

**denc! studio**  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

### Geïntegreerde aanpak

Luchtdicht bouwen is meer dan voegen afkleven of kisten. Een luchtdicht gebouw is het resultaat van een doordachte strategie, consequent doorgevoerd doorheen het volledige bouwtraject

- kennen van belang en impact;
- realistisch ambitieniveau infiltratievoud  $n_{50}$  vastleggen;
- luchtdicht bouwen is in de eerste plaats luchtdicht ontwerpen (ontwerpeuzen zijn de meest doelmatige ingrepen!):
  - bescherm d volume – compactheid;
  - kritische punten vermijden;
  - luchtdichtheid  $n_{50}$  vastleggen;
  - tot op detailniveau ontwerpen/tekenen;
- voorschrijven:
  - bindende afspraken (~details, lastenboeken, contracten);
- overleg in bouwteam:
  - met betrokkenen en ook in eerste opzicht misschien 'niet'-rechtstreeks betrokkenen;
  - belang van luchtdichtheid aangeven;
- opvolging en oplevering:
  - tussentijdse controles (~ opgelet met gefaseerde werken);
  - kwantitatieve en kwalitatieve evaluatie/test (~ rapportering);
  - certificatie?

**denc! studio**  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

### Waarom luchtdicht bouwen? om ongecontroleerde in- en exfiltratie te beperken

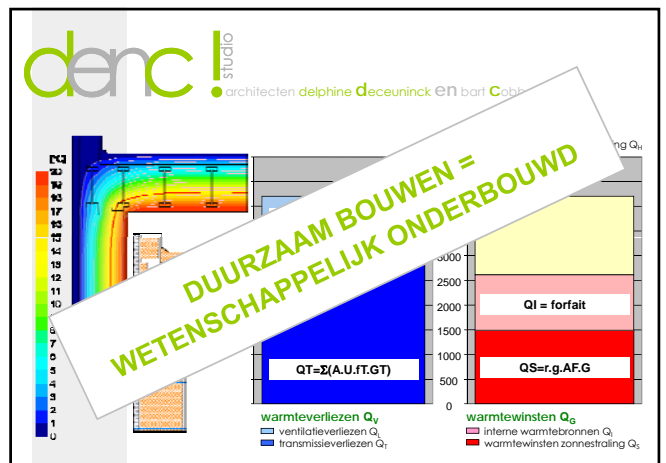
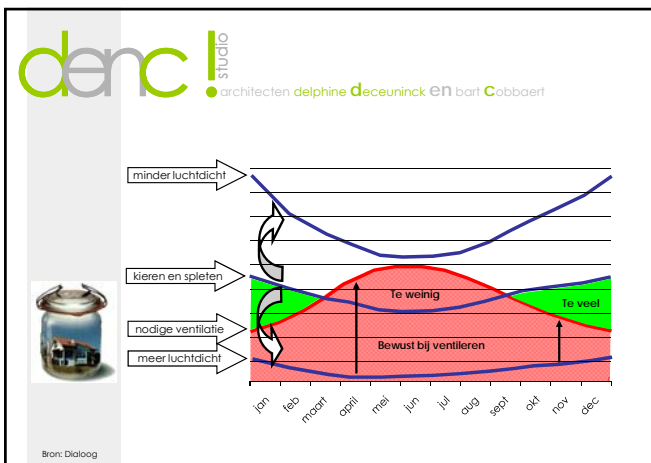
- ter besparing energieverbruik:
  - door weer/wind (~temperatuur/druk) afhankelijkheid kunnen hogere reële ventilatiedebieten leiden tot een verhoogd energieverbruik voor verwarming;
  - ongecontroleerde lekken verstoren thermisch rendement balansventilatie;
- comfort/gezondheids-problemen vermijden:
  - luchtkwaliteit
    - bv ongecontroleerde lekken verstoren beoogde ventilatiegebieden, wat kan resulteren in te geringe/"onevenwichtige" afvoer CO<sub>2</sub>/vocht/polluenten);
    - bv ongecontroleerde lekken kunnen latente/nevenstromen teweegbrengen (~polluenten fav de garage);
  - thermisch (bv tocht);
  - akoestisch (bv lekken rond ramen ~ verkeersgeluid);
  - geur (bv extern ~ ongecontroleerde infiltratie bezoedelde buitenlucht; bv intern ~ geur fav de garage);
- gebouwschade vermijden:
  - onzekere richting en ongecontroleerde in- en exfiltratie (~windeffect: instroom aan windzijde; temperatuureffect: instroom\_beneden/uitstroom\_boven) kan invandige en oppervlaktecondensatie veroorzaken;
  - afname brandweerstand wanden (~ rookdichtheid, convectief warmte transport);
  - afname U-waarde gebouwschil door windspoeling/latente\_stromen.

**denc! studio**  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

Thermische isolatie en luchtdichtheid

Gecontroleerde ventilatie

Vochttransport door wanden is onvoldoende om vocht en polluenten uit de woning af te voeren



**denc! STUDIO**  
 architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

### Infiltratievoud $n_{50}$

$n_{50} = V_{50}/V_{vol}$  [ $m^3/h$  per  $m^3 = h^{-1}$ ]  
 = aantal maal per uur dat het luchtvolume uit/in het gebouw lekt bij een drukverschil van 50Pa  
 = in/ex-filtratievoud (globale gebouw-eigenschap)

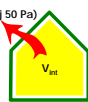
- "taux de renouvellement d'air", ACH: "Air Changes per Hour";
- # "luchtichtheid", # "ventilatievoud"

De waarde  $n_{50}$  laat toe:

- verschillende gebouwen te vergelijken
- de jaargemiddelde infiltratie te beoordelen =  $\frac{n_{50}}{10 \dots 20 \dots 30}$ 
  - sterk afgeschermd woningen: 30
  - sterk blootgestelde woningen: 10
  - gemiddeld: 20


Verbetering door:

- de kwaliteit van de luchtschil te verbeteren;
- betere (grotere) compactheid (o.a. groter bouwen; "eenvoudiger" vormelijkheid);
- groter nuttig intern volume (dunnere wanden).



**denc! STUDIO**  
 architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

### Gemiddelde luchtdichtheid



De Belgische norm NBN D50-001 stelt luchtdicht bouwen aan als wezenlijk onderdeel van een correcte ventilatiestrategie en de nakende energieprestatiereggeving zou betreffende norm zelfs bekrachtigen als verplicht toepasbaar.

De NBN D 50-001 stelt evenwel geen specifieke eisen aan de luchtdichtheid van gebouwen, doch enkel richtlijnen inzake maximaal ventilatievoud bij drukverschil 50Pa bij:

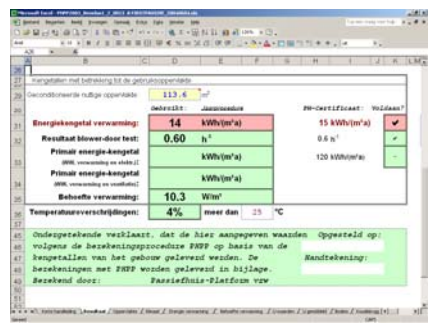
- mechanische ventilatie: 3 volumes/uur;
- warmterecuperatie: 1 volume/uur;

De vzw Passiefhuis-Platform stelt, in navolging van haar Duitse collega's, een luchtdichtheitsgraad  $n_{50}$  van 0.6  $h^{-1}$ .

Appartementen Gesloten bebouwing Half-open bebouwing Open bebouwing

Bron: Serviviv (P&V buitenvolume)

**denc! STUDIO**  
 architecten delphine deceuninck en bart cobbaert



Resultaat blower-door test: 0.60 h<sup>-1</sup>

Primair energie-gegetal: 14 kWh/(m<sup>2</sup>a)

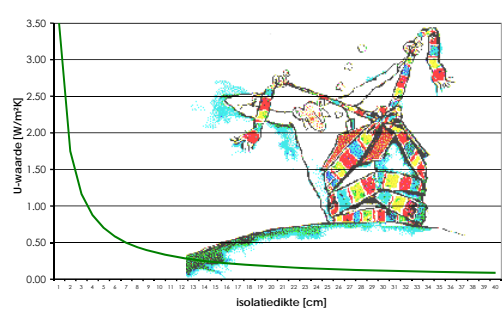
Primair energie-gegetal: 120 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Behoeftte verwarming: 10.3 W/m<sup>2</sup>

Temperatuursverschillen: 4% meer dan 25 °C

Opzetgebende verklart dat de hier aangegeven waarden Opgesteld op: volgens de berekeningsprocedures NZEP op basis van de berekeningen van het gebouw geleverd werden. De berekeningen met NZEP worden geleverd in bijlage. Bezoekend door: Passiefhuis-Platform vzw

**denc! STUDIO**  
 architecten delphine deceuninck en bart cobbaert



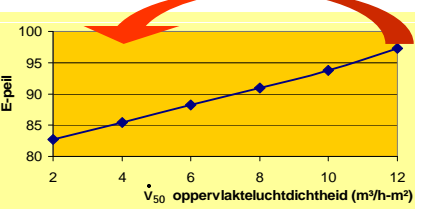
U-waarde (W/m<sup>2</sup>K)

Isolatedikte (cm)

**denc! STUDIO**  
 architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

### E-peil potentieel luchtdichtheid

E-peil potentieel luchtdichtheid : 12 - 15 %



E-peil

$V_{50}$  oppervakteluchtichtheid ( $m^3/h \cdot m^2$ )

**denc! STUDIO**  
 architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

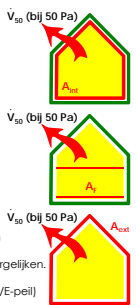
### Afgeleide kengetallen

interne schiloppervlakte  $A_i$  → permeabiliteit  $q_{50}$   
 $q_{50} = V_{50}/A_i$  [ $m^3/h$  per  $m^2$ ]  
 = oppervlakte-doorlaatbaarheid/permeabiliteit (tov interne schilopp)  
 = constructie-eigenschap [per m<sup>2</sup>]

netto vloeroppervlakte  $A_n$  → specifiek lekdebiët  $w_{50}$   
 $w_{50} = V_{50}/A_n$  [ $m^3/h$  per  $m^2$ ]

externe schiloppervlakte  $A_{ext}$  → luchtdoorlatendheid  $v_{50}$   
 $v_{50} = V_{50}/A_{ext}$  [ $m^3/h$  per  $m^2$ ]  
 = oppervlakte-doorlaatbaarheid/permeabiliteit (tov externe schilopp)  
 = constructie-eigenschap [per m<sup>2</sup>]

De waarde  $v_{50}$  laat toe verschillende constructieve oplossingen te vergelijken. Verbetering door: de kwaliteit van de luchtschil te verbeteren. Opgepast:  $A_{ext}$  is niet steeds gelijk aan  $A_i$  (warmteverliezend opp -K/E-peil)



**denc! studio**  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

### Rekenvoorbeeld

$V_{out}$  buitenvolume = 12m breedte x 8m lengte x 7m hoogte = 672m<sup>3</sup>  
wand/dak/vloer-dikte = 0.5m (vereenvoudigd)  
 $V_{in}$  binnenvolume = 11m breedte x 7m lengte x 6m hoogte = 462m<sup>3</sup> (vereenvoudigd; normaliter als-buitje te meten)  
 $A_{out}$  = (2\*12\*7)+(2\*8\*7)+(2\*12\*8) = 472m<sup>2</sup>  
 $A_{in}$  = (2\*11\*6)+(2\*7\*6)+(2\*11\*7) = 370m<sup>2</sup> (vereenvoudigd)  
ambitieniveau passief => infiltratievoud  $n_{50}$  = max 0.6h<sup>-1</sup>

**infiltratievoud  $n_{50}$  =  $\dot{V}_{50}/V_{in}$  [h<sup>-1</sup>] (globale gebouw-eigenschap)**  
max 0.6h<sup>-1</sup> =  $\dot{V}_{50}/462m^3$  => max  $\dot{V}_{50}$  = max 0.6h<sup>-1</sup> \* 462m<sup>3</sup> = max 277.2m<sup>3</sup>/h  
representatieve geveelopening bij fictieve volledig luchtdichte wanden?  
 $\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/s] = 0.6 \* A \*  $\sqrt{\Delta P}$  => A = (max 277.2m<sup>3</sup>/h : 3600s/h) : (0.6 \*  $\sqrt{50Pa}$ ) = max 0.0181m<sup>2</sup>

**oppervlakte-doorlaatbaarheid/permeabiliteit (tov interne schilpp)  $q_{50}$  =  $\dot{V}_{50}/A_{in}$  [m<sup>2</sup>/h per m<sup>2</sup>] (constructie-eigenschap)**  
 $q_{50}$  = max 277.2m<sup>3</sup>/h : 370m<sup>2</sup> = 0.75m<sup>3</sup>/h per m<sup>2</sup> (oppervlakte-gewogen-"maximum"-gemiddelde)

**oppervlakte-doorlaatbaarheid/permeabiliteit (tov externe schilpp)  $\dot{V}_{50}$  =  $\dot{V}_{50}/A_{out}$  [m<sup>3</sup>/h per m<sup>2</sup>] (constructie-eigenschap)**  
 $\dot{V}_{50}$  = max 277.2m<sup>3</sup>/h : 472m<sup>2</sup> = 0.59m<sup>3</sup>/h per m<sup>2</sup> (oppervlakte-gewogen-"maximum"-gemiddelde)

Bron: testresultaten KULeuven

**denc! studio**  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

type	toelichting/omstand		n of a	
	n	b-1	$\Delta P = 2 Pa$	$\Delta P = 50 Pa$
	kg/(m <sup>2</sup> ·s·Pa)	-	kg/(m <sup>2</sup> ·s)	kg/(m <sup>2</sup> ·s)
intercompartiment met dubbele opening	1.2 10 <sup>-2</sup>	-0.50	15.0	279.9
intercompartiment, type wanddik	7.8 10 <sup>-2</sup>	-0.40	49.0	109.5
intercompartiment	1.7 10 <sup>-2</sup>	-0.20	8.9	112.1
intercompartiment	8.4 10 <sup>-2</sup>	-0.14	26.0	214.2
<b>schilp</b>				
V/C-schilp, enkelzijdig gesloten	4.2 10 <sup>-2</sup>	-0.14	2.0	16.7
schilp, enkelzijdig open (1 d. niet)	2.2 10 <sup>-2</sup>	-0.40	15.0	100.4
gevoelende schilp	7.0 10 <sup>-2</sup>	-0.40	17.0	12.4
<b>schilp</b>				
schilp, 100% kg/m <sup>2</sup>	0.020kg/m <sup>2</sup>	0	0.7	61.5
schilp, 50% kg/m <sup>2</sup>	0.010kg/m <sup>2</sup>	0	2.9	49
schilp, 25% kg/m <sup>2</sup> , geen afvoer	4.0 10 <sup>-2</sup>	-0.40	1.9	12.1
schilp, 25% kg/m <sup>2</sup> , geen afvoer	5.4 10 <sup>-2</sup>	-0.40	2.4	13.4
schilp, 25% kg/m <sup>2</sup> , 2 aanpak	2.0 10 <sup>-2</sup>	-0.40	8.0	41.0
<b>schilp</b>				
schilp, 100% afvoer	4.1 10 <sup>-2</sup>	-0.12	2.0	17.4
schilp, met 1kg (20 mm) isolatie	7.6 10 <sup>-2</sup>	-0.17	6.5	29.8
schilp, met 2kg (40 mm) isolatie	3.1 10 <sup>-2</sup>	-0.19	0.16	2.2
schilp, met 3kg (60 mm) isolatie	2.0 10 <sup>-2</sup>	-0.19	1.7	12.4
schilp, met 4kg (80 mm) isolatie	2.0 10 <sup>-2</sup>	-0.40	13.0	61.7

Bron: testresultaten KULeuven

**denc! studio**  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

Wandtype	Oppervlaktepermeabiliteit $v_{50}$ (m <sup>3</sup> /h / m <sup>2</sup> / 50Pa)
Metselwerk - bepleisterd	1(1) - 1.8(2)
Metselwerk baksteen - onbepleisterd - ongeschilderd	3(1) - 3.5(2)
Metselwerk betonblokken - onbepleisterd - ongeschilderd	4(1)
Gegoten betonnen wanden	1.5(2)
Houtskeletwand met luchtscherm, gekleefd	0.8(2)
Houtskeletwand met luchtscherm, geniet	4(2)
Gipskartonplaat - voegen gepleisterd	1(1)
Gipskartonplaat - voegen niet gepleisterd	3 - 10 - 20 (1)
Sandwichpanelen - voeg afgewerkt	1.5(1)
Sandwichpanelen - voeg niet afgewerkt	3 - 10 - 20(1)
Planchetten met dampscherm - voegen gekleefd	1.5(1)
Planchetten - zonder dampscherm	3(1)

Bron: resultaten uit de praktijk: (1) SENVVV studie, (2) UGent-Nathan Van Den Bossche

The secret of great design integration:

# No Compromise!

- Design is *not* the art of compromise and tradeoff—how not to get what you want
- J. Baldwin: "Nature doesn't compromise; nature optimizes. A pelican is *not* a compromise between a seagull and a crow." It is the best possible pelican (so far)—and after a million years, that's a pretty good idea.

The need for compromise is generally a symptom of misstated design intent

**denc! studio**  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

Labels in diagram:  
- ruitbreken luchtscherm (bv bij lamellenplafond)  
- schouwdoorgang afdichting van de dakdoorgang  
- voegen rond het venster  
- aansluiting muur/dak  
- penetratie van ledingen  
- splitsen rond het zolderluik  
- aansluiting metselwerk /schijfwerk  
- splitsen rond de deur  
- aansluiting metselwerk /schijfwerk  
- stopcontacten  
- voegen ts muur/plafond  
- voegen ts muur/vloer  
- beweegbaar schijfwerk (vooral dubbele deuren)

Bron: WTCB

**denc! studio**  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

Labels in collage:  
- aansluiting metselwerk /schijfwerk  
- aansluiting metselwerk /schijfwerk

Bron: Servivv, Rockwool

denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**DUURZAAM BOUWEN ≠ BEPERKINGEN  
= NIEUWE UITDAGINGEN,  
AANKNOPINGSPUNTEN**

denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

• Wat is het nut van isolatie als de wind erdoor of eromheen kan blazen?  
**Effectieve werking isolatie**

• Trui + windjak nodig

denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**3 elementen tesamen!**

Isolatie  
Luchtdichtheid  
Ventilatie

Ventilatie - Isolatie

denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**Slim bouwen = compact bouwen**

De volumecompactheid [m³] van een gebouw, wordt gekenmerkt door het beschermd volume V [m³] en het warmteverliezend oppervlak A<sub>v</sub> [m²], in de verhouding V / A<sub>v</sub>.  
Vb referentiegebouw 10m x 10m x 3m ----- compactheid 300m³:320m²

compactheid 300m³:332m²      compactheid 300m³:344m²      compactheid 300m³:356m²

denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**Relatie met compactheid**

woningcompactheid C	n50 = 5	n50 = 3	n50 = 1	n50 = 0.6
0	0	0	0	0
1	~2.5	~1.5	~1.0	~0.6
2	~5.0	~3.0	~1.5	~0.6
3	~7.5	~4.5	~2.0	~0.6
4	~10.0	~6.0	~2.5	~0.6

Bij een compactere/groter gebouw is een geëiste n<sub>50</sub> waarde gemakkelijker haalbaar

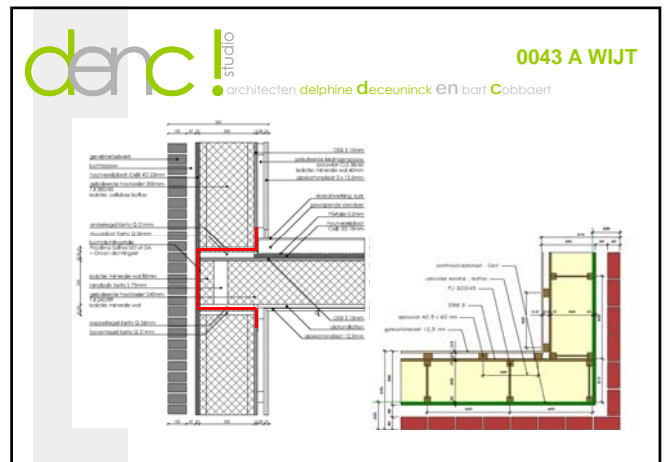
denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**Relatie n<sub>50</sub> - v̇<sub>50</sub>:  
vooral afhankelijk van compactheid**

v <sub>50</sub> (m³/h.m²)	n <sub>50</sub> VEA rijwoning	n <sub>50</sub> VEA vrijstaande woning
0	0	0
2	~1.5	~2.5
4	~3.0	~4.5
6	~4.5	~6.5
8	~6.0	~8.5
10	~7.5	~10.5
12	~9.0	~12.5



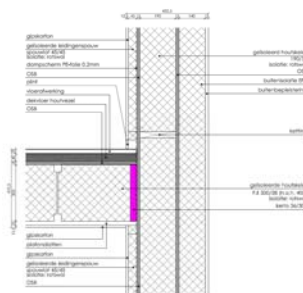
Een vrijstaande woning vereist voor éénzelfde infiltratievoud (n<sub>50</sub>), een betere kwaliteit (v̇<sub>50</sub>)

Bron: voorbeeldwoningen VEA



**denc!** studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**0149 A HAZELAAR**



**denc!** studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**0149 A HAZELAAR**



**denc!** studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**0149 A HAZELAAR**



**denc!** studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**0183 A WEYNGAERT**



**denc!** studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**0060 A PROECCIE**



**denc!** studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**0060 A PROECCIE**





denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**0216 A MULTICOMFORT**

denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**DUURZAAM BOUWEN = TOTAALANPAK ALLE NIVEAU'S**

denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**DUURZAAM BOUWEN = WERKEN MET MENSEN**

denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**Kwalitatieve en kwantitatieve evaluatie**

- kwalitatief (lekkens opsporen)
  - manueel (tocht voelen);
  - obv schade;
  - rookstaafjes-rookbron;
  - thermografie.
- kwantitatief (meten)
  - pressurisatiemeting (~blowerdoor);
  - tracergassen.

denc! studio  
architecten delphine deceuninck en bart cobbaert

**Ook hier waakzaamheid geboden:**

- enkel kwalitatief ~ aantonen van fouten of concentraties van lekken;
- temperatuurverschillen nodig;
- onderscheid warmtelekken-luchtlekken;
- interpretatie dynamische effecten.

Bron: ANVC

