

Luchtdoorlatendheid van woningen (deel 2)

Het zogenaamde luchtdicht bouwen krijgt steeds meer aandacht. Er zijn in het verleden door het toenmalige SenterNovem in het kader van het E'novatie programma al veel luchtdichtheidsmetingen uitgevoerd. Na circa twee decennia zijn het nu steeds vaker de opdrachtgevende en uitvoerende partijen zelf die om de zogenaamde 'blower-door-tests' vragen om de luchtdoorlatendheid van gebouwen te testen. De 3TU.Bouw heeft financiering toegekend aan het onderzoeksvorstel 'Impenetrable Infiltration'; een onderzoek naar de stand van zaken van de luchtdoorlatendheid van Nederlandse woningen.

Dr.ir. A.G. (Bram) Entrop, vakgroep Bouw/Infra, Universiteit Twente; dr.ir. M.G.L.C. (Marcel) Loomans, Unit Building Physics and Services, Department of the Built Environment, Technische Universiteit Eindhoven; prof.dr.ir. J.L.M. (Jan) Hensen, Unit Building Physics and Services, Department of the Built Environment, Technische Universiteit Eindhoven

De Universiteit Twente en de Technische Universiteit Eindhoven hebben samen met het bouwbedrijf SelektHuis gewerkt aan de uitvoering van het onderzoek 'Impenetrable Infiltration'. Het onderzoek naar de luchtdoorlatendheid van woningen kent twee onderdelen, namelijk:

- uitvoeren van luchtdichtheidsmetingen op woningen om zo te bepalen tegen welke keuzemogelijkheden luchtdichtheidsmeters en uitvoerende bouwondernemingen aanlopen, die de te meten luchtvolumestroom beïnvloeden (A);
- bestuderen van rapportages van luchtdichtheidsmetingen op woningen uitgevoerd door luchtdichtheidsmeters om zo te bepalen of de maximaal toelaatbare luchtvolumestroom ten gevolge van infiltratie wel of niet wordt overschreden (B).

Dit tweede artikel gaat in op onderdeel B. Luchtdichtheidsmetingen vinden plaats door een 'blower-door-test' uit te voeren, waarbij

een gebouw systematisch op onder- en/of overdruk wordt gebracht. Door de luchtvolumestroom en de ontwikkeling in luchtdruk te meten wordt vervolgens de mate van luchtdoorlatendheid van een gebouw bepaald. Het project 'Impenetrable Infiltration' heeft als doel een database te ontwikkelen voor luchtdichtheidsrapporten, om daarmee de huidige status en de ontwikkelingen qua luchtdoorlatendheid van gebouwen te analyseren en te kunnen gaan volgen.

In 2014 zijn er oproepen aan opdrachtgevende en opdrachtnemende (in het laatste geval met name bouwfysische bureaus) partijen gedaan om luchtdichtheidsmeetrappen met daarin deze 'blower-door-tests' aan te leveren. Dit leidde tot een verzameling van meer dan 150 rapporten. In deze rapporten wordt de luchtdoorlatendheid bepaald van meer dan 300 woningen. Hoe deze rapporten zijn opgenomen in een database, hoe ze zijn geanalyseerd en wat de bevindingen zijn, wordt uit de doeken gedaan in dit artikel.

METHODE

Om de verkregen rapporten goed te kunnen analyseren, is er op basis van een normstudie een overzicht van onafhankelijke variabelen gemaakt. Aangezien NEN 7120 infiltratie definieert als 'lucht die ongecontroleerd van buiten door een uitwendige scheidingsconstructie naar binnen stroomt via o.a. naden en kieren' [1], kan worden verwacht dat zowel de kwaliteit als de omvang van de uitwendige scheidingsconstructie een grote rol spelen.

Normontwikkeling

Circa tien jaar geleden werd in de NEN 5128 in een informatieve bijlage een methode aangereikt om tot een indicatie van de luchtdoorlatendheid van een woning of woongebouw te komen [2]. De rekenregel voor deze indicatieve waarde $q_{v,10,ka,r,indic}$ kende als variabelen het bouwtype C_1 , het woningtype C_2 , de bouwkwaliteit C_3 en het verliesoppervlak $A_{verlies}$ in m^2 . Het bouwtype ging uit van een betonconstructie met geprefabriceerde

Kenmerken	Variabele	Omschrijving
Rapport	1. Datum meting	Het rapport wordt meestal op een latere dag opgemaakt. De (eerste) dag van meten is opgenomen in de database.
	2. Aanwezigheid foto's	Een rapport met foto's van de aanwezige luchtlekken kent een grotere meerwaarde dan een rapport zonder foto's.
	3. Aanwezigheid IR-foto's	Een rapport met infraroodfoto's van de aanwezige luchtlekken kent een grotere meerwaarde dan een rapport zonder deze foto's.
B. Woning	4. Bouwjaar woning	Het bouwjaar van de woning is opgenomen, zodat bij benadering kan worden herleid aan welke bouwregelgeving de woning zou moeten voldoen.
	5. Locatie woning	Om te kunnen bepalen of in bepaalde regio's meer of minder luchtdicht wordt gebouwd, is de locatie naar gemeente en provincie opgenomen.
	6. Type woning	Qua type woning zijn er de volgende keuzemogelijkheden: appartement, duplexwoning, hoekwoning, rijtjeswoning, twee onder één kap, vrijstaande woning of onbekend.
	7. Bouwwijze	Qua bouwwijze zijn er de volgende keuzemogelijkheden: prefab, bouwplaats, gecombineerd (50:50) of onbekend.
	8. Bouwmethode	Qua bouwmethode zijn er de volgende keuzemogelijkheden: beton, houtskeldebouw, metselwerk, staalbouw of onbekend.
	9. Dakconstructie	Qua dakconstructie zijn er de volgende keuzemogelijkheden: lessenaar, platdak, kap, gecombineerd of onbekend.
	10. Vloeroppervlak	Het vloeroppervlak wordt uitgedrukt in m ² en kan een waarde uit de EP-berekening zijn, door de luchtdichtheidsmeter zijn berekend, een waarde conform NEN 2580 of de methode kan onbekend zijn.
	11. Gebouvvolume	Het gebouvvolume in m ³ van het te bemeten object is genoteerd, ongeacht of het duidelijk een bruto- of netto volume betrof.
C. Meting	12. Moment opname	Naast de datum van de meting is ook het moment van opname opgenomen om onderscheid tussen een A of B-meting. De volgende keuzemogelijkheden zijn gehanteerd: tijdens bouw, rond oplevering, tijdens bewoning of moment onbekend.
	13. Gemeten totale lucht-volumestroom	De gemeten totale lucht volumestroom uitgedrukt in dm ³ /s is genoteerd.
	14. Gemeten specifieke lucht-doorlatendheid	De gemeten specifieke luchtdoorlatendheid uitgedrukt in dm ³ /s per m ² vloeroppervlak is genoteerd.
	15. Toelaatbare specifieke luchtdoorlatendheid	De toelaatbare infiltratie in dm ³ /s per m ² vloeroppervlak is genoteerd, meestal komt deze voort uit de EP-berekening. Het betreffen dus vaak waarden van 0,150, 0,400 of 0,625 dm ³ /s per m ² .
D. Overige	16. Opmerkingen	Tot slot is er ruimte om kanttekeningen te maken per item.

-Tabel 1- Overzicht van variabelen waarop is gelet bij de bestudering van de luchtdichtheidsrapportages

gevelelementen, houtskeldebouw of metselwerk. Het woningtype was afhankelijk van de dakconstructie in de vorm van kap of geen kap. De bouwkwaliteit werd ook uitgedrukt in drie gradaties, te weten 'zwak' voor wanneer er geen detaillering beschikbaar is, 'normaal' wanneer er wel volledige detaillering aanwezig is en 'goed' voor wanneer alle details met een afdichtingsspecificaties aanwezig en conform SBR-referentiedetails zijn. Deze norm uit 2004 stelt op basis van gegevens uit een TNO Bouw database, dat [2]:

- flatwoningen een typische $q_{v,10}$ -waarde hebben, die beter is dan 50 dm³/s;
- nieuwbouweengezinswoningen vervaardigd in serie gemakkelijk een $q_{v,10}$ -waarde konden bereiken die beter is dan 80 dm³/s;
- eengezinswoningen op dat moment met de nodige inzet in de ontwerp- en uitvoeringsfase een waarde lager dan 50 dm³/s konden halen.

Met de komst van het Energie Prestatie Advies Woningen in 2007 doet het type ventilatiesysteem zijn intrede als onafhankelijke variabele [3]. De opzet van de indicatieve bepalingmethode voor de luchtdoorlatendheid verandert aanzienlijk. Met een verwijzing naar het E'novatie-project uit de jaren '90, wordt er nu teruggegrepen op de aanwezigheid van aansluitingen tussen bouwdelen. De kwantiteit van deze aansluitingen wordt uitgedrukt in strekkende meters en vierkante centimeters. De kwaliteit van een aansluiting wordt gekarakteriseerd door middel van een zogenaamde c-waarde [3]. De door NEN 7120 aangewezen NEN 8088 liet in april 2011 de volumestroom door infiltratie nog afhangen van een correctiefactor voor de winddruk, de ventilatievoorziening, bouwtype, uitvoeringsvariant, bouw materiaal en het bouwjaar van het betreffende object [4]. Wanneer er in december 2011 echter een cor-

rectie beschikbaar komt, in de vorm van NEN 8088-1/C1, wordt het type bouw materiaal als onafhankelijke variabele losgelaten, terwijl de omvang van het bouwwerk, uitgedrukt in de lengte, breedte en hoogte van het object, bepalend wordt om tot de correctiefactor voor de winddruk te komen. Er wordt vanaf dan tevens een correctiefactor voor de winddrukverdeling en de thermiek rondom een gebouw meegenomen [5].

Hypotheses

De bestudeerde normen laten zien dat er impliciet een aantal hypothesen zijn met betrekking tot de relatie tussen de luchtdichtheid en kenmerken van een woning. De volgende hypothesen zijn te onderscheiden:

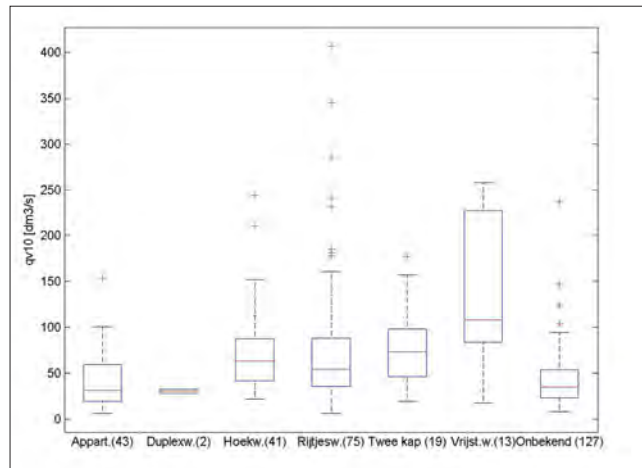
- grote woningen qua oppervlak dan wel volume hebben een lagere luchtdichtheid dan kleine woningen;
- nieuwbouwwoningen hebben een betere

- luchtdichtheid dan oudere woningen;
- vrijstaande woningen hebben een lagere luchtdichtheid dan rijtjeswoningen;
- prefab woningen hebben een betere luchtdichtheid dan volledig op de bouwplaats geconstrueerde woningen;
- houtskelbouwwoningen hebben een minder goede luchtdichtheid dan woningen uitgevoerd in metselwerk of beton.

In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de variabelen waarop – gezien de verkregen inzichten na bestudering van de normen, de opgestelde hypothesen en het contacteren van verschillende luchtdichtheidsmeters – is gelet bij de bestudering van de rapporten. Rekening houdend met de administratieve bepalingen die worden gesteld aan de rapportages inzake 'blower-door-tests', kan niet worden verwacht dat alle genoemde variabelen worden vermeld in een ontvangen rapportage.

Statistische analyse

Voor de statistische analyse van de resultaten is gebruik gemaakt van de database die op basis van de ontvangen rapporten is opgebouwd. Hierin zijn de belangrijkste woningkarakteristieken die in de rapporten zijn teruggevonden opgenomen en van een classificatie voorzien. Met de database is vervolgens geanalyseerd of, bijvoorbeeld de locatie, een specifieke bouwmethode of een bepaald type dakconstructie tot significant verschillende waarden in de gemeten luchtdoorlatendheid leiden. Voor de locatie zijn de provincies als volgt opgedeeld: Noord (Gr, Fr, Dr), Oost (Ov, Ut, Ge), West (N-H, Fl, Z-H, Ze), Zuid (N-B, Li). Gezien het uiteindelijke relatief kleine aantal gegevens is de analyse steeds beperkt gebleven tot een vergelijk tussen, bijvoorbeeld, de verschillende geïdentificeerde bouwmethodes onderling en zijn er geen combinaties van bijvoorbeeld bouwmethode en locatie geanalyseerd. Voor de analyse is gebruik gemaakt van Matlab [6]. Waarin voor het afleiden van de statistische significantie van het verschil van de luchtdoorlatendheid tussen twee variabelen, een one-way Anova variantieanalyse en, in geval van een niet-normale verdeling, een Kruskal-Wallis one-way Anova zijn toegepast. Een Lilliefors test is gehanteerd om te beoordelen in hoeverre sprake is van een normaalverdeling van de gemeten luchtdoorlatendheid voor de te onderzoeken variabele. Voor deze analyses is steeds de natuurlijk logaritme van de genoemde waarden gebruikt, omdat deze in een betere normaalverdeling resulteerde. Daarvoor zijn uitschieters in luchtdoorlatendheid verwijderd met een waarde die meer dan vijf keer de mediaan bedroeg. Een verschil in de gemeten luchtdoorlatend-



-Figuur 1- Boxplot luchtdoorlatendheid (dm³/s) woningen in relatie tot woningtype

heid tussen twee uitvoeringswijzen voor een woningkarakteristiek wordt statistisch significant verondersteld wanneer de p-waarde <0,05.

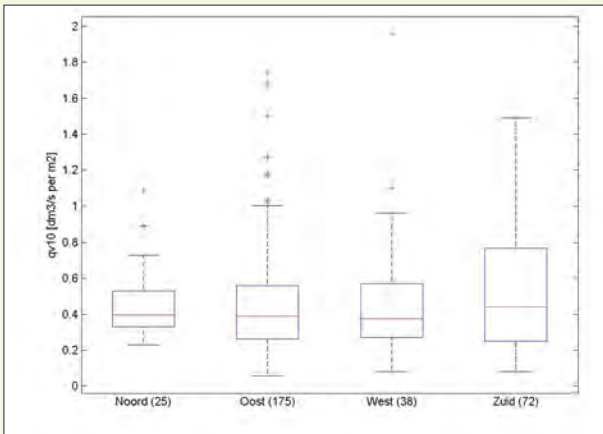
RESULTATEN

De collectie rapporten omvat luchtdoorlatendheidsmetingen van in totaal 320 woningen. De meting die het langst geleden is uitgevoerd, dateert van 5 juli 2011. De meest recente meting is van 14 november 2014. In bijna 87% van de rapporten zijn foto's aanwezig die luchtlekken tonen. In 10% van de rapporten zijn infraroodfoto's aanwezig. Wanneer de metingen 'an sich' worden bekeken, kan worden opgemerkt dat de gemeten luchtdoorlatendheid ligt tussen de 5,75 en 407,2 dm³/s per woning. Een onderverdeling van de luchtdoorlatendheid per woning naar woningtype en uitgedrukt in dm³/s is weergegeven in figuur 1. De laagste waarde past bij een woning uit 2013 van passiefhuisniveau met een vloeroppervlak van 103 m², terwijl de hoogste waarde is gekoppeld aan één van de rijtjeswoningen gebouwd in 1988 met een oppervlak van 80,8 m². Dit betekent dus een gemeten specifieke luchtdoorlatendheid van respectievelijk 0,056 en 5,041 dm³/s per m². De maximaal toelaatbare infiltratie varieert, aldus de rapporten, van 0,150 tot 0,625 dm³/s per m². In 4,1% van de gevallen werd een bovengrens van 0,150 dm³/s per m² gehanteerd. De waarde 0,400 dm³/s per m² kwam in 111 rapporten terug, oftewel 34,7%. De meer traditionele waarde van 0,625 dm³/s per m² werd in 23,4% van de rapporten genoemd. In vier rapporten is de PHPP-methode gehanteerd, waarbij er wordt gewerkt met een luchtdrukverschil van 50 Pa en een maximale infiltratievoud van 0,6/uur.

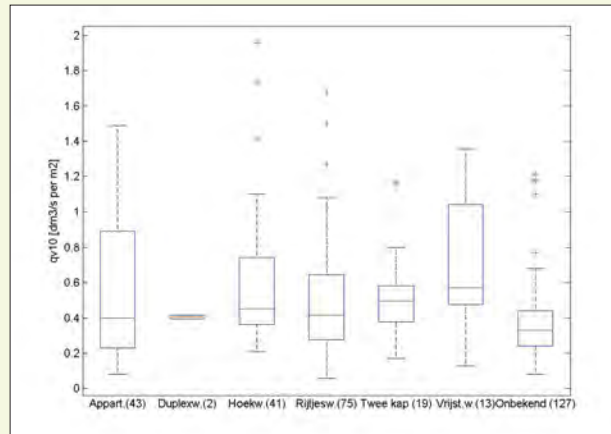
In relatie tot variabelen

De karakteristieken van de in de rapporten bemeaten woningen zijn, zoals is weergegeven in tabel 1, op basis van acht variabelen

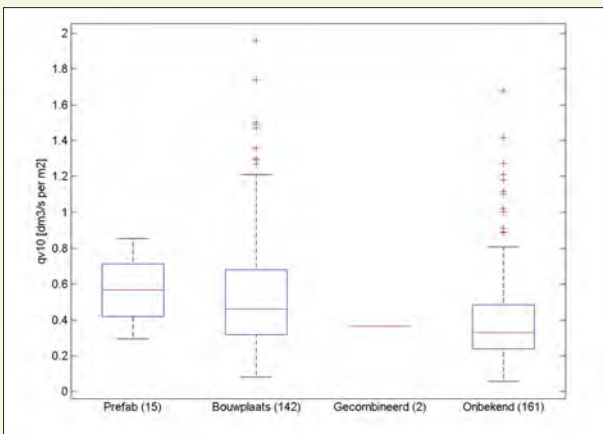
vastgelegd. Deze variabelen zullen nu worden behandeld, waar mogelijk met behulp van boxplots. De boxplots (zie figuren 2a t/m 2e) tonen de gemeten luchtdoorlatendheid voor de uitvoeringswijzen van de aangegeven woningkarakteristieken, zoals die in de database zijn onderscheiden. De centrale rode lijn is de mediaan en de boven- en onderzijde van de box geven de 25^{ste} en 75^{ste} percentiel. De uiteinden geven de extreme waarden aan (i.e. 2,7 maal de standaarddeviatie) van de geselecteerde data uit de dataset, die niet als uitschieter worden beschouwd. Tussen haakjes staat steeds het aantal meetresultaten vermeld dat beschikbaar is voor de analyse. **Bouwjaar:** met 56% is het merendeel van de woningen in 2014 gebouwd en opgeleverd. Zover het bouwjaar werd aangegeven in de rapporten, lijken de oudste woningen uit 1988 te stammen en de nieuwste uit 2014. **Locatie:** met eveneens zo'n 56% zijn de meeste woningen, waarvan een rapportage is ontvangen en de locatie kon worden vastgesteld, gesitueerd in het oosten van Nederland; dat wil zeggen in de provincies Utrecht, Overijssel en Gelderland. Het zuiden van het land, te weten de provincies Limburg en Noord-Brabant, is met 23% ook goed vertegenwoordigd. Figuur 2a geeft de locatie van de woningen weer. **Woningtype:** Wat betreft het woningtype is van circa 40% van de woningen niet bekend of het een appartement, vrijstaande, tweee- of één-kap, rijtjes- of hoekwoning is (zie figuur 2b). Er is wel vastgesteld dat 23% van de objecten rijtjeswoningen zijn. **Bouwwijze, bouwmethode en dakconstructie:** In veel gevallen was het moeilijk vast te stellen wat de toegepaste bouwwijze, bouwmethode en dakconstructie was. Deze zaken worden namelijk niet vaak expliciet in de rapporten vermeld, maar door de foto's te bestuderen konden een paar kenmerken voor een gedeelte van de woningen wel worden achterhaald, zoals is weergegeven in de figuren 2c, 2d en 2e.



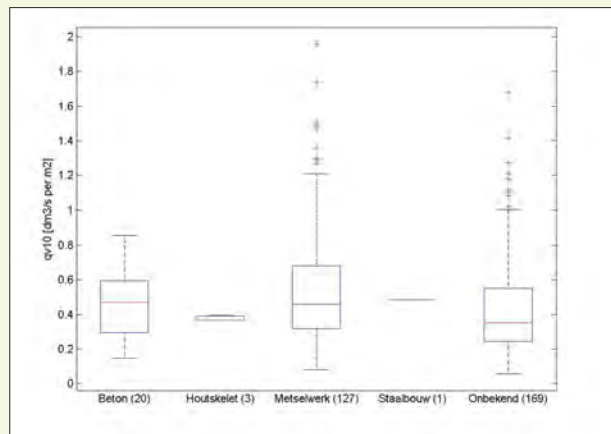
-Figuur 2a- Boxplot luchtdoorlatendheid (dm^3/s per m^2) woningen in relatie tot locatie (10 onbekend)



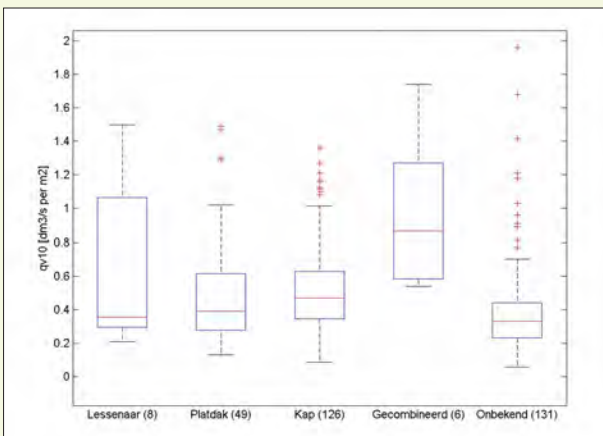
-Figuur 2b- Boxplot luchtdoorlatendheid (dm^3/s per m^2) woningen in relatie tot woningtype



-Figuur 2c- Boxplot luchtdoorlatendheid (dm^3/s per m^2) woningen in relatie tot bouwwijze



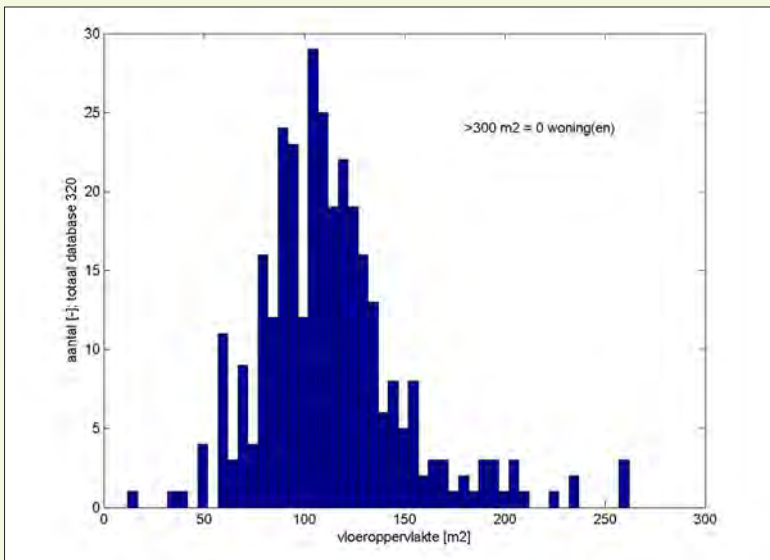
-Figuur 2d- Boxplot luchtdoorlatendheid (dm^3/s per m^2) woningen in relatie tot bouwmethode



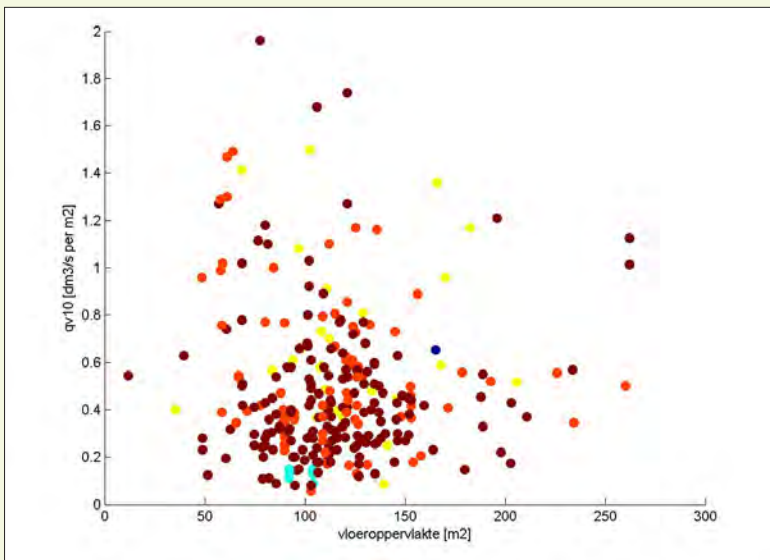
-Figuur 2e- Boxplot luchtdoorlatendheid (dm^3/s per m^2) woningen in relatie tot dakconstructie

Woningtype	Locatie					Bouwmethode																
	Appartement	Duplexwoning	Hoekwoning	Rijjeswoning	Twee onder één kap	Vrijstaande woning	Noord	Oost	West	Zuid	Prefab	Bouwplaats	Gecombineerd (50:50)	Beton	Houtskelet	Metselwerk	Staalbouw	Lessenaar	Platdak	Kap	Gecombineerd	
Appartement																						
Duplexwoning																						
Hoekwoning																						
Rijjeswoning																						
Twee onder één kap																						
Vrijstaande woning																						

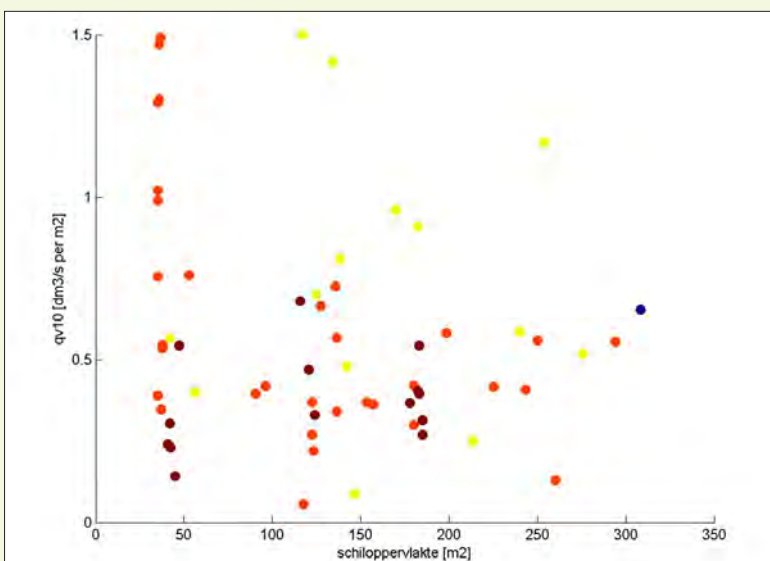
-Tabel 2- Overzicht van de gevonden verschillen in vastgelegde variabelen die statistisch significant zijn (✓ = statistisch significant; grijs gearceerd = niet van toepassing)



-Figuur 3a- Verdeling omvang van de woningen naar vloeroppervlak (m²)



-Figuur 3b- Scatter plot luchtdoorlatendheid woningen in relatie tot het vloeroppervlak (de kleur geeft de resultaten voor een jaar weer)



-Figuur 3c- Scatter plot luchtdoorlatendheid woningen in relatie tot een geschat schiloppervlak (de kleur geeft de resultaten voor een jaar weer)

Vloeroppervlak: Figuur 3a laat zien dat het vloeroppervlak van de woningen in de selectie bijna normaal verdeeld is. Het grootste vloeroppervlak is 262 m², maar van deze vrijstaande woning is niet het volume bekend. Wanneer we het vloeroppervlak van een woning wordt uitgezet tegen de gemeten luchtdoorlatendheid, ontstaat de scatter plot, zoals weergegeven in figuur 3b.

Gebouwwolume: Het grootste gebouwwolume dat wordt vermeld, is een twee-onder-één-kapper van 595 m³. Het is niet duidelijk of dit een netto- of een brutovolume betreft. De kleinste woning is een appartement van 35,3 m² en 124,1 m³.

Aanvullend is het schiloppervlak afgeleid uit het vloeroppervlak en het volume, voor die woningen waarvoor deze informatie beschikbaar was. In alle gevallen is een rechthoek verondersteld waarbij als verhouding tussen de gevelbreedte en woningdiepte een factor 1,7 is aangenomen. Bij appartementen is uitgegaan van één verdieping, bij de overige woningtypen steeds van twee verdiepingen, in alle gevallen met een verdiepingshoogte van 3 m (gemiddeld). Het resultaat hiervan is weergegeven in figuur 3c.

Statistisch resultaat

De figuren geven de verschillen in de gemeten luchtdoorlatendheid voor de onderscheiden woningkarakteristieken weer. De statistische significantie daarvan wordt in tabel 2 weergegeven. Dit is een visuele weergave en daarmee een beknopte samenvatting van die resultaten. Er zijn twee gevonden verschillen als significant aan te duiden. Voor de overige verschillen is dit niet het geval. De spreiding van de gemeten luchtdoorlatendheid is op het moment groot. Deze komt uit op een factor 90 tussen de hoogst en laagst gemeten waarde uitgaande van de $q_{v,10}$ waarde [dm³/s·m²]. Op basis van het vloeroppervlak is (Spearman's rho = 0.05; p-value = 0.34) geen duidelijke relatie te onderscheiden (zie ook figuur 3b). Spearman's rho beoordeelt hoe goed de relatie tussen twee variabelen als een monotoon stijgende of dalende functie te beschrijven is. Op basis van het schiloppervlak (Spearman's rho = -0.17; p-value = 0.19) kan ook geen statistisch significante relatie worden onderscheiden (zie ook figuur 3c).

DISCUSSIE

De ontvangen gegevens komen vanuit het hele land, maar woningen uit Oost-Nederland zijn wel bovenmatig aanwezig. Dit heeft te maken met de initiatie van het onderzoek en de medewerking van enkele partijen die betrokken zijn bij de uitvoering van metingen aldaar. Om de dataset representatief te laten zijn vraagt dit

natuurlijk om verdere bijdragen uit andere delen van het land.

De database is opgezet vanuit vijf verschillende hypothesen over de correlatie tussen de gemeten q_{v10} -waarde en woningkarakteristieken. Tabel 2 laat de belangrijkste resultaten zien. Op basis van de analyse kan worden geconcludeerd dat in de meerderheid van de gevallen de verschillen in de gemeten luchtdoorlatendheden niet statistisch significant zijn. De spreiding is zodanig groot dat verschillen tussen uitvoeringswijzen niet als significant kunnen worden beschouwd. Dit laat zien dat mede op de bouwplaats de luchtdoorlatendheid van een woning voor een belangrijk deel wordt bepaald. Meer gegevens kunnen de verschillen op termijn wellicht wel verder statistisch onderbouwen.

Momenteel is bijna 85% van de gegevens afkomstig van woningen die zijn gebouwd in 2013 en 2014. De collectie biedt daarmee nog geen goed overzicht van de ontwikkelingen door de jaren heen. Dit gegeven staat op dit moment een uitspraak met betrekking tot de hypothese nog in de weg dat nieuwbouwwoningen een betere luchtdichtheid hebben dan oudere woningen. Een vergelijking met de afgeleide norm op basis van de TNO-database laat echter geen duidelijk verschil zien met de op dat moment geldende waarden, hoewel de mediaan voor appartementen wel kleiner is dan $50 \text{ dm}^3/\text{s}$. Gezien de spreiding in de door de opdrachtgever opgelegde maximaal toelaatbare infiltratie van $0,150$ tot $0,625 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 , kan men zich afvragen of woningen gebouwd vanaf circa 2012 zich sowieso nog wel qua luchtdoorlatendheid langs de lat van bouwjaar laten leggen. De gehanteerde ambitie lijkt vanaf dan een belangrijkere variabele dan het bouwjaar.

In de verkregen resultaten valt op dat de spreiding in gemeten waarden bij sommige uitvoeringswijzen kleiner is dan bij andere. Enkel gecombineerde dakconstructies lijken tot significant minder goede waarden te leiden voor de luchtdichtheid van de woning in vergelijking tot de standaard kap en het platte dak. Maar zelfs in dit geval blijft de spreiding aanzienlijk. De ontvangen gegevens staan wel toe een benchmark op te bouwen ten aanzien van de luchtdoorlatendheid van een woning. Gemeten waarden kunnen nu worden vergeleken met alle woningen die in de database zitten en zo nodig op een selectie daarvan in overeenstemming met de te onderzoeken woning. Op deze wijze zou de luchtdichtheid op termijn verder kunnen verbeteren en kunnen voorbeeldprojecten worden uitgelicht.

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Op basis van de verkregen dataset en statistische resultaten valt nog niet met zekerheid af te leiden dat bepaalde woningkarakteristieken tot duidelijk lagere waarden voor de luchtdoorlatendheid leiden. In een tijd van energiezuinigheid is luchtdoorlatendheid een belangrijke parameter die zich op de ontwerptafel met goede detaillering wel laat beïnvloeden, maar waarin de uitvoering op de bouwplaats een belangrijk aandeel heeft. In dat opzicht blijft toetsing na oplevering een belangrijk aandachtspunt. Uit de analyse van die toetsing zouden leerpunten getrokken kunnen worden die een bijdrage kunnen leveren aan het verlagen van de luchtdoorlatendheid voor toekomstige bouwwerken en bijdragen aan een betere benchmark voor andere woningen.

Een database van ruim meer dan 300 luchtdichtheidsmetingen is opgebouwd op basis van ontvangen rapporten. Dit aantal vormt een mooie start voor het consequenter verzamelen van dergelijke informatie om lering te kunnen trekken uit de daadwerkelijk gerealiseerde luchtdichtheid van woningen. De conclusie kan zijn dat het erg wenselijk is om de collectie rapporten verder uit te breiden, waarbij extra aandacht moet worden besteed aan het verkrijgen van metingen van woningen gebouwd in 2012 en eerder. Daarnaast zou het wenselijk zijn om een gelijkmatigere spreiding van rapporten uit alle vier de windstreken te hebben.

Het lijkt tevens wenselijk dat de hoeveelheid informatie in de rapporten toeneemt, want qua woningtype, bouwwijze, bouwmethode en dakconstructie was er nu in veel gevallen niets bekend. Wat betreft de bepalingwijze van het vloeroppervlak en het gebouwvolume was er ook regelmatig onduidelijkheid. Ondanks dat juist in de EPC-berekening een infiltratiewaarde uitgedrukt in dm^3/s per m^2 moet worden genoemd, wordt vice versa in geen van de rapporten de EPC-waarde genoemd. Het oppervlak van de gebouwschil komt meestal alleen tot uitdrukking wanneer conform NEN-EN 13829 wordt gemeten. Om de gemeten luchtdoorlatendheid aan deze variabelen te kunnen verbinden, lijkt het wenselijk dat dus ook de EPC-waarde, dan wel de EI-waarde en het oppervlak van de gebouwschil worden genoemd in de rapporten. In de database dient nog een aanvullende kolom voor de variabele oppervlakte gebouwschil te worden opgenomen.

DANKWOORD

Het gepresenteerde onderzoek is het resultaat van een Lighthouse project van het 3TU.Built Environment Center of Excellence in samenwerking met SelektHuis. Diverse opdrachtgevende en opdrachtnemende partijen waren bereid belangeloos luchtdichtheidsrapporten beschikbaar te stellen. De auteurs zijn al deze organisaties zeer erkentelijk voor de geboden ondersteuning. Daarnaast wordt Myriam Ariès van de TU/e hartelijk bedankt voor het meekijken bij de analyse.

REFERENTIES

1. NEN 7120 Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode
2. NEN 5128 Energieprestatie van woonfuncties en woongebouwen - Bepalingsmethode
3. ISSO 82 Energieprestatie Advies Woningen
4. NEN 8088 Ventilatie en luchtdoorlatendheid van gebouwen - Bepalingsmethode voor de toevoerluchttemperatuur gecorrigeerde ventilatie- en infiltratie-luchtvolumestromen voor energieprestatieberekeningen - Deel 1: Rekenmethode
5. Geerligs, R., Kuindersma, P. en Nieman, H.M. (2013). Luchtdicht Bouwen; theorie-ontwerp-praktijk. SBRCURnet, Rotterdam
6. The Mathworks (2012). Matlab Versie 2012b. The Mathwork Inc.