

Komforthusene

udvikling af passivhuskonceptet i en dansk kontekst

Larsen, Tine Steen; Brunsgaard, Camilla

Published in:

Towards 2020 - Sustainable Cities and Buildings

Publication date:
2010

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Larsen, T. S., & Brunsgaard, C. (2010). Komforthusene: udvikling af passivhuskonceptet i en dansk kontekst. I T. S. Larsen, & S. Pedersen (red.), *Towards 2020 - Sustainable Cities and Buildings: 3rd Nordic Passive House Conference 7-8 October 2010* Aalborg Universitetsforlag.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Komforthusene – udvikling af passivhuskonceptet i en dansk kontekst

Tine Steen Larsen^{1,*}, Camilla Brunsgaard¹

¹Aalborg Universitet, Danmark

*Korrespondance email: tsl@civil.aau.dk

RESUMÉ

Artiklen er baseret på de erfaringer, der er kommet ud fra forskningsprojektet "Demonstration af energiforbrug og indeklima i 10 danske passivhuse", som foregår i Komforthusene i Vejle (Danmark). Artiklen beskriver bl.a. problemerne med overophedning om sommeren og meget lav indetemperatur i løbet af vinteren og kommer med mulige løsninger for at undgå problemer i fremtidige lignende projekter. Herunder inddrages også en diskussion af de antagelser der gøres under dimensioneringen i PHPP. Desuden inddrages en sammenligning mellem husenes målte og beregnede primære energiforbrug.

NØGLEORD

Design proces, indeklima, energiforbrug, målinger

INDLEDNING

I 2008 lød startskuddet til byggeriet af 10 passivhuse i Skibet ved Vejle. Husene var den første større gruppe af passivhuse i Danmark, og de 10 huse var meget forskellige både med hensyn til størrelse, arkitektonisk udformning og byggetekniske løsninger. Husene var derfor et unikt udgangspunkt for demonstration og dokumentation af passivhusløsninger i Danmark, og opførelsen af husene blev derfor samtidig til oprettelsen af et forskningsprojekt, som i en tre-årig periode skal følge energiforbruget og indeklimaet i 8 af de 10 huse.

Målet med forskningsprojektet er bl.a. at kunne dokumentere, om energiforbruget i husene er på passivhusniveau samt at husene opfylder passivhuskriterierne, som bl.a. er beskrevet af Feist et al., 2005. Desuden opnås der via målingerne detaljeret viden om energiforbrugets fordeling både på forskellige forbrugstyper (el, vand, varme, ventilation) og over forskellige perioder (døgn, uge, årstidsvariation). Herudover vil projektet også resultere i viden om brug af behovsstyret ventilation i boliger, da der i alle 10 passivhuse er givet dispensation for bygningsreglementets krav om et luftskifte på 0,35 l/s pr m² (svarende til ca 0,5 gang pr time). Man kan dermed gennem måleprojektet vise, hvor meget ventilation der er nødvendig for at kunne opretholde et tilfredsstillende indeklima, og om behovsstyring vil resultere i en reduktion af ventilationsmængden, og dermed en energibesparelse, eller det modsatte.

Endelig er et af formålene med forskningsprojektet at dokumentere de beregningsmetoder og –modeller, der er brugt i designfasen og sammenholde målte data med beregnede for via denne sammenligning efterfølgende at kunne optimere og forbedre designfasen, og hermed på sigt opnå bedre boliger. Det er denne sammenligning, som danner grundlaget for denne artikel. I artiklen medtages målinger fra fire huse, som alle har været beboet siden sommeren 2009.

METODER

Datagrundlaget for projektet opnås via løbende målinger i de 8 huse. I tidligere projekter af samme art er det ofte kun energiforbruget samt det termiske indeklima, der er blevet registreret (Feist et al. 2001, Schnieders et al. 2006 and Wall 2006), men i dette projekt registreres også det atmosfæriske indeklima. I alle huse måles følgende hvert 5. minut:

- Temperatur, relativ luftfugtighed og CO₂-niveau i 3-5 rum i hvert hus
- Energiforbrug til rum-opvarmning
- Energiforbrug til varmt brugsvand
- Hus-specifikke målinger af energiforbrug til, samt luftens tilstand i, ventilationsanlæg/kompaktaggregater samt energiforbrug til hårdehvidevarer
- Vejrdata for udeluften

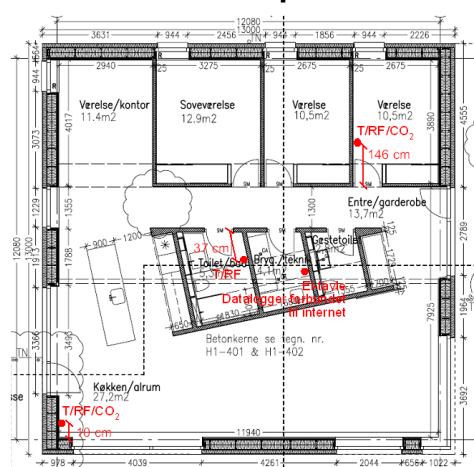
Herudover er der målt dagslysforhold og akustik i husene, da der i hele projektforløbet er lagt vægt på komforten i husene, og dette har indgået som en væsentlig parameter gennem designperioden. Desuden er luftmængderne fra husenes ventilationsanlæg kontrolleret således, at den korrekte friskluftmængde kendes, når indeklimaet i boligen skal vurderes.

Udover de kvantitative målinger foretages der interview-undersøgelser hos beboerne hvor det bl.a. undersøges, hvordan de oplever deres dagligdag i et passivhus i forhold til deres tidligere beboelse. [Brunsgaard, 2010]

RESULTATER

Resultaterne vil tage udgangspunkt i enkelte case studies fra forskningsprojektet for at kunne fremhæve kritiske punkter i designfasen. Da måleprojektet endnu ikke er afsluttet, og der endnu ikke er data for et helt års beboelse, skal alle konklusioner betragtes som foreløbige.

Individuel rumtemperatur – er det nødvendigt?

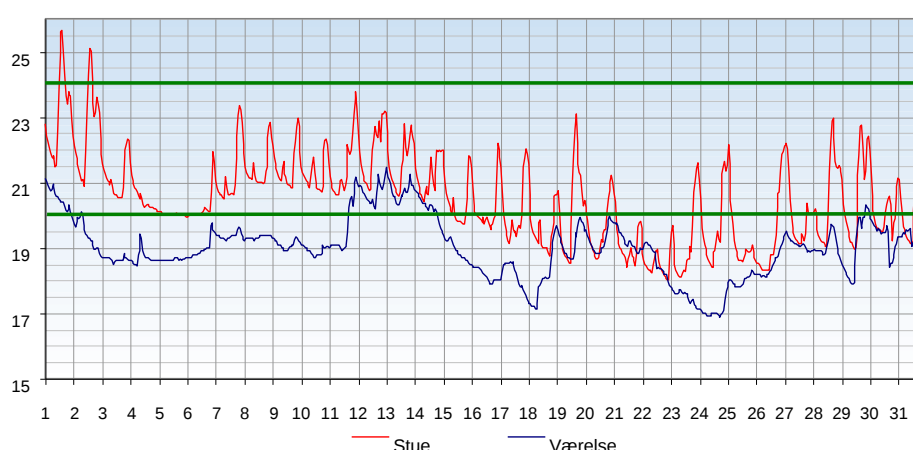


Figur 1. Grundplan

Der er i de fleste af Komforthusene ikke mulighed for valg af forskellig temperatur fra rum til rum. De fleste huse opvarmes via luft fra husets kompaktaggregat evt suppleret med gulvvarmesystemer i enkelte rum, håndklædetørre i badeværelset eller el-radiatorer. Et enkelt hus har dog valgt traditionel lavtemperatur radiatorsystem.

Problemet ved ikke at kunne tilføre individuelle rum ekstra varme i meget kolde perioder blev især synligt i vintermånederne 2009/2010. Her opstod opvarmningsproblemer i et enkelt hus i et nordøstvendt værelse (jf figur 1). I huset tilføres varme via luft i alle "rene" rum og udsuges igen fra køkken, bad og teknikrum. Sidstnævnte zoner er alle placeret i betonkernen midt i huset. Det er også i badeværelserne

at tilskudvarme via gulvene tilføres. Målingerne fra huset i december 2009 ses i figur 2. Her ses det, at der i værelset mod nordøst kun opnås meget lave temperaturer samt at stuen også ligger under den nedre komfortgrænse en stor del af tiden. Problemet skyldes med stor sandsynlighed, at den tilførte varme ikke trænger ud gennem betonkernen og videre ud i huset samtidig med, at indblæsningsluften ikke når den temperatur (52°C), som er forudsat i husets PHPP beregning.



Figur 2. Rumtemperaturer målt i stue og værelse. De grønne linier indikerer komfortgrænser svarende til kategori B i CR1752.

Da størrelsen af varmetab ved "worst case" (defineret i PHPP) og størrelsen af det mulige varmetilskud ofte ligger tæt på hinanden, vil ganske små afvigelser mellem beregninger og faktiske forhold straffes hårdt i denne type byggeri. I dette tilfælde er konsekvensen af afvigelserne, at beboerne fryser gennem en længere periode indtil der som en midlertidig løsning opstilles en el-radiator. Denne erstattes efterfølgende af en vandbåren radiator koblet på samme system som leverer gulvvarme i badeværelserne. Radiatoren placeres i gangen mellem værelser og betonkerne, og løser husets problemer med kolde rum.

Hvorvidt det er nødvendigt med individuel regulering af rumtemperaturen kan være forskellig fra person til person, men faktum er, at det kan være en fordel med muligheden for at tilføre ekstra varme i nogle rum uden at skulle hæve temperaturniveauet i hele huset. Hvis muligheden for den individuelle regulering skal ind i passivhusene (og andre typer af lavenergi-byggeri) skal man i valget af tekniske løsninger væk fra kun at opvarme med luft, men i stedet kunne tilføre varme til rummene via lavtemperatur-radiatorer eller gulvvarme.

Overophedning - hvordan kan det undgås?

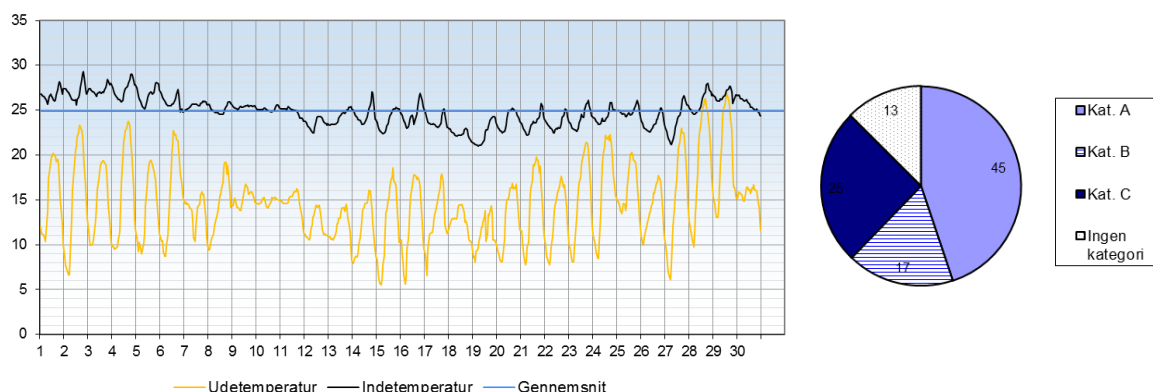
Et andet kritisk punkt i designfasen er design og placering af solafskærmning samt bortventilering af varm luft fra husene så overophedning undgås. Da alle huse er tætte og velisolerede vil der ved et stort solindfald gennem vinduerne også hurtigt blive varmt. Det er derfor væsentligt, at solafskærmning og brug af naturlig ventilation tænkes ind i projektet fra starten.

Der er i husene brugt flere forskellige løsninger ved design af solafskærmning, men integration af åbninger til naturlig ventilation, som samtidig også kan sikres mod tyveri, er ikke brugt aktivt i husene. Desværre er der også eksempler, hvor solafskærmningen er udeladt, med forøget rumtemperatur til følge. Nogle af løsningerne til solafskærmning er illustreret i figur 3. På huset yderst til højre skal der med tiden vokse løvfældende beplantning op som afskærmning. Ikke alle illustrerede huse har været beboet i projektets første år.



Figur 3. Eksempler på solafskærmning brugt i Komforthusene.

I det hus hvor den udvendige solafskærmning er udeladt, har beboerne valgt heller ikke at opsætte indvendig solafskærmning, hvilket medfører en overophedning af huset i sommerperioden. Således blev der i juni 2010 registreret en middel indetemperatur på 24,9°C, hvilket medførte at kategori B (jf. CR1752) kun blev opnået 62% af tiden.



Figur 4. Indetemperaturer og udetemperaturer målt i juni 2010 i hus uden solafskærmning.

For at undgå problemer med overophedning er det væsentligt med en effektiv solafskærmning - gerne med udvendig placering, da denne form for afskærmning er den mest effektive. Kombineres dette med naturlig ventilation både dag og nat, som er indtænkt i designet fra starten fx via små vinduesåbninger øverst i de store glaspartier, vil dette kunne forbedre indeklimaet i huset væsentligt og reducere eller fjerne problemet med overophedning.

Beregningsantagelser – kan vi gøre som vi plejer?

Ved dimensionering af passivhusene bruges PHPP (Passive House Planning Package), som sammenligner resultatet af beregningerne med passivhuskriterierne. De grundlæggende principper bag programmet svarer til energiberegningen i Be06, men der er dog forskelle som gør at resultater fra de to programmer ikke er direkte sammenlignelige. Begge programmer ser huset som et stort volumen, hvortil der opstilles en simpel varmebalance baseret på månedsmiddelværdier.

Mængden og typen af solafskærmning samt brugen af naturlig ventilation fastlægges typisk ud fra PHPP-beregningen, alternativt ud fra en Be06-beregning. Dvs at der i beregningen kun ses på hvad der fx kommer ind af solvarme i hele bygningsvoluminet – programmet tager ikke hensyn til, at dørene mod de nordvendte rum måske er lukkede, og varmen dermed kun fordeler sig i det halve volumen. Samme problem opstår når man skal tilføre varme fra fx gulvvarmeanlægget i vinterperioden. Her kontrolleres også kun, at den tilførte varmemængde er korrekt ift varmebalancen – det kontrolleres ikke om varmen fordeles rundt i huset.

For at komme ud over dette problem – og dermed de mange efterfølgende problemer i dårligt dimensionerede huse – er det nødvendigt at foretage andre beregninger for husene end energiberegninger. Et godt indeklima kan ikke opnås ud fra beregninger med et **energiberegningsprogram** – det kræver mere avancerede simuleringer fx i BSim eller et tilsvarende dynamisk beregningsprogram.

Primært energiforbrug < 120 kWh/m² pr år

Ud over det væsentlige i at skaffe beboerne i fremtidens passiv- og lavenergihuse et godt indeklima, er det også væsentligt, at det forventede energiforbrug i boligerne stemmer overens

med det målte, så man dermed ikke opnår ubehagelige overraskelser, fx i form af en stor el-regning. Igen vurderes kun de fire boliger, der har været beboet det første år af måleperioden. Ved sammenligningen mellem det beregnede og det målte energiforbrug benyttes det primære energiforbrug i husene – dvs det tal der kan aflæses på husets el-måler multipliceret med en primær energifaktor. Der gælder ved brug af PHPP følgende:

Primært energiforbrug < 120 kWh/m² pr år

Da PHPP er benyttet er der her multipliceret med 2,7, som er den primær-energifaktor man bruger i de tyske regler (i DK er det 2,5). Dvs at der på el-måleren højst må aflæses ca 44 kWh/m² pr år. Resultaterne for det primære energiforbrug er angivet i tabel 1.

Tabel 1. Resultater fra de fire beboede huse.

Hus	Forbrug [kWh]	Areal [m ²]	Primært energiforbrug [kWh/m ² pr år]
12	4.549	145	85
28	5.198	135	104
37	7.338	141	141
47	14.222	155	248

Det fremgår af tabel 1, at to af husene ikke overholder kravet til primært energiforbrug. Forklaringen på overskridelsen i nummer 37 er, at der her midlertidigt blev opstillet en el-radiator i vinteren 2009/2010 for at afhjælpe de kolde rum. Den blev i maj erstattet af en vandbåren radiator tilknyttet jordvarmepumpen, og resultatet for dette hus vil sandsynligvis blive bedre for den kommende vinter. I hus 47 skyldes det høje forbrug bl.a., at brugerne kører ventilationsanlægget på maksimal hastighed, hvilket svarer til et luftskifte på ca. det dobbelte af kravet i BR. Der ryges i huset, hvilket kan være en forklaring på det forøgede luftskifte. Desuden er rumtemperaturen i vinteren nogle grader over de 20°C, der er benyttet i energiberegningen.

DISKUSSION

Der er i denne artikel medtaget nogle af de første erfaringer fra Komforthusene. Målingerne i projektet fortsætter indtil december 2011 og erfaringerne fremlagt her vil ikke blive de sidste, da der stadig er masser af ting at lære, når der skal bygges godt og robust lavenergibyggeri, som både har et lavt energiforbrug og et godt indeklima.

En af de væsentlige faktorer for at opnå succes, er at ændre arbejdsmetoden når byggeriet skal designes. Arkitekt og ingeniør skal samarbejde fra begyndelsen af processen og alle skal være indstillede på ikke at gøre ”som vi plejer”, for godt lavenergibyggeri kan ikke laves ud fra de erfaringer vi allerede har fra traditionelt byggeri. Ved at oprette et tæt samarbejde mellem arkitekt og ingeniør vil et integreret designforløb naturligt opstå, og de tekniske løsninger som fx solafskærmning og naturlig ventilation vil bedre kunne indarbejdes i designet.

Selvom denne ”anderledes” tankegang kan synes simpel er det nok en af de væsentligste barrierer for at få udviklet gode projekter, der efterfølgende også fungerer i praksis. Samtidig er det vigtigt at huske, at der i denne type huse er et meget lavt energiforbrug, som nemt kan påvirkes af de beboere der flytter ind i husene samt små fejl i fx udførelsen af huset eller de tekniske installationer. Det er derfor væsentligt at man altid ligger lidt ekstra til den effekt, der

kan tilføres huset, for at undgå en situation hvor varmeanlægget ikke kan levere varme nok på en effektiv måde (dvs COP>1), og man i stedet starter el-radiatorer op i huset.

KONKLUSIONER

Ud fra ovenstående er det væsentligt at der fremadrettet arbejdes videre med at forbedre passivhuse og lavenergihuse i både dansk og nordisk kontekst. Anbefalingerne fra denne artikel viser følgende:

- Pas på med at afskaffe muligheden for individuel temperaturregulering
- Integrer solafskærmning og aktiv brug af naturlig ventilation i bygningen fra starten af designfasen
- Kontroller bygningens indeklima via en dynamisk beregning – brug ALDRIG energiberegningsprogrammet som kontrol af dette

ANERKENDELSE

Projektet er støttet af Realdania og ledes af Aalborg Universitet, men med et tæt samarbejde til Saint-Gobain Isover a/s.

KILDEANGIVELSER

- Brunsgaard C. 2010, Kvantitativ og kvalitativ evaluering af indeklimaet i Komfort Husene, *Proceedings for Passivhus Norden 2010 - 3rd Nordic Passive House conference*, 2010
- CR1752, 2001. DS/EN/CR 1752, Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet, Dansk standard, 2001
- Feist W., Peper S. and Görg M. 2001. *CEPHEUS-Project information No. 36* Final Technical Report. Project Reference Number: BU/127/DE/SE/AT, 127 pages.
- Feist W., Schnieders J., Dorer V. and Haas A. 2005. Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. *Energy and Buildings* 37, pp. 1186–1203
- Schnieders J. and Hermelink A. 2006. *CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building.* Energy Policy 34, pp. 151–171
- Wall M. 2006. Energy-efficient terrace houses in Sweden - Simulations and measurements. *Energy and Buildings* 38, pp. 627–634