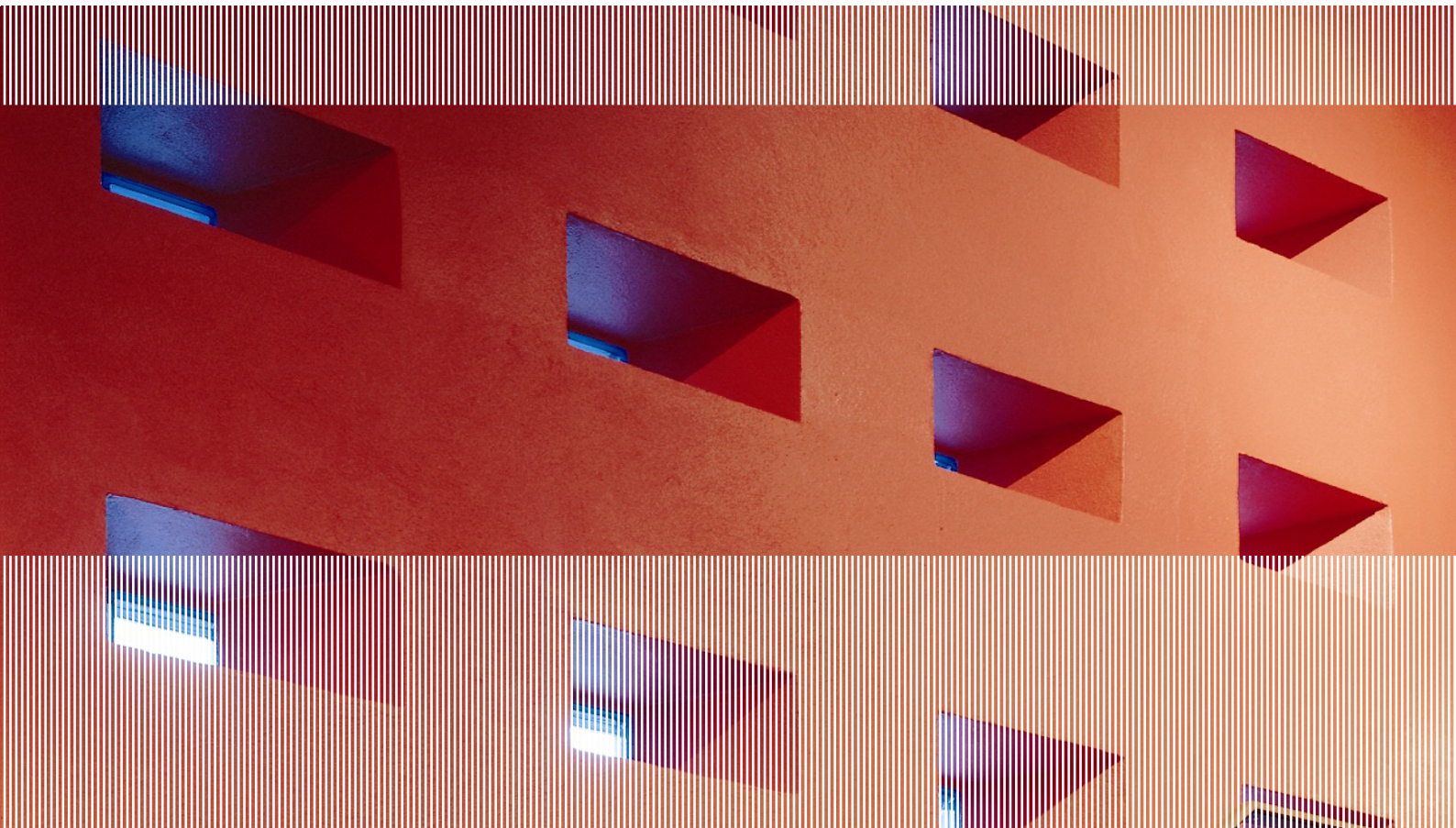


SINTEF Building and Infrastructure Michael Klinski

Good details for concrete constructions in passive houses

COIN Project report 26 - 2010



SINTEF Building and Infrastructure

Michaël Klinski

Good details for concrete constructions in passive houses

FA 1.2 Insulating and energy preserving concrete

SP 1.2.2 Atlas of good construction details for concrete structures to be used in the passive house concept

COIN Project report 26 – 2010

COIN Project report no 26

Michael Klinski

Good details for concrete constructions in passive houses

(Gode detaljer for betongkonstruksjoner i passivhus)

FA 1.2 Insulating and energy preserving concrete

SP 1.2.2 Atlas of good construction details for concrete structures to be used in the passive house concept

Keywords:

Thermal bridges, air tightness and passive house

(Kuldebroer, lufttetthet og passivhus)

Project no.: 3D006241

Photo, cover: «Red stairway, Gulskogen School »

ISSN 1891-1978 (online)

ISBN 978-82-536-1195-2 (pdf)

© Copyright SINTEF Building and Infrastructure 2010

The material in this publication is covered by the provisions of the Norwegian Copyright Act. Without any special agreement with SINTEF Building and Infrastructure, any copying and making available of the material is only allowed to the extent that this is permitted by law or allowed through an agreement with Kopinor, the Reproduction Rights Organisation for Norway. Any use contrary to legislation or an agreement may lead to a liability for damages and confiscation, and may be punished by fines or imprisonment.

Address: Forskningsveien 3 B
POBox 124 Blindern
N-0314 OSLO

Tel: +47 22 96 55 55

Fax: +47 22 69 94 38 and 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

www.coinweb.no

Cooperation partners / Consortium Concrete Innovation Centre (COIN)

Aker Solutions

Contact: Jan-Diederik Advocaat

Email: jan-diederik.advocaat@akersolutions.com

Tel: +47 67595050

Saint Gobain Weber

Contact: Geir Norden

Email: geir.norden@saint-gobain.com

Tel: +47 22887700

Norcem AS

Contact: Terje Rønning

Email: terje.ronning@norcem.no

Tel: +47 35572000

NTNU

Contact: Terje Kanstad

Email: terje.kanstad@ntnu.no

Tel: +47 73594700

Rescon Mapei AS

Contact: Trond Hagerud

Email: trond.hagerud@resconmapei.no

Tel: +47 69972000

SINTEF Building and Infrastructure

Contact: Tor Arne Hammer

Email: tor.hammer@sintef.no

Tel: +47 73596856

Skanska Norge AS

Contact: Sverre Smeplass

Email: sverre.smeplass@skanska.no

Tel: +47 40013660

Spenncon AS

Contact: Ingrid Dahl Hovland

Email: ingrid.dahl.hovland@spenncon.no

Tel: +47 67573900

Norwegian Public Roads Administration

Contact: Kjersti K. Dunham

Email: kjersti.kvalheim.dunham@vegvesen.no

Tel: +47 22073940

Unicon AS

Contact: Stein Tosterud

Email: stto@unicon.no

Tel: +47 22309035

Veidekke Entreprenør ASA

Contact: Christine Hauck

Email: christine.hauck@veidekke.no

Tel: +47 21055000

Preface

This study has been carried out within COIN - Concrete Innovation Centre - one of presently 14 Centres for Research based Innovation (CRI), which is an initiative by the Research Council of Norway. The main objective for the CRIs is to enhance the capability of the business sector to innovate by focusing on long-term research based on forging close alliances between research-intensive enterprises and prominent research groups.

The vision of COIN is creation of more attractive concrete buildings and constructions. Attractiveness implies aesthetics, functionality, sustainability, energy efficiency, indoor climate, industrialized construction, improved work environment, and cost efficiency during the whole service life. The primary goal is to fulfil this vision by bringing the development a major leap forward by more fundamental understanding of the mechanisms in order to develop advanced materials, efficient construction techniques and new design concepts combined with more environmentally friendly material production.

The corporate partners are leading multinational companies in the cement and building industry and the aim of COIN is to increase their value creation and strengthen their research activities in Norway. Our over-all ambition is to establish COIN as the display window for concrete innovation in Europe.

About 25 researchers from SINTEF (host), the Norwegian University of Science and Technology - NTNU (research partner) and industry partners, 15 - 20 PhD-students, 5 - 10 MSc-students every year and a number of international guest researchers, work on presently eight projects in three focus areas:

- Environmentally friendly concrete
- Economically competitive construction
- Aesthetic and technical performance

COIN has presently a budget of NOK 200 mill over 8 years (from 2007), and is financed by the Research Council of Norway (approx. 40 %), industrial partners (approx 45 %) and by SINTEF Building and Infrastructure and NTNU (in all approx 15 %).

For more information, see www.coinweb.no

Tor Arne Hammer
Centre Manager

Summary

The present report is mainly a reference source covering details in concrete constructions with low thermal bridge values, in many cases also showing specific air tightness measures. Chapter 2 describes the Passive House concept, including definitions, criteria and main principles, and also methods to achieve low thermal bridge values and sufficient air tightness. In this context, the term thermal bridge free design and calculation methods are discussed. Chapter 0 and 4 give a survey of existing guidelines and recent research results, on which the comprehensive list of details in chapter 0 is based. The details are arranged according to their position related to the building envelope. Every detail contains a description of the construction (in most cases including related U-values), a drawing and corresponding thermal bridge values. In addition, some overviews of foundation and support solutions as well as thermal separation products and U-values for fixing devices are compiled in the annex.

Innholdsfortegnelse

Preface	3
Summary	4
1 Background and English summary	7
2 Passivhuskonseptet	9
2.1 Definisjoner og kriterier.....	9
2.2 Hovedprinsipper.....	10
2.3 Mer om kuldebroer	11
2.4 Mer om lufttetthet	13
2.5 Betong som konstruksjonsmaterial i passivhus	14
3 Eksisterende veiledning om detaljer i energieffektive betongkonstruksjoner	15
3.1 Byggforskerien	15
3.2 Veiledning i andre land.....	15
4 Nyere forskningsresultater	17
5 Eksempler på gode detaljer	18
5.1 Utvendige og innvendige hjørner i bygningskroppen.....	19
5.2.1 Utvendig og innvendig hjørne, betongvegg isolert og teglforblendet	19
5.2.2 Utvendig og innvendig hjørne, betongvegg isolert og kledd med trepanel	20
5.2.3 Utvendig og innvendig hjørne, betongvegg isolert.....	21
5.2 Overgang mot terreng (fundamentering)	22
5.2.1 Sokkel	22
5.2.1.1 Yttervegg/fundamentplate med isolasjon over	22
5.2.1.2 Yttervegg/fundamentplate med isolasjon under.....	24
5.2.1.3 Yttervegg/stripefundament og isolasjon under gulvplate	25
5.2.1.4 Innvendig vegg på fundamentplate med isolasjon over	26
5.3 Overgang mot uoppvarmet kjeller	27
5.3.1 Yttervegg/kjellerdekke.....	27
5.3.1.1 Yttervegg/kjellerdekke med isolasjon over	27
5.3.1.2 Yttervegg/kjellerdekke med isolasjon under	29
5.3.1.3 Yttervegg/kjellerdekke med isolasjon på begge sider	32
5.3.2 Innvendige vegger/kjellerdekke	34
5.3.2.1 Innvendig vegg/kjellerdekke med isolasjon over	34
5.3.2.2 Innvendig vegg/kjellerdekke med isolasjon under	35
5.3.2.3 Innvendig vegg/kjellerdekke med isolasjon på begge sider	36
5.3.3 Innvendige søyler/kjellerdekke	37
5.3.3.1 Søyle/kjellerdekke med isolasjon over	37
5.3.3.2 Søyle/kjellerdekke med isolasjon under	39
5.4 Overgang yttervegg/etasjeskiller.....	41
5.4.1 Yttervegg/etasjeskiller, betong uten armering parallelt med varmestrom	41
5.4.2 Yttervegg/etasjeskiller, armert betong	42

5.5	Overgang yttervegg/skillevegg	44
5.6	Overgang mot tak.....	45
5.7	Trapperom.....	46
5.7.1	Trapperom mot uoppvarmet kjeller, nedgang i varm sone	48
5.8	Spesielle bygningsdeler	50
5.8.1	Påhengte fasader	50
5.8.2	Vinduer	52
5.8.3	Terrasser med dører	57
5.8.3.1	<i>Terrassedør/gulvplate med isolasjon over</i>	57
5.8.3.2	<i>Terrassedør/gulvplate med isolasjon under</i>	58
5.8.3.3	<i>Terrassedør/kjellerdekke med isolasjon over</i>	59
5.8.3.4	<i>Terrassedør/kjellerdekke med isolasjon under</i>	60
5.8.4	Takterrasser med dører	61
5.8.4.1	<i>Terrassedør/kompakttak med vanlig isolasjon</i>	61
5.8.4.2	<i>Terrassedør/kompakttak med vakuumisolasjon</i>	62
5.8.5	Balkonger med dører.....	63
5.8.5.1	<i>Balkongdør/utragende balkong</i>	64
5.8.5.2	<i>Balkongdør/balkong punktvis festet med "trefot"</i>	65
5.8.5.3	<i>Balkongdør/balkong frittstående, punktvis forankret</i>	66
5.8.6	Lyskupler og takvinduer	67
5.8.7	Utvendige søyler	68
Referanser		70
A	Vedlegg fundamentering.....	72
A.1	Oversikt gulv på grunn/fundamentplate uten kjeller.....	73
A.2	Oversikt gulv på grunn/fundamentplate med oppvarmet kjeller.....	74
A.3	Oversikt fundament uten kjeller.....	76
A.4	Oversikt fundament med oppvarmet kjeller.....	78
B	Vedlegg innvendige søyler/kjellerdekke.....	80
B.1	Oversikt søyler under kjellerdekke	80
B.2	Oversikt søyler over kjellerdekke	81
C	Vedlegg produkter.....	82
C.1	Oversikt produkter for termisk skille i vegger og søyler	82
C.2	Oversikt punktvis gjennomføringer i isolerte vegger.....	84

1 Background and English summary

In January 2010 the COIN project held a workshop on Concrete Ideas for Passive Houses. The purpose was to find out how concrete may participate to reach Passive House standards and/or future standards for the Buildings of Tomorrow (Zero Energy Buildings or Zero Emission Buildings), and to point out the research needs for the use of concrete in energy efficient buildings. The group discussions concluded with a research agenda that COIN should pursue. One of the conclusions was to carry out an Atlas of good construction details which should focus on how to minimize thermal bridges and how to obtain good air tightness.

The present report is mainly a reference source covering details in concrete constructions with low thermal bridge values, in many cases also showing specific air tightness measures. Chapter 2 describes the Passive House concept, including definitions, criteria and main principles, and also methods to achieve low thermal bridge values and sufficient air tightness. In this context, the term *thermal bridge free design* and calculation methods are discussed. Chapter 0 and 4 give a survey of existing guidelines and recent research results, on which the comprehensive list of details in chapter 0 is based. The details are arranged according to their position related to the building envelope. Every detail contains a description of the construction (in most cases including related U-values), a drawing and corresponding thermal bridge values. In addition, some overviews of foundation and support solutions as well as thermal separation products and U-values for fixing devices are compiled in the annex.

Thermal bridges according to the Norwegian standard have to be calculated relative to internal dimensions, whereas thermal bridge values in Germany and Austria are calculated relative to external dimensions. Figures for both internal and external dimensions are shown in the report.

The thermal bridge values in the German and Austrian sources, based on external values, are converted according to the following equation:

$$\Psi_i = \Psi_a + U_1(s_{1a} - s_{1i}) + U_2(s_{2a} - s_{2i}).$$

U_1 and U_2 are U-values, s_1 and s_2 are the related length of the building components. Index a stands for external dimension and index i for internal dimension, as shown in Figure 1.

Figures shown in the details and in the annex are the following:

Ψ_a [W/(mK)] = linear (three-dimensional) thermal bridge value, based on external dimensions

Ψ_i [W/(mK)] = linear (three-dimensional) thermal bridge value, based on internal dimensions

X [W/K] = punctiform (two-dimensional) thermal bridge value

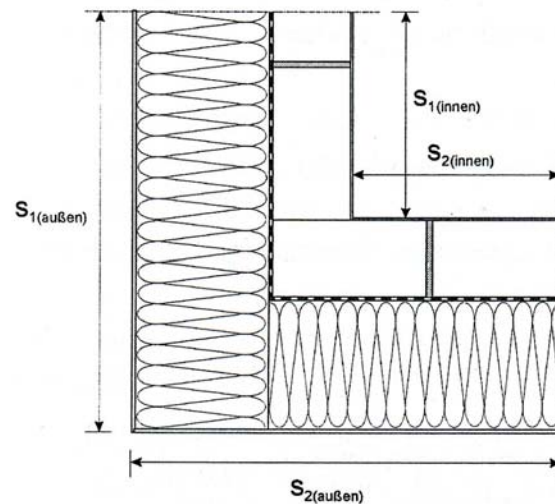


Figure 1 Internal (innen) and external (außen) dimensions for calculating thermal bridge values. Example: outer wall corner. Source: Protokollband Nr. 16.

Most of the sources used in this report are available only in German. A few references in English and Norwegian are shown in chapter 0. The German Passive House Institute offers only basic, internet based guidelines in English: http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/. However, one of the main sources of the report, *Details for Passive Houses, a catalogue of ecology rated constructions*, is a bilingual handbook, written in both German and English. The manual can be ordered at <http://www.ibo.at/en/index.htm>.

This topic requires divulgation at a national level. For that reason, the report has been written in Norwegian and the translation is limited to this summary.

2 Passivhuskonseptet

2.1 Definisjoner og kriterier

Passivhus er i utgangspunkt ikke en energistandard, men et konsept¹. Den opprinnelige definisjonen ble utviklet av Passivhusinstituttet i Tyskland: *Et passivhus er et bygg med komfortabelt innneklima, som kan oppnås uten konvensjonelt oppvarmings- eller kjøleanlegg*². Prinsippet er at alt oppvarmingsbehov skal kunne dekkes av ventilasjonsanlegget, uten å øke luftmengdene utover det som av hygieniske grunner er nødvendig³. 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 primærenergibehov skal ikke overstige 120 kWh per kvadratmeter*
- *Dokumentert lekkasjetall skal ikke være høyere enn $n_{50} = 0,6$*

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 lokal 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. 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 ikke noe problem siden luftmengder her nødvendigvis er mye større enn i boliger. Passivhusinstituttet jobber fortsatt med nærmere kriterier for andre typer yrkesbygg.

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 oppvarmingssystem. 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*

¹ Se www.passiv.de (tysk og engelsk med omfattende kunnskapsdatabase på www.passipedia.de).

² Med dette vil investeringskostnadene for teknisk utstyr i passivhus bli lavere enn i lavenergibygging med noe høyere oppvarmingsbehov.

³ 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.

Det første kriteriet modifierer det ”tyske” hovedkravet noe, men for de fleste større bygninger i Norge⁴ 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 imidlertid korrekurfaktorer 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 kWh/m²a. Eksempelvis ville en bygning med 200 m² oppvarmet BRA på et sted med årsmiddeltemperatur på 4 °C kunne bruke så mye som 23,2 kWh/m²a 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 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 kWh/m²a, 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.

2.2 Hovedprinsipper

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 W/(m²K) i tak og 0,15 i yttervegger og gulv. I de aller fleste tilfeller vil disse verdier 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 W/(m²K), 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 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 kW/(m³/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.

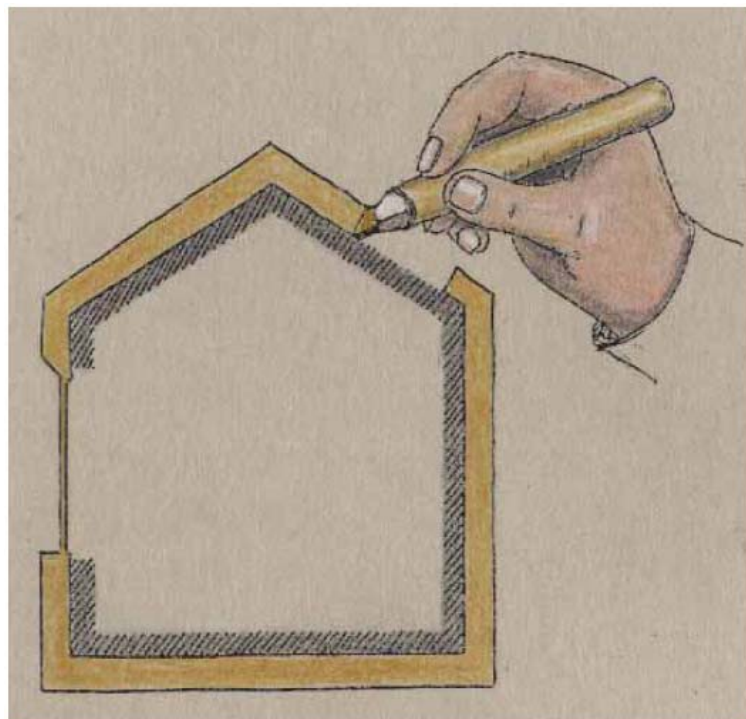
⁴ Grovt estimert, ligger 70-75 % av dagens bygg og antatt framtidig bebyggelse i kystnære strøk i sørlige landsdeler med årsmiddeltemperatur ikke over 6,3 °C, som tilsvarer normert Oslo klima.

2.3 Mer om 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 kostnads-effektivt. 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. Figur 2 illustrerer prinsippet for en mest mulig ”kuldebrofri” klimaskjerm: Hvis det er mulig å tegne et ubrutt isolasjonssjikt med bred penn rundt konstruksjonen, kan det unngås alvorlig kuldebroer i bygningen⁵. Denne øvelsen bør gjøres allerede tidlig i skisseprosjektet.

Hovedregelen er altså å ikke bryte isolasjonssjiktet. Hvor dette må gjøres likevel, bør det brukes material 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.



Figur 2 Prinsipp for kontinuerlig isolasjon rundt bygningskroppen med minst mulig kuldebroer.

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 $0,01 \text{ W}/(\text{mK})$ er tillatt (se neste avsnitt). Kriteriet for kuldebrofrie detaljer er altså

$$\Psi_a \leq 0,01 \text{ W}/(\text{mK}).$$

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

⁵ Illustrasjon fra Konstruktionshandbuch für Passivhäuser.

(hjørner, vegg/guly, 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 veggghjørner. 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 Ψ -verdier. 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.

I foreliggende rapport brukes i hovedsak tyske og østerrikske kilder, som angir kuldebroverdier basert på utvendige mål. For å kunne bruke verdiene i Norge, må vi omregne disse til verdier basert på innvendige mål⁶. Sammenhengen mellom kuldebroverdien på basis av utvendige og innvendige mål viser følgende formel:

$$\Psi_a = \Psi_i - U_1(s_{1a} - s_{1i}) - U_2(s_{2a} - s_{2i}).$$

U_1 er U-verdien i bygningsdel 1 med s_1 som tilhørende lengde, og tilsvarende for U_2 og s_2 . Indeks a angir utvendige mål og indeks i innvendige mål, se Figur 3 til høyre⁷.

Verdier fra beregninger i Tyskland og Østerrike, basert på utvendige mål, kan så omregnes til kuldebroverdier for innvendige mål etter følgende avledete formel:

$$\Psi_i = \Psi_a + U_1(s_{1a} - s_{1i}) + U_2(s_{2a} - s_{2i}).$$

Thor Oskar Tømte har i en avhandling ved NTNU foreslått å ”oversette” det tyske kriteriet for kuldebrofrie detaljer etter utvendige mål til et norsk kriterium på basis av innvendige mål. Han foreslår følgende kriterium for ”kuldebrofrie” tilslutninger av bindingsverksvegger hvor begge bygningsdeler har samme oppbygging og tykkelse⁸:

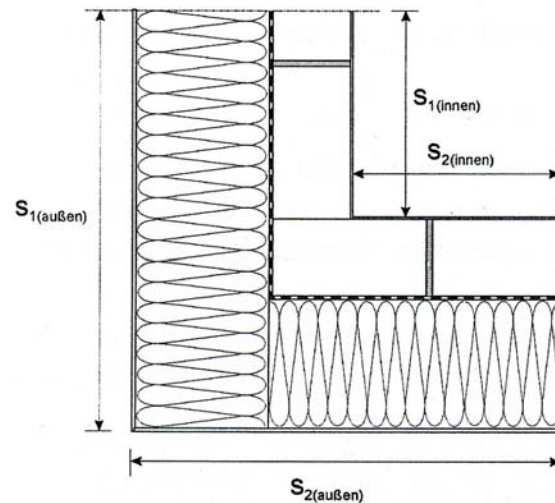
Ψ_i er neglisjerbar hvis $\Psi_i \leq 2Ud$ [W/(mK)]

Ifølge dette ”akseptkriteriet” er kuldebroen neglisjerbar etter innvendige mål, dersom Ψ -verdien i veggghjørnet ikke er høyere enn to ganger U-verdien multiplisert med tykkelsen av bygningsdelene. Uttrykket betyr det samme som at kuldebroverdien er lik null eller negativ, regnet etter utvendige mål. Tømte viser at målet er lettere å nå med større veggtykkelser, og vegger med ubrutt isolasjon i hjørnet oppnår alltid kriteriet.

For å overføre denne tankegangen til kuldebroer med forskjell mellom innvendige og utvendige mål generelt, kan en ta utgangspunkt i sammenhengen mellom innvendig og utvendig kuldebroverdi, som nevnt ovenfor:

$$\Psi_i = \Psi_a + U_1(s_{1a} - s_{1i}) + U_2(s_{2a} - s_{2i}).$$

Kuldebroverdien på basis av utvendige mål, Ψ_a , skal være maksimalt null. Med dette blir kriteriet slik:



Figur 3 Innvendige (innen) og utvendige (außen) mål ved beregning av kuldebroverdier. Eksempel: hjørne i yttervegg.

⁶ Metoder for beregning av kuldebroverdier er bl.a. beskrevet kapittel 4 og 5 i Prosjektrapport 25, SINTEF Byggforsk 2008, og i Byggforskserien, Byggdetaljer 471.016

⁷ Formel og illustrasjon fra Protokollband Nr. 16.

⁸ Se Thor-Oskar Tømte, Geometriske kuldebroer i hjørner og sirkulære geometrier i passivhus med bindingsverksvegger, NTNU 2006. Avhandlingen kan lastes ned på <http://tjenester.byggforsk.no/prosjekter/kuldebro/>.

$$\Psi_i \leq U_1(s_{1a} - s_{1i}) + U_2(s_{2a} - s_{2i}).$$

Differansen mellom utvendig og innvendig lengde ($s_{1a} - s_{1i}$) i Figur 3 ovenfor er det samme som tykkelsen av bygningsdel 2, som vi kan kalle d_2 . Tilsvarende kan differansen ($s_{2a} - s_{2i}$) omformes til d_1 . Med dette får vi følgende *akseptkriterium for gode kuldebroløsninger i Norge*:

$$\Psi_i \leq U_1 d_2 + U_2 d_1 \text{ [W/(mK)]}.$$

Kriteriet betyr i realiteten 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. Kriteriet kan være et hjelpemiddel for å vurdere om kuldebroløsningen er akseptabel.

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:

$$\Psi_i = \Psi_a \leq 0,01 \text{ W/(mK)}.$$

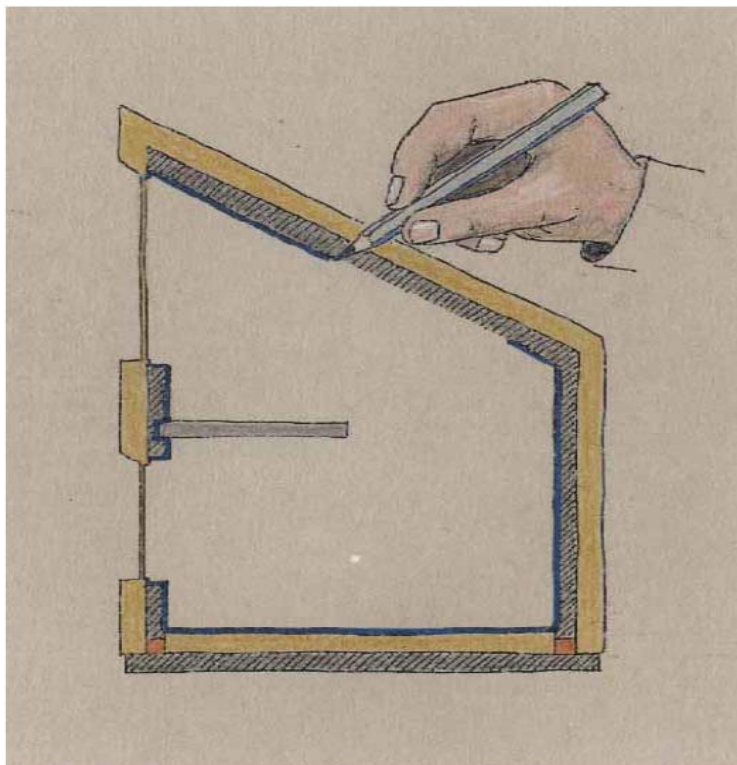
I norske energiberegninger og kuldebroberegninger basert på innvendige mål har en imidlertid ingen "reserver" fra negative kuldebroverdier. *Alle kuldebroer* – også de som er akseptabelt etter nevnte kriterier – må derfor være med i kuldebroregnskapet for å dokumentere at normalisert kuldebroverdi ikke er høyere enn $0,03 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ 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.

2.4 Mer om lufttetthet

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. Figur 4 på neste side illustrerer prinsippet: Hvis det er mulig å tegne et ubrutt lufttettingssjikt med tynn penn rundt konstruksjonen, er forutsetningen bra for å unngå alvorlige lekkasjer⁹. Også denne øvelsen bør gjøres allerede tidlig i skisseprosjektet.

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*



Figur 4 Prinsipp for kontinuerlig lufttett sjikt rundt hele bygningskroppen, her vist innvendig.

⁹ Illustrasjon fra Konstruktionshandbuch für Passivhäuser.

lufttette lag med noen svake punkter. Det lufttette laget 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 trehus¹⁰. 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.

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.

2.5 Betong som konstruksjonsmaterial i passivhus

Produksjon av betong – og spesielt av armeringsstål – krever store mengder energi. På den andre siden har materialet betong store fordeler i passivhus. Ikke bare brannvern og bæreevne, men også lyddempning, varmekapasitet og evnen til å jevne ut fuktbelastninger kan nevnes her. Varmelagringsevnen av eksponert betong kan bidra til å dempe store temperatursvingninger og minske overoppvarming om sommeren – noe som er spesielt viktig i kontor- og skolebygg. I Mellom-Europa ble det også gjort gode erfaringer i passivhusskoler med lette yttervegger og tak i tre kombinert med betong i innvendige vegger og etasjeskillere.

Betong i seg selv er lufttett og kan være en viktig og pålitelig del av det lufttette sjiktet. Overganger til andre materialer og gjennomføringer samt eventuelle fuger mellom betongelementer må imidlertid tettes nøye. Betong er dessuten ikke dampnett, slik at det i noen situasjoner kan bli nødvendig å påføre et ekstra lag som sørger for nødvendig diffusjonsmotstand.

Betongens varmeegenskaper kan bli en stor utfordring i sammenheng med kuldebroer, spesielt i tilfeller hvor det er store laster som skal overføres gjennom konstruksjonen. Rapporten vil bl.a. vise løsninger som imøtekommer ønsket om lav kuldebroverdi samtidig som nødvendig konstruktiv bæreevne ivaretas.

¹⁰ Begrepene dampbrems og dampspærre 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 blant fagfolk hører man likevel ofte ”dampspærre” som generelt begrep.

3 Eksisterende veiledning om detaljer i energieffektive betongkonstruksjoner

1.1 Byggforskserien

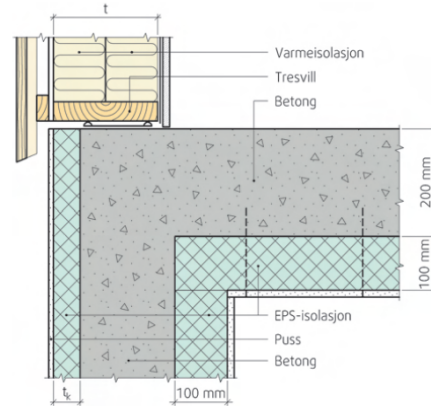
Kuldebroer blir behandlet i Byggedetaljer, anvisningene 471.015 – 017. Mens anvisning 015 og 016 beskriver konsekvenser, dokumentasjon og beregningsmetoder mer generelt, inneholder nummer 471.017 en rekke detaljer med tilhørende tabeller som viser kuldebroverdiene. Ved siden av rene trekonstruksjoner og tre kombinert med materialer som Leca, består de viste konstruksjonene i hovedsak av betong kombinert med trestendervegger. Konstruksjoner som er egnet i situasjoner hvor det må overføres store laster, er ikke med i anvisningen. De fleste trevegger som brukes i eksemplene, har ikke tilstrekkelig lav U-verdi for å kunne brukes i mindre passivhus. Dette har sammenheng med at U-verditabellene i anvisning 471.11 – 014 ikke har med trestendervegger med U-verdi under $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Det er behov for å utvide både U-verdianvisningene og kuldebroanvisningene med eksempler på to områder: Det første er vegger med lavere U-verdier, som er påkrevd i mindre passivhus. Det andre er tunge konstruksjoner for bygninger som krever stor bæreevne. Eksempelsamlingen i Byggedetaljer 471.017 kan uansett gi en del holdepunkter for å finne gode løsninger for ikke altfor kompliserte overganger. Noen av de viste kuldebroverdiene er imidlertid høye og vil gjøre det vanskelig å oppnå komponentkravet om normalisert kuldebroverdi på maksimalt $0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ i norsk passivhusstandard. Figur 5 viser et eksempel med forbedringspotensial.

1.2 Veiledning i andre land

I flere andre land er det gitt ut omfattende veiledning om kuldebroer med tabeller og også store sammenstillinger i form av kuldebroatlas. Disse inneholder i stor omfang massive konstruksjoner i stein og betong. Mange oppslagsverk baserer seg på konstruksjoner som ikke oppfyller norske krav til energieffektivitet. Løsninger egnet for svært energieffektive bygg begrenser seg til et mindre antall publikasjoner i hovedsak fra tyskspråklige land. Det europeiske forskningsprosjektet ASIEPI¹¹ har bl.a. undersøkt hvordan europeiske land håndterer kuldebroer og hvilken veiledning som eksisterer i de enkelte land. Resultatet er oppsummert i rapporten "An effective handling of thermal bridges in the EPBD context" og seks mer detaljerte informasjonspapirer. Veiledninger er stilt sammen i Information paper P 188 og 189, "Good practice guidance on thermal bridges & construction details". Alle disse er tilgjengelig på <http://www.asiepi.eu/wp-4-thermal-bridges.html>.

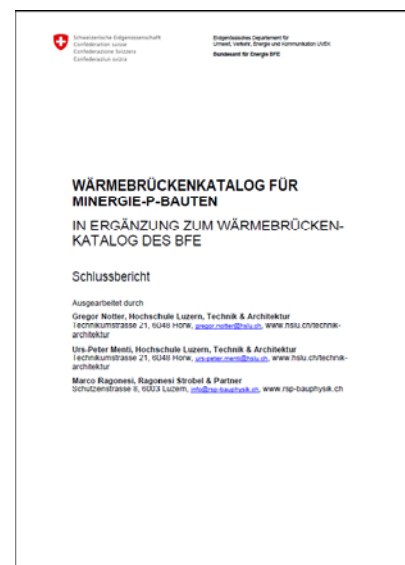
34 Yttervegg av bindingsverk av tre, grunnmur av betong og etasjeskiller av betong



Tabell 34
Kuldebroverdier, Ψ

t (mm)	t_k (mm)	Ψ (W/(mK))
148	50	0,22
198	50	0,22
198	100	0,11
148 + 98	50	0,22
148 + 98	100	0,11
148 + 148	50	0,21
148 + 148	100	0,11

Figur 5 Eksempel fra Byggedetaljer 417.017. Både vegg og etasjeskiller har forholdsvis høy U-verdi (vegg minst 0,15, etasjeskiller ukjent). Ψ vil bli lavere med trinnlydisolasjon på gulvet.



¹¹ Assessment and Improvement of the EPBD Impact

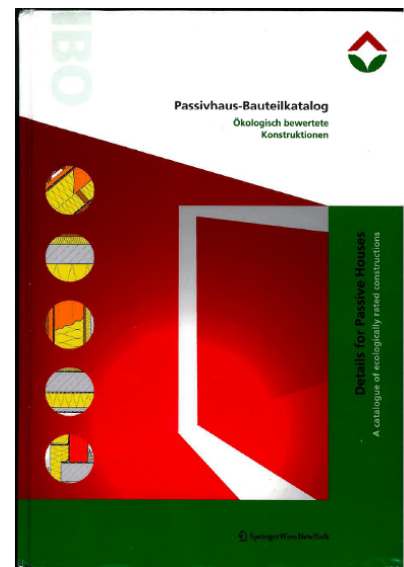
Det føderale energidirektoratet i Sveits, ”Bundesamt für Energie”, har allerede i 2002/3 publisert en stor kuldebrotkatalog samt tilhørende brosjyrer med U-verditabeller for nybygg og rehabilitering. I kuldebrotkatalogen kan en f.eks. finne X-verdien for punktkuldebroer som betongsøyler og effektiv U-verdi for vegger med påhengte fasader. I 2008 ble katalogen supplert med tabeller for såkalte Minergie-P-bygg. Minergie-P er en sveitsisk standard omtrent på passivhusnivå. Alle publikasjoner kan lastes ned på <http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/publikationen/index.html?lang=de>.¹²

Mer omfattende og grunnleggende veiledning ble publisert av Passivhusinstituttet i Tyskland, PHI i Darmstadt, og det østerrikske Institutt for bygningsbiologi og -økologi, IBO i Wien.

Passivhusinstituttets publikasjoner er først og fremst kompendier fra arbeidsverksteder i forskningsprosjekter finansiert av flere offentlige institusjoner (ofte departementer i tyske delstater) og industripartnere, såkalte protokollbind eller Protokollband på tysk. 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 høysolerte 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. Mest relevant for foreliggende rapport er imidlertid Protokollband Nr. 35 om kuldebroer og planlegging av bærekonstruksjonen. Her drøftes det konstruksjoner i grenseland av det som er mulig å bygge med lave kuldebroverdier. Kuldebroutfordringer ved rehabilitering blir behandlet i bind 24, 32 og 39.

Kompendiene kan bestilles på www.passiv.de under ”Literatur”. På samme sted 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”. Alt dette er bare tilgjengelig på tysk, men på http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/ er det også lagt ut grunnleggende veiledning om passivhus og kuldebroer på engelsk¹³.

”Passivhaus-Bauteilkatalog” – eller på engelsk ”Details for Passive Houses” – er et omfattende, gjennomgående tospråklig standardverk om økologisk vurderte konstruksjoner for passivhus, gitt ut av Instituttet 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 fyldig 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 forsurningspotensial i produksjonsprosessen samt muligheter for gjenbruk og gjenvinning etter riving. Håndboka kan bestilles på www.ibo.at. I tillegg kan det bestilles en CD med alle konstruksjoner og overgangsdetaljer i JPEG-format. Tegninger av standardkonstruksjonene

¹² Søk på henholdsvis *Wärmebrückenatlas* og *U-Wert-Berechnung* i feltet hvor det står ”Geben Sie hier den Titel ein”. Du kan også først gå på <http://www.bfe.admin.ch/> og så klikke på ”Datenbank allgemeine Publikationen” i høyre kolonne.

¹³ Se i venstre kolonne under ”Basics”/”Building physics – basics” og klikk så på ”Heat transfer”.

med tilhørende beregninger er også tilgjengelig på <http://www.baubook.at/phbtk/>, hvor en kan gå inn og bearbeide elementene i konstruksjonene etter eget behov.

4 Nyere forskningsresultater

I tillegg til forskningsresultater beskrevet i forrige avsnitt – som allerede har blitt bearbeidet til mer eller mindre omfattende veiledninger – foreligger det noen resultater i form av rapporter enten fra mer teoretiske studier eller fra pilotprosjekter som ble bygget som passivhus.

SINTEF Byggforsk gjennomførte i 2007 og 2008 et større kuldebroprosjekt, hvor også den ovennevnte avhandlingen til Thor-Oskar Tømte inngikk. Prosjektet var bl.a. grunnlag for den oppdaterte anvisningen 471.017, som er beskrevet i avsnitt 1.1. I vedlegg B i prosjektets sluttrapport¹⁴ er det tatt med noen flere konstruksjoner enn i Byggforskserien. Rapporten gjennomgår dessuten det teoretiske grunnlaget og drøfter kuldebrovirkningen av utvendige betongsøyle. Sistnevnte er nærmere beskrevet i avsnitt 5.8.7. Resultater er dokumentert på <http://tjenester.byggforsk.no/prosjekter/kuldebro/>.

På de tyske passivhusinstituttets nettsted www.passiv.de legges det under "Literatur" av og til ut nye, fritt tilgjengelige forskningsrapporter. I 2005 kom det ut en sluttrapport om et fleretasjes boligbygg med mye bruk av betong, "Pinnasberg" i Hamburg¹⁵. Her er det først og fremst balkonginnfestinger og utredning av varmetap ved overgangen mellom trapperom og uoppvarmet kjeller som er interessant i sammenheng med kuldebroer. En annen rapport om passivhusskolen "Riedberg" i Frankfurt/Main fra 2007 viser bl.a. fasadeinnfestinger og kuldebroløsninger for lyskuper og gulv på grunn¹⁶. I tillegg blir det undersøkt varmetap ved forskjellige løsninger for inngangsdører. Begge rapporter danner et viktig grunnlag for ovennevnte Protokollband Nr. 35. Videre omhandler flere rapporter kuldebroproblematikken i sammenheng med rehabiliteringsprosjekter. Også på nettstedet www.enob.info offentliggjøres mye stoff om energieffektive pilotprosjekter, både nye og oppgraderte bygg. Mye er her også tilgjengelig på engelsk. Nettstedet er en felles plattform for forskning på energieffektiv bygging, på oppdrag fra Tysklands føderale departement for næring og teknologi.

I Østerrike driver det føderale departementet for samferdsel, innovasjon og teknologi et tilsvarende nettsted <http://www.hausderzukunft.at>. Her publiseres forskningsresultater fra et program kalt *Haus der Zukunft* (Framtidens hus), delvis også på engelsk. Innenfor en serie med rapporter fra energi- og miljøforskning kom det nylig ut en sammenstilling av bygde passivhuskonstruksjoner med lave kuldebroverdier¹⁷. Relevante betongkonstruksjoner er tatt med i avsnitt 0 i foreliggende rapport.

Innenfor task 37 i det Internasjonale Energibyrådet (IEA) sitt Solar Heating and Cooling Programme ble det utarbeidet en større veiledning med arbeidstitel "Advances in Housing Renovation – Processes, Concepts and Technologies". Veiledningen inneholder bl.a. store avsnitt om lufttetthet og kuldebroer ved energieffektiv rehabilitering. Publikasjonen er ennå ikke ferdig redigert, men vil etter hvert bli offentliggjort på nettstedet <http://www.iea-shc.org/task37/>.

¹⁴ Prosjektrapport 25, SINTEF Byggforsk 2008

¹⁵ Mehrgeschoss-Passivhaus Hamburg Pinnasberg, PHI 2005

¹⁶ Passivhausschule Frankfurt Riedberg, PHI 2007

¹⁷ Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, Haus der Zukunft, Wien Mai 2010

5 Eksempler på gode detaljer

Eksempelsamlingen i dette avsnittet bygger i all hovedsak på ovennevnte publikasjoner, som i sine illustrasjoner har svært ulike framstillingsmåter og detaljeringsgrad. I noen tilfeller er det mer skjematiske detaljer som f.eks. ikke viser lufttettingssjiktet. Innenfor det aktuelle prosjektet var det ikke rom for å lage grafisk ”generaliserte”, fullstendig detaljerte illustrasjoner for alle eksempelløsninger. Grafisk framstilling i det følgende vil derfor variere sterkt.

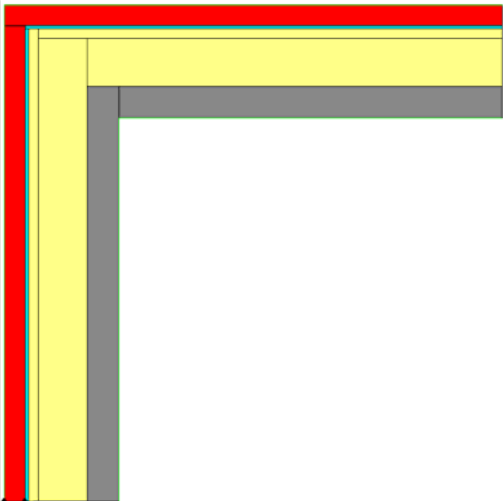
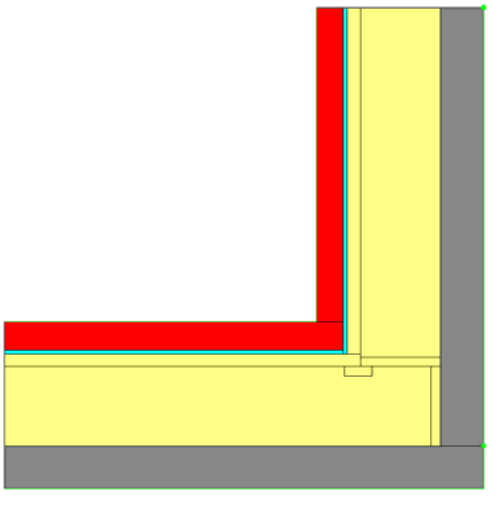
Nevnte U-verdier for konstruksjoner mot terreng eller mot uoppvarmete rom gjelder bare konstruksjonen i seg selv og inkluderer ikke varmemotstand av jordmasser og luftrom.

5.1 Utvendige og innvendige hjørner i bygningskroppen

5.1.1 Utvendig og innvendig hjørne, betongvegg isolert og teglforblendet

Fra vedlegg B i Prosjektrapport 25, SINTEF Byggforsk 2008.

Se beskrivelse under illustrasjonen.

<p>Detalj: Teglforblendet isolert plasstøpt betongvegg. Utadgående hjørne. Tegl på utsiden.</p>																															
																															
<p>Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro ved hjørne av 160 mm betongvegg forblendet med tegl, normalformat. Isolasjonen er regnet med varmekonduktivitet 0,037 W/mK. I parentes er verdiene satt opp for 200 mm betong i stedet for 160 mm. Veggen er regnet som 200, 250, 300, 350 og 400 mm. 15mm svakt ventilert luftspalte + 104 mm teglstein. Det er regnet med 1,5 til 2 m lange vegger målt på innvendig flate.</p>																															
<p>Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK], som funksjon av tykkelse på isolasjonen</p>	<p>Isolasjonstykkelse [mm]</p>																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>200</th> <th>250</th> <th>300</th> <th>350</th> <th>400</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Utvendig hjørne: 160 mm betong</td> <td>0,07</td> <td>0,06</td> <td>0,05</td> <td>0,05</td> <td>0,05</td> </tr> <tr> <td>200 mm betong</td> <td>(0,08)</td> <td>(0,07)</td> <td>(0,06)</td> <td>(0,06)</td> <td>(0,05)</td> </tr> <tr> <td>Innvendig hjørne: 160 mm betong</td> <td>-0,11</td> <td>-0,10</td> <td>-0,09</td> <td>-0,09</td> <td>-0,08</td> </tr> <tr> <td>200 mm betong</td> <td>(-0,12)</td> <td>(-0,11)</td> <td>(-0,10)</td> <td>(-0,09)</td> <td>(-0,09)</td> </tr> </tbody> </table>		200	250	300	350	400	Utvendig hjørne: 160 mm betong	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	200 mm betong	(0,08)	(0,07)	(0,06)	(0,06)	(0,05)	Innvendig hjørne: 160 mm betong	-0,11	-0,10	-0,09	-0,09	-0,08	200 mm betong	(-0,12)	(-0,11)	(-0,10)	(-0,09)	(-0,09)
	200	250	300	350	400																										
Utvendig hjørne: 160 mm betong	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05																										
200 mm betong	(0,08)	(0,07)	(0,06)	(0,06)	(0,05)																										
Innvendig hjørne: 160 mm betong	-0,11	-0,10	-0,09	-0,09	-0,08																										
200 mm betong	(-0,12)	(-0,11)	(-0,10)	(-0,09)	(-0,09)																										
<p>*Forutsetninger: Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. NS-EN-ISO 6946 angir at luftspalte svakt ventilert skal ha halv motstand i forhold til verdien i tabell 2. For 15mm er dette $R_{spalte} = 0,5 \cdot 0,17 = 0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$ som tilsvarer $\lambda = d/R = 0,015/0,08 = 0,19 \text{ W/mK}$. Motstanden i sjiktet utenfor spalta kan maks være $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$. $R_{tegl}(104 \text{ mm}) = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$ etter NBI 471.010 tab. 31. Bruker 0,15 for 104 mm som tilsvarer $\lambda = 0,104/0,15 = 0,69 \text{ W/mK}$. Set bort fra bindere/forankring da disse ikke blir brukt nær hjørnet og evt virkning av bindere vil falle bort når en ser bare på kuldebruvirkningen.</p>																															
<p>Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524.</p>																															
<p>Standarder som er fulgt ved beregningen: NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211</p>																															

5.1.2 Utvendig og innvendig hjørne, betongvegg isolert og kledd med trepanel

Fra Byggforskeren, Byggdetalj 471.017.

U-verdi i vegg = 0,15 W/(m²K) forutsatt:

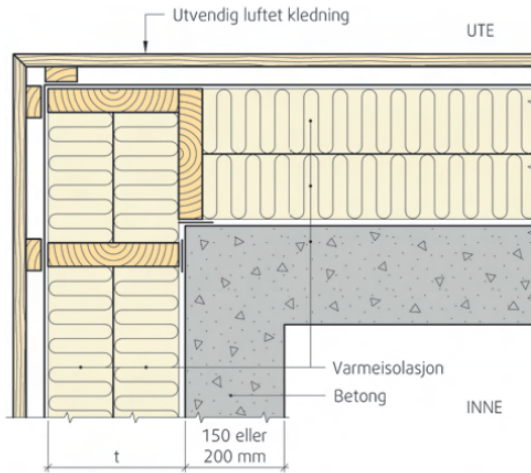
t = 148 + 148 mm

Stendere 36 mm

Isolasjon $\lambda = 0,037$ W/(mK)

Betong 150 mm

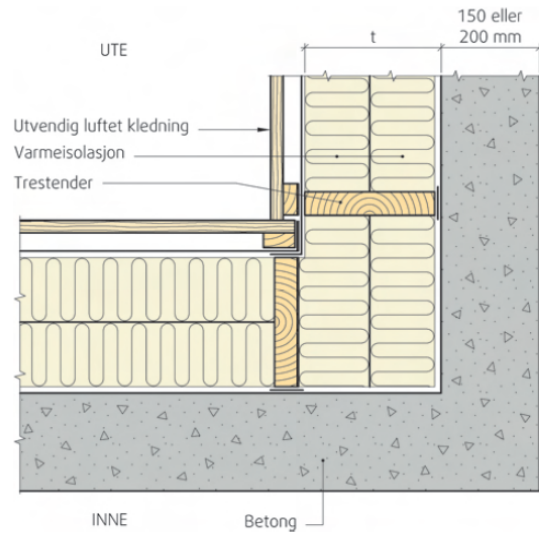
712 Utadgående hjørne



Tabell 712
Kuldebroverdier, Ψ (W/(mK))

t (mm)	150 mm betong	200 mm betong
148	0,09	0,11
198	0,08	0,09
148 + 98	0,07	0,08
148 + 148	0,06	0,07

711 Innadgående hjørne



Tabell 711
Kuldebroverdier, Ψ (W/(mK))

t (mm)	150 mm betong	200 mm betong
148	-0,13	-0,16
198	-0,12	-0,14
148 + 98	-0,11	-0,12
148 + 148	-0,10	-0,11

U-verdi på 0,15 W/(m²K) er normalt ikke tilstrekkelig i mindre passivhusbygg, men kuldebroverdien i utvendige hjørner vil bli mindre ved større isolasjonstykkelser.

5.1.3 Utvendig og innvendig hjørne, betongvegg isolert

Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.1 og 3.3.2.

U-verdi i vegg = 0,104 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

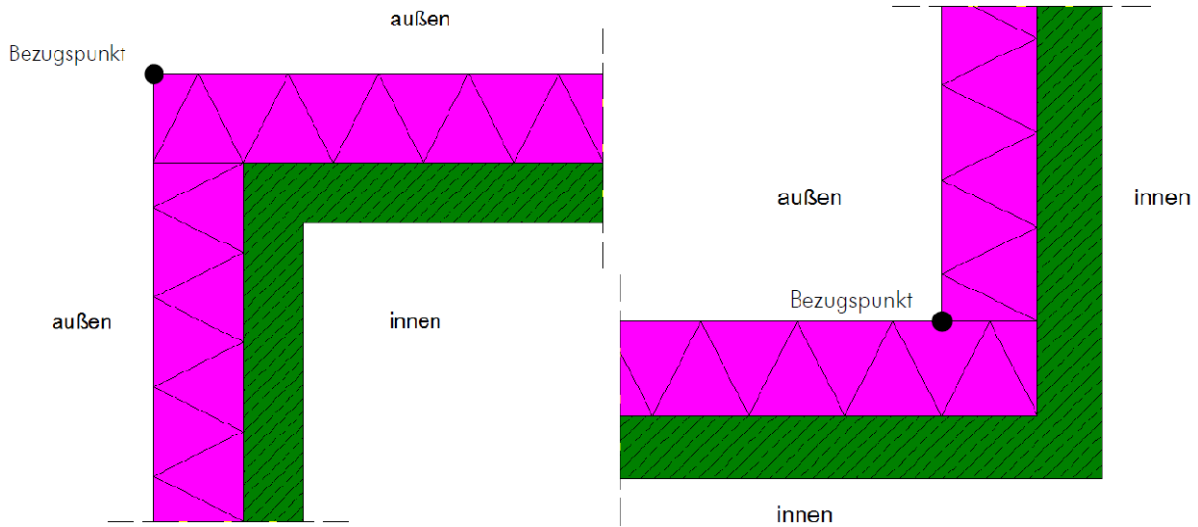
Sparkel

Betong 200 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon EPS 300 mm, $\lambda = 0,032$ W/(mK)

Dekksjikt, f.eks. puss



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten):

$$\Psi_a = -0,047 \text{ W/(mK)}$$

$$\Psi_a = +0,018 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = +0,057 \text{ W/(mK)}$$

$$\Psi_i = -0,086 \text{ W/(mK)}$$

5.2 Overgang mot terreng (fundamentering)

Ved fundamentering og overgang mellom 1. etasje og uoppvarmet kjeller kan kuldebrovirkningen generelt minskes på følgende måter:

- Løse opp vegger i søyler eller korte veggavsnitt.
- Erstatte betongvegger med murte vegger, hvis statisk mulig, og bruke material med lav varmeledningsevne som termisk skille i flukt med isolasjonssjiktet.
- Bruke løsning med termisk skille i betongvegger, hvis det statisk ikke er nødvendig å ha gjennomgående armering.

Vedlegg C.1 viser en oversikt over tilgjengelige materialer for termisk skille i murvegger eller betongvegger uten gjennomgående armering.

I vedlegg A er det tatt med fire oversikter over alternative fundamenteringsmuligheter for tunge betongkonstruksjoner. Tabellene med tilhørende skisser i vedlegg A.1 – A.4 kan brukes som grov orientering over kuldebrovirkningen av forskjellige varianter.

5.2.1 Sokkel

5.2.1.1 Yttervegg/fundamentplate med isolasjon over

Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.7.

Dette er et eksempel på oppløsning av ytterveggen i korte veggavsnitt. Disse har mer (5 %) armering enn en vanlig betongvegg ville hatt. Kuldebroverdien er høyere her, men under hoveddelen av veggen kan gulvisolasjonen videreføres (i tilfelle spesielle brannkrav kan det brukes porebetong under veggen). Total kuldebroverdi er derfor betydelig lavere enn med gjennomgående vegg. Løsningen er vist i Figur 6.



Figur 6 Ytterveggen er løst opp i høyarmerte, korte avsnitt med gjennomgående isolasjon imellom. Til venstre: Et kortere mellomrom ferdig isolert, sett utenfra. Til høyre: Et langt mellomrom mellom to armerte avsnitt før gulvisolasjon er lagt, sett innenfra. Fra "Berichte ...".

En liknende løsning er vist i versjon 1.4 i vedlegg A.1 og A.2. Vær oppmerksom på at det kan bli kritisk lave temperaturer i overgangen mellom vegg og fundamentering, hvis det ikke gjennomføres kompensierende tiltak som markisolasjon.

U-verdi i vegg = 0,181 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Sparkel

Betong vanntett 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon XPS 200 mm, $\lambda = 0,038$ W/(mK)

Knasteplater med filterduk

U-verdi i gulv = 0,115 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 60 mm, $\lambda = 1,4$ W/(mK)

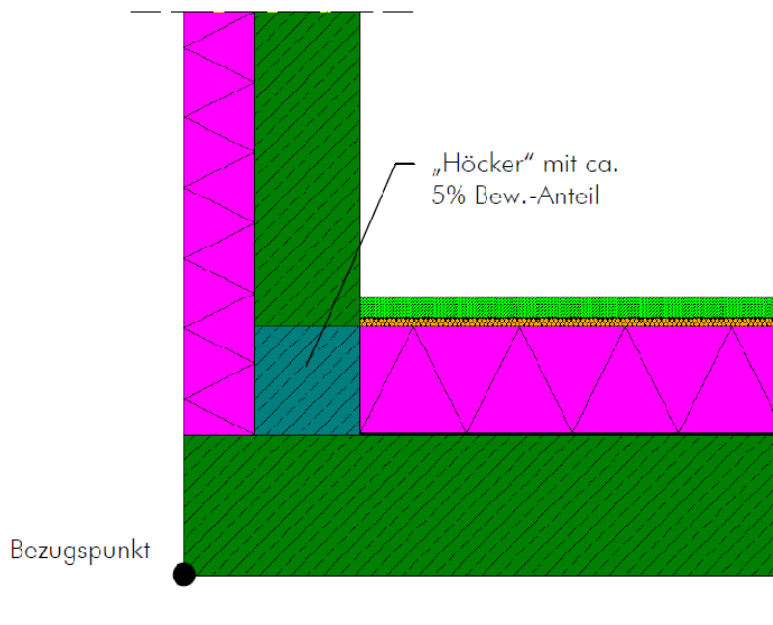
Trinnlydisolasjon EPS 25 mm, $\lambda = 0,044$ W/(mK)

Dampspærre $s_d \geq 1\ 500$ m

EPS 300 mm, $\lambda = 0,038$ W/(mK)

Fuktsperre 5 mm

Betong 400 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten):

$$\Psi_a = + 0,804 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = + 0,932 \text{ W/(mK)}$$

Verdien gjelder kun avsnitt med armert betong. Total kuldebroverdi er avhengig av andel isolerte avsnitt.

5.2.1.2 Yttervegg/fundamentplate med isolasjon under

Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj AWm 01 – EFu 10 og AWm 01 – Efu 07.

U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med følgende oppbygging (over terreng, fra innsiden):

Sparkel

Betong vanntett 180 mm

Isolasjon EPS 320 mm eller kork 360 mm

Silikatpuss

U-verdi i gulv = 0,15 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 50 mm

PE-folie eller byggpapir

Trinnlydisolasjon mineralull- eller porøse trefiberplater 30 mm

Betong vanntett 300 mm

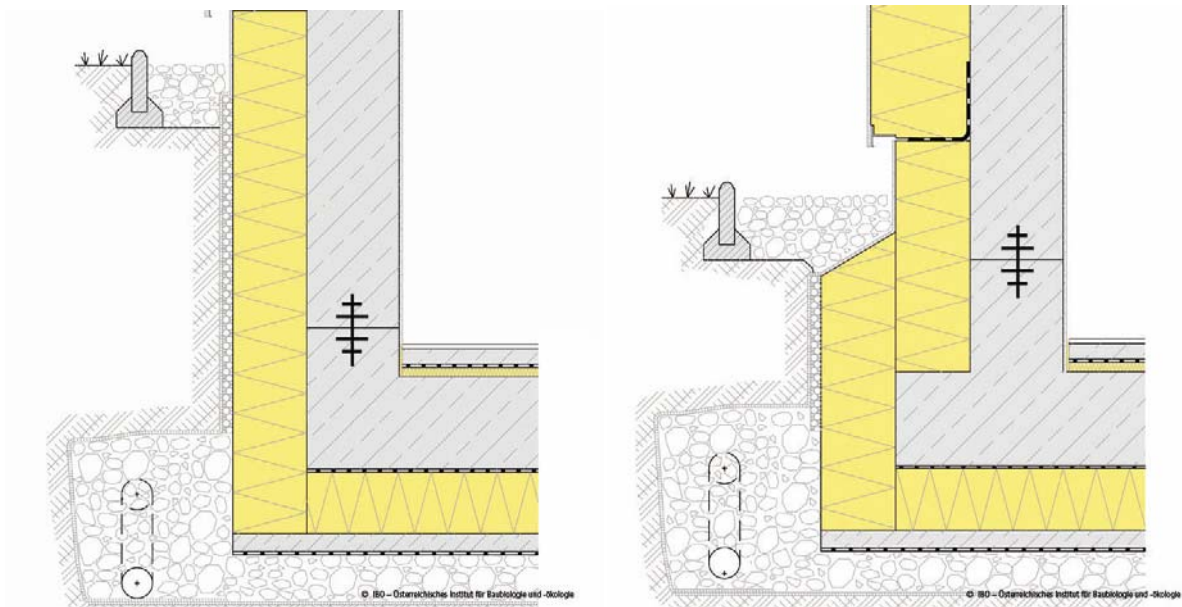
Byggpapir

Isolasjon XPS 200 mm eller skumglass 240 mm (variant til høyre)

Magerbetong 50 mm

Byggpapir

Drenslag minst 150 mm på PP-filterduk



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra håndboka):

$$\Psi_a = -0,040 \text{ W/(mK)}$$

$$\Psi_a = +0,013 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet, noe usikker pga. ikke entydig veggoppbygging u. terr.):

$$\Psi_i = +0,105 \text{ W/(mK)}$$

$$\Psi_i = +0,153 \text{ W/(mK)}$$

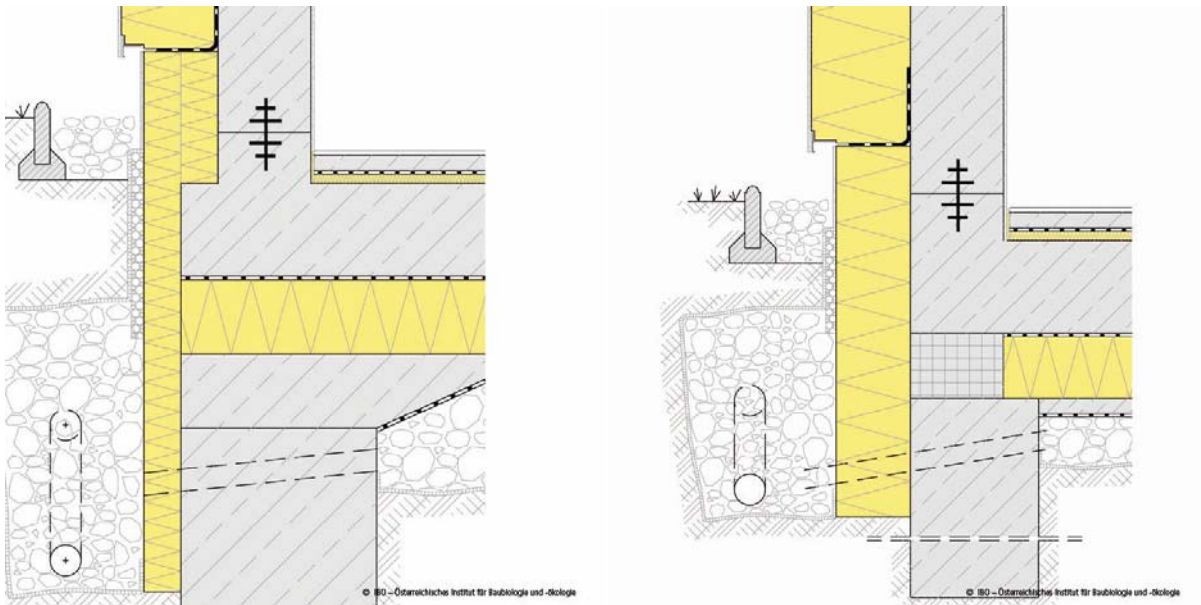
5.2.1.3 Yttervegg/stripefundament og isolasjon under gulvplate

Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj AWm 01 – EFu 10*.

U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med samme oppbygging som i kapittel 5.2.1.2 over.

U-verdi i gulv = 0,15 W/(m²K) med samme oppbygging som i kapittel 5.2.1.2 over.

Mellom gulvplate og stripefundament ligger det henholdsvis svært trykkfast isolasjon (detalj til venstre) og en såkalt varmfot i samme tykkelse som isolasjonssiktet (detalj til høyre). Sistnevnte er egnet for høyere laster enn den første. "Varmfoten" kan f.eks. være stein med lav varmeledningsevne, som porebetong. En oversikt over material som kan brukes til termisk skille i slike situasjoner er vist i vedlegg C.1. Hvilket material som aktuelt er egnet, er avhengig av nødvendig bæreevne. Kuldebroverdien vil variere tilsvarende.



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra håndboka):

$$\Psi_a = -0,007 \text{ W/(mK)}$$

$$\Psi_a = -0,007 \text{ W/m}^2\text{K (med varmfot } \lambda = 0,10 \text{ W/mK)}$$

$$\Psi_a = -0,010 \text{ W/m}^2\text{K (med varmfot } \lambda = 0,14 \text{ W/mK)}$$

$$\Psi_a = -0,033 \text{ W/m}^2\text{K (med varmfot } \lambda = 0,20 \text{ W/mK)}$$

$$\Psi_a = -0,063 \text{ W/m}^2\text{K (med varmfot } \lambda = 0,30 \text{ W/mK)}$$

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet, noe usikker pga. ikke entydig veggoppbygging u. terr.):

$$\Psi_i = +0,129 \text{ W/(mK)}$$

$$\Psi_i = +0,129 \text{ W/m}^2\text{K (med varmfot } \lambda = 0,10 \text{ W/mK)}$$

$$\Psi_i = +0,146 \text{ W/m}^2\text{K (med varmfot } \lambda = 0,14 \text{ W/mK)}$$

$$\Psi_i = +0,169 \text{ W/m}^2\text{K (med varmfot } \lambda = 0,20 \text{ W/mK)}$$

$$\Psi_i = +0,199 \text{ W/m}^2\text{K (med varmfot } \lambda = 0,30 \text{ W/mK)}$$

5.2.1.4 Innvendig vegg på fundamentplate med isolasjon over

Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.8.

Etter samme prinsipp som ytterveggen i kapittel 5.2.1.1 blir her en innvendig betongvegg oppløst i korte veggavsnitt. Disse har mer (5 %) armering enn en vanlig betongvegg ville hatt. Kuldebroverdien er høyere her, men under hoveddelen av veggen kan gulvisolasjonen videreføres (i tilfelle spesielle brannkrav kan det brukes porebetong under veggen). Total kuldebroverdi er derfor betydelig lavere enn med gjennomgående vegg. (Løsningen for ytterveggen er vist i Figur 6 i nevnte kapittel ovenfor.)

U-verdi i vegg = 2,561 W/(m²K) med betong 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK), og sparkel på begge sider

U-verdi i gulv = 0,115 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 60 mm, $\lambda = 1,4$ W/(mK)

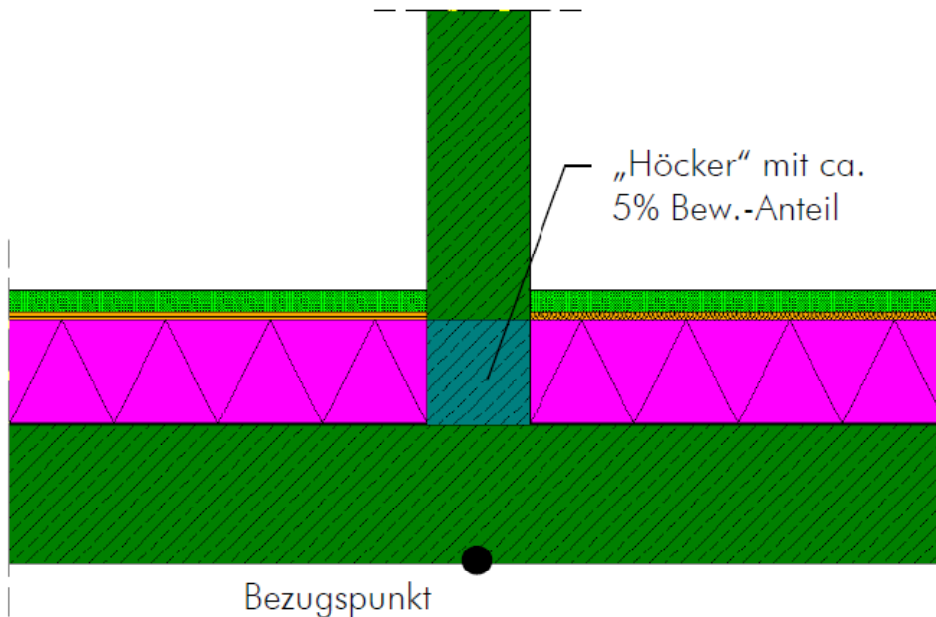
Trinnlydisolasjon EPS 25 mm, $\lambda = 0,044$ W/(mK)

Dampsperre $s_d \geq 1$ 500 m

Isolasjon EPS 300 mm, $\lambda = 0,038$ W/(mK)

Fuktsperre 5 mm

Betong 400 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten) er lik kuldebroverdi basert på innvendige mål:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 1,168 \text{ W/(mK)}$$

Verdien gjelder kun avsnitt med armert betong. Total kuldebroverdi er avhengig av andel isolerte avsnitt.

5.3 Overgang mot uoppvarmet kjeller

Ved fundamentering og overgang mellom 1. etasje og uoppvarmet kjeller kan kuldebrovirkningen generelt minskes på følgende måter:

- Løse opp vegger i søyler eller korte veggavsnitt.
- Erstatte betongvegger med murte vegger, hvis statisk mulig, og bruke material med lav varmeledningsevne som termisk skille i flukt med isolasjonssjiktet.
- Bruke løsning med termisk skille i betongvegger, hvis det statisk ikke er nødvendig å ha gjennomgående armering.

Vedlegg C.1 viser en oversikt over tilgjengelige materialer for termisk skille i murvegger eller betongvegger uten gjennomgående armering.

5.3.1 Yttervegg/kjellerdekke

5.3.1.1 Yttervegg/kjellerdekke med isolasjon over

Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.9.

Etter samme prinsipp som over sokkelen i kapittel 5.2.1.1 blir her betongveggen oppløst i korte veggavsnitt. Disse har mer (5 %) armering enn en vanlig betongvegg ville hatt. Kuldebroverdien er høyere her, men under hoveddelen av veggen kan gulvisolasjonen videreføres (i tilfelle spesielle brannkrav kan det brukes porebetong under veggen). Total kuldebroverdi er derfor betydelig lavere enn med gjennomgående vegg. (Løsningen over sokkel er vist i Figur 6 i nevnte kapittel ovenfor.)

U-verdi i vegg over terreng = 0,104 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Sparkel

Betong 200 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon EPS 300 mm, $\lambda = 0,032$ W/(mK)

Dekksjikt, f.eks. puss

U-verdi i kjellervegg = 0,592 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Sparkel

Betong vanntett 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon XPS 50 mm, $\lambda = 0,035$ W/(mK)

Knasteplater med filterduk

U-verdi i kjellerdekke = 0,111 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 60 mm, $\lambda = 1,4$ W/(mK)

PE-folie

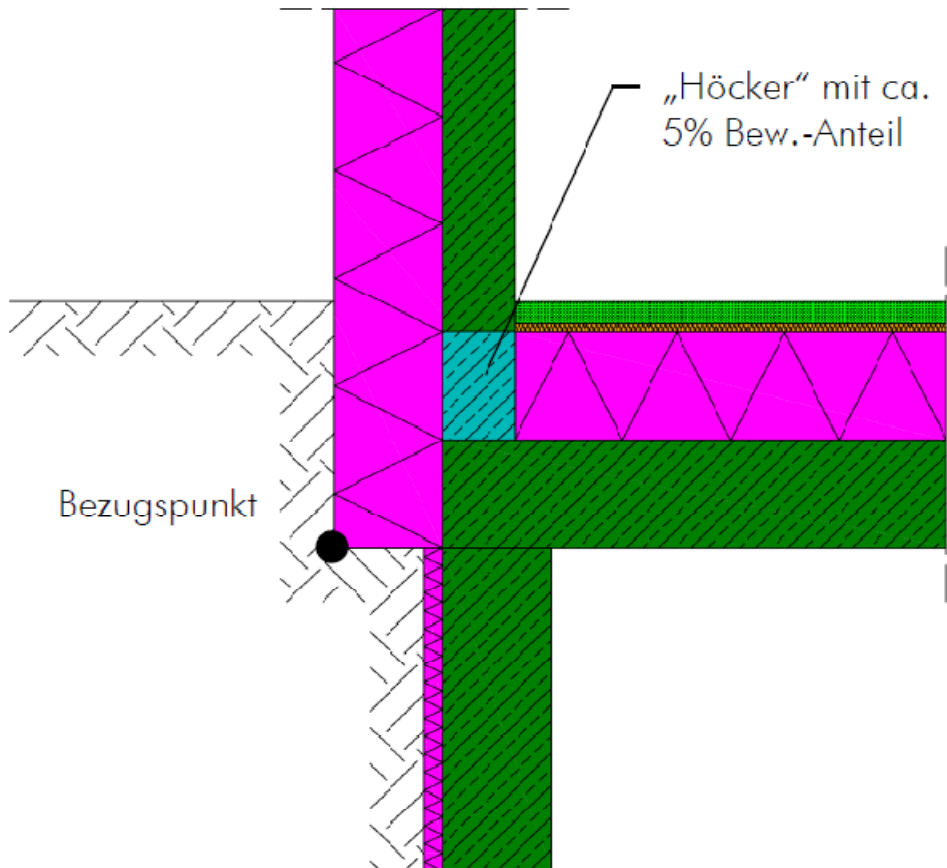
Trinnlydisolasjon EPS 25 mm, $\lambda = 0,044$ W/(mK)

Dampsperre $s_d \geq 200$ m

Isolasjon EPS 300 mm, $\lambda = 0,038$ W/(mK)

Betong 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Terreng har antatt $\lambda = 2,0$ W/(mK)



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten):

$$\Psi_a = -0,024 \text{ W/(mK) for ytterveggen (mot uteluft)}$$

$$\Psi_a = +0,607 \text{ W/(mK) for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)}$$

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = +0,072 \text{ W/(mK) for ytterveggen (mot uteluft)}$$

$$\Psi_i = +0,703 \text{ W/(mK) for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)}$$

Verdiene gjelder kun avsnitt med armert betong. Total kuldebroverdi er avhengig av andel isolerte avsnitt.

5.3.1.2 Yttervegg/kjellerdekke med isolasjon under

Eksempel 1 – Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.11.

Etter samme prinsipp som over sokkelen i kapittel 5.2.1.1 blir her betongveggen under kjellerdekket oppløst i korte veggavsnitt. Disse har mer (5 %) armering enn en vanlig betongvegg ville hatt. Kuldebroverdien er høyere her, men over hoveddelen av veggen kan isolasjonen videreføres (i tilfelle spesielle brannkrav kan det brukes porebetong over veggen). Total kuldebroverdi er derfor betydelig lavere enn med gjennomgående vegg.

U-verdi i vegg over terreng = 0,104 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Sparkel

Betong 200 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon EPS 300 mm, $\lambda = 0,032$ W/(mK)

Dekksjikt, f.eks. puss

U-verdi i kjellervegg = 0,592 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Sparkel

Betong vanntett 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon XPS 50 mm, $\lambda = 0,035$ W/(mK)

Knasteplater med filterduk

U-verdi i kjellerdekke = 0,102 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 50 mm, $\lambda = 1,4$ W/(mK)

PE-folie

Trinnlydisolasjon EPS 30 mm, $\lambda = 0,044$ W/(mK)

Dampsperr $s_d \geq 120$ m

Utjevningsfylling 50 mm, $\lambda = 0,2$ W/(mK)

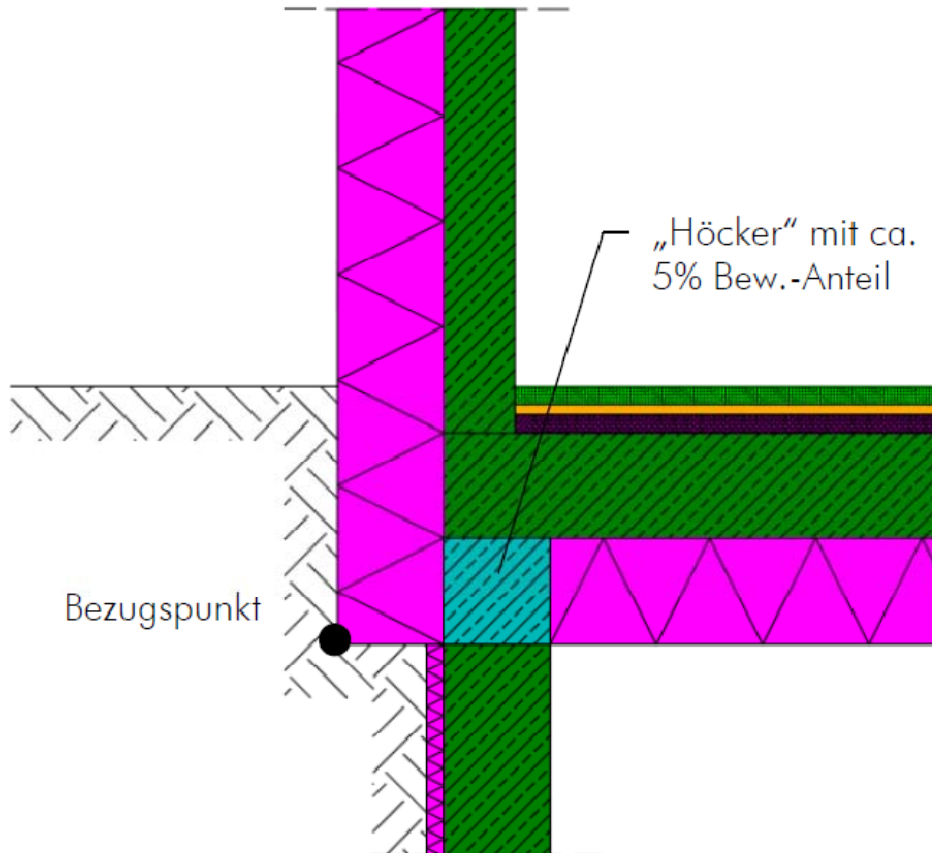
Betong 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon mineralull 300 mm, $\lambda = 0,036$ W/(mK)

Dekksjikt

Terreng har antatt $\lambda = 2,0$ W/(mK)



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten):

$\Psi_a = +0,633 \text{ W/(mK)}$ for ytterveggen (mot uteluft)

$\Psi_a = +0,006 \text{ W/(mK)}$ for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet):

$\Psi_i = +0,790 \text{ W/(mK)}$ for ytterveggen (mot uteluft)

$\Psi_i = +0,133 \text{ W/(mK)}$ for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)

Verdiene gjelder kun avsnitt med armert betong. Total kuldebroverdi er avhengig av andel isolerte avsnitt.

Eksempel 2 – Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj AWm 01 – KDu 01.

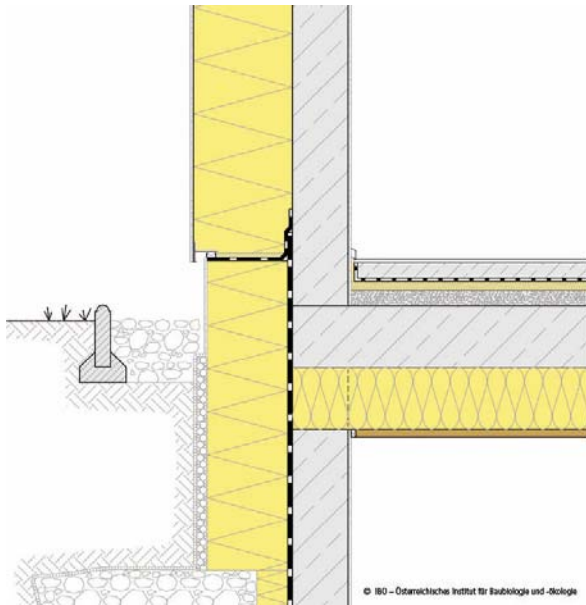
Samme prinsipp som i eksempel 1, dvs. betongveggen under kjellerdekket blir oppløst i korte veggavsnitt (søyler). I hoveddelen av veggen kan isolasjonen videreføres. Annen beregningsmetode enn i eksempel 1.

U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med følgende oppbygging (over terreng, fra innsiden):

- Sparkel
- Betong vanntett 180 mm
- Isolasjon EPS 320 mm eller kork 360 mm
- Silikatpuss

U-verdi i kjellerdekke = 0,15 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

- Gulvbelegg
- Sementgulv 50 mm
- PE-folie eller byggpapir
- Trinnlydisolasjon mineralull- eller porøse trefiberplater hhv. 30 eller 36 mm
- Grusfylling 50 mm
- Betong 200 mm
- Isolasjon 200 mm mineralull eller saueull
- Trellsement-akustikkplate 25 mm



Angitte lineære kuldebroverdier (se under skissen) gjelder her uforstyrret overgang i hele lengden. I tillegg kommer summen av punktkuldebroer fra betongavsnitt i veggen. Som en ser i tabellen, varierer X-verdiene mot kjeller sterkt, avhengig av betongavsnittenes lengde.

Tredimensjonale kuldebroverdier for de korte betongavsnittene i veggen ("søyler"), hvilke er beregnet som punktkuldebroer (fra rapporten):

Søylestørrelse	X mot uteluft	X mot kjeller
18 x 18 cm	- 0,001 W/K	+ 0,116 W/K
18 x 25 cm	- 0,001 W/K	+ 0,148 W/K
18 x 50 cm	- 0,001 W/K	+ 0,251 W/K
18 x 100 cm	- 0,002 W/K	+ 0,442 W/K

Kuldebroverdi lineært og uforstyrret, basert på utvendige mål (fra håndboka):

$$\Psi_a = -0,025 \text{ W/(mK) for ytterveggen (mot uteluft)}$$

$$\Psi_a = -0,033 \text{ W/(mK) for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)}$$

Kuldebroverdi lineært og uforstyrret, basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = +0,113 \text{ W/(mK) for ytterveggen (mot uteluft)}$$

$$\Psi_i = +0,105 \text{ W/(mK) for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)}$$

5.3.1.3 Yttervegg/kjellerdekke med isolasjon på begge sider

Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.13.

Betongveggen over kjellerdekket blir oppløst i korte veggavsnitt – se beskrivelse av prinsippet i kapittel 5.2.1.1. Hovedisolasjonslaget over dekket kan her videreføres mot den utvendige veggisolasjonen. Et mindre isolasjonslag under dekket blir ført 50 cm ned innvendig på kjellerveggen.

U-verdi i vegg over terreng = 0,104 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Sparkel

Betong 200 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon EPS 300 mm, $\lambda = 0,032$ W/(mK)

Dekksjikt, f.eks. puss

U-verdi i kjellervegg = 0,592 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Sparkel

Betong vanntett 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon XPS 50 mm, $\lambda = 0,035$ W/(mK)

Knasteplater med filterduk

U-verdi i kjellerdekke = 0,104 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 60 mm, $\lambda = 1,4$ W/(mK)

PE-folie

Trinnlydisolasjon EPS 25 mm, $\lambda = 0,044$ W/(mK)

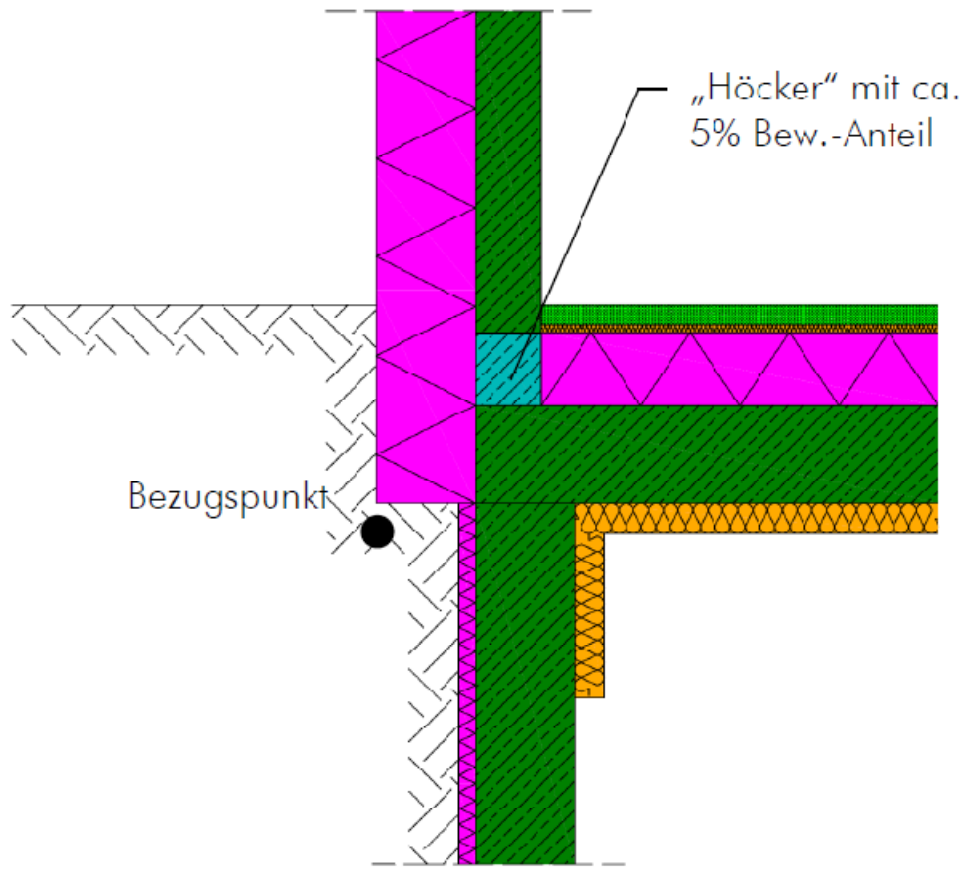
Dampsperre $s_d \geq 200$ m

Isolasjon EPS 220 mm, $\lambda = 0,038$ W/(mK)

Betong 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Isolasjon mineralull 90 mm, $\lambda = 0,033$ W/(mK)

Terreng har antatt $\lambda = 2,0$ W/(mK)



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten):

$$\Psi_a = + 0,048 \text{ W/(mK) for ytterveggen (mot uteluft)}$$

$$\Psi_a = + 0,336 \text{ W/(mK) for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)}$$

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = + 0,172 \text{ W/(mK) for ytterveggen (mot uteluft)}$$

$$\Psi_i = + 0,460 \text{ W/(mK) for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)}$$

Verdiene gjelder kun avsnitt med armert betong. Total kuldebroverdi er avhengig av andel isolerte avsnitt.

5.3.2 Innvendige vegger/kjellerdekke

5.3.2.1 Innvendig vegg/kjellerdekke med isolasjon over

Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.10.

Betongveggen over kjellerdekket blir oppløst i korte veggavsnitt – se beskrivelse av prinsippet i kapittel 5.2.1.1. Isolasjonslaget over dekket kan videreføres under hoveddelen av vegg.

U-verdi i vegg = 2,561 W/(m²K) med betong 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK), og sparkel på begge sider

U-verdi i kjellerdekke = 0,111 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 60 mm, $\lambda = 1,4$ W/(mK)

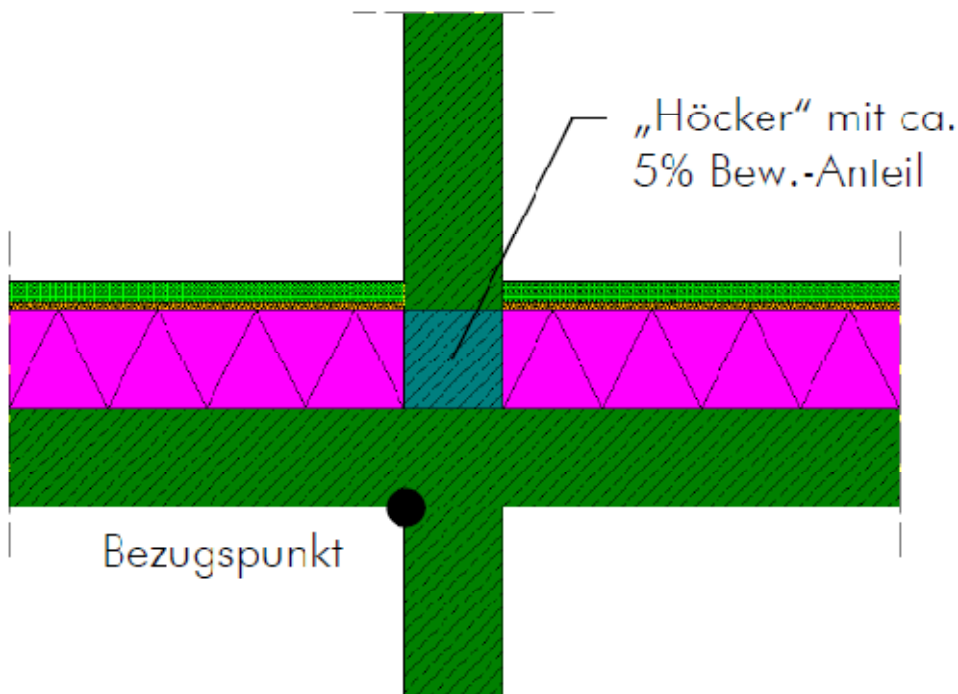
PE-folie

Trinnlydisolasjon EPS 25 mm, $\lambda = 0,044$ W/(mK)

Dampspærre $s_d \geq 200$ m

Isolasjon EPS 300 mm, $\lambda = 0,038$ W/(mK)

Betong 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten) er lik kuldebroverdi basert på innvendige mål:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 1,168 \text{ W/(mK)}$$

Verdien gjelder kun avsnitt med armert betong. Total kuldebroverdi er avhengig av andel isolerte avsnitt.

5.3.2.2 Innvendig vegg/kjellerdekke med isolasjon under

Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.12.

Betongveggen under kjellerdekket blir oppløst i korte veggavsnitt – se beskrivelse av prinsippet i kapittel 5.2.1.1. Isolasjonslaget under dekket kan videreføres over hoveddelen av vegg.

U-verdi i vegg = 2,561 W/(m²K) med betong 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK), og sparkel på begge sider

U-verdi i kjellerdekke = 0,102 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 50 mm, $\lambda = 1,4$ W/(mK)

PE-folie

Trinnlydisolasjon EPS 30 mm, $\lambda = 0,044$ W/(mK)

Dampsperr $s_d \geq 120$ m

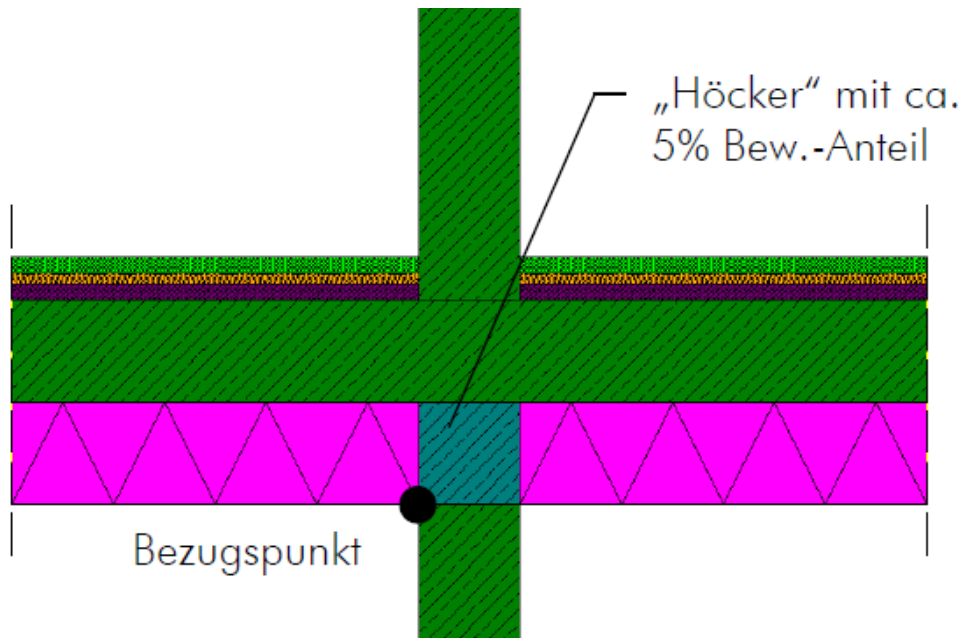
Utjevningssyffilling 50 mm, $\lambda = 0,2$ W/(mK)

Betong 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon mineralull 300 mm, $\lambda = 0,036$ W/(mK)

Dekksjikt



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten) er lik kuldebroverdi basert på innvendige mål:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 1,011 \text{ W/(mK)}$$

Verdien gjelder kun avsnitt med armert betong. Total kuldebroverdi er avhengig av andel isolerte avsnitt.

5.3.2.3 Innvendig vegg/kjellerdekke med isolasjon på begge sider

Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.14.

Betongveggen over kjellerdekket blir oppløst i korte veggavsnitt – se beskrivelse av prinsippet i kapittel 5.2.1.1. Hovedisolasjonslaget over dekket kan videreføres mot den utvendige veggisolasjonen. Et mindre isolasjonslag under dekket blir ført 50 cm ned på begge sider av kjellerveggen.

U-verdi i vegg = 2,561 W/(m²K) med betong 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK), og sparkel på begge sider

U-verdi i kjellerdekke = 0,104 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 60 mm, $\lambda = 1,4$ W/(mK)

PE-folie

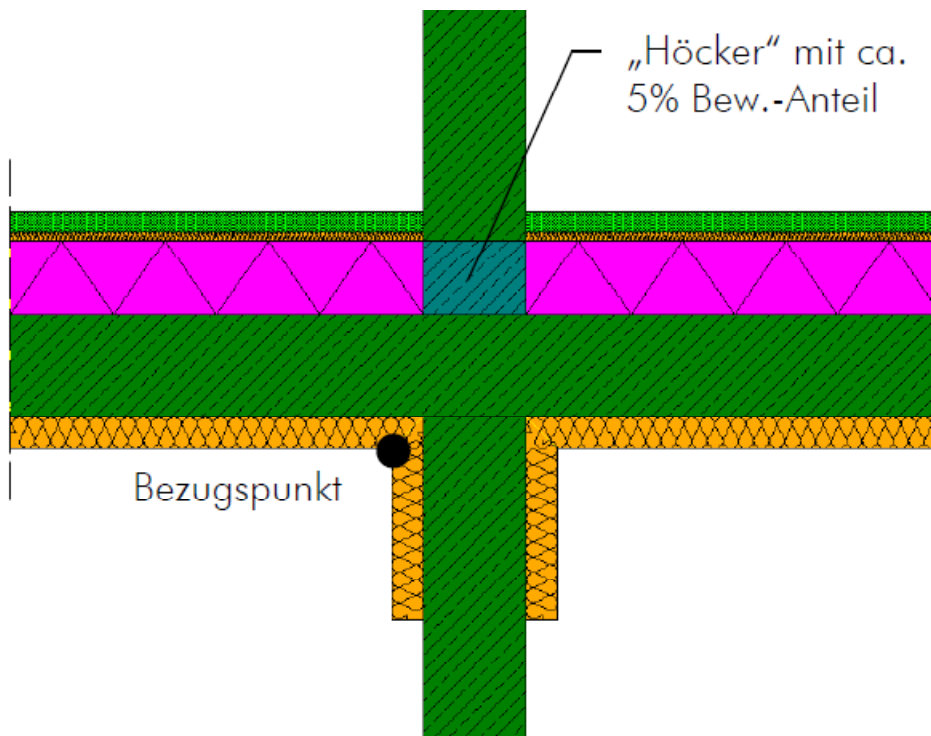
Trinnlydisolasjon EPS 25 mm, $\lambda = 0,044$ W/(mK)

Dampsperr $s_d \geq 200$ m

Isolasjon EPS 220 mm, $\lambda = 0,038$ W/(mK)

Betong 300 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Isolasjon mineralull 90 mm, $\lambda = 0,033$ W/(mK)



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten) er lik kuldebroverdi basert på innvendige mål:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,606 \text{ W/(mK)}$$

Verdien gjelder kun avsnitt med armert betong. Total kuldebroverdi er avhengig av andel isolerte avsnitt.

5.3.3 Innvendige søyler/kjellerdekke

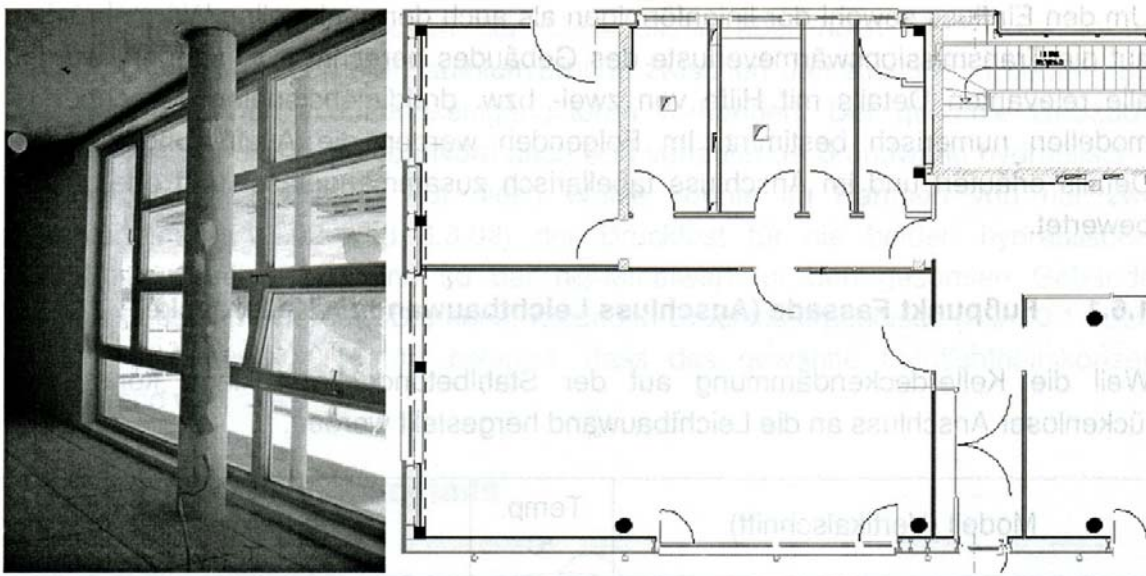
I vedlegg B er det tatt med fire oversikter over estimerte punktkuldebroverdier for innvendige søyler over og under kjellerdekket. Tabellene med tilhørende skisser i vedlegg B.1 og B.2 kan brukes som grov orientering over kuldebrovirkningen av stål- og betongsøyler i forskjellige varianter.

5.3.3.1 Søyle/kjellerdekke med isolasjon over

Fra artikkelen til Rainer Pfluger, *Passivhausdetails beim Projekt Mehrfamilienhaus in München-Riem* i Protokollband Nr. 21, Passivhusinstitutt 2002, figur 13 og 15.

Artikkelen analyserer passivhusdetaljer i en bygd boligblokk på fire etasjer med butikker i 1. etasje og uoppvarmet kjeller. Kapittel 1.6.2 undersøker valgte løsninger for søyler på kjellerdekke.

Nesten alle bærende vegger i 1. etasje er løst opp i søyler. De to trapperommene er en del av bygningskroppen, men ligger utenfor klimaskjermen med innvendig isolasjon. 29 runde søyler står over bærende kjellervegger, mens 11 kvadratiske søyler på 24/24 cm er plassert på konsoller på innsiden av trapperomsvegger og en gavlvegg. Figur 7 viser et planutsnitt, mens et tverrsnitt gjennom konsoll, kjellerdekke og søyle er gjengitt i Figur 8.



Figur 7 Rundsøyle (til venstre) og planutsnitt fra 1. etasje i det analyserte bygget. Rundsøyler står på tverrgående kjellervegger, mens noen kvadratiske søyler er plassert på konsoller under kjellerdekket, på innsiden av gavlveggen og trapperommet.

U-verdi i yttervegg 1. etasje = 0,138 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Gipsplate 2 lag 25 mm, $\lambda = 0,21$ W/(mK)

Isolasjon cellulosefiber/krysslekting 60 mm, $\lambda = 0,042/0,13$ W/(mK)

OSB-plate (dampbrems/lufttetting, teipete skjøter), 15 mm, $\lambda = 0,15$ W/(mK)

Isolasjon cellulosefiber/I-bærere 240 mm, $\lambda = 0,045/0,13$ W/(mK)

Gipsfiberplate 2 lag 25 mm, $\lambda = 0,36$ W/(mK)

Vindtetting og luftet kledning

(Yttervegger i 2. – 4. etasje har U-verdi = 0,128)

U-verdi i trapperomsvegg = 0,251 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Gipsplate 2 lag 25 mm, $\lambda = 0,21$ W/(mK)

Isolasjon cellulosefiber/krysslekting 160 mm, $\lambda = 0,040/0,13$ W/(mK)

Betong 200 mm, $\lambda = 2,1$ W/(mK)

U-verdi i kjellerdekke = 0,187 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

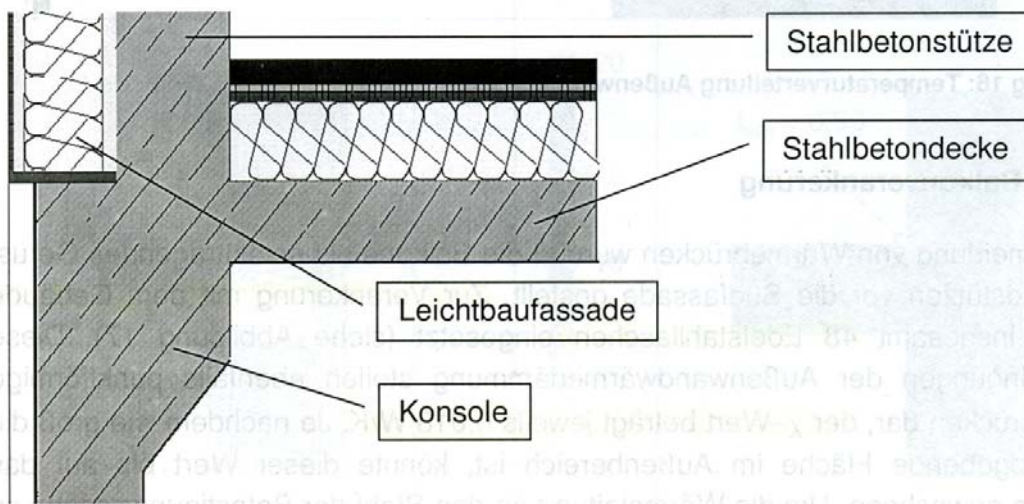
Sementgulv 65 mm, $\lambda = 1,2$ W/(mK)

Trinnlydisolasjon 15 mm, $\lambda = 0,040$ W/(mK)

OSB-plate, 25 mm, $\lambda = 0,15$ W/(mK)

Isolasjon cellulosefiber/I-bærere 200 mm, $\lambda = 0,046/0,13$ W/(mK)

Betong 180 mm, $\lambda = 2,1$ W/(mK)



Figur 8 Konsoller under kjellerdekket bærer søyler på innsiden av en gavlvegg. Liknende konsoller ved trapperomsvegger, men da med isolasjon mellom betongvegg og søyle.

Kuldebroverdier (fra artikkelen):

Rundsøyler over kjellervegg $X = 0,26$ W/K

Kvadratiske søyler 24/24 cm over konsoll $X = 0,20$ W/K

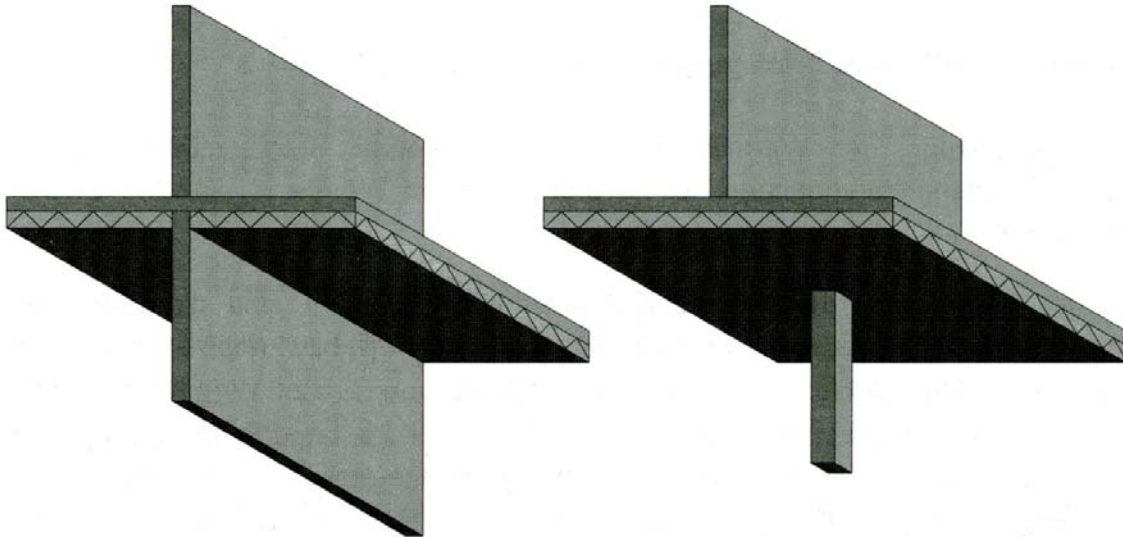
Det kan tilkomme ytterligere kuldebrotap i tilfelle søylene svekker isolasjon i tilstøtende vegg.

5.3.3.2 Søyle/kjellerdekke med isolasjon under

Fra artikkelen til Tanja Schulz, *Erfordernisse der Statik – vermeidbare Wärmebrücken* i Protokollband Nr. 35, Passivhusinstitutt 2007, figur 7, 8 og 13.

Kapittel 2.3 i artikkelen behandler betongvegger og -søyer ved å ta utgangspunkt i et eksempel på et kjellerdekkfelt i størrelsen 6 x 6 meter med armert betongvegg under som skal overføre lasten gjennom kjelleretasjen til fundamenteringen. Uten endring er kuldebroverdien uakseptabelt høy, se Tabell 1 under.

Som første skritt kan veggen under løses opp i en armert betongsøyle på 50/50 cm, som vist i Figur 9.



Figur 9 Eksempel på oppløsning av betongvegg under kjellerdekke til en enkel søyle.

Etterpå kan søylen optimeres for å oppnå lavest mulig tilleggsvarmetap. Forutsetninger i eksempelet:

U-verdi i 6 x 6 m stor kjellerdekke uforstyrret = 0,125 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):
(Gulvoppbygging ikke nærmere bestemt)

Betong 30 cm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Isolasjon 30 cm

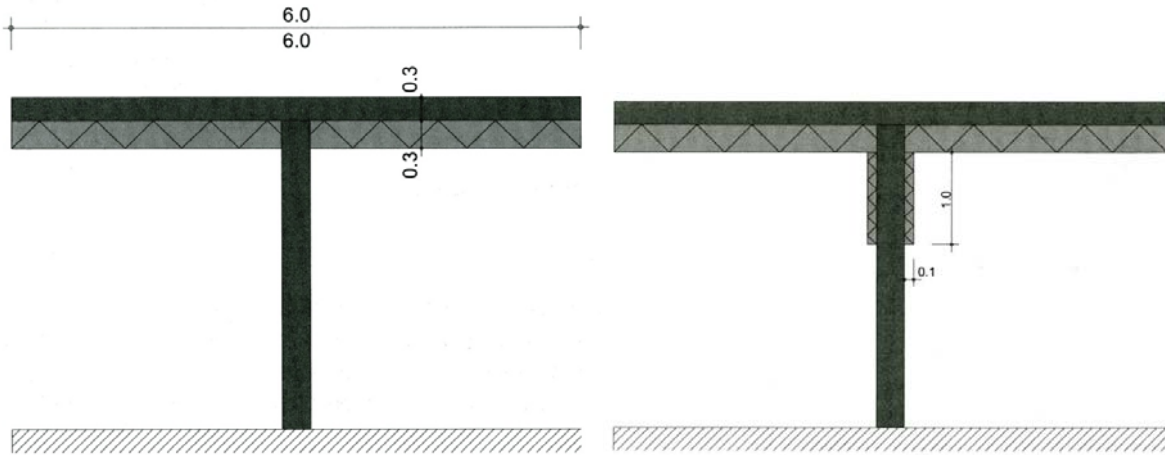
Vegg under: 30 cm armert betong, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Betongsøyle: hhv. 50/50 og 30/30 cm,

λ betong = 1,83 W/(mK),

λ armeringsstål = 50 W/(mK)

Det viser seg i eksempelet at slanke søyleprofiler kan senke kuldebroverdien ytterligere. Videre har det betydelig effekt å isolere søylen med 10 cm ned én meter under kjellerdekket. Å isolere søylen helt ned til kjellergulvet gir ikke mye tilleggseffekt, men kan i mange tilfeller være en enkel og estetisk god løsning. Prinsippet er vist i Figur 10, og simuleringresultater er oppsummert i Tabell 1 nedenfor.



Figur 10 Utgangspunkt (til venstre): Kjellerdekkefelt på 6 x 6 m i betong med 30 cm isolasjon under og lastbærende betongvegg i kjelleretasjen. Prinsipp for optimalisert løsning (til høyre): Vegg er løst opp i slanke søyler med isolasjon rundt øverste del.

Tabell 1 Simuleringsresultater for et dekkefelt på 6 x 6 meter med lastbærende vegg eller søyler i forskjellig utføring under. Forutsetninger se teksten over.

Konstruksjon	Kuldebroverdi Ψ (vegg) eller X (søyle)	Kuldebrobidrag til U-verdi i dekke: ΔU	Resulterende U-verdi hele dekkefelt
Dekkefelt uforstyrret	–	–	0,125 W/(m ² K)
Med vegg 30 cm under	0,740 W/(mK)*	0,125 W/(m ² K)	0,250 W/(m ² K)
Med søyle 50/50 cm under	1,330 W/K	0,037 W/(m ² K)	0,162 W/(m ² K)
Med søyle 30/30 cm under	0,609 W/K	0,017 W/(m ² K)	0,142 W/(m ² K)
Med søyle 30/30 cm + isolasjon 10/100 cm under	0,358 W/K	0,010 W/(m ² K)	0,135 W/(m ² K)

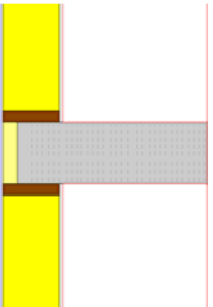
* 0,740 W/(mK) tilsvarer totalt tilleggsvarmetap for 6 m vegg lengde på 4,44 W/(mK).

5.4 Overgang yttervegg/etasjeskiller

5.4.1 Yttervegg/etasjeskiller, betong uten armering parallelt med varmestrøm

Fra vedlegg B i Prosjektrapport 25, SINTEF Byggforsk 2008.

Se beskrivelse. Det bør velges tykkere kuldebrobryter, jf. avsnitt 5.4.2, eksempel 2.

Detalj: Tilslutning mellom etasjeskiller i betong (med konduktivitet på 1,65 W/mK) og bindingsverksvegg.	Dato siste revisjon: 2008-02-12
	Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro ved tilslutning mellom etasjeskiller i betong og bindingsverksvegg. Bunnsvill og toppsvill er inkludert i veggens U-verdi. Veggens og etasjeskillerens tykkelse, og tykkelsen på kuldebrobryteren er variert, se tabellene nedenfor.

Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og tykkelsen på kuldebrobryteren.

Tykkelse på isolasjon i vegg, t [mm]	Tykkelse på kuldebrobryter, t _k [mm]	Dekketykkelse [mm]	
		200	250
98	50	0,07	0,08
148	50	0,11	0,12
198	50	0,13	0,15
198	100	0,05	0,06
148 + 98	50	0,15	0,16
148 + 98	100	0,07	0,08
148 + 148	50	0,16	0,18
148 + 148	100	0,08	0,09
148 + 148	150	0,04	0,05

Forutsetninger:

Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Enkel bunnsvill og toppsvill i vegg er inkludert i veggens U-verdi.

Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m²K og utvendig overgangsmotstand er satt til å være 0,13 W/m²K (for å ta hensyn til luftet kledning).

Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524. **NB:** Merk at en konduktivitet på 1,65 W/mK er benyttet for betong i beregningene, noe som forutsetter at stål ikke ligger parallelt med varmestrømsretningen inne i betongen. (Egne resultater finnes for armert betong.)

Standarder som er fulgt ved beregningen:

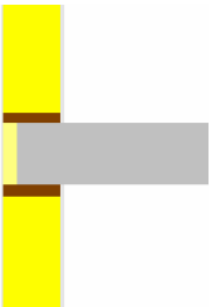
NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2

U-verdi på 0,15 W/(m²K) som i tykkeste vegg i tabellen er normalt ikke tilstrekkelig i mindre passivhusbygg.

5.4.2 Yttervegg/etasjeskiller, armert betong

Eksempel 1 – Fra vedlegg B i Prosjektrapport 25, SINTEF Byggforsk 2008.

Se beskrivelse. Det bør velges tykkere kuldebryter, jf. eksempel 2.

<p>Detalj: Tilslutning mellom etasjeskiller i betong (1% stål, konduktivitet på 2,3 W/mK) og bindingsverksvegg.</p>	<p>Dato siste revisjon: 2008-02-12</p>
	<p>Konstruksjonsbeskrivelse Kuldebro ved tilslutning mellom etasjeskiller i betong og bindingsverksvegg. Bunnsvill og toppsvill er inkludert i veggens U-verdi.</p> <p>Veggens og etasjeskillerens tykkelse, og tykkelsen på kuldebryteren er variert, se tabellene nedenfor.</p>

Lineær varmegjennomgangskoeffisient, Ψ [W/mK], som funksjon av isolasjonstykkelse for vegg og tykkelsen på kuldebryteren.

Tykkelse på isolasjon i vegg, t [mm]	Tykkelse på kuldebryter, t _k [mm]	Dekketykkelse [mm]	
		200	250
98	50		0,083
148	50		0,131
198	50		0,161
198	100		0,060
148 + 98	50		0,178
148 + 98	100		0,080
148 + 148	50		0,190
148 + 148	100		0,096
148 + 148	150		0,049

Forutsetninger:

Beregningene er utført med program for todimensjonal varmestrøm. For isolasjonssjiktet i bindingsverksveggen er det benyttet en konduktivitet som tar hensyn til at sjiktet består av både isolasjon og bærekonstruksjon i tre. 12% treandel er brukt i beregningene, men kuldebroverdiene kan også benyttes for vegger med treandeler mellom 9 og 15%. Bunnsvill og toppsvill i vegg er inkludert i veggens U-verdi.

Innvendig overgangsmotstand er 0,13 W/m²K og utvendig overgangsmotstand er antatt å være 0.13 W/m²K (for å ta hensyn til luftet kledning).

Materialdata er hovedsakelig hentet fra BKS 471.010 og NS-EN 12524. **NB:** Merk at en konduktivitet på 2,3 W/mK er benyttet for betongen i beregningene, noe som forutsetter at 1% med stål er inkludert i betongen.

Standarder som er fulgt ved beregningen:

NS-EN ISO 6946, NS-EN ISO 10211-1, NS-EN ISO 10211-2

U-verdi på 0,15 W/(m²K) som i tykkeste vegg i tabellen er normalt ikke tilstrekkelig i mindre passivhusbygg.

Eksempel 2 – Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.19.

U-verdi i yttervegg = 0,103 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Gipsplate 2 lag 25 mm, $\lambda = 0,21$ W/(mK)

Isolasjon mineralull/krysslekting 40 mm, $\lambda = 0,035/0,13$ W/(mK)

Dampbrems/lufttetting

Gipsfiberplate 15 mm, $\lambda = 0,36$ W/(mK)

Isolasjon mineralull/stendere 260 mm, $\lambda = 0,035/0,13$ W/(mK)

Gipsfiberplate 15 mm, $\lambda = 0,36$ W/(mK)

Isolasjon mineralull 80 mm, $\lambda = 0,036$ W/(mK)

Dekksjikt, f.eks. utvendig puss

U-verdi i etasjeskiller = 0,797 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 50 mm, $\lambda = 1,4$ W/(mK)

PE-folie

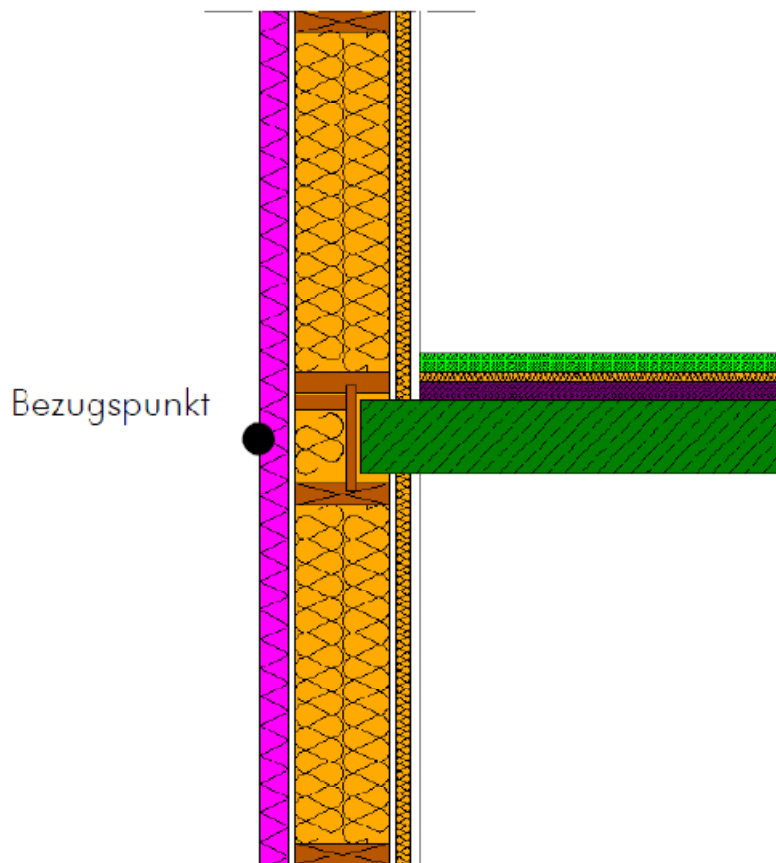
Trinnlydisolasjon EPS 30 mm, $\lambda = 0,044$ W/(mK)

Dampsperr $s_d \geq 120$ m

Utjevningsfylling 50 mm, $\lambda = 0,2$ W/(mK)

Betong 200 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Sparkel



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten) er lik kuldebroverdi basert på innvendige mål:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,025 \text{ W/(mK)}$$

5.5 Overgang yttervegg/skillevegg

Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.18.

U-verdi i yttervegg = 0,103 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Gipsplate 2 lag 25 mm, $\lambda = 0,21$ W/(mK)

Isolasjon mineralull/krysslekting 40 mm, $\lambda = 0,035/0,13$ W/(mK)

Dampbrems/lufttetting

Gipsfiberplate 15 mm, $\lambda = 0,36$ W/(mK)

Isolasjon mineralull/stendere 260 mm, $\lambda = 0,035/0,13$ W/(mK)

Gipsfiberplate 15 mm, $\lambda = 0,36$ W/(mK)

Isolasjon mineralull 80 mm, $\lambda = 0,036$ W/(mK)

Dekksjikt, f.eks. utvendig puss

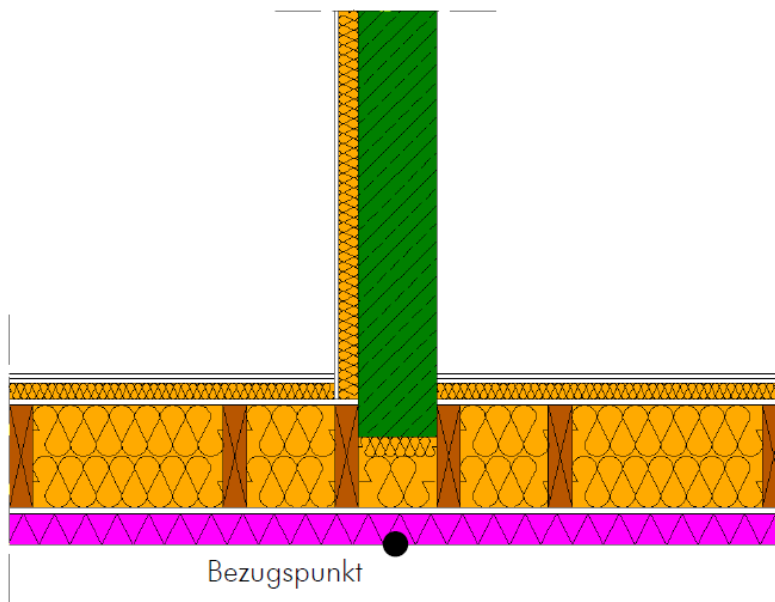
U-verdi i skillevegg = 0,635 W/(m²K) med følgende oppbygging:

Sparkel

Betong 200 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Isolasjon mineralull 50 mm/ stålprofiler, $\lambda = 0,040/60,00$ W/(mK)

Gipsplate 13 mm, $\lambda = 0,21$ W/(mK)



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten) er lik kuldebroverdi basert på innvendige mål:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,041 \text{ W/(mK)}$$

5.6 Overgang mot tak

Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.5. og 3.3.6.

Gesimskasse med støttekonstruksjon av hhv. trekant og trebaserte plater (variant til venstre) eller tegl fylt med perlite (variant til høyre). Konstruksjonen brukes samtidig til å føre dampsperra opp mot taktekningen.

U-verdi i yttervegg = 0,104 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Sparkel

Betong 200 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon EPS 300 mm, $\lambda = 0,032$ W/(mK)

Dekksjikt, f.eks. puss

U-verdi i tak = 0,078 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Singel 60 mm, $\lambda = 1,4$ W/(mK)

Beskyttelsesduk

2 lag taktekning 8 mm, $\lambda = 1,19$ W/(mK)

Damptrykkutjevningssjikt

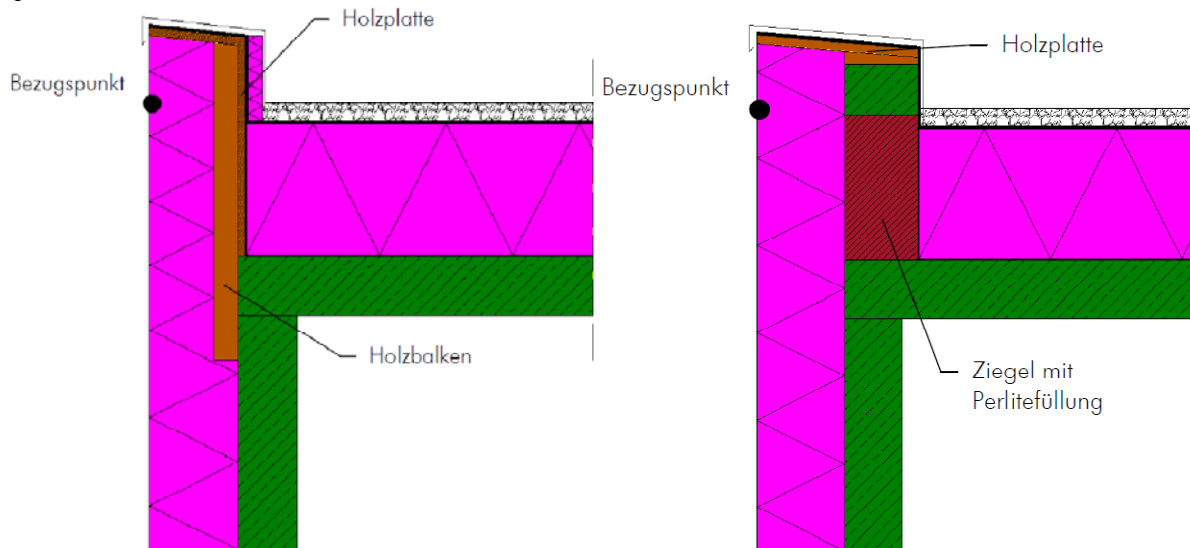
Isolasjon EPS 450 mm, $\lambda = 0,036$ W/(mK)

Dampsperre $s_d \geq 1\,500$ m, 4 mm, $\lambda = 1,19$ W/(mK)

Utjevningssjikt

Betong 200 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Sparkel



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten):

$$\Psi_a = -0,030 \text{ W/(mK)}$$

$$\Psi_a = -0,040 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = +0,084 \text{ W/(mK)}$$

$$\Psi_i = +0,074 \text{ W/(mK)}$$

5.7 Trapperom

Trapperommet kan være en stor utfordring i energieffektive bygg, med hensyn til både kuldebroer og lufttettethet. Trapperommet kan ligge utenfor eller innenfor klimaskjermen. Mellomløsninger – innenfor klimaskjermen, men utenfor hovedbygningsskroppen, eller omvendt: innenfor hovedbygningsskroppen, men utenfor klimaskjermen – blir mindre kompakt og har tilsvarende større varmetap. Hvis innvendige trapperomsvegger danner klimaskjermen selv, tar isolasjonen mye areal og alle inngangsdører på etasjene må være lufttett og høyisolerende. Figur 11 viser en oversikt over prinsipielle løsninger.

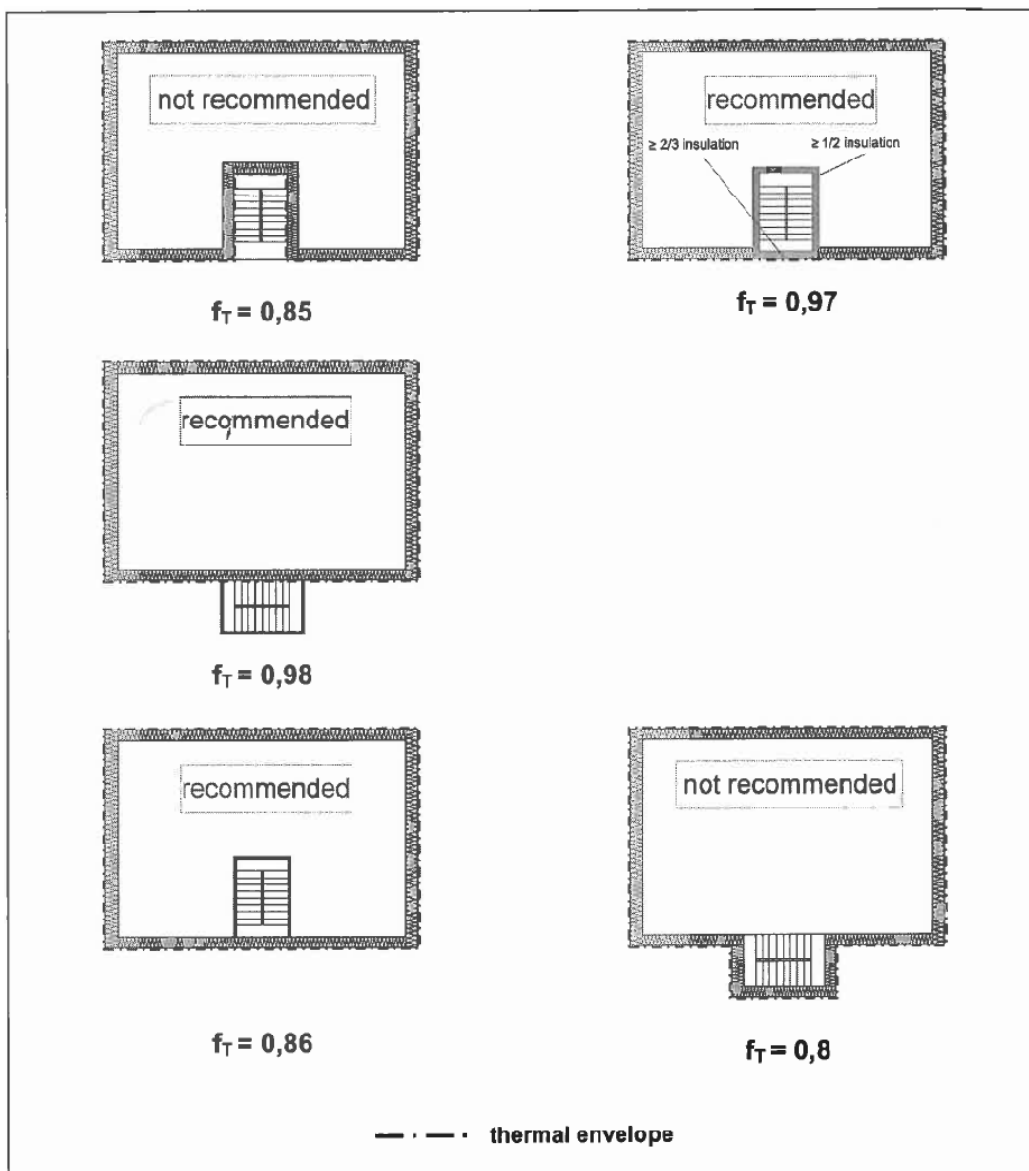
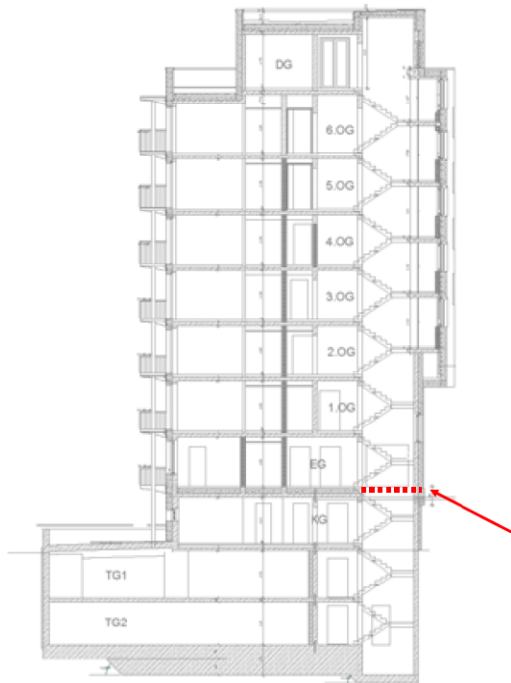


Figure 4 Various stairwell designs in multifamily residences with corresponding reduction factors. These refer to the thermal envelope areas adjacent to the stairwells.

Figur 11 Anbefalte og ikke anbefalte varianter for trapperom. Fra håndbok til passivhusprosjekteringspakke, engelsk utgave, Passivhusinstitutt 2007.



Dersom bygningen skal ha kjeller, er det ofte ønskelig at trapperommet danner en direkte forbindelse mellom oppvarmete og uoppvarmete etasjer. Uten spesielle tiltak vil dette imidlertid medføre store tilleggsvarmetap på grunn av

- dårlig eller ikke isolerte vegger og dører,
- kuldebroer ved overganger,
- utette kjellerdører og
- betydelige luftstrømninger gjennom et eventuelt svært høyt trapperom.

Analyser i sammenheng med en passivhus-boligblokk på åtte etasjer i Hamburg¹⁸ har vist at samlet varmetap mellom varm og kald sone gjennom trapperom og heissjakt uten tiltak tilsvarer en U-verdi på 12 W/(m²K) for det åpne arealet (areal på tvers av trapperom og sjakt).

Figur 12 Eksempel passivhus Hamburg Pinnasberg: Åpent trapperom og heissjakt medfører varmetap tilsvarende $U = 12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, hvis ikke kald kjeller skiller termisk fra varme rom.

Et slikt ekstra varmetap er normalt helt uakseptabelt. Følgende muligheter er egnet for å redusere varmetap gjennom trapperom:

- Tilgang til kjelleretasjen gjennom eksternt trapperom utenfor klimaskjermen – enkel løsning, hvis også trapperommet til oppvarmete etasjer står utenfor klimaskjermen, eller hvis det plasseres et uoppvarmet vindfang utenfor inngangen med tilgang til kjellernedgang.
- Trapperom som oppvarmet sone innenfor klimaskjermen og isolasjon/lufttette dører mellom trapperom og uoppvarmet kjeller – utfordringer ved overganger mot kjeller og gulv på grunn.
- Trapperom som kald sone utenfor klimaskjermen og isolasjon/lufttette dører mellom trapperom og boliger, kontorer osv. – utfordringer ved overganger mot oppvarmete rom.
- Trapperom med vegg og dør eller sluse som termisk skille mellom varm og kald del, eventuelt på repos – utfordringer rundt disse.
- Kjelleretasje som oppvarmet sone innenfor klimaskjermen – enkel løsning, men større oppvarmingsbehov totalt.

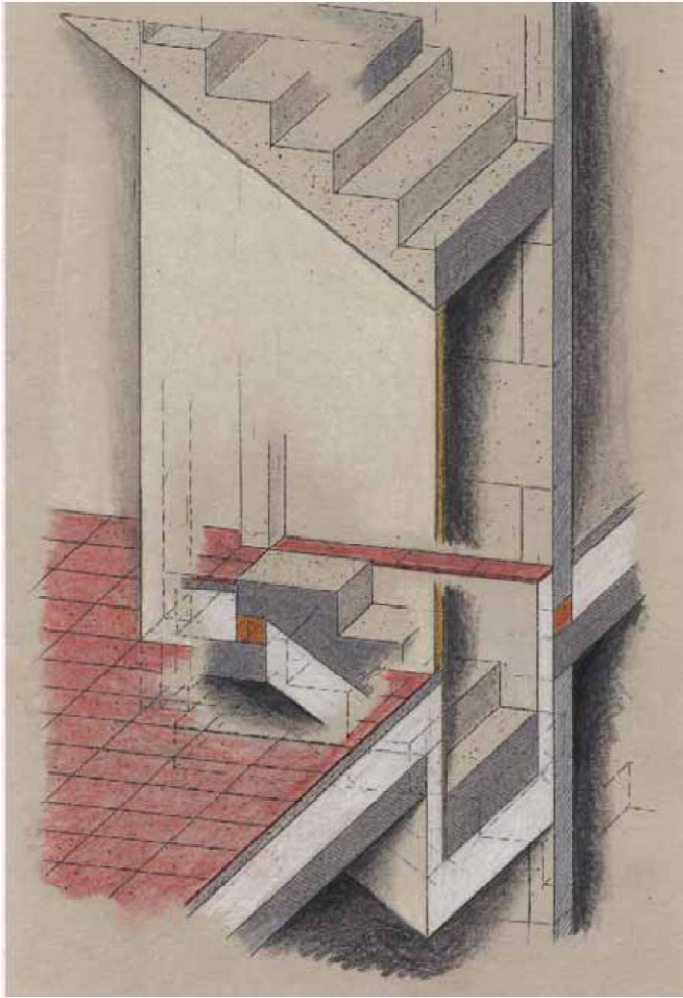
I småhus er både første og siste løsning enkelt å bygge, mens termisk skille i selve trapperommet i praksis ikke er gjennomførbart. Begge de to andre løsninger – trappenedgang enten inkludert i kald eller varm sone – kan være krevende med hensyn til overganger og nødvendig plass til isolasjon rundt nedgangene. Neste avsnitt 5.7.1 viser et eksempel på trappenedgang inkludert i varm sone.

I større bygg er oppvarmet kjeller normalt ikke formålstjenlig, mens alle andre løsninger kan være godt egnet, avhengig av funksjoner i det aktuelle hus.

¹⁸ Mehrgeschoss-Passivhaus Hamburg Pinnasberg, prosjektrapport fra Passivhusinstitutt 2005.

5.7.1 Trapperom mot uoppvarmet kjeller, nedgang i varm sone

Fra Konstruktionshandbuch für Passivhäuser, detalj 3.5.6 og 3.9.

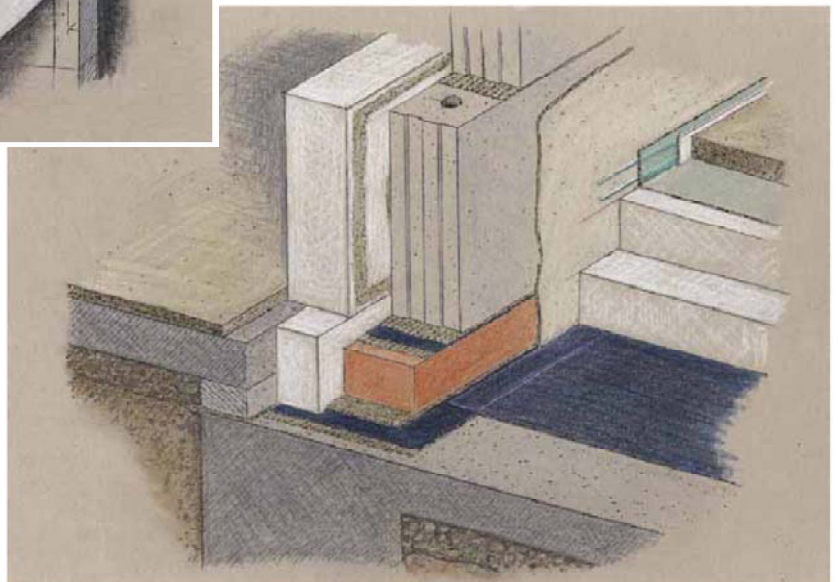


Figur 14 Overgang mellom kjellerdekket og kjellertrapp. Begge isolert mot kjeller (her vist med lettvegg til venstre for trapp). Termisk skille mellom dekke og trapp samt mellom vegg og dekke til høyre.

Figur 13 Overgang mellom kjellergulv og kjellertrapp. Termisk skille under murt vegg.

Eksempelet viser overgangen fra oppvarmet sone til uoppvarmet kjeller, hvor selve trappenedgangen er en del av det oppvarmete området. Klimaskjermen dannes av trapperomsveggene mot kjelleren, kjellerdøra, trappeløpet og gulvet nederst. Alle disse må derfor isoleres og lufttettes, og kuldebroer må minimeres. Det siste gjøres med termisk skille¹⁹ mellom trappeløp og hhv. kjellerdekke og gulv (se Figur 14) samt mellom trapperomsvegg og hhv. kjellerdekke og gulv (se Figur 14 og Figur 13).

Det lufttette sjiktet dannes av innvendig veggpuss i forbindelse med betongplata mot grunnen. Også sjiktet mellom sementgulv og isolasjon må føres lufttett mot vegg-pussen. Betong foran trapp legges lavere enn kjellergulvet for å gi plass til isolasjon. Resultat for kuldebro, se neste side.



¹⁹ Vedlegg B.1 viser en oversikt over tilgjengelige materialer for termisk skille.

U-verdi i trapperomsvegg = 0,236 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra kjeller):

Isolasjon 150 mm, $\lambda = 0,040$ W/(mK)

Kalksandstein 175 mm, $\lambda = 0,990$ W/(mK)

Puss 10mm, $\lambda = 0,700$ W/(mK)

U-verdi i gulv = 0,129 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

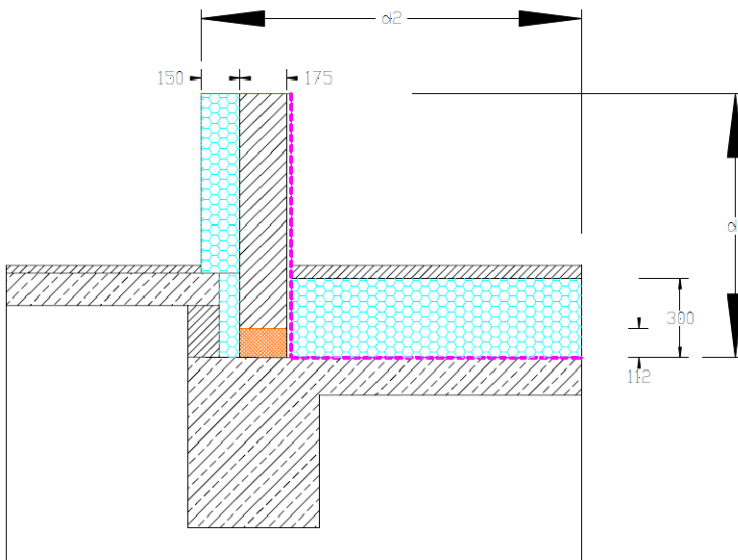
Sementgulv 40 mm, $\lambda = 1,2$ W/(mK)

PE-folie

Isolasjon 300 mm, $\lambda = 0,040$ W/(mK)

Fuktsperre

Betong 140 mm, $\lambda = 2,1$ W/(mK)



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra håndboka):

$$\Psi_a = + 0,007 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = + 0,130 \text{ W/(mK)}$$

5.8 Spesielle bygningsdeler

5.8.1 Påhengte fasader

Påhengte fasader kan medføre svært store kuldebroer. Gjennomgående innfestingselementer – spesielt hvis disse er lineært og i aluminium – kan doble eller til og med tredoble veggens reelle U-verdi. Slike tradisjonelle konstruksjoner kan ikke brukes i energieffektive bygg. Selv forbedrede konstruksjoner med punktvisse gjennomføringer og termisk skille kan imidlertid øke U-verdien i en vegg f.eks. med 0,04 fra 0,16 til reelt 0,20 W/m²K, slik at det må kompenseres med betydelig tykkere isolasjon. Dette eksempelet fra Passivhusinstituttets Protokollband Nr. 35 viser at tilsvarende løsninger må drøftes nøye.

Vedlegg C.2 viser en oversikt over punktkuldebroverdier for stål gjennomføringer i isolerte fasader.

Avhengig av lasten som må overføres til bygningskroppen, tilbys det i dag flere innfestingskonstruksjoner som kan være egnet. Oversiktstabeller med kuldebroverdier for mange slike elementer finnes i avsnitt 6.2 ("Fassadenanker") i *Wärmebrückenatlas*, utgitt av det sveitsiske Bundesamt für Energie i 2002. Noen konstruksjoner er presentert i den nevnte brosjyren fra Passivhusinstituttet.

Eksempel 1: – Fra artikkelen til Jürgen Schnieders, *Fassaden – Gestalterische Freiräume bei minimiertem Wärmeverlust* i Protokollband Nr. 35, Passivhusinstitutt 2007, figur 18.

Produsenten Isofach tilbyr innfestingssystemer i polyuretan og fibermaterial. Konsollankeret tar opptil 2,5 kN skjærbelastning, mens stavankeret har kapasitet til maks 4 kN (trykk og strekk).

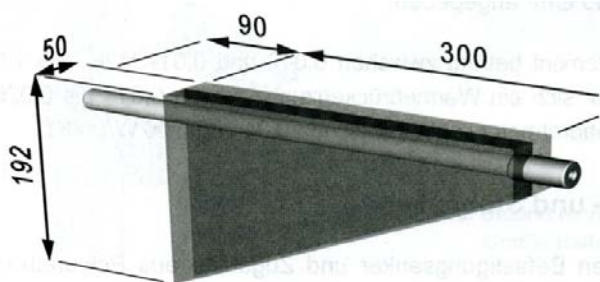
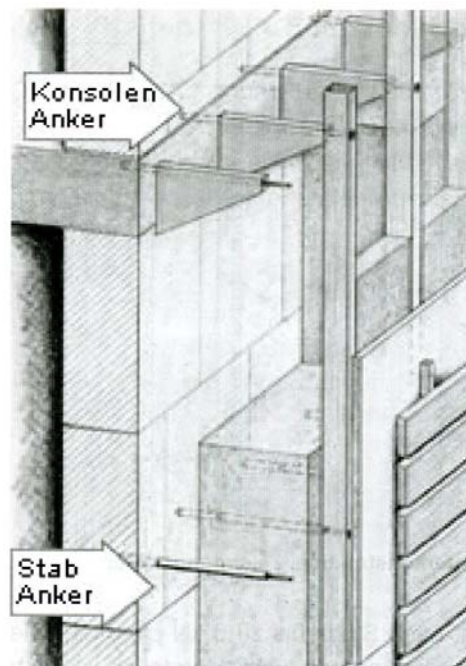


Abbildung 18: Isofach Konsolen- und Stabanker. Zeichnungen: Isofach.



Kuldebroverdier (fra artikkelen):

Konsollanker $X = 0,003 \text{ W/K}$

Stavanker $X = 0,001 \text{ W/K}$

Med 1,5 konsoller per kvadratmeter blir det et kuldebrobidrag på $\Delta U = 0,003 \text{ W/m}^2\text{K}$.

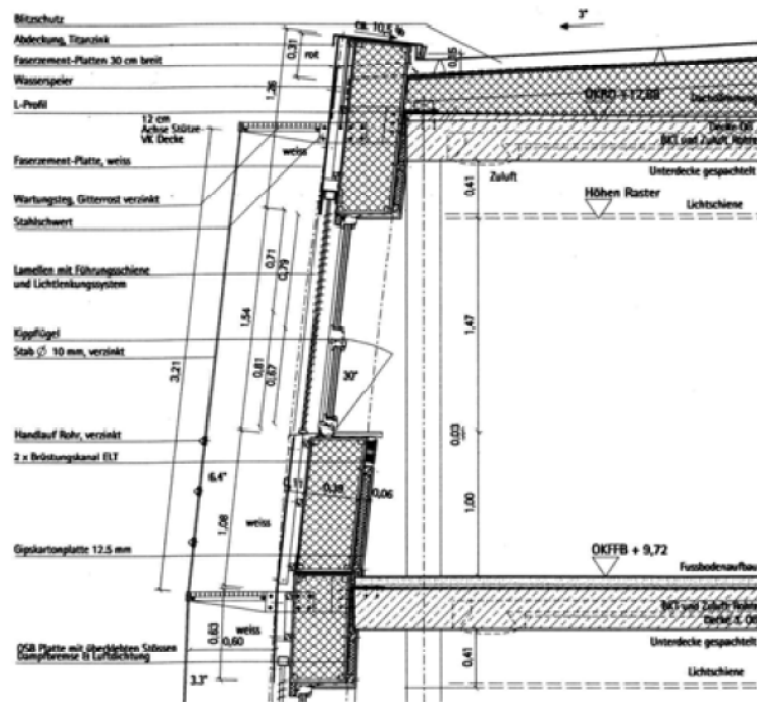
Med 3,5 konsoller per kvadratmeter blir det et kuldebrobidrag på $\Delta U = 0,007 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Eksempel 2: – Fra Passivhaus Energon Ulm, Schlussbericht Monitoring, figur 2.8 – 2.10.

Energon er et kontorbygg for 420 arbeidsplasser i Ulm i Sør-Tyskland. Bygningen ble tegnet av Oehler + arch, ferdigstilt i oktober 2002 og sertifisert som passivhus etter Passivhusinstituttets kriterier.

Det bærende skjelettet består av armert betong, mens fasaden dannes av prefabrikkerte elementer i tre. Elementene er i sin helhet plassert utenfor bærekonstruksjonen og festet i etasjeskillerne, helt uten kuldebroer.

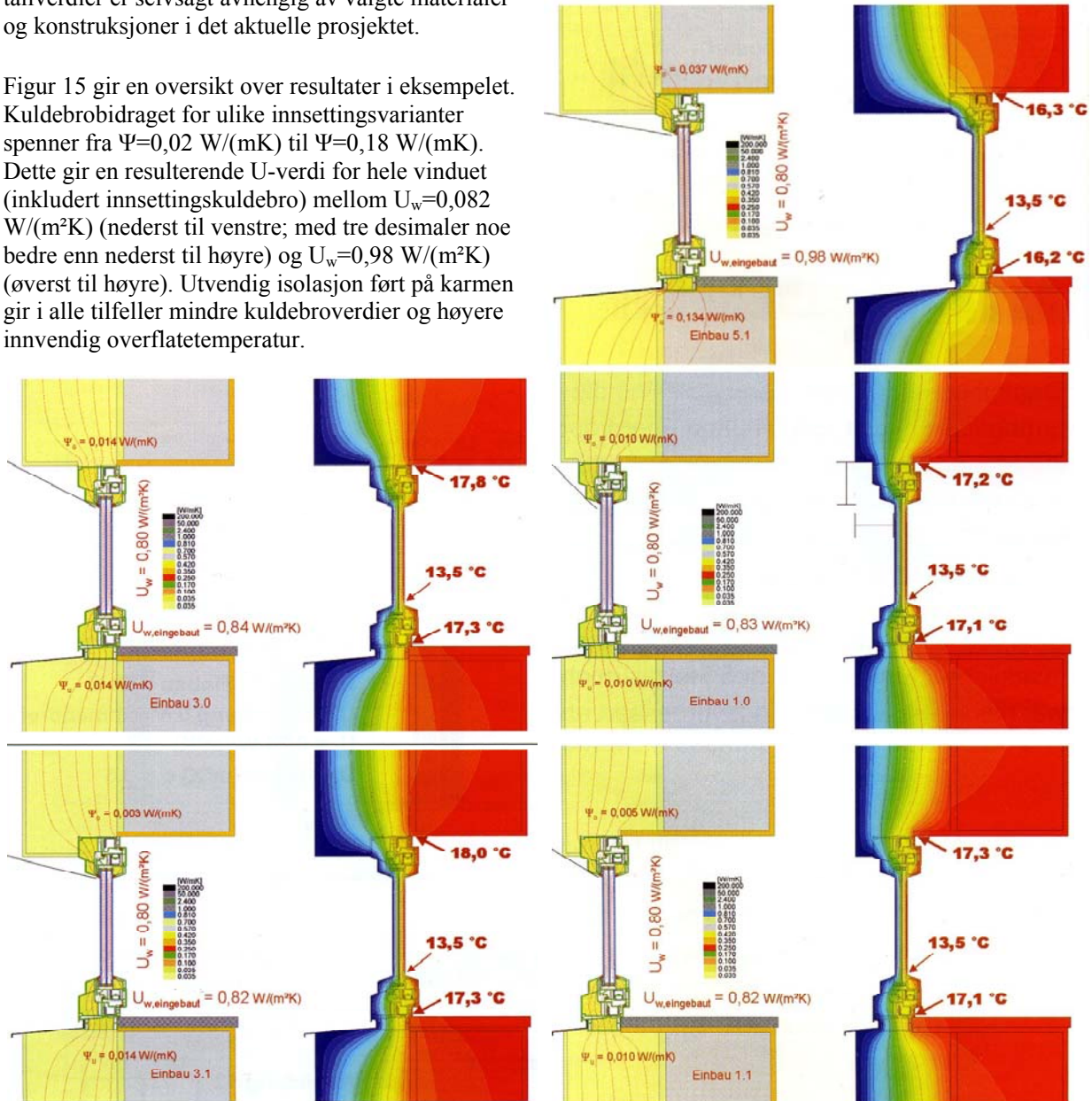
Det er heller ikke termisk forbindelse mellom fasadeinnfesting og innfestingselementer for vedlikeholdsgangen ytterst i fasaden. Vedlikeholdsgangen er kun montert i trelementene – se bildet nederst til høyre.



5.8.2 Vinduer

Et bidrag i Protokollband Nr. 37 fra Passivhusinstituttet om optimalisering av vinduer viser simulerte resultater for innsetting av eksempelvinduer i f.eks. en murvegg med utvendig isolasjon. Simuleringen bekrefter den generelle anbefalingen om å plassere vinduet sentralt i isolasjonssjiktet for å oppnå lavest mulig kuldebroverdi. Konklusjonen gjelder i prinsippet også for tilsvarende betongvegger, men nøyaktige tallverdier er selvsagt avhengig av valgte materialer og konstruksjoner i det aktuelle prosjektet.

Figur 15 gir en oversikt over resultater i eksempelet. Kuldebrobidraget for ulike innsetningsvarianter spenner fra $\Psi=0,02 \text{ W/(mK)}$ til $\Psi=0,18 \text{ W/(mK)}$. Dette gir en resulterende U -verdi for hele vinduet (inkludert innsetningskuldebro) mellom $U_w=0,082 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (nederst til venstre; med tre desimaler noe bedre enn nederst til høyre) og $U_w=0,98 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (øverst til høyre). Utvendig isolasjon ført på karmen gir i alle tilfeller mindre kuldebroverdier og høyere innvendig overflatetemperatur.



Figur 15 Innsetningsvarmetap og resulterende (effektiv) U -verdi for hele vindu inkludert innsetningskuldebro ($U_{w, eingebaut}$) ved ulike plassering i samme vegg (her mur med utvendig isolasjon). $U_{vegg}=0,117 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Karm: $U_f=0,75 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; glass: $U_g=0,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; hele vindu uten innsetningskuldebro: $U_w=0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Kilde: Bidrag til Berthold Kaufmann, Markus John og Wolfgang Feist i Protokollband Nr. 37, Passivhusinstitutt 2008, figur 6-9 og 11.

Eksempel 1 – Fra Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010, detalj 3.3.20 og 3.3.21.

U-verdi vindu (eksempel til venstre) = 0,797 W/(m²K)

U-verdi vindu (eksempel til høyre) = 0,886 W/(m²K)

U-verdi i vegg = 0,104 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

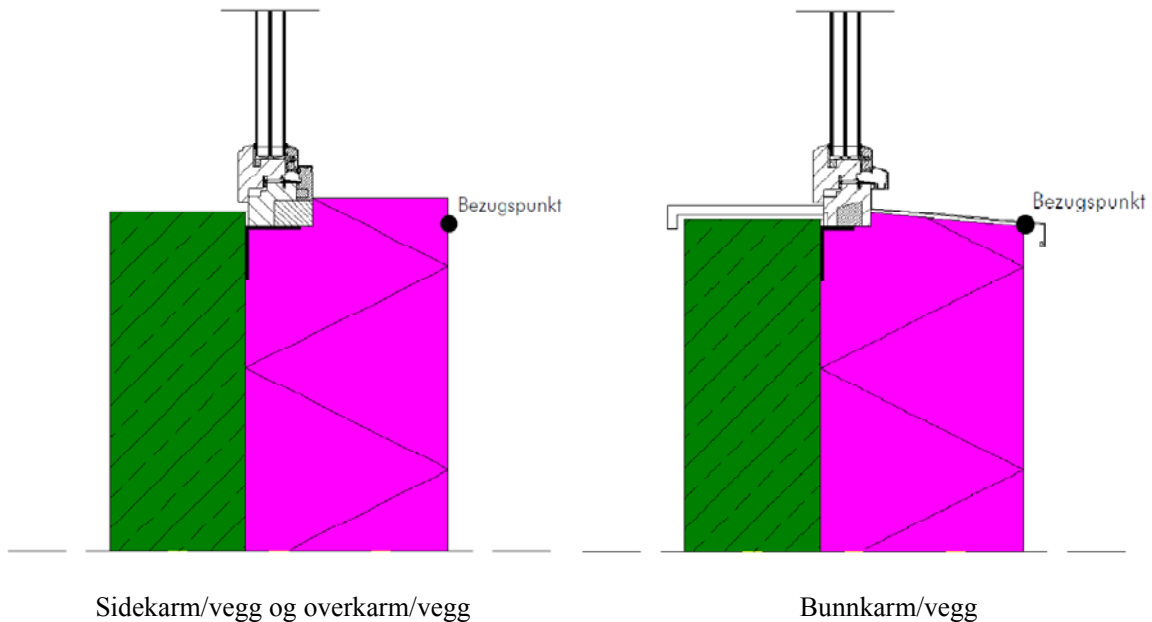
Sparkel

Betong 200 mm, $\lambda = 2,3$ W/(mK)

Limmørtel

Isolasjon EPS 300 mm, $\lambda = 0,032$ W/(mK)

Dekksjikt, f.eks. puss

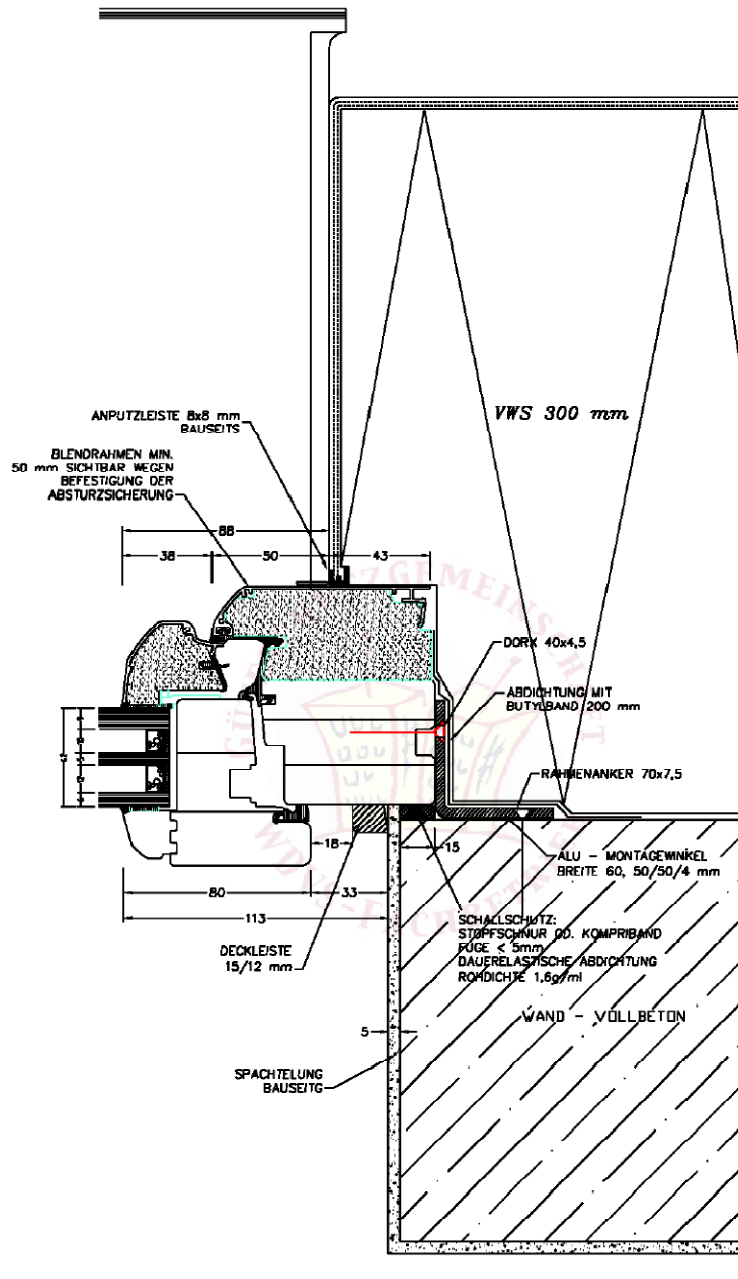


Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra rapporten) er lik kuldebroverdi basert på innvendige mål:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,057 \text{ W/(mK)}$$

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,018 \text{ W/(mK)}$$

Tilhørende detaljtegninger for vindusinnsetting er vist på de to etterfølgende sidene.

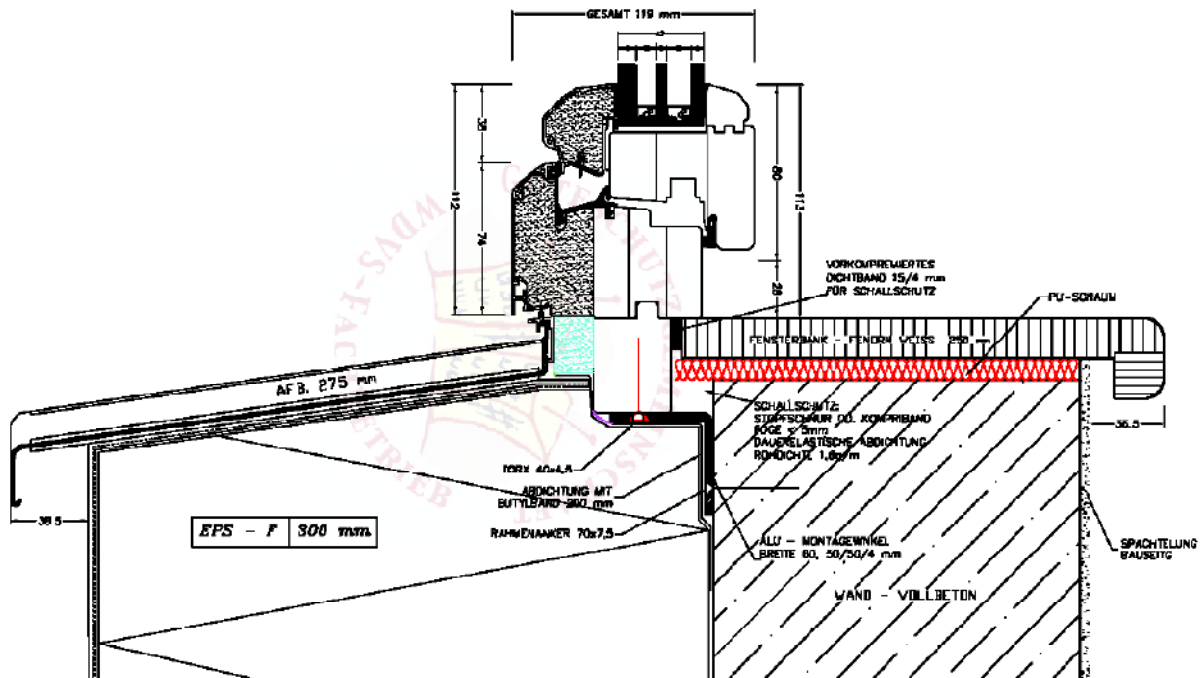


Passivhaus-Fensteranschluss Waagschnitt [Quelle: Schöberl & Pöll OEG, Internorm]

Figur 16

Tilhørende detalj for overgang sidekarm/vegg fra eksempel 1:

Vindusinnfesting med stålvinkel; lufttetting med butylbånd mellom karm og betongvegg over vinklene; utvendig isolasjon ført på karmen. Vinduet er litt større enn veggåpningen for å få oppfylle strenge lyddempningskrav; derfor også i tillegg ekspanderende bånd mellom karm og betong.



Passivhaus-Fensteranschluss Vertikalschnitt [Quelle: Schöberl & Pöll OEG, Internorm]

Figur 17 Tilhørende detalj for overgang underkarm/vegg fra eksempel 1:
 Karmen står på støttefirkant med isolasjon på utsiden mot membran/beslag. Vindusinnfesting med stålvinke under firkant; lufttetting med butylbånd mellom firkant og betongvegg over vinklene; utvendig isolasjon på skrå med membran og beslag. Lyddempningstiltak med ekspanderende bånd mellom karm/støttefirkant og vindusbrett samt skum mellom Brett og betong.

Eksempel 2 – Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj AWm 01 – FEa 01.

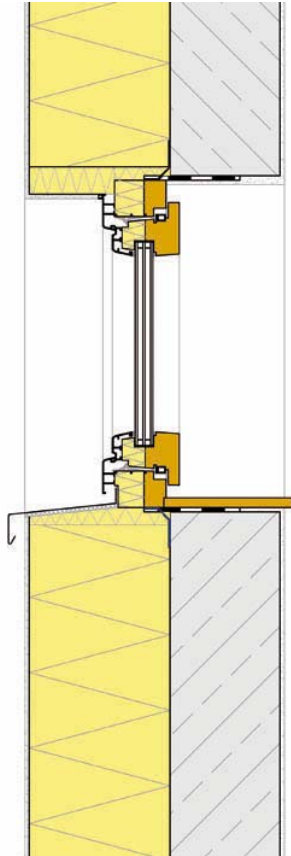
U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Sparkel

Betong 180 mm

Isolasjon EPS 320 mm eller kork 360 mm

Silikatpuss



© IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie

Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra håndboka) er lik kuldebroverdi basert på innvendige mål. Tabellen viser i tillegg resulterende (effektiv) U-verdi for hele vindu inkludert innsetningskuldebro ($U_{w, eff}$):

	Vindu i tre/aluminium	Vindu i tre/PUR
$\Psi_a = \Psi_i$ sidekarm og overkarm, ca. 4 cm av karmen påført utvendig isolasjon som vist på bildet*	0,011 W/(mK)	0,003 W/(mK)
$\Psi_a = \Psi_i$ underkarm	0,023 W/(mK)	0,025 W/(mK)
Resulterende U-verdi hele vindu $U_{w, eff}$	0,842 W/(m ² K)	0,824 W/(m ² K)
*Til sammenlikning: $\Psi_a = \Psi_i$ sidekarm og overkarm, kun ca. 2 cm av karmen påført utvendig isolasjon	0,016 W/(mK)	0,021 W/(mK)

5.8.3 Terrasser med dører

5.8.3.1 Terrassedør/gulvplate med isolasjon over

Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj TTh 01 – EFo 01.

U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra innsiden):

Sparkel

Betong 180 mm

Isolasjon EPS 320 mm eller kork 360 mm

Silikatpuss

U-verdi i gulv = 0,15 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 50 mm

Skummet PE-folie 10 mm eller porøse trefiberplater 20 mm

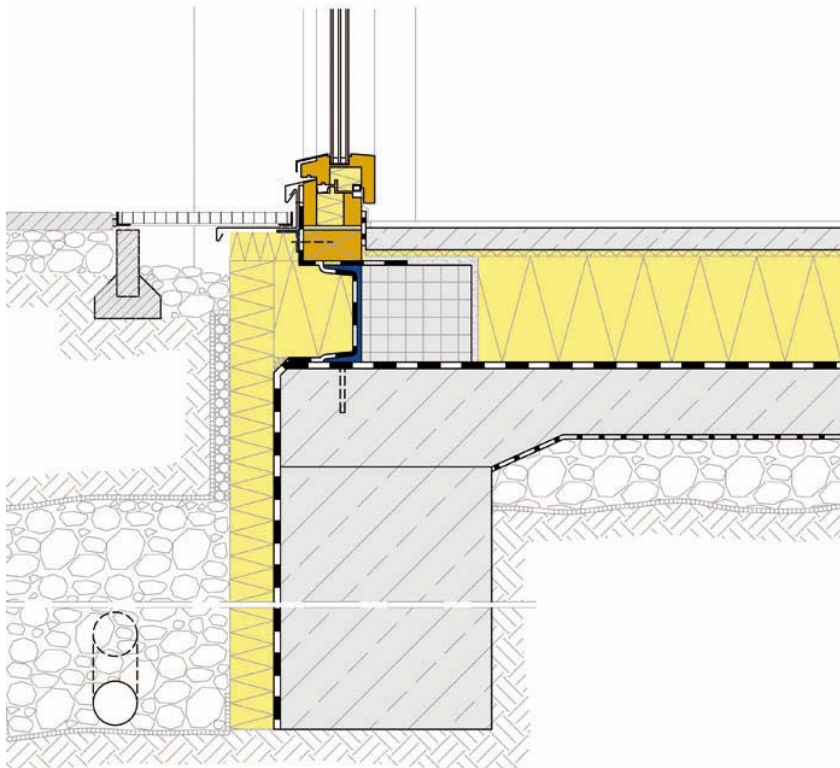
Isolasjon XPS 240 mm eller perlite 280 mm

Aluminium/asfaltmembran 10 mm

Betong 150 mm

Byggpapir

Drenslag minst 150 mm på PP-filterduk



© IBO – Österreichisches Institut für Baublogie und -ökologie

Mellom sementgulv/vegg og gulvplate/fundament er det plassert såkalt varmfot av f.eks. porebetong. Dørkonstruksjonen festes med stålvinke (U-profil) i betongplata. Vær oppmerksom på at det kan bli kritisk lave temperaturer i overgangen mellom vegg og fundamentering, hvis det ikke gjennomføres kompenserende tiltak som markisolasjon.

Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra håndboka):

$$\Psi_a = -0,008 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = +0,100 \text{ W/(mK)}$$

5.8.3.2 Terrassedør/gulvplate med isolasjon under

Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj TTh 01 – EFu 01.

U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med samme oppbygging som i kapittel 5.2.1.2.

U-verdi i gulv = 0,15 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 50 mm

PE-folie eller byggpapir

Trinnlydisolasjon mineralull- eller porøse trefiberplater 30 mm

Betong 200 mm

PE-folie

Isolasjon skumglass 240 mm

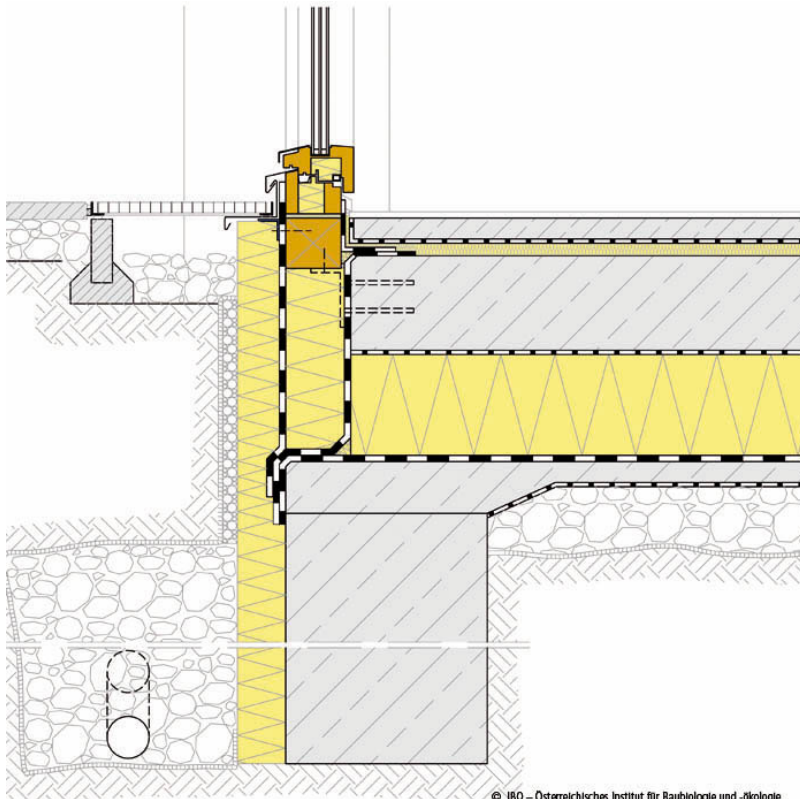
Polymer/asfaltmembran 2 lag, 10 mm

Magerbetong 50 mm

Byggpapir

Drenslag minst 150 mm på PP-filterduk

Dørkonstruksjonen festes med stålvinkele i betongplata.



Kuldebroverdi basert på
utvendige mål (fra håndboka):

$$\Psi_a = -0,008 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi basert på
innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = +0,126 \text{ W/(mK)}$$

5.8.3.3 Terrassedør/kjellerdekke med isolasjon over

Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj TTh 01 – KDo 01 – Eam 02.

U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med samme oppbygging som i kapittel 5.2.1.2.

U-verdi i gulv = 0,15 W/(m²K) med følgende oppbygging (fra ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 50 mm

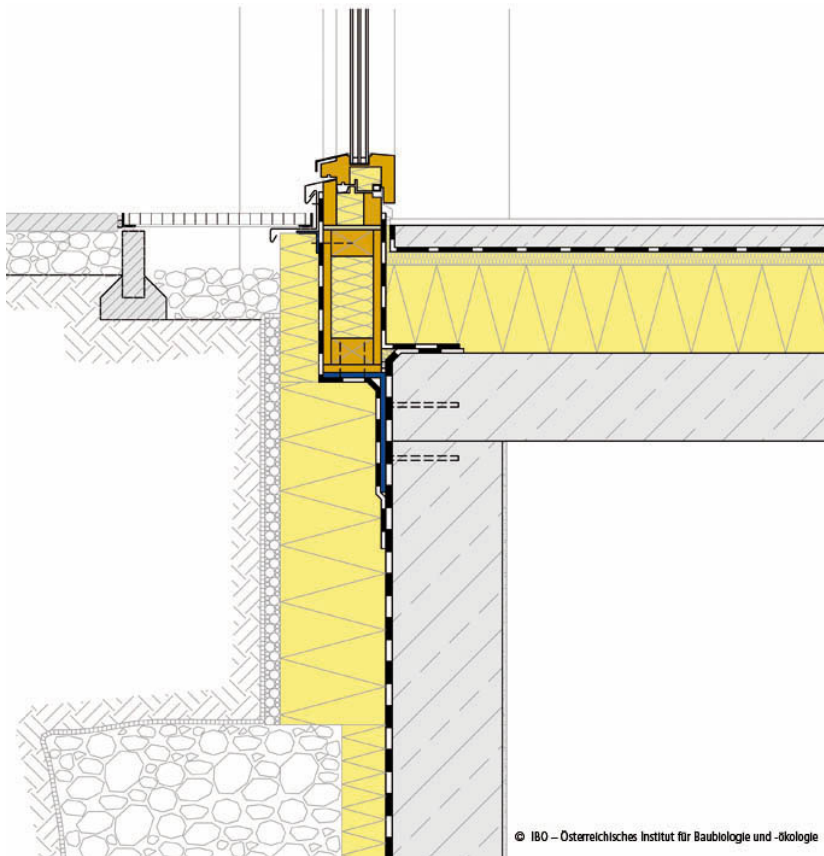
PE-folie

Trinnlydisolasjon EPS- eller porøse trefiberplater hhv. 30 eller 36 mm

Isolasjon EPS 200 mm eller perlite 260 mm

Betong 200 mm

Dørkonstruksjonen festes med stålvinkel i kjellerdekket og kjellerveggen.



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra håndboka):

$$\Psi_a = + 0,001 \text{ W/(mK) for ytterveggen (mot uteluft)}$$

$$\Psi_a = - 0,025 \text{ W/(mK) for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)}$$

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_1 = + 0,107 \text{ W/(mK) for ytterveggen (mot uteluft)}$$

$$\Psi_1 = + 0,081 \text{ W/(mK) for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)}$$

5.8.3.4 Terrassedør/kjellerdekke med isolasjon under

Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj TTh 01 – KDü 01 – Eam 02.

U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med samme oppbygging som i kapittel 5.2.1.2.

U-verdi i kjellerdekke = 0,15 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Gulvbelegg

Sementgulv 50 mm

PE-folie eller byggpapir

Trinnlydisolasjon mineralull- eller porøse trefiberplater hhv. 30 eller 36 mm

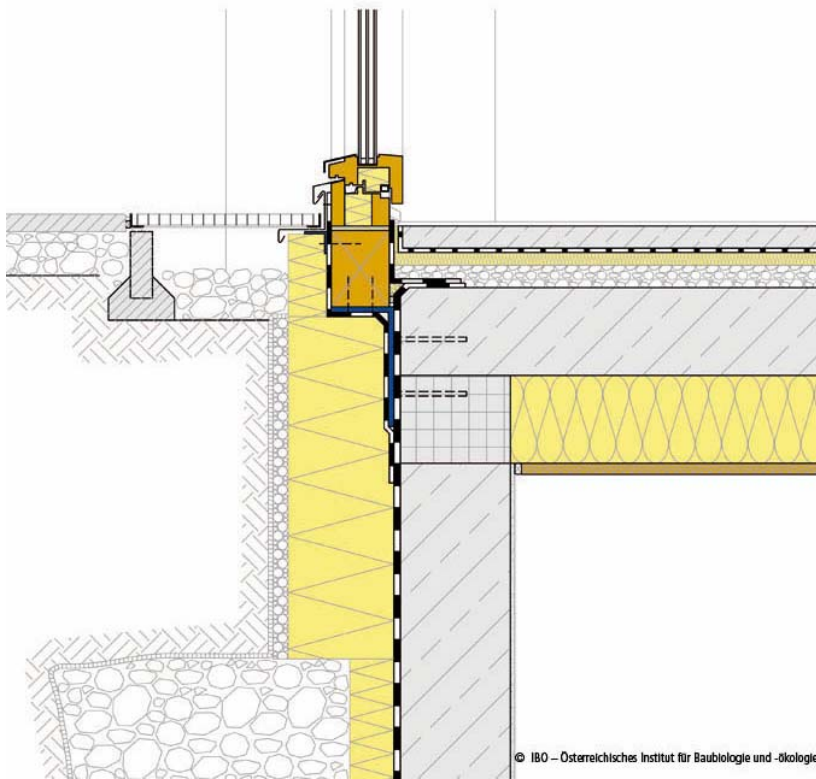
Grusfylling 50 mm

Betong 200 mm

Isolasjon 200 mm mineralull eller saueull

Treullsement-akustikkplate 25 mm

Mellom kjellerdekke og kjellervegg er det plassert såkalt varmfot av f.eks. porebetong. Dørkonstruksjonen festes med stålvinke i kjellerdekket og varmfoten.



Kuldebroverdi basert på utvendige mål (fra håndboka):

$$\Psi_a = + 0,027 \text{ W/(mK) for ytterveggen (mot uteluft)}$$

$$\Psi_a = - 0,006 \text{ W/(mK) for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)}$$

Kuldebroverdi basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = + 0,165 \text{ W/(mK) for ytterveggen (mot uteluft)}$$

$$\Psi_i = + 0,144 \text{ W/(mK) for kjellerdekket (mot uoppvarmet rom)}$$

5.8.4 Takterrasser med dører

5.8.4.1 Terrassedør/kompakttak med vanlig isolasjon

Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj TTh 01 – DAm 05 – GDm 02.

U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med samme oppbygging som i kapittel 5.2.1.2 over.

U-verdi i takterrasse = 0,10 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Betong- eller steinheller på mørtel i PE-poser og gruslag, totalt 100 mm

Gummigranulatmatte

Polymer/asfaltmembran 2 lag, 10 mm

Damptrykkutjevningssjikt

Isolasjon EPS 360 mm

Aluminium/asfaltmembran

Utjevningssjikt

Betong 200 mm

Sparkel

Etasjeskiller med følgende oppbygging (ovenfra):

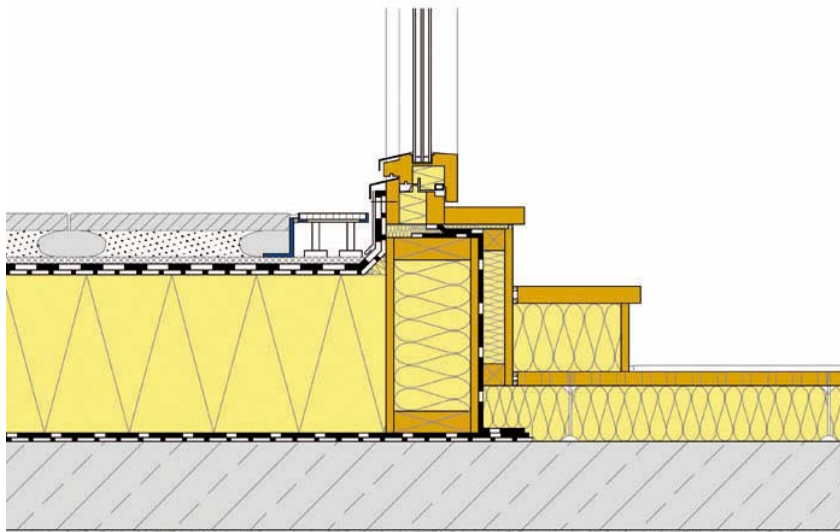
Gulvbelegg

Sponplater not og fjær 32 mm

Høydejusterbar støttekonstruksjon med mineralull imellom, totalt 80 mm

Betong 200 mm

Sparkel



Som ved innvendige hjørner, oppstår det her negative kuldebroverdier etter norsk metode med innvendige mål.

Kuldebroverdi sokkel, basert på utvendige mål (fra håndboka):

$$\Psi_a = + 0,069 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi sokkel, basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = - 0,048 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi overkarm og sidekarm, hvis påført utvendig isolasjon som i eksempel 2 i kapittel 5.8.2.:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,008 \text{ W/(mK)}$$

5.8.4.2 Terrassedør/kompakttak med vakuumisolasjon

Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj TTh 01 – DAm 06 – GDm 02.

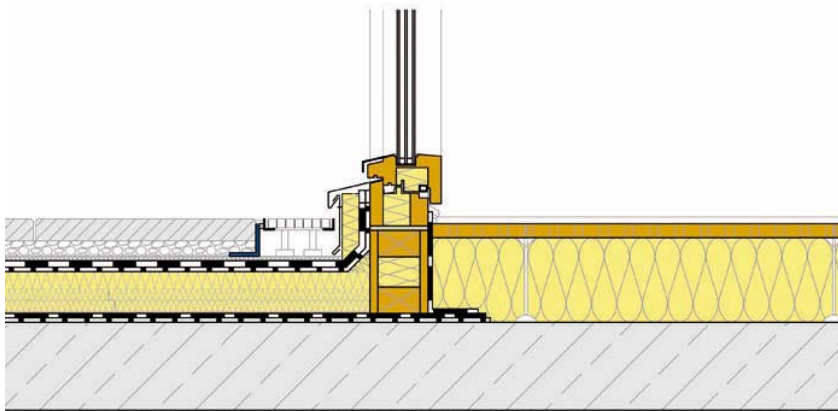
U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med samme oppbygging som i kapittel 5.2.1.2 over.

U-verdi i takterrasse = 0,10 W/(m²K) med følgende oppbygging (ovenfra):

Betongheller 50 mm
 Gruslag > 30 mm
 Gummigranulatmatte 10 mm
 Polymer/asfaltmembran 2 lag, 10 mm
 Damptrykkutjevningssjikt
 Isolasjon EPS > 40 mm (fall)
 Vakuumisolasjon 2 lag, totalt 50 mm
 Skummet PE-folie 5 mm
 Aluminium/asfaltmembran 10 mm
 Damptrykkutjevningssjikt
 Betong 200 mm
 Sparkel

Etasjeskiller med samme oppbygging som i kapittel 5.8.4.1 over.

Som ved innvendige hjørner, oppstår det her negative kuldebroverdier etter norsk metode med innvendige mål.



Kuldebroverdi sokkel, basert på utvendige mål (fra håndboka):

$$\Psi_a = + 0,068 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi sokkel, basert på innvendige mål (omregnet):

$$\Psi_i = - 0,018 \text{ W/(mK)}$$

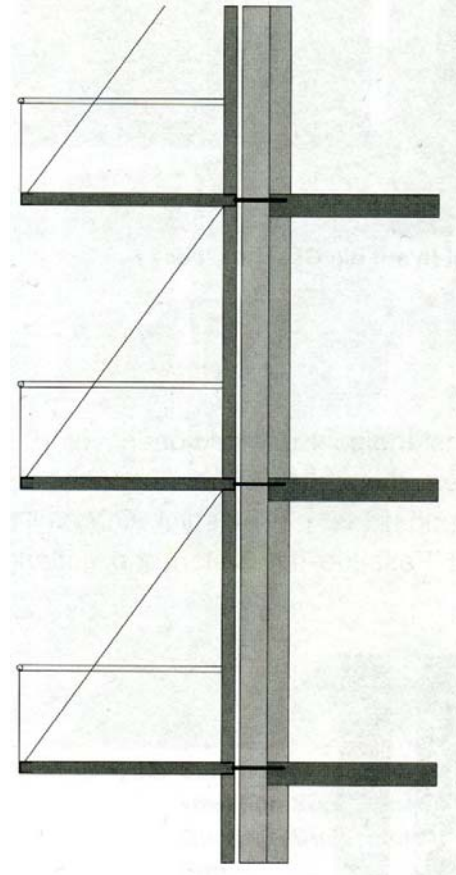
Kuldebroverdi overkarm og sidekarm, hvis påført utvendig isolasjon som i eksempel 2 i kapittel 5.8.2:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,008 \text{ W/(mK)}$$

5.8.5 Balkonger med dører

En omfattende utredning av ulike alternativer for balkongkonstruksjoner med lave kuldebroverdier er artikkelen til Tanja Schulz, *Balkonanschlüsse – Wärmebrückenoptimierte Lösungen* i Protokollband Nr. 35, som Passivhusinstituttet ga ut i 2007.

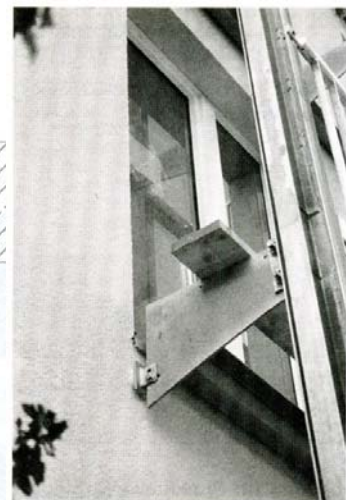
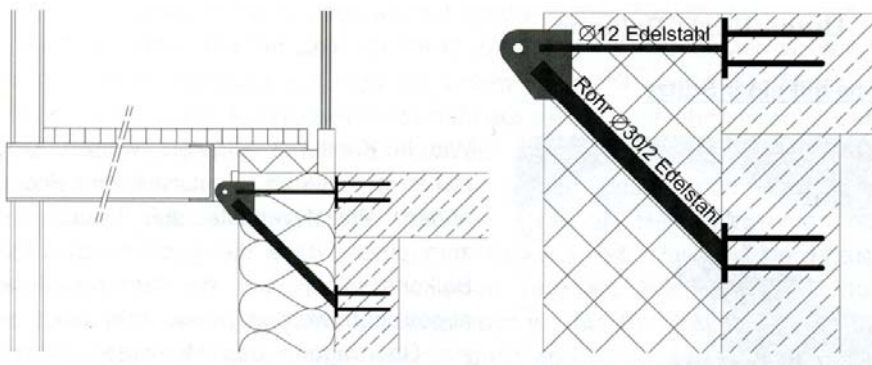
Utredningen viser mange løsninger med frittstående bæring eller kombinasjon av enkelte søyler og punktvis innfesting som gir tilstrekkelig lave kuldebroverdier for passivhus. Noen eksempler er vist i figurene ved siden av. Utkragende betongkonstruksjoner er derimot tydeligvis er problematisk, selv med termisk skille mellom balkongplate og etasjeskiller. Konvensjonelle skillekonstruksjoner som Isokorb – som også er brukt i eksempelet i følgende kapittel 5.8.5.1 – kan oppnå kuldebroverdier ned til ca. 0,25 W/(mK). I småhus og mindre blokker vil dette normalt være for høyt for å kunne oppfylle passivhusstandard, mens løsningen kan være tilfredsstillende i store, kompakte bygg. Produsenten Schöck har imidlertid videreutviklet produktet til Isokorb XT, hvor det nå brukes 12 cm i stedet for 8 cm isolasjon samt EPS med lavere varmeledningsevne. Passivhusinstituttet har utstedt sertifikater for ”konstruksjon med lav kuldebroverdi”. Her oppnår det forbedrede produktet Ψ -verdier mellom 0,15 og 0,23 W/(mK) i ulike situasjoner (og enda mindre hvis lasten delvis blir tatt av søyler). Isokorb XT er foreløpig ikke nevnt på nettstedet til Schöck i Norge. Nærmere informasjon finnes på det tyske nettstedet <http://www.schoeck.de/de/neubau/schoeck-isokorb-xt-107>.



Figur 19 Over til høyre: To søyler direkte ved fasaden tar all vertikal last. Diagonaler minsker momentene. Kun forankring i fasaden.

Figur 20 Under til høyre: To søyler et stykke fra fasaden tar all vertikal last. Kun forankring i fasaden.

Figur 18 Under til venstre: To søyler i ytterkant tar deler av lasten. Resten overføres til bygningskroppen med ”trefot”.



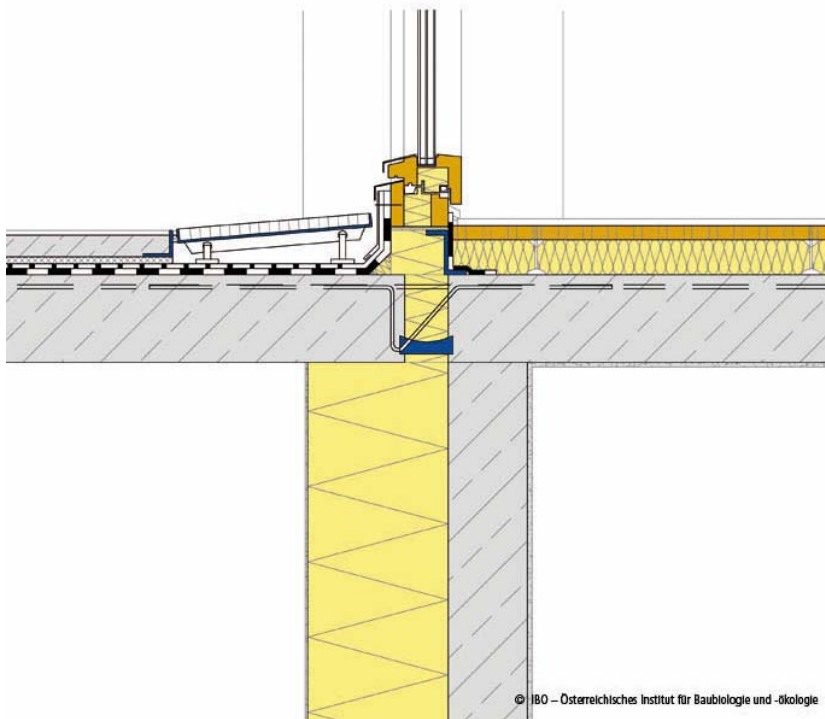
5.8.5.1 Balkongdør/utragende balkong

Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj TTh 01 – GDM 02*, side 234.

U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med samme oppbygging som i kapittel 5.2.1.2 over.

Etasjeskiller med samme oppbygging som i kapittel 5.8.4.1 over.

Utragende balkong med konvensjonell Schöck Isokorb (8 cm isolasjon) som termisk skille.



Dørkonstruksjonen festes med stålvinkele (Z-profil) i etasjeskilleren.

Kuldebroverdi sokkel (fra håndboka):

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,319 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi vegg – Isokorb (fra håndboka):

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,282 \text{ W/(mK)}$$

Kuldebroverdi overkarm og sidekarm (fra håndboka), hvis påført utvendig isolasjon som i eksempel 2 i kapittel 5.8.2:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,003 \text{ W/(mK)}$$

I de fleste tilfeller vil disse verdiene være for høyt.

Ved opp til 1,50 meter balkongdybde kan Isokorb brukes i kun enkelte avsnitt, slik at kuldebrobidraget totalt blir lavere. Det er også utviklet forbedret Isokorb (12 cm isolasjon) med lavere kuldebroverdier – Se innledende tekst i kapittel 5.8.5.

5.8.5.2 Balkongdør/balkong punktvis festet med "trefot"

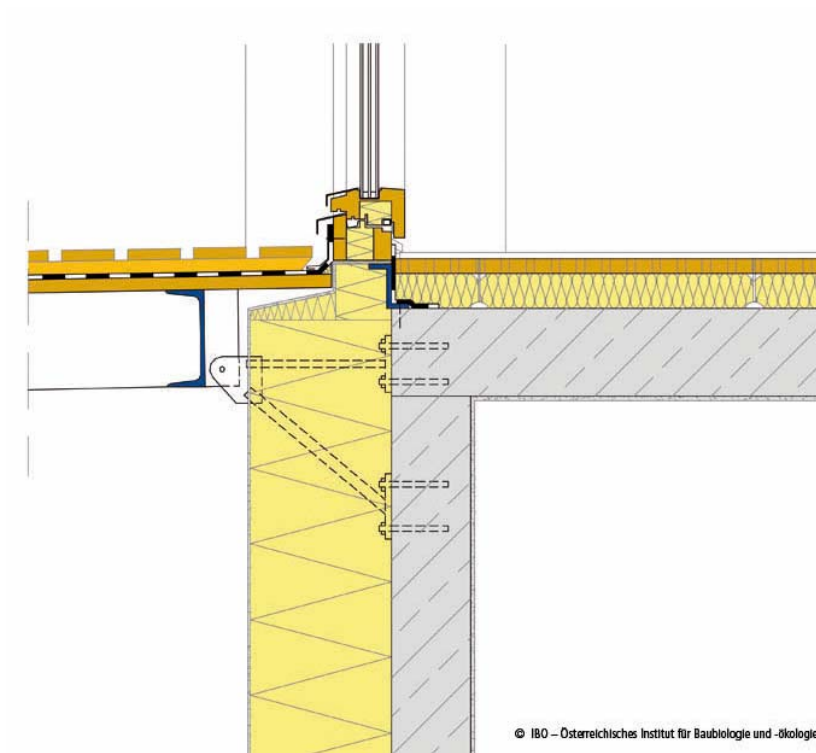
Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj TTh 01 – GDm 02*, side 235.

U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med samme oppbygging som i kapittel 5.2.1.2.

Etasjeskiller med samme oppbygging som i kapittel 5.8.4.1.

Balkong av stål eller tre, støttet av søyler som tar en større del av lasten, og festet i bygningskroppen med en "trefot"-konstruksjon. Trefoten overfører resten av lasten til vegg og etasjeskiller.

Prinsippet er vist i Figur 18 i kapittel 5.8.5.



Dørkonstruksjonen festes med stålinkel (Z-profil) i etasjeskilleren.

Kuldebroverdi sokkel (fra håndboka):

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,063 \text{ W/(mK)}$$

Punktkuldebroverdi per trefot i rustfritt stål (fra håndboka):

$$X = 0,021 \text{ W/K}$$

Kuldebroverdi overkarm og sidekarm (fra håndboka), hvis påført utvendig isolasjon som i eksempel 2 i kapittel 5.8.2:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,003 \text{ W/(mK)}$$

5.8.5.3 Balkongdør/balkong frittstående, punktvis forankret

Fra Passivhaus-Bauteilkatalog, detalj TTh 01 – GDm 02*, side 233.

U-verdi i vegg = 0,12 W/(m²K) med samme oppbygging som i kapittel 5.2.1.2.

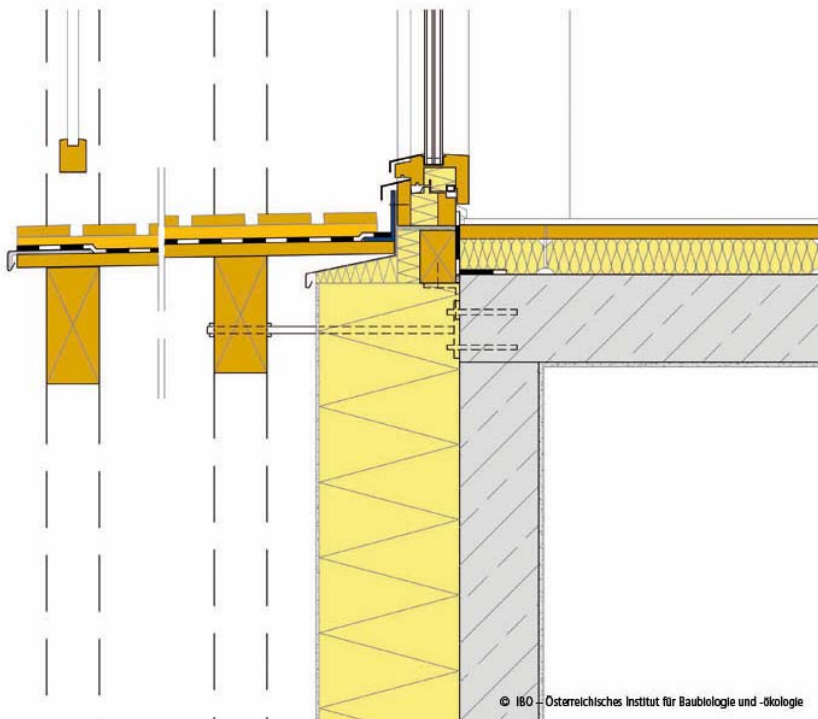
Etasjeskiller med samme oppbygging som i kapittel 5.8.4.1.

Balkong av tre eller stål, støttet av fire søyler som tar all last, og kun forankret i bygningskroppen. Bolter overfører vindlast til etasjeskilleren.

To alternativer med kun to søyler nær eller direkte ved fasaden er vist i Figur 19 og Figur 20 i kapittel 5.8.5.

Karmen står på støttefirkant med isolasjon på utsiden mot membran/beslag. Vindusinnfesting i

etasjeskilleren med stålvinkel under firkant.



Kuldebroverdi sokkel (fra håndboka):

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,045 \text{ W/(mK)}$$

Punktkuldebroverdi per anker i rustfritt stål (fra håndboka):

$$X = 0,001 \text{ W/K (}\varnothing 5 \text{ mm)}$$

$$X = 0,004 \text{ W/K (}\varnothing 10 \text{ mm)}$$

Kuldebroverdi overkarm og sidekarm (fra håndboka), hvis påført utvendig isolasjon som i eksempel 2 i kapittel 5.8.2:

$$\Psi_a = \Psi_i = + 0,003 \text{ W/(mK)}$$

© IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie

5.8.6 Lyskuper og takvinduer

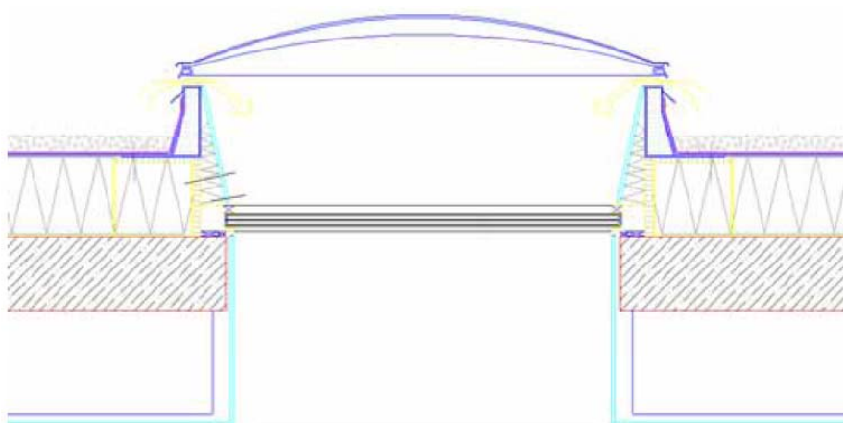
Fra rapport Passivhausschule Frankfurt Riedberg, Passivhusinstitutt 2007, figur 21.

Prosjektet er også omtalt i Protokollband Nr. 33, side 247 – 266, hvor illustrasjonsbildene er tatt fra figur 20 i artikkelen til Rainer Pfluger.

Lyskuper og takvinduer må plasseres et stykke over isolasjonssiktet for å være regnsikker. Dette gir store kuldebroer og er i utgangspunktet ikke egnet i passivhus. Elementer som kombinerer regnsikkerhet utvendig med gjennomgående, tilnærmet kuldebrofri klimaskjerm, er foreløpig ikke tilgjengelig på markedet. I passivhusskolen Riedberg i Frankfurt am Main i Tyskland ble det derfor brukt en kombinasjon av konvensjonelle lyskuper og takvinduer øverst på taket, satt sammen med trelags fastvinduer i flukt med isolasjonssjiktet. Lyskuppelet og takvinduet er lufttet for å unngå kondens. Enkelte håndverksbedrifter i Østerrike har begynt å tilby liknende konstruksjoner også for åpningsbare takvinduer.



Figur 21 Takvindu (til venstre) og lyskuppel (til høyre, med sikkerhetsglass), sett innenfra.



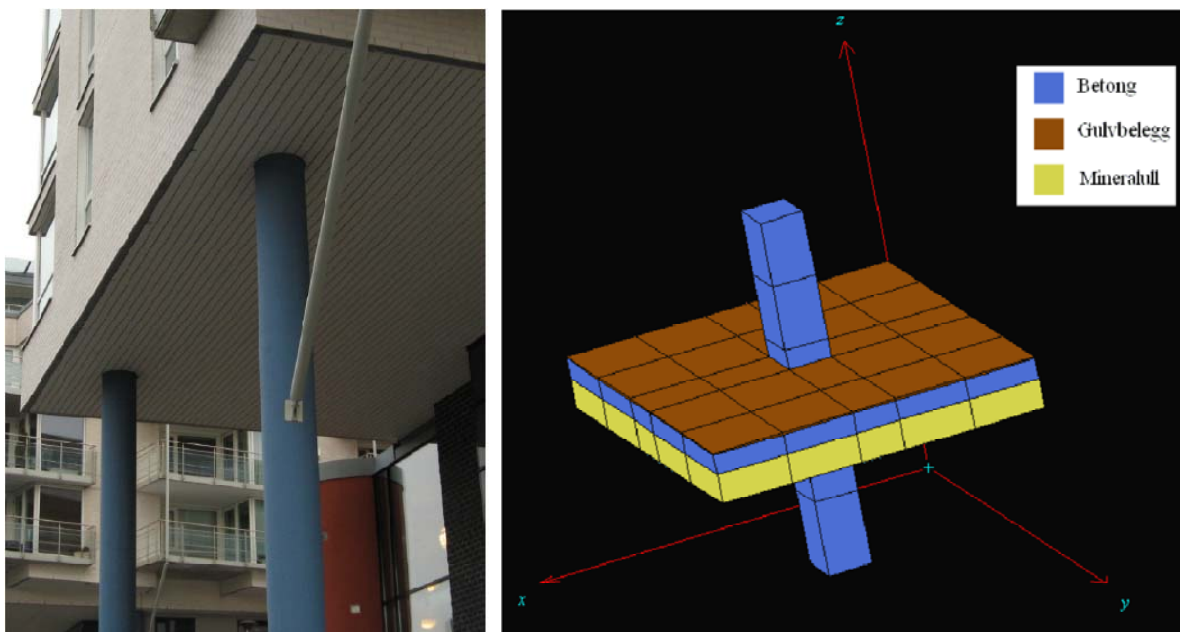
Konvensjonell lyskuppel over taket (luftet), kombinert med trelags fast vindu i flukt med isolasjonslaget, montert på betongtaket.

Kuldebroverdi er ikke nevnt i kildene.

5.8.7 Utvendige søyler

Fra Prosjektrapport 25, SINTEF Byggforsk 2008, i forbindelse med prosjektoppgaven til Steinar Grynning, Analyse av kuldebroproblematikk i flerfamiliehus, NTNU 2006.

Kapittel 6.4 i rapporten og avsnitt 3.4 i oppgaven analyserer utvendige betongsøyler under dekket mot 2. etasje i en boligblokk i Trondheim. Dekket har i realiteten utvendig isolasjon under mot friluft; søylene går fra terrenget opp til dekket (og i beregningsmodellen videre gjennom boligen til etasjeskilleren over). Søylene er utført uisolert med store punktkuldebroverdier, men Grynning foreslår i prosjektoppgaven å isolere søylen utvendig. I analysen varierer han tykkelsen i isolasjon under dekket og søyletverrsnitt (som han forenkler til kvadratisk form). Figur 22 viser søylene under det reelle bygget og den forenklete beregningsmodellen. Forutsetninger for analysen er gitt i Tabell 2.

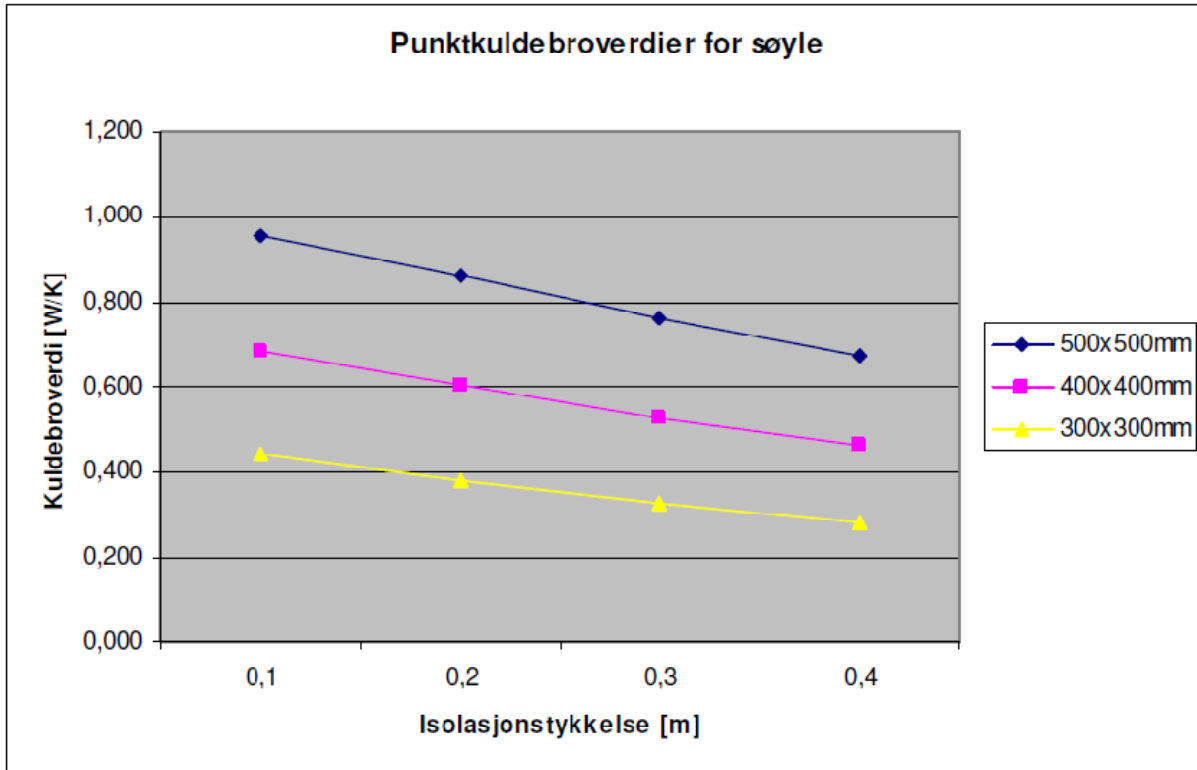


Figur 22 Til venstre: Søyler under boligblokka i Trondheim. Til høyre: Forenklet modell.

Tabell 2 Forutsetninger i analysen til Steinar Grynning (fra oppgaven, bilag b.1).

Materialparametere	Tallverdi	Enhet	Isolasjonstykkelse [m]	U-verdi uten søyle
Betong $\lambda=$	1,65	W/mK		
Betongtykkelse	0,2	m	0,1	0,26
Isolasjon $\lambda=$	0,038	W/mK	0,2	0,14
Gulvbelegg $\lambda=$	0,13	m ² K/W	0,3	0,10
R si	0,13	m ² K/W	0,4	0,07
R se	0,13	m ² K/W		
T inne	20	0C		
T ute	0	0C		

Resultatet i Figur 23 viser at kuldebroverdier synker i takt med tykkere isolasjon under dekket, samt at slanke søyler har betydelig lavere kuldebroverdier enn søyler med store tverrsnitt. Dette henger imidlertid sammen med at betongen er antatt uten armering. I realiteten vil det være armert betong, og slanke søyler vil trenge høyere andel armering. Forskjellene vil da bli mindre markant, og kuldebroverdier vil bli større.



Figur 23 Punktkuldebroverdi per søyle, avhengig av isolasjonstykkelse under dekket, variert etter ulike søyletverrsnitt. OBS – antatt uarmert betong!

Bare den slankeste søylevarianten, kombinert med tykk isolasjon under dekket, kommer i nærheten av akseptable kuldebroverdier (og som nevnt bare fordi det er antatt uarmert betong). For å forbedre løsningen, foreslår Grynning å isolere søylen utvendig med 100 mm og minst 50 cm ned. Resultatet for varianten med søyler på 400 x 400 mm og 300 mm isolasjon under dekket er vist i Tabell 3.

Tabell 3 Punktkuldebroverdi per søyle med ulike varianter av isolasjon. Forutsetninger: Søyle 400 x 400 mm, isolasjon under dekket 300 mm, uarmert betong. Utgangspunkt: Søyle uten isolasjon rundt med $X = 0,528$ W/K som i figur over. Med utvendig isolasjon rundt søylen blir kuldebroverdien betydelig redusert, mens innvendig isolasjon av søylen ikke har stor effekt.

Utvendig isolering						Innvendig isolering av søylen i full lengde	
Full lengde			50 cm langs søylen				
Q [W]	X [W/K]	Tmin	Q [W]	X [W/K]	Tmin	Q [W]	X [W/K]
22,138	0,25	18,9	23,683	0,327	18,7	26,5	0,468

Referanser

En del av referansene er tilgjengelig på internett. Det vises til lenker i kapittel 3 og 4.

Referanser på norsk

Byggdetaljer 471.015, *Kuldebroer; Konsekvenser og dokumentasjon av energibehov*, Byggeforskserien, Oslo 2008.

Byggdetaljer 471.016, *Kuldebroer; Metoder for å bestemme kuldebroverdi*, Byggeforskserien, Oslo 1999.

Byggdetaljer 471.017, *Kuldebroer; Tabeller med kuldebroverdier*, Byggeforskserien, Oslo 2008.

Grynning, Steinar, *Analyse av kuldebroproblematikk i flerfamiliehus*, Prosjektoppgave ved NTNU, Trondheim 2006.

Gustavsen, Arild m.fl., *Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk*, Prosjektrapport 25, SINTEF Byggeforsk, Oslo 2008.

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

Tømte, Thor-Oskar, *Geometriske kuldebroer i hjørner og sirkulære geometrier i passivhus med bindingsverkvegger*, Prosjektoppgave ved NTNU, Trondheim 2006.

Referanser på engelsk og tysk

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 Passivhausinstitut, Darmstadt 2007.

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.

Referanser på engelsk

Erhorn, Hans m.fl., *An effective handling of Thermal Bridges in the EPBD Context, Final report of the ASIEPI Work on Thermal Bridges*, 2010.

Schild, Peter G., og Blom, Peter, *Good practice guidance on thermal bridges & construction details, Part I: Principles, Part II: Good examples*, Information Paper P 188 og P 189, fra ASIEPI-prosjektet 2009.

Referanser på tysk

Bundesamt für Energie (Sveits, utgiver), *U-Wert-Berechnung und Bauteilekatalog Sanierungen*, Bern 2001.

Bundesamt für Energie, *U-Wert-Berechnung und Bauteilekatalog Neubauten*, Bern 2002.

Bundesamt für Energie, *Wärmebrückenkatalog*, Bern 2002.

Bundesamt für Energie, *Wärmebrückenkatalog für Minergie-P-Bauten*, Bern 2008

Feist, Wolfgang (utgiver), Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, serie med *Protokollband*, Passivhausinstitut, Darmstadt:

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, *Hochwärmegedämmte Dachkonstruktionen*, 2005

Protokollband Nr. 32, *Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten: Passivhauskomponenten + Innendämmung*, 2005

Protokollband Nr. 33, *Passivhaus-Schulen*, 2006 (spesielt bidraget fra Rainer Pfluger, *Passivhaus-Grundschule und -Kindergarten auf dem Riedberg Wilhelm-Busch-Schule, Frankfurt*)

- Protokollband Nr. 35, *Wärmebrücken und Tragwerksplanung – die Grenzen des wärmebrückenfreien Konstruierens*, 2007 (spesielt Anhang A samt to bidrag fra Tanja Schulz, *Erfordernisse der Statik – vermeidbare Wärmebrücken og Balkonanschlüsse – wärmebrückenoptimierte Lösungen*, et bidrag fra Wolfgang Hasper, *Treppenhäuser: Aussteifung, Lastabtragung – thermische Grenze* og et bidrag fra Jürgen Schnieders, *Fassaden – Gestalterische Spielräume bei minimiertem Wärmeverlust*)
- Protokollband Nr. 37, *Optimierungsstrategien für Fensterbauart und Solarapertur unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Tageslicht, Solargewinnen und Sommerklima*, 2008 (spesielt bidraget fra Berthold Kaufmann m.fl., *Optimierungsstrategien für das hochwärmegeämmte Fenster*)
- Protokollband Nr. 39, *Schrittweise Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten*, 2009
- Feist, Wolfgang m.fl., *Konstruktionshandbuch für Passivhäuser*, Passivhausinstitut, Darmstadt 2000.
- Lindemann, Gunter og Obert, Peter, *Passivhaus ENERGON Ulm, Schlussbericht Monitoring*, Ulm 2006.
- Passivhausinstitut (utsteder), *Zertifikat Wärmebrückenarme Konstruktion Schöck Isokorb XT* (fem sertifikater for dekketykkelser på 160, 180, 200, 220 og 250 mm), 2010.
- Peper, Søren m.fl., *Mehrgeschoss-Passivhaus Hamburg Pinnasberg, Endbericht*, Passivhausinstitut, Darmstadt 2005.
- Peper, Søren m.fl., *Passivhausschule Frankfurt Riedberg, Messtechnische Untersuchung und Analyse*, Passivhausinstitut, Darmstadt 2007.
- Schöberl, Helmut m.fl., *Zielgruppengerechte Verbreitung sowie aktiver Wissenstransfer von gebauten wärmebrückenfreien und -armen Passivhaus-Konstruktionen*, i: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (utgiver), *Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2010*, Wien 2010.
- Schöck Bauteile GmbH (utgiver), *Technische Information, Ergänzung: Schöck Isokorb XT mit 120 mm Dämmung*, Baden-Baden 2010.

A Vedlegg fundamentering

Vedlegg A.1 – A. 4 viser oversikter over ulike fundamenteringsmuligheter for tunge konstruksjoner med alternativ plassering og av isolasjon, med og uten kjeller, tatt fra tabell 10 – 14 i artikkelen til Tanja Schulz, *Erfordernisse der Statik – vermeidbare Wärmebrücken* i Protokollband Nr. 35, Passivhusinstitut 2007.

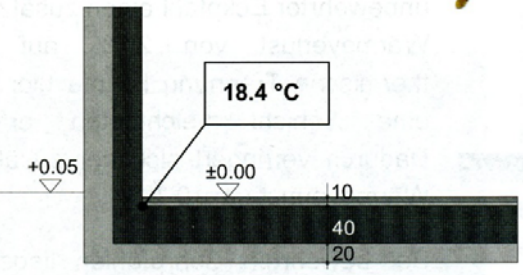
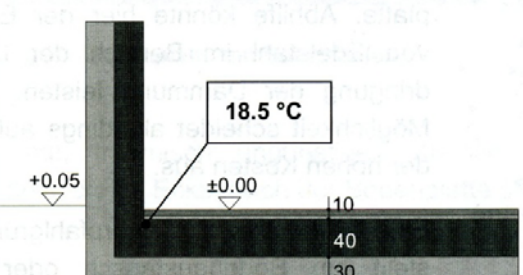
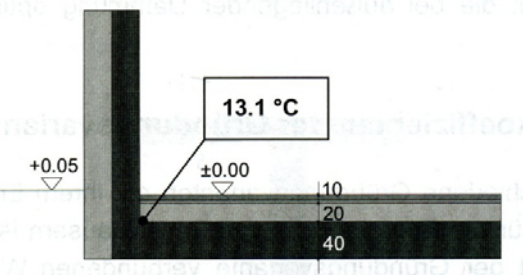
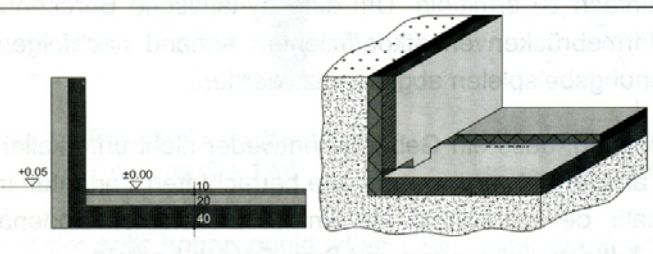
Viste konstruksjoner bruker betong i både vegg, fundament og gulvplate. Over sistnevnte er det i alle varianter 4 cm trinnlydisolasjon og 6 cm sementgulv. Vegg har alltid 30 cm isolasjon. Betong er vist mørkegrått, sementgulv litt lysere og isolasjon lysegrått.

Grovt regnet, kan Ψ -verdien totalt antas som sum av statisk og harmonisk Ψ -verdi angitt i tabellene. Verdiene er beregnet på basis av utvendige mål og ble i mangel av nøyaktig kjennskap av U-verdier i bygningsdelene *ikke* omregnet til kuldebroverdier etter innvendige mål. Det er også viktig å være klar over at angitte temperaturer er relatert til tysk gjennomsnittsklima og ikke differensiert etter byggegrunnens egenskaper. Tabellene kan derfor bare brukes som røff orientering.

Generelt kan det sies at konstruksjoner som har positive kuldebroverdier også etter utvendige mål, bør unngås så langt det lar seg gjøre. Ved mye isolasjon over gulvplata bør det gjøres nøyaktige beregninger for å unngå kritisk lave temperaturer i overgangen mellom vegg og fundamentering. Beregningen må ta hensyn til klima, terrengnivå og byggegrunn. Tilleggstiltak som markisolasjon kan være påkrevd.

A.1 Oversikt gulv på grunn/fundamentplate uten kjeller

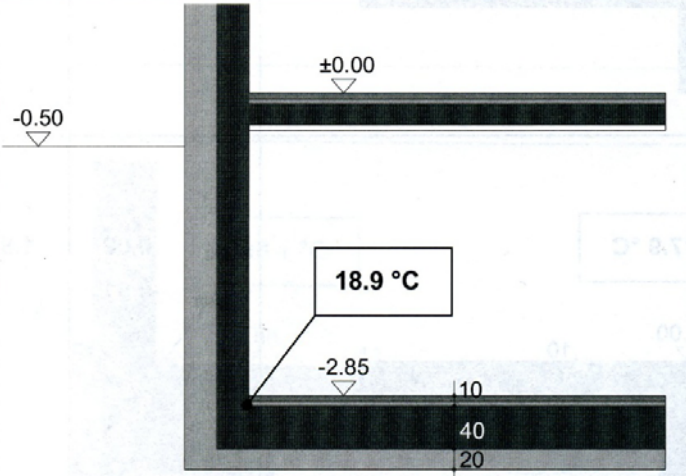
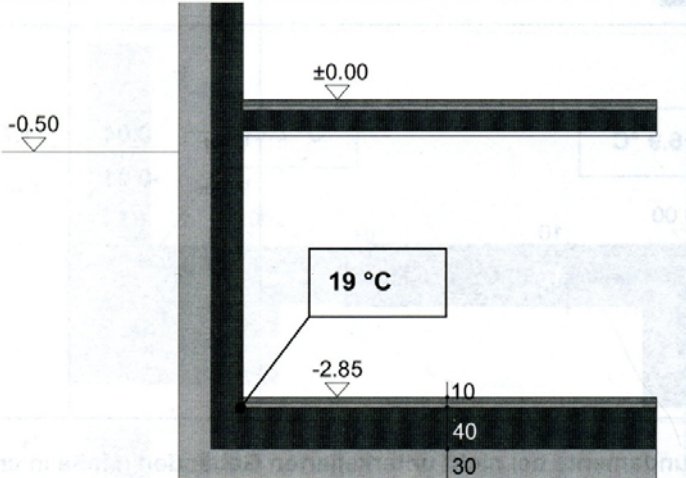
Fra Protokollband Nr. 35, tabell 10. Se innledende tekst under A. $\Psi_a = \text{ca. } \Psi_{\text{stat}} + \Psi_{\text{harm}}$

Variante	ψ - Werte [W/(mK)]
<p>1.1</p> 	Ψ_{stat} -0.05 Ψ_{harm} -0.03
<p>1.2</p> 	Ψ_{stat} -0.06 Ψ_{harm} -0.06
<p>1.3</p> 	Ψ_{stat} 0.19 Ψ_{harm} 0.07
<p>1.4</p> 	Ψ_{stat} 0.014 Ψ_{harm} -0.02

Variante 1.4 har i tysk klima laveste temperatur på bare 10,3 °C – tiltak som markisolasjon er nødvendig (gjelder også variante 1.3)! Se for øvrig målsatt skisse i variante 1.4 i tabell 12 under A.2.

A.2 Oversikt gulv på grunn/fundamentplate med oppvarmet kjeller

Fra Protokollband Nr. 35, tabell 12. Se innledende tekst under A. $\Psi_a = \text{ca. } \Psi_{\text{stat}} + \Psi_{\text{harm}}$

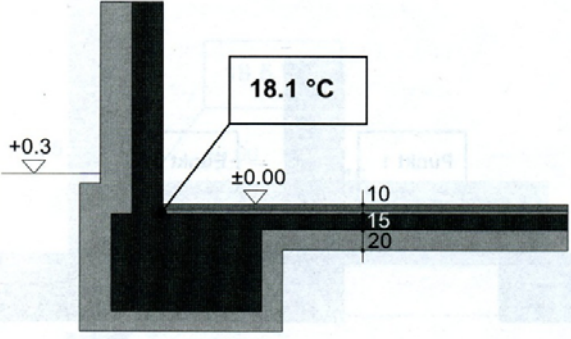
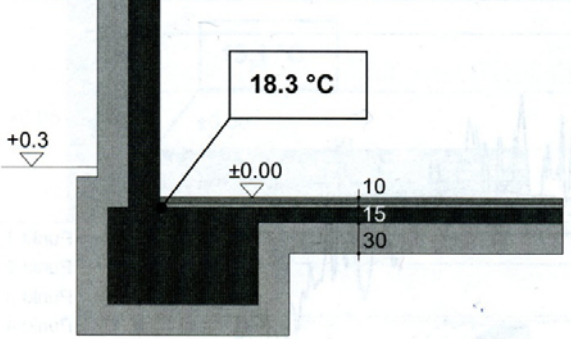
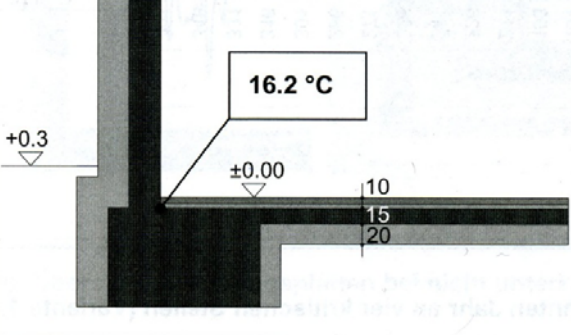
Variante		ψ - Werte [W/(mK)]
1.1		Ψ_{stat} -0.03 Ψ_{harm} -0.02
1.2		Ψ_{stat} -0.04 Ψ_{harm} -0.02

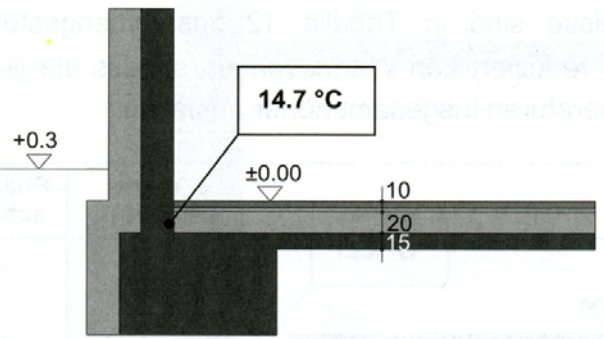
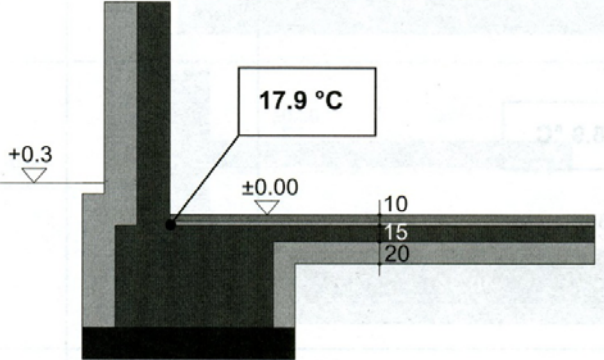
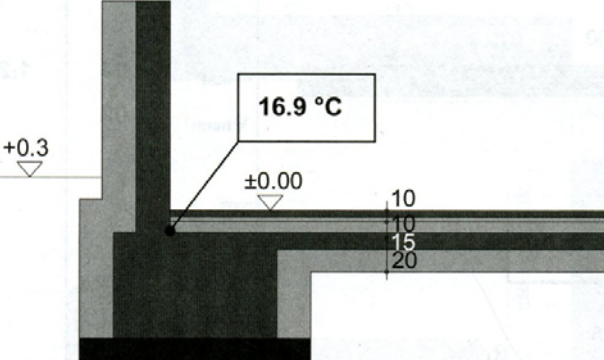
Variante		ψ - Werte [W/(mK)]
1.3		ψ_{stat} 0.15 ψ_{harm} 0.01
1.4		ψ_{stat} 0.02 ψ_{harm} -0.01

Variante 1.4 har i tysk klima laveste temperatur på 12,6 °C – tiltak som markisolasjon er normalt nødvendig!

A.3 Oversikt fundament uten kjeller

Fra Protokollband Nr. 35, tabell 11. Se innledende tekst under A. $\Psi_a = \text{ca. } \Psi_{\text{stat}} + \Psi_{\text{harm}}$

Variante		ψ - Werte [W/(mK)]
2.1		Ψ_{stat} -0.05 Ψ_{harm} -0.03
2.2		Ψ_{stat} -0.01 Ψ_{harm} -0.14
2.3		Ψ_{stat} 0.27 Ψ_{harm} 0.08

Variante		ψ - Werte [W/(mK)]
2.4		ψ_{stat} 0.11 ψ_{harm} 0.00
2.5		ψ_{stat} 0.02 ψ_{harm} -0.01
2.6		ψ_{stat} 0.04 ψ_{harm} -0.01

I variant 2.5 og 2.6 brukes høytrykkfast ”porelettmørtel” med $\lambda = 0,11$ W/(mK) under fundamentet.

A.4 Oversikt fundament med oppvarmet kjeller

Fra Protokollband Nr. 35, tabell 13. Se innledende tekst under A. $\Psi_a = \text{ca. } \Psi_{\text{stat}} + \Psi_{\text{harm}}$

Variante		Ψ - Werte [W/(mK)]
2.1		Ψ_{stat} -0.01 Ψ_{harm} 0.00
2.2		Ψ_{stat} 0.00 Ψ_{harm} 0.00
2.3		Ψ_{stat} 0.20 Ψ_{harm} 0.02

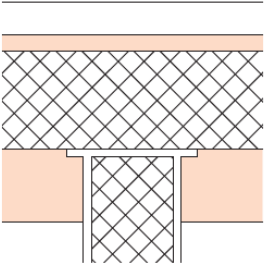
Variante		ψ - Werte [W/(mK)]
2.4		ψ_{stat} 0.1 ψ_{harm} -0.01
2.5		ψ_{stat} 0.05 ψ_{harm} 0.00
2.6		ψ_{stat} 0.05 ψ_{harm} -0.01

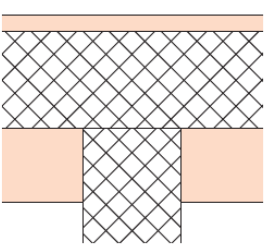
I variant 2.5 og 2.6 brukes høytrykkfast ”porelettmørtel” med $\lambda = 0,11$ W/(mK) under fundamentet.

B Vedlegg innvendige søyler/kjellerdekke

Vedlegg B.1 og B.2 viser tabeller med estimerte punktkuldebroverdier for typiske, generaliserte konstruksjoner med stål- og betongsøyler under eller over dekket mot uoppvarmet kjeller, tatt fra avsnitt 6.1 ("Stützen") i *Wärmebrückenatlas*, Bundesamt für Energie Schweiz 2002.

B.1 Oversikt søyler under kjellerdekke

Säulenkopf, Stahl		6.1-U1			
		Durchmesser Stütze in cm			X-Wert in W/K
		10	12	15	
		0.20	0.24	0.29	
Einschränkungen		Zuschläge			
Stahlummantelungsdicke	8 mm	Stahlummantelungsdicke 5 mm			- 0.04 W/K
Säule oberhalb	keine	Betonsäule oberhalb			+ 0.01 W/K
		Metallsäule oberhalb			+ 0.03 W/K

Säulenkopf, Stahlbeton		6.1-U2			
	U-Wert Boden in W/(m ² · K)	Durchmesser Stütze in cm			X-Wert in W/K
		10	12	15	
	0.15	0.05	0.06	0.09	
	0.20	0.05	0.07	0.10	
	0.25	0.06	0.08	0.11	
0.30	0.06	0.08	0.11		
Einschränkungen		Zuschläge			

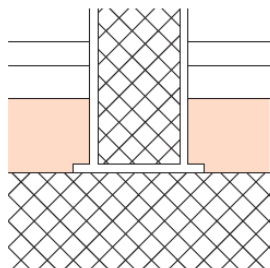
Tabell 6.1-U1 og 6.1-U2 viser estimerte punktvisse kuldebroverdier X for stålsøyler (U1) og betongsøyler (U2) under kjellerdekket med hovedisolasjon under samt noe trinnlydisolasjon over etasjeskilleren, gruppert etter søylediameter på 10, 12 og 15 cm ("Durchmesser Stütze").

6.1-U1 gjelder stålsøyler med 8 mm ståltykkelse og U-verdi på 0,21 W/(m²K) for dekkekonstruksjonen. X-verdien i tabellen får 0,04 W/K fratrukk, hvis ståltykkelsen er 5 mm i stedet for 8 mm. Dersom det plasseres en søyle også over dekket, blir det et tillegg på hhv. 0,01 W/K (betongsøyle over) og 0,03 W/K (stålsøyle over).

6.-U2 gjelder armerte betongsøyler, gruppert etter ulike U-verdi for etasjeskilleren (kolonne "U-Wert Boden").

B.2 Oversikt søyler over kjellerdekke

Säulenfuss, Stahl



Einschränkungen

Stahlmantelungsdicke 8 mm

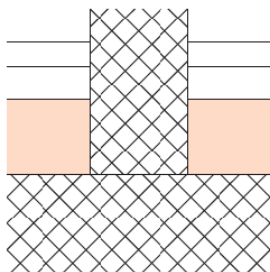
6.1-U3

U-Wert Decke in $W/(m^2 \cdot K)$	Durchmesser Stütze in cm			X-Wert in W/K
	10	12	15	
0.15	0.24	0.27	0.35	
0.20	0.25	0.30	0.37	
0.25	0.27	0.32	0.39	
0.30	0.28	0.32	0.40	

Zuschläge

Stahlmantelungsdicke 5 mm – 0.05 W/K

Säulenfuss, Stahlbeton



Einschränkungen

6.1-U4

U-Wert Decke in $W/(m^2 \cdot K)$	Durchmesser Stütze in cm			X-Wert in W/K
	10	12	15	
0.15	0.05	0.07	0.11	
0.20	0.06	0.08	0.12	
0.25	0.07	0.09	0.13	
0.30	0.08	0.10	0.14	

Zuschläge

Tabell 6.1-U3 og 6.1-U4 viser estimerte punktvisse kuldebroverdier X for stålsøyler (U3) og betongsøyler (U4) over kjellerdekket med isolasjon over etasjeskilleren, gruppert etter søylediameter på 10, 12 og 15 cm ("Durchmesser Stütze") og ulike U-verdi for etasjeskilleren (kolonne "U-Wert Decke").

6.1-U3 gjelder stålsøyler med 8 mm ståltykkelse.

X-verdien i tabellen får 0,05 W/K fratrukk, hvis ståltykkelsen er 5 mm i stedet for 8 mm.

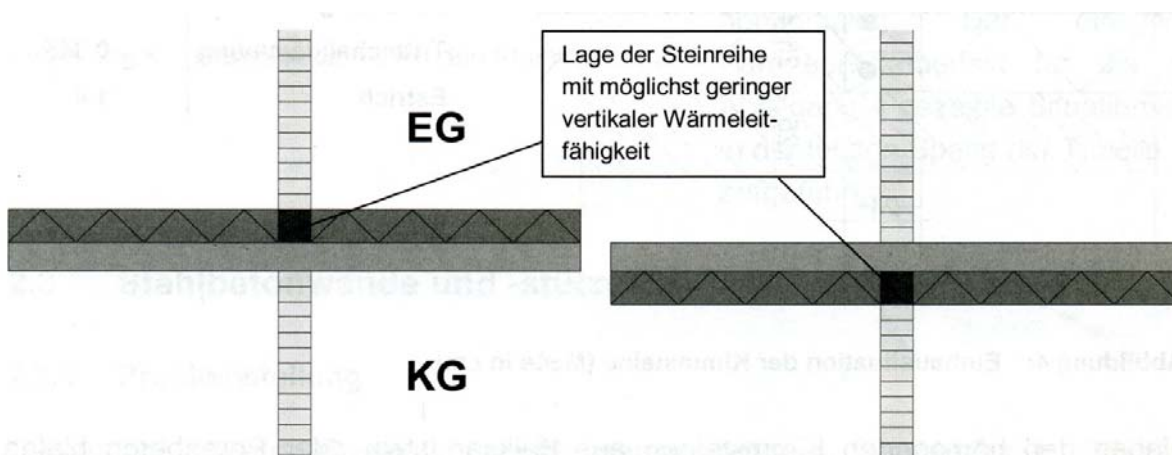
6.1-U4 gjelder armerte betongsøyler.

C Vedlegg produkter

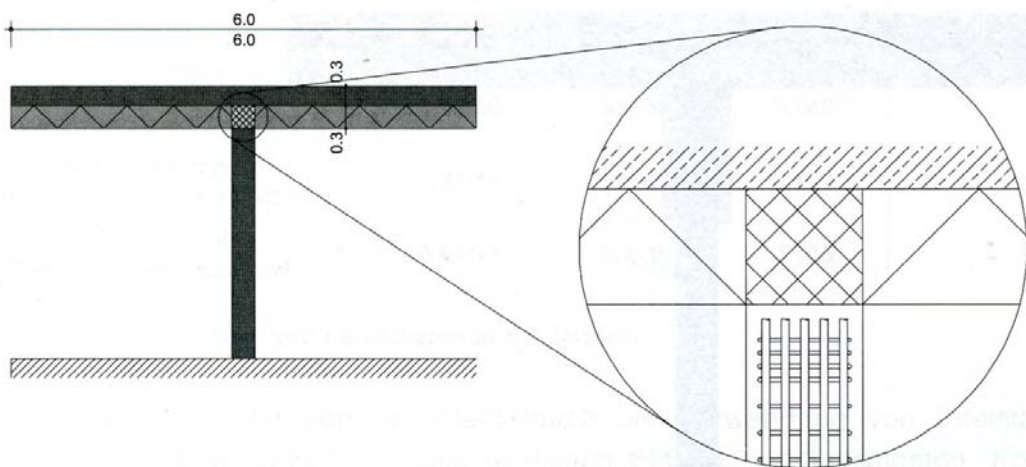
C.1 Oversikt produkter for termisk skille i vegger og søyler

Vedlegg C.1 viser en oversikt over tilgjengelige materialer for termisk skille i murvegger. Materialene kan også brukes øverst i mindre belastete betongvegger eller -søyler, hvis gjennomgående armering statisk ikke er nødvendig. I vegger og søyler med påkrevet gjennomgående armering kan det eventuelt brukes lettbetong kombinert med armering i rustfritt stål eller glassfiber. Lettbetong alene har imidlertid ikke tilstrekkelig effekt, og både lettbetong og alternative armeringsmaterialer er betydelig dyrere enn isolasjon rundt øverste del av vegg eller søyle. Sistnevnte isolasjonstiltak, som vist i avsnitt 5.3.2.3 og 0, er mest kostnadseffektivt i slike tilfeller.

Illustrasjoner og tabell er tatt fra artikkelen til Tanja Schulz, *Erfordernisse der Statik – vermeidbare Wärmebrücken* i Protokollband Nr. 35, Passivhusinstitut 2007.



Figur 24 Bruk av termisk skillematerial i murte vegger, i flukt med isolasjon over eller under kjellerdekke.

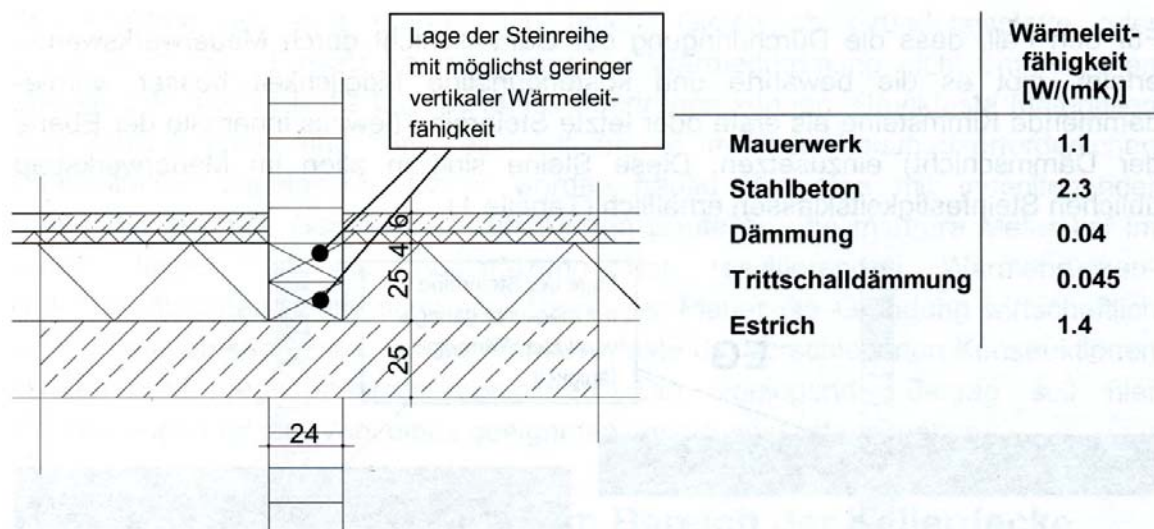


Figur 25 Bruk av termisk skillematerial i betongvegg eller -søyle øverst, i flukt med isolasjon under kjellerdekke. Løsningen kan velges, hvis gjennomgående armering ikke er nødvendig.

Material	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]		Grundwerte σ_0 der zul. Druckspannungen [N/mm ²]	Hersteller und Produkt	ψ -Wert [W/mK]
	horizontal	vertikal			
Leichtbeton	0.088	0.286	2.4	Schöck Novomur	0.192
Kalksandstein	0.33	0.33	1.9	Kalksandstein ISO Kimm	0.218
Kalksandstein	0.27	0.27	1.6	Kalksandstein ISO Kimm	0.183
Porenbeton S	0.21	0.21	1.5	Porit	0.144
Leichtbeton	0.083	0.189	1.2	Schöck Novomur light	0.129
Porenbeton M	0.13	0.13	1.0	Porit	0.086
Ziegel	0.09	0.139	0.9	Schlagmann Poroton T8	0.093
Schaumglas ¹	0.055	0.058	0.6	Foamglas Perinsul	0.026
Porenbeton L	0.09	0.09	0.6	Ytong	0.053

¹ Schaumglas-Kimmstein nur im Fußbereich der Wand einsetzbar

Figur 26 Material for termisk skille i vegger og eventuelt søyler. Kolonnene viser (fra venstre) material, varmeledningsevne (horisontalt/vertikalt), tillatt trykkbelastning, produsent med produktnavn og kuldebroverdi i en situasjon som vist i Figur 27 nedenfor. Material i første kolonne (ovenfra og nedover) er lettbetong, kalksandstein 2 x, porebetong S, lettbetong, porebetong M, tegl, skumglass (kan bare brukes i veggfot, ikke øverst) og porebetong L. I innvendige vegger ved kjellerdekke er lav vertikal varmeledningsevne avgjørende, men i yttervegger kan også horisontal varmeledningsevne være utslagsgivende (avhengig av hvor termisk skille plasseres).



Figur 27 Eksempel på termisk skille i vegg med 25 cm isolasjon ($\lambda = 0,04$), 4 cm trinnlydisolasjon ($\lambda = 0,045$) og 6 cm sementgulv over kjellerdekke. Lineær kuldebroverdi for ulike materialalternativer er vist i høyre kolonne i Figur 26 ovenfor.

Oversikt punktvisse gjennomføringer i isolerte vegger

Vedlegg C.2 viser to grafer med punktkuldebroverdier for stål gjennomføringer i isolerte betongvegger, tatt fra figur 3 og 5 i vedlegg A i Protokollband Nr. 35, Passivhusinstitutt 2007.

Figur 28 viser punktkuldebroverdier X for gjennomføringer i rundstål i fasader med 30 cm isolasjon, mens Figur 29 viser det samme for fasader med 25 cm isolasjon – begge differensiert etter vanlig konstruksjonsstål og rustfritt stål, som gir lavere kuldebroverdi.

Forutsetninger for grafene:

Puss, $\lambda = 0,7 \text{ W/(mK)}$

Isolasjon, $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$

Betong armert, $\lambda = 2,3 \text{ W/(mK)}$

Konstruksjonsstål, $\lambda = 50 \text{ W/(mK)}$

Rustfritt stål, $\lambda = 17 \text{ W/(mK)}$

Durchmesser: diameter

Baustahl: konstruksjonsstål

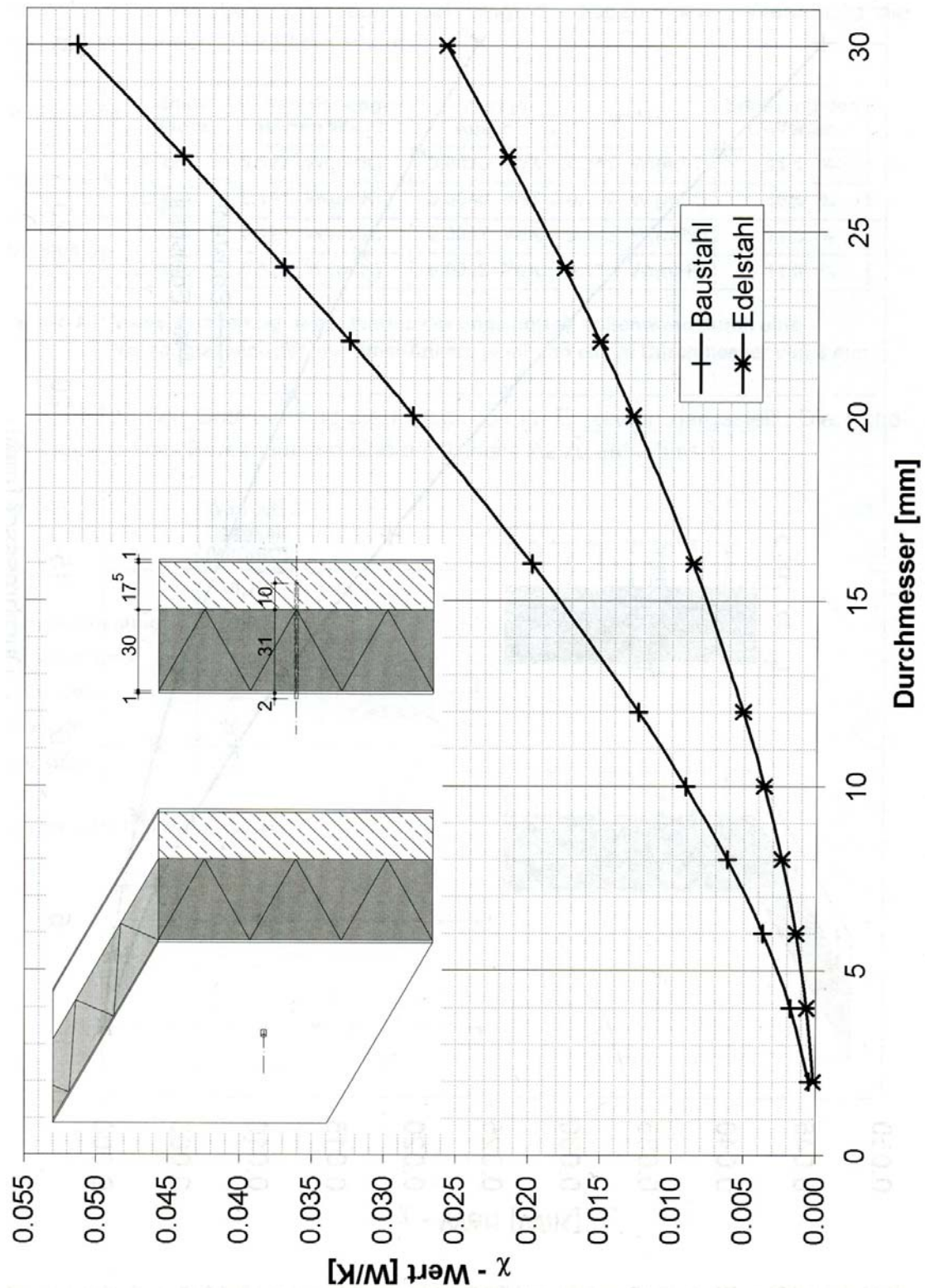
Edelstahl: rustfritt stål

Eksempel fra tabell A1 i vedlegg A i Protokollband Nr. 35:

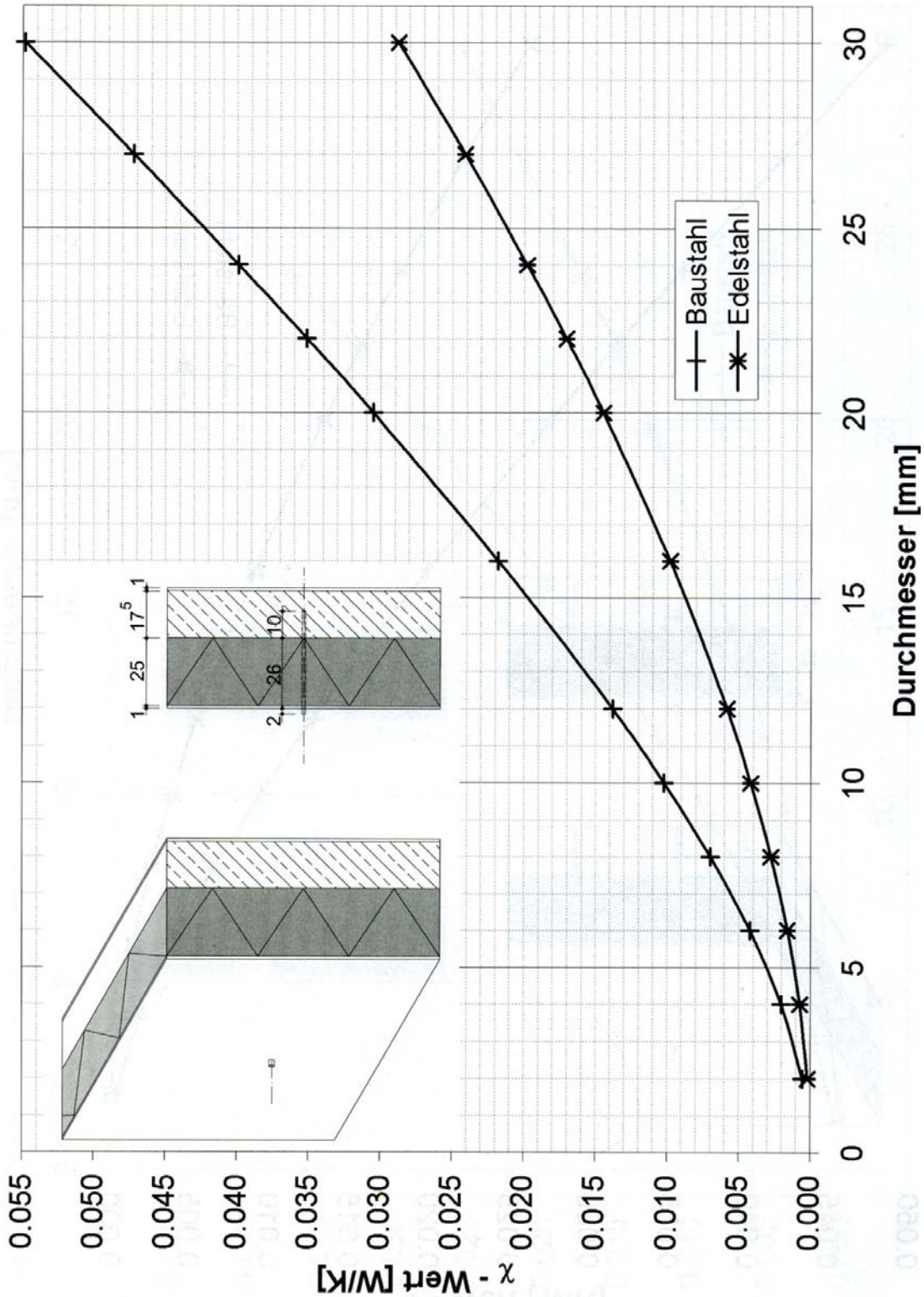
Anker med 6 mm diameter i konstruksjonsstål, 4 stk per kvadratmeter fasade gir følgende resultater:

Isolasjon på fasade	U-verdi yttervegg uforstyrret	Kuldebroverdi X per anker	Kuldebrobidrag til U-verdi i vegg: ΔU	Resulterende U-verdi hele vegg
30 cm	0,129 W/(m ² K)	0,0037 W/K	0,014 W/(m ² K)	0,143 W/(m ² K)
25 cm	0,153 W/(m ² K)	0,0042 W/K	0,017 W/(m ² K)	0,170 W/(m ² K)

Hvis det brukes stålvinkele i stedet for rundstål, er verdiene nesten de samme som i grafene for rundstål med samme gjennomføringsareal, så lenge tverrsnittet er kompakt. I tilfelle lang og tynn tverrsnitt anbefales å øke verdien fra grafene med 50 prosent (grovt estimat).



Figur 28 Punktkuldebroverdier X for stål gjennomføringer i 30 cm isolasjon på betongvegger. Se innledende tekst under C.2.



Figur 29 Punktkuldebroverdier χ for stål gjennomføringer i 25 cm isolasjon på betongvegger. Se innledende tekst under C2.

SINTEF Building and Infrastructure is the third largest building research institute in Europe. Our objective is to promote environmentally friendly, cost-effective products and solutions within the built environment. SINTEF Building and Infrastructure is Norway's leading provider of research-based knowledge to the construction sector. Through our activity in research and development, we have established a unique platform for disseminating knowledge throughout a large part of the construction industry.

COIN – Concrete Innovation Center is a Center for Research based Innovation (CRI) initiated by the Research Council of Norway. The vision of COIN is creation of more attractive concrete buildings and constructions. The primary goal is to fulfill this vision by bringing the development a major leap forward by long-term research in close alliances with the industry regarding advanced materials, efficient construction techniques and new design concepts combined with more environmentally friendly material production.

