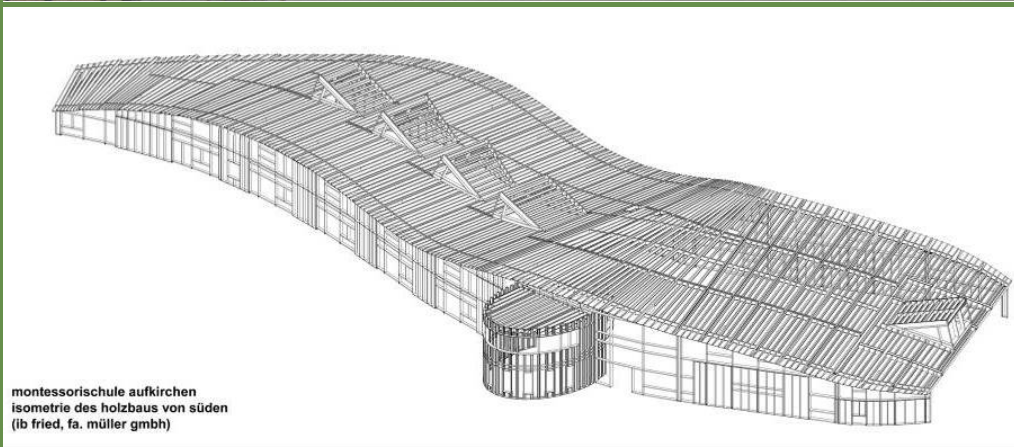


MICHAEL KLINSKI, TROND BØHLERENGEN OG TOR HELGE DOKKA

Passivhusløsninger basert på trekonstruksjoner

Prosjektrapport 86

2011



montessorischule aufkirchen
isometrie des holzbaus von süden
(ib fried, fa. müller gmbh)

SINTEF Byggforsk

Michael Klinski, Trond Bøhlerengen og Tor Helge Dokka

Passivhusløsninger basert på trekonstruksjoner

Prosjektrapport 86 – 2011

Prosjektrapport nr. 86
Michael Klinski, Trond Bøhlerengen og Tor Helge Dokka
Passivhusløsninger basert på trekonstruksjoner

Emneord:
Passivhus, tre og konstruksjoner

ISSN 1504-6958
ISBN 978-82-536-1242-3(pdf)

Prosjektnr.: 3B0323

Illustrasjoner omslag:
Montessoriskole i Aufkirchen, Tyskland. Skolen er sertifisert i henhold til kriterier satt av Passivhusinstituttet i Tyskland (www.passiv.de).
Arkitekt og foto: Dipl.-Ing. Architekt Gernot Vallentin.
www.vallentin-architektur.de

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2011
Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.
Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 22 96 55 55
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

Innholdsfortegnelse

1	Forord	7
2	Sammendrag	8
3	Bakgrunn	9
4	Passivhuskonseptet	9
4.1	Kriterier for passivhus i henhold til Passivhusinstituttet i Tyskland	9
4.2	Kriterier for passivhus i henhold til Forum för Energieeffektiva Byggnader i Sverige	10
4.3	Kriterier for passivhus i henhold til Norsk Standard NS 3700	10
4.4	Ulike resultater etter ulike passivhusstandarder	11
4.5	Prinsipper for passivhus	11
4.5.1	Minimere kuldebroer	12
4.5.2	Lufttett bygningskropp	14
4.5.3	Installasjoner	15
4.5.4	Kvalitetssikring	15
5	Eksisterende veiledningsmateriale for passivhus med relevans for trekonstruksjoner	17
5.1	Nettbasert veiledning	17
5.2	Veiledningsmateriale fra tyskspråklige land	17
5.2.1	Holzbauhåndbuch (brosjyre fra Informationsdienst Holz, Tyskland)	17
5.2.2	Passivhaus-Bauteilkatalog/Details for Passive Houses (Håndbok fra IBO, Østerrike)	23
5.2.3	Qualitätssicherung von Passivhäusern in Holzbauweise (rapport fra forskningsprogrammet Haus der Zukunft, Østerrike)	27
5.2.4	Forskningsrapporter og brosjyrer fra Passivhusinstituttet i Tyskland Protokollband 14, 16, 21, 29, 33, 37, Konstruktionshandbuch für Passivhäuser	28
5.3	Veiledningsmateriale fra Sverige	30
5.3.1	Passivhusbrosjyre fra Passivhuscentrum	30
5.3.2	Passivhus – En håndbok om energieffektivt byggende	30
5.4	Veiledningsmateriale fra Norge	32
5.4.1	Energieffektive boliger for fremtiden (håndbok fra IEA SHC task 28)	32
5.4.2	Kurs i planlegging og bygging av passivhus (Universitetet i Agder og Husbanken)	32
5.5	Veiledningsmateriale om rehabilitering	32
5.6	Spesielle konstruksjoner	34
5.6.1	Produsenter Isolasjonsprodusentenes forening i Østerrike, Isover, Rockwool, Steico, Lignotrend, Altbauzentrum	34
5.6.2	Innovative Wandkonstruktionen für Minergi-P und Passivhäuser (oversiktsbok)	34
5.6.3	Sertifiserte byggesystemer i tre	35

6	Ferdigstilte passivhus i tre	36
6.1	Passivhusprosjekter i Tyskland og Østerrike	37
6.1.1	Tidlige prosjekter i forskningsprogrammet CEPHEUS	37
6.1.1.1	Rekkehus i Hannover-Kronsberg, Tyskland	37
6.1.1.2	Lavblokker i Kuchl ved Salzburg, Østerrike	40
6.1.1.3	Lavblokk i Salzburg-Gnigl, Østerrike	43
6.1.1.4	Blokker i Wolfurt ved Bregenz, Østerrike	46
6.1.2	Nyere evaluerte eller sertifiserte prosjekter	48
6.1.2.1	Enebolig i Weitnau, Tyskland	48
6.1.2.2	Enebolig ved Erlangen, Tyskland	50
6.1.2.3	Enebolig i Alsheim, Tyskland	52
6.1.2.4	Rekkehus i München, Tyskland	54
6.1.2.5	Enebolig i Rottenburg, Tyskland	57
6.1.2.6	Skole i Aufkirchen, Tyskland	59
6.1.2.7	Kommunehuset i Ludesch, Østerrike	61
6.1.2.8	Rehabilitering av blokker i Frankfurt, Tyskland	63
6.1.3	Vurdering	65
6.2	Passivhusprosjekter i Sverige	67
6.2.1	Tidlig prosjekt i forskningsprogrammet CEPHEUS	67
6.2.1.1	Rekkehus i Lindås ved Gøteborg	67
6.2.2	Nyere evaluerte prosjekter	70
6.2.2.1	Lavblokker i Värnamo	70
6.2.2.2	Firemannsboliger i Frillesås ved Kungsbacka	72
6.2.2.3	Enebolig i Lidköping	74
6.2.2.4	Punktthus i Växjö	76
6.2.3	Andre nyere prosjekter	79
6.2.3.1	Firemannsbolig i Tollered ved Alingsås	79
6.2.3.2	Enebolig ved Eksjö	81
6.2.4	Vurdering	83
6.3	Passivhusprosjekter i Norge	85
6.3.1	Prosjekter i henhold til norske kriterier	85
6.3.1.1	Blokker Løvåshagen i Bergen	85
6.3.1.2	Barnehage Storøya i Bærum	88
6.3.1.3	Skole Marienlyst i Drammen	91
6.3.1.4	Enebolig på Skøyen i Oslo	95
6.3.1.5	Rehabilitering av blokker Myhrerenga på Skedsmo	99
6.3.2	Prosjekt sertifisert i henhold til Passivhusinstituttets kriterier	101
6.3.2.1	Enebolig på Sørumsand	101
6.3.3	Vurdering	103

7	Konstruksjonsløsninger egnet for passivhus i Norge.....	104
7.1	Isolasjonstykkelser for bygningsdelene.....	109
7.2	Veggkonstruksjoner.....	109
7.2.1	Bindingsverk av tre.....	109
7.2.2	"Doble" vegger.....	110
7.2.3	Måssivtre.....	111
7.3	Takkonstruksjoner.....	112
7.3.1	Skrå isolerte, luftede tretak.....	112
7.3.2	Kompakte tak.....	115
7.4	Golvkonstruksjoner.....	115
7.4.1	Golv på grunnen.....	115
7.4.2	Etasjeskiller av trebjelkelag.....	116
7.5	Detaljøsninger.....	117
7.5.1	Overgang etasjeskiller/yttervegg.....	117
7.5.2	Overgang yttervegg/tak.....	120
7.5.3	Overgang yttervegg/sokkel.....	123
7.5.4	Innsetting av vindu og dør.....	126
7.5.5	Prinsipp for gjennomføringer i klimaskall.....	127
8	Veien videre.....	129
9	Referanser.....	130
10	Nettsteder.....	132
A	Vedlegg Eksempler fra Passivhaus-Bauteilkatalog/Details for Passive Houses.....	133
A.1	Eksempelsider for veggkonstruksjon AWI 06.....	133
A.2	Beskrivelse av veggkonstruksjon AWh 01 og AWI 01-05.....	136
	AWh 01 Brettstapel-Außenwand, hinterlüftet/Stacked wood outside wall, rear ventilation.....	136
	AWI 02 Holzständer-Außenwand, verputzt/Wood post outside wall, plastered.....	137
	AWI 03 Holzständer-Außenwand, mit WDVS/Wood post outside wall, with ETICS.....	137
	AWI 04 Brettschichtholzständer-Außenwand, nicht hinterlüftet/ Laminated wood post outside wall, no rear ventilation.....	138
	AWI 05 Boxträger-Außenwand, hinterlüftet/Box beam outside wall, rear ventilation.....	138
A.3	Beskrivelse av takkonstruksjon DAI 01-04.....	139
	DAI 01 Holzspärren-Steildach/Wood rafter steeply-pitched roof.....	139
	DAI 02 Holzspärren-Steildach mit Aufspärrendämmung/ Wood rafter steeply-pitched roof with rafter insulation.....	139
	DAI 03 Doppel-T-Träger-Steildach/Double t-beam steeply-pitched roof.....	140
	DAI 04 Boxträger-Steildach/Box beam steeply-pitched roof.....	140

B	Vedlegg Optimalisering av vindusinnsetting.....	141
B.1	Innsettingskuldebro for vindu med moderat god karm i trestendervegg	141
B.2	Innsettingskuldebro for vindu med veldig god karm i trestendervegg.....	142
C	Vedlegg Detaljer fra produsenter	143
C.1	Overgangsdetaljer fra GDI, isolasjonsprodusentenes forening i Østerrike	143
C.2	Eksempeldetalj fra Steico AG, Detalkatalog Konstruktionen	149
C.3	Eksempeldetalj fra Lignotrend GmbH, Die hochwärmegegedämmte Gebäudehülle mit U*psi.....	150
D	Vedlegg Produsenter av sertifiserte byggesystemer	151

1 Forord

Denne prosjektrapporten er et resultat av et omfattende utredningsarbeid utført av SINTEF Byggforsk i samarbeid med Trefokus AS i 2010 og 2011.

Prosjektleder og hovedforfatter ved SINTEF Byggforsk, avdeling Energi og arkitektur har vært Michael Klinski, med Trond Bøhlerengen og Tor Helge Dokka som medforfattere. Tor Helge Dokka har i tillegg vært kvalitetssikrer. Løpende innspill i arbeidet er kommet fra avdeling kunnskapssystemer ved Brit Roald og fra Trefokus ved Aasmund Bunkholt. Prosjektnummeret ved SINTEF Byggforsk var 3B0323.

Ytterligere innspill er kommet fra en referansegruppe med følgende medlemmer:

Bengt Michalsen, Arkitekt Bengt G. Michalsen AS

Christopher Aas Clementz, Treteknisk institutt

Joe Svendsen, Byggma ASA

Lars Myhre, Boligprodusentene

Ole Petter Haugen, Skanska

Haumann Sund og Sven Egil Holmsen, Moelven Iso3 og Moelven

Erling Askautrud, Håndverksbygg AS

Åsmund Østvold, Beto-Bygg AS

Simen Stensrud og Lars Harald Nilsen, Hunton Fiber AS

Fredrik Pedersen og Willy Hagen, Arkitektkontoret GASA AS

Hovedresultater ble presentert og diskutert på et seminar med utvalgte nøkkelpersoner i bransjen, utover referansegruppa.

Rapporten er i hovedsak finansiert av tilskudd fra Innovasjon Norges trebaserte innovasjonsprogram. I tillegg kommer egeninnsats fra SINTEF Byggforsk og Trefokus samt et bidrag fra KlimaTre-prosjektet¹.

Oslo, 9. desember 2011

Michael Klinski

Prosjektleder

¹ KlimaTre-prosjektet er finansiert av Norges forskningsråd, Skogtiltaksfondet, Treforedlingsindustriens bransjeforening, Fondet for treteknisk forskning og Treindustrien. I tillegg bidrar mange aktører innenfor skogbasert næring og byggenæring med en betydelig egeninnsats.

2 Sammendrag

Foreliggende prosjektrapport er et resultat av et omfattende utredningsarbeid utført av SINTEF Byggforsk i samarbeid med Trefokus AS i 2010 og 2011. Målet med prosjektet var å skaffe en systematisk oversikt over ulike konstruksjonsløsninger for passivhus basert på tre og egnet for norske leverandører og forhold. Rapporten synliggjør muligheter for å oppnå passivhusstandard i trehus og hvordan disse muligheter omsettes i praksis, både i Norge og relevante andre land, innenfor rimelige kostnader.

Et passivhus har et veldig lavt energibehov sammenliknet med vanlige hus. Grunnen til at det kalles passivhus, er at man tar i bruk mest mulig passive tiltak for å redusere energibehovet. Hvis gjenværende oppvarmingsbehov er tilstrekkelig lavt og vinduer og dører har høye nok innvendige overflate-temperaturer, kan det velges et sterkt forenklet oppvarmingssystem. Begrepet og kriterier ble opprinnelig lansert av Passivhusinstituttet i Tyskland. I noen land ble det imidlertid utviklet egne passivhusstandarder og -kriterier. Prinsipper samt standarder og kriterier blir innledningsvis presentert i rapporten, med spesiell vekt på lufttett bygningskropp med minimale kuldebroer.

Etter en presentasjon av eksisterende veiledningsmateriell blir det drøftet forskningsresultater som viser at optimalisering av vindusinnsetting har stor betydning for minimering av kuldebroer. Vinduer bør helst plasseres i isolasjonssiktet, et stykke inn i fasadelivet og med isolasjon ført på karmen. Samtidig må sikkerhet mot slagregn ivaretas.

I hoveddelen av rapporten blir det presentert og analysert ferdigstilte passivhus med tilhørende konstruksjonsløsninger i Norge, Sverige, Tyskland og Østerrike, inkludert noen rehabiliteringsprosjekter. I Tyskland og Østerrike ser vi en utvikling fra forholdsvis kompliserte til enklere konstruksjoner over tid, samt en tendens bort fra mineralull til mer bruk av innblåst celluloseisolasjon og porøse trefiberplater. Det brukes også mer og mer diffusjonsåpne konstruksjoner med innvendig dampbrems. Tykkere porøse trefiberplater brukes i noen tilfeller som kombinert vindtetting og kuldebrobryting og føres på vinduskarmen, slik at den er isolert utvendig. Vinduene sitter i nesten alle tilfeller lenger inne i vegglivet og har påført isolasjon på karmen. I likhet med Sverige har alle undersøkte bygg det primære lufttettesjiktet innvendig, det vil si i kombinasjon med dampstoppings-/dampbremsjiktet. I noen svenske prosjekter er veggoppbyggingen komplisert med mange ulike lag og bruk av flere isolasjonsmaterialer i samme konstruksjon. Vinduer sitter som oftest i flukt med fasaden. Mye vekt legges på avverging av kondensfare og oppstigende fukt. Totalt virker forskjellen mellom norsk og svensk byggeskikk relativt stor, sammenliknet med ulikheter mellom Norge og sentraleuropeiske land. Ringmurløsninger, som blir mye brukt i Norge, ser en verken i undersøkte prosjekter i Sverige eller i Mellom-Europa. Løsninger i norske prosjekter varierer fra relativt kjente konstruksjoner til mer nye/innovative løsninger, sett på bakgrunn av norsk byggetradisjon. I alle norske prosjekter har det vært fokus på god og fuktsikker byggeprosess, enten ved å bygge under telt, med værbeskyttet stillas eller ved å bruke prefabrikkerte elementer. Mange norske passivhus har fokus på utvendig kontinuerlig vindtettesjikt for å klare lekkasjetallkravet. Men med nye (for norske forhold) konstruksjonsløsninger er det likevel aktuelt å plassere det kontinuerlige hovedlufttettesjikt innvendig (dampsperre/dampbrems), slik det er vanlig også i passivhus både i Sverige, Tyskland og Østerrike.

Rapporten avslutter med å drøfte hvilke konstruksjonsløsninger som kunne være egnet for norske forhold samt å vise og beskrive skisser for tre ulike veggkonstruksjoner med prinsipiell oppbygging og viktige overgangsdetaljer. Det er tydeligvis ulike tradisjoner, både konstruktivt og i byggeskikk generelt i de undersøkte land, som gjør det delvis vanskelig å ”importere” løsninger direkte til Norge uten først å ha vurdert egnetheten under ulike klimatiske forutsetninger. Ved å gjøre nettopp det, vil en imidlertid kunne bruke både mer diffusjonsåpne løsninger, nye materialer og andre konstruksjoner enn de fleste er vant til i Norge. En generell anbefaling er å forsøke å etablere både vindsperre- og dampbrems-/dampsperrersjiktet som kontinuerlig lufttette sjikt.

Som vedlegg viser rapporten ytterligere eksempler på konstruksjonsløsninger fra eksisterende veiledningsmateriell i Østerrike, bakgrunnsstoff for vurdering av vindusinnsetting samt en oversikt over produsenter av sertifiserte byggesystemer.

3 Bakgrunn

Trefokus ved Aasmund Bunkholt tok i 2009 initiativ til å drøfte muligheter for å gi ut veiledning om passivhus basert på trekonstruksjoner. Utgangspunktet var at eksisterende norsk veiledningsmateriell om passivhus først og fremst inneholder konseptuelle og prinsipielle løsninger og ikke går i dybden når det gjelder konstruktive løsninger. Mye baseres på videreutvikling av kjente løsninger fra Byggforskserien, mens nyutviklinger fra pilotprosjekter og løsninger fra andre land i liten grad blir presentert.

Målet med prosjektet er å skaffe en systematisk oversikt over ulike konstruksjonsløsninger for passivhus basert på tre og egnet for norske leverandører og forhold. Det skal synliggjøres muligheter for å oppnå passivhusstandard i trehus og hvordan disse muligheter omsettes i praksis, både i Norge og relevante andre land, innenfor rimelige kostnader. Oversikten skal kunne brukes for å fremme markedsposisjonen for trebaserte energieffektive bygninger og øke kunnskapsnivået i byggebransjen, i første rekke i treindustrien og blant prosjekterende.

4 Passivhuskonseptet

Et passivhus har et veldig lavt energibehov sammenliknet med vanlige hus. Det totale energibehovet til en bolig på passivhusnivå ligger på rundt en tredjedel av gjennomsnittet i eksisterende boliger i Norge. Grunnen til at det kalles passivhus, er at man tar i bruk mest mulig passive tiltak for å redusere energibehovet, slik som ekstra varmeisolasjon, ekstra god lufttetthet og varmegjenvinning. Hvis gjenværende oppvarmingsbehov er tilstrekkelig lavt og vinduer og dører har høye nok innvendige overflatetemperaturer, kan det velges et sterkt forenklet oppvarmingsystem. Begrepet og kriterier ble opprinnelig lansert av Passivhusinstituttet i Tyskland, som også står bak en sertifiseringsordning for byggeprodukter og bygninger. I noen land ble det imidlertid utviklet egne passivhusstandarder og -kriterier. En bolig som kalles passivhus, oppfyller derfor ikke nødvendigvis Passivhusinstituttets kriterier eller standarder i andre land.

4.1 Kriterier for passivhus i henhold til Passivhusinstituttet i Tyskland

Passivhus er i utgangspunktet ikke en energistandard, men et konsept². Den opprinnelige definisjonen ble utviklet av Passivhusinstituttet i Tyskland: *Et passivhus er et bygg med komfortabelt inneklima, som kan oppnås uten konvensjonelt oppvarmings- eller kjøleanlegg*³. Prinsippet er at alt oppvarmingsbehov skal kunne dekkes av ventilasjonsanlegget, uten å øke luftmengdene utover det som av hygieniske grunner er nødvendig⁴. Definisjonen er uavhengig av klima og bygningstype. Ut fra den funksjonelle definisjonen setter Passivhusinstituttet følgende avledete kriterier for *boliger i Mellom-Europa*:

- *Netto oppvarmingsbehov per år skal ikke overstige 15 kWh per kvadratmeter*
- *Effektbehov for oppvarming skal ikke overstige 10 W per kvadratmeter*
- *Årlig totalt primærenergi behov skal ikke overstige 120 kWh per kvadratmeter*
- *Dokumentert lekkasjetall skal ikke være høyere enn $n_{50} = 0,6$*

² Se www.passiv.de (tysk og engelsk med omfattende kunnskapsdatabase på www.passipedia.de).

³ Med dette vil investeringskostnadene for teknisk utstyr i passivhus bli lavere enn i lavenergibygg med noe høyere oppvarmingsbehov.

⁴ Det er ikke et krav om oppvarming via ventilasjonsluft. Kriteriet er kun at oppvarmings- og effektbehov er så lavt at en slik løsning i prinsippet ville være mulig.

Ved sertifisering kan det velges mellom kriteriene for oppvarmings- og effektbehov, dvs. bare ett av kriteriene må være oppfylt. Primærenergibehovet inkluderer all husholdningsstrøm og regnes ut ved å gange behov for levert energi med primærenergifaktorer for de enkelte energibærere. Elektrisitet ganges med en faktor på 2,6 – en ”helelektrisk” passivbolig ville derfor ikke kunne ha høyere behov for totalt levert energi enn 46 kWh/m²a, inkludert all belysning, teknisk utstyr og varmtvannsberedning. Energibehovet dokumenteres med et eget beregningsprogram, passivhus prosjekteringspakke PHPP, som tar utgangspunkt i lokalt klima på byggestedet (ikke standardklima som etter forskrift i mange land).

For *yrkesbygg* bruker Passivhusinstituttet inntil videre de samme sertifiseringskriteriene, i påvente av mer pålitelige resultater fra flere bygde prosjekter utover skolebygg. Videre tillates det foreløpig 15 kWh/m²a i netto kjølebehov i skoler og liknende bygg. Et eventuelt kjølebehov øker imidlertid ikke det tillatte totale primærenergibehovet. For skoler foreligger det allerede mange evaluerte resultater. Det ser ut til at 15 kWh/m²a i netto oppvarmingsbehov er et egnet kriterium også i skoler, mens det over begrenset tid kan være betydelig høyere effektbehov enn 10 W/m². Dette er imidlertid ingen spesiell utfordring siden luftmengder her nødvendigvis er mye større enn i boliger. Maksimalverdiene for kjøling og totalt primærenergibehov i andre typer yrkesbygg anser Passivhusinstituttet som foreløpige, med behov for verifisering i hvert enkelttilfelle, avhengig av hvordan bygget blir brukt.

4.2 Kriterier for passivhus i henhold til Forum för Energieffektiva Byggnader i Sverige

I Sverige har *Forum för Energieffektiva Byggnader* utviklet en passivhusstandard som tar utgangspunkt i den samme funksjonelle definisjonen. Standarden har maks effektbehov på 10 W/m² som hovedkriterium, men tillater høyere grenseverdier i kalde klimasoner og i mindre frittstående boliger opp til 14 W/m². Beregningen gjøres i lokalt klima. Ellers er det bare krav til lufttetthet og U-verdi for vinduer (maks 0,9 W/m²K, dvs. høyere enn etter norsk passivhusstandard og tyske anbefalinger). Standarden omfatter anbefalinger om SFP-faktor og levert energi, mens det om bygningskroppen og varmegjenvinning verken eksisterer bindende eller veiledende krav. FEBYs “Kravspecifikation för Passivhus” gjelder også for skoler og barnehager, men ikke andre yrkesbygg.

4.3 Kriterier for passivhus i henhold til Norsk Standard NS 3700

I diskusjonen om en norsk standard for passivhus ble det gått bort fra prinsippet om at alt oppvarmingsbehov skal kunne dekkes av ventilasjonsanlegget. Tanken var i stedet at det i passivhus skal være mulig å dekke oppvarmingsbehovet med et sterkt forenklet vannbårent oppvarmingsystem. I vedtatt standard NS 3700 ble det imidlertid ikke tatt med et krav om dette og heller ikke en definisjon hvor noe slikt blir nevnt. NS 3700 setter følgende kriterier for passivhus som *boligbygning i Norge*:

- *Netto oppvarmingsbehov per år skal i utgangspunktet ikke overstige 15 kWh per kvadratmeter*
- *Noe høyere oppvarmingsbehov tillatt på byggesteder med årsmiddeltemperatur under 6,3 °C*
- *Noe høyere oppvarmingsbehov tillatt i boligbygninger under 250 m² oppvarmet BRA*
 - *Minimumskrav til andel fornybar energi*
 - *Dokumentert lekkasjetall skal ikke være høyere enn $n_{50} = 0,6$*
 - *Minstekrav til varmetapstall, bygningsdeler og komponenter*

Det første kriteriet modifierer det ”tyske” hovedkravet noe, men for de fleste større bygninger i Norge⁵ vil maksimalt tillatt oppvarmingsbehov likevel ligge på samme nivå ved 15 kWh/m²a. Som i kriteriene fra passivhusinstituttet, beregnes oppvarmingsbehovet i klima på byggested. Den norske standarden har

⁵ Grovt estimert, ligger 70-75 % av dagens bygg og antatt framtidig bebyggelse i kystnære strøk i sørlige landsdeler med årsmiddeltemperatur ikke over 6,3 °C, som tilsvarer normert Oslo klima.

imidlertid korrekturfaktorer for både lavere årsmiddeltemperatur på byggestedet og mindre oppvarmet areal i bygningen. Begge kan kombineres, slik at små eneboliger i svært kalde strøk kan ha betydelig høyere oppvarmingsbehov enn $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Eksempelvis ville en bygning med 200 m^2 oppvarmet BRA på et sted med årsmiddeltemperatur på $4 \text{ }^\circ\text{C}$ kunne bruke så mye som $23,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ til oppvarming. Andel fornybar energi motsvarer passivhusinstituttets kriterium på primærenergibehov, mens kravet om maksimalt lekkasjetall er helt likt. Passivhusinstituttet opererer med veiledende verdier for bygningsdeler og komponenter i passivhus. Spesifikke krav må bare oppfylles definitivt for komponenter som skal sertifiseres for seg selv (dvs. som produkt egnet for passivhus). Etter norsk standard derimot må krav til bygningsdeler og komponenter oppfylles i hvert enkelt bygg. I tillegg er det satt krav til maksimalt tillatt varmetapstall.

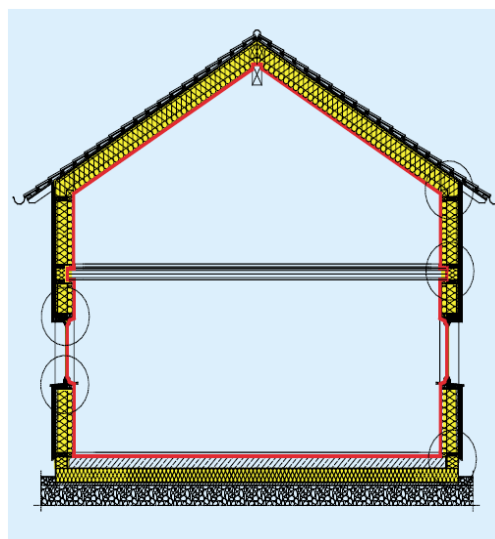
For yrkesbygg som passivhus eksisterer det per i dag ingen norsk standard. Som forarbeid til en kommende standard NS 3701 har SINTEF Byggforsk i 2009 utarbeidet prosjektrapport 42. Her blir det foreslått foreløpige kriterier, som i store trekk følger kriteriene for boligbygg. Avhengig av bygningstype, er det delvis foreslått høyere tillatt oppvarmingsbehov enn $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, og bortsett fra skoler regnes det også med noe kjølebehov. I motsetning til standarden for boliger, er det for yrkesbygg ikke foreslått svakere krav til oppvarmingsbehov i kaldere strøk. Alternativt skal ”bygg oppført med passivhuskomponenter i kaldt klima” tilfredsstillende krav beregnet med normert Oslo klima.

4.4 Ulike resultater etter ulike passivhusstandarder

Både norsk og svensk passivhusstandard bruker andre arealstørrelser og internlaste enn det tyske PHPP. Eksempelvis opererer begge med større interne varmetilskudd og ventilasjonsmengder. I tillegg er det også innbyrdes forskjeller mellom inndata etter norsk og svensk metode. Det eksisterer altså både ulike kriteriesett og ulike beregningsmetoder. Resultater kan derfor avvike i mindre eller større grad, og et bygg oppfyller ikke nødvendigvis kriteriene etter andre standarder enn den som ble brukt i det konkrete tilfellet. Ved beregning etter PHPP tilsier oppfyllelse av kriteriet for oppvarmingsbehov på maks $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ som oftest at også det alternative kriteriet for effektbehov på maks 10 W/m^2 er oppfylt (eller nesten oppfylt) i boliger i mellomeuropeisk klima, og omvendt. Dette er ikke tilfelle ved beregning etter norsk eller svensk metode. Det ser ut til at det kan være store avvik spesielt etter svensk standard.

4.5 Prinsipper for passivhus

Prosjektering av passivhus følger strategien for passiv energidesign, dvs. å minimere varmetapet ligger i bunn. Viktigste forutsetning er en lufttett klimaskjerm med svært god isolasjon, gjennomgående rundt hele bygningskroppen med minst mulig kuldebroer. Minstekrav i Norge, regnet som gjennomsnitt for de ulike bygningsdeler, er U-verdier på maksimalt $0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ i tak og $0,15$ i yttervegger og gulv. I de aller fleste tilfeller vil disse verdiene imidlertid ikke være tilstrekkelig for å oppnå passivhusstandard for bygget som helhet, slik at U-verdiene i praksis ofte må ligge betydelig lavere, spesielt i små frittstående hus. I tillegg skal vinduer og dører ikke ha høyere U-verdi enn $0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, inkludert ramme og karm. Vinduer har en nøkkelfunksjon i passivhus. Kvaliteten skal være så høy at det er behagelig å sitte ved vinduet uten at det er nødvendig å ha en varmekilde i nærheten. Dette er en forutsetning for å kunne forenkle



Figur 1 Prinsipp for gjennomgående isolasjon og lufttettingssjikt rundt bygningskroppen. Lufttetting er her vist innvendig (uavbrutt rød linje). Illustrasjon fra Holzbauhandbuch.

oppvarmingssystemet drastisk. Dessuten skal vinduer ha egenskaper som gjør det mulig å utnytte soltilskudd om vinteren samt dagslys.

I mellomeuropeisk og nordisk klima er det i passivhus nødvendig å installere balansert ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinning. I norsk standard for passivhus er det satt krav til årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad på minst 80 prosent. Videre skal ventilasjonsanlegget ikke ha høyere spesifikk vifteeffekt (SFP-faktor) enn $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

En større, kompakt bygningskropp gjør det mye lettere å oppnå lavt oppvarmingsbehov enn et mindre hus med mange utspring og innhogg. Bare det å bygge et gitt areal på to etasjer istedenfor én etasje kan i godt isolerte bygg senke oppvarmingsbehovet drastisk. Kompakte bygg er også rimeligere å bygge og gjør det lettere å minimere kuldebroer. Et annet tiltak er å utforme og orientere huset slik at det mottar og kan utnytte mest mulig passiv solvarme. Dette innebærer at de fleste vinduene vender mot sør, samt at de mest varmekrevende rom plasseres mot sør. I små frittstående bygg kan dette være avgjørende for å oppnå passivhusstandard. Samtidig må en passe på at en ikke får for mye solvarme inn når man ikke trenger det, ved å sørge for effektiv solavskjerming i den varme årstiden.

4.5.1 Minimere kuldebroer

I bygninger med lavt oppvarmingsbehov har tilleggsvarmetap gjennom kuldebroer større betydning enn i dårlig isolerte bygg, regnet i forhold til varmetapet totalt. I passivhus kan ”normale” varmetapsbidrag gjennom kuldebroer være så stor at oppvarmingskriteriet ikke kan oppnås, selv om klimaskjermen ellers er superisolert. Å kompensere kuldebrovarmetap med enda tykkere isolasjon, blir veldig dyrt og upraktisk. På den andre side: Det å minske kuldebrovirkningen ved å optimere overgangsdetaljer, blir mer kostnadseffektivt. Dette er hovedgrunnen for at det legges så stor vekt på å minimere kuldebroer. I tillegg er det – som i alle bygg – viktig å unngå kalde innvendige overflater for å eliminere fare for kondens, mugg og sverting samt ivareta termisk komfort på rommene.

Hovedregelen er å ikke bryte isolasjonssjiktet. Hvor dette må gjøres likevel, bør det brukes materialer med forholdsvis høy varmemotstand, som tre eller porebetong. Innbindende bygningsdeler skal ha mest mulig gjennomgående isolasjon utenfor. Ved alle overganger mellom ulike bygningsdeler må isolasjonslagene kobles til hverandre sammenhengende over hele tilslutningslengden. Dessuten bør det unngås spisse vinkler for å dempe geometriske kuldebroer.

I Norge er det innført begrepet *normalisert kuldebroverdi*, som i passivhus ikke skal være høyere enn $0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dette er summen av alle varmetap gjennom kuldebroer, dividert med oppvarmet bruksareal. Tallet gjør det enkelt å vurdere andelen av det totale varmetapet som går gjennom kuldebroer. Verdien hjelper imidlertid ikke å vurdere om den enkelte kuldebroen er av betydning eller ikke. Grovt sett kan en si at det generelt bør legges spesielt vekt på å finne gode løsninger for fundamentering/kjeller og innsetting av vinduer, i tillegg til mer spesifikke konstruksjoner som trapperom, balkonger og påhengte fasader.

Passivhusinstituttet opererer med begrepet *kuldebrofri konstruksjon*. For å forenkle kalkuleringen, teller her ikke bare konstruksjoner som har kuldebroverdi lik null; også lineære kuldebroer med ”neglisjerbare kuldebroverdier” opp til $\Psi_a = 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$ er tillatt. Dette er lett håndterlig, når en vil vurdere om en enkel kuldebro kan neglisjeres i passivhus, eller om den må bli eksplisitt med i energiberegningen. Ψ_a gjenspeiler imidlertid at det regnes med utvendige mål, som det er vanlig i Tyskland og mange andre land. I Norge regnes det derimot med innvendige mål. Dette gjør at kuldebroverdiene blir ulike ved overganger hvor det er forskjell mellom utvendige og innvendige mål (hjørner, vegg/gulv, vegg/tak). Godt isolerte geometriske kuldebroer i utadgående hjørner kan totalt ha negative kuldebroverdier etter

utvendige mål (som i tyske beregningsregler), mens verdiene etter innvendige mål (som i norske regler) blir positive. For innadgående hjørner er resultatet det motsatte. Det er alltid flere utadgående enn innadgående veggjørner. Hvis en opererer med utvendige mål i hele energiberegningen – som det gjøres i bl.a. Tyskland og Østerrike – er det derfor normalt alltid noen negative kuldebroverdier. Disse er en slags reserve som kan kompensere for de nevnte neglisjerbare Ψ -verdier opp til 0,01 W/(mK). Slik kan en ikke regne hvis en opererer med innvendige mål som i Norge.

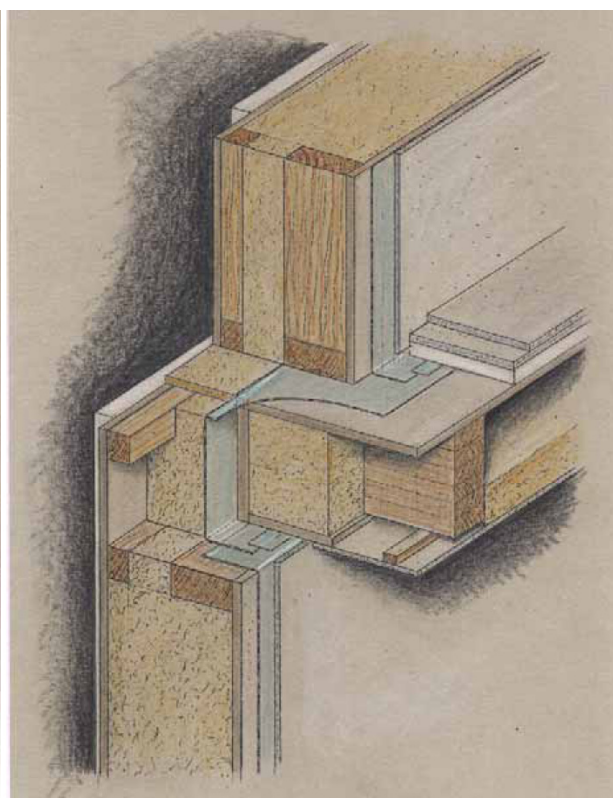
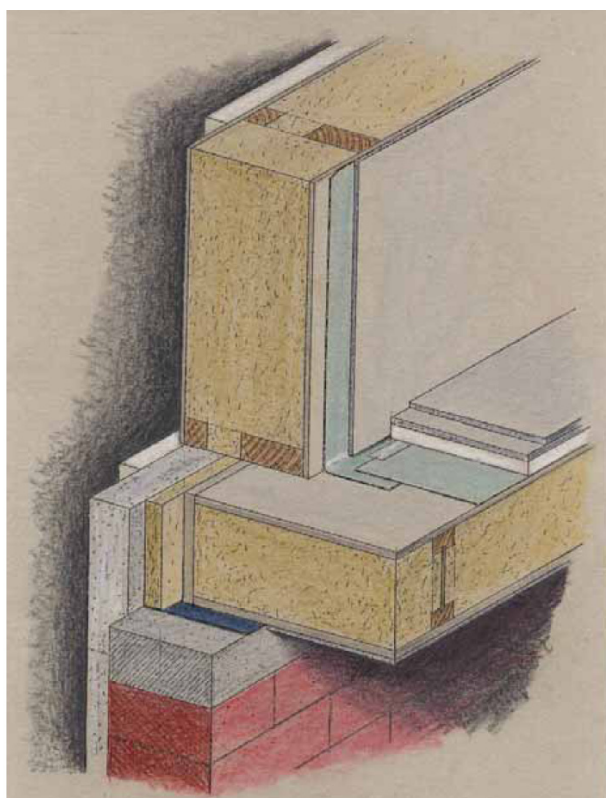
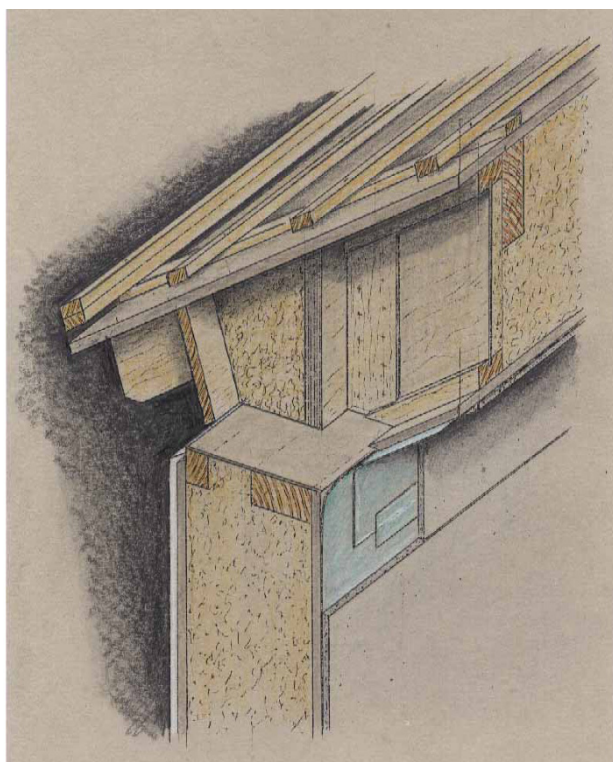
Som en tommelfingerregel kan en si at kuldebroverdier basert på innvendige mål helst ikke skal være større enn det som det rent geometriske bidraget utgjør. Dette er aldri noe problem så lenge isolasjonslaget er ubrutt. *For kuldebroer hvor det ikke er forskjell mellom utvendige og innvendige mål (f.eks. ved innbindende bygningsdeler, innsetting av vinduer), kan det ovennevnte tyske kriteriet for "kuldebrofrihet" brukes direkte: $\Psi_i = \Psi_a \leq 0,01$ W/(mK).*

I norske energiberegninger og kuldebroberegninger basert på innvendige mål har en imidlertid ingen "reserver" fra negative kuldebroverdier. *Alle kuldebroer* – også de som er akseptabelt etter nevnte kriterier – *må derfor være med i kuldebroregnskapet* for å dokumentere at normalisert kuldebroverdi ikke er høyere enn 0,03 W/(m²K) i passivhus. Etter den norske metoden er marginene små, slik at også i utgangspunktet "akseptable" verdier i sum kan bli for høye og overskride terskelverdien.

4.5.2 Lufttett bygningskropp

For å oppnå et så lavt lekkasjetall som 0,6 luftvekslinger per time ved 50 Pa trykkforskjell i en trykktest, er det nødvendig å ha god lufttetting i bakhodet fra tidlig i skissefasen, å detaljplanlegge overganger og gjennomføringer og å følge opp arbeidet på byggeplassen. Lekkasjer kan medføre store varmetap og fare for fuktskader. Kalde innvendige overflater og trekk kan ødelegge for termisk komfort og for passivhuskonseptet som sådan når det viser seg at et forenklet oppvarmingssystem ikke er tilstrekkelig. Med god prosjektering og utføring er det imidlertid ingen kunst å oppnå enda lavere lekkasjetall, som etter hvert mange prosjekter har vist.

Som det ble beskrevet for klimaskjermen med ubrutt isolasjonslag, skal også lufttettingssjiktet være kontinuerlig rundt hele bygningskroppen. Hvis det er mulig å tegne et ubrutt lufttettingssjikt



Figur 2 Gjennomgående innvendig lufttetting: Overgang yttervegg/tak (over til høyre); kjellervegg/kjellerdekke/yttervegg (under til venstre); yttervegg/etasjeskiller (under til høyre).

med tynn penn rundt konstruksjonen, er forutsetningen bra for å unngå alvorlige lekkasjer.

Alle overganger og gjennomføringer må planlegges og eventuelt detaljeres. Forutsetningen er å etablere *ett* kontinuerlig, uavbrutt lufttett sjikt rundt hele bygningskroppen. Det er ikke tilstrekkelig å ha to *nesten* lufttette sjikt med noen svake punkter. Lufttettingssjiktet kan i utgangspunktet ligge utvendig eller innvendig. Mest utbredt i Mellom-Europa, Sverige og Danmark er å løse lufttettingen innvendig med f.eks. puss på massive konstruksjoner eller kombinert med dampbrems/dampspærre i trehus. I rehabiliteringsprosjekter brukes det også utvendig puss til lufttetting, som da ligger beskyttet mellom eksisterende massivvegg og ny utvendig isolasjon. I Norge brukes som oftest den utvendige vindsperra som hovedlufttetting i trebygg eller kombinerte tre- og betongbygninger. I så fall må en likevel sørge for at også innvendig lufttetting er tilstrekkelig for å avvære fuktskader i konstruksjonen. Figur 2 viser hvordan dette kan løses i trekonstruksjoner (fra *Konstruktionshandbuch für Passivhäuser*).

Løsningene må ikke overlates til tilfeldigheter på byggeplassen. Alle overganger og gjennomføringer må planlegges og eventuelt detaljeres. Manglende planlegging kan ikke kompenseres av bedre gjennomføring – men gode, enkle detaljer kan bidra til å forebygge dårlig gjennomføring. I utgangspunktet bør det velges store gjennomgående arealer med bare én enkel grunnkonstruksjon. Med dette blir det færre ulike materialer og derfor enklere å prosjektere og utføre gode overganger. Videre bør det bli minst mulig gjennomføringer, og alle disse må som nevnt planlegges og detaljeres før byggestart.

4.5.3 Installasjoner

Balansert ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinning er en forutsetning i passivhuskonseptet. I tillegg til et lavt oppvarmingsbehov som kan dekkes av svært forenklede systemer for romoppvarming, er det også et mål å minimere husets totale energibehov og primærenergibehov eller CO₂-utslipp. Dessuten er det viktig å begrense interne varmetilskudd for å unngå overoppvarming om sommeren. Det bør derfor velges mest mulig energieffektiv belysning, varmtvannsberedning og teknisk utstyr som hvitevarer, tv, PC-er osv. Styrings-, visualiserings- og målesystemer bør vurderes. Bruk av bioenergi, solfangere og ulike varmepumpeløsninger – eller kombinasjoner av disse – er svært utbredt i passivhus. En oversikt over varme- og energiforsyningsløsninger inneholder avsnitt 4.8 i håndboka *Energieffektive boliger for Fremtiden*.

4.5.4 Kvalitetssikring

Å oppnå passivhusnivået, forutsetter nøye gjennomtenkt prosjektering, tverrfaglig samarbeid allerede tidlig i prosessen og en ryddig byggeprosess med skolerte håndverkere, tett oppfølging og etterprøving. Dette vil i mye større utstrekning enn ved ”vanlige” bygg sikre at det tas hensyn til fuktrelaterte problemstillinger samt at resultatet blir som det skal. Passivhuskrav som mer isolasjon, bedre vinduer, mindre kuldebroer og bedre lufttetthet bidrar til høyere overflatetemperaturer, mindre luftgjennomstrømning og dermed mindre fare for mugg og kondens. I tillegg sørger balansert ventilasjon for sikker fjerning av fukt fra rommene.

En fuktsikker byggeprosess er en absolutt forutsetning i passivhusprosjekter. Tidlig samarbeid med involverte aktører – også de viktigste utførende så tidlig som mulig – gjennomdiskuterte metoder, logiske rekkefølger og opplæring kan skape forståelse for det og sikre det. Materialer må lagres fuktsikkert, bygget bør bli vind- og vanntett så fort som mulig, og oppstått fukt må tørkes opp så raskt som mulig. Mest mulig prefabrikking med elementer eller moduler gjør det lettere å oppnå påkrevd lufttetthet og unngå innebygd fukt. Alternativt kan det vurderes å bygge under et midlertidig tak eller å få på plass regnsikker plastfolie rundt råbygget så snart bærekonstruksjonen og taket er ferdigstilt.



Lekkasjetallet måles og dokumenteres ved ferdigstilling. I tillegg anbefales en trykktest mens det lufttette sjiktet fortsatt er tilgjengelig for eventuelle utbedringer.

5 Eksisterende veiledningsmateriale for passivhus med relevans for trekonstruksjoner

5.1 Nettbasert veiledning

Grunnleggende råd om passivhus er tilgjengelig flere steder på internett. Passivhusinstituttet tilbyr veiledning på http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/passivhaus.html med delvis omfattende drøfting av enkeltspørsmål. Nettstedet er på tysk, men mye av innholdet er oversatt til engelsk, og det eksisterer også en link til et tilsvarende nettsted på fransk. Instituttet bygger p.t. opp en mer systematisert kunnskapsdatabase på tysk og engelsk, som kan åpnes under henholdsvis http://passipedia.passiv.de/passipedia_de/ og [... en](http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/). Passipedia inneholder i tillegg spesielle sider med fagartikler og drøfting av særskilte spørsmål som bare er tilgjengelig for medlemmer av International Passive House Association, iPHA. Medlemskap kan tegnes gjennom nettstedet. Donau-Universitetet i Krems i Østerrike har utviklet en omfattende database med skoleringsmateriale for passivhus. På grunn av manglende finansiering av vedlikehold er databasen imidlertid per i dag ikke tilgjengelig på nettet.

På <http://pass-net.net/> kan det lastes ned elementær veiledningsmateriale på engelsk. Enkel norsk veiledning finnes på <http://www.passiv.no/> og på <http://erg.ucd.ie/pep/>. Alle disse tre er prosjektnettsteder som ikke oppdateres etter prosjektets avslutning.

5.2 Veiledningsmateriale fra tyskspråklige land

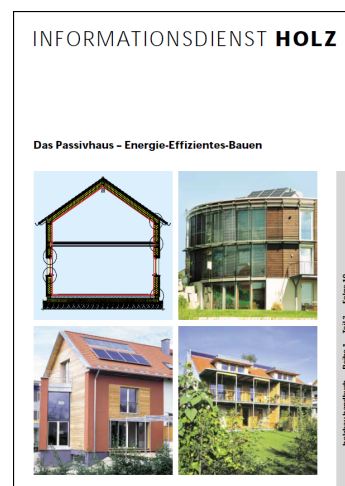
5.2.1 Holzbauhandbuch (brosjyre fra Informationsdienst Holz, Tyskland)

Allerede i 2002 lanserte Passivhusinstituttet i samarbeid med tre bransjeorganisasjoner en fyldig veileder om passivhus basert på trekonstruksjoner. Veilederen er en del av en stor serie fra "Informationsdienst Holz", kalt "Holzbau Handbuch". Denne "trehåndboka" består av anvisninger, veiledninger og faktabrosjyrer om trebaserte konstruksjoner og materialer. Heftene i serien ble gitt ut gratis. Etter at grunnlovsdomstolen i Tyskland sa nei til finansieringsmåten gjennom en avgift i hele bransjen, måtte informasjonstjenesten legges ned i 2009. Passivhusveilederen kan imidlertid fortsatt lastes ned gratis på www.passiv.de under "Literatur".

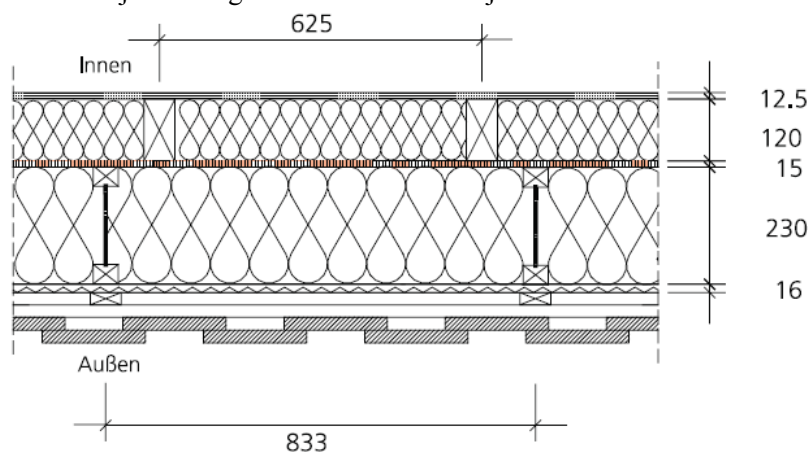
Brosjyren inneholder en grundig gjennomgang av passivhuskonseptet, inkludert tekniske installasjoner og økonomiske aspekter. Det diskuteres både generelle konstruktive løsninger, overganger og forslag for kuldebrøminimering rundt vinduer.

Figur 3 og Figur 5 til Figur 7 viser veggkonstruksjoner fra brosjyren med U-verdi på $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, mens vegg i Figur 4 har U-verdi på $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ⁶. Utvendig og innvendig bekledning kan varieres mellom konstruksjonene. Massivtrevarianten trenger et lufttett lag i form av papp eller folie, jf. Figur 6. Alle andre varianter er vist med trebaserte plater i den indre delen av konstruksjonen, i praksis som oftest OSB-plater. Platene har teipede skjøter og fungerer både som lufttettingssjikt og dampbrems.

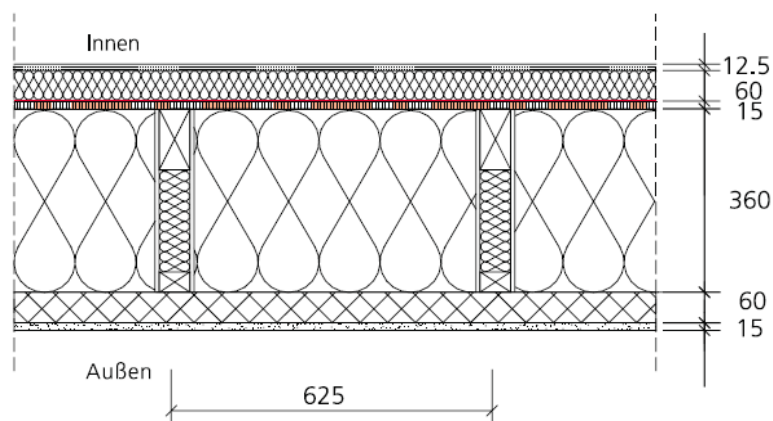
⁶ U-verdien inkluderer her bare trestendere, men ikke sviller, losholt og forsterkninger. På den andre siden er isolasjon regnet med varmeledningsevne på $\lambda=0,040 \text{ W}/\text{mK}$. Verdiene kan derfor ikke brukes umiddelbart i beregninger, men er en grov tilnærming.



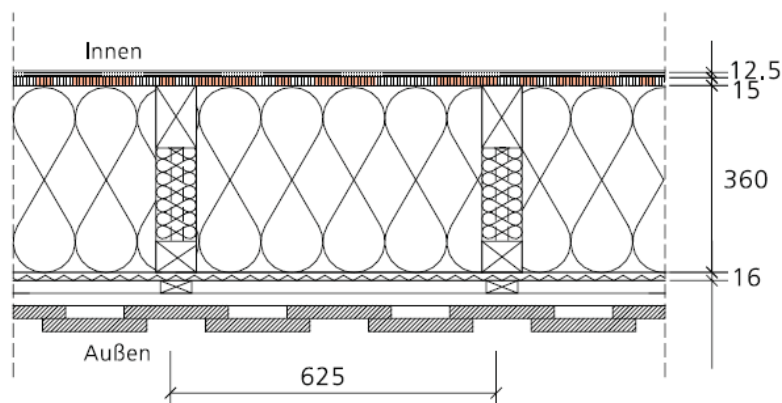
Vindtettingen er vist med diffusjonsåpne porøse trefiberplater, normalt 16 mm tykk, men i den pussede, uluftede varianten med tykkelse på 60 mm (her er pusslaget i seg selv vindtett, jf. Figur 4). Alle konstruksjoner er egnet for innblåst isolasjon.



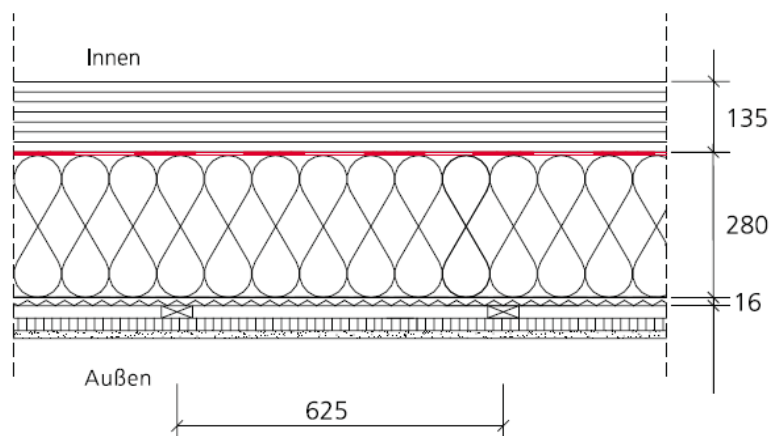
Figur 3 Dobbeltvegg: Bærende stendere innvendig på 60/120 mm gir plass til installasjonssjikt. I-bærere i hovedisolasjonssjiktet har større avstand for å minske kuldebroer. Trebaserte plater med teipede skjøter danner et lufttett, dampbremsende sjikt mellom de to vegglagene. Innvendig kledning gipsbaserte plater, utvendig luftet trekledd diffusjonsåpne porøse trefiberplater som vindtetting. $U=0,12 \text{ W/m}^2\text{a}$.



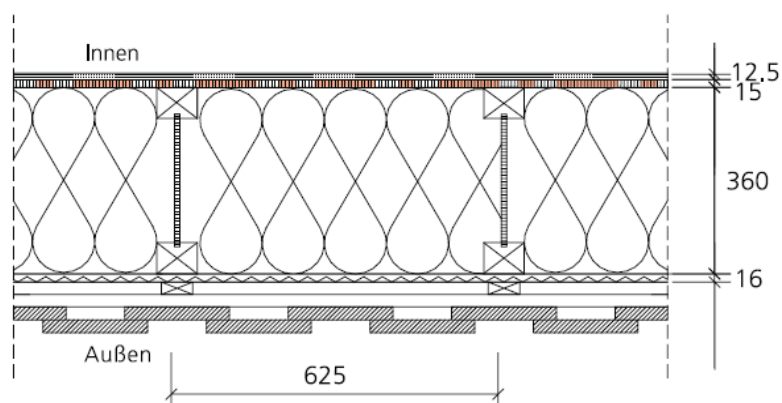
Figur 4 "Boks-bærere" mellom trebaserte plater + installasjonssjikt innvendig og pusset isolasjon utvendig. $U=0,09 \text{ W/m}^2\text{a}$. Hvis $U=0,12$ er tilstrekkelig, kan enten installasjonssjiktet sløyfes, eller hovedisolasjonssjiktet reduseres til 220 mm.



Figur 5 Bærere med treplugg og fiberisolasjon mellom ytre og indre (bærende) flens. Trebaserte plater med teipede skjøter danner et lufttett, dampbremsende sjikt. Innvendig kledning gipsbaserte plater, utvendig luftet trekledning på diffusjonsåpne porøse trefiberplater som vindtetting. $U=0,12 \text{ W/m}^2\text{a}$.

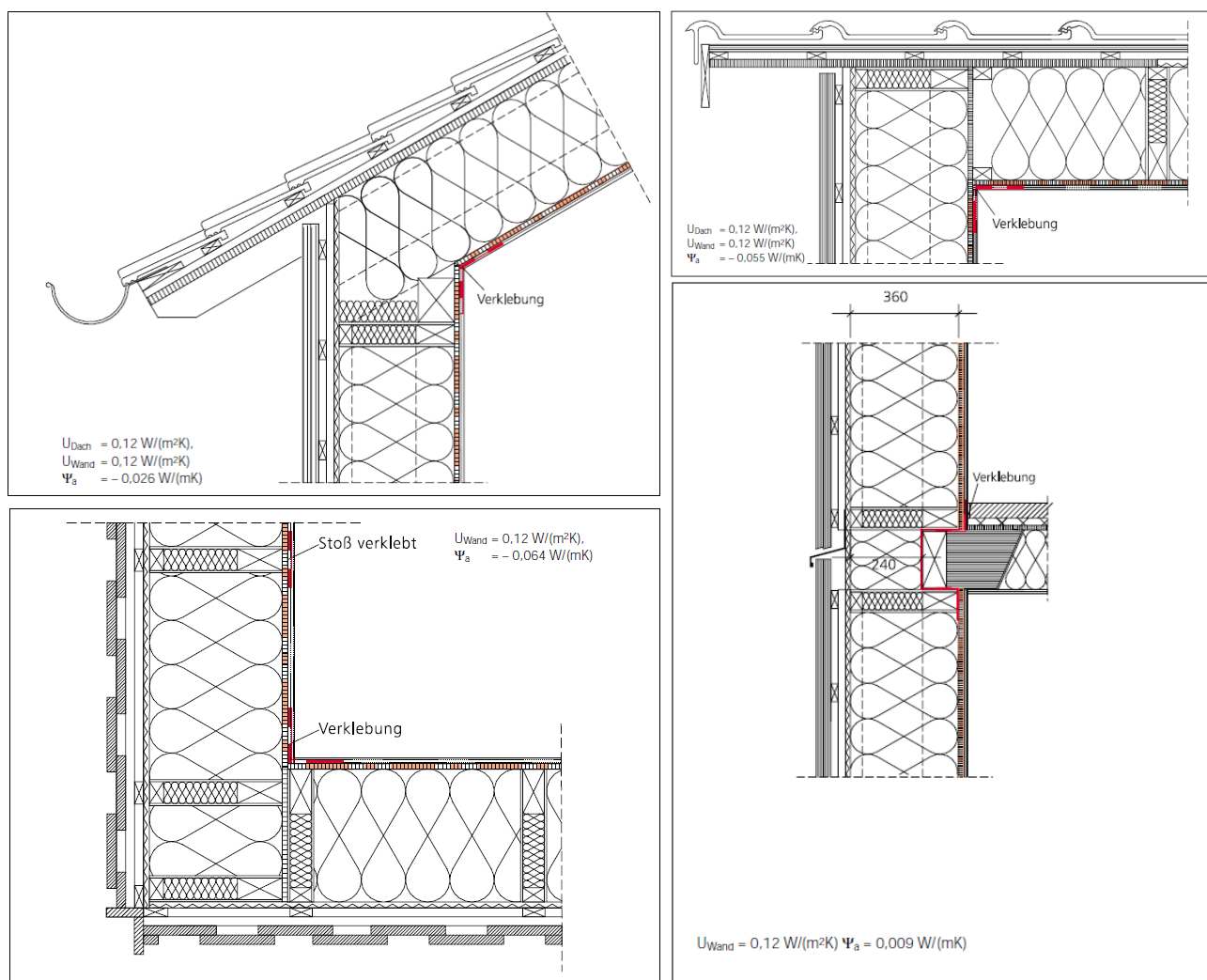


Figur 6 Massivtrevegg med påhengt isolasjonslag (innfesting ikke vist). Puss på luftet, trebasert plate. Lufttett sjikt dannes av papp eller folie mellom massivtre og isolasjon. $U=0,12 \text{ W/m}^2\text{a}$.



Figur 7 I-bærere i ellers samme vegg som i Figur 5. $U=0,12 \text{ W/m}^2\text{a}$.

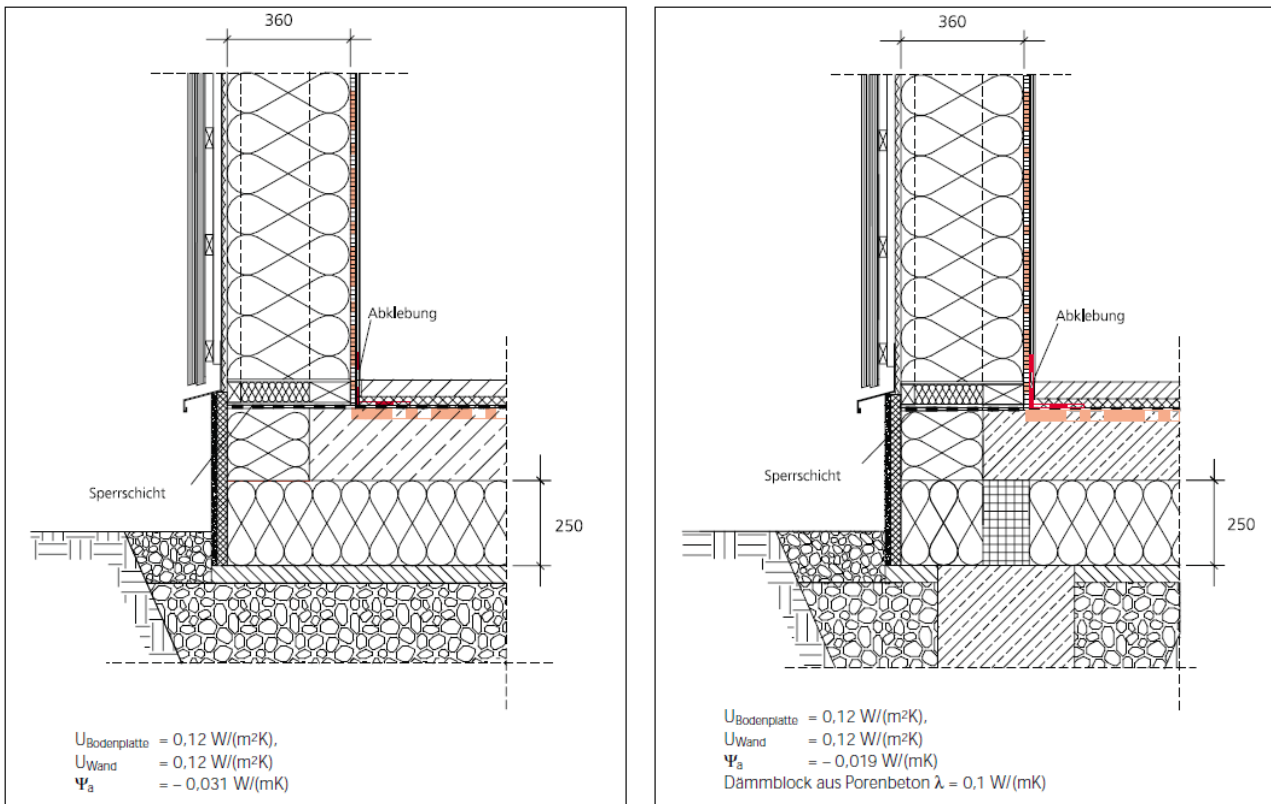
Med utgangspunkt i veggen fra Figur 5, dog med “boks-bærere” som i Figur 4, viser brosjyren løsninger for de viktigste overgangene i konstruksjonen. De fleste er kuldebrofrie etter Passivhusinstituttets definisjon, det vil si kuldebroverdien er ikke større enn $\Psi=0,01$ W/(mK), beregnet med utvendige mål⁷. Som vi ser i Figur 8, er lufttettingen relativt enkelt å få på plass ved å teipe overgangene på OSB-platene (eller alternative trebaserte plater). Ved etasjeskilleren kan det brukes strimmel av papp eller folie som klemmes mellom plate og bærer i veggen under. Etter at etasjeskilleren er montert, føres strimmelen rundt og opp på plata i veggen over, hvor den så limes på.



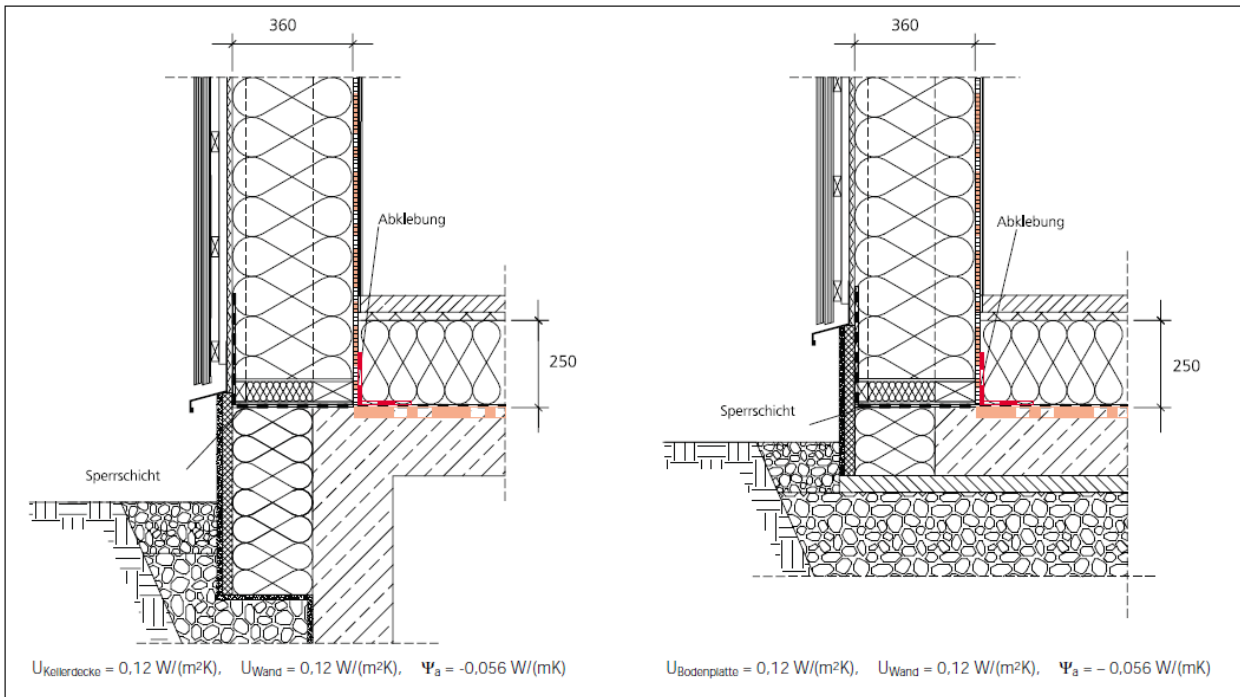
Figur 8 Overganger for veggkonstruksjonen med “boks-bærere”: Takfot (over t.v.), gavlvegg/tak (over t.h.), veggjørne (under t.v.) og vegg/etasjeskiller (under t.h.). Trebaserte plater som lufttetting teipes ved skjøter og overganger. Det lufttette laget må være gjennomgående mellom etasjene. Dette kan gjøres med papp- eller foliestrimmel som føres rundt etasjeskilleren. Angitte kuldebroverdier Ψ er relatert til utvendige mål og kan derfor ikke brukes direkte i beregninger etter norsk standard, bortsett fra ved etasjeskilleren.

⁷ Ved beregning med innvendige mål, som vanlig i Norge, vil kuldebroverdiene ved geometriske kuldebroer bli høyere. Viste konstruksjoner gir likevel gunstige løsninger. Verdiene kan imidlertid ikke brukes direkte i norske beregninger, bortsett fra i tilfeller hvor det ikke er forskjell mellom innvendige og utvendige mål (f.eks. rundt vinduer, langs etasjeskillere og ved innvegger).

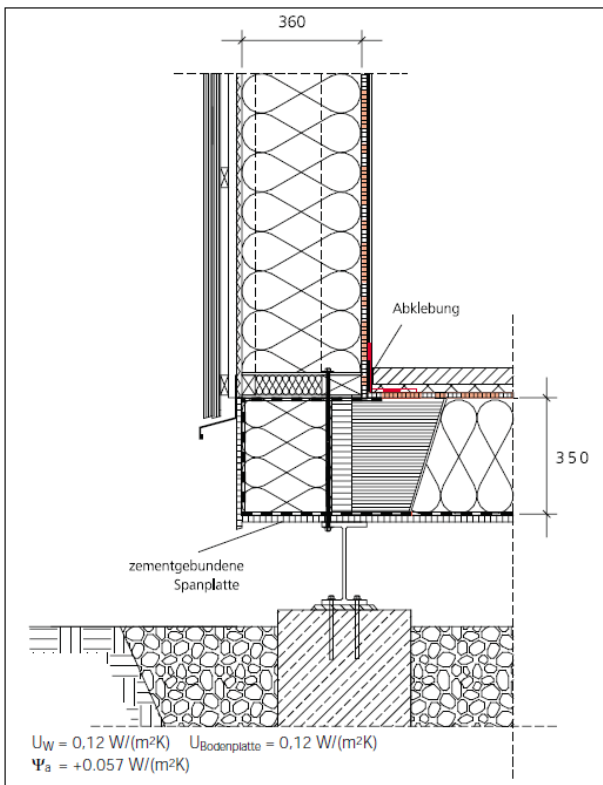
Brosjyren viser også løsninger for sokkel og kjellerdekke. I Figur 9 er det isolert under betongplata, mens Figur 10 har isolasjon over. I alle disse tilfeller danner betongplata det lufttette laget som tapes mot lufttettesjiktet i veggen. På betongen ligger en fuktspærre, og alle eksempler har sementgulv på trinnlydisolasjon. I tilfelle det er behov for fundament under veggen, foreslås det å plassere en blokk av porebetong mellom betongplate og fundament i samme styrke som isolasjon, slik at kuldebroverdien blir betydelig lavere enn ved gjennomgående betong – se eksempel til høyre i Figur 9. Denne løsningen kan også brukes under innvendige vegger i liknende situasjoner. Ringmurløsninger, som er vanlig i Norge, er ikke å se blant eksemplene. Disse er heller uvanlig i Tyskland.



Figur 9 Sokkelløsninger med isolasjon under betongplate. I detaljen til høyre brukes porebetong forfor å bryte kuldebroen mellom plate og fundament. Kommentar til kuldebroverdier, se Figur 8.



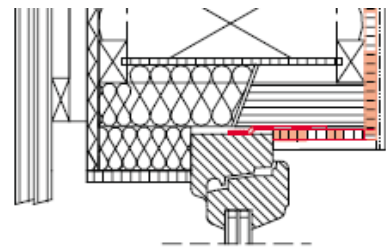
Figur 10 Sokkelløsninger med isolasjon over henholdsvis kjellerdekke (t.v.) og betongplate (t.h.).
Kommentar til kuldebroverdier, se Figur 8.

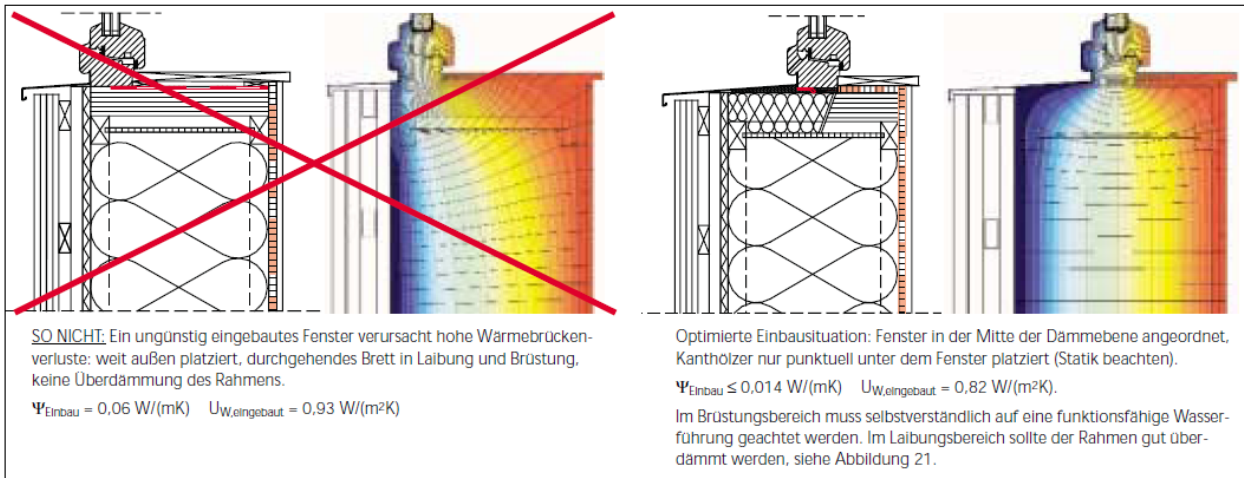


Figur 11 Sokkelløsning for isolert trebjelkelag mot friluft. **Kommentar til kuldebroverdier, se Figur 8.**

I et annet eksempel med åpen fundamentering og gulvkonstruksjon av isolert trebjelkelag, vendt mot friluft, brukes det igjen trebaserte plater som lufttettings- og dampbremslag som teipes mot samme material i veggen. Under isolasjonen er det vist fuktsperre og tresementplater, jf. Figur 11.

Relativt mye rom blir det gitt til diskusjon av vindusplasseringer. Den generelle anbefalingen er å plassere vinduet omtrent sentralt i isolasjonssjiktet samt å isolere mest mulig utvendig rundt karmen, som vist her. I tillegg bør trevirkeandelen rundt vinduet minimeres. I sum kan dette gi store utslag for kuldebroverdiene for innsetting av vinduer, jf. Figur 12.

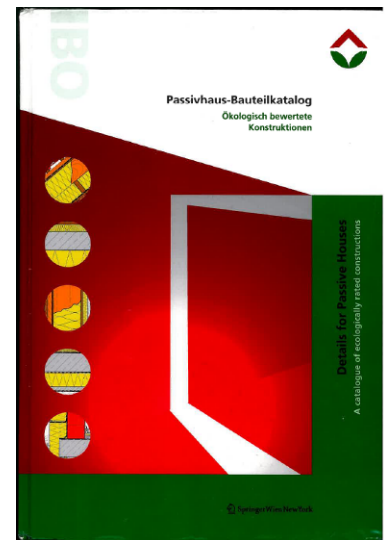




Figur 12 Et vindu med U-verdi på 0,78 W/(m²K) får høye kuldebroverdier i den bannlyste situasjonen til venstre, langt ute i fasaden og med gjennomgående treverk rundt. Ferdig montert, er U-verdien – inkludert innsetningskuldebroen – derfor så høy som 0,93 W/(m²K). I situasjonen til høyre, med sentralt plassert vindu, isolasjon på side- og overkarm samt bare noen få, tverrgående treverk rundt, er resulterende U-verdi ferdig montert bare 0,82 W/(m²K). (Passivhusvindu skal ha isolert karm, selv om det her er vist vanlig trekarm).

5.2.2 Passivhaus-Bauteilkatalog/Details for Passive Houses (Håndbok fra IBO, Østerrike)

”Passivhaus-Bauteilkatalog” – eller på engelsk ”Details for Passive Houses” – er et omfattende, gjennomgående tospråklig standardverk om økologisk vurderte konstruksjoner for passivhus, gitt ut av Institutet for bygningsbiologi og -økologi i Østerrike (IBO) i samarbeid med Passivhusinstituttet i Tyskland. Boka kom ut første gang i 2007 og ble utvidet og justert i 2008 og 2009. Innholdet bygger på en Økologisk bygningsdelskatalog fra 1999 samt resultater fra flere forskningsprosjekter i Østerrike. Forfatterne gir en fylldig innføring i passivhuskonseptet med egne kapitler om lufttetthet og fuktproblematikk i konstruksjoner mot terreng. Både materialer og ”funksjonelle enheter” som vinduer og puss blir vurdert etter flere kriterier og stilt sammen i sammenlikningstabeller. Dette fungerer som bakgrunnsstoff og oppslagsdel for de viste konstruksjonsløsningene.

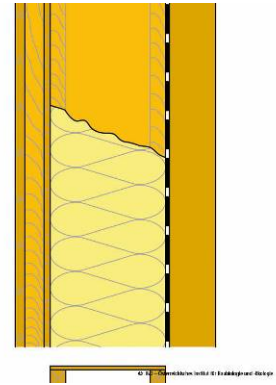


Hovedinnholdet er 130 konstruksjoner og overgangsdetaljer med beskrivelser, vurderinger og bygningsfysiske nøkkeltall. Alle standardkonstruksjoner blir vist og sammenliknet i to materialvarianter, ett mer vanlig og ett økologisk sett bedre alternativ. Disse blir vurdert etter primærenergibehov, drivhuspotensial og forsureningspotensial i produksjonsprosessen samt muligheter for gjenbruk og gjenvinning etter riving. Eksempelsider er vist i vedlegg A.1.

Håndboka kan bestilles på www.ibo.at. I tillegg kan det bestilles en CD med alle konstruksjoner og overgangsdetaljer i JPEG-format. Standardkonstruksjonene med beregninger er også tilgjengelig på <http://www.baubook.at/phbtk/>, hvor en kan gå inn og bearbeide konstruksjonene etter eget behov.

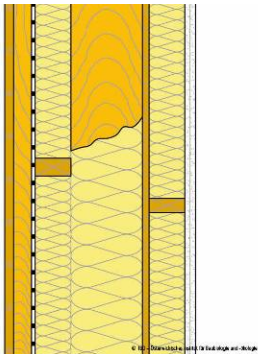
Første hoveddel er konstruksjoner. I avsnittet om yttervegger blir det beskrevet sju ulike veggkonstruksjoner i tre, en av dem i kombinasjon med stål. Inkludert alternativene, er dette 14 løsninger, alle med U-verdi på 0,12 W/(m²K).

AWh 01 er en vegg av 12 cm massivtre med påført PE-dampbremsfolie⁸, 30 cm isolasjon mellom såkalte C-bærere foran og luftet trekledning utenpå. Isolasjonen er mineralull i standardversjonen og cellulosefiber i det økologiske alternativ. Vindtetting løses standardmessig med 16 mm MDF-plater og i alternativversjonen med diffusjonsåpen⁹ PE-folie på 24 mm treforskaling.

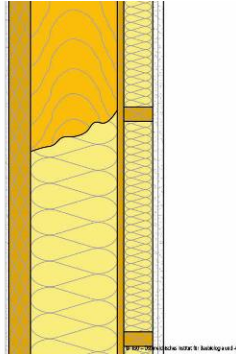


Figur 13 Vegg AWh 01:
massivtre + C-bærere,
luftet trepanel

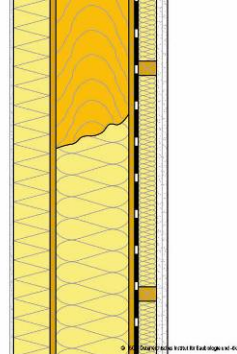
AWI 01 – AWI 04 er vegger med vanlige trestendere og ulike varianter av enkel eller dobbel krysslekting. *AWI 01* har 18 cm stenderverk med krysslekting på begge sider og luftet trekledning. *AWI 02* og *AWI 03* er vegger med utvendig puss på henholdsvis porøse trefiberplater og mineralullplater uten lufting. *AWI 04* har kledning av fibersementplater/alternativ lerk på utlekting, men ikke luftet. Innvendig krysslektig er her gjort med stålprofiler. Lufttetting er løst enten med OSB-plater med teipede skjøter alene (01, 02, 03 alternativ) eller med PE-folie innvendig på henholdsvis OSB (04), sponplater (03) eller diagonal treforskaling (04 alternativ). PE-folie i tillegg til OSB eller sponplater er brukt fordi materialene i de ytre veggdelene i de aktuelle konstruksjonene er mindre diffusjonsåpne, slik at det må være høyere dampmotstand innvendig for å få en fuktsikker oppbygging¹⁰. PE-folie på treforskaling er valgt fordi forskalingsbord alene ikke er lufttett. Vindsperresjiktet er enten pusslaget (02, 03) eller MDF-plater (04).



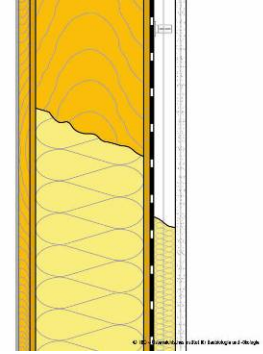
Figur 17 Vegg AWI 01:
Stender + 2 x krysslekting,
luftet trepanel



Figur 16 Vegg AWI 02:
Stender + krysslekting,
pusset porøs trefiberplate



Figur 15 Vegg AWI 03:
Stender + krysslekting,
pusset mineralull



Figur 14 Vegg AWI 04:
Stender + stål-krysslekting,
uluftet platekledning

⁸ Begrepene dampbrems og dampsperre blir i tyskspråklige land ikke brukt på samme måte som i Norge. Bare produkter med svært høy dampmotstand er dampsperrer. Det blir mer og mer vanlig å si at produkter med s_d -verdi under 0,5 m er diffusjonsåpen, mens materialer med s_d -verdi over 1500 m er diffusjonstett og alt imellom er diffusjonshemmende. I vanlig språkbruk hører man likevel ofte "dampsperre" som generelt begrep, og heller ikke boka bruker begrepene konsekvent. "PE-Dampfbremse" og "PE-Dampfsperre" brukes om hverandre, og begge varianter oversettes til "PE vapor barrier" på engelsk.

⁹ "Open diffusion PE foil" på engelsk. Se ellers kommentar i forrige fotnote.

¹⁰ Sponplater har dessuten lavere s_d -verdi enn OSB ved samme tykkelse. Det kan derfor bli nødvendig med en folie/papp i tillegg, hvis innvendig OSB erstattes med vanlig sponplate.

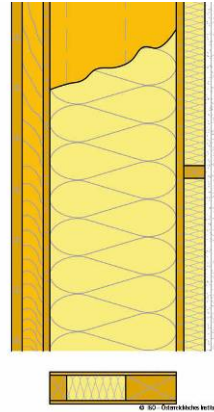
I variant 01 er det bare angitt ”diffusjonsåpen vindsperre”. Innvendig overflate er to lag gipsplater, i 03 alternativ leirpuss på treullsementplater. Som alternativ til mineralullisolasjon er det nevnt saueull (kun i installasjonssjiktet), hamp og lin.

AWI 05 og *AWI 06* er vegger med mindre treandel i det 30 cm tykke bærende sjiktet. I *AWI 05* brukes såkalte boks-bærere, mens *AWI 06* har I-bærere. Begge vegger har luftet trepanel utvendig og to lag gipsplater på krysslekting innvendig. Lufttettingslaget er enten OSB-plater med teipede skjøter (05, 06 alternativ) eller sponplater med innvendig påført dampbrems (06 standard)¹¹. Vindtetting er løst med enten MDF-plater (05 standard, 06 alternativ), sponplater (06 standard) eller treforskaling med diffusjonsåpen PE-folie utvendig (05 alternativ). Standardvariantene er isolert med mineralull, mens alternativene har isolasjon av saueull (kun i installasjonssjiktet), halm og cellulose.

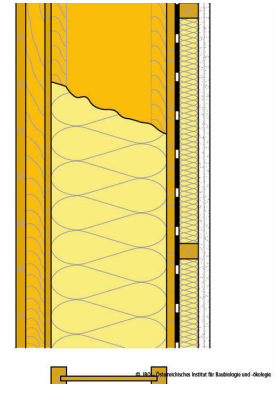
De fleste veggene er mellom 48 og 52 cm tykke. Uluftede Varianter med puss eller platekledning er noe tynnere, mens alternativet med halmisolasjon er tykkere (55 cm sammenliknet med 49 cm for *AWI 05* i standardutførelse med mineralull). De viste materialalternativene kan selsvagt varieres enda mer mellom de ulike veggkonstruksjonene, hvis de valgte kombinasjonene tar hensyn til bygningsfysikken. Konstruksjonene er nærmere beskrevet i vedlegg A.2.

I avsnittet om tak blir det beskrevet fire trebaserte skråtakkonstruksjoner med like mange økologiske alternativer, alle med U-verdi på 0,10 W/(m²K).

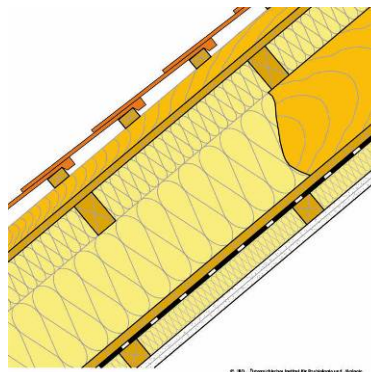
DAI 01 og *DAI 02* er tak med vanlige sperrer – den første med isolert installasjonssjikt og gipsplater under, den andre med synlige sperrer og isolasjon oppå. I begge tilfeller er det to



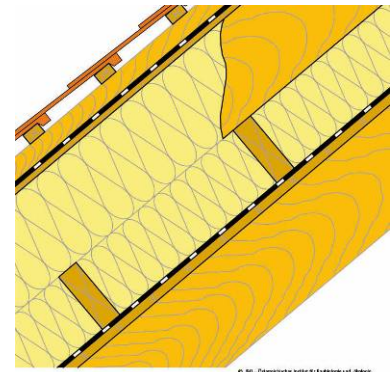
Figur 19 Vegg AWI 05:
Boks-bærere + krysslekting,
luftet trepanel



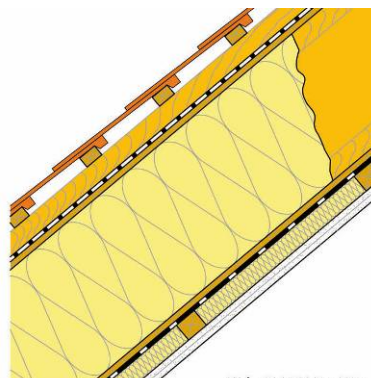
Figur 18 Vegg AWI 06:
I-bærere + krysslekting,
luftet trepanel



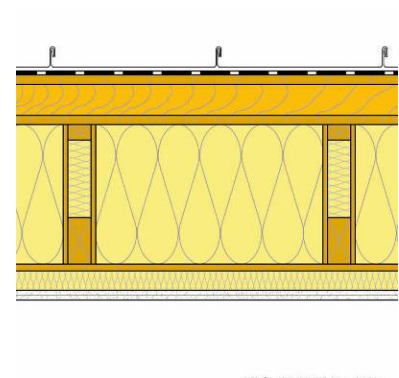
Figur 20 Tak DAI 01:
Sperrer + lekter på tvers,
2 lag hovedisolasjon



Figur 21 Tak DAI 02:
Synlige sperrer + 2 lag
isolasjon oppå



Figur 22 Tak DAI 03:
I-bærere



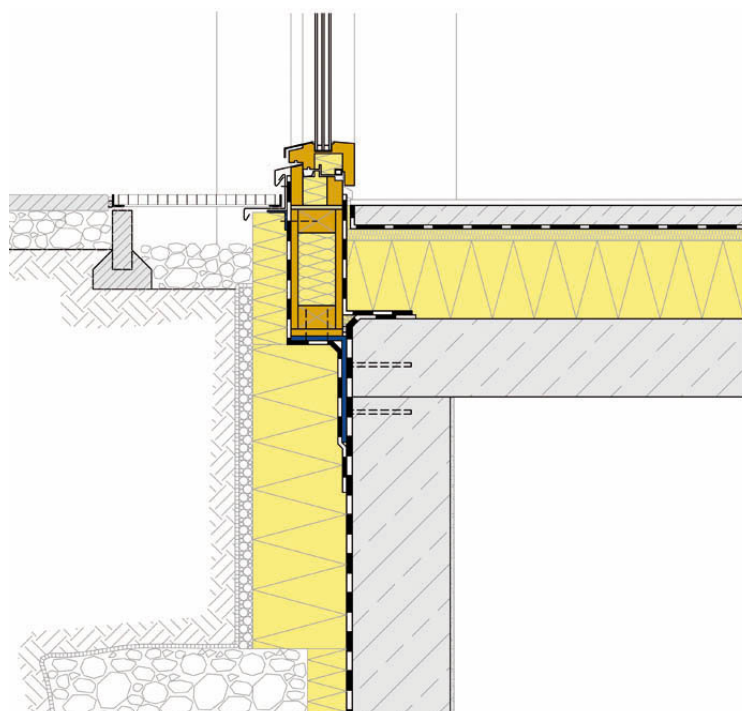
Figur 23 Tak DAI 04:
Boks-bærere

¹¹ Se kommentar i forrige fotnote.

lag med isolasjon og krysslågt treverk for å minimere treandel og kuldebroer. *DAI 03* og *DAI 04* derimot er tak med kun ett hovedlag med isolasjon mellom henholdsvis I-bærere og ”boks-bærere”. Den siste har takteking av aluminium med stort luftsjikt under, mens alle andre har vanlig luftet teglteking. Tak 02 med synlige sperrer har PE-dampbrems på oversida av synlig trepanel. I alle andre varianter er lufttetting løst med enten OSB-plater med teipede skjøter (01 og 03 alternativ, 04) eller dampbrems under sponplate (01 og 03 standard). Undertak og vindtetting er vist i mange varianter: diffusjonsåpen duk på porøse trefiberplater (02 standard), på treforskaling (02 og 03 alternativ) og på MDF-plater (03 standard); porøse trefiberplater alene både asfaltimpregnert (01 og 04 standard) og kvaeimpregnert (01 og 04 alternativ). Som i veggene, blir det nevnt saueull som alternativ isolasjon i installasjonssjiktet. Alternativer i hovedisolasjonslaget er lin, hamp og cellulose. Konstruksjonene er nærmere beskrevet i vedlegg A.3.

Boka viser også mange konstruksjoner for flate tak samt gulv på grunn, kjellerdekker, andre etasjeskillere, dekker over friluft, takterrasser, kjellervegger og innervegger.

Andre hoveddel i boka er viet til overgangsdetaljer. Disse omfatter ikke bare rene tre-, mur- eller betongkonstruksjoner, men også kombinerte løsninger og mer kompliserte overganger for eksempel mot takterrasser, balkonger og sokkel. For alle detaljer er det beregnet kuldebroverdier, relatert til utvendige mål. Dette gjør at verdiene ikke kan brukes direkte i norske beregninger, bortsett fra tilfeller hvor det ikke er forskjell mellom innvendige og utvendige mål, f.eks. rundt vinduer og langs etasjeskillere.



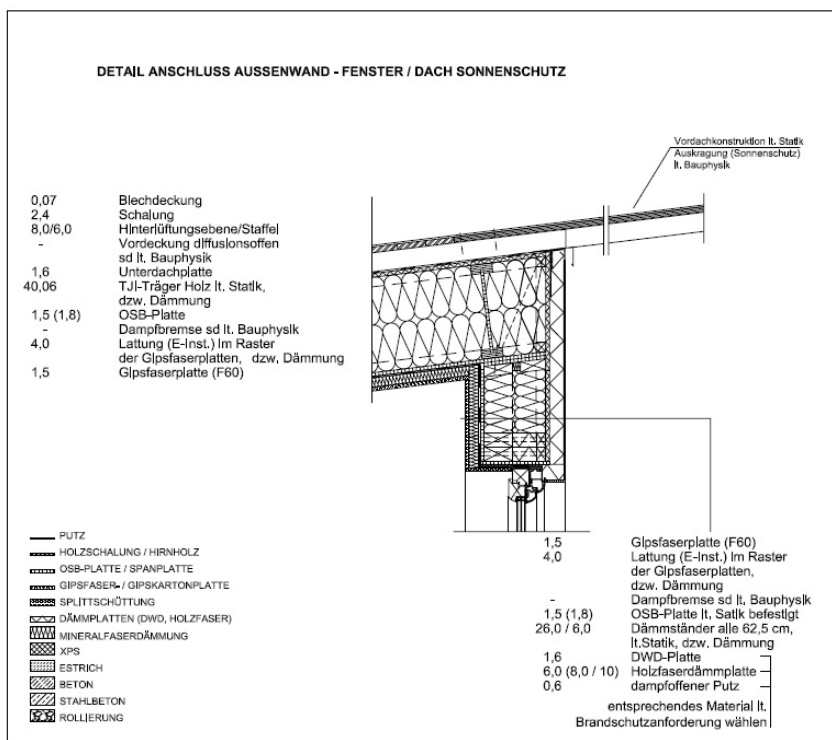
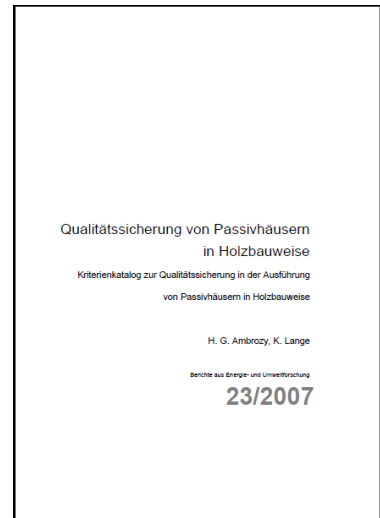
Figur 24 Overgangsdetalj TTh 01 – KDo 01 – EAm 02:
Terrassedør/kjellerdekke/kjellervegg mot terreng

Figur 24 viser eksempeldetalj TTh 01 – KDo 01 – EAm 02 med overgang mellom terrassedør, kjellerdekke og kjellervegg mot terreng. Detaljen er bl.a. egnet for vegg AW1 03 og AW1 05. Døra står her på et spesielt sokkelement som punktvis festes med stålvinkelelement i betongdekket. Terskelen kan utformes slik at den er egnet for universell utforming, men fuktsikring krever nøyaktig utførelse. Kuldebroverdier er $\Psi=0,001$ W/mK mot uteluft/terreng og $\Psi=-0,025$ W/mK mot kjeller. Det vil bli høyere verdier ved beregning etter innvendige mål.

5.2.3 Qualitätssicherung von Passivhäusern in Holzbauweise (rapport fra forskningsprogrammet Haus der Zukunft, Østerrike)

Innenfor programmet "Haus der Zukunft" i Østerrike blir det løpende offentliggjort forskningsrapporter som kan lastes ned på <http://www.hausderzukunft.at/publikationen/index.htm>. Noen rapporter er på engelsk, men det meste er på tysk, både om pilotprosjekter, håndbøker, veiledninger, potensialstudier, markedsundersøkelser med mer.

Sluttrapport 23/2007 "Qualitätssicherung von Passivhäusern in Holzbauweise" inneholder en omfattende kriteriekatalog til kvalitetssikring av passivhus i tre med nedlastbare sjekklister, detaljkataloger og en eksempelsamling på kommenterte løsninger for tekniske installasjoner. Alle deler er utarbeidet for både eneboliger, rekkehus og blokker, og løsninger er vist for trestendersystemer, treskjelett, massivtre og kombinasjon med betong. I tillegg er det utarbeidet en mengde detaljer for gjennomføringer og installasjoner. Figur 25 viser en eksempeldetalj for eneboliger.



Qualitätssicherung von Passivhäusern in Holzbauweise
EINFAMILIENHAUS DET. 08 B_1a_AW-FE/DA_01

Beschreibung Detail Holzbau
Baudetail Holzgewerk Intern bzw. mit anderen Gewerken (ausgenommen Haustechnik) Holzlechtbau (Rahmenbau), Außenwand-Fenster / Dach_Detail 01 (Sonnenschutz durch Vordach).

Konstruktion/Statk
o das Vordach kann entweder nur durch eine Mehrschichtplatte, die entsprechend tief rückspringend von der Fassade verankert ist, gebildet werden, bei größeren Auskragungen jedoch auch in Verbindung mit auskragenden Hinterlüftungssparren

Bauablauf - Montage
o versetzen der Außenwände -> versetzen der Dachelemente mit Unterdach -> verschrauben der Elemente (offener Randbereich) -> Dämmen und Randabschlüsse -> Unterdach mit Winddichtung verkleben -> Dachfertigstellung -> Luftdichtung -> Fassade -> Innenvorsatzschalen

Wärmeschutz
o die Fensterstöcke werden in der Laibung abgedämmt

Luftdichtigkeit / Winddichte
o Im Fensteranschlussbereich: Versetzen des Fensters -> Anschluß an die Luftdichtgkeitsschicht Innen mit Follenschürze/Butylband -> Ausstopfen der umlaufenden Fugen mit Dämmstoff -> Kleben der Dämmung Im Sturzberelch, Dichtband zwlischen Dämmung und Fenster -> APU-Lelste mit Gewebe für Putzanschluss

Kriterienkatalog zur Qualitätssicherung in der Ausführung von Passivhäusern in Holzbauweise Autor.: Arch. DI Helnz Geza Ambrozy

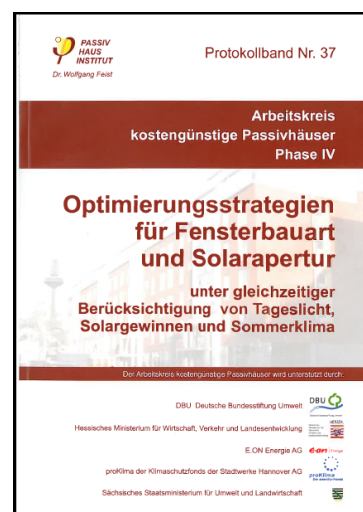
Figur 25 Overgangsdetalj vindu/vegg/tak fra kriteriekatalogen for eneboliger med trestendervegger: Viser luftet tak og pussfasade på 6 cm porøse trefiberplater som føres på karmen. Også tenkelig med luftet trepanel.

5.2.4 Forskningsrapporter og brosjyrer fra Passivhusinstituttet i Tyskland Protokollband 14, 16, 21, 29, 33, 37, Konstruktionshandbuch für Passivhäuser

Passivhusinstituttet har offentliggjort flere rapporter som har spesifikk relevans for trekonstruksjoner. Først og fremst er dette kompendier fra arbeidsverksteder i forskningsprosjekter finansiert av flere offentlige institusjoner (ofte departementer i tyske delstater) og industripartnere, såkalte protokollbind. Bind 16 er grunnleggende om konstruksjoner som har lave kuldebroverdier, eller som er ”kuldebrofrie” etter instituttets definisjon ($\Psi \leq 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$, beregnet med utvendige mål). Bind 21 viser eksempler fra bygde boligprosjekter, og i bind 33 drøftes det eksempler fra skoler i passivhusstandard. Bind 29 omhandler høysisolerte takkonstruksjoner, mens vinduer blir behandlet i bind 14 og 37. I alle disse dokumenter diskuteres bygningsfysiske spørsmål med hensyn til lufttetthet, lavest mulige kuldebroverdier og fuktsikkerhet. Kompendiene kan bestilles på www.passiv.de under ”Literatur”.

På samme nettsted kan det også lastes ned en gratis konstruksjonshåndbok for passivhus, som er et delresultat av et større prosjekt hvor det ble utviklet flere veiledninger for prosjekterende og brukere. Filene finnes under felles overskrift ”Nutzerhandbuch für Passivhäuser”. Illustrasjoner fra håndboka er vist i innledningskapittelet i foreliggende rapport.

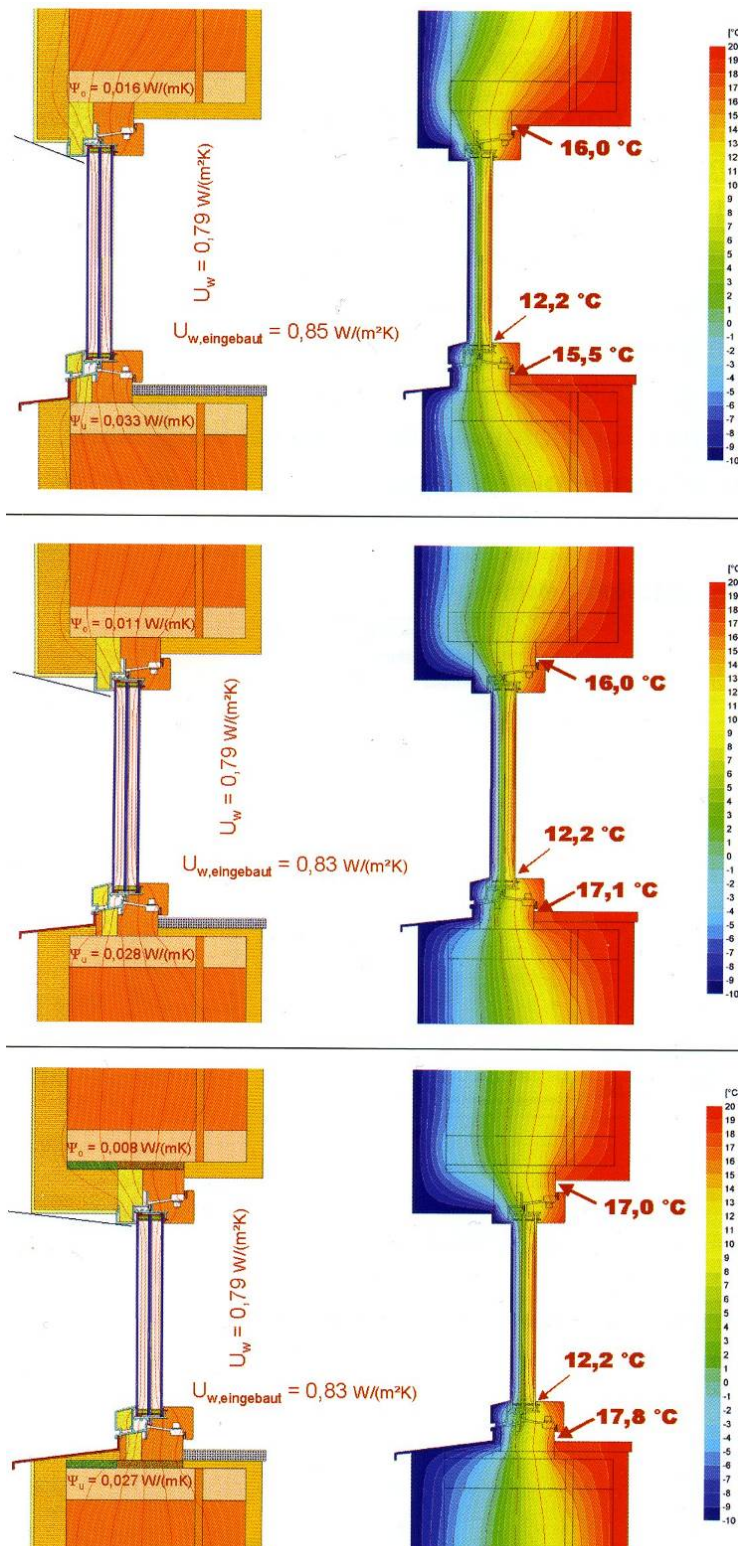
Plassering av vinduer i veggen og utforming rundt karm og smyg er blant det mest interessante i kompendiene. Her må det tas hensyn til kuldebroer, slagregn, kondensfare, lufttetthet, soltilskudd og dagslys. Både plassering langt ute i fasadelivet og plassering langt innover gir høyere kuldebroverdier enn et vindu plassert sentralt i isolasjonssjiktet, selv om dette i trestendervegger er mindre utpreget enn i mur- eller betongvegger med isolasjon utenpå. Et bidrag i Protokollband 37 om optimalisering av vinduer viser simulerte resultater for innsetting av eksempelvinduer i to ulike karm/rammekvaliteter for et trelags vindu med samme gode glasskvalitet med $U_g = 0,70 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ i en trestendervegg med $U_{\text{vegg}} = 0,12 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. I begge tilfeller blir det bekreftet at sentral plassering gir lavest kuldebroverdi, men at det har enda større effekt å føre utvendig isolasjon over karmen¹².



For et vindu med moderat god karm på $U_f = 1,1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ varierer innsettingskuldebroen mellom $\Psi = 0,05 \text{ W}/\text{mK}$ og $\Psi = -0,015 \text{ W}/\text{mK}$. Dette gir en resulterende U-verdi for hele vinduet (inkludert innsettingskuldebro) mellom $U_w = 1,05 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (vindu ute i fasadelivet, uten isolasjon på karm) og $U_w = 0,97 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (vindu omtrent sentralt, isolasjon over hele karm). Heller ikke den beste løsningen er imidlertid så bra som den burde være i passivhus. Med dette blir det klart at god plassering av vinduet og isolasjon på karmen likevel ikke kan kompensere for noe dårlig karm/ramme.

For et vindu med veldig god karm på $U_f = 0,70 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ er resultatet i prinsippet det samme, men hvis isolasjon på karmen er på plass, er effekten av optimal plassering i veggen mye mindre enn i det første eksempelet med dårligere karm. Den resulterende U-verdien for hele vinduet (inkludert innsettingskuldebro) varierer nå bare mellom $U_w = 0,85 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (vindu noe tilbaketrasket fra fasadelivet, med 6 cm isolasjon på

¹² Se vedlegg B for grafisk framstilling av sammenhengen. I det følgende presenterer vi kun hovedresultatene fra bidraget til Berthold Kaufmann, Markus John og Wolfgang Feist, ”Optimierungsstrategien für das hochwärmegedämmte Fenster” i Protokollband 37. Det understrekes at konkrete kuldebroverdier og resulterende U-verdier er avhengig av valgte materialer og konstruksjoner. Nøyaktige tallverdier gjelder derfor bare i omtalte eksempler og kan ikke overføres direkte til andre situasjoner.



karm) og $U_w=0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vindu omtrent sentralt, isolasjon over hele karm). Forfatterne diskuterer i kompendiet tre løsninger hvor isolasjon på karmen allerede er på plass. Disse vises i Figur 26.

Å føre utvendig isolasjon over karmen, vil alene kunne redusere innsettskuldebroen i eksempelet med $0,015\text{--}0,02 \text{ W/mK}$, noe mindre hvis vinduet sitter langt tilbaketrukket i vegg. Plassering av vinduet midt i isolasjonssjiktet kan gi en ytterligere reduksjonseffekt på ca. $0,01 \text{ W/mK}$ hvis det allerede er isolasjon på karmen. Dersom det ikke er isolasjon utenpå karmen, kan gunstig plassering redusere innsettskuldebroen med over $0,015 \text{ W/mK}$ i eksempelet. Dette er betydelige tall, tatt i betraktning at en svært høy andel av kuldebroene i et bygg vanligvis ligger rundt vinduer og dører.

Følgelig er plassering svært viktig, hvis karmen ikke kan bli isolert utenpå. Denne isolasjonen har imidlertid en større effekt enn plasseringen. Første skritt bør derfor være å utforme konstruksjonen slik at det er mulig å føre isolasjon på karmen. I eksempelet er dette veldig enkelt løst med en 6 cm tykk porøs trefiberplate som trekkes rett over karmen. Med valgt løsning sitter vinduet ”automatisk” 6 cm inne i vegg – se øverste bilde i Figur 26 med resulterende U -verdi på $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Midtre bildet i samme figur viser et noe mer inntrukket vindu med resulterende U -verdi på $0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det er ikke stor forskjell lenger, selv om den i grensetilfeller kan være utslagsgivende for om passivhusstandard kan oppnås (f.eks. små eneboliger). Bildet viser også betydelig høyere innvendig overflatetemperatur ved bunnkarmen. Det er en fordel, men løsningen i øverste bilde er fullt tilstrekkelig for å unngå kondens- og sopproblemer.

Figur 26 Innsettsvarmetap og resulterende U -verdi for hele vindu inkludert innsettskuldebro ($U_{w, \text{ eingebaut}}$) ved ulik plassering i samme trestendervegg. $U_{\text{vegg}}=0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$; utvendig begrensning: 6 cm porøse trefiberplater (kledning ikke vist). Karm: $U_f=0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$; glass: $U_g=0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$; hele vindu uten innsettskuldebro: $U_w=0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$. Fra Kaufmann, John og Feist i Protokollband 37, figur 43-45.

Nederste bildet i Figur 26 viser et vindu omtrent sentralt plassert i isolasjonssjiktet. Løsningen har enda bedre innvendige overflatetemperaturer og litt lavere kuldebroverdier, men med to desimaler er resulterende U-verdi for hele vinduet lik den i midtre bildet. Samtidig medfører plasseringen mer skygge, mindre soltilskudd og mindre dagslys. Totalt er løsningen derfor ikke bedre enn løsningen i midtre bilde.

Ut fra disse eksempler kunne en noe inntrukket vindusplassering med isolasjon på karmen i mange tilfeller være en enkel og bra nok løsning. Porøse trefiberplater i større tykkelse enn ”asfalt vindtett” ville være egnet til det. Vinduer lenger inne i vegglivet kan medføre ulemper i form av lavere sol- og lystilskudd. Bidraget i Protokollband 37 undersøker i tillegg virkningen av skrå vindussmyg utvendig. Effekten pga. større soltilskudd er signifikant for oppvarmingsbehovet, men ikke så stor som god karmkvalitet og isolasjon på karmen. Effekten kan dessuten bli helt borte i skyggefylte situasjoner. Uansett er skrå utvendige smyg bedre egnet for massive vegger med isolasjon utenpå. Ved trevegger er slike smyg derimot arbeidskrevende, mens det er enklere å plassere selve vindu i gunstig posisjon. Skrå smyg innvendig vil bare øke dagslysinntak, men ikke soltilskudd.

5.3 Veiledningsmateriale fra Sverige

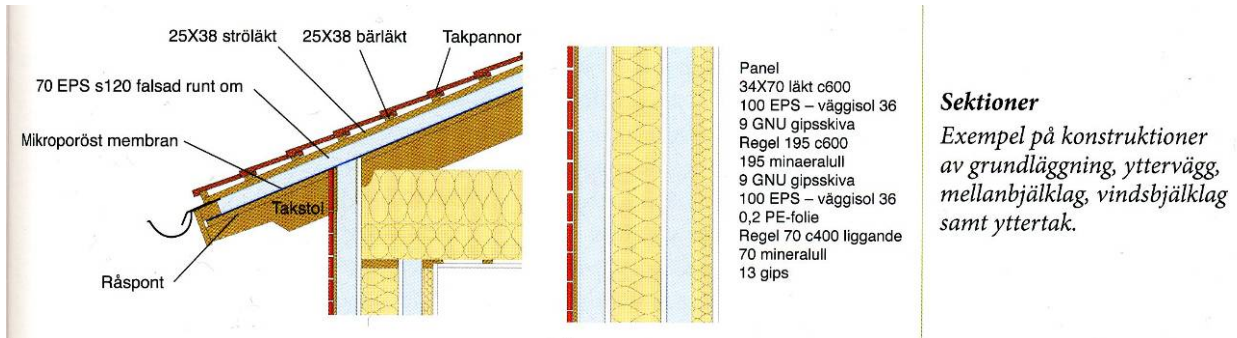
Passivhuscentrum i Alingsås tilbyr kurs for utdanning som ”certifiserad passivhusbyggare” i samarbeid med Sveriges Tekniske forskningsinstitut SP. I tillegg tilbyr rådgiverfirmaet Thyréns kurs etter et internasjonalt opplegg som det tyske Passivhusinstituttet har utviklet. Etter eksamen utstedes attest som ”Certified Passive House Designer”. I Sverige eksisterer det imidlertid ikke utstrakt veiledningsmateriale på tilsvarende nivå som i tyskspråklige land.

5.3.1 Passivhusbrosjyre fra Passivhuscentrum

En brosjyre fra Passivhuscentrum i Alingsås var lenge den eneste publikasjonen på svensk som omfatter mer enn en enkel framstilling av prinsippene. Brosjyren gir en god gjennomgang av konsept, prosjektering, bygging og verifisering. I tillegg blir det presentert eksempler fra to bygde passivhus i Sverige – et oppgraderingsprosjekt og et nybygg – med nærmere beskrivelse av konstruksjoner og erfaringer fra byggeprosessen. Eksempelet fra nybygget i Tollered blir omtalt i avsnitt 6.2.3.1 i foreliggende rapport.

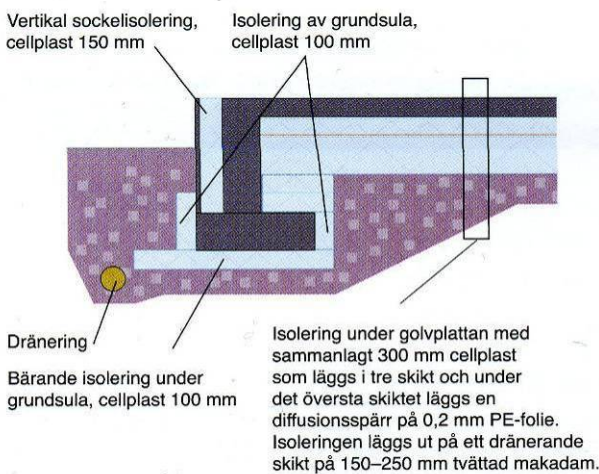
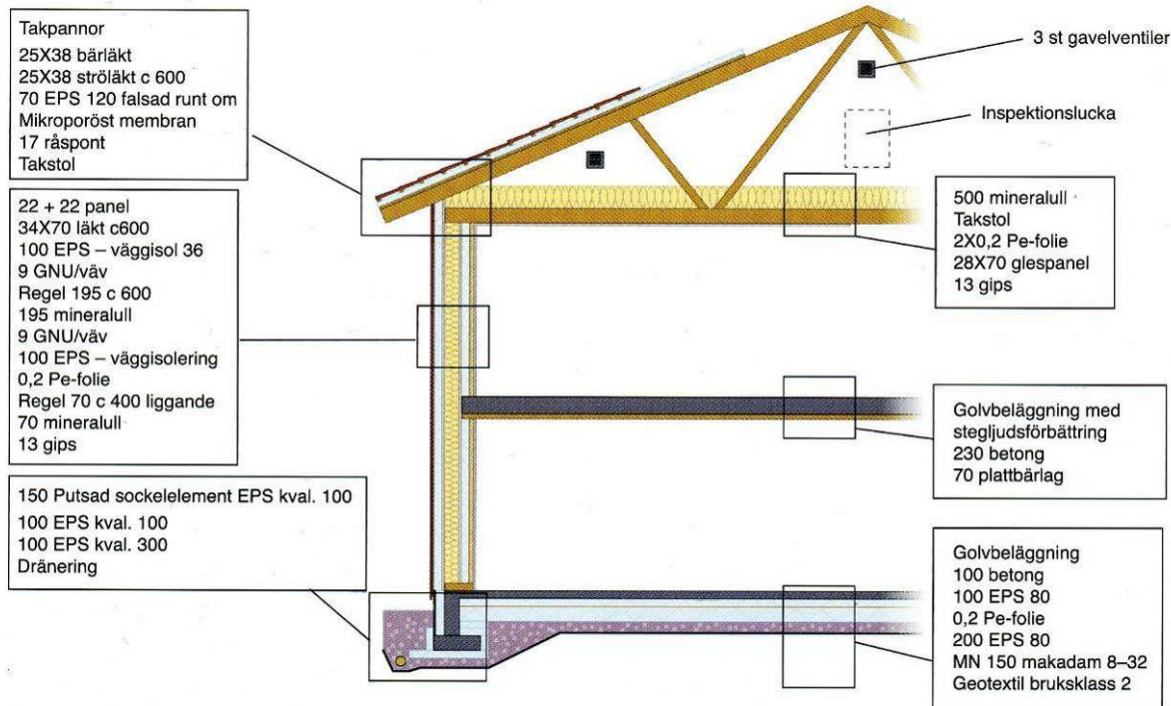
5.3.2 Passivhus – En håndbok om energieffektivt byggende

Etter at hoveddelen av foreliggende rapport var ferdigstilt og diskutert, ga Svensk Byggtjänst ut en mer omfattende håndbok om passivhus, skrevet av Lars André og Lars Tirén. I likhet med brosjyren, kan boka bestilles på www.passivhuscentrum.se. Boka gir en systematisk presentasjon av bakgrunn, definisjon, prinsipper og økonomi. En like systematisk diskusjon av myter om passivhus fordyper forståelsen av konseptet. Konstruksjonsløsninger blir beskrevet på en generell måte, og det vises kun ett eksempel på det – se Figur 27 på neste side. Eksempelet viser vegg- og takkonstruksjoner som er ganske ulike de løsninger som brukes mest i Norge og i Mellom-Europa. I Norge er også sokkelløsningen utypisk. I prosjektet var det ikke rom til å analysere eksempelet nærmere, men tilsvarende løsninger diskuteres i sammenheng med flere undersøkte prosjekter i avsnitt 6.2 i rapporten.



Sektioner

Exempel på konstruksjoner av grunnlagging, yttervegg, mellombjälklag, vindsbjälklag samt yttertak.



Grundläggning

Det finns en rad ulike konstruksjoner att utgå ifrån, här ett eksempel som visat sig fungera bra:

- Vertikal socketisolering till exempel cellplast 150 mm.
- Isolering av grundsulan med 100 mm cellplast.
- Bärande isolering under grundsulan med 100 mm cellplast.
- Isolering under plattan med sammanlagt 300 mm cellplast som läggs i tre skikt och under det översta skiktet läggs en diffusionspärr på 0,2 mm PE-folie. Isoleringen läggs ut på ett dränerande skikt på 150-250 mm tvättad makadam.

Figur 27 Eksempel på trehuskonstruksjon med hovedsnitt, overgang vegg/etasjeskiller/tak samt sokkeldetalj. Fra svensk passivhushåndbok. Tilsvarende konstruksjoner omtales i avsnitt 6.2 i foreliggende rapport.

5.4 Veiledningsmaterial fra Norge

I 2004 ga Byggforsk ut Anvisning 40 om Energieffektive løsninger i småhus. Her omtales også passivhus i korte trekk, men anvisningen er i første rekke ment for lavenergiboliger, selv om en stor del av innholdet i prinsippet også er nyttig for prosjektering av passivhus. Viste konstruksjoner er løsninger fra eksisterende blader i Byggforskserien og er i de mange tilfeller ikke tilstrekkelig for passivhus, både med hensyn til U-verdier/isolasjonstykkelser og lufttetthet. For eksempel inneholder tabellene ikke lavere U-verdier for yttervegger enn hhv. 0,16, 0,15, 0,13 og 0,12 W/m²K, avhengig av veggvarianten.

5.4.1 Energieffektive boliger for fremtiden (håndbok fra IEA SHC task 28)

Som resultat av et norsk forskningsprosjekt "Kostnadseffektive lavenergiboliger" og deltakelse i det internasjonale prosjektet IEA SHC task 28/ECBCS Annex 38 "Sustainable Solar Housing" ga SINTEF Byggforsk i 2006 ut en gratis håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger. Håndboka går systematisk gjennom konseptet for passiv energidesign på ulike ambisjonsnivåer og behandler arkitektonisk utforming, konstruktive løsninger, egnete produkter inkludert teknisk utstyr, planleggings- og byggeprosess samt komfort, kostnader og lønnsomhet. Noen tidlige eksempler på lavenergiboliger og passivhus blir også vist.

Kapittel 4.1 – 4.3 omhandler konstruksjoner, kuldebroer og lufttetting. Dette er fylldige avsnitt hvor også bygningsfysiske problemstillinger blir drøftet. Konstruksjonsløsningene blir likevel vist og beskrevet på en forholdsvis generell måte og bygger i stor grad på innholdet i Byggforsk Anvisning 40-2004. Som nevnt, er imidlertid ikke alle disse konstruksjoner tilstrekkelig for passivhus. Det er også noen anbefalinger som i dag kan vurderes litt annerledes, sett i lys av erfaringer og diskusjoner:

Dobbel vindtetting i form av platekledning kombinert med rull-/pappprodukt med klemte skjøter er i håndboka anbefalt som hovedløsning for å oppnå et lufttett bygg. Løsningen har i praksis medført noen "ufdefinerte" overganger og gjennomføringer, dvs. det var på byggeplassen uklart om f.eks. et vindu tettes mot platene eller mot pappen. Resultatet kunne variere, slik at det i realiteten ikke ble ett gjennomgående lag. I tillegg kan en kombinasjon av to vindtette materialer medføre at dampmotstanden samlet blir for stor og hindrer tilstrekkelig uttørring. Dobbel vindtetting må derfor gjennomtenkes nøye.

Hvis en velger vindtettingslaget som hovedlufttetting, som anbefalt i håndboka, må det innvendige luftspersesjiktet likevel ha god kvalitet og kan ikke overlates tilfældigheter på byggeplassen. Formuleringen i håndboka: "Innvendig dampspærre bør derfor bare være en siste sikring når det gjelder å redusere luftlekkasjer" må derfor ikke forlede til å tro at dårlig utført dampspærre ikke kan ha alvorlige byggskader som konsekvens.

5.4.2 Kurs i planlegging og bygging av passivhus (Universitetet i Agder og Husbanken)

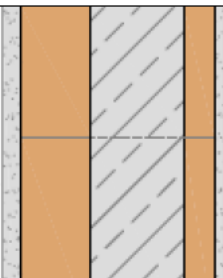
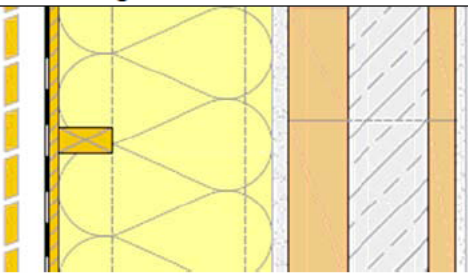
Universitetet i Agder har i 2009 utviklet et underlag for et nettbasert kurs om passivhus til et fremtidig nettstudium. Husbanken Region sør har finansiert prosjektet. Planen var å bearbeide materialet til elektronisk format som kan presenteres på internett. Dette har foreløpig ikke skjedd, men kompendiet kan lastes ned på http://www.husbanken.no/miljo-energi/nytt_miljoenergi/uia-med-kurs-i-planlegging-og-bygging-av-passivhus/. Kursmaterialet bygger på tilgjengelig informasjon i 2009 og inneholder mye om teknisk utstyr i passivhus samt erfaringer fra bygging av passivhuset i Vessøveien i Grimstad. Kapittel 2.4 om byggetekniske detaljer er brukbart på prinsippnivå, men går ikke dypere inn i konstruksjonsløsninger.

5.5 Veiledningsmaterial om rehabilitering

Passivhusinstituttet har også utgitt rapporter om rehabilitering med passivhuskomponenter. Bind 24 i kompendierekka er en generell innføring i rehabilitering etter passivhuskonseptet, mens bind 32 beskriver energieffektivisering med innvendig isolasjon. Den nyeste rapporten er Protokollband Nr. 39 om trinnvis

modernisering med passivhuskomponenter. I tillegg til disse, som kan bestilles på www.passiv.de, kan det på dette nettstedet lastes ned en fyldig gratis veileder om rehabilitering med passivhuskomponenter. Rapportene og veilederen behandler imidlertid først og fremst murhus og betongkonstruksjoner. Eneste unntak er et bidrag om fuktutvikling i bindingsverkhus med innvendig isolasjon i bind 32.

Etter samme mønster som den ovenfor omtalte "Passivhaus-Bauteilkatalog" har Instituttet for bygningsbiologi og -økologi i Østerrike (IBO) begynt å utvikle et tospråklig standardverk om økologisk vurderte konstruksjoner for rehabilitering etter passivhuskonseptet. Tittelen er "Passivhaus-Sanierungsbauteilkatalog" på tysk og "Details for Passive Renovation Houses" på engelsk. Noen eksempelsider kan lastes ned på <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id6072?active>. Innholdet vil bygge på en stor rapport kalt "PH-Sanierungsbauteilkatalog", som allerede er ferdigstilt. Rapporten kan lastes ned på samme nettsted (klikk på "Vorgängerprojekt" under "Kontext Links" i høyre kolonne). Utredningen evaluerer bl.a. forbildeprosjekter i Østerrike med flere eksempler på konstruksjoner og detaljer. Eksisterende veggkonstruksjoner er i alle tilfeller tegl, betong e.l. Det vises likevel flere eksempler med etterisolering av slike yttervegger ved hjelp av prefabrickerte treelementer og innblåst cellulosefiber – se Figur 28.

Aufbau	Bestand	Sanierung
		
Stärke [cm]		
1,5	Kalkzementputz	Kalkzementputz
25,0	Holzspanbeton-Mauerwerk	Holzspanbeton-Mauerwerk
2,0	Kalkzementputz	Kalkzementputz
32,0		Zellulose zwischen Holzriegelkonstruktion
1,6		Mitteldichte Holzfaserplatte (DWD)
-		Folie, winddicht
4,0		Hinterlüftung / Latten
2,0		Lärchenschalung
U-Wert [W/m²K]	1,01	0,12

Figur 28 Ytterveggskonstruksjon i enebolig Pettenbach, før og etter rehabilitering. Etterisolering med innblåst cellulose i prefabrickerte treelementer som festes på eksisterende vegg. Utbedret puss på murveggen danner lufttettingslaget. Utvendig MDF-plate, vindtettingsfolie og luftet lerkepanel. Vinduer plasseres i treelementet. Kilde: PH-Sanierungsbauteilkatalog, Berichte aus der Energie- und Umweltforschung 37/2009, Wien.

5.6 Spesielle konstruksjoner

5.6.1 Produsenter

Isolasjonsprodusentenes forening i Østerrike, Isover, Rockwool, Steico, Lignotrend, Altbauzentrum

Flere produsenter har utgitt veiledere eller detaljkataloger egnet for passivhus. Isolasjonsprodusentenes forening i Østerrike, GDI "Gemeinschaft Dämmstoff Industrie" har utviklet en egen detaljsamling for passivhus med beregning av U-verdier og Kuldebroverdier. 8 detaljer er for trekonstruksjoner. Et utvalgt er vist i vedlegg C.1. Også mineralullprodusenten Isover tilbyr veiledning med eksempelkonstruksjoner og overganger egnet for passivhus. Innhold og kvalitet av informasjonsmaterialet varierer noe avhengig av om en søker på nettstedet for Østerrike, Danmark eller Sverige. Overganger er ikke i alle tilfeller godt beskrevet, f.eks. uten å vise lufttettingen tydelig. På www.isover.dk kan en bestille en fyldig bok med dokumentasjon av passivhusprosjektet Komforthusene. Her er det beskrevet flere bygde hus i detalj, både med murvegger og med ulike trekonstruksjoner. Rockwool har en brosjyre med detaljer for Flex systemvegg som er egnet for passivhus, men ingen veiledning for et helt hus i passivhusstandard.

Steico er en ledende produsent av trefiberprodukter med hovedsete i Tyskland. I Steicos detaljkatalog er det vist mange overganger for passivhus med I-bærere og porøse trefibermaterialer. Tegningene er svært detaljert i målestokk 1:5 til 1:7,5. Ytterveggene er for det meste med pussystemer på porøse trefiberplater, men løsningene kan også være egnet for luftet trepanel. Et eksempel er vist i vedlegg C.2.

Tyske Lignotrend produserer elementer som likner I-bærere, men som har enkelte – istedenfor gjennomgående – steg for å minimere kuldebroen. Elementene kalles *U*psi* og kan festes på massivtre eller mur. Stenderne kan også brukes utenpå eksisterende vegger, eller som bærende veggkonstruksjon og på taket. Normalt er det pusset fasade på porøse trefiberplater, og hulrommet blåses ut med cellulosefibrer. Luftet trebekledning er også mulig. I en brosjyre er det utarbeidet detaljer for passivhus i målestokk 1:5, se eksempel i vedlegg C.3. Altbauzentrum i Nürtingen i Tyskland har utviklet et beslektet system kalt *Lambda plus* spesielt for etterisolering av eksisterende murte vegger. En montasjebeskrivelse kan lastes ned på www.altbauzentrum.de. Isofloc, en ledende produsent av celluloseisolasjon, tilbyr veiledning for begge systemer under <http://isofloc.de/waermedaemmung-von-fassaden.phtml>.



Figur 29
U*psi-elementer fra
Lignotrend.

5.6.2 Innovative Wandkonstruktionen für Minergi-P und Passivhäuser (oversiktsbok)

Daniela Enz og Robert Hastings fra Sveits har i 2006 skrevet en bok om innovative veggkonstruksjoner for Minergi-P og passivhus. Her beskriver de 15 konstruksjoner, over halvparten basert på tre. Oversiktssnitt viser konstruksjonene gjennom fasaden fra sokkel til tak. Det diskuteres bygningsfysikk, økologi og økonomi. Miljøkonsekvensene i produksjon blir vurdert mht. primærenergibehov, CO₂-utslipp og forsureningspotensial. Nøkkeltall for konstruksjonene blir sammenstilt i en stor sammenlikningstabell. Oppnådde U-verdier er normalt ikke tilstrekkelig for passivhus i Norge, slik at konstruksjonene måtte bli modifisert. Et større utdrag fra boka, inkludert sammenlikningstabellen, kan lastes ned på http://www.steko.ch/D/downloads_d.html.



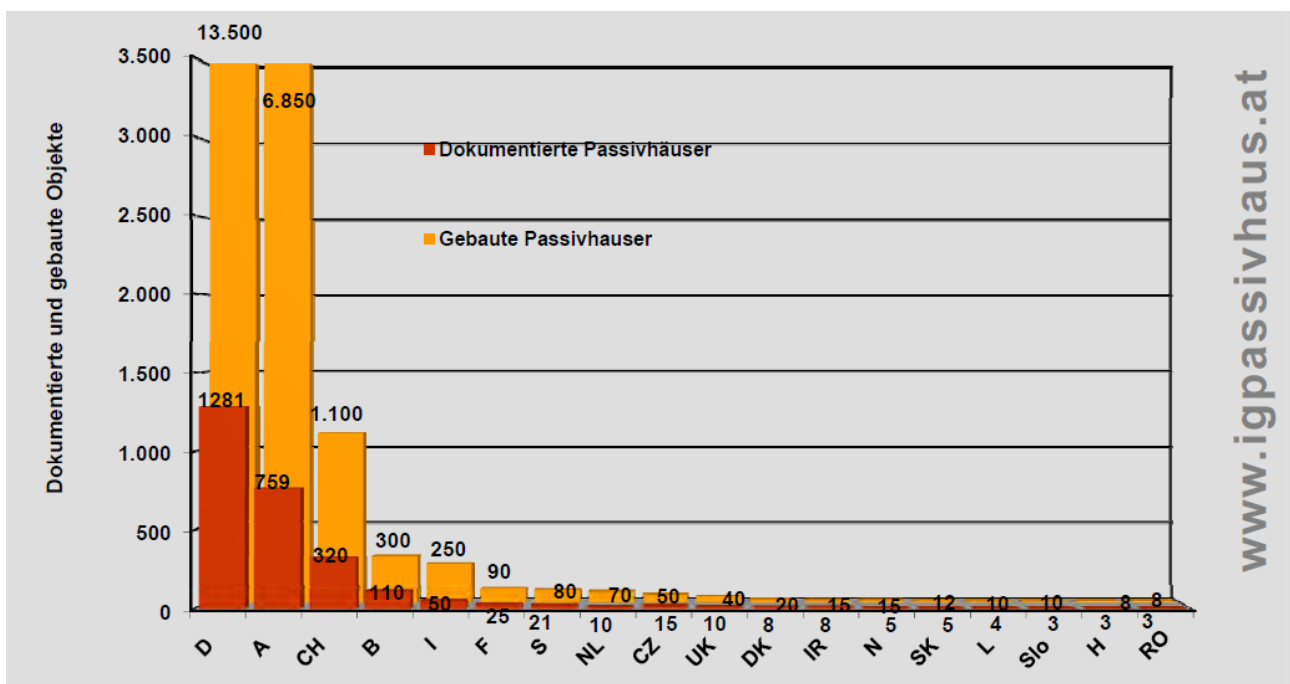
Figur 30 Oversikt over veggkonstruksjoner beskrevet i boka “Innovative Wandkonstruktionen”.

5.6.3 Sertifiserte byggesystemer i tre

Passivhusinstituttet har per 30. september 2010 sertifisert byggesystemer i tre fra 11 ulike produsenter, blant dem A-Hus i Sverige og Harresø Byggeforretning i Danmark. Mange av de sertifiserte systemene har imidlertid pussete fasader. I tillegg tilbyr bl.a. svenske Karlson Husindustrier et system som ikke er sertifisert. En oversikt over produsentene er vist i vedlegg D.

6 Ferdigstilte passivhus i tre

Allerede blant de første passivhus i Mellom-Europa var en del bygninger basert på trekonstruksjoner, eller i tre kombinert med andre bærende konstruksjoner. Andelen rene trekonstruksjoner er i disse land tradisjonelt betydelig lavere enn i Norge, om enn med store regionale forskjeller og større treandel spesielt i deler av Sørvest-Tyskland og det vestlige Østerrike. Det ser imidlertid ut som om trebaserte løsninger har en større andel i passivhus enn i vanlige boligbygg. Ifølge IG Passivhaus Österreich var innen 2009 omtrent halvparten av alle dokumenterte passivhusprosjekter i Østerrike bygd i tre. Dette har en sammenheng med at spesielt små tømmerbedrifter ser nye muligheter på markedet ved å bygge høykvalitets trehus i passivhusstandard¹³. Utfyllende trestendervegger i langfasader i betongbygg var inntil for noen år siden nesten ukjent i sentraleuropeiske land. Slike konstruksjoner, som i Norge og Sverige tradisjonelt er mer vanlig, fikk en større utbredelse først med passivhus.



Figur 31 Bygde (gebaute) og dokumenterte passivhus i ulike land per 25.4.2010. Kilde: IG Passivhaus Österreich.

I dag blir det bygd passivhus i nesten alle europeiske land. Likevel er de fleste bygde og dokumenterte prosjekter konsentrert på tyskspråklige land eller regioner¹⁴ – se Figur 31. Mange prosjekter i Tyskland og Østerrike er dessuten blitt sertifisert og/eller evaluert, slik at rapporten kunne støtte seg på resultatene. Pga. begrenset arbeidskapasitet ble det ikke sett nærmere på prosjekter i Sveits, Danmark og Finland. I sistnevnte eksisterer det knapt ferdige passivhus, og danske prosjekter vurderes ikke som like relevante for Norge, sett i lys av ulike klimatiske forutsetninger og byggeskikk. I Sverige fins det derimot flere viktige prosjekter, som i dette avsnittet av rapporten blir diskutert etter en gjennomgang av tyske, østerrikske og norske eksempler.

¹³ Sluttrapport 85/2010 "1000 Passivhäuser in Österreich". Samme kilde for Figur 31.

¹⁴ I Italia ligger de fleste passivhus i det tyskspråklige Sør-Tyrol.

6.1 Passivhusprosjekter i Tyskland og Østerrike

6.1.1 Tidlige prosjekter i forskningsprogrammet CEPHEUS

CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards) var et prosjekt innenfor EUs THERMIE-program. I forskningsprogrammet ble det evaluert en rekke tidlige passivhusprosjekter, i hovedsak i Østerrike og Tyskland, men også noen prosjekter i andre land er med, bl.a. rekkehusene i Lindås ved Gøteborg. I 2001, da beboerne i alle prosjekter var flyttet inn, ble det gitt ut en tospråklig bok om de østerrikske CEPHEUS-prosjektene¹⁵. En pdf-versjon av denne samt flere prosjektrapporter kan lastes ned på nettstedet til energibyrådet Energieinstitut Vorarlberg på <http://www.energieinstitut.at/> under Download\Forschung\CEPHEUS. Resultater fra tyske prosjekter er tilgjengelig på www.passiv.de.

6.1.1.1 Rekkehus i Hannover-Kronsberg, Tyskland



I bydelen Kronsberg sørvest for sentrum i Hannover ble det i sammenheng med verdensutstillingen EXPO 2000 bygd et helt nytt boligområde med ca. 3000 boenheter. 32 av disse er rekkehus i passivhusstandard, plassert i fire rekker på to etasjer. Det er tre ulike aksebredder på enhetene med 79-118 m² oppvarmet areal. I tillegg er det ikke-oppvarmete boder ved inngangene, utenfor klimaskjermen. Arkitekt Petra Grenz og utbygger Rasch & Partner fikk boligene ferdigstilt i 1998. Prosjektet er beskrevet og evaluert i flere forskningsrapporter¹⁶, som bl.a. viser at effekt- og oppvarmingsbehov i praksis blir så lavt som beregnet, også i enderekkehusene. I tillegg viser en sosialvitenskapelig studie¹⁷ høy beboertilfredshet.

Hvert tak har på sørsida 4 kvm solfangerareal som dekker store deler av varmtvannsbehovet. Romoppvarming skjer gjennom ventilasjonsluft samt en liten radiator på badet. Passivhusene er tilknyttet boligområdets eget nærvarmesystem, som dekker resten av alt varmebehov for tappevann og romoppvarming. Nærvarmesentralen har delvis kombinert kraft-varme-produksjon og drives med naturgass. I tillegg er det installert solceller med 5 kW effekt på taket til sentralen. Dessuten er det bygd vindturbiner i

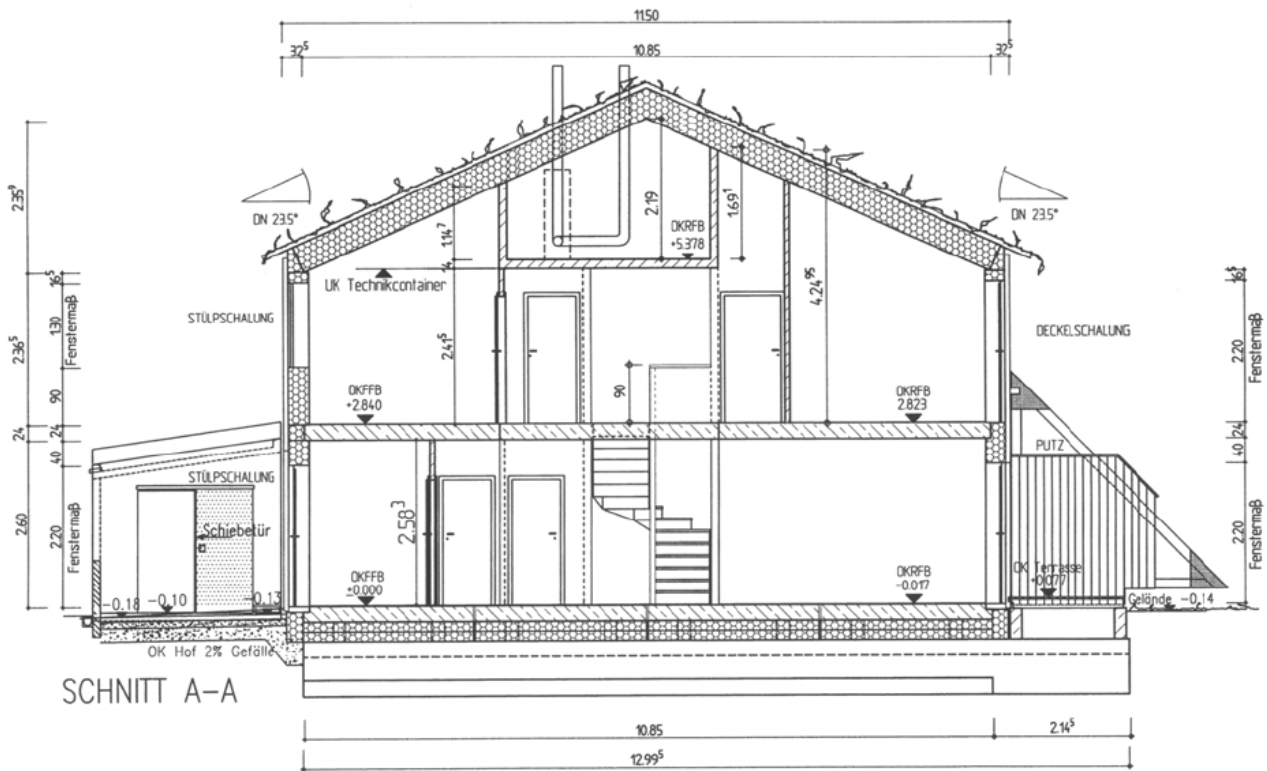
¹⁵ Helmut Krapmeier og Eckart Drössler, *CEPHEUS – Wohnkomfort ohne Heizung/Living Comfort without Heating*, Wien 2001

¹⁶ CEPHEUS Projektinformation Nr. 18, 19, 20 og 21, Fachinformation PHI 2002-/3

¹⁷ Michael Danner, *Wohnen in der Passivhaussiedlung Lummerlund im Neubaugebiet Hannover-Kronsberg*, U Konzept uten år

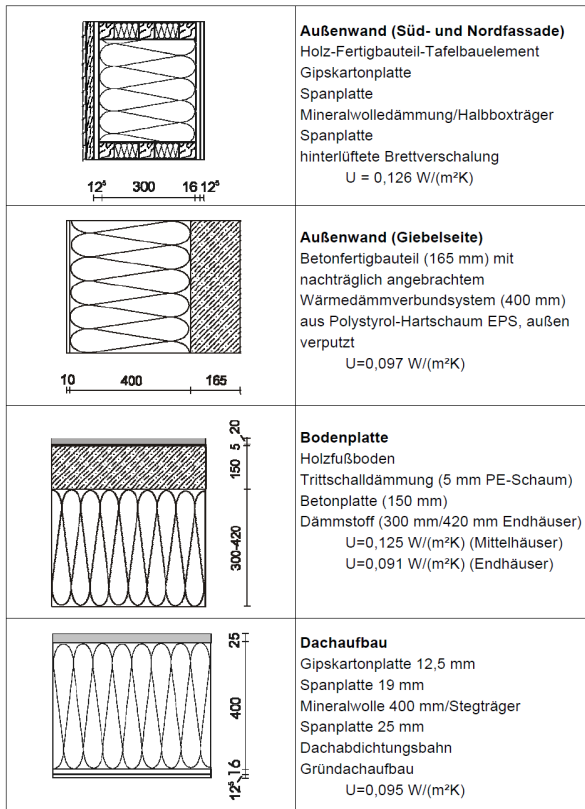
umiddelbar nærhet. Alt i alt, inkludert strømproduksjon fra vindkraftanlegget, er passivhusene klimanøytralt, dvs. resterende energibehov er noe mindre enn produsert fornybar energi.

Bærekonstruksjonen med gavlvegger, skillevegger mellom enhetene, etasjeskillere og plate på mark er av betong. Langvegger og saltak er prefabrikkerte treelementer. I veggene brukes 300 mm boks-bærere med sponplater og luftet trepanel utvendig samt sponplater og gipsplater innvendig. Takelementene har 400 mm I-bærere med samme platekonstruksjon under og over. Utvendig er det et grønt tak. Lufttettesjiktet dannes av en PE-folie mellom sponplaten og gipsplaten¹⁸ samt betongen i gavl og på grunn. Langveggene har vindtetting med duk på sponplatene. Taket har svært begrenset uttørkingsevne og fungerer fuktteknisk bare uten innebygd fukt og med nøye gjennomført lufttetting (se kommentar under vurdering i slutten av kapittelet). Tak og vegger er isolert med mineralull, mens det brukes polystyren under gulvet og på gavlveggene. Sistnevnte er pusset direkte på isolasjonsplatene.

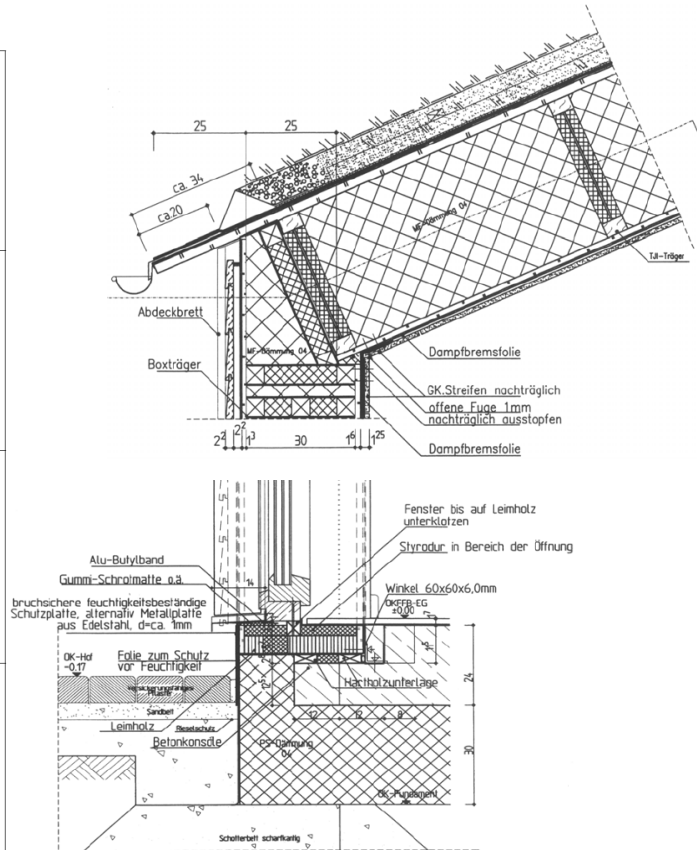


Figur 32 Tverrsnitt gjennom rekkehuset. Boden til venstre er utenfor klimaskjermen. (Prosjektinformasjon Nr. 18)

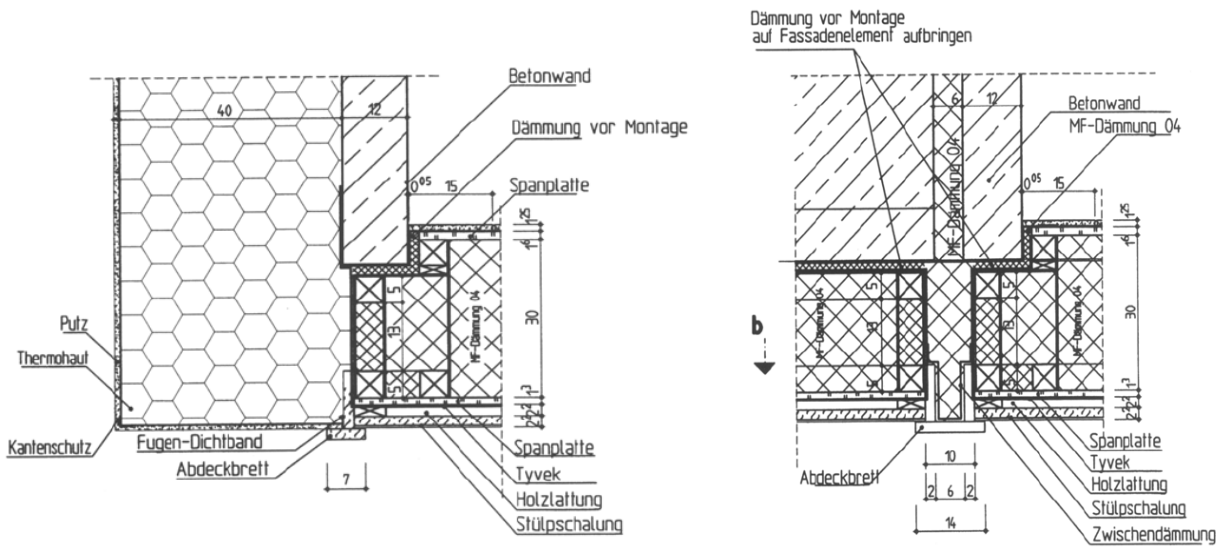
¹⁸ PE-folien betegnes som dampbremsfolie i detaljene. Dette pga. ulik begrepsbruk i Norge og Mellom-Europa – se fotnote 8.



Figur 34 Konstruksjoner med U-verdier (PE-folie og vindtettingsduk ikke vist). Enderekkehusedene har ekstra mye isolasjon under gulvet.



Figur 33 Overgang gulv/vegg med noe inntrukket inngangsdør og overgang vegg/tak.

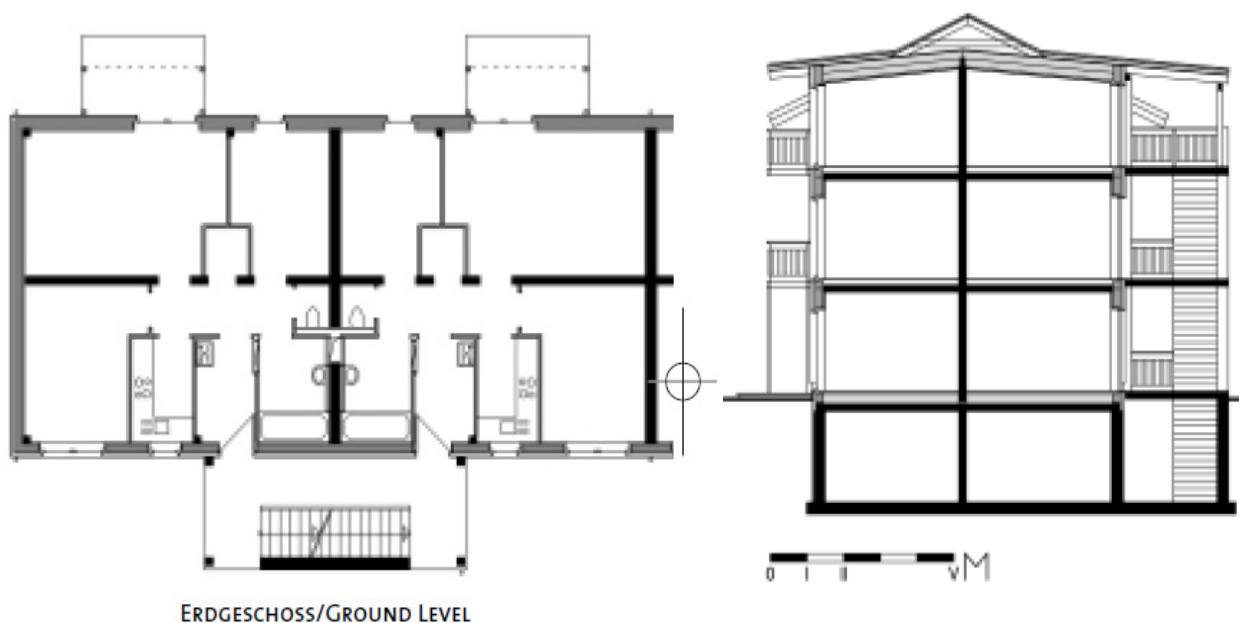


Figur 35 Overgang gavlvegg/langvegg (t.v.) og mellom prefabrikkerte veggelementer ved leilighetsskillevegg (t.h.). Gavlvegger er pusset på EPS, langvegger har luft liggende panel. Snittet til høyre er i venstredelen gjort mellom vegg og etasjeskiller, i høyredelen derimot gjennom normalveggen ved et rom. Betongdekker og -vegger stikker bare noen få cm inn i veggkonstruksjonen, slik at det nesten ikke er kuldebroer.

6.1.1.2 Lavblokker i Kuchl ved Salzburg, Østerrike



I Kuchl, 25 kilometer sør for Salzburg, ble det bygget 25 leiligheter i to lavblokker på tre etasjer med kjeller. Tre- og fireromseilighetene på hhv. 60 og 83 kvm er relativt små og er ”allmenntyttige boliger” for folk flest med støtte fra delstatens program for sosial boligbygging¹⁹. Utbygger var Bausparerheim Siedlungsgemeinschaft med egen arkitekt.

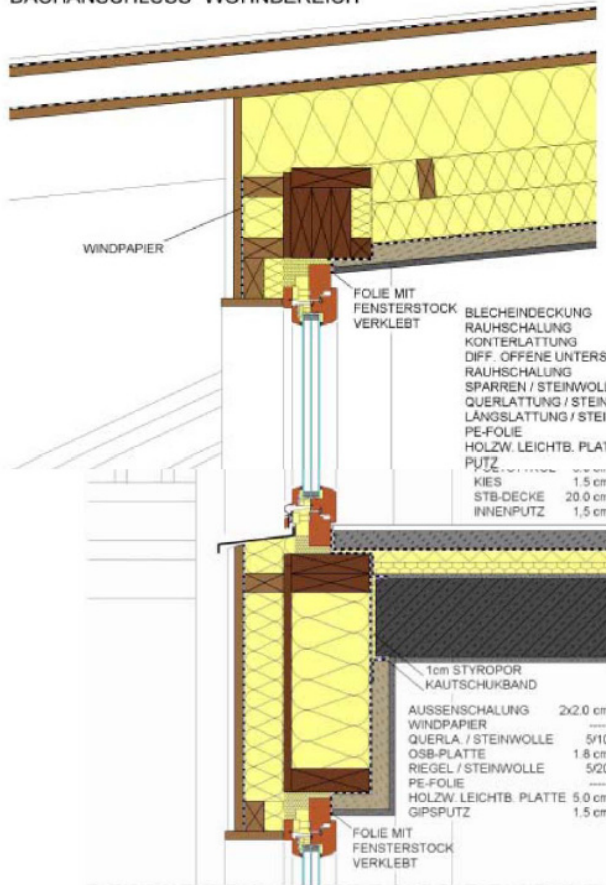


Figur 36 Plan 1. Etasje (utsnitt) og tverrsnitt. (Prosjektinformasjon Nr. 28)

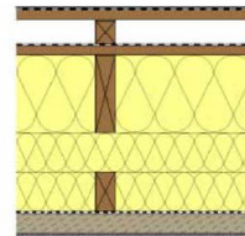
¹⁹ I mange land brukes begrepet sosial boligbygging til boliger for mennesker med vanlig inntekt. Begrepet må ikke assosieres med boliger for vanskeligstilte, som det gjøres i Norge. I Østerrike bygges ca. 80 prosent av alle boliger med lån eller tilskudd etter slike programmer i delstatene.

Pelletsjkel og 100 kvm solfangerareal dekker romoppvarming og varmtvannsberedning. Leilighetene har radiatorer. Det ble dessuten installert et lite solcelleanlegg på taket for å levere driftsstrøm til solfangerne.

DACHANSCHLUSS WOHNBEREICH



Dach

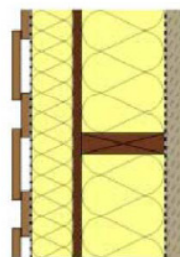


$U = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Außen / kalt	
Blecheindeckung	----
Rauhschalung	2,4 cm
Konterlattung	8,0 cm
diffusions offene Unterspannbahn	----
Rauhschalung	2,4 cm
Sparren / Steinwolle	10/20
Querlattung / Steinwolle	5/10
Längslattung / Steinwolle	5/10
PE-Folie	----
Holzwohle-Leichtbau-Platte	5,0 cm
Putz	1,5 cm
Innen / warm	

BLECHEINDECKUNG	2,4 cm
RAUHSCHALUNG	8,0 cm
KONTERLATTUNG	----
DIFF. OFFENE UNTERSANNBAHN	----
RAUHSCHALUNG	2,4 cm
SPARREN / STEINWOLLE	10/20
QUERLATTUNG / STEINWOLLE	5/10
LÄNGSLATTUNG / STEINWOLLE	5/10
PE-FOLIE	----
HOLZW. LEICHTB. PLATTE	5,0 cm
PUTZ	1,5 cm
KIES	1,5 cm
STB-DECKE	20,0 cm
INNENPUTZ	1,5 cm

Außenwand 1



$U = 0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

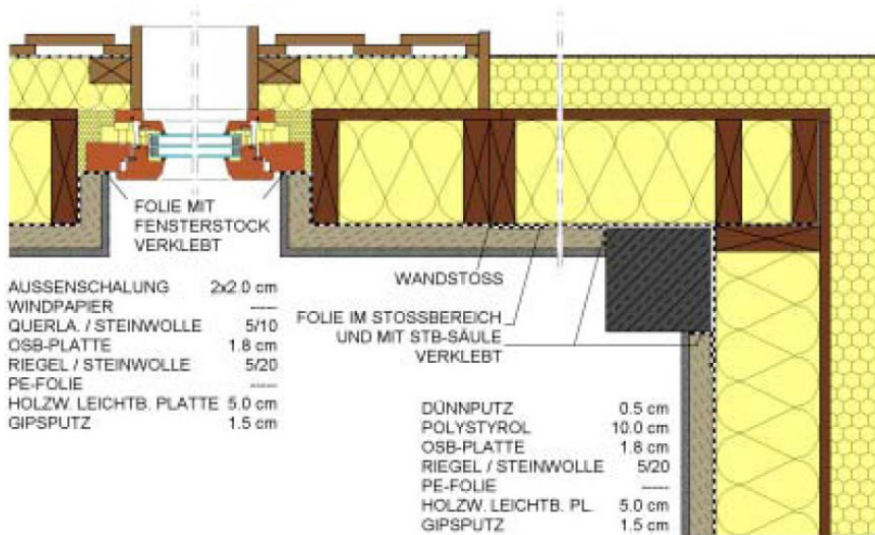
Außen / kalt	
Holzschalung	2x2,0 cm
Windpapier	----
Querlattung / Steinwolle	5/10
OSB-Platte	1,8 cm
Riegel / Steinwolle	5/20
PE-Folie	----
Holzwohle-Leichtbau-Platte	5,0 cm
Gipsputz	1,5 cm
Innen / warm	

AUSSENSCHALUNG	2x2,0 cm
WINDPAPIER	----
QUERLA. / STEINWOLLE	5/10
OSB-PLATTE	1,8 cm
RIEGEL / STEINWOLLE	5/20
PE-FOLIE	----
HOLZW. LEICHTB. PLATTE	5,0 cm
GIPSPUTZ	1,5 cm

Figur 37 Overgang mellom vegg og hhv. balkongdør, etasjeskiller, vindu og tak (t.v.) samt tak- og veggkonstruksjon med U-verdier (t.h.). Den viste at ytterveggskonstruksjonen utgjør bare en liten del av fasadene. I hovedsak har veggene puss på EPS-isolasjon, som vist i neste figur.

Søyler og etasjeskillere av armert betong danner et bærende skjelett. Ytterveggene består av prefabrikkerte, ikke bærende treelementer, mens indre vegger er murt og pusset. Åpne trapperom for to innganger per etasje ligger utenfor klimaskjermen. Også balkongene har separat bæring. Veggelementene har et tradisjonelt stenderverk med 200 mm mineralull, begrenset av pussete treullsementplater innvendig og OSB-plater utvendig. På sistnevnte ble det montert ytterligere 100 mm isolasjon. I hovedsak er dette polystyren med utvendig puss. På mindre arealer brukes derimot steinull med vindpapier og stående panel, hvor underliggerne ikke har lufting. Takkonstruksjonen består av sperrer og to lag lekter under, hvilket gir plass til totalt 400 mm mineralullisolasjon. Himlingen er på samme måte pusset som veggene. Ellers er det luftet undertak med diffusionsåpen duk på rupanel. Kjellerdekket er på oversida isolert med 200 + 30 mm polystyren. Søyler og etasjeskillere er plassert på innsida av det isolerte vegglivet, slik at kuldebroer er helt ubetydelige.

Lufttettesjiktet dannes av en PE-folie mellom isolasjon og treullsementplatene samt betongen på grunn. Som vist i Figur 37 og Figur 38, er folien omhyggelig limt mot vinduskarmen. Vinduet er trukket langt inn i vegglivet, og det ytre isolasjonslaget er ført over karmen.



Figur 38 Horisontalsnitt gjennom veggkonstruksjonen med puss på EPS (t.h.) og stående panel (kun mindre partier, t.v.). Vinduet er plassert sentral i isolasjonssjiktet, og isolasjon er ført på karmen. Bærende stålbetongsøyle i hjørnet.

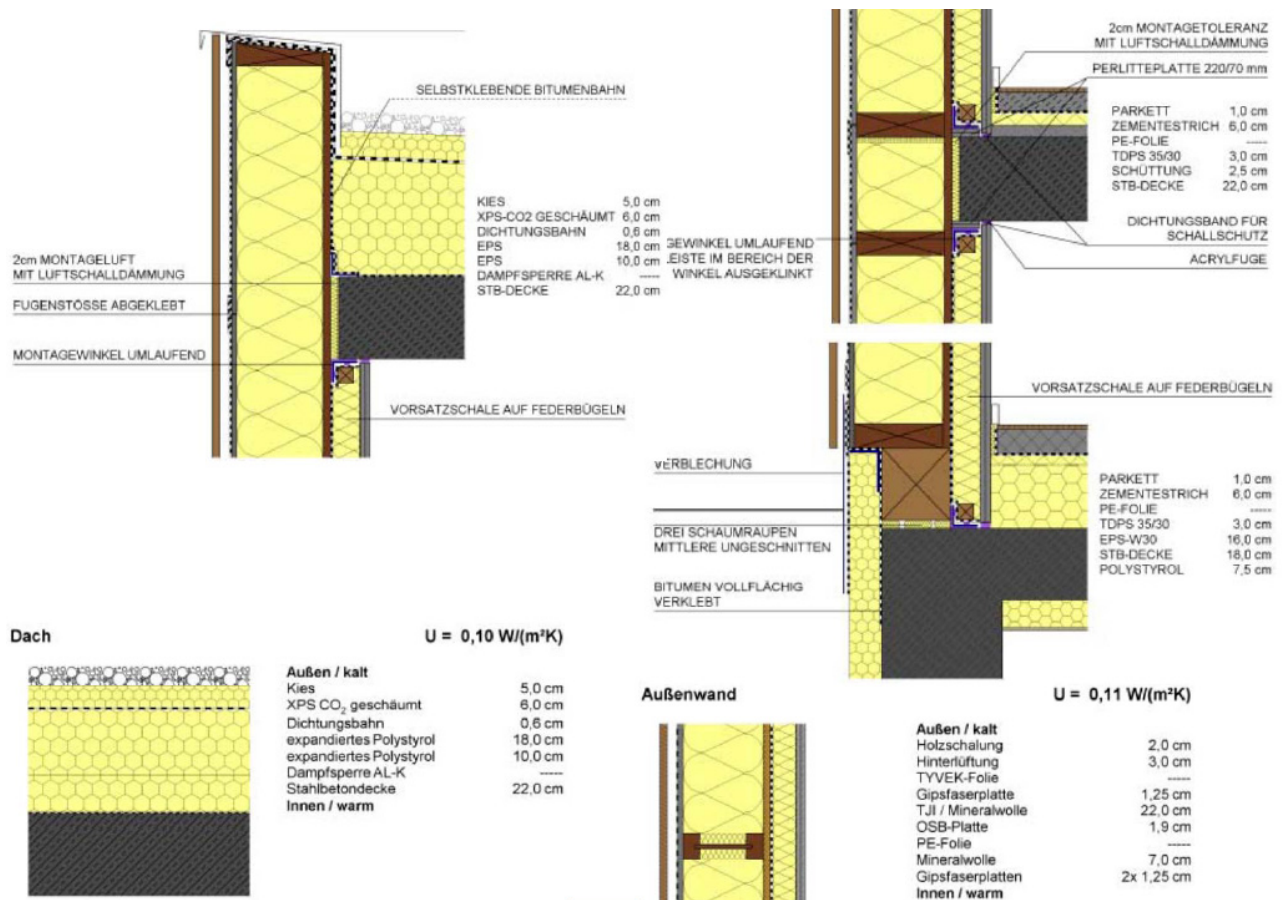
6.1.1.3 Lavblokk i Salzburg-Gnigl, Østerrike



I bydelen Gnigl nord i Salzburg reiste utbyggeren Heimat Österreich en blokk på to etasjer med seks utleieleiligheter, tegnet av arkitektkontoret Atelier 14 og også som sosial boligbygging. Det er uoppvarmet kjeller. Fire toromsenheter på 47 kvm ligger i endene, de i 2. etasje med egen åpen trapp. To midtleiligheter går over to etasjer og har 68 kvm areal.

Hver boenhet har sitt eget ventilasjonsaggregat. Sentral pelletskjel og 20 kvm solfangerareal på taket dekker romoppvarming og tappevann. Oppvarmingen skjer i hovedsak gjennom ventilasjonsluft. I tillegg er det en radiator på badet og et lite areal med veggvarme på stua.

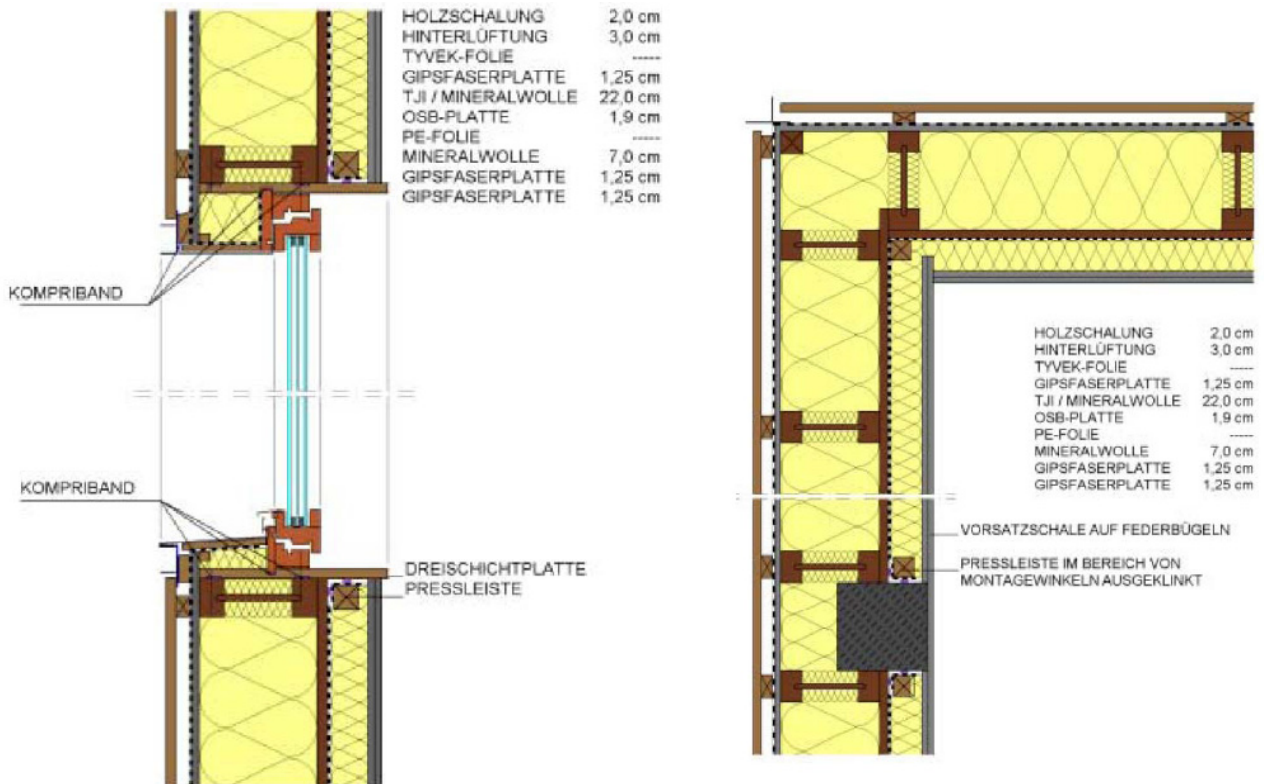
Hovedbæresystemet er dekker, leilighetsskillevegger og søyler i gavlveggen i betong. Alle yttervegger mot vest, nord og øst er selvbærende prefabrickerte treelementer, mens veggene mot sør er en gjennomgående glassfasade over hele arealet – se Figur 41. Det kompakte taket er isolert med XPS og EPS over betongen, mens kjellerdekket er isolert både over (hovedandel) og under. Veggelementene er bygd opp av 220 mm I-bærere og mineralull mellom OSB-plater innvendig og fibergipsplater utvendig. Innvendig er det 70 mm installasjonssjikt med krysslekting, isolasjon og fibergipsplater. Utvendig er veggene kledd med luftliggende panel. Et ekstra vindtettingsduk er lagt på de utvendige fibergipsplatene, men det primære lufttettingssjiktet er PE-folien innvendig på OSB-platene.



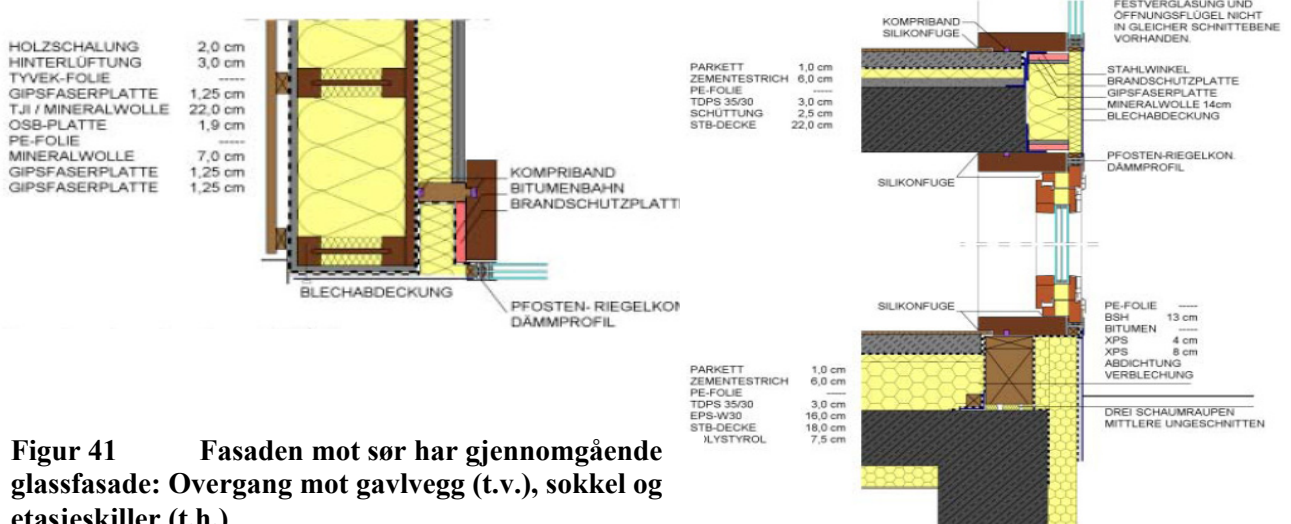
Figur 39 Overgang mellom vegg og hhv. parapet, etasjeskiller og kjellerdekke (over) samt tak- og veggkonstruksjon med U-verdier (under). Den viste veggkonstruksjonen gjelder kun mot vest, nord og øst. Mot sør er det heldekkende glassfasade. (Prosjektinformasjon Nr. 27)

Med valgt plassering og planløsning av leilighetene ble det ikke nødvendig å bygge balkonger. To overganger mellom trapperepos og etasjeskiller var derfor de eneste store kuldebroproblemene i fasaden. Det ble brukt tradisjonell Isokorb til dette, som i utgangspunktet har for høy kuldebroverdi. For øvrig går skillevegger og dekker ikke inn i den egentlige veggkonstruksjonen (elementene), slik at kuldebroene her er svært lite. Søylene i gavlveggene stikker derimot noe ut i de prefabrikkerte elementene. Det gir litt høyere kuldebroverdier. Totalt sett var imidlertid både søyleløsningen og reposløsningen akseptable i dette kompakte bygget.

Også i dette prosjektet ser vi at vinduet er plassert sentralt i isolasjonssjiktet. Utvendig isolasjon dekker her hele karmen, og det er også forsøkt å isolere bunnkarmen mest mulig, som vist i Figur 40. PE-folien som det lufttette laget limes og klemmes mot utforingen, og vinduskarmen tettes mot den på to steder med ekspanderende bånd (kompriband). I tillegg føres vindduken mot karmen utvendig.



Figur 40 Plassering av vinduer i fasaden (t.v.) og horisontalsnitt gjennom ytterveggen med søyle i gavl (t.h.). Detaljen til venstre viser et vindu i fasaden mot nord, uten isolert karm. Vinduer i andre fasader har isolert karm.



Figur 41 Fasaden mot sør har gjennomgående glassfasade: Overgang mot gavlvegg (t.v.), sokkel og etasjeskiller (t.h.)

6.1.1.4 Blokker i Wolfurt ved Bregenz, Østerrike

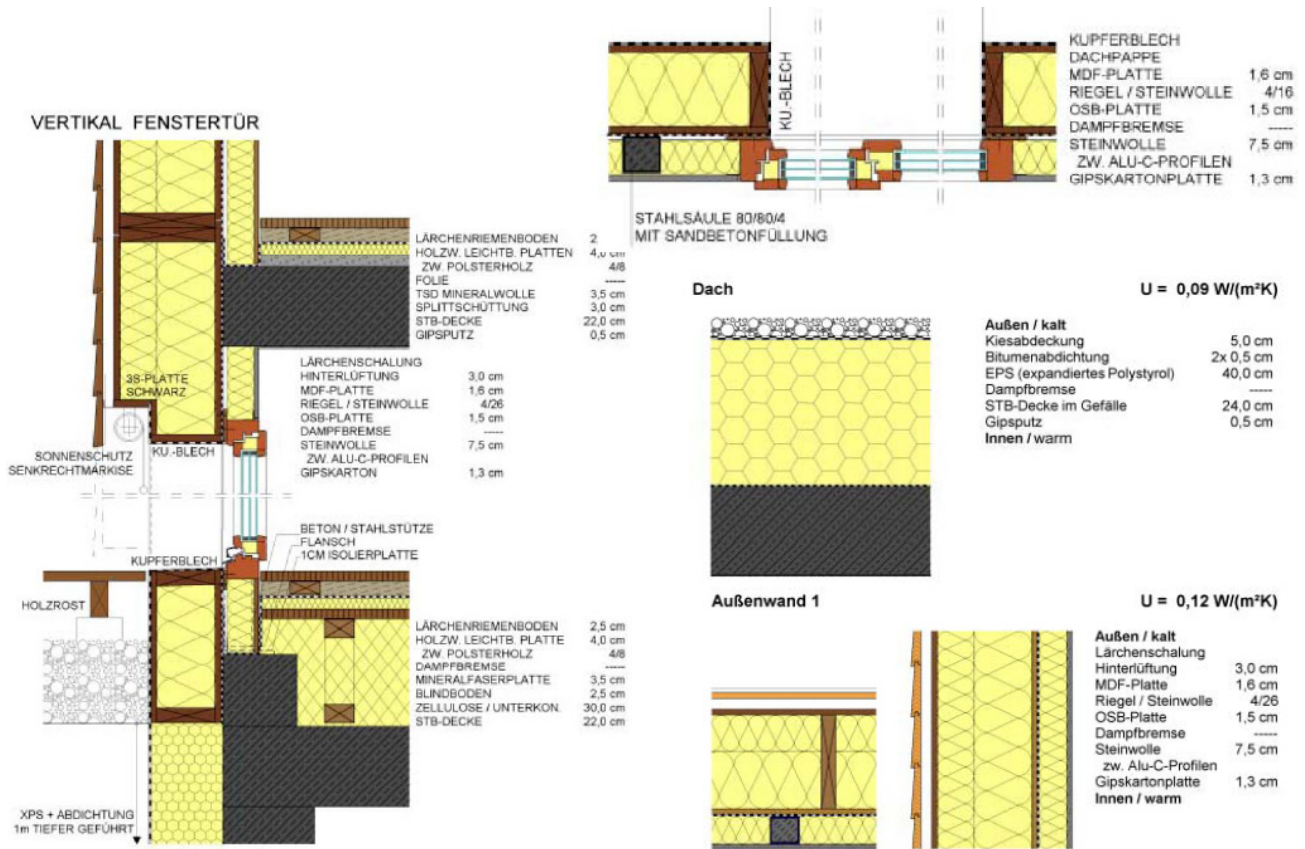


I byen Wolfurt sør for Bregenz helt vest i Østerrike ble det bygd to identiske blokker på tre etasjer, knyttet sammen med gjennomgående kjelleretasje som delvis brukes til parkering. Hvert hus har fire leiligheter på 130 kvm og ett kontor på 65 kvm, tilgjengelig fra et indre, sentralt trapperom. De store leilighetene går over to etasjer med tilgang til egen hage, mens leilighetene i øverste etasje har takterrasse. Arkitekt var Gerhard Zweier.

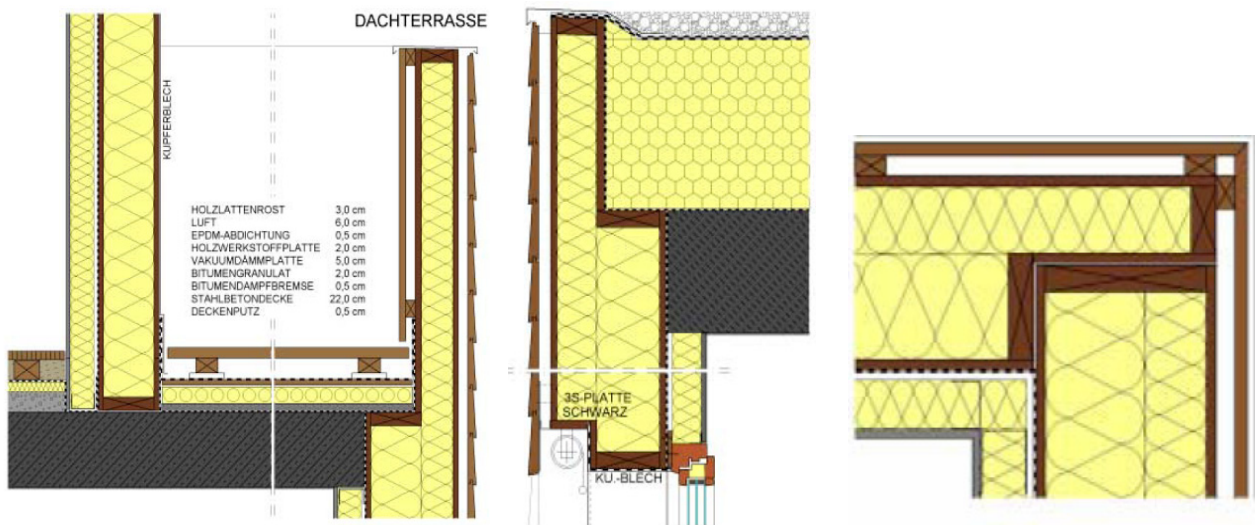
Hver boenhet har sitt eget ventilasjonsaggregat. Sentral pelletskjel og 31 kvm solfangerareal på hvert tak dekker romoppvarming og tappevann. Oppvarmingen skjer gjennom ventilasjonsluft. Tilluftkanalen til hovedsoverrommet er lagt inn uisolert i betongdekket over badet. Dette medfører mindre oppvarming på soverommet og tilleggsoppvarming på badet, slik at ønsker om lavere temperatur på soverom og høyere temperatur på bad kan oppfylles på en enkel måte (noe som imidlertid er vanskelig å endre hvis bruk eller ønsker endrer seg). Prosjektet har jordvarmeveksler til forvarming/-kjøling av ventilasjonsluft.

Bæresystemet består av betongdekker, stålsøyler og noen indre betongvegger til avstivning. Ytterveggene er prefabrikkerte treelementer. Kompakttaket er isolert med 400 mm EPS over betongen, mens kjellerdekket er oppført med plass til 300 mm innblåst celluloseisolasjon, i tillegg til 35 mm mineralull- og 40 mm treullsementplater. Veggelementene har 40/260 mm trestendere og mineralull mellom OSB-plater innvendig og MDF-plater utvendig. Det innvendige installasjonssjiktet dannes av 75 mm aluminium -C-profiler, mineralull og gipsplater. Utvendig er veggen kledd med luftet liggende panel. Det primære lufttettingssjiktet er en uspesifisert dampbrems innvendig på OSB-platene. Deler av veggene har mindre isolasjon og er kledd med kobber.

Stålsøylene (som er fylt med sand) er plassert i installasjonssjiktet. Også betongdekker og -vegger avslutter her, slik at OSB-plater og dampbrems kan gå forbi kontinuerlig. Løsningen gir dessuten svært lave kuldebroverdier. Vi ser imidlertid at også vinduene er plassert i installasjonssjiktet. Lufttetting lar seg lett løse på denne måten, men kuldebroverdiene er noe høyere enn ved plassering mer sentralt.



Figur 42 Overgang mellom vegg og hhv. sokkel, etasjeskiller og vindu (t.v. og over) samt tak- og veggkonstruksjon med U-verdier (under). Noen mindre veggpartier har 160 i stedet for 260 mm stendere, tilsvarende mindre isolasjon og kobberkledning på asfaltpapp direkte på MDF-platene; dette er synlig i snittet til venstre rundt døråpningen. (Prosjektinformasjon Nr. 25)



Figur 43 Overganger rundt takterrassen (t.v.), mellom veggelement og tak (i midten) og mellom to veggelementer ved hjørnet. Under tregulvet på takterrassen ligger EPDM-membran, 20 mm trebaserte plater (ikke nærmere spesifisert), 50 mm vakuumisolasjonspaneler, 20 mm bitumengranulat og ”bitumendampbrems” på betongdekket.

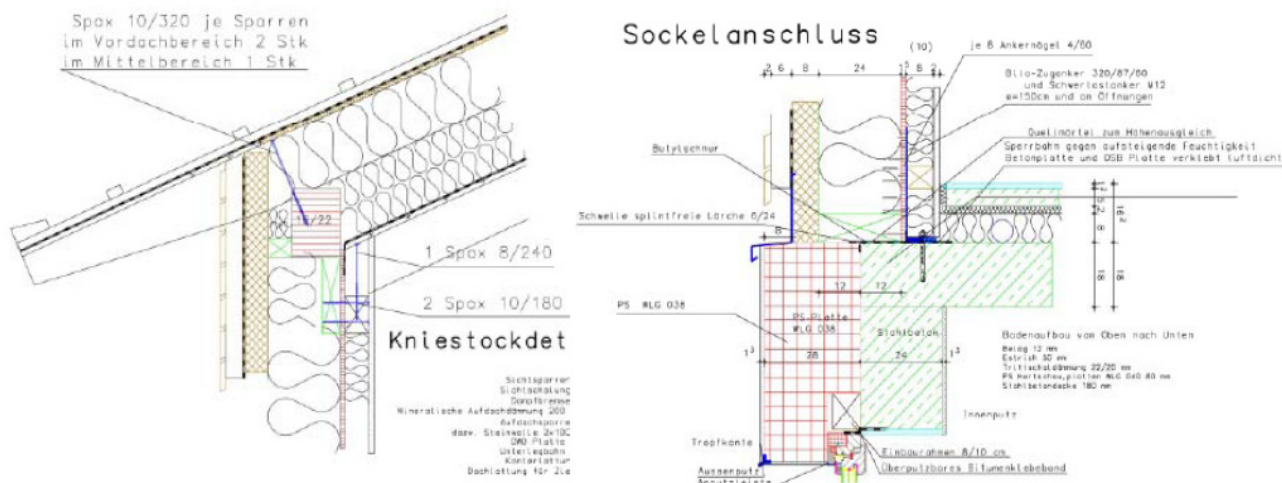
6.1.2 Nyere evaluerte eller sertifiserte prosjekter

På 2000-tallet ble det bygget svært mange passivhus i Østerrike og Tyskland. I dette avsnittet støtter vi oss i hovedsak på dokumentasjon av prosjekter som arkitekter og ingeniører har sendt inn til passivhusinstituttet for å bli godkjent som sertifiserte passivhusplanlegger²⁰. I tillegg til disse nye boligprosjekter har vi valgt ut to nyere yrkesbygg – en skole og et kommunehus – samt et rehabiliteringsprosjekt, som alle ble evaluert i større forskningsprosjekter.

6.1.2.1 Enebolig i Weitnau, Tyskland



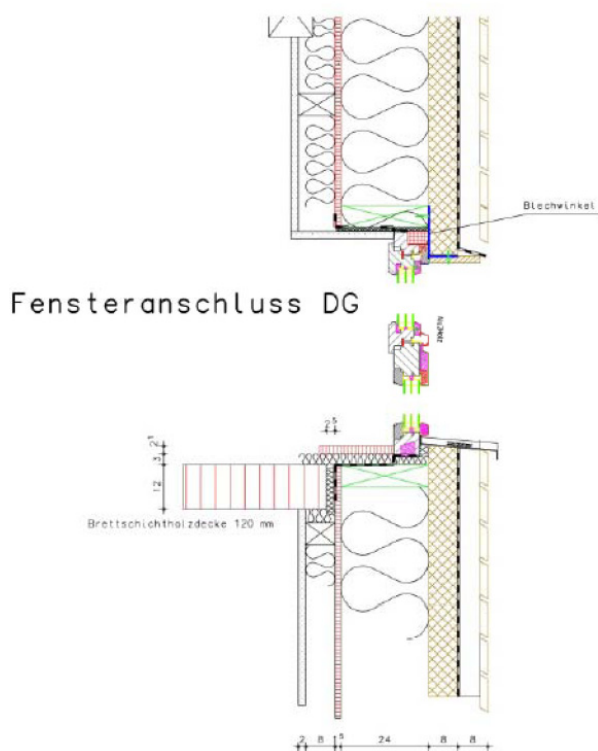
Eneboligen i Weitnau ble prosjektert av Dieter Herz og ferdigstilt i 2006. Huset har 217 kvm oppvarmet areal på to etasjer pluss underetasje med kontor, badstue, lager og teknisk rom. Oppvarming skjer med jordvarmepumpe gjennom ventilasjonsluft og veggvarme. Det er også solceller på taket.



Figur 44 Overgang hovedvegg/tak (t.v.) og hovedvegg/underetasje med vindu foran betongvegen (t.h.).

²⁰ Dokumentasjon kan lastes ned på <http://www.igpassivhaus.de/> under Informationsmaterial\Objektdokumentationen

Underetasjen ble bygd i betong med 450 mm skumglassgranulat under og 80 mm isolasjon over betongplata. Veggene er her pusset på 280 mm EPS-isolasjon på utsiden. U-verdi er hhv. 0,136 og 0,130.



Figur 45 Vindusplassering i treveggene. Til venstre under vinduet vises 120 mm synlig dekke av limtre.

men innfestingen ville da bli komplisert. Plassering i flukt med betongen, som vanlig i eldre hus, ville gi svært høy kuldebroverdi.

Ellers er det brukt prefabrikkerte veggelementer med 60/240 mm trestendere og innblåst celluloseisolasjon imellom, begrenset av 15 mm OSB-plater innvendig og 80 mm porøse trefiberplater utvendig. Veggene er kledd med luftet liggende trepanel på vindduk og har 80 mm isolert installasjonssjikt med gipsplater innvendig. U-verdi er 0,107 W/(m²K).

Taket er tredelt med 120/160 mm synlige sperrer under trepanel, et gjennomgående isolasjonssjikt på 200 mm og 80/200 mm bærende sperrer øverst. Taktekkning er luftet tegl på undertaksduk og 19 mm diffusjonsåpen MDF. U-verdi er 0,091 W/(m²K).

Lufttettingslaget dannes av betong/innvendig puss i underetasjen, OSB-plater i treveggene og en dampbremspapp mellom trepanel og isolasjon i taket. Vegg- og takkonstruksjonen er diffusjonsåpen.

Vinduene sitter et stykke inne i vegglivet, men ikke så langt som i en del andre konstruksjoner. De tykke porøse trefiberplatene blir ført på karmen, slik at denne blir isolert utvendig. Med hensyn til kuldebroer er løsningen nesten optimal og likevel enkelt å utføre, jf. Figur 45. I underetasjen er vinduene plassert foran betongen, som vist i Figur 44. Plassering noen cm ut i isolasjonssjiktet ville gi bare litt lavere kuldebroverdi,

6.1.2.2 Enebolig ved Erlangen, Tyskland



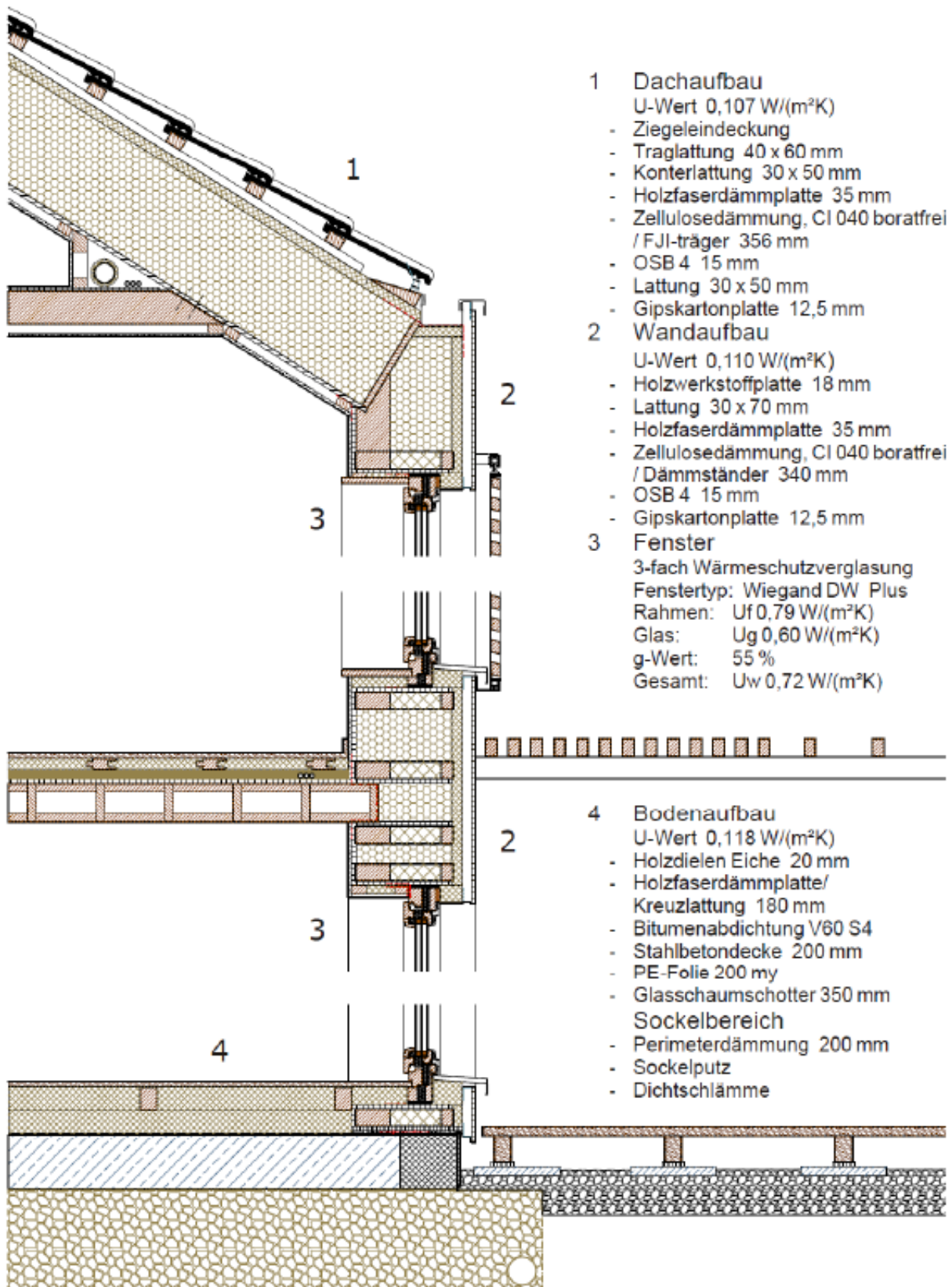
Eneboligen i Bräuningshof sør for Erlangen ble tegnet av Petra Hüttinger og ferdigstilt t i 2008. Huset er på to etasjer pluss et lite loft, uten kjeller. Et mindre legekontor er integrert i boligen, som har totalt oppvarmet areal på 155 kvm. En pellettsovn og 10 kvm solfangere på taket sørger for vegg- og gulvvarme samt varmt tappevann.

Også i dette prosjektet ble det brukt skumglasgranulat under betongplata, her 350 mm. Tregulvet i 1. etasje hviler på ytterligere 180 mm isolasjon i form av to lag porøse trefiberplater mellom krysslekting. Selve betongplate har PE-folie under (mot skumglassgranulat) og asfaltapp over som den egentlige fuktsperran. Sokkelen har en spesiell kuldebryter på 200 mm foran betongen/under vegg. U-verdien er 0,118 W/(m²K).

Alle bærende bygningsdeler over betongplata er prefabrikkerte treelementer, også etasjeskillerne. Veggelementene består av "isolasjonsstendere" (i andre prosjekter betegnet som boks-bærere) med 340 mm innblåst celluloseisolasjon imellom, begrenset av 15 mm OSB-plater innvendig og 35 mm porøse trefiberplater utvendig. Veggene er kledd med luftede trebaserte fasadeplater. Innvendige gipsplater er montert direkte på OSB-platene. I takelementene er det brukt 356 mm I-bærere med samme isolasjon, OSB-plater og porøse trefiberplater som i veggene. Det er luftet tegltekking og innvendig installasjonssjikt med gipsplater på krysslekting. U-verdi er 0,110 W/(m²K) i vegg og 0,107 W/(m²K) i tak.

Lufttettingssjiktet dannes – i tillegg til betongplata – av OSB-platene, som har teipede skjøter og overganger. Vindtettingfunksjonen blir ivaretatt av de utvendige porøse trefiberplatene, som samtidig brukes som kuldebrytere. Vegg- og takkonstruksjoner i tre er diffusjonsåpen.

Vinduene er plassert omtrent like langt inne i vegglivet enn i forrige prosjekt, eneboligen i Weitling. Ettersom de porøse trefiberplater her bare er 35 (i stedet for 80) mm tykk, må imidlertid litt tykkere strimler føres noe inn i smyget for å kunne isolere vinduskarmen utvendig og minske kuldebroen.

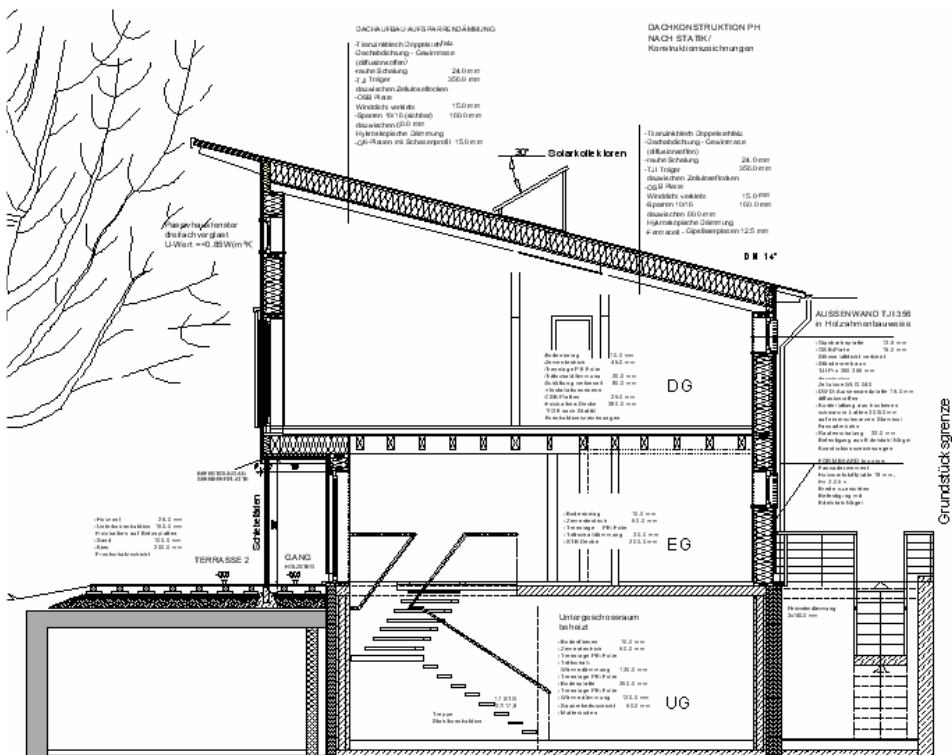


Figur 46 Snitt gjennom ytterveggen med overgang til gulv på grunn/sokkel/terrasse, etasjeskiller/balkong og tak samt U-verdier.

6.1.2.3 Enebolig i Alsheim, Tyskland



I en ny enebolig i Alsheim fra 2006 ble deler av et eksisterende lagerbygg gjenbrukt. I underetasjen er det derfor tre ulike temperatursoner, og en mindre del av kjelleren inngår i det oppvarmete arealet, som er 261 kvm totalt, i hovedsak i de to øvre etasjene. Snittet i Figur 47 viser bl.a. termisk skille mellom gammelt og nytt og isolasjon rundt betongkjelleren. Det er installert kompaktaggregat for ventilasjon, tappevann og romoppvarming. Aggregatet leverer varme til både ventilasjonsluft og radiatorer og er tilknyttet jordvarmepumpe. Arkitekt var Roland Matzig.



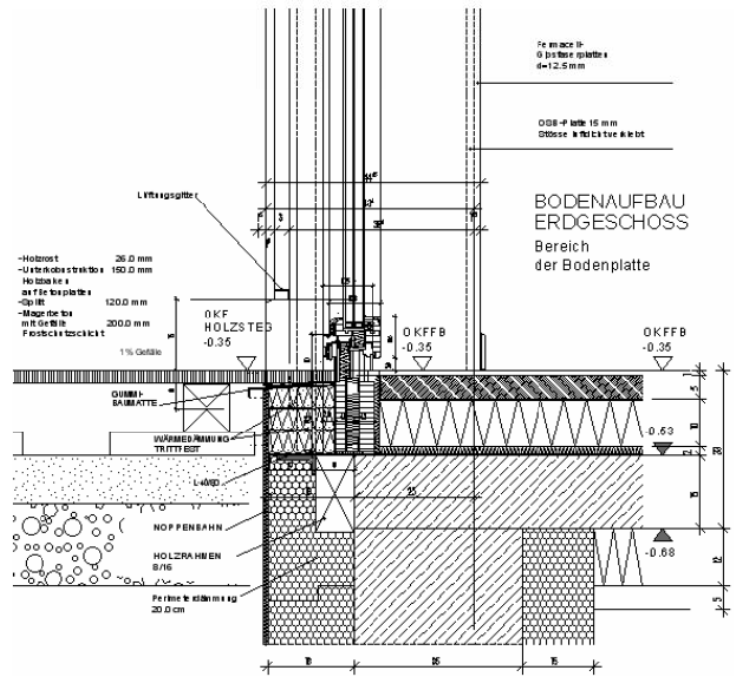
Figur 47 Snitt gjennom gjenbrukt lagerareal og ny enebolig med underetasje i betong.

på diffusjonsåpen matte og rupanel. U-verdi er 0,116 W/(m²K) i vegg og 0,112 W/(m²K) i tak.

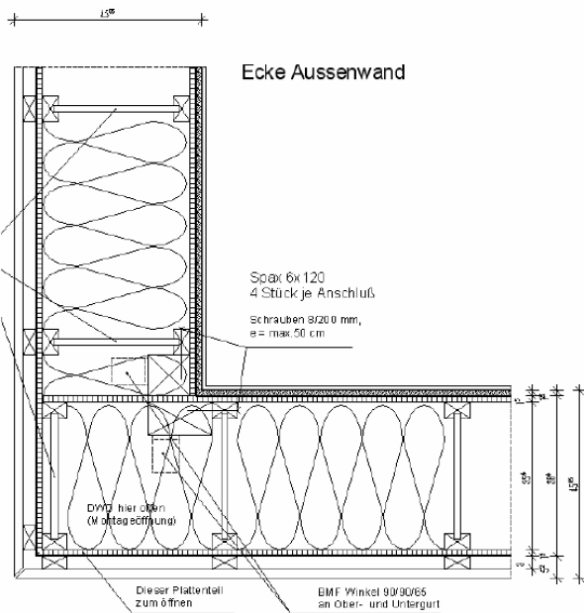
Betongplata i underetasjen har 120 mm isolasjon under og samme tykkelse over. U-verdi er 0,125 W/(m²K). Veggene i de øvre etasjene består av 356 mm I-bærere med innblåst celluloseisolasjon imellom, begrenset av 15 mm OSB-plater innvendig og 15 mm MDF-plater utvendig. Veggene er kledd med luftet liggende panel. Innvendige fiber-gipsplater er montert direkte på OSB-platene. I taket er det brukt samme I-bærere, isolasjon og OSB-plater som i veggene. På undersida tilkommer imidlertid 160 mm synlige sperrer med 60 mm isolasjon imellom, som er kledd med fibergipsplater. Utvendig er det sinktetting

Lufttettingssjiktet dannes – i tillegg til betongplata og -vegger i kjelleren – av OSB-platene, som har teipede skjøter og overganger. Vindtettingfunksjonen blir ivaretatt av de utvendige MDF-platene. Vegg- og takkonstruksjoner i tre er diffusjonsåpen.

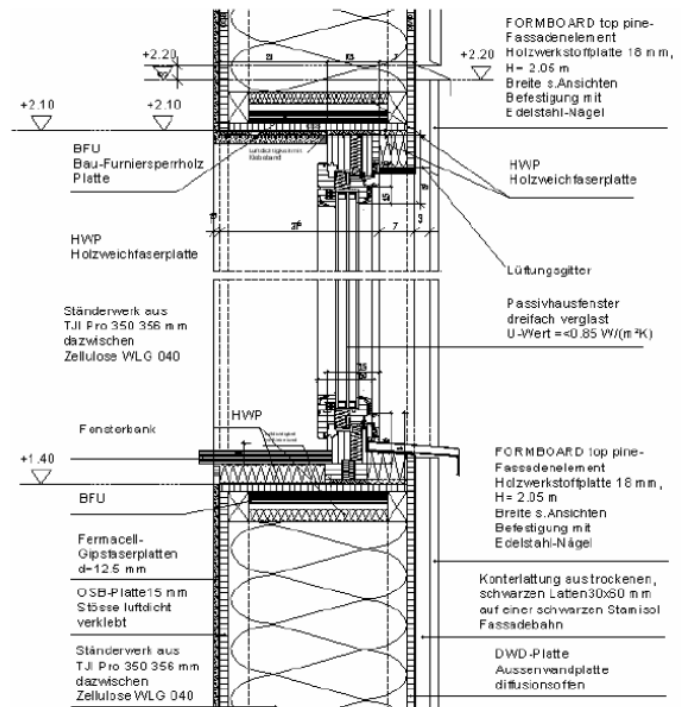
Vinduene er plassert omtrent like langt inne i vegglivet som i de to forrige prosjektene. Siden det her ikke blir brukt porøse trefiberplater ute på veggene, er det noe mer komplisert å få til utvendig isolasjon på vinduskarmen for å minske kuldebroen. Denne smygisolasjonen er imidlertid også her porøse trefiberplater.



Figur 48 Overgang terrassedør/sokkel/gulv på grunn.



Figur 50 Horisontalsnitt gjennom treveggen.



Figur 49 Snitt gjennom vegg med vindu.

6.1.2.4 Rekkehus i München, Tyskland



I 2006 ble det i München ferdigstilt åtte rekkehusenheter på tre etasjer med oppvarmet kjeller, tegnet av arkitekt Rainer Vallentin. Vindfanget er plassert utenfor klimaskjermen, og balkongene har egen bæring. Inkludert kjeller, har hver bolig 158 kvm oppvarmet areal. Alle har eget kompaktaggregat, jordvarmeveksler til forvarming/-kjøling av ventilasjonsluft og 4,8 m² solfangerareal på taket. Tre enheter har i tillegg 7,5 m² solceller på taket sitt. Oppvarming av ventilasjonsluft og varmtvannsberedning skjer gjennom kompakt-aggregatet, støttet av solfangerne. En integrert varmepumpe gjenvinner restvarmen fra avkastluft etter aggregatets ordinære, høyeffektive varmegjenvinner.

Bærekonstruksjonen og hele kjelleren består av prefabrikkerte betongelementer. Kjelleren har 2 x 120 mm isolasjon på veggene og under gulvplata samt 60 + 20 mm over denne. Det er et grønt kompakttak med 350 + 50-200 mm isolasjon og fall mot utvendig renne og nedløp. Denne løsningen ble vurdert som mindre risikabelt enn et innvendig nedløp med plassbehov inne i boligene og fare for ising på grunn av nødvendig isolasjon²¹.

Fasader over terreng er prefabrikkerte elementer av tre. Disse består av 241 mm I-bærere med innblåst celluloseisolasjon imellom, begrenset av 18 mm OSB-plater innvendig og 16 mm MDF-plater utvendig. Veggene er kledd med luftet liggende panel (mindre partier med kobber). Et innvendig installasjonssjikt er isolert med 60 mm steinull og kledd med gipsplater. Lufttettingssjiktet dannes – i tillegg til betongplata og vegger i kjelleren – av OSB-platene, som har teipede skjøter og overganger. Vindtettingfunksjonen blir ivarettatt av de utvendige MDF-platene. Veggkonstruksjonen er diffusjonsåpen. Figur 51 og Figur 52 viser vertikal- og horisontalsnitt gjennom ytterveggen og U-verdier.

²¹ Dette er en „omvendt“ vurdering, sammenliknet med Byggforsks anbefaling om normalt å bruke utvendig nedløp i flate tak. Årsaken er at det i passivhus med superisolerte og lufttette tak og vegger ikke lenger er fare for at varme innenfra ”lekker” ut og smelter snø ved gesimsen. På den andre side er innvendig nedløp en potensiell stor kuldebro som må isoleres kraftig, slik at det ved sluket alltid er like kaldt som utelufta.

Dachaufbau DA 1

- Gründachaufbau (extensive Begrünung)
- Drän-Filter-Schutz-Matte
- EPDM-Bahn (werkseitig vorkonfektioniert)
- Gefälledämmung EPS DAA dh, WLG 035, 50 ... 200 mm
- Dachdämmung, EPS DAA dh, WLG 035, 350 mm
- Dampfbremse PYE PV 200 DD, unterlaufsicher
- Stahlbetondecke, 200 mm
- U-Wert Dachaufbau DA 1: 0,074 W/m²K

Aussenwand AW 1

- Holzschalung, Lärche 24 mm (bzw. Kupfer, Falzdeckung)
- Insektenschutzgitter, vollflächig verlegt
- Luftlattung 30/60 mm
- DWD-Unterdachplatte, 16 mm, diffusionsoffen
- Holzkonstruktion aus TJI-Trägern, dazwischen Zellulosefaserdämmung, WLG 040, 241 mm
- OSB-Platte, 18 mm, Stöße luftdicht verklebt
- Installationsebene, Steinwolle, 60 mm
- Gipskartonplatte (F30), 12,5 mm
- U-Wert Aussenwand AW 1: 0,137 W/m²K

Fenster FE

- Holzfenster, Kiefer lackiert, mit gedämmten PU-Kern
- Fabrikat: „Variotec-Energyframe“, mit $U_F = 0,76$ W/m²K
- 3-fach-Wärmeschutzverglasung, mittlere Scheibe ESG, selektive Beschichtungen auf 3. und 5. Ebene, $U_g = 0,60$ W/m²K; g-Wert = 0,54
- Thermix-Abstandshalter, tieferer Glaseinstand, mit $\Psi_{\text{Glaseinstand}} = 0,03$ W/mK
- Einbau mit überdämmten Fensterrahmen, mit $\Psi_{\text{Glaseinstand}} = 0,01$ W/mK
- $U_{w,F}$ -Wert aller Fenster (eingebaut): 0,74

Kellerwand AW 2

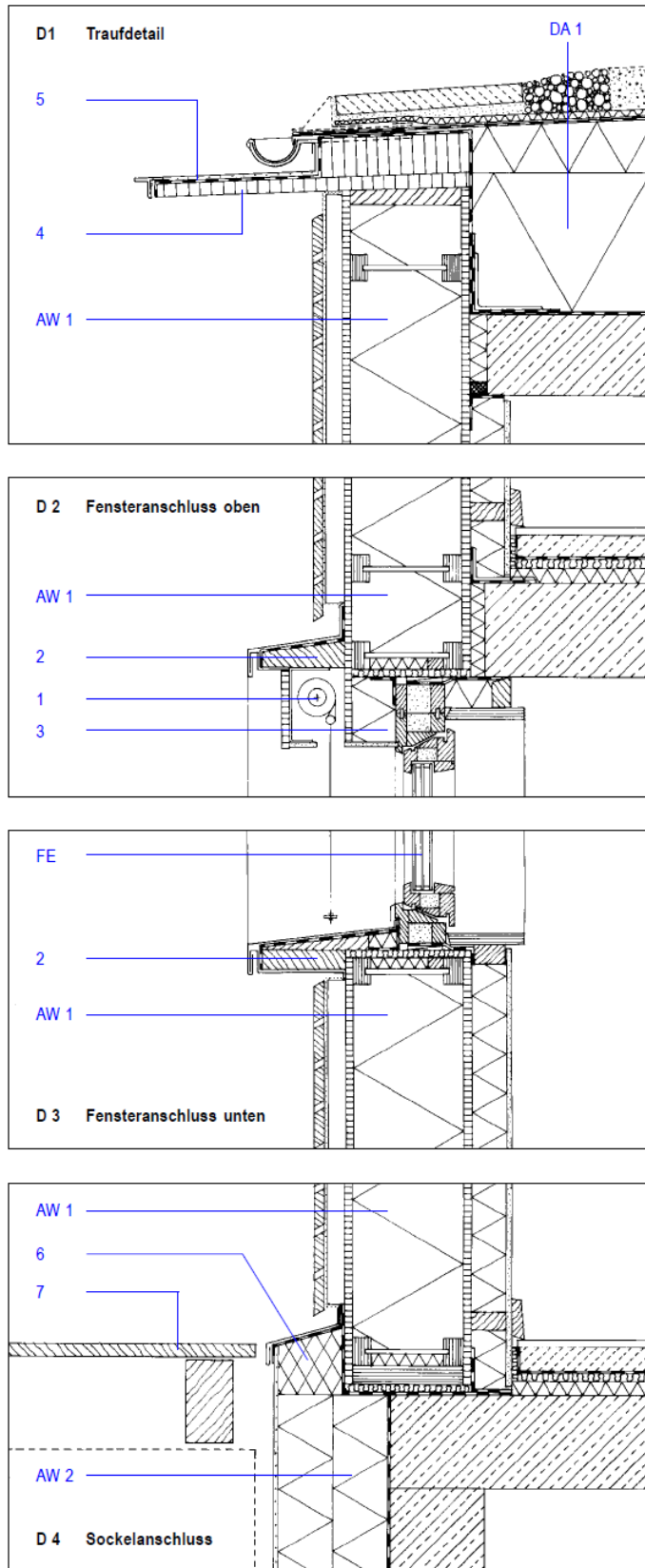
- Drän-Schutz-Matte
- Perimeterdämmung, Styrodur, WLG 040, 2 x 120 mm
- Vollflächige Abdichtung Bitumen-KSK-Bahn
- Kaltflüssiger Voranstrich
- Stahlbetonwand (WU-Beton), 200 mm
- U-Wert Kellerwand AW 2: 0,161 W/m²K

Bodenplatte BP 1

- Belag
- Zementestrich, 55 mm
- Trittschalldämmung, WLG 040, 20 mm
- PU-Dämmung, WLG 025, 60 mm
- Bitumenschweißbahn G 200 S4, vollflächig verklebt
- Stahlbeton-Bodenplatte (WU-Beton), 250 mm
- PE-Folie, 2-lagig
- Lastabtragende Dämmung, Styrodur, 2 x 120 mm
- Magerbeton, 50 mm
- U-Wert Bodenplatte BP 1: 0,107 W/m²K

Legende

- 1 Aussenmarkise
- 2 Fensterrahmung, mit Kupferblech bekleidet
- 3 Überdämmung Fensterrahmen, XPS
- 4 Lärche-Dreischichtplatte
- 5 EPDM-Abdichtung, mit Kupferblech abgedeckt
- 6 Dämmkeil, XPS, mit Bitumen-KSK-Bahn eingedichtet und mit Kupferblech abgedeckt
- 7 Terrasse, Bohlenbelag Lärche



Figur 51 Vertikalsnitt gjennom ytterveggen med overgang mot sokkel, vindu, etasjeskiller og tak samt U-verdier.

Wohnungstrennwand IW 1

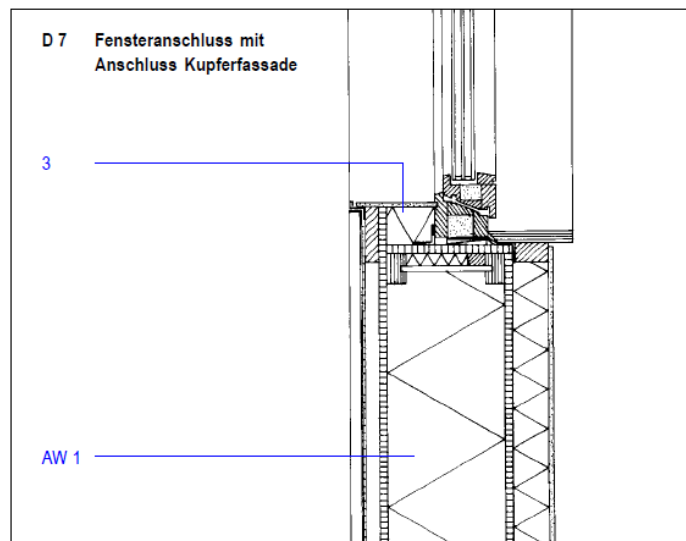
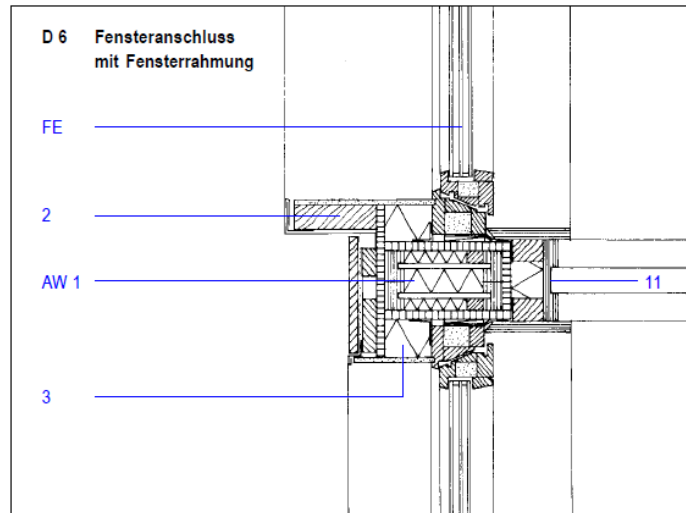
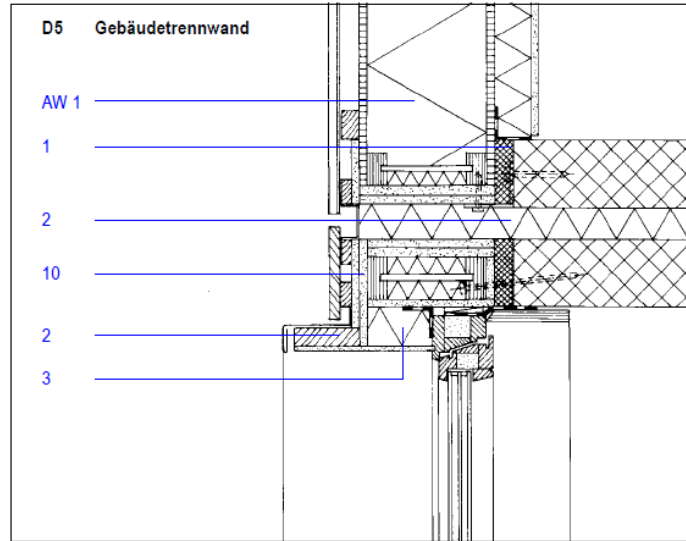
- Stahlbeton-Fertigteilwand, 140 mm
- Schallschutzmatte, Mineralwolle, 2 x 30 mm
- Stahlbeton-Fertigteilwand, 140 mm
- U-Wert Wohnungstrennwand IW 1: 0,533 W/m²K

Aussenwand AW 1

- Holzschalung, Lärche 24 mm (bzw. Kupfer, Falzdeckung)
- Insektenschutzgitter, vollflächig verlegt
- Luftlattung 30/60 mm
- DWD-Unterdachplatte, 16 mm, diffusionsoffen
- Holzkonstruktion aus TJI-Trägern, dazwischen Zellulosefaserdämmung, WLG 040, 241 mm
- OSB-Platte, 18 mm, Stöße luftdicht verklebt
- Installationsebene, Steinwolle, 60 mm
- Gipskartonplatte (F30), 12,5 mm
- U-Wert Aussenwand AW 1: 0,137 W/m²K

Fenster FE

- Holzfenster, Kiefer lackiert, mit gedämmten PU-Kern
- Fabrikat: „Variotec-Energyframe“, mit $U_F = 0,76$ W/m²K
- 3-fach-Wärmeschutzverglasung, mittlere Scheibe ESG, selektive Beschichtungen auf 3. und 5. Ebene, $U_G = 0,60$ W/m²K; g-Wert = 0,54
- Thermix-Abstandshalter, tieferer Glaseinstand, mit $\Psi_{\text{Glaseinstand}} = 0,03$ W/mK
- Einbau mit überdämmten Fensterrahmen, mit $\Psi_{\text{Glaseinstand}} = 0,01$ W/mK
- $U_{w,F}$ -Wert aller Fenster (eingebaut): 0,74



Vinduene i Figur 51 og Figur 52 er plassert sentralt i isolasjonssjiktet. Karmen er utvendig isolert med XPS. Trekonstruksjonen rundt vinduene skal bl.a. gi en konstruktiv ramme for solskjermingen.

Legende

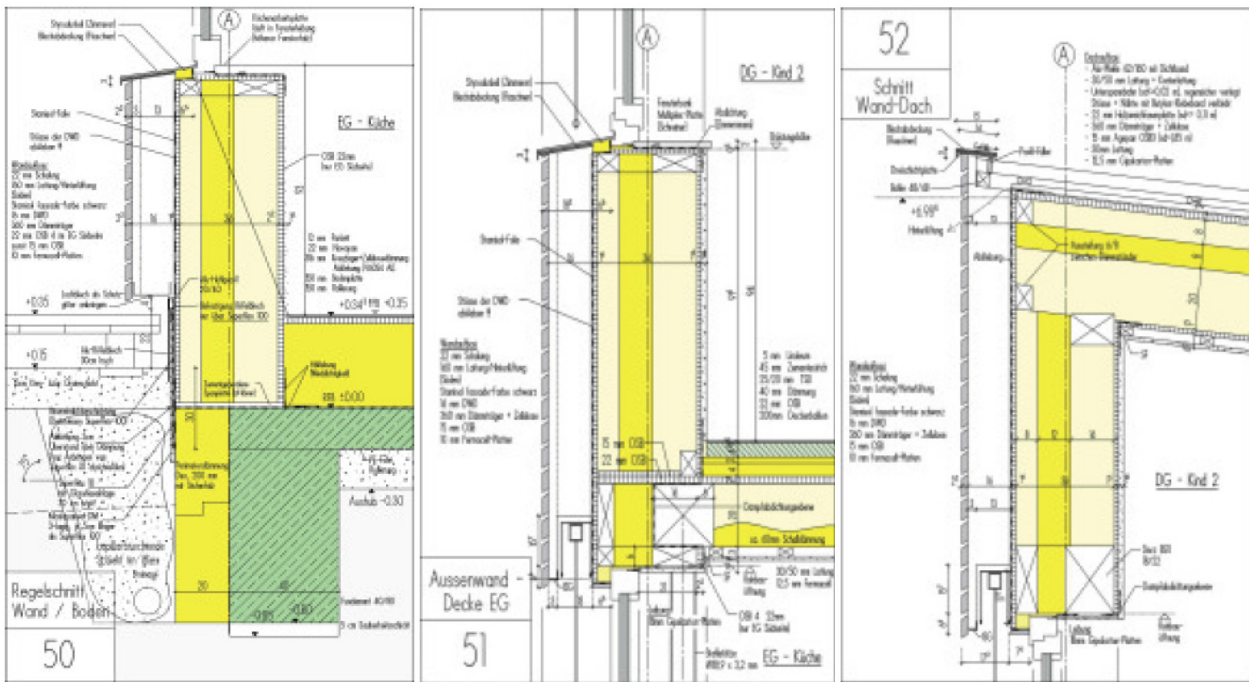
- 2 Fensterrahmung, mit Kupferblech bekleidet
- 3 Überdämmung Fensterrahmen, XPS
- 8 Brandschutz-Fugenband
- 9 Trennwand-Dämmplatten, MW, 2 x 30 mm
- 10 Brandschutz-Platten, imprägniert
- 11 Schiebetüranschlag

Figur 52 Horisontalsnitt gjennom ytterveggen med overgang mot vindu og leilighetsskillevegg samt U-verdier.

6.1.2.5 Enebolig i Rottenburg, Tyskland



I 2005 flyttet byggherrene inn i eneboligen i Rottenburg, tegnet av arkitekt Martin Wamsler. Huset er på to etasjer med 179 kvm oppvarmet areal. Noe lagerareal ligger utenfor klimaskjermen. Det er installert pelletsovn, solfangeranlegg og jordvarmeveksler. Romoppvarming skjer gjennom ventilasjonsluft og en vannbåren håndkletørker på badet.



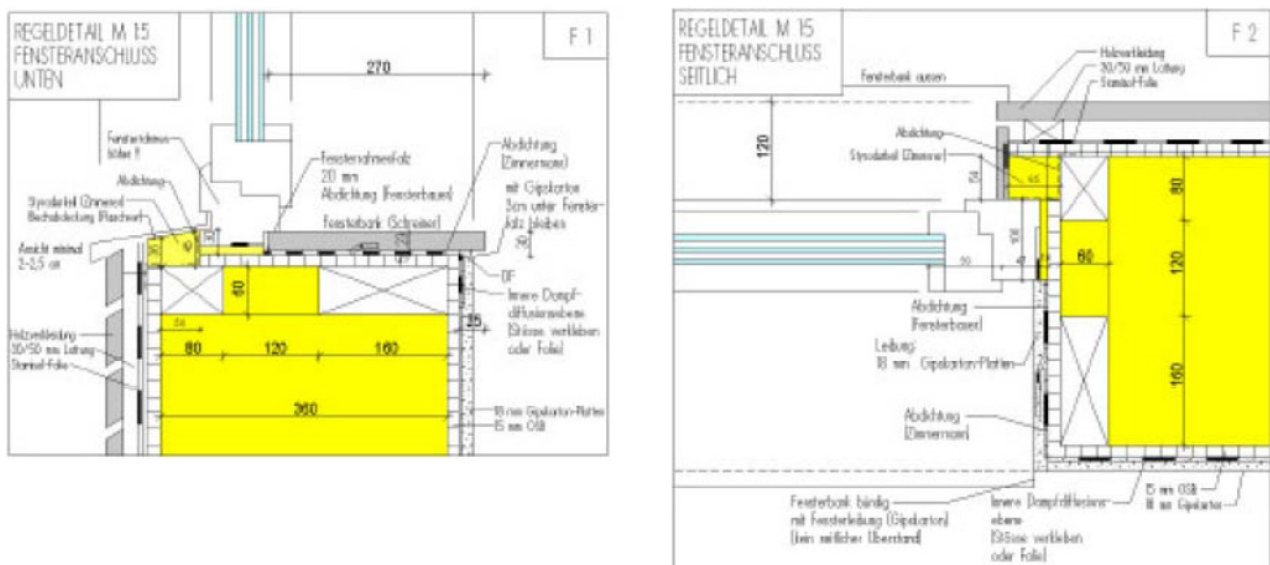
Figur 53 Snitt gjennom veggen med overgang mot sokkel (t.v.), etasjeskiller (i midten) og tak (t.h.).

Prosjektet har gulv på grunn med betongplate hvilende på store fundamenter med 200 mm isolasjon på yttersida. Tregulvet i 1. etasje er oppført med 308 mm I-profiler og innblåst celluloseisolasjon imellom. U-verdien er 0,14 W/(m²K). Alle bærende bygningsdeler over betongplata er trebaserte konstruksjoner. Ytterveggene består av ”isolasjonsstendere” (boks-bærere) med 360 mm innblåst celluloseisolasjon imellom, begrenset av 15 mm OSB-plater innvendig og 16 mm MDF-plater med påført vindfolie utvendig. Veggene er kledd med hhv. luftet liggende trepanel og fibersementplater. Innvendige gipsplater er montert direkte på

OSB-platene. I pulttaket er det brukt samme stendere, isolasjon og OSB-plater som i veggene. Det er luftet aluminiumstekking på 22 mm porøse trefiberplater som undertak og innvendig installasjonssjikt med gipsplater på krysslekting. På et mindre utbygg er det grønt tak med fuktvariabel dampbrems i stedet for OSB-plater. U-verdi er 0,11 W/(m²K) i både vegg og tak.

Lufttettingssjiktet dannes – i tillegg til betongplata – av OSB-platene, som har teipede skjøter og overganger, samt dampbremsa under grønttaket. Vindtettingssjiktet blir ivaretatt av hhv. vindfolien i vegg og porøse trefiberplater som undertak. Vegg- og takkonstruksjonen er diffusjonsåpen, bortsett fra utbygget med grønt tak. Her sørger imidlertid en fuktvariabel dampbrems for tilstrekkelig uttørkingsevne mot romsida i den varme årstida.

Vinduene er plassert bare et stykke inne i vegglivet, men også her er vinduskarmen isolert utvendig for å minske kuldebroen. Plasseringen er vist i Figur 54.



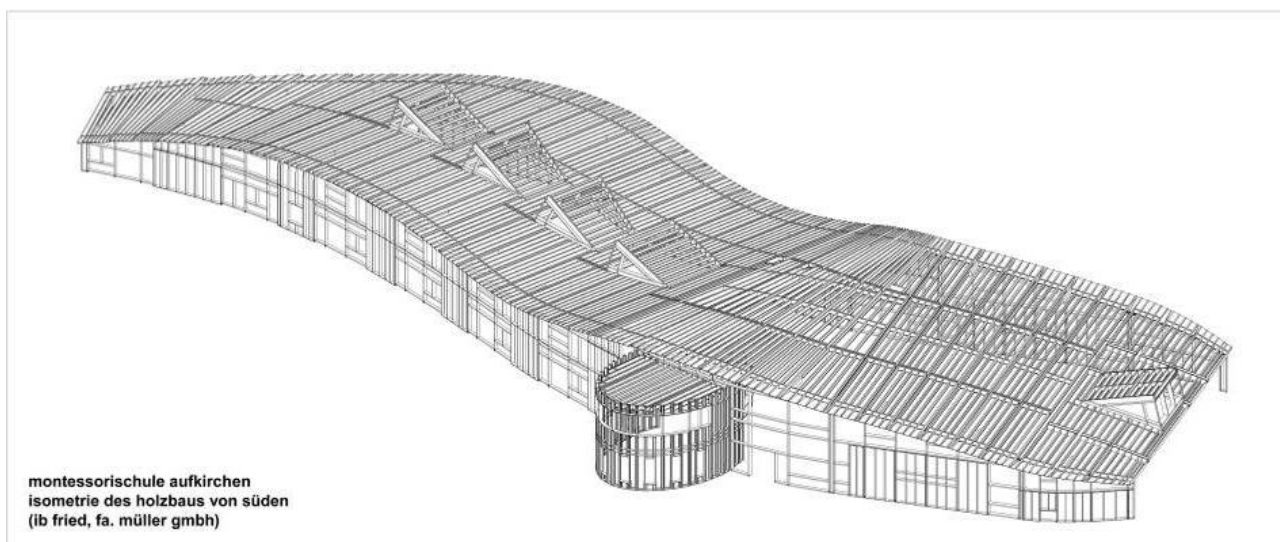
Figur 54 Vindusplassering i treveggene: vertikalsnitt ved brystning (t.v.) og horisontalsnitt (t.h.). Vinduet har isolert karm og ramme (ikke vist på tegningene), og karmen er i tillegg isolert utvendig. Innvendige OSB-plater som lufttettingssjikt føres inn i smyget, og pålimte foliestrimler eller teip danner en lufttett forbindelse mot vinduskarmen.

6.1.2.6 Skole i Aufkirchen, Tyskland



Montessoriskolen i Aufkirchen ble ferdigstilt i 2004. Skolen ble i Norge presentert på en fagdag i regi av Husbanken i Oslo i 2007 og på en workshop i forskningsprosjektet COIN i 2010. Prosjektet er også med i en omfattende forskningsrapport om skoler i passivhusstandard²². Arkitekt var Gernot Vallentin.

Barne- og ungdomsskolen har 3275 kvm bruksareal på to etasjer med vanlige klasserom mot sør, undervisningsrom for spesielle fag mot nord. Det er integrert kantine, forsamlingsrom og gymsal samt andre nødvendige rom. Med buete fasader og buet grønt tak glir bygningen over i landskapet. Ventilasjonsanlegget er strengt behovsstyrt for å minimere nødvendige luftmengder og energibruk. Dimensjoneringen forutsetter tilleggsventilasjon med vinduer ved spesielle anledninger og i sommerperioden. Undervisningsrom, kontorer og forsamlingsrom har mindre radiatorer til oppvarming, mens alle andre områder blir varmet opp via ventilasjonsluft. Varmen blir levert av en kondenserende gasskjel og et lite kraft-varme-anlegg for kombinert varme- og strømproduksjon.



Figur 55 Treskjelett i vegger og tak. Innvendige betongvegger, dekker og noen stålsøyler er ikke vist.

²² Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III, *Passivhaus-Schulen*, Protokollband Nr. 33, Passivhausinstitut Darmstadt, 2006. Kan bestilles på www.passiv.de.

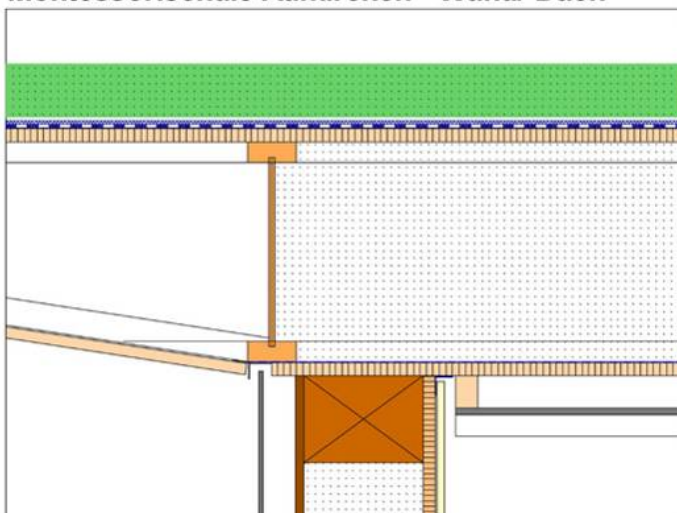
I tillegg til gulv på grunn er alle indre vegger bygget i betong. Noen steder er det brukt stålsøyler for å understøtte konstruksjonen. På grunn av takformen som går helt ned til terrenget, har bygget bare to fasader, vendt mot sør og nord. Yttervegger og tak er bygget med prefabrikkerte treelementer. Taket bæres av både ytter- og innervegger. Stor spennvidde uten sekundærkonstruksjon gjorde det nødvendig å velge svært høye bærere, som på sin side ga plass til mye isolasjon i taket. Dette, sammen med byggets kompakte form og lite fasadeareal i forhold til taket, ga spillerom til mindre isolasjon i veggene og høyere kuldebroverdier rundt vinduene enn vanlig i passivhus. Alt sammen bidro også sterkt til at bygget ikke ble dyrere enn vanlige skoler.

Gulvet er isolert med 120 mm EPS over og ytterligere 120 XPS under. Ytterveggene består av kryssfinerstendere på 40/220 - 40/280 mm med innblåst celluloseisolasjon imellom, begrenset av 22 mm OSB-plater innvendig og 16 mm MDF-plater utvendig. Fasadene er i hovedsak kledd med luftet liggende panel. Innvendige fibergipsplater er montert direkte på OSB-platene. I taket er det brukt samme isolasjon mellom 401 mm I-bærere og 25 mm OSB-plater på begge sider. Over den indre OSB-en ligger det en fuktvariabel dampbrems, og på undersida tilkommer et installasjonssjikt med ikke spesifisert platekledning. Utvendig er det et grønt tak på EPDM- og PVC-membran over OSB-en. U-verdi er 0,14 W/(m²K) i gulv, 0,18 i vegg og 0,10 i tak.

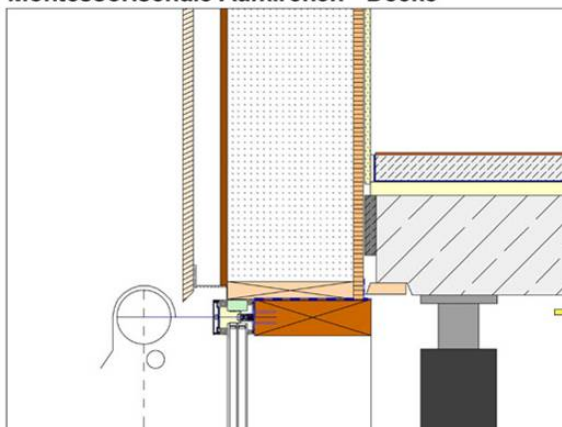
Lufttettingssjiktet dannes – i tillegg til betongplata – av OSB-platene, som har teipede skjøter og overganger, samt dampbremsa under grøntaket. Vindtettingfunksjonen i veggene blir ivaretatt av MDF-platene. Veggene er diffusjonsåpne. I taket sørger en fuktvariabel dampbrems for tilstrekkelig uttørkingsevne mot romsida i den varme årstida.

Vinduene sitter i flukt med vindtettingslaget i fasaden. Noe høyere kuldebroverdier enn vanlig i passivhus kunne aksepteres siden de totalt ikke hadde stor betydning for hele det kompakte bygget.

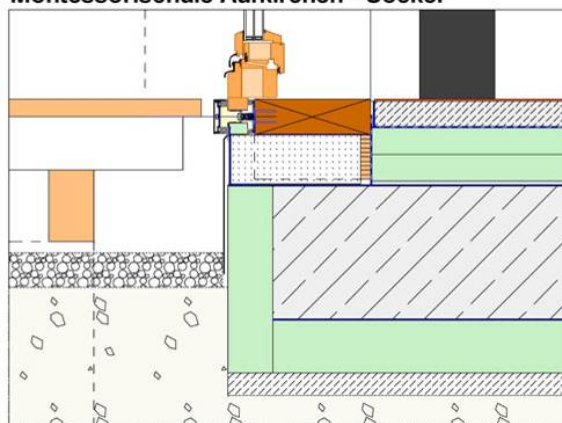
Montessorischule Aufkirchen - Wand/ Dach



Montessorischule Aufkirchen - Decke



Montessorischule Aufkirchen - Sockel



Figur 56 Snitt gjennom vegg med overgang mot sokkel, etasjeskiller og tak (OBS: over sokkel er det vist dør, under dekke er det vist fast vindu).

6.1.2.7 Kommunehuset i Ludesch, Østerrike



Kommenen Ludesch i delstaten Vorarlberg vest i Østerrike fikk i 2005 et nytt rådhus med flere tilleggsfunksjoner. Arkitekt var Hermann Kaufmann. Tre bygningsvolumer med administrasjon, bibliotek, kommunestyret, post, kafé, butikker og ulike fleksible rom er gruppert rundt en stor offentlig plass som er overdekket med gjennomskinnelige solceller. I tillegg til å være passivhus, er også energiforsyning og materialvalg økologisk optimert. Et mål var bl.a. å bruke mest mulig regionalt tilgjengelige materialer. Prosjektet ble støttet og evaluert innenfor det østerrikske forskningsprogrammet Haus der Zukunft²³. Merkestnader til økologisk materialvalg blir anslått til 1,9 prosent.

Bygningskomplekset har to etasjer. En gjennomgående kjeller binder enkeltbyggene sammen og inneholder bl.a. toaletter og rom som leies ut til diverse foreninger. De fleste rom her inngår derfor i klimaskjermen. Totalt er det i overkant av 2900 kvm oppvarmet areal. Kommunehuset er tilknyttet et nytt kommunalt, biomassebasert nærvarmeanlegg. Dessuten er det 30 kvm solfangerareal samt gjenvinning av varme fra kjøleanlegg og serverrom. En grunnvannvarmepumpe sørger for forvarming og forkjøling av ventilasjonsluft. Det er fire soner med hvert sitt behovsstyrt ventilasjonsanlegg. Romoppvarming skjer med ventilasjonsluft, bortsett fra et rom for fysioterapi og noe gangareal som har fått gulvvarme. 350 kvm solcellemoduler skal hvert år levere 16000 kWh strøm til nettet. Dette tilsvarer strømbehovet for fem til seks husholdninger i Østerrike²⁴.

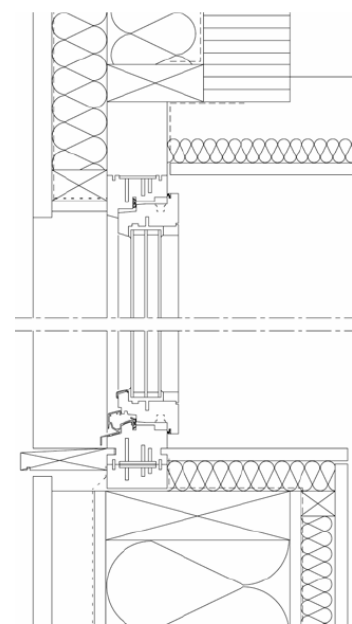
²³ Framtidens hus. Se Berichte aus der Energie- und Umweltforschung 51/2006, *Neubau ökologisches Gemeindezentrum Ludesch*, Wien 2006. Sluttrapporten kan lastes ned på <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id3569>

²⁴ Strøm blir i Østerrike eller Tyskland normal ikke brukt til romoppvarming. Gjennomsnittsförbruket er derfor betydelig lavere enn i Norge.

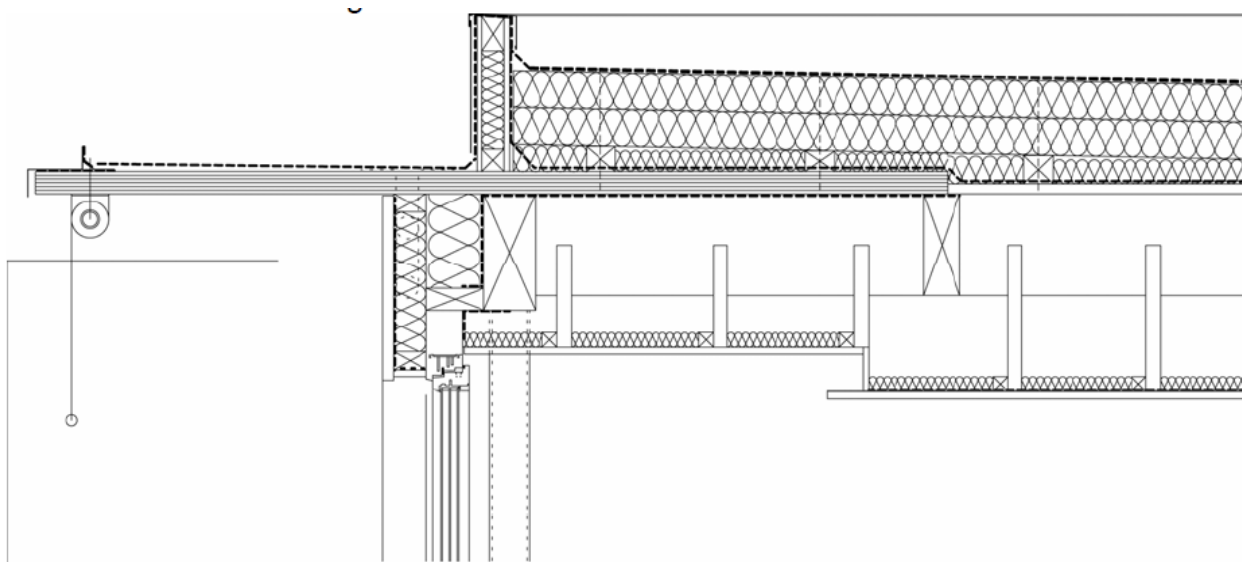
Bortsett fra kjelleretasjen, er hele prosjektet bygget med prefabrikkerte treelementer. Ytterveggene består av 60/300 - 80/300 mm trestendere med innblåst celluloseisolasjon imellom, begrenset av 19 mm kryssfinerplater med dampbrems innvendig og 18 mm rupanel med vindpapir utvendig. Fasadene er kledd med luftet stående panel. Innvendig er det et installasjonssjikt med 40 mm saueullisolasjon mellom krysslekting. Sjøkket er kledd med synlig trepanel på gipsplater (noen steder to lag gipsplater i stedet for trepanel). Over takbjelker på 60/280 - 80/280 mm, rupanel og dampsperre er det valgt et kompakt tak med 70 mm EPS og 2 x 120 mm mineralull som isolasjon. I himlingen under er det brukt saueull til lydempning. U-verdi er 0,133 W/(m²K) i vegg og 0,102 i tak.

Lufttettingssjiktet dannes – i tillegg til betong i kjelleren – av dampbremslaget i veggene og dampsperra under kompakttaket. Vindtettingssfunksjonen i vegg blir ivaretatt av vindpapir. Vegg er diffusjonsåpen.

Vinduene er trukket noe inn i fasadelivet, men er ikke optimert med isolasjon på karmen. Noe høyere kuldebroverdier enn vanlig i passivhus kunne også i dette kompakte bygningskomplekset aksepteres siden de ikke hadde stor betydning for varmetapet totalt. Det er imidlertid lagt vekt på god solskjerming. Løsningen ble et utstikk på 1 meter dybde som ble plassert både i forlengelsen av taket og av dekket over første etasje. Utstikket skygger i seg selv om sommeren og gir i tillegg feste til nedfellbar solskjerming i god avstand til vinduene. Utstikkeren av kryssfiner forankres i bjelkelaget, og lufttettingen må påføres både nedenfra og ovenfra, jf. Figur 59.



Figur 58 Plassering av vinduer i fasaden. (Berichte ... 51/2006)



Figur 59 Overgang mellom vegg og tak med vindu og takutstikk. Lufttettingsslaget med dampbrems i vegg og dampsperre i taket må føres på kryssfinerplata som danner takutstikket. Liknende utstikk over vinduene i 1. etasje.

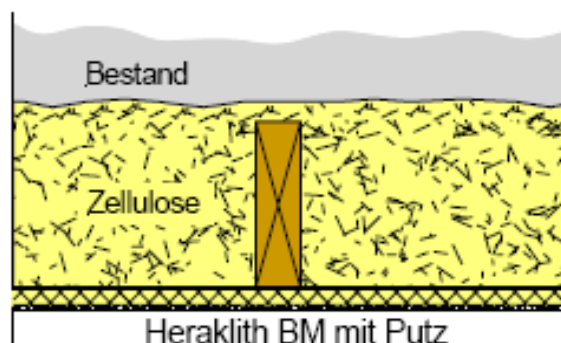
6.1.2.8 Rehabilitering av blokker i Frankfurt, Tyskland



I 2008 og 2009 ble tre boligblokker fra 1956 i Rotlintstraße 116-128 i Frankfurt/Main oppgradert til passivhusstandard. 54 utleieleiligheter, bare to- og treroms med totalt 3150 kvm bruksareal, ble rehabilitert. Dessuten ble det gamle saltaket revet for å gi plass til sju nye loftsleiligheter med takterrasser. Med dette har mursteinsblokkene tre rehabiliterte etasjer, en ny etasje i tre på loftet og renoveret uoppvarmet kjeller, hvor dekket mot 1. etasje ble etterisolert med hele 260 mm cellulosefiber. Alle leiligheter fikk nye balkonger på egen bæring. Oppgraderingen ble prosjektert av Folkmer Rasch og Petra Grenz fra arkitektkontoret faktor 10. Med i prosessen var forskere fra Institut Wohnen und Umwelt, IWU, i Darmstadt²⁵.

I tillegg til å oppnå passivhusstandard var det et mål i prosjektet å rehabilitere bygningene til ”nulleemisjonshus”. Det ble derfor gjennomført flere tiltak til å minimere behov for husholdnings- og driftsstrøm, varmtvannsbehov samt ulike tap i forsyningssystemet. Disse gjengis her ikke i detalj. Varmebehovet dekkes av solfangere, et kombinert kraft-varme-anlegg basert på rapsolje og en kondenserende gasskjel for spisslast.

For å kunne optimere fasaden økologisk, ble det utviklet et system basert på en trekonstruksjon med innblåst celluloseisolasjon og pusset overflate på trellsementplater. Med en slik konstruksjon kan hulrommet blåses helt ut, selv om den eksisterende fasaden har svært ujevn overflate, jf. Figur 60. En annen fordel er at tunge laster kan festes i trekonstruksjonen uten å gi store kuldebroer.



Figur 60 Prinsipp for etterisolering med cellulosefiber på eksisterende ujevn fasade. Ny overflate er puss på trellsementplater.

²⁵ Marc Großklos, *Passivhaus-Sanierung Frankfurt Rotlintstraße 116-128*, foredrag på konferansen „Bauen und Sanieren mit Passivhauskomponenten“, Wiesbaden 27.2.2009. Foredraget kann lastes ned på <http://www.iwu.de/downloads/fachinfos/fachtagungen/bauen-und-sanieren-mit-passivhauskomponenten/>. Samme forfatter har flere bidrag om prosjektet i kompendier fra passivhuskonferanser. Disse kan lastes ned på <http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend/energetische-sanierung-rotlintstrasse/>.

Figur 61 viser forsøksveggen som ble bygd for å finne ut hvordan vinduer kan integreres i systemet. Konstruksjonen likner systemer fra Lignotrend og Altbauzentrum som blir omtalt i avsnittet om spesielle konstruksjoner i foreliggende rapport. Den endelige fasadekonstruksjonen ble bygget håndverksmessig på stedet, jf. Figur 62. Fasaden ble dyrere enn med puss på EPS. Det er imidlertid et mål å utvikle konstruksjonen videre slik at en i framtida kan bruke prefabrikkerte elementer og med dette sette opp den nye fasaden mer effektivt.

Det primære lufttettesjiktet er innvendig puss som ble utbedret. Som det er synlig i Figur 61, er vinduene plassert i isolasjonssiktet utenfor den eksisterende veggen for å minimere kuldebroverdien. Innfesting i veggen skjedde med trekonsoll under vinduet og stålvingler på sidene. Karmen ble tettet både på utsida og mot det innvendige pusslaget.

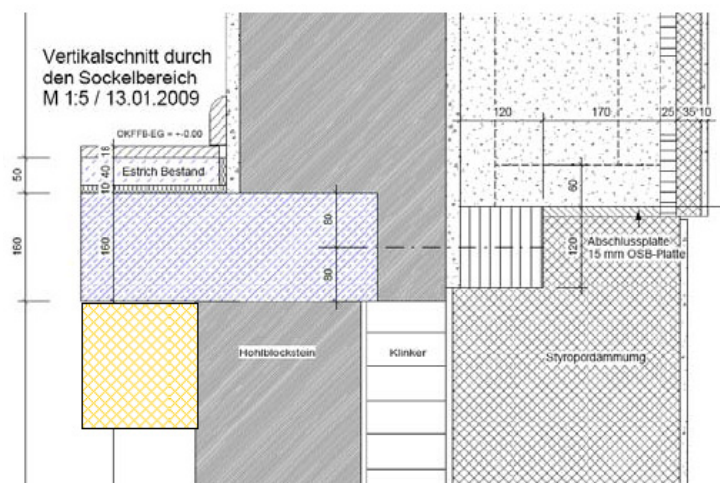
Den trebaserte konstruksjonen gjør det også på en enkel måte mulig å unngå større kuldebroer ved overgangen til sokkelen, som Figur 63 viser: Det nye fasadesystemet avsluttes med OSB-platte og trekonsoll som festes i eksisterende yttervegg og kjellerdekke. Sokkelisolasjon tilpasses.



Figur 61 Forsøksvegg med innsatt vindu. Til høyre ser vi vinduet innenfra og ut gjennom eksisterende veggåpning (faktor 10).



Figur 62 Fasadekonstruksjonen på byggeplassen (IWU).



Figur 63 Overgang mellom kjellerdekke, sokkel og fasade (IWU).

6.1.3 Vurdering

I tidlige passivhusprosjekter ser vi mange ulike trekonstruksjoner, spesielt i veggene. I tillegg til kombinasjoner med vegger og etasjeskillere i betong fins det også tre i kombinasjon med betongsøyler, stålsøyler og teglvegger (ikke alle funn er dokumentert i foreliggende rapport). Vi ser en større andel fasader med puss direkte på isolasjon og ett prosjekt som har stående panel med underligger uten lufting. Slike løsninger kan være problematisk i områder med mye slagregn, men kan ofte også modifiseres til luftede fasader. Vi ser også vegger med OSB-plater lenger inne i konstruksjonen og/eller polystyren som ytterste isolasjonslag, mens hovedisolasjonen er av mineralull. Begge deler er mulig i kombinasjon med innvendig PE-folie. Materialene har imidlertid større diffusjonsmotstand enn mineralull, slik at s_d -verdien øker utover, og uttørkingsevnen mot det fri blir mindre. Konstruksjonene har derfor mindre sikkerhet mot fuktskader, hvis det kommer inn fukt i den ”innebygde” delen av vegg. Ellers er det vanligvis brukt mineralull til isolasjon, og innvendig lufttetting er løst med PE-folie alene eller med dampsperre/dampbrems på trebaserte plater.

Rekkehusene i Hannover har grønt tak over prefabrikkerte takelementer med I-bærere og mineralull. Konstruksjonen er svært damptett utvendig og har PE-folie som damp- og lufttetting innvendig ($s_d \geq 100$ m). Slike løsninger kan fungere dersom det ikke bygges inn fukt under byggeperioden og hvis lufttettheten er på passivhusnivå, med nøye gjennomførte tiltak. Reservene er imidlertid sterkt begrenset. Prosjektet er blitt fulgt opp med målinger og evalueringer, og i praksis har det vist seg at løsningen virker også over tid. I en seinere utredning om bygningsfysikk i tak²⁶ har passivhusinstituttets leder Wolfgang Feist brukt prosjektet som eksempel. Han bekrefter at løsningen kan fungere under gitte forutsetninger. På grunn av sterkt begrensede uttørkingmuligheter i konstruksjonen vil han imidlertid nå anbefale å velge en fuktvariabel dampbrems som innvendig lufttetting. En slik dampbrems kan ha tilstrekkelig dampmotstand om vinteren ($s_d \geq 5$ m), men blir i uttørkingsperioden veldig dampåpen ($s_d \leq 0,3$ m). Med dette blir konstruksjonen mer robust og har større uttørkingsevne. Fuktvariable dampbremsmaterialer med så stor spennvidde på adaptasjon var ikke på markedet da rekkehusene ble bygget.

I nyere prosjekter ser vi en viss grad av forenkling av konstruksjonene. Dessuten er det en tendens bort fra mineralull til mer bruk av innblåst celluloseisolasjon og porøse trefiberplater. En annen tendens er at det brukes mer diffusjonsåpne konstruksjoner med innvendig dampbrems. Disse kan enten være folie/papp alene, eller trebaserte materialer som OSB-plater. I stedet for å påføre disse ytterligere folier, som vi ofte ser i tidlige prosjekter, brukes det nå løsninger med kun teipete skjøter og overganger; det vil si at OSB-platene i seg selv er lufttettings- og dampbremssjiktet. Tykkere porøse trefiberplater brukes i noen tilfeller som kombinert lufttetting og kuldebroyting og føres på vinduskarmen, slik at den er isolert utvendig. Dette kan forenkle isolasjonsløsningen rundt vinduene, som delvis ser komplisert ut i tidlige prosjekter. Vinduene sitter i nesten alle tilfeller lenger inne i vegglivet og har påført isolasjon på karmen. Vi ser imidlertid også at ikke helt optimal plassering av vinduer blir akseptert i noen tilfeller, for det meste i store kompakte bygg hvor noe høyere kuldebroverdier ikke er avgjørende for varmetapet totalt.

Vi ser generelt en høy andel bygging med prefabrikkerte elementer. Prosjektene har selvsagt vindtetting, men det er ikke stort fokus på det. Alle bygg har hovedlufttetting innvendig, det vil si i kombinasjon med damptettings/dampbremsjiktet. Det legges vekt på sikre lufttette løsninger gjennom god detaljering. Ved etasjeskillere løses dette i svært mange prosjekter ved at hele hoveddelen av ytterveggen går forbi dekket. På denne måten er plate-, folie- eller papplaget ”automatisk” gjennomgående, helt uten tilleggsarbeid. I andre tilfeller brukes remser som føres rundt bjelkelaget eller betongen, eller det tettes mot innbindende deler.

²⁶ Wolfgang Feist, Hochwärmegedämmte Dächer – Einführung, bidrag i Protokollband Nr. 29, Hochwärmegedämmte Dachkonstruktionen, Passivhausinstitut, Darmstadt 2005

Disse stikker aldri langt inn i vegglivet; tradisjonelle plattformkonstruksjoner med bjelker helt ut mot fasaden er ikke å se og er heller ikke effektivt i svært tykke vegger. Erfaringene i flere evaluerte mellom-europeiske prosjekter viser for øvrig at innvendig lufttetting både kan oppnås i praksis og også holder over tid. Med dette blir også fuktsikkerheten godt ivaretatt.

Ringmurløsninger som i Norge er ikke utbredt i Tyskland og Østerrike. Større fundamenter og/eller tykke betongplater er vanlig, og det stilles strengere krav om sikring mot oppstigende fukt fra grunnen.

6.2 Passivhusprosjekter i Sverige

I Sverige er det inntil nå bygd betydelig flere passivhus enn i Norge. Ifølge nettstedet www.passivhuscentrum.se var det i mars 2010 ferdigstilt 1 331 leiligheter, 103 rekkehusenheter og 26 eneboliger som passivhus. I tillegg er det realisert en skole, to barnehager og et kontorbygg med passivhusstandard. Ikke alle er imidlertid verifisert i henhold til svensk standard eller PHPP. Mange prosjekter er presentert på nettstedet med bilde og kort beskrivelse. Det er derimot bare noen få prosjekter med dokumenterte og eventuelt evaluerte resultater.

6.2.1 Tidlig prosjekt i forskningsprogrammet CEPHEUS

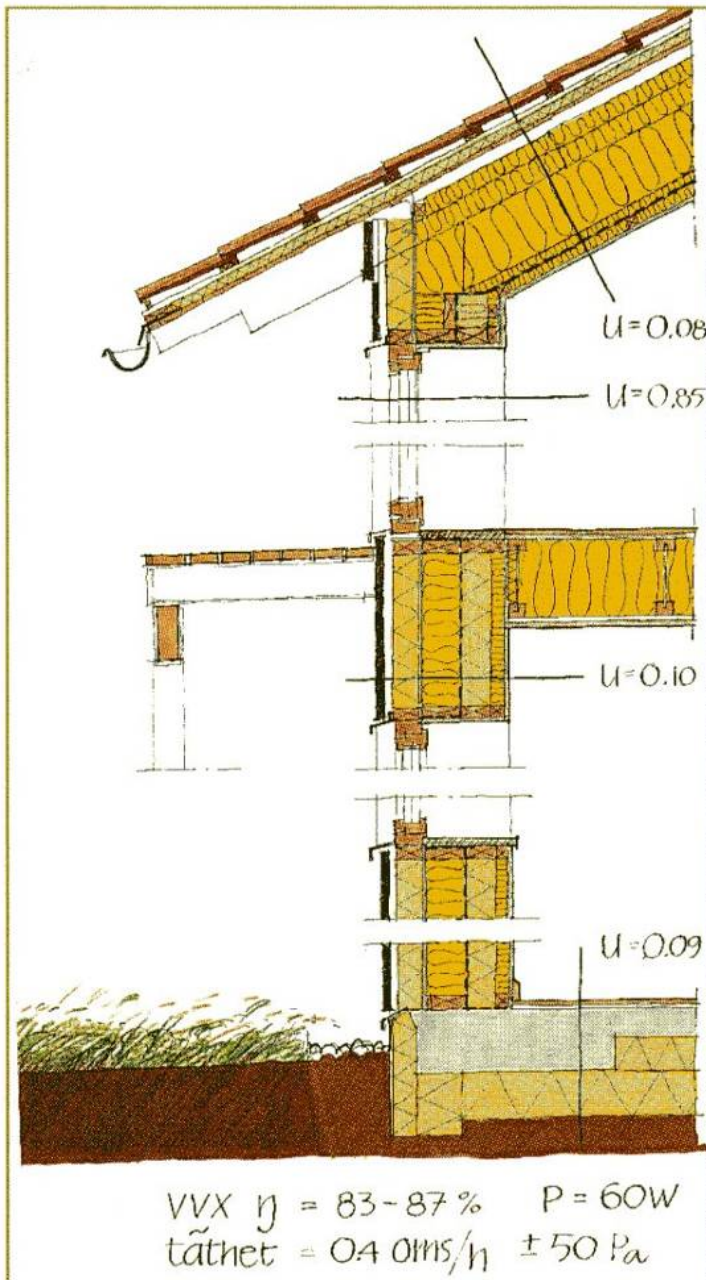
6.2.1.1 Rekkehus i Lindås ved Gøteborg



20 rekkehus i Lindås sør for Gøteborg er Sveriges første passivhus, tegnet av Hans Eek i EFEM arkitektkontor og ferdigstilt i 2001. Husene var en del av det tidligere omtalte EU-prosjektet CEPHEUS og ble prosjektert før svenske passivhuskriterier var på plass. Beregnet oppvarmingsbehov i henhold til tysk PHPP er 12 kWh/m²a ifølge databasen "Gebaute Passivhausprojekte/Built Passive Houses"²⁷. Prosjektet ble evaluert i flere forskningsrapporter, men selve konstruksjonssystemet ble ikke beskrevet i detalj og heller ikke undersøkt nærmere (Bostrøm m.fl. 2003; Wall 2005; Tegvald og Undén 2006).

Ytterveggenes bærende del består av 170x45 mm trestenderverk, isolert med mineralull. På begge sider er det plassert gjennomgående plater av polystyren – utvendig 120 mm EPS på gipsplate, innvendig 100 mm med PE-folie mellom EPS og mineralull/trestendere. I tillegg er det innvendig krysslekting med 45 mm mineralull og gipsplate. Utvendig bekledning er luftet liggende panel. I taket er det 450 mm mineralull mellom I-bjelker, PE-folie og krysslekting med mineralull samt bekledning som i veggen. I tillegg er det 20 mm EPS-isolasjon på trepanel over luftingen (verdier fra ²⁷). Figur 64 viser et snitt gjennom konstruksjonene.

²⁷ <http://www.passivhausprojekte.de/projekte.php?detail=12>



Figur 64 Snitt gjennom veggen med kort beskrivelse (fra Prosjektbrosjyren "Hus uten varmesystem").

Yttervägg:

U-värde 0,10 W/m²K

Regelv gg med 43 cm isolering

Yttertak:

U-värde: 0,08 W/m²K

Masonitebalkar med 48 cm isolering

Golv:

U-värde: 0,09 W/m²K

Betongplatta med 25 cm isolering under

F nster:

U-värde: 0,85 W/m²K

Treglasf nster med tv  metallskikt og kryptonfyllning.

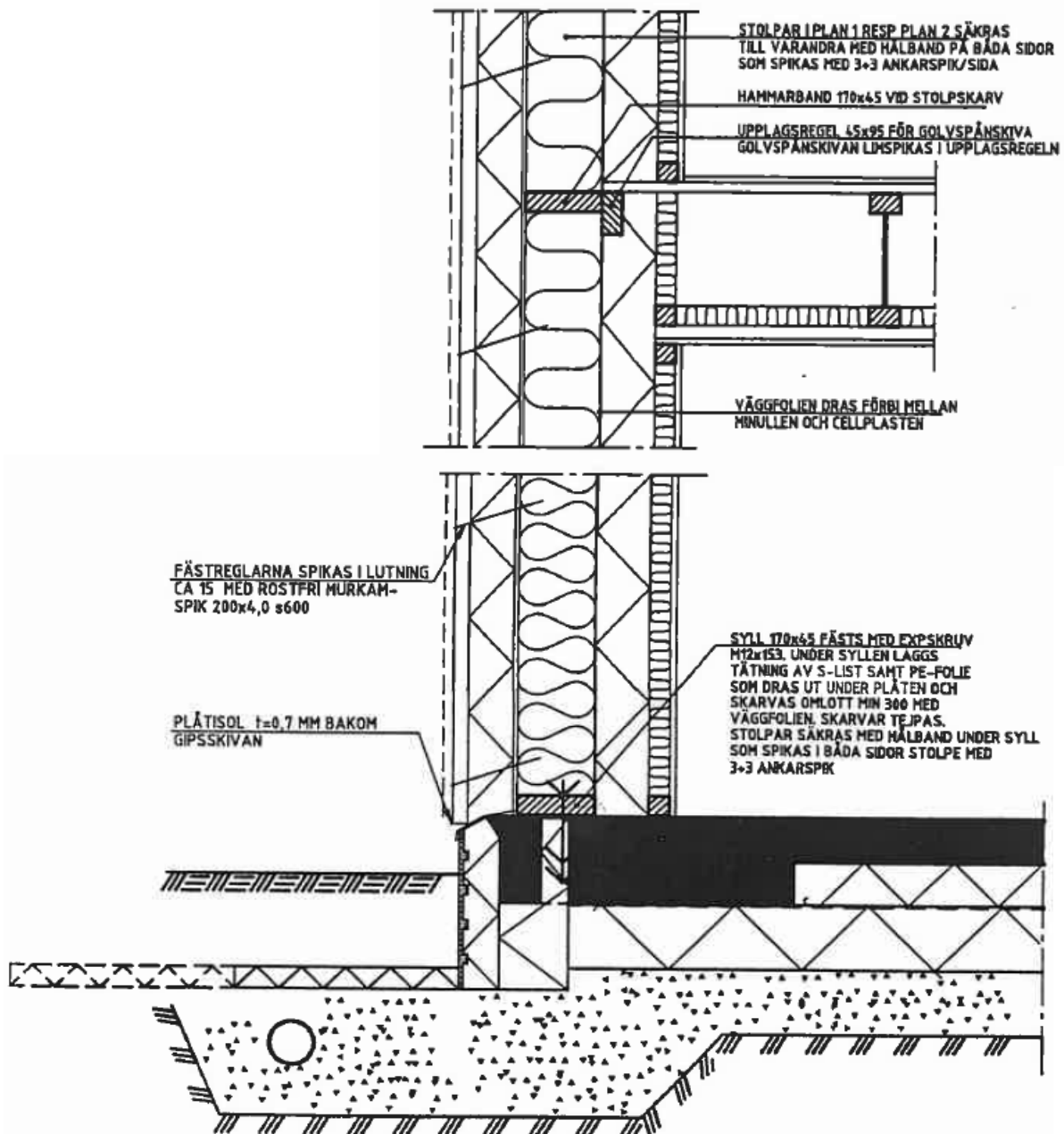
Energigenomsl pplighet 43%.

Ljusgenomsl pplighet 63%.

Ytterd rr:

U-värde: 0,80 W/m²K

Det ble lagt stor vekt på minimering av kuldebroer, også ved sokkelen, som fikk en bedre løsning enn vist i snittet gjennom vegggen – se utsnitt fra arbeidstegningene i Figur 65. Det er imidlertid forholdsvis store kuldebroer ved vinduene, som sitter ytterst i vegglivet og har gjennomgående treverk rundt.



Figur 65 Realisert sokkelløsning og overgang vegg/etasjeskiller (utsnitt fra arbeidstegningene, EFEM arkitektkontor).

6.2.2 Nyere evaluerte prosjekter

Doktorgradsstipendiat Ulla Janson ved Universitet i Lund har undersøkt et rehabiliteringsprosjekt og tre nye bygde demonstrasjonsprosjekter i Sverige. Avsnittet bygger i hovedsak på lisensiatavhandlingen hennes samt bakgrunnsmateriale, som hun stilte til disposisjon for foreliggende rapport²⁸. I tillegg tar vi med et prosjekt i Växjö som ble evaluert av Ivana Kildsgaard og Erik Prejer i IVL Svenska Miljöinstituttet²⁹.

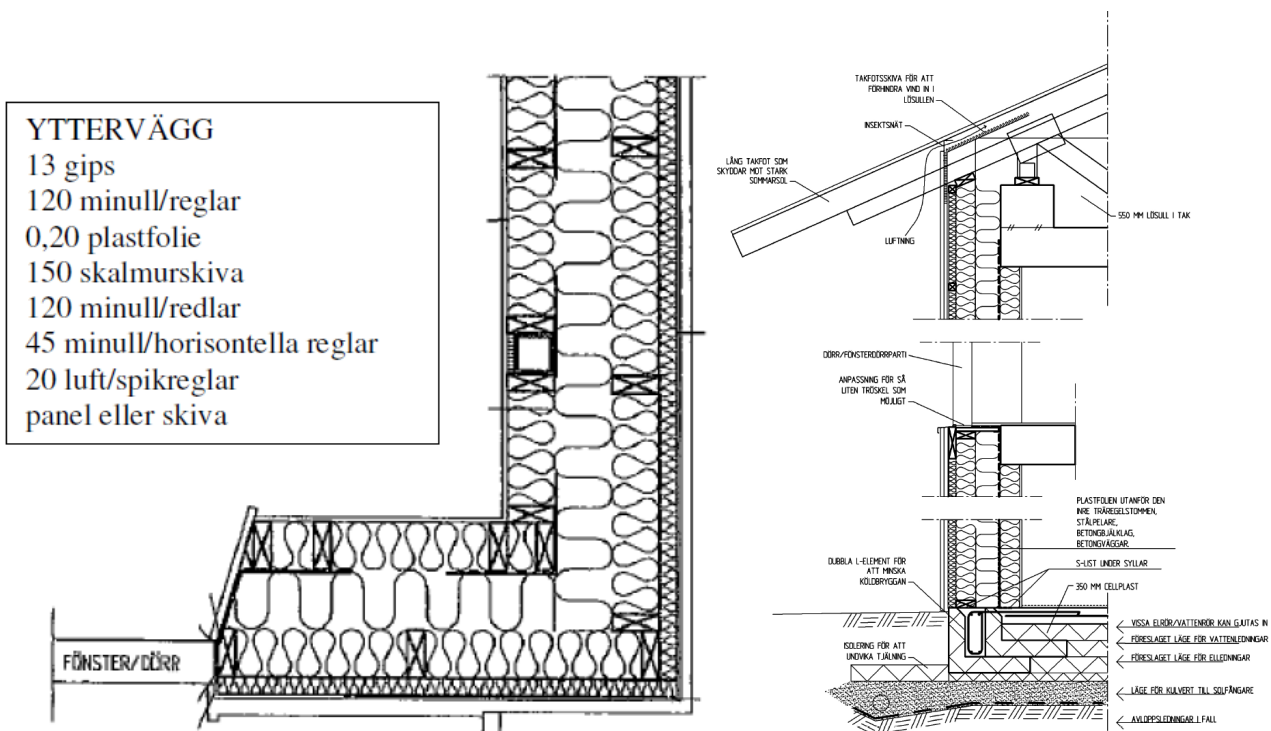
6.2.2.1 Lavblokker i Värnamo



Fem lavblokker med totalt 40 leiligheter ved Öxtorget i Värnamo, tegnet av Karin Arvidsson ved BSV arkitekter, ble ferdigstilt i 2006. Passivhusene har en bærende struktur av betong og noe stål med utfyllende bindingsverk og to ulike løsninger for takisolasjon hhv. mellom I-bjelker og på loftdekket av betong.

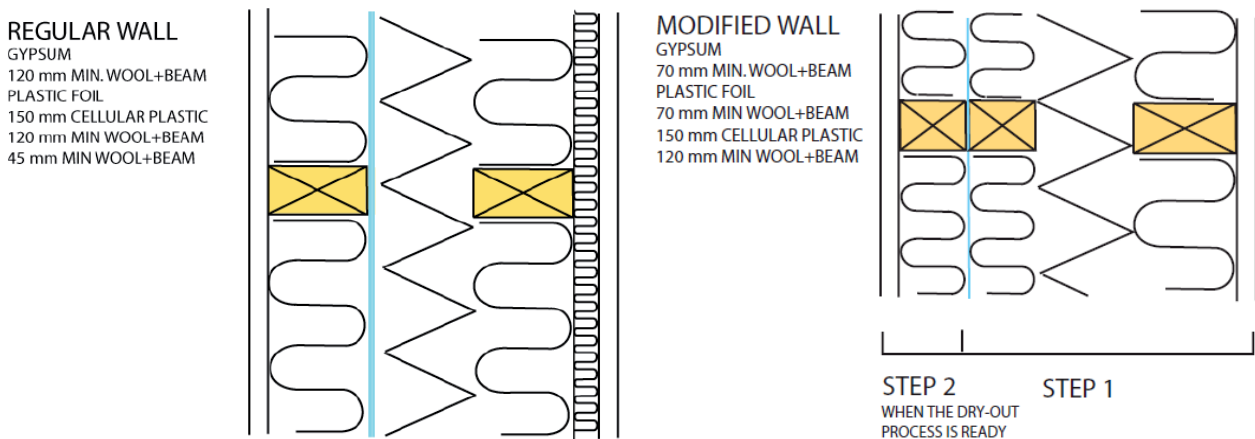
²⁸ Ulla Janson, *Passive houses in Sweden, Experiences from design and construction phase*, LTH Lund 2008. I tillegg bakgrunnsmateriale sendt per e-post.

²⁹ Se fotnote 30.



Figur 66 Horisontal- og vertikalsnitt gjennom vegg. Tydelig skrå vindussmyg (Finnvedbostäder).

De to delene av den doble stenderveggen blir skilt av stive EPS-plater. Plastfolien sitter på utsiden av den indre vegg. Mellom stenderne er det isolert med mineralull. I tillegg er det et mineralulllag på utsiden mellom krysslektingen for den luftede beklædningen. Ifølge Ulla Janson sa tømmerne at det var vanskelig å bygge disse doble veggene ettersom den indre delen ble satt opp først, slik at de måtte feste plastfolien utenfra både på stenderne og rundt åpningene. Det ble derfor skissert en endret vegg-løsning hvor en kunne begynne jobben med den ytterste delen og jobbe seg innover – se Figur 67. Det tok også mer tid enn vanlig å bygge skråstilte (og lufttette) vindussmyg, som er valgt for å slippe inn mer lys i de dype åpningene (synlig i Figur 66). En slik løsning var allerede blitt valgt i Lindås-prosjektet.

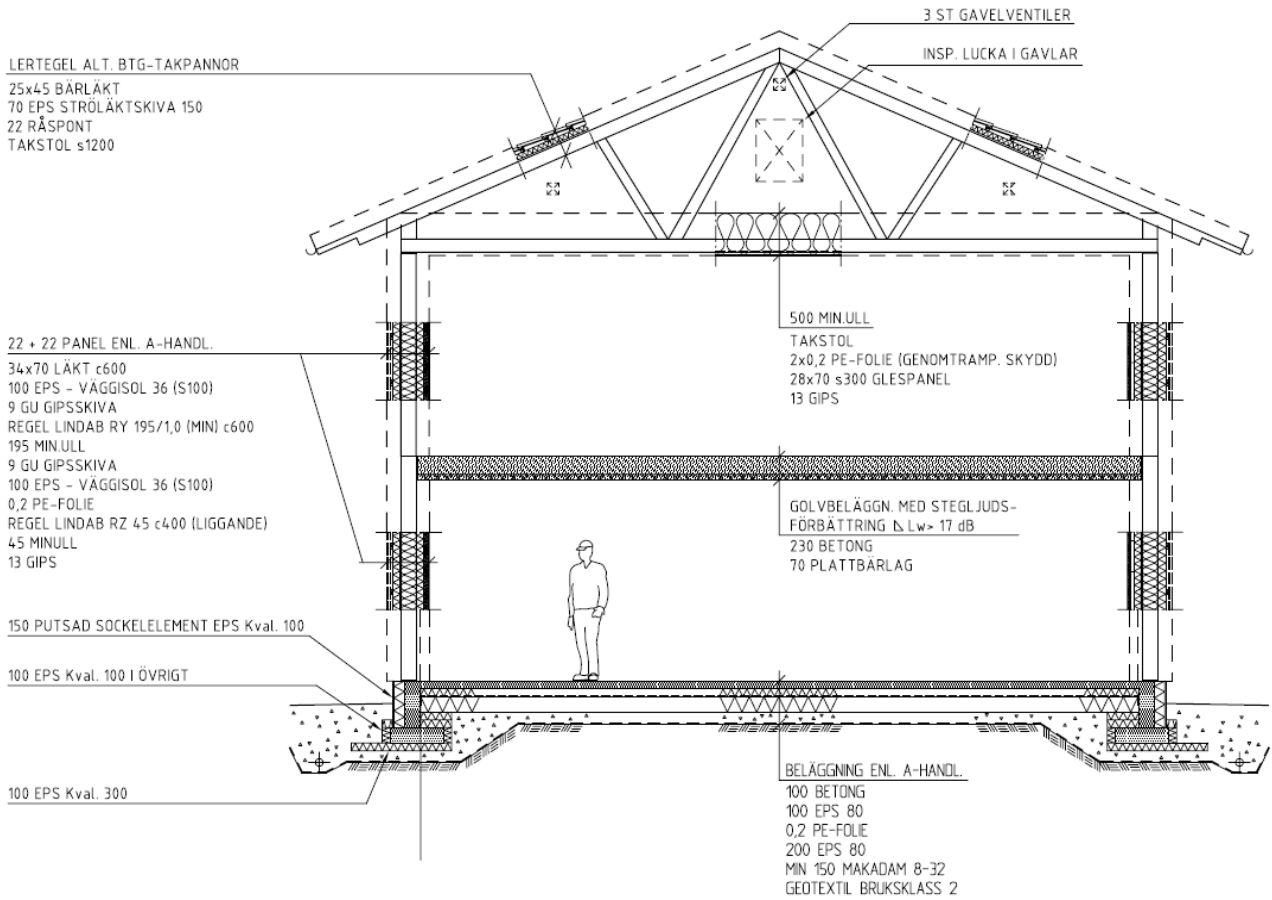


Figur 67 Prosjektert vegg og foreslått modifisert konstruksjon (Ulla Janson).

6.2.2.2 Firemannsboliger i Frillesås ved Kungsbacka

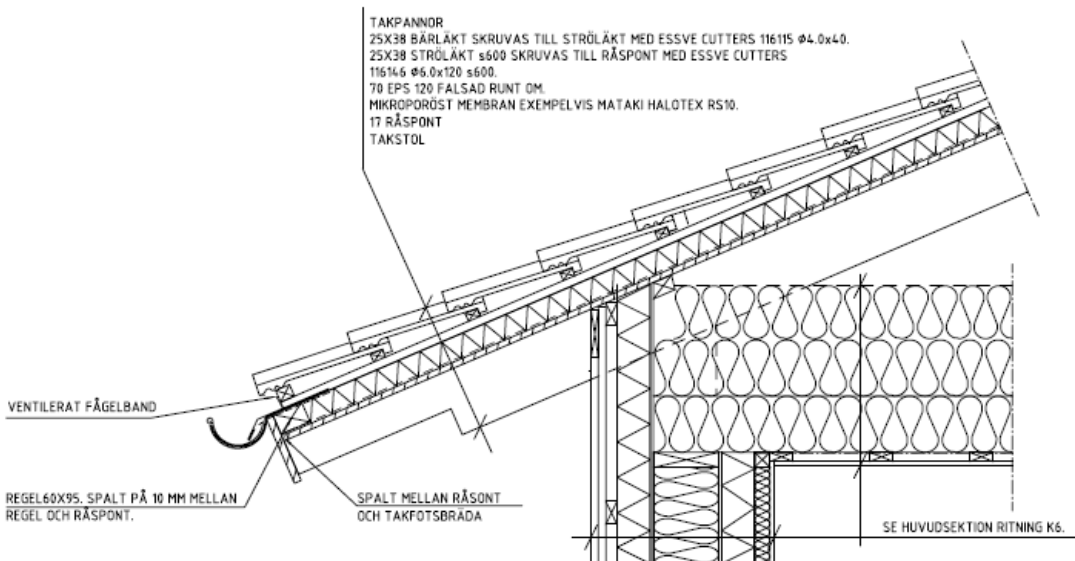


I Frillesås sør for Kungsbacka ble det i 2006 ferdigstilt tre firemannsboliger i svensk passivhusstandard med totalt 12 utleieleiligheter, som rekkehusene i Lindås tegnet av Hans Eek i EFEM arkitekter. Bygningene har bærende stålsøyler, filigrandekker og utfyllende bindingsverksvegger utvendig. Disse består av prefabrickerte elementer over to etasjer med 195 mm mineralullisolasjon og gipsplater på begge sider, som ble komplettert på byggeplassen: Innvendig ble det påført 100 mm EPS, en PE-folie og 45 mm krysslekting med mineralull og gipsplater. Utvendig ble det montert liknende EPS-plater samt luftet bekleddning – se Figur 68.



Figur 68 Tverrsnitt gjennom hele bygningen (fra arbeidstegningene, WSP byggprosjektering).

Takflaten er isolert med 70 mm polystyren, selv om det er bygd kaldt loft med 500 cm isolasjon under. Loftet har to lufteåpninger. Konstruksjonene vises i detalj i Figur 69.

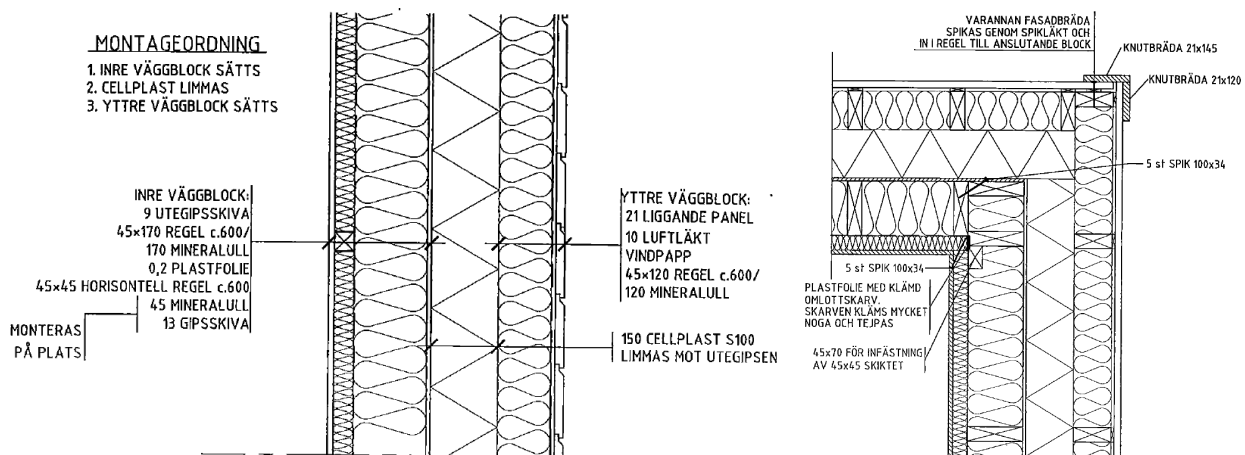


Figur 69 Overgang mellom vegg, loftsbjelkelag og skråtak (WSP).

6.2.2.3 Enebolig i Lidköping

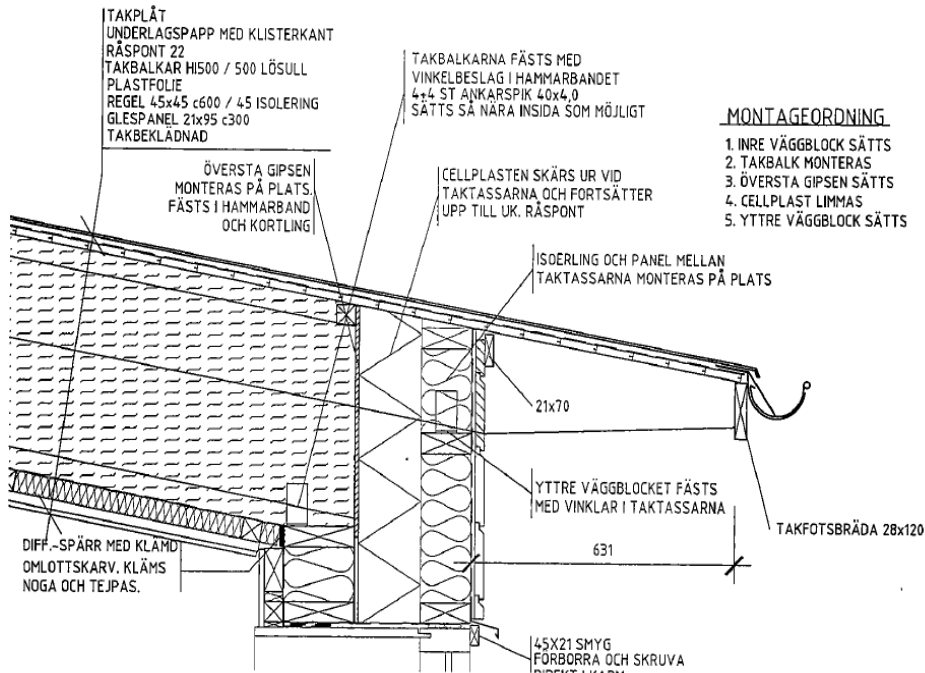


”Villa Malmberg” i Lidköping er Sveriges første enebolig bygd som passivhus. Huset ble tegnet av Hans Knutsson og Hans Eek. Byggherrene flyttet inn i 2007. Hele den bærende konstruksjonen er i tre med stor grad av prefabrikasjon. Figur 70 viser hvordan veggen er bygd opp. Først ble det montert elementer med den bærende delen av veggen, bestående av 170 x 45 mm stendere med mineralullisolasjon, dekket av GU-plater utvendig og plastfolie innvendig. På byggeplassen ble det så montert et innvendig installasjonslag med 45 mm mineralull, krysslekting og gipsplater. Utvendig ble det pålimt 150 mm tykke polystyrenplater. Etterpå ble det montert den utvendige delen av veggen, også den som elementer, komplett prefabrikkert med 120 mm mineralull mellom stenderne, vindpapp og luftet bekledding. Lasten fra den utvendige delen av dobbeltveggen tas opp av stålvinkler, festet i fundamenteringen (se Figur 72). Samme funksjon har ”plywood”-skiver festet i bjelkelaget til etasjeskilleren.

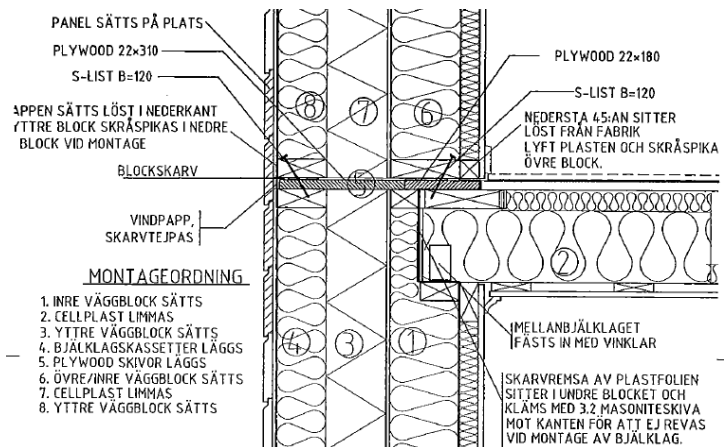


Figur 70 Vertikal- og horisontalsnitt gjennom dobbeltveggen (fra arbeidstegningene, Vårgårdahus).

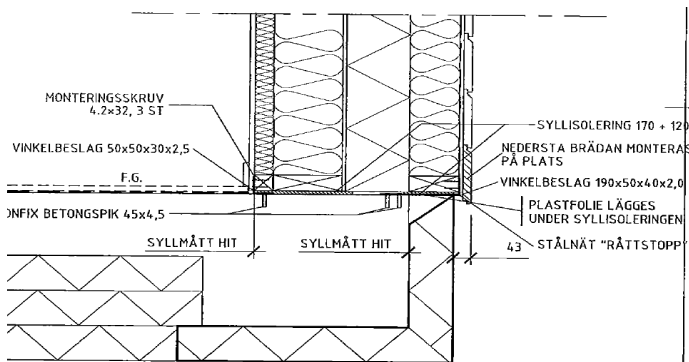
Taket er isolert med 500 mm løsuill mellom I-bærere og er ikke luftet mellom isolasjon og diffusjonstett taktekkning av rupanel, papp og metallplater. Innvendig er det isolert installasjonslag og vanlig plastfolie pluss bekledding. Konstruksjonen er vist i Figur 73.



Figur 73 Overgang vegg/tak med så vidt synlig vindu plassert i flukt med utvendig del av dobbelveggen. (Vårgårdahus)



Figur 71 Overgang vegg/etasjeskiller. Rems rundt bjelkelaget skaper forbindelse mellom folien i veggen over og under. (Vårgårdahus)



Figur 72 Overgang gulv på grunn/sokkel/vegg. Vinkelbeslag overfører last fra utvendig del av veggen til betongen. (Vårgårdahus)

6.2.2.4 Punkthus i Växjö



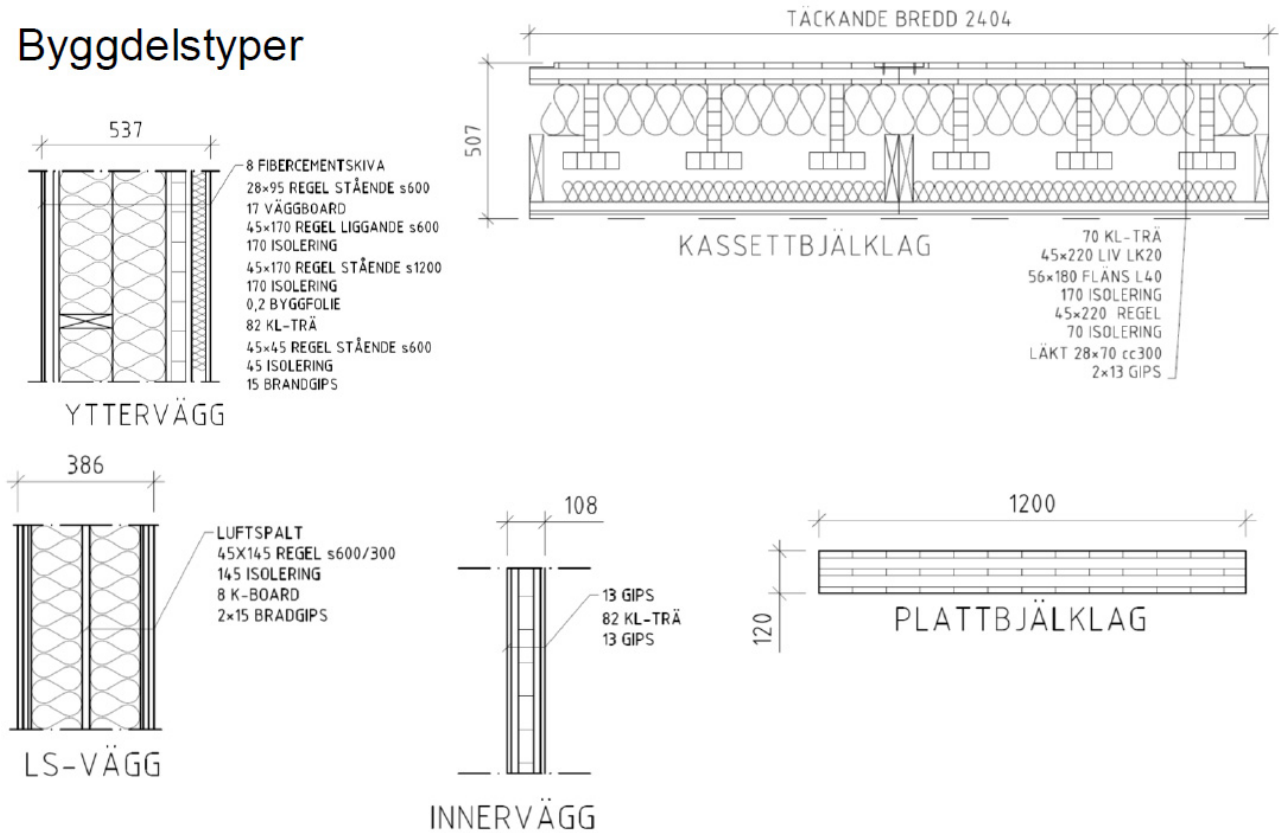
Portvakten Söder i Växjö er to punkthus på to åtte etasjer og er de første boligblokker i tre som er bygd etter svenske passivhuskriterier. Boligene ble tegnet av BSV Arkitekter & Ingenjörer og ferdigstilt i 2009. Ett av husene blir analysert i forskningsprosjektet ”Framtidens trähus”. En første delrapport beskriver og evaluerer bl.a. valgte tekniske løsninger og utviklingen gjennom prosjekterings- og byggefasen³⁰. I tillegg støtter vi oss på materiale som Håkan Risberg i Martinsons Byggsystem har stilt til disposisjon³¹.

Hele første etasje er konstruert i betong. Ellers består både vegger og etasjeskillere av prefabrikkerte treelementer, levert av Martinsons Byggsystem. Ytterveggene har 82 mm bærende massivtre med 45 mm isolert installasjonssjikt og gipsplate innvendig. Utvendig er det to lag steinullisolasjon mellom 45 x 170 mm trestendere og krysslekting i samme dimensjon samt luftet platekledning på gipsplater. Lufttetting sikres med byggfolie mellom massivtre og hovedisolasjon. U-verdien er 0,11 W/m²K. Leilighetsskilleveggene har dobbelt stendervegg, mens noen andre bærende innervegger er av massivtre med gipsplatekledning – til og med veggen rundt heisen. Etasjeskillerne er kassetbjelkelag med massivtreoverflate mot leiligheten over og nedforet himling. I trapperommet brukes en enklere dekkekonstruksjon av kun 120 mm massivtre. Bygningsdeler av tre er nærmere beskrevet i Figur 74.

³⁰ Ivana Kildsgaard og Erik Prejer, *Dokumentation of project's development, plannin, and building phases; building's energy performance*, SP Borås 2010. Rapporten kan lastes ned på <http://www.framtidenstrahus.se/artiklar.html>.

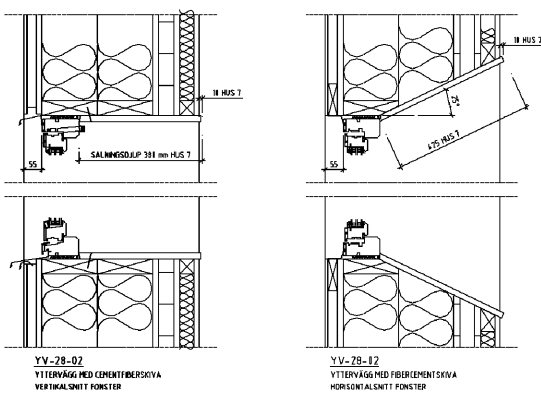
³¹ Håkan Risberg, foredrag og enkeltdetalj sendt til Michael Klinski per e-post 5. og 25.10.2010.

Byggdelstyper

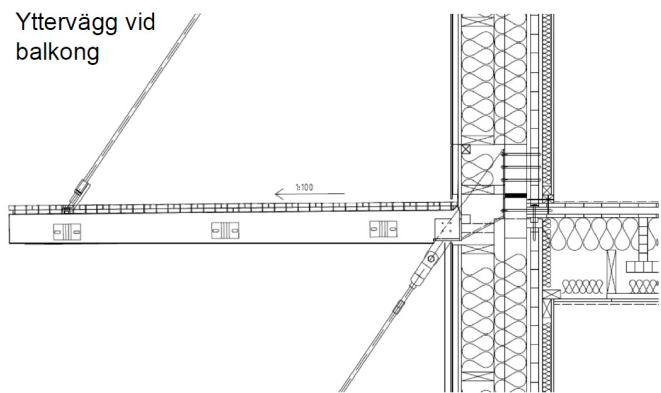


Figur 74 Byggningsdeler over 1. etasje: Yttervegg, leilighetskillevegg, innervegg, kassettbjelkelag for etasjeskillere mellom leiligheter og plattbjelkelag for etasjeskillere i trapperommet (Martinsons).

Vinduene sitter kun 55 mm inntrukket fra fasadeplatene, i flukt med de ytterste trestenderne. Noen vinduer har 25 ° skråstilte smyg innvendig for å slippe inn mer lys. Dette er vist i Figur 76. Også balkongplatene er massivtreelementer. Disse er punktvis festet i veggkonstruksjonen og hengt opp med forankringsstag en etasje oppover – se Figur 75. Ytterligere detaljer for hovedytterveggen er vist i Figur 78 og Figur 77.

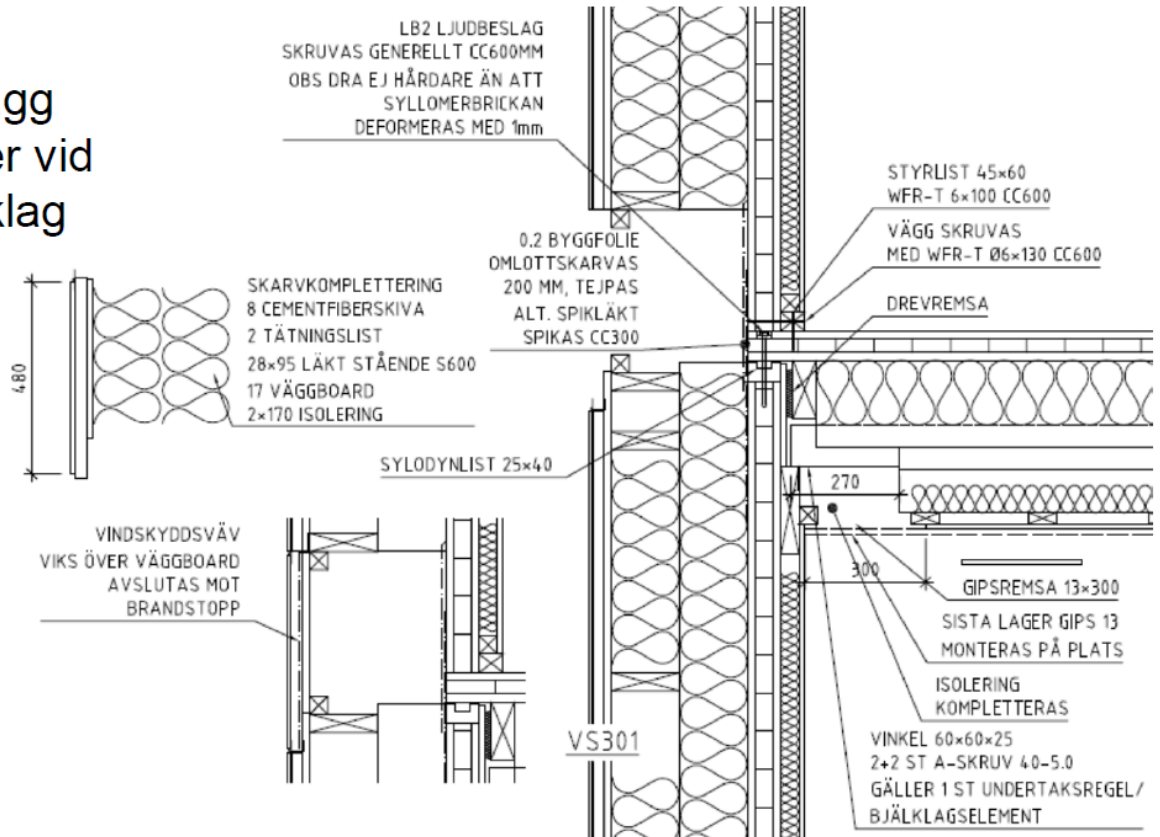


Figur 76 Vindusplassering i vegg: vertikalsnitt (t.v.) og horisontalsnitt (t.h.).



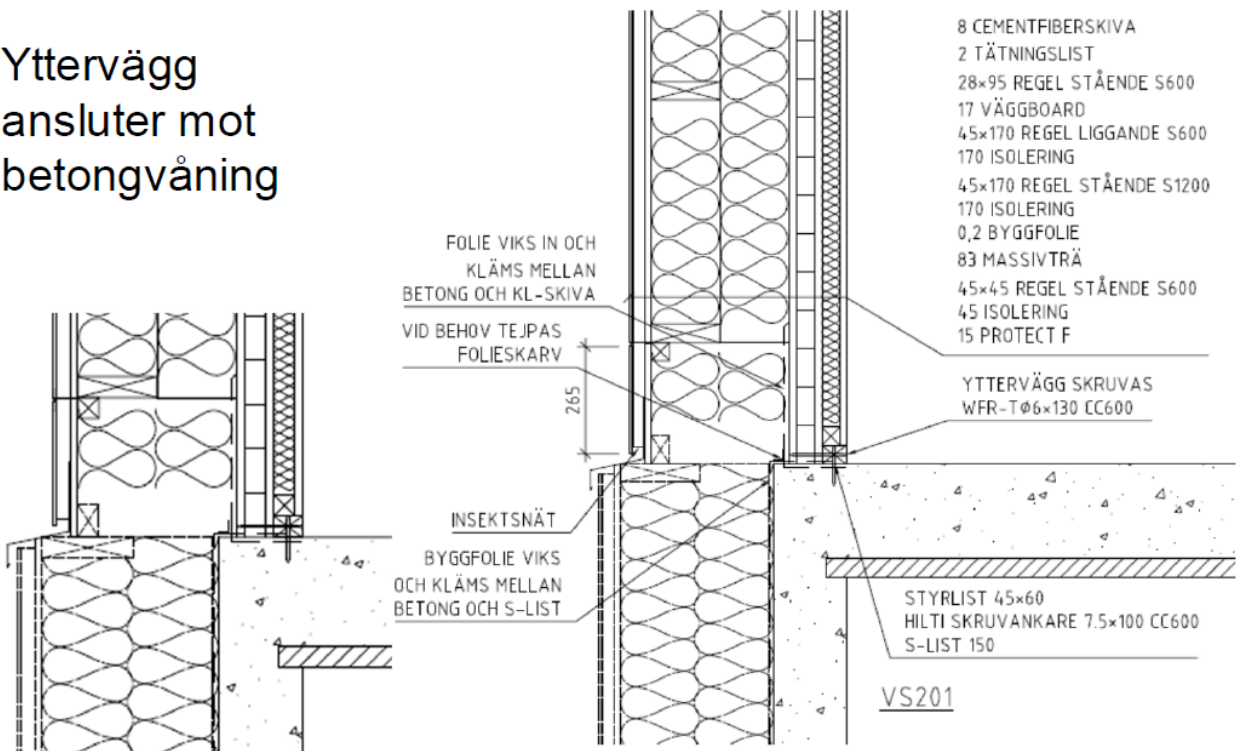
Figur 75 **Figur 70** Balkongelementer, vegg og etasjeskiller (Martinsons).

**Yttervägg
ansluter vid
träbjälklag**



Figur 78 Overgang mellom vegg og etasjeskiller (Martinsons).

**Yttervägg
ansluter mot
betongvåning**



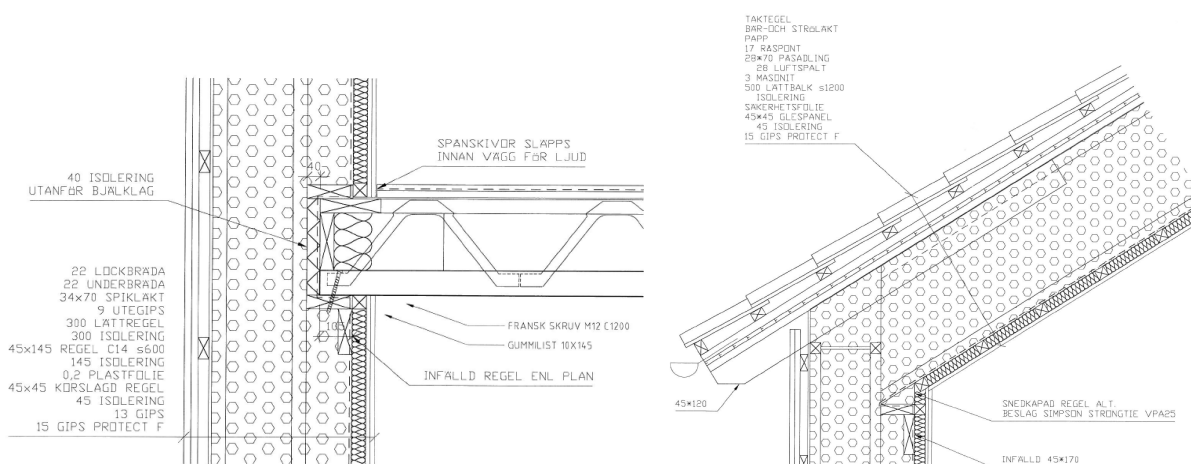
Figur 77 Overgang mellom betongkonstruksjon i 1. etasje og hovedvegg (Martinsons).

6.2.3 Andre nyere prosjekter

6.2.3.1 Firemannsbolig i Tollered ved Alingsås



I 2008 ble det ferdigstilt en firemannsbolig i Tollered noen mil utenfor Alingsås, tegnet av Glantz Arkitektstudio. Huset er beskrevet i den tidligere omtalte passivhusbrosjyren fra det svenske Passivhuscentrum. Ytterveggene er todelt med en bærende indre del, bestående av isolert 45 x 145 mm bindingsverk, og en ikke-bærende ytre del med 300 mm isolasjon mellom I-bjelker. Innvendig er det påført plastfolie, 45 mm isolert krysslekting og to lag gipsplater. Utvendig er det montert GU-plater og luftet trepanel. Taket har 500 mm isolasjon mellom I-bjelker med plastfolie, isolert installasjonssjikt og ett lag gipsplater under. Taket er luftet. Figur 79 viser konstruksjonene.



Figur 79 Vertikalsnitt gjennom vegg, etasjeskiller og tak (Brosjyre fra Passivhuscentrum).

Noen løsninger ble valgt for å møte brann- og lydkrav. Det ble også lagt stor vekt på lufttetthet og fuktsikkerhet. For eksempel ble det festet foliestrimler på karmen før vinduene ble montert, slik at det var enkelt å få gode overganger mot dampsperra. Våtrom er plassert mot ytterveggen. For å unngå fuktskader i organisk materiale mellom to forholdsvis damptette sjikt, ble den innvendige krysslektingen her utført med stålprofiler. Eksemplene illustreres i Figur 80.



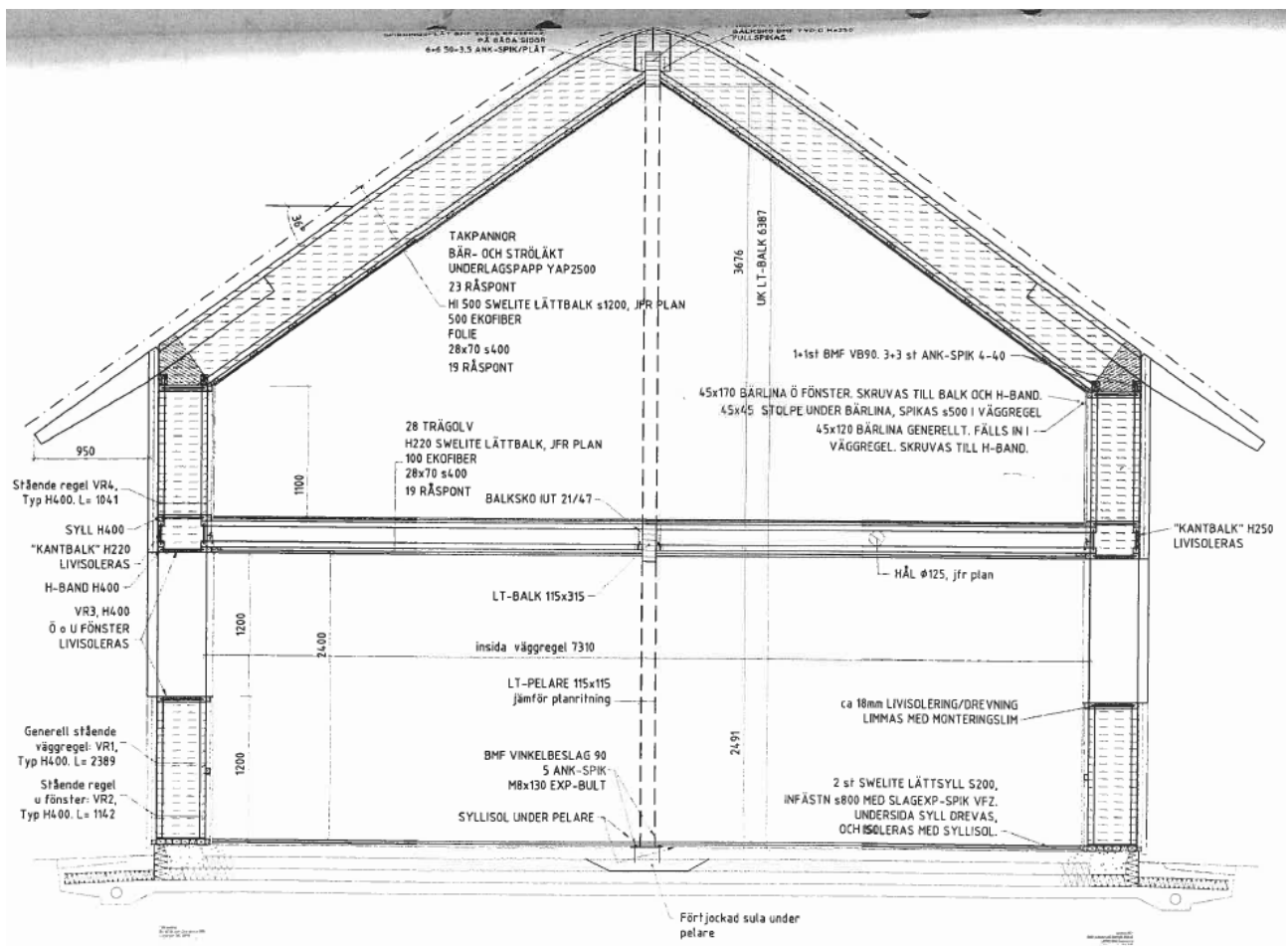
Figur 80 Monteringsklar vindu med remser (t.v.) og krysslekting med stålprofiler på badveggene (Brosjyre fra Passivhuscentrum).

6.2.3.2 Enebolig ved Eksjö



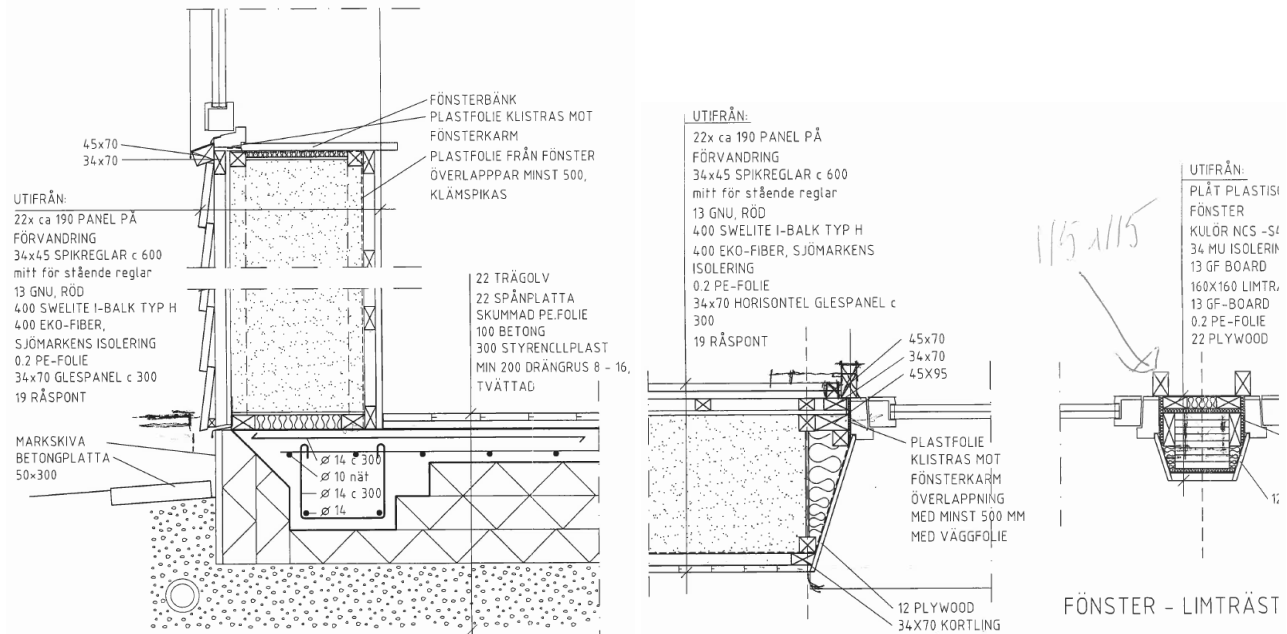
”Villa Ingeborg Eek” ved Södra Wixen utenfor Eksjö ble ferdigstilt i 2007. Huset er bygget av en lokal byggmester med bl.a. I-bjelker og innblåst cellulosefiber som isolasjon. Arkitekten var Hans Eek, som stilte arbeidstegninger til disposisjon for rapporten.

Ytterveggene består av 400 mm celluloseisolasjon mellom I-bjelker med luftet liggende panel på GU-plater utvendig og PE-folie, krysslekting (uten isolasjon) og rupanel innvendig. Også i skråtaket er det brukt I-bjelker og celluloseisolasjon, men her 500 mm tykk. Bekledning og PE-folie er som i veggene. Det er ikke lufting mot rupanel og underlagspapp på taket. Hele huskonstruksjonen er vist i Figur 81.



Figur 81 Tverrsnitt gjennom hele bygningen (fra arbeidstegningene, SWELITE Byggsystem).

Figur 82 viser veggen med overgang til sokkel og vindu litt mer i detalj. Plastfolien limes på vinduskarmen for å få til et gjennomgående lufttett lag innvendig. Skrå smyg brukes for å slippe inn mer dagslys.



Figur 82 Vertikal- og horisontalsnitt gjennom veggen med overgang til sokkel og vindu (SWELITE; korrigeringer Hans Eek).

6.2.4 Vurdering

I likhet med passivhus i Tyskland og Østerrike, er det i Sverige ikke spesielt fokus på vindtetting, og det lufttette sjiktet er alltid på innsiden. I alle tilfeller brukes tradisjonell plastfolie til det, med stor vekt på å oppnå lufttette overganger. Det legges også mye vekt på å minimere kuldebroer, selv om dette ikke er mulig optimalt med vinduer langt ute i vegglivet og gjennomgående treverk rundt. Mange prosjekter har skrå vindusmug. Dette er en god løsning for dagslystilgang gjennom åpninger i tykke vegger, men kan være arbeidskrevende å få til.

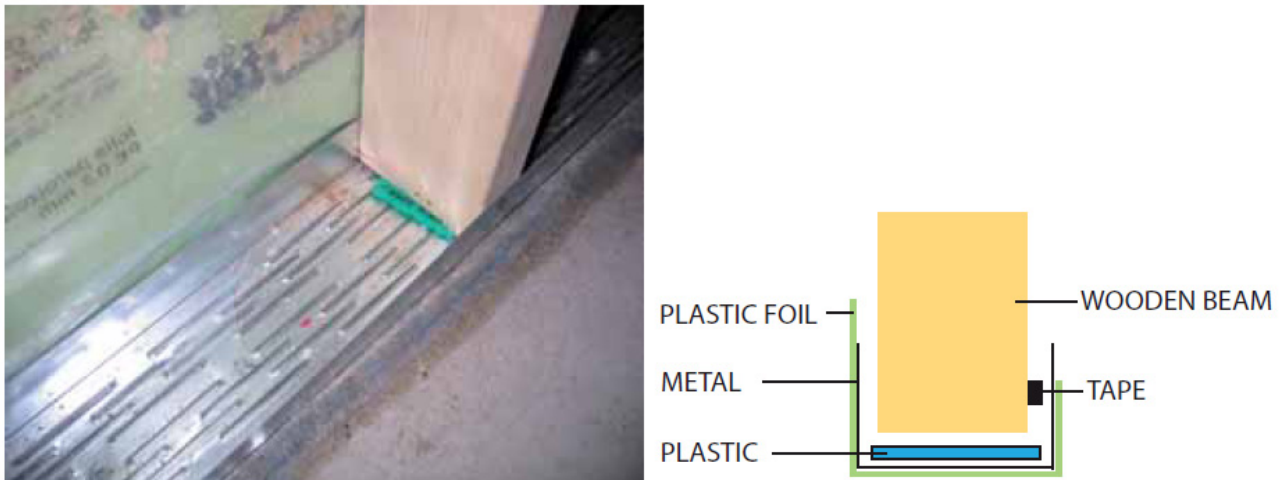
Veggoppbyggingen er delvis komplisert med mange ulike lag og bruk av flere isolasjonsmaterialer i samme konstruksjon. Dette er også arbeidskrevende, men kan gi lav treandel og lite gjennomgående treverk med tilsvarende lite ekstra varmetap. Ettersom polystyren har betydelig høyere dampmotstand enn mineralull, minsker dette imidlertid også uttørkingsevnen. Så lenge de deler av veggene som inneholder treverk, er prefabrikkert og ikke utsettes for fukt under montasjen på byggeplassen, kan slike konstruksjoner være fuktsikre. Løsningene er imidlertid svært avhengig av at lufttettheten fungerer i praksis, slik at det ikke kommer inn utilsiktet fukt gjennom innvendige sprekker når huset er bebodd. Montasjemåten kan også være problematisk i og med flere prosjekter har vegger hvor det først settes opp indre deler av veggen. Dette ble diskutert i Värnamo-prosjektet med konklusjon at veggløsningen burde tillate å begynne arbeidet utenfra (i dette tilfelle etter at bærestrukturen av stål og betong er satt opp). Diskusjonen ble ført ut fra en mest mulig effektiv arbeidsprosess, men slike løsninger ville også være en fordel med hensyn til en fuktsikker byggeprosess.

I Tollered-prosjektet brukes profiler av stål istedenfor tre som krysslekting mellom to forholdsvis damptette sjikt i veggen mot badet. Dette hadde ikke vært nødvendig ved bruk av et lufttett sjikt med vesentlig lavere dampmotstand enn vanlig PE-folie og en gjennomtenkt diffusjonsåpen veggkonstruksjon med avtakende dampmotstand mot yttersida.

Det siste prosjektet, eneboligen ved Eksjö, har en enklere konstruksjon og bruker celluloseisolasjon. Sånn sett har prosjektet større likheter med en del nyere prosjekter i Mellom-Europa, bortsett fra at det fortsatt brukes ordinær PE-folie. I likhet med eneboligen i Lidköping er skråtaket med I-bjelker ikke luftet mot et relativt diffusjonstett undertak. Undersøkelser av Passivhusinstituttet i Tyskland konkluderer med at fuktadaptive dampbremsere i slike tilfeller er en sikrere løsning med større uttørkingsreserve enn den vanlige PE-folien.

Diskusjoner rundt slike bygningsfysiske problemer er fraværende i tilgjengelige evalueringer. Det som derimot diskuteres mye, er avverging av kondensfare og oppstigende fukt i konstruksjoner mot sokkelen og på loftet. Noen prosjekter har derfor isolasjon i undertaket, selv om skråtaket under – eller et kaldt loft – er luftet. I avhandlingen til Ulla Janson refereres det for alle prosjekter gjennomdiskuterte løsninger som skal beskytte stendere og svill mot fukt fra betongen under. De ulike løsninger er vist i Figur 83 og Figur 84.

Totalt virker forskjellen mellom norsk og svensk byggeskikk relativt stor, sammenliknet med ulikheter mellom Norge og sentraleuropeiske land. Ringmurløsninger, som blir mye brukt i Norge, ser en verken i undersøkte prosjekter i Sverige eller i Mellom-Europa.



Figur 83 Lavblokker i Värnamo: Fuktbeskyttelse med stålprofil, plast og teip (Ulla Jansson).



Figur 84 Firemannsboliger i Frillesås (t.v.) og enebolig i Lidköping (t.h., under høyre stender): Fuktbeskyttelse med profil av skumplast (Ulla Jansson).

6.3 Passivhusprosjekter i Norge

6.3.1 Prosjekter i henhold til norske kriterier

6.3.1.1 Blokker Løvåshagen i Bergen



Løvåshagen er et utbyggingsområde bestående av 28 passivhusleiligheter og 52 lavenergileiligheter. Det ligger i Fyllingsdalen, nær Bergen sentrum. Prosjektet ble ferdigstilt 2008-2009. Arkitekter har vært ABO Arkitekter, og hovedentreprenør har vært Byggmester Vest. Utbyggeren ByBo AS satser nå også på å gå videre fra passivhus, mot nullutslippshus (se www.bybo.no og www.zeb.no).

Passivhusene består av lavblokker i to og tre etasjer. De er bygget etter vanlige passivhusprinsipper (se under) og har solfangere på tak som primært dekker varmtvannsbehov. Elektrisitet dekker resterende varmebehov til oppvarming og tappevann. Hver leilighet har sitt eget energi- og oppvarmingssystem, der varme fra solfanger lagres i varmtvannsbereder plassert i en nisje på badet. Varmesystemet er et forenklet vannbårent system, med vannbåren gulvvarme i bad og en enkel radiator i gang/entre som dekker varmebehovet i resten av leiligheten. Simulert oppvarmingsbehov er på 13 kWh/m²år, som er godt under kravet på 15 kWh/m²år til passivhus på denne type bygg. Totalt netto energibehov er beregnet til ca. 80 kWh/m²år. Med bidrag fra solfangere, er beregnet levert energi på 63 kWh/m²år. Alle tall er snitt for alle de 28 passivhusleilighetene³².

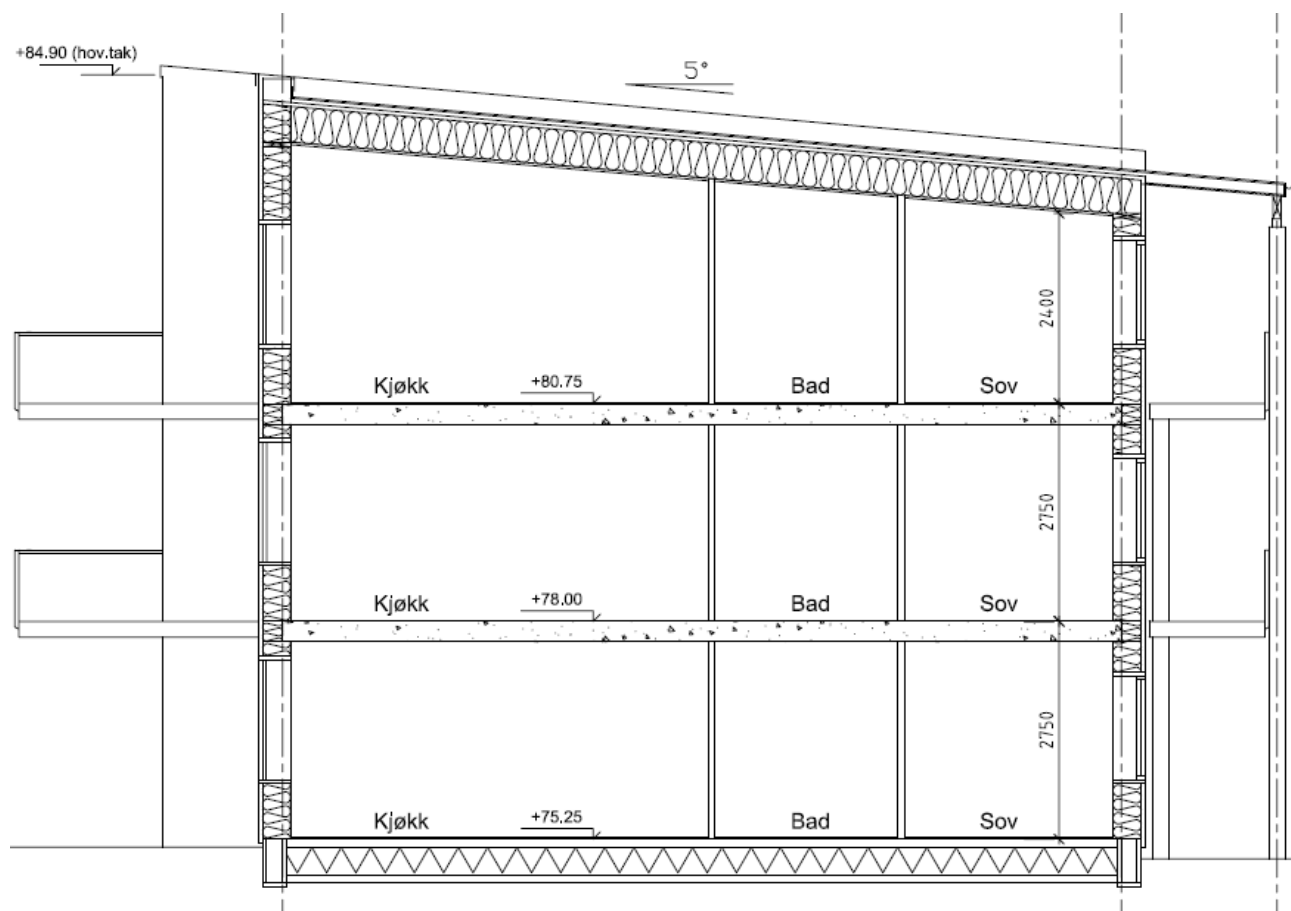
Passivhusene i Løvåshagen har et relativt enkelt og kompakt bygningskonsept med 2-3 etasjers hus, med pulttak og plate på mark. Hovedbæresystem er dekker og leilighetsskillevægger i plasstøpt betong, med stålsøyler i gavlvegger. Yttervegger er i utfyllende bindingsverk, med en dobbeltveggskonstruksjon (se Figur 87). Dekkeforkanter stikker 10 cm ut i veggen, slik at det meste av isolasjonen er på utsiden av betongen, noe som gir en god kuldebrøløsning. Yttertaket er et luftet tretak som ligger an på leilighetsskillene, og består av I-profiler isolert med 50 cm mineralull. Pulttaket har et fall på 5 °, og har ca. 70 mm lufting. Gulv på grunn består av betongplate med 350 mm EPS-isolasjon.

³² For mer informasjon se Dokka og Helland, *Løvåshagen: Norges første lavblokkprosjekt med passivhusstandard*, bidrag i Conference Proceedings til Passivhus Norden i Trondheim 2008, som kan lastes ned her: www.passivhusnorden.no/foredrag/conference%20proceedings.pdf

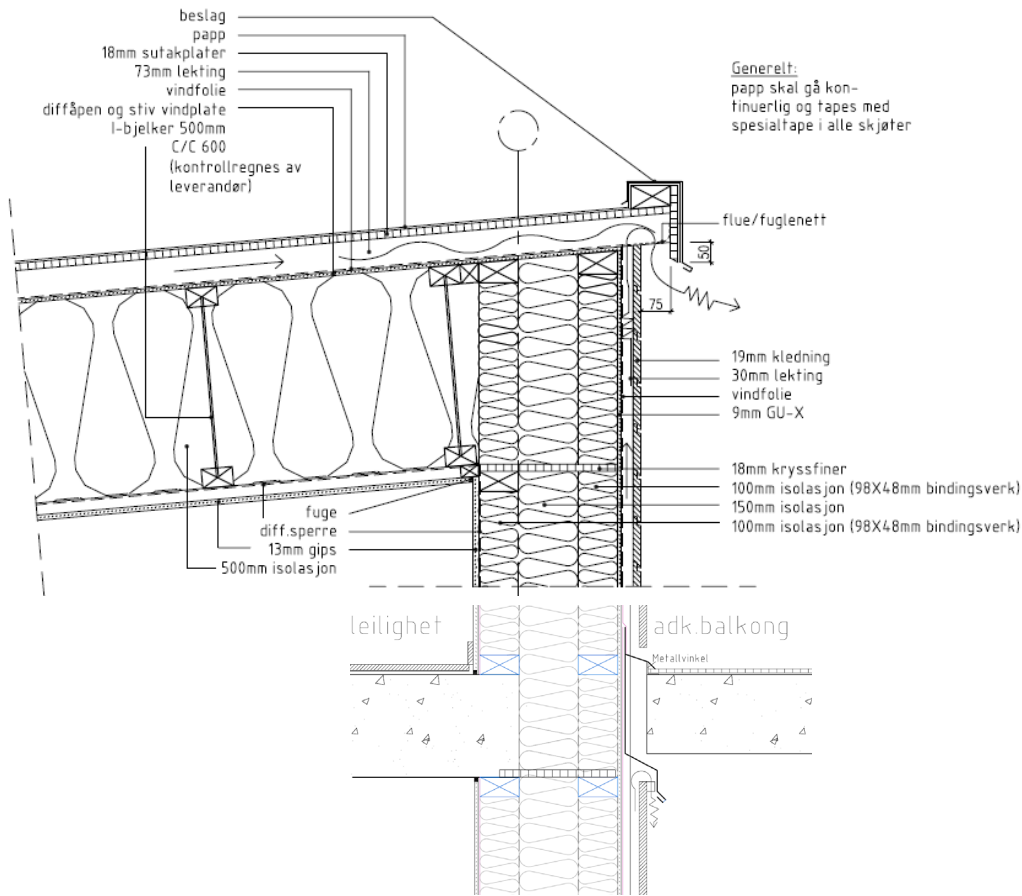
Svalganger på inngangssiden har separat bæring for å unngå kuldebroer og brudd i klimaskjermen. Balkonger bæres av slanke kniver i rustfritt stål (reduisert kuldebroeffekt) som er forankret i betongdekkene. Det primære lufttettesjiktet for å nå lekkasjetallskravet på 0,6 (n_{50}) er utvendig vindtettsjikt på yttervegg og yttertak. De største utfordringene for å nå kravet var luftlekkasjer rundt oppstikk av rør i gulv på grunn, samt rundt vinduer og dører. Løsninger og U-verdier, kuldebroverdier og lekkasjetall er oppsummert i Tabell 1.

Tabell 1 U-verdier for ulike bygningsdeler, samt normalisert kuldebroverdi og lekkasjetall.

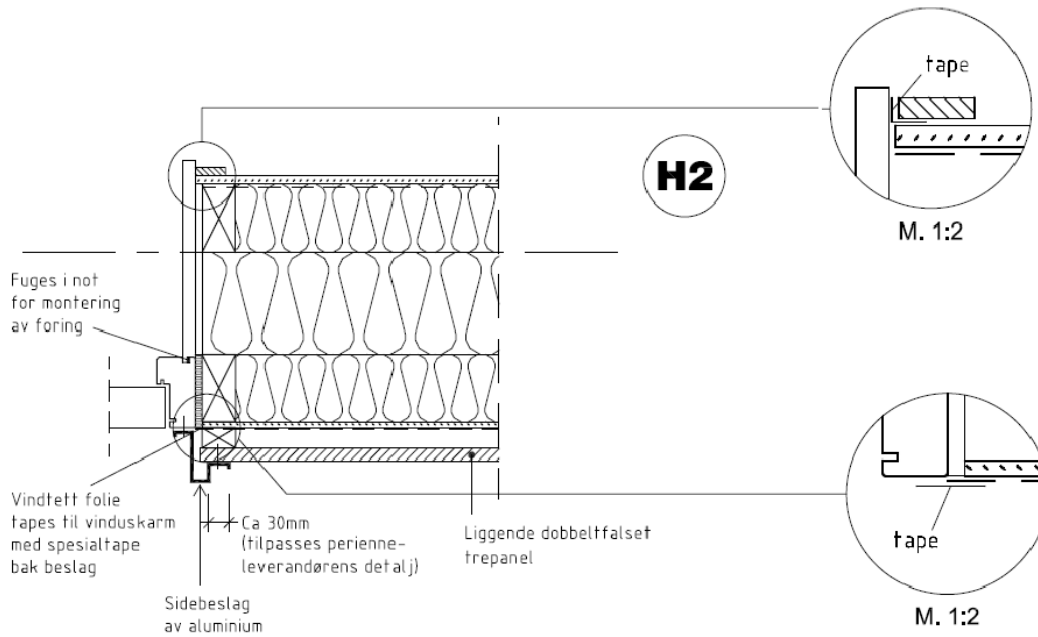
	Ytelse	Løsning
Yttervegg	$U = 0,10 - 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Dobbeltveggkonstruksjon, med 98 mm innervange og yttervange, og 150 mm mellomliggende isolasjon.
Yttertak	$U = 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$	I-profilbjelker som åstak (bæres på skillevegger i betong), 3" lufting og papptekking.
Gulv på grunn	$U = 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$	Isolasjon på kultlag, med 100 mm påstøp
Vinduer	$U = 0,70 - 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$	3 lags ruter med argon, superspacer og isolert karm
Dører	$U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	Godt isolerte ytterdører.
Normalisert kuldebroverdi	$\psi'' \leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$	Prosjekterte detaljer.
Lekkasjetall	$n_{50} \leq 0,6 \text{ ach}@50 \text{ Pa}$	Kontinuerlig vindsperresjikt, prosjekterte detaljer, god KS byggeprosess.



Figur 85 Snitt av passivhus-lavblokkene (ABO AS).



Figur 86 Overgang yttervegg/tak og yttervegg/etasjeskiller/svalgang



Figur 87 Horisontalsnitt vinduspassering i veggen.

6.3.1.2 Barnehage Storøya i Bærum



Storøya barnehage er en del av Storøya grendasenter som er bygget på Fornebu i Bærum. Grendasenteret med blant annet skole, idrettshall og bibliotek er bygget med lavenergistandard, men det ble vedtatt at barnehagen skulle bygges etter passivhus-konseptet. Barnehagen er på ca. 940 m² BRA. Arkitekter for Storøya grendasenter har vært Arkitektkontoret Kvadrat AS, med Rambøll som rådgivende ingeniører. HENT har vært totalentreprenør, og SINTEF Byggforsk har vært inne som spesialrådgiver på energi-konseptet. Prosjektet har blitt gjennomført som en samspillskontrakt.

Barnehagen er et enetasjes bygg, men har relativt dyp planløsning, se Figur 88. Bygget varmes opp relativt konvensjonelt, med en kombinasjon av vannbåren gulvvarme og radiatorer, som får varme fra energisentralen for hele grendasenteret. Denne energisentralen får energi fra fjernvarme, men har også tilskudd fra solfangere primært i sommerhalvåret. Ventilasjonsløsningen er basert på behovsstyrt ventilasjon (CO₂ og tilstedeværelsesstyring), og høyeffektiv roterende varmegjenvinner. Aggregatet er plassert under i kjeller i grendasenteret, og får tilførsel til barnehagen via nedgravde kanaler.

Levert energi til bygget (elektrisitet og fjernvarme) er beregnet til 65 kWh/m²år. Oppvarmingsbehovet er beregnet til 25 kWh/m²år.

Selv med noen sprang i fasaden er bygningen relativt enkel i formen. Bygget har plate på mark, og trekonstruksjoner i yttervegg og yttertak. Siden barnehagen står på noe ustabile masser måtte dekket bygges som en stiv plate der ringmur og betongplaten på grunn er festet inn i hverandre. Dette ga utfordringer når det gjaldt kuldebroløsning for overgang vegg-gulv. Kuldebroverdien på 0,064 W/mK utgjør 50 prosent av kuldebrotapet i bygget. Gulvet har 300 mm EPS isolasjon under betongplate + 100 mm mineralull i et Granab-gulv over betongplaten, se figur Figur 89.

Ytterveggen er bygget opp som en dobbeltveggskonstruksjon. I forhold til vanlig norsk tradisjon, er vinduene trukket relativt langt inn i vegglivet, nesten midt i isolasjonssjiktet. Dette gir meget god kuldebroverdi for vindusløsningen. Dampspærre (plastfolie) er montert på innsiden av innervangen og vindspærre er utført som rullprodukt som er meget dampåpen (mulighet for god uttørring utover). Yttertaket er utført som kompakttak, som bæres av I-profilbjelker. Det er 100 mm isolasjon under og 400 mm isolasjon over dampspærresjiktet. Det er ikke tre eller annet organisk materiale ovenfor dampspærresjiktet.

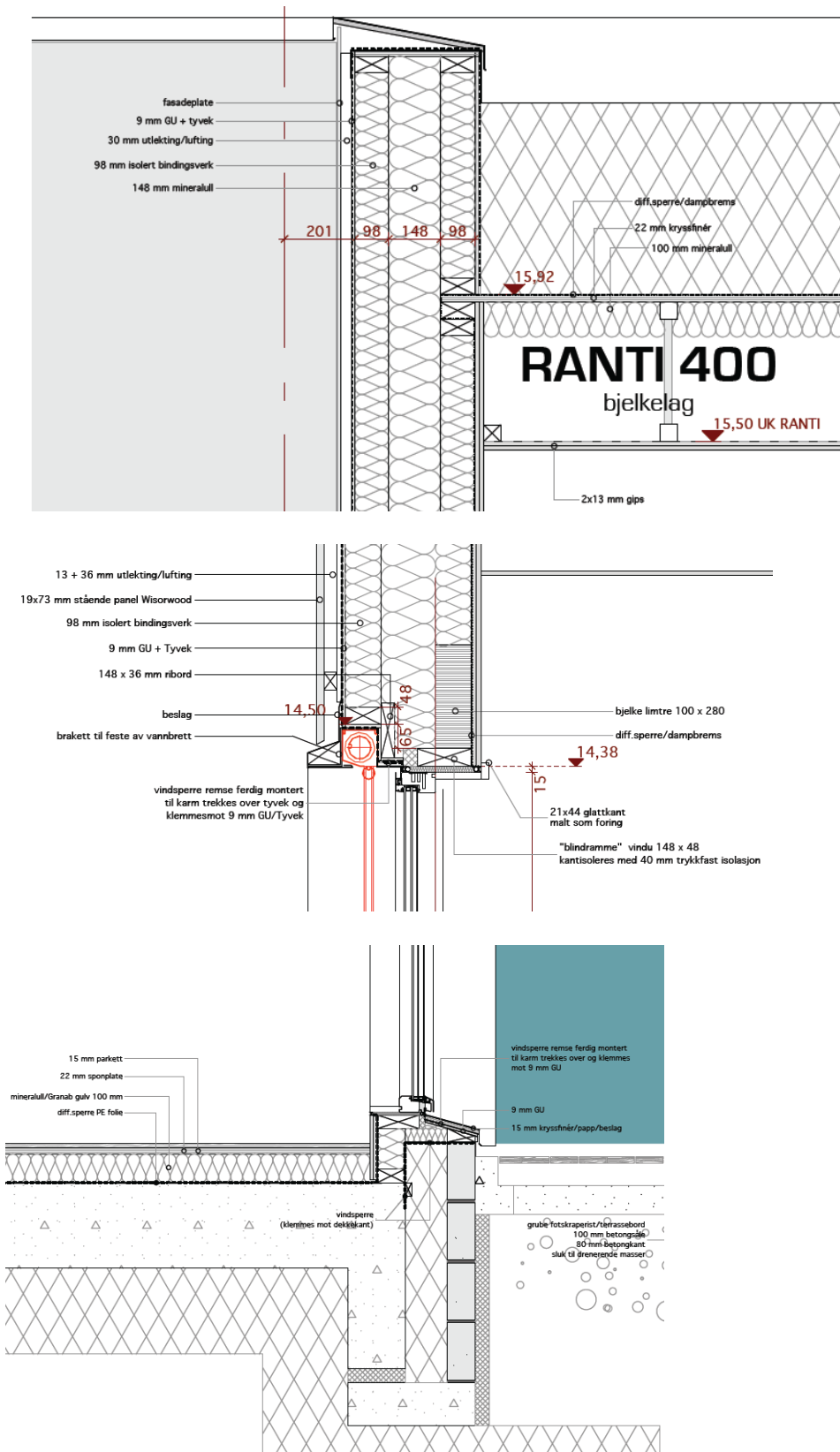
I dette prosjektet har det vært stort fokus på å få både innvendig dampsperre og utvendig vindsperre kontinuerlig, og at alle brudd/perforeringer tettes omhyggelig. For å sikre en fuktsikker- og kontrollert byggeprosess har bygget blitt oppført under telt. U-verdier, normalisert kuldebroverdi og lekkasjetall for barnehagen er oppsummert i tabell Tabell 2.

Tabell 2 U-verdier for ulike bygningsdeler, samt normalisert kuldebroverdi og lekkasjetall.

	Ytelse	Løsning
Yttervegg	$U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Dobbeltvegg-konstruksjon, med 98 mm innervange og yttervange og 150 mm mellomliggende isolasjon.
Yttertak	$U = 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$	I-profilbjelker og kompaktak (bæres på innvendig stålkonstruksjon), papptekking.
Gulv på grunn	$U = 0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$	300 mm EPS isolasjon under betongplate + 100 mm overliggende mineralull (Granabgulv)
Vinduer	$U = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$	3 lags ruter med argon, varmkant og ”isolert karm”
Dører	$U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	Godt isolerte ytterdører.
Normalisert kuldebroverdi	$\psi'' < 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$	Alle detaljer er nøye prosjektert og kuldebroberegninger er gjort for alle sentrale detaljer.
Lekkasjetall	$N50 < 0,6 \text{ ach}@50 \text{ Pa}$	Kontinuerlig damp- og vindsperrsjikt, prosjekterte detaljer, god KS byggeprosess.



Figur 88 Planløsning for bygget. (Kvadrat Arkitektkontor)



Figur 89 Overgang mellom vegg og hhv. gulv på grunn, vindu og tak. OBS – i nederste bilde er innvendig og utvendig side motsatt vei enn i midterste og øverste bilde.

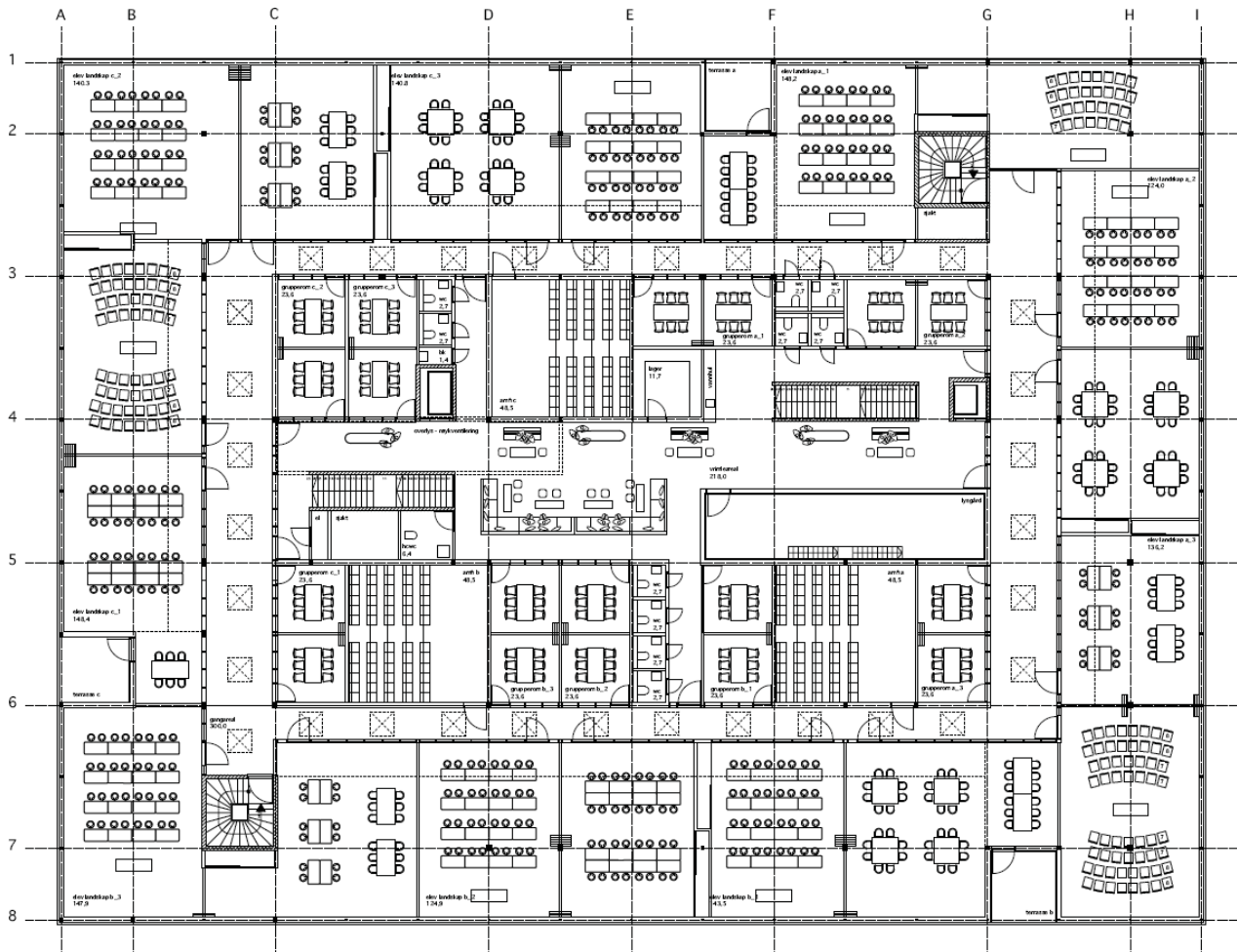
6.3.1.3 Skole Marienlyst i Drammen



Marienlyst ungdomsskole i Drammen er Norges første skolebygg med passivhusstandard. Bygget er relativt kompakt og er på ca. 6200 m² BRA. Bygget huser ca. 500 elever. Skolen ble tatt i bruk i august 2010. Arkitekter for Marienlyst skole har vært diverse arkitekter AS, med blant annet Rambøll og Bright som rådgivende ingeniører. BAS har vært totalentreprenør for prosjektet, og SINTEF Byggforsk har vært inne som spesialrådgiver på energikonseptet.

Skolen er over 3 etasjer og har relativt dyp planløsning, se Figur 90. For å få dagslys inn i indre deler av bygget er det glassfelt og overlyskupler i taket. Bygget varmes opp relativt konvensjonelt, med en kombinasjon av vannbåren gulvvarme og radiatorer. Skolen får varme fra et nærvarmeanlegg som også lager varme og kjøling til nærliggende idretts- og badeanlegg. Det er også mulig å overføre eventuell overskuddsvarme fra skolen om sommeren til det nærliggende badeanlegget. Ventilasjonsløsningen er basert på behovsstyrt ventilasjon (CO₂ og tilstedeværelsesstyring), og bruker høyeffektiv roterende varmegjenvinner. Det er også et meget energieffektivt lysanlegg, med både tilstedeværelsesstyring og dagslysstyring. Levert energi til bygget (elektrisitet og fjernvarme) er beregnet til 63 kWh/m²år. Oppvarmingsbehovet er beregnet til 14 kWh/m²år. Bygget er instrumentert slik at energibruken kan måles ned på formålsdelt nivå (etter netto energibudsjett i NS3031).

Bygget har en enkel form og er meget kompakt. Selv om ikke skolen i utgangspunktet var planlagt som passivhus, var det derfor relativt enkelt å omprosjekttere den til passivhusstandard. Bygget har plate på mark, bæresystem i plasstøpt betong og utfyllende trekonstruksjoner i yttervegg. Yttertak er utført med prefabrikkert lett-taks løsning med ekstra isolasjon over. Gulv på grunn er primært isolert med ca. 850 mm løs leca, men har i tillegg EPS-isolasjon i randsonen av gulvet. På grunn av at gulvet er stort og nærmest kvadratisk blir U-verdien til gulvet meget lav.



Figur 90 Planløsning for 3. etasje. (div.A arkitekter AS)

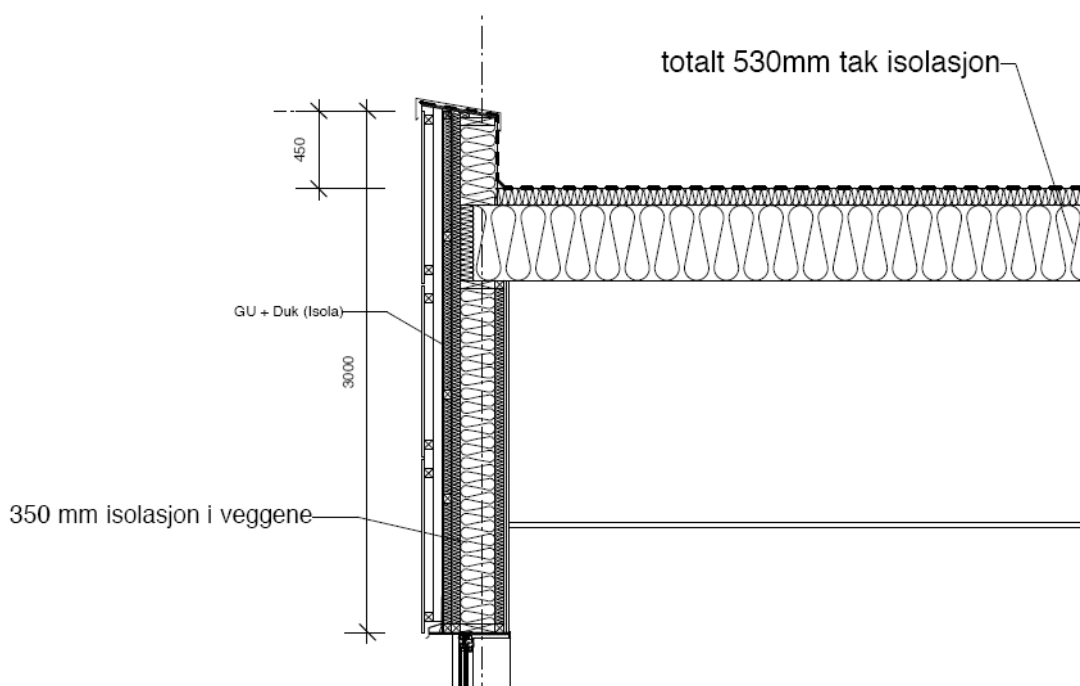
Ytterveggen er bygget opp som en konvensjonell bindingsverksvegg med 20 cm isolasjon, men har 5 cm utføring både utvendig og innvendig, se Figur 91. I tillegg er det 50 mm murplate, før enten utvendig forblending eller luftet pussystem. Vinduene er trukket inn så de er ca. i flukt med utsiden av bindingsverket, dvs. at de står ca. 100 mm inn i isolasjonslaget som totalt er på 350 mm. Dette gir en god kuldebroverdi, men også et dypt sålbenkbeslag. For å redusere lekkasjefare gjennom sålbenkbeslaget er det montert en ekstra membran under, som fører eventuelt lekkasjevann ut i luftesjiktet til kledningen/forblendingen. Vindtettsjiktet er utført med en kontinuerlig vindtettsduk, som er tapet og klemt på vinduene. Vindtettsduken er meget dampåpen og gir gode uttørkingsmuligheter utover. Dampsperrer er trukket 50 mm inn i isolasjonssjiktet, for å unngå perforeringer. Det er ca. 150 mm isolasjon utenfor dekkeforkanter, som vist på Figur 92. Utkraget dekke i 3. etasje er isolert med 400 mm isolasjon som gir en U-verdi på 0,09 W/m²K.

Yttertakskonstruksjonen består av prefabrikerte lett-takselementer med en isolasjonstykkelse på 430 mm. I tillegg er det 100 mm kontinuerlig isolasjon med fall ovenpå lett-takselementet, dvs. totalt 530 mm isolasjon. Konstruksjonen er utført som kompakttak (uten lufting). Pga. blant annet bærende stålelementer i lett-takskonstruksjonen, er isolasjonsevnen i konstruksjonen lavere enn sammenlignet med kontinuerlig isolasjon (kompakt tak) eller alternative trekonstruksjoner (med samme isolasjonstykkelse).

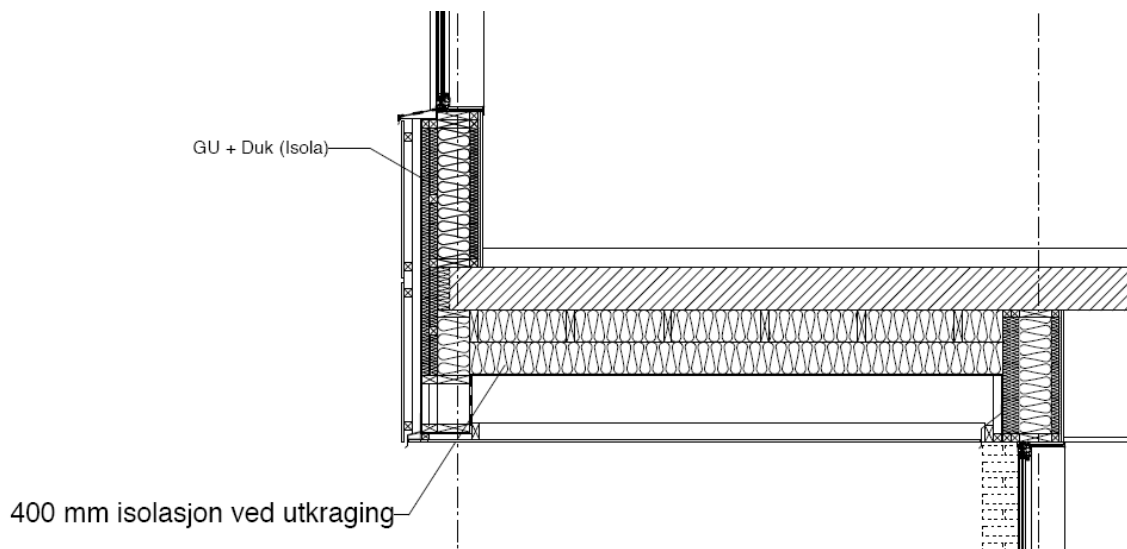
I dette prosjektet har det vært stort fokus på å få både innvendig dampsjikt og utvendig vindspærresjikt kontinuerlig, og at alle brudd/perforeringer tettes omhyggelig. Bortsett fra det prefabrikerte taket har skolen blitt plassbygget. Det har ikke blitt brukt telt under byggeprosessen, men stillasene har vært værbeskyttet. Både byggeprosess og byggemetode må sies å være relativt konvensjonell, bare med noe mer isolasjon enn i et vanlig bygg og mer fokus på å redusere kuldebroer og luftlekkasjer. U-verdier, normalisert kuldebroverdi og lekkasjetall for Marienlyst skole er oppsummert i Tabell 3.

Tabell 3 U-verdier for ulike bygningsdeler, samt normalisert kuldebroverdi og lekkasjetall.

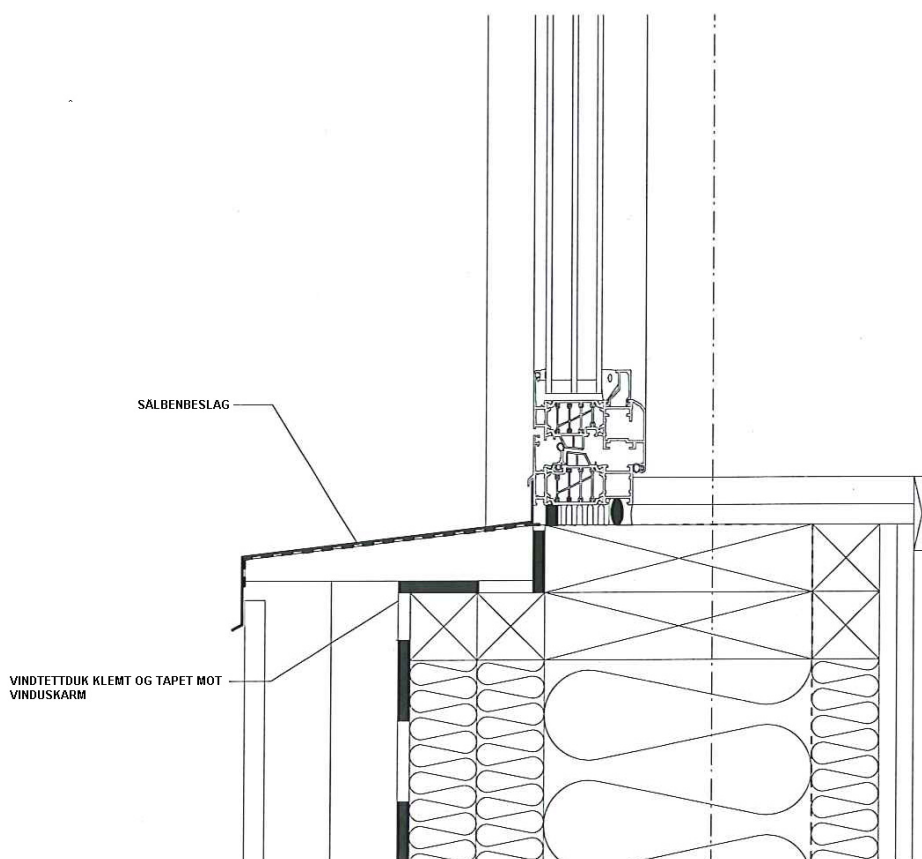
	Ytelse	Løsning
Yttervegg	$U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Bindingsverkkonstruksjon, med 198 mm vegg med 50 mm innvendig og utvendig utføring. I tillegg 50 mm murplate før teglkledning eller luftet pusskledning.
Yttertak	$U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	Kompakttak med 430 mm lett-takselementer + 100 mm kontinuerlig isolasjon, papptekking.
Gulv på grunn	$U = 0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$	Ca. 850 mm løs leca + EPS isolasjon i randsonen.
Vinduer	$U = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$	Vinduer og glassfelt med 3 lags ruter med argon og noe krypton, varmkant. Metallkarmer.
Dører	$U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	Godt isolerte ytterdører.
Normalisert kuldebroverdi	$\psi'' < 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$	Alle detaljer er nøye prosjektert og kuldebroberegninger er gjort for alle sentrale detaljer.
Lekkasjetall	$N50 < 0,6 \text{ ach}@50 \text{ Pa}$	Kontinuerlig damp- og vindspærresjikt, prosjekterte detaljer, god KS byggeprosess.



Figur 91 Overgang yttervegg/yttertakk. På figuren vises det vindtetting med GU + vindtettduk, men GU-platen ble i slutfasen av prosjekteringen fjernet, blant annet for å få bedre uttørkingsmuligheter.



Figur 92 Overgang yttervegg/dekkeforkant og utkraget del av tredjeetasje.



Figur 93 Detalj av vindusinnsetting.

6.3.1.4 Enebolig på Skøyen i Oslo



Villa Stoknes er en enebolig på Skøyen i Oslo bygget etter passivhusstandarden (NS3700). Boligen har et bruksareal på 185 m² fordelt over to etasjer pluss en mindre hems. Eneboligen rommer også en utleieenhet med egen inngang. Boligen ble ferdigstilt i 2009-2010. Arkitekter har vært medplan arkitekter as i samarbeid med byggherren Stein Stoknes. Utførende for tømmerarbeid har vært

byggmester Jo Toftdal, og Norsk Massivtre AS har vært leverandør av bæresystemet i massivtre. SINTEF Byggforsk har vært rådgiver på energi og utforming av konstruksjoner.³³

Eneboligen har en enkel og kompakt bygningskropp. Boligen har et forenklet vannbårent anlegg med radiatorer og noe gulvvarme. Bygget ventileres med et ventilasjonsaggregat plassert i vaskerom, som har motstrømsvarmeveksler med ca. 80 % varmegjenvinning. Bygget har vakuumsolfangere på tak, med elektrisitet brukt som spisslast. Det er planer om å installere en effektiv vedovn i stue som ekstra varmekilde i kalde perioder. Simulert oppvarmingsbehov er på 14,7 kWh/m²år, som er under kravet til passivhus i NS 3700. Totalt beregnet levert energi er på 76 kWh/m²år.

Villa Stoknes har gulv på grunn, og bærende yttervegger, etasjeskillere og yttertak i massivtre, se Figur 94. Tykkelsen på massivtreet er dimensjonert ut fra bæreevne og har derfor relativt slanke dimensjoner sammenlignet med andre massivtreprosjekter. I større vindusåpninger er massivtreet forsterket med ståldragere. Gulv på grunn er oppbygget med 400 mm EPS, ca. 100 mm påstøp. Ovenpå det er det en sveiset og lufttett membran, 50 mm isolasjon og en flytende tregulvkonstruksjon, se Figur 98.

Ytterveggen er oppbygget med 85 mm massivtre, en dampbrems som også fungerer som det kontinuerlige lufttettesjiktet, et kontinuerlig sjikt med 350 mm kompakt mineralull festet i massivtreelementet, samt en utvendig luftet trekledning. Merk at det ikke brukes utvendig vindtettesjikt. Isolasjonssystemet som er brukt er godkjent uten bruk av vindtettesjikt. Yttertaket er i prinsipp bygget opp som ytterveggen, men har 380 mm kompakt isolasjon. Det er dessuten en vanntett membran ovenpå isolasjonslaget, før lufting og trekledning. Det er brukt kjerneved i furu for å sikre god levetid på takkledningen.

Det lufttette sjiktet for å nå lekkasjetallskravet er dampbremsen som er ført kontinuerlig over bæresystemet i massivtre. Alle gjennomføringer og overgang til dører og vinduer ble tettet nøye. Det var bekymring for at de mange skruene for isolasjon og lekter ville føre til luftlekkasjer i dampbremsen. Men målingene viser

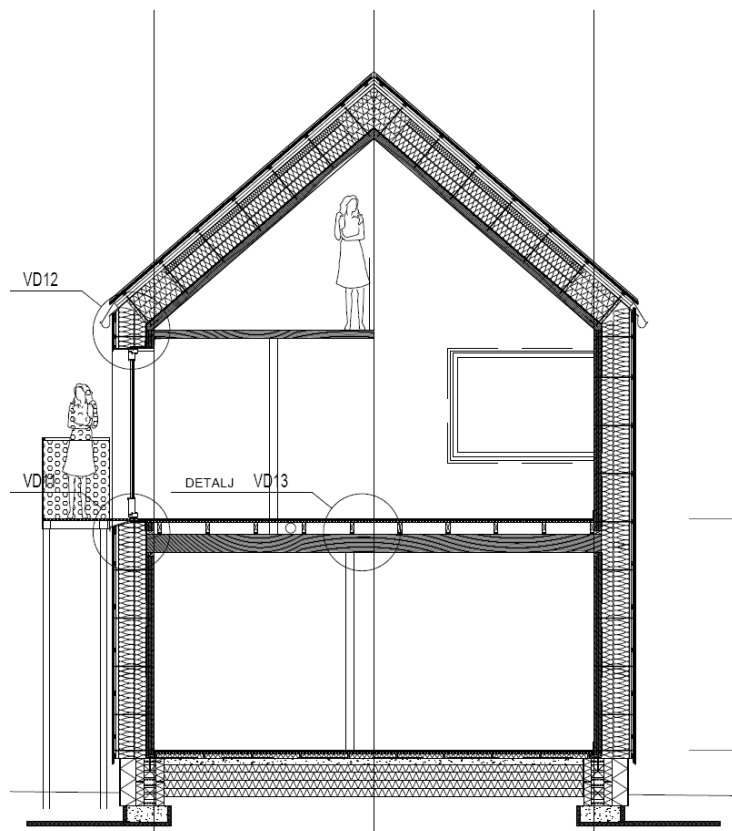
³³ Mer detaljert informasjon om prosjektet og en video av byggeprosessen finnes på Ecobox sin prosjektdatabase: www.arkitektur.no/?nid=177584&pid0=93777&municipality=78108&pid2=84682

lekkasjetall så lavt som 0,3 – dampbremsen tetter altså godt rundt skruhullene. Asfaltmembranen på gulvet ble utført med mansjetter for alle tekniske føringer, for å unngå luftlekkasjer til kultlaget.

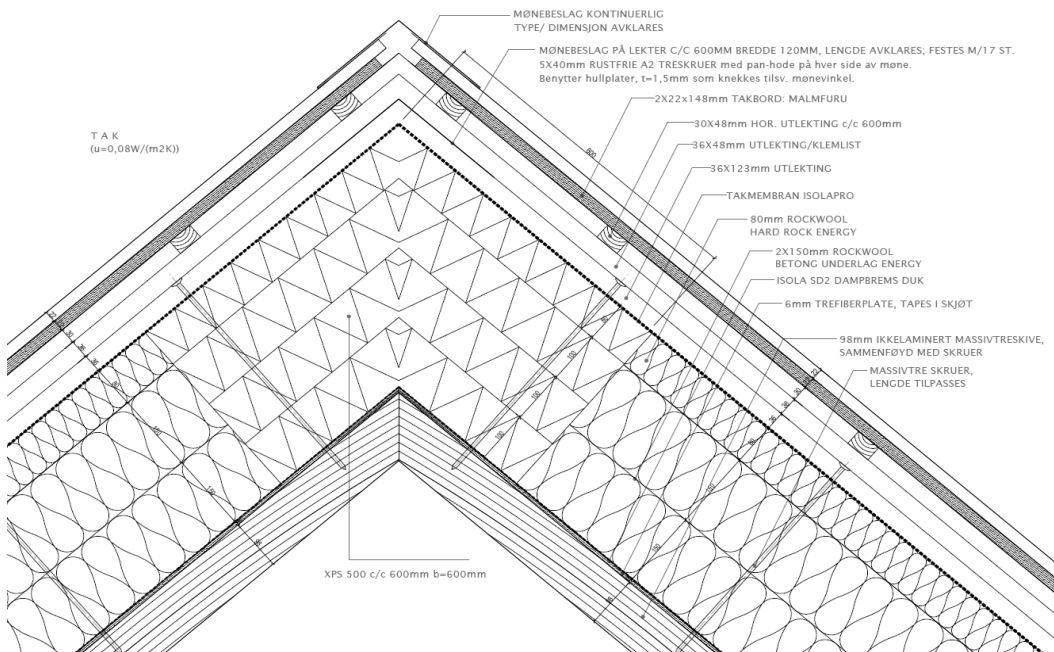
Byggeteknikken her med å sette opp bæresystemet i massivtre og bygge veggen utover vil normalt være en fuktutsatt byggeteknikk. Det ble derfor valgt å sette opp bygget under heldekkende telt. Løsninger og U-verdier, kuldebroverdi og lekkasjetall er oppsummert i Tabell 4.

Tabell 4 U-verdier for ulike bygningsdeler, samt normalisert kuldebroverdi og lekkasjetall.

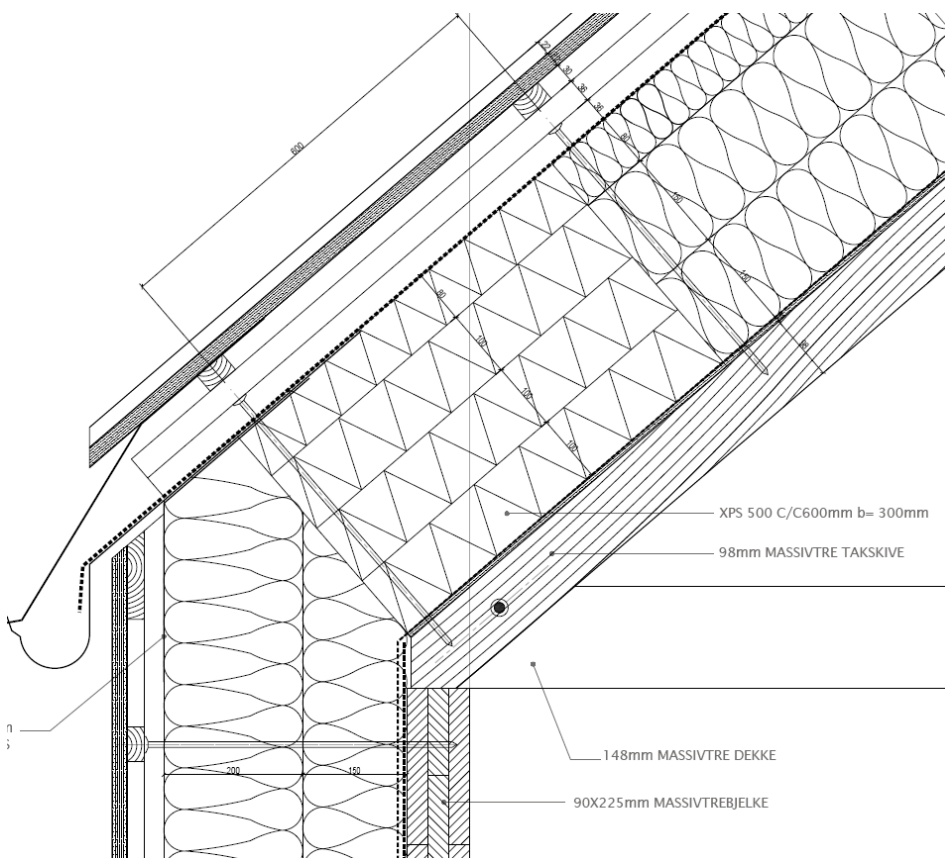
	Ytelse	Løsning
Yttervegg	$U = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$	Bærende massivtre med 350 mm kontinuerlig isolasjon skrudd til massivtreelementet. Utvendig trekledning.
Yttertak	$U = 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$	Bærende massivtre med 380 mm kontinuerlig isolasjon skrudd til massivtreelementet. Utvendig trekledning/taktekking.
Gulv på grunn	$U = 0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$	Gulv på grunn med totalt 450 mm isolasjon.
Vinduer og dører	$U = 0,65\text{-}0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$	3 lags ruter med argon, superspacer og isolert karm. Sertifiserte passivhusdører.
Normalisert kuldebroverdi	$\psi'' < 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$	Prosjekterte detaljer.
Lekkasjetall	$N50 = 0,3 \text{ ach}@50 \text{ Pa}$	Kontinuerlig vindtettesjikt, prosjekterte detaljer, god KS av byggeprosess.



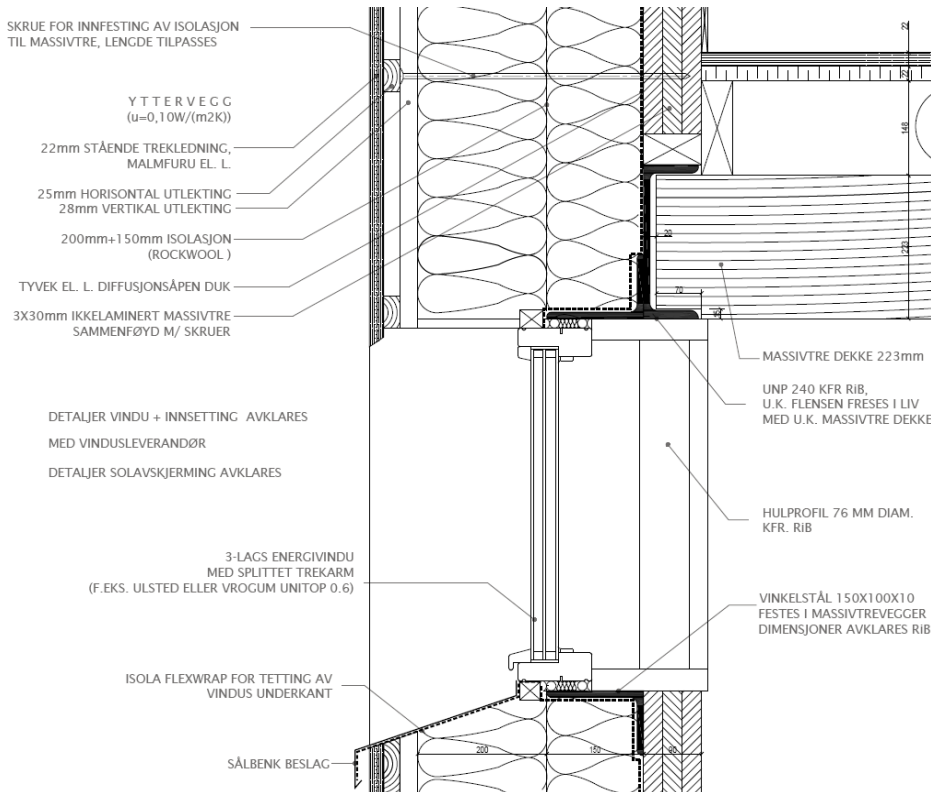
Figur 94 Snitt av hele huset.



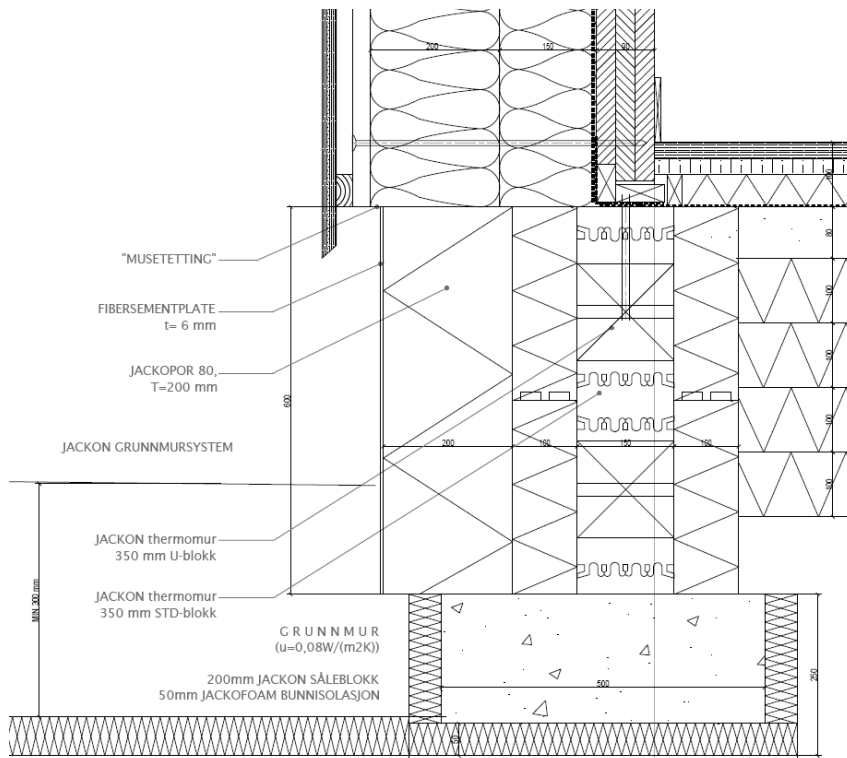
Figur 95 Detalj av takkonstruksjonen ved møne.



Figur 96 Overgang yttervegg/tak.



Figur 97 Detalj av vindusinnsetting og overgang vegg/etasjeskiller.



Figur 98 Detalj overgang yttervegg/gulv på grunn.

6.3.1.5 Rehabilitering av blokker Myhrerenga på Skedsmo



På tettstedet Skedsmokorset øst for Oslo ble alle sju blokker i Myhrerenga borettslag oppgradert etter passivhusprinsippet. Myhrerenga har totalt 168 leiligheter, kun to- og tre roms på hhv. 55 og 68 kvm. Blokkene ble bygget i slutten av 1960-tallet og har tre etasjer pluss uoppvarmet kjeller. Rehabiliteringen var pilotprosjekt i EKSBO og blir fulgt opp videre i forskningsprosjektet REBO om oppgradering av etterkrigstidens blokkbebyggelse³⁴. Arbeidene ble satt i gang i februar 2010 og ble avsluttet sommeren 2011.

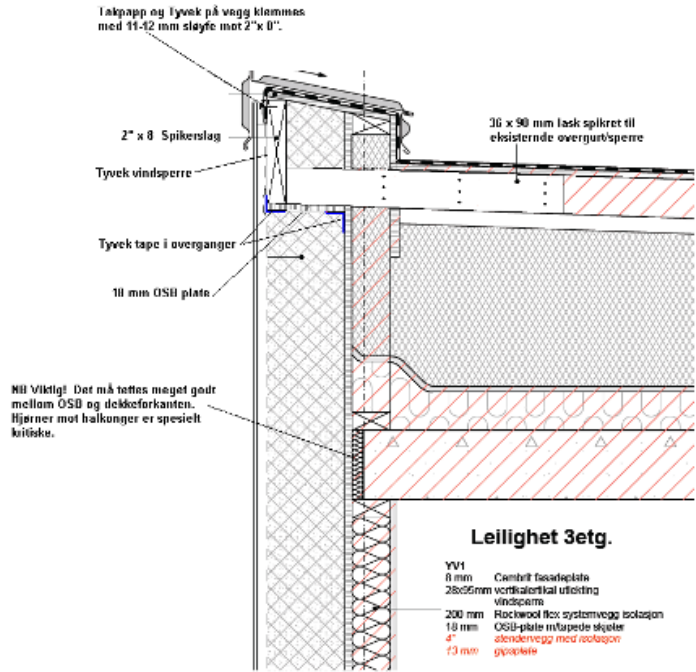
Oppvarmingsbehovet er simulert til å bli redusert fra ca. 200 til 25 kWh/m² per år. Blokkene har fra før vannbåren oppvarming med radiatorer i alle rom og en varmesentral med olje- og elkjel. Denne blir også oppgradert, og det blir installert 44 vakuumsolfangere på nærmeste tak samt fire luft-til-vann-varmepumper som totalt skal levere ca. 70 prosent av varmebehovet. Med dette skal levert totalt energibehov kunne senkes fra ca. 300 til 80 kWh/m² per år. Romoppvarming vil fortsatt skje gjennom radiatorer, men med sterkt redusert behov vil det bli tilstrekkelig med én på stua og én på badet.

Bygningskroppen over kjelleren består av prefabrikkerte betongelementer i dekker, bærende tværr- og gavlvegger og balkonger samt utfyllende trestendervegger i langfasadene. Balkongplatene ble fjernet og erstattet av nye, større elementer på egen bæring som gir plass til kontinuerlig isolering langs fasaden. Eksisterende isolering på 50-100 mm ble utvidet med 100 mm under kjellerdekket og langs kjellerveggene (her var ingen isolasjon fra før), 200 mm rundt ytterveggene og 350-550 mm i takhulrommet. Nye U-verdier blir 0,12 W/(m²K) i langvegger, 0,15 i gavl med ny teglfasade, 0,11 i tak og 0,23 mot kjelleren. For å slippe mye innvendig arbeid, ble de eksisterende stendervegger i de sterkt skadete langfasadene kun åpnet utenfra. Gammel kledning, utlekting og vindtetting ble fjernet og eksisterende 100 mm isolasjon utbedret. På eksisterende stenderverk ble det så montert en ny diffusjonsåpen fasadekonstruksjon. Denne består av OSB-plater med teipete skjøter og overganger, 200 mm stive mineralullplater og ny luftet platekledning. Lasten fra kledning og utlekting blir i hovedsak overført opp til gesimsen i forlengelsen av den eksisterende oppførete takkonstruksjonen, slik at det kun blir minimale punktvisse kuldebroer i fasaden.

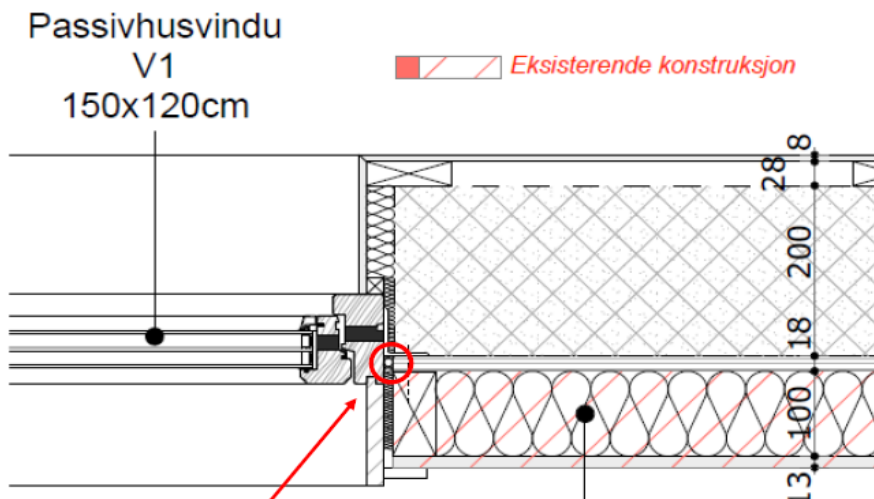
³⁴ For mer informasjon se <http://www.sintef.no/Projectweb/Eksbo/>. Mest oppdatert er Klinski, Dokka og Haavik, *Pilotprosjekt zur kostengünstigen Modernisierung von Wohnblöcken nach dem Passivhausprinzip i Norwegen*, bidrag på tysk og tsjekkisk i Conference Proceedings til Pasivni Domy i Brno 2010.

Vinduene ble plassert sentralt i isolasjons-sjiktet og med stålvinkler festet i OSB-plater og eksisterende stendere. Fugene ble teipet med klebebånd. Lufttettingsjiktet dannes av betongdekkene mot kjeller og tak, diffusjonsåpen duk mellom gavlelementer og ny isolasjon samt OSB-plater i langfasadene. Disse ble også tettet mot eksisterende betongkonstruksjoner i vegger og dekker.

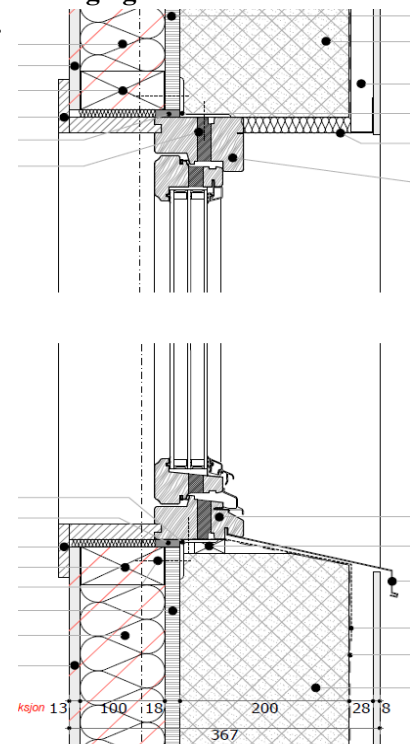
OSB-platene har både avstivnings-, innfestings, lufttettings- og dampbremsfunksjon. Det hadde vært vanskelig å fjerne den gamle, stedvis skadete dampsperrer av plastbelagt papp bak eksisterende isolasjon. For å kunne slippe det, var det viktig å etablere et nytt, reelt lufttett sjikt med dampdiffusjonsmotstand betydelig lavere enn vanlig plastfolie, men samtidig tilstrekkelig høyt for å hindre for mye diffusjon gjennom tilleggisolasjonen. S_d -verdien til OSB-plater ligger på riktig nivå.



Figur 99 Overgang vegg/tak med forlenget overgurt for å overføre last fra kledning til oppført tretak. Lufttetting OSB-betong og OSB-rundt gesimskassa-taktetting.



Figur 101 Vindusplassering i vegg. Innfesting i OSB-plater og eksisterende stender, lufttetting mot OSB, isolasjon mot karm. (Arkitektskap AS)



Figur 100 Vertikalsnitt vindu i vegg.

6.3.2 Prosjekt sertifisert i henhold til Passivhusinstituttets kriterier

6.3.2.1 Enebolig på Sørumsand



I 2007 ble det ferdigstilt en enebolig med utleieenhet på Sørumsand, som i 2009 ble sertifisert av Passivhaus Dienstleistungs GmbH i Tyskland etter passivhusinstituttets kriterier. Husbanken støttet pilotprosjektet, og byggherren kalte det NorONE med eget nettsted <http://www.norone.info/>. Huset ble prosjektert av Stephan Blohm i passivbau^o i Kaltenkirchen i Tyskland³⁵. Den norske arkitekten Torild Grønvold har bidratt med noen skisser, spesielt om den asymmetriske takutformingen som gjør det mulig å ha vinduer mot sør også på loftet. Byggherren Harald Ringstad var ansvarlig selvbygger overfor kommunen og bidro mye både til detaljutforming og koordinering mellom lokale og tyske håndverkere, leverandører og prosjekterende. SINTEF Byggforsk var involvert som rådgiver for teknisk utstyr³⁶.

”NorONE” er en relativ stor og tradisjonell enebolig med hovedplan og loftsetasje pluss utleieleilighet i underetasjen. Begge boenheter har livsløpsstandard etter Husbankens regler. Utleiedelen er på hele 80 kvm, og bygningens totale bruksareal er ca. 340 kvm. Etter passivhusinstituttets arealregler, som gjaldt for sertifiseringen, er det imidlertid bare 322 m² oppvarmet areal, noe som gjorde det vanskeligere å få sertifikat. Tillufta til et balansert ventilasjonsanlegg ledes gjennom en jordvarmeveksler, hvor den forvarmes om vinteren og avkjøles noe om sommeren. Det gjenværende varmebehovet for romoppvarming og varmt forbruksvann dekkes av gråvann-varmeveksler, vakuumsolfanger, luft-til-vann-varmepumpe samt el-kolbe til spisslast. Etter byggherrens ønske ble det installert både vannbåren gulvvarme og vedovn. Han la også vekt på energieffektivt utstyr og belysning. Ambisjonen for å bli selvforsynt med strøm lot seg ikke gjennomføre ettersom byggherren ikke fant tilstrekkelig finansiering for solceller på taket.

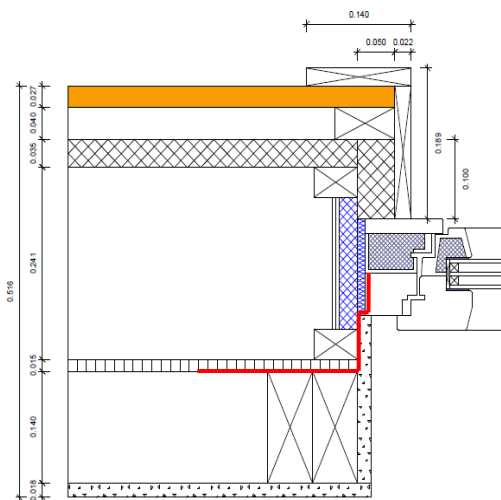
Tore Wigenstad i SINTEF Byggforsk varslet tidlig at systemet er altfor komplekst og har for mange komponenter for å kunne være kostnadseffektivt. I praksis viste det seg at mye måtte justeres før styringen fungerte godt. Det norske ventilasjonsaggregatet var overdimensjonert og ble erstattet av et bedre tilpasset tysk produkt som også har høyere grad av varmegjenvinning. Ifølge byggherren fungerer nå alt utmerket.

³⁵ www.passivbau.net

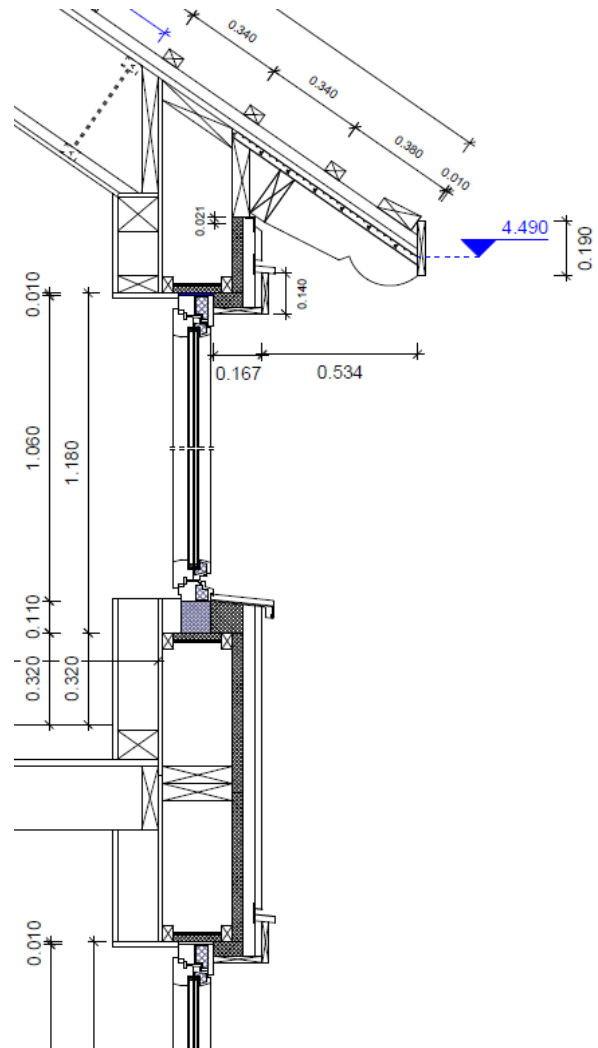
³⁶ For mer informasjon se Klinski, Halleraker og Ringstad, *Det første sertifiserte passivhus i Norge*, bidrag i Conference Proceedings til Passivhus Norden i Trondheim 2008, som kan lastes ned her: <http://www.passivhusnorden.no/foredrag/conference%20proceedings.pdf>.

Underetasjen er bygget av LECA-elementer; vegger har innvendig tilleggsisolasjon. Alle konstruksjoner over dekket til utleieenheten er prefabrikkerte trelementer. Veggene har to lag innblåst celluloseisolasjon (241 + 140 mm) mellom hhv. I-stendere og vanlige bærende stendere. Mellom lagene er det plassert 15 mm OSB-plater. Skjøter og overganger mot vinduer og andre bygningsdeler er teipet med lufttett klebebånd. Innvendig kledning er gipsplater. Utvendig brukes 35 mm porøse trefiberplater som vindtetting og tilleggsisolering samt luftet liggende trepanel. Trefiberplatene føres helt inn til vinduskarmen for å minimere kuldebroer. Av samme grunn er vinduene plassert lenger inn i vegg enn vanlig i Norge. I takelementene er det innblåst 406 mm celluloseisolasjon mellom I-bjelker. Innvendig begrensning er gipsplater direkte på 18 mm OSB-plater. Takteking er luftet tegl på 22 mm OSB. U-verdi er 0,104 W/(m²K) i vegg og 0,102 i tak.

Alle elementer er produsert av Holzbau Brüggemann i Neuenkirchen i Tyskland, som også leverte elementene og monterte dem på byggeplassen i Norge³⁷. Elementene kom med innvendig åpent bærende stenderverk, som ble kledd og isolert etter at installasjoner var på plass. De første norske passivhusvinduer fra NorDan var allerede tilgjengelig for prosjektet, mens sertifiserte balkong- og inngangsdører måtte leveres fra Tyskland. Lufttettingssjiktet blir dannet av sementgolv og innvendig veggpuss i underetasjen samt OSB-plater i vegger i øvre etasjer og i tak. Konstruksjonen i treveggene er diffusjonsåpen, mens de indre OSB-plater i taket har påført dampsperre.



Figur 102 (t.v.) Vindusplassering i vegg. Rød linje markerer lufttetting mellom OSB og karm. Porøse trefiberplater føres på karmen utvendig. (Holzbau Brüggemann)



Figur 103 Overgang mellom vegg og hhv. etasjeskiller, vindu og tak. Stiv isolasjon understøtter vinduet over I-bæreren i hovedisolasjonslaget. (Holzbau Brüggemann)

³⁷ www.holzbau-brueggemann.de

6.3.3 Vurdering

Valgte konstruksjonsløsninger varierer fra relativt kjente konstruksjoner (Marienlyst, Løvåshagen, Storøya) til mer nye/innovative løsninger, sett på bakgrunn av norsk byggetradisjon (Myhrerenga, Skøyen, Sørumsand). I alle prosjekter har det vært fokus på god og fuktsikker byggeprosess, enten ved å bygge under telt, med værbeskyttet stillas eller ved å bruke prefabrikkerte elementer. Likevel dominerer plassbygging i Norge også på passivhus (som på konvensjonelle bygg), og prefabrikasjon er fortsatt relativt uvanlig (Sørumsand). Valg av konstruksjonsløsning må alltid ses i sammenheng med valgt byggemetode/byggeprosess. Velger man å bygge seg fra innsiden og utover (Skøyen, Myhrerenga, delvis Marienlyst) må man ha en eller annen form for værbeskyttelse, enten i form av telt (Skøyen) eller innebygget/værbeskyttet stillas (Myhrerenga, Marienlyst).

Konstruksjonene varierer fra løsninger med mye treverk (Marienlyst) til løsninger med middels mye treverk (Løvåshagen, Storøya, Skøyen, Sørumsand) til bygg med lite treverk (Myhrerenga). Det er gode argumenter for å bruke så lite treverk som mulig, både for slankheten til konstruksjonen (plassbesparende), få lav U-verdi med minst mulig isolasjon og også fuktmessig (med minst mulig behov for uttørring av treverk).

Utførelsen av det innvendige lufttettings/dampsperre/dampbremsjiktet varierer også i casene fra konvensjonell norsk løsning med dampsperre i plastfolie (Løvåshagen, Marienlyst, Storøya) til mer (etter norsk tradisjon) uvanlige dampbremsløsninger (Skøyen, Myhrerenga, Sørumsand). Mange norske passivhus har fokus på utvendig kontinuerlig vindtettesjikt for å klare lekkasjetallkravet (0,6), f.eks. Marienlyst, Storøya og Løvåshagen. Med norsk byggetradisjon er det ofte lettere å få til et kontinuerlig utvendig vindtettesjikt enn kontinuerlig innvendig lufttetting på basis av et dampsperrsjikt. Men med nye (for norske forhold) konstruksjonsløsninger er det ofte aktuelt å plassere det kontinuerlige hovedlufttettesjikt innvendig (dampsperre/dampbrems), slik det er vanlig også i passivhus både i Sverige, Tyskland og Østerrike.

Bortsett fra Løvåshagen³⁸, er i alle prosjekter vinduene dratt relativt langt inn i vegglivet. Dette gir lave kuldebroverdier og kan være gunstig mht. mindre fare for utvendig kondens og solbelastning i varme perioder. Men dette krever at man også har ganske dype sålbenkbeslag under vinduer, som av erfaring ofte er utsatt for lekkasjer. I slike tilfeller bør man ha en ekstra membran under sålbenkbeslag for å fange opp eventuelt lekkasjevann, slik man har gjort på både Marienlyst, Myhrerenga og Villa Stoknes på Skøyen.



Figur 104 Bygging under telt: Storøya og Skøyen. Foto: HENT as og Stein Stoknes.

³⁸ Dette gjelder også mange andre norske passivhusprosjekter, som ikke er vist i rapporten.

7 Konstruksjonsløsninger egnet for passivhus i Norge

Ulike tradisjoner, ulikt klima – hva kan overtas, hva må tilpasses?

Det er tydeligvis ulike tradisjoner, både konstruktivt og i byggeskikk generelt i de undersøkte land, som gjør det delvis vanskelig å ”importere” løsninger direkte til Norge uten først å ha vurdert egnetheten under ulike klimatiske forutsetninger. Det er også ulike fokusområder i den faglige diskusjonen i de forskjellige land. Svenske løsninger med bruk av EPS og stålprofiler i trekonstruksjoner med mineralull er et forsøk på å minske fuktproblemer. Disse blir selvsagt diskutert også i andre land, men nevnte løsninger brukes ikke i Mellom-Europa eller Norge. Det samme gjelder ekstra isolasjon over et luftet undertak eller kaldt loft for å motvirke kondensfare. I Sverige, Tyskland og Østerrike er grunnmurløsninger lite brukt, mens større betongfundamenter og tykke betongplater er utbredt. Tyskland og Østerrike har strenge krav til sperrer mot oppstigende fukt fra grunnen. Bare i Norge legges det stor vekt på vindtetting, og bare i Norge diskuteres konveksjon i isolasjonssjiktet. Dette kan forklares med større klimatiske utfordringer, mens mange andre forskjeller ikke har en slik entydig årsak.

I de fleste regioner i Tyskland og Østerrike er murhus og betongkonstruksjoner tradisjonelt dominerende. De siste årtier har det imidlertid nettopp i disse land skjedd en betydelig utvikling i den delen av byggebransjen som bygger i tre – både med hensyn til moderne og regionalt forankret arkitektur og når det gjelder bygging med prefabrikkerte elementer samt bruk av nye konstruksjoner og materialer. Mindre tømmerbedrifter har her ofte sett en mulighet til å finne en større plass på marked, og i mange tilfeller går interessen for nyskapende arkitektur, lavt energibehov og miljøvennlige materialer hånd i hånd, både blant prosjekterende, utførende og huskjøpere/byggherrer. Konstruksjoner i tre har en langt større markedsandel i lavenergi- og passivhus enn i vanlige bygg i tyskspråklige land. Samtidig er det i mange prosjekter valgt diffusjonsåpne løsninger, gjerne i kombinasjon med tre- eller cellulosefiberprodukter eller annen isolasjon fra fornybare kilder. Slike konstruksjoner er blitt vanlig i disse land, men den høye andelen har – i hvert fall i Østerrike – også en årsak i at støtteprogrammer for boliger i delstatene fremmer ”økologisk bygging” i tillegg til lavenergi- og passivhus (pluss flere andre kvaliteter som universell utforming).

Teknisk sett kan mange av de svenske, tyske og østerrikske løsningene også anvendes i Norge, uten altfor store endringer. Noen løsninger virker komplisert og/eller fuktteknisk ikke meningsfylt, som å blande EPS og mineralull eller å bruke stålprofiler i trevegger. For sokkel og gulv på grunn er det generelt lite å hente i andre land, hvis ikke hele konstruksjonen skal endres. Plassering av vinduer og valg av vindtettingsløsninger er områder hvor en større tilpasning til klimatiske forutsetninger på byggestedet er påkrevd, det vil si at løsninger som (f.eks. i en gitt kombinasjon av materialer) muligens kan fungere i moderat norsk innlandsklima, ikke vil kunne anbefales på sterkt værutsatte steder uten vesentlige forbedringer.

Hvor kan det lufttette sjiktet plasseres?

I passivhus er det strenge krav til lufttetthet. Et dokumentert lekkasjetall skal ikke være høyere enn 0,6 luftvekslinger per time. Med god prosjektering og utførelse er det vanligvis ikke vanskelig å oppnå et så lavt lekkasjetall. Alle overganger og gjennomføringer må planlegges og eventuelt detaljeres. En viktig forutsetning er å etablere minst ett kontinuerlig, uavbrutt lufttett sjikt rundt hele bygningskroppen. Det er ikke tilstrekkelig å ha to *nesten* lufttette sjikt med noen svake punkter. Lufttetthetskravet kan oppfylles med bare ett kontinuerlig og tett luftperresjikt. Å etablere to kontinuerlige lufttette sjikt vil imidlertid gi en ekstra ”forsvarslinje” i tilfelle det primære sjiktet svikter i løpet av byggets levetid.

I Norge legges det tradisjonelt mye vekt på utvendig lufttetting, det vil si *vindtetting*, og i likhet med vanlige nye trebygninger i dag blir det også i de fleste norske passivhus brukt vindsperra som det primære lufttettingssjiktet. Med primært lufttettesjikt menes det lufttette sjikt man søker å montere som et sammenhengende tettesjikt. Utenlandske passivhus løser derimot lufttettingen nesten utelukkende med et innvendig sjikt, i trehus kombinert med *dampbrems/dampsperre*. Ut i fra lufttettingskravet i seg selv, er begge løsningsvarianter mulig. Hva som er best egnet, kan sånn sett avgjøres ut fra praktiske hensyn

(hvordan kravet lettest kan oppnås i en gitt konstruksjon). Både innvendige og utvendige tettesjakter har imidlertid flere andre funksjoner som ikke kan neglisjeres.

Vindsperras hovedfunksjon i det ferdige bygget er å hindre anblåsing, dvs. at luft utenfra strømmer inn og gjennom isolasjonen og reduserer effekten av denne. Denne funksjonen må uansett ivaretas, også hvis det primære lufttettingssjiktet ligger innvendig. Dessuten har vindsperrasjiktet en viktig beskyttende funksjon i byggeperioden, i tillegg til at den også evt. kan bidra til å gi veggene tilstrekkelig sidestivhet (ved bruk av plateprodukter).

Hovedfunksjonen til en innvendig luftsperre (dampbrems/dampsperre) er å hindre at fuktig inneluft kan strømme ut i de kaldere delene av isolerte ytterkonstruksjoner. Samtidig skal sjiktet ha tilstrekkelig vanndampmotstand for å hindre at det kan diffundere mer fukt inn i konstruksjonen enn det som på en sikker måte kan tørke ut. Ved normal bruk i boliger kan det transporteres mer fukt ut i konstruksjonen i form av luftlekkasjer gjennom noen få utettheter enn det som kan trenge ut i form av diffusjon gjennom store flater. Lufttettingfunksjonen er derfor avgjørende for å avverge fuktskader i konstruksjonen og spesielt viktig i taket, hvor det normalt er innvendig luftovertrykk. Både lufttetting og dampmotstand må være på plass, også hvis det primære lufttettingssjiktet ligger utvendig.

Et viktig argument for å velge vindsperra som hovedlufttettingssjikt er at det ved vanlig plattformkonstruksjon og bindingsverkvegger er vanskelig å føre veggens innvendige luft/dampsperre kontinuerlig rundt bjelkelagets ytterkanter. Det er mulig å få det til, hvis en bruker rems. Selv om remsen er diffusjonsåpen, vil det likevel være en viss risiko for uønsket kondensering ved kalde deler i bjelkelagskonstruksjonen. Grunnen er at inneluft kan strømme opp i bjelkelaget og ut mot ytterveggen, fordi det i praksis er vanskelig å få etablert et helt lufttett sjikt over hele etasjen. Selv om lufttettheten er løst utvendig, er altså fuktsikkerheten ikke helt ivaretatt. I så tykke vegger som er påkrevd i passivhus, burde det imidlertid være enkelt å endre konstruksjonen slik at bjelkelaget slutter i ”indre del” av isolasjonssjiktet. I så fall kan det dannes et gjennomgående innvendig lufttett lag med rems som er effektiv mot både luftlekkasjer og diffusjon innenfra og ut. Et eksempel med ”boks-bærere” er vist i Figur 8.

I så måte kan et innvendig lufttett sjikt være en bygningsfysisk solid konstruksjon. På den andre siden er det reelle vindtettingsbehov sterkt avhengig av vindbelastningen på byggestedet. Med innvendig hovedlufttetting kan det derfor i noen situasjoner vurderes enklere løsninger for vindtetting (se under i avsnitt ”hvilke materialer kan velges”). Den generelle anbefalingen er likevel å forsøke å etablere både vindsperre- og dampsperre(dampbrems)sjiktet som kontinuerlige lufttette sjikt.

Hvor diffusjonsåpen kan konstruksjonen være?

Veiledning om tekniske krav til byggverk, § 13-18, beskriver per 8. mai 2011 bare én preakseptert ytelse som fuktteknisk løsning for yttervegger og tak. Løsningen forutsetter et ”luft- og dampnett sjikt ... på varm side” med diffusjonsekvivalent luftlagstykkelse (s_d -verdi³⁹) på minst 10 meter samt et ”mest mulig dampåpent” vindsperrasjikt på utsiden. Selv svært tynn PE-folie har betydelig høyere s_d -verdi enn 10 m, slik at en her alltid er på den sikre siden med hensyn til veiledning til TEK. Samtidig kan en se at ordinær 0,20 mm tykk PE-folie med s_d -verdi på hele 90 m har lang større vanndampmotstand (s_d -verdi) enn det som strengt tatt er nødvendig for å tilfredsstille minstekravet i veilednings preaksepterte ytelse.

Å velge mye tynnere plastfolie vil imidlertid medføre større fare for skader og hull i dette viktige tettesjiktet. Det bør derfor normalt ikke være noe alternativ å velge for tynn folie. I aktuelle tykkelser finnes det

³⁹ S_d -verdien til et materialsjikt angir hvor tykt et stillestående luftlag må være for å ha samme diffusjonsmotstand som materialsjiktet.

imidlertid knapt materialer med s_d -verdi bare litt over 10 m. Konstruksjoner som er vist i nyere tyske og østerrikske prosjekter og veiledninger er ofte såkalt diffusjonsåpne. Det innvendige lufttettesjiktet har da betydelig lavere dampmotstand enn polyetylenfolie. Typisk s_d -verdi for slike folier, papp eller platematerialer er 2 - 5 meter. Under betegnelsen *dampbremsere* ble slike luftsperrer i de siste årene også markedsført i Norge. I sentral-Europa brukes slike produkter imidlertid i mye større grad, også i vanlige trehus. Mange av de undersøkte konstruksjonene er preaksepterte løsninger bl.a. i Tyskland og kan fungere godt som et innvendig sperresjikt generelt i vegger og tak.

Slike, mer diffusjonsåpne konstruksjoner kan tørke ut begge veier, mens det er hevdet at en polyetylenfolie kan være en "fuktfelle". Problemet oppstår først og fremst i "vanskelige" tilfeller med ikke helt diffusjonsåpen utvendig begrensning⁴⁰, eller for eksempel i fritidsboliger og andre bygninger som ikke holdes fullt oppvarmet under hele fyringssesongen. Riktig utført – og kombinert med tilstrekkelig diffusjonsåpen vindtetting – viser mange års erfaringer at bruk av polyetylenfolie med dens høye dampmotstand gir god sikkerhet mot fuktskader i isolerte, oppvarmede bygninger. Bruk av mer dampåpne innvendige sperresjikt medfører også at større deler av yttervegger og tak kan bidra til utjevning av døgn- og sesongbaserte svingninger i innendørs luftfuktighet, avhengig av bl.a. konstruksjonenes oppbygging, fuktabsorpsjonsevne mm. En slik "buffereffekt" kan være nyttig i enkelte typer bygninger. I passivhus med balansert ventilasjon har denne effekten mindre betydning, men kan til en viss grad bidra til at ventilasjonsraten kan holdes på moderat nivå.

Mange såkalte "dampbremsere" har varierende dampmotstand innenfor visse fuktgrenser. Dette gjelder for de fleste materialer som har en vanndampgjennomgang. Evnen til vanndampgjennomgang (diffusjon) varierer med fuktnivået. Lavt fuktnivå gir størst motstand, høy fuktnivå gir lavest motstand. For eksempel har dampbremsappen "pro clima DB+", som er brukt i mange tyske prosjekter, en s_d -verdi på 4 m om vinteren, mens verdien synker til bare 0,6 m i uttøringsperioden om sommeren. Også trevirke og trebaserte materialer som OSB-plater har noe høyere dampmotstand ved tørre omgivelser vinterstid og noe lavere dampmotstand om sommeren, når det er mer fukt i konstruksjonen, som da lettere kan tørke ut mot romsiden. En videreutvikling er fuktadaptive dampbremsere med variabel s_d -verdi mellom f.eks. 0,25 og 10 m. En slik "dampsperre med uttøringsmulighet" kan være aktuell i enkelte spesielle tilfeller. Et eksempel som kan diskuteres, er flate, kompakte tak⁴¹. Når taktekningen blir oppvarmet av sola, vil eventuell fukt i taket bli "presset" nedover mot dampsperra, som "åpner seg" og slipper fukten ut til rommet under. Ved bruk av slike produkter må det gjennomføres en egen fuktdimensjonering.

En viktig forutsetning for å gi de isolerte konstruksjonene en god sikkerhet mot framtidige fuktskader, er å bruke et diffusjonsåpent vindsperrsjikt. Det er en fordel at materialet har så lav dampmotstand som mulig, helst en s_d -verdi lavere enn ca. 0,5 m. Lav dampmotstand gir raskere uttørring av byggfukt og eventuell fukt som kommer inn i konstruksjonen senere og reduserer faren for opphopning av eventuell fukt fra luftlekkasjer innenfra. I tillegg kan det være en fordel at materialet har evnen til å ta opp og lagre fukt midlertidig. Vindsperra kan da ta opp fuktighet i kritiske perioder med store fuktpåkjenninger og senere gi fra seg fuktigheten igjen i tørre perioder.

Konstruksjonen totalt kan være betydelig mer diffusjonsåpen enn løsningen som er beskrevet under preaksepterte ytelser i veilederen til TEK. Forutsetningen er da at hele konstruksjonen er gjennomtenkt, og det må være gjennomført en fuktdimensjonering som gir tilstrekkelig dokumentasjon på at løsningen er

⁴⁰ Det kan f.eks. være fordi en enkel vindsperre har noe høy s_d -verdi, fordi en har valgt "dobbel vindtetting" med plater pluss rullprodukt, som i sum har høy s_d -verdi, eller fordi kledning/taktekking ikke er tilstrekkelig luftet.

⁴¹ Se f.eks. Kolbjørn Mohn Jenssen, *Fukt og mikrobiologiske målinger i takkonstruksjoner*, Oslo 2010.

akseptabel. Ulike komponenter må tilpasses hverandre, og aktuelle klimatiske utfordringer på byggestedet må ivaretas.

Lufttetting i våtrom

I våtrom som vender mot uteklima, må membranen også fungere som dampsperre. Membranen eller membransystemet må ha minst like mye vanndampmotstand som det innvendige luft/dampettesjiktet i bygget ellers har (dvs. normalt s_d -verdi på minst 10 m). I slike tilfeller må man ikke ha dampsperre mellom kledning og isolasjon for å unngå at evt. inntrengt fukt havner mellom to forholdsvis dampette sjikt. Det er likevel viktig at det innvendige lufttettesjiktet blir sammenhengende for hele bygget. Det er to muligheter for å løse dette. Alternativ 1 er å integrere membranen i byggets kontinuerlige innvendige lufttette sjikt. I så fall ivaretar membranen alle funksjoner til innvendig luft- og dampetting og må ha lufttette overganger til luft/dampettesjiktet i tilgrensende bygningsdeler. Alternativ 2 er å etablere et lufttettesjikt med lav dampmotstand i veggen. Denne løsning kan være aktuell i veggkonstruksjoner med innvendig krysslekting og inntrukket tettesjikt. Her er det dette inntrukne sjiktet som er en del av byggets kontinuerlige innvendige lufttette sjikt. Dampmotstanden til det inntrukne lufttettesjikt må langs våtrommet være betydelig mindre enn dampmotstanden til membranen, men større enn s_d -verdien til utvendig vindtetting. I dette tilfellet fungerer membranen som dampsperre, mens det inntrukne sjiktet kun ivaretar lufttettingsfunksjonen. I begge alternativer kan fukt som eventuelt er trengt inn, tørke ut utvendig.

Hvilke materialer kan brukes?

Som omtalt ovenfor, er det flere materialer enn polyetylenfolie som kan brukes til innvendig lufttetting, men det er få andre materialer som gir tilstrekkelig dampmotstand i henhold til preaksepterte ytelser i veiledning til TEK. Eksempler på lufttette sikt er OSB-plater eller andre trebaserte plater med dokumenterte spesialløsninger for effektiv tetting av skjøter, overgangsdetaljer og gjennomganger (for eks. ved bruk av egnet teip). Ulike folier og papp kan også være egnet. Alternativt til teipete skjøter kan folier eller papp evt. monteres utenpå platematerialer som gjennomgående sjikt. I alle tilfeller må ønsket s_d -verdi være definert, og det må brukes materialer med dokumenterte egenskaper (som for eksempel Teknisk Godkjenning fra SINTEF Byggforsk, se ”Produktdokumentasjon” på www.sintefcertification.no).

Også til vindtetting kan det brukes forskjellige materialer. I tillegg til det som er vanlig å bruke i Norge (vindsperreprodukter med Teknisk Godkjenning), ser vi i utenlandske prosjekter en viss andel MDF-plater og etter hvert en større andel tykkere porøse trefiberplater. MDF-plater kan være et alternativ til GU med noe bedre isolasjonsevne, hvis vindtettingslaget også skal være avstivende. Porøse trefiberplater som vindtetting og undertak tilbys i tykkelser opp til mer enn 50 mm og med annen impregnering enn asfalt, selv om slike produkter per i dag ikke produseres i Norge. Med disse oppnås et stort fuktbufningspotensial, og platene fungerer også som kuldebrytere som på en enkel måte kan føres over vinduskarmen. Et eksempel er vist i Figur 103. Imidlertid er ikke alle materialer i seg selv tilstrekkelig lufttett for å sikre et lavt lekkasjetall eller for å oppfylle de strengeste anbefalinger for vindtetting. Egnetheten er da avhengig av konstruksjonen som helhet.

I moderat vindutsatte strøk vil mange av de viste utenlandske vindtettingsløsninger kunne fungere også i Norge, så lenge det er sikret et gjennomgående lufttett sjikt innvendig i konstruksjonen. I andre tilfeller er det mulig å påføre en (svært diffusjonsåpen) ekstra vindtettingsduk på platene, som vist i Figur 45. I så fall bør duken være det gjennomgående vindtette sjiktet som tettes mot vinduer, gjennomføringer osv.

Også valg av isolasjonsmaterial kan bidra til en viss tetting. Innblåst celluloseisolasjon for eksempel har i seg selv betydelig mindre luftgjennomgang enn mineralull⁴² og legger seg jevnt i hele hulrommet. Fare for

⁴² Se Byggforskserien, Byggdetaljer 573.344

konveksjon i isolasjonssjiktet er derfor også mye mindre. Vindtettingssjiktet trenger i så fall ikke nødvendigvis oppfylle de aller strengeste anbefalinger. Spesielløsninger av typen påhengte stive isolasjonsplater av mineralull er et eksempel hvor materialet som sådan kan være tilstrekkelig vindtett i moderat utsatte strøk. Igjen er det viktig at hele konstruksjonen oppfyller alle funksjonskrav. For å kunne vurdere det, må materialeegenskapene selvsagt være dokumentert (jfr. Teknisk Godkjenning).

Trefiber- og cellulosefiberprodukter eller annen alternativ isolasjon blir oftere brukt i Sentral-Europa enn i Norge. Dette begrunnes med ønsker om økologisk gunstige materialer, men også med spesifikke fordeler som enkelte av disse har. Bl.a. kan det nevnes at tre- og cellulosefiberprodukter har evne til å ta opp og gi fra seg fukt innenfor visse grenser. I noen sammenhenger kan dette være egenskaper som kan utnyttes. Produktene passer i så måte spesielt godt til diffusjonsåpne konstruksjoner. Slike materialer har også betydelig høyere varmelagringskapasitet enn mineralull og kan derfor motvirke overoppvarming om sommeren, spesielt på solutsatte loft. Effekten er godt dokumentert⁴³, men blir mindre tydelig i hus med store isolasjonstykkelser som i passivhus, samt i trebygninger med tunge bygningsdeler innvendig. På den andre siden har disse materialer noe dårligere isolasjonsevne enn mineralull og er dessuten brennbar.

I *Veiledning om tekniske krav til byggverk*, § 11-9, er ”brennbar isolasjon basert på cellulose- eller tekstilfiber o.l.” nevnt under preaksepterte ytelser ”i byggverk i brannklasse 1 og boliger inntil 3 etasjer.” Dette utelukker ikke bruk i andre kategorier, men dette må i tilfelle utredes. Mange store produsenter i Tyskland og Østerrike tilbyr preaksepterte løsninger f.eks. med dokumentert brannmotstand på 90 minutter eller mer. Disse kan danne et grunnlag for vurderinger, men konstruksjonene er ofte satt sammen annerledes enn det en ønsker i Norge. Det er derfor sjelden løsninger kan overtas direkte.

Ovennevnte eksempler er ingen fullstendig beskrivelse av fordeler og ulemper for ulike alternative materialer og gir ingen generell preferanse for spesifikke løsninger. Selvsagt må fordeler og ulemper avveies mot hverandre samt mot egenskaper andre materialer har, og det må vurderes i hvilken konstruktiv sammenheng materialene inngår.

⁴³ Gerd Hauser, *Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Wohngebäuden durch Holzfaserdämmplatten*, Kassel 2005. Rapporten kan lastes ned på <http://www.holzfaser.org/downloads.html>.

7.1 Isolasjonstykkelser for bygningsdelene

Kriterier for passivhusboliger er nærmere beskrevet i Norsk Standard NS 3700, se kapittel 4.3. I praksis innebærer dette følgende ”minstekrav” til total isolasjonstykkelser for klimaskallet:

Tak, $U \leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Isolert skrå tretak og bjelkelag mot kaldt loft: $t \geq$ ca. 350 mm

Kompakt tak: $t \geq$ ca. 300 mm

Vegger, $U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Alle vegger(over terreng), $t \geq$ ca. 300 mm

Golv, $U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Bjelkelag: $t \geq$ ca. 300 mm

Golv på grunnen: $t \geq$ ca. 250 mm

Vinduer og dører, $U \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$

De angitte isolasjonstykkelsene er basert på ”normal” isolasjonskvalitet ($\lambda \simeq 0,036 \text{ W/mK}$). Det finnes imidlertid enkelte spesialprodukter på markedet, med forbedrede termiske egenskaper (varmeisolasjon og/eller stendere/bjelker med lavere varmeledningsevne er eksempler på dette). Konstruksjonsdeler sammensatt av slike spesialprodukter kan selvsagt gi forbedret varmeisolasjonsevne, slik at man på den måten kan redusere nødvendig isolasjonstykkelse noe. Vi viser her til SINTEF Teknisk Godkjenning for dokumentasjon av slike produkter/egenskaper.

At klimaskjermen oppfyller minstekravene, er i seg selv ikke nødvendigvis tilstrekkelig for at bygningen som helhet oppfyller de overordnede kravene i NS 3700. I praksis vil det ofte være fornuftig å legge seg litt på ”sikker side” ved bestemmelse av isolasjonstykkelser. Det betyr at man for takkonstruksjoner ofte bør velge isolasjonstykkelser godt over de angitte minstekrav, fordi dette er enkelt å bygge uten alt for store ekstrakostnader. Isolasjonstykkelser på minimum 400 – 500 mm anses for mer ”vanlig”. Dette samme gjelder for øvrig for golv på grunnen.

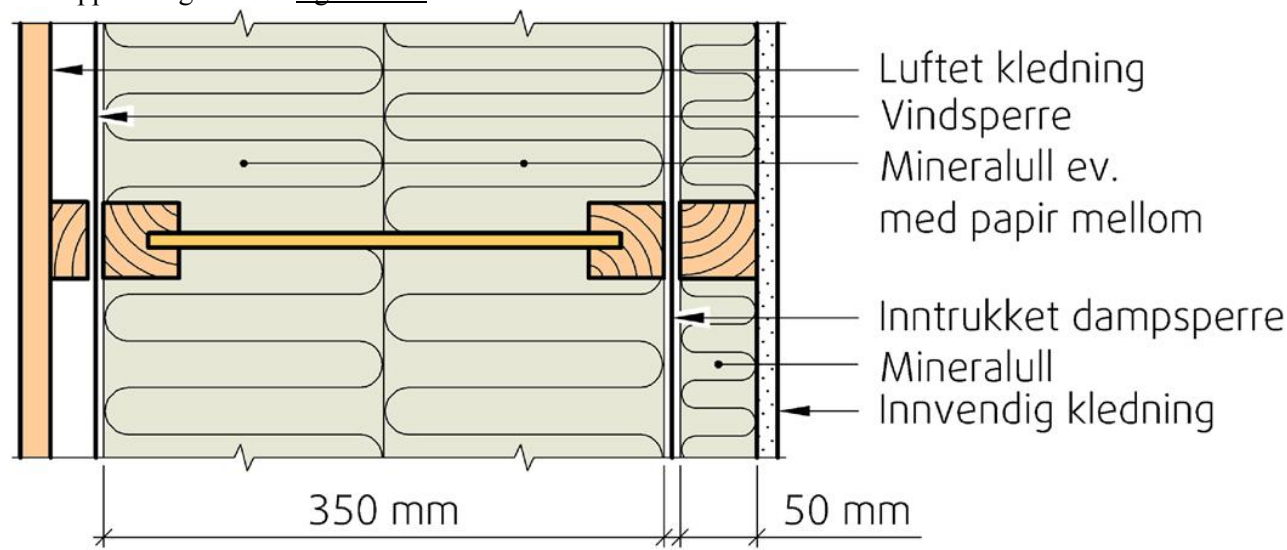
Også for yttervegger kan det være behov for å øke tykkelsen ut over ”minstekravet”. Tykkelser på 350 – 400 vil derfor være mer aktuelt å bruke i passivhus. I tillegg til dette kan det være et ønske eller krav om enda bedre lufttetthet enn minstekravet til passivhus tilsier. En viktig forutsetning vil da være at minst ett sperresjikt er ført kontinuerlig i vegger og tak, og at alle detaljløsninger er prosjektert (tegnet). Kompliserte detaljer må prøvebygges.

7.2 Veggkonstruksjoner

7.2.1 Bindingsverk av tre

En løsning som fortsatt vil være aktuell, er å bygge veggene opp på ”tradisjonelt” vis med bruk av bindingsverk i heltre. Det kan også brukes spesialprodukter av sammensatte profiler (I-profiler, trestendere av sammenlimte lameller, trestendere m/kuldebroyter, osv.). Minstekravet til isolasjon kan altså oppnås med 300 mm isolasjon, men det anbefales å bygge vegger med minst 350 mm isolasjonstykkelse i passivhus, samt dampspærre som er trukket noe ut i veggen. Dette for å unngå perforering av dampspærresjiktet av skjult elektrisk anlegg e.l.

Prinsipløsning er vist i [figur 7.2.1](#).



Figur 6.2.1: Eksempel på yttervegg med bindingsverksvegg av I-profiler. Tilsvarende løsning kan bygges av 36 mm tykke stendere av tre med rektangulært tverrsnitt, enten med innebygget kuldebrobryter eller av sammenlimte lameller.

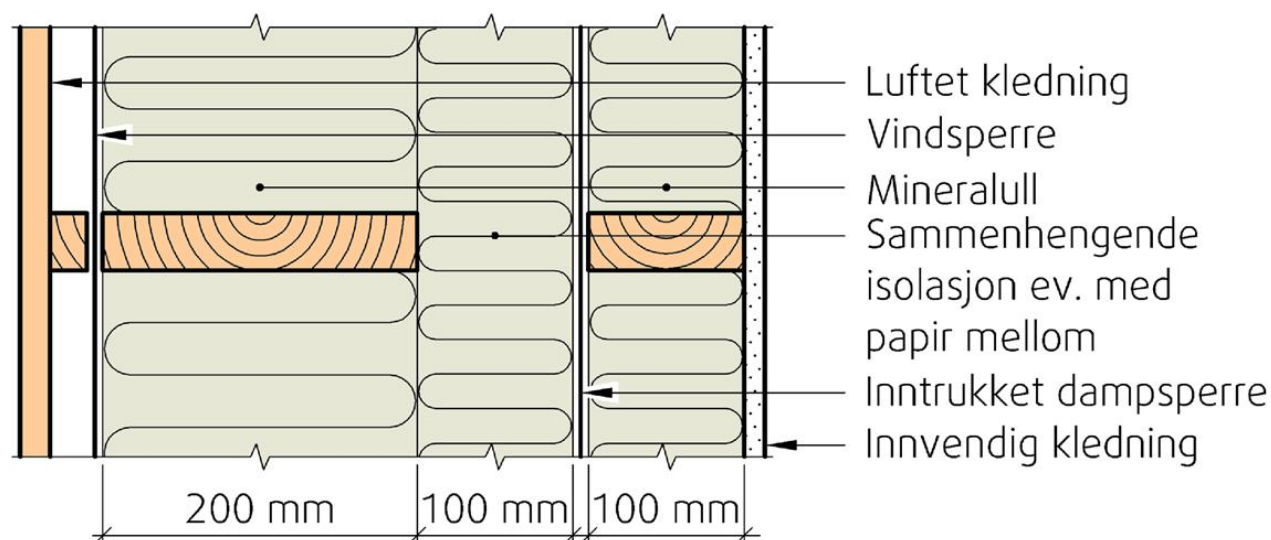
7.2.2 "Doble" vegger

Med store veggtykkelser (større enn ca. 250 mm) kan det være aktuelt å bygge veggkonstruksjonen opp av to sjikt med bindingsverk, og med et mellomliggende kontinuerlig varmesolasjonssjikt. Fordelen er, i tillegg til at det på denne måten kan bygges relativt tykke veggkonstruksjoner med trevirke av "vanlige" dimensjoner, at kuldebroer i veggen elimineres. Selve bindingsverket kan bygges med heltre eller sammensatte trebaserte profiler.

Med doble vegger, har man mulighet til å føre lasten fra bjelkelag og takkonstruksjon ned via to vegg sjikt. Man må her gjøre et valg. Dersom man skal bygge med kontinuerlige dampsperrersjikt, må dette monteres på utsiden på den indre vangen. Montering av isolering og vindsperresjikt må således skje etterpå. *Dette innebærer at byggeprosessen må skje under telt.* Man bygger seg altså utover, slik at vindsperresjiktet monteres etter at hovedisolasjonen i yttervangen og mellom vangen er montert.

Velger man løsning hvor *all bæring* skjer i yttervangen, kan byggeprosessen skje fra utsiden og innover (som i tradisjonell bygging). Da kan vindsperresjiktet fungere som fuktbeskyttelse i byggeperioden. Løsningen innebærer at man ikke i samme grad er avhengig av fuktbeskyttelse i form av telt i byggeperioden. Ulempen er at dampsperrersjiktet da monteres på innsiden av innervangen. Skal man ha dampsperrersjikt som er trukket noe ut i veggen for å unngå perforering av skjult elektrisk anlegg m.v., vil dette kreve enda en arbeidsoperasjon og man "stjeler" mer av innvendig areal. Man får heller ikke muligheten til å føre dampsperrersjiktet kontinuerlig forbi etasjeskilleren, dersom den er opplagret på ytre vange. En mellomløsning kan imidlertid være å legge bjelkelaget an på indre vange, mens resten av lastene føres ned via ytre vange. Da kan det være mulig å montere en "remse" av forsterket dampsperre rundt ytterkant av bjelkelaget og inn på innvendige veggflater.

Prinsipiell oppbygging av en slik dobbelvegg er vist i [figur 7.2.2](#).



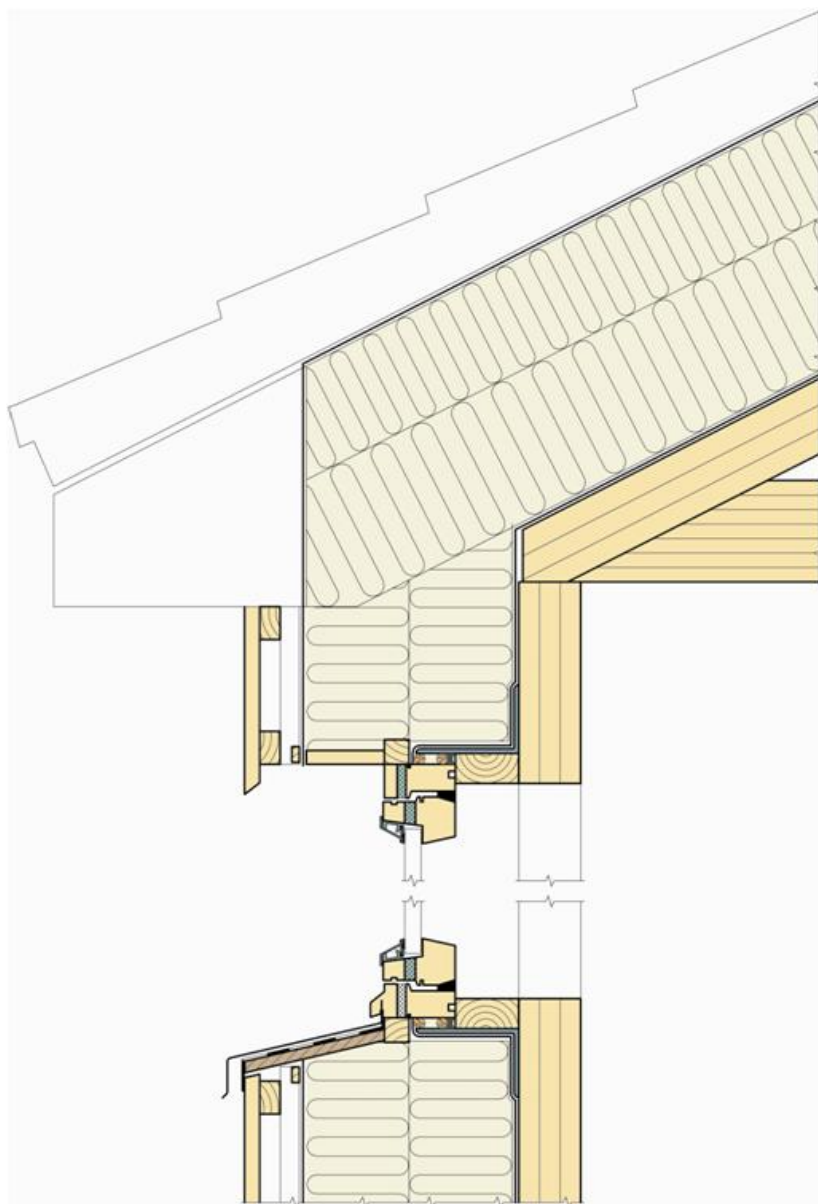
Figur 7.2.2: Prinsipp for oppbygging av dobbeltvegg. Løsningen gir mulighet for at mellombjelkelaget i sin helhet bæres av innervangen, slik at det blir mulig å føre dampsperrsjiktet kontinuerlig forbi bjelkelaget.

7.2.3 Massivtre

Yttervegger kan bygges opp av massivtreelementer. Hovedløsningen må være at all bæring skjer ned i massivtre-elementene, mens veggene forsynes med nødvendige sperresjikt (det vil både dampsperre og vindsperre) og isolasjon på utsiden av elementene. Trevirke er et ”levende” materiale. Man må derfor forutsette at variasjoner i temperatur og luftfuktighet gjennom året nødvendigvis vil føre til bevegelser i materialet og påfølgende risiko for oppsprekking. Dessuten vil elementskjøtene være usikre med tanke på lufttetthet.

Man kan derfor ikke regne med at massivtresjiktet i seg selv er tett mot luftlekkasjer. Massivtre i ”normale tykkelser” vil heller ikke tilfredsstillende anbefalt krav til vanddampdiffusjon (normalt anbefalt krav er s_d -verdi minst 10 m, typisk verdi for 100 mm trevirke er $s_d = \text{ca. } 5\text{m}$). Litt avhengig av tykkelsen på massivtre, må veggene isoleres godt på utsiden for å oppnå tilstrekkelig isolasjonsevne. Med 100 mm massivtre, må det typisk isoleres med minst ca. 200 mm isolasjon på utsiden for å tilfredsstillende minstekravet for passivhus. Det finnes i dag gode tekniske løsninger for å kunne montere utenpåliggende isolasjon uten bruk av utforing, dermed unngår man kuldebroer. Det er dette vi benevner som ”trykkfast isolasjon” på illustrasjonene. Det finnes slike systemer på markedet med tilfredsstillende produktdokumentasjon (for eks. SINTEF Teknisk Godkjenning, se www.sintefcertification.no og slå opp på ”produktdokumentasjon”).

Prinsipiell oppbygging av en massivtrevegg med utenpåliggende trykkfast isolasjon er vist i [figur 7.2.3](#), som også viser overgang til tak av massivtre.

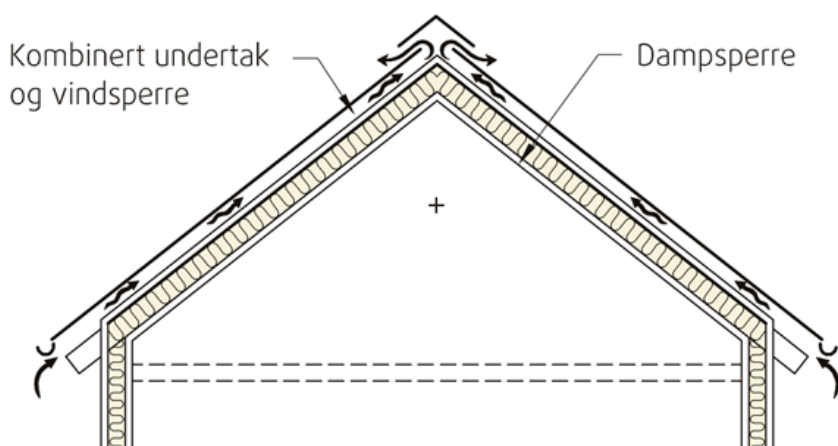


Figur 7.2.3: Eksempel på vegg av massivtre og utenpåliggende isolasjon uten utføring. Aktuelle dimensjoner er 100 mm massivtre og 200 mm utenpåliggende isolasjon. Det anbefales dampsperrsjikt montert på utvendig side av massivtresjiktet.

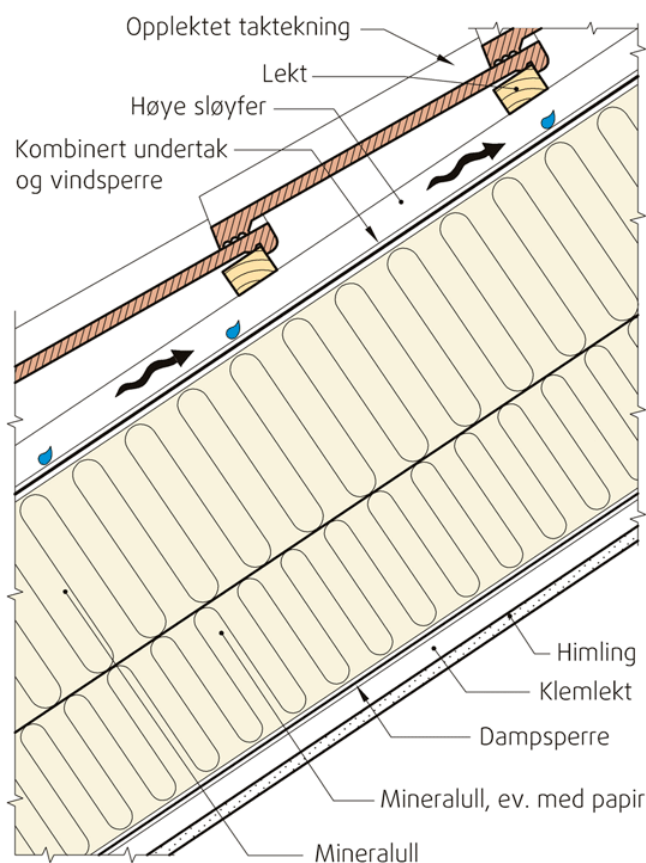
7.3 Takkonstruksjoner

7.3.1 Skrå isolerte, luftede tretak

På trehuskonstruksjoner brukes det vanligvis skrå tak med utvendige nedløp. Da må takene bygges som luftede tak slik at man unngår uønsket snøsmelting og isdannelser. Slike tak kan bygges etter to prinsipper. I [figur 7.3.1 a](#) er vist prinsipløsning for isolerte skrå tretak med kombinert undertak og vindsperre. Løsningen er basert på at all lufting skjer i hulrommet rett under den opplektede taktekningen. Detaljert oppbygging er vist i [figur 7.3.1 b](#). Sjiktet med kombinert undertak og vindsperre føres kontinuerlig ned på veggens vindsperre, se pkt. 7.5.2.

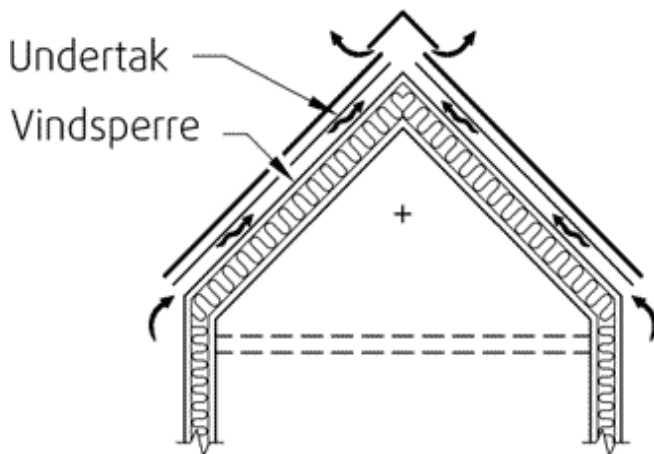


Figur 7.3.1a: Prinsipløsning for skrått isolert tretak med kombinert undertak og vindsperre. Løsningen baseres på at all lufting skjer direkte under opplekket tekning, mens undertaket er diffusjonsåpent.

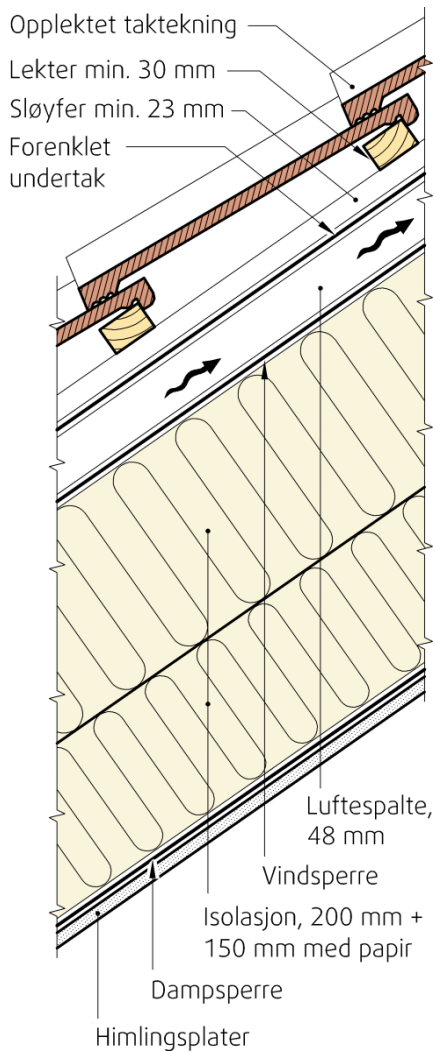


Figur 7.3.1.b: Prinsipiell oppbygging av skrått tretak med kombinert undertak og vindsperre (Byggdetaljer 525.102).

Figur 7.3.1 c viser alternativ løsning for luftet tak. Dette er den ”tradisjonelle” løsningen med luftesjikt både mellom vindsperre og undertak og luftesjikt mellom opplekket takteking og undertak. Når det brukes bærende taktro med solid underlagsbelegg, betraktes løsningen som svært robust. Hovedluftingen skjer i mellomrommet mellom undertak og vindsperre. Vindsperresjiktet bør også her føres slik at det går kontinuerlig med på veggens vindsperre. Figur 7.3.1 d viser detaljert oppbygging.



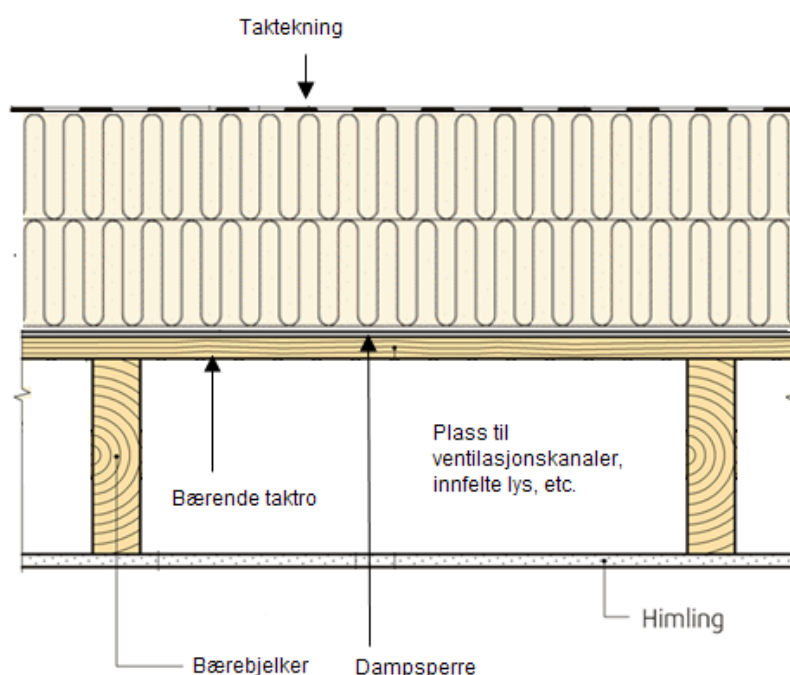
Figur 7.3.1 c: Prinsipløsning for skrått isolert tretak med separate sjikt av vindsperre og undertak. Løsningen baseres på at lufting i hovedsak skjer i luftesjiktet mellom vindsperre og undertak. Som tekening kan det brukes opplettet taktekening eller asfaltbelegg på bærende taktro (undertak).



Figur 7.3.1.d: Prinsipiell oppbygging av skrått tretak med separat vindsperre og undertak (Byggdetaljer 525.101).

7.3.2 Kompakte tak

Et bæresystem av tre bør ikke bygges inn i det isolerende sjiktet når taket ikke er luftet. Slike tak må derfor bygges som kompakte tak hvor all isolasjon samt dampsperre og tekning i sin helhet er plassert oppå bæresystemet. På underside kan plassen i bjelkelaget brukes til å føre ventilasjonskanaler, innmontering av skjult belysning osv. uten at dampsperrsjiktet blir skadet. Dette er en stor fordel. [Figur 7.3.2](#) viser prinsipiell oppbygging.



Figur 7.3.2: Prinsipp for oppbygging av tretak med dampsperre og all isolasjon oppå bæresystemet. Det kan enten legges taktekning direkte på isolasjonen (kompakt tak), eller ev. opplektet tekning (skrått, luftet tak). Løsningen betraktes som robust og sikker mot fuktskader. På innvendig side kan skjult elanlegg, kanalføringer for ventilasjon o.l. plasseres mellom taksperrene og skjules av himling.

7.4 Golvkonstruksjoner

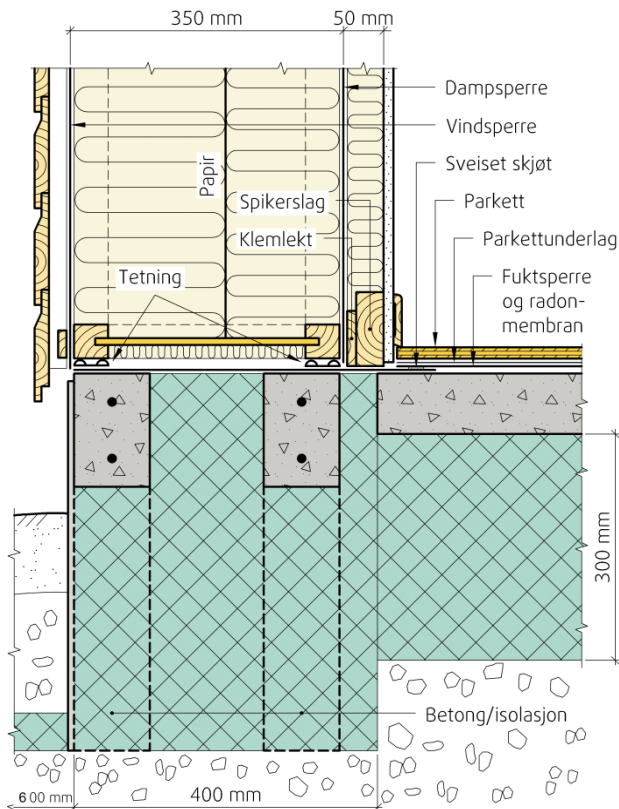
7.4.1 Golv på grunnen

For trehus vil golv på grunnen være den vanligste løsningen. Plate på mark med betongstøp og underliggende fuktsperre/radonmembran og isolasjon på drenert byggegrunn er en vanlig løsning. I passivhus må isolasjonstykkelsen normalt være minst 250 mm for ”småhus”. Golv på grunnen er typisk eksempel på bygningsdel hvor det er enkelt å forbedre isolasjonsevnen uten at det får store konsekvenser for økonomi og byggets utseende. Det kan derfor være en fordel å isolere godt over ”minstekravet”.

Oppbyggingen er som på ”vanlige” hus, men hvor forskjellen består i at det er noe mer isolasjon. I dag er det også krav om radonmembran. Dette innebærer at det må monteres et sjikt som både skal fungere som

fuktsperre (være diffusjonstett) og radonsperre (være lufttett). Det er derfor viktig av dette sperresjiktet blir plassert et sted i konstruksjonen hvor risikoen for skader er liten, og hvor man har god kontroll på tettheten.

Eksempel på typisk oppbygging av golv på grunnen er vist på [figur 7.4.1](#).

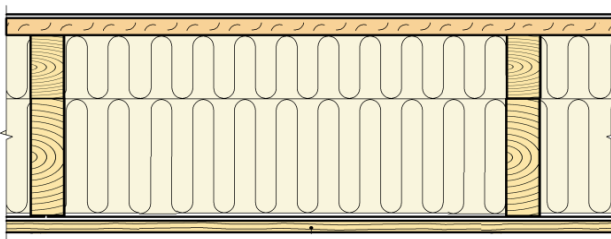


Figur 7.4.1: Golv på grunnen. Figuren viser overgang mot sokkel. Golvet isoleres med minimum 250 mm, helst 350-400 mm isolasjon. Det må legges fuktsperre/-radonmembran på isolasjonen med et beskyttelsessjikt mot overliggende betongpåstøp. Det er viktig å sikre lufttett overgang mellom golv/ringmur/yttervegg.

7.4.2 Etasjeskiller av trebjelkelag

For å oppnå tilstrekkelig isolasjonsevne må bjelkelag av heltrebjelker isoleres med minst 300 mm. Tilsvarende isolasjonstykkelse er nødvendig også ved bruk av andre typer bjelkeprofiler (sammensatte trebjelker som I-profiler o.a.). Mot uteklima eller kryperom må det legges stor vekt på vindtettingen, mens dampsperrsjikt vanligvis ikke anbefales her. Bruk av undergolv av bygningsplater vil vanligvis gi god tetthet på varm side.

Typisk oppbygging er vist på [figur 7.4.2](#).

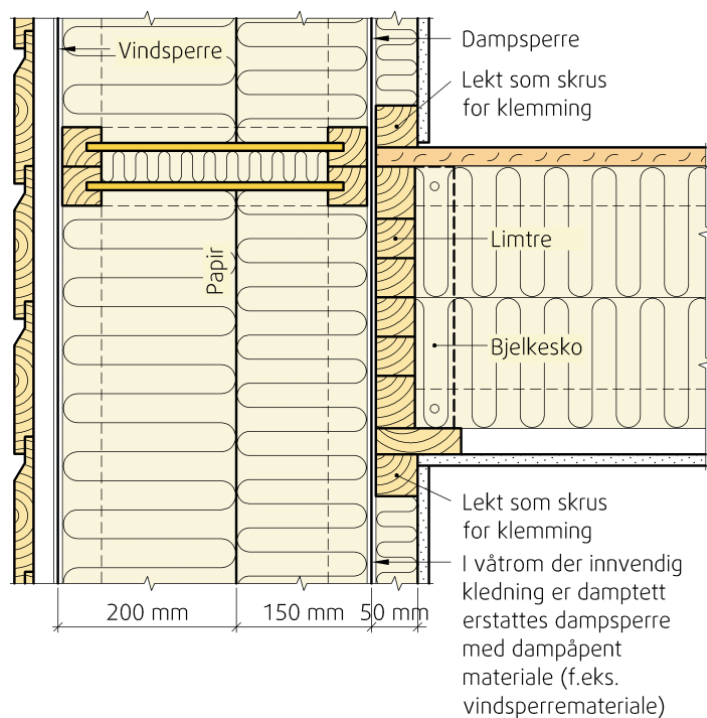


Figur 7.4.2: Eksempel på oppbygging av isolert trebjelkelag mot uteklima eller kryperom. Kryperomsløsninger anbefaler ikke i dag.

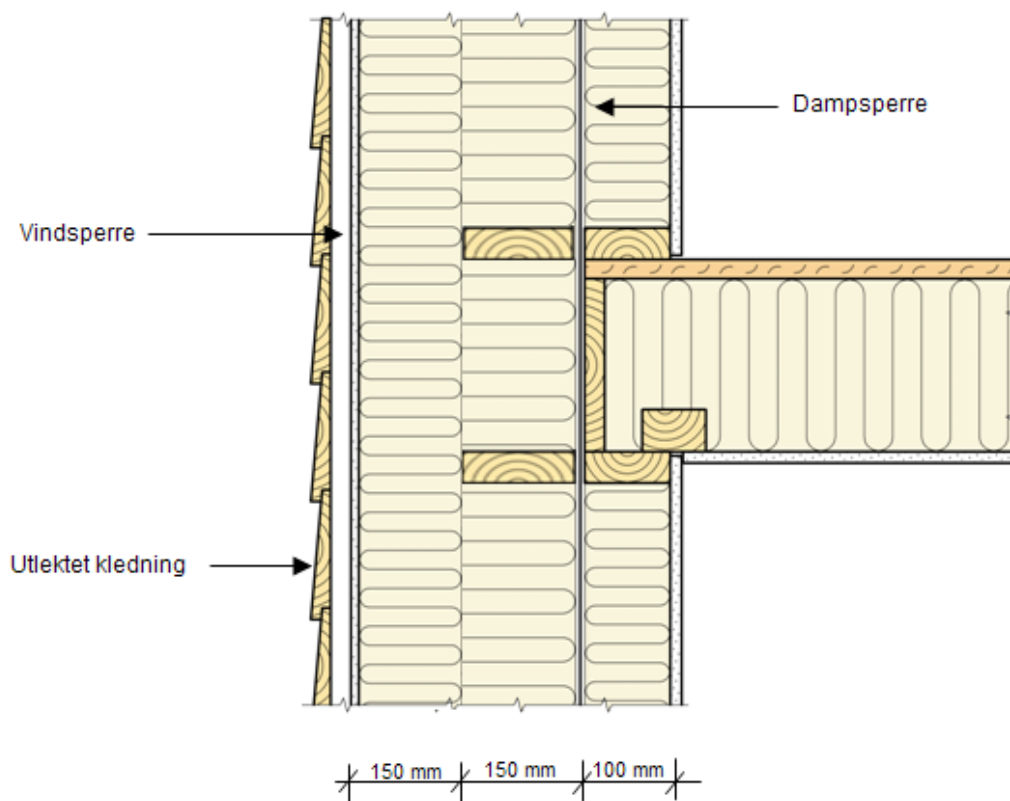
7.5 Detalløsninger

7.5.1 Overgang etasjeskiller/yttervegg

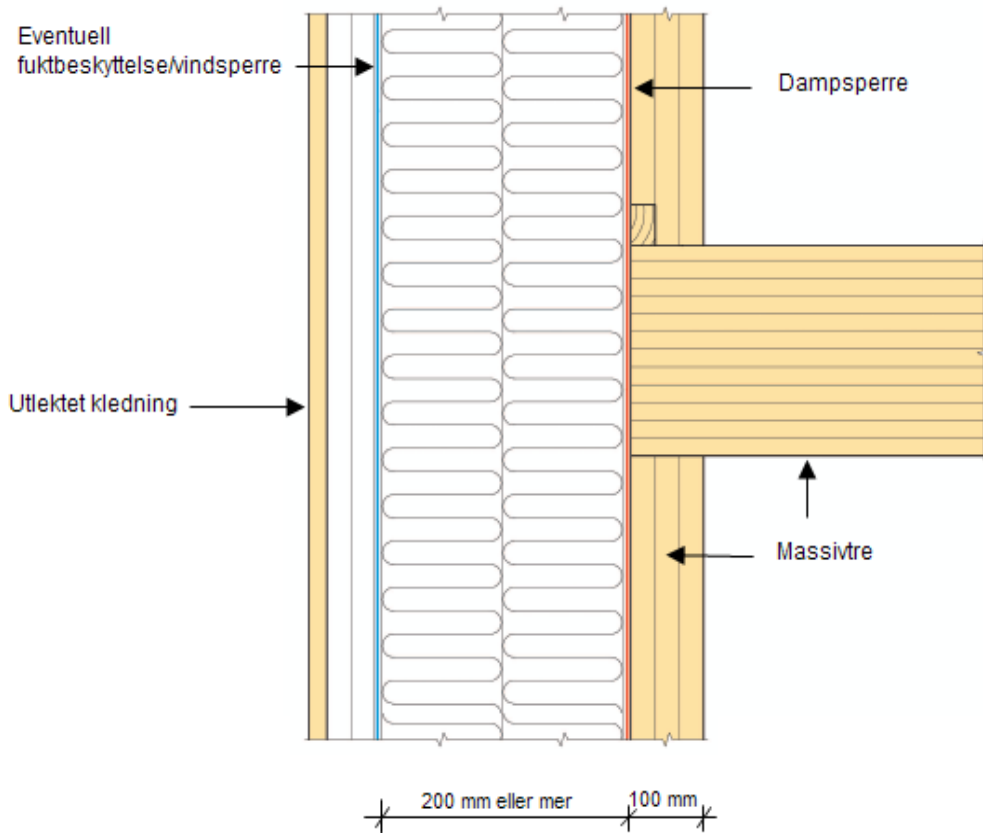
Noen prinsipper for løsning i overgang etasjeskiller/yttervegg er vist på figurene 7.5.1 a, b og c.



Figur 7.5.1 a viser detalj for bindingsverksvegg. Bjelkelaget legges på ribord og i bjelkesko mot kantbjelke, som er festet på innsiden av bindingsverket. Før bjelkelaget monteres må det monteres remse av dampsperre som skal skjøtes sammen med dampsperran i ytterveggen over og under bjelkelaget.



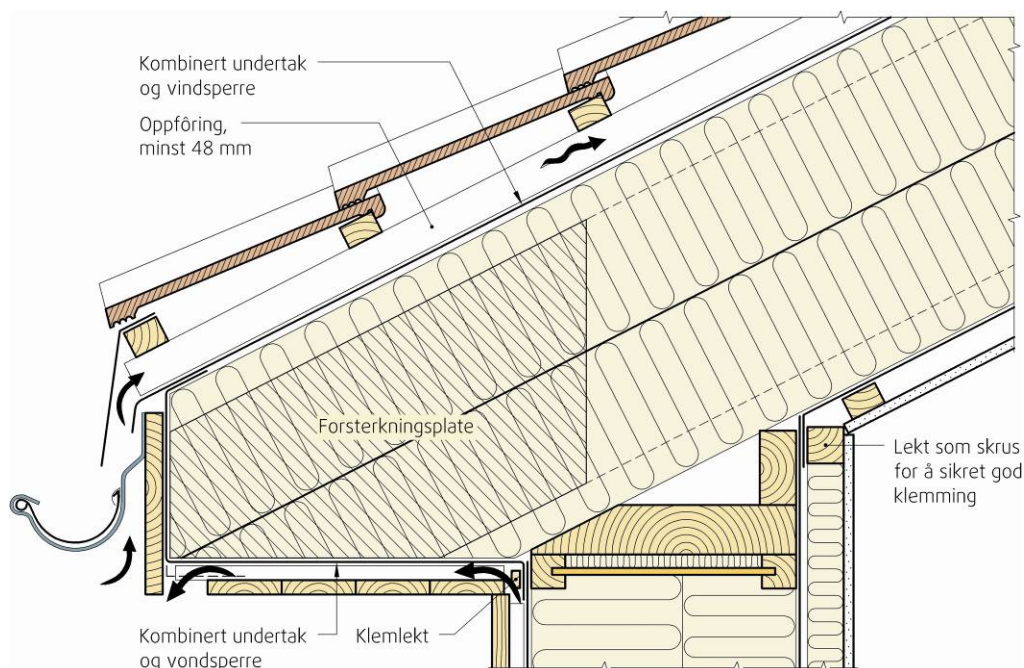
Figur 7.5.1 b viser løsninger for overgang for etasjeskiller mot ”dobbel” yttervegg. På den viste løsningen er bjelkelaget i sin helhet opplagret på indre vange. Dermed må dampsperrsjiktet monteres fra utvendig side for å oppnå sammenhengende dampsperre med god lufttettethet.



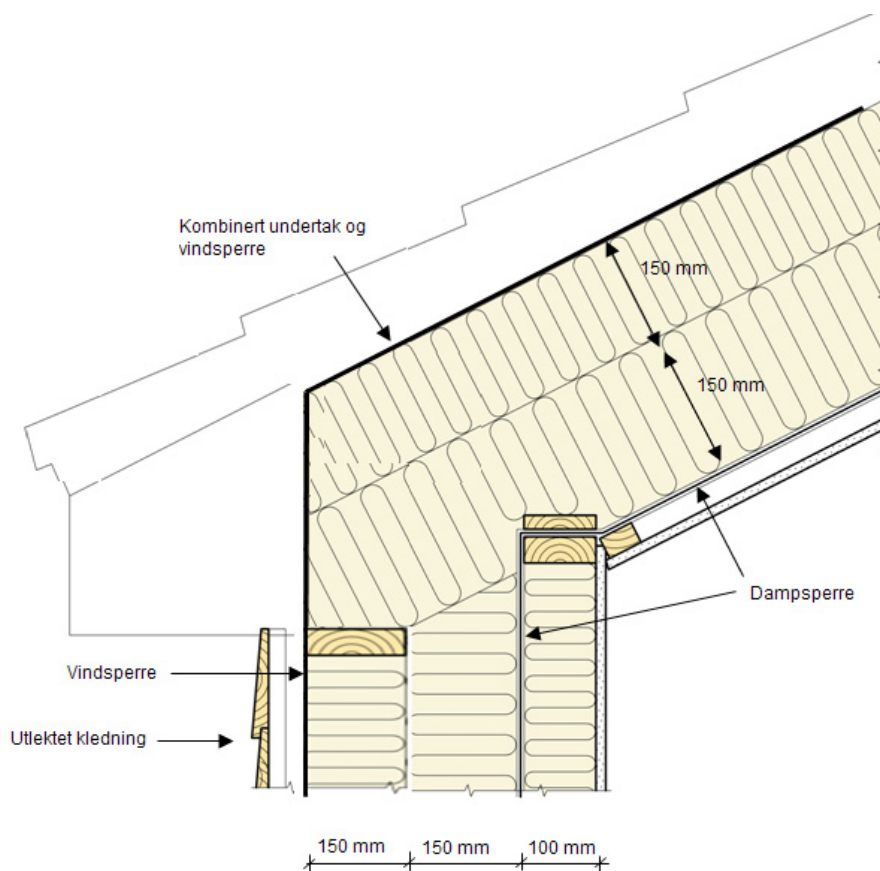
Figur 7.5.1 c viser overgang for etasjeskiller/yttervegg for massivtrekonstruksjon. Dampsperre, utenpåliggende isolasjon og kledning monteres utenpå massivtreet.

7.5.2 Overgang yttervegg/tak

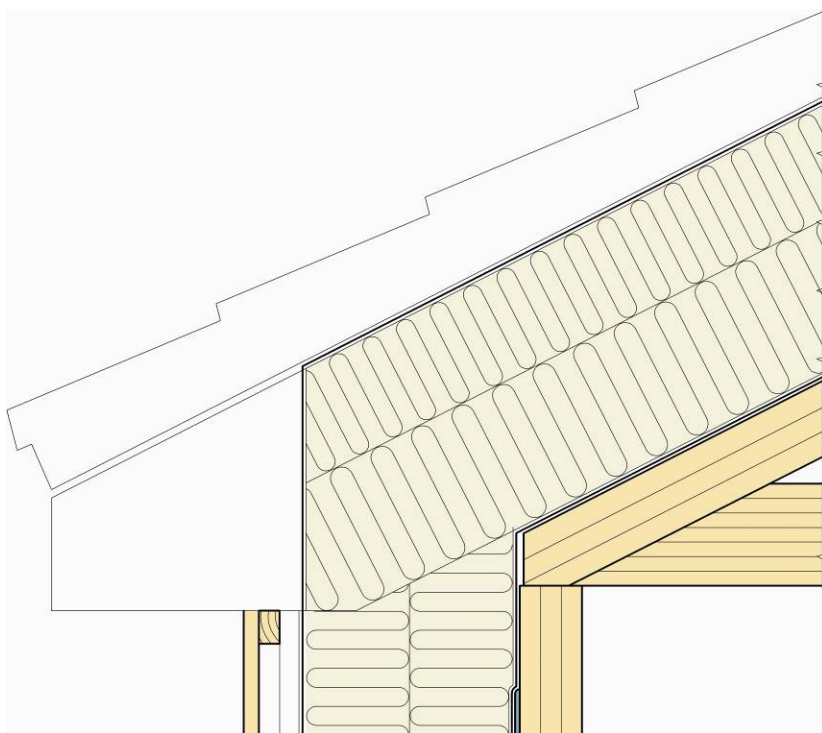
Noen prinsipløsninger for overgang mellom yttervegg og tak er vist i figurene 7.5.2 a, b og c.



Figur 7.5.2 a viser eksempel på løsning med bindingsverksvegg mot skrått isolert luftet tretak. Løsningen blir som på andre bygninger, men med betydelig større isolasjonstykkelse både i vegg og tak. Taket kan typisk være et sperretak av I-bjelker med tilgjengelige profilhøyder opp til 400, eventuelt med utvendig eller innvendig påføring, eller trebjelker av sammenlimte profiler. Det er vist løsning med kombinert undertak/vindsperre på taket, som er ført kontinuerlig ned utenpå veggens vindsperre. Løsningen innebærer at sperrene er avsluttet ved veggiv, slik at det må monteres løse takutstikk.



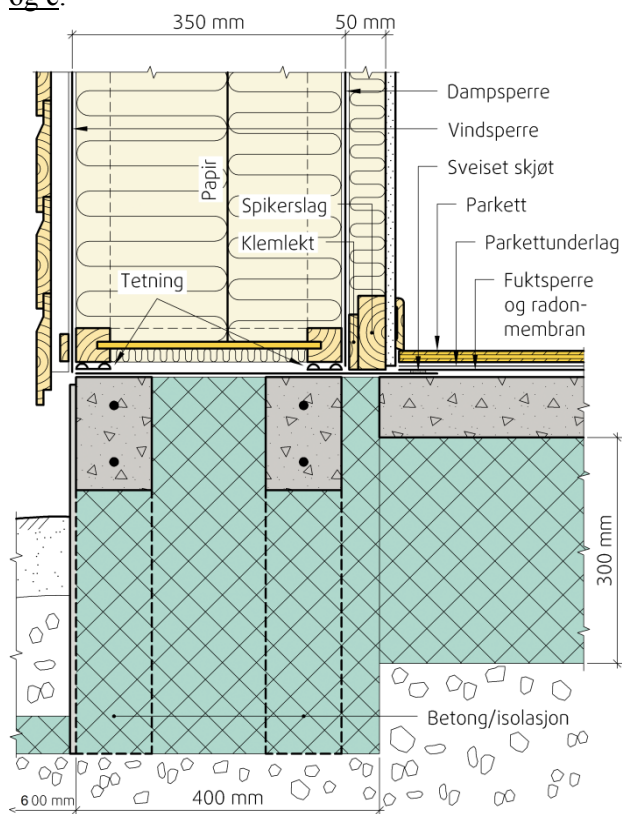
Figur 7.5.2 b viser tilsvarende overgang for ”dobbelvegg”. Taket kan bygges opp på samme måte som omtalt over (sperretak). Det er viktig å sikre sammenhengende sperresjikt. Før taksperrene monteres, må det derfor legges en remse med dampsperre over veggens toppsvill på innervangen, og beskytte denne med et bord. Senere koples dampsperra i tak og vegg sammen ned denne.



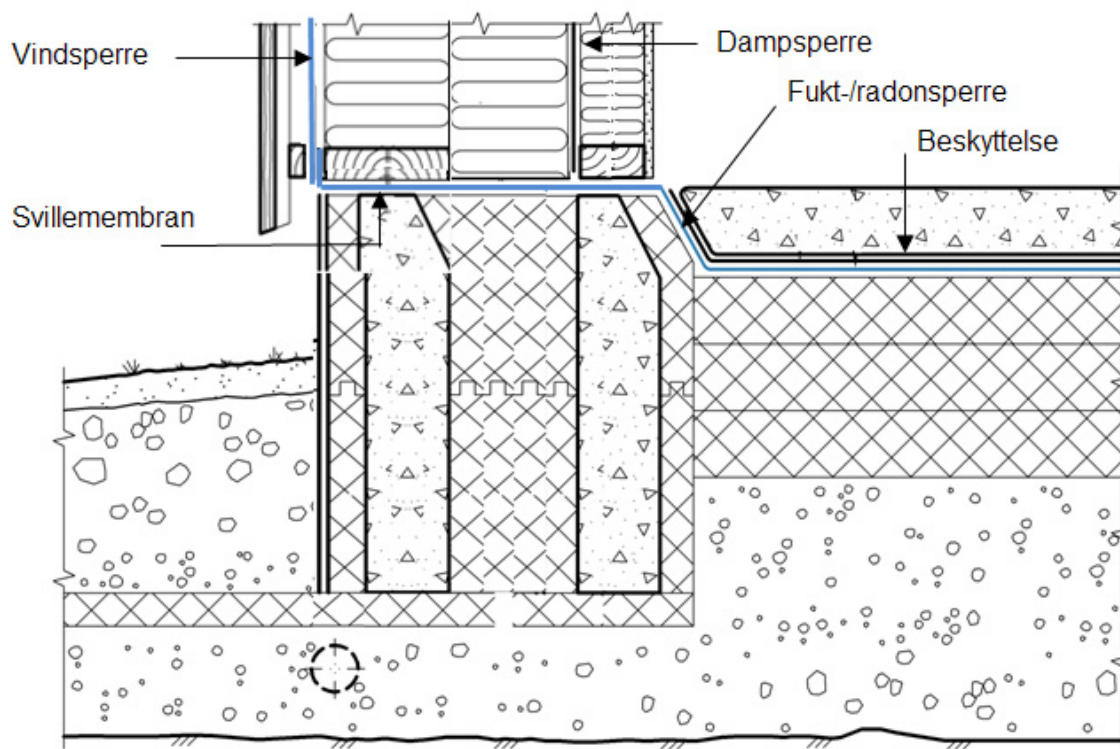
Figur 7.5.2 c viser eksempel på løsning med massivtre i både vegger og tak. Eksemplet er hentet fra et gjennomført prosjekt, hvor det ikke er prosjektert med takutstikk. En bedre teknisk løsning vil være med takutstikk, fordi det gir god konstruktiv beskyttelse av veggen under. På taket er det benyttet spesialløsning av typen ”Fuktsikkert Isolert Skrått Tretak (”FIST”). Løsningen er basert på at all isolasjon og sperresjikt er plassert oppå bæresystemet av tre. Man unngår innbygging av trevirke i den isolerte tretakkonstruksjonen, noe som gir god fuktsikkerhet. Man må benytte isolasjonsmaterialer med tilstrekkelig trykkfasthet for å kunne forankre sløyfer, lekter og taktekning til underliggende hovedbæresystem.

7.5.3 Overgang yttervegg/sokkel

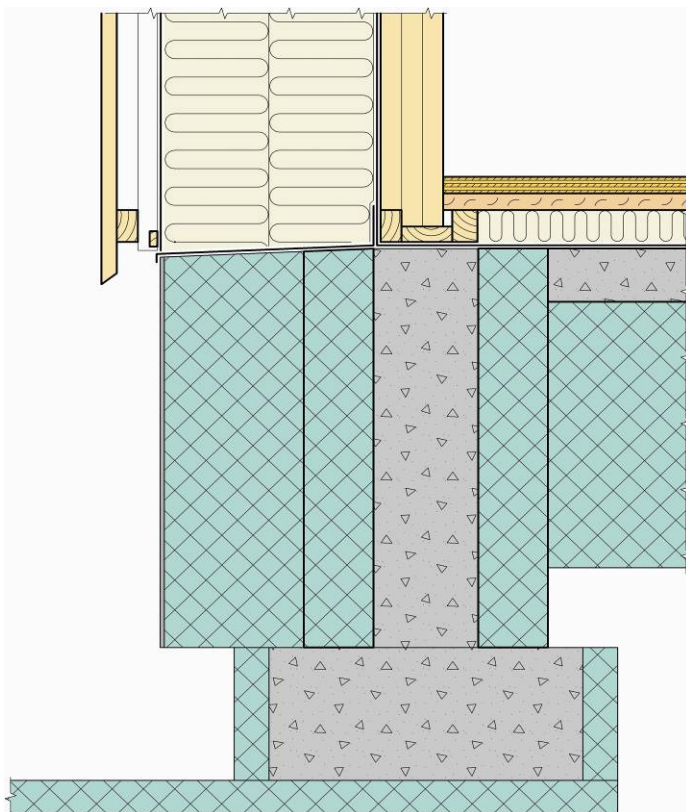
Noen prinsipløsninger for overgang mellom ulike veggkonstruksjoner og sokkel er vist i [figurene 7.5.3 a, b og c](#).



Figur 7.5.3 a viser eksempel på løsning for en bindingsverksvegg i passivhuskvalitet. Med 350 mm tykkelse på bindingsverket må det brukes tilpasset sokkelement. Også slike finnes på markedet. Med dagens krav til radonmembran er det avgjørende at dette sperresjiktet monteres slik at det er godt beskyttet mot skader i byggeperioden, og at den er ført med tett tilslutning mot svillemembran, som igjen monteres tett mot veggens vindsperre.



Figur 7.5.3 b viser eksempel på løsning ved bruk av dobbeltvegg. Avhengig av hvor lastene fra bjelkelag og tak tas ned, må det etableres tilstrekkelig bæring under ytter- og/eller innervange. Her er vist løsning med bæring under begge vengene. Man kan tenke seg å bruke spesialkassetter av isolasjon (slike finnes på markedet) som fylles med betong. Deretter må det støpes ytterligere en ”vange” av betong for å ta kreftene fra indre veggdel. For øvrig er oppbygging av golv med isolasjon og fuktsperre/radonmembran etter de samme prinsipper som omtalt tidligere.

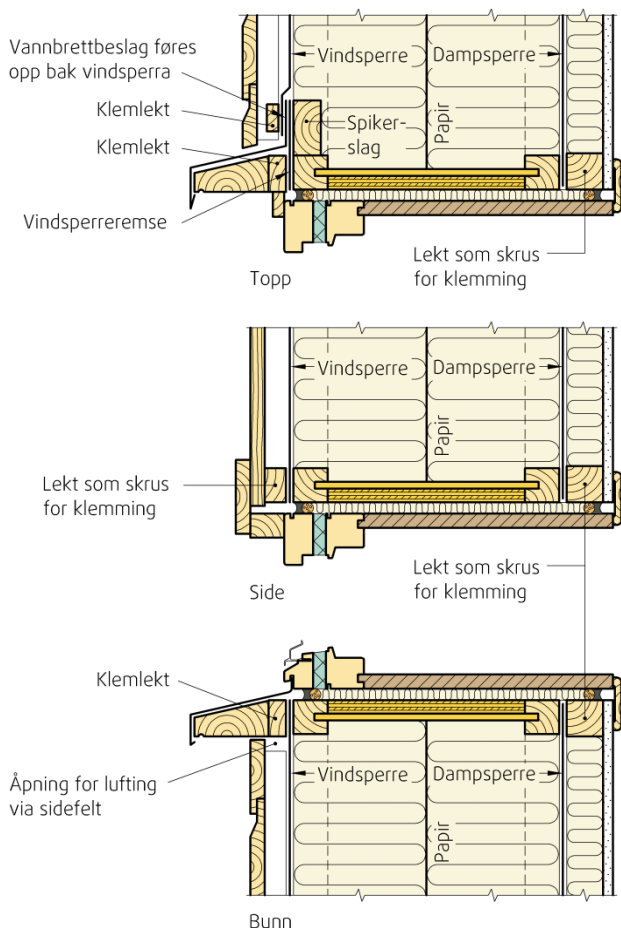


Figur 7.5.3 c viser eksempel på løsning for vegg av massivtre ned mot sokkel. Her skal all belastning føres ned via massivtreelementene, slik at bæringen i sokkelen må sentreres under denne delen av vegg. Også her kan det anvendes ringmursløsninger som finnes i markedet. Siden det er minst 200 mm isolasjon utenpå massivtreveggen, må det også isoleres ekstra utenpå ringmuren. Utvendig flate her avsluttes med puss eller ved å bruke isolasjon med pålimt plate egnet for bruk i sokler

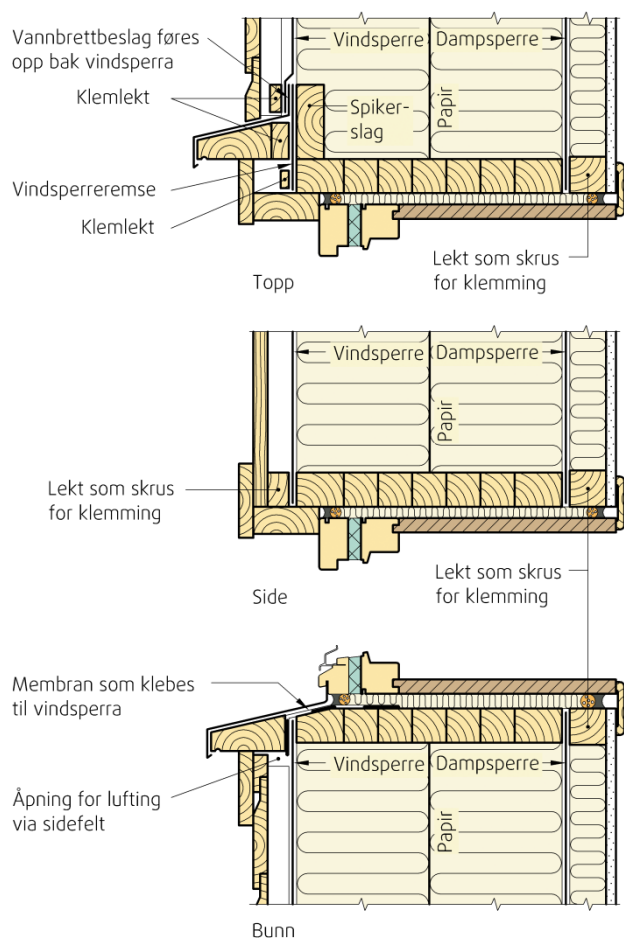
7.5.4 Innsetting av vindu og dør

Ved å plassere vinduer/dører langt ut i veggiv, blir det enklere å tette mot inntrengning av vann utenfra. Plassering av vindu slik at sporet i bunnkarmen for vannbrettbeslaget ligger i plan med vindsperra er vist på [figur 7.5.4 a](#). Med bindingsverk av I-profiler må det monteres forsterkningsplate av spon, OSB eller kryssfiner i steget på I-profilet rundt vinduet for å ha noe å feste vinduet i. Under vinduet tjener dette som støtte for klossene under bunnkarmen. Alternativt kan det brukes stendere og losholter av tre med rektangulært profil, se [figur 7.5.4 b](#) (36 mm trestendere av sammenlimte lameller). Fugene kan tettes med bunnfyllingslist og fugemasse på innvendig og utvendig side. Føringer må limes til karm og tettes i hjørner og tilslutninger. Monteringsfuger isoleres i full dybde.

[Figur 7.5.4 b](#) viser et vindu som plasseres ca. 30 mm innenfor vindsperra og som derfor har lavere kuldebroverdi. Denne løsningen er sårbar for regnpåkjenninger. Man må derfor montere en vanntett, heldekkende membran i smyget under vinduet og minst 50 mm oppetter sidene i smyget, samt ned over vindsperra under vinduet.



Figur 7.5.4 a: Vindu plassert langt ut i vegg. Gir enklere løsning for tetting mot vann utenfra.

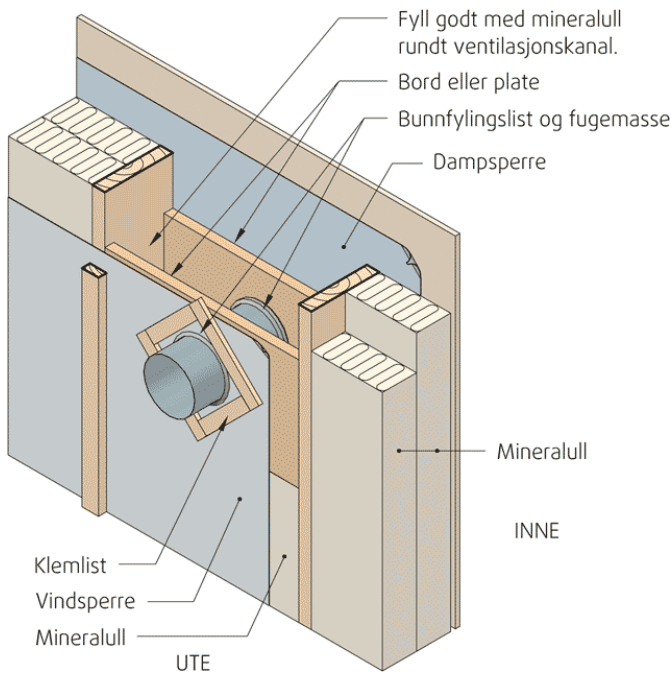


Figur 7.5.4 b: Vindu plassert ca. 30 mm innenfor vindsperran. Det gir noe lavere kuldebroverdi. Ved å trekke vinduet inn i veggan må det monteres vanntett membran under sålbenkbeslaget slik figuren viser.

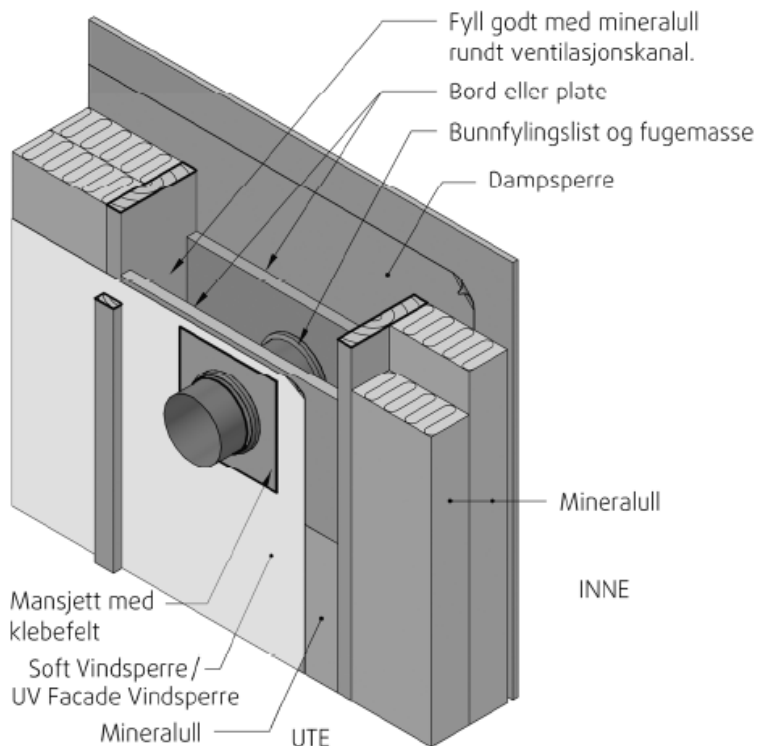
7.5.5 Prinsipp for gjennomføringer i klimaskall

Lufttettheten i sperresjiktene (vindsperre og dampsperre) i klimaskallet skal ikke forringes av eventuelle gjennomføringer. Det innebærer at det må tettes godt rundt alle gjennomføringer. Hvis det ikke finnes eller brukes spesialprodukter til dette, må slike detaljløsninger planlegges nøye. Det må for eksempel sikres klemming mot fast underlag, slik [figur 7.5.5 a](#) viser.

Det finnes i dag spesialprodukter på markedet som gjør tettingen lettere å utføre. Mansjettløsninger er et godt alternativ, se [figur 7.5.5 b](#). Det er viktig at produsentene kan fremlegge produktdokumentasjon som viser holdbarheten av løsningene (for eks. SINTEF Teknisk Godkjenning).



Figur 7.5.5 a: Prinsipløsning for tetting rundt gjennomføring i vegg.



Figur 7.5.5 b: Prinsipløsning for tetting rundt gjennomføring i vegg ved hjelp av spesielle mansjetter, som i dag finnes på markedet (produkt navn er kun eksempel).

8 Veien videre

På bakgrunn av resultatene i rapporten – og som egeninnsats i prosjektet – blir det utviklet anvisninger i Byggforskserien og passivhusløsninger i serien Fokus på tre. Rapporten kan også danne basis for brosjyrer og andre publikasjoner.

De to aktuelle anvisningene i Byggforskserien tar for seg eksempler på bygde passivhus i Norge samt løsninger for utforming av klimaskjermen for småhus i tre som tilfredsstillende kriteriene i norsk passivhusstandard. Anvisningene i Byggforskserien og i serien Fokus på tre vil være tilgjengelig om kort tid. Materialet vil imidlertid bare være et første skritt på veien. Kunnskapsbehovet om robuste løsninger for passivhus er betydelig større enn det som kan utarbeides på grunnlag av rapporten fra dette prosjektet.

For eksempel kan det i sammenheng med tretak oppstå spesielle utfordringer. A-takstoler, men også andre typer takstolløsninger, som brukes i stort omfang i norsk småhusbebyggelse i dag, gjør det i praksis svært vanskelig å få til kontinuerlig lufttetting på varm side. I prosjektet var det ikke rom for å belyse slike utfordringer nærmere.

Enova-rapporten om ”Kunnskapsbehov for å innføre passivhus som standard”⁴⁴ estimerer rundt 200 nye eller reviderte anvisninger i Byggforskserien som nødvendig i løpet av en sjuårsperiode for at bransjen som helhet kan levere robuste passivhus. Dette omfatter mye mer enn boliger og trekonstruksjoner og inkluderer alle bygningskategorier, rehabilitering, installasjoner, kuldebroatlas, oppdaterte U-verditabeller, beregningsverktøy mm. Tallet gir likevel en pekepinn på hvor mye som gjenstår å utarbeide.

Anvisningene som kommer som et resultat av prosjektet, kan bare vise et utvalg av konstruksjonsløsninger. Utvalget gjenspeiler kun en mindre del av konstruksjonene som ble analysert i rapporten. Det er flere løsninger som kunne være egnet, uten at de vises i de første anvisningene. Noen konstruksjonsløsninger har per i dag ikke tilstrekkelig statistisk dokumentasjon, og enkelte materialer og komponenter kunne være et alternativ til de viste, men mangler tilstrekkelig produktdokumentasjon. Sertifisering av passivhusegnede komponenter og systemer ville være til stor hjelp.

⁴⁴ Enovareport 2011:4, Trondheim februar 2011

9 Referanser

En del av referansene er tilgjengelig på internett. Det vises til lenker i tekst og fotnoter i de enkelte kapitlene.

- Altbauzentrum (utgiver). *Lambda plus. Montageanleitung*. Nürtingen, 2008.
- Ambrozy, Heinz Geza og Kai Lange. *Qualitätssicherung von Passivhäusern in Holzbauweise. Kriterienkatalog zur Qualitätssicherung in der Ausführung von Passivhäusern in Holzbauweise*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 23/2007. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2007 (flere vedlegg kun tilgjengelig digitalt på www.hausderzukunft.at).
- Andrén, Lars og Lars Tirén. *Passivhus. En handbok om energieffektivt byggande*. Stockholm: Svensk Byggtjänst, 2010.
- A/S Rockwool (utgiver). *Rockwool Flex Systemvegg*. Oslo: brosjyre uten år.
- Bastian, Zeno m.fl. *Altbaumodernisierung mit Passivhauskomponenten*. Darmstadt: Passivhausinstitut, 2009.
- Boström, Tobias m.fl. *Tvärvetenskaplig analys av lågenergihusen i Lindås Park, Göteborg*. Arbetsnotat Nr. 25. Program Energisystem, februar 2003.
- Byggdetaljer 573.344. *Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper*. Byggforskserien, Oslo: SINTEF Byggforsk, 2004.
- CEPHEUS – Cost Efficient Passive Houses as European Standards. Prosjekt innenfor EUs THERMIE-program med serie prosjektrapporter (*Projektinformation*) og tilhørende sammendrag (*Kurzdokumentation*). Forfattere fra hhv. Energieinstitut Vorarlberg (Projektinformation Nr. 25, 27, 28. Dornbirn, 2001.) og Passivhausinstitut (Projektinformation Nr. 18-21. Hannover, 2001).
- Danner, Michael. *Wohnen in der Passivhaussiedlung Lummerlund im Neubaugebiet Hannover-Kronsberg. Abschlussbericht zur sozialwissenschaftlichen Evaluation*. Agentur für Umweltkommunikation, uten år.
- Dokka, Tor Helge og Kjetil Helland. ”Løvåshagen: Norges første lavblokkprosjekt med passivhusstandard”. Bidrag i *Conference Proceedings. The first Nordic Conference on Passive Houses, 2-3 April 2008, Trondheim, Norway*. Passivhus Norden: Trondheim, 2008.
- Dokka, Tor Helge og Käthe Hermstad. *Energieeffektive boliger for fremtiden – En håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger*. Trondheim: SINTEF, 2006.
- Egnahemsbolaget og Efem arkitektkontor. *Hus utan värmesystem. 20 energisnåla radhus i Göteborg*. Prosjektbrochure. Göteborg, 2003.
- Enovarapport 2011:4. *Kunnskapsbehov for å innføre passivhus som standard*. Trondheim, februar 2011
- Enz, Daniela og Robert Hastings. *Innovative Wandkonstruktionen für Minergie-P und Passivhäuser*. Heidelberg, 2006.
- Feist, Wolfgang m.fl. *Passive House Planning Package, Requirements for Quality Approved Passive Houses og Passivhaus-Projektierungspaket, Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser* (håndbøker til beregningsprogrammet PHPP i engelsk og tysk versjon). Begge Darmstadt: Passivhausinstitut, 2007.
- Feist, Wolfgang (utgiver), Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser. Serie med *Protokollband*. Darmstadt, Passivhausinstitut:
- Protokollband Nr.14, *Passivhaus-Fenster*, 1998
 - Protokollband Nr.16, *Wärmebrückenfreies konstruieren*, 1999/2006 (spesielt bidraget fra Wolfgang Feist, *Wärmebrücken, Ψ-werte, Grundprinzipien des wärmebrückenfreien Konstruierens*)
 - Protokollband Nr. 21, *Architekturbeispiele: Wohngebäude*, 2002 (spesielt bidraget fra Rainer Pfluger, *Passivhausdetails beim Projekt Mehrfamilienhaus in München-Riem*)
 - Protokollband Nr. 24, *Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Altbaumodernisierung*, 2003
 - Protokollband Nr. 29, *Hochwärmegeämmte Dachkonstruktionen*, 2005. Spesielt bidraget fra Wolfgang Feist, *Hochwärmegeämmte Dächer – Einführung*.
 - Protokollband Nr. 32, *Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten: Passivhauskomponenten + Innendämmung*, 2005
 - Protokollband Nr. 33, *Passivhaus-Schulen*, 2006 (spesielt bidraget fra Gernot Vallentin og Walbrunn Grotz, *Projektbeispiel: Passivhausschule in Aufkirchen*)

Protokollband Nr. 37, *Optimierungsstrategien für Fensterbauart und Solarapertur unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Tageslicht, Solargewinnen und Sommerklima*, 2008 (spesielt bidraget fra Berthold Kaufmann, Markus John og Wolfgang Feist, *Optimierungsstrategien für das hochwärmegeämmte Fenster*)

Protokollband Nr. 39, *Schrittweise Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten*, 2009

Feist, Wolfgang m.fl. *Konstruktionshandbuch für Passivhäuser*, Darmstadt: Passivhausinstitut, 2000.

Forum för Energieeffektiva Byggnader (utgiver). *FEBY 2009. Kravspecifikation för Passivhus*. Göteborg, oktober 2009.

Gemeinschaft Dämmstoff Industrie (utgiver). *Details für Anwender*. Wien, 2008.

Großklos, Marc. *Passivhaus-Sanierung Frankfurt Rotlintstraße 116-128*. Foredrag på konferansen „Bauen und Sanieren mit Passivhauskomponenten“. Wiesbaden, 27.2.2009.

Hauser, Gerd. *Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Wohngebäuden durch Holzfaserdämmplatten*. Kassel, 2005.

Janson, Ulla. *Passive houses in Sweden. Experiences from design and construction phase*. Lund: LTH, 2008.

Jenssen, Kolbjørn Mohn (Mycoteam). ”Fukt og mikrobiologiske målinger i takkonstruksjoner”. Bidrag i *Nasjonalt fuktseminar 2010* (kompendium), Oslo: SINTEF Byggforsk, 2010.

Kaufmann, Berthold m.fl. *Das Passivhaus – Energieeffektives Bauen*. Informationsdienst Holz, Holzbau Handbuch Reihe 1 Teil 3 Folge 10. München og Bonn, 2002.

Kildsgaard, Ivana og Erik Prejer. *Dokumentation of project's development, planning, and building phases. Building's energy performance*. Borås: SP, 2010.

Klinski, Michael, Tor Helge Dokka og Trond Haavik. ”Pilotprosjekt zur kostengünstigen Modernisierung von Wohnblöcken nach dem Passivhausprinzip i Norwegen“. Bidrag på tysk og tsjekkisk i *Pasivní Domy 2010* (Kompendium fra Passivhuskonferanse for Tsjekkia og Slovakia). Brno: Centrum Pasivního Domu, 2010.

Klinski, Michael, Lars Halleraker og Harald Ringstad. ”Det første sertifiserte passivhus i Norge”. Bidrag i *Conference Proceedings. The first Nordic Conference on Passive Houses, 2-3 April 2008, Trondheim, Norway*. Passivhus Norden: Trondheim 2008.

Krapmeier, Helmut og Eckart Drössler. *CEPHEUS – Wohnkomfort ohne Heizung / Living Comfort without Heating*. Wien, 2001.

Lang, Günter. *1000 Passivhäuser in Österreich. Passivhaus Objektdatenbank: Interaktives Dokumentations-Netzwerk Passivhaus, 3. Dokumentationsperiode 2006–2009*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 85/2010. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2010.

Lignotrend GmbH (utgiver). *Die hoch wärmegeämmte Gebäudehülle mit U*psi*. Weilheim-Bannholz, 2007.

NS 3700, *Kriterier for passivhus og lavenergihus. Boligbygninger*. Oslo: Standard Norge, 2010.

Passivhuscentrum (utgiver). *Passivhus*. Alingsås: brosjyre, uten år.

Passivhaus-Objektdokumentation. Serie prosjektbeskrivelser av sertifiserte passivhus, brukt som dokumentasjon for godkjenning som passivhusplanlegger. Darmstadt: Passivhausinstitut, ulike år.

Peper, Søren og Wolfgang Feist. *Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg. Analyse im dritten Betriebsjahr*. Fachinformation PHI 2002/3. Darmstadt: Passivhausinstitut, 2002.

Risberg, Håkan. *Industrielt byggende av passivhus – Ett skarpt eksempel*. Martinsons Byggsystem: foredrag, uten år.

Våge, Magne m.fl. *Kurs i planlegging og bygging av passivhus. Grunnlagsmateriale for nettbasert kurs*. Universitetet i Agder, 2009.

Saint Gobain Isover a/s (utgiver). *Komfort husene – erfaringer, viden og inspiration*. Vamdrup, 2010.

Statens bygningsteknisk etat. *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. Oslo,

<http://byggeregler.be.no/dxp/content/tekniskekrav/>, sjekket 8.5.2011.

Steico AG (utgiver). *Detailkatalog Konstruktionen*. Feldkirchen, 2009.

Tegvald, Erik og Eva Lunden. *Studier av energibehov i energieffektiva radhus i Lindås*. Lund: LTH, 2006.

Vallentin, Gernot og Renate Vallentin. "Design of passive houses – combining wood and concrete". Bidrag i *Concrete ideas for Passive Houses. COIN Project report 20 – 2010*. SINTEF Building and Infrastructure: Oslo, 2010.

Wall, Maria. "Energy-efficient terrace houses in Sweden. Simulations and Measurements". Artikkel i *Energy and Buildings*, 2005.

Waltjen, Tobias m.fl. *Passivhaus-Bauteilkatalog. Ökologisch bewertete Konstruktionen / Details for Passive Houses. A catalogue of ecology rated constructions* (tospråklig håndbok på tysk og engelsk). Wien, 2008.

Wehinger, R. m.fl. *Neubau ökologisches Gemeindezentrum Ludesch*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 51/2006. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2006.

Zelger, Thomas m.fl. *PH-Sanierungsbauteilkatalog. Auswertung gebäudesanierungsbezogener HdZ-Forschungsberichte mit konstruktiven, bauphysikalischen und bauökologischen Ergänzungen*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 37/2009. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2009.

Diverse arbeidstegninger og enkeltdetaljer fra Efem arkitektkontor, Finnvedbostader, Martinsons Byggsystem, Swelite Byggsystem, WSP byggprosjektering, Vårgårdahus – alle stilt til disposisjon av Hans Eek, Håkan Risberg og Ulla Janson. I tillegg arbeidstegninger fra Arkitektskap AS og Holzbau Brüggemann samt mye bakgrunnsinformasjon fra Stephan Blohm i passivbau°.

10 Nettsteder

Passivhusinstitutt (tysk, noe engelsk og fransk)

<http://www.passiv.de/>

iPHA – The International Passive House Association

<http://www.passivehouse-international.org/>

Internasjonale passivhuskonferanser (tysk og engelsk)

<http://www.passivhaustagung.de/>

Passipedia (kunnskapsdatabase, tysk og engelsk)

http://passipedia.passiv.de/passipedia_de/

Prosjektdatabase Tyskland mfl. (tysk og engelsk)

<http://www.passivhausprojekte.de/projekte.php>

Prosjektdatabase Østerrike mfl. (tysk, noe engelsk)

http://www2.igpassivhaus.at/surface_new/start.htm

Prosjektdatabase Europa (tysk, engelsk)

http://www.passivehousedatabase.eu/search_detail.php

Forskningsresultater fra Østerrike (tysk og engelsk)

<http://www.hausderzukunft.at/>

Institutt for bygningsbiologi og -økologi i Østerrike (tysk, engelsk, italiensk)

<http://www.ibo.at/de/>

Energiinstitutt Vorarlberg (tysk, engelsk, fransk)

<http://www.energieinstitut.at/>

<http://www.passivhuscentrum.se/>

<http://www.energieeffektivbyggnader.se/>

<http://www.passiv.no/start> (oppdateres ikke)

<http://www.husbanken.no/miljo-energi/>

<http://lavenergiprogrammet.no/>

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

<http://www.trefokus.no/newFrontpage.aspx?m=1108>

A Vedlegg Eksempler fra Passivhaus-Bauteilkatalog/Details for Passive Houses

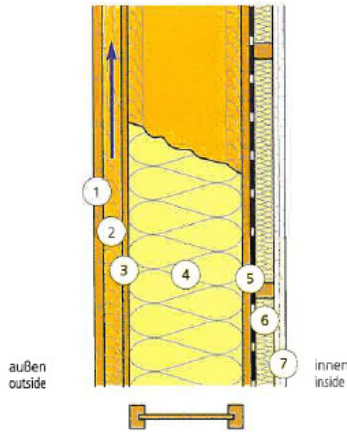
Vedlegg A.1- A.3 viser eksempler fra ”Passivhaus-Bauteilkatalog/Details for Passive Houses”, håndboka som er omtalt i avsnitt 5.2.2 i foreliggende rapport. Vedlegg A.1 gjengir to eksempelsider for veggkonstruksjonen AWI 06 i sin helhet, med alle beskrivelser og økologiske vurderinger på tysk og engelsk med tegning, tekst, tabeller og diagrammer. Vedlegg A.2 og A.3 viser et utdrag for andre vegg- og takkonstruksjoner i tre med tegning, kort beskrivelse og bygningsfysiske verdier.

A.1 Eksemplsider for veggkonstruksjon AWI 06

Side 88 og 89 i håndboka er gjengitt på de to etterfølgende sider.

AWI 06 Doppel-T-Träger-Außenwand, hinterlüftet

Double T-beam outside wall, rear ventilation



Bauphysik • Building physics

	Einheit Unit	Gängig Usual	Alternative Alternative
Gesamtdicke • Total thickness	[cm]	49	48
Wärmedurchgangskoeffizient • Thermal transmission coefficient	[W/(m²K)]	0,12	0,12
Bewertetes Schalldämmmaß R_w • Rated sound insulation value R_w	[dB]	50	50
Feuchtetechnische Sicherheit • Moisture safety	[kg/m³a]	0,003/0,003	0/0
Wirksame Wärmespeicherkapazität • Effective heat capacity	[kJ/(m²K)]	24	24

[cm]	Gängiger Aufbau von außen nach innen Usual construction from outside to inside	
1	2,5	Holzschalung • Wood shuttering
2	5	Hinterlüftung zw. senkrechten Holzlatten* • Rear ventilation bet. upright wood lathes*
3	1,6	Spanplatte • Chipboard
4	30	Mineralwolleplatten zwischen vertikalen Doppel-T-Trägern • Mineral wool panels bet. vertical double T-beams
5	2,2	Spanplatte mit innenseitiger Dampfbremse • Chipboard with interior-lateral vapor barrier
6	5	Mineralwolleplatten zwischen horizontalen Latten (Installationsebene) • Mineral wool panels bet. horizontal lathes (services level)
7	3	2 Lg. Gipskarton-Brandschutzplatten • 2-layer gypsum plasterboard fire protection panel

[cm]	Alternativer Aufbau von außen nach innen Alternative construction from outside to inside	
1	2,5	Holzschalung • Wood shuttering
2	5	Hinterlüftung zw. senkrechten Holzlatten* • Rear ventilation bet. upright wood lathes*
3	1,6	MDF-Platte • MDF panel
4	30	Zellulose zwischen vertikalen Doppel-T-Trägern • Cellulose bet. vertical double T-beams
5	1,8	OSB-Platte • OSB panel
6	5	Schafwolle zwischen horizontalen Latten (Installationsebene) • Lambs-wool panels bet. horizontal lathes (services level)
7	2,5	2 Lg. Gipsfaserplatten • 2-layer gypsum fiberboard

Technische Beschreibung

Eignung

- Für Vorfertigung geeignet
- Für mittlere Schallschutzanforderungen
- Für niedrige Anforderungen an die speicherwirksame Masse

Ausführungshinweise

- Dampfbremse (OSB-Platte) und Windsperre sorgfältig mit verklebten Stößen und dicht ausgeführten Anschlüssen an flankierende Bauteile ausführen
- Die Entlüftungsoffnung mit einem feinmaschigen Insektenschutzgitter verschließen (Freier Mindestquerschnitt in Anlehnung an ÖNORM B 8110-2: 200 cm²/m)
- Die als Windsperre wirkende äußere Beplankung der Doppel-T-Träger (z.B. Spanplatte) sorgfältig strömungsdicht ausführen (Stöße sorgfältig abkleben, feuchtebeständige Materialien verwenden)

Instandhaltung

- Bei Beachtung der Richtlinien des konstruktiven → Holzschutzes ist kein chemischer Holzschutz erforderlich
- Verletzungen der Dampfbremse (OSB-Platte), z.B. infolge von Installationsarbeiten, sorgfältig mit dampfdichtem Material überkleben

Diskussion des Aufbaus

- Die innerste Dämmebene dient als Installationsschicht, bietet Zusatznutzen einer zusätzlichen Dämmung und einen guten mechanischen Schutz für die Dampfbremse (OSB-Platte)
- Die fehlende äußere Dämmebene bedingt Wärmebrücken durch Anschluss der Doppel-T-Träger an die Außenschale, die aber wegen der geringen Stegdicke der Träger geringer sind als bei Verwendung von Vollholz-Pfosten

Technical description

Suitability

- Suitable for prefabrication
- For medium-level sound insulation requirements
- For low storage mass efficiency requirements

Construction process

- Vapor barrier (OSB panel) and wind barrier should be assembled with bonded joints and tight connections to the flanking building segments
- Cover the ventilation opening with a fine-mesh insect screen (200 cm²/m minimum open cross-section with regard to ÖNORM B 8110-2)
- The exterior planking of the double T-beams (e.g. chipboard) that serves as a wind barrier should be assembled with close attention to flow-resistance (joints should be bonded carefully, use moisture-resistant materials)

Maintenance

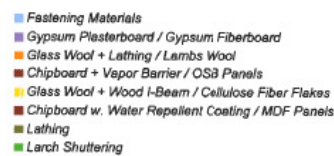
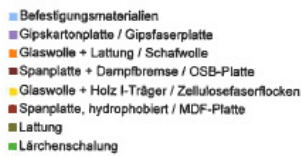
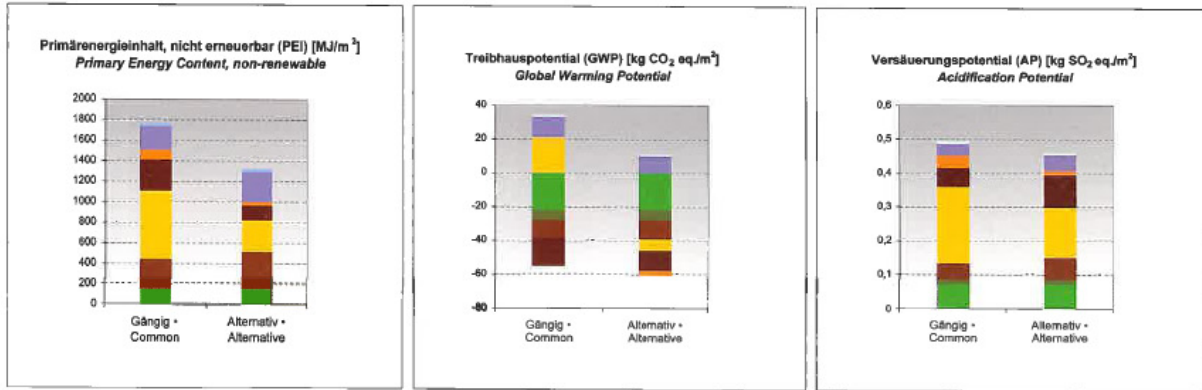
- No chemical wood protection is required if the guidelines for structural → wood protection are followed
- Vapor barrier damage (OSB panel) e.g. due to installation work, should be carefully sealed with vapor-tight material

Structural discussion

- The innermost insulation layer serves as services level. It also provides additional insulation and offers good mechanical protection for the vapor barrier (OSB panel)
- The lack of an outer insulation layer leads to thermal bridges due to the connection of double T-beams to the exterior shell. However, due to the thin web of the beams the thermal bridges are less significant than those resulting from solid wood posts.

Ökologisches Profil / Ecological profile

Herstellung / Production



Hinweise zu Ökologie, Arbeits- und Gesundheitsschutz

Herstellung

- Lärchenholz aus nachhaltiger regionaler Holzwirtschaft verwenden – vermeidet Zerstörung schützenswerter Wälder

Einbau

- Schafwolldämmstoff – vermeidet Faserbelastung und Hautreizung durch Mineralfasern
- Umfassender Arbeitsschutz – reduziert Gesundheitsbelastungen durch Mineral- und Zellulosefaser

Nutzung

- Emissionsarme Span- und OSB-Platten – reduzieren Emissionen von Formaldehyd und VOC
- Schafwolldämmstoff – vermeidet Emissionen von Mineralfasern und Formaldehyd aus Mineralwolle
- Strömungsdichte Fugenausbildung – vermeidet Mineralfaseremissionen in Raumluft

Notes on environmental protection, workplace and health protection measures

Production

- Use larch wood from sustainable regional production areas – prevents the destruction of forests worth preserving

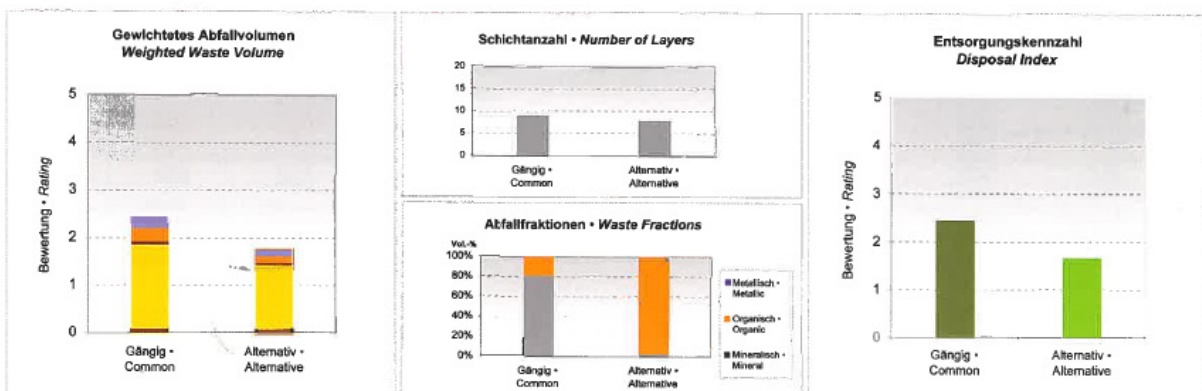
Installation

- Lambswool insulation material – prevents the development of skin irritations caused by mineral fibers
- Comprehensive protective work equipment – reduces health hazards caused by mineral and cellulose fibers

Use

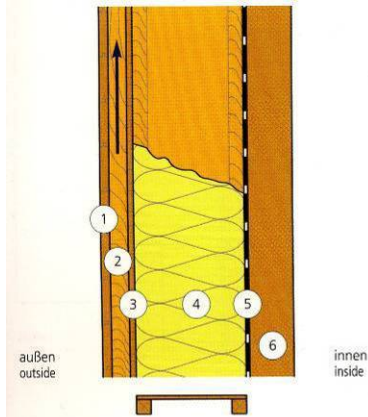
- Low-emission chipboard and OSB panels – reduce formaldehyde and VOC emissions
- Lambswool insulation – avoids mineral wool and formaldehyde emissions
- Flow-sealed joint structure – prevents mineral fiber emissions in room air

Entsorgung und Verwertung / Disposal and utilization



A.2 Beskrivelse av veggkonstruksjon AWh 01 og AWL 01-05

AWh 01 Brettstapel-Außenwand, hinterlüftet/Stacked wood outside wall, rear ventilation



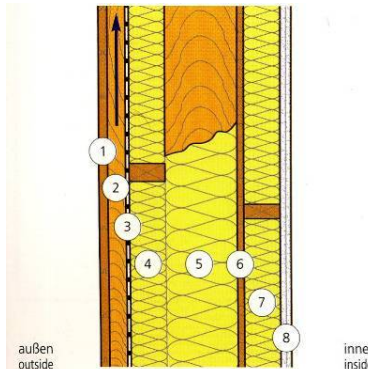
Bauphysik • Building physics

	Einheit Unit	Gängig Usual	Alternative
Gesamtdicke • Total thickness	[cm]	51	52
Wärmedurchgangskoeffizient • Thermal transmission coefficient	[W/(m ² K)]	0,12	0,12
Bewertetes Schalldämmmaß R _w • Rated sound insulation value R _w	[dB]	54	54
Feuchtetechnische Sicherheit • Moisture safety	[kg/m ² a]	0/0	0,35/0,35
Wirksame Wärmespeicherkapazität • Effective heat capacity	[kJ/(m ² K)]	64	64

[cm]	Gängiger Aufbau von außen nach innen Usual construction from outside to inside
1	2,5 Holzschalung • Wood shuttering
2	5 Hinterlüftung zw. senkrechten Holzlatten • Rear ventilation bet. upright wood lathes
3	1,6 MDF-Platte • MDF-board
4	30 Mineralwolle zwischen Holz C-Trägern • Mineral wool bet. wood C-beams
5	- PE-Dampfbremse • PE vapor barrier
6	12 Brettstapelwand, vernagelt • Stacked wood wall, nailed

[cm]	Alternativer Aufbau von außen nach innen Alternative construction from outside to inside
1	2,5 Holzschalung • Wood shuttering
2	5 Hinterlüftung zw. senkrechten Holzlatten • Rear ventilation bet. upright wood lathes
3	2,4 Holzschalung darauf PE-Folie, diffusionsoffen • Wood shuttering, open diffusion PE foil on top
4	30 Zelluloseflocken zwischen vertikalen Holz C-Trägern • Cellulose flakes bet. vertical wood C-beams
5	- PE-Dampfbremse • PE vapor barrier
6	12 Brettstapelwand, verdübelt • Stacked wood wall, dowelled

AWL 01 Holzständer-Außenwand, hinterlüftet/Wood post outside wall, rear ventilation



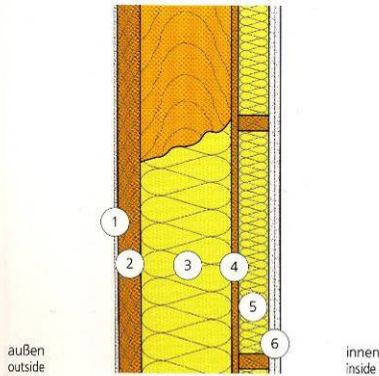
Bauphysik • Building physics

	Einheit Unit	Gängig Usual	Alternative
Gesamtdicke • Total thickness	[cm]	50	50
Wärmedurchgangskoeffizient • Thermal transmission coefficient	[W/(m ² K)]	0,12	0,12
Bewertetes Schalldämmmaß R _w • Rated sound insulation value R _w	[dB]	51	51
Feuchtetechnische Sicherheit • Moisture safety	[kg/m ² a]	0/0	0/0
Wirksame Wärmespeicherkapazität • Effective heat capacity	[kJ/(m ² K)]	23	23

[cm]	Gängiger Aufbau von außen nach innen Usual construction from outside to inside
1	2,5 Holzschalung • Wood shuttering
2	5 Hinterlüftung zw. senkrechten Holzlatten • Rear ventilation bet. upright wood lathes
3	- Windsperre, diff. offen, wasserabweisend • Wind barrier, open diff., water repellent
4	10 Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten • Mineral wool panels bet. horizontal lathes
5	18 Mineralwolleplatten zw. vertikalen Pfosten • Mineral wool panels bet. vertical posts
6	1,8 OSB-Platte • OSB panel
7	10 Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene) • Mineral wool panels bet. horizontal lathes (services level)
8	3 2 Lg. Gipskarton-Brandschutzplatten • 2-layer gypsum plasterboard fire protection panels

[cm]	Alternativer Aufbau von außen nach innen Alternative construction from outside to inside
1	2,5 Holzschalung • Wood shuttering
2	5 Hinterlüftung zw. senkrechten Holzlatten • Rear ventilation bet. upright wood lathes
3	- Windsperre, diff. offen, wasserabweisend • Wind barrier, open diff., water repellent
4	10 Hanfdämmplatten zw. horizontalen Latten • Hemp insulation panels bet. horizontal lathes
5	18 Hanfdämmplatten zw. vertikalen Pfosten • Hemp insulation panels bet. vertical posts
6	1,8 OSB-Platte • OSB panel
7	10 Schafwolle zw. horizontalen Latten (Installationsebene) • Lambswool bet. horizontal lathes (services level)
8	2,5 2 Lg. Gipsfaserplatten • 2-layer gypsum fiberboard

AWL 02 Holzständer-Außenwand, verputzt/Wood post outside wall, plastered



[cm]	Gängiger Aufbau von außen nach innen Usual construction from outside to inside
1	0,6 Außenputz, bewehrt • Exterior plaster, reinforced
2	6 Poröse Holzfaserverplatte, verputzt • Porous fiberboard panels, plastered
3	24 Mineralwolleplatten zw. KVH* • Mineral wool panels bet. KVH*
4	1,8 OSB-Platte • OSB panel
5	8 Mineralwolleplatten zwischen horizontalen Latten (Installationsebene) • Mineral wool panels bet. horizontal lathes (services level)
6	3 2 Lg. Gipskarton-Brandschutzplatten • 2-layer gypsum plasterboard fire protection panels

*KVH = Konstruktionsvollholz

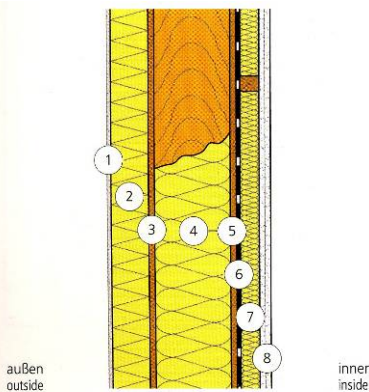
Bauphysik • Building physics

	Einheit Unit	Gängig Usual	Alternative
Gesamtdicke • Total thickness	[cm]	44	43
Wärmedurchgangskoeffizient • Thermal transmission coefficient	[W/(m ² K)]	0,12	0,12
Bewertetes Schalldämmmaß R _w • Rated sound insulation value R _w	[dB]	51	51
Feuchtetechnische Sicherheit • Moisture safety	[kg/m ² a]	0,28/0,28	0,276/0,276
Wirksame Wärmespeicherkapazität • Effective heat capacity	[kJ/(m ² K)]	24	24

[cm]	Alternativer Aufbau von außen nach innen Alternative construction from outside to inside
1	0,6 Außenputz, bewehrt • Exterior plaster, reinforced
2	6 Poröse Holzfaserverplatte, verputzt • Porous fiberboard panels, plastered
3	24 Flachs zw. KVH* • Flax bet. KVH*
4	1,8 OSB-Platte • OSB panel
5	8 Schafwolle zwischen horizontalen Latten (Installationsebene) • Lambswool bet. horizontal lathes (services level)
6	2,5 2 Lg. Gipsfaserverplatten • 2-layer gypsum fiberboard

*KVH = Certified Solid Construction Wood

AWL 03 Holzständer-Außenwand, mit WDVS/Wood post outside wall, with ETICS



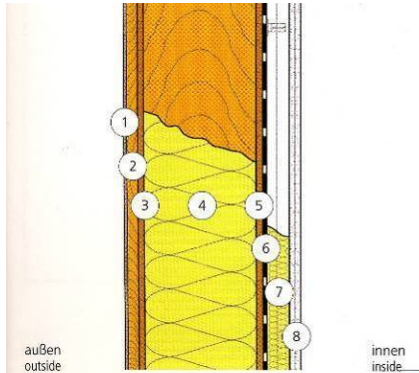
[cm]	Gängiger Aufbau von außen nach innen Usual construction from outside to inside
1	- Silikatputz • Silicate plaster
2	10 Mineralwolle • Mineral wool
3	1,6 Spanplatte • Chipboard
4	20 Mineralwolleplatten zw. vertikalen Pfosten • Mineral wool panels bet. vertical posts
5	1,8 Spanplatte • Chipboard
6	- PE-Dampfbremse • PE vapor barrier
7	5 Mineralwolleplatten zwischen horizontalen Latten (Installationsebene) • Mineral wool panels bet. horizontal lathes (services level)
8	3 2 Lg. Gipskarton-Brandschutzplatten • 2-layer gypsum plasterboard fire protection panels

Bauphysik • Building physics

	Einheit Unit	Gängig Usual	Alternative
Gesamtdicke • Total thickness	[cm]	41	44
Wärmedurchgangskoeffizient • Thermal transmission coefficient	[W/(m ² K)]	0,12	0,12
Bewertetes Schalldämmmaß R _w • Rated sound insulation value R _w	[dB]	51	55
Feuchtetechnische Sicherheit • Moisture safety	[kg/m ² a]	0/0	0/0
Wirksame Wärmespeicherkapazität • Effective heat capacity	[kJ/(m ² K)]	23	65

[cm]	Alternativer Aufbau von außen nach innen Alternative construction from outside to inside
1	1,5 Silikatputz auf Mittelbett • Silicate plaster on medium bed thinset
2	12 Hanf • Hemp
3	2,4 Holzschalung • Wood shuttering
4	20 Flachs zw. vertikalen Pfosten • Flax bet. vertical posts
5	1,8 OSB-Platte, Stöße verklebt • OSB panel, bonded joints
6	- entfällt • N/A
7	5 Holzwolle-Leichtbauplatte • Wood wool lightweight panel
8	1,5 Lehmputz • Loam rendering

AWL 04 Brettschichtholzständer-Außenwand, nicht hinterlüftet/ Laminated wood post outside wall, no rear ventilation



außen
outside

innen
inside

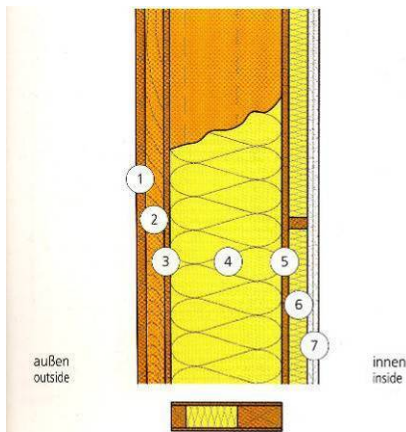
[cm]	Gängiger Aufbau von außen nach innen Usual construction from outside to inside
1	0,8 Faserzementplatten • Fiber cement panels
2	3 Holzlatten ohne Hinterlüftung • Wood lathes, no rear ventilation
3	1,6 MDF-Platte • MDF panel
4	30 Mineralwolle zw. Brettschichtholz-Stehern • Mineral wool bet. laminated wood posts
5	1,8 OSB-Platte • OSB panel
6	- PE-Dampfsperre • PE vapor barrier
7	6 Mineralwolle zw. Schwingbügel • Mineral wool bet. adj. strap hangers
8	3 2 Lg. Gipskarton-Brandschutzplatte • 2-layer gypsum plasterboard fire protection panel

Bauphysik • Building physics

	Einheit Unit	Gängig Usual	Alternative
Gesamtdicke • Total thickness	[cm]	46	48
Wärmedurchgangskoeffizient • Thermal transmission coefficient	[W/(m ² K)]	0,12	0,12
Bewertetes Schalldämmmaß R_{w} • Rated sound insulation value R_{w}	[dB]	52	52
Feuchtetechnische Sicherheit • Moisture safety	[kg/m ² a]	0/0	0,006/0,006
Wirksame Wärmespeicherkapazität • Effective heat capacity	[kJ/(m ² K)]	24	24

[cm]	Alternativer Aufbau von außen nach innen Alternative construction from outside to inside
1	2,5 Lärchenschalung • Larch shuttering
2	3 Holzlatten ohne Hinterlüftung • Wood lathes, no rear ventilation
3	2 Holzschalung diagonal, darauf PE-Windsperre diffusionsoffen • Diagonal wood shuttering, open diffusion PE wind barrier on top
4	30 Hanf zw. Brettschichtholz-Stehern • Hemp bet. laminated wood posts
5	2 Holzschalung diagonal • Diagonal wood shuttering
6	- PE-Dampfsperre • PE vapor barrier
7	6 Schafwolle zw. Schwingbügel • Lambswool bet. adj. strap hangers
8	3 2 Lg. Gipskarton-Brandschutzplatte • 2-layer gypsum plasterboard fire protection panel

AWL 05 Boxträger-Außenwand, hinterlüftet/Box beam outside wall, rear ventilation



außen
outside

innen
inside

[cm]	Gängiger Aufbau von außen nach innen Usual construction from outside to inside
1	2,5 Lärchenschalung • Larch shuttering
2	5 Hinterlüftung zw. senkrechten Holzlatten, Insektenschutzgitter • Rear ventilation bet. upright wood lathes, insect screen
3	1,6 MDF-Platte • MDF panel
4	30 Mineralwolle zw. Boxträger* • Mineral wool bet. box beams*
5	1,8 OSB-Platte • OSB panel
6	5 Mineralwolle zw. Holzlatten • Mineral wool bet. wood lathes
7	3 2 Lg. Gipskarton-Brandschutzplatte • 2-layer gypsum plasterboard fire protection panel

* Kantholz innen 6/12, außen 6/4 und beidseitiger 8 mm Holzwerkstoffplatte

Bauphysik • Building physics

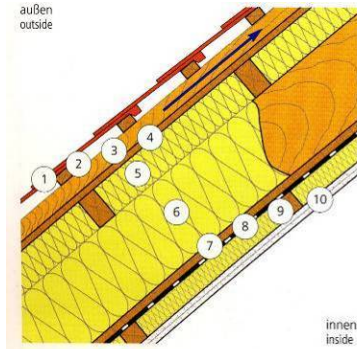
	Einheit Unit	Gängig Usual	Alternative
Gesamtdicke • Total thickness	[cm]	49	55
Wärmedurchgangskoeffizient • Thermal transmission coefficient	[W/(m ² K)]	0,12	0,12
Bewertetes Schalldämmmaß R_{w} • Rated sound insulation value R_{w}	[dB]	50	50
Feuchtetechnische Sicherheit • Moisture safety	[kg/m ² a]	0/0	0/0
Wirksame Wärmespeicherkapazität • Effective heat capacity	[kJ/(m ² K)]	24	24

[cm]	Alternativer Aufbau von außen nach innen Alternative construction from outside to inside
1	2,5 Lärchenschalung • Larch shuttering
2	5 Hinterlüftung zw. senkrechten Holzlatten, Insektenschutzgitter • Rear ventilation bet. upright wood lathes, insect screen
3	2 Holzschalung diagonal, darauf PE-Windsperre diffusionsoffen • Diagonal wood shuttering, open diffusion PE wind barrier on top
4	36 Stroh zw. Boxträger* • Straw bet. box beams*
5	1,8 OSB-Platte • OSB panel
6	5 Schafwolle zw. Holzlatten • Lambswool bet. wood lathes
7	3 2 Lg. Gipskarton-Brandschutzplatte • 2-layer gypsum plasterboard fire protection panel

* Rectangular timber 6/12 inside, 6/4 outside and industrial wood panel 8 mm on both sides

A.3 Beskrivelse av takkonstruksjon DAI 01-04

DAI 01 Holzsparren-Steildach/Wood rafter steeply-pitched roof



[cm]	Gängiger Aufbau von außen nach innen Usual construction from outside to inside
1	- Deckung* • Covering*
2	3 Lattung 3/5 • Lathes 3/5
3	5 Durchlüftung zw. Konterlattung • Ventilation bet. cross-lathing
4	2 Holzfaser-Unterdachplatten (bituminert) • Wood fiber inside roofing layer (bitumenized)
5	10 Mineralfaserfilz zw. horizontalen Latten • Mineral fiber felt bet. horizontal lathes
6	24 Mineralfaserfilz zw. Sparren • Mineral fiber felt bet. rafters
7	2,2 Spanplatte • Chipboard
8	- Dampfbremse • Vapor barrier
9	6 Mineralfaserfilz zw. horizontalen Latten • Mineral fiber felt bet. horizontal lathes
10	3 2 Lg. Gipskarton-Brandschutzplatten • 2-layer gypsum plasterboard fire protection panels

*Für die Berechnung wurde Dachziegel verwendet

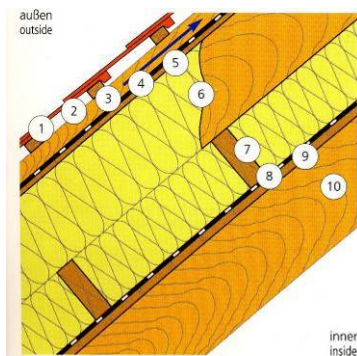
Bauphysik • Building physics

	Einheit Unit	Gängig Usual	Alternative
Gesamtdicke • Total thickness	[cm]	55	54
Wärmedurchgangskoeffizient • Thermal transmission coefficient	[W/(m ² K)]	0,10	0,10
Bewertetes Schalldämmmaß R _w • Rated sound insulation value R _w	[dB]	51	51
Feuchtetechnische Sicherheit • Moisture safety	[kg/m ² a]	0/0	0/0
Wirksame Wärmespeicherkapazität • Effective heat capacity	[kJ/(m ² K)]	28	32

[cm]	Alternativer Aufbau von außen nach innen Alternative construction from outside to inside
1	- Deckung* • Covering*
2	3 Lattung 3/5 cm • Lathes 3/5 cm
3	5 Durchlüftung zw. Konterlattung • Ventilation bet. cross-lathing
4	2 Holzfaserplatte naturharz imprägniert, NF • Wood fiberboard treated with natural resin, tongue and groove
5	10 Flachs zw. horizontalen Latten • Flax felt bet. horizontal lathes
6	24 Flachs zw. Sparren • Flax felt bet. rafters
7	2,2 OSB-Platte • OSB panel
8	- entfällt • N/A
9	6 Schafwolle zw. horizontalen Latten • Lambswool felt bet. horizontal lathes
10	2,5 2 Lg. Gipsfaserplatte • 2-layer gypsum fiberboard

*Calculations based on the use of roof bricks

DAI 02 Holzsparren-Steildach mit Aufsparrendämmung/ Wood rafter steeply-pitched roof with rafter insulation



[cm]	Gängiger Aufbau von außen nach innen Usual construction from outside to inside
1	- Deckung* • Covering*
2	3 Lattung 3/5 • Lathes 3/5
3	5 Durchlüftung zw. Konterlattung 5/5 • Ventilation bet. cross-lathing 5/5
4	- Diffusionsoffene Dachauflegebahn, winddicht verklebt • Open diffusion roofing sheet, sealed (windtight)
5	1,6 Poröse-Holzfaser-Unterdachplatte • Porous wood fiber inside roofing layer
6	24 Mineralwolleplatten zw. vertikalen Latten • Mineral wool panels bet. vertical lathes
7	18 Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten • Mineral wool panels bet. horizontal lathes
8	- PE- Dampfbremse • PE vapor barrier
9	2,5 Sichtschalung N+F • Exposed shuttering, tongue and groove
10	- Sparren, frei sichtbar** • Freely visible rafters**

* Für die Berechnung wurde Dachziegel verwendet

** Dimensionierung nach statischen und brandschutztechnischer Erfordernis

Bauphysik • Building physics

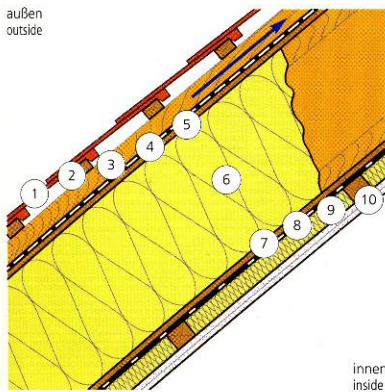
	Einheit Unit	Gängig Usual	Alternative
Gesamtdicke • Total thickness	[cm]	54	55
Wärmedurchgangskoeffizient • Thermal transmission coefficient	[W/(m ² K)]	0,10	0,10
Bewertetes Schalldämmmaß R _w • Rated sound insulation value R _w	[dB]	51	50
Feuchtetechnische Sicherheit • Moisture safety	[kg/m ² a]	0/0	0/0
Wirksame Wärmespeicherkapazität • Effective heat capacity	[kJ/(m ² K)]	18	18

[cm]	Alternativer Aufbau von außen nach innen Alternative construction from outside to inside
1	- Deckung* • Covering*
2	3 Lattung 3/5 • Lathes 3/5
3	5 Durchlüftung zw. Konterlattung 5/5 • Ventilation bet. cross-lathing 5/5
4	- Diffusionsoffene Dachauflegebahn, winddicht verklebt • Open diffusion roofing sheet, sealed (windtight)
5	2,4 Holzschalung • Wood shuttering
6	24 Flachsdämmplatten zw. vertikalen Latten • Flax insulation panels bet. vertical lathes
7	18 Flachsdämmplatten zw. horizontalen Latten • Flax insulation panels bet. horizontal lathes
8	- PE- Dampfbremse • PE vapor barrier
9	2,5 Sichtschalung N+F • Exposed shuttering, tongue and groove
10	- Sparren, frei sichtbar** • Freely visible rafters**

* Calculations based on the use of roof bricks

** Dimensions acc. to static and fire protection requirements

DAI 03 Doppel-T-Träger-Steildach/Double t-beam steeply-pitched roof



[cm]	Gängiger Aufbau von außen nach innen Usual construction from outside to inside
1	- Deckung* • Covering*
2	3 Lattung 3/5 cm • Lathes 3/5 cm
3	5 Durchlüftung zw. Konterlattung • Ventilation bet. cross lathes
4	- Diffusionsoffene Dachauflegebahn, winddicht verklebt • Open diffusion roofing sheet, sealed (windtight)
5	1,6 MDF-Platte NF • MDF panel, tongue and groove
6	36 Mineralwolle zw. Doppel-T-Trägern • Mineral wool bet. double-T beams
7	2,2 Spanplatte • Chipboard
8	- PE-Dampfbremse • PE vapor barrier
9	5 Mineralwolle zw. horizontalen Latten • Mineral wool bet. horizontal lathes
10	3 2 Lg. Gipskarton-Brandschutzplatten • 2-layer gypsum plasterboard fire protection panels

* Für die Berechnung wurde Dachziegel verwendet

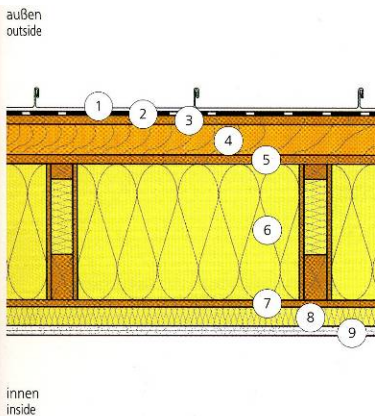
Bauphysik • Building physics

	Einheit Unit	Gängig Usual	Alternative
Gesamtdicke • Total thickness	[cm]	56	56
Wärmedurchgangskoeffizient • Thermal transmission coefficient	[W/(m ² K)]	0,10	0,10
Bewertetes Schalldämmmaß R _w • Rated sound insulation value R _w	[dB]	52	52
Feuchtetechnische Sicherheit • Moisture safety	[kg/m ² a]	0,005/0,005	0,305/0,305
Wirksame Wärmespeicherkapazität • Effective heat capacity	[kJ/(m ² K)]	28	28

[cm]	Alternativer Aufbau von außen nach innen Alternative construction from outside to inside
1	- Deckung* • Covering*
2	3 Lattung 3/5 cm • Lathes 3/5 cm
3	5 Durchlüftung zw. Konterlattung • Ventilation bet. cross lathes
4	- Diffusionsoffene Dachauflegebahn, winddicht verklebt • Open diffusion roofing sheet, sealed (windtight)
5	2,4 Holzschalung • Wood shuttering
6	36 Zellulose zw. Doppel-T-Trägern • Cellulose bet. double-T beams
7	1,8 OSB-Platte luftdicht verklebt • OSB panel, sealed (windtight)
8	- entfällt • N/A
9	5 Schafwolle zw. horizontalen Latten • Lambswool bet. horizontal lathes
10	2,5 2 Lg. Gipsfaserplatten • 2-layer gypsum fiberboard

*Calculations based on the use of roof bricks

DAI 04 Boxträger-Steildach/Box beam steeply-pitched roof



[cm]	Gängiger Aufbau von außen nach innen Usual construction from outside to inside
1	- Alu-Blech • Sheet aluminum
2	- Trennlage Struktur-Antidröhnmatte • Separating layer structured anti-drumming mat
3	2,4 Holzschalung • Wood shuttering
4	8 Hinterlüftung zw. Holzlatzen, Insektenschutzgitter • Rear ventilation bet. wood lathes, insect screen
5	2,4 Poröse Holzfaserplatte, bitumenisiert* • Porous wood fiberboard with bitumen impregnation*
6	36 Mineralwolle zw. Boxträger • Mineral wool bet. box beams
7	1,8 OSB-Platte, strömungsdicht verklebt • OSB panel, sealed (airtight)
8	5 Mineralwolle zw. Holzlatzen • Mineral wool bet. wood lathes
9	2,5 2 Lg. Gipskarton-Brandschutzplatten • 2-layer gypsum plasterboard fire protection panels

* Je nach Gefälle und Traufganglänge

Bauphysik • Building physics

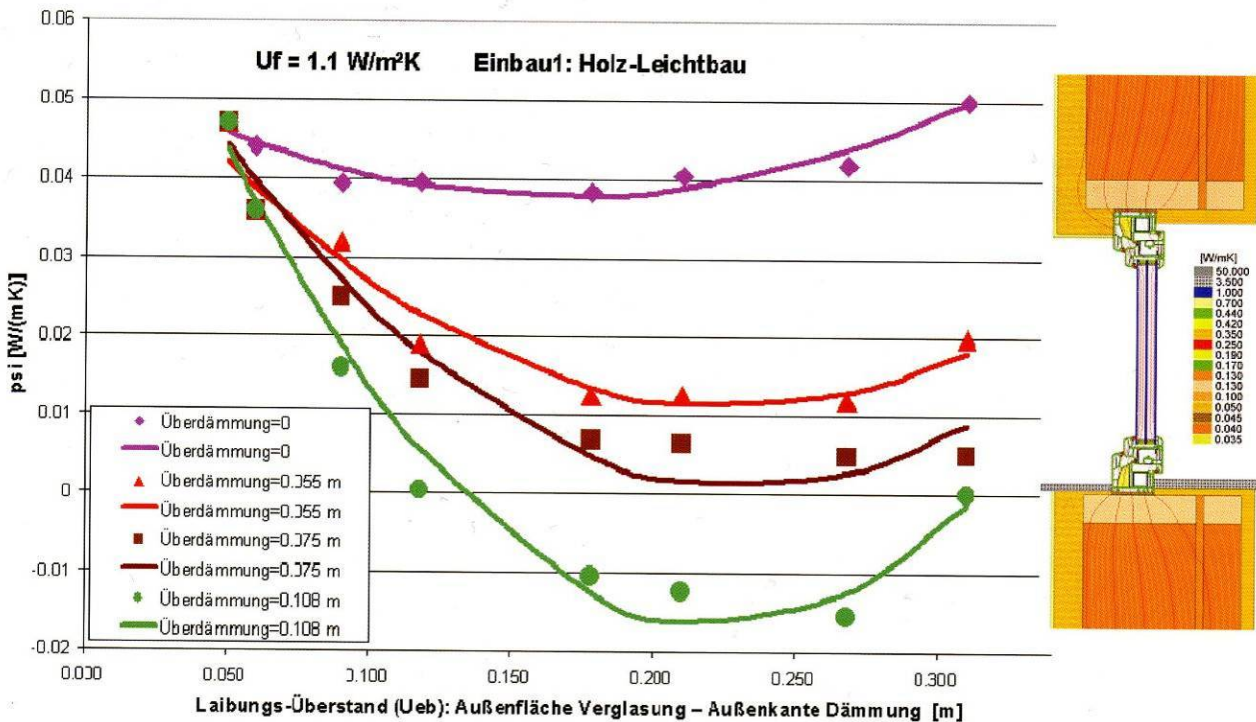
	Einheit Unit	Gängig Usual	Alternative
Gesamtdicke • Total thickness	[cm]	58	59
Wärmedurchgangskoeffizient • Thermal transmission coefficient	[W/(m ² K)]	0,10	0,10
Bewertetes Schalldämmmaß R _w • Rated sound insulation value R _w	[dB]	54	54
Feuchtetechnische Sicherheit • Moisture safety	[kg/m ² a]	0/0	0/0
Wirksame Wärmespeicherkapazität • Effective heat capacity	[kJ/(m ² K)]	23	28

* Depending on the incline and eaves channel length

B Vedlegg Optimalisering av vindusinnsetting

Vedlegg B.1 og B.2 viser hvordan innsettingskuldebroen for vinduer påvirkes av selve vinduets plassering i vegg, isolasjon på karmen og karmens kvalitet (U-verdi). Figurene er hentet fra bidraget til Berthold Kaufmann, Markus John og Wolfgang Feist, "Optimierungsstrategien für das hochwärmegeämmte Fenster" i Passivhusinstituttets "Protokollband 37" og er en grafisk framstilling av resultatene som er omtalt i avsnitt 5.2.4 i foreliggende rapport. Det understrekes at konkrete kuldebroverdier er avhengig av valgte materialer og konstruksjoner. Nøyaktige tallverdier kan derfor ikke overføres direkte til andre situasjoner.

B.1 Innsettingskuldebro for vindu med moderat god karm i trestendervegg



X-akse: Ueb = Avstand ytterkant glass – ytterkant fasadeisolasjon [m]

Y-akse: psi = Innsettingskuldebro for hele vinduet, vektet gjennomsnitt [W/mK]

Überdämmung = Isolasjon ført på karmen, karmbredde som dekkes [m]

Forutsetninger:

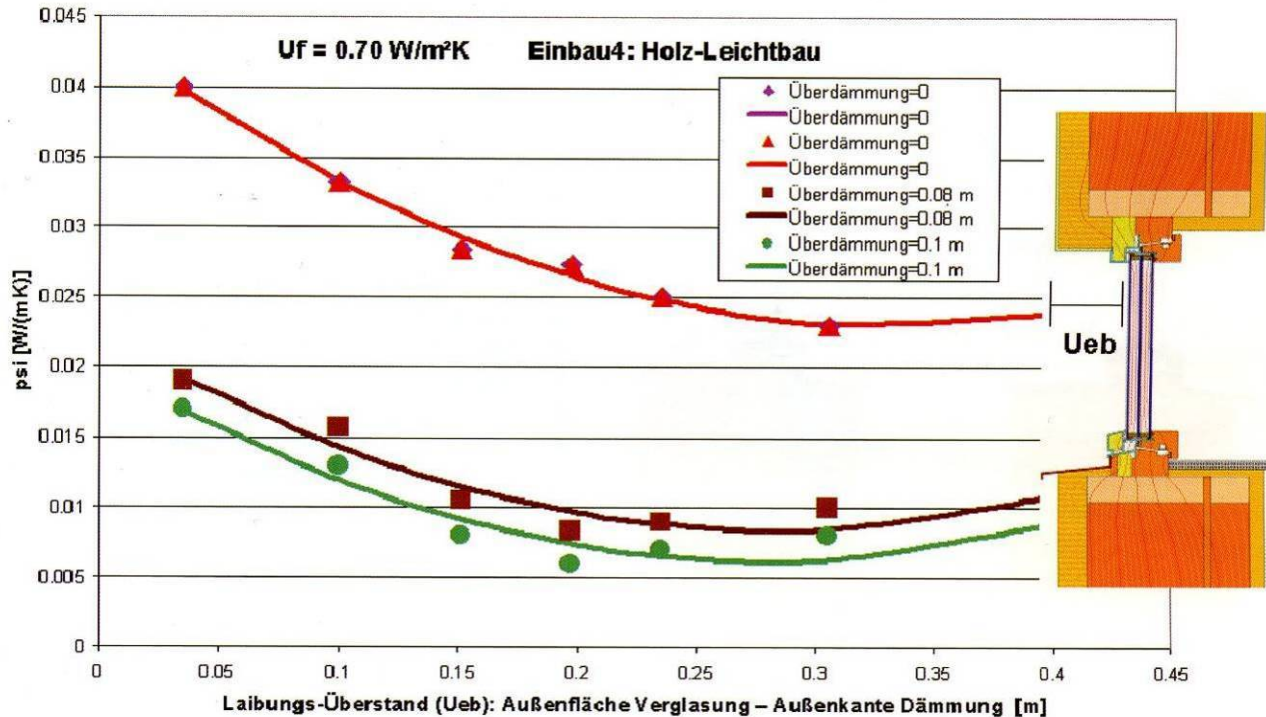
U-verdi trestendervegg = 0,12 W/m²K

U-verdi karm/ramme = 1,10 W/m²K

U-verdi glass = 0,70 W/m²K

Figuren viser at sentral plassering i vegg gir lavere kuldebroverdi enn plassering ytterst eller innerst i vegglivet. Å føre isolasjon på karmen, har likevel høyere effekt enn vindusplassering i seg selv, og i kombinasjon med isolasjon på karmen gir sentral plassering høyere utslag enn med uisolert karm. Hvis isolasjon dekker karmen fullstendig utvendig, kan dette til og med gi negative kuldebroverdier (dvs. gi mindre varmetap enn det "uforstyrrete" vindu). Løsningen er imidlertid vanskelig å gjennomføre og er urealistisk i praksis. Resulterende U-verdi for hele vinduet vil dessuten fortsatt ligge på 0,93 W/m²K og er dermed normalt for høyt for at vinduet kunne brukes i passivhus. Isolasjon og plassering kan altså ikke kompensere for dårlig karm/ramme i tilstrekkelig grad.

B.2 Innsettskuldebro for vindu med veldig god karm i trestendervegg



X-akse: Ueb = Avstand ytterkant glass – ytterkant fasadeisolasjon [m]

Y-akse: psi = Innsettskuldebro for hele vinduet, vektet gjennomsnitt [W/mK]

Überdämmung = Isolasjon ført på karmen, karmbredde som dekkes [m]

Forutsetninger:

U-verdi trestendervegg = 0,12 W/m²K

U-verdi karm/ramme = 0,70 W/m²K

U-verdi glass = 0,70 W/m²K

Figuren for et vindu med veldig god karm viser samme tendens som for et vindu med dårligere karm. I tilfeller uten isolasjon på karmen har imidlertid vinduets plassering her større effekt enn i det forrige eksempelet. Og omvendt: Hvis isolasjon på karmen blir utført, har sentral plassering av et vindu med veldig god karm mindre å si enn for et vindu med moderat god karm. Det vises ellers til diskusjon av resultatene i avsnitt 5.2.4 i foreliggende rapport.

C Vedlegg Detaljer fra produsenter

C.1 Overgangsdetaljer fra GDI, isolasjonsprodusentenes forening i Østerrike

Side 23, 24 og 28 – 30 i detaljsamlingen ”Details für Anwender”, utgitt av ”Gemeinschaft Dämmstoff Industrie”, er gjengitt på etterfølgende sider.

A Außenwand

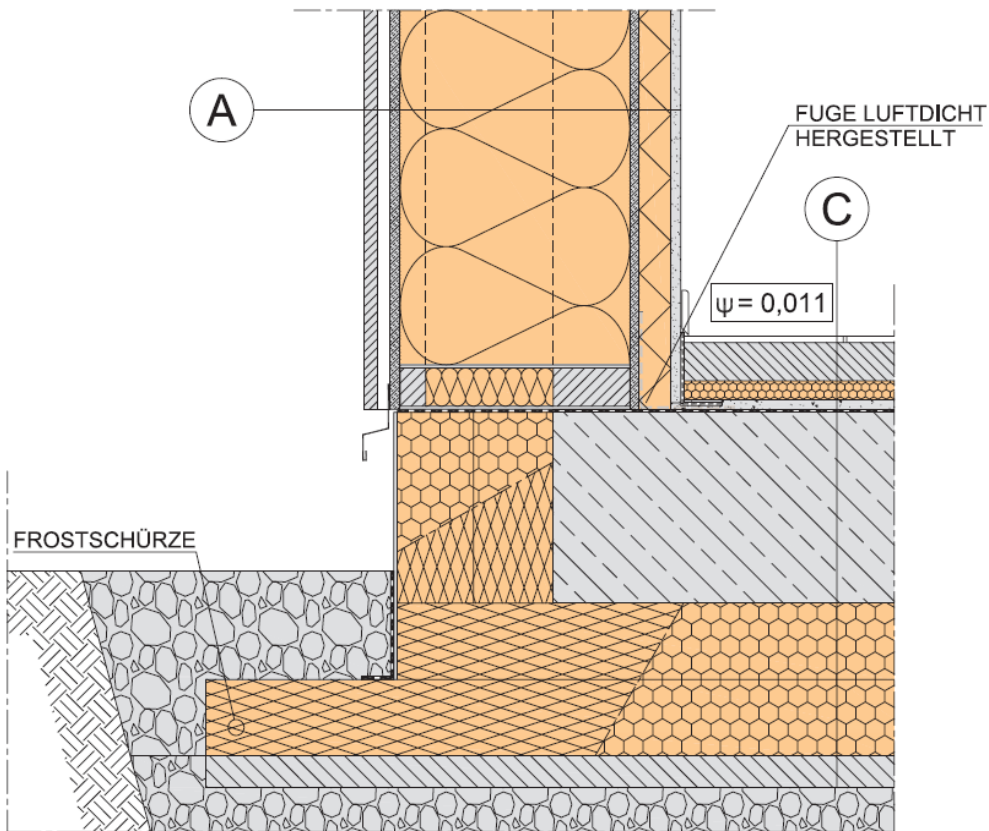
siehe 2.06

B Sockel

siehe 2.02

C Boden

		Lambda	Rt-Wert
1	1,0 Bodenbelag		
2	6,0 Schwimmender Zementestrich	1,400	0,043
3	Trennschicht (Dampfsperre)		
4	3,0 Trittschalldämmung EPS-T 650 33/30	0,044	0,682
5	2,0 gebundene Ausgleichsschüttung	0,700	0,029
6	30,0 Fundamentplatte	2,100	0,143
7	Baufolie als Trennlage		
8	24,0 Wärmedämmung XPS-G *) oder EPS-P (ein- oder zweilagig)	0,035	6,857
9	Sauberkeitsschicht (Magerbeton)		
Summe Wärmedurchlasswiderstände			7,754
Wärmeübergangswiderstände			0,170
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)			0,126



*) Bei CO2 geschäumten XPS ist der Lambda-Nennwert gemäss Herstellerangaben zu beachten

A Außenwand

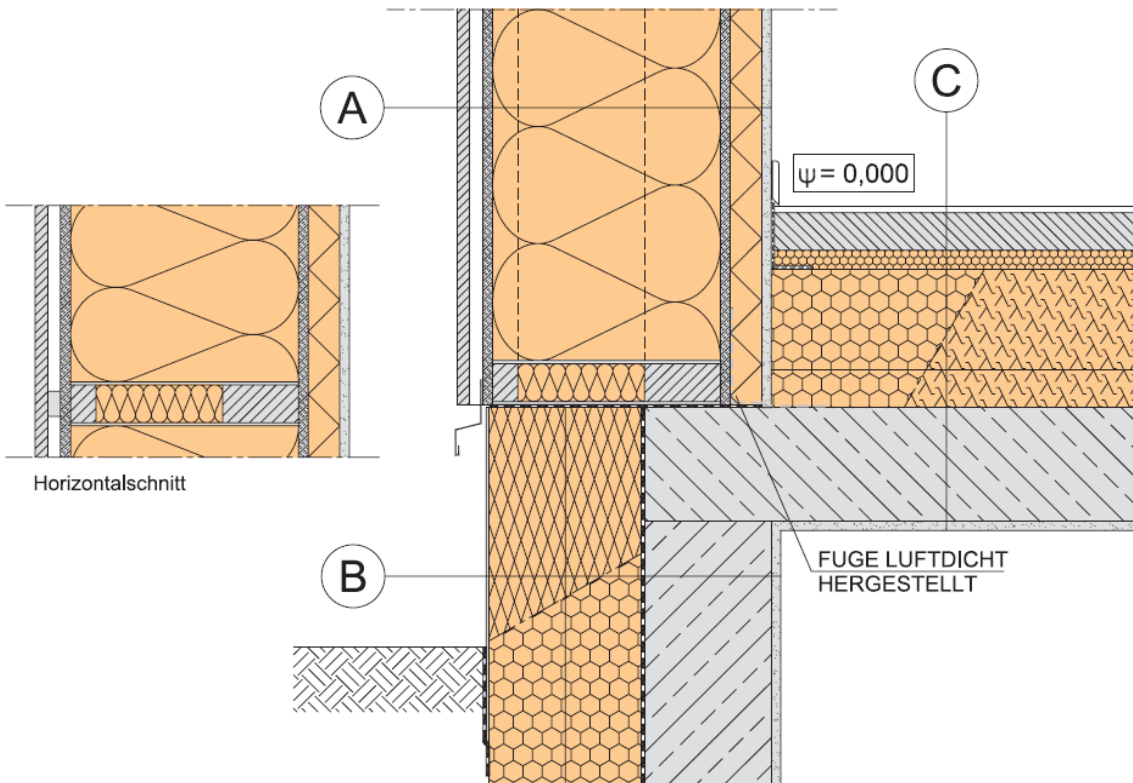
siehe 2.06

B Sockel

		Lambda	Rt-Wert
1	Deckschichte		
2	24,0 Sockeldämmung mit XPS-R *) oder EPS-P (ein- oder zweilagig)	0,035	6,857
3	Feuchtigkeitsabdichtung		
4	20,0 Wandbildner mit einem Lambda von	2,100	0,095
5	1,5 Innenputz	0,870	0,017
Summe Wärmedurchlasswiderstände			6,969
Wärmeübergangswiderstände			0,170
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)			0,140

C Decke

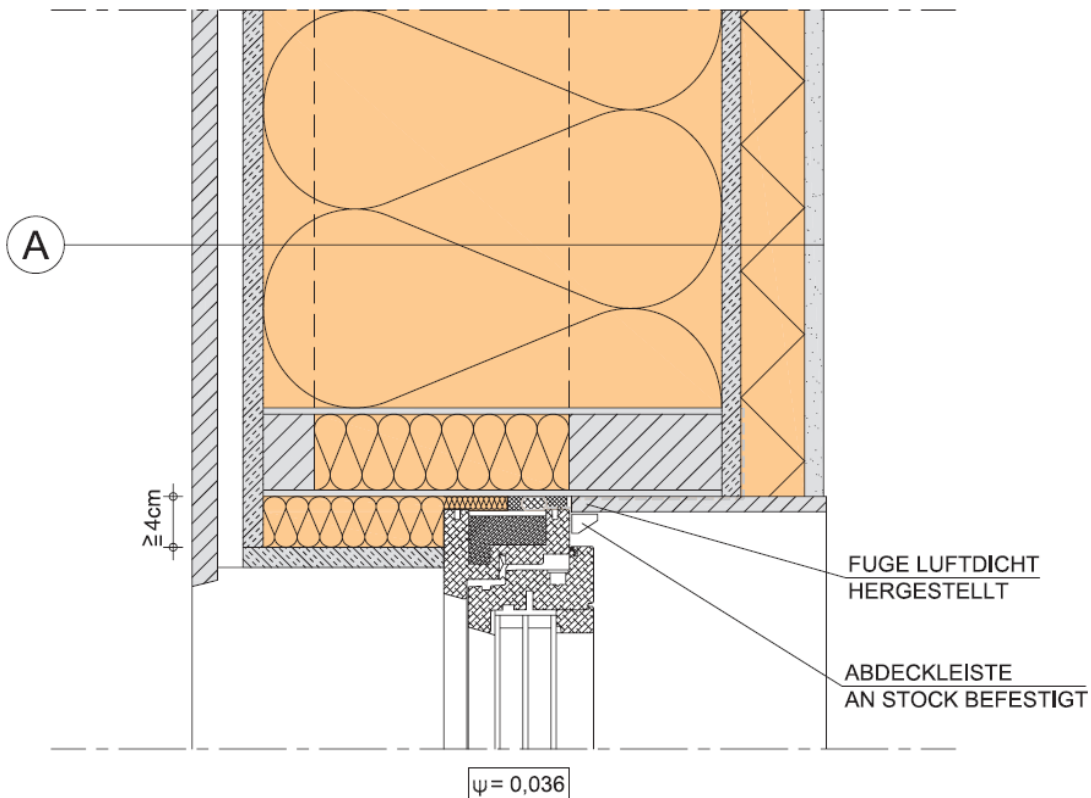
		Lambda	Rt-Wert
1	1,0 Bodenbelag		
2	6,0 Schwimmender Zementestrich	1,400	0,043
3	Trennschicht (Dampfsperre)		
4	3,0 Trittschalldämmung EPS-T 650 33/30	0,044	0,682
5	16,0 Wärmedämmung EPS-W 20	0,038	4,211
oder	11,0 Wärmedämmung PUR-DD	0,025	
6	6,0 Wärmedämmung EPS-W 20	0,038	1,579
oder	4,0 Wärmedämmung PUR-DD	0,025	
7	18,0 Stahlbetondecke	2,100	0,086
8	1,5 Innenputz	0,870	0,017
Summe Wärmedurchlasswiderstände			6,618
Wärmeübergangswiderstände			0,170
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)			0,147



*)Bei CO2 geschäumten XPS ist der Lambda-Nennwert gemäss Herstellerangaben zu beachten und ein geeigneter Kleber zu verwenden.

A Außenwand

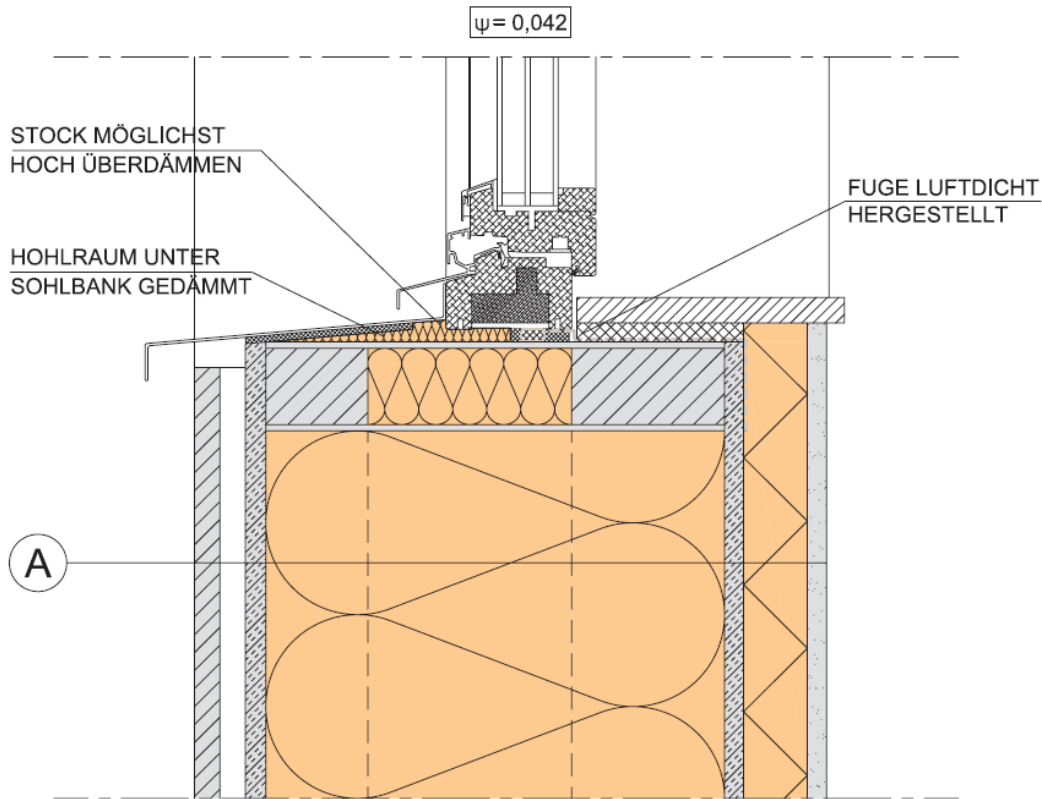
			Lambda	Rt-Wert
1	Hinterlüftete Fassade aus Vollholzprofilen			
2	1,6 Holzwerkstoff-Platte, diffusionsoffen		0,290	0,055
3	Box-Träger: außen 6 x 4 cm, innen 6 x 12 cm, Achsabstand 62,5 cm			
4	36,0 Wärmedämmung MW-WL oder MW-W zwischen Träger	94,00 %	0,040	8,460
5	1,5 Holzwerkstoff-Platte als luftdichte Ebene		0,290	0,052
6	5,0 HW-Leichtbauplatte als gedämmte Installationsebene		0,090	0,625
7	1,5 Innenputz		0,870	0,017
Summe Wärmedurchlasswiderstände				9,140
Wärmeübergangswiderstände				0,170
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)				0,107
Summe Wärmedurchlasswiderstände ohne Installationsebene				8,584
Wärmeübergangswiderstände				0,170
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)				0,114



Bei der Stocküberdämmung sind die Einbaulinien des Fensterherstellers zu beachten

A Außenwand

			Lambda	Rt-Wert
1	Hinterlüftete Fassade aus Vollholzprofilen			
2	1,6 Holzwerkstoff-Platte, diffusionsoffen		0,290	0,055
3	Box-Träger: außen 6 x 4 cm, innen 6 x 12 cm, Achsabstand 62,5 cm			
4	36,0 Wärmedämmung MW-WL oder MW-W zwischen Träger	94,00 %	0,040	8,460
5	1,5 Holzwerkstoff-Platte als luftdichte Ebene		0,290	0,052
6	5,0 HW-Leichtbauplatte als gedämmte Installationsebene		0,080	0,625
7	1,5 Innenputz		0,870	0,017
Summe Wärmedurchlasswiderstände				9,140
Wärmeübergangswiderstände				0,170
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)				0,107
Summe Wärmedurchlasswiderstände ohne Installationsebene				8,584
Wärmeübergangswiderstände				0,170
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)				0,114



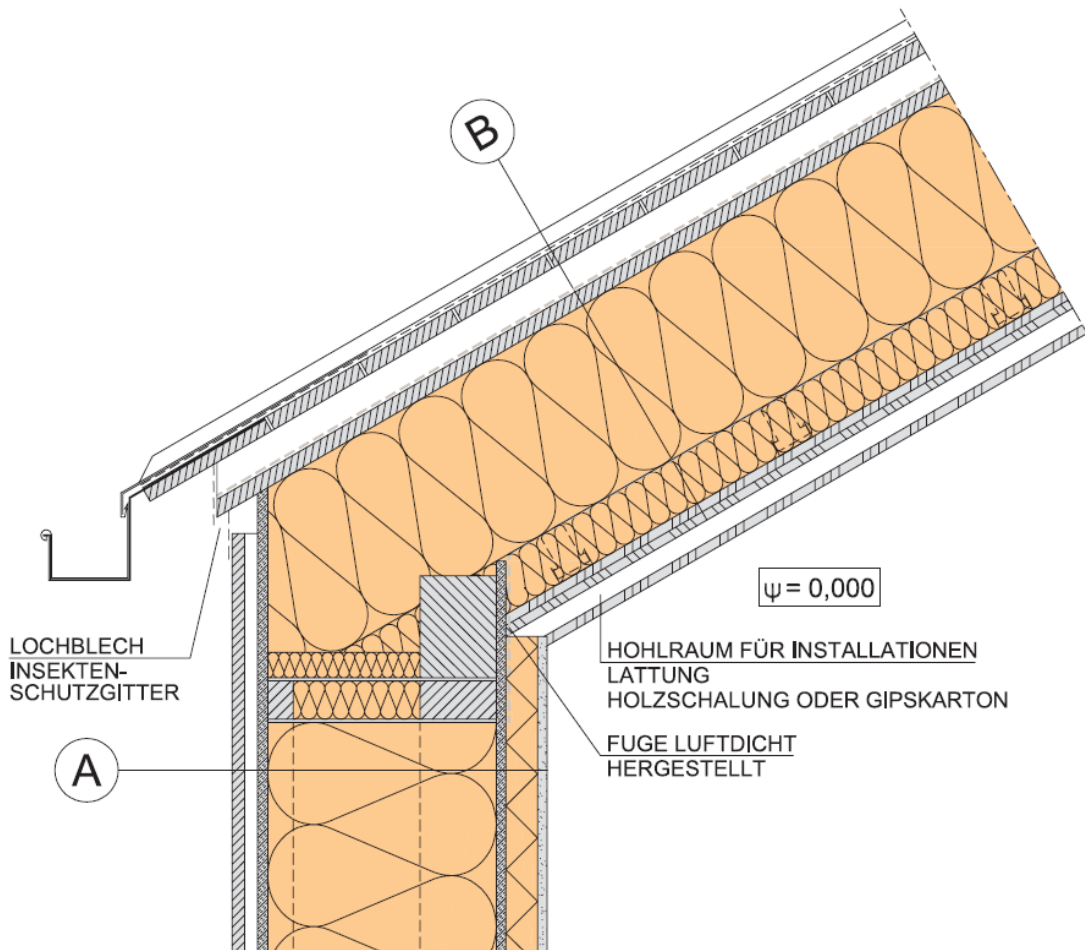
Bei der Stocküberdämmung sind die Einbaulinien des Fensterherstellers zu beachten

A Außenwand

siehe 2.06

B Dach

		Lambda	Rt-Wert
1	Blecheindeckung		
2	Vordeckung (geschlitzt vor Blecheindeckung)		
3	2,4 Dachschalung		
4	5,0 Hinterlüftung, Konterlattung		
5	regensichere, diffusionsoffene Dachauflegebahn		
6	2,4 Schalung		
7	28,0 Sparrenlage, Sparren ca. 28 x 8 cm, e = 80 cm	10,00 %	0,130
8	28,0 Wärmedämmung MW-W zwischen Sparren *)	90,00 %	0,039
9	Dampfbremse		
10	ALU-Unterkonstruktion		
11	8,0 Wärmedämmung MW-W, querverlegt	0,039	2,051
12	1,5 Gipskartonplatte (GKF)	0,210	0,071
13	1,5 Gipskartonplatte (GKF)	0,210	0,071
Summe Wärmedurchlasswiderstände			8,870
Wärmeübergangswiderstände			0,170
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)			0,111



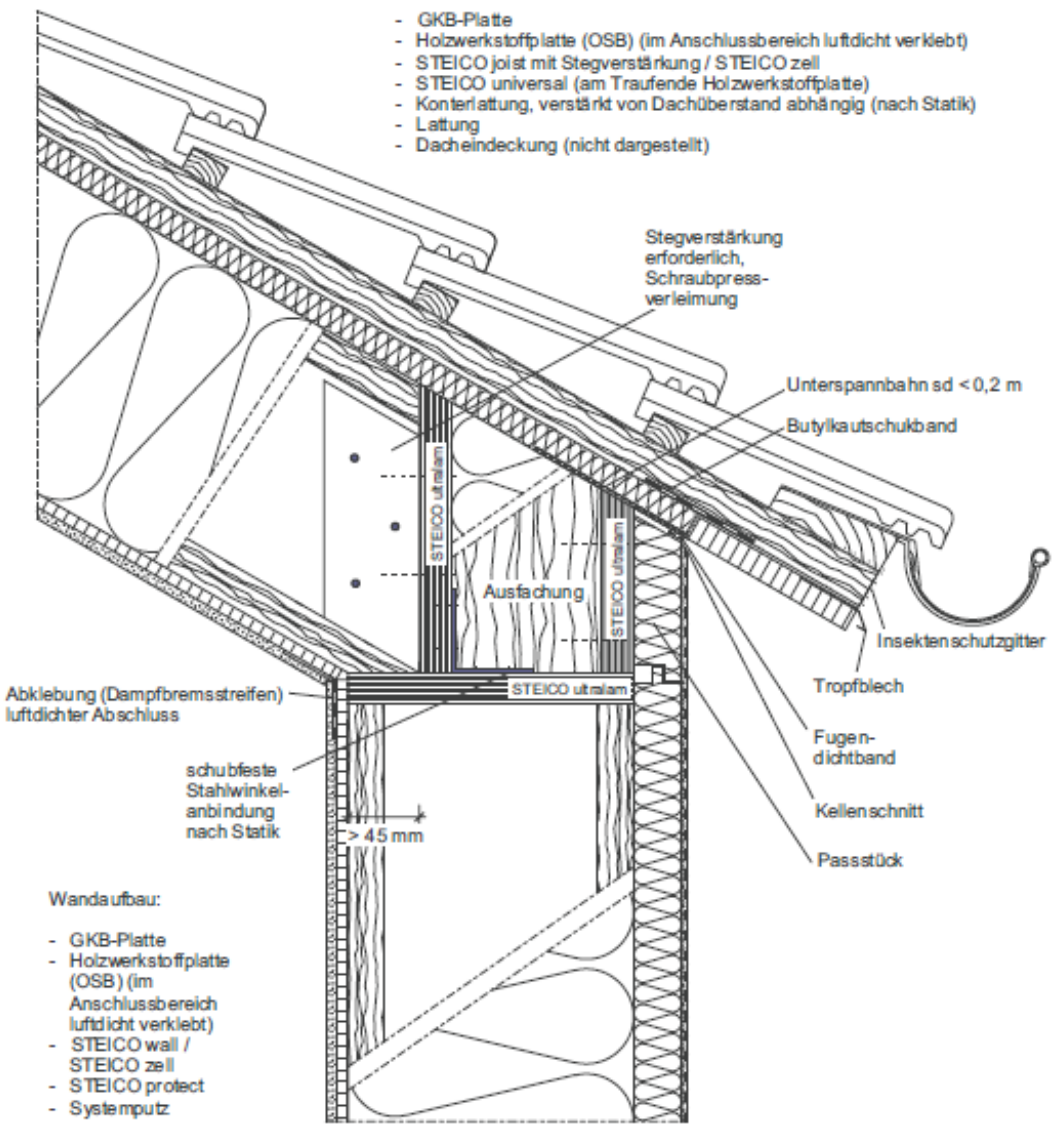
*) Einblasdämmung aus EPS, MW, Zellulose

C.2 Eksempeldetalj fra Steico AG, Detalkatalog Konstruktionen

* STEICO AG * HANS-RIEDL-STRASSE 21 * D-85622 FELDKIRCHEN * TEL 0 89 - 99 15 51 0 FAX: 0 89 - 99 15 51 26 WWW.STEICO.COM*

Dachaufbau:

- GKB-Platte
- Holzwerkstoffplatte (OSB) (im Anschlussbereich luftdicht verklebt)
- STEICO joist mit Stegverstärkung / STEICO zell
- STEICO universal (am Traufende Holzwerkstoffplatte)
- Konterlattung, verstärkt von Dachüberstand abhängig (nach Statik)
- Lattung
- Dacheindeckung (nicht dargestellt)



Stegverstärkung erforderlich, Schraubpressverleimung

Unterspannbahn $s_d < 0,2\text{ m}$

Butylkautschukband

Insekenschutzgitter

Tropfblech

Fugendichtband

Kellenschnitt

Passstück

Abklebung (Dampfbremsstreifen) luftdichter Abschluss

schubfeste Stahlwinkelanbindung nach Statik

$> 45\text{ mm}$

Wandaufbau:

- GKB-Platte
- Holzwerkstoffplatte (OSB) (im Anschlussbereich luftdicht verklebt)
- STEICO wall / STEICO zell
- STEICO protect
- Systemputz

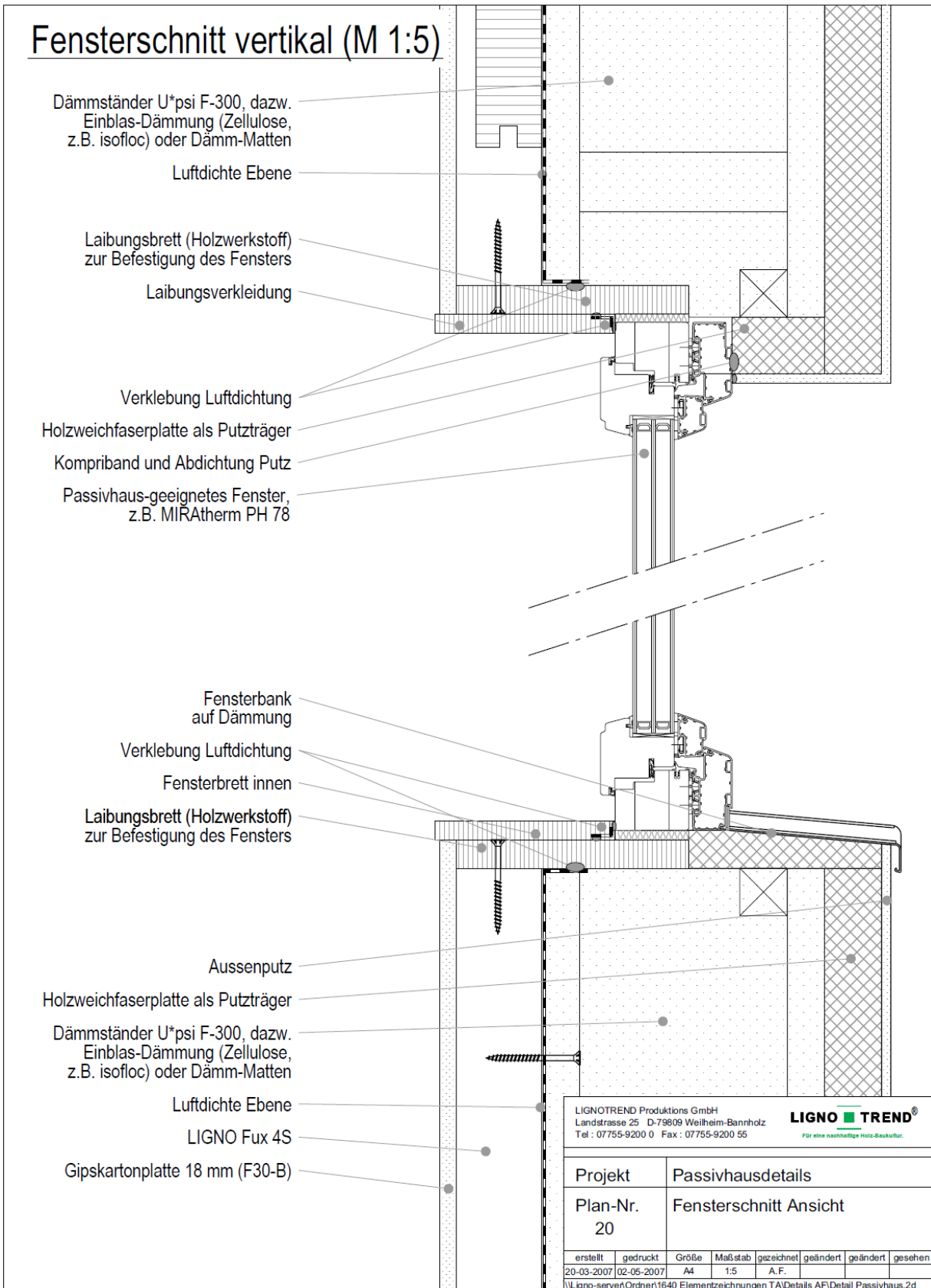
Ausführung gemäß Statik

Traufe mit starker Konterlattung			
Detail Nr.:	PH-3-1-1		
letzter Stand:	02-10-2009	Maßstab:	1 : 7,5

STEICO Aktiengesellschaft
 Technik
 Hans-Riedl-Strasse 21
 DE-85622 Feldkirchen
 Tel. +49 (0) 89 99 15 51 -0
 Fax +49 (0) 89 99 15 51 -97
 Internet: www.steico.com

natürlich bauen & wohnen

C.3 Eksempeldetalj fra Lignotrend GmbH, Die hochwärmegedämmte Gebäudehülle mit U*psi



D Vedlegg Produsenter av sertifiserte byggesystemer

Per 6. november 2011 har Passivhusinstituttet listet følgende produsenter av sertifiserte byggesystemer og prefabrikkerte elementer i tre. Aktuelle lister, også over andre sertifiserte produkter, er tilgjengelig på www.passiv.de under ”Zertifizierung”.

Holzbausystem:

A-hus AB

 A-Hus PASSIVE HOUSE SYSTEM ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))


Box 10418, SE-434 24 Kungsbacka

Tel. 0046 (0)300 / 56 88 95

christian.ingmarsson@a-hus.se

www.derome.se

DAN-WOOD-HOUSE, UNIBUD NIEDERLASSUNG BERLIN

 DANWOOD PASSIVHAUS-BAUSYSTEM ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

Justus-von-Liebig-Straße 7, D-12489 Berlin

Tel. 030 / 678-239-80

Fax. 030 / 678-239-89

info@danwood.de

www.danwood.de

FingerHaus GmbH

 FINGERHAUS PASSIVHAUS-BAUSYSTEM ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))


Auestraße 45, D-35066 Frankenberg/Eder


Tel. 06451 / 504-0

Fax. 06451 / 504-0

Finnforest Merk GmbH

 FinnFrame-Bausystem ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

 Leno Brettsperrholz ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

 Kerto Bausystem ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

Industriestraße 2, D-86551 Aichach


Tel. 08251 / 908-0

Fax. 08251 / 6005

merk@finnforest.com

www.finnforest.de

Harresø Byggeforretning APS

 Passive House Harresø ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

Vejlevej 16, Harresø, DK-7323 Give


Tel. 0045 75 73 03 88

Fax. 0045 75 73 04 47

www.harresoe.dk

Saint-Gobain ISOVER

 ISOVER Holzbausystem für Passivhäuser (mit Wärmedämmverbundsystem) ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

 ISOVER Holzbausystem für Passivhäuser (mit hinterlüfteter Fassade) ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

18, avenue d'Alsace, 92400 COURBEVOIE, FRANCE

Tel. +33 (0)1 47 62 40 94

Fax. +33 (0)1 47 62 50 48

www.saint-gobain.com

Kingspan TEK GmbH

📍 Kingspan TEK Bausystem ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

Beusterstr. 1a, D-16348 Klosterfelde

Tel. 033396 / 8787-0

Fax. 033396 / 8787-50

info.de@tek.kingspan.com

www.tek.kingspan.com

Produktions- LUMAR IG d.o.o.

📍 LUMAR PASIV ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

Limbuška cesta 32A, 2000 Maribor, SLOWENIEN

Tel. 00386 2 / 421 67 610

Fax. 00386 2 / 421 67 57

info@lumar.si

www.lumar.si

Ing.-Büro A.Naumann & H.Stahr

📍 Naumann u. Stahr-Bausystem ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

Arnoldstraße 26, D-04299 Leipzig

Tel. 0341 / 86319-70

Fax. 0341 / 86319-99

info@naumannstahr.info

www.naumannstahr.info

Korporacja Budowlana KOPAHAUS S.A.

📍 KOPAHAUS PASSIVHAUS-BAUSYSTEM ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

ul. Okretowa 8, 74-320 Barlinek, Poland

Tel. 0048 38 / 1252740-0

Fax. 0048 38 / 1252740-29

buero@kopahaus-deutschland.de

www.kopahaus-deutschland.de

Polski Dom 2000 Sp.z o.o.

📍 POLSKI DOM 2000 PASSIVHAUS-BAUSYSTEM ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

ul. Zakopian'ska 72, PL-30-418 Kraków, Poland

Tel. 0048 792 102 304

Fax. 0048 12 398-66-58

biuro@polskidom2000.pl

www.polskidom2000.pl

Holzbau-Fertigteile:

Finnforest Merk GmbH

📍 FinnFrame-Bausystem ([Zertifikat](#) - [Datenblatt](#))

Industriestraße 2, D-86551 Aichach

Tel. 08251 / 908-0

Fax. 08251 / 6005

merk@finnforest.com

www.finnforest.de

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

