

Energie besparen door luchtdicht bouwen

Iedereen weet dat een slecht aangedraaide dop van een thermosfles leidt tot afkoeling van de koffie die er in zit. Maar niet iedereen beseft dat hetzelfde gebeurt bij een goed geïsoleerde woning met kieren op een koude winterdag of opwarming van de binnenruimte op een warme zomerdag. Energiebesparende maatregelen hebben daarom alleen zin als er luchtdicht wordt gebouwd. Dat is dan ook de belangrijkste boodschap van de informatieve bijeenkomsten BouwLokalen over Luchtdicht bouwen die in maart en april 2014 weer door het hele land worden gehouden.



BouwTotaal is te gast bij de aftrap van de BouwLokalen reeks over Luchtdicht bouwen bij OBD-Bouwopleidingen in Doetinchem. Talrijke andere plaatsen in Nederland zullen nog volgen. BouwLokalen is in 2002 op initiatief van Bouwend Nederland

en SBRCURnet ontstaan. Met praktijkgerichte presentaties wordt ingegaan op vernieuwingen en kansen in de bouw. 'Wat houdt luchtdicht bouwen in?', opent ing. Gerton Starink van Nieman Raadgevende Ingenieurs. 'Luchtdicht bouwen is



SBRCURnet heeft een handige publicatie over luchtdicht bouwen uitgebracht: 'Luchtdicht bouwen Theorie – ontwerp – praktijk'; het enige handboek over luchtdicht bouwen in Nederland.

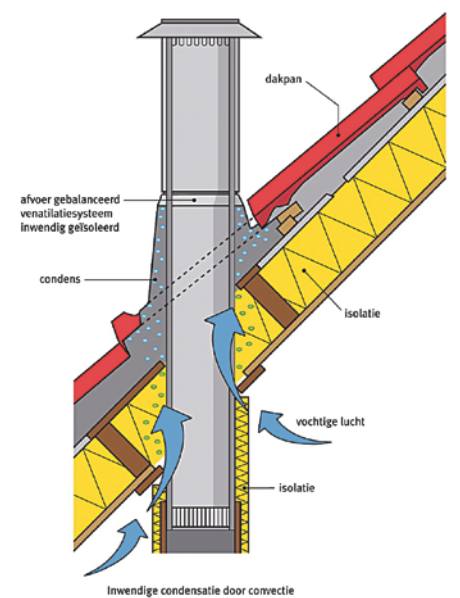
het minimaliseren van de openingen in de gebouwschil en het voorkomen van ongewenste infiltratie. Er moet echter wel geventileerd worden! Anders ontstaat er een ongezond binnenklimaat. Hoe luchtdichter je bouwt, hoe belangrijker de ventilatie wordt.'

Waarom luchtdicht bouwen?

Er zijn volgens Starink diverse redenen om luchtdicht te bouwen. 'In de eerste plaats natuurlijk om het energiegebruik te verminderen. Daarnaast verbetert het binnencomfort door het verminderen van tocht.' Er zijn ook bouw fysieke redenen, leren we: verbetering van de waterdichtheid, voorkomen van vochtproblemen, vergroting van de geluidwering en betere hygiëne. Daarnaast verhoogt de brandveiligheid door het voorkomen van branddoorslag

bij wanden die een scheiding vormen tussen brandcompartimenten. Starink: 'Vooral bij leidingdoorvoeren gaat het nog wel eens mis.'

Vochtproblemen worden volgens Starink voorkomen doordat een luchtdichte afwerking voorkomt dat relatief warme vochtige lucht uit de binnenruimten (bijvoorbeeld veroorzaakt door mensen, koken, wassen,



enzovoort) in de buitenconstructie dringt en aldaar tegen koude oppervlakken condenseert. Mogelijke gevolgen zijn rotting, schimmels en een afnemende isolatiewaarde. 'Een luchtdichte afwerking moet daarom altijd aan de 'warme' kant van de constructie worden aangebracht. Dat is dus meestal de binnenzijde.'

Regelgeving en eisen

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de luchtdichtheid van woningen. 'Maar als je aan die eisen voldoet, dan hoef je niet trots te zijn. Dat zijn echt minimum eisen. Qua luchtdichtheid heb je dan toch nog een slecht product. Probeer dan ook boven die eisen uit te komen. Dat kan door bijvoorbeeld uit te gaan van bijvoorbeeld het 'Handboek bouw fysieke kwaliteit voor kantoren' en voor woningen de eisen voor passiefhuisbouw. Maar er zijn ook voorschriften van branches, NEN-normen en beoordelingsrichtlijnen die je kunt gebruiken voor het stellen van hogere eisen in een bestek.'



ing. Gerton Starink van Nieman Raadgevende Ingenieurs: 'Benoem in een vroeg stadium het ambitieniveau ten aanzien van energiezuinigheid en luchtdichtheid; ontwerp een robuust energieconcept. De aandacht moet vooral uitgaan naar de relatief grote luchtlekken.'

Luchtdichtheidsklassen

Klasse	Woningvolume in m ³		Maximale q _{v10}	q _{v10} /m ²
	groter dan	tot en met	[dm ³ /s]	dm ³ /s.m ²
Klasse 1 Basis	-	250	100	1,0
	250	500	150	1,0
	500	-	200	1,0
Klasse 2 Goed	-	250	50	0,6
	250	-	80	0,4
Klasse 3 Uitstekend	-	250	15	0,151
	250	-	30	0,151

1) In plaats van een q_{v10} per m² vloeroppervlak kan in het geval van het Passief Bouwen concept beter gesproken worden over een maximaal infiltratievoud per uur bij 50 Pascal; n50 ≤ 0,6 h⁻¹

Maatregelen klasse 1

In alle details moeten één of meer luchtdichtingen worden aangegeven. De correcte plaats van de luchtdichting is per aansluiting verschillend. Goede voorbeelden zijn de SBR-Referentiedetails. De uitgangspunten voor de plaats van de luchtdichting zijn:

- Geef de luchtdichting in een aanslag aan.
 - Geef de luchtdichting in één vlak aan.
 - Geef de luchtdichting zover mogelijk naar binnen aan (binnenzijde isolatievlak).
- Verder is het van belang de materialen te benoemen in de details waarmee de luchtdichting wordt gerealiseerd. Houd daarbij rekening met de maximaal toelaatbare vervorming (MTV)

Maatregelen klasse 2 (aanvullend t.o.v. klasse 1).

- Goed knevelende 2- en 3-puntssluitingen.
 - Manchetten (of pasta-achtige dichtingen) ter plaatse van de dak- en geveldoorvoeren.
 - Nastelbaar hang- en sluitwerk.
 - Waar mogelijk luchtdichtingen prefabriceren.
- Op de bouwplaats zijn verder nodig:
- Specifieke instructies met betrekking tot het aanbrengen van afdichtingen voor de bouwplaatsmedewerkers.
 - (Extra) kwaliteitscontrole op de bouwplaats.
 - Gerichtte controle (met een opblaasproef) kort voor de oplevering van de eerste woningen.

Maatregelen klasse 3

- Eenzijdige afgeschuinde haakschoten H&S-werk.
- Eventueel zelfsluitende sluitkommen.
- Ga voor zekerheid; probeer risico's op luchtlekken te verkleinen. Controleer detail voor detail.
- Waar mogelijk de naden/kieren afplakken (meerdere dichtingen zijn mogelijk).
- Dubbele rondgaande luchtdichtingen in de draaiende delen en bij beglazing (of gelijkwaardigheidsverklaring).
- Scharnieren waarbij de binnendichting niet wordt doorbroken.
- Kabel- en leidingdoorvoeren (buitenlichtpunten en buitenkranen): prefab manchetten gebruiken, afplakken en bij elektriciteitspijpen ook in de pijp afkitten.
- Overlappen en aansluitingen van de dampremmende laag (folie) afplakken.
- Geen doorbrekingen dampremmende folie, gebruik zonodig een voorzetwand voor de elektra- en waterleidingen.
- Gerichtte controle van de aangebrachte luchtdichtingen en controlemetingen (eventueel in combinatie met infraroodmetingen)

We ontkomen niet aan een stuk theorie rond de eisen die worden gesteld aan luchtdoorlatendheid. Die eisen kunnen we immers in bestekken aantreffen en daar moeten we dan wel aan voldoen! Met de luchtdoorlatendheid (aangeduid met q_{v10}-waarde) wordt bedoeld 'de luchtvolumestroom (qv) die ontstaat door de kieren en naden die zich tussen de verschillende bouwdelen in de thermische schil van een gebouw bevinden, bij een drukverschil van 10 Pascal' (uitgedrukt in dm³/s of m³/h). Met andere woorden: dit is de luchtverplaatsing tussen binnen en buiten die op een andere manier plaatsvindt dan door eventueel aanwezige ventilatieopeningen. 'Hoeveel 10 Pascal is? Nou, vergelijk het maar met een windkracht 2 à 3 Bft', aldus Starink.

Welke eisen stelt nu Bouwbesluit 2012? Hierin staat op een drietal plaatsen een voorschrift waarbij de luchtdoorlatendheid van een gebouw een rol speelt. Deze voorschriften zijn:

- artikel 5.4: luchtvolumestroom tussen verwarmd gebouw en buitenlucht;
- artikel 5.2: infiltratiestroom die noodzakelijk is voor de bepaling van de energieprestatie;

- artikel 3.21, lid 4: specifieke luchtvolumestroom tussen kruipruimte en gebouw.

In artikel 5.4 wordt de eis gesteld dat de hoeveelheid lucht die door de totale schil naar binnen of buiten treedt niet bij woningen groter mag zijn dan 200 dm³/s (liter/s) bij een drukverschil van 10 Pascal. Deze luchtvolumestroom wordt bepaald volgens NEN 2686 'Luchtdoorlatendheid van gebouwen – Meetmethode'. In NEN 2686 is te lezen dat de gemeten luchtvolumestroom die daarin aangeduid wordt als q_{v10;kar}, naar rato van de netto-inhoud gecorrigeerd moet worden als het gebouw binnen de bouwschil een netto-inhoud > 500 m³ heeft. Dit betekent dat:

- als de netto-inhoud ≤ 500 m³ is: q_{v10} = q_{v10;kar}; en
- als de netto-inhoud > 500 m³ is: q_{v10} = q_{v10;kar} × 500 m³ / netto-inhoud.

Bij een EPC-berekening (NEN 7120) volgens artikel 5.2 moet een q_{v10;kar}-waarde worden ingevuld: dat is diezelfde luchtvolumestroom, maar dan per vierkante meter

Het ontwerpen van een aansluiting

De ontwerper dient in de detaillering en de keuze van het dichtingsmateriaal rekening te houden met de volgende aspecten:

1. plaats van het dichtingsmateriaal in het aansluitdetail;
2. totale lengte van de aansluiting;
3. vormverandering van het bouwelement als gevolg van drogingskrimp;
4. maatvoeringskwaliteit (noodzakelijke toleranties);
5. keuze van het dichtingsmateriaal (maximaal toelaatbare vervorming, MTV) in relatie tot de gebouwdelen, rekening houdend met kruip, thermische bewegingen en optredende belastingen;
6. onderhoud.

1. Plaats van de dichting

De positie van de dichting is van zeer groot belang en dient dus door de ontwerper op een logische plaats te worden aangegeven. Enkele aanbevelingen:

- dichting zo dicht mogelijk aan het binnenoppervlak (warme zijde);
- hoe verder de dichting naar buiten komt hoe moeilijker deze in één vlak (met andere luchtdichtingen) is aan te sluiten en hoe eerder inwendige condensatie kan optreden;
- dichting bij voorkeur in een aanslag;
- comprimering in dezelfde richting als de bevestigingsrichting/bewegingsrichting;
- afdichting in één vlak, doorgaand/niet onderbroken;
- na plaatsing zo veel mogelijk controleerbaar.

2. Lengte aansluitingen

De luchtdoorlatendheid wordt bepaald door de aansluitingen. Wanneer er in een gebouw weinig aansluitingen aanwezig zijn, is het toelaatbaar dat de prestaties per strekkende meter van deze aansluitingen minder zijn, zodat nog steeds de gewenste luchtdoorlatendheid wordt gerealiseerd. Dus hoe meer strekkende meter potentieel lek, hoe groter het risico.

3. Drogings- en aanvangskrimp van bouwelementen

In de bouwmaterialen van een gebouw kan bij de oplevering zeer veel water aanwezig zijn. Dit water zal gaan verdampen, zodat de omvang van de materialen afneemt. Wanneer de betreffende naaddichting deze krimp niet kan verwerken, ontstaat er een scheur, en dus een luchtlek. Het is dus van belang om als ontwerper voldoende dilataties aan te geven en deze te vullen met voldoende flexibel materiaal.

4. Maatvoeringskwaliteit (toleranties)

De toleranties van de diverse bouwsystemen zijn zeer verschillend. In het algemeen kan worden gesteld dat de toleranties bij gietbouw en grote-elementenbouw (prefab betoncasco's) kleiner worden gekozen dan bij stapelbouw.

Indien de aannemer een maatvoeringsplan maakt, wordt het uitvoeringsproces nauwlettend gevolgd. De afwijkingen kunnen dan worden geregistreerd en geëvalueerd, en zo nodig wordt het proces bijgestuurd. Als de productiemethode bekend is, kunnen de toleranties daarop worden aangepast. De toleranties zijn van groot belang indien met bijvoorbeeld dichtingsbanden wordt gewerkt. Materialen zoals pur-schuim vullen de naad volledig en kunnen onregelmatigheden opvangen. De afmetingen van de dichtingsbanden moeten echter heel bewust worden gekozen, omdat het essentieel is dat de aansluiting over de gehele breedte volledig wordt gedicht (let onder andere op voldoende compressie van het band).

5. Kruip, thermische bewegingen en belastingen

Kruip is de vervorming van een (beton)constructie gedurende de eerste jaren dat deze constructie wordt belast. Door vloeren met een lichte toeg te stellen, wordt voorkomen dat het na een aantal jaren lijkt of de vloer doorhangt. Voor deze toeg wordt, voor een vloer van 6,0 meter overspanning, 15 tot 25 mm aangehouden. Afhankelijk van de werkmethode zakt na de stort, ten gevolge van kruip, de vloer ongeveer 2 tot 5 mm door.

Bij de afdichtingsmaterialen moet rekening worden gehouden met deze vervorming. Hetzelfde geldt voor de vervormingen door thermische bewegingen (door temperatuurverschillen ontstaat krimp en uitzetting) en bijvoorbeeld windbelastingen. Hoe groter de lengte van de aansluiting, hoe groter de mogelijke vervorming.

6. Onderhoud

Tijdens het gebruik van het gebouw kan de luchtdichtheid langzaam minder worden. Door bijvoorbeeld nastelbaar (of zelfstellend) hang- en sluitwerk te gebruiken kan dit proces gedeeltelijk tegengegaan worden. Onderhoud (nastellen H&S en reiniging en invetten rubbers) is dus noodzakelijk.

Naast de hiervoor genoemde eigenschappen zal ook met de onderstaande aspecten van de dichting en het bouwdeel rekening moeten worden gehouden:

- zetting;
- bereikbaarheid;
- oneffenheid/ruwheid/vlakheid;
- evenwijdigheid/verlopen van de voegvlakken;
- hechting;
- duurzaamheid.

Vervolg van pagina 9

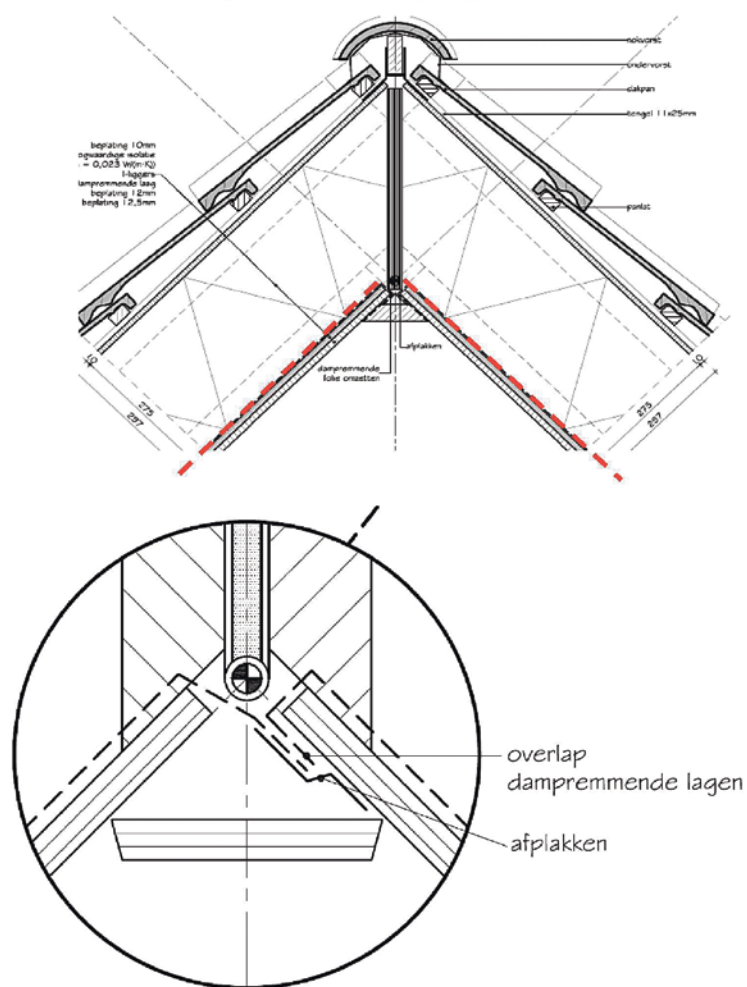
gebruiksoppervlak ($\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$). Starink: 'De waarde uit artikel 5.4 van het Bouwbesluit komt ongeveer overeen met een q_{v10} -waarde van 1,0-1,5 $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$. Dat staat voor een

q_{v10} -waarden zelfs nog lager dan 0,4 $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$. Er wordt dan gebruik gemaakt van een zogenoemde PHPP-berekening. In deze van oorsprong Duitse berekeningssystematiek wordt voor de luchtdichtheid niet gerekend met een q_{v10} , maar per m^2 gebui-

wuste ventilatie', zegt Starink. 'Wanneer we de thermische en windeffecten en de effecten van mechanische ventilatie bij elkaar optellen dan blijkt vooral de nok van het dak gevoelig voor onderdruk van buiten en overdruk van binnen: daar wil de binnenlucht dus naar buiten. Elders in de woning is er veelal sprake van overdruk van buiten en wil de buitenlucht naar binnen. Het is dus belangrijk om extra aandacht aan de luchtdichtheid van de nok te besteden, om te voorkomen dat warme, vochtige binnenlucht in de buitenconstructie condenseert.'

lekken. Denk aan de aansluitingen met de begane grondvloer en doorvoeringen door die vloer. Kritisch zijn ook de aansluitingen tussen kozijnen en gevels, de kierdichting van deuren (en soms ramen) en de aansluitingen van daken op gevels en bouwmuren. Daknokken, kilgoten, hoekkepers en aansluitingen rond dakkapellen zijn eveneens gevoelig voor kieren en naden. Datzelfde geldt voor dak- en geveldoorvoeringen en eigenlijk alle onderlinge aansluitingen tussen elementen. En dan hebben we tot slot nog de brievenbus-

Dichting zo ver mogelijk naar binnen



De afdichting van de nok vraag extra aandacht.

gat van circa 18 x 18 cm in een woning. Deze grote hoeveelheid lucht is ongewenst voor een energiezuinige woning of energiezuinig gebouw. Daarom worden in de EPC-berekening volgens artikel 5.2 lagere waarden gehanteerd. Voor energiezuini-

kersoppervlak, maar met een infiltratievoud bij een drukverschil van 50 pascal: de eis is $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$. Dat betekent dat bij een drukverschil van 50 Pascal er per uur niet meer dan 0,6 keer de inhoud mag in- en exfiltreren door kieren en naden. Omgere-

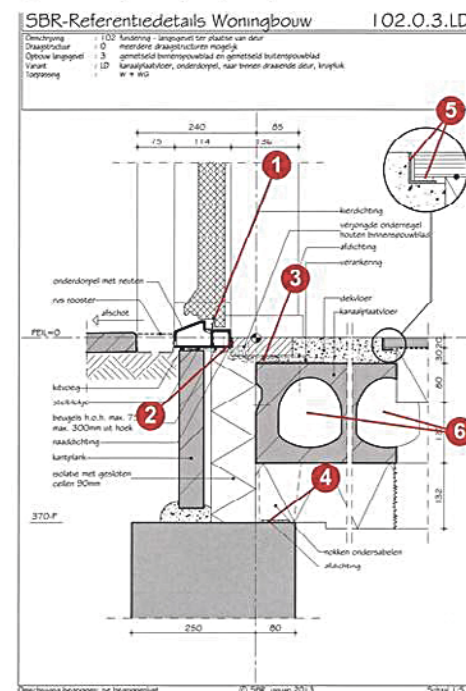
Luchtdichtheidsklassen

Starink toont de luchtdichtheidsklassen (zie tabel) die aan woningen gesteld kunnen worden. Klasse 1 (basis) staat voor 1,0 $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ en dat is overeenkomstig de eis uit het Bouwbesluit. Klasse 2 (goed) komt afhankelijk van de woninggrootte op 0,4 tot 0,6 $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$. Bij klasse 3 (uitstekend) komen we, ook weer afhankelijk van de woninggrootte, uit op 0,15 $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$. U weet nog wel: dat is dan ongeveer het niveau voor Passief Bouwen.

Volgens Starink moet er bij gebruik van een droge stapelbouwmethode, zoals kalkzandsteen, vanaf klasse 2 extra gelet worden op de luchtdichtheid: 'Er moet goed vol en zat verlijmd worden, omdat je anders weer luchtlekken krijgt. Het beste is stucwerk aan de binnenzijde, zodat de luchtdichtheid beter is gegarandeerd. Casco's van prefab beton, gietbouw en houtskeletbouw zijn van zichzelf al veel luchtdichter, mits er natuurlijk aandacht is voor de aansluitingen.'

Bij toepassing van klasse 3 is het volgens Starink gewenst om al tijdens de werkvoorbereiding de details nader onder de loep te nemen. Daarnaast moeten tijdens de gevel- en daksluiting controles op de bouw worden uitgevoerd. Ook worden er na afloop metingen gedaan zoals een blowerdoortest en thermografische metingen. 'Werken volgens klasse 3 vraagt al in de ontwerpfasen veel aandacht. Trek met het rode potlood alvast een denkbeeldige luchtdichte lijn langs de gehele warme kant van de constructie. Die rode lijn mag nergens worden onderbroken.'

Detail 1: SBR-Referentiedetail 102.0.3.LD; begane grondvloer (kanaalplaat), kruipruimte, voordeur



Figuur 4-12 SBR-Referentiedetail 102.0.3.LD; begane grondvloer (kanaalplaat), kruipruimte.

die moet je niet toepassen in de voordeur, want dan creëer je gelijk al een tochtgat. Kies dus voor een losse brievenbus aan de buitenzijde.'

Volgens Starink moet er ook kritisch worden gekeken naar de totale lengte van de aansluitingen en vormverandering van bouwelementen. 'Een cellenband van 10 mm dikte heeft geen zin als de naad uitzet tot 12 mm. En voor goed kitwerk is ook een minimale naaddikte nodig. Een te kleine naad is niet goed af te werken. Zorg verder voor de juiste keuze van het dichtingsmateriaal. Die keuze is niet eenvoudig, door het enorme aanbod aan profielen, dichtingsbanden, katten, pur-schuimen, tapes, folies, pasta's, sprays, coatings en manchetten. Daarnaast is een goede plaatsing en hechting van het dichtingsmateriaal van groot belang. Zorg voor een goede oppervlaktebehandeling en verwerking bij gunstige weersomstandigheden zodat de kleefkracht niet nadelig wordt beïnvloed. Houd ook rekening met kruip, thermische bewegingen en optredende belastingen.' 'Instrueer tijdens de uitvoering de medewerkers zorgvuldig over de bouwtechnische detaillering van het project. Controleer de luchtdichtheid tijdens de gevel- en daksluiting visueel en stuur waar nodig bij. Na de gevel- en daksluiting moet u met één of meer luchtdichtheidsmetingen het resultaat beoordelen. Laat de betrokken partijen meekijken tijdens de meting. Controleer de luchtdichtheid ook bij oplevering met één of meer luchtdichtheids- en/of infraroodmetingen, in combinatie met het opsporen van lekken met behulp van rook. Natuurlijk, al die inspanningen kosten extra geld, maar dat verdient je ruimschoots terug door een lagere energierekening en een comfortabele woning. Die besparing komt weliswaar niet in de portemonnee van de aannemer terecht, maar de woning is wel beter verhuurbaar of verkoopbaar. En bovendien dwingt luchtdicht bouwen tot het nadenken over details, waardoor de faalkosten afnemen.'

Aan dit artikel werkte mee: ing. G.A. Starink, adviseur en teamleider bij Nieman Raadgevende Ingenieurs in Zwolle.



De luchtdichtheid van dakdoorvoeren is vaak kritisch.

ge woningen wordt veelal gestuurd op een q_{v10} -waarde per m^2 verwarmd gebruiksoppervlak van 0,6, maar we gaan nu al richting 0,4 $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$. De specifieke lucht volumestroom tussen kruipruimte en gebouw volgens artikel 3.21 ligt zelfs op $q_{v1} \leq 0,02 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$.

'Bij woningen die worden ontworpen conform het Passief Bouwen concept zijn de

kend praat je dan ongeveer over 0,15 $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ (bij een standaard woning). En dat is potdicht kan ik u zeggen.'

Maar hoe ontstaat dan dat drukverschil tussen binnen en buiten? 'Drukverschillen ontstaan in de praktijk door wind, door thermiek - warme lucht is lichter dan koude lucht en stijgt daardoor - en door be-

Ontwerpuitgangspunten

Zoals al eerder aangegeven moet er tijdens de ontwerpfasen al goed worden nagedacht over de luchtdichtheid. Starink: 'Benoem in een vroeg stadium het ambitieniveau ten aanzien van energiezuinigheid en luchtdichtheid; ontwerp een robuust energieconcept. De aandacht moet vooral uitgaan naar de relatief grote lucht-