

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00

TNO-rapport

TNO 2020 R10833

Openbare eindrapportage TKI SecureVent Energiebesparing en luchtkwaliteit goed (in)geregeld - Eenvoudige methodieken voor de borging van de integrale prestatie van luchtinstallaties in woningen

Datum	26 mei 2020
Auteur(s)	Ing. W. Kornaat (TNO) Ing. T. Lanooy (ACIN) Ir. P.J.G. van Beek (TNO) Ir. P.K.C. Lok (ACIN) Dr. Ir. N.J. Bink (ACIN) Ir. W.A. Borsboom (TNO) Ing. A.W.J. Meester (VLA) Ir. E.C.M. Hoes-van Oeffelen (TNO)
Aantal pagina's	133 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	5
Opdrachtgever	TKI Urban Energy Project nr.: TEUE116201 Penvoerder: TNO Partners: ACIN Instrumenten bv Vereniging Leveranciers Luchttechnische apparaten (VLA) Techniek Nederland
Projectnaam	TKI SecureVent
Projectnummer	060.23038

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

In meer dan 80% van de Nederlandse woningen [10] blijkt de integrale prestatie van de luchtinstallatie *bij oplevering* niet te voldoen aan de minimale eisen van het bouwbesluit. Dit heeft grote gevolgen voor de binnenluchtkwaliteit en de energetische prestatie van woningen. Het doel van TKI SecureVent is het beter borgen van de integrale prestaties van luchtinstallaties in woningen (luchtkwaliteit, geluidscomfort en energiegebruik). Een essentiële voorwaarde hiervoor is de beschikbaarheid van eenvoudige meetinstrumenten voor de professionele markt, waarmee 1) de luchtdichtheid van de gebouwschil, 2) de luchtvolumestroom en 3) het geluidniveau van het ventilatiesysteem op snelle en betaalbare wijze kunnen worden getoetst. Het borgen van deze aspecten vormt een essentiële randvoorwaarde om regelsystemen in woningen goed te laten functioneren en de beloofde prestaties op het gebied van binnenmilieu en energiegebruik daadwerkelijk te realiseren.

De in dit project ontwikkelde meetmethodieken voor luchtdoorlatendheid, luchtvolumestroom en geluidniveau van het ventilatiesysteem worden hierna kort toegelicht. Daarna wordt ingegaan op de inbedding van de ontwikkelde methodieken in de praktijk: ten behoeve van het aanbieden van luchtkwaliteit als dienst, toepassing in de consumentenmarkt en inbedding in private kwaliteitsborging.

Methodiek luchtdoorlatendheid

Bij de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting wordt het aanwezige ventilatiesysteem in de woning gebruikt om de woning op onder- of overdruk te brengen. Tijdens de meting wordt het drukverschil bepaald tussen de druk in de woning bij ingeschakeld en uitgeschakeld ventilatiesysteem. Om dit mogelijk te maken wordt gebruik gemaakt van een referentievat. Terwijl het ventilatiesysteem een aantal keren in- en uitgeschakeld wordt, wordt het drukverschil ten opzichte van de referentie gemeten. Uit dit drukverschil en de luchtvolumestroom van het ventilatiesysteem wordt de luchtdoorlatendheid (q_{v10}) berekend. In plaats van meting bij uitgeschakeld en ingeschakeld ventilatiesysteem, kan de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting ook uitgevoerd worden door te schakelen tussen twee verschillende standen van het ventilatiesysteem (bijv. laag- en hoogstand).

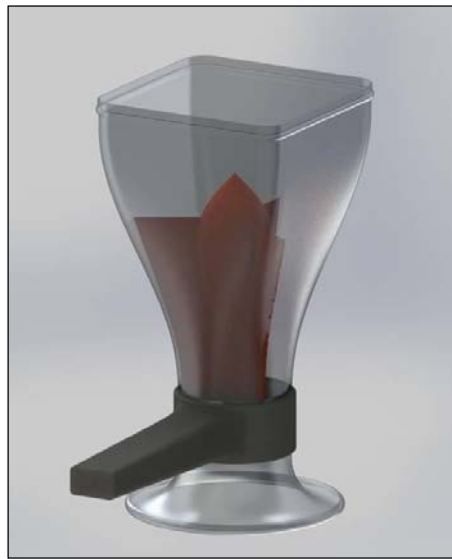
De vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting is door TNO gepatenteerd en door ACIN op de markt gebracht onder de naam AirTightnessTester (ATT), zie figuur 1. Uit validatiemetingen in de praktijk in 72 woningen blijkt dat de luchtdoorlatendheid gemeten met de ATT goed overeenkomt met de luchtdoorlatendheid gemeten met de blowerdoormeting. Het grote voordeel van de ATT is dat het een compact meetinstrument is waarmee snel en eenvoudig de luchtdoorlatendheid van een woning kan worden bepaald. Waar nu vaak in grotere bouwprojecten met de blowerdoor alleen een steekproef wordt genomen, kan samen met de ATT de luchtdoorlatendheid van alle woningen op een vlotte en toegankelijke manier getest worden. Tijdens de VSK beurs 2020 heeft de ATT de juryprijs van de VSK Award 2020 in de categorie Energietransitie gewonnen.



figuur 1: De AirTightnessTester (ATT).

Methodiek luchtvolumestroom

De vereenvoudigde luchtvolumestroommeting betreft een passief meetinstrument dat gebruik maakt van een vleugelradanemometer. Met dit instrument kan de luchtvolumestroom van zowel toevoer- als afvoerventielen worden gemeten. Middels computerberekeningen (CFD) zijn een meettrechter en stroomrichter zodanig geoptimaliseerd dat zowel toe- als afvoervolumestromen van 20 tot 100m³/uur voldoende nauwkeurig gemeten kunnen worden op alle gebruikelijke ventielen, ook met schone sector. ACIN heeft patent aangevraagd op de luchtvolumestroommethodiek en de methodiek op de markt gebracht onder de naam VentiFlow-mk2, zie onderstaande figuur.



figuur 2: De VentiFlow-mk2.

Uit validatiemetingen in de praktijk in 19 woningen (totaal 206 metingen) blijkt dat de luchtvolumestroom gemeten met de VentiFlow-mk2 goed overeenkomt met de luchtvolumestroom gemeten met de FlowFinder-mk2, zowel voor toevoer als voor afvoer.

Het grote voordeel van de VentiFlow-mk2 is dat het een licht meetinstrument is waarmee de luchtvolumestroom snel en precies kan worden gemeten. De VentiFlow-mk2 heeft een meetbereik dat toereikend is voor woonhuizen (20-100m³/uur). De investering voor de installateur is minder dan 1000 euro.

Methodiek geluidniveau ventilatiesysteem

Om het geluidniveau van het ventilatiesysteem te kunnen beoordelen is het van belang dat de integrale akoestische prestatie van het ventilatiesysteem wordt bepaald. Dat wil zeggen naast het ontwerp voor de componenten ook de correcte installatie van het systeem. Hiervoor wordt de volgende procedure voorgesteld:

- Stap 1: Voer eerst een screening van het ventilatiesysteem uit d.m.v. de ontwikkelde inspectiemethode. Deze bestaat uit de volgende stappen:
 1. Visuele inspectie van het ventilatiesysteem
 2. Meten drukval over de aan- en afvoerkanalen (of aflezen van de ventilatie-unit)
 3. Meten elektrisch vermogen ventilatie-unit
 4. Meten direct afgestraald geluid ventilatie-unit zelf (op 1m van unit)Met deze methode kunnen de zogenaamde 'rotte appels' en montagefouten, zoals bijvoorbeeld het omdraaien van de kanalen, geïdentificeerd worden.
- Stap 2: Als tweede stap wordt geadviseerd een geluidmeting uit te voeren volgens BRL 8010 Methode 1. Dit is de directe meting van het integraal geluidniveau. Het heeft de voorkeur om een 100% controle uit te voeren. Een minder te prefereren methode is een steekproef binnen een blok van woningen die qua uitvoering van het ventilatiesysteem en of de woningindeling identiek zijn.

Uit validatiemetingen in de praktijk in 45 woningen blijkt dat de inspectiemethode geschikt is om zogenaamde 'rotte appels' te identificeren, maar dat in de meeste gevallen een geluidmeting volgens BRL 8010 Methode 1 nodig is om te kunnen bepalen of het geluidniveau van het ventilatiesysteem voldoet aan de eisen. Uit de validatiemetingen blijkt dat het gemeten geluidniveau conform BRL 8010 Methode 1 zeer goed overeenkomt met het gemeten geluidniveau conform NEN 5077.

Indien nader onderzoek nodig is, bij een overschrijding van het geluidniveau of klachten, zal een spectrale meting volgens NEN 5077 moeten worden uitgevoerd en zal een akoestisch expert moeten worden ingeschakeld. De NEN 5077 wordt namelijk aangestuurd vanuit het Bouwbesluit.

Luchtkwaliteit als dienst

Op basis van vele gesprekken met onder andere leveranciers en verhuurders alsmede expert judgement, is de conclusie gerechtvaardigd dat er een uitdaging en tegelijkertijd een enorme businesskans ligt om de waardebeleving van binnenlucht te verhogen en diensten aan te bieden die garanties bieden voor gezonde binnenlucht. Bedrijven doen er verstandig aan hier met hun toekomstvisie en strategie op in te spelen.

Het controleren en aantonen van goede integrale prestaties van de luchtinstallaties is een breed onderschreven voorwaarde en een essentiële schakel voor zowel kwaliteitsborging als het kunnen aanbieden van lucht als dienst. De binnen SecureVent ontwikkelde meetmethoden en instrumenten, waarmee dit op kostenefficiënte wijze mogelijk is, vullen daarom een belangrijke voorwaarde in om het leveren van lucht als dienst mogelijk te maken.

Haalbaarheid toepassing meetinstrumenten consumentenmarkt

Op basis van gesprekken met consumentenorganisaties alsmede expert judgement kan worden geconcludeerd dat de binnen SecureVent ontwikkelde meetinstrumenten voor gebruik door (gemiddelde) consumenten niet geschikt zijn. De beschikbaarheid ervan is voor consumenten echter wel van grote waarde. De instrumenten maken 100% controle van prestaties haalbaar waardoor de integrale prestaties van luchtinstallaties in woningen, en daarmee de luchtkwaliteit voor consumenten, zal verbeteren. Het is belangrijk dat er meer bewustwording komt bij consumenten voor het belang van gezonde binnenlucht. Consumentenorganisaties en platforms zoals Gezonde Binnenlucht kunnen daar een belangrijke rol vervullen. De binnen SecureVent ontwikkelde instrumenten maken het kostenefficiënt controleren van installaties haalbaar waardoor diensten voor (preventieve) inspecties voor consumenten (bijvoorbeeld door organisaties zoals Vereniging Eigen Huis) aantrekkelijk kunnen worden aangeboden. Hiermee worden drempels weggenomen om de integrale kwaliteit door consumenten te laten controleren.

Inbedding methodieken in private kwaliteitsborging

De Wet Kwaliteitsborging Bouw (WKB) biedt een goed momentum voor het verbeteren van de controle op de integrale prestaties van luchtinstallaties en daarmee de binnen het project SecureVent ontwikkelde meetprotocollen en meetinstrumenten. Inbedding in de praktijk bleek evenwel nog geen eenvoudige opgave, vooral door een gebrek aan gevoel van urgentie in de bouwketen. Door de ontwikkeling van een erkenningsregeling ventilatie, waar 100% controle van de integrale prestaties verplicht in is opgenomen, is een regeling ontwikkeld die invulling geeft aan de noodzakelijke bewijsvoering binnen de WKB. De binnen SecureVent ontwikkelde meetmethoden en instrumenten bieden de mogelijkheid deze 100% controles kostenefficiënt uit te voeren. Hiermee is een belangrijke barrière weggenomen die controle in de weg staat (kosten).

Op basis van vele gesprekken met belanghebbenden en expert judgement is de conclusie gerechtvaardigd dat de nieuwe erkenningsregeling in combinatie met de "SecureVent instrumenten" een zeer goede basis biedt om 100% controles van de integrale prestaties onder de WKB uit te gaan voeren en daarmee de prestaties en luchtkwaliteit voor bewoners veel beter te borgen dan in de bestaande situatie.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	9
1.1	Aanleiding en probleemstelling.....	9
1.2	Doelstelling	9
1.3	Werkwijze	10
1.4	Gegevens project.....	10
2	Methodiek luchtdoorlatendheid	11
2.1	Inleiding	11
2.2	Haalbaarheidsstudie RVO	11
2.3	Beschrijving methodiek luchtdoorlatendheid	11
2.4	Beschrijving prototype	21
2.5	Validatiemetingen lab	24
2.6	Validatiemetingen praktijk: ATT versus blowerdoor	29
2.7	Lessen uit de praktijk.....	35
3	Methodiek lucht volumestroom	37
3.1	Inleiding	37
3.2	Haalbaarheidsstudie RVO	37
3.3	Ontwikkeltraject methodiek lucht volumestroom	38
3.4	Beschrijving methodiek lucht volumestroom	39
3.5	Beschrijving prototype	40
3.6	Validatiemetingen lab	46
3.7	Validatiemetingen praktijk: VentiFlow-mk2 versus FlowFinder-mk2	49
3.8	Praktijktest BCCA	52
3.9	Lessen uit de praktijk.....	54
4	Methodiek geluidniveau ventilatiesysteem.....	55
4.1	Inleiding	55
4.2	Eisen Bouwbesluit	55
4.3	Haalbaarheidsstudie RVO	56
4.4	Beschrijving methodieken.....	57
4.5	Validatiemetingen praktijk.....	64
4.6	Lessen uit de praktijk.....	71
5	Uitvoeringsprotocollen	73
5.1	Inleiding	73
5.2	Uitvoeringsprotocol luchtdoorlatendheidsmeting.....	73
5.3	Uitvoeringsprotocol lucht volumestroommeting.....	79
5.4	Uitvoeringsprotocol geluidniveau ventilatiesysteem.....	80
5.5	Praktijkevaluatie door installateurs.....	83
6	Inbedding in de praktijk	85
6.1	Inleiding	85
6.2	Luchtkwaliteit als dienst.....	85
6.3	Haalbaarheidsstudie toepassing meetinstrumenten consumentenmarkt.....	89
6.4	Inbedding methodieken in private kwaliteitsborging.....	92

7	Conclusies en mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten	99
7.1	Conclusies ontwikkelde meetmethodieken	99
7.2	Conclusies inbedding ontwikkelde meetmethodieken in de praktijk	100
7.3	Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten	101
8	Uitvoering	103
8.1	Wijze van kennisverspreiding, PR project en verdere PR-mogelijkheden	103
8.2	Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling	106
9	Literatuur	107
10	Ondertekening	108

Bijlage(n)

- A Modelsimulaties naar effect windaanval en thermiek
- B Resultaten praktijkmetingen ATT versus blowerdoor
- C Verband tussen ATT meting en blowerdoor meting
- D Checklist visuele inspectie t.b.v. geluid
- E Resultaten praktijktesten geluid

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en probleemstelling

Uit onderzoek [10] blijkt dat in Nederlandse woningen bij oplevering in meer dan 80% van de gevallen de integrale prestatie van de luchtinstallatie niet voldoet aan de minimale uitgangspunten van het bouwbesluit: de luchtvolumestroom en de verdeling hiervan is niet toereikend, de installatie maakt te veel geluid en de luchtdichtheid van de gebouwschil is lager dan in de EPC-berekening is beloofd. Doordat de luchtinstallaties en de gebouwschil niet goed zijn uitgevoerd of niet goed zijn ingeregeld, kunnen bestaande regelsystemen niet goed functioneren. Dit heeft grote gevolgen voor zowel de binnenluchtkwaliteit als de werkelijke energetische prestatie van woningen.

Doordat woningen steeds energiezuiniger worden, en dus luchtdichter en beter geïsoleerd zijn, worden bewoners voor een gezonde binnenluchtkwaliteit steeds meer afhankelijk van de luchtinstallatie in hun woning. Als deze installaties niet goed functioneren, zullen bewoners ingrijpen en energie-onzuinige manieren aanwenden om de luchtkwaliteit te verbeteren. Uit onderzoek [11] blijkt bijvoorbeeld dat bewoners de mechanische ventilatie vanwege het geluid in de laagstand zetten of uitschakelen. De onvoldoende luchtkwaliteit wordt vervolgens gecompenseerd door het openen van ramen, wat een negatief effect heeft op het energiegebruik van de woning. Een belangrijk deel van de bewoners is zich echter niet bewust van de slechtere binnenluchtkwaliteit en doet niets. In die woningen heeft het slecht presterende ventilatiesysteem mogelijk impact op de gezondheid van bewoners.

De integrale prestatie van de luchtinstallatie vraagt een integrale aanpak in ontwerp en uitvoering, iets wat tijdens de bouwfase vaak niet wordt geborgd door aannemer en installateur. Bestaande meetinstrumenten en meetmethoden zijn te kostbaar en voor de bedrijven die hierin wel investeren gaan de kosten omhoog, terwijl er geen beloning voor tegenover staat: de betere kwaliteit wordt niet getoetst en niet beloond of op andere wijze gewaardeerd. De Wet Kwaliteitsborging Bouw zal hier naar verwachting verandering in gaan brengen.

Voor het op grote schaal kunnen borgen van de integrale prestaties van het ventilatiesysteem is de beschikbaarheid van eenvoudige meetinstrumenten een essentiële schakel. De benodigde investering voor bestaande meetinstrumenten (in het bijzonder de luchtvolumestroom en geluidsniveau van het ventilatiesysteem en de luchtdichtheid van de gebouwschil) is voor de meerderheid van de installateurs te hoog. Daarnaast zijn de metingen vaak kostbaar vanwege het arbeidsintensieve proces. Doordat eenvoudige methodes die een goede indicatie geven of de integrale prestaties worden gehaald ontbreken, kan de luchtkwaliteit en energetische prestatie van woningen niet worden gegarandeerd.

1.2 Doelstelling

Het doel van TKI SecureVent is het beter borgen van de integrale prestaties van luchtinstallaties in woningen (luchtkwaliteit, geluidscmfort en energiegebruik). Een essentiële voorwaarde hiervoor is de beschikbaarheid van eenvoudige meetinstrumenten voor de professionele markt, waarmee 1) de luchtdichtheid van

de gebouwschil, 2) de luchtvolumestroom en 3) het geluidniveau van het ventilatiesysteem op snelle en betaalbare wijze kunnen worden getoetst. Het borgen van deze aspecten vormt een essentiële randvoorwaarde om regelsystemen in woningen goed te laten functioneren en de beloofde prestaties op het gebied van binnenmilieu en energiegebruik daadwerkelijk te realiseren. Eenvoudige meetmethodes maken het tevens mogelijk om nieuwe diensten als 'Luchtkwaliteit als Dienst' te ontwikkelen en aan te bieden. Bij dit soort diensten is het verkrijgen / verschaffen van zekerheid over de integrale prestatie van de luchtinstallatie een voorwaarde.

1.3 Werkwijze

In 2016 is door TNO in opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland een haalbaarheidsonderzoek afgerond inzake eenvoudige meetmethodieken/ technologieën voor het toetsen van de integrale prestaties van luchtinstallaties in woningen [1]. In dit project is bij de ontwikkeling van de meetmethodieken voor luchtdichtheid, luchtvolumestroom en geluidniveau telkens gestart vanuit de methodiek(en) die in deze haalbaarheidsstudie zijn beschreven. Vanuit het oogpunt van technische haalbaarheid en praktische bruikbaarheid is gekeken welke methodiek het meest geschikt is voor verdere doorontwikkeling. Vervolgens zijn eerste prototypes ontwikkeld van de methodiek die zowel in labopstellingen als in de praktijk zijn getest, waarna de prototypes weer verder zijn verbeterd. Gedurende dit ontwikkelproces is regelmatig overleg geweest met de ventilatie- en installatiebranche om te waarborgen dat de instrumenten en methodieken praktisch goed bruikbaar zijn en toegepast kunnen worden voor verschillende ventilatiesystemen. De ontwikkelde prototypes en bijbehorende uitvoeringsprotocollen zijn gevalideerd in de praktijk door de resultaten te vergelijken met resultaten die zijn bepaald conform de huidige uitgebreide meetmethoden die normaliter worden uitgevoerd door een gespecialiseerd meetbureau.

Gedurende het hele project zijn gesprekken gevoerd met stakeholders die zijn betrokken bij private kwaliteitsborging, waarborgfondsen en beheerders van kwaliteitsregelingen met als doel de ontwikkelde meetmethodieken en uitvoeringsprotocollen in te bedden in de private kwaliteitsborging. Ook zijn gesprekken gevoerd met consumentenorganisaties om te kijken of de ontwikkelde meetmethodieken bruikbaar zijn of kunnen worden gemaakt voor consumentenorganisaties of consumenten zelf. Daarnaast is onderzocht wat de mogelijkheden en randvoorwaarden zijn voor het leveren van lucht als dienst.

1.4 Gegevens project

Projectnummer: TEUE116201

Projecttitel: SecureVent: Energiebesparing en luchtkwaliteit goed (in)geregeld - Eenvoudige methodieken voor de borging van de integrale prestatie van luchtinstallaties in woningen

Penvoerder en medeaanvragers: TNO (penvoerder), ACIN instrumenten bv, Vereniging Leveranciers Luchttechnische Apparaten (VLA), Techniek Nederland

Projectperiode: januari 2017 t/m april 2020

2 Methodiek luchtdoorlatendheid

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de methodiekontwikkeling beschreven om de luchtdoorlatendheid van een woning te kunnen beoordelen. Allereerst wordt in paragraaf 2.2 ingegaan op de resultaten van de haalbaarheidsstudie [1] die in 2016 in opdracht van RVO is uitgevoerd en waar in dit project op is voortgebouwd. Vervolgens wordt de ontwikkelde methodiek voor de bepaling van de luchtdoorlatendheid toegelicht in paragraaf 2.3 en wordt (de ontwikkeling van) het prototype van de AirTightnessTester (ATT) beschreven in paragraaf 2.4. In paragraaf 2.5 en 2.6 wordt vervolgens ingegaan op de validatiemetingen die respectievelijk in het lab en in de praktijk zijn uitgevoerd. Tot slot wordt in paragraaf 2.7 ingegaan op de lessen die we hebben geleerd in de praktijk.

2.2 Haalbaarheidsstudie RVO

In de haalbaarheidsstudie die in 2016 in opdracht van RVO is uitgevoerd is voor het bepalen van de luchtdoorlatendheid gezocht naar een alternatief voor de zogenaamde blowerdoortest, zoals vandaag de dag gebruikelijk is in Nederland en waarvan de meetmethodiek is beschreven in NEN 2686 [2].

De volgende 3 mogelijkheden zijn onderzocht:

- 1) een decay-meting met tracergas,
- 2) een meting met een handmeetapparaat, waarbij het aanwezige ventilatiesysteem gebruikt wordt om de woning op onder- dan wel overdruk te brengen,
- 3) een variant op de meting aangegeven onder punt 2, waarbij de meetapparatuur geïntegreerd is in het aanwezige ventilatiesysteem.

Uit het onderzoek volgt dat de decay-meting met tracergas veel complexer is dan de bestaande blowerdoor. De meting, waarbij gebruik wordt gemaakt van het aanwezige ventilatiesysteem, wordt als praktisch goed uitvoerbaar gezien. Verwacht wordt dat dit minder tijd en inspanning kost dan een blowerdoormeting en dat de prijs van de meetapparatuur lager is. De variant met meetapparatuur geïntegreerd in het ventilatiesysteem (punt 3) is feitelijk een mogelijke vervolgstap op de meting beschreven bij punt 2.

Binnen dit project is daarom gekozen voor de verdere doorontwikkeling van een handmeetapparaat, waarbij gebruik wordt gemaakt van het aanwezige ventilatiesysteem. In het vervolg wordt dit aangeduid met de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting en het product met ATT, hetgeen staat voor AirTightnessTester.

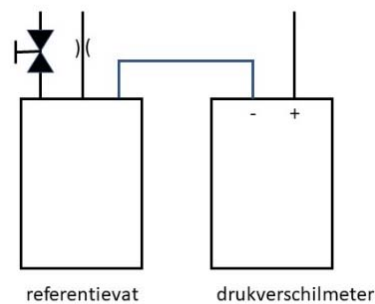
2.3 Beschrijving methodiek luchtdoorlatendheid

2.3.1 *Principe*

Bij de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting wordt het aanwezige ventilatiesysteem in de woning gebruikt. Door het ventilatiesysteem achtereenvolgens uit en in te schakelen, kan de woning op onder- of overdruk gebracht worden. Onderdruk in het geval alleen mechanische afzuiging in de

woning aanwezig is, terwijl bij balansventilatie zowel onderdruk (gebruik van de afvoer) als ook overdruk (gebruik van de toevoer) mogelijk is.

Tijdens de meting wordt het drukverschil bepaald tussen de druk in de woning bij ingeschakeld en uitgeschakeld ventilatiesysteem. Om dit mogelijk te maken wordt gebruik gemaakt van een referentievat (zie figuur 3). Dit referentievat wordt bij aanvang van de meting gesloten en vormt de referentie ten opzichte waarvan de drukverandering in de woning door het schakelen van het ventilatiesysteem wordt bepaald. Dit drukverschil is een maat voor het drukverschil over de omhulling van het gebouw. De ATT kan dus eenvoudigweg in één van de kamers geplaatst worden, zonder dat een drukslang naar buiten hoeft te worden aangebracht.



figuur 3: Drukmeting met referentievat

De vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting betreft een 1-punts meting. Dat wil zeggen er wordt gemeten bij één drukverschil. De n-waarde, waarmee het verband tussen het woninglek en het drukverschil beschreven kan worden (zie 2.3.2.2) wordt dus niet bepaald. Deze manier van meten is in overeenstemming met RESNET-380-2016 [5]. Door een aanname te doen voor de n-waarde, kan de luchtdoorlatendheid bij 10Pa ($q_{v,10}$) berekend worden met onderstaande formule:

$$q_{v,10} = q_{sys} \times \left(\frac{10}{\Delta p}\right)^n \quad \{1\}$$

Met:

- $q_{v,10}$ is luchtdoorlatendheid bij 10Pa [dm³/s]
- q_{sys} is de lucht volumestroom onderhouden met het ventilatiesysteem [dm³/s]
- Δp is het gemeten drukverschil [Pa]
- n is de stromingsexponent [-]

In plaats van meting met het uit- en inschakelen van het ventilatiesysteem, kan de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting ook uitgevoerd worden door te schakelen tussen twee verschillende standen van het ventilatiesysteem (bijv. laag- en hoogstand). In dit geval kan de luchtdoorlatendheid bij 10Pa berekend worden met formule 2. Opgemerkt wordt dat bij het invullen van nul voor de laagstand in formule 2, formule 1 weer ontstaat.

$$q_{v,10} = \left(q_{sys,h}^{\frac{1}{n}} - q_{sys,l}^{\frac{1}{n}} \right)^n * \left(\frac{10}{\Delta p} \right)^n \quad \{2\}$$

Met:

- $q_{v,10}$ is luchtdoorlatendheid bij 10Pa [dm³/s]
- $q_{sys,h}$ is de lucht volumestroom onderhouden met het ventilatiesysteem bij hoogstand [dm³/s]
- $q_{sys,l}$ is de lucht volumestroom onderhouden met het ventilatiesysteem bij laagstand [dm³/s]
- Δp is het gemeten drukverschil [Pa]
- n is de stromingsexponent [-]

2.3.2 Onzekerheid berekende luchtdoorlatendheid

2.3.2.1 Onzekerheid $q_{v,10}$ -waarde

Om de onzekerheid in de $q_{v,10}$ -waarde, zoals gemeten met de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting, te bepalen, wordt de standaarddeviatie σ berekend. De gemeten $q_{v,10}$ -waarde plus en min de standaarddeviatie geeft de range aan waarbinnen met 68% waarschijnlijkheid de werkelijke $q_{v,10}$ -waarde zal liggen. De standaarddeviatie vormt hiermee een maat voor de onzekerheid in de gemeten $q_{v,10}$ -waarde.

De standaarddeviatie wordt bepaald uit de variantie. De variantie (σ^2) in de $q_{v,10}$ -waarde, zoals bepaald met de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting, volgt uit de onzekerheid (σ) in de gemeten lucht volumestromen, het gemeten drukverschil en de gekozen stromingsexponent in combinatie met hun partiële afgeleiden van formule 2 (zie paragraaf 2.3.1), zoals aangegeven in formule 3.

$$\sigma_{q_{v,10}}^2 = \left(\frac{dq_{v,10}}{dq_{sys,h}} \right)^2 \sigma_{q_{sys,h}}^2 + \left(\frac{dq_{v,10}}{dq_{sys,l}} \right)^2 \sigma_{q_{sys,l}}^2 + \left(\frac{dq_{v,10}}{d\Delta p} \right)^2 \sigma_{\Delta p}^2 + \left(\frac{dq_{v,10}}{dn} \right)^2 \sigma_n^2 \quad \{3\}$$

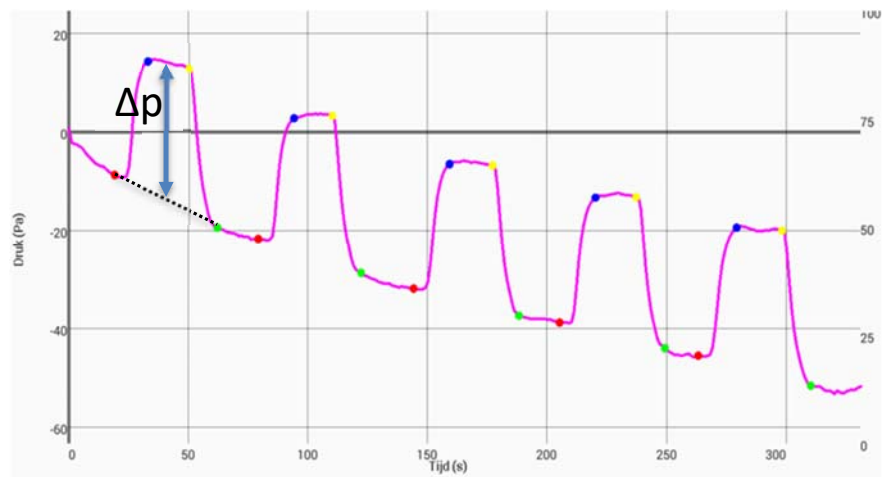
2.3.2.2 Onzekerheid gemeten grootheden

Drukverschil Δp

Een typisch verloop van het gemeten druksignaal is weergegeven in figuur 4. Bij de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting wordt de ventilator meerdere malen van laagstand naar hoogstand geschakeld en terug. Meerdere malen wordt hierbij het drukverschil Δp gemeten. De standaarddeviatie in de gemeten drukverschillen wordt tijdens de meting bepaald. Dit wordt gebruikt als maat voor de onzekerheid in het gemeten drukverschil ($\sigma_{\Delta p}$) bij de berekening van de onzekerheid van de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting.

Om het drukverschil te bepalen dient het druksignaal geanalyseerd te worden (ventilator aan tussen blauwe en gele puntjes en uit tussen groene en rode puntjes, zie figuur 4). Verder kan het gemeten drukverloop een meer grillig patroon vertonen

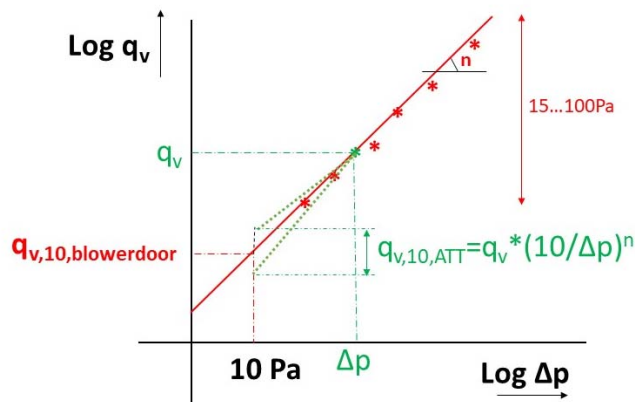
dan aangegeven in figuur 4, afhankelijk van onder andere fluctuaties in de windaanval (windsnelheid en windrichting), fluctuaties in de lucht volumestromen of temperatuurverandering. Bovenstaande maakt dat enige spreiding in de gemeten drukverschillen kan optreden. Naarmate het gemeten drukverschil toeneemt (door gebruik van een hogere stand van de ventilator), neemt in de regel de standaarddeviatie in het drukverschil en samenhangend de onzekerheid in de meting af.



figuur 4: Typisch verloop van het gemeten drukverschil.

Stromingsexponent (n)

De metingen met de ATT (groen) en de blowerdoor (rood) worden geïllustreerd in figuur 5. De vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting wordt uitgevoerd bij één drukverschil. De n-waarde wordt niet bepaald. De n-waarde is een maat voor de hellingshoek van het verband tussen woninglek en drukverschil op dubbel-logaritmisch papier (zie figuur 5). De n-waarde geeft de 'aard' van de stroming aan. Een n-waarde van 1 duidt op laminaire stroming en 0,5 op turbulente stroming. Bij de blowerdoortest wordt gemeten bij meerdere drukverschillen in de range van 15 t/m 100 Pa, waardoor de n-waarde bepaald kan worden.



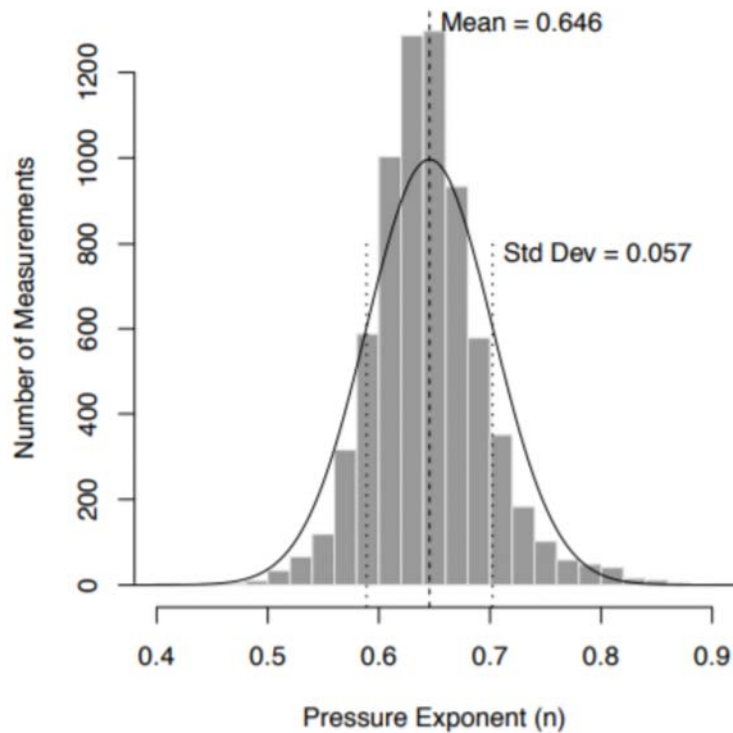
figuur 5: Vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting (groen) en blowerdoormeting (rood).

Afhankelijk van de gekozen n -waarde én de te verwachten spreiding in deze n -waarde in vergelijking tot de werkelijke n -waarde, zal de berekende luchtdoorlatendheid bij de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting in meer of mindere mate afwijken door extrapolatie vanaf het gemeten drukverschil naar 10 Pa naar de toetsingsdruk (zie groene gestippelde lijnen in figuur 5). Naarmate het gemeten drukverschil dichter de toetsingsdruk benaderd, is in mindere mate extrapolatie nodig en neemt de onzekerheid af. De toetsingsdruk in Nederland is veelal 10 Pa, maar sommige andere landen hanteren bijvoorbeeld 50 Pa. Door de stand van de ventilator zodanig te kiezen dat het gemeten drukverschil minder afwijkt van de toetsingsdruk, kan de onzekerheid afhankelijk van de n -waarde verlaagd worden.

Voor het bepalen van de onzekerheid van de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting is, op grond van literatuurgegevens [3,4], gekozen uit te gaan van:

- een gemiddelde n -waarde (μ_n) van 0,66.
- een standaarddeviatie (σ_n) van 0,06.

Ter illustratie is de verdeling van de stromingsexponent (n -waarde) op basis van 6007 tests volgens [3] weergegeven in figuur 6.



figuur 6: Verdeling van de stromingsexponent op basis van 6007 tests [3].

Luchtvolumestromen ($q_{sys,h}$ en $q_{sys,l}$)

De onzekerheid in de gemeten luchtvolumestromen hangt af van de gebruikte luchtvolumestroommeter. Bij de validatiemetingen, zoals beschreven in paragraaf 2.6 van dit rapport, is de ACIN FlowFinder-mk2 gebruikt. De meetnauwkeurigheid voor de ACIN FlowFinder-mk2 bedraagt:

- $\pm 3 \text{ m}^3/\text{h}$ bij luchtvolumestromen $< 100 \text{ m}^3/\text{h}$,
- $\pm 3\%$ van de meetwaarde bij luchtvolumestromen $> 100 \text{ m}^3/\text{h}$

De meetnauwkeurigheid bij de ACIN FlowFinder-mk2 is uniform verdeeld, zodat de standaarddeviatie bedraagt:

$$\sigma_{q_{sys}} = \sqrt{\frac{1}{12} * (2 * \text{meetnauwkeurigheid})^2} \quad \{4\}$$

Bij sommatie van luchtvolumestroommetingen op verschillende luchtroosters, volgt de totale standaarddeviatie uit:

$$\sigma_{q_{sys}} = \sqrt{\sigma_{q_{sys,1}}^2 + \sigma_{q_{sys,2}}^2 + \dots + \sigma_{q_{sys,n}}^2} \quad \{5\}$$

2.3.3 *Typische druksignalen*

Het gebruikte referentievat mag niet helemaal luchtdicht zijn. Een luchtdicht referentievat zou bij de geringste verandering van de luchtdruk dan wel verandering van de luchttemperatuur in het vat, leiden tot grote drukvariëaties in het referentievat. Een temperatuurstijging of daling van 0,005 K/s leidt tot een drukvariatie van 5 Pa per 30 seconden. Om deze reden is, voor druknivellering, het referentievat via een restrictie verbonden met de ruimte. Zowel te veel als te weinig druknivellering is echter ongewenst. De restrictie is zodanig ingesteld dat de tijdconstante voor het referentievat 300 seconden bedraagt. Dat wil zeggen dat na het op druk brengen van het referentievat, de druk na 300 seconden is afgenomen met 64% van de beginwaarde.

Om inzicht te geven in de typisch te verwachten druksignalen, is de drukmeting met het referentievat (zoals aangegeven in figuur 4) gemodelleerd in Excel. Opgemerkt wordt dat hierbij het referentievat is aangesloten op de min-aansluiting van de drukverschilmeter. Hierdoor wordt het drukverschil positief bij opblazen van de woning en negatief bij afzuigen van de woning, zoals ook daadwerkelijk gebeurt. De tijdconstante van het referentievat is ingesteld op 300 s. In de tijd wordt achtereenvolgens het ventilatiesysteem in- en uitgeschakeld en het drukverschil gesimuleerd. Er is hierbij een vast drukverschil van 30 Pa verondersteld door gebruik van het ventilatiesysteem. Op voorhand wordt opgemerkt dat geen fluctuaties als gevolg van windaanval zijn gesimuleerd en geen vertraging in het optoeren of aftoeren van de ventilator is aangehouden.

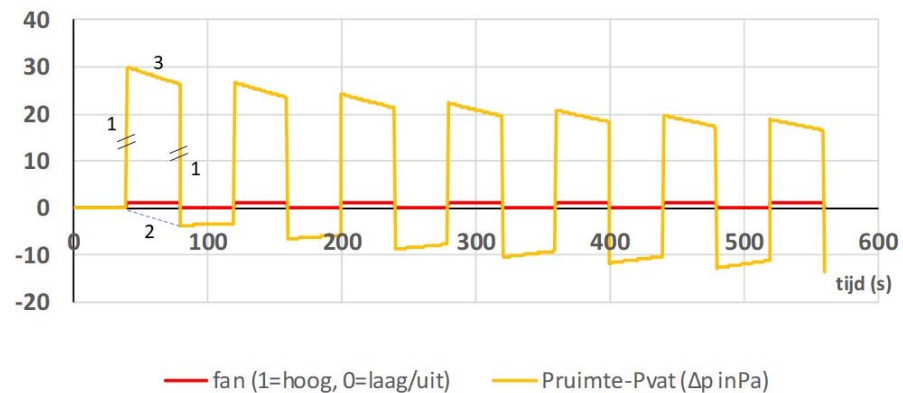
Voor de situatie met overdruk en onderdruk zijn de resultaten weergegeven in respectievelijk figuur 7 en figuur 8. Lijnstuk 1 in deze figuren geeft de drukverandering als gevolg van het inschakelen van de ventilator en vervolgens uitschakelen van de ventilator. De drukverandering is hierbij 30 Pa in overeenstemming met de opgedrukte waarde. Opgemerkt wordt dat het in de praktijk enige tijd duurt voordat de ventilator op- en afgetoerd is, met als gevolg enige tijdvertraging in de opbouw/afbouw van het drukverschil. Lijnstuk 3 is het drukverschil bij ingeschakelde ventilator. Lijnstuk 2 stelt het fictieve drukverschil voor indien de ventilator uitgeschakeld zou zijn geweest. Omdat het fictief is, is dit met een stippellijn aangegeven. Lijnstuk 2 volgt door het verbinden van de punten direct voor het inschakelen van de ventilator én direct na het uitschakelen van de ventilator.

Voor de situatie met overdruk (figuur 7) neemt het drukverschil in lijnstuk 3 af door de restrictie van het referentievat. Als vervolgens de ventilator uitschakelt, daalt het drukverschil en wordt het negatief. Het hele proces herhaalt zich vervolgens waarbij het druksignaal in het geheel een dalende tendens vertoont. Dit proces gaat in theorie door totdat de druk in het referentievat gelijk is aan het gemiddelde van de druk in de ruimte bij uit- en ingeschakelde ventilator.

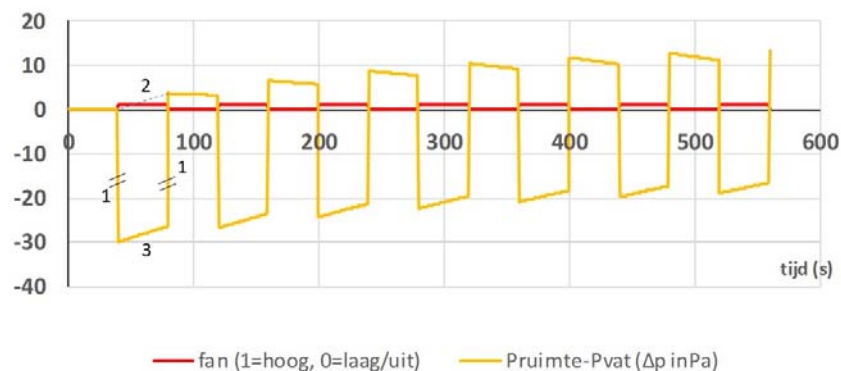
Voor de situatie met onderdruk (figuur 8) treedt een vergelijkbaar proces op en vertoont het druksignaal een stijgende tendens.

Het drukverschil Δp (gebruikt voor het berekenen van de $q_{v,10}$ waarde) volgt uit het verschil tussen het gemiddelde drukverschil in lijnstuk 3 én het gemiddelde drukverschil in lijnstuk 2. Het drukverschil in lijnstuk 3 verloopt volgens een e-macht met tijdconstante van 300 s (= tijdconstante van het referentievat). Het drukverschil in lijnstuk 2 verloopt lineair (dit verloop is fictief bepaald). Strikt genomen wordt het

gemeten drukverschil Δp hiermee systematisch iets onderschat. In werkelijkheid verloopt het drukverschil in lijnstuk 2 namelijk niet lineair, zoals nu verondersteld door het trekken van de rechte lijn tussen begin drukverschil en eind drukverschil. Voor de gekozen tijdconstante van 300 s, is deze systematische onderschatting van het drukverschil verwaarloosbaar klein en leidt dit tot een verwaarloosbaar kleine overschatting van de luchtdoorlatendheid. Vandaar deze keuze voor 300 s. Indien de tijdconstante circa 50 s zou zijn geweest, zou in de onderhavige situatie een systematische overschatting met circa $0,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ op een $q_{v,10}$ -waarde van $20 \text{ dm}^3/\text{s}$ zijn opgetreden.



figuur 7: Drukverloop bij overdrukmeting van 30Pa en tijdconstante referentievat 300 s.

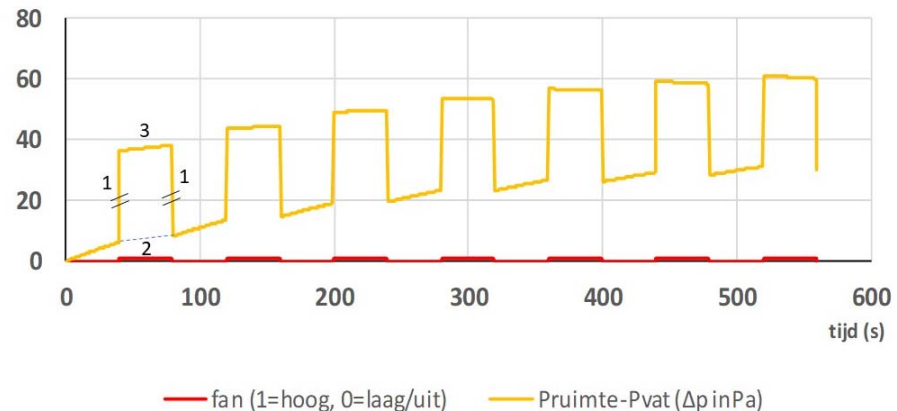


figuur 8: Drukverloop bij onderdrukmeting van 30Pa en tijdconstante referentievat 300 s.

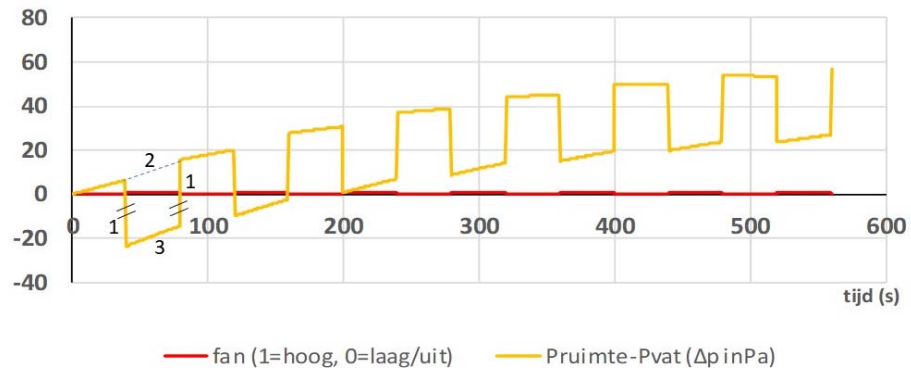
2.3.4 Invloed van temperatuurverandering

Voor de situatie dat de lucht in het referentievat afkoelt met $0,0005 \text{ K/s}$, is het gesimuleerde drukverloop weergegeven in figuur 9 en figuur 10. Door het afkoelen van de lucht in het referentievat (of het opwarmen en uitzetten van het buffervat zelf) vertoont het druksignaal, zowel bij overdruk als onderdruk, een oplopende tendens.

Voor de situatie dat het referentievat opwarmt met 0,0005 K/s, zal het gesimuleerde druksignaal een aflopende tendens gaan vertonen. Het gemeten drukverschil Δp wordt niet nadelig beïnvloed door de temperatuurstijging of -daling van de lucht in het referentievat. Zowel het drukverloop in lijnstuk 3 als lijnstuk 2 wijzigt hierdoor namelijk op eenzelfde wijze, waardoor het drukverschil niet beïnvloed wordt.



figuur 9: Drukverloop bij overdrukmeting van 30Pa, tijdconstante referentievat 300 s en temperatuurverandering van de lucht in het buffervat -0,0005 K/s.



figuur 10: Drukverloop bij onderdrukmeting van 30Pa, tijdconstante referentievat 300 s en temperatuurverandering van de lucht in het buffervat -0,0005 K/s.

2.3.5 Invloed van windaanval en thermiek

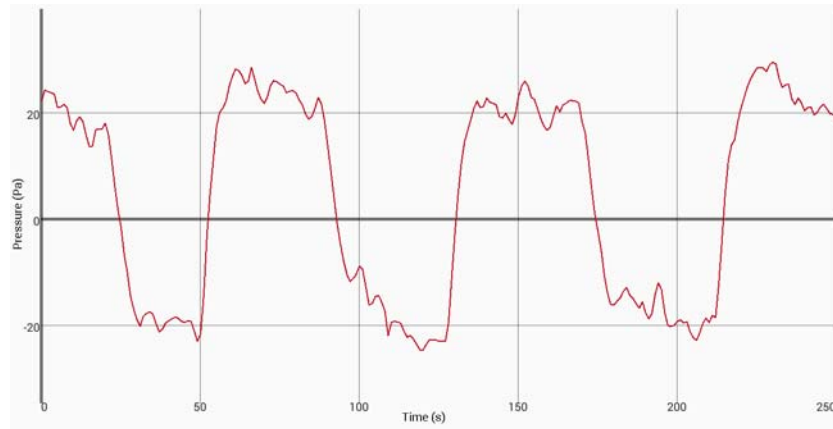
Bij een luchtdoorlatendheidsmeting, zowel de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting als de blowerdoortest, wordt één waarde voor het drukverschil gemeten en aangenomen dat dit drukverschil heerst over de gehele woningschil. In theorie zal er alleen één drukverschil over de gehele woningschil heersen bij windstil weer zonder temperatuurverschillen tussen binnen en buiten (zonder thermisch drijvende krachten). Als gevolg van windaanval, zullen namelijk verschillende over- en onderdrukken op verschillende geveldelen en het dak optreden. Verder zullen door thermisch drijvende krachten, verschillende

drukverschillen heersen over lager en hoger gelegen gevel-/dakdelen. De berekening van de $q_{v,10}$ -waarde (zie formule 1 of 2 in paragraaf 2.3.1) bij de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting is er echter op gebaseerd dat één (waarde voor het) drukverschil optreedt over de gehele woningschil. Naarmate dit drukverschil toeneemt in relatie tot de drijvende krachten door windaanval en thermiek, wordt het voorgaande minder problematisch en zelfs verwaarloosbaar. De aanname dat één drukverschil heerst over de gehele woningschil is dan toelaatbaar.

Zoals al aangegeven geldt het bovenstaande ook voor de blowerdoortest. Hierbij wordt het drukverschil zelfs bepaald op basis van een drukmeting over één van de gevels, waarbij een en ander ook nog beïnvloed wordt door het feit of deze gevel aan de loefzijde dan wel aan de lijzijde gelegen is. Bij de blowerdoortest wordt in de regel gemeten met drukverschillen van circa 15 tot 100 Pa. Bij de hoge drukverschillen zullen voorgenoemde effecten weer verwaarloosbaar zijn.

Om de verstoring van de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting door windaanval en thermiek te onderzoeken, zijn simulaties met het ventilatierekenmodel COMIS uitgevoerd aan een model van een eengezins(rijtjes)woning. Bij deze modelsimulaties is de woningdruk berekend voor diverse situaties van windaanval en thermiek bij zowel uitgeschakelde als ingeschakelde ventilator. Op grond van de verandering van de druk in de woning en de hoogte van het ventilatordebiet is vervolgens, voor alle beschouwde condities, de $q_{v,10}$ -waarde berekend. Deze berekende $q_{v,10}$ -waarden zijn vervolgens vergeleken met de aanwezige lekken in het model. Voor de verdere aanpak en de resultaten van de simulaties wordt verwezen naar bijlage A.

Op basis van de resultaten vermeld in bijlage A, kan grofweg worden geconcludeerd dat de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting inzetbaar is tot windsnelheden van 5 á 6 m/s, hetgeen overeenkomt met een windkracht van 3 á 4 Beaufort. Hetzelfde geldt grofweg voor de blowerdoortest volgens NEN 2686. Onduidelijk is echter of hierbij dezelfde criteria zijn gebruikt. Binnen dit project is namelijk een praktijkmeting met de AirTightnessTester (ATT) uitgevoerd, die lijkt aan te geven dat de ATT minder gevoelig is voor de wind dan de blowerdoormeting. Op de dag dat deze meting uitgevoerd werd, stond er een windkracht van 6 á 7 Beaufort (maximaal uurgemiddelde 13 m/s). Hierbij werd geconstateerd dat er geen blowerdoormeting uit te voeren was. Er is toen wel een meting met de ATT uitgevoerd. Het signaal dat hierbij is gemeten staat in figuur 11. Hierbij werd een luchtdoorlatendheid gemeten van 31,6 dm³/s. Op een latere datum, toen er een lagere windkracht was, is alsnog een blowerdoormeting uitgevoerd in deze woning. Hier kwam een luchtdoorlatendheid uit van 34,6 dm³/s. Hieruit blijkt dat de meting met de ATT, ondanks de wind, een goede indicatie geeft voor de luchtdoorlatendheid van de woning. De reden hiervoor is dat de drukmeting in de woning met de ATT minder snel verstoord wordt bij windaanval met name naarmate de woningschil meer luchtdicht is. Verder wordt meting door de blowerdoor bij storm bemoeilijkt doordat ook de druk buiten gemeten wordt en deze bij hogere windsnelheden meer fluctueert. Ongeacht het bovenstaande blijft echter gelden dat, bij toenemende windaanval, de verschillen in drukken over verschillende delen van de woningschil toenemen. Het meten van één drukverschil en te veronderstellen dat dit optreedt over alle delen van de woningschil (zoals gebeurt bij beide metingen) wordt in toenemende mate minder correct.



figuur 11: Meting met de ATT bij een hoge windsnelheid, waarbij het drukverschil duidelijk te zien is.

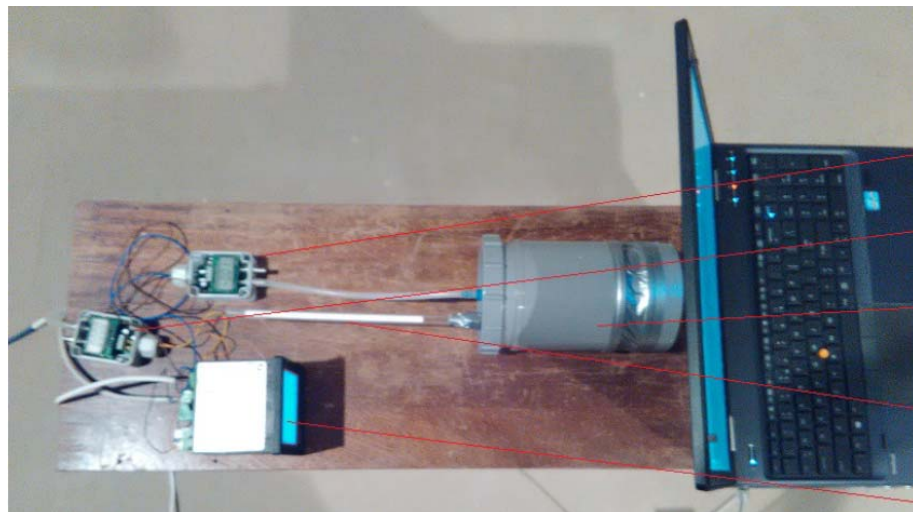
2.4 Beschrijving prototype

2.4.1 Inleiding

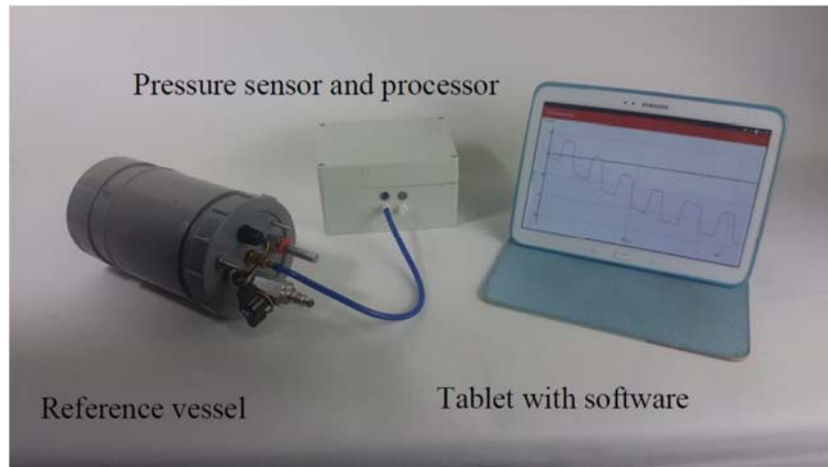
Gedurende het project zijn verschillende testopstellingen gemaakt die geleid hebben tot het uiteindelijke prototype. Elke testopstelling/prototype bestaat uit drie hoofdelementen:

- het referentievat;
- de elektronica;
- de software.

In onderstaande figuren zijn twee testopstellingen en het eindprototype weergegeven.



figuur 12: De eerste testopstelling.



figuur 13: De tweede testopstelling.



figuur 14: Het eindprototype.

2.4.2 *Het referentievat*

Het referentievat is een behuizing van enkele liters in volume. Het vat moet een manier hebben om ontluicht te worden om de druk in het vat gelijk te maken aan de omgeving en het vat moet een restrictie hebben voor een opening die zorgt dat het vat goed de drukveranderingen in de omgeving kan volgen wanneer deze gesloten is.

2.4.2.1 *Materiaal en volume*

Het materiaal van het vat moet stevig genoeg zijn, dat dit niet meebuigt/vervormt wanneer er een drukverandering in de omgeving plaatsvindt. Gedurende praktijkmetingen is er gebruik gemaakt van een vat gemaakt van PVC. Het eindproduct is gemaakt van een kunststof dat gebruikt wordt voor rotatiegieten.

Er is geen minimum of maximum eis aan de volume van het vat. Wel moet er rekening mee gehouden worden dat er bij een groter volume, de opening (de restrictie) in het vat minder klein hoeft te zijn. Verder is het voor de eenvoud in gebruik wenselijk dat de afmetingen van het vat handzaam zijn voor de gebruiker, zodat de ATT makkelijk verplaatst kan worden van woning naar woning. Daarom is er voor gekozen om het volume te beperken tot 1,5 á 2,5 liter.

2.4.2.2 *Ontluchting*

In een van de eerste prototypes was het alleen mogelijk het referentievat te ontlichten door de gehele deksel van het vat te verwijderen. Nadat ervaren was dat het eenvoudig moest zijn om de opgebouwde druk in het vat te nullen, is er een kogelkraan toegevoegd aan de testopstelling, zie onderstaande figuur.



figuur 15: Kogelkraan voor het ontlichten.

Deze kogelkraan is voor de gehele testperiode gehanteerd. Voor het eindprototype is het mogelijk gemaakt om elektronisch te ontlichten. Er is nu een relais verbonden met het vat dat open is totdat er een meting gestart wordt, waarna deze elektronisch automatisch sluit. Wanneer de meting beëindigd wordt, gaat het vat weer open en wordt deze dus automatisch ontlicht. Door deze automatische ontlichting is er een extra handeling voor de gebruiker weggefallen, waardoor de methode nog iets eenvoudiger is geworden om uit te voeren.

2.4.3 *Elektronica en software*

In de eerste testopstelling is gebruik gemaakt van twee losse drukopnemers en een logger. Hierbij meet één drukopnemer het drukverschil tussen de omgeving en het vat, en de andere drukopnemer het drukverschil over het ventilatiesysteem. Deze tweede drukopnemer werd gebruikt, zodat wanneer het drukverschil tussen de omgeving en het referentievat niet groot genoeg was, dit nog steeds goed te detecteren was. Deze tweede drukopnemer is later geschrapt, omdat deze onnodig bleek te zijn toen het berekeningsalgoritme verbeterd is.

In de eerste testopstelling logde de logger de drukverschillen, en vervolgens moest achteraf het logbestand ingeladen worden in de software op de PC/laptop. Dit maakte het niet mogelijk om live tijdens een meting mee te kijken. De logger is in een vroege fase vervangen door een processor die een WiFi access point aanmaakt en een app. Het drukverschil wordt nu gemeten en door de processor over WiFi naar de app gestuurd. Alle berekeningen en opties om metingen op te slaan worden gedaan door de app, waardoor de processor enkel de drukwaarden hoeft door te sturen. Dit zorgt er ook voor dat er geen display nodig is voor de ATT en dat er op de app live meegekeken kan worden tijdens een meting. In hoofdstuk 5.1 wordt de app verder toegelicht.

Bij de tweede testopstelling is gebruik gemaakt van een los kastje met elektronica met daarin de processor en de druksensor. De druksensor werd dan extern op het vat aangesloten. Met deze opstelling zijn de praktijkmetingen verricht. Voor het eindprototype zit de elektronica geïntegreerd op een PCB, verwerkt in de zwarte deksel van het eindprototype in figuur 14.

2.5 **Validatiemetingen lab**

2.5.1 *Verkennde labmetingen eerste prototype ATT*

In een klimaatkamer van TNO zijn metingen uitgevoerd aan een eerste prototype van de ATT. Het doel was eerste ervaringen met de meetmethode op te doen. De belangrijkste bevindingen zijn hieronder verwoord.

De gevoeligheid van het referentievat voor temperatuurverandering kwam duidelijk naar voren. Het referentievat goed isoleren is hiervoor geen oplossing. Zeer kleine temperatuurveranderingen resulteren namelijk al in drukveranderingen. Een lage warmtecapaciteit van het gehele referentievat is gewenst in combinatie met goede afscherming voor warmte-/koudestraling. Daarnaast dient het referentievat minimaal te krimpen of uit te zetten bij temperatuurveranderingen en voldoende sterk te zijn om vormverandering door wijzigingen in de luchtdruk te voorkomen.

Door het dichtzetten van de klep op het referentievat, bleek de druk in het referentievat te veranderen. De oplossing is gevonden in het toepassen van een kogelklep, waarbij de volumeverandering van het referentievat minimaal is bij dichtzetten.

De tijdconstante van het referentievat was niet constant. Verschillende mogelijkheden om dit te verbeteren zijn onderzocht. De uiteindelijke oplossing bestaat uit het toepassen van een instelbaar naaldventiel.

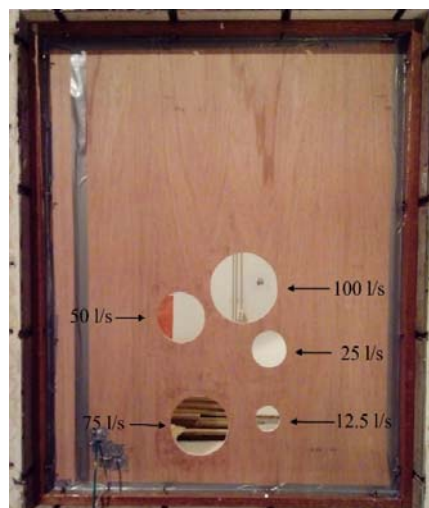
2.5.2 Validatiemetingen ATT versus blowerdoor

In de transmissiekamer van de TU Delft zijn validatiemetingen aan een eerste prototype van de ATT uitgevoerd. Hierbij zijn bij verschillende vast ingestelde luchtdoorlatendheden van de transmissiekamer metingen uitgevoerd met zowel de ATT als een blowerdoor. Normaliter wordt in deze transmissiekamer de geluidwering van geveldelen en vloeren getest. Er is gekozen voor de transmissiekamer omdat deze luchtdicht is. Verder betreft het een inpandige kamer, waarbij eventuele verstoring door windaanval beperkt is.

In de transmissiekamer is de blowerdoor van TNO ingebouwd (zie figuur 16). Om testen uit te voeren bij verschillende mate ven luchtdoorlatendheid van de transmissiekamer, is een meetschot gemaakt met verschillende openingen. De doorlaat van deze openingen is grofweg 12,5, 25, 75, 50 en 100 dm³/s bij 10 Pa. Dit meetschot is ingebouwd in de opstellingsopening voor te testen geveldelen (zie figuur 17).



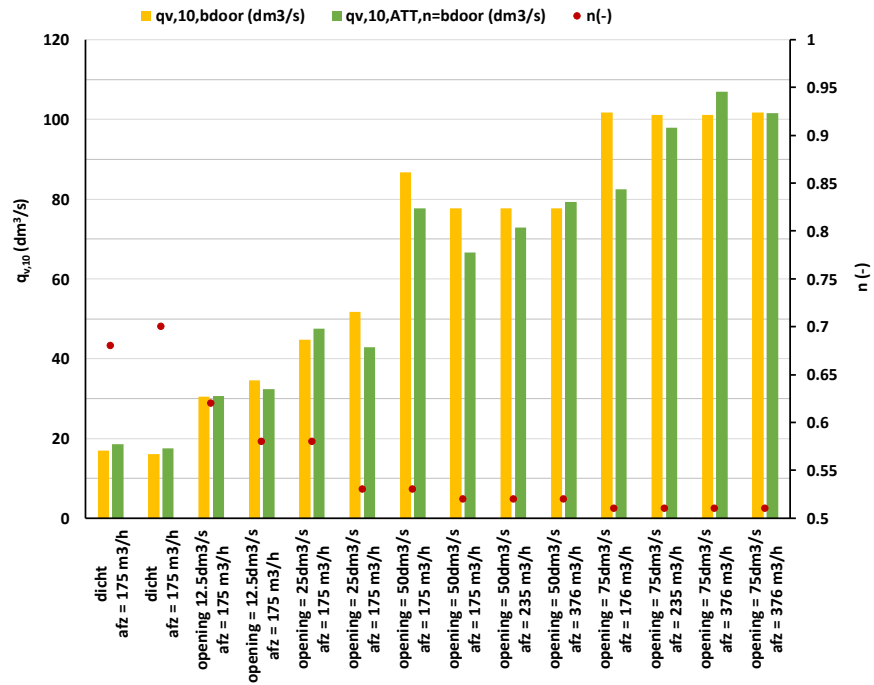
figuur 16: Blowerdoor set van TNO in transmissiekamer TU Delft.



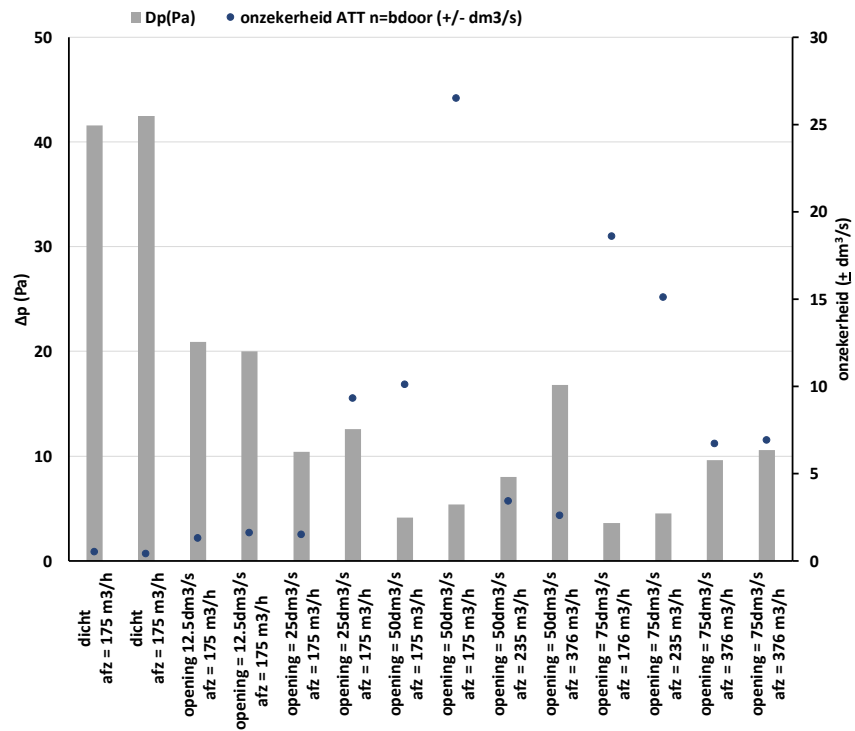
figuur 17: Meetschot met openingen met verschillende doorlaat.

Met het meetschot zijn achtereenvolgens verschillende lekken voor de transmissiekamer ingesteld. Vervolgens is met de blowerdoor de $q_{v,10}$ -waarde gemeten. Hierna is de fan in de blowerdoor ingesteld op een debiet van circa $175 \text{ m}^3/\text{h}$, om een afzuigsysteem in een woning na te bootsen, en is een vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting uitgevoerd met het eerste prototype van de ATT. Tussen het uitvoeren van de blowerdoormeting en de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting zijn geen aanpassingen aan de transmissiekamer gedaan, waardoor een goede vergelijking tussen beide metingen mogelijk is. Het ingestelde debiet van $175 \text{ m}^3/\text{h}$, is een reële waarde voor de capaciteit van een ventilatiesysteem in woningen. Bij groter lek van de transmissiekamer is het debiet verhoogd tot 235 en $376 \text{ m}^3/\text{h}$ omdat anders de drukverschillen erg laag werden. Per ingesteld lek van de transmissiekamer is de meting de volgende dag herhaald. De resultaten van de metingen zijn weergegeven in figuur 18 en figuur 19.

De transmissiekamer bleek niet zo luchtdicht te zijn als vooraf verwacht werd. Een situatie met alle openingen in het meetschot afgeplakt is daarom ook beschouwd om de luchtdichtheid van de transmissiekamer zelf te kunnen bepalen. De $q_{v,10}$ -waarde van de transmissiekamer bedraagt hierbij circa $15 \text{ á } 16 \text{ dm}^3/\text{s}$.



figuur 18: Luchtdichtheid volgens blowerdoor (geel) en ATT (groen).



figuur 19: Drukverschil en onzekerheid ATT.

Uit figuur 18 volgt dat de $q_{v,10}$ -waarde volgens de ATT goed aansluit op de waarde gemeten met de blowerdoor. De grotere afwijkingen treden vooral op bij de grotere lekken van de transmissiekamer (opening 50 dm³/s en opening 75 dm³/s, zie labels langs x-as) in combinatie met een (laag) afzuigdebiet van 175 m³/h (zie labels langs x-as). Door het verhogen van de afzuiging (zie figuur 18 en afzuigdebiet in labels langs x-as) worden de verschillen gereduceerd. Ook neemt hierdoor de onzekerheid in de ATT-meting af als gevolg van het grotere drukverschil en de beperktere spreiding hierin (zie figuur 19). De spreiding tussen herhalingsmetingen met de ATT blijkt maximaal 15% te bedragen. Dit komt overeen met de geconstateerde spreiding bij de blowerdoormeting.

2.5.3 Validatiemetingen ATT met meetbox

Voor het demonstreren van de ATT is een luchtdichte box (0,6m x 0,6m x 0,6m) gemaakt waarop een ventilator is aangesloten (zie figuur 20). Indien de plaat met rooster (zie figuur 20) wordt verwijderd, blijft een opening over die geregeld kan worden door de aan de bovenzijde uitstekende schuif op en neer te bewegen. Met een FlowFinder-mk2 is hierbij de luchtvolumestroom over voornoemde opening gemeten bij 10Pa en vervolgens is met de ATT de luchtdoorlatendheid gemeten door de ventilator meerdere keren aan en uit te schakelen. Hieruit volgt dat de ATT grofweg 5% afwijkt van de meting met de FlowFinder-mk2 (zie tabel 1). Ook bij het meerdere malen herhalen van een meting gaf de ATT veelal een iets hogere luchtdoorlatendheid te zien dan gemeten met de FlowFinder-mk2.



figuur 20: Meetbox met ventilator voor het demonstreren van de ATT.

tabel 1: ATT-metingen uitgevoerd aan meetbox.

	hoogte schuif	ventilator debiet	onderdruk meetbox	vereenvoudigde luchtdoorlatendheids- meting (ATT)		$q_{v,10,att}/q_{v,FF}^{(1)}$
	(cm)	(dm ³ /s)	(Pa)	druk	$q_{v,10}$	%
testmeting1	5,8	29,4	-10	9,6 +0,6	30,0 +1,2	102
testmeting2	5,8	50,5	-27.5	26,1 +0,2	31,3 +0,5	106

Opm.: (1) $q_{v,FF}$ is volumestroom gemeten met de FlowFinder-mk2 bij -10Pa in de meetbox, in dit geval 29,4 dm³/s

2.6 Validatiemetingen praktijk: ATT versus blowerdoor

2.6.1 Aanpak

Vanaf eind 2017 zijn validatiemetingen in de praktijk uitgevoerd. Bij deze metingen zijn steeds een blowerdoormeting en een ATT-meting (vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting) uitgevoerd en vergeleken. Praktijkmetingen zijn uitgevoerd door ACIN en TNO in woningen in Haarlem en Heerhugowaard eind 2017 en begin 2018. Verder zijn metingen uitgevoerd door Koppen Bouwexperts in 2018 en 2019. In totaal zijn metingen uitgevoerd in 72 woningen. In sommige woningen zijn meerdere metingen uitgevoerd, bijvoorbeeld bij andere standen van het ventilatiesysteem, waarmee het totale aantal metingen uitkomt op 107. De metingen zijn uitgevoerd in nieuwbouwwoningen net voor oplevering en in enkele bewoonde woningen.

2.6.2 Meetresultaten

In de hierna volgende figuren wordt onderstaande naamgeving gehanteerd:

- $q_{v,10,bdoor}$ = luchtdoorlatendheid volgens de blowerdoormeting;
- $q_{v,10,ATT,n=bdoor}$ = luchtdoorlatendheid volgens ATT-meting uitgaande van n-waarde volgens de blowerdoormeting;
- $q_{v,10,ATT,n=0,66}$ = luchtdoorlatendheid volgens ATT-meting uitgaande van n-waarde van 0,66;
- n = n-waarde zoals gemeten met blowerdoor.

De meetresultaten zijn bij onderdruk en overdruk weergegeven in respectievelijk:

- 1) figuur 81 en figuur 82 (zie bijlage B) voor ATT-metingen waarbij het ventilatiesysteem achtereenvolgens uit- en ingeschakeld is. Dus ATT-metingen waarbij 1 stand van het ventilatiesysteem is gebruikt.
- 2) figuur 21 en figuur 22 voor ATT-metingen waarbij het ventilatiesysteem in laag- en hoogstand is geschakeld^(a). Dus ATT metingen waarbij 2 standen van het ventilatiesysteem zijn gebruikt.
- 3) figuur 83 en figuur 84 (zie bijlage B) voor ATT-metingen die uitgevoerd zijn met de ventilator van de blowerdoor^(b).

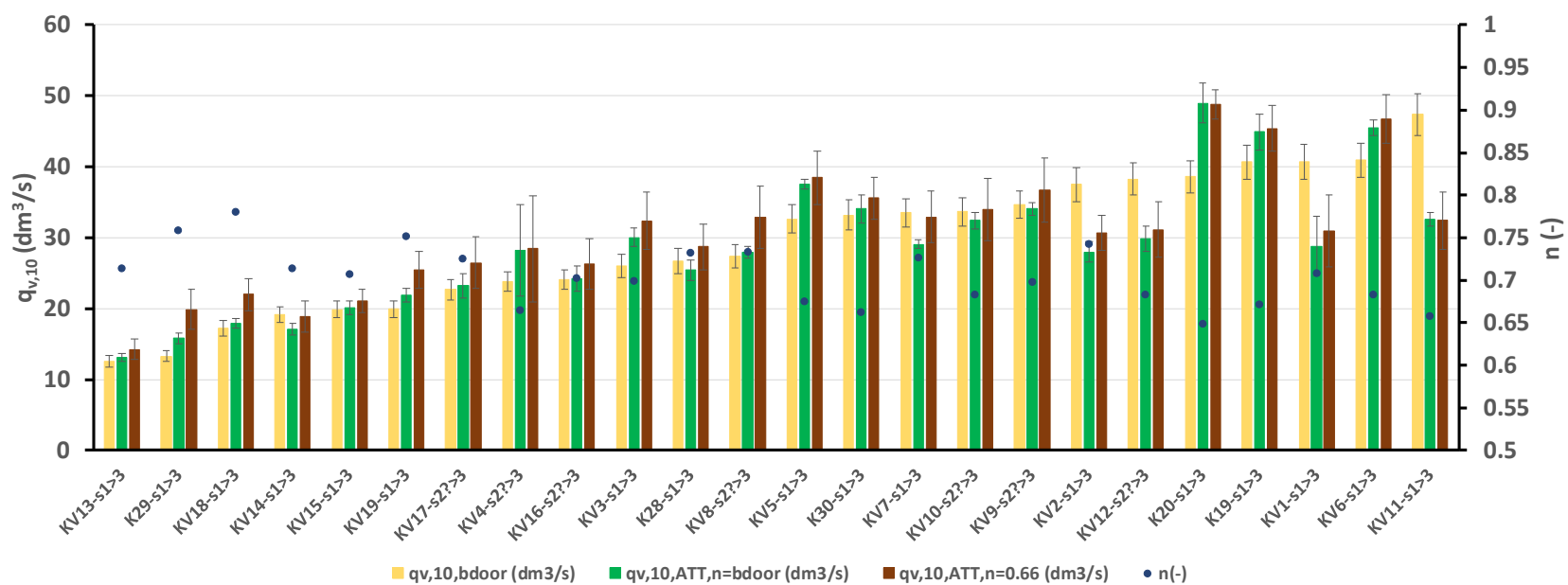
Opmerkingen:

- (a) In een aantal gevallen kon het aanwezige ventilatiesysteem niet uitgeschakeld worden (zie paragraaf 2.7). In dergelijke gevallen is gemeten door het ventilatiesysteem te schakelen tussen 2 standen.

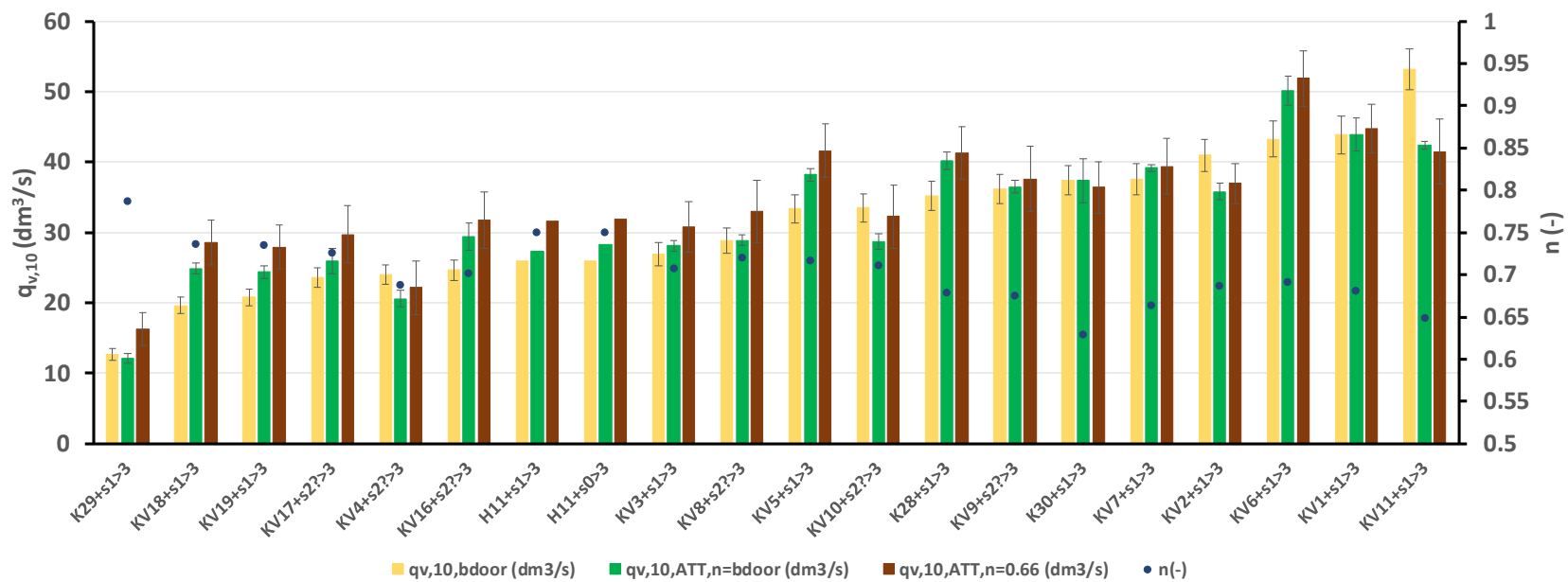
(b) *In een aantal woningen kon de ATT-meting niet uitgevoerd worden met het ventilatiesysteem van de woning omdat de ventilatie-unit of -regeling ontbrak, zoals het geval was in een aantal woningen vlak voor oplevering, of omdat, in geval van ventilatiesysteem D, de kanalen niet (eenvoudig) gedemonteerd konden worden (zie paragraaf 2.7). In dergelijke gevallen is de fan van de blowerdoor gebruikt om onder- of overdruk in de woning te creëren.*

In de figuren is de naamgeving van de woningen als volgt opgebouwd:

- verkorte code (bijv. volgnr, bouwnummer, woningnummer)
- + of – (overdruk of onderdruk meting)
- code voor gebruikte ventilator:
 - s (=ventilatiesysteem)
 - bd (=fan blowerdoor)
- stand of 2 standen (..>..) van het ventilatiesysteem
- ? indien iets niet helemaal duidelijk is aan te geven

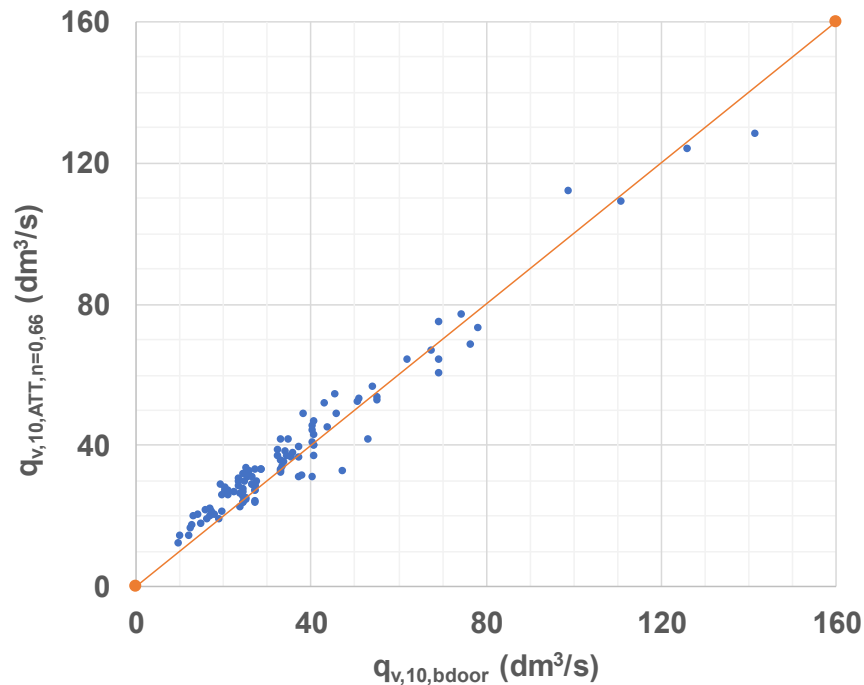


figuur 21: Luchtdoorlatendheid volgens blowerdoor en ATT-meting met 2 standen van het ventilatiesysteem bij onderdruk.



figuur 22: Luchtdoorlatendheid volgens blowerdoor en ATT-meting met 2 standen van het ventilatiesysteem bij overdruk.

Om een goede vergelijking tussen de ATT-metingen en de blowerdoormetingen mogelijk te maken, zijn in figuur 23 de ATT-metingen uitgezet tegen de blowerdoormetingen.



figuur 23: ATT-meting als functie van de blowerdoormeting.

Op basis van figuur 23 lijkt de luchtdoorlatendheid gemeten met de ATT veelal iets hoger te zijn dan de luchtdoorlatendheid gemeten met de blowerdoor. Indien voor beide metingen de onzekerheid van één σ wordt beschouwd, dan valt 68% van de metingen binnen elkaars onzekerheidsmarge. Of beter gezegd, in 68% van de gevallen overlappen de resultaten met in acht name van de onzekerheid van één σ . Dit is een goed resultaat. Doordat de luchtdoorlatendheid gemeten met de ATT veelal iets hoger is, zal in de praktijk met een ATT-meting de luchtdoorlatendheid van een woning zelden onterecht worden goedgekeurd. Daarentegen zal het wel voor kunnen komen dat de luchtdoorlatendheid met een ATT-meting wordt afgekeurd, terwijl deze met de blowerdoormeting zou zijn goedgekeurd.

In bijlage C zijn figuren van het verband tussen de luchtdoorlatendheid gemeten met de ATT en de blowerdoor weergegeven onderverdeeld in onderdruk- en overdrukmetingen én onderverdeeld naar meting met 1 ventilatorstand (aan/uit), meting met 2 ventilatorstanden (laag/hoog) en meting met de ventilator van de blowerdoor. Al deze figuren laten een vergelijkbaar plaatje zien, namelijk dat de luchtdoorlatendheid gemeten met de ATT veelal iets hoger is dan de luchtdoorlatendheid gemeten met de blowerdoor.

Onduidelijk is hierbij of de ATT mogelijk enige overschatting van de $q_{v,10}$ -waarde geeft of de blowerdoormeting enige onderschatting. De blowerdoor heeft uiteraard

ook zijn onnauwkeurigheid. Uit onderzoek [12] is gebleken dat met verschillende blowerdoor sets een spreiding in de $q_{v,10}$ -waarde gemeten kan worden van $\pm 10\%$. Verder is gebleken dat bij het herhalen van een blowerdoormeting een spreiding van $\pm 5\%$ kan optreden.

In voorgaande paragrafen zijn mogelijke redenen besproken voor het verschil tussen de meetresultaten van de blowerdoor en de ATT, welke hieronder herhaald worden. Onderstaand wordt per aspect aangegeven in hoeverre dit aspect een mogelijke bijdrage kan leveren aan de hogere luchtdoorlatendheid die met de ATT is gemeten:

- 1 De tijdconstante van het referentievat.
Zoals toegelicht in 0 kan de tijdconstante aanleiding zijn voor het onderschatten van het drukverschil en dus overschatten van de luchtdoorlatendheid. Echter, bij de aangehouden tijdconstante van 300 s is dit effect verwaarloosbaar klein.
- 2 De directe verbinding tussen binnen en buiten via het ventilatiesysteem indien de ventilator uitstaat.
Dit is toegelicht in 2.3.5 en bijlage A en zou het geval kunnen zijn bij een ATT-meting waarbij de ventilator aan- en uitgeschakeld wordt. In het merendeel van de situaties zit de uitmonding van het ventilatiesysteem in een onderdruk gebied. Hiervan uitgaande is bij een onderdrukmeting een overschatting van de luchtdoorlatendheid mogelijk en bij een overdrukmeting een onderschatting. Dit zien we echter niet structureel terug in de meetresultaten, zie bijlage C.
- 3 Een lek in het kanalsysteem waardoor de af- of toegevoerde luchtvolumestroom door de ventilator groter is dan de gemeten luchtvolumestromen op de roosters.
Indien dit het geval is, leidt dit tot een onderschatting van de luchtdoorlatendheid, omdat verondersteld wordt dat het gemeten drukverschil optreedt in combinatie met een te laag ingeschatte luchtvolumestroom. Dit draagt dus niet bij aan de hogere luchtdoorlatendheid die met de ATT is gemeten.

2.6.3 Conclusie

De luchtdoorlatendheid gemeten met de ATT is in veel gevallen iets hoger dan de luchtdoorlatendheid gemeten met de blowerdoor. Echter, indien voor beide metingen de onzekerheid van één σ wordt beschouwd, dan valt 68% van de metingen binnen elkaars onzekerheidsmarge. Dit is een goed resultaat. Hierbij moet worden opgemerkt dat de blowerdoormeting ook een zekere onnauwkeurigheid heeft, waardoor het onduidelijk is of de ATT een overschatting van de $q_{v,10}$ -waarde geeft of de blowerdoor een onderschatting. De verschillen tussen de ATT-meting en de blowerdoormeting laten zich niet verklaren door aspecten zoals door ons onderkend en onderzocht. Vooralsnog kunnen we de afwijkingen alleen verklaren door toevallige onnauwkeurigheden in beide methoden. Nader onderzoek is nodig om hier meer duidelijkheid over te krijgen.

2.7 Lessen uit de praktijk

Bij het uitvoeren van de ATT-metingen in de praktijk zijn onderstaande zaken geconstateerd.

- a) **Onvoldoende snel optoeren van de ventilator**

Voor een goede meting dient de ventilator na inschakelen voldoende snel op te toeren. Na het volledig uitschakelen (stekker eruit halen), blijken enkele ventilatiesystemen echter een speciale opstartprocedure uit te voeren welke veel tijd vergt en waardoor snel optoeren wordt verhinderd. Als alternatief is de mogelijkheid onderzocht het ventilatiesysteem aan te laten, maar tijdelijk één van de standen in te regelen op nul debiet. Een groot aantal ventilatiesystemen kan echter niet op nul ventilatie ingeregeld worden. Navraag bij fabrikanten bevestigde het bovenstaande. Fabrikanten beschouwen op nul inregelen als niet gewenst. Alle gesproken fabrikanten (Brink, Zehnder, Orcon, Itho Daalderop en DUCO) geven aan in de toekomst hun ventilatiesystemen geschikt te willen maken voor een ATT-meting door bijvoorbeeld een speciale meetstand op de unit te realiseren. Itho Daalderop heeft inmiddels met ACIN Instrumenten afgesproken haar wtw's te gaan voorzien van een 'ATT' servicestand. ACIN Instrumenten gaat dit ook met andere fabrikanten bespreken.

In voorgenoemde gevallen is het nodig de ATT-meting uit te voeren door het ventilatiesysteem te schakelen van een lagere naar een hogere stand, zoals ook al besproken in paragraaf 2.3.1. Schakelen van het ventilatiesysteem in twee standen heeft als nadeel dat het verschil in luchtvolumestroom en dus het te realiseren drukverschil afneemt.
- b) **Ontbreken ventilatie-unit bij oplevering**

Metingen zijn, zoals al aangegeven, grotendeels uitgevoerd in woningen vlak voor oplevering (enkele dagen voor oplevering). In een aantal gevallen bleek toen de ventilatie-unit en/of de regeling nog niet geïnstalleerd dan wel ingeregeld te zijn. Een ATT-meting is dan niet uit te voeren. Onze verwachting is echter dat in de toekomst ATT-metingen door de installateur zullen worden uitgevoerd, waardoor dit geen issue zal zijn.
- c) **Balansregeling**

Nagenoeg alle balansventilatiesystemen zijn uitgerust met een balansregeling. Hiermee worden het toe- en afvoerdebiet zoveel mogelijk gelijk gehouden, ofwel in balans gehouden. Bij gebruik van het balanssysteem moet bij een overdrukmeting met de ATT de afvoer naar buiten geblokkeerd worden of bij een onderdrukmeting de toevoer van buiten geblokkeerd worden. Gezien de balansregeling moet dit zodanig gebeuren dat de betreffende ventilator vrij lucht kan rondpompen in de woning. Dus het toevoerkanaal van buiten of het afvoerkanaal naar buiten, moet van de balansunit losgekoppeld worden en vervolgens afgedicht worden.
- d) **Bereikbaarheid en demontage mogelijkheid van de kanaalaansluiting**

Bij een balansventilatiesysteem (zie punt c) moet één van de kanaalaansluitingen losgemaakt en afgeplakt worden. Bij een aantal van de praktijkmetingen bleek dit, door de wijze van montage dan wel de beschikbare ruimte, bijzonder lastig uitvoerbaar te zijn. Indien in de toekomst de installateur

de ATT-meting uitvoert, kan hij indien hij dergelijke gevallen verwacht, ervoor kiezen eerst de ATT-meting uit te voeren.

- e) Opstarten van ventilatie-unit in CO₂-regeling
Na het uitschakelen van de ventilatie-unit, starten enkele units op in CO₂-stand. Op het bedieningspaneel dient de unit vervolgens in hoogstand geschakeld te worden. Als de ventilatie-unit en het bedieningspaneel op verschillende plaatsen zitten, is dit niet voldoende snel mogelijk. De oplossing is het in- en uitschakelen van de unit via een op afstand bedienbare schakelaar.
- f) Bij de validatiemetingen uitgevoerd in 107 woningen (zie 2.6) bedroeg de gemiddelde n-waarde 0,7. Vooralsnog is bij de ATT metingen uitgegaan van een gemiddelde n-waarde van 0,66 op grond van de literatuur [3]. Dit getal is echter niet specifiek gebaseerd op Nederlandse (luchtdichte) woningen met een Nederlandse bouwwijze. Er kan daarom worden overwogen de n-waarde bij de ATT-metingen bij te stellen naar 0,7.
- g) Metingen met de ATT bij harde wind lijken goed mogelijk. Nader onderzoek is nodig om na te gaan hoe goed de resultaten zijn.

3 Methodiek lucht volumestroom

3.1 Inleiding

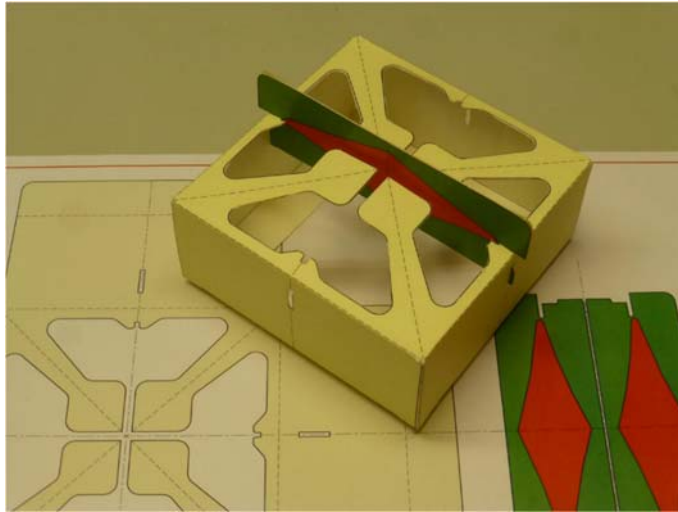
In dit hoofdstuk wordt de methodiekontwikkeling beschreven voor de bepaling van de lucht volumestromen van het ventilatiesysteem. Allereerst wordt in paragraaf 3.2 ingegaan op de resultaten van de haalbaarheidsstudie [1] die in 2016 in opdracht van RVO is uitgevoerd en waar in dit project op is voortgebouwd. Vervolgens wordt het ontwikkeltraject toegelicht in paragraaf 3.3 en wordt (de ontwikkeling van) de methodiek en het prototype beschreven in paragraaf 3.4 en 3.5. In paragraaf 3.6, 3.7 en 3.8 wordt vervolgens ingegaan op de validatiemetingen die respectievelijk in het lab en in de praktijk zijn uitgevoerd. Tot slot wordt in paragraaf 3.9 ingegaan op de lessen die we hebben geleerd in de praktijk.

3.2 Haalbaarheidsstudie RVO

In de haalbaarheidsstudie die in 2016 in opdracht van RVO is uitgevoerd, zijn voor het meten van de lucht volumestromen van mechanische ventilatiesystemen een drietal methoden onderzocht, te weten:

- 1) de zogenaamde zakmethode. Hierbij wordt de tijd gemeten nodig om een zak met vaste afmetingen te vullen dan wel leeg te zuigen.
- 2) de zogenaamde doosmethode. Hierbij wordt een doos met (regelbare) opening over het rooster geplaatst. In de meest eenvoudige vorm wordt de lucht volumestroom zichtbaar gemaakt met een doorbuigend vlak dat een grotere uitslag geeft als de lucht volumestroom toeneemt. Daarnaast kan door het meten van het drukverschil over de opening of het meten van de luchtsnelheid met een meetvaan in de opening, de lucht volumestroom nauwkeuriger bepaald worden.
- 3) een conische cilinder met een bolletje, waarbij het bolletje omhoog geduwd wordt door de luchtstroom en de hoogte van het bolletje een maat is voor de lucht volumestroom.

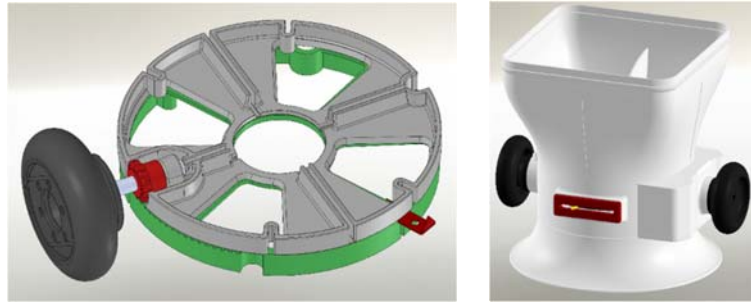
Wat betreft de kosten en de meetnauwkeurigheid was er niet een duidelijke voorkeur voor één van de drie methoden. Alhoewel de kosten voor de zakmethode hoger ingeschat werden. Vanuit consumentenorganisaties werd de voorkeur gegeven aan de doosmethode, waarschijnlijk gezien de eenvoud (vouwbare doos met doorbuigend vlak), zie figuur 24. Door de professionals werd de voorkeur gegeven aan de conische cilinder met bolletje.



figuur 24: Het allereerste idee voor een zeer betaalbare lucht volumestroommeter: een 'bouwplaat' voor de consument om zijn ventilatiesysteem te controleren.

3.3 Ontwikkeltraject methodiek lucht volumestroom

Voor een aantal methodieken die in de vorige paragraaf zijn beschreven, zijn al instrumenten op de markt. Verder werden de mogelijkheden om de nauwkeurigheid van deze meetmethodieken te verbeteren ingeschat als beperkt. Met name het ontbreken van nuldrukcompensatie werd ervaren als een gemis. Daarom is eerst getracht een lucht volumestroommeter te ontwerpen met nuldrukcompensatie met een verkoopprijs onder de 1000 euro. Nuldrukcompensatie wordt gezien als de beste methode om aan ventielen te meten en wordt voorgeschreven in NEN 1087. Vooral voor toevoerventielen is gebleken dat dit de beste methode is. ACIN instrumenten levert al jaren de FlowFinder-mk2, een lucht volumestroommeter met nuldrukcompensatie. Dit instrument wordt gezien als de standaard voor ventilatiemetingen maar kost dan ook wel 3000 euro. De eerste paar maanden van het project hebben we onderzoek gedaan naar een goedkopere versie van de FlowFinder-mk2. De FlowFinder-mk2 maakt gebruik van een ventilator, een borstelloze gelijkstroommotor, een geavanceerde motor controller, en wordt bediend via een touchscreen display, een en ander gevoed door een speciale oplaadbare batterij. Allemaal dure onderdelen. We hebben getracht een handbedienbare, analoge nuldrukmeter, de FlowFinder-light, te ontwerpen in de veronderstelling dat deze goedkoper zou zijn dan de FlowFinder-mk2, maar wel even goed zou kunnen meten. Alleen al de onderdelen en de complexe mechaniek (zie figuur 25) en dan ook nog niet geheel bevredigende meetresultaten deden ons besluiten van de verdere ontwikkeling af te zien. De prijs voor de eindgebruiker zou zeker niet onder de gewenste 1000 euro zijn uitgekomen.



figuur 25: Weergave van de FlowFinder-light.

Het volgende idee was om toch de ‘doosmethode’ te gebruiken en te trachten deze ook geschikt te maken voor toevoermetingen middels een aerodynamisch gevormde stroomrichter.

Al deze pogingen waren gebaseerd op ‘ideeën’ die vervolgens meteen in de praktijk werden getest, de empirische methode. De 3D printer was hierbij een onmisbaar stuk gereedschap. Echter het tekenen en maken van prototypen nam veel tijd in beslag zonder precies te weten wat het resultaat zou zijn. Daarom is besloten over te gaan tot het modelleren van de metingen.

We hadden hiervoor al de expertise (een TU-Delft masterstudent, nu MSc en in vaste dienst bij ACIN) in huis en we hebben de software (SolidWorks CFD module) aangeschaft. Allereerst werden de 3D modellen doorgerekend. De conclusie kwam overeen met onze metingen: een te grote spreiding tussen verschillende stromingspatronen uit de meest gebruikte ventielen.

Vervolgens is gekozen voor de verdere doorontwikkeling van een meetapparaat gebaseerd op een vleugelradanemometer. Dit meetapparaat wordt aangeduid als VentiFlow-mk2 en de ontwikkeling hiervan wordt in dit hoofdstuk beschreven.

3.4 Beschrijving methodiek lucht volumestroom

3.4.1 *Principe methodiek*

Voor de vereenvoudigde volumestroommeting (VentiFlow-mk2) wordt een passief instrument gebruikt in combinatie met een vleugelradanemometer.

De nauwkeurigheid van een meting wordt in hoofdzaak bepaald door 2 factoren:

1. Bij een passief instrument wordt de stromingsweerstand van het meetinstrument niet gecompenseerd. De afname van de volumestroom als gevolg van het plaatsen van een meetinstrument is de weerstandsfout. De weerstandsfout wordt hoofdzakelijk bepaald door de verhouding tussen de drukval over het instrument en de drukval over het te meten ventiel.
2. De stromingsfout in de volumestroom als gevolg van de omrekening van toerental naar volumestroom. De vleugelradanemometer in de VentiFlow-mk2 meet het toerental T [s^{-1}] van het vleugelrad. Voor de omrekening naar de volumestroom wordt een vaste factor A gebruikt zodat $Q = A T$ [m^3/uur]. Bij toevoer hangt A af van het stromingspatroon dat gevormd wordt door het ventiel. Een roterende stroming gevormd door een wervelrooster heeft een

andere invloed op het toerental van de anemometer dan dezelfde volumestroom gevormd door een zijblazend ventiel. Bij afvoer is deze stromingsfout verwaarloosbaar omdat de lucht eerst de anemometer passeert en daarna pas het ventiel.

Het ontwerp van de VentiFlow-mk2 dient twee doelen. In de eerste plaats het minimaliseren van de algehele drukval over het instrument en in de tweede plaats het homogeniseren van de stroming in de richting van de anemometer. Bij toevoer treden beide fouten op, bij afvoermetingen alleen de weerstandsfout. Dit onderzoek concentreert zich dan ook op toevoermetingen.

3.4.2 Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid is afhankelijk van het te meten ventiel en achterliggende systeem. Bij het bepalen van de nauwkeurigheid wordt er onderscheid gemaakt tussen drie volumestromen, namelijk.

- Q_w : De te meten (werkelijke) volumestroom in [m³/uur]
- Q_v : De verstoorde volumestroom (dus met de VentiFlow-mk2 voor het ventiel) in [m³/uur]
- Q_g : De gemeten volumestroom in [m³/uur]

De stromingsfout is het verschil tussen de gemeten volumestroom en de verstoorde volumestroom ($Q_v - Q_g$); uit metingen (zie onder andere 3.6.2.1) blijkt dat deze fout ventiel onafhankelijk is en ± 3 m³/uur bedraagt tot 100 m³/uur en $\pm 3\%$ tussen 100 en 400 m³/uur.

De weerstandsfout is het verschil tussen de werkelijke volumestroom en de verstoorde volumestroom ($Q_w - Q_v$); deze fout wordt bepaald door de drukval over het ventiel en het achterliggende systeem. Voor de weerstandsfout kan de volgende schatting gebruikt worden

$$\epsilon_w = f^{-\frac{1}{2}} - 1$$

waarbij ϵ_w de relatieve weerstandsfout is gedefinieerd als

$$\epsilon_w = \frac{Q_v - Q_w}{Q_w}$$

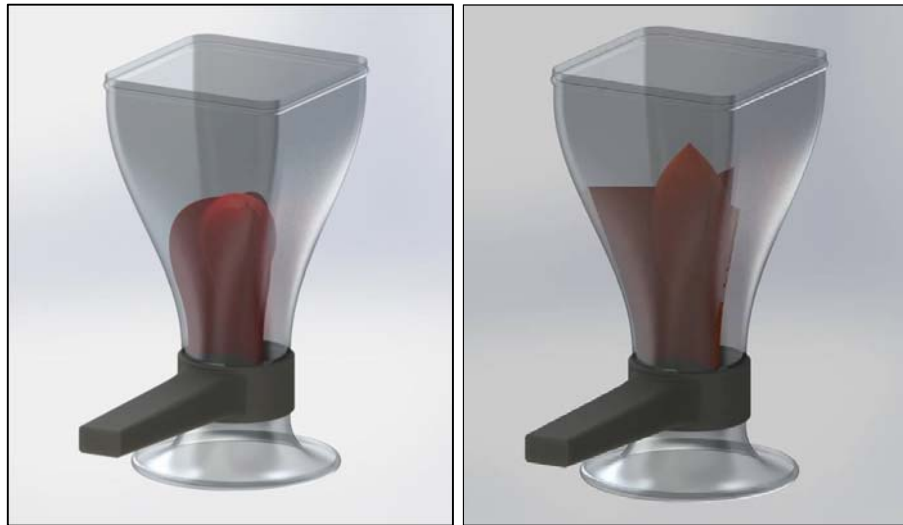
en f de verhouding is tussen de totale drukval over de VentiFlow-mk2 plus het te meten systeem én de drukval van het te meten systeem. De drukval over veel toegepaste ventielen is groot zodat dan ϵ_w klein is.

3.5 Beschrijving prototype

3.5.1 Ontwerp

De afmetingen van de vleugelradanemometer bepalen de minimale doorlaat van het venturivormige huis aan de onderkant. De bovenkant van de VentiFlow-mk2 is gelijk aan de bovenkant van de FlowFinder-mk2 zodat dezelfde opzetstukken gebruikt kunnen worden. Om de stromingsfout te beperken is het instrument voorzien van een stroomrichter om de stroming te homogeniseren in de richting van het vleugelrad, zoals te zien in figuur 26. De stroming, gemeten op de plek van de

anemometer, is daarom niet te herleiden tot het gemeten ventiel. Dit leidt tot een ventiel onafhankelijke nauwkeurigheid. Zoals gezegd is deze functie alleen nodig en van toepassing voor toevoer metingen. Voor afvoermetingen is het primaire doel een zo laag mogelijke instrumentweerstand te bewerkstelligen aangezien de stroming homogeen zal zijn op de plek van de anemometer, ongeacht het gemeten ventiel.

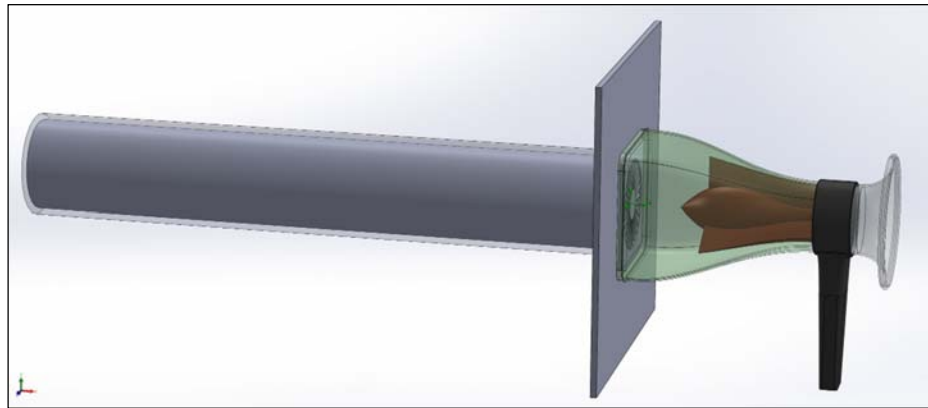


figuur 26: Ventiflow-mk2 – V0 (links) en Ventiflow-mk2 – V2 (rechts).

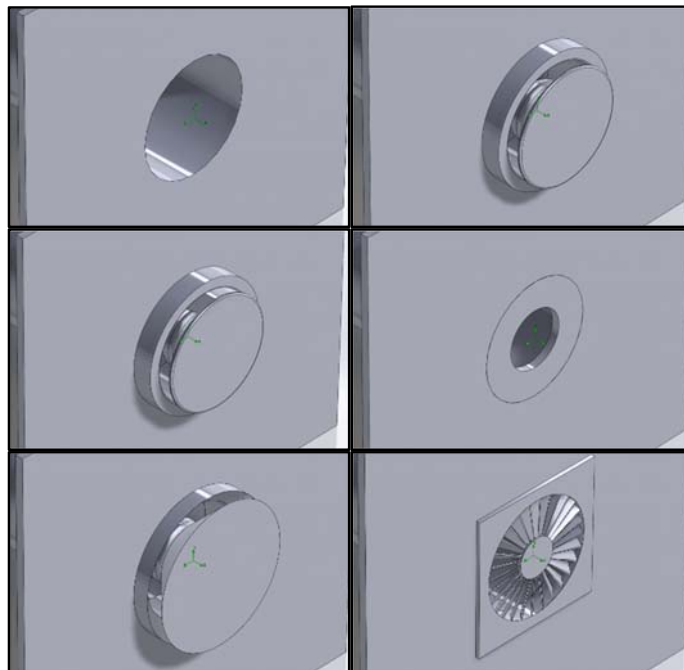
3.5.2 Methode en simulaties

3.5.2.1 Opzet

Om de effectiviteit van de stroomrichter te bepalen is de stroming in het instrument gemodelleerd met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD). Hiervoor is het pakket Flow Simulation van SolidWorks gebruikt. In figuur 27 is de opzet van de simulatie te zien. Het systeem bestaat uit een tunnel, een ventiel en een ontwerp van de Ventiflow-mk2. Zoals eerder benoemd heeft deze simulatie als doel de homogeniteit van de stroming op de locatie van de vleugelradanemometer te bepalen bij verschillende ventielen. Er zijn 6 verschillende ventielen gemodelleerd zoals te zien is in figuur 28. In combinatie met de 6 verschillende ventielen zijn de twee ontwerpen gemodelleerd, daarnaast is ook een ontwerp zonder stroomrichter gemodelleerd ter vergelijking. De volledige set bestaat dus uit 3 (ontwerpen) maal 6 (ventielen) is 18 simulaties. Al deze simulaties zijn uitgevoerd bij een volumestroom van $100 \text{ m}^3/\text{uur}$. Daarna is het gekozen ontwerp gemodelleerd voor een aantal volumestromen in het bereik $0\text{-}100 \text{ m}^3/\text{uur}$.



figuur 27: Opzet van de simulatie.



figuur 28: De 6 gesimuleerde ventielen. Bovenste rij van links naar rechts: open gat (S1) en zijblazend ventiel (S2). Middelste rij van links naar rechts: deels geblokt zijblazend ventiel (S2BI) en klein gat (S3). Onderste rij van links naar rechts: diagonaal blazend ventiel (S4) en wervelrooster (S5).

3.5.2.2 Analyse

Het bepalen van de homogeniteit van de stroming wordt gedaan aan de hand van twee methoden. In de eerste plaats zullen de stromingspatronen visueel vergeleken worden om zo een algemeen beeld te krijgen van de invloed van de stroomrichter. Daarnaast zal uit het snelheidsveld het toerental van de anemometer berekend en vergeleken worden.

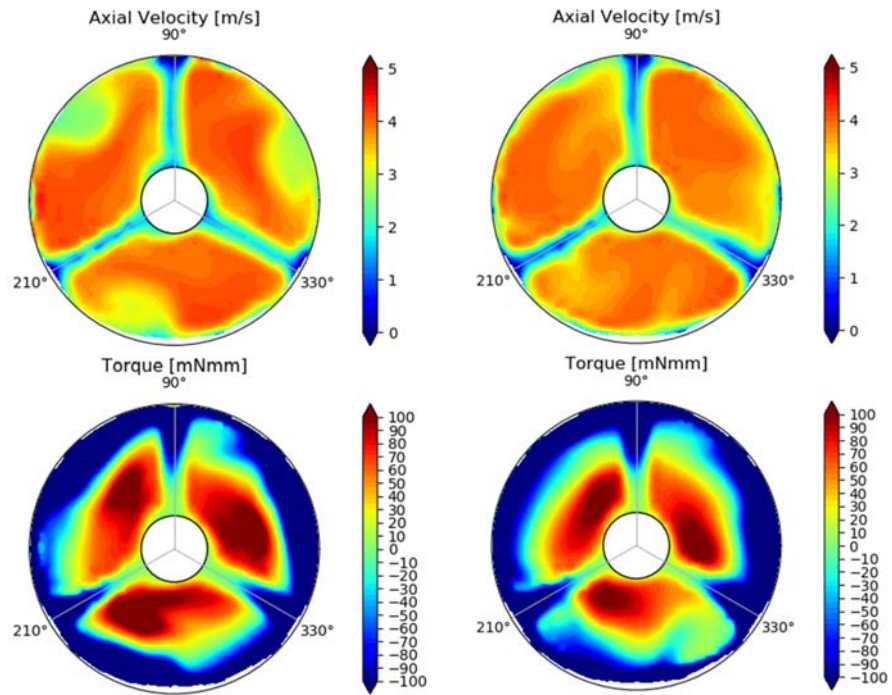
3.5.3 Resultaten

Onderstaande tabel laat de relatieve fout in het toerental zien voor de verschillende ontwerpen ten opzichte van een meting op het open gat (S1). Hier is te zien dat de ventielen S2 en S4 uitstekend gemeten kunnen worden zonder stroomrichter. Dit is te verklaren aangezien de stroming veroorzaakt door deze ventielen axiaal symmetrisch is. Door het venturivormige ontwerp worden deze stromen homogeen richting de anemometer geleid, resulterend in gelijke toerentallen. De meetfout stijgt voor ventielen die een asymmetrisch patroon veroorzaken, zoals een deels geblokt ventiel (S2Bl) of een wervelrooster (S5), in het geval van het wervelrooster zelfs in extreme mate. Ventiel S3 laat ook een significante afwijking zien. De gecentreerde uitstroom met hoge snelheid wordt niet voldoende verdeeld over het volume van de anemometer waardoor een foutieve waarde wordt gemeten.

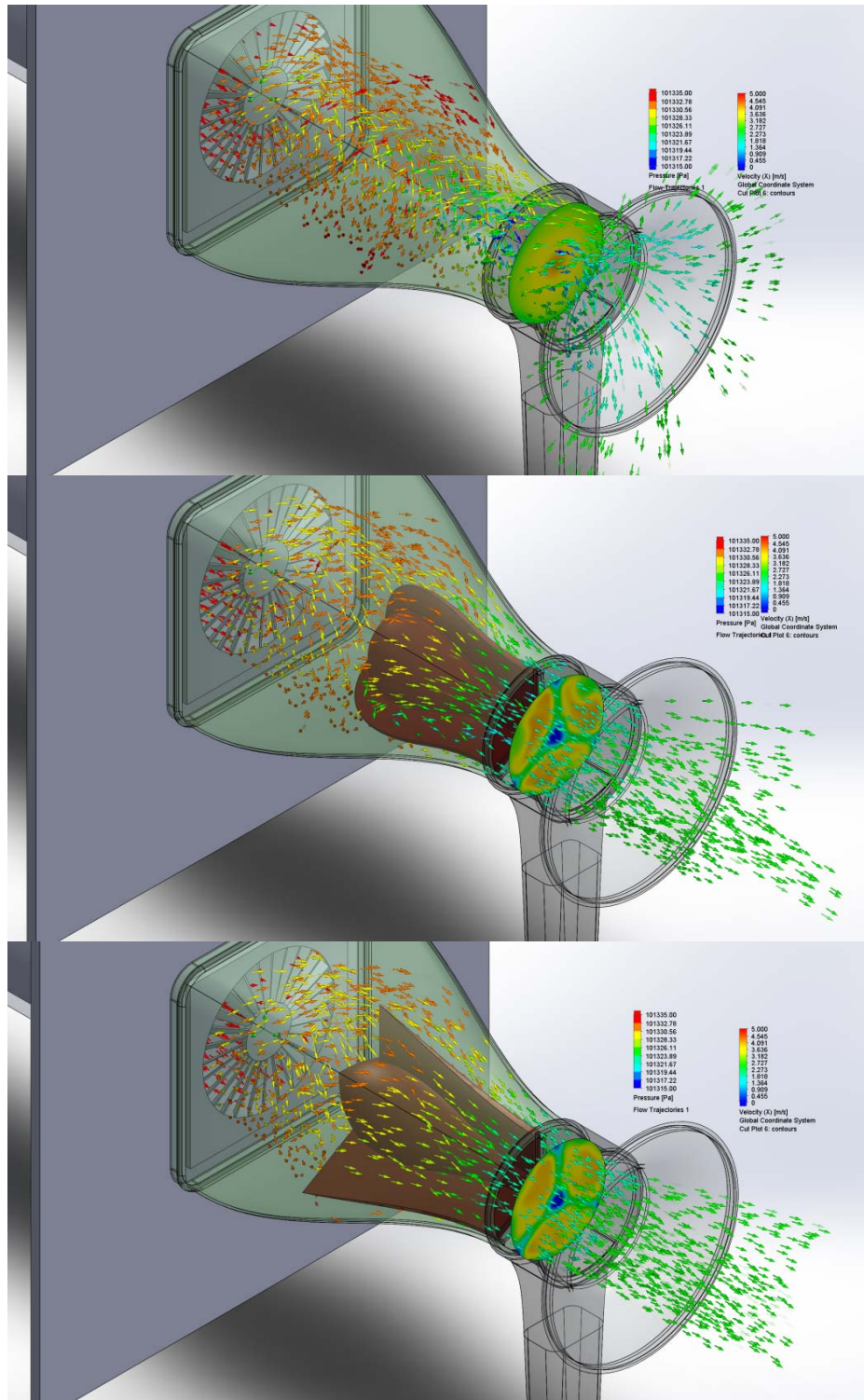
tabel 2: Stromingsfout per ontwerp en ventiel in [%] relatief aan het open gat (S1).

	Geen Stroomrichter	V0	V2
S1	0.0	0.0%	0.0%
S2	0.2	-1.0%	-0.8%
S2Blocked	3.5	1.2%	1.6%
S3	12	1.0%	2.4%
S4	0.2	-0.8%	-1.2%
S5	-78	-9.1%	-6.2%

V0 resulteert in een maximale afwijking van 1.2% met uitzondering van het wervelrooster welke een afwijking van 9.1% laat zien. Dit is al een forse reductie ten opzicht van het ontwerp zonder stroomrichter. V2 laat een iets grotere spreiding zien voor de ventielen S1 tot en met S4 ten opzichte van V0, maar daarbij ook een sterke reductie in de meetfout op het wervelrooster (6.2% t.o.v. 9.1%). Figuur 29 laat de karakteristieken zien van het stromingspatroon op de locatie van de anemometer voor V0 (links) en V2 (rechts) bij gebruik van het wervelrooster. Wat opvalt is dat de axiale snelheid (boven) voor V2 meer homogeen is dan voor V0. Ditzelfde geldt voor de verdeling van het draaimoment (onder). Hoewel kleine wervelingen zichtbaar blijven in de afzonderlijke secties van de VentiFlow-mk2 worden deze het sterkst verminderd met V2. figuur 30 Figuur 30 laat de stromingspatronen zien voor de drie ontwerpen in combinatie met het wervelrooster. Ook hier is te zien dat de V2 het meest effectief de wervelingen van het rooster compenseert.



figuur 29: Homogeniteit van de stroming op de locatie van de anemometer voor het wervelrooster. Links zijn de resultaten te zien voor V0 en rechts voor V2. Boven is de axiale snelheid te zien en onder de verdeling van het draaimoment.



figuur 30: Stromingspatroon op het wervelrooster (S5). De kleur van de pijlen geeft de druk weer en de kleur van de plot op de locatie van de anemometer geeft de axiale snelheid weer. Boven: Geen Stroomrichter, Midden: V0, Onder: V2.

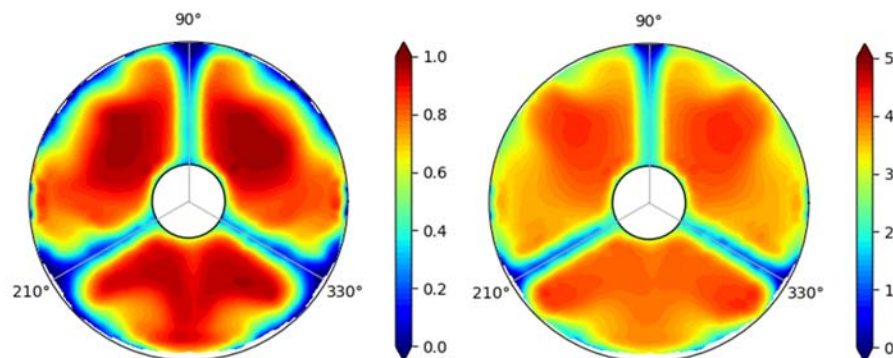
Naast de vergelijking bij 100 m³/uur zijn de ventielen S1 tot en met S3 in combinatie met V2 gesimuleerd voor verschillende volumestromen. tabel 3 laat de relatieve stromingsfout zien bij een lineaire relatie tussen toerental en volumestroom. De volgende vergelijking is gebruikt om de volumestroom te bepalen uit het berekende toerental.

$$Q = \frac{RPM}{951.4}$$

De resultaten laten een afwijking zien die oploopt voor lage volumestromen, dit kan verklaard worden doordat de snelheid relatief langzamer oploopt vanaf de wand van de VentiFlow-mk2 richting het midden voor lage volumestromen. Dit is te zien in figuur 31, waar de axiale snelheidsprofielen zijn afgebeeld bij een zijblazend ventiel (S2) voor 20 m³/uur en 100 m³/uur. Een veranderend snelheidsprofiel zorgt ervoor dat de relatie tussen toeren en volumestroom niet exact lineair is. Daarnaast kan frictie op de as van de anemometer dit effect versterken. Beide effecten zijn niet ventielafhankelijk maar universeel en daarom te corrigeren in een kalibratie.

tabel 3: Stromingsfout in [%] bij verschillende volumestromen.

Q [m ³ /uur]	20	45	60	75	90	100
S1	6.8	2.7	1.7	0.9	0.3	0.0
S2	6.6	2.3	0.8	0.1	-0.5	-0.8
S2Blocked	6.4	3.4	2.7	2.5	1.9	1.6
S3	6.6	3.4	3.0	2.7	2.6	2.4
S4	6.5	2.0	1.1	0.0	-0.8	-1.2
S5	2.1	-3.0	-4.2	-5.0	-5.3	-6.2



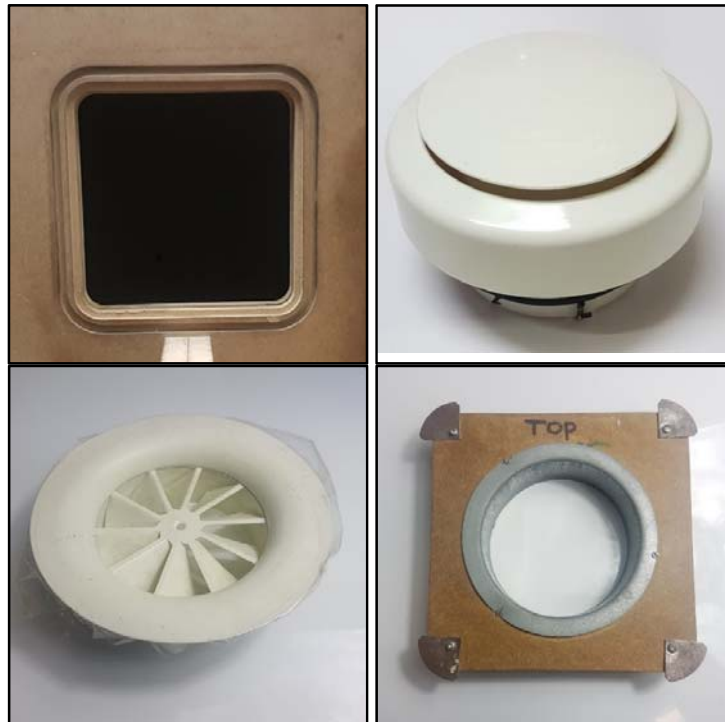
figuur 31: Axiaal snelheidsprofiel voor V2 en ventiel S2 bij 20m³/uur (links) en 100m³/uur (rechts).

3.6 Validatiemetingen lab

3.6.1 Aanpak

Aan de meettunnel bij ACIN zijn metingen uitgevoerd, waarbij de weerstandsfout en stromingsfout zijn gemeten. Verschillende ventielen en weerstandssystemen zijn gemeten en in kaart gebracht. De eerste set met metingen is gedaan met V2,

gemeten voor toevoer op de ventielen zoals te zien in figuur 32. Deze ventielen zijn gemeten op verschillende systeemweerstand en voor het bereik 0-200 m³/uur met uitzondering van het zijblazende ventiel, dat is gemeten tot 150 m³/uur.



figuur 32: Gemeten ventielen, linksboven met de klok mee, Groot gat (GG), Ventiel (V), Klein Gat (KG) en Wervelrooster (Wervel).

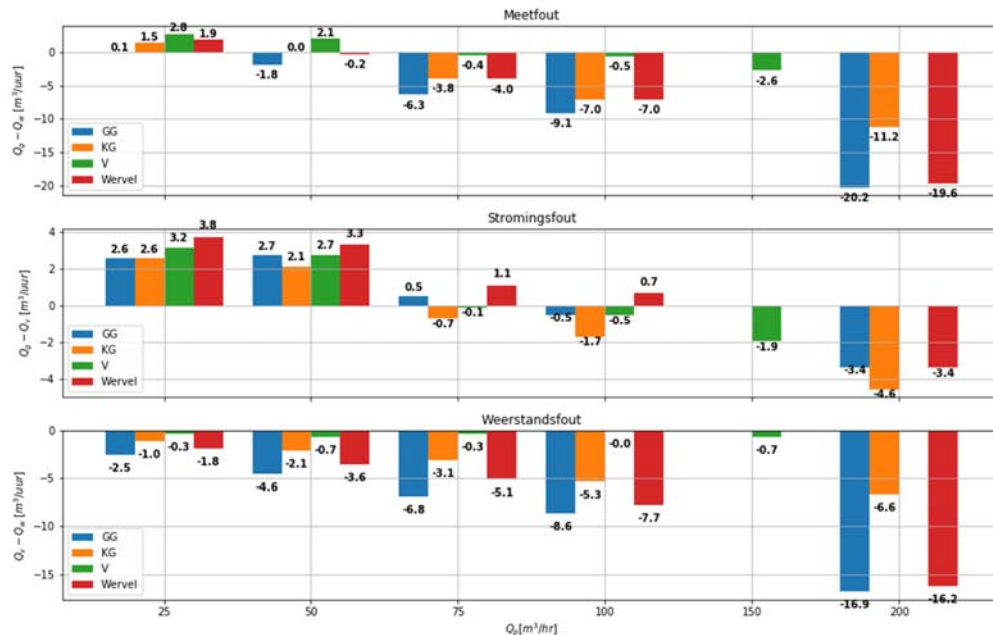
Een tweede set metingen is uitgevoerd met zowel V0 als V2. Hierbij moet worden opgemerkt dat V0 van het ontwerp niet volledig overeenkomt met het CFD model gebruikt in sectie 3.5. De stroomrichter komt in beide modellen overeen, maar V0 waarmee is gemeten heeft een kortere kelk met een ronde bovenkant. Naast de genoemde ventielen zijn beide ontwerpen vergeleken op een ventiel met een geblokkeerde sectie (schone sectie) dat een asymmetrisch stromingspatroon veroorzaakt.

3.6.2 Resultaten

3.6.2.1 Metingen V2

Figuur 33 laat respectievelijk de totale meetfout, de stromingsfout en de weerstandsfout zien per ventiel. Zoals verwacht is de stromingsfout (middelste grafiek) niet lineair en daardoor relatief hoger voor de lage volumestromen (zie 0) en vrijwel exact in het gebied 75-100 m³/uur. Aangezien de weerstandsfout over het gehele gebied negatief is, compenseert dit deels voor de stromingsfout in het lage bereik. De totale meetfout is daarom kleiner dan 3 m³/uur in het gebied tot 75 m³/uur en kleiner dan 10% tot 200 m³/uur voor alle gemeten ventielen. Wat in het bijzonder opvalt is de lage weerstandsfout voor de metingen op het ventiel (groen) zoals beschreven in sectie 3.4.2. De weerstand van het ventiel bedraagt 70Pa bij 100m³/h, maar de lage weerstandsfout zal met name veroorzaakt worden door een verlaging van het uitstroomverlies van het ventiel na plaatsing van de VentiFlow-

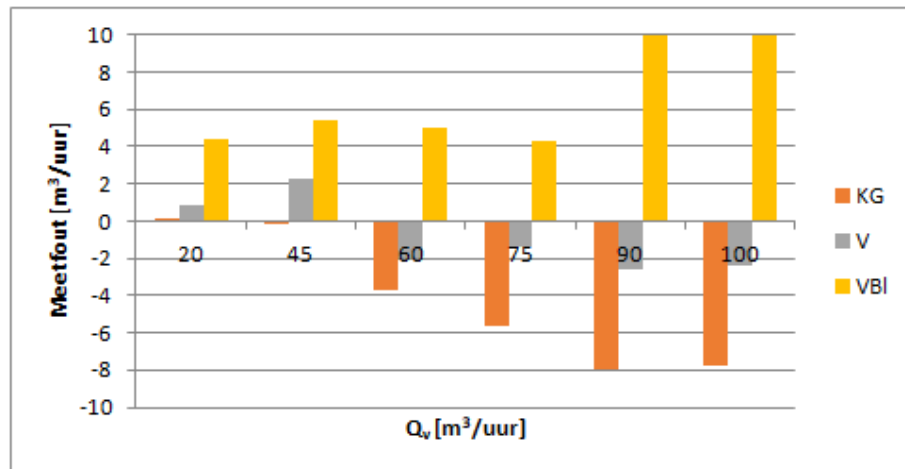
mk2. Daarnaast wordt ook het wervelrooster uitstekend gemeten. Waar in de berekeningen nog een stromingsfout (middelste grafiek) van ~6% werd verwacht, laten de resultaten een stromingsfout zien die overeenkomt met het open gat. Dit wordt veroorzaakt doordat de bladen van het gemodelleerde wervelrooster een grotere hoek hebben ten opzichte van de inkomende stroming. Hierdoor is de gemodelleerde werveling sterker dan de werveling van het gemeten rooster.



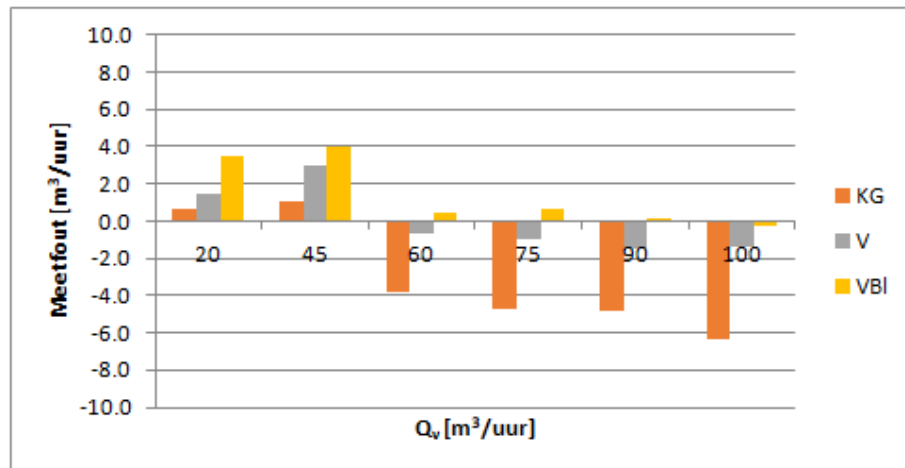
figuur 33: Meetfout, stromingsfout en weerstandsfout in m^3/uur voor 4 verschillende ventielen tussen 0 en 200 m^3/uur .

3.6.2.2 Metingen vergelijking V0 en V2

Onderstaande figuren laten respectievelijk de totale meetfouten zien van V0 en V2 op verschillende ventielen. Hierbij is duidelijk te zien dat V2 een meer homogeen resultaat geeft dat minder gevoelig is voor het stromingspatroon veroorzaakt door het gemeten ventiel. Omdat het kleine open gat relatief weinig weerstand heeft neemt hier de fout toe met een toenemende volumestroom (als gevolg van vooral een toename van de weerstandsfout). De meest voorkomende ventielen in de woningbouw met hoge weerstand worden zodoende uitstekend gemeten door de VentiFlow-mk2, versie V2.



figuur 34: Meetfout in m³/uur voor V0 op het kleine gat (KG), zijblazende ventiel (V) en het deels geblokkeerde, zijblazende ventiel (VBI) tussen 0 en 100 m³/uur passief ingesteld volumestroom.



figuur 35: Meetfout in m³/uur voor V2 op het kleine gat (KG), zij blazende ventiel (V) en het deels geblokkeerde, zijblazende ventiel (VBI) tussen 0 en 100 m³/uur passief ingesteld volumestroom.

3.7 Validatiemetingen praktijk: VentiFlow-mk2 versus FlowFinder-mk2

3.7.1 Aanpak

Vanaf mei 2019 zijn er validatiemetingen in de praktijk uitgevoerd. Hierbij zijn er metingen uitgevoerd op verschillende type ventielen met zowel de VentiFlow-mk2 als met de FlowFinder-mk2. De versie van de VentiFlow-mk2 die gebruikt is voor de validatiemetingen had nog een ronde bovenkant (V0).



figuur 36: VentiFlow-mk2 met de ronde bovenkant.

Deze praktijkmetingen zijn uitgevoerd door Koppen Bouwexperts. De dataset bestaat uit 19 woningen, waarbij er ventielen zijn die op verschillende ingestelde standen van het ventilatiesysteem gemeten zijn. In totaal zijn er 206 metingen uitgevoerd in de range (20 – 100 m³/u) waarvoor de VentiFlow-mk2 ontworpen is. Van deze metingen zijn er 111 uitgevoerd op toevoer ventielen en 95 op afvoerventielen.

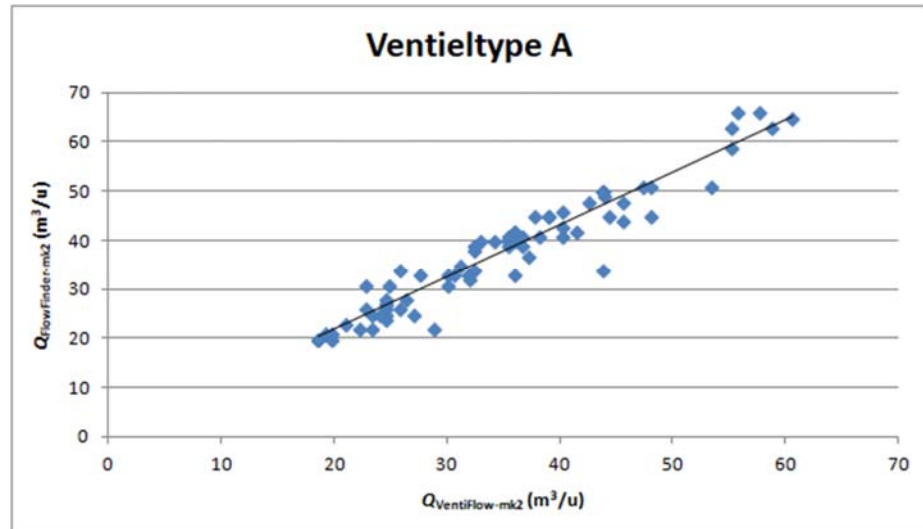
De volgende ventielen kwamen voor bij het verrichten van de validatiemetingen:



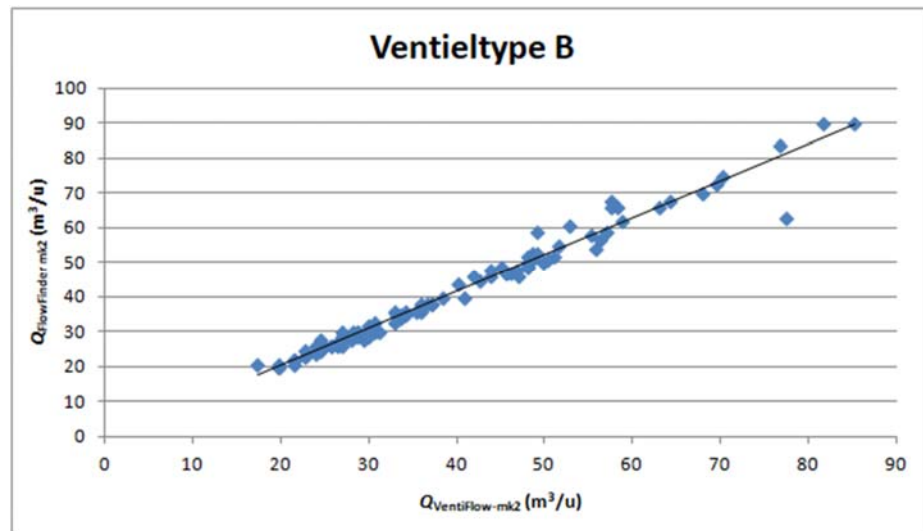
figuur 37: Respectievelijk Ventieltipe A (toevoerventiel), B (afvoerventiel) en C (toevoerventiel).

3.7.2 Meetresultaten

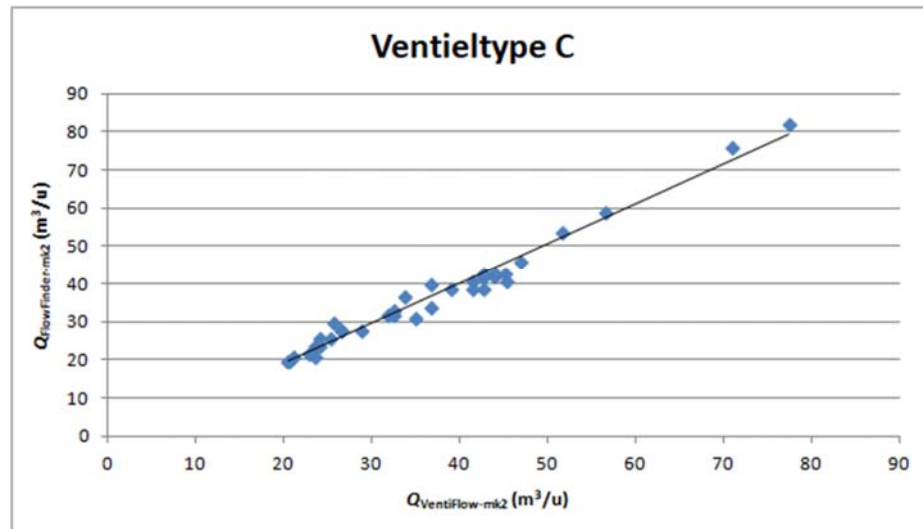
In onderstaande figuren staan de metingen met de FlowFinder-mk2 en de VentiFlow-mk2 voor de verschillende typen ventielen weergegeven. Hierbij is op de x-as de meting met de VentiFlow-mk2 weergegeven en op de y-as de meting met de FlowFinder-mk2.



figuur 38: Metingen op ventieltype A.



figuur 39: Metingen op ventieltype B.



figuur 40: Metingen op ventieltype C.

Aan deze resultaten is te zien dat met de VentiFlow-mk2 met de ronde bovenkant, er met name op ventieltype A nog een spreiding zit in de resultaten. Daarom is na deze reeks validatiemetingen de vorm van de stroomrichter bepaald met CFD simulaties, zoals beschreven in de paragrafen hiervoor.

3.7.3 Conclusie

De lucht volumestroom gemeten met de VentiFlow-mk2 komt goed overeen met de lucht volumestroom gemeten met de FlowFinder-mk2, zowel voor toevoer als voor afvoer. De VentiFlow-mk2 met ronde bovenkant laat een grotere spreiding zien voor toevoer ventieltype A, dit wordt met name veroorzaakt doordat deze (meer compacte) vorm een grotere invloed heeft op het uitstroomverlies en daarmee de weerstandsfout van dit type ventiel. Deze invloed varieert bij verschillende standen en debieten van het ventiel waardoor een spreiding in resultaten zichtbaar is. Het vergroten van de ruimte voorin de VentiFlow-mk2 (zoals in het uiteindelijke prototype is gedaan) vermindert deze spreiding.

3.8 Praktijktest BCCA

Vanaf 1 januari 2016 zijn er door de Vlaamse overheid een aantal verplichtingen ingevoerd voor residentiële ventilatiesystemen bij nieuwbouw en renovatie. Een van de verplichtingen is om de EPB-gerelateerde ventilatieprestaties die in de EPB-aangifte worden opgenomen, te halen uit een ventilatieprestatieverslag, afgeleverd door een erkende ventilatieverslaggever.

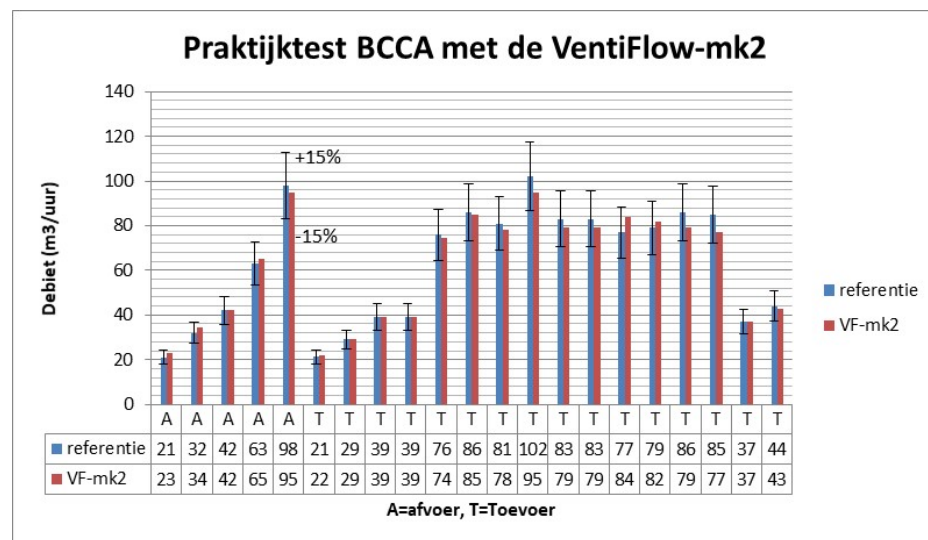
Voor de erkenning als verslaggever voor mechanische ventilatieprestaties (MV) wordt een praktijktest georganiseerd door de BCCA (Belgian Construction Certification Association, een vereniging zonder winstoogmerk met een duidelijke missie: de verbetering van de kwaliteit in de bouwsector). De test bestaat erin dat de kandidaat met zijn gekalibreerde debietmeter 10 debieten meet van verschillende typen ventilatieventielen (gecentreerde ventielen, ventielen met schone sector, erg gesloten ventielen): 5 afvoerdebieten en 5 toevoerdebieten. De

debieten liggen tussen 20m³/h en 90m³/h, gangbare ventilatie debieten in residentiële ventilatiesystemen. De set-up is zodanig dat de debieten aan de ventilatiemond gemeten kunnen worden met de meest gangbare volumestroommeters. De kandidaat is geslaagd als alle metingen binnen 15% van de referentiewaarde liggen.

Op 31 Januari 2020 zijn we met de VentiFlow-mk2 bij de BCCA geweest en hebben de test afgelegd. De meetresultaten in onderstaande figuur laten zien dat de VentiFlow-mk2 met vlag en wimpel is geslaagd.



figuur 41: Praktijktest met de VentiFlow-mk2 bij de BCCA in Brussel.



figuur 42: De meetresultaten van de praktijktest met de VentiFlow-mk2 bij de BCCA in Brussel.

3.9 **Lessen uit de praktijk**

De bovenkant van een van de eerste prototypes van de VentiFlow-mk2 was niet altijd voldoende in diameter om over elk ventiel te passen, daarom is de bovenkant veranderd naar de vierkante vorm van de FlowFinder-mk2, zodat dezelfde opzetstukken gehanteerd kunnen worden.

Men vindt de VentiFlow-mk2 heel handig in het gebruik. Het is een licht meetinstrument en je kan er snel en makkelijk mee meten.

Voor de meeste woonhuizen is het handig als je een klein opstapje hebt. De koffer van de VentiFlow-mk2 wordt daarom zo ontworpen dat je er op kan staan.

4 Methodiek geluidniveau ventilatiesysteem

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de methodiekontwikkeling beschreven om het geluidniveau van het ventilatiesysteem te kunnen beoordelen. Voor deze methodiek is het van belang dat de integrale akoestische prestatie van het ventilatiesysteem wordt bepaald. Dat wil zeggen naast het ontwerp van de componenten ook de correcte installatie van het systeem. Met andere woorden, de beoordeling dient ook de gevolgen van eventuele fouten in de installatie vast te stellen (bijvoorbeeld door installatie van te nauwe kanalen en excessief stromingsgeluid). Ook dient de meetmethode de bijdrage van externe achtergrondbronnen te onderscheiden van de bronnen geassocieerd met het ventilatiesysteem.

4.2 Eisen Bouwbesluit

De grenswaarden voor de geluidniveaus zijn beschreven in het Bouwbesluit [6]. In artikel 3.9 van het Bouwbesluit 2012 staat het volgende:

‘Een mechanische voorziening voor luchtverversing, warmteopwekking of warmteterugwinning veroorzaakt in een niet-gemeenschappelijke verblijfsruimte van de gebruiksfunctie een volgens NEN 5077 bepaald karakteristiek installatiegeluidsniveau van ten hoogste de in tabel 3.7 aangegeven waarde [7]. Voor woonfuncties bedraagt deze waarde 30 dB(A).’

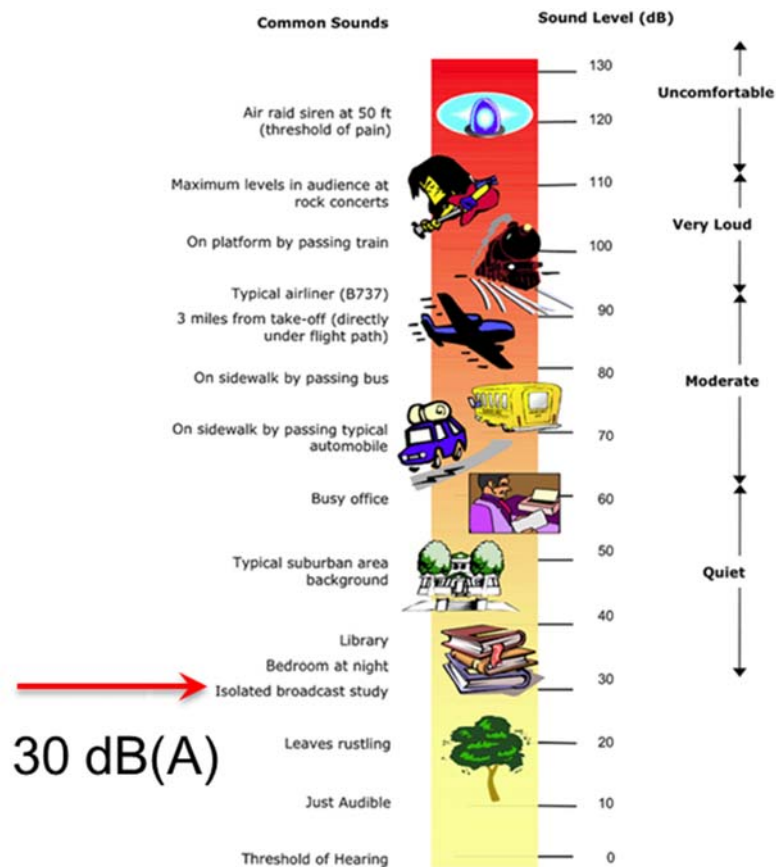
Deze waarde geldt voor de stand waarin het debiet (flow) van het ventilatiesysteem minimaal voldoet aan de capaciteit uit het Bouwbesluit.

Daarnaast is er ook sprake van een eis t.a.v. geluidwering van externe bronnen van buiten de woning. Hoewel dit punt strikt gezien los staat van het onderzoek naar het geluid ten gevolge van het ventilatiesysteem, beïnvloedt dit punt wel de meetmethode. In geval van een niet-adequate geluidwering worden de mogelijkheden voor meting van het ventilatiegeluid beperkt.

Het blijkt in praktijk een uitdaging te zijn om geluidmetingen te kunnen doen aan een ventilatiesysteem dat aan de limietwaarde van 30 dB(A) in de ontvangstruimte moet voldoen. Om dit te verduidelijken, is in figuur 43 een overzicht afgebeeld van diverse geluidbronnen: oplopende geluidniveaus, van net hoorbaar tot zeer luid c.q. pijnlijk. Hierin is te zien dat 30 dB(A) slechts net boven het achtergrondgeluidniveau is in een al zeer stille omgeving. Dit houdt in dat bij de huidige meetmethode (NEN 5077) er bijna volledige stilte moet heersen bij het doen van de geluidmetingen. Iedere andere geluidbron, zowel binnen als buiten, kan de meting verstoren. In de praktijk betekent dit dat de metingen vaak alleen gedaan kunnen worden op tijdstippen dat er geen andere werkzaamheden plaatsvinden (met name bij nieuwbouw). Passerende voertuigen of andere activiteiten buiten veroorzaken meestal ook al te veel geluid binnen. In sommige gevallen wordt zelfs al een private eis door opdrachtnemers van 25 dB(A) in de slaapkamer gesteld!

Bijkomende uitdaging bij deze lage geluidniveaus is de meetapparatuur zelf: dergelijke niveaus kunnen namelijk alleen gemeten worden met de duurdere

zogenaamde klasse I en sommige klasse II geluidmeters. De meeste goedkope geluidmeters hebben een eigen ruisniveau dat al (ver) boven de 30 dB(A) ligt.



figuur 43: Geluidniveaus van diverse bronnen, variërend van net hoorbaar tot zeer luid.

4.3 Haalbaarheidsstudie RVO

In de haalbaarheidsstudie die in 2016 door TNO in opdracht van RVO is uitgevoerd voor het bepalen van het geluid van het ventilatiesysteem, is gekeken naar een alternatief voor de NEN 5077 methode [1]. Deze methode beoogt een meting van het installatiegeluid van de ventilatie-unit op een vereenvoudigde wijze. Het betreft een indirecte methode om te vermijden dat er gewacht moet worden tot het moment dat het achtergrondgeluid dusdanig laag is dat er een gebruikelijke geluidsmeting kan worden gedaan. Het idee is om het geluidniveau in de verblijfsruimtes te reconstrueren aan de hand van geluidmetingen direct bij de ventilatie-unit en de overdrachtsfunctie tussen de ventilatie-unit en de verblijfsruimte. Deze indirecte methode wordt beschreven in onderstaande paragraaf en meegenomen in de beoordeling van de verschillende, mogelijke oplossingsrichtingen.

4.4 Beschrijving methodieken

In deze paragraaf worden de verschillende geluidmeetmethodes beschreven. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen zogenaamde 'directe' en 'indirecte' methodes:

- Bij een directe methode wordt rechtstreeks het geluid in de desbetreffende ontvangstruimte gemeten.
- Bij een indirecte methode wordt het geluid in de ontvangstruimte afgeleid uit andere parameters c.q. eigenschappen van het ventilatiesysteem.

4.4.1 Directe methodes

Binnen dit project zijn vier verschillende, directe geluidmeetmethodes onderscheiden:

1 – NEN 5077:2019

Deze meetmethode is het meest uitgebreid en nauwkeurigst, omdat het integrale geluidniveau direct wordt gemeten, inclusief alle flankerende paden. Naast geluid moet ook de nagalmtijd per ruimte worden gemeten. Vervolgens wordt het zogenaamde karakteristieke geluidniveau van het ventilatiesysteem berekend uit het gemeten geluid, gecorrigeerd met de nagalmtijd, het achtergrondniveau en het volume van het desbetreffende vertrek. Het is de officiële methode volgens het Bouwbesluit, resulterend in een dB(A) waarde voor iedere octaafband van 63 Hz t/m 8 kHz. NEN 5077 dient daarom als referentie voor alle andere hier behandelde methoden.

Nadelen: het is relatief veel werk (ongeveer 1 dagdeel), vanwege de lage geluidniveaus is de meting gevoelig voor stoorlawaai en er is specialistische kennis en apparatuur (o.a. eis Klasse I geluidmeter met nagalmtijd optie & software, minimaal EUR 3500,-) voor nodig.

De meetonzekerheid is ongeveer $\pm 2,5$ dB¹.

De methode om tot het zogenaamde karakteristieke installatiegeluidniveau te komen, bestaat uit de volgende stappen:

Stap 1 – eerst wordt per octaafband i het gemeten geluidniveau L_1 gecorrigeerd voor het gemeten achtergrondgeluidniveau L_2 :

$$L_i = L_{i,1} - K_i \text{ [dB]}$$

$$\text{waarin } K_i = -10^{10} \log(1 - 10^{-0,1\Delta L}) \text{ [dB]}$$

$$\text{en } \Delta L = L_{i,1} - L_{i,2} \text{ [dB]}$$

Stap 2 – vervolgens wordt de correctie voor de gemeten nagalmtijd t.o.v. de referentienagalmtijd T_0 berekend, met $T_0 = 0,5$ sec:

$$L_{i,nT} = L_i + 10^{10} \log\left(\frac{T_i}{T_0}\right) \text{ [dB]}$$

¹ Bepaald volgens de "Guide to the expression of uncertainty in measurement" (GUM) – ISO/IEC Guide 98 [8].

Stap 3 – Indien nog niet meegenomen in de meting, moet de ‘A’ weging correctie worden toegepast:

$$L_{i,A} = 10^{10} \log(10^{0,1(L_{i,nT} + A_i)}) [dB(A)]$$

Stap 4 – het karakteristieke geluidniveau voor de referentieruimte V_0 bepalen, met $V_0 = 25 \text{ m}^3$:

$$L_{i,A,K} = L_{i,A} + 5^{10} \log\left(\frac{V}{V_0}\right) [dB(A)]$$

Stap 5 – Ten slotte kunnen de octaafbandwaarden energetisch gesommeerd worden tot een ééngetalswaarde voor het totale, karakteristieke geluidniveau $L_{A,K}$ van de installatie in de desbetreffende ontvangtruimte:

$$L_{A,K} = 10^{10} \log\left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{i,A,K}}\right) [dB(A)]$$

2 – BRL 8010 Methode 1

De BRL 8010 Methode 1 is vergelijkbaar met NEN 5077, met het belangrijkste verschil dat er geen nagalmtijd gemeten hoeft te worden [9]. Deze wordt afgelezen uit een tabel. Daarnaast worden alleen de totale geluidniveaus bepaald en niet iedere octaafbandwaarde (correcties in tabellen zijn ook totaalwaarden).

Voordelen van deze methode: Net als bij NEN 5077 wordt het integrale geluidniveau gemeten, inclusief flankerende paden, de nagalmtijd hoeft niet te worden gemeten (minder werk en apparatuur) en Klasse II apparatuur is toegestaan.

Nadelen zijn: vanwege de lage geluidniveaus is het gevoelig voor stoorlawaai, alleen de betere/duurdere Klasse II apparatuur voldoet. Daarnaast wordt de nagalmtijd niet gemeten voor de desbetreffende woning. In plaats daarvan wordt een gemiddelde waarde afgelezen uit een tabel, waardoor de nauwkeurigheid iets afneemt ten opzichte van de NEN 5077 methode.

Het feit dat er geen octaafbandwaardes bepaald hoeven te worden heeft zowel voor- als nadelen: het voordeel is de vereenvoudiging en dus minder verwerkingsstappen. Het nadeel is dat er geen inzicht wordt verkregen in de aard van de geluidbron bij een eventuele overschrijding van de limietwaarde.

De meetonzekerheid is ongeveer $\pm 3 \text{ dB}$, ook bepaald aan de hand van [8].

3 – BRL 8010 Methode 2

De BRL beschrijft ook een versimpelde meetmethode t.o.v. methode 1 [9]. Hierbij hoeft alleen het geluid op een vaste, korte afstand van de ventielen te worden gemeten.

De voordelen hiervan zijn: de meting is ook mogelijk bij hogere achtergrondniveaus en hierdoor is ook goedkopere Klasse II meetapparatuur geschikt. Daarnaast zijn de metingen relatief snel uit te voeren.

De nadelen zijn: ten eerste is een vertaalslag nodig van het gemeten geluidniveau bij het ventiel naar het geluidniveau in de desbetreffende ruimte. Flankerende paden worden slechts beperkt of helemaal niet meegenomen. Het grootste nadeel is dat voor de toepasbaarheid van deze methode verschillende eisen worden gesteld aan het ventilatiesysteem (zie BRL 8010): Er mag maar 1 ventiel per ruimte zijn, er moeten zich minimaal 2 deuren bevinden tussen de ventilatie-unit en de ontvangstruimte en de ontvangstruimte mag niet direct naast de ruimte met de ventilatie-unit liggen (i.v.m. geluid flankerende paden). Door deze eisen vallen in de praktijk veel systemen en verblijfruimtes af.

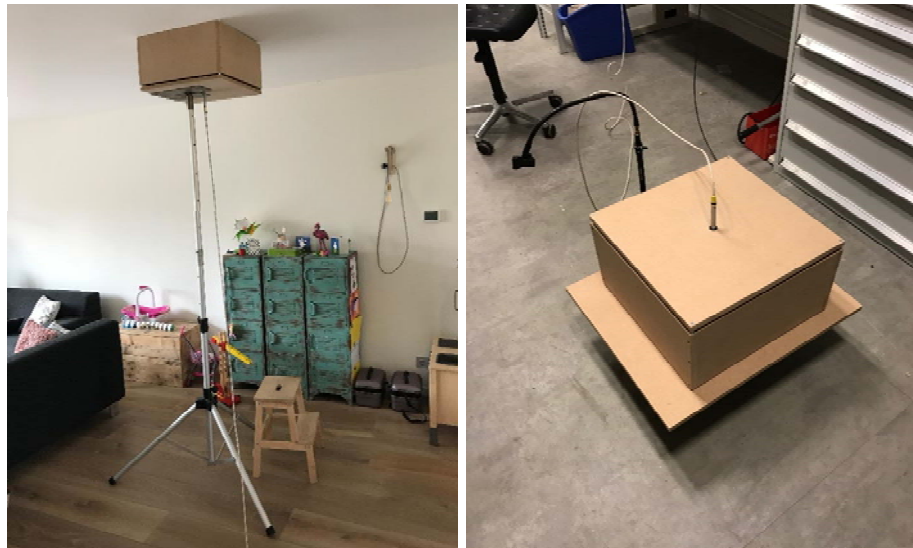
Praktijktests tijdens dit project bij verschillende woningen hebben uitgewezen dat de meetonzekerheid beperkt kan worden wanneer voldaan wordt aan bovenstaande eisen. Als dit niet het geval is, zijn grote, ontoelaatbare fouten mogelijk.

4 – BRL 8010 methode 2 met box

Om de BRL 8010 methode 2 nog minder gevoelig te maken voor stoorlawaai, is in dit project een proef gedaan met een box. Net als bij BRL 8010 methode 2, wordt het geluid op een vaste, korte afstand van het ventiel gemeten. Rond het ventiel wordt een box geplaatst, met daarin de microfoon 'flush mounted' in de wand van de box. Deze box zorgt dan voor de afscherming van het stoorlawaai.

De nadelen van de methode zijn: flankerende paden worden volledig afgeschermd. Hiervoor is een extra meting nodig. Er zijn extra handelingen en correcties nodig voor het vertalen van het geluid in de box naar het geluidniveau in de ruimte. Tenslotte is reproduceerbaarheid en nauwkeurigheid minder goed dan bij de andere directe methoden, omdat de correctie frequentie- en debietafhankelijk is.

De meerwaarde t.o.v. BRL 8010 methode 2 zonder box is dus slechts zeer beperkt.



figuur 44: BRL 8010 methode 2 met box: links test in woonkamer, rechts 'calibratie' in lab met referentiebron.

4.4.2 Indirecte methodes

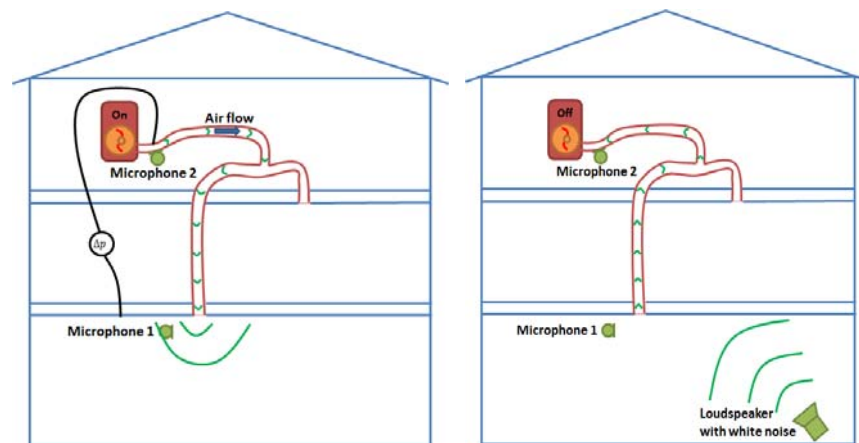
Binnen dit project zijn twee indirecte geluidmeetmethodes onderscheiden:

1 – De ‘reciproke’ methode

Deze methode is ontwikkeld in de haalbaarheidsstudie die in 2016 door TNO in opdracht van RVO is uitgevoerd [1]. Het principe van deze methode is dat met het brongeluid van de ventilatie-unit in de kanalen dichtbij de unit uiteindelijk het geluid in de ontvangstruimte bepaald kan worden. Deze methode bevat 2 type metingen: Eerst wordt het geluid in het kanaal bij de ventilatie-unit en vlak bij de ventielen in de ontvangstruimte gemeten terwijl het ventilatiesysteem is ingeschakeld. Vervolgens wordt het ventilatiesysteem uitgeschakeld en wordt de overdracht door het kanalenstelsel bepaald m.b.v. een kunstbron in de ontvangstruimte en een geluidmeting op dezelfde posities als bij meting 1, dus in de verblijfsruimte bij het ventiel en in het kanaal vlakbij de ventilatie-unit. Dit is de zogenaamde ‘reciproke’ meting. Ten slotte dient ook de drukval over het systeem bepaald te worden. Met het bronniveau en de gemeten overdracht kan dan uiteindelijk het geluidniveau in de ontvangstruimte bepaald worden.

Het grote en enige voordeel van de methode is dat deze nagenoeg niet afhankelijk is van het achtergrondlawaai. Hierdoor is relatief goedkope (Klasse II) meetapparatuur ook geschikt en kan de meting bijna altijd en overal worden uitgevoerd. Er is wel een sterke kunstbron nodig, want de demping via de kanalen is fors (~50 dB).

Er zijn echter vele nadelen: De reciproke meting onderschat de demping in de kanalen, omdat er geen stroming is. Deze extra demping dient achteraf afgeschat te worden m.b.v. de drukvalmeting. Het blijkt in praktijk lastig om dit voldoende nauwkeurig te doen. De methode is ook niet geschikt om fouten in het kanalenstelsel te identificeren, omdat stromingsgeluid niet wordt gemeten. Flankerende paden worden niet meegenomen en voor ieder aan-/afvoerkanaal en ruimte is een aparte set metingen nodig; hiermee kost deze methode het meeste tijd en vergt specialistische kennis. Ten slotte is de locatie / positie van de microfoon in het kanaal dicht bij de ventilatie-unit zeer kritisch.



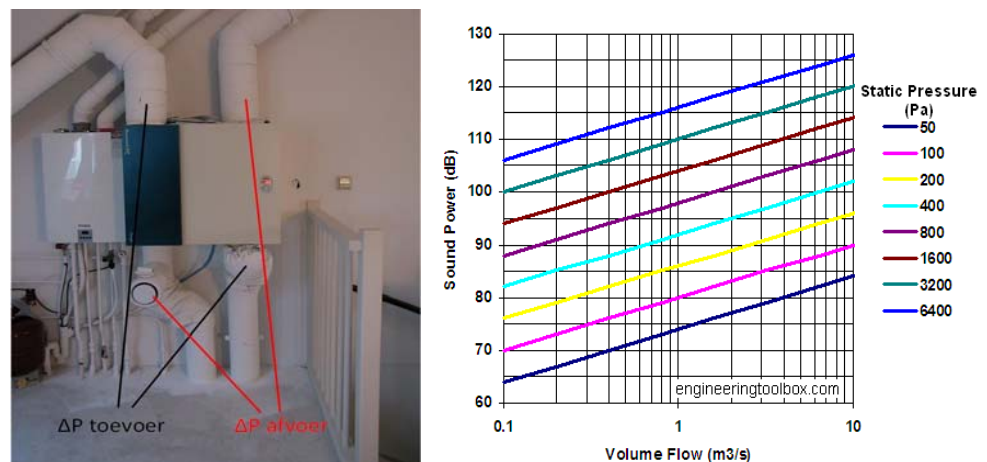
figuur 45: Geluidmetingen voor de ‘reciproke’ methode.

2 – Inspectiemethode

Bij deze methode wordt het ventilatiesysteem geïnspecteerd op diverse aspecten. De volgende stappen worden hierbij gevolgd:

1. Visuele inspectie volgens Appendix D
2. Meten drukval over de aan- en afvoerkanalen (of aflezen van de ventilatie-unit)
3. Meten elektrisch vermogen ventilatie-unit
4. Meten direct afgestraald geluid ventilatie-unit zelf (op 1m van unit)

Alhoewel dit geen kwantitatieve methode is voor het geluidniveau in de ontvangstruimte, geeft het wel een eerste indicatie van de (akoestische) kwaliteit van het systeem: de drukval en het opgenomen elektrische vermogen zijn een maat voor de kwaliteit en juiste inregeling van het geïnstalleerde ventilatiesysteem. De methode is echter niet zodanig nauwkeurig dat wanneer deze parameters voldoen aan de ontwerpspecificaties, het geluidniveau ook aan de eis voldoet. Echter andersom, wanneer het elektrisch vermogen en de drukval significant te hoog zijn, kan met vrij grote zekerheid gesteld worden dat het geluidniveau ook te hoog zal zijn. Met deze methode kunnen dus vooral de systemen geïdentificeerd worden die waarschijnlijk niet voldoen: de zogenaamde 'rotte appels'.



figuur 46: Drukval meetlocaties voor ventilatiesysteem type D (links) en een typische grafiek van brongeluidniveaus (in geluidvermogen) als functie van volumedebiet en drukval, welke als basis gebruikt zouden kunnen worden voor het afleiden van een toelaatbare waarde van het geluidniveau bij de ventilatie-unit zelf (rechts).

4.4.3 Beoordelingsmatrix

Alle bovengenoemde methoden zijn beoordeeld op de volgende aspecten:

- Meetnauwkeurigheid
- Toepasbaarheid (in alle vertrekken van de woning)
- Achtergrondkennis beoordelaar op het gebied van akoestiek
- Achtergrondkennis beoordelaar op het gebied van ventilatiesystemen (types, ontwerp, installatie)
- Praktische aspecten (apparatuur, extra bron & afschermkap, etc.)
- Kosten meetinstrument
- Benodigde hoeveelheid tijd om de metingen uit te voeren
- Invloed van stoorbronnen
- Integraal voor alle overdrachtspaden (dus bijv. incl. flankerend geluid en detectie stromingsgeluid bronnen door foutieve installatie luchtkanalen)

- Inzicht in oorzaken bij eventuele overschrijding van de limietwaarde. Dit kan opgedeeld worden in 2 subgroepen:
 - Inzicht verkrijgen in de akoestische kwaliteit van het systeem (frequentie-analyse),
 - En inzicht in de algemene kwaliteit (uitvoering kanalenstelsel, drukval, etc.) van de installatie

Deze aspecten zijn samengevat in onderstaande tabel, waarbij voor iedere meet-c.q. beoordelingsmethode een '+' een positief oordeel en een '-' een negatief oordeel aangeeft op dat specifieke onderdeel.

Uit de beoordeling blijkt dat BRL8010 methode 1 en 2 in principe een goede gemiddelde score hebben. Echter methode 2 is slechts beperkt toepasbaar en wordt daarom niet aanbevolen voor algemeen gebruik. Wanneer extra inzicht nodig is om de installatie stiller te maken, heeft de NEN 5077 methode de voorkeur. De ontwikkelde inspectiemethode kan dienen als een eerste check of het ventilatiesysteem correct is ontworpen en geïnstalleerd en het identificeren van woningen die waarschijnlijk niet gaan voldoen (de 'rotte appels').

tabel 4: Beoordelingsmatrix meetmethodes ventilatiegeluid.

Aspect	NEN 5077	BRL8010 methode 1	BRL8010 methode 2	BRL8010-2 met box	Reciproke methode	Inspectie methode ¹
Nauwkeurigheid	+++	++	+/-	--	--	--
Toepasbaarheid	+++	+++	-	-	-	+++
Achtergrondkennis akoestiek	---	--	--	---	---	+
Achtergrondkennis ventilatiesystemen	+++	+++	++	++	++	-
Praktische aspecten	---	--	-	--	---	+++
Kosten apparatuur	---	--	-	-	--	++
Tijd	--	+/-	+	+/-	--	++
Invloed stoorbronnen	---	---	+/-	+	++	+++
Integraal voor alle overdrachtspaden	+++	+++	--	---	--	--
Akoestisch inzicht bij overschrijding	+++	++	+/-	+/-	+	-
Algemeen inzicht bij overschrijding	+/-	-	--	--	--	++

¹ Deze methode is alleen geschikt voor het identificeren van systemen die waarschijnlijk niet voldoen.

4.4.4 Apparatuur

Er is ook onderzoek gedaan naar geluidmeetapparatuur t.b.v. installatiegeluid. De grootste uitdaging is het betrouwbaar meten van geluidniveaus onder de 30 dB(A). Dit kan in praktijk alleen maar betrouwbaar gemeten worden met 'de betere' geluidmeters.

BRL8010 staat in principe een Klasse II meter toe. Er zijn enkele EU gecertificeerde² en gekalibreerde Klasse II geluidmeters die goedkoper zijn dan een Klasse I meter en op correcte en betrouwbare wijze geluidniveaus lager dan 30 dB(A) kunnen meten.

Daarnaast is er ook nog een verschil tussen een integrerende geluidniveaumeter en een spectrum analyzer. Met het eerstgenoemde type kunnen alleen totale, geïntegreerde geluidniveaus gemeten worden en met de laatstgenoemde ook de spectrale inhoud (octaafbanden, etc.). Over het algemeen is een spectrum analyzer een stuk duurder dan een geluidniveaumeter, welke voor de BRL8010 in principe al voldoende is. Een spectrumanalyzer is wel een vereiste wanneer onderzoek gedaan moet worden naar de oorzaak bij een overschrijding van de limietwaarde.

Geschikte EU gecertificeerde Klasse I geluidmeters zijn er al vanaf ongeveer EUR 1000,-. Voorbeelden hiervan zijn de CESVA type SC-101 en BSWA type 308S. Deze worden veel gebruikt in de installatiebranche. Klasse I spectrum analyzers zijn er al vanaf EUR 1750,-. Een voorbeeld hiervan is de Bedrock type SM90. Let op, indien ook de nagalmtijd gemeten dient te worden, is hier vaak een aparte module nodig met bijbehorende software en geschikte luidspreker. Er is zelfs ook al een Klasse II geluidmeter met een voldoende laag eigen ruisniveau vanaf ongeveer EUR 500,-. Dat is de BSWA type 309.

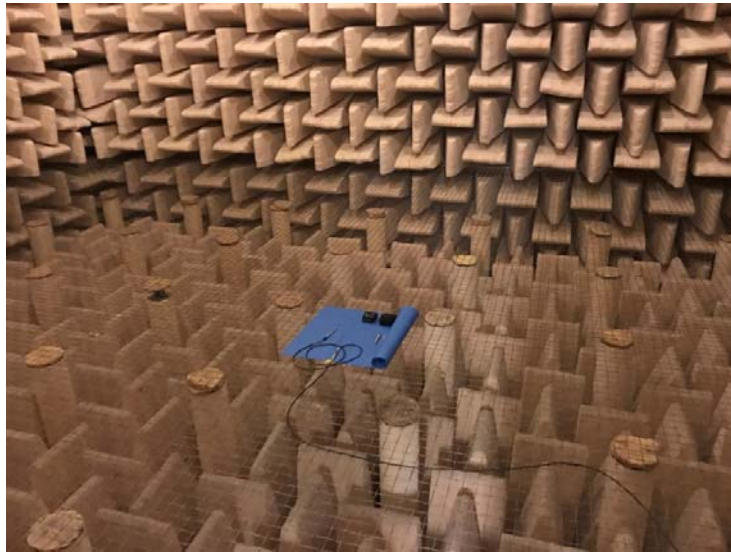
Er is ook onderzocht of er geschikte, relatief goedkope microfoons op de markt zijn, welke direct op bijvoorbeeld een smartphone kunnen worden aangesloten. Het voordeel hiervan is dan dat deze direct gekoppeld kunnen worden aan een op maat gemaakte applicatie voor de geluidmeting. Er zijn 2 verschillende microfoons getest, waarvan bekend is dat ze voor geluidopnames gebruikt kunnen worden en een goede prijs-kwaliteit verhouding hebben:

1. MicW i436 (150 EUR)
2. IseMIC 725TR (280 EUR)

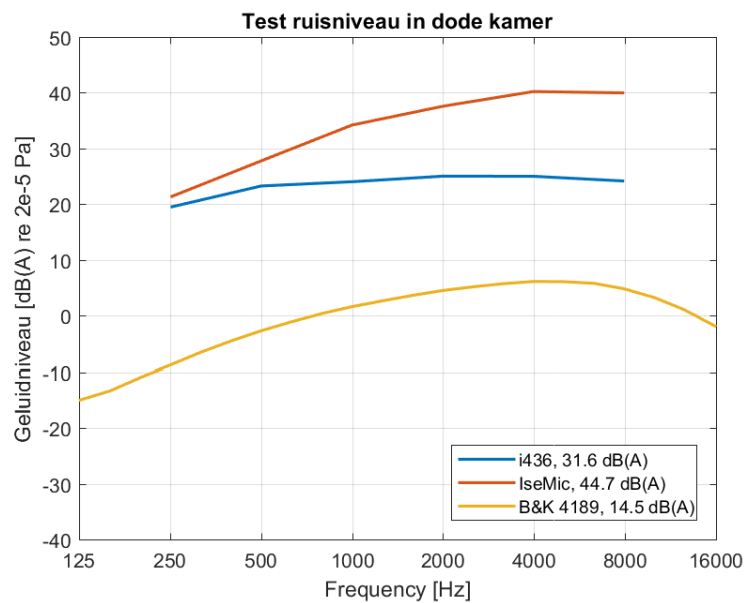
Naast dat responsie van de microfoon lineair moet zijn over het gehele audiogebied, is de belangrijkste eigenschap van een geschikte microfoon voor ventilatiegeluidmetingen een zo laag mogelijk eigen ruisniveau, het liefst ruim onder 25 dB(A). Daarom zijn beide microfoons getest in een speciale anechoïsche ruimte, zie figuur 47. Ter referentie is het achtergrondniveau in deze ruimte ook gemeten met 2 high-end B&K type 4198 microfoons. Aangezien deze speciaal ontworpen ruimte een van de stilste vindbare plekken is, is de gemeten achtergrondwaarde met de B&K microfoons zo'n 15 dB(A). Bij dezelfde condities is het gemeten achtergrondniveau van zowel de MicW als IseMIC microfoon boven de 30 dB(A), zie figuur 48. Deze zijn daarmee ongeschikt voor onze toepassing. Vooral de IseMIC microfoon scoort slecht met een eigen ruisniveau van bijna 45 dB(A). Bij testen met zowel witte ruis en tonaal geluid op een geluidniveau van 60 dB(A) en 80 dB(A) scoren zowel de MicW als IseMIC microfoon wel redelijk goed en wijken ze minder dan 1 dB af van de referentiemicrofoons

Naar aanleiding van deze resultaten is niet verder onderzocht of er alternatieve, relatief goedkope microfoons beschikbaar zijn, welke wel aan de eis voor het eigen ruisniveau zouden kunnen voldoen.

² EU keuring volgens: <https://www.ptb.de/cms/en/ptb/fachabteilungen/abt1/fb-16/ag-163/type-examination-of-sound-level-meters.html>



figuur 47: Microfoons in anechoïsche ruimte, gereed om te testen.



figuur 48: Spectrale ruisniveaus testmicrofoons in anechoïsche ruimte.

4.5 Validatiemetingen praktijk

4.5.1 Aanpak

Aan de hand van de beoordelingsmethoden, zoals beschreven in de vorige paragraaf, zijn uitgebreide metingen gedaan in 45 woningen (hoofdzakelijk nieuwbouw), waarvan 29 woningen zijn uitgerust met een type D ventilatiesysteem en 16 woningen met een type C ventilatiesysteem. De metingen zijn uitgevoerd

door TNO en door Koppen Bouwexperts. In alle woningen zijn de volgende metingen en inspecties uitgevoerd:

- Geluidmeting volgens NEN 5077, inclusief experimentele bepaling nagalmtijd (referentiemethode)
- Geluidmetingen volgens BRL 8010 Methode 1
- Inspectiemethode, waarbij het meten van de drukval helaas lang niet altijd mogelijk was, omdat dan de kanalen en/of geluiddempers beschadigd zouden raken.
- Controle van de debieten m.b.v. de FlowFinder

Als criterium voor het goed- of afkeuren van de parameters van de inspectiemethode zijn de volgende, indicatieve grenswaarden gehanteerd:

- Elektrisch vermogen:
 - Type C: 30W
 - Type D: 70W bij 220 m³/h en 140W bij 280 m³/h
- Drukval kanalen: 150 Pa
- Bronniveau:
 - 1^e grenswaarde: 50 dB(A)
 - 2^e grenswaarde: 55 dB(A)
- Visuele inspectie: afkeur bij duidelijke fouten

De hier gehanteerde maximum waarden zijn slechts indicatief ('expert judgement'), niet te stringent en dienen slechts als voorbeeld voor een beoordeling van woningen in de praktijk. Het zijn voorbeeldwaarden, omdat bijvoorbeeld het elektrische vermogen afhangt van het type en de specificaties en karakteristieken van het geïnstalleerde ventilatiesysteem.

Daarnaast is de checklist voor de visuele inspectie minder 'hard' of meetbaar dan de andere parameters en daarom is hier ook het 'expert judgement' criterium toegepast. Alleen bij duidelijke fouten in de installatie is het oordeel direct duidelijk.

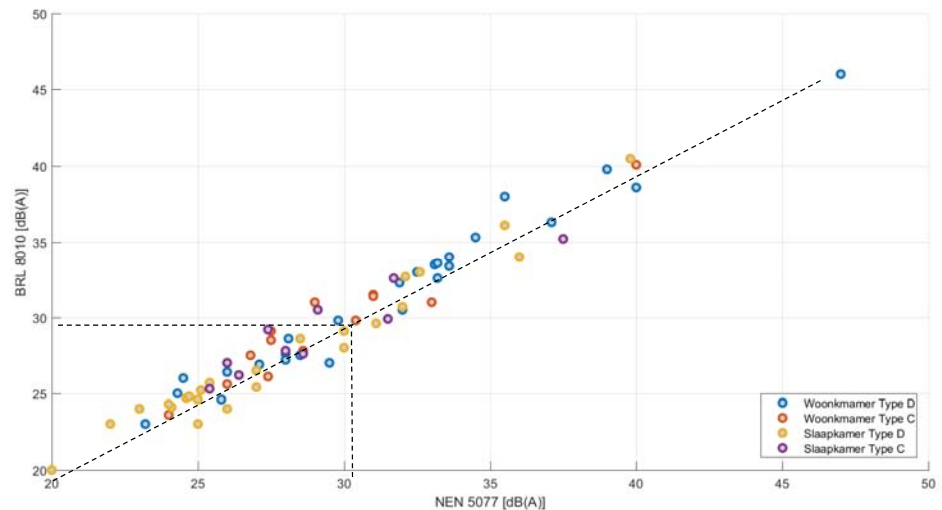
4.5.2 Meetresultaten

Een totaaloverzicht van alle meetresultaten is gegeven in Appendix E. Voor de geluidmetingen worden in deze bijlage de resultaten van de keuken / woonkamer (gecombineerd) en de hoofdslaapkamer gepresenteerd. De vergelijkingen tussen de verschillende meetwaardes is weergegeven in onderstaande grafieken. De resultaten van de NEN 5077 en BRL 8010 komen heel goed overeen, met een hoge mate van correlatie: $y = 1,006 \cdot x$ met $R^2 = 0,954$ ($x = \text{NEN 5077}$ en $y = \text{BRL 8010}$). Dit komt hoofdzakelijk doordat de meeste metingen zijn uitgevoerd in nieuwbouwwoningen, waarbij de gemeten nagalmtijd vaak goed overeenkwam met de gemiddelde waarde uit de BRL tabel.

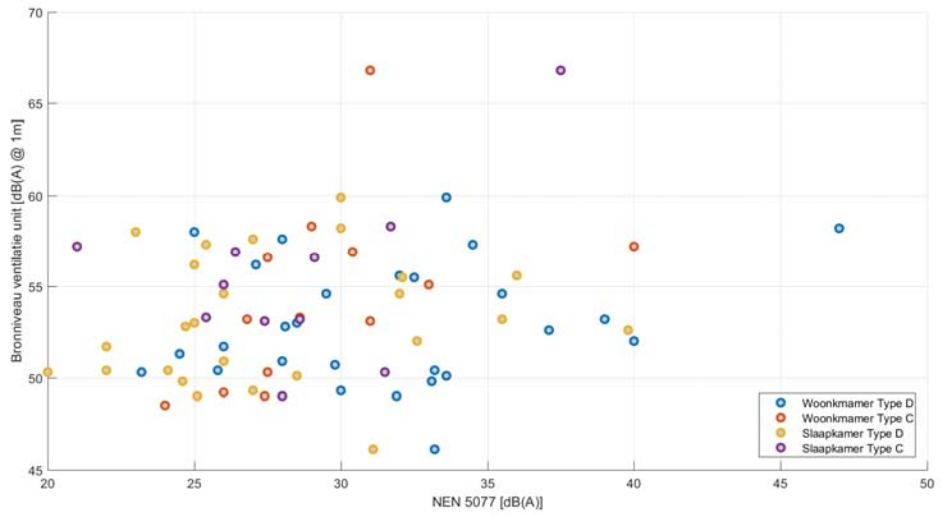
Daarnaast valt de correlatie tussen het gemeten geluid en de andere parameters tegen. Dit komt vooral omdat de verschillende parameters afhankelijk zijn van veel factoren / details, zoals bijvoorbeeld de locatie en montage van de ventilatie-unit (leidt o.a. tot omloopgeluid), mate van isolatie en details in de uitvoering van het kanalenstelsel en ventielen en grote variatie in woningen. Daarnaast kunnen kleine obstructies, randjes en overgangen in de flow veel (evt. tonaal) geluid veroorzaken, maar geen tot weinig invloed hebben op het elektrisch vermogen en de drukval.

Andersom is het vaak wel zo dat woningen met bijvoorbeeld een heel hoog bronniveau en/of elektraverbruik en/of hoge drukval (vaak meerdere parameters tegelijkertijd hoge waarden), meestal ook een te hoog geluidniveau hebben. Zie hiervoor ook de resultaten in Appendix E. Vooral een hele hoge drukval over de kanalen is een goede parameter om een eerste inschatting te maken of een woning eventueel aan de geluidseis kan voldoen. Tevens is in dat geval het elektraverbruik vaak ook relatief hoog en zegt dit iets over het ontwerp en/of de uitvoering van het kanalenstelsel en de aansluitingen bij de ventilatie-unit. De bijdrage van het bronniveau aan de beoordeling hangt sterk af van de locatie van de ventilatie-unit. Wanneer deze in een afgesloten ruimte is geplaatst met meerdere deuren tussen de bron en ontvangstruimte, weegt deze parameter minder hard mee in de beoordeling, dan wanneer de ventilatie-unit dicht bij de ontvangstruimte is geplaatst.

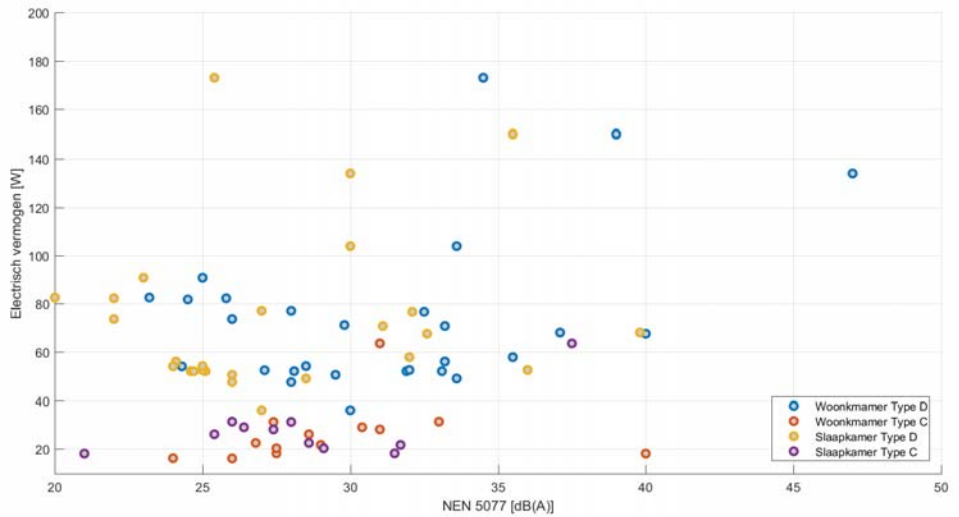
Gebaseerd op bovenstaande ervaring is de inspectiemethode heel geschikt bevonden als eerste stap in de beoordelingsmethode en dan met name om de 'rotte appels' eruit te halen.



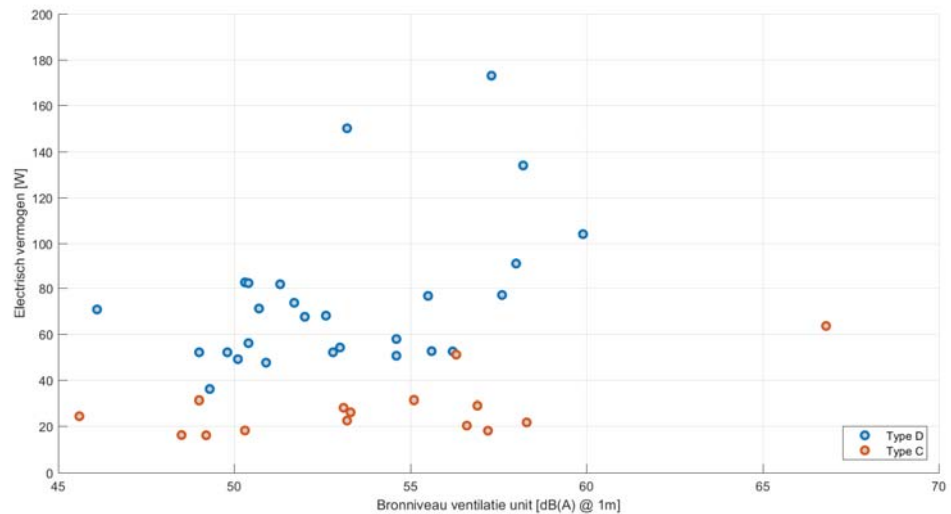
figuur 49: Vergelijking tussen NEN 5077 en BRL 8010.



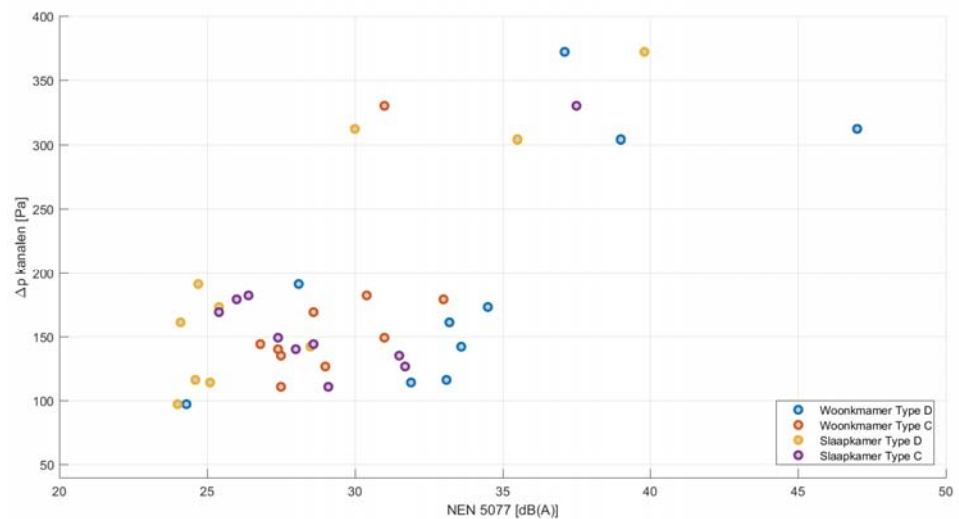
figuur 50: Vergelijking tussen NEN 5077 en bronniveau op 1m van de ventilatie unit.



figuur 51: Vergelijking tussen NEN 5077 en elektrisch vermogen.



figuur 52: Vergelijking tussen het bronniveau en elektrisch vermogen.



figuur 53: Vergelijking tussen NEN 5077 en drukval over het ventilatiesysteem.

Enkele opmerkelijke bevindingen van de visuele inspectie zijn (zie ook de afbeeldingen hierna):

- Opgegeven debieten (flow) klopte heel vaak niet met het opleverrapport en/of het Bouwbesluit!
- In enkele gevallen zijn kanalen zelfs verkeerd om aangesloten!
- Kanalen zijn vaak niet geïsoleerd en ook worden er vaak (te) kleine diameters toegepast.
- Geluiddempers worden ten onjuiste gebruikt als sluitstuk om de kanalen te laten aansluiten op de ventilatie-unit, waardoor er (scherpe) bochten kunnen ontstaan in de demper (demper moet in rechte lijn gemonteerd worden, met een maximale verspringing 0,5 x diameter). Dit komt vooral omdat er bij het ontwerp

van de woning c.q. het kanalenstelsel geen rekening wordt gehouden met de aansluitpunten op de ventilatie-unit.

- Er worden soms ventielen toegepast waarvan de flow eenvoudig te veranderen is. Dit heeft ook invloed op het geluidniveau in de desbetreffende ruimte.



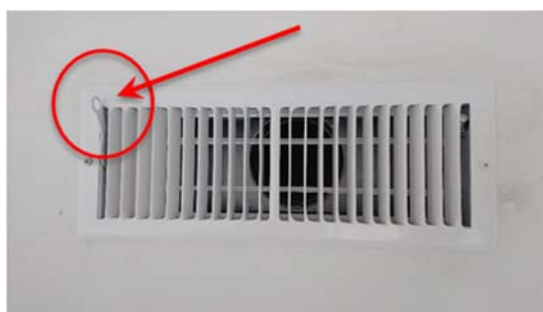
figuur 54: klem van demper los en lek, maar volgens opleverrapport debieten in orde.



figuur 55: Voorbeelden van onjuist gebruik van de geluiddemper, met grote gevolgen voor het geluid, de drukval (en dus elektrisch vermogen) en het debiet.



figuur 56: Voorbeeld van onjuist gebruik van de geluiddemper, met grote gevolgen voor het geluid, de drukval (en dus het elektrisch vermogen) en het debiet.



figuur 57: Voorbeeld van een ventiel bij een woning met een type D systeem, waarvan de flow eenvoudig aan te passen is, met als gevolg meer geluid in de ontvangstruimte.



figuur 58: Voorbeeld van het onjuist gebruik van een geluiddemper in combinatie met het blokkeren van de doortocht van de demper na het monteren van een houten afdekplaat.

4.5.3 Conclusie

Samengevat kan op basis van de geluidmetingen en (visuele) inspectie in de 45 woningen geconcludeerd worden dat:

- De NEN 5077 en BRL 8010 Methode 1 komen zeer goed overeen; ze hebben een hoge mate van correlatie.
- In een significant deel van de nieuw opgeleverde woningen voldoet het geluidniveau niet aan de grenswaarde uit het Bouwbesluit. Dit geldt vooral voor het niveau in de keuken / woonkamer.
- Het blijft een uitdaging om een moment te vinden zonder te veel stoorlawaai.
- Meetwaarden uit de inspectiemethode vergeleken met de NEN 5077 resultaten:
 - Vertonen grote spreiding.
 - Er is weinig correlatie tussen het elektrisch vermogen / drukval / bronniveau in relatie tot NEN5077. Onderling is er wel een iets betere correlatie.
 - Aan de andere kant, bij (grote) overschrijding van de grenswaarde voor het geluid, is er een duidelijker verband tussen geluid en de andere parameters. Dit zijn de zogenaamde ‘rotte appels’ met vaak zowel een hoog energiegebruik, drukval, bronniveau en geluidniveau in de ontvangstruimte. Deze zijn daarmee met de inspectiemethode goed te identificeren.
 - In veel andere gevallen is de correlatie erg afhankelijk van locatie, type en afscherming ventilatie-unit, maar ook type woning, details in uitvoering kanalenstelsel en ventielen, etc.

Uitgaande van deze bevindingen is het voorstel van TNO aan de installatiebranche om de volgende procedure te hanteren:

Stap 1: Voer eerst een screening van het ventilatiesysteem uit d.m.v. de metingen en visuele check uit de inspectiemethode. Hiermee kunnen de ‘rotte appels’ en montagefouten, zoals bijvoorbeeld het omdraaien van de kanalen, geïdentificeerd worden.

Stap 2: Als tweede stap wordt geadviseerd een geluidmeting uit te voeren volgens BRL 8010 Methode 1. Dit is de directe meting integraal geluidniveau. Het heeft de voorkeur om een 100% controle uit te voeren. Een minder te prefereren methode is een steekproef binnen een blok van woningen die qua uitvoering van het ventilatiesysteem en of de woningindeling identiek zijn.

Indien nader onderzoek nodig is bij een overschrijding van het geluidniveau of klachten, zal een spectrale meting volgens NEN 5077 moeten worden uitgevoerd en een akoestisch expert ingeschakeld moeten worden. De NEN 5077 wordt namelijk aangestuurd vanuit het Bouwbesluit.

4.6 Lessen uit de praktijk

Koppen Bouwexperts heeft een groot deel van de bovengenoemde metingen uitgevoerd en doet inmiddels buiten het SecureVent project om veel geluidmetingen aan ventilatiesystemen in woningen. Naast de reeds genoemde observaties en conclusies aan de hand van de meetresultaten, zijn hun ervaringen hierbij als volgt:

- Veel woningen voldoen op dit moment niet aan de eisen die gesteld zijn (ook gebaseerd op metingen in meer woningen dan alleen de woningen binnen SecureVent).
- De belangrijkste reden hiervoor is dat zowel het ontwerp als de uitvoering van het ventilatiesysteem niet in orde is. De oorzaken hiervan kunnen o.a. zijn:
 - De keuze van de opstelplaats (ontwerp)

- Deur van de ruimte van de opstelplaats (ontwerp)
- Slecht ingeregelde installatie (uitvoering)
- Aansluitingen kanalen op de ventilatie-unit (ontwerp + uitvoering)
- Ontwerp kanalen en/of ongeïsoleerde kanalen (ontwerp en/of uitvoering)
- Het blijft een uitdaging om aan de eisen voor het achtergrondlawaai te voldoen. Vaak moeten de geluidmetingen voor of na de reguliere werktijden uitgevoerd worden, om te zorgen voor een voldoende laag stoorniveau.
- NEN 5077 blijft de meest nauwkeurige methode, al komt de gemeten nagalmtijd voor de gemiddelde nieuwbouwwoning heel goed overeen met de waarde uit de BRL 8010. Alleen in zeer grote woningen met hele lange, zeer strak afgewerkte wanden is de nagalmtijd aanzienlijk meer. Deze kom je in de standaard woningbouw echter zelden tegen.
- De inspectiemethode geeft over het algemeen een goed inzicht over de aanleg van de installatie. Meestal kan hier al uit opgemaakt worden of de installatie wel of niet aan de eisen gaat voldoen.
- Koppen Bouwexperts heeft zelf de voorkeur voor een Klasse I spectrum analyzer. Het grote voordeel hiervan is dat direct kan worden geanalyseerd in welke frequentieband of tonale component de oorzaak ligt van een eventuele overschrijding van het geluidniveau.
- De introductie van de warmtepomp zorgt voor extra verstoringen. Het totale installatiegeluid is hierdoor vaak een combinatie van verschillende bronnen: het ventilatiesysteem, de warmtepomp en indien aanwezig de omvormers van het PV-systeem. In het meest ongunstige geval zijn deze in dezelfde ruimte opgesteld, dicht bij een verblijfsruimte en met dezelfde frequentiekenarakteristiek. Dit veroorzaakt veel hinder.
- Koppen Bouwexperts geeft aan op dit moment de bewustwording van de ontwerper en installateur van het ventilatiesysteem het belangrijkste is om tot een goed akoestisch systeem te komen. De inspectiemethode in combinatie met de geluidmeting volgens BRL 8010 methode 1 is hiervoor de meest geschikte methode. Hiermee krijgt men direct inzicht waar de knelpunten zitten en hoe laag 30 dB(A) in de praktijk is.

5 Uitvoeringsprotocollen

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de uitvoeringsprotocollen beschreven voor de verschillende in dit project ontwikkelde meetmethodieken:

- Uitvoeringsprotocol luchtdoorlatendheidsmeting in paragraaf 5.2
- Uitvoeringsprotocol luchtvolumestroommeting in paragraaf 5.3
- Uitvoeringsprotocol geluidniveau ventilatiesysteem in paragraaf 5.4

Voor het verrichten van de luchtdoorlatendheidsmeting met de ATT wordt gebruik gemaakt van een app. In de toekomst is het mogelijk om ook de andere meetmethododes (lucht volumestroom en geluidniveau ventilatiesysteem) te integreren in deze app.

De uitvoeringsprotocollen zijn gedurende het project getest door medewerkers van Koppen Bouwexperts, die een groot deel van de validatiemetingen in de praktijk hebben uitgevoerd en door installateurs. Op basis van hun feedback zijn de uitvoeringsprotocollen verder aangescherpt.

5.2 Uitvoeringsprotocol luchtdoorlatendheidsmeting

Voor het verrichten van een luchtdoorlatendheidsmeting met de ATT wordt gebruik gemaakt van een app die gebruikt kan worden op Android apparaten. De minimale benodigde Android versie is 4.4 (Android KitKat). De app is een constant doorlopende ontwikkeling, en de opzet die onderstaand omschreven wordt, is de app die gebruikt is voor het uitvoeren van de praktijkmetingen met de ATT.

Voor de luchtdoorlatendheidsmeting worden de volgende stappen doorlopen:

- 1) Plaats het buffervat in de woning om te acclimatiseren.

Plaats het buffervat:

- uit de zon
- niet nabij warmtebronnen.

Opm.: Het buffervat mag in elk van de vertrekken in de woning opgesteld worden (woonkamer, keuken, slaapkamer, zolder, etc).

- 2) Inspecteer de woning, te weten:
 - sluit gevelroosters, ramen en buitendeuren.
 - zet alle binnendeuren open.
 - vul sifons met water, denk hierbij aan:
 - condensafvoer CV-ketel.
 - wastafel(s).
 - douche/bad afvoer.
 - afvoer wasmachine.
 - afvoer vaatwasser.

*Opm.: In aansluiting op de gevelroosters, moeten alle ventilatievoorzieningen, die niet gebruikt worden voor de vernieuwde luchtdichtheidsmeting, afgesloten worden.
Denk hierbij aan:*

- lokale (natuurlijke of mechanische) toevoorzieningen.
- lokale afvoorzieningen, bijvoorbeeld een aparte afzuigkap.

3) Prepareer het ventilatiesysteem (systeem dat gebruikt wordt om de woning op onder- of overdruk te brengen):

- controleer of het ventilatiesysteem met de beschikbare bediening uitgeschakeld en ingeschakeld kan worden.
- zo niet, breng een aan-/uitschakelaar aan in de 220V aansluiting van het ventilatiesysteem.

Gebruik hiervoor een stekkerblok met schakelaar eventueel in combinatie met een verlengsnoer om de schakelaar nabij de (hoofd)bediening van het ventilatiesysteem te plaatsen.

opm.: Dit is noodzakelijk als het ventilatiesysteem na het uit- en weer aanschakelen niet opstart in de juiste/gewenste stand.

- in geval van een gebalanceerd ventilatiesysteem (zie figuur 59):
 - koppel het buitenluchtaanzuigkanaal of het binnenluchtafvoer kanaal los van de balansunit.
 - plak het losse kanaal vervolgens af.

opm.: Afhankelijk van het losgekoppeld kanaal wordt de luchtdoorlatendheid gemeten bij onder- of overdruk.



figuur 59: Losgekoppeld en afgeplakt buitenluchtaanzuigkanaal.

4) Ventilatiemetingen:

- zet het ventilatiesysteem in de hoogstand.

opm.: Afhankelijk van de resultaten van de luchtdichtheidsmeting kan achteraf gekozen worden de luchtdichtheidsmeting te herhalen bij een andere stand als verwacht wordt dat hierdoor de nauwkeurigheid te verbeteren valt (zie beoordeling van de resultaten volgens figuur 4).

- meet de ventilatiedebieten op alle roosters en bepaal het totale afvoer-/toevoerdebiet.
- bepaal op grond van de specificaties van de gebruikte volumestroommeter, de onnauwkeurigheid in het totale afvoer-/toevoerdebiet.

opm.: Bij gebruik van de FlowFinder-mk2 kan, afhankelijk van het aantal roosters, voor de onnauwkeurigheid aangehouden worden:

- $\pm 0,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($\pm 1,7 \text{ m}^3/\text{h}$) bij 1 rooster
- $\pm 0,7 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($\pm 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$) bij 2 roosters

- $\pm 0,8 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($\pm 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$) bij 3 roosters
- $\pm 1,0 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($\pm 3,5 \text{ m}^3/\text{h}$) bij 4 roosters
- $\pm 1,1 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($\pm 3,9 \text{ m}^3/\text{h}$) bij 5 roosters
- $\pm 1,2 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($\pm 4,3 \text{ m}^3/\text{h}$) bij 6 roosters
- $\pm 1,3 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($\pm 4,6 \text{ m}^3/\text{h}$) bij 7 roosters
- $\pm 1,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($\pm 4,9 \text{ m}^3/\text{h}$) bij 8 roosters

Indien een afzuigkap aanwezig is, kan deze grofweg beschouwd worden als 4 roosters. Dus 2 roosters (met debiet $< 100 \text{ m}^3/\text{h}$) plus 1 afzuigkap (met debiet rond $200 \text{ m}^3/\text{h}$), komt overeen met 6 roosters en dus $\pm 4,3 \text{ m}^3/\text{h}$.

- 5) Voer de luchtdoorlatendheidsmeting uit:
- schakel de ventilator uit.
 - schakel de elektronica in het buffervat aan.
 - start de app 'AirTightnessTester', waarna het startscherm (zie figuur 60) verschijnt.
 - voer onder andere de woninggegevens in en het totale toevoer-/afvoerdebiet met meetonnauwkeurigheid (zie figuur 60). Vul voor de stromingsexponent 0.66 in. Dit is een gemiddelde waarde, die is bepaald op basis van literatuur. De stromingsexponent wordt niet gemeten.
- De eis is hierbij de eis waaraan de woning qua luchtdichtheid moet voldoen. De referentiedruk is de druk waarbij de luchtdoorlatendheid uitgedrukt dient te worden (dus in Nederland 10 Pa voor de $q_{v,10}$ -waarde).
- Indien de meting wordt gedaan bij twee standen van het ventilatiesysteem (i.p.v. in-/uitschakelen) moet aangegeven worden dat twee volumestromen worden gebruikt. Een extra invulveld voor de tweede volumestroom wordt dan weergegeven.

10:58 AirTightnessTester

ACIN instrumenten bv

Algemene gegevens

Locatie

Eis 200 l/s

Referentiedruk 10 Pa

Meetparameters

Stromingsexponent 0.66

Twee volumestromen Ja Nee

Volumestroom 75 ± 3 l/s

Gebouwgegevens

Ventilatietype Mechanisch Gebalanceerd Anders

Oppervlak 0.00 m²

Volume 0.00 m³

Verbind met apparaat Laad meting Start meting

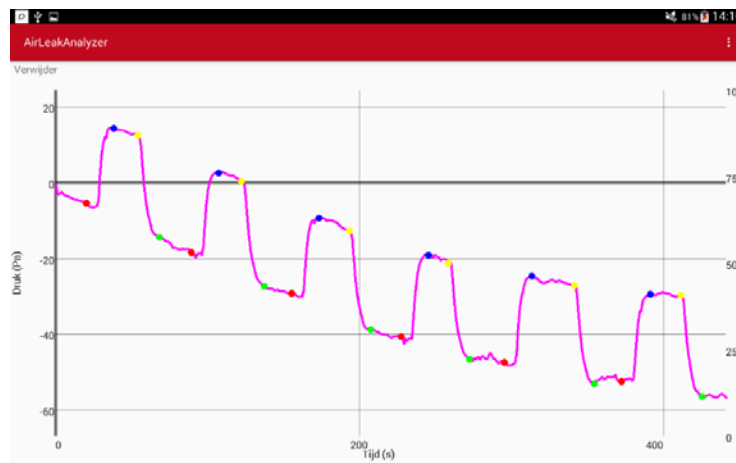
figuur 60: Startscherm app ATT.

- druk op de knop 'Verbind met apparaat'.
Er wordt nu een verbinding gemaakt met het buffervat inclusief drukmeter.
Als de verbinding werkt, wordt de knop 'Start meting' vrijgegeven (zie figuur 60).
- druk op de knop 'Start meting'.
De meting start en het scherm uit onderstaand figuur wordt getoond. Dit scherm geeft een samenvatting van de ingevulde gegevens en het resultaat van wat er tot nu toe gemeten is.



figuur 61: Scherm app met samenvatting ingevulde gegevens.

- Swipe vervolgens naar rechts en een grafiek met de drukmeting wordt getoond (zie onderstaande figuur).



figuur 62: Druksignaal.

- Schakel de ventilator 6 keer in en uit met een interval van circa 15 s. Dat willen zeggen hou de ventilator circa 15 s ingeschakeld en vervolgens circa 15 s uitgeschakeld.
Opm.: Met de gekleurde bolletjes geeft de software aan, wanneer de ventilator is verondersteld ingeschakeld (tussen blauw en geel) en uitgeschakeld (tussen groen en rood) te zijn geweest. NB. Afhankelijk van hoe de meting gestart is, is het mogelijk dat tussen blauw en geel bolletje een uitgeschakelde ventilator en tussen groen en rood bolletje een ingeschakelde ventilator wordt beschouwd. In de regel zal dit niet het geval zijn, maar het is verder ook geen probleem. De bolletjes geven inzicht in de interpretatie van de software (de app) van het druksignaal. Het druksignaal heeft typisch een iets aflopend of oplopend karakter dat stabiliseert na meerdere metingen. Aanleiding hiervoor zijn temperatuurverschillen

tussen het vat en de ruimte en meting op overdruk of onderdruk. Het drukniveau van het blauwe én gele bolletje dan wel het groene én rode bolletje kan/mag daarom enigszins van elkaar afwijken, zoals aangegeven in bovenstaande figuur. Het is wel gewenst dat tussen in- en uitgeschakelde ventilator steeds een vergelijkbaar drukverschil waarneembaar is. De app geeft dit met de onnauwkeurigheid in het druksignaal aan (zie figuur 63). Bij een laag of variërend drukniveau of ruis in het druksignaal, kan het meetresultaat verbeterd worden door de ventilator meer keer aan en uit te schakelen (zie beoordeling van de resultaten bij figuur 63).

- Klik op de 3 puntjes rechtsboven in het scherm en stop, via het getoonde menu, de meting.
Nu verschijnt het scherm met de meetresultaten (zie figuur 63).
- Beoordeel de resultaten en ga na of herhaling van de meting zinvol is. De meting kan als afgerond beschouwd worden als de relatieve onnauwkeurigheid in de gemeten luchtdichtheid kleiner of gelijk is aan 10 tot 15%.
Indien dit niet het geval is, dient, in de volgende situaties, nagegaan te worden of een grotere nauwkeurigheid bereikt kan worden.
 - a) Indien de gemiddelde druk groter is dan 40Pa (onder- of overdruk) bij een toetsingsdruk van 10Pa, zoals in Nederland gebruikelijk, herhaal dan de meting bij een lagere stand van het ventilatiesysteem.
opm.: *De nauwkeurigheid van de luchtdichtheidsmeting wordt via de app bepaald op basis van de onnauwkeurigheid van (1) de drukmeting, (2) de stromingsexponent en (3) de volumestroommeting. Bij een onder-/overdruk groter dan circa 40Pa en een toetsingsdruk van 10Pa, kan meten bij een lagere stand van de ventilator leiden tot een lagere onnauwkeurigheid, als gevolg van de gekozen waarde voor de stromingsexponent. Het is op voorhand niet aan te geven of de nauwkeurigheid daadwerkelijk verbeterd kan worden. Bij een lagere stand van de mechanische afzuiging zal de onnauwkeurigheid in de drukmeting naar verwachting namelijk toenemen.*
 - b) Indien de relatieve onnauwkeurigheid in de drukmeting groter is dan 10%, terwijl het gemeten drukverschil groter is dan 5Pa (over-/onderdruk), herhaal dan de meting terwijl de ventilator meerdere keren (meer dan 6, bijvoorbeeld 10 keer) wordt aan- en uitgeschakeld.
- Klik op de 3 puntjes rechtsboven in het scherm en bewaar de meting met de gewenste naam.



The screenshot shows the ACIN AirTightnessTester app interface. At the top, the time is 11:04 and the app title is 'AirTightnessTester'. Below the ACIN logo, there are three sections: 'Algemene gegevens', 'Meetparameters', and 'Resultaten'. Each section contains a table of data.

Algemene gegevens		
Datum	2018-12-05	
Starttijd	09:24:51	
Eindtijd	09:29:59	
Locatie	Meting onderdruk	
Ventilatietype	Mechanisch	

Meetparameters		
Ers	200.0 l/s	
Volumestroom	40.0 l/s	Bewerk
Stromingsexponent	0.727	Bewerk
Oppervlak	n.n.b.	Bewerk
Volume	n.n.b.	Bewerk

Resultaten		
Gemiddelde druk	33.9±0.2 Pa	
Luchtdichtheid@10Pa	16.5±0.1 l/s	Bewerk

figuur 63: Eindscherm app met resultaten.

- 6) Breng de installatie naar oorspronkelijke staat terug.

5.3 Uitvoeringsprotocol luchtvolumestroommeting

De VentiFlow-mk2 bestaat uit een meetkoker, een stromingsrichter en een vleugelradanemometer waarmee de volumestroom in en uit ventilatieopeningen gemeten kan worden. Er wordt daarbij voor het berekenen van de volumestroom uit het toerental een vaste omrekenfactor gebruikt. De omrekenfactor is door ACIN bepaald. De vleugelradanemometer heeft geavanceerde mogelijkheden om een minimum, maximum en een gemiddelde waarde te bepalen.



figuur 64: Bediening van de VentiFlow-mk2.

Het hier beschreven protocol beperkt zich tot de basis.

1. Zet de VentiFlow-mk2 aan.
2. Test of het vleugelrad vrij en soepel draait.
3. Plaats de VentiFlow-mk2 gecentreerd over het te meten ventiel
Je kan de VentiFlow met de duimen aan de rand en de wijsvingers achter de rand boven je hoofd houden of vasthouden aan het handvat van de vleugelradanemometer.



figuur 65: Plaatsing van de VentiFlow-mk2 over het ventiel.

4. Wacht tot de gegeven volumestroom op het display van de VentiFlow-mk2 een stabiele waarde aangeeft.
5. Zet de waarden eventueel vast met de "Hold" knop en lees deze af.
6. Het instrument geeft niet aan of het toevoer of afvoer is. Als het rad rechtsom draait is het afvoer, linksom toevoer.
7. Herhaal de meting nog 1 of 2 keer.

Het meetbereik van de VentiFlow-mk2 is 20 m³/uur tot 100 m³/uur. Bij hogere volumestromen gaat de weerstand van het instrument een te grote rol spelen.

5.4 Uitvoeringsprotocol geluidniveau ventilatiesysteem

De beoordeling van het geluidniveau van het ventilatiesysteem bestaat uit 2 stappen:

1. Inspectiemethode
2. Geluidmeting volgens BRL 8010

Voor beide methoden is een protocol opgesteld.

5.4.1 Protocol Inspectiemethode

De inspectiemethode bestaat uit de volgende stappen:

1. Voer de visuele inspectie uit volgens Appendix D.
2. Zorg dat het ventilatiesysteem goed is ingeregeld. Noteer de stand waarin voldaan wordt aan het debiet volgens het Bouwbesluit.

3. Bepaal de totale drukval over de kanalen. Bij sommige ventilatie-units kan dit afgelezen worden van het display. Indien dit niet mogelijk is, kan de drukval bijvoorbeeld met behulp van een pitotbuis worden bepaald. Deze meetmethode staat duidelijk beschreven op:
<https://www.isso-digitaal.nl/kenniskaart/statische-druk-in-luchtkanaal-meten-met-pitotbuis>
4. Meet het elektrisch vermogen met behulp van een wattmeter.
5. Bepaal het direct afgestraalde geluid van de ventilatie-unit:
 - a. Indien de unit is ingebouwd in een afgesloten ruimte, sluit de deur en zorg dat de meting kan plaatsvinden in de afgesloten ruimte.
 - b. Zet de meter in stand 'Laeq' en 'Fast'.
 - c. Zorg dat de meter de octaafbanden 63Hz t/m 8kHz meet.
 - d. Meet 8 seconden op 1m van de unit en noteer het geluidniveau met 1 cijfer achter de komma en in dB(A).

Er wordt hier aangenomen dat er vooraf consensus is over de grenswaarden van de verschillende parameters, afhankelijk van de locatie van de ventilatie-unit, de ontwerp-specificaties, het type woning en ventilatiesysteem, etc. Anders kunnen de richtwaarden uit paragraaf 4.5 gehanteerd worden.

5.4.2 Protocol geluidmeting

Geluidmetingen aan ventilatiesystemen in woningen zullen volgens BRL methode 1 worden uitgevoerd, zoals beschreven in Bijlage IV van de BRL Richtlijn.

Uitgangspunt is dat de geluidsmetingen worden gedaan in de zgn. 'kritische' ontvangstruimtes en de ruimte waar de ventilatie-unit is opgesteld. De kritische ontvangstruimtes zijn de woonkamer (evt. gecombineerd met keuken, indien 1 ruimte) en 1 of meerdere slaapkamers.

De algemene procedure voor de geluidmetingen volgens BRL methode 1 is voor iedere ontvangstruimte als volgt:

1. Sluit ramen en deuren.
2. Indien mogelijk, schakel stoorbronnen uit.
3. Zorg dat het ventilatiesysteem goed is ingeregeld. Noteer de stand waarin voldaan wordt aan het debiet volgens het Bouwbesluit.
4. Kalibreer meetapparatuur.
5. Bepaal het minimaal aantal benodigde microfoonposities a.d.h.v. de oppervlakte van de ruimte en onderstaande tabel uit de BRL procedure:

Tabel IV.2

Meetprocedure 1: Minimum aantal microfoonposities als functie van de vloeroppervlakte

Vloeroppervlakte [m ²]	Minimaal aantal microfoonposities
≤ 10	2
10 > en ≤ 20	3
>20 en ≤ 40	4
>40	5

6. Er mag maximaal 1 persoon in de ruimte zijn tijdens de metingen.
7. Schakel ventilatiesysteem uit, voer een achtergrondmeting uit midden in de ruimte en sla de waarde of op noteer de waarde met 1 cijfer achter de komma.
8. Kies positie tussen 1,2m en 1,5m boven het vloeroppervlak.
9. Afhankelijk van het totaal aantal posities, kies 1 of 2 meetposities in het midden van de ruimte, op 0,5 – 1,5m afstand van elkaar en 1 of meer posities in de

hoeken van de ruimte op een afstand van 0,5 – 1m van de wanden en niet in een hoek het dichtst bij de ventiel(en). Bij maximaal 2 meetposities in de hoeken, meet indien mogelijk eerst in alle hoeken en kies de hoek(en) met het hoogste niveau voor het geluidniveau dat uiteindelijk gerapporteerd gaat worden.

[noot: deze posities kunnen iets afwijken van BRL en zijn meer in lijn met de posities zoals aangegeven in NEN 5077].

10. Zet de meter in stand 'Laeq' en 'Fast'.
11. Zorg dat de meter de octaafbanden 63Hz t/m 8kHz meet.
12. Meet 8s per positie.
13. Stop de meting na iedere positie met de pauzetoets van de meter.
14. Na de laatste positie stop de meting en noteer het geluidniveau (LI) met 1 cijfer achter de komma en in dB(A).
15. Schakel ventilatiesysteem aan en voer de geluidmeting uit op dezelfde positie en volgens dezelfde procedure.
16. Bepaal het geluidniveauverschil tussen meting ventilatie 'aan' en 'uit' en vergelijk die met onderstaande tabel:

Tabel IV.1

Meetresultaat op dezelfde meetpositie met ventilatie 'aan' en 'uit'

Gemeten geluidsniveau- verschil tussen ventilatie aan en uit	2 dB of minder	2-4 dB	> 5 dB
'Werkelijke' geluidniveau installatiegeluid	Zeker lager (stoorgeluid overheerst)	Waarschijnlijk lager (stoorgeluid heeft invloed)	Gelijk (weinig of geen invloed stoorgeluid)

17. Indien het geluidniveauverschil ≤ 5 dB, kijk of het mogelijk om de invloed van de stoorbronnen nog verder te verminderen. Indien niet mogelijk, stop de metingen en kom terug op een stiller moment (bijv. 's avonds, etc.).
18. Indien het niveauverschil > 5 dB, dan is de meting valide. Zo niet, voer de meting uit op een ander tijdstip of probeer nog meer stoorbronnen uit te schakelen of onderdrukken.
19. Indien de meting geslaagd is, bepaal uit het gemeten geluidniveau LI per ontvangstruimte het 'karakteristieke geluidniveau' LIAK met behulp van de ruimtecorrecties (nagalmtijd, volume ruimte, etc., zie BRL Richtlijn). Hiervoor dient het volume en de vloeroppervlakte van de ruimte en de type bouw bekend te zijn.
20. Het karakteristieke geluidniveau kan worden getoetst aan de waarde in het Bouwbesluit.

Formules voor het berekenen van het karakteristieke geluidniveau uit het gemeten geluidniveau:

Stap 1 nagalmcorrectie:

$$L_{IA} = L_I - \text{nagalmcorrectie (uit BRL Tabel IV.3)}$$

Stap 2 volumecorrectie:

$$L_{IAK} = L_{IA} + \text{volumecorrectie}$$

De volumecorrectie kan op 2 manieren bepaald worden:

- 1 Berekend met $5x^{10}\log(V/25)$, met V het volume van de ruimte.
- 2 Voor een gegeven volume aflezen uit BRL Tabel IV.5.
(Methode 1 heeft de voorkeur)

5.5 Praktijkevaluatie door installateurs

Op 12 februari 2020 is er een workshop georganiseerd voor installateurs. In totaal hebben 14 installateurs van 5 bedrijven deelgenomen aan de workshop. Het doel van de workshop was om de innovaties uit het project te demonstreren. De workshop werd gehouden in de NeroZero woning in Heerhugowaard. Dit is een demonstratiewoning met veel innovatieve duurzame oplossingen, waardoor het een inspirerende locatie is.

Tijdens de workshop hebben de experts van ACIN en TNO de toekomstige gebruikers een update gegeven van de nieuwe producten en methoden en hebben zij ook de kans gekregen de prototypes zelf te testen. De ervaringen van de installateurs worden onderstaand per methodiek kort beschreven.

AirTightnessTester (ATT)

Installateurs van ventilatiesystemen voeren normaal gesproken geen luchtdoorlatendheidsmetingen uit. Men begreep wel dat de ATT gebruikersvriendelijker is dan de blowerdoor.

VentiFlow-mk2

De installateurs waren erg enthousiast over de VentiFlow-mk2. De VentiFlow-mk2 is beduidend lichter dan de FlowFinder en dat maakt erg uit als je de hele dag boven het hoofd moet meten. Een ander voordeel is de snelheid van meten. De meting gaat enkele seconden sneller en dat verbetert de gebruikerservaring.



figuur 66: Demonstratie tijdens de workshop.

Methodiek geluidniveau ventilatiesysteem

- De aanwezige installateurs waren voorstander van de voorgestelde aanpak met de 2 methodes; inzichtelijke en overzichtelijke aanpak.
- Ze waren het ook eens met de conclusie dat afstemming tussen de verschillende partijen bij het ontwerp van het installatiesysteem beter kan (met name aansluitpunten voor het aansluiten ventilatie-unit op de kanalen, nu vaak met veel bochten en restricties / drukverlies). Daarnaast speelt ook de opstelplaats een belangrijke rol.
- Er werd beaamd dat bij de grotere bedrijven vaak al één of enkele geluidmeters aanwezig zijn, maar deze zijn niet altijd van de juiste kwaliteit.
- De installateurs zijn voorstander van een applicatie (voor bijvoorbeeld op de smartphone), met daarin de BRL 8010 methode. De geluidmeting zelf moet dan nog wel met een kwalitatief goede meter uitgevoerd worden.

6 Inbedding in de praktijk

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de inbedding van de in SecureVent ontwikkelde methodieken en instrumenten in de praktijk. Allereerst wordt in paragraaf 6.2 ingegaan op de haalbaarheid, randvoorwaarden en benodigde stappen om luchtkwaliteit als dienst aan te kunnen bieden. In paragraaf 6.3 wordt beschreven in hoeverre de binnen het project ontwikkelde meetmethodieken en instrumenten bruikbaar zijn voor consumentenorganisaties of consumenten zelf. Tot slot wordt in paragraaf 6.4 ingegaan op de inbedding van de in het project ontwikkelde meetmethodieken en instrumenten in private kwaliteitsborging.

6.2 Luchtkwaliteit als dienst

6.2.1 Inleiding

Doel van deze taak is de haalbaarheid en randvoorwaarden vast te stellen voor het leveren van lucht als dienst alsmede het inzichtelijk maken van de benodigde stappen om van productleverancier te evolueren naar dienstenleverancier.

In de hedendaagse maatschappij kunnen we een trend waarnemen waarbij een verschuiving optreedt van bezit naar gebruik. Ook in de gebouwde omgeving begint een toenemende vraag te ontstaan naar modellen waarbij de gebruiker puur en alleen betaalt voor wat hij gebruikt 'as a service'. Het Rijksvastgoedbedrijf is voor utilitaire gebouwen hierin trendsettend en koopt meer en meer service in, in plaats van gebouwen, en besteedt aan op basis van prestaties in plaats van een technische productbeschrijving.

De verwachting is dat deze trend zich zal doorzetten richting woningen. De eerste stappen zijn hierin al zichtbaar met name op het gebied van energiebesparende maatregelen. Zo zijn er al aanbieders van prestatiegaranties (Bouwgarant) en worden er bijvoorbeeld meer en meer energiebesparende installaties aangeboden waar de aanbieder eigenaar blijft van de installatie en de bewoner "slechts" voor energie betaalt. De propositie is dan veelal dat de energierekening gelijk blijft of (iets) lager wordt zonder investering van de bewoner. Deze wordt betaald uit het (veel) lagere energiegebruik.

De energieprestatievergoeding (EPV) is binnen de huursector een voorbeeld waarbij feitelijk het leveren van een dienst wordt overeengekomen. De EPV betreft een overeenkomst tussen huurder en verhuurder met een betalingsverplichting van de huurder waartegenover de verhuurder zich verplicht tot het leveren van een gegarandeerde energieprestatie.

De vraag is of dit ook kansen biedt voor binnenlucht(kwaliteit) waarbij er geen luchtinstallatie meer wordt afgenomen maar lucht als dienst wordt aangeboden. En zo ja, wat komt hier dan bij kijken en in hoeverre kunnen de binnen SecureVent ontwikkelde methodieken/instrumenten een bijdrage leveren om het aanbieden van lucht als dienst mogelijk te maken.

6.2.2 *Economisch perspectief*

In Nederland staan ruim 7 miljoen woningen waarvan 2,4 miljoen corporatiewoningen. Voor het overgrote deel van de woningvoorraad geldt dat de integrale prestatie van de luchtinstallaties onder de maat is. Er is slechts een zeer beperkt deel van de woningen voorzien van een onderhoudscontract op het ventilatiesysteem (exacte cijfers ontbreken). Er liggen dus sowieso enorme uitdagingen en kansen voor de sector bij het verhogen van het bewustzijn en de waardebeleving van en vraag naar gezonde binnenlucht.

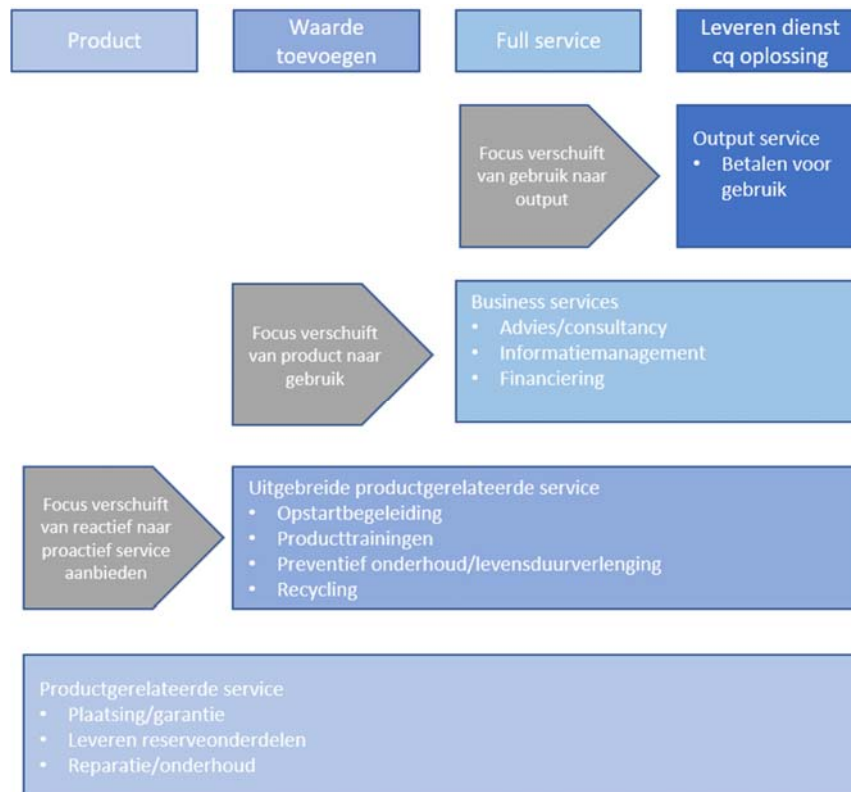
Voor bedrijven in de maakindustrie geldt dat er enorm economisch perspectief zit in uitbreiding van de propositie van alleen het leveren van producten naar het leveren van een of meerdere diensten waarmee invulling wordt gegeven aan deze (te ontwikkelen) vraag. Van een eenmalige transactie voor het leveren van producten kan de relatie met de afnemer dan immers verschuiven naar een continue geldstroom gedurende een veel langere periode tot maximaal de levensduur van een gebouw.

In het voorbeeld van de energieprestatievergoeding kunnen corporaties met de energierekening investeren in (ver)nieuwbouw naar Nul op de Meter en krijgen huurders een comfortabelere woning tegen ongeveer dezelfde woonkosten. Voorwaarde is uiteraard dat de verhuurder zorgt dat het huis zeer energiezuinig en duurzaam is, wat weer betekent dat de bouwers de Nul op de Meter prestaties van de woningen zullen moeten garanderen met een prestatiegarantiecontract, wat weer enorme economische kansen biedt.

Voor het leveren van "luchtkwaliteit als dienst" zou dit bijvoorbeeld vertaald kunnen worden naar een prestatiecontract voor een ventilatiesysteem. Het economisch perspectief is hierbij aantrekkelijk. Een contract voor bijvoorbeeld een balansventilatiesysteem met WTW, met een waarde van € 1,- per dag per woning is realistisch (incl. installatie, onderhoud, vervanging na 15 jaar). Meerjarige servicecontracten genereren derhalve een veelvoud aan omzet ten opzichte van de eenmalige levering van een product.

6.2.3 *De reis naar lucht als dienst*

Voor een bedrijf is de reis naar het leveren van diensten in plaats van alleen producten in een aantal stappen te onderscheiden, zie onderstaande figuur.



figuur 67: Reis van leveren van producten naar leveren van lucht als dienst.

De meeste toeleveranciers in de ventilatie industrie zijn productleveranciers. Een (aanzienlijk) deel heeft inmiddels waarde toegevoegd aan hun producten in de vorm van begeleiding bij installeren, producttrainingen etc. De service-omzet is meestal gerelateerd aan het fysieke product dat ze leveren, bijvoorbeeld in de vorm van onderhoudsservices, upgrades en aanpassingen.

Er zijn enkele voorbeelden van bedrijven die ten aanzien van de luchtinstallatie gerelateerde service richting “full service” gaan door het aanbieden van en verantwoordelijkheid nemen voor het integrale ontwerp en/of financiering. In de woningbouw komen we dit echter nog maar minimaal tegen.

Een voorbeeld van een propositie waar een prestatie wordt aangeboden is het eerder aangehaalde NOM-keur (Nul Op de Meter). Dit keurmerk functioneert als instrument om de kwaliteit van een woning te borgen waarmee onder andere grotere zekerheid kan worden gerealiseerd ten aanzien van het voldoen aan de voorwaarden voor het verkrijgen van de energieprestatievergoeding. Naast het borgen van de energieprestatie wordt hier ook een “aangenaam en gezond binnenklimaat” aan gekoppeld. Hoe “aangenaam” en “gezond” gedefinieerd zijn is (nog) niet helemaal duidelijk, maar het is wel duidelijk een stap in de richting van het leveren van “lucht als dienst”. Het meten van de integrale prestaties wordt binnen NOM-keur al als vanzelfsprekend beschouwd.

Uit de vele gesprekken die met individuele leveranciers zijn gevoerd komt het beeld naar voren dat veel bedrijven best richting full service of zelfs het leveren van lucht

als dienst willen, maar hier op dit moment nog grote risico's zien en die stap nog niet aandurven.

Om een dergelijke service te kunnen aanbieden is het immers noodzakelijk dat de integrale prestatie van de luchtinstallatie goed geborgd is. Op dit moment is dat in de meeste projecten (meer dan 90%) niet het geval en krijgen leveranciers ook doorgaans niet de ruimte (bevoegdheid en middelen) om zelf de regie te nemen in het borgen van de noodzakelijke prestatie.

Door de wijze waarop projecten nu zijn georganiseerd, met veel deelverantwoordelijkheden (zonder integrale controle), en de beperkte waarde die wordt toegekend aan een goede integrale prestatie van luchtinstallaties biedt het aanbieden van lucht als dienst daarom op dit moment weinig omzetspectief maar levert wel veel risico's op.

Om überhaupt lucht als service mogelijk te maken is de eerste stap -waar alle leveranciers het over eens zijn- er voor zorgen dat woningen bij oplevering wel voldoen aan de integrale prestatie-eisen ten aanzien van de luchtinstallatie. De belangrijkste integrale prestatie-eisen zijn:

- Capaciteit en verdeling
- Installatiegeluid
- Luchtdichtheid van de gebouwschil

Bij leveranciers is er breed draagvlak voor de stelling dat 100% controle van deze prestaties "as built" noodzakelijk is om te borgen dat woningen bij oplevering aan de integrale prestatie-eisen voldoen. Zij zijn tevens van mening dat om 100% controle geaccepteerd te krijgen het noodzakelijk is dat dit op kostenefficiënte wijze kan.

SecureVent heeft als doel als om kostenefficiënte middelen te ontwikkelen voor het kunnen vaststellen van de integrale prestaties. De ontwikkeling en inbedding in de praktijk zijn daarom belangrijke voorwaarden om het leveren van lucht als dienst mogelijk te maken.

Zodra aan de kwalitatieve randvoorwaarde is voldaan ontstaat er een basis om lucht als dienst aan te kunnen bieden. Het leveren van een product is wezenlijk iets anders dan het leveren van een dienst en het vraagt de nodige aanpassingen, ontwikkelingen en ook tijd om dit binnen een bedrijf mogelijk te maken.

Ondanks dat er nog veel moet gebeuren om de kwalitatieve randvoorwaarden te realiseren om lucht als dienst aan te kunnen bieden is het -gezien de al ingezette trend naar gebruik in plaats van bezit- wel verstandig dat bedrijven hier nu al op inspelen. Er gaat immers heel wat tijd overheen om als bedrijf de transitie te maken van productleverancier naar leverancier van diensten.

Onderstaand stappenplan geeft inzicht in hoe een bedrijf zich kan ontwikkelen van een aanbieder van producten naar een aanbieder van diensten. De startpositie is afhankelijk van de huidige propositie.



figuur 68: Stappenplan voor ontwikkeling van aanbieder van producten naar aanbieder van diensten.

6.2.4 Conclusie

Op basis van vele gesprekken met onder andere leveranciers en verhuurders alsmede expert judgement, is de conclusie gerechtvaardigd dat er een uitdaging maar tegelijkertijd enorme businesskans ligt om de waardebeleving van binnenlucht te verhogen en diensten aan te bieden die garanties bieden voor gezonde binnenlucht. Bedrijven doen er verstandig aan hier met hun toekomstvisie en strategie op in te spelen.

Het controleren en aantonen van goede integrale prestaties van de luchtinstallaties is een breed onderschreven voorwaarde en een essentiële schakel voor zowel kwaliteitsborging als het kunnen aanbieden van lucht als dienst. De binnen SecureVent ontwikkelde meetmethoden en instrumenten -waarmee dit op kostenefficiënte wijze mogelijk is- vullen daarom een belangrijke voorwaarde in om het leveren van lucht als dienst mogelijk te maken.

6.3 Haalbaarheidsstudie toepassing meetinstrumenten consumentenmarkt

Er is onderzocht in hoeverre de binnen het project ontwikkelde meetmethodiek en instrumenten bruikbaar zijn voor consumentenorganisaties of consumenten zelf. Doel daarvan is om consumenten handelingsperspectief te bieden om gedurende de levensduur van de woning zelf te kunnen controleren of de prestatie van de luchtinstallatie voldoet. In het kader van deze onderzoeksvraag zijn er diverse gesprekken gevoerd met consumentenorganisaties zoals:

- Vereniging Eigen Huis (woningeigenaren)
- Woonbond (huurders)
- VACpunt.Wonen
- Milieu Centraal

Er zijn gesprekken gevoerd alvorens er zicht was op de uiteindelijke uitvoering van de meetinstrumenten en er zijn gesprekken gevoerd nadat de uitvoering concretere vormen had.

Alle consumentenorganisaties erkennen het probleem van de over het algemeen onder de maat presterende luchtinstallaties. Ze besteden ook allemaal actief aandacht aan informatie naar hun achterbannen over het belang van goede ventilatie en gebruik van installaties. Op alle websites van bovengenoemde organisaties is informatie te vinden over het thema ventilatie.

De consumentenorganisaties geven aan dat - ondanks het feit dat hun informatie over ventileren redelijk vaak gelezen wordt - er sprake is van slechts een beperkt bewustzijn over de waarde van gezonde binnenlucht. Deze conclusie bleek ook uit het in opdracht van de VLA uitgevoerde onderzoek onder consumenten door Motivaction in 2015.

Consumenten
motivaction
research and strategy

- Gezonde binnenlucht bij consumenten niet in de evoked met betrekking tot een gezonde leefstijl.
- Gezonde binnenlucht is voor consumenten een non-issue.
- Gezonde binnenlucht voornamelijk niet in het rijtje gezond eten, sporten, bewegen, ontspanning en een goede nachtrust.
- (Gezonde) binnenlucht is een vanzelfsprekendheid voor consumenten. Sterker nog, gezonde binnenlucht blijkt een dissatisfier.

3

De situatie in de Nederlandse woningen ten aanzien van luchtinstallaties en binnenlucht laat zich dus als volgt samenvatten:

- In meer dan 80% van de woningen levert de luchtinstallatie niet de minimaal beoogde prestaties conform Bouwbesluit waardoor er in veel woningen onvoldoende wordt geventileerd.
- Consumenten zijn zich zeer beperkt bewust van de waarde van gezonde binnenlucht en nemen (ten onrechte) aan dat het wel goed gaat in hun woning.

De belangstelling van de consumentenorganisaties in aanvang van het project was vooral gestoeld op de mogelijkheid om met behulp van de te ontwikkelen instrumenten juist het bewustzijn bij consumenten te vergroten. Zo kon in aanvang van het project het idee om met een kartonnen “meetdoos” de capaciteit van een toe- of afvoerventiel vast te kunnen stellen op veel sympathie rekenen. Een dergelijke “meetdoos” zou bijvoorbeeld als “verpakkingsmateriaal” bij consumenten binnen kunnen komen waar de extra functionaliteit hen wellicht zou kunnen enthousiasmeren hier iets mee te doen, “kijken of het werkt”. Om diverse moverende redenen (die elders in de rapportage zijn beschreven) is in de loop van het project duidelijk geworden dat er toch een hoger technisch niveau instrumenten nodig is om de integrale prestatie van de luchtinstallatie met enige nauwkeurigheid te kunnen vaststellen.

Uit de gesprekken die we later in het project met consumentenorganisaties hebben gevoerd, toen we meer zicht hadden op de uiteindelijke uitvoeringen van de meetinstrumenten, kwam al snel de conclusie naar voren dat deze niet geschikt waren voor (grootschalig) consumentengebruik. Ondanks de mooie behaalde resultaten qua eenvoud en kostenefficiëntie zijn de instrumenten voor consumentengebruik technisch te complex en te kostbaar. Dit geldt niet voor gebruik van de instrumenten door de consumentenorganisaties zelf. Vereniging Eigen Huis heeft bijvoorbeeld aangegeven dat voor hun eigen bouwinspecteurs, die veelal worden ingezet bij oplevering, de meetinstrumenten waarschijnlijk wel te gebruiken zijn.

Hebben de resultaten van SecureVent dan geen waarde voor consumenten? Op basis van de gesprekken met en beoordeling door stakeholders kan worden geconcludeerd dat het tegendeel waar is:

- De meetmethodiek en instrumenten zijn primair bedoeld om tot een betere kwaliteitsborging te komen van de integrale prestaties van luchtinstallaties. Door gebruik van de nieuwe methodiek en instrumenten door professionals zal SecureVent een bijdrage leveren aan een gemiddeld gezondere leefomgeving voor consumenten.
- Daarnaast is er veel kennis opgedaan binnen het project over meetmethodieken en kan hier handelingsperspectief uit worden gedestilleerd wat als input kan dienen voor informatieplatforms, waaronder platforms gericht op consumenten zoals www.gezondebinnenlucht.nl.

De meeste waarde gaan de instrumenten voor consumenten echter hebben als we er in slagen om meer bewustzijn te realiseren bij consumenten ten aanzien van de waarde van gezonde binnenlucht en het belang van een goed presterend ventilatiesysteem om die luchtkwaliteit te onderhouden. Het gaat enorm helpen als consumenten om bewijsvoering gaan vragen voor de goede (integrale) prestatie van hun ventilatiesysteem. Om die prestaties aan te kunnen tonen is immers het kostenefficiënt kunnen meten daarvan essentieel.

Het creëren van meer bewustzijn bij consumenten zal echter in eerste instantie langs een andere route moeten worden gerealiseerd dan het faciliteren van de binnen SecureVent ontwikkelde producten. Binnen het TKI project "Be Aware" wordt momenteel onderzocht op welke wijze bewoners kunnen worden getriggerd en welk handelingsperspectief hen kan worden geboden. Hierbij wordt onder andere gebruik gemaakt van de resultaten van een door diverse partijen geïnitieerd onderzoek onder +/- 800 huishoudens die gedurende een jaar de beschikking hebben gehad over een sensor die hen visueel inzicht verschaft in de luchtkwaliteit van de leefomgeving.

Conclusie

Op basis van gesprekken met consumentenorganisaties alsmede expert judgement kan worden geconcludeerd dat de binnen SecureVent ontwikkelde meetinstrumenten voor gebruik door (gemiddelde) consumenten niet geschikt zijn. De beschikbaarheid ervan is voor consumenten echter wel van grote waarde. De instrumenten maken 100% controle van prestaties haalbaar waardoor de integrale prestaties van luchtinstallaties in woningen, en daarmee de luchtkwaliteit voor consumenten, zal verbeteren. Het is belangrijk dat er meer bewustwording komt bij consumenten voor het belang van gezonde binnenlucht. Consumentenorganisaties en platforms zoals Gezonde Binnenlucht kunnen daar een belangrijke rol vervullen.

De binnen SecureVent ontwikkelde instrumenten maken het kostenefficiënt controleren van installaties haalbaar waardoor diensten voor (preventieve) inspecties voor consumenten (bijvoorbeeld door organisaties zoals Vereniging Eigen Huis) aantrekkelijk kunnen worden aangeboden. Hiermee worden drempels weggenomen om de integrale kwaliteit door consumenten te laten controleren.

6.4 Inbedding methodieken in private kwaliteitsborging

In deze paragraaf worden de strategie en resultaten beschreven met betrekking tot het inbedden in de praktijk van de in het kader van SecureVent ontwikkelde methodiek en instrumenten. De resultaten zijn mede tot stand gekomen dankzij de bereidwillige tijdsinspanning van vele stakeholders om (meestal meerdere keren) het gesprek aan te gaan en/of een workshop te bezoeken. De betrokken stakeholders zijn als volgt groepsgewijs in te delen:

- Ministerie en beleidsmakers
- Politici
- Ontwikkelaars / bouwers
- Brancheorganisaties
- Consumentenorganisaties
- Adviseurs
- Installateurs
- Opleidingsinstituten/certificeerders
- Waarborgfondsen en overige instrumentenmakers
- Kwaliteitsborgers

6.4.1 Inleiding

De integrale prestatie van luchtinstallaties is sinds jaar en dag een zorgenkind. Vele onderzoeken, zowel recent als ouder, tonen aan dat in meer dan 80% van de woningen de integrale prestaties van de luchtinstallatie niet voldoet aan de minimale vangneteisen van het Bouwbesluit. Ondanks deze wetenschap is de sector er nog steeds niet in geslaagd om effectieve maatregelen te nemen om deze situatie te verbeteren. Er zijn wel diverse initiatieven genomen en uitgewerkt maar die hebben niet tot het gewenste kwaliteitsniveau geleid. Voorbeelden hiervan zijn de ontwikkeling van de BRL 8010 (VentilatiePrestatieKeuring), de certificeringsregeling ventilatie en een scholings-/examineringstraject ventilatie. De belangrijkste reden dat kwaliteitsverbetering op dit thema zo moeilijk te realiseren is, is de waarde die het vertegenwoordigt. Het is vanzelfsprekend dat gezonde binnenlucht van grote waarde is voor bewoners en het is de luchtinstallatie die daarvoor moet zorgdragen. Tegelijkertijd is de kwaliteit van binnenlucht voor consumenten ook moeilijk objectief waar te nemen en vertrouwen zij erop dat het wel goed is.

Dat consumenten zich meestal niet bewust zijn van het disfunctioneren van de luchtinstallatie, met als gevolg een minder gezonde luchtkwaliteit, leidt er toe dat er relatief weinig klachten zijn. Klachten blijven doorgaans beperkt tot comfortoverlast als gevolg van installatiegeluid of tocht. Dit leidt in de praktijk eerder tot minimaliseren van het gebruik dan tot aanpassingen van de installaties. Door het relatief beperkt aantal klachten wordt er onvoldoende urgentie gevoeld in de sector om afdoende maatregelen te nemen teneinde de kwaliteit voldoende te borgen. Men komt weg met de bestaande situatie en is niet bereid tot het

accepteren van extra kosten, ondanks de latent aanwezige wetenschap dat de consument niet krijgt waar hij/zij recht op heeft.

Initiatieven zoals de BRL 8010 en certificeringsregeling zijn niet omarmd door de sector met als primaire reden kosten. Men is niet bereid de prestatie beter te borgen als de daarmee samenhangende kosten niet leiden tot een evenredige economische waardering in de vorm van meer of beter betaald werk, beter verkoopbare woningen etc. Opdrachtgevers (ontwikkelaars/corporaties) zeggen wel het belangrijk te vinden dat luchtinstallaties goed functioneren maar nemen aan dat de uitvoerende partijen dit sowieso leveren. Ze zijn niet bereid voor controle te betalen. Ze zijn eenvoudig tevreden te stellen met een steekproefsgewijze controle van bijvoorbeeld de luchtdichtheid van de schil, ondanks dat de praktijk aantoonde dat een steekproef (met doorgaans bijbehorende aanpassingen) geen enkele zekerheid biedt voor de prestatie van de overige woning(en). De meeste installateurs geven aan best graag meer aandacht te willen besteden aan borging van de prestaties, door bijvoorbeeld gecertificeerd te gaan werken. Betere prestatieborging leidt echter eerder tot concurrerend nadeel dan tot een onderscheidend commercieel voordeel waardoor men hier niet of nauwelijks voor te enthousiasmeren is.

6.4.2 *Gangbare controle nu*

De belangrijkste integrale prestatieaspecten van een luchtinstallatie betreffen:

- Ventilatiecapaciteit (en verdeling)
- Installatiegeluid
- Luchtdichtheid van de gebouwschil

Over het algemeen wordt er door opdrachtgevers wel om een rapportage gevraagd waaruit blijkt dat de installatie correct is ingeregeld. Dit inregelen vergt naast kennis van zaken ook goede meetapparatuur. Op beide aspecten zijn in de praktijk veel tekortkomingen vast te stellen waardoor de gerapporteerde capaciteiten niet overeenkomen met de fysische werkelijkheid.

Het meten van installatiegeluid wordt in de praktijk nauwelijks gedaan, tenzij er concrete klachten zijn. De complexiteit, duur van de meting en benodigde apparatuur zijn hier voornamelijk debet aan. Vanuit onderzoek blijkt echter dat het meten van installatiegeluid geen overbodige luxe is aangezien de meerderheid van de woningen niet aan de minimale eis voldoet en geluidhinder bij bewonersquêtes ook steevast op nummer 1 staat bij klachten. Daarbij valt nog op te merken dat de vangneteis in het Bouwbesluit (<30dB(A)) nog altijd leidt tot >30% ontevreden.

Controle op luchtdichtheid van de schil wordt doorgaans steekproefsgewijs gedaan. Dat wil zeggen dat een woning uit een serie middels een zogenaamde "blowerdoortest" op luchtdichtheid wordt gecontroleerd. Veelal zijn er aanvullende maatregelen nodig om de woning te laten voldoen. Vervolgens neemt men zich voor dat de waargenomen tekortkomingen in de overige woningen extra aandacht zullen krijgen en gaat men er vanuit daarmee de kwaliteit voldoende te hebben geborgd. De praktijk leert echter dat de bronnen van luchtlekken per woning heel divers kunnen zijn en een steekproef daardoor onvoldoende representatief is. Het resultaat is dan ook vaak dat de steekproefwoning de enige woning is die voldoet. Hierbij valt nog op te merken dat de reden van controle doorgaans energietransmissie is en het causale verband tussen luchtdichtheid van de schil en

de prestatie van de luchtinstallatie niet of nauwelijks bekend is. Dit terwijl een goede luchtdichtheid een cruciale randvoorwaarde is voor een goede prestatie van de luchtinstallatie.

6.4.3 *Gewenste controle*

Op basis van de ervaring in de praktijk is de stelling gerechtvaardigd dat 100% controle nodig is van zowel capaciteit, geluid als luchtdichtheid van de schil om de integrale prestatie van luchtinstallaties voldoende te kunnen borgen. Uit de vele gesprekken met stakeholders, alsmede de in het kader van SecureVent georganiseerde workshops, is het beeld naar voren gekomen dat de hele bouwkolom dit ook wel onderschrijft en wil, mits dit niet leidt tot kostenverhoging. De inzet van SecureVent is om tot een protocol en instrumentarium te komen waarmee 100% controle kosten-efficiënt haalbaar wordt. Zelfs in het meest opportunistische scenario betekent kosten-efficiënt nog altijd een kostenverhoging ten opzichte van de bestaande situatie. Het is daarom evident dat er naast het ontwikkelen van kosten-efficiënte middelen meer nodig is om de gewenste 100% controle ook daadwerkelijk in de praktijk geëffectueerd te krijgen. Beschikbaarheid van kosten-efficiënte middelen, zoals binnen dit project ontwikkeld, blijven evenwel sowieso randvoorwaardelijk.

6.4.4 *Afdwingen van controle*

De meest ideale oplossing zou zijn dat controle van integrale prestaties wettelijk afgedwongen wordt. Er zijn met deze inzet gesprekken gevoerd met ambtenaren van het daarvoor verantwoordelijke ministerie van BZK alsmede ook volksvertegenwoordigers uit de Tweede Kamer. Hieruit is naar voren gekomen dat het rechtstreeks afdwingen van controle niet past niet binnen het bestaande beleid en vigerende regelgeving. Ook is er vastgesteld dat er voor een dergelijke maatregel onvoldoende politiek draagvlak is. Borging van kwaliteit wordt door alle betrokkenen wel als belangrijk beschouwd maar toch vooral gezien als iets wat door marktwerking moet worden gerealiseerd. Daarnaast leeft binnen het ministerie de overtuiging dat de wet Kwaliteitsborging bouw gaat leiden tot een betere naleving van de Bouwregelgeving en aldus een betere bouwkwaliteit, ook ten aanzien van luchtinstallaties. Zij hebben in onze gesprekken dan ook geadviseerd het onderwerp met name te agenderen bij de relevante stakeholders betrokken bij de uitvoering van deze nieuwe wet.

6.4.5 *Wet Kwaliteitsborging Bouw*

De nieuwe wet Kwaliteitsborging Bouw (WKB) was al vroeg tijdens de looptijd van het project SecureVent aangenomen in de Tweede Kamer (februari 2017). Het heeft echter tot mei 2019 geduurd alvorens de wet ook door de Eerste Kamer is aangenomen en daarmee definitief is geworden. De wet zal gelijktijdig worden ingevoerd met de omgevingswet, het is echter nog niet duidelijk wanneer deze zal worden geëffectueerd. De activiteiten met betrekking tot het inbedden van de binnen SecureVent ontwikkelde producten in de praktijk, zijn met name gericht op de mogelijkheden en kansen die deze nieuwe wet biedt. Daarom een toelichting op de essentie ervan.

De belangrijkste wijzigingen die met de WKB worden gerealiseerd zijn:

- Het bouwtechnische toezicht verschuift van publieke naar private partijen. Er komen private kwaliteitsborgers die met behulp van een kwaliteitsborgingsinstrument uiteindelijk voor een project aan het bevoegde gezag (dat blijft Bouw en Woningtoezicht) zullen verklaren dat er een

“gerechtvaardigd vertrouwen” is dat het bouwproject aan de eisen van het Bouwbesluit voldoet.

- De juridische positie van de consument wordt verbeterd. Het begrip “verborgen gebrek” verdwijnt uit de wet, de aannemer blijft aansprakelijk voor alle gebreken en moet ook achteraf aan kunnen tonen dat op alle aspecten het project op het moment van opleveren voldeed aan de bouweisen.

Voor het verbeteren van de integrale kwaliteit van luchtinstallaties is met name de verbeterde juridische positie van de consument interessant. Hier volgt namelijk een hoger risico (aansprakelijkheid) uit voor aannemers als prestaties achteraf niet aangetoond kunnen worden. De crux, en daarmee direct het zwakke punt hierbij, is de risicobeoordeling. Als een bepaalde prestatie (bijvoorbeeld van de luchtinstallatie) niet als risicovol wordt beoordeeld, vindt er ook geen of zeer beperkte controle van de echte prestaties plaats. Het blijkt dan ook geen automatisme dat de nieuwe wet tot de noodzakelijke 100% controlemetingen leidt ten aanzien van de integrale prestaties van de luchtinstallaties. Voor het maken van de risicobeoordeling worden er in het nieuwe stelsel door marktpartijen kwaliteitsborgingsinstrumenten ontwikkeld. Feitelijk gaan deze fungeren als leidraad voor de kwaliteitsborger en bepaalt het instrument, afhankelijk van het type project, wat op welke wijze en wanneer moet worden gecontroleerd of aangetoond, teneinde het gerechtvaardigde vertrouwen in de bouwkwaliteit te kunnen afgeven. Iedere marktpartij kan een dergelijk instrument ontwikkelen en aanbieden aan de nieuw op te richten toelatingsorganisatie. Deze organisatie, die de vorm zal krijgen van een Zelfstandig Bestuurlijk Orgaan (ZBO), gaat beoordelen of een instrument voldoet om voor de beoogde type projecten (gevolgklassen) de bouwkwaliteit afdoende te borgen. Toegelaten instrumenten zullen worden opgenomen in een openbaar register. Instrumentenaanbieders gaan zelf kwaliteitsborgers certificeren die bevoegd zijn om met hun instrument te werken. Nu bekende aanbieders van instrumenten zijn bijvoorbeeld waarborgfondsen zoals SWK, certificeringsinstellingen zoals SKG/IKOB maar er zijn bijvoorbeeld ook bouwers die hun eigen instrument aan het ontwikkelen zijn. Binnen kwaliteitsborgingsinstrumenten kan gebruik worden gemaakt van bestaande certificeringsregelingen, beoordelingsrichtlijnen, erkenningsregelingen etc. teneinde de beoogde bouwkwaliteit aan te tonen.

6.4.6 *Gevolgde strategie voor inbedding in de WKB*

We hebben een “top-down” strategie gevolgd om de 100% controle op integrale prestaties van de luchtinstallaties binnen het nieuwe stelsel zo hoog mogelijk in de keten geborgd te krijgen.

Stap 1: Wettelijk verankeren

Zoals bovenstaand al beschreven, bleek uit gesprekken met het ministerie en politici geen draagvlak en/of wil om controle van luchtinstallaties wettelijk af te dwingen.

Stap 2: Randvoorwaarde voor toelating instrumenten

Aangezien de toelatingsorganisatie (ZBO) nog opgericht moest worden tijdens het project kon hier nog niet met verantwoordelijke personen over worden gesproken. Het idee was dat 100% controle van de integrale prestatieaspecten als randvoorwaarde zou worden opgenomen om überhaupt als instrument toegelaten te worden.

Deze optie is in diverse gesprekken met het ministerie besproken. En alhoewel er met sympathie naar is geluisterd, bleek dat dit idee, in de geest van de beoogde wet, hoogstwaarschijnlijk een te gedetailleerde voorwaarde zou zijn (te laag abstractieniveau) om op dit niveau opgenomen te worden. Ofschoon het opnemen van 100% controle als direct aangewezen randvoorwaarde niet haalbaar bleek, is wel duidelijk geworden dat indirect het werk van de toelatingsorganisatie een belangrijke rol kan gaan vervullen om het uiteindelijke doel te realiseren. De toelatingsorganisatie gaat in het nieuwe stelsel voor de beoordeling van instrumenten namelijk ook praktijkcontroles uitvoeren. Hier is door het ministerie een aanzienlijk budget voor voorzien waarmee naar schatting 3-5% van de projecten kunnen worden gecontroleerd.

Zodra het nieuwe stelsel in werking is en er wordt in projecten aangetoond dat de integrale prestatie van de luchtinstallaties niet aan de eisen voldoet, dan heeft de toelatingsorganisatie de bevoegdheid en sanctiemogelijkheden om aanpassing van het instrumentarium af te dwingen. Met andere woorden, indien blijkt dat in het nieuwe stelsel, zonder controle van de integrale prestaties van de luchtinstallatie, er ten onrechte “gerechtvaardigd vertrouwen in de bouwkwaliteit” wordt afgegeven zou dit op termijn boven water moeten komen en tot aanpassingen moeten leiden. Alhoewel het goed is dat deze “stok achter de deur” er is, is voorkomen beter dan genezen en hebben we verkend wat de mogelijkheden zijn om de 100% controle op een lager niveau te verankeren.

Stap 3: Opname 100% controle binnen borgingsinstrumenten

Met de verschillende stakeholders die actief zijn in de ontwikkeling van een borgingsinstrument zijn één of meerdere gesprekken gevoerd. Het algemene beeld wat hieruit naar voren kwam was wel de erkenning dat het niet goed gesteld is met de integrale prestatie van de luchtinstallaties, maar tegelijkertijd was er ook het geloof en de overtuiging dat dit met de respectieve instrumenten wel voldoende geborgd zou worden in het nieuwe stelsel. Op zich een vreemde overtuiging aangezien geen van de instrumentenmakers vooralsnog daadwerkelijk meer specifieke controles heeft voorzien op de relevante integrale prestaties “as built”, als wat nu gebruikelijk is. Kennelijk verwacht men toch een beter resultaat zonder daadwerkelijke verandering.

Ook bleek duidelijk uit de gesprekken dat het beheersbaar houden van kosten een belangrijke drijvende kracht is. Het is evident dat in het nieuwe stelsel instrumenten met elkaar zullen concurreren waarbij de kosten waartegen kwaliteit “aantoonbaar” kan worden gemaakt bepalend zullen zijn voor het commerciële succes. Uit de gesprekken en de workshops bleek evenwel ook dat er veel interesse was voor de ontwikkelingen binnen SecureVent. Dat is op zich ook logisch aangezien controle-instrumenten die efficiënter (goedkoper) tot een representatief resultaat komen per definitie aantrekkelijk worden bevonden. Dat (beperkte) controles goedkoper kunnen, leidde dus zeker tot enthousiasme maar toch vooral vanuit het oogpunt van kostenbesparing en minder vanuit de kans die daarmee gecreëerd wordt om meer te controleren.

Het beoogde doel om vanuit de risico-inventarisatie van een instrument tot 100% controle te komen bleek dus niet zomaar haalbaar. Wat wel duidelijk werd is dat er behoefte is aan eenvoudige “hulpinstrumenten”, zoals certificeringen of erkenningen, die daadwerkelijk iets aantonen over de “as built” prestatie en

eenvoudig te controleren zijn door de kwaliteitsborger. Zo bleek men desgevraagd positief over het idee om een “erkende installateur” als waarborg voor kwaliteit op te nemen. Dit bood perspectief maar dat betekende wel dat er een erkenningsregeling zou moeten komen waar 100% controle van de integrale prestaties “as built” voorwaardelijk zou zijn voor het verkrijgen van erkenning. Deze bestond nog niet, maar hier zijn we verder mee aan de slag gegaan.

Stap 4: 100% controle als voorwaarde voor erkenning binnen de erkenningsregeling ventilatie

Gedurende het project is samen met KVINL (momenteel gefuseerd in InstallQ) gewerkt aan een erkenningsregeling voor het ontwerpen, installeren en onderhouden van ventilatievoorzieningen in woningen en woongebouwen. Hier werd tevens aan meegewerkt vanuit de brancheorganisatie voor TechniekNL (voorheen Uneto-VNI). Vanuit TechniekNL bleek een urgentie voelbaar om de kwaliteit (waarde) van erkenningsregelingen naar een hoger niveau te brengen. De hieraan ten grondslag liggende reden was de rapportage van de Onderzoeksraad voor Veiligheid die koolmonoxide-incidenten heeft onderzocht. Uit de rapportage bleek dat de bestaande erkenningsregeling voor installateurs onvoldoende borging biedt voor het opleveren van veilige gasinstallaties. Er zijn inmiddels geëffectueerde aanbevelingen gedaan om erkenningsregelingen aan te passen en erkenning wettelijk te verplichten. Dit voedde het besef bij installateurs dat als dit gold voor gasinstallaties, dit waarschijnlijk ook voor andere installaties zou gelden.

Met de gasinstallaties als drijvende kracht is er vanuit TechniekNL samen met KVINL gewerkt aan een nieuw format erkenningsregeling waarbij het doel was dat de erkenning meer garantie zou moeten geven over de werkelijke prestatie van het op te leveren werk. Precies deze doelstelling hadden we vanuit de ventilatie industrie ook en aldus hebben we samen met de genoemde partijen gewerkt aan de ontwikkeling van de erkenningsregeling ventilatie in het nieuwe format. Deze erkenningsregeling is inmiddels gereed, geaccepteerd door het college van deskundigen en per 1-7-2018 bindend verklaard. In de erkenningsregeling is 100% controle van de integrale prestaties van de luchtinstallaties voorzien. Daarmee heeft de regeling waarde gekregen in het kader van de WKB omdat het inzetten van een erkende installateur dus daadwerkelijk iets zegt over de uiteindelijke “as built” prestatie.

De erkenningsregeling is dusdanig opgezet dat op eenvoudige wijze nieuwe instrumenten/protocollen kunnen worden toegevoegd als geaccepteerde methode/middel om prestaties vast te stellen. Op dit moment zijn daar de gangbare methodes en instrumenten beschreven, maar na afronding van het SecureVent project kunnen de ontwikkelde methode/instrumenten eenvoudig worden toegevoegd.

Zoals eerder beschreven blijkt uit gesprekken met instrumentenmakers dat er animo is om in hun respectieve instrumentarium de (op basis van de nieuwe erkenningsregeling) erkende installateur te kwalificeren als voldoende waarborg voor een goed werkende luchtinstallatie bij oplevering. Hier zal nog aan toe moeten worden gevoegd dat indien de werkzaamheden worden uitgevoerd door een niet-erkende installateur er aanvullende controles zullen worden uitgevoerd door of namens de kwaliteitsborger. Op die manier ontstaat er meerwaarde en een commercieel voordeel voor de erkende installateur.

6.4.7 *Vervolg*

De Wet Kwaliteitsborging Bouw is sinds mei 2019 aangenomen in de Eerste Kamer en daarmee definitief. Tot het moment van invoering zullen er zoveel als mogelijk pilots worden uitgevoerd om de markt te laten wennen aan het nieuwe borgingssysteem en te leren wat er in de uitwerking/uitvoering moet worden aangepast/uitgewerkt om tot voldoende borging van de beoogde bouwkwaliteit te komen.

Met in ieder geval één instrumentenmaker (waarborgfonds SWK) hebben we de afspraak om de erkenningsregeling inclusief de vanuit SecureVent ontwikkelde methodiek en instrumentarium in een of meerdere pilots in te zetten. Dit is belangrijk om ervaring op te doen in de praktijk met hetgeen is ontwikkeld, maar ook om bewustzijn te creëren bij de kwaliteitsborgers/instrumentenmakers dat 100% controle van luchtinstallaties nodig is en kostenefficiënt kan. Ook na afronding van SecureVent zullen we actief blijven om conform de strategie iedere instrumentenmaker te mobiliseren de erkenning van de installateur voorwaardelijk te stellen om, zonder eigen controles, een gerechtvaardigd vertrouwen in de integrale kwaliteit van de luchtinstallatie uit te spreken.

Mocht er meer druk voor nodig zijn om de erkende installateur of separate controles opgenomen te krijgen in de instrumenten voor kwaliteitsborging, dan kunnen we de route van de toelatingsorganisatie nemen. Van projecten waar de integrale prestatie van de luchtinstallaties niet is gecontroleerd is de kans zeer groot (>90%) dat niet wordt voldaan aan de wettelijke eisen. Daardoor zal het in de meeste gevallen weinig moeite kosten om te constateren dat het betreffende borgingsinstrument onvoldoende waarborg geeft voor het “gerechtvaardigde vertrouwen dat voldaan wordt aan de Bouwbesluiteisen”. De toelatingsorganisatie heeft vervolgens de middelen en bevoegdheid om aanpassing van het borgingsinstrument af te dwingen. Alsdan zal het een makkelijke oplossing zijn om de erkende installateur alsnog als voorwaarde op te nemen binnen het instrument.

6.4.8 *Conclusie*

De Wet Kwaliteitsborging Bouw (WKB) biedt een goed momentum voor het verbeteren van de controle op de integrale prestaties van luchtinstallaties en daarmee de binnen het project SecureVent ontwikkelde meetprotocollen en meetinstrumenten. Inbedding in de praktijk bleek evenwel nog geen eenvoudige opgave, vooral door een gebrek aan gevoel van urgentie in de bouwketen. Door de ontwikkeling van een erkenningsregeling ventilatie, waar 100% controle van de integrale prestaties verplicht in is opgenomen, is een regeling ontwikkeld die invulling geeft aan de noodzakelijke bewijsvoering binnen de WKB. De binnen SecureVent ontwikkelde meetmethoden en instrumenten bieden de mogelijkheid deze 100% controles kostenefficiënt uit te voeren. Hiermee is een belangrijke barrière weggenomen die controle in de weg staat (kosten).

Op basis van vele gesprekken met belanghebbenden en expert judgement is de conclusie gerechtvaardigd dat de nieuwe erkenningsregeling in combinatie met de “SecureVent instrumenten” een zeer goede basis biedt om 100% controles van de integrale prestaties onder de WKB uit te gaan voeren en daarmee de prestaties en luchtkwaliteit voor bewoners veel beter te borgen dan in de bestaande situatie.

7 Conclusies en mogelijkheden voor spin off en vervolgvactiteiten

7.1 Conclusies ontwikkelde meetmethodieken

Onderstaand worden de conclusies beschreven ten aanzien van iedere meetmethodiek die in dit project is ontwikkeld.

Methodiek luchtdoorlatendheid

Bij de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting wordt het aanwezige ventilatiesysteem in de woning gebruikt om de woning op onder- of overdruk te brengen. Tijdens de meting wordt het drukverschil bepaald tussen de druk in de woning bij ingeschakeld en uitgeschakeld ventilatiesysteem. Om dit mogelijk te maken wordt gebruik gemaakt van een referentievat. Terwijl het ventilatiesysteem een aantal keren aan- en uitgeschakeld wordt, wordt het drukverschil ten opzichte van de referentie gemeten. Uit dit drukverschil en de luchtvolumestroom van het ventilatiesysteem wordt de luchtdoorlatendheid (q_{v10}) berekend. In plaats van meting bij uitgeschakeld en ingeschakeld ventilatiesysteem, kan de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting ook uitgevoerd worden door te schakelen tussen twee verschillende standen van het ventilatiesysteem (bijv. laag- en hoogstand).

De vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting is door TNO gepatenteerd en door ACIN op de markt gebracht onder de naam AirTightnessTester (ATT). Uit validatiemetingen in de praktijk in 72 woningen blijkt dat de luchtdoorlatendheid gemeten met de ATT goed overeenkomt met de luchtdoorlatendheid gemeten met de blowerdoor. Het grote voordeel van de ATT is dat het een compact meetinstrument is waarmee snel en eenvoudig de luchtdoorlatendheid van een woning kan worden bepaald. Waar nu vaak in grotere bouwprojecten met de blowerdoor alleen een steekproef wordt genomen, kan samen met de ATT de luchtdoorlatendheid van alle woningen op een vlotte en toegankelijke manier getest worden. De ATT heeft de juryprijs van de VSK Award 2020 in de categorie Energietransitie gewonnen.

Methodiek luchtvolumestroom

De vereenvoudigde luchtvolumestroommeting betreft een passief meetinstrument dat gebruik maakt van een vleugelradanemometer. Met dit instrument kan de luchtvolumestroom van zowel toevoer- als afvoerventielen worden gemeten. Middels computerberekeningen zijn een meettrechter en stroomrichter zodanig geoptimaliseerd dat zowel toe- als afvoervolumestromen van 20 tot 100m³/uur voldoende nauwkeurig gemeten kunnen worden op alle gebruikelijke ventielen, ook met schone sector. Vooral het nauwkeurig meten van de toevoer met een lage weerstand vormde hierbij een uitdaging en is een belangrijke prestatie. ACIN heeft patent aangevraagd op de luchtvolumestroommethodiek en de methodiek op de markt gebracht onder de naam VentiFlow-mk2. Uit validatiemetingen in de praktijk in 19 woningen (totaal 206 metingen) blijkt dat de luchtvolumestroom gemeten met de VentiFlow-mk2 goed overeenkomt met de luchtvolumestroom gemeten met de FlowFinder-mk2, zowel voor toevoer als voor afvoer.

Het grote voordeel van de VentiFlow-mk2 is dat het een licht meetinstrument is waarmee de luchtvolumestroom snel en precies kan worden gemeten. De

VentiFlow-mk2 heeft een meetbereik dat toereikend is voor woonhuizen (20-100m³/uur). De investering voor de installateur is minder dan 1000 euro.

Methodiek geluidniveau ventilatiesysteem

Om het geluidniveau van het ventilatiesysteem te kunnen beoordelen, is het van belang dat de integrale akoestische prestatie van het ventilatiesysteem wordt bepaald. Dat wil zeggen naast het ontwerp voor de componenten ook de correcte installatie van het systeem. Hiervoor wordt de volgende procedure voorgesteld:

- Stap 1: Voer eerst een screening van het ventilatiesysteem uit d.m.v. de ontwikkelde inspectiemethode. Deze bestaat uit de volgende stappen:
 1. Visuele inspectie van het ventilatiesysteem
 2. Meten drukval over de aan- en afvoerkanalen (of aflezen van de ventilatie-unit)
 3. Meten elektrisch vermogen ventilatie-unit
 4. Meten direct afgestraald geluid ventilatie-unit zelf (op 1m van unit)Met deze methode kunnen de zogenaamde 'rotte appels' en montagefouten, zoals bijvoorbeeld het omdraaien van de kanalen, geïdentificeerd worden.
- Stap 2: Als tweede stap wordt geadviseerd een geluidmeting uit te voeren volgens BRL 8010 Methode 1. Dit is de directe meting van het integraal geluidniveau. Het heeft de voorkeur om een 100% controle uit te voeren. Een minder te prefereren methode is een steekproef binnen een blok van woningen die qua uitvoering van het ventilatiesysteem en of de woningindeling identiek zijn.

Uit validatiemetingen in de praktijk in 45 woningen blijkt dat de inspectiemethode geschikt is om zogenaamde 'rotte appels' te identificeren, maar dat in de meeste gevallen een geluidmeting volgens BRL 8010 Methode 1 nodig is om te kunnen bepalen of het geluidniveau van het ventilatiesysteem voldoet aan de eisen. Uit de validatiemetingen blijkt dat het gemeten geluidniveau conform BRL 8010 Methode 1 zeer goed overeenkomt met het gemeten geluidniveau conform NEN 5077.

Indien nader onderzoek nodig is bij een overschrijding van het geluidniveau of klachten, zal een spectrale meting volgens NEN 5077 moeten worden uitgevoerd en een akoestisch expert ingeschakeld moeten worden. De NEN 5077 wordt namelijk aangestuurd vanuit het Bouwbesluit.

7.2 Conclusies inbedding ontwikkelde meetmethodieken in de praktijk

Onderstaand worden de conclusies beschreven ten aanzien van inbedding van de ontwikkelde meetmethodieken in de praktijk: ten behoeve van het aanbieden van luchtkwaliteit als dienst, toepassing in de consumentenmarkt en inbedding in private kwaliteitsborging.

Luchtkwaliteit als dienst

Op basis van vele gesprekken met onder andere leveranciers en verhuurders alsmede expert judgement, is de conclusie gerechtvaardigd dat er een uitdaging maar tegelijkertijd enorme businesskans ligt om de waardebeleving van binnenlucht te verhogen en diensten aan te bieden die garanties bieden voor gezonde binnenlucht. Bedrijven doen er verstandig aan hier met hun toekomstvisie en strategie op in te spelen.

Het controleren en aantonen van goede integrale prestaties van de luchtinstallaties is een breed onderschreven voorwaarde en een essentiële schakel voor zowel kwaliteitsborging als het kunnen aanbieden van lucht als dienst. De binnen SecureVent ontwikkelde meetmethoden en instrumenten -waarmee dit op kostenefficiënte wijze mogelijk is- vullen daarom een belangrijke voorwaarde in om het leveren van lucht als dienst mogelijk te maken.

Haalbaarheid toepassing meetinstrumenten consumentenmarkt

Op basis van gesprekken met consumentenorganisaties alsmede expert judgement kan worden geconcludeerd dat de binnen SecureVent ontwikkelde meetinstrumenten voor gebruik door (gemiddelde) consumenten niet geschikt zijn. De beschikbaarheid ervan is voor consumenten echter wel van grote waarde. De instrumenten maken 100% controle van prestaties haalbaar waardoor de integrale prestaties van luchtinstallaties in woningen, en daarmee de luchtkwaliteit voor consumenten, zal verbeteren. Het is belangrijk dat er meer bewustwording komt bij consumenten voor het belang van gezonde binnenlucht. Consumentenorganisaties en platforms zoals Gezonde Binnenlucht kunnen daar een belangrijke rol vervullen. De binnen SecureVent ontwikkelde instrumenten maken het kostenefficiënt controleren van installaties haalbaar waardoor diensten voor (preventieve) inspecties voor consumenten (bijvoorbeeld door organisaties zoals Vereniging Eigen Huis) aantrekkelijk kunnen worden aangeboden. Hiermee worden drempels weggenomen om de integrale kwaliteit door consumenten te laten controleren.

Inbedding methodieken in private kwaliteitsborging

De Wet Kwaliteitsborging Bouw (WKB) biedt een goed momentum voor het verbeteren van de controle op de integrale prestaties van luchtinstallaties en daarmee de binnen het project SecureVent ontwikkelde meetprotocollen en meetinstrumenten. Inbedding in de praktijk bleek evenwel nog geen eenvoudige opgave, vooral door een gebrek aan gevoel van urgentie in de bouwketen. Door de ontwikkeling van een erkenningsregeling ventilatie, waar 100% controle van de integrale prestaties verplicht in is opgenomen, is een regeling ontwikkeld die invulling geeft aan de noodzakelijke bewijsvoering binnen de WKB. De binnen SecureVent ontwikkelde meetmethoden en instrumenten bieden de mogelijkheid deze 100% controles kostenefficiënt uit te voeren. Hiermee is een belangrijke barrière weggenomen die controle in de weg staat (kosten).

Op basis van vele gesprekken met belanghebbenden en expert judgement is de conclusie gerechtvaardigd dat de nieuwe erkenningsregeling in combinatie met de "SecureVent instrumenten" een zeer goede basis biedt om 100% controles van de integrale prestaties onder de WKB uit te gaan voeren en daarmee de prestaties en luchtkwaliteit voor bewoners veel beter te borgen dan in de bestaande situatie.

7.3 Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten

ACIN heeft de in dit project ontwikkelde meetmethodieken voor de luchtdoorlatendheid en luchtvolumestroom uitgewerkt tot vermarktbare producten. Deze komen in de zomer van 2020 op de markt. Deze producten worden aangeboden met een app waardoor de gebruiker eenvoudig door de meetprocedure wordt geloodst.

Er wordt naar gestreefd de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting op te laten nemen in NEN-ISO 9972. Het voorstel is om in een informatieve bijlage bij deze norm de mogelijkheid op te nemen de éénpuntsmeetmethode (waarop de ATT is gebaseerd) te gebruiken voor metingen in een blok van vergelijkbare woningen waarbij ter referentie een enkele meting met een blowerdoortest wordt uitgevoerd. Dit voorstel moet nog besproken worden in de normsubcommissie.

Zoals eerder vermeld lijkt de ATT in het veld systematisch een hogere luchtdoorlatendheid te meten dan de blowerdoor. Dus de ATT ziet meer lekkage dan de blowerdoor. Nader onderzoek hiernaar is gewenst. Beide methoden hebben een meeton nauwkeurigheid. Vandaar dat het gewenst is de ATT te testen in een laboratoriumopstelling in een ruimte met een gedefinieerd lek om eventuele systematische overschatting vast te stellen en zo nodig te corrigeren.

Er wordt actief gewerkt om de in dit project ontwikkelde meetmethodieken in te bedden in private kwaliteitsborging. Met in ieder geval één instrumentenmaker (waarborgfonds SWK) hebben we de afspraak om de erkenningsregeling inclusief de vanuit SecureVent ontwikkelde methodiek en instrumentarium in een of meerdere pilots in te zetten. Dit is belangrijk om ervaring op te doen in de praktijk met hetgeen is ontwikkeld, maar ook om bewustzijn te creëren bij de kwaliteitsborgers/instrumentenmakers dat 100% controle van luchtinstallaties nodig is en kostenefficiënt kan. Ook na afronding van SecureVent zullen we actief blijven om conform de strategie iedere instrumentenmaker te mobiliseren de erkenning van de installateur voorwaardelijk te stellen om, zonder eigen controles, een gerechtvaardigd vertrouwen in de integrale kwaliteit van de luchtinstallatie uit te spreken.

8 Uitvoering

8.1 Wijze van kennisverspreiding, PR project en verdere PR-mogelijkheden

Binnen het project zijn verschillende artikelen in vakbladen en op websites geplaatst en zijn presentaties gegeven op beurzen en symposia. Onderstaand wordt een overzicht hiervan gegeven.

Eén van de hoogtepunten is dat de AirTightnessTester tijdens de VSK beurs 2020 de juryprijs van de VSK Award in de categorie Energietransitie heeft gewonnen. De ATT en de VentiFlow zijn beiden gepresenteerd aan het publiek tijdens de VSK beurs 2020. ACIN had een grote stand met onder meer een klein huisje waarvan de luchtdichtheid kon worden gemeten met de ATT en de VentiFlow-mk2. Mede dankzij de VSK-award trok de stand veel aandacht.

De in SecureVent ontwikkelde methoden en prototypes zijn aan installateurs gepresenteerd en gedemonstreerd tijdens een bijeenkomst van de werkgroep Ventilatiekeur van de VLA op 13 juni 2019 en tijdens een workshop op 12 februari 2020, waarbij 14 installateurs van verschillende bedrijven aanwezig waren.

Op 12 september 2018 is in de NeroZero woning een persdag georganiseerd waar de verschillende technieken zijn gedemonstreerd.

Daarnaast is op 4 mei 2017 een stakeholderworkshop georganiseerd met als thema 'Luchtkwaliteit binnen de wet kwaliteitsborging bouw'. Deze bijeenkomst is bezocht door 40 personen, voornamelijk uit de ventilatie- en installatiebranche, adviesbureaus en belangenorganisaties. De bedoeling is om medio 2020 een eindbijeenkomst te organiseren om de resultaten van het SecureVent project te presenteren. Door de coronamaatregelen is het echter nog niet duidelijk wanneer en in welke vorm deze bijeenkomst zal plaatsvinden.

De prototypes van de ATT en VentiFlow-mk2 worden al regelmatig door installateurs getest. Tot nu toe alleen nog maar tevreden geluiden.

ACIN instrumenten heeft overleg gehad met Itho Daalderop, een fabrikant van wtw's. Itho Daalderop gaat haar wtw's voorzien van een 'ATT' servicestand. Dit is iets wat ook aan andere fabrikanten zal worden gevraagd.

Symposia

Presentatie AIVC Workshop on airtightness & ventilation Wellington (19-20 maart 2018)

<https://www.aivc.org/event/19-20-march-2018-workshop-wellington-nz-towards-higher-performing-buildings-role-airtightness>

Lanooy, T., Kornaat, W., Bink, N.J., Borsboom, W. A new method to measure building airtightness. Presentatie en paper AIVC Conference Juan-les-Pins (18-19 september 2018)

<https://www.aivc.org/resource/new-method-measure-building-airtightness>

Lanooy, T., Bink, N.J., Kornaat, W., Borsboom, W. Applicability of a simple and new airtightness measuring method and further comparisons with blowerdoor measurements. Paper en presentatie AIVC conference Gent (15-16 oktober 2019) <https://www.aivc.org/resource/applicability-simple-and-new-airtightness-measuring-method-and-further-comparisons-blower>

Vakbladen

Diersen, P., Betere basis voor binnenluchtkwaliteit – Nieuwe NEN-norm in de maak, Aannemer nummer 5, mei 2017, pp. 20-21. <https://www.aannemervak.nl/duurzaam-bouwen/betere-basis-voor-binnenluchtkwaliteit/>

Diersen, P., Betere basis voor binnenluchtkwaliteit, Installatie & Sanitair nummer 4, mei 2017, pp. 26-27.

Spiekman, M., Hoes, L., Gezonde binnenlucht – Eenvoudig integrale prestaties meten, Installateurszaken aug/sept 2017, pp. 20-21.

Diersen, P., Binnenlucht moet beter - Luchtdichtheid essentieel, Aannemer nummer 10, december 2017, pp. 20-21. <https://www.aannemervak.nl/duurzaam-bouwen/binnenlucht-moet-beter-luchtdichtheid-essentieel/>

Van Lieshout, M., Snelle en betaalbare test luchtinstallatie stap dichterbij - Project SecureVent begint vruchten af te werpen, E&W Installatietechniek, april 2018. <https://www.ew-installatietechniek.nl/artikelen/open/snelle-en-betaalbare-test-luchtinstallatie-stap-dichterbij>

Meester, A., Test alle woningen op luchtdichtheid!, Roofs, 12 juli 2018. <https://www.roofs.nl/editie/roofs-2018-07-12-test-alle-woningen-op-luchtdichtheid>

Artikel Cobouw: NeroZero-woning: energieneutraal met hoge aaibaarheidsfactor, 26 sept 2018 <https://www.cobouw.nl/woningbouw/nieuws/2018/09/nerozero-woning-energieeneutraal-met-hoge-aaibaarheidsfactor-101265020>

Artikel Bouwwereld: Samenwerking cruciaal bij energiezuinige NeroZero-woning, 17 december 2018 <https://www.bouwwereld.nl/bouwkennis/methoden-en-technieken/samenwerking-cruciaal-bij-energiezuinige-nerozero-woning/>

Artikel de Aannemer: Samenwerking cruciaal voor gezonde woning, oktober 2018 <https://www.aannemervak.nl/duurzaam-bouwen/nero-zero-samenwerking-cruciaal-voor-gezonde-woning/>

Artikel Gawalo: Makkelijker prestaties ventilatiesystemen meten, 22 november 2019 <https://www.gawalo.nl/ventilatie/artikel/2019/11/makkelijker-prestaties-ventilatiesystemen-meten-1018017>

Artikel Aannemervak: Eenvoudig luchtdichtheid en luchtvolumestroom meten, 26 november 2019 <https://www.aannemervak.nl/uitvoering/eenvoudig-luchtdichtheid-en-luchtvolumestroom-meten/>

Artikel Bouwwereld: Luchtdichtheid en luchtvolumestroom eenvoudig meten, 2 december 2019
<https://www.bouwwereld.nl/bouwkennis/luchtdichtheid-en-luchtvolumestroom-eenvoudig-meten/>

Beurzen

Presentatie Building Holland: Hoe weet ik of de luchtinstallatie werkt?, 13 april 2017.

Presentatie en demonstratie op minisymposium Dutch Green Building Week TNO, 27 september 2017.

Presentatie Dag van de Binnenlucht: Luchtdichtheid, pulsmethode TNO, 2 november 2017.

Prototype ATT getoond op VSK beurs 6-9 februari 2018.

Presentatie kwaliteitsborging Building Holland, 18 april 2018.

Presentatie IPKW Arnhem ventilatie + kwaliteitsborging, 26 juni 2018.
Persmiddag NeroZero woning 12 september 2018.

Prototype ATT en VentiFlow-mk2 getoond tijdens de 39th AIVC / 7th Tightvent congres, 18-19 september 2018, Juan-les-Pins, Frankrijk.

Presentatie en demonstratie aan werkgroep VentilatieKeur, 13 juni 2019.

Prototype ATT en VentiFlow-mk2 getoond tijdens de 40th AIVC congres, 15-16 oktober 2019, Gent, België.

Prototype ATT en VentiFlow-mk2 getoond op VSK beurs 4-7 februari 2020. ATT winnaar juryprijs VSK Award 2020 in de categorie Energietransitie.

De ATT en VentiFlow-mk2 zullen worden getoond op AIVC-ASHRAE-IAQ joint conference, 14-16 september 2020, Athens, Greece.

De ATT en VentiFlow-mk2 zullen worden getoond op de 24th international Passive House Conference, 20-21 september, Berlijn, Duitsland.

De ATT en VentiFlow-mk2 zullen worden getoond op Building Holland, 27-29 oktober 2020, Rai Amsterdam, Nederland.

Websites

<https://acin.nl/product/air-tightness-tester/>

<https://acin.nl/product/ventiflow-mk2/>

<https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/leefomgeving/buildings-infrastructures/energiepositieve-gebouwde-omgeving/snel-en-betaalbaar-ventilatie-in-huis-meten/>

<https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2017/3/eenvoudige-snelle-en-betalbare-meetmethodieken-borgen-prestaties-van-luchtinstallaties-in-woningen/>

<http://www.installatienet.nl/tno-ontwikkelt-meetmethodieken-om-prestaties-luchtinstallaties-woningen-borgen/>

<https://www.lente-akkoord.nl/verplichte-test-op-kierdichtheid-omringende-landen/>

Persbericht NBVL (24 juli 2018):

<http://www.nbvl.nl/laatste-nieuws/andere-meetmethodieken-naast-de-blowerdoor-juli-2018/>

8.2 Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling

Het project draagt bij aan programmaliijn 5: Energieregelsystemen en -diensten:

De integrale prestaties van luchtinstallaties op het gebied van energiegebruik en binnenmilieu blijken bij nieuwbouw en renovatie in het overgrote deel van de Nederlandse woningvoorraad niet te worden gehaald [10]. Doordat de luchtdichtheid van de gebouwschil niet voldoet, de lucht volumestroom van het ventilatiesysteem niet goed is ingeregeld en/of het geluidniveau van het ventilatiesysteem te hoog is, kunnen bestaande regelsystemen in woningen niet goed functioneren, met een hoger energiegebruik en een slechter binnenmilieu tot gevolg.

Borging van de integrale kwaliteit begint met het kunnen vaststellen van de prestaties met eenvoudige meetinstrumenten/methodieken die op grote schaal kunnen worden ingezet. De meetinstrumenten die in dit project zijn ontwikkeld maken dit mogelijk. Installateurs krijgen hiermee bruikbare instrumenten in handen om de ventilatiesystemen in woningen goed in te regelen, een essentiële voorwaarde om bestaande regelsystemen naar behoren te laten functioneren en diensten als NOM prestatiegarantie aan te bieden. Dit kan verder worden opgepakt door het aanbieden van 'Luchtkwaliteit als Dienst', waarbij de werking van het ventilatiesysteem en de luchtdichtheid van de woning, bij oplevering en gedurende de looptijd van het contract periodiek worden gecontroleerd.

In combinatie met de Wet Kwaliteitsborging Bouw en diensten als prestatiecontracten verwachten we dat de installatiebranche een flinke omslag teweeg kan brengen: van een situatie waarbij meer dan 80% van de woningen (nieuwbouw, renovatie en bestaande bouw) niet voldoet naar een situatie waarin meer dan 80% wel voldoet qua integrale prestatie van de luchtinstallatie. We verwachten hiermee bij te dragen aan een energiebesparing van 3 PJ³ per jaar.

³ Indien bij een bestaande rijtjeswoning met matige isolatie 'lucht als dienst' wordt toegepast is een besparing mogelijk van 350 m³ aardgas per jaar per woning (berekend met Enorm software). Uitgaande van 250.000 woningen is de besparing 3 PJ/jr.

9 Literatuur

- [1] Borsboom W., Phaff J.C., Golliard J., Haalbaarheidsstudie eenvoudige meettechnieken, TNO, Delft, 2016
- [2] NEN 2686:1988/A2:2008, Luchtdoorlatendheid van gebouwen, Meetmethode Nederlands Normalisatie Instituut, Delft 1988/2008
- [3] Walker I.S., Sherman M.H., Jon J., Chan W.R., Applying Large Datasets to Developing a Better Understanding of Air Leakage Measurement in Homes International Journal of Ventilation, Volume 11 No 4 March 2013
- [4] Orme, M., Liddament, M.W. and Wilson, A., An Analysis and Data Summary of the AIVC's Numerical Database, AIVC Technical Note, Air Infiltration and Ventilation Centre, Coventry, UK 1994
- [5] ANSI/RESNET/ICC 380-2016, Standard for testing Airtightness of Building Enclosures, Airtightness of Heating and Cooling Air Distribution Systems, and Airflow of Mechanical Ventilation Systems, RESNET, February 2016
- [6] Bouwbesluit 2012, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
- [7] NEN 5077:2019, Geluidwering in gebouwen - Bepalingsmethoden voor de grootheden voor geluidwering van uitwendige scheidingsconstructies, luchtgeluidisolatie, contactgeluidisolatie en geluidniveaus veroorzaakt door installaties, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft 2019
- [8] ISO/IEC GUIDE 98-3:2008, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
- [9] BRL 8010, Ventilatie-Prestatie-Keuring – Beoordelen van ventilatievoorzieningen van woningen, scholen en kinderdagverblijven, ISSO, 2012
- [10] Van Dijken, F., Boerstra, A.C. Onderzoek naar de kwaliteit van ventilatiesystemen in nieuwbouw eengezinswoningen, 2011.
- [11] Openbare eindrapportage MONICAIR Deel A: Monitoringonderzoek naar en verbetering van de IAQ- en energieprestatie van ventilatiesystemen. Januari 2016.
- [12] Delmotte C., Laverge, J. Interlaboratory tests for the determination of repeatability and reproducibility of buildings airtightness measurements BBRI and University of Ghent, 2011.

10 Ondertekening

Delft, 26 mei 2020

TNO



Ir. A.C. Westerlaken
Research Manager



Ir. E.C.M. Hoes-van Oeffelen
Projectleider

A Modelsimulaties naar effect windaanval en thermiek

Om de verstoring van de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting door windaanval en thermiek te onderzoeken, zijn simulaties met het ventilatierekenmodel COMIS uitgevoerd aan een model van een eengezins(rijtjes)woning. Bij deze modelsimulaties is de woningdruk berekend voor diverse situaties van windaanval en thermiek bij zowel uitgeschakelde als ingeschakelde ventilator. Op grond van de verandering van de druk in de woning en de hoogte van het ventilatordebiet is vervolgens, voor alle beschouwde condities, de $q_{v,10}$ -waarde berekend. Deze berekende $q_{v,10}$ -waarden zijn vervolgens vergeleken met de werkelijke $q_{v,10}$ -waarde van het woningmodel, zoals ingesteld met de aanwezige lekken in het model.

Er zijn twee modellen gemaakt van de eengezins(rijtjes)woning waarbij de $q_{v,10}$ -waarde is ingeregeld op respectievelijk 40 en 80 dm^3/s . Voor de verdeling is uitgegaan van 30% lek in de gevel, 60% lek in het dak en 10% lek in de vloer.

Per model zijn ventilatiedebieten van 28, 42 en 63 dm^3/s beschouwd (schakeling van nul naar respectievelijk 28, 42 en 63 dm^3/s). Voor het gebruik van het ventilatiesysteem is hierbij verder onderscheid gemaakt in 3 situaties, te weten:

- a) de situaties dat met het ventilatiesysteem lucht wordt afgezogen (onderdrukmeting) en bij 'nul ventilatiedebiet' geen kanaallek is beschouwd. Deze situatie is in de praktijk te vergelijken met de situatie waarin het ventilatiesysteem van laagstand naar hoogstand wordt geschakeld. Als het ventilatiesysteem in bedrijf is (laagstand dan wel hoogstand), hoeft immers het kanaallek niet beschouwd te worden. Het ingestelde ventilatiedebiet bij de modelsimulaties is dan in de praktijk te vergelijken met het verschil tussen de hoogstand minus de laagstand.
- b) de situatie dat met het ventilatiesysteem lucht wordt afgezogen (onderdrukmeting) en bij 'nul ventilatiedebiet' wel kanaallek is beschouwd. Deze situatie is in de praktijk te vergelijken met de situatie waarin het ventilatiesysteem van uitstand naar hoogstand geschakeld wordt. Bij uitgeschakelde ventilator zal de woningdruk mede bepaald worden door het lek van het kanaal in combinatie met winddruk bij de uitmonding van het kanaal. In het onderhavige woningmodel mondt het kanaal bovendaks uit in een onderdrukgebied. Ongeacht de windrichting heerst hier onderdruk. Het gesimuleerde kanaallek is bij een mechanisch afzuigsysteem gebaseerd op circa 100Pa weerstand bij 42 dm^3/s én bij een balanssysteem op circa 200Pa weerstand (100Pa extra voor de warmteterugwinbatterij) bij 63 dm^3/s . Op basis hiervan is voor het netto lek van het kanaal aangehouden 30 cm^2 voor zowel mechanische afzuiging als balansventilatie.
- c) de situatie dat met het ventilatiesysteem lucht wordt toegevoerd (overdrukmeting) en bij 'nul ventilatiedebiet' wel kanaallek is beschouwd. Deze situatie is in de praktijk te vergelijken met de situatie waarin het ventilatiesysteem van uitstand naar hoogstand geschakeld wordt. Idem als bij punt b aangegeven, zal bij uitgeschakelde ventilator de woningdruk mede bepaald worden door het lek van het kanaal in combinatie met de winddruk bij

de uitmonding van het kanaal. Eveneens idem als bij punt b, mondt het kanaal bovendaks uit in een onderdrukgebied.

Vervolgens zijn simulaties uitgevoerd:

- voor meteo windsnelheden van 0, 2, 4, 6, 8 en 10 m/s (10 m/s wordt 5% van de tijd overschreden),
- in combinatie met een buitentemperatuur van 20°C, 5°C en -10°C en
- in combinatie met windrichtingen evenwijdig aan de gevel, 45 graden op één van de gevels en haaks op één van de gevels.

De resultaten van de modelsimulaties, te weten gemeten $q_{v,10}$ -waarde als percentage van de werkelijke $q_{v,10}$ -waarde, zijn weergegeven in figuur 69 t/m figuur 80. Er wordt opgemerkt dat voor de situatie met luchtdoorlatendheid van de woning van 80 dm³/s, alleen de resultaten bij een buitentemperatuur van 5°C zijn vermeld.

Uit figuur 69 t/m figuur 80 blijkt dat afhankelijk van de meteocondities (windsnelheid, windrichting en buitentemperatuur) in meer of mindere mate overschatting of onderschatting van de werkelijke $q_{v,10}$ -waarde kan optreden. In tabel 5 is de toelaatbare windsnelheid aangegeven om de over-/onderschatting te beperken tot 10% in geval van een woning met $q_{v,10}$ -waarde van 40 dm³/s en uitmonding van het kanaal in een onderdrukgebied. In een aantal gevallen kan aan dit criterium niet voldaan worden. Dit is met rood aangegeven in tabel 5. Voor de situatie met kanaallek (praktijk: ventilator geschakeld van uitstand naar hoogstand) treedt in vergelijking tot de situatie zonder kanaallek (praktijk: ventilator geschakeld van laagstand naar hoogstand):

- een verschuiving naar overschatting op bij de onderdrukmeting én
- een verschuiving naar onderschatting op bij de overdrukmeting.

Dit wordt verklaard omdat in beide gevallen het kanaal uitmondt in een onderdrukgebied. Bij een kanaallek wordt daardoor de woningdruk verlaagd in vergelijking tot de situatie zonder kanaallek. Bij een onderdrukmeting neemt hiermee het gemeten drukverschil af (in vergelijking tot de situatie zonder kanaallek) en bij overdrukmeting toe. Dus respectievelijk een berekening van een hogere $q_{v,10}$ en lagere $q_{v,10}$. Indien het kanaal zou uitmonden in een overdrukgebied (bijvoorbeeld kanaal uitmonding in de loefgevel), zal precies het tegenovergesteld optreden. Dat wil zeggen een verschuiving naar onderschatting bij onderdrukmeting en verschuiving naar overschatting bij overdrukmeting als gevolg van het kanaallek.

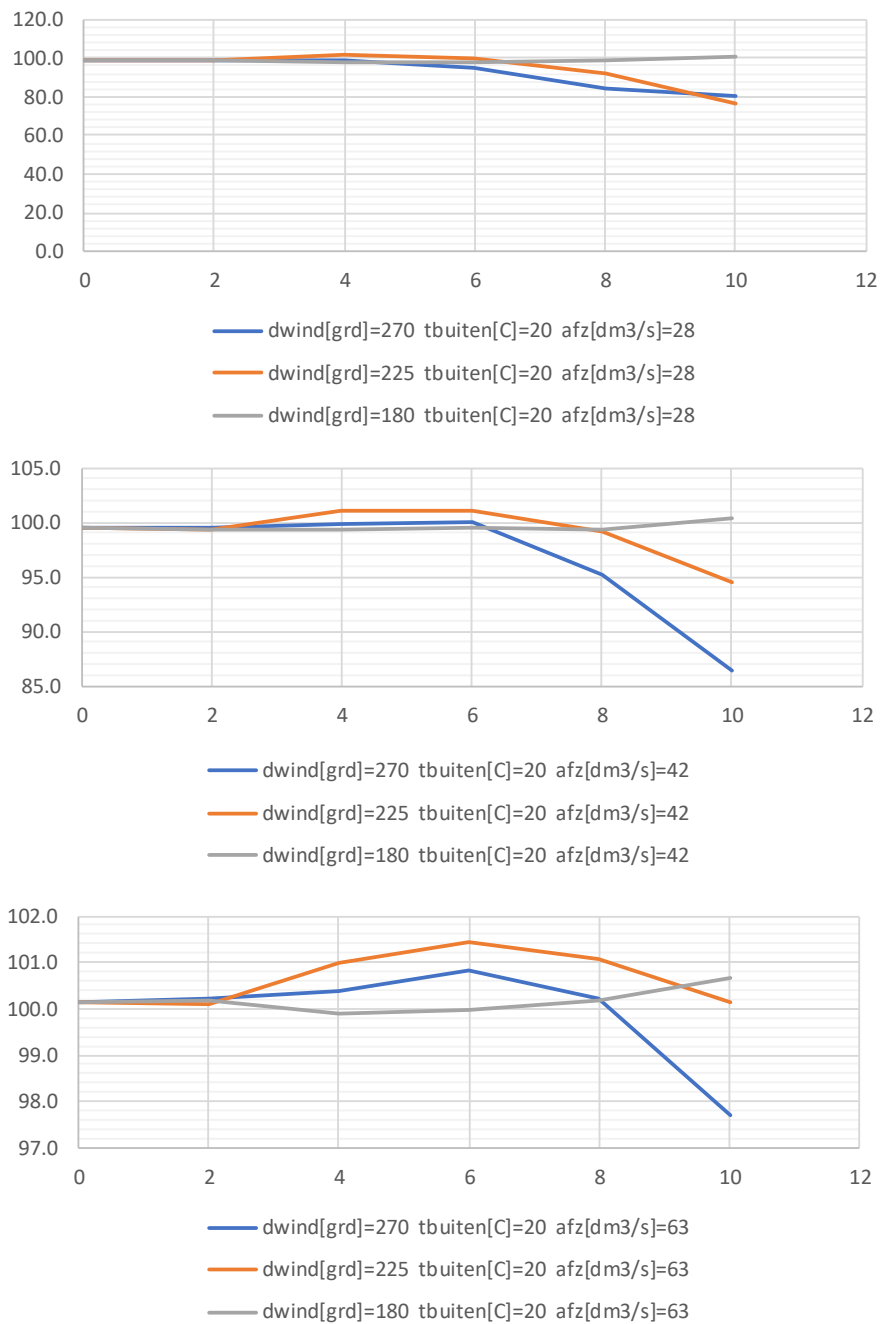
Als aangenomen wordt dat meten van een onderschatting minder gewenst is, omdat dan de kans op onterechte goedkeuring toeneemt, heeft het meten bij 2 standen van de ventilator wellicht de voorkeur (zie situatie a). Echter bij het meten van laagstand naar hoogstand, zal in de praktijk ook het te realiseren verschil in debiet afnemen en samenhangend de mate van onder-/overdruk, hetgeen meer onzekerheid in de meting geeft. Het is daarom moeilijk om een voorkeur aan te geven voor het meten tussen uitstand en hoogstand dan wel laagstand en hoogstand.

tabel 5: Toelaatbare windsnelheid voor maximaal 10% overschatting of onderschatting in geval van een $q_{v,10}$ -waarde van 40 dm³/s en kanaaluitmonding in onderdrukgebied.

situatie ⁽¹⁾	debiet(dm ³ /s)	over/onderdruk	Tbuiten(°C)					
			20C	20C	5C	5C	-10C	-10C
			10% over	10% onder	10% over	10% onder	10% over	10% onder
a	28	onderdruk	>10	7	>10	5	>10	4
a	42	onderdruk	>10	9	>10	8	>10	7
a	63	onderdruk	>10	>10	>10	>10	>10	>10
b	28	onderdruk	5	>10	0	>10	-(²)	>10
b	42	onderdruk	5	>10	4	>10	-(³)	>10
b	63	onderdruk	8	>10	6	>10	2.5	>10
c	28	overdruk	>10	4	>10	3	>10	-(⁴)
c	42	overdruk	>10	5	>10	5	>10	4.5
c	63	overdruk	>10	8	>10	8	>10	7.5

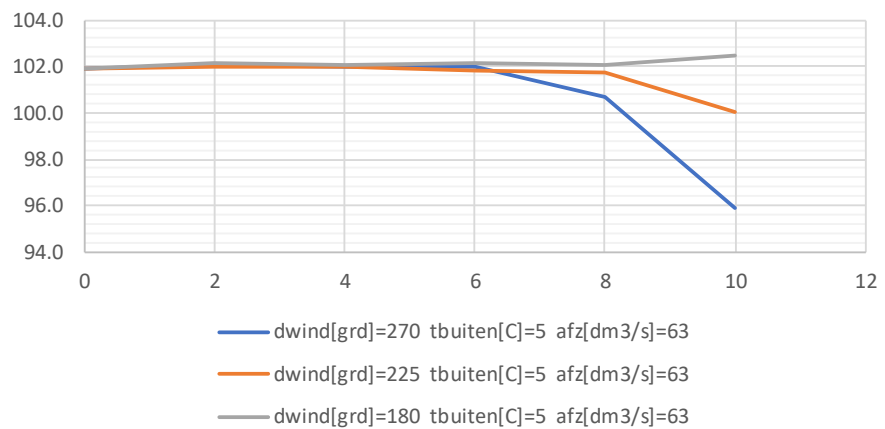
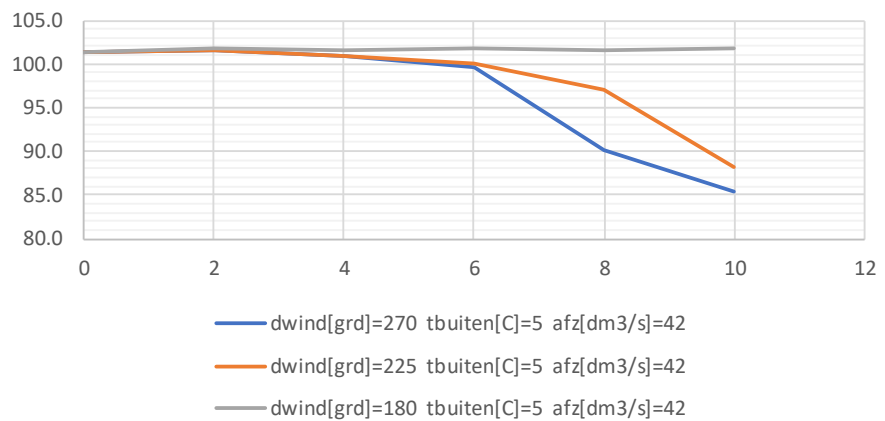
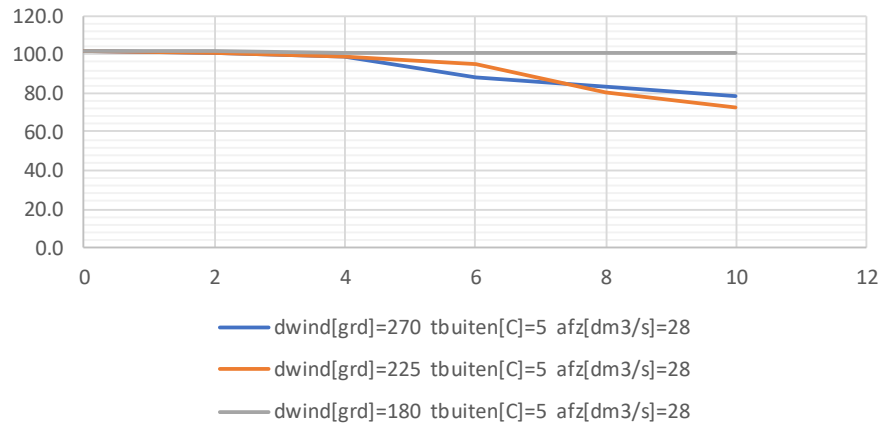
- opm.: (1) Zie situaties a t/m c zoals beschreven hiervoor inzake het gebruik van het ventilatiesysteem
 (2) 20% overschatting tot 6 m/s windsnelheid
 (3) Overschatting 12 tot 20% tot 6 m/s windsnelheid
 (4) minimale onderschatting 12%

De capaciteit van een ventilatiesysteem voor een 1 kamerappartement is in de regel groter of gelijk aan 35 dm³/s en voor een eengezinswoning groter of gelijk aan 42 dm³/s. Een $q_{v,10}$ -waarde voor energiezuinige woningen van 80 dm³/s is aan de hoge kant. Een buitentemperatuur van -10°C komt beperkt voor. Op basis hiervan kan grofweg worden geconcludeerd dat de vereenvoudigde luchtdoorlatendheidsmeting inzetbaar is tot windsnelheden van 5 á 6 m/s.



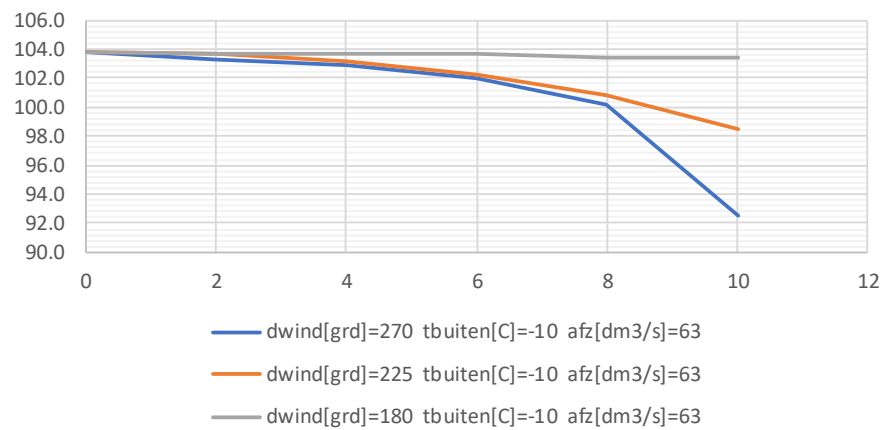
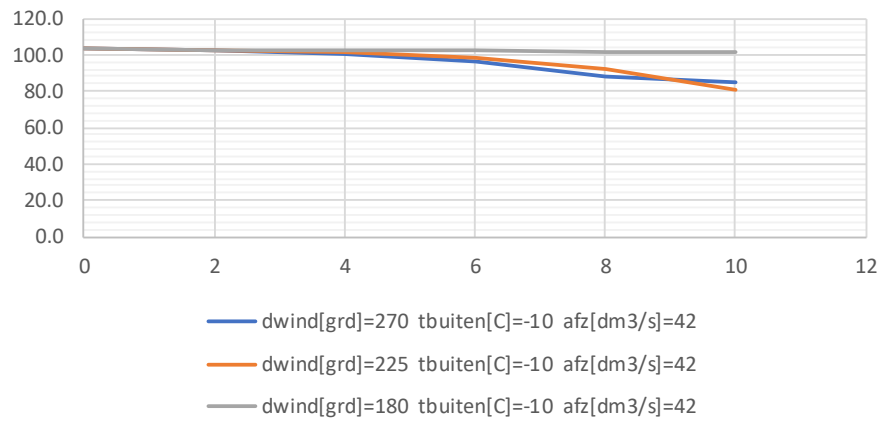
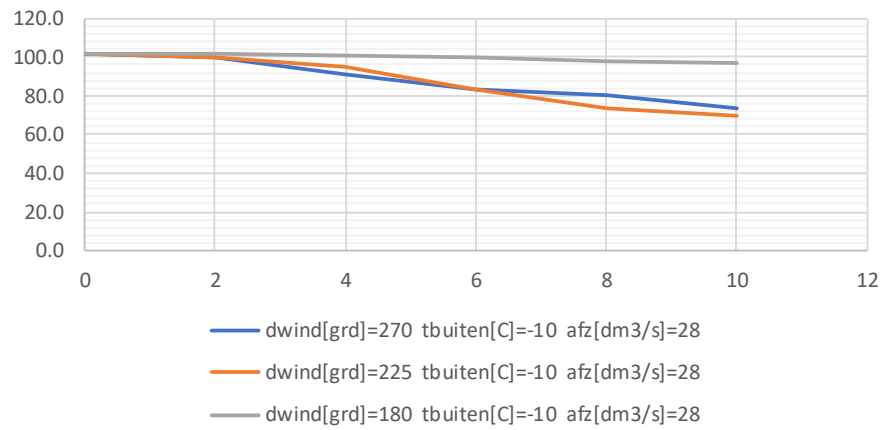
Windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

figuur 69: Verhouding $q_{v,10,ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor eengezinswoning met $q_{v,10} = 40 \text{ dm}^3/\text{s}$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur 20°C , zonder kanaallek.



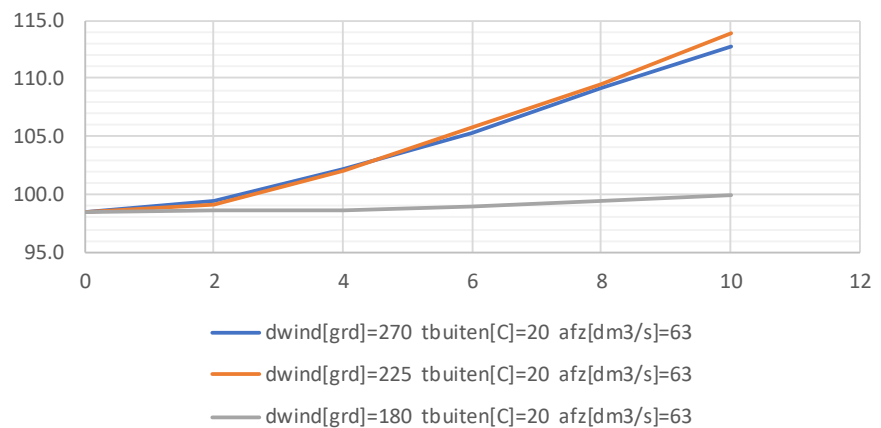
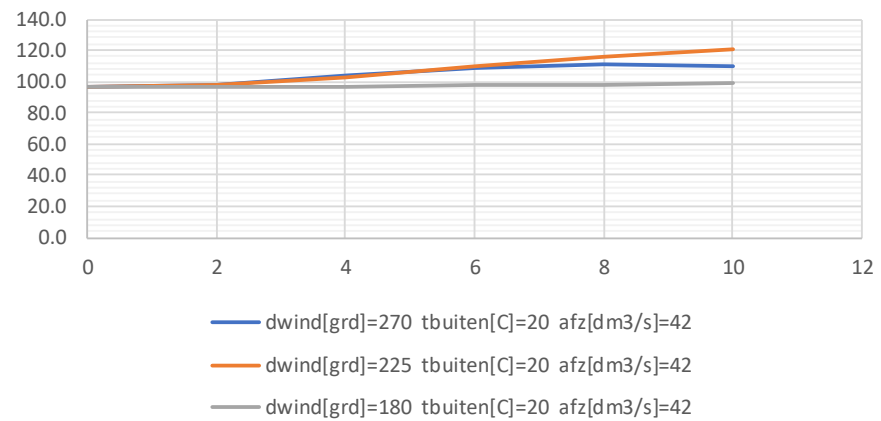
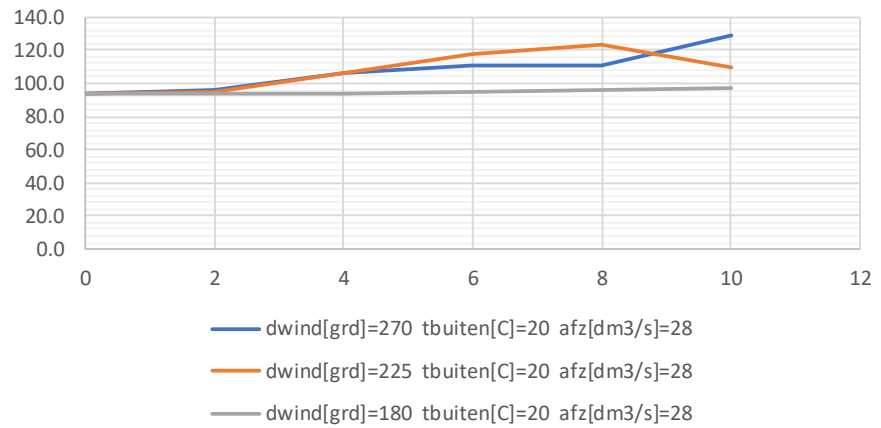
windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

figuur 70: Verhouding $q_{v,10, ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor eengezinswoning met $q_{v,10} = 40 \text{ dm}^3/\text{s}$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur 5°C , zonder kanaallek.



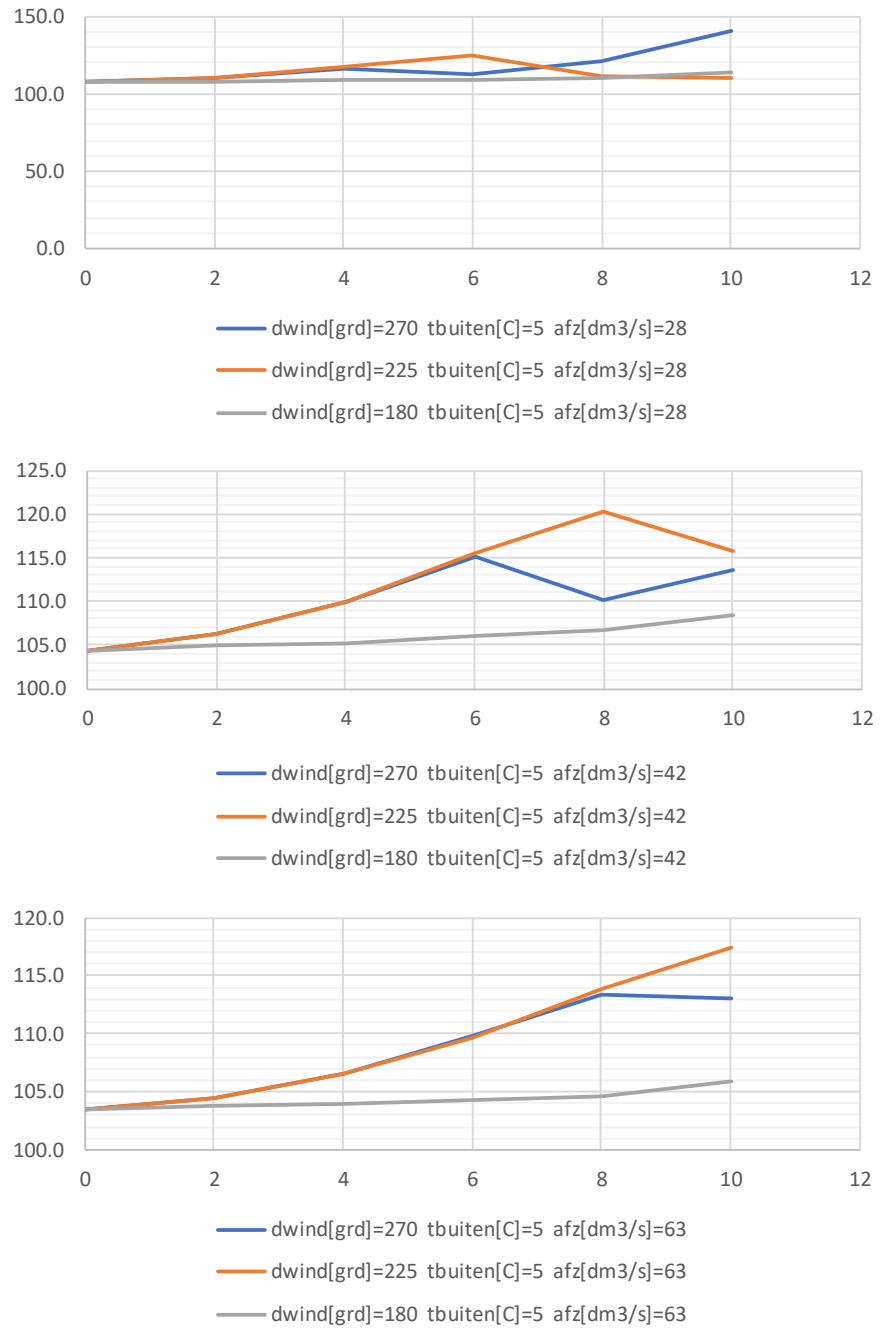
windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

figuur 71: Verhouding $q_{v,10,ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor eengezinswoning met $q_{v,10} = 40 \text{ dm}^3/\text{s}$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur -10°C , zonder kanaallek.



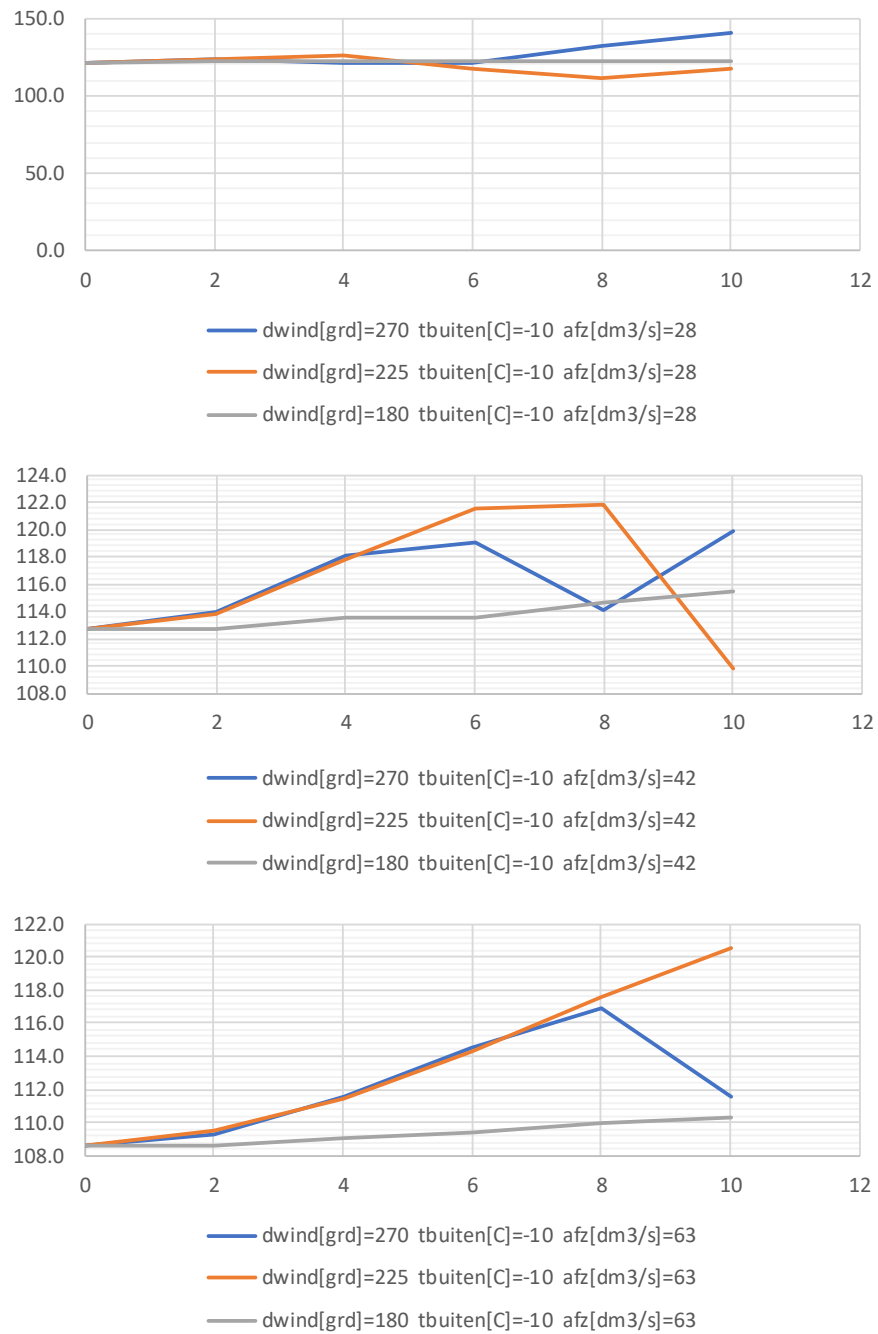
windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

figuur 72: Verhouding $q_{v,10,ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor een gezinswoning met $q_{v,10} = 40 \text{ dm}^3/\text{s}$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur 20°C , met kanaallek, onderdrukmeting met uitmonding afvoer in onderdruk gebied.



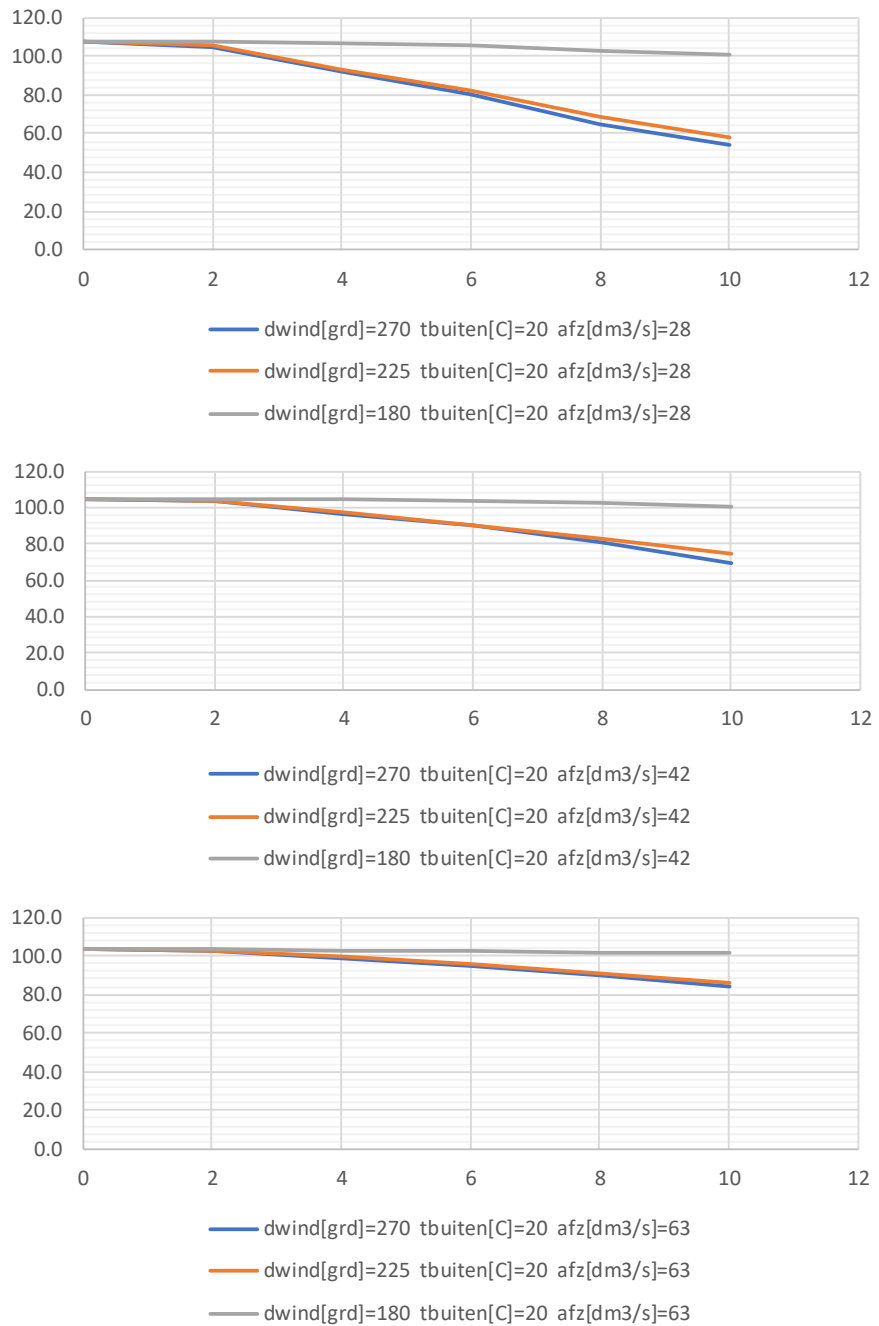
windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

figuur 73: Verhouding $q_{v,10,ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor eengezinswoning met $q_{v,10} = 40 \text{ dm}^3/\text{s}$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur 5°C , met kanaallek, onderdrukmeting met uitmonding afvoer in onderdruk gebied.



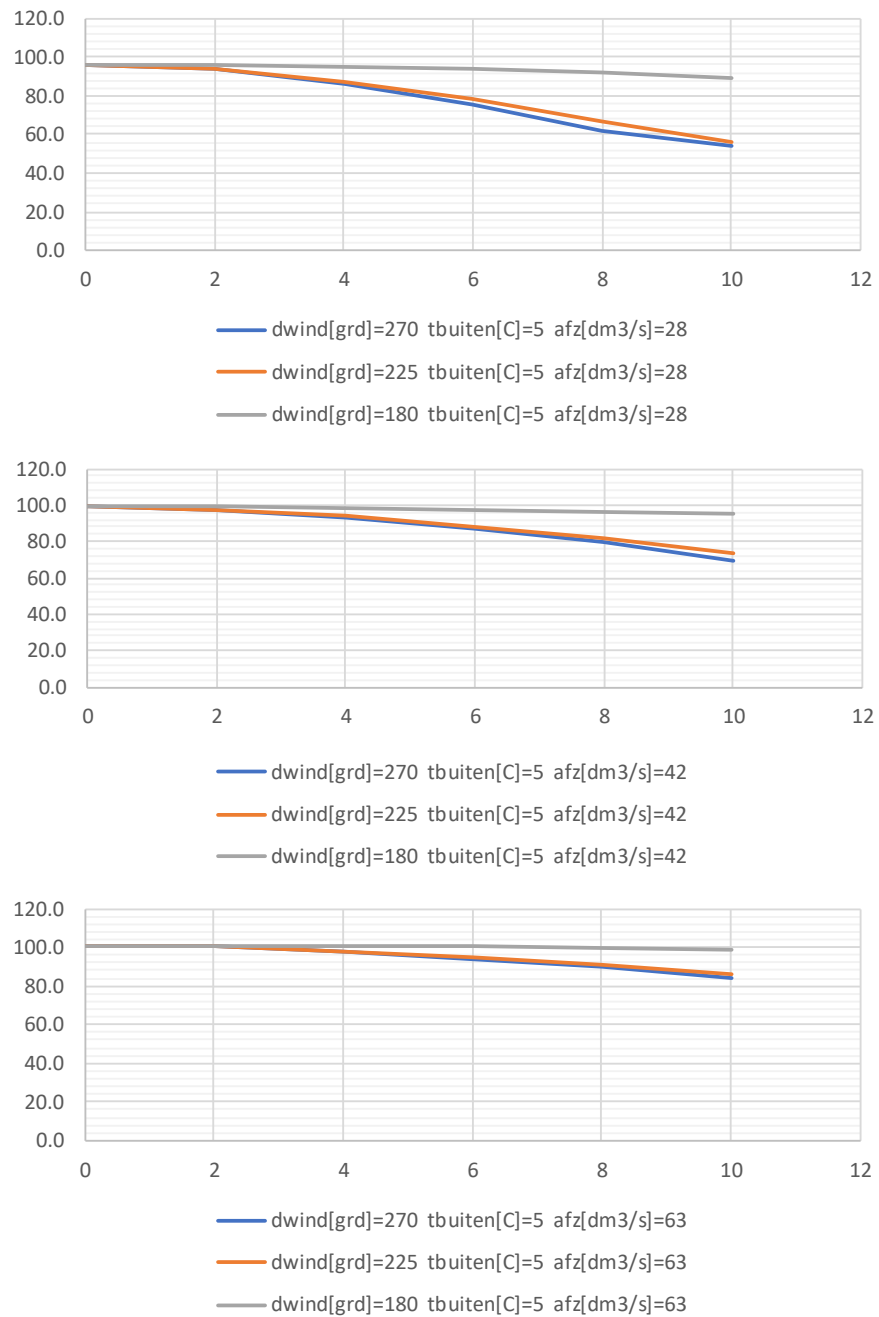
windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

figuur 74: Verhouding $q_{v,10,ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor een gezinswoning met $q_{v,10} = 40 \text{ dm}^3/s$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur -10°C , met kanaallek, onderdrukmeting met uitmondning afvoer in onderdruk gebied.



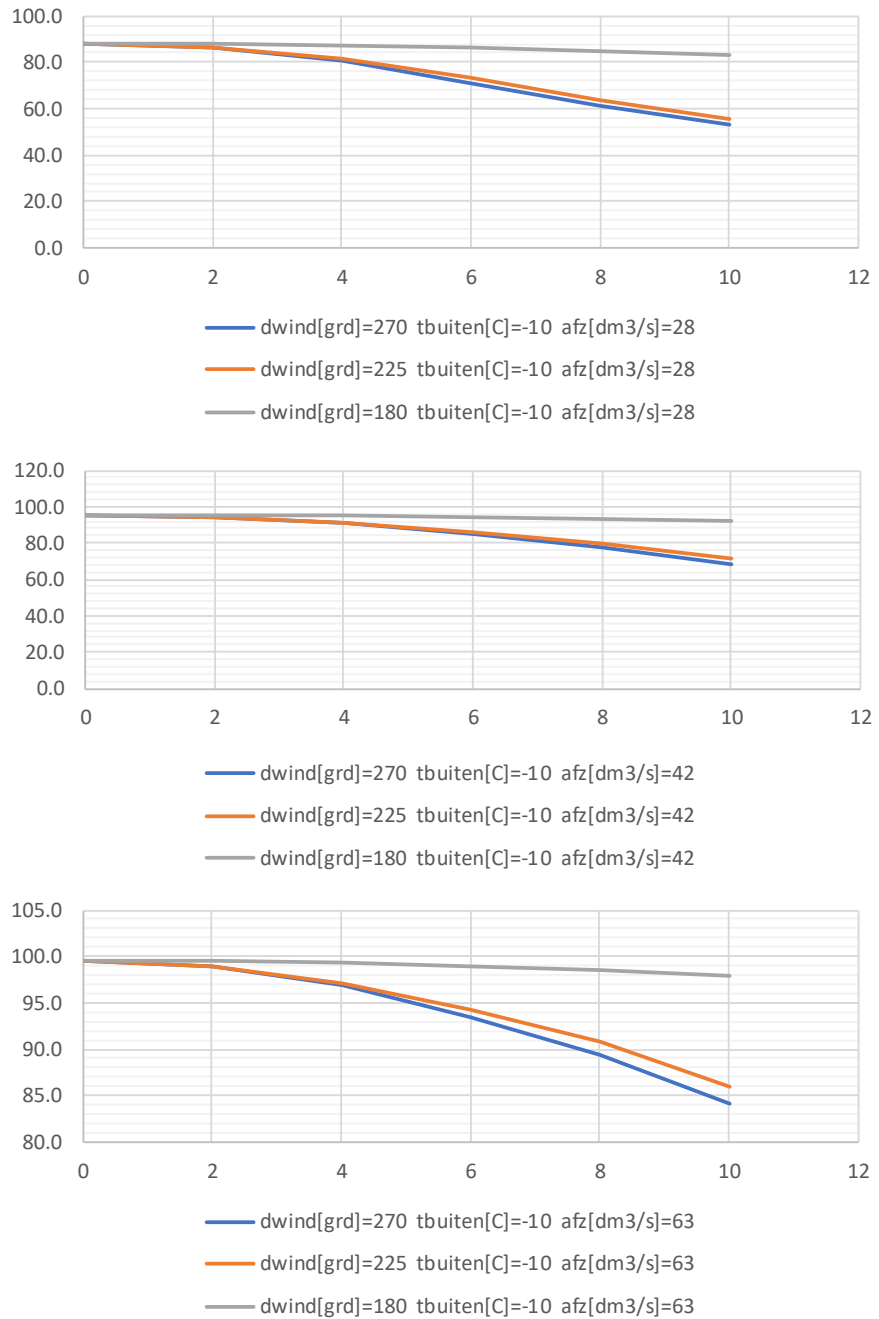
windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

figuur 75: Verhouding $q_{v,10,ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor eengezinswoning met $q_{v,10} = 40 \text{ dm}^3/\text{s}$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur 20°C , met kanaallek, overdrukmeting met aanzuig gesitueerd in onderdruk gebied.



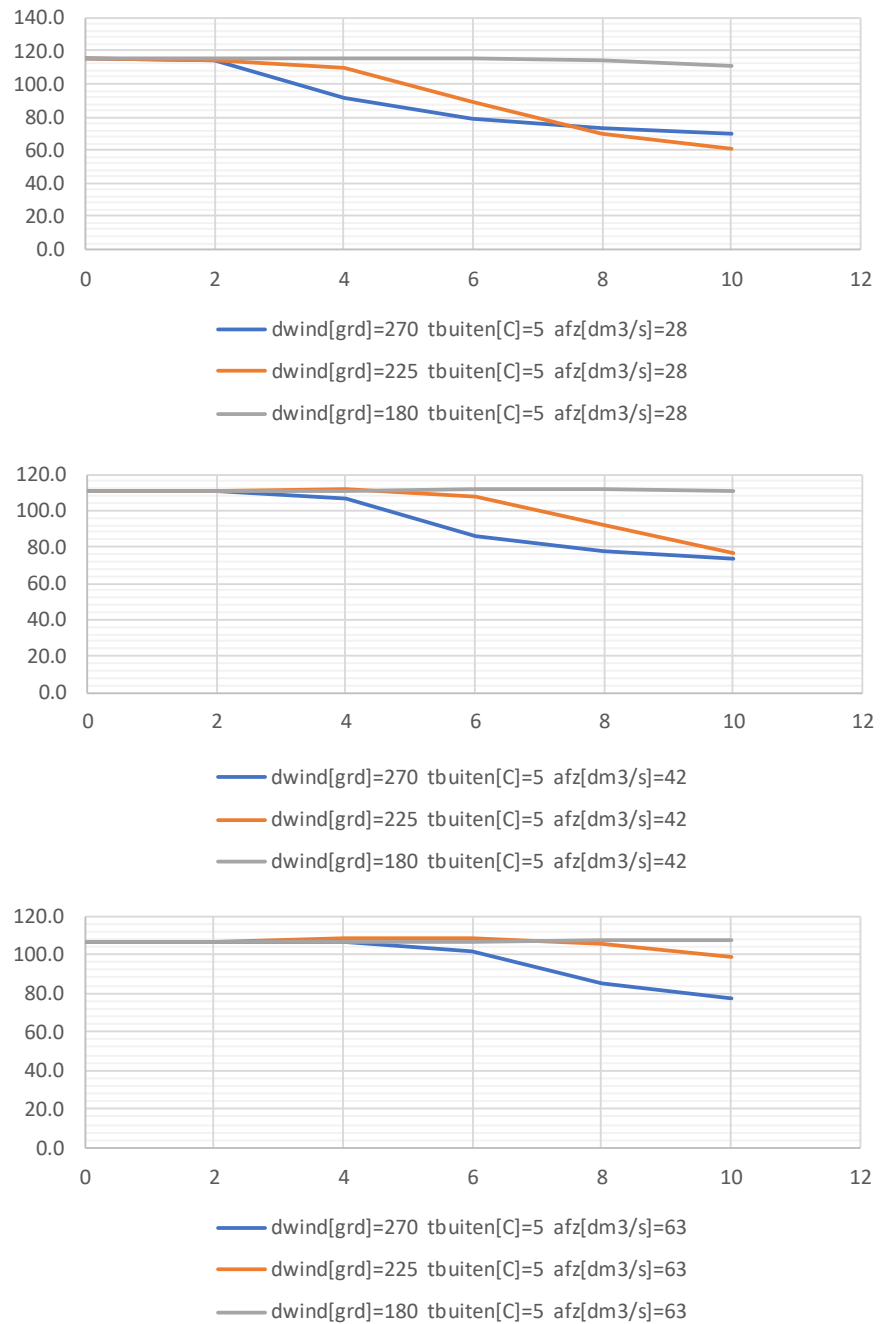
windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

figuur 76: Verhouding $q_{v,10,ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor een gezinswoning met $q_{v,10} = 40 \text{ dm}^3/s$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur 5°C, met kanaallek, overdrukmeting met aanzuig gesitueerd in onderdruk gebied.



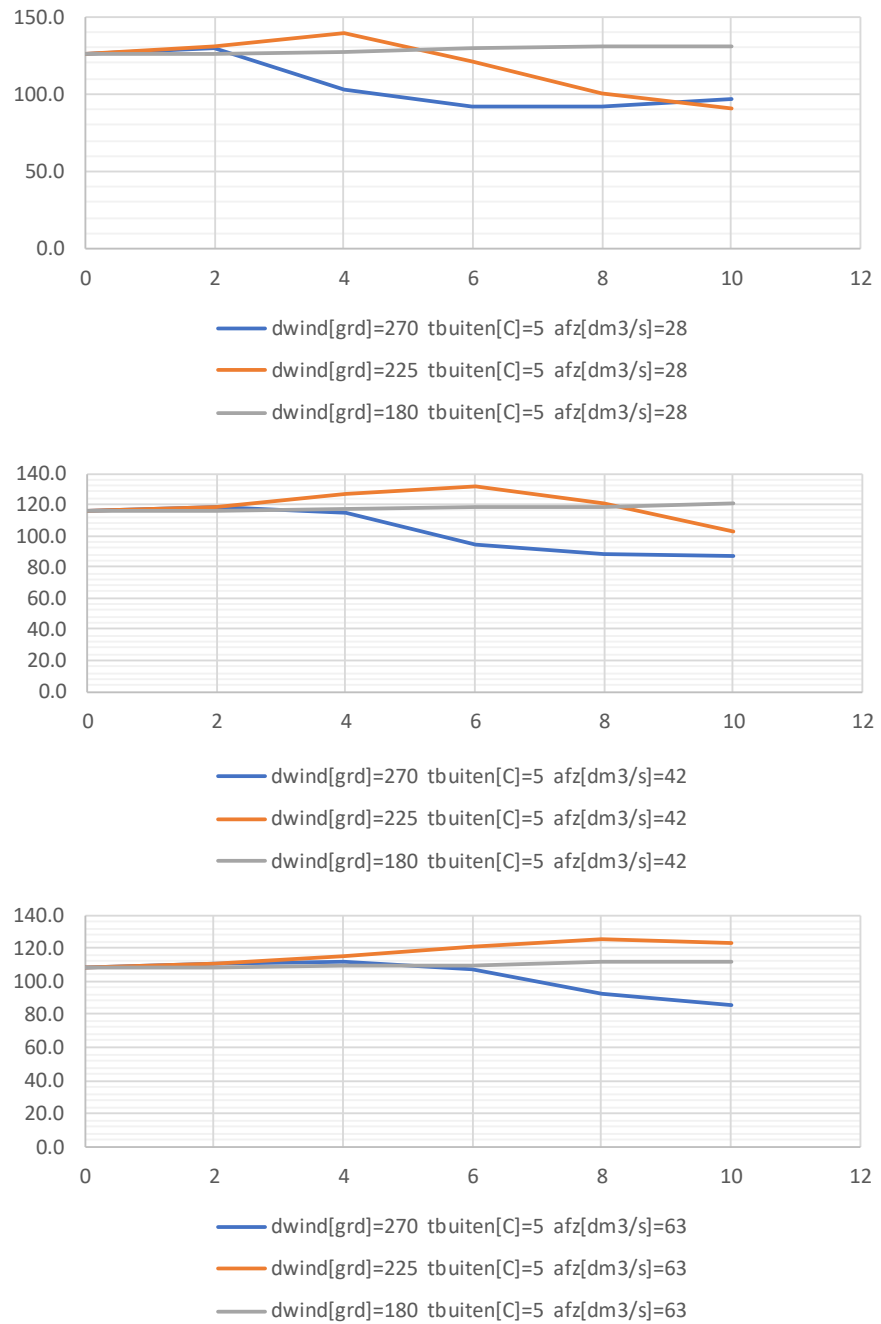
windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

figuur 77: Verhouding $q_{v,10,ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor eengezinswoning met $q_{v,10} = 40 \text{ dm}^3/\text{s}$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur -10°C , met kanaallek, overdrukmeting met aanzuig gesitueerd in onderdruk gebied.



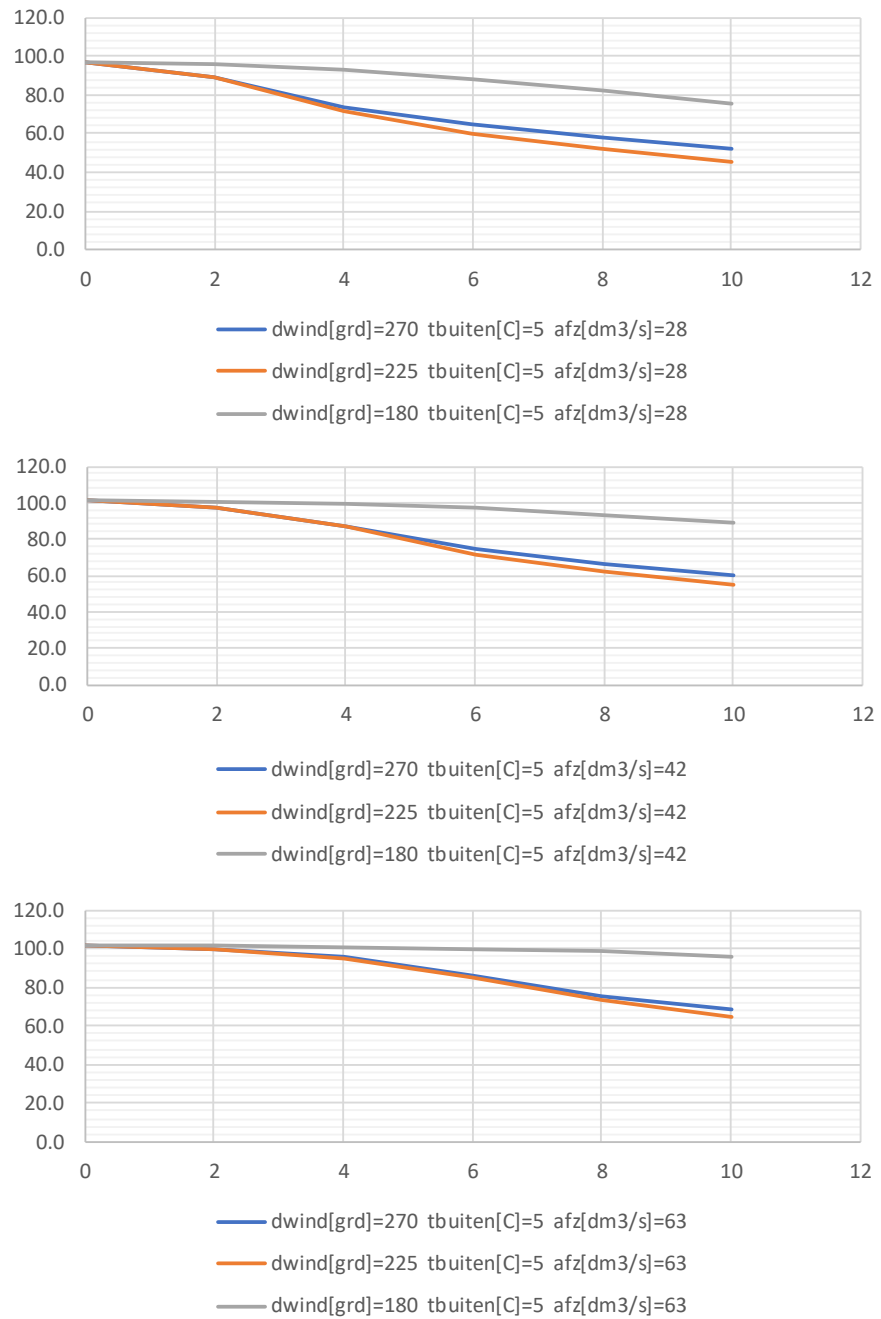
windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

figuur 78: Verhouding $q_{v,10,ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor eengezinswoning met $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur 5°C , zonder kanaallek.



windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

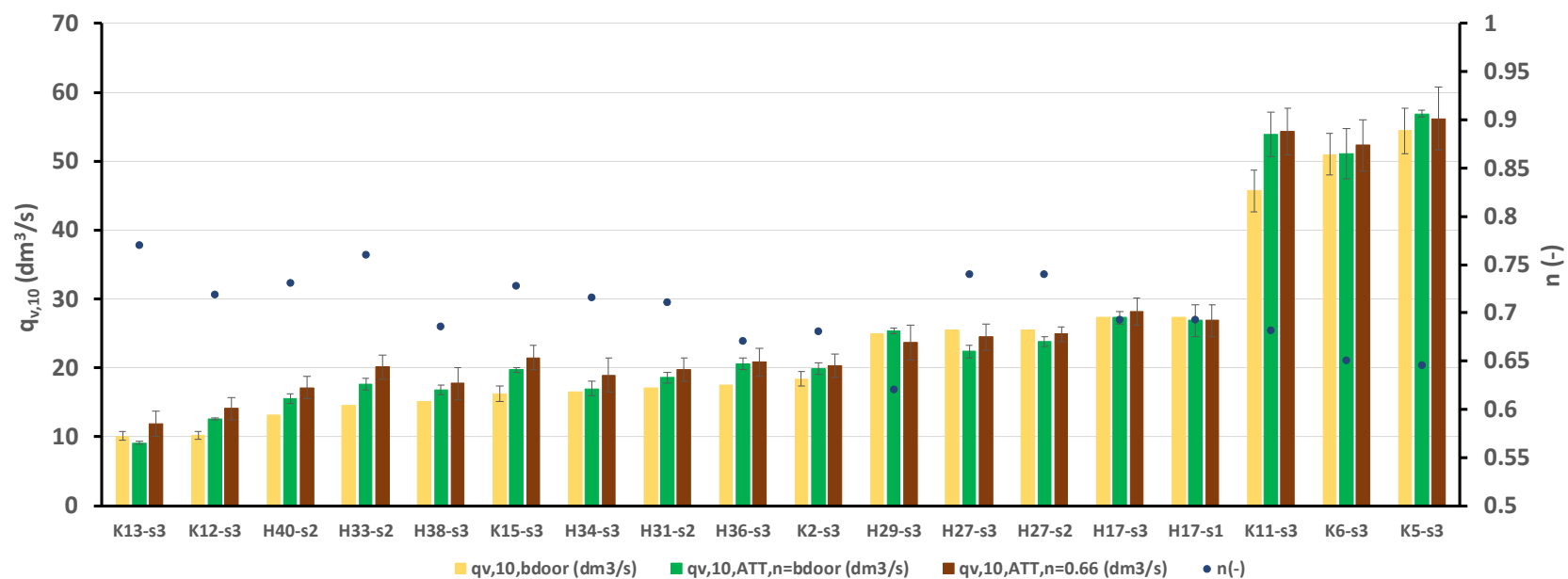
figuur 79: Verhouding $q_{v,10, ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor eengezinswoning met $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur 5°C , met kanaallek, onderdrukmeting met uitmonding afvoer in onderdrukgebied.



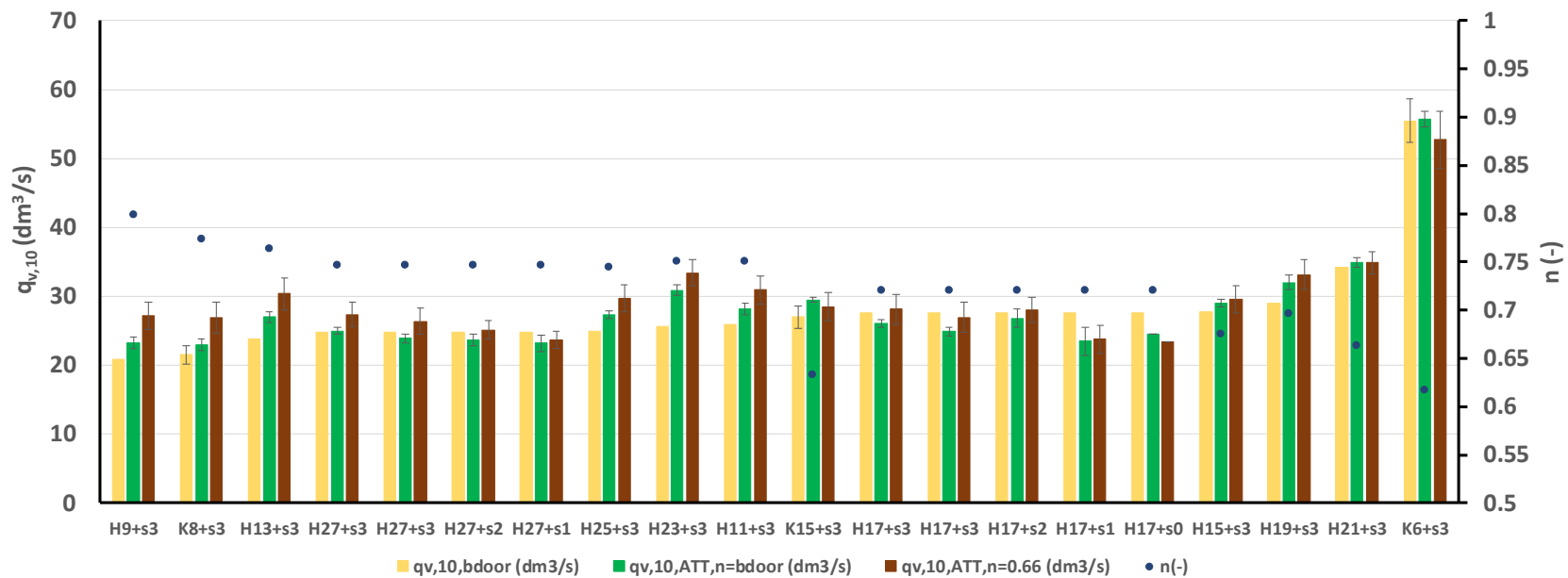
windrichting 180 is evenwijdig gevel, windrichting 270 is haaks op gevel

figuur 80: Verhouding $q_{v,10, ATT}$ en werkelijke $q_{v,10}$ in procenten als functie van de windsnelheid voor een gezinswoning met $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ bij beschutte ligging, buitentemperatuur 5°C , met kanaallek, overdrukmeting met aanzuig gesitueerd in onderdrukgebied.

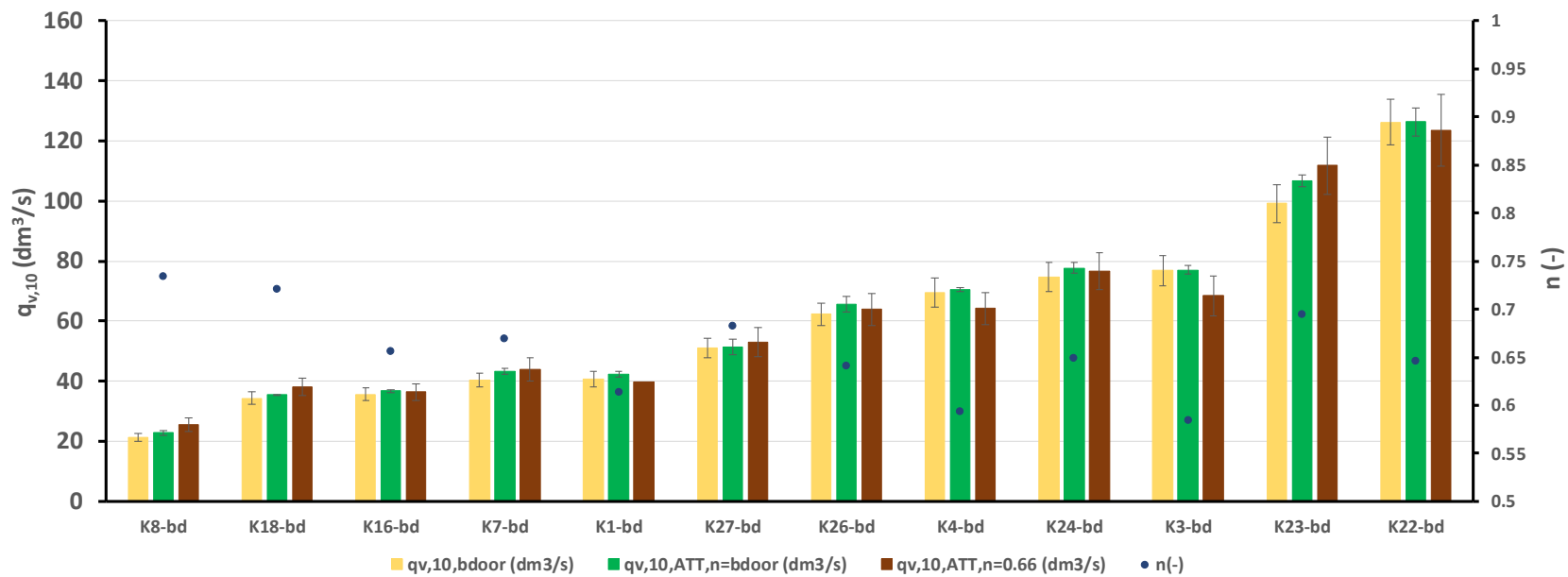
B Resultaten praktijkmetingen ATT versus blowerdoor



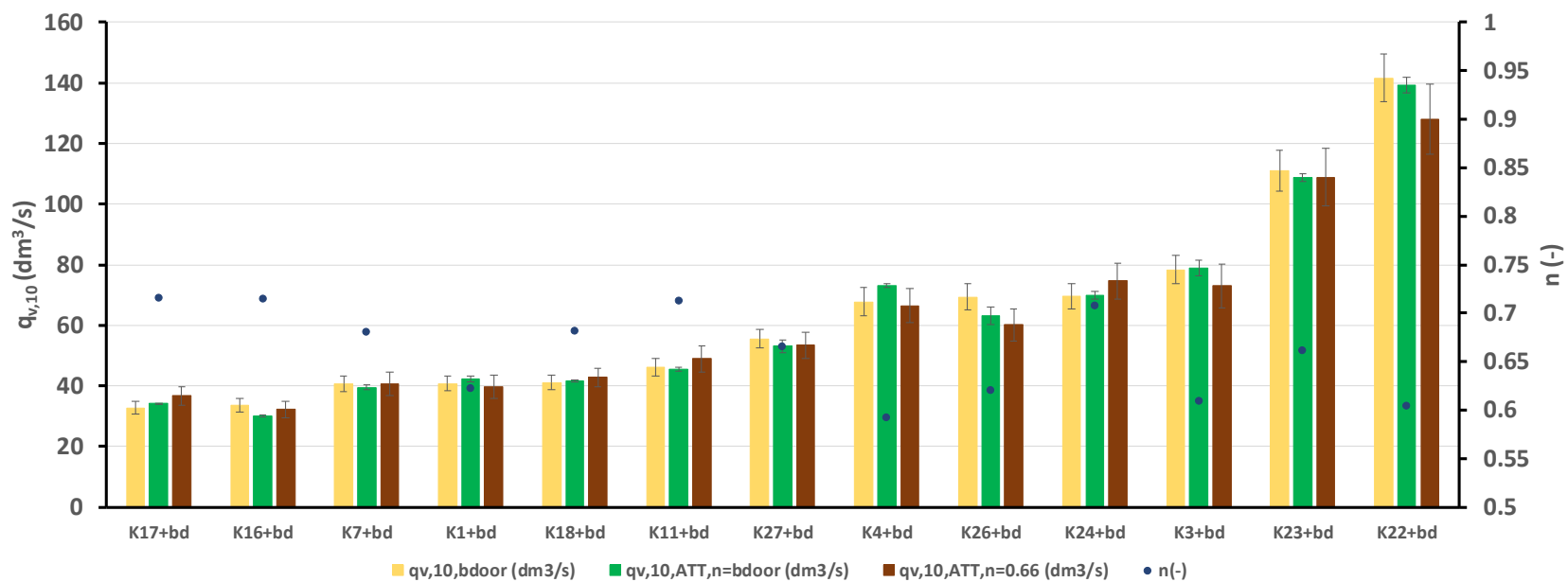
figuur 81: Luchtdoorlatendheid bij onderdrukmeting volgens blowerdoor en ATT bij gebruik van één stand van het ventilatiesysteem (aan/uit).



figuur 82: Luchtdoorlatendheid bij overdrukmeting volgens blowerdoor en ATT bij gebruik van één stand van het ventilatiesysteem (aan/uit).

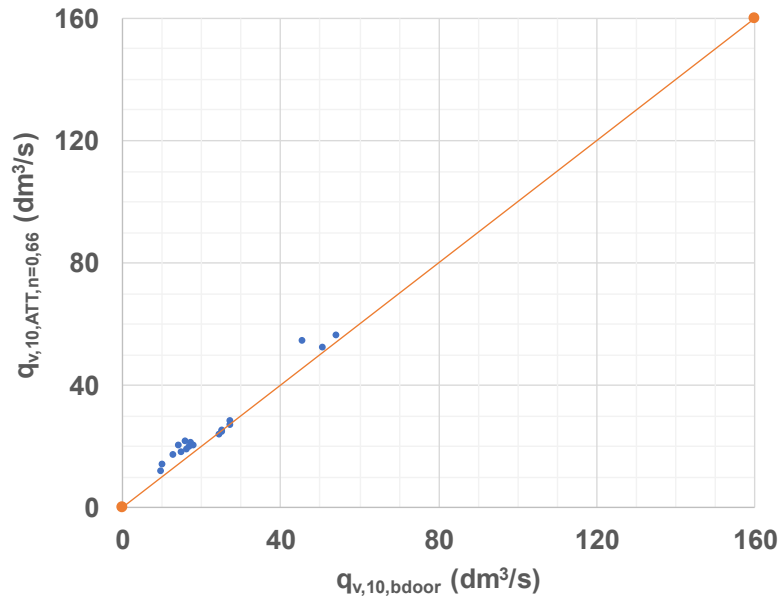


figuur 83: Luchtdoorlatendheid bij onderdrukmeting volgens blowerdoor en ATT bij gebruik van de ventilator van de blowerdoor.

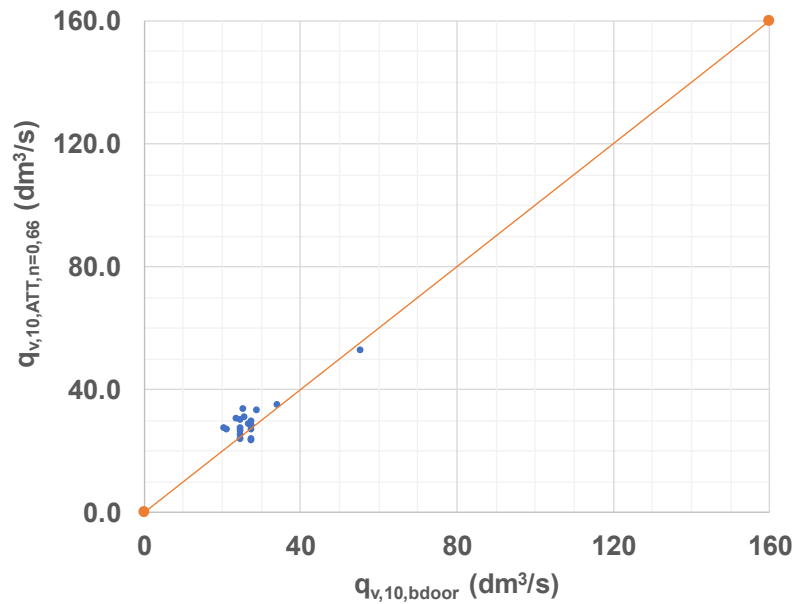


figuur 84: Luchtdoorlatendheid bij overdrukmeting volgens blowerdoor en ATT bij gebruik van de ventilator van de blowerdoor.

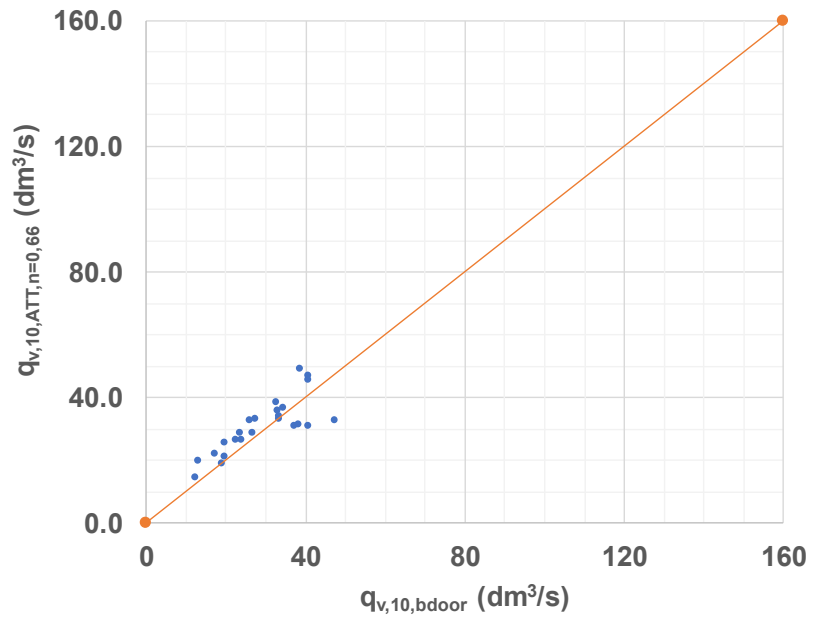
C Verband tussen ATT meting en blowerdoor meting



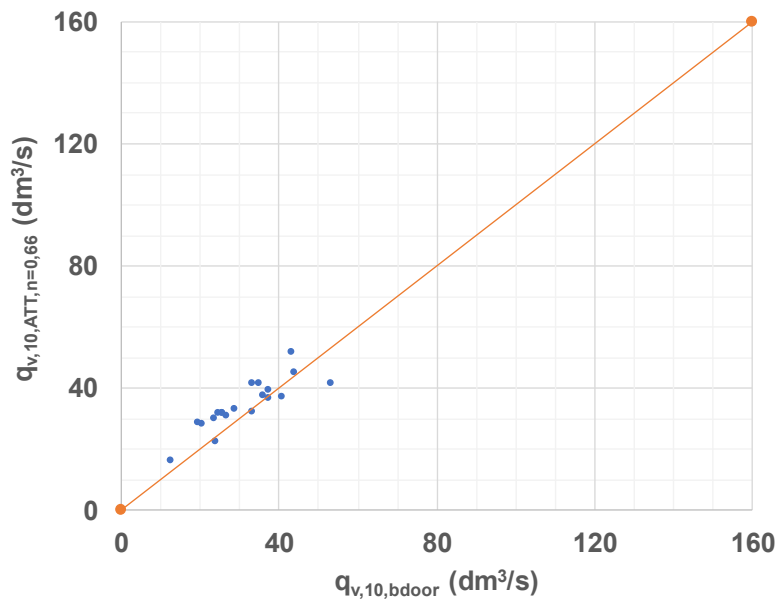
figuur 85: Verband bij onderdrukmeting tussen blowerdoor en ATT bij gebruik van één stand van het ventilatiesysteem (aan/uit).



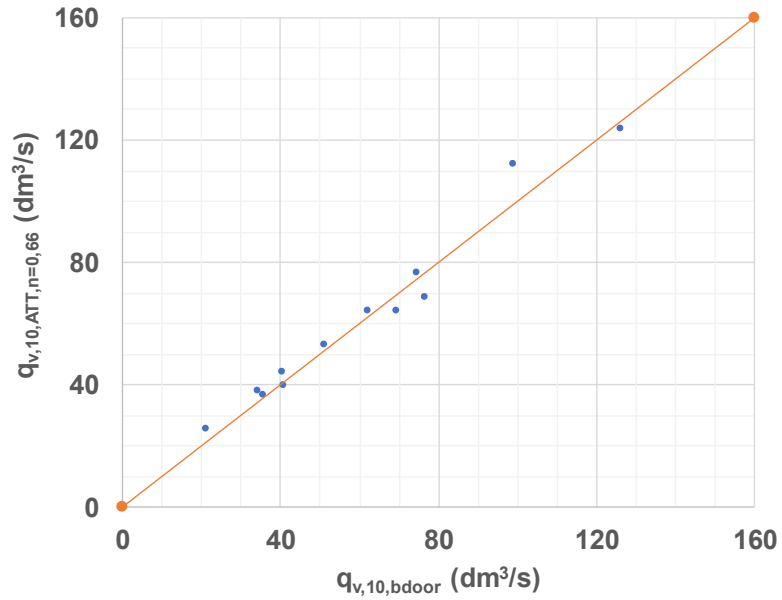
figuur 86: Verband bij overdrukmeting tussen blowerdoor en ATT bij gebruik van één stand van het ventilatiesysteem (aan/uit).



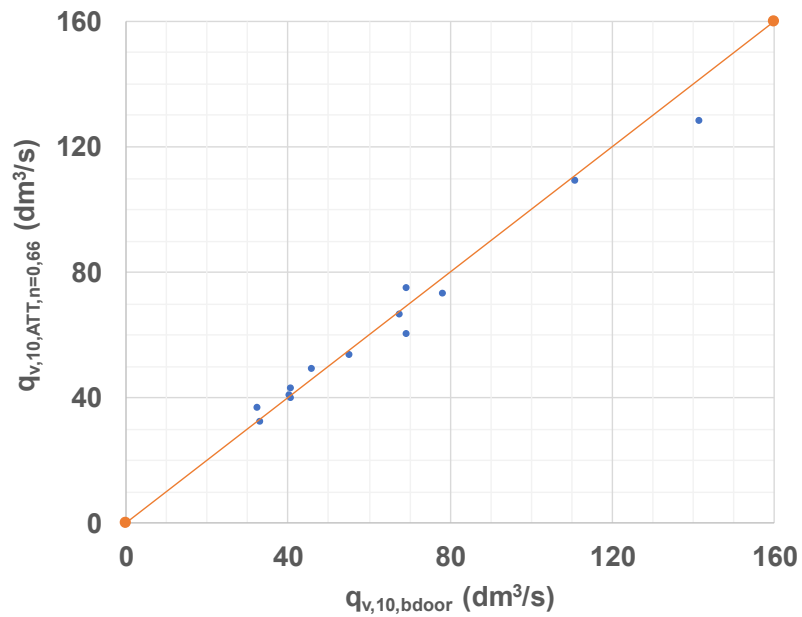
figuur 87: Verband bij onderdrukmeting tussen blowerdoor en ATT bij gebruik van twee standen van het ventilatiesysteem (laag/hhoog).



figuur 88: Verband bij overdrukmeting tussen blowerdoor en ATT bij gebruik van twee standen van het ventilatiesysteem (laag/hhoog).



figuur 89: Verband bij onderdrukmeting tussen blowerdoor en ATT bij gebruik van de ventilator van de blowerdoor.



figuur 90: Verband bij overdrukmeting tussen blowerdoor en ATT bij gebruik van de ventilator van de blowerdoor.

D Checklist visuele inspectie t.b.v. geluid

Checklist voor de visuele inspectie van het ventilatiesysteem t.b.v. geluid, met hier als voorbeeld systeem D, met mechanische aan- en afvoer (checklist voor andere typen systeem vergelijkbaar).

Nr.	Item	Antwoord + eventuele opmerkingen
1	Lengte en dikte geluiddemper aan woningzijde van de ventilatie-unit (zuigzijde en perszijde), criterium lengte: 0,5-1m	
2	Geluiddempers recht gemonteerd, verspringen niet meer dan halve diameter van de demper.	
3	Waar is de ventilatie-unit opgesteld: in aparte ruimte/akoestische kast met valdeur/kast (buiten woon- of slaapkamer)	
4	Hoe is de ventilatie-unit bevestigd: aan scheidingswand met minimale massa 200 kg/m ² (zoals gasbeton, gips) of een speciale stoel? Indien anders: beschrijf de situatie.	
5	Merk en type ventilatie-unit. Is het debiet binnen specificatie (bepalen obv volumestroommeting)	
6	Type filter en check of filters ventilatie-unit schoon zijn (foto indien vuil)	
7	Aantal bochten rondom ventilatie-unit (foto)	
8	Hoeveel kanalen en welke diameter hebben deze? Criterium: minimaal 125 mm bij voorkeur 150mm in geval van rond kanaal.	
9	Afvoerkanaal "uit woning" direct naar buiten? (zie figuur hieronder waar afvoerkanaal dak volgt)	
10	Zijn kanalen geïsoleerd? (vooral bij een open opstelling van belang)	
11	Schades aan dempers, kanalen, etc. (foto)	
12	Aantal deuren tussen ventilatie-unit en kritische ruimtes (woon- en slaapkamers)	

13	Type, aantal en locatie toevoer- en afzuigventielen kritische ruimtes (woon- en slaapkamers) (foto's)	
14	Systeem goed afgesteld? Als alle ventielen (deels) dichtgedraaid zijn is de drukval waarschijnlijk te hoog.	
15	Afzuigkap aangesloten op het ventilatiesysteem? Zo ja, hoe?	
16	Overstroomvoorzieningen onder alle binnendeuren aanwezig? Kieren onder deuren opmeten.	
17	Type ventilatieroosters in gevel (bij systeem D hoogstwaarschijnlijk niet aanwezig)	

Foto's maken van:

- Ventilatie-unit, inclusief kanalenverloop er omheen.
- Ruimte waarin ventilatie-unit is geplaatst, inclusief dorpel van de ruimte.
- Verloop kanaal naar buiten.
- Verloop kanaal naar de woning.
- Ventielen in de kritische ruimtes (woon- en slaapkamers).
- Eventuele schades aan dempers, kanalen etc.
- Filters, indien vervuild.

E Resultaten praktijktesten geluid

nr	Type	stand (-)	debiet (m ³ /h)		Elec. verm. (w)	Δp (Pa)	LA,k [dB(A)]				LA [dB(A)] 1m van ventilator	Visuele inspectie
			Afvoer	Aanvoer			Woonkamer / keuken		slaapkamer			
							NEN 5077	BRL meth. 1	NEN 5077	BRL meth. 1		
1	D	3	225	217	52,0	116,0	33,1	33,5	24,6	24,7	49,8	niet ok
2	D	3	225	238	56,0	161,0	33,2	33,6	24,1	24,1	50,4	niet ok
3	D	3	225	209	52,0	114,0	31,9	32,3	25,1	25,2	49,0	niet ok
4	D	3	222	230	52,0	191,0	28,1	28,6	24,7	24,8	52,8	ok
5	D	3	223	226	49,0	142,0	33,6	34,0	28,5	28,6	50,1	niet ok
6	D	3	219	280	150,0	304,0	39,0	39,8	35,5	36,1	53,2	niet ok
7	D	3	293	294	173,0	173,0	34,5	35,3	25,4	25,7	57,3	niet ok
8	D	3	159	159	68,0	372,0	37,1	36,3	39,8	40,5	52,6	niet ok
9	D	3	271	251	70,7	-	33,2	32,6	31,1	29,6	46,1	niet ok
10	D	3	-	-	73,0	-	-	-	-	-	-	ok
11	D	3	280	307	134,0	312,0	47	46	30	28	58,2	niet ok
12	D	2	227	219	54,0	97,0	24,3	25	24	24,3	-	ok
13	D	2	189	219	36,0	-	30	28	27	25,4	49,3	ok
14	D	3	164	197	52,4	-	27,1	26,9	25	24,6	56,2	ok
15	D	3	190	226	77,0	-	28	27,6	27	26,5	57,6	ok
16	D	3	150	301	104,0	-	33,6	33,4	30	29,1	59,9	niet ok
17	D	3	235	210	71,1	-	29,8	29,8	19,4	21,5	50,7	ok
18	D	3	218	186	82,5	-	23,2	23	20	20	50,3	ok
19	D	3	233	180	81,7	-	24,5	26	19,9	19,5	51,3	ok
20	D	3	240	201	82,2	-	25,8	24,6	22	23	50,4	ok
21	D	3	240	240	90,7	-	25	23	23	24	58	niet ok
22	D	3	220	232	73,6	-	26	26,4	22	23	51,7	ok
23	D	3	237	306	76,6	-	32,5	33	32,1	32,7	55,5	niet ok
24	D	3	207	179	67,5	-	40	38,6	32,6	33	52	niet ok
25	D	3	181	167	57,8	-	35,5	38	32	30,7	54,6	niet ok
26	D	3	205	200	54,1	-	28,5	27,5	25	23	53	ok
27	D	3	204	216	47,5	-	28	27,2	26	24	50,9	ok
28	D	3	202	207	50,5	-	29,5	27	26	24	54,6	ok
29	D	3	184	203	52,5	-	32	30,5	36	34	55,6	ok
30	C	3	189	-	22,5	144,0	26,8	27,5	28,6	27,6	53,2	niet ok
31	C	3	239	-	63,5	330,0	31,0	31,5	37,5	35,2	66,8	niet ok
32	C	3	172	-	18,2	135,0	27,5	28,5	31,5	29,9	50,3	niet ok
33	C	3	267	-	51,0	249,0	-	35,9	-	21,3	56,3	niet ok
34	C	3	173	-	25	88,0	-	-	-	-	-	niet ok
35	C	3	161	-	20,3	110,6	27,5	29,1	29,1	30,5	56,6	niet ok
36	C	3	161	-	21,7	126,5	29	31	31,7	32,6	58,3	niet ok
37	C	3	191	-	29	182,1	30,4	29,8	26,4	26,2	56,9	niet ok
38	C	3	153	-	26,1	169,0	28,6	27,8	25,4	25,3	53,3	ok
39	C	3	132	-	24,4	-	-	23,1	-	21,6	45,6	niet ok
40	C	3	234	-	31,2	140,0	27,4	26,1	28	27,8	49	niet ok
41	C	3	264	-	31,3	179,0	33	31	26	27	55,1	niet ok
42	C	3	231	-	28,1	149,0	31	31,4	27,4	29,2	53,1	niet ok
43	C	3	231	-	18,1	-	40	40,1	21	19	57,2	niet ok
44	C	3	182	-	16,1	-	26	25,6	17	18	49,2	ok
45	C	3	201	-	16,2	-	24	23,6	19	19,1	48,5	ok