Vogelwijk

Den Haag

4 maart 2020

Energietransitie

THERMISCHE ISOLATIE

Kees van der Linden

1

Basis Bouwfysica Kees van der Linden / Klimapedia 2018

1

Energiebesparing bij woningen volgorde van maatregelen

- verminderen warmteverlies gevel, dak, vloer
- effectief, niet teveel, maar wel genoeg ventileren
- warmte zo gunstig mogelijk opwekken
  restwarmte, warmtepomp, ……
- gebruik van duurzame energie, zon, wind, enz.

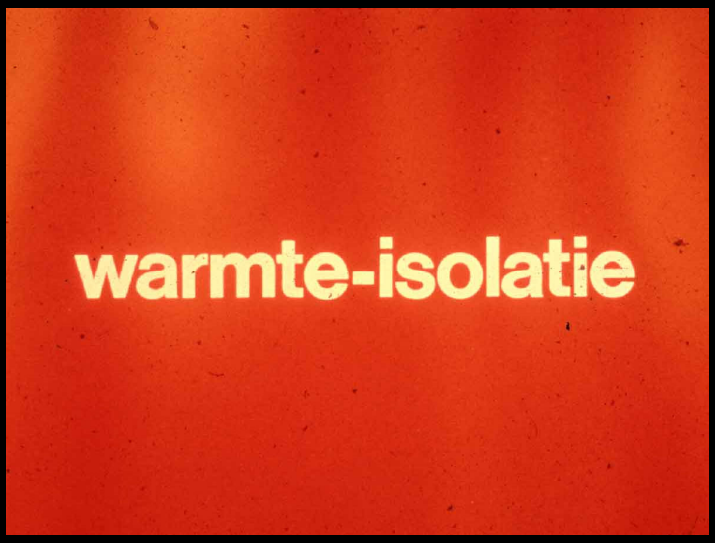
- effect op comfort en gezondheid in de gaten houden …… “en-en gebouwen”

2

Inl Bouwfysic/Inst

Warmte-isolatie

Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.



3

Basis Bouwfysica Kees van der Linden / Klimapedia 2017

3

Inl Bouwfysic/Inst

Warmte-isolatie

Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

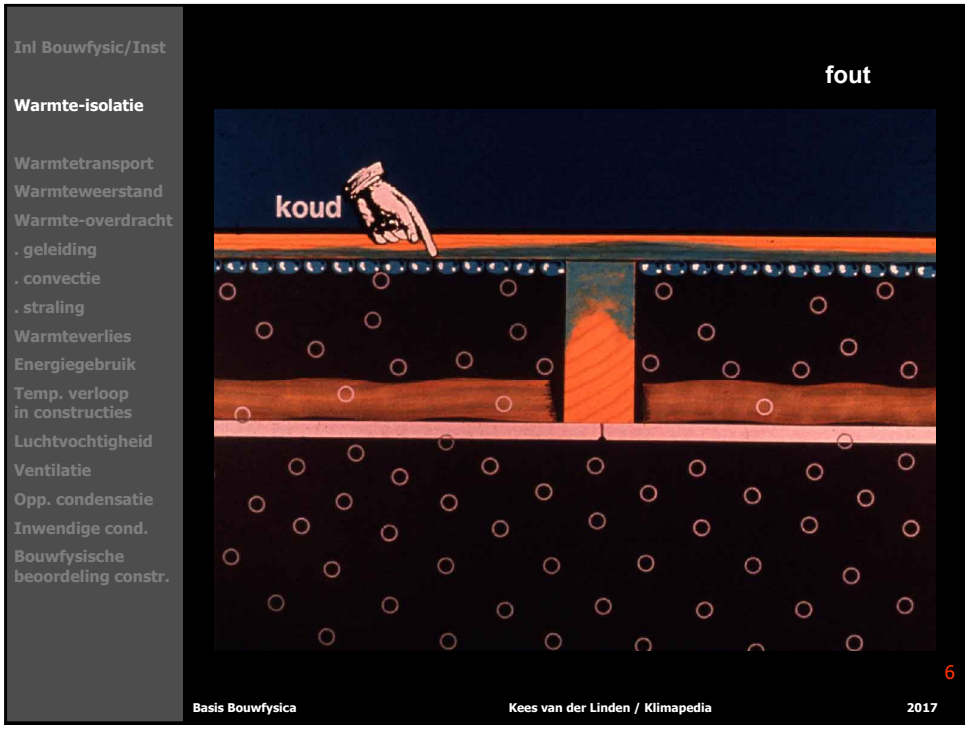
goed

4

4

goed
constructies (1-dimensionaal)
5

5


Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.
fout
koud
6
Basis Bouwfysica
Kees van der Linden / Klimapedia
2017

6

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

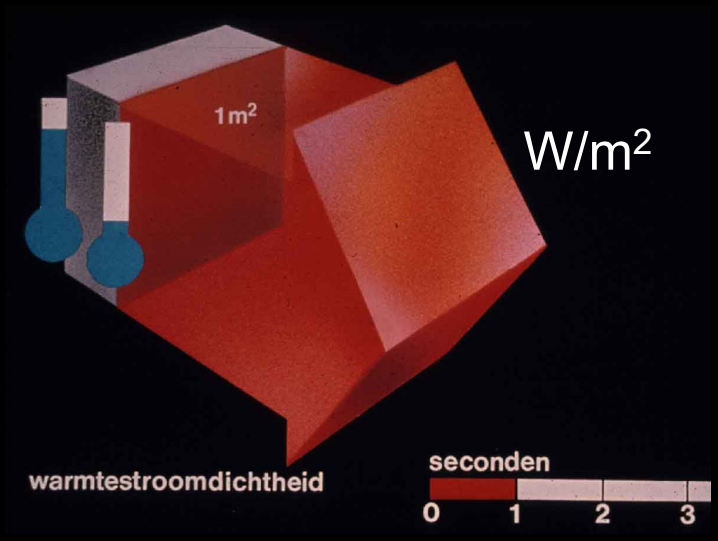
Warmteoverdracht

- Geleiding
- Convectie
- Straling
- (Fase-overgang)

7

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

SI eenheden



8

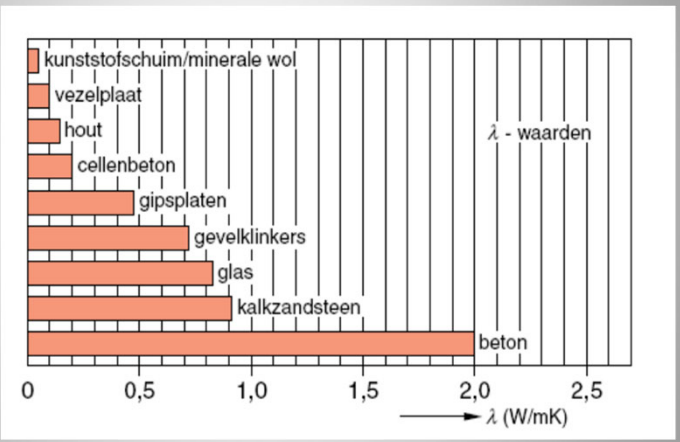
Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand

Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Warmtegeleiding

Warmtegeleidingscoefficient λ



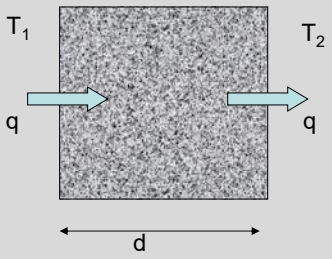
Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand

Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Warmteweerstand

$$R = d/\lambda \ [m^2K/W]$$



$$q = \frac{T_1 - T_2}{R} \quad [W/m^2]$$

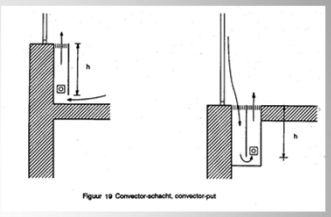
Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand

Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Warmte-overdracht: convectie en straling

Convectie
(luchtstroming)



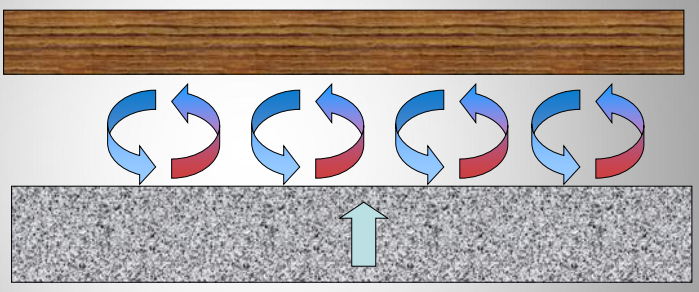
straling (o.a. warmte van radiator of warmtemuur)

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand

Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Convectieve warmteoverdracht



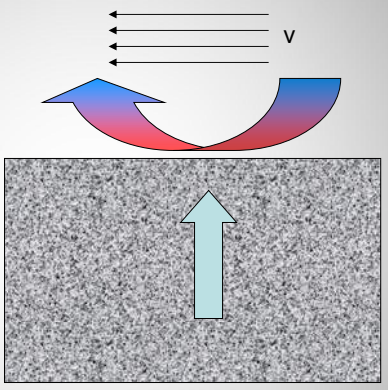
Vrije convectie

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand

Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Convectieve warmteoverdracht



Gedwongen convectie

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand

Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Warmte-overdracht door straling

- stralingswet van Stefan Bolzman
- verschuivingswet van Wien

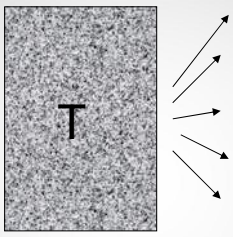
Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand

Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Warmte uitstraling

Grijze straler



$$q_s = \varepsilon \sigma T^4$$

ε = emissiecoefficient [-]

meeste bouwmaterialen: ε = 0,90 - 0,95

blank aluminium: ε = 0,07 - 0,09

15

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand

Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Hoeveelheid warmtestraling

IJsberg -40°C: 160 W/m²

Vriespunt: 0°C: 285 W/m²

Wand 20°C: 395 W/m²

Mens 32°C: 465 W/m²

Radiator 80°C: 835 W/m²

16

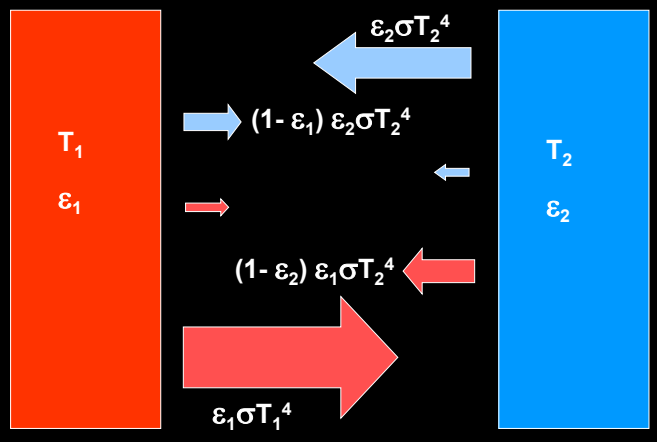
Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand

Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Warmte-overdracht door straling

Stralingsoverdracht tussen twee vlakken



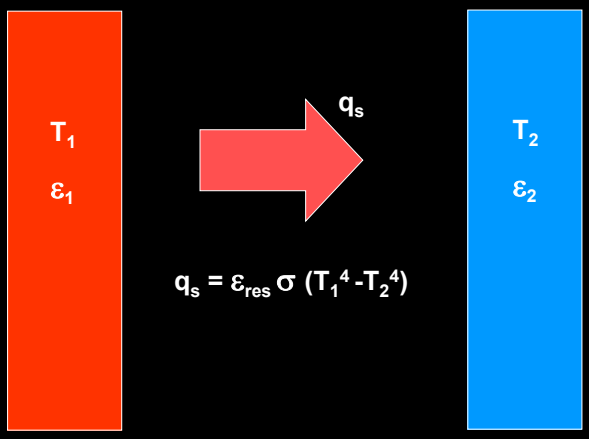
Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand

Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Warmte-overdracht door straling

Resulterende stralingsoverdracht

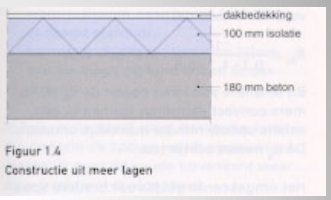


$$q_s = \varepsilon_{res}\, \sigma\, (T_1^4 - T_2^4)$$

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Warmteweerstand constructie

Rekenvoorbeeld

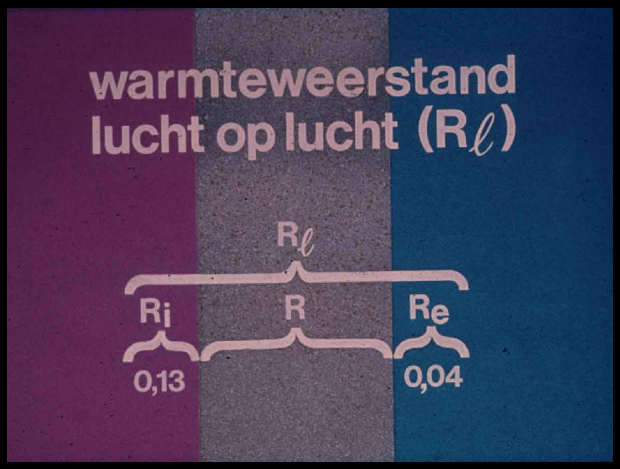


Figuur 1.4
Constructie uit meer lagen

Laag	dikte [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
Dakbedekking	0,008	0,2	0,04
Isolatie	0,10	0,04	2,5
Beton	0,18	2,0	0,09
Totaal			Rc = 2,63

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Scheidingsconstructies



$R_l = R_c + 0,17$ [m².K/W] NEN 1068

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies

Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Warmteweerstand en U-waarde

U-waarde →

omgekeerde van warmteweerstand

$U = 1 / R_l$ [W/m².K]

Warmteverlies door een constructie:

$\mathbf{q = \Delta T / R_l = U \cdot \Delta T}$ **[W/m²]**

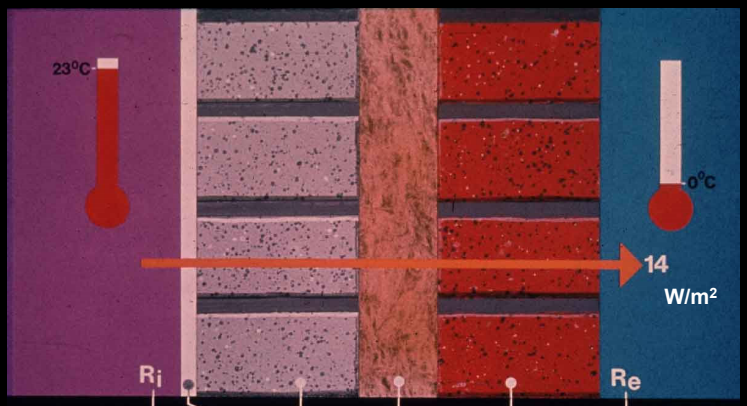
21

21

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies

Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.



$R_\ell = 0{,}13 + 0{,}02 + 0{,}12 + 1{,}25 + 0{,}08 + 0{,}04 = 1{,}64$

$U = 1 / R_l = 1 / 1{,}64 = 0{,}6$ W/m²K

$q = 0{,}6 \cdot 23 = 14$ W/m²

TU Delft
Technische Universiteit Delft

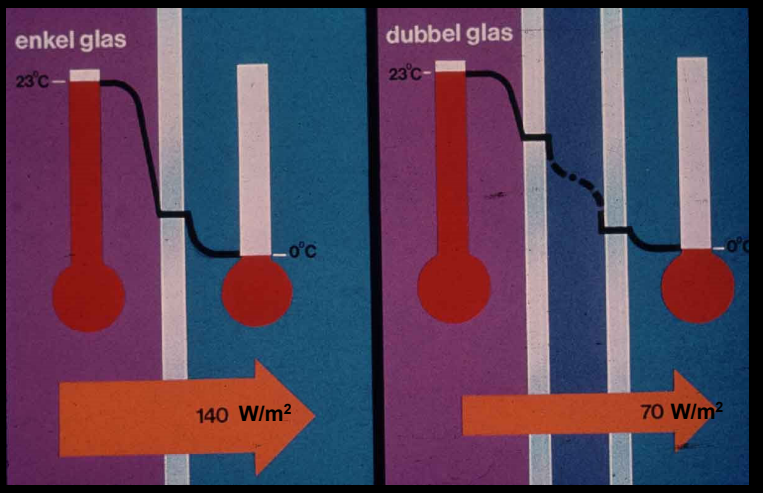
22

22

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies

Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.



U = 6 W/m²K U = 3 W/m²K

23

23

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies

Energiegebruik

Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Energieverlies (aardgas) door scheidingsconstructies

Jaarlijks energieverlies (1 m³ aardgas --> 30 MJ)

G = ca. 8 . U [m^3_{aeq} /m².a]

- enkel glas U = 5,7 45 m³ aeq/m².a
- dubbel glas U = 3,0 25 m³ aeq/m².a
- HR⁺⁺-glas U = 1,2 10 m³ aeq/m².a
- geisoleerde wand R_c=3; U=0,3 2,5 m³ aeq/m².a

(bij glas ook warmtewinst door zoninstraling)

24

24

Totaal warmteverlies woning

U_{glas} x oppervlakte glas [watt per °C]

$U_{metselwerk}$ x oppervlakte metselwerk

U_{dak} x oppervlakte dak

U_{vloer} x oppervlakte vloer

Ventilatie (daarover later)

Maar … bij goed geisoleerde woningen de grootste post

25

Voorbeeld eengezinswoning (rijtjeshuis).
(foto alleen voor de beeldvorming)

Varianten

1 bestaande situatie 1965 enkelglas

2 1975 dubbelglas

3 1985 na-isolatie spouwmuur, vloerisolatie en beter glas

4 2010 spouwvulling, binnenisolate (50 mm) en HR^{++} glas.

5 2020 buitenspouwblad weg, buitenisolatie en vacuumglas.

26

Bestaande situatie (1965)

		f factor	R_c (m^2.K/W)	U (W/m^2.K)	A (m^2)	f.A.U (W/K)
Voorgevel:	ramen enkelglas	1		5,70	6	34
	voordeur enkelglas	1		4,00	2	8
	dichte gedeelte	1	0,38	1,82	14	25
Achtergevel:	ramen enkelglas	1		5,70	8	46
	achterdeur enkelglas	1		4,00	2	8
	dichte gedeelte	1	0,38	1,82	12	22
dak:	incl. vliering	1	1,6	0,56	45	25
b.g. vloer:	boven kruipruimte	0,5	0,35	1,69	45	38
					totaal warmteverlies per °C	207

27

1975 dubbelglas i.p.v. enkelglas

		f factor	R_c (m^2.K/W)	U (W/m^2.K)	A (m^2)	f.A.U (W/K)
Voorgevel:	ramen dubbelglas	1		3,00	6	18
	voordeur enkelglas	1		4,00	2	8
	dichte gedeelte	1	0,38	1,82	14	25
Achtergevel:	ramen	1		3,00	8	24
	achterdeur	1		4,00	2	8
	dichte gedeelte	1	0,38	1,82	12	22
dak:		1	1,6	0,56	45	25
b.g. vloer:	boven kruipruimte	0,5	0,35	1,69	45	38
					totaal warmteverlies per °C	169

dit was 207

28

1985 na-isolatie spouwmuur, vloerisolatie, beter glas

		f factor	R_c (m^2.K/W)	U (W/m^2.K)	A (m^2)	f.A.U (W/K)
Voorgevel:	ramen HR$^+$	1		1,80	6	10,8
	voordeur	1		2,00	2	4,0
	spouwmuur na-isol.	1	1,45	0,69	14	9,7
Achtergevel:	ramen HR$^+$	1		1,80	8	14,4
	achterdeur	1		2,00	2	4,0
	dichte gedeelte	1	1,45	0,69	12	8,3
dak:		1	6	0,16	45	7,3
b.g. vloer:	boven kruipruimte	0,5	3,5	0,27	45	6,1
					H_T =	64,5

dit was 169

29

2010 spouwvulling, binnenisolate (50 mm) en HR^{++} glas

		f factor	R_c (m^2.K/W)	U (W/m^2.K)	A (m^2)	f.A.U (W/K)
Voorgevel:	ramen HR^{++} glas	1		1,40	6	8,4
	voordeur	1		1,00	2	2,0
	dichte gedeelte	1	3,25	0,29	14	4,1
Achtergevel:	ramen HR^{++} glas	1		1,40	8	11,2
	achterdeur	1		1,55	2	3,1
	dichte gedeelte	1	3,25	0,29	12	3,5
dak:		1	6	0,16	45	7,3
b.g. vloer:	boven kruipruimte	0,5	3,5	0,27	45	6,1
					H_T =	45,7

dit was 64,5

30

2020 buitenspouwblad weg, buitenisolatie en vacuumglas

		f	R_c	U	A	f.A.U
		factor	(m^2.K/W)	(W/m^2.K)	(m^2)	(W/K)
Voorgevel:	ramen vacuumglas	1		0,70	6	4,2
	voordeur	1		1,00	2	2,0
	dichte gedeelte	1	6	0,16	14	2,3
Achtergevel:	ramen	1		0,70	8	5,6
	achterdeur	1		1,55	2	3,1
	dichte gedeelte	1	6	0,16	12	1,9
dak:		1	6	0,16	45	7,3
b.g. vloer:	boven kruipruimte	0,5	6	0,16	45	3,6
					H_T =	30,0

verbetering: glas 10 iso 6

dit was 45,7

31

Samenvatting

Waarden voor f.A.U en H_T [W/K]		A	1	2	2	3	4
		(m^2)		f.A.U	f.A.U	f.A.U	f.A.U
Voorgevel:	ramen	6	34	18	11	8	4
	voordeur	2	8	8	4	2	2
	dichte gedeelte	14	25	25	10	4	2
Achtergevel:	ramen	8	46	24	14	11	6
	achterdeur	2	8	8	4	3	3
	dichte gedeelte	12	22	22	8	4	2
dak:		45	25	25	7	7	7
b.g. vloer:	boven kruipruimte	45	38	38	6	6	4
H_T =			207	169	64	46	30
kopgevel			73	73	28	12	7
H_T =			280	242	92	57	37

32

Benodigde isolatiedikte

materiaal	lambda	benodigde dikte in cm bij			
	W/m.K	R=1,75	R=3,25	R=4,25	R=5,75
houtvezel	0,060	11	20	26	35
houtvezel/vlas/min. wol	0,040	7	13	17	23
eps/xps	0,035	6	11	15	20
minerale wol zware kwal.	0,032	6	10	14	18
xps/pir	0,027	5	9	11	16
pir	0,023	4	7	10	13
Bluedec	0,014	2	4	6	8
vacuumisolatie	0,007	1	2	3	4

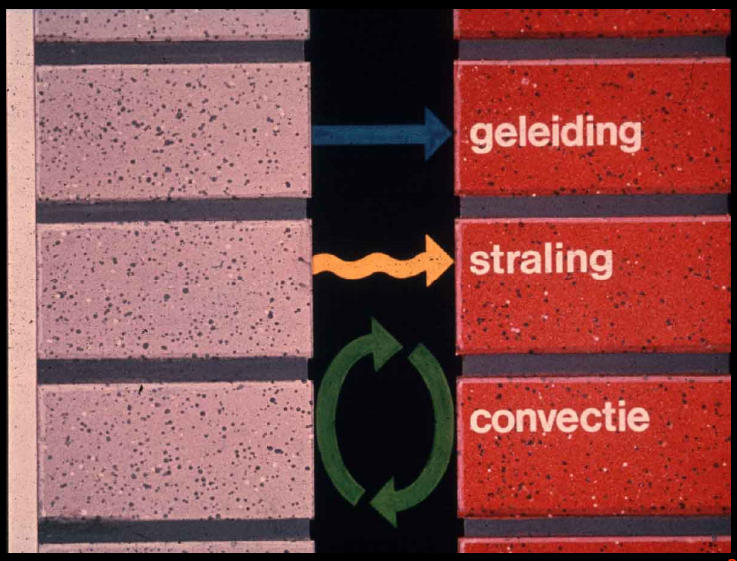
33

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies door een spouw

Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Warmte-overdracht in spouwen



34

Basis Bouwfysica Kees van der Linden / Klimapedia 2017

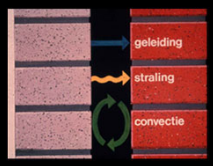
34

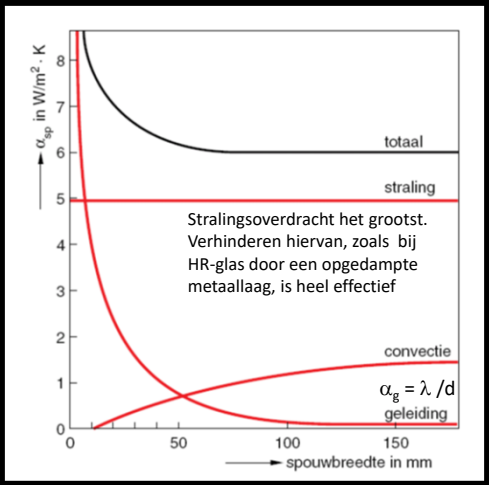
Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling

Warmteverlies door een spouw

Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Warmteoverdrachtscoefficient in spouwen α_{sp}





35

35

Vloerisolatie

©Tonzon

- alleen geleiding
- geen straling
- geen convectie:
  warm lucht blijft bovenin hangen!
- Hoge isolatiewaarde: R_c=3,8 m²K/W.

36

36

Multifoil

Ongeveer dezelfde isolatiewaarde als “gewone” isolatiematerialen.
Werking is “op zijn plaats houden van lucht”, geen convectie en geen stralingsoverdracht intern. Blijft over “geleiding door de lucht λ = 0,025 W/mK.,

Extra: stralingsonderdrukking aan de oppervlakken in de spouw.

37

Bijzondere producten

aerogel

Mits goed toegepast OK

reflecterende muurverf

http://www.aero-therm.nl/

doet niet veel

38

Fabel of feit?:
Spouwisolatie leidt tot vochtproblemen elders in de woning

39

Spouwisolatie leidt tot vochtproblemen elders in de woning

Dit is een **fabel**.

Er zijn gevallen bekend waar na het aanbrengen van spouwisolatie vocht- en schimmelproblemen in de woning ontstonden.

Oorzaken:

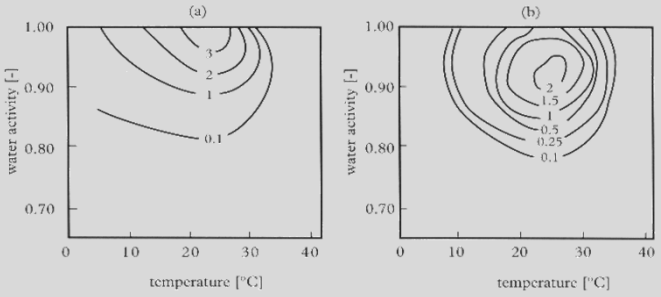
- andere maatregelen die tegelijk met de spouwisolatie zijn genomen
- verbetering van de kier- en naaddichting
- aangepast ventilatiegedrag
- andere temperatuurinstelling
- niet goed uitgevoerde kruipruimteventilatie
- enz.

40

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

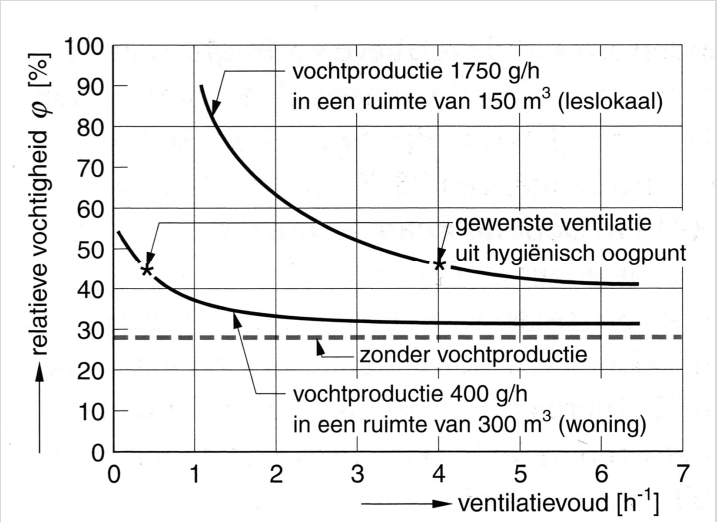
Schimmelgroei

Groeisnelheid van twee soorten schimmels afhankelijk van temperatuur en vochtigheid



O.Adan 1994

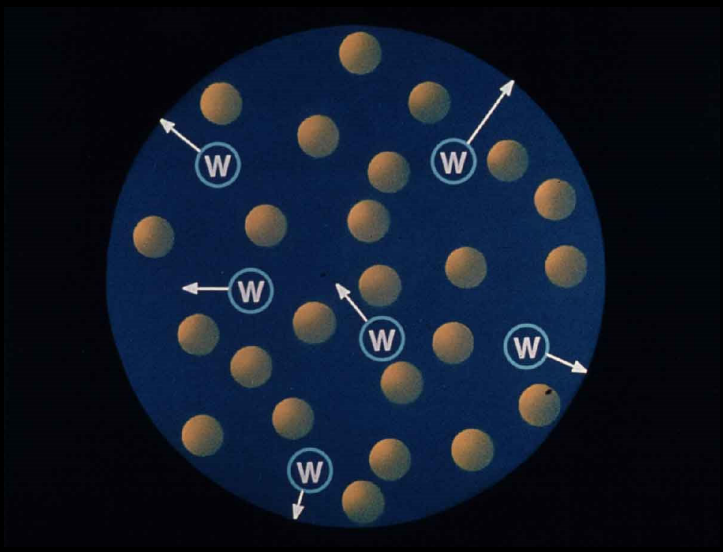
Bij een juiste ventilatie blijft de relatieve vochtigheid binnenhuis beheersbaar; geen gevaar voor condensatie of schimmels



Uitgangspunt figuur: T_e = 2-3 °C; T_i = 20 °C bij f = 0,6 → $r.v._{max}$ = 60 - 65%

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Waterdampspanning



43

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Maximale dampspanning

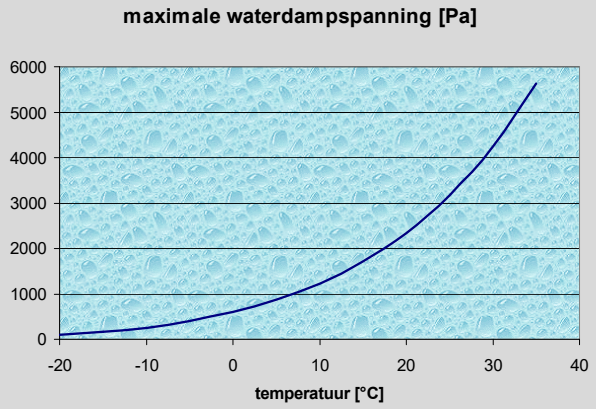
Maximale waterdampspanning en waterdampconcentratie

T (°C)	p_{max} (Pa)	c_{max} (g/m³)
35	5627	39,56
30	4245	30,34
25	3169	23,05
20	2340	17,28
15	1706	12,85
10	1229	9,40
5	872	6,83
0	611	4,84
−5	401	3,26
−10	260	2,15
−15	165	1,41
−20	103	0,90

44

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Maximale dampspanning



Wet van Dalton

B(arometerdruk) = ca. 10^5 Pa

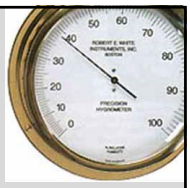
$B = p_{O2} + p_{N2} + p_{CO2} + p_{H20}$

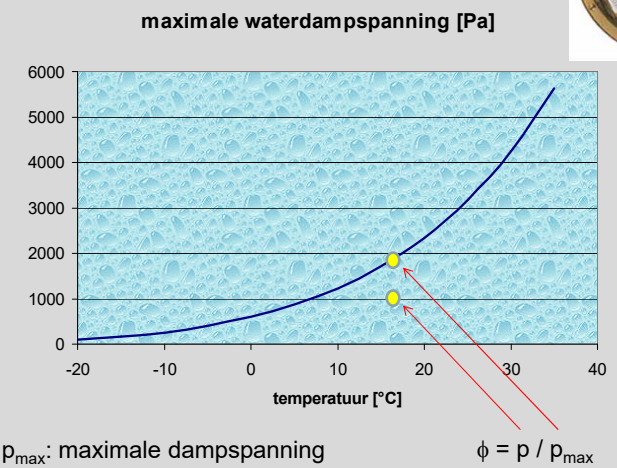
TU Delft
Technische Universiteit Delft

45

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Relatieve vochtigheid





p_{max}: maximale dampspanning
bij constante temperatuur geldt:
$\phi = c / c_{max}$

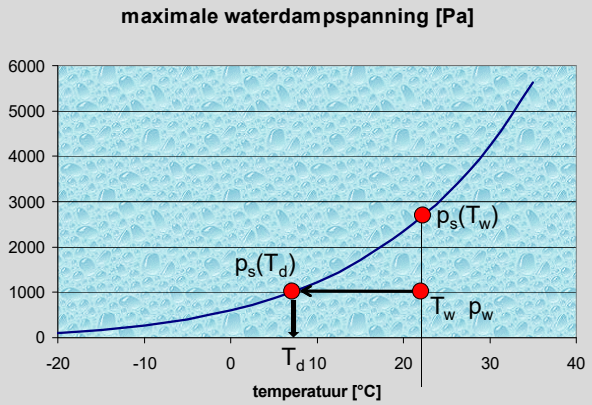
[r.v. ook uitgedrukt in %]

TU Delft
Technische Universiteit Delft

46

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Dauwpuntstemperatuur



TU Delft
Technische Universiteit Delft

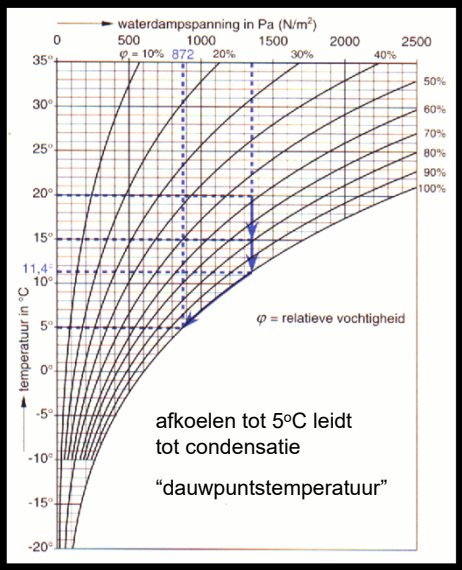
47

48

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies

Luchtvochtigheid

Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.



49

RAvB

Laboratorium Bouwfysica

6 sept. 2019

ventilatie en infiltratie
afvoer van vocht en andere stoffen

Kees van der Linden

50

Verse lucht

51

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Ventilatie / infiltratie

Ventilatie:
bewust binnengebrachte lucht

Infiltratie:
ongecontroleerd
Binnentredende lucht
door naden en kieren

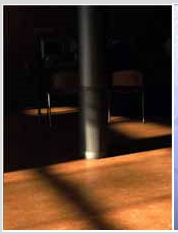
52

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Ventilatie

toevoer van verse lucht
afvoer van verontreinigingen
rol in warmtehuishouding

natuurlijke ventilatie
mechanische ventilatie



Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Afvoer van verontreinigingen

Mens: kooldioxide, geurstoffen

Roken: ca. 1500 stoffen

Gebouw: formaldehyde, radon, enz.

Proces: oplosmiddelen, ozon, enz.

Warmte: in- en externe belastingen

Waterdamp: personen, koken, enz.

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Ventilatievoud

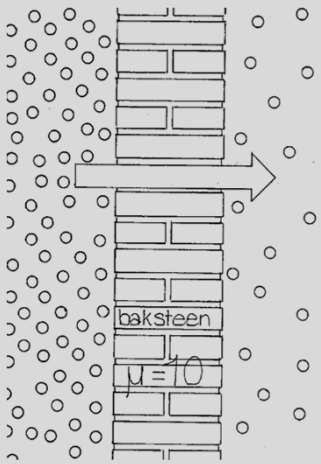
$$n\ (1/\mathrm{h}) = \frac{\text{Volumestroom toevoer verse lucht } (\mathrm{m}^3/h)}{\text{Volume ruimte } (\mathrm{m}^3)}$$

aantal malen per uur dat de luchtinhoud van het vertrek wordt ververst

55

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Damptransport door constructies



$\Delta c = 5\ \mathrm{g/m^3}$

$\Delta p = 675\ \mathrm{Pa}$

vochtstroom

$g = 0{,}5\ \mathrm{g/m^2.h}$
ofwel 2 kg in 6 mnd

$g = \Delta p / 5{,}3.10^9.(\mu.d)$

56

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen

Inwendige cond.

Bouwfysische beoordeling constr.

Dampdiffusie vs ventilatie

ventilatie 100 m^3/h
voert ca. 0,250 kg/h waterdamp af

dampdiffusie door 30 m^2 metselwerk
voert ca. 0,015 kg/h waterdamp af

Basis Bouwfysica

20 september 2019

Temperatuurverloop in constructies

Oppervlakte condensatie

Koudebruggen

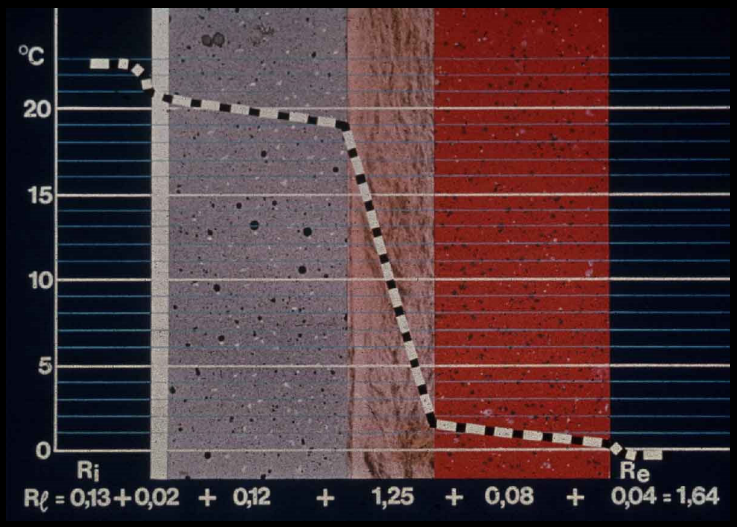
Normen thermische isolatie van gebouwen

Kees van der Linden

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik

Temp. verloop in constructies

Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.



59

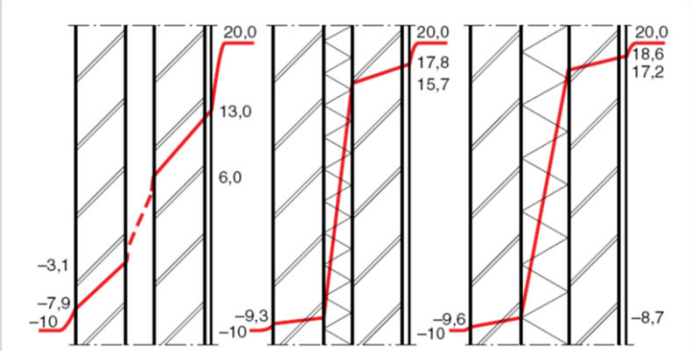
59

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik

Temp. verloop in constructies

Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Temperatuurverloop in constructies



R_ℓ =	0,56	1,64	2,85 m².K/W
U	1,8	0,6	0,35 W/m².K
q	53,6	18,3	10,5 W/m²

60

Basis Bouwfysica Kees van der Linden / Klimapedia 2017

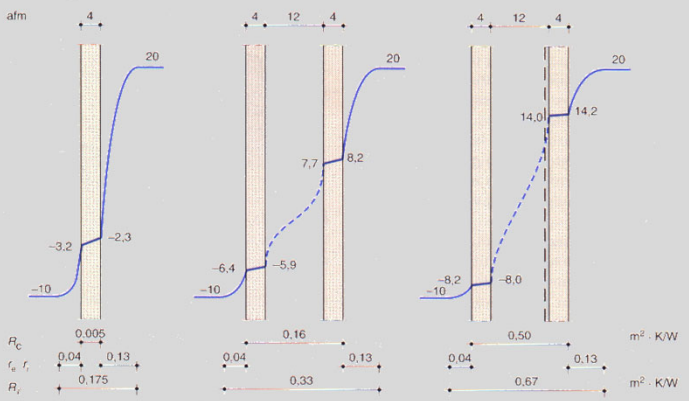
60

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik

Temp. verloop in constructies

Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Temperatuurverloop in glasconstructies

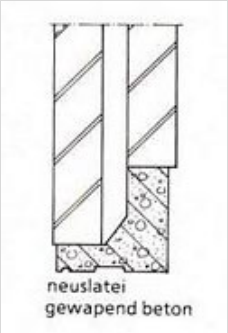


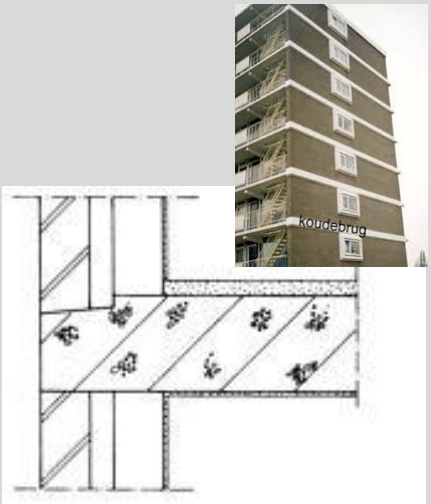
U	5,7	3,0	1,5	W/m².K
q	170	90	45	W/m²

61

61

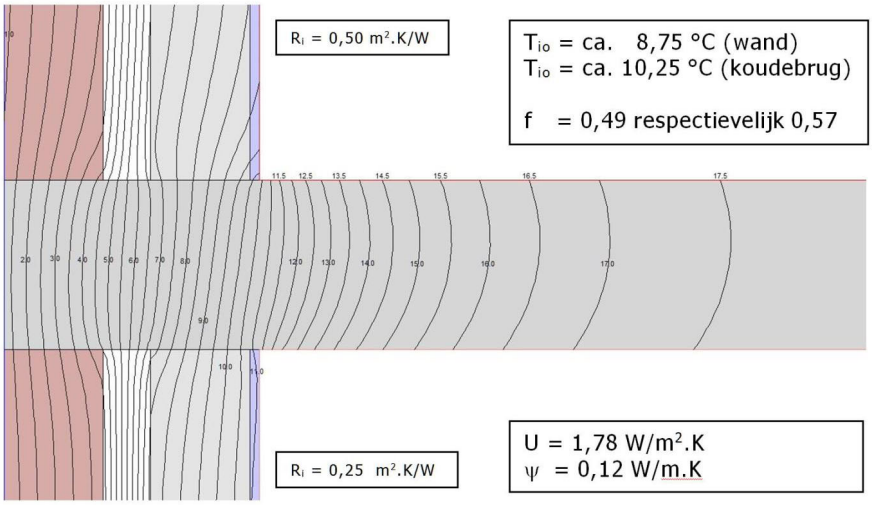
Koudebruggen





62

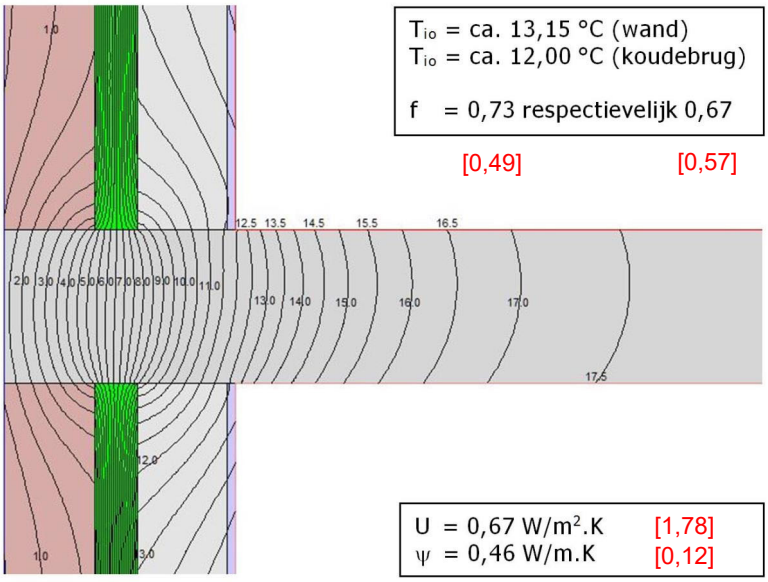
Ongeïsoleerde spouwmuur met betonnenvloerrand (Te = 0 °C; Ti = 18 °C)



63

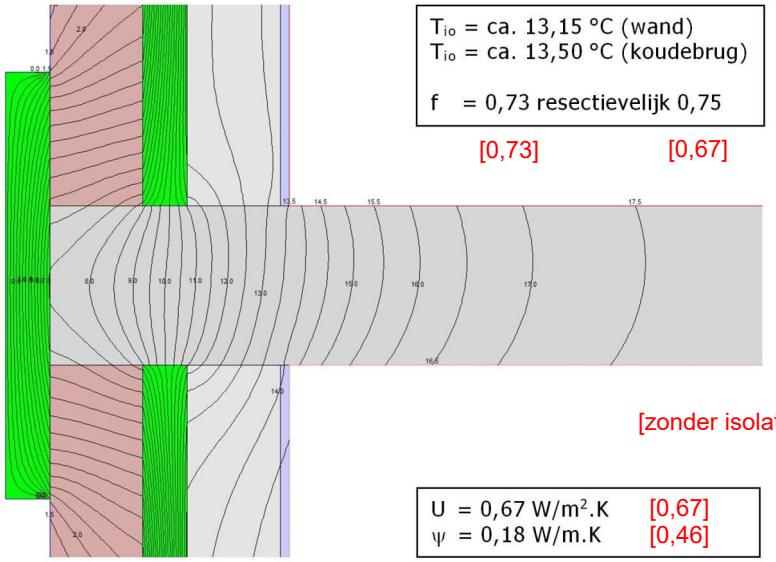
Na-geïsoleerde spouwmuur met betonnen vloerrand (Te = 0 °C; Ti = 18 °C)

[ongeisoleerd]



64

Na-geïsoleerde muur/vloerrand met extra isolatie (Te = 0 °C; Ti = 18 °C)



T_{io} = ca. 13,15 °C (wand) [13,15]
T_{io} = ca. 13,50 °C (koudebrug) [12,00]

f = 0,73 resectievelijk 0,75
[0,73] [0,67]

[zonder isolatiestrook]

U = 0,67 W/m².K [0,67]
ψ = 0,18 W/m.K [0,46]

65

66

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie

Koudebruggen

Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Condens op vacuumbeglazing

koudebruggen

67

Basis Bouwfysica Kees van der Linden / Klimapedia 2017

67

Koudebruggen
door ontbreken en uitzakken van isolatie

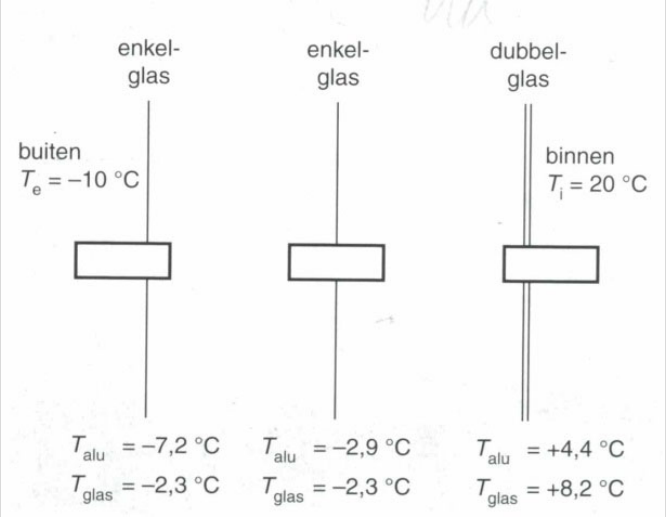
boven de kozijnen ontbreekt de isolatie en zijn betonnen neuslateien aanwezig

Basis Bouwfysica Kees van der Linden / Klimapedia 2017

68

Geometrie en koudebruggen

(profiel bekijken per m lengte)



Balans: $Q = A_i \cdot \alpha_i \cdot (T_i - T_{profiel}) = A_e \cdot \alpha_e \cdot (T_{profiel} - T_e)$ [W/m]

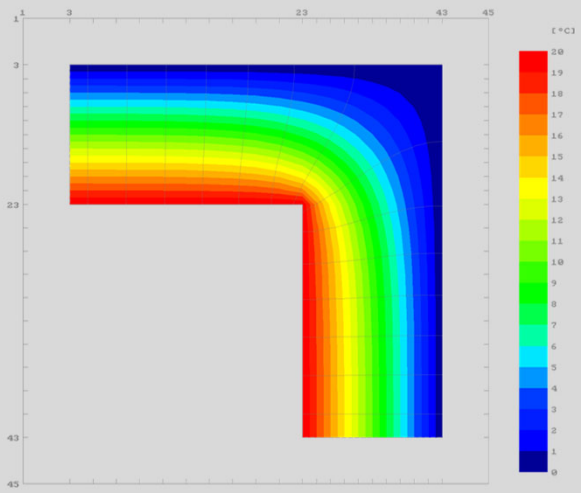
69

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie

Koudebruggen

Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

2D-koudebrugberekening



Geometrische koudebrug

70

Basis Bouwfysica | Kees van der Linden / Klimapedia | 2017

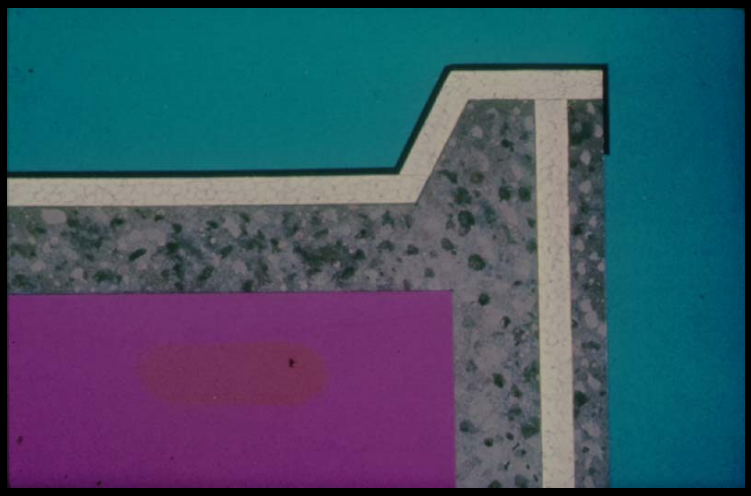
70

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie

Koudebruggen

Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Voorkomen van koudebruggen



Ononderbroken doorzetten van de isolatie

71

71

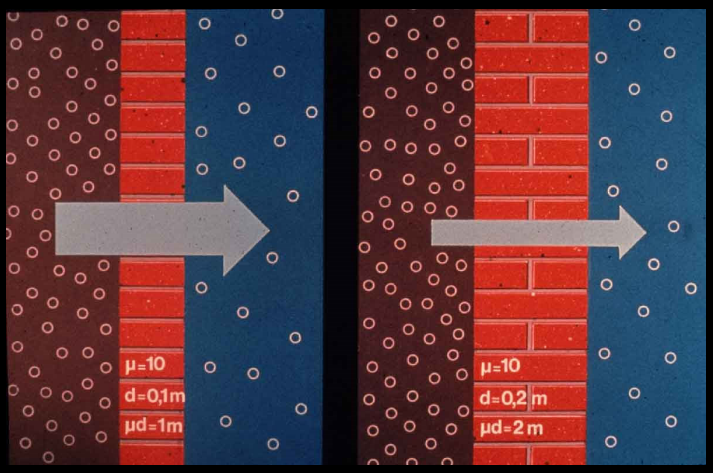
Beperken of voorkomen van inwendige condensatie

72

72

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

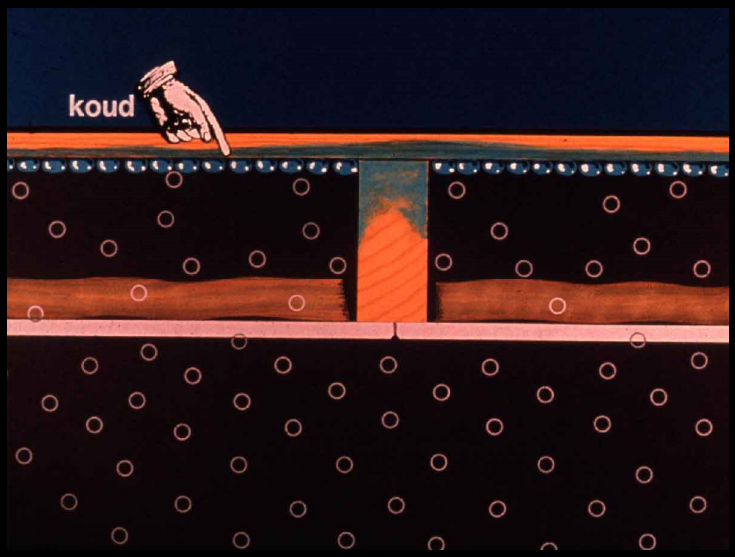
Dampdiffusieweerstand van een laag materiaal



73

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. condensatie
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

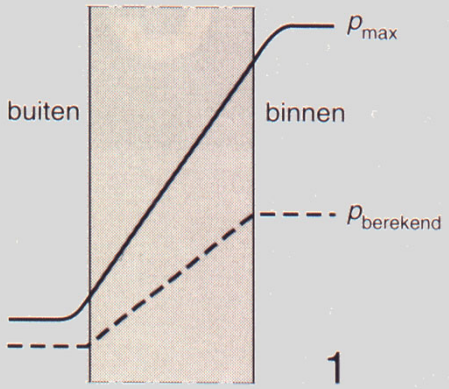
fout



74

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

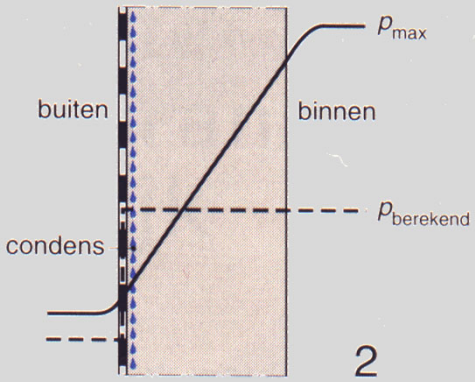
Invloed plaats dampremmende laag



75

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

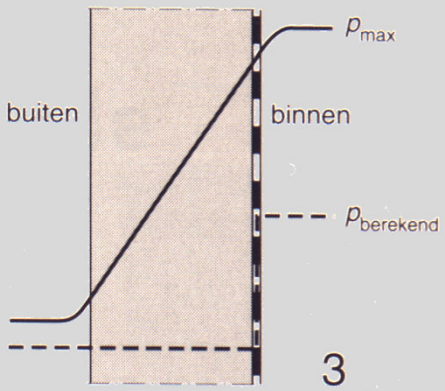
Invloed plaats dampremmende laag



76

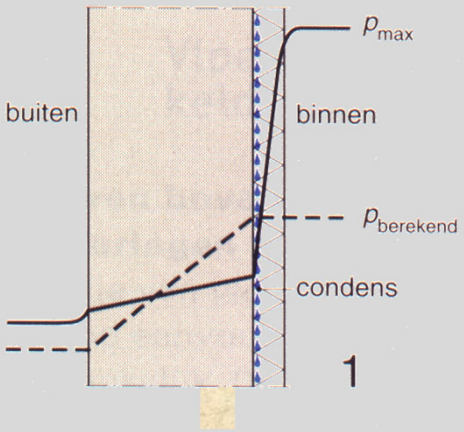
Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Invloed plaats dampremmende laag



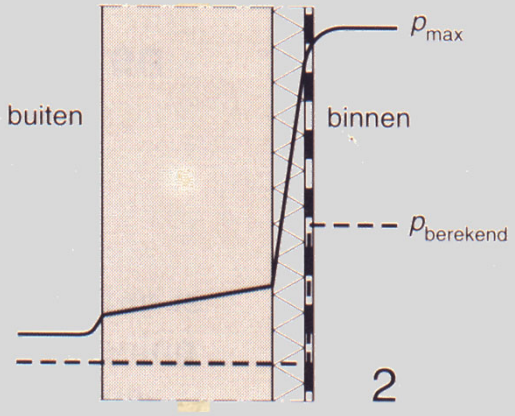
Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Invloed plaats thermische isolatie

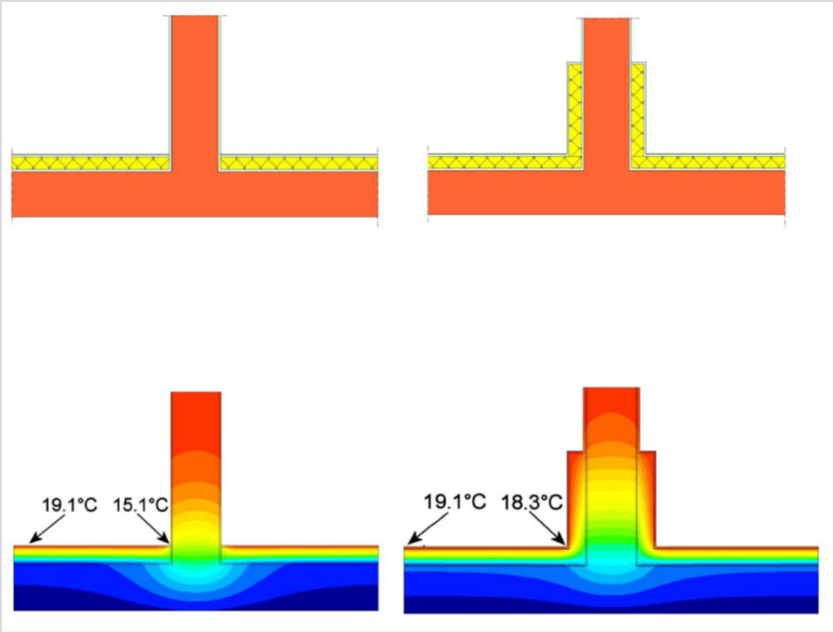


Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Invloed plaats thermische isolatie



Binnenisolatie van buitenmuren



Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen

Inwendige cond.

Bouwfysische beoordeling constr.

81

Basis Bouwfysica Kees van der Linden / Klimapedia 2017

81

Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen

Inwendige cond.

Bouwfysische beoordeling constr.

Dampremmende laag

82

Basis Bouwfysica Kees van der Linden / Klimapedia 2017

82

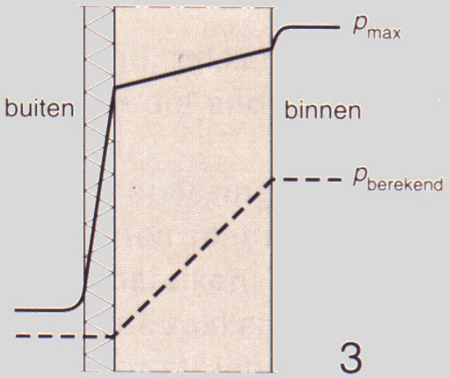
Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

83

83

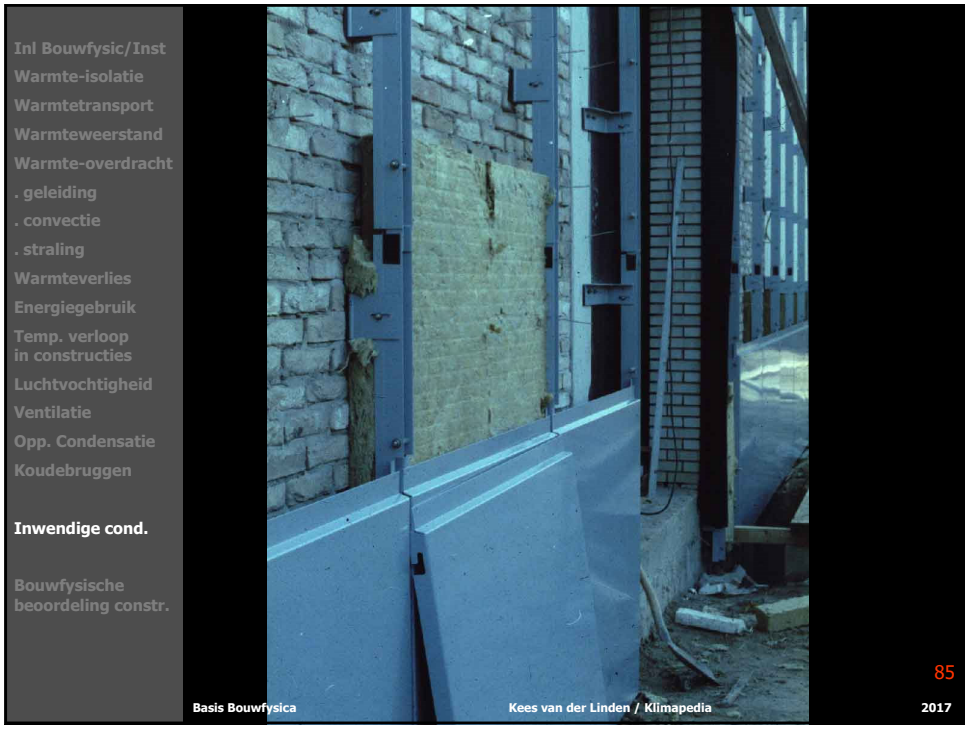
Inl Bouwfysic/Inst
Warmte-isolatie
Warmtetransport
Warmteweerstand
Warmte-overdracht
. geleiding
. convectie
. straling
Warmteverlies
Energiegebruik
Temp. verloop in constructies
Luchtvochtigheid
Ventilatie
Opp. Condensatie
Koudebruggen
Inwendige cond.
Bouwfysische beoordeling constr.

Invloed plaats thermische isolatie



84

84



85

Meer informatie

1 Energiebesparing en binnenklimaat
2 Waar isoleren en hoe zwaar
3 Condensatie en schimmelvorming
4 Binnenisolatie buitenmuren

https://klimapedia.nl/publicaties-readers-vintage/

Milieu centraal: https://www.milieucentraal.nl/

Kees (ir. A.C.) van der Linden
AaCee Bouwen en Milieu
kees@aacee.nl

86