli, M. & Bouse, D. (2004) *Moderne energieeffiziente Lüftungsanlagen für gesundes Wohnen*. Stuttgart

Dokka, T.H, Mysen, M., Klinski, M., Haase, M. (2009), *Kriteria for passivhus- og lavenergibygg - Yrkesbygg*, SINTEF Byggforsk prosjektrapport 42

Doppelbauer, E.-M. & Mahdavi, A. (2010) Ein Vergleich von Passiv- und Niedrigenergie gebäuden am Beispiel zweier Wohnhäuser in Österreich. *Bauphysik*, 32 (3), s. 125-131.

Ebel, W., Großklos, M., Knissel, J., Loga, T. & Müller, K. (2003) *Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern; Eine vergleichende Analyse der Nutzerfaktoren am Beispiel der "Gartenhofsiedlung Lummerlund" in Wiesbaden-Dotzheim*. Endbericht, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt

Folkehelseinstituttet (1998) *Anbefalte faglige normer for inneklima*, Rapport Folkehelseinstituttet

Ginkel, J. v. & Hasselaar, E. (2006) Indoor air quality influenced by ventilation system design. I: proceedings *ENHR "Housing in an expanding Europe: theory, policy, participation and implementation"*. Ljubljana, Slovenia

Gölz, S. (2003). *Ergebnisse der Nutzerbefragung zum Förderprogramm Wärmerzeugung im Passivhaus der EnBW Energie Baden-Württemberg AG*. Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg

Hinnen, U. (2008) *Raumluftfeuchte aus medizinischer Sicht*, Zentrum für Arbeitsmedizin, Ergonomie und Hygiene AEH

Isaksson, C. & Karlsson, F. (2006). "Indoor climate in low-energy houses - an interdisciplinary investigation." *Building and Environment* 41(12)

Jansson, U. (2010). *Passive houses in Sweden. From design to evaluation of four demonstration projects*. Report EBD-T-10/12. ISBN 978-91-85147-46-5. Lund University

- Kah, O., Peper, S., Ebel, W., Kaufmann, B., Feist, W. & Bastian, Z. (2010) *Untersuchung zum Außenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung*. Passivhaus Institut Darmstadt
- Keul, A. G. (2010) Analyse der Nutzerzufriedenheit bestehender Wiener Passiv-Wohnhausanlagen. I: *Internationale Passivhaustagung 2010*. Dresden.
- Klinski, M., Thomsen, J., Hauge, Å. & Dokka, T.H., *Systematisering av erfaringer med passivhus*. SINTEF Byggforsk rapport, planlagt ferdigstilt feb. 2012
- Krapmeier, H. (2006) *Wohnen I. Klasse im Passivhaus*. Energieinstitut Vorarlberg
- Künzel, H. (2009) *Wohnungslüftung und Raumklima*. Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag.
- Leech, J. A., Raizenne, M. & Gusdorf, J. (2004) Health in occupants of energy efficient new homes. *Indoor Air*, 14 (3), s. 169-73.
- Münzenberg, U. & Thumulla, J. (2003) Raumlufthausqualität in Passivhäusern. I: *7. Internationale Passivhaustagung 2003*. Hamburg.
- Nicol, F. & Roaf, S. (2005). Post-occupancy evaluation and field studies of thermal comfort. *Building Research and Information* 33, s.338–346.
- Oswald, R. et al.(2008). *Schimmelpilzbefall bei hochgedämmten Neu- und Altbauten*. AIBAU - Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik
- Passivhaus Institut Darmstadt, www.passiv.de/English/PassiveH.HTM, nettside tilgjengelig november 2011
- Peper, S., Feist, W. & Kah, O. (2001). *Messtechnische Untersuchung und Auswertung Klimaneutraler Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg*. CEPHEUS-Projektinformation. Hannover, Stadtwerke Hannover: 135.
- Rohregger, G. et al. (2004), Behagliche Nachhaltigkeit. Untersuchungen zum Behaglichkeits- und Gesundheitswert von Passivhäusern, *Berichte aus Energie- und Umweltforschung*, 17/2004
- Samuelsson, M. & Lüddeckens, T. (2009). *Passivhus Ur En Brukares Perspektiv*. Växjö Universitet. Master.
- Schnieders, J. (2003) *Einfluss der Lüftungsstrategie auf die Schadstoffkonzentration und -ausbreitung im Raum*. Protokollband Nr. 23.
- Schnieders, J. & Hermelink, A.(2006). CEPHEUS results: measurements and occupants` satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. *Energy Policy* 34: 20.
- Standards Norway, 2009. Criteria for low energy and passive houses – residential buildings. *prNS 3700:2009*.
- Toepfer, I. & Leimer, H.-P. (2005), *Pilzbelastung der Raumlufthaus hochgedämmter Häuser – baubiologische Aspekte*. WTA-Schriftenreihe 27, 1-35.

TEK 10, Forskrift til tekniske krav til byggverk (Byggeteknisk forskrift), <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html>

Treberspurg & Smutny (2009), *Nachhaltigkeits-Monitoring ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien, Endbericht*, Universität für Bodenkultur Wien und Wiener Wohnbauforschung.

Umweltbundesamt. (2006) *Energiesparen in Gebäuden und gute Raumluftqualität sind möglich, Stellungnahme der Kommission "Innenraumlufthygiene" des Umweltbundesamtes* 3. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz, Springer Medizin Verlag.

Wagner, W., Prein, A.; Spörk-Dür, M. & Suschek-Berger, J. (2010). Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Passivmehrfamilienhaus Mühlweg. *Berichte aus Energie- und Umweltforschung*.

Wagner, W. & Jähnig, D.(2007). *Energietechnische und Baubiologische Begleituntersuchung der Bauprojekte. Berichtsteil Solarcity Linz - EBS Haus 1*. Haus der Zukunft. Wien: 79.

WHO (2009) *WHO Guidelines for Indoor Air Quality - Dampness and Mould*.

Bildet på forsiden er tatt av Jan M. Lillebø, Bergens Tidende i passivhuset Øystese i Hardanger. Bildet er trykt med tillatelse av BT.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no