# De business case van energie-zuinige ventilatiesystemen

Door: Orin Tijsse Klasen

Kennisdossier

TKI URBAN ENERGY
Topsector Energie

## Inleiding

**In het Klimaatakkoord is afgesproken dat 200.000 woningen per jaar verregaand verduurzaamd moeten worden vanaf 2030. Het isoleren van de woningen is de eerste stap in het verduurzamen van woningen indien dit nog niet of nauwelijks gebeurd is. Een veelgehoorde uitspraak hierbij: "isoleren = ventileren". Dit is natuurlijk niet letterlijk bedoelt, maar het mag duidelijk zijn dat goede ventilatie essentieel is voor een gezond en comfortabel binnenklimaat.**

In de praktijk zien we vaak dat de ventilatie in woningen onvoldoende op orde is. Slechte ventilatie kan leiden tot gezondheidklachten, zoals vermoeidheid, hoofdpijn en een verminderde nachtrust. Ook verhoogt gebrekkige ventilatie de kans op vochtproblemen met als gevolg schimmelproblemen in woningen.

Meer ventileren betekent echter ook meer energieverlies als de warmte niet teruggewonnen wordt. Daarom worden er ook steeds meer warmteterugwinning (WTW) systemen in woningen toegepast. Deze systemen halen de warmte uit de afzuiging met behulp van een warmtewisselaar en geven de warmte over aan de verse toevoerlucht. Er zijn ook systemen die warmte uit de lucht terugwinnen en gebruiken voor het verwarmen van tapwater. Er kan tot 90% van de warmte uit de afzuiging teruggewonnen worden met dit soort systemen, maar maakt dit de aanschaf van een WTW-systeem ook rendabel? Wat zijn de verschillen tussen centrale en decentrale WTW systemen? Is vraaggestuurde mechanische afzuiging niet een (betere) oplossing? Deze vragen worden beantwoord in dit kennisdossier. Het eindresultaat is een afwegingskader waarin de kosten en baten van verschillende ventilatiesystemen worden meegenomen, maar ook andere afwegingen op het gebied van comfort en gezondheid.

## Inhoud

**1.** Over ventilatie in bestaande woningen

**2.** Effectiviteit van ventilatiesystemen, kwaliteit binnenklimaat en gebruiksgemak

**3.** De business case van verschillende ventilatiesystemen

**4.** Kostenanalyse

**5.** Overige scenario's die van invloed zijn op de business case

**6.** Conclusie business case van verschillende ventilatiesysteemtypen

**7.** Welke innovaties zijn er of komen er op de markt?

**8.** Afwegingen - voor welk ventilatiesysteem zou je moeten kiezen?

**9.** Vervolgstappen

**10.** Bijlagen

**11.** Bibliografie

lees meer

Hoofdstuk 1

# Over ventilatie in bestaande woningen

**De combinatie van kierdichting en energiezuinige ventilatie is een belangrijke maatregel voor het verduurzamen van bestaande woningen. Sterker nog, volgens de Routekaart Na-isolatie is een goed werkend ventilatiesysteem de eerste stap om te nemen alvorens aan de slag te gaan met isoleren bij een integrale verduurzamingsaanpak (bij losse isolatiemaatregelen zoals spouwmuurisolatie is het natuurlijk niet wenselijk om te wachten alvorens het ventilatiesysteem in orde is).**

Een goed werkend ventilatiesysteem is zowel nodig voor een gezond binnenklimaat, het daadwerkelijk realiseren van voorgenomen energiebesparingen en het bouwkundig in goede conditie houden van de woning. Ventilatie is belangrijk om verontreinigde lucht af te voeren. Een woning zeer goed isoleren zonder energiezuinig ventilatiesysteem of juist met kieren en gaten, is echter eveneens onwenselijk.

Dit kennisdossier zal voornamelijk gaan over de kosteneffectiviteit en praktische haalbaarheid van verschillende ventilatiesystemen in bestaande woningen. Ventilatie is een (noodzakelijke) voorziening voor de gezondheid. De kosteneffectiviteit is voor veel particulieren en woningcorporaties een belangrijke overweging, ondanks dat de aanleiding in veel gevallen gezondheid zal zijn. Gezondheid en bouwkundige kwaliteit worden in dit kennisdossier als belangrijke voorwaarden behandeld, terwijl kosteneffectiviteit een variabele is die onderzocht is. In het bijzonder is gekeken naar ventilatiesystemen met WTW. Hierbij ligt de focus voornamelijk bij de business case voor goed geïsoleerde woningen (definitie volgt later).

Het is allereerst van belang om te onderstrepen dat goede ventilatie belangrijk is voor de gezondheid en welzijn van mensen[1]. We besteden namelijk 90% van onze tijd binnen[2], waarvan het grootste gedeelte in onze woningen is. Het binnenklimaat van een woning heeft daarmee een groot effect op de gezondheid van de bewoners. Dit wordt steeds belangrijker aangezien we steeds meer thuis werken. Daarbovenop komt dat een slechte luchtkwaliteit naar schatting de arbeidsproductiviteit verlaagt met 6-15% en dat ook het leervermogen afneemt[2-3]. Meer informatie over de invloed van ventilatie op een gezond binnenklimaat is te vinden via het eerder gepubliceerde kennisdossier over een gezond en comfortabel binnenklimaat:

https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/kennisdossiers/binnenklimaat

### De basisprincipes van ventilatie in woningen

Ventilatie in woningen is noodzakelijk om vervuilde lucht en vocht af te voeren naar buiten en in plaats daarvan verse lucht naar binnen te vervoeren. Ventileren moet niet verward worden met spuien. Spuien is het (tijdelijk) open zetten van ramen, luiken of deuren zodat in korte tijd een flinke luchtstroming ontstaat om de lucht te verversen. Er zijn zes voornaamste bronnen van verontreinigingen[1]: fijnstof, bio-effluenten (zoals menselijke geurstoffen en meer, waarvoor de door de mens afgegeven $CO^2$ een indicator is.), vocht en micro-organismen, verontreinigingen afkomstig van buiten, emissies van bouw en inrichtingsmaterialen (zoals radon en vluchtige organische stoffen (VOC)) en verbrandingsgassen.

De hoeveelheid lucht die ververst wordt, noemen we het ventilatiedebiet of ventilatievoud en wordt uitgedrukt in $m^3$/uur of liter($dm^3$)/seconde. Vanaf 2006 is het voor nieuwbouw verplicht om over een ventilatiesysteem te beschikken. Mechanische ventilatie komt steeds vaker voor in woningen om een goede binnenluchtkwaliteit te garanderen en gezondheidsklachten te voorkomen. Infiltratie door kieren en naden is over het algemeen niet wenselijk, gerichte ventilatie om verontreinigingen te verwijderen uit de woning wel. Infiltratie is niet wenselijk, omdat dit minder (gericht) verontreinigingen weg neemt, maar ook wegens diverse mogelijke onwenselijkheden zoals geurhinder, waterdichtheid, risico op inwendige condensatie, akoestiek, mogelijke toevoer van verontreinigde lucht en onnodige energieverliezen.

Goede ventilatie is dus belangrijk voor de gezondheid, maar welke type ventilatie-systemen zijn toepasbaar? En welke van deze ventilatiesystemen zijn geschikt voor een gezond én energiezuinig binnenklimaat? Er zijn vijf ventilatietypes die op dit moment te onderscheiden zijn volgens NTA 8800 en NPR 1088.[4,5,6]

**Ventilatietype A**
**Natuurlijke toe- en afvoer**

- Dit type ventilatie komt (nog) het vaakst voor
- Effectiviteit sterk afhankelijk van winddruk en van gebruik. Grote kans op ofwel hinder (tocht) ofwel onvoldoende luchtverversing (om die tocht te voorkomen)
- Juist ventilatie van natte ruimten vaak onder de maat door ontbreken van effectieve afvoer. Kamers (verblijfsruimten) worden in de praktijk vaak geventileerd door (onbewuste) dwarsventilatie
- Woningen die alleen losse toilet- badkamer en/of kookafzuiging hebben worden ook tot type A gerekend

**Ventilatietype B**
**Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer (komt in de praktijk nauwelijks voor bij woningen)**

**Ventilatietype C**
**Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer**

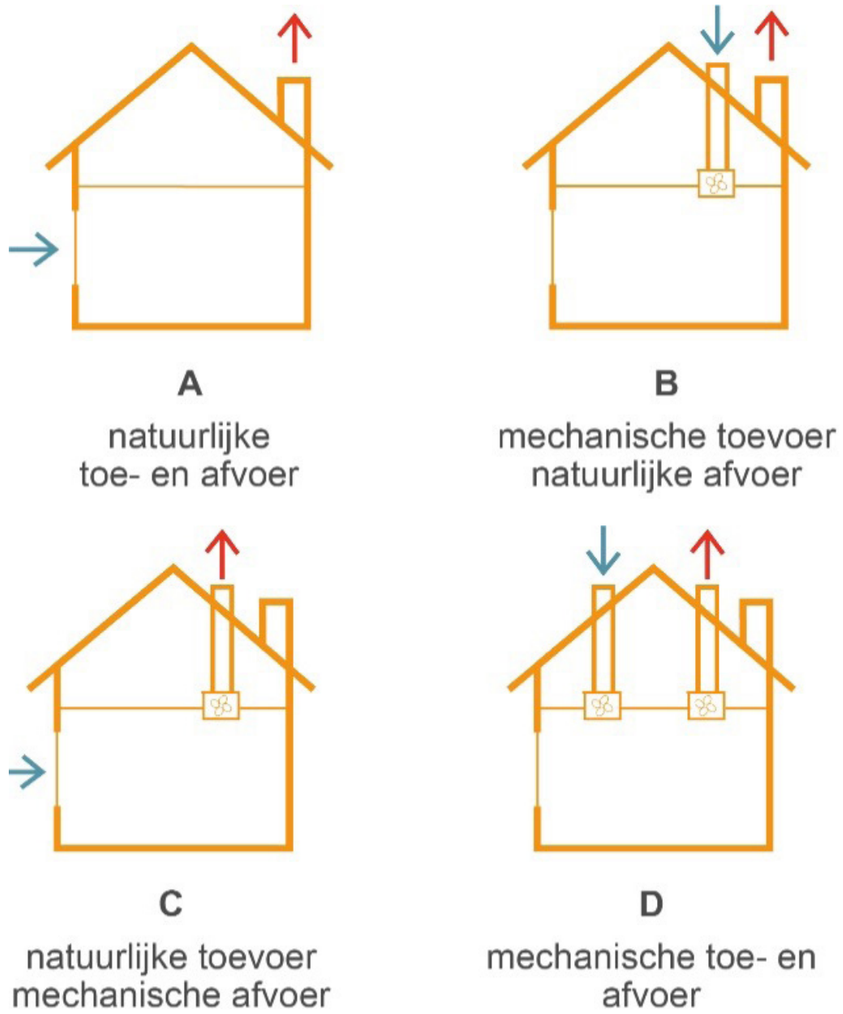
- Komt in de praktijk vaak voor
- De mechanische afvoer wordt vaak handmatig geregeld of via $CO^2$-sturing
- Vereist ook goede toevoervoorzieningen (roosters of goed regelbare klepramen) in alle kamers (verblijfsruimten)
- Het systeem functioneert door de samenhang van de natuurlijke toevoer, overstroommogelijkheden (meestal kieren onder de binnendeuren) en de mechanische afvoer

**Ventilatietype D**
**Mechanische toevoer en afvoer**

- Vaak in combinatie met warmteterugwinning
- Het systeem functioneert door de samenhang van de (mechanische) toevoer in de kamers (verblijfsruimten), overstroommogelijkheden (meestal kieren onder de binnendeuren) en de (mechanische) afvoer in de natte ruimten

**Ventilatietype E**
**Gecombineerd systeem**

- Betreft systemen met deels lokale mechanische toestellen met warmteterugwinning en deels systeem C (meestal) of A voor overige ruimten




*Figuur 3: Type ventilatiesystemen*

In dit kennisdossier zullen de business cases van verschillende ventilatiesystemen en uitgangssituaties met elkaar vergeleken worden. Er is gekozen om met name op ventilatiesystemen C, D en E te focussen.

- **Ventilatiesysteemtype A**
  Is in veel gevallen niet geschikt om bestaande woningen op gezonde energiezuinige wijze te ventileren (tenzij verregaande bouwkundige maatregelen worden toegepast

- **Ventilatiesysteemtype B**
  Komt nauwelijks voor in Nederland

Binnen ventilatiesysteemtype types C en D zijn weer meerdere subtypes te onderscheiden.
**De belangrijkste subtypes die in dit kennisdossier voorkomen zijn: C2a, C4c, D2, D5a-b, E1**

### C2a

Mechanische afzuiging met handmatige bediening van ventilatieroosters *(dit systeem wordt als uitgangssituatie genomen)*

### C4c

Mechanische afvoer per verblijfsruimte met $CO^2$-sturing (en eventueel vocht-sturing in natte ruimtes) *(volgens NTA 8800 niet strikt vereist voor woningen, maar wel gebruikelijk)*

### D2

Centrale WTW installatie zonder zonering en sturing, handmatige bediening

**Voordelen:** relatief eenvoudig en goedkoop voor mechanische balansventilatie bij nieuw-bouw

**Nadelen:** Geen sturing op $CO^2$ of vocht gehalte, dus kans op te weinig of juist teveel ventilatie.

Daarnaast is een handmatige bediening lager in gebruiksgemak. Een centraal WTW systeem is soms moeilijk te installeren.

**Aandachtspunt:** geluidproductie, zowel vanaf de opstelplaats van de unit als bij de ventielen in de verblijfsruimten (m.n. slaap-kamers).

De Bouwbesluit eisen zijn een ondergrens, met nog relatief veel potentieel geluids-hinder. Met goed (kanaal-)ontwerp en uitvoering is geluidshinder echter goed oplosbaar.

**Opmerking:** D3 systemen zijn hetzelfde als D2 systemen, maar hebben dan $CO^2$-sturing op de afvoer. Voor de simplificatie valt dit systeem af voor de vergelijking in dit kennisdossier.

***Figuur 2:*** *Voorbeeld van een vraaggestuurd ventilatie-systeem (C4c).*

***Figuur 3:*** *Voorbeeld van een balansventilatiebox met WTW*
*Bron: Brink Climate Systems*

### D5a

Centrale balansventilatie met $CO^2$-sturing (en eventueel vochtsturing in natte ruimtes) met twee of meer zones (alleen de optie met centrale WTW is meegenomen)

**Voordelen:** door $CO^2$-sturing een hoge kans op een gezond binnenklimaat, tegen lagere energiekosten. Makkelijk in gebruik.

**Nadelen:** Centraal WTW systeem is soms moeilijk te installeren.

### D5b

Decentrale WTW met $CO^2$-sturing *(en vochtsturing)* met twee of meer zones

**Voordelen:** Goede oplossing indien een centraal WTW systeem lastig te realiseren is. (In sommige gevallen) een goedkope oplossing. Sturing per ruimte, dus overal in huis een goede luchtkwaliteit.

**Nadelen:** Veel losse systemen nodig, wat lastig is voor onderhoud. Lager rendement van de warmtewisselaar.

### D5c

Centrale balansventilatie met WTW $CO^2$-sturing in zowel woonkamer en hoofdslaapkamer

**Voordelen:** Door $CO^2$-sturing een hoge kans op een gezond binnenklimaat. Makkelijk in gebruik.

**Nadelen:** Geen sturing in verschillende zones, waardoor waarschijnlijk meer energieverbruik dan een D5a en D5b systeem. Centraal WTW systeem is soms moeilijk te installeren.

### E1

Decentrale mechanische toevoer en decentrale mechanische afvoer met warmteterugwinning in woonkamer en aparte mechanische ventilatie in overige leefruimtes

**Voordelen:** Luchtvolumestromen gewaar-borgd per vertrek, energiezuinige tech-nieken mogelijk, geschikt voor renovatie.

**Nadelen:** Geen bypass mogelijk, onderhoud filters noodzakelijk, apart systeem voor natte ruimtes noodzakelijk.

Hoofdstuk 1

# Over ventilatie in bestaande woningen

In de volgende paragraaf wordt de kosteneffectiviteit van D2-, D5a-, D5b-, D5c en E1-systemen vergelijken met zogenaamde C2- (mechanische afzuiging met handmatige bediening) en C4c-systemen (mechanische afzuiging met $CO^2$-sturing per verblijfsruimte). Het uitgangspunt is dat dit de belangrijkste ventilatiesystemen zijn, waarbij comfort-, gezondheid- en energieprestaties voldoende gewaarborgd zijn. Een overzicht van de belangrijkste eigenschappen van de genoemde ventilatiesystemen is te zien in tabel 1[6]. Let wel op dat deze tabel over nieuwbouw gaat, waar dit kennisdossier gaat over bestaande woningbouw. Dit heeft name van invloed heeft op de kosten voor verschillende systemen.

| Ventilatiesysteem | Regeling | Systeem NTA 8800 | Kosten | Energie-besparing | Onderhoud | Gebruiks-gemak | Verse lucht / tocht | Geluid-systeem | Geluid van buiten | Robuustheid / degelijkheid | Ruimte beslag |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Natuurlijke toevoer door zelfregelende roosters + mechanische afvoer | Handmatig / meerstanden schakelaar | C2a | + | - | + | - | - | + | - / - | + | ++ |
| | $CO^2$ sturing op afvoer per zone* | C4c | 0 / + | - | 0 | + | + | + | - / - | - | + |
| Gebalanceerde ventilatie (centrale mechanische toe- en afvoer) + 100% bypass | Meerstanden, schakelaart, geen zonering | D2 | 0 | 0 / - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 / + | 0 |
| | $CO^2$-sturing per zone* | D5a | - | ++ | - | 0 | + | 0 | 0 | - | - |
| Decentrale gebalanceerde ventilatie met wtw in vertrekken + centrale mechanische afvoer sanitair | $CO^2$ / RV sturing per zone* | D5b | - | ++ | = | 0 | + | 0 / - | - | - | 0 / + |

***Tabel 1:*** *Overzicht belangrijkste eigenschappen van verschillende type ventilatiesystemen - Bron: ISSO*

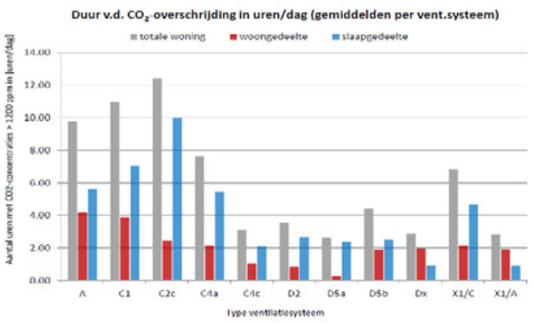
Voordat de kosteneffectiviteit van verschillende ventilatiesystemen behandeld wordt, zullen eerst de randvoorwaarden worden gesteld op het gebied van binnenklimaat en gebruiksgemak. Vervolgens zullen we de energieverbruiken van verschillende systemen uiteenzetten op basis van een vereenvoudigd model voor drie fictieve woningen.

Als derde en laatste stap zullen we de investeringskosten van de verschillende systemen als bandbreedte weergeven. Op basis daarvan wordt aan het einde van dit kennisdossier de conclusie getrokken over de businesscases en daarmee de kosteneffectiviteit van de verschillende ventilatiesystemen.

# Effectiviteit van ventilatiesystemen, kwaliteit binnenklimaat en gebruiksgemak

**Zoals in het begin van dit kennisdossier beschreven zijn er meer factoren van belang bij het ventileren van woningen dan alleen de investeringskosten en het energieverbruik van deze ventilatiesystemen. Het doel van dit kennisdossier is weliswaar om meer inzicht te geven wat betreft de financiële kosten en baten van verschillende ventilatiesystemen, maar voor een eerlijke vergelijking tussen de verschillende ventilatiesystemen is het belangrijk om het ventileren van woningen integraal te benaderen binnen de energietransitie.**

In het TKI-project "Bewustwording van binnenluchtkwaliteit in woningen: Be Aware", opgesteld door TNO in samenwerking met Eneco, Quby, Philips, Longfonds, ISSO en Dominus B.V., is onderzoek gedaan naar de binnenluchtkwaliteit bij ca. 1000 woningen[7]. Binnen dit onderzoek is binnenluchtkwaliteit gemeten aan de hand van temperatuur, fijnstof, $CO^2$ en luchtvochtigheid (RV). Uit het onderzoek blijkt dat de $CO^2$ concentratie in verblijfsruimten van woningen in de winter veelal boven de grenswaarde van 1200ppm uitkomt, wat duidt op onvoldoende luchtverversing. Daarnaast blijkt de fijnstof concentratie vaak de gestelde advieswaarden te overschrijden. Koken blijkt de grootste bron van fijnstof in woningen. Een voordeel van centrale ventilatie met WTW kan zijn dat de aanvoer lucht gefilterd kan worden indien filters gebruikt worden met een hogere filterklasse. Naast bronafzuiging in de keuken is het ook belangrijk om goede afzuiging van natte ruimtes (washok, badkamer en toiletten) te hebben om vochtproblemen te voorkomen (en eventueel schimmelvorming).[8]




*Figuur 4: Uit TKI MONICAIR - duur van de $CO^2$-overschrijding van 1200ppm in uren per dag per ventilatietype*

Eerder werden soortgelijke bevindingen gedaan in TKI-project MONICAIR. Ook uit dit onderzoek bleek al dat ventilatiesystemen die voldoen aan het bouwbesluit geen garantie zijn voor gezonde binnenlucht. Uit dit onderzoek komt naar voren dat ventilatiesystemen met een mechanische component een stuk beter scoren op binnenlucht kwaliteit en dat $CO^2$-sturing effectief is voor gezonde binnenlucht, mits per ruimte geregeld. De daadwerkelijke prestaties van de ventilatiesystemen verschillen nog wel behoorlijk in de praktijk, zelfs met een zelfde ventilatiesysteem. Bij ventilatiesystemen met natuurlijke componenten is dit verschil groter. Voor het afgeven van prestatiegaranties (energie- en gezondheidsprestaties) kan dit een reden zijn om voor balansventilatie te kiezen.

Wat betreft energieprestatie komen centrale ventilatiesystemen met WTW het beste naar voren met een primair energieverbruik van 29 MJ/$m^2$ gebruiksoppervlakte tegenover MJ/$m^2$ voor mechanische afzuiging. C4c systemen zijn hierop een uitzondering en scoren qua gezondheid en energieprestatie veel beter dan bijvoorbeeld C4a systemen waarbij alleen $CO^2$-sturing plaatsvindt in de woonkamer.[9,10,11]

### Kookafzuiging integreren in het ventilatiesysteem?

In de praktijk worden er nog weinig speciale voorzieningen getroffen voor kookafzuiging. Zonde, want het blijkt uit studies dat dit tot veel fijnstof in woningen leidt. Twee derde van de ziektelast gerelateerd aan verontreinigingen in woningen wordt toegewezen aan fijnstof deeltjes van $PM_{2.5}$ en kleiner. De helft van de fijnstof in woningen komt uit de buitenlucht. Van de helft van het fijnstof dat van binnen komt, is koken de grootste boosdoener. Zogenaamde F7 filters kunnen fijnstof in de verse luchttoevoer eruit filteren, maar kookemissies vormen nog een probleem. Daarom wordt speciale kookafzuiging in dit kennisdossier apart behandelt in dit blok.

In oudere woningen is de kookventilatie vaak minimaal. Uit energiebesparing wordt soms een deel van de kookafzuiging gerecirculeerd, maar de recirculatie lucht wordt niet altijd gefilterd. Bestaande recirculatiekappen verwijderen weinig tot geen fijnstof. Bij nieuwbouw en grootschalige renovatie wordt over het algemeen het bouwbesluit aangehouden met een ventilatie eis van 75 $m^3$/uur in keukens., wat eigenlijk niet volstaat om fijnstof concentraties laag te houden. Piekconcentraties in $PM_{2.5}$ door koken zijn in de orde van grootte van 100 tot bijna 2000 µg/$m^3$, terwijl de WHO heeft een advieswaarde van 10 µg/$m^3$ geeft. Het advies luidt om de ventilatiecapaciteit van kookafzuiging te verhogen naar een debiet van 300 $m^3$/uur. Een balanskap met een hoger debiet en warmteterugwinning is de oplossing voor gezondere binnen lucht én energiebesparing.

Het advies luidt verder om de eerder genoemde F7 filters toe te passen. Er zijn drie filterklassen, dit zijn 1) grof - G3 en G4 filters, 2) Medium – M5 en M6 filters en 3) Fijn – F7 filters. De laatst genoemde filterklasse beschermt de WTW unit niet alleen tegen vuil, maar zorgt ook voor een gezonde lucht in huis door fijnstof en pollen te filteren.

In het project Ventkook (uitgevoerd door TNO, ATAG Nederland, Bribus en Koppen Vastgoed) is een balanskap getest in het NeroZero woninglab te Heerhugowaard. Ten opzichte van een recirculatiekap en een motorloze kap aan te sluiten op het centrale ventilatiesysteem. De filtering van fijnstof blijkt goed te werken met een balanskap. Bijkomend voordeel van een balanskap ten opzichte van bestaande afzuigkappen is dat bij het gewenste afzuigdebiet van 300 $m^3$/uur in goed geïsoleerde, luchtdichte woningen een onderdruk veroorzaken met als gevolg tochtklachten. Er zijn echter ook nog uitdagingen voor het toepassen van balanskappen. De grootste uitdaging zit hem in het aansluiten van de balanskap op de centrale ventilatie bij bestaande woningen (indien er überhaupt al balansventilatie in de woning aanwezig is). Het blijkt eveneens dat het thermisch rendement van de WTW niet hoger dan 60% mag zijn om te voorkomen dat condensvorming optreedt in de kookafzuiging. Hiermee kan de warmte dus niet met de maximaal haalbare efficiëntie teruggewonnen worden[24,31,25].

### Geluid

Alle mechanische ventilatiesystemen maken in enige mate geluid, maar in principe hoeft geen van de ventilatiesystemen overlast te veroorzaken mits ze goed geïnstalleerd zijn. Over het algemeen maken centrale balansventilatiesystemen het meeste geluid binnen een woning, vooral omdat er inblaaspunten in alle kamers (verblijfsruimten) toegepast worden. Om geluidsoverlast van binnenuit te voorkomen helpt het om een toeren-regeling te installeren. De Bouwbesluit eisen zijn een ondergrens, met nog relatief veel potentieel geluidshinder. Geadviseerd wordt dan ook om vooral in slaapkamers waar mogelijk lagere geluids-waarden als richtlijn te hanteren. Bij ventilatietype C kan lawaai van buiten echter weer makkelijker binnenkomen via roosters, ook al is er niet echt sprake van een geluidbelaste locatie. Om geluids-overlast van buitenaf te voorkomen is het belang-rijk om de ventilatieroosters tactisch te plaatsen. Daarnaast is het raadzaam om niet teveel bochten in de ventilatiekanalen te hebben. Als laatste helpt het om het ventilatiesysteem voldoende te onderhouden en tijdig schoon te maken.

### Onderhoud en gebruiksgemak

De technische levensduur van ventilatiesystemen is ten minste 15 jaar. Dit geldt zowel voor type C als type D ventilatiesystemen. Voor ventilatie met WTW is het wel belangrijk om 1-2 keer per jaar de filters te vervangen, afhankelijk van de vervuilingsgraad. Voor beide ventilatiesystemen geldt dat het raadzaam is om voor vervanging van de ventilatie unit de kanalen grondig te laten reinigen. Voor onderhoudsrichtlijnen voor zowel type C als type D ventilatiesystemen kan het Aedes PvE voor woningventilatie geraadpleegd worden.[12]

Voor wat betreft gebruiksgemak, worden ventilatiesystemen met een $CO^2$-regeling over het algemeen als makkelijker in gebruik beschouwd dan meerstanden schakelaars. Op deze manier hoeven bewoners weinig te doen. Aanvullend aan het gebruik van een ventilatiesysteem is het voor alle ventilatiesystemen raadzaam om spuivoorzieningen te gebruiken bij hoge mate van verontreiniging, bijvoorbeeld door bezoekers, gebruik van een open haard of tijdens het koken[9].

| Aspect | Mechanische afvoer | Centrale balans-ventilatie met WTW | Decentrale balans-ventilatie met WTW | Actief vraaggestuurde natuurlijke ventilatie | Lokale mechanische toevoer |
|---|---|---|---|---|---|
| Gegarandeerd debiet | - | + | + | + | + |
| Sensorsturing | - | + | + | + | + |
| Filtering | - | + | + | +/- | + |
| Onafhankelijke luchttoevoer | - | + | -/0 | -/0 | -/0 |
| Drukbeheersing | - | + | 0 | + | 0/+ |
| Energieprestaties | - | + | + | 0/+ | 0 |

***Tabel 3:*** *Overzicht robuustheid van verschillende ventilatiesystemen*[13] ***+ (positieve beïnvloeding)*** ***- (negatieve beïnvloeding)*** ***0 (neutraal)***

Door het gebruik van een $CO^2$-regeling draaien ventilatiesystemen vaak ook op een lager vermogen wat de levensduur verlengt. Verder is er wat betreft gebruiksgemak weinig verschil tussen verschillende ventilatietype. Het gebruiksgemak is met name afhankelijk van het besturingssysteem.

### Robuustheid

Bewoners gebruiken hun ventilatievoorzieningen vaak niet op de juiste manier en zijn zich over het algemeen niet bewust van hoe het huidige ventilatiesysteem ontworpen is. De taak is om op het juiste moment en juiste plaats in de woning te ventileren. Door zonering en $CO^2$- en/of RV-sturing toe te passen is de ventilatievoorziening een stuk robuuster dan handmatige bediening. RVO heeft het volgende overzicht gemaakt met betrekking tot robuustheid van verschillende ventilatiesystemen in nieuwbouwwoningen.

### Oververhitting

Goed geïsoleerde en luchtdichte woningen houden de warmte in de zomer ook beter buiten de deur. Als de warmte echter eenmaal binnen is – waarbij zonintreding vaak een belangrijke rol speelt - dan koelt de woning echter ook niet snel meer af. Sinds de intreding van de NTA8800 moet voor nieuwbouw het risico op oververhitting beperkt blijven. De indicator $TO_{juli}$ (Temperatuur Overschrijding in juli) moet onder de 1,2 blijven; de eis geldt voor nieuwbouw, maar is ook relevant bij renovatie.

Ventilatie speelt een belangrijke rol bij het voorkomen van oververhitting. Als het buiten warmer is dan binnen, dan warm je een woning (verder) op door te ventileren. Bij ventilatie-systeem C komt de warme lucht rechtstreeks het huis binnen. Dit verhoogt de kans op oververhitting. Bij balansventilatie met WTW kan het systeem echter ook koude vanuit de woning terugwinnen en daarmee de opwarming enigszins beperken.

Daarnaast kunnen de nieuwere WTW units ook passief koelen door zomernachtventilatie toe te passen met behulp van een modulerende bypass. Dat wil zeggen dat het ventilatiesysteem automatisch de woning koelt met koelere buitenlucht op grond van binnen- en buitentemperaturen. Zo kan je "gratis" gebruik maken van koude buitenlucht als het nacht is om de woning mee te koelen.

Zomernachtventilatie is niet nieuw en wordt met name in de utiliteitsbouw vaak gebruikt. Een goed werkende modulerende bypass voor woningen is echter nog wat nieuwer. Een modulerende bypass werkt alleen als de binnenlucht warmer is dan de gestelde grenswaarde, en als de buitenlucht kouder is dan de binnenlucht.

Hoofdstuk 3

# De business case van verschillende ventilatiesystemen

**Energieverbruik**

Het is een uitdaging om in zijn algemeenheid aan te kunnen geven wat de energieverbruiken zijn van ventilatiesystemen in woningen, aangezien de daadwerkelijke energieprestatie per woning en per bewoner sterk zal verschillen. Er zijn meerdere factoren die van belang zijn, zoals: het type woning, de grootte en compactheid van de woning, luchtdichtheid, isolatiewaardes van bouwdelen, de prestaties van het systeem en bewonersgedrag. Om een indicatie te kunnen geven van de mogelijke energieverbruiken per ventilatietype (en de kosten in de volgende paragraaf) zijn de energieverbruiken doorgerekend volgens de NTA8800 (basismethodiek) voor drie voorbeeldwoningen op basis van de RVO voorbeeldwoningen 2011.

De gebruikte woningtypen zijn: een appartement (portiekwoning 1975-1991 tussenwoning op een tussenverdieping, circa 70m²), een rijwoning (tussenwoning 1975-1991 met 2 verdiepingen, zolder en een schuin dak, circa 100m²) en een vrijstaande woning 1975-1991 (2 verdiepingen, zolder en een schuin dak (150m²). Alle woningen hebben 4,2m² deuroppervlak met een u-waarde van 2,4 en hebben een combiketel (HR107 forfaitair) voor verwarming en warm tapwater.

De energieverbruiken is bepaald voor de woningen die zijn omschreven in tabel vier op basis van de EP 2 – Niet primair indicator in kWh/m² (basismethodiek). De berekeningen zijn uitgevoerd voor het uitgangspunt van een redelijke luchtdichtheid (Qv10 1,5), een goede luchtdichtheid (Qv10 1,0) en zeer goede luchtdichtheid (Qv10 0,4). Uit de berekeningen blijkt dat de business case voor de ventilatiesystemen bij verschillende luchtdichtheden soortgelijk is. Uiteraard is bij hogere luchtdichtheden het totale energieverbruik wel een stuk lager.

Daarnaast zijn de berekeningen zowel uitgevoerd voor forfaitaire waardes per type ventilatiesysteem, als met behulp van kwaliteitsverklaringen per type ventilatiesysteem. In bijlage 1 zijn de scores weergegeven in kWh/m² (primair fossiel energieverbruik). Deze zijn in onderstaande tabellen omgerekend naar energieverbruiken per woningtypen en energiekosten per woningtype.

De volgende kwaliteitsverklaringen zijn gebruikt voor de berekeningen:

- C2: Geen kwaliteitsverklaring
- C4c: Zehnder ComfoFan Silent met $CO^2$-sensoren in woonkamer en hoofdslaapkamer
- D2: Vasco T500 (D2)
- D5a: Itho Daalderop Quattro zone (D5a)
- D5b: Blu Martin freeAir 100
- D5c: Itho Daalderop HRU 400 Optima2 GG en NGG
- E: Climarad Smart+ Solution

De energieprijzen fluctueren behoorlijk op het moment van publiceren. Daarom wordt een prijsrange gehanteerd. Voor de energiekosten is gerekend met een gasprijs van €1,80 per m³ en een elektriciteitsprijs van €0,50 per kWh. Voor het geval de gasprijs structureel op een hoog niveau blijft na 2022 wordt ook gerekend met een bedrag van €2,97 per m³ en €0,67 per kWh elektriciteit (gemiddelde energietarieven op prijspeil augustus 2022).

De berekende energieverbruiken in kWh (EP2 niet-primair) per voorbeeldwoningen zijn in tabel 5 te zien, inclusief kwaliteitsverklaringen. In bijlage 3 wordt deze tabel ook nader uitgesplitst in ventilatorenergie en voor de benodigde ruimteverwarming. In bijlage 4 zijn ook de berekeningen te vinden voor de voorbeeldwoningen met andere luchtdichtheid en berekeningen met forfaitaire waardes. In tabellen 6 en 7 zijn de besparingen op energiekosten te zien voor de verschillende ventilatiesystemen ten opzichte van de referentiesituatie bij gasprijzen van respectievelijk €1,80 per m³ gas en €2,97 per m³ gas.

| Woningtype | GBO | Vloer (Opp;Rc) | Gevel (bruto opp;Rc) | Kozijnen (Opp;Uw-waarde) | Dak (Opp;Rc) | Qv10 | Oriëntatie (voorgevel) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Appartement | 70m² | AVR | 34,5;1,7 | 12,5; 1,40 | AVR | 1,5/1,0/0,4 | Zuid |
| Tussenwoning | 106m² | 51; 3,5 | 40,6; 1,7 | 19,3; 1,40 | 68,6; 3,5 | 1,5/1,0/0,4 | Zuid |
| Vrijstaande woning | 154m² | 95; 3,5 | 144; 1,7 | 34,7; 1,40 | 125,6; 3,5 | 1,5/1,0/0,4 | Zuid |

***Tabel 4:*** *Gegevens voorbeeldwoningen*

***Disclaimer:***
*De berekeningen zijn gemaakt voor fictieve voorbeeldwoningen (weliswaar representatief voor een gemiddelde woning van een dergelijk woningtype) volgens de NTA8800. De cijfers zijn daarmee een benadering van de werkelijkheid en dienen slechts als indicatief te worden beschouwd. De NTA8800 is niet bedoeld voor het maken van dergelijke berekeningen, maar is bedoeld om de energieprestatie van gebouwen met elkaar te kunnen vergelijken. Zo heeft het bewonersgedrag veel invloed op de daadwerkelijke energieprestatie van een woning, maar dit wordt niet meegenomen in de NTA8800. Op het moment van opstellen is er echter nog geen beter alternatief beschikbaar. De berekeningen zijn uitgevoerd met VABI software.*

| Woningtype | C2a* | C4c | D2 | D5a | D5b | D5c | E1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Appartement | 7.728 | 6.493 | 6.243 | 6.216 | 5.561 | 6.727 | 7.061 |
| Tussenwoning | 12.865 | 11.075 | 10.276 | 10.688 | 9.454 | 11.459 | 12.300 |
| Vrijstaande woning | 21.826 | 19.234 | 18.068 | 18.674 | 16.878 | 19.790 | 20.723 |

***Tabel 5:*** *Energieverbruik per voorbeeldwoning in kWh per woning (Eenheid: EP 2 – niet primair). Hierbij is gerekend met een Qv10 van 1,0 en zijn kwaliteitsverklaringen gebruikt.*

**Voor C2a-systemen is gerekend met forfaitaire waardes in plaats van met een kwaliteitsverklaring.*

### Jaarlijkse besparing bij gasprijs €1,80 en elektriciteitsprijs €0,50:

| Woningtype | C2a* | C4c | D2 | D5a | D5b | D5c | E1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Appartement | x | € 344,62 | € 275,88 | € 278,26 | € 485,79 | € 95,41 | € 35,47 |
| Tussenwoning | x | € 505,68 | € 470,76 | € 395,44 | € 745,62 | € 121,53 | € -7,18 |
| Vrijstaande woning | x | € 733,09 | € 684,44 | € 572,94 | € 1.084,85 | € 176,76 | € 19,06 |

***Tabel 6:*** *De energiekostenbesparingen van verschillende ventilatiesysteem ten opzichte van een C2a ventilatiesysteem bij een gasprijs van €1,80 per m³ en een elektriciteitsprijs van €0,25 per kWh. Er is in dit voorbeeld gerekend met woningen met een Qv10 van 1,0. Een E1-systeem in een tussenwoning leveren volgens de berekeningen meerkosten op in plaats van een besparing.*

### Jaarlijkse besparing bij gasprijs €2,97 en elektriciteitsprijs €0,67:

| Woningtype | C2a* | C4c | D2 | D5a | D5b | D5c | E1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Appartement | x | € 509,87 | € 453,66 | € 458,98 | € 758,63 | € 200,83 | € 102,24 |
| Tussenwoning | x | € 745,55 | € 774,69 | € 652,32 | € 1.165,32 | € 266,24 | € 43,34 |
| Vrijstaande woning | x | € 1.080,48 | € 1.126,07 | € 945,04 | € 1.695,61 | € 387,14 | € 122,59 |

***Tabel 7:*** *De energiekostenbesparingen bij een gasprijs van €1,20 per m³ van verschillende ventilatiesysteem ten opzichte van een C2a ventilatiesysteem. Er is in dit voorbeeld gerekend met woningen met een Qv10 van 1,0.*

Bij deze berekeningen zijn een aantal belangrijke kanttekeningen te maken. Een D2-systeem komt zeer positief naar voren ten opzichte van D5a- en D5c-systemen, doordat de gebruikte kwaliteitsverklaring voor een D2-systeem een hoger rendement heeft voor de WTW dan de gebruikte kwaliteitsverklaringen voor de D5a- en D5c-systemen.

De besparing voor een D2-systeem is meer afhankelijk van het rendement dan de vraaggestuurde alternatieven. Bij het gebruik van andere kwaliteitsverklaringen komt het D2-systeem minder positief naar voren. Zonder het gebruik van kwaliteitsverklaringen, is een D2-systeem helemaal een stuk minder energiezuinig dan de andere varianten van ventilatietype D.

Een D5b-systeem is volgens de berekeningen het meest energiezuinig. Voorwaarde hiervoor is wel dat alle leefruimtes voorzien zijn van decentrale WTW-units. Dit is in de praktijk lang niet altijd realistisch, met name niet voor grotere woningen met veel kamers. Een E1-systeem is veelal een logischere variant. Deze variant komt qua energieverbruik minder gunstig uit de berekeningen. Dit komt mede doordat de aannames voor de ventilatiebehoefte in leefruimtes relatief ongunstig zijn voor dit systeem. Daarnaast beschikt de Climarad over een elektrisch verwarmingselement, die (een deel van) de verwarming over neemt van het hoofdsysteem. Gezien het verwarmingssysteem (Hr-ketel) hetzelfde is voor alle berekeningen, is dit ongunstig voor de uitkomst van de berekeningen. Zeker indien compartimenteren de verduurzamingsstrategie is, kan een E1-systeem wel degelijk een goede, energiezuinige oplossing zijn.

De energiebesparing van een C4c systeem is volgens de NTA8800 berekeningen en de gekozen kwaliteitsverklaringen soms hoger dan ventilatiesysteemtype D. Hierbij dient opgemerkt te worden dat ten opzichte van balansventilatie de warmtevraag hoger is, maar dat de kosten voor het elektriciteitsgebruik van het ventilatiesysteem lager zijn. Het totale energieverbruik is hoger voor een C4c systeem dan voor D5b- en D5a-systemen, maar de kosten voor gasverbruik zijn zelfs na stijging van de gasprijs relatief gunstig ten opzichte van elektriciteitsverbruik (bij het huidige prijspeil). Bij een all-electric woning zal de business case dus anders liggen.

Daarnaast zullen de energiekosten van een C4c systeem in hogere mate toenemen bij een intensief gebruikte woning en/of een woning die constant op temperatuur gehouden wordt. Bij lage temperatuurverwarming kan het gunstiger zijn om voor balansventilatie te kiezen.

# Kostenanalyse

**Wat betreft de kosten van ventilatiesystemen is eenvoudiger een indicatie te geven dan voor de energieprestaties van de ventilatiesystemen.**

Op verschillende vergelijkingssites en in verschillende onderzoeken zijn kostenindicaties weergegeven. Wel verschillen de kosten natuurlijk per woningtype, grootte en ventilatiesystemen. Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de kosten volgens verschillende bronnen, en wordt een indicatie gegeven van de kosten voor de weergegeven voorbeeldwoningen uit de vorige paragraaf. De peildatum is maart 2022. Wegens de veelal onvoldoende energie- en gezondheidsprestaties zijn C2a ventilatie-systemen over het algemeen niet gewenst, maar de kosten zijn meegenomen als referentiekader.

**Investeringskosten mechanische afzuiging met winddrukgeregelde ventilatieroosters (systeem C2a):**

| Onafhankelijke partijen | Aanschafkosten (Euro) | Installatiekosten (Euro) | Totaal bij vervanging (Euro) | Opmerking |
|---|---|---|---|---|
| Vereniging Eigen Huis | 400 | | | |
| Regionaal Energieloket | | | 400-600 | |
| Milieu Centraal | 400 | | | |
| Kosten Ventilatie | | | 350 | - Nieuw systeem: v.a. 1.500<br>- Meerkosten: €150 per ventiel in het plafond en €50 per kanaal per verdieping |
| MyGo | 295 | | 430-500 | Nieuw systeem: 1.700-2.100 |
| Ventilatiesysteemabcd | | | | Nieuw systeem: 3.500 |
| Liveos | | | | Nieuw systeem: 3.250 |
| RVO | 300 | | | *Exclusief BTW<br>Vrijstaande egw<br>Nieuw systeem: 1.700-2.600 |
| **Aanbieders** | **Aanschafkosten (Euro)** | **Installatiekosten (Euro)** | **Totaal bij vervanging (Euro)** | **Opmerking** |
| Ventilatieland | 360-610 | 150 | 450-550 | |
| Alpha Ventilatie | | | 420-620 | |

***Tabel 8:*** *Overzicht investeringskosten ventilatiesysteem C2a*

## Conclusie

De aanschafkosten voor mechanische ventilatie inclusief installatie zullen rond de €500 liggen bij vervanging van het huidige centrale ventilatiesysteem (bron: Schone lucht en lagere stookkosten door ventilatie (ewacht.nl). Indien (extra) ventilatieroosters benodigd zijn dan bedragen de kosten hiervoor €100-200 per rooster. De aanschaf van een volledig nieuw ventilatiesysteem begint vanaf €1.500 en kan oplopen tot €3.500. Op basis van de kostenkengetallen van RVO[14] worden de volgende kosten aangehouden voor de berekening van de totale business case (excl. BTW / incl. BTW, afgerond op tientallen). De aanwezigheid van natuurlijke ventilatie (systeem A) wordt als uitgangspunt genomen.

- **Appartement: € 2.070 / 2.510**
- **Rijwoning: € 2.200 / 2.670**
- **Vrijstaande woning: € 2.700 / 3.290**

### Investeringskosten mechanische afzuiging met $CO^2$-sturing en met zonering (systeem C4 algemeen):

| Onafhankelijke partijen | Aanschafkosten (Euro) | Installatiekosten (Euro) | Totaal (Euro) | Opmerking |
|---|---|---|---|---|
| Vereniging Eigen Huis | 400 | | | |
| Regionaal Energieloket | 400-600 | | 4.500 -8.500 | |
| Milieu Centraal | 400 | | | *Vraaggestuurd maken kost €3.000-4.500 |
| Ventilatiesysteemabcd | | | 4.000 | |
| Liveos | | | 3.600-4.200 | Nieuw systeem: 1.700-2.100 |
| Mechanischeventilatie.net | | | 6.000-10.000 | Nieuw systeem: 3.500 |
| vdstoel.nl | | 2.500* | | *Extra investeringskosten ten opzichte van mechanische afzuiging |
| Arcadis (nieuwbouw)[15] | | | 16-31/$m^2$ | Kostenkengetal |
| RVO | 1.300-1.800 | 1.900-2.100 | 3.300-4.000 | *Exclusief BTW<br>Vrijstaande egw Gemiddeld: 3.400 |
| **Groothandels en producenten** | | | | |
| Ventilatieland | 360-610 | | | |
| Solyd | 1.300 | | | |
| Itho Daalderop | 350-600 | | | |
| Duco | 500-700 | | | |

*Tabel 9: Overzicht investeringskosten ventilatiesysteem C4 (algemeen)*

#### Conclusie

De aanschafkosten voor mechanische ventilatie met vraagsturing exclusief installatie zullen rond de €500 liggen voor een wat eenvoudiger vraag-gestuurd systeem, maar voor een woning met meerdere zones zal dit rond de €700-1.500 liggen, met name afhankelijk van de productspecificaties. Indien (extra) ventilatieroosters benodigd zijn dan bedragen de kosten hiervoor €100-200 per rooster. Op basis van de kostenkengetallen van RVO worden de volgende kosten aangehouden voor de berekening van de totale business case (excl. BTW / incl. BTW, afgerond op tientallen):

- **Appartement: € 3.530 / 4.290**
- **Rijwoning: € 3.160 / 3.840**
- **Vrijstaande woning: € 4.850 / 5.900**

De aanwezigheid van natuurlijke ventilatie (systeem A) wordt als uitgangspunt genomen.

### Investeringskosten centrale WTW zonder zonering of $CO^2$-sturing (systeem D2):

| Onafhankelijke partijen | Aanschafkosten (Euro) | Installatiekosten (Euro) | Totaal (Euro) | Opmerking |
|---|---|---|---|---|
| Vereniging Eigen Huis | 600-800 | | | |
| Regionaal Energieloket | | | 4.000-9.000 | Prijs al inclusief vraagsturing |
| Milieu Centraal | 2.500 | 1.000 | 3.500 | Slim maken kost €4.000 |
| Woonwijzerwinkel (over Brink Renovent) | | | 2.500-3.500 | |
| Eigenhuis | 1.000 | | | |
| Arcadis (nieuwbouw)[15] | | | 19-36/$m^2$ | Kostenkengetal |
| RVO | 1.800-2.400 | 1.600-1.700 | 3.400-4.500 | Vrijstaande egw<br>Gemiddeld: 3.700 |
| **Groothandels en producenten** | | | | |
| Wasco | 1.000-2.280 | | | |
| Alpha Ventilatie | 1.500-2.500 | | | |
| Mechanischeventilatie.net | 400-2.500* | 4.500-5.000 | 6.000 | *gemiddeld 1.000-1.500 |
| Ventilatieland | 1.000-2.070 | | | |
| Offerteadviseur | 2.800-4.400 | 2.300-3.600 | 5.000-8.000 | |
| Ventilatiesysteemabcd | | | 5.500-7.000 | |
| Itho Daalderop | 970-1.700 | | | |
| Duco | 1.800-3.300 | | | |

*Tabel 10: Overzicht investeringskosten ventilatiesysteem D2*

#### Conclusie

De aanschafkosten variëren tussen de €900 en €3.300, met name afhankelijk van het maximale debiet en specificaties. De totale kosten schatten variëren behoorlijk tussen de verschillende bronnen. Bij vervanging zijn deze kosten een stuk lager en zullen de installatiekosten rond de €250 liggen. Volgens rapport van de Stroomversnelling zijn de totale vervangingskosten van een WTW unit circa €800-1000 euro[16].De kosten zullen natuurlijk verschillen per type woning, grootte van de woning en praktijk. Op basis van de kosten-kengetallen van RVO worden de volgende kosten aangehouden voor de berekening van de totale business case (excl. BTW / incl. BTW, afgerond op tientallen):

- **Appartement: €3.650 / 4.440**
- **Rijwoning: €3.930 / 4.780**
- **Vrijstaande woning: €4.470 / 5.430**

## Onderzoek centrale WTW met $CO^2$-sturing en zonering (systeem D5a en D5c):

| Onafhankelijke partijen | Aanschafkosten (Euro) | Installatiekosten (Euro) | Totaal (Euro) | Opmerking |
|---|---|---|---|---|
| Regionaal Energieloket | | | 4.000-9.000 | |
| Milieu Centraal | | 4.000 | | |
| Woonwijzerwinkel (over Brink Renovent) | | | 2.500-3.500 | |
| Woonwijzerwinkel (over Itho Daalderop) | 1.500 | | | |
| Arcadis (nieuwbouw) [15] | | | | Kostenkengetal |
| RVO | | | 19-36/m² | Geen gegevens |
| **Groothandels en producenten** | | | | |
| Wasco | 1.500-2.500 | | | |
| Alpha Ventilatie | 1.500-2.500 | | | |
| Mechanischeventilatie.net | 400-2.500 | 4.500-5.000 | 7.000* | Vanaf €7.000 |
| Ventilatieland | 700-2.000 | | | |
| Offerteadviseur | 2.800-4.400 | 2.300-3.600 | 5.000-8.000 | |
| Ventilatiesysteemabcd | | | 5.500-7.000 | |
| Itho Daalderop | 1.500-2.300 | | | |
| Duco | 1.800-3.300 | | | |

***Tabel 11:*** *Overzicht investeringskosten ventilatiesysteem D5 (algemeen, centraal)*

### Conclusie

De aanschafkosten variëren in de meeste gevallen tussen de €1.500 en €3.300. RVO heeft voor deze typen ventilatiesystemen geen totale investeringskosten weergegeven. Op basis van de gemiddelde meerkosten van de andere bronnen ten opzichte van D2 ventilatiesystemen wordt er gerekend met €1.000 meerkosten exclusief BTW. Op basis van deze gegevens zijn de volgende kosten aangehouden (excl. BTW / incl. BTW, afgerond op tientallen):

- **Appartement: €3.730 / 4.540**
- **Rijwoning: €4.020 / 4.890**
- **Vrijstaande woning: €4.550 / 5.530**

## Onderzoek decentrale WTW (systeem D5b en E)

| Onafhankelijke partijen | Aanschafkosten (Euro) | Installatiekosten (Euro) | Totaal (Euro) | Opmerking |
|---|---|---|---|---|
| Mechanischeventilatie.net | 400-1.500 | | | |
| Ventilatiesysteemabcd | 1.000-1.500 | | | |
| Milieu Centraal | | | 2.500-3.500 | |
| Regionaal Energieloket | | | 600-1.750 | |
| RVO | 3.400 | 300-800 | 3.700-4.200 | * decentrale WTW en afzuigunit<br>Vrijstaande egw<br>Gemiddeld: 4.000 |
| **Groothandels en producenten** | | | | |
| Woonwijzerwinkel (over ClimaRad 2.0) | | | V.a. 3.650 | Inclusief verwarmingselement |
| Woonwijzerwinkel (over Brink Air70) | | | 1.500-1.900 | |
| Woonwijzerwinkel (over Fresh-r) | 2.590-2.700 | | 3.050-3.300 | |
| VENTO Expert A50-1 - 3 standen - WIFI - Ø160mm \| FilterFabriek.nl | 690 | | | |

***Tabel 12:*** *Overzicht investeringskosten ventilatiesysteem D5b*

### Conclusie

Decentrale ventilatie met WTW is voornamelijk interessant voor renovaties waarbij het lastig is om nieuwe kanalen aan te leggen voor balans-ventilatie. De installatie neemt enkele uren in beslag waardoor de installatiekosten en overlast voor bewoners beperkt blijft. De aanschafkosten variëren in de meeste gevallen tussen de €1.500 en €3.000, afhankelijk van de specificaties. Op basis van de kostenkengetallen van RVO worden voor systeem E1 de onderstaande kosten aangehouden voor de berekening van de totale business case (excl. BTW / incl. BTW, afgerond op tientallen).

Dit zijn de kosten voor decentrale ventilatie in de woonruimte met WTW en inclusief verwarmings-element. De overige ruimtes hebben mechanische afzuiging. Voor een D5b systeem rekenen we €1.750 per decentrale WTW-unit incl. BTW.

Voor appartementen gebruiken we 2 zones en voor rijwoningen 4 zones. Voor vrijstaande woningen is het lastig om een realistisch scenario weer te geven, dus hier laten we het D5b-systeem achterwege.

**Systeem E:**

- **Appartementen: €3.640 / 4.430**
- **Rijwoningen: €3.870 / 4.700**
- **Vrijstaande woningen: €4.140 / 5.030**

**Systeem D5b**

- **Appartementen: €3.500**
- **Rijwoningen: €7.000**

Hoofdstuk 5

# Overige scenario's die van invloed zijn op de business case

**De weergegeven energieverbruiken en kosten zijn zoals genoemd grove indicaties om aan te kunnen geven welke afwegingen gemaakt kunnen worden bij het beslissen van een ventilatiesysteem. Hierbij is de uitgangssituatie in werkelijkheid per woning erg verschillend, wat ook invloed heeft op de daadwerkelijke kosten en energieverbruiken. Wat WTW-systemen duur maakt ten opzichte van mechanische afzuiging is niet alleen de kostprijs voor de ventilatie box, maar met name ook de kosten voor de aanleg van kanalen. Als het gaat om het vervangen van een ventilatie box zelf dan zijn de kosten beperkt: respectievelijk €150 voor mechanische afzuiging en €250 voor een WTW-unit exclusief de prijs van de ventilatie box zelf. De vervangmomenten zijn daarmee een stuk minder prijzig.**

Het vervangen van het ventilatiesysteem is dan ook een stuk goedkoper als er al een ventilatiesysteem aanwezig is dan bij een woningrenovatie waarbij apart ventilatiekanalen moeten worden aangelegd. Daarom biedt een D5b-systeem of E-systeem (lokale oplossingen per ruimte, zonder of met beperkt kanaalwerk) vaak een praktische uitkomst.

Daarnaast speelt het **gedrag** een grote rol in het energieverbruik. Zo zal bij gezinnen waarbij langdurig meerdere mensen in huis zijn, zal de ventilatiebehoefte een stuk groter zijn dan bij een eenpersoonshuishouden, waarbij zelden iemand thuis is. Dit zegt echter nog niet per se iets over de daadwerkelijke luchtverversing. Met name de omgang met spuivoorzieningen en bediening van het ventilatiesysteem heeft veel impact op het energieverbruik en de daadwerkelijke luchtverversing. Bij woningcorporaties worden regelmatig energiecoaches ingeschakeld om hun bewoners te helpen het ventilatiesysteem zo goed mogelijk te gebruiken. Hierbij geldt dat ventilatiesystemen met automatische $CO^2$ sensoren het beste scoren in het voorkomen van $CO^2$ overschrijdingen[10] én het meest energiezuinig zijn (vergeleken met 'gezond gebruik' van systemen zonder sensor).

Een afweging die van belang is, is de **luchtdichtheid** van de woning. Voor een energiezuinige woning is het zeer van belang dat er zo min mogelijk luchtlekken in de woning aanwezig zijn. De berekeningen van het energieverbruik laten dit ook zien. In het bijzonder is het bij goed geïsoleerde woningen zonde om warmte te verliezen via luchtlekken. Een goed geïsoleerde woning kan een extra argument zijn om voor een ventilatiesysteem met WTW te kiezen. Daaraan rakend is een afweging of de woning op **hoge** of op **lage** temperatuur moet worden verwarmd. Bij lage temperatuurverwarming is vaak een WTW-systeem gewenst om (koude) tocht te voorkomen en indien met een warmtepomp verwarmd wordt om het piekverbruik te beperken.

Bij lage temperatuurverwarming moet de woning altijd goed geïsoleerd zijn en een hoge luchtdichtheid hebben. Dit wordt bij het verduurzamen van bestaande woningen nog weleens over het hoofd gezien.

In dit kennisdossier is puur gekeken naar ventilatie, maar indien ook de verwarmingsinstallatie aangepast wordt, is het een overweging om voor een ventilatiewarmtepomp te kiezen in combinatie met mechanische afzuiging. Bij een ventilatiewarmtepomp wordt de warmte uit de afzuiglucht gebruikt als warmtebron voor een lucht-water warmtepomp. De warmtepomp recupereert de warmte uit de afgevoerde ventilatielucht en gebruikt deze voor warm water en/of ruimteverwarming.

Hoofdstuk 6

# Conclusie business case van verschillende ventilatiesysteemtypen

**Binnen de huidige kaders voor het verduurzamen van de bestaande woningbouw is de businesscase van verduurzamingsmaatregelen relevant voor beleidsmakers, bewoners en woningeigenaren.**

Goede ventilatievoorzieningen zijn een gezondheidsvoorwaarde en kennen in die zin geen terugverdientijd. Goede ventilatie zou als eis aan bestaande woningen moeten worden gesteld, net zoals de standaard en streefwaarden.
Toch geeft het weergeven van de indicatieve terugverdientijden een inzicht in de energiekosten en benodigde investeringskosten om onze woningen op gezonde wijze te ventileren.
In onderstaande tabel 13 wordt een overzicht gegeven van de investeringskosten en jaarlijkse energiebesparingen per ventilatiesysteem op basis van de uitgangspunten zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven bij een gasprijs van € 2,79 per m$^3$ en elektriciteitsprijs van €0,67 per kWh.

Een zelfstandig moment (ZM) zijn de kosten indien er nog geen bestaand ventilatiesysteem en/of kanalen aanwezig zijn. De meerkosten zijn de extra kosten ten opzichte van de aanleg van een "standaard" mechanisch ventilatiesysteem (C2), dat als uitgangspunt is genomen voor het bepalen van de business case.

| | Indicatieve investeringskosten (€) | | Indicatieve jaarlijkse energiebesparing (€) | ETVT ZM | ETVT meerkosten |
|---|---|---|---|---|---|
| **Appartement** | **ZM** | **Meerkosten** | | | |
| **C2** | 2.510 | - | - | - | - |
| **C4c** | 4.290 | 1.780 | € 509,87 | 8,4 | 3,5 |
| **D2** | 4.440 | 1.930 | € 453,66 | 9,8 | 4,3 |
| **D5a** | 4.540 | 2.030 | € 458,98 | 9,9 | 4,4 |
| **D5b** | 3.500 | 990 | € 758,63 | 4,6 | 1,3 |
| **D5c** | 4.540 | 2.030 | € 200,83 | 22,6 | 10,1 |
| **E1** | 4.430 | 1.920 | € 102,24 | 43,3 | 18,8 |

***Tabel 13:*** *Totaaloverzicht indicatieve business case van verschillende typen ventilatiesystemen*

| | Indicatieve investeringskosten (€) | | Indicatieve jaarlijkse energiebesparing (€) | ETVT ZM | ETVT meerkosten |
|---|---|---|---|---|---|
| **Rijwoning** | **ZM** | **Meerkosten** | | | |
| **C2** | 2.670 | - | - | - | - |
| **C4c** | 3.840 | 1.170 | € 745,55 | 5,2 | 1,6 |
| **D2** | 4.780 | 2.110 | € 774,69 | 6,2 | 2,7 |
| **D5a** | 4.890 | 2.220 | € 652,32 | 7,5 | 3,4 |
| **D5b** | 7.000 | 4.330 | € 1.165,32 | 6,0 | 3,7 |
| **D5c** | 4.890 | 2.220 | € 266,24 | 18,4 | 8,3 |
| **E1** | 4.700 | 2.030 | € 43,34 | Niet voor einde levensduur | Niet voor einde levensduur |
| **Vrijstaande woning** | **ZM** | **Meerkosten** | | | |
| **C2** | 3.290 | - | - | - | - |
| **C4c** | 5.900 | 2.610 | € 1.080,48 | 5,5 | 2,4 |
| **D2** | 5.430 | 2.140 | € 1.126,07 | 4,8 | 1,9 |
| **D5a** | 5.530 | 2.240 | € 945,04 | 5,9 | 2,4 |
| **D5b** | X | X | € 1.695,61 | X | X |
| **D5c** | 5.530 | 2.240 | € 387,14 | 14,3 | 5,8 |
| **E1** | 5.030 | 1.740 | € 122,59 | Niet voor einde levensduur | Niet voor einde levensduur |

***vervolg van Tabel 13:*** *Totaaloverzicht indicatieve business case van verschillende typen ventilatiesystemen*

Over de gehele levensduur van ventilatiesystemen verdient een duurder, energiezuinig ventilatiesysteem zich in veel gevallen terug op de energierekening ten opzichte van conventionele ventilatiesystemen. Voor appartementen (met een lager energieverbruik) verdiende een energiezuinig ventilatiesysteem zich echter lang niet altijd terug binnen de levensduur. Met de huidige energieprijzen is dit echter wel het geval. Voor rijwoningen en vrijstaande woningen (met een hoger energieverbruik) is een energiezuinig ventilatiesysteem veelal een rendabele investering bovenop het gezondheidsaspect. Voor vrijstaande woningen kan de aanleg van een ventilatiesysteem echter een stuk duurder zijn, waardoor de terugverdientijd soms minder positief is als voor rijwoningen. Voor alle ventilatiesystemen en woningtypes geldt dat er significante energiebesparingen mogelijk zijn door de luchtdichtheid te verbeteren.

Naast een energiebesparing zorgen deze ventilatiesystemen eveneens voor een significant beter binnenklimaat en comfortbeleving. In het geval dat een lage temperatuur warmtepomp wordt overwogen is het helemaal raadzaam om voor een energiezuinig ventilatiesysteem te kiezen.

Er is niet een bepaald ventilatiesysteemtype dat als meest rendabel naar voren komt voor alle drie de type woningen. Per woningtype komt een ander ventilatiesysteemtype het meest rendabel naar voren. De doorgerekende ventilatiesystemen zijn dus allen in potentie goede oplossingen en afhankelijk van de uitgangssituatie en de bewonerswensen kan een afweging worden gemaakt uit de genoemde ventilatiesysteemtypes. In het volgende hoofdstuk over innovaties, komt aan bod dat Itho Daalderop en Brink Climate Systems balansventilatiesystemen met centrale toevoer op de markt hebben gebracht. Hierdoor hoeven geen toevoerkanalen aangebracht te worden. Dit scheelt in de kosten voor het systeem. Er zijn op dit moment onvoldoende gegevens beschikbaar om ook hiervoor de business case te berekenen.

### Vergelijking met bevindingen van andere onderzoeken

In vergelijking met eerdere onderzoeken zijn de huidige energieprijzen enorm gestegen. We hebben de bovenstaande bevindingen daarom ook doorgerekend met de oude energiekosten om een vergelijking te kunnen maken of er qua kosten en energieverbruiken vergelijkbare resultaten uit deze onderzoeken komen.

Uit TKI-project Renotrans[17], waarin drie renovatiepakketten zijn vergeleken (beperkte isolatie, goede isolatie en zeer goede isolatie), blijkt dat de terugverdientijd van een renovatiepakket met goede isolatie en ventilatie met WTW een betere terugverdientijd heeft dan een maatregelenpakket met zeer goede isolatie zonder WTW. Het maatregelenpakket met beperkte isolatie of goede isolatie zonder WTW lijkt niet geschikt te zijn voor lage temperatuurverwarming. Het C4c systeem is niet meegenomen in dit onderzoek.
De Universiteit Gent heeft de business case onderzocht van een C4c systeem (hier C+ systeem genoemd) en vergeleken met een WTW-systeem zonder vraagsturing[18]. Uit dit onderzoek blijkt dat de totale kostprijs na 15 jaar gebruik van een C4c systeem een stuk lager is dan een WTW-systeem zonder vraagsturing , namelijk circa €12k in plaats van circa €18k (met Belgische energieprijzen uit 2015/16). Niet alleen de aanschaf en installatiekosten zijn volgens dit onderzoek 30% duurder voor het WTW-systeem, maar ook de onderhoudskosten zijn duurder volgens dit onderzoek.

| Terugverdientijd (In jaren) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Maatregelpakketten:** | **Beperkte isolatie** | | **Goede isolatie** | | **Zeer goede isolatie** | |
| **Woningtype** | zonder WTW | met WTW | zonder WTW | met WTW | zonder WTW | met WTW |
| Tussenwoning 1920 | 9 | 14 | 7 | 11 | 20 | 23 |
| Tussenwoning 1931 | 10 | 14 | 7 | 10 | 23 | 23 |
| Vrijstaande woning 1890 | 6 | 8 | 5 | 6 | 15 | 16 |
| Vrijstaande woning 1935 | 9 | 10 | 7 | 8 | 23 | 22 |

***Figuur 5:*** *Overzicht Renotrans van maatregelenpakketten met ventilatiesysteem met WTW en zonder ventilatiesysteem met WTW.*

Uit het eerdergenoemde TKI-project Bewustwording van binnenluchtkwaliteit in woningen: Be Aware blijkt dat bij zeer luchtdichte woningen het warmteverlies door ventilatie bij een WTW-systeem een stuk lager is dan bij een C-systeem. Het warmteverlies in kWh/dag in het stookseizoen bij toepassing van ventilatiesystemen C en D bij verschillende luchtdichtheden (qv,10) is te zien in onderstaande tabel. Het ingeschatte elektriciteitsverbruik van WTW-systemen is wel een stuk hoger (circa 50W) dan van C-systemen (circa 20W), maar het daadwerkelijke energieverbruik is sterk van de situatie afhankelijk.

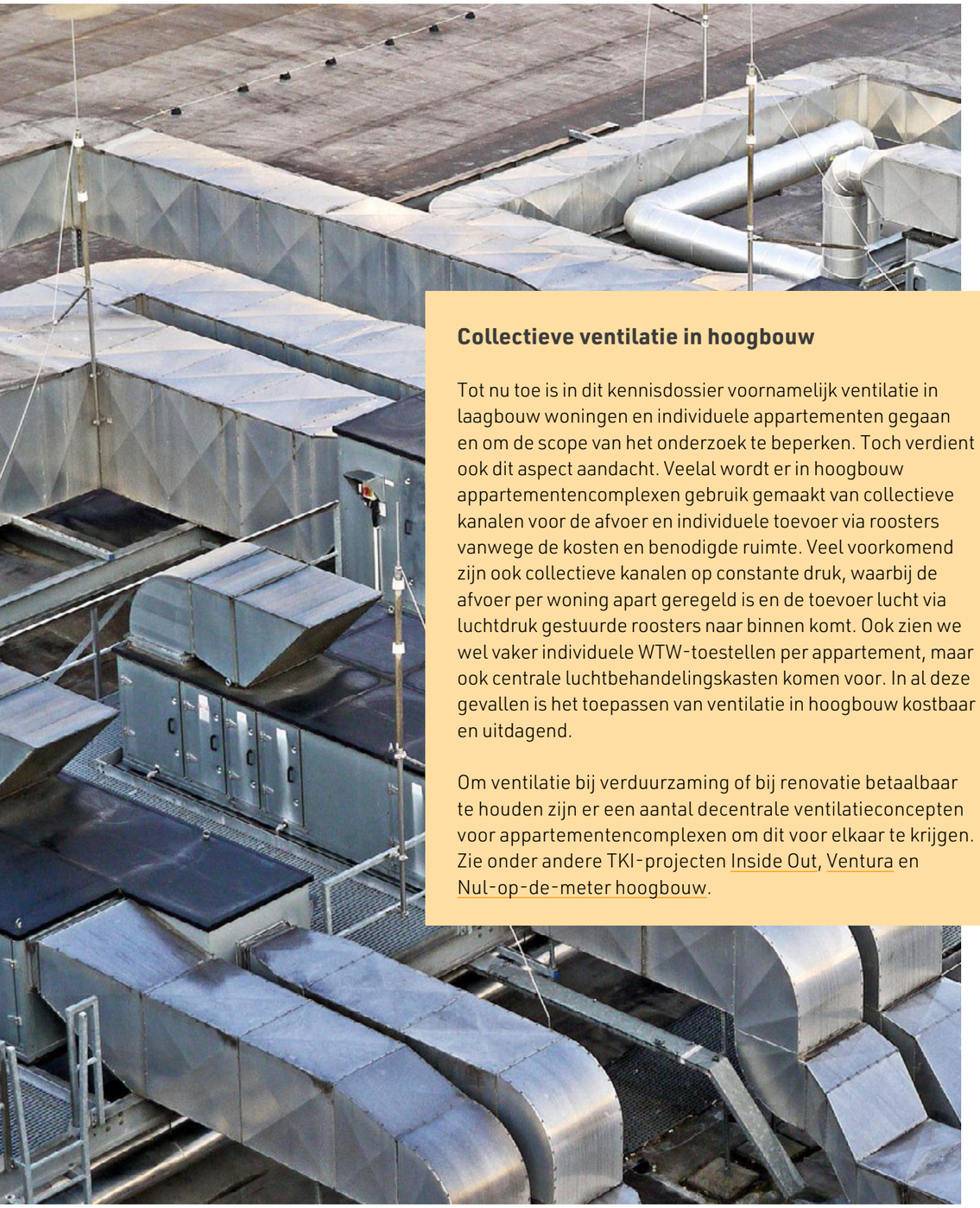
| Qv10 | 20 | 80 | 150 | 236 |
|---|---|---|---|---|
| **C** | 2,8 | 3,2 | 5,5 | 8,2 |
| **C met kookafzuiging** | 3,0 | 3,4 | 5,7 | 8,4 |
| **D** | 0,8 | 2,7 | 4,9 | 7,6 |
| **D met kookafzuiging** | 0,4 | 3,7 | 4,5 | 7,1 |

***Tabel 14:*** *Warmteverlies (kWh/dag) bij verschillende luchtdichtheden volgens TKI-project Be Aware*

Het ECN (2012)[19] vergelijkt de meer-/minder verbruiken van mechanische afzuiging (niet vraaggestuurd) en ventilatie met WTW ten opzichte van natuurlijke ventilatie voor vergelijkbare woningen betreft bouwjaar, isolatieniveau en kierdichtheid. Voor zowel mechanische afzuiging als balansventilatie met WTW geldt dat het elektriciteitsverbruik stijgt ten opzichte van natuurlijke ventilatie. Voor eengezinswoningen het gemiddelde meerverbruik voor elektriciteit respectievelijk 3,3 en 6,0 kWh/m$^2$ voor mechanische afzuiging en balansventilatie met WTW. Voor meergezinswoningen betreft dit respectievelijk 4,7 en 6,0 kWh/m$^2$. Daartegenover is het gasverbruik lager voor beide type ventilatiesystemen ten opzichte van natuurlijke ventilatie. Voor eengezinswoningen het gemiddelde minderverbruik voor gas respectievelijk 1,0 en 2,2 m$^3$/m$^2$ voor mechanische afzuiging en balansventilatie met WTW. Voor meergezinswoningen betreft dit respectievelijk 0,3 en 2,6 m$^3$/m$^2$. Daarmee is energiebesparing van ventilatiesystemen met WTW een stuk hoger bij meergezinswoningen[19]. Het gaat hierbij wel om woningen met beperkte mate van isolatie en luchtdichtheid. Daarnaast moet opgemerkt worden dat dit onderzoek verouderd is, met name door innovatie van kanaalwerk en ventielen in de tussenliggende jaren zowel C- als D-systemen.

Volgens Vereniging Eigen Huis bespaart het toepassen van een ventilatiesysteem met warmteterugwinning zo'n 250 m$^3$ gas per jaar[20]. Brink Climate Systems heeft een nieuw ventilatieconcept met WTW, maar zonder toevoerkanalen. Zij geven aan dat ze met hun ventilatieconcept circa 400 m$^3$ gas per jaar besparen in een gemiddelde woning met een ventilatiedebiet van 160 m$^3$/u[21]. Een besparing van 250 tot 400 m$^3$ gas per jaar komt overeen met een besparing op de energierekening van zo'n €697,50 tot €1.116,- per jaar bij een gasprijs van €2,79 (meerverbruik voor elektriciteit niet meegerekend).

De genoemde onderzoeken gaan minder diep in op de kosten en baten van verschillende ventilatiesysteemtypes. Wat betreft de energiebesparingen komen de bevindingen uit deze onderzoeken op hoofdlijnen overeen. Door veranderende kosten van de ventilatiesystemen en de energieprijzen, zijn de business cases in de onderzoeken slecht vergelijkbaar.



### Collectieve ventilatie in hoogbouw

Tot nu toe is in dit kennisdossier voornamelijk ventilatie in laagbouw woningen en individuele appartementen gegaan en om de scope van het onderzoek te beperken. Toch verdient ook dit aspect aandacht. Veelal wordt er in hoogbouw appartementencomplexen gebruik gemaakt van collectieve kanalen voor de afvoer en individuele toevoer via roosters vanwege de kosten en benodigde ruimte. Veel voorkomend zijn ook collectieve kanalen op constante druk, waarbij de afvoer per woning apart geregeld is en de toevoer lucht via luchtdruk gestuurde roosters naar binnen komt. Ook zien we wel vaker individuele WTW-toestellen per appartement, maar ook centrale luchtbehandelingskasten komen voor. In al deze gevallen is het toepassen van ventilatie in hoogbouw kostbaar en uitdagend.

Om ventilatie bij verduurzaming of bij renovatie betaalbaar te houden zijn er een aantal decentrale ventilatieconcepten voor appartementencomplexen om dit voor elkaar te krijgen. Zie onder andere TKI-projecten Inside Out, Ventura en Nul-op-de-meter hoogbouw.

Hoofdstuk 7

# Welke innovaties zijn er of komen er op de markt?

Er zijn al een aantal belangrijke innovaties aan bod gekomen in dit kennisdossier die niet meer aan bod komen, zoals:

- Multi-zonering in combinatie met vraagsturing
- WTW units met modulerende bypass
- Ventilatieconcepten voor hoogbouw
- Kookafzuiging (met WTW)

Er zijn echter ook nog een aantal innovaties die nog niet aan bod zijn gekomen.

### Integrale ventilatieconcepten

Het toepassen van ventilatie staat nooit op zichzelf. De keuze voor een goed passend ventilatiesysteem hangt o.a. af van de mate van isolatie, luchtdichtheid, verwarmingssysteem, woningkenmerken en het gebruik. We zien daarom ook steeds meer systemen die behalve ventilatie ook andere functionaliteiten hebben.

Janssen de Jong Bouw heeft een soortgelijk renovatieconcept ontwikkeld binnen TKI project BESTE Renovatieconcept, maar dan zijn prefabriceerde luchtkanalen verwerkt in de gevelelementen. Zie BESTE Renovatieconcept - Topsector Energie. Zij gebruiken dit concept binnen hun totale renovatieconcept RenovatiePlus.

### Integratie van ventilatiesystemen in andere bouwdelen

Bij na-isolatie is goede ventilatie zeer belangrijk. Een mooi voorbeeld van een integraal concept is de terugwingevel van Rc Panels, zie ook: https://www.youtube.com/watch?v=iBy2EpUcIj4

De terugwingevel is een prefab gevel met een Rc-waarde van 7,0 met daarin een (decentrale) WTW unit. Daarmee worden overlast en installatiekosten vermeden en is een energiezuinig én gezond binnenklimaat gegarandeerd.

Binnen TKI-project Comfortable Climate Concepts zijn "alleen" de ventilatiekanalen van de WTW unit geïntegreerd in het prefab dakelement, zie Comfortable Climate Concepts - Topsector Energie.

**Verwarming, koeling en ventilatie in één**

We zien ook steeds meer concepten die verwarming, koeling en ventilatie samenbrengen. Bijvoorbeeld de iCEM energiemodule van Factory Zero (Factory Zero - iCEM energiemodule - YouTube), deze combineert een warmtepomp voor ruimteverwarming en warm water met balansventilatie met WTW, inclusief display. Er kunnen diverse opties aan toegevoegd worden, zoals integratie met zonne-energie, koeling, $CO^2$-metingen in slaapkamers, etc.

Een ander voorbeeld zijn de producten van Climarad, die al een tijdje op de markt actief zijn (ClimaRad instructievideo - bediening en werking - YouTube). Climarad combineert decentrale ventilatie met WTW met een elektrische radiator. De Decentrale Unit (DCU) van Tegnis is een soortgelijk systeem, maar de DCU is ook verkrijgbaar in combinatie met een micro warmtepomp of waterzijdige aansluiting, zie ook DCU – Tegnis.

**Centrale ventilatie zonder toevoerkanalen**

Het grote nadeel van centrale WTW systemen bij renovatie is dat het aanleggen van kanalen lastig en kostbaar is. Het aanleggen van toevoerkanalen is ingrijpend en veroorzaakt overlast voor de bewoner. Daarnaast is het belangrijk dat er zo min mogelijk bochten zitten in de ventilatiekanalen wat nog meer praktische uitdagingen teweeg brengt. Dit alles maakt het plaatsen van een WTW unit prijzig, ondanks dat de aanschafprijs van WTW units te overzien valt. Brink heeft hiervoor een oplossing met een centrale WTW unit, zonder toevoerkanalen. De toevoerlucht van de WTW unit wordt de woning ingebracht via de open trapkolom en wordt door de woning verspreid met behulp van mengventilatoren. De verse lucht kan zich door alle kamers verspreiden via de deurspleten onder de binnendeuren. De mengventilatoren zorgen dat vervuilde lucht weer wordt afgevoerd en zijn $CO^2$-gestuurd.

Ook Itho Daalderop heeft met hun QualityFlow concept een oplossing waardoor de aanleg van toevoerkanalen beperkt is en afzuiging per vertrek vraaggestuurd is. Ook hierbij wordt de toevoerlucht ingebracht in de hal of overloop en vanaf hier getransporteerd naar de afzonderlijke vertrekken. De afzonderlijke verblijfsruimte worden in dit concept voorzien van vraaggestuurde afzuiging.

In een TKI project onder leiding van penvoerder BAM Wonen wordt eveneens gewerkt aan twee ventilatieconcepten met minder kanalen die een kostenreductie van 10-30% moeten realiseren.

**Innovaties op het gebied van bronafzuiging**

Voor het realiseren van gezonde woningen is het belangrijk om verontreinigingen goed af te zuigen. De voornaamste verontreinigingen vinden plaats in natte ruimtes en in keuken. Zoals eerder beschreven zijn in het project Ventkook testen gedaan met recirculatiekappen en afzuigkappen met WTW voor in de keuken.

Daarnaast zijn vochtige badkamers eveneens vaak een bron voor bacteriën en schimmels, omdat het hier vaak langdurig vochtig blijft. Douchecabines met WTW besparen niet alleen energie voor warm water, maar bieden ook zekerheid dat de vochtige lucht in badkamers voldoende afgezogen wordt.

Een voorbeeld van een dergelijke douchecabines is MEED, maar er zijn inmiddels meerdere douches met WTW op de markt (zie Aardgasloos levensloop bestendig en Vitaal Douchen - Topsector Energie  en Aardgasloos levensloop bestendig en Vitaal Douchen - Topsector Energie

**Ventilatiewarmtepompen**

Ventilatiewarmtepompen zelf vallen buiten de scope van dit kennisdossier, maar is in het kader van innovatie toch noemenswaardig. Er zijn steeds meer partijen die warmtepompen aanbieden die warmte uit de afgevoerde lucht halen als warmtebron. Een aantal voorbeelden zijn:

- Ventilatiewarmtepomp | Nefit Bosch (nefit-bosch.nl)
- DucoBox Eco
- Itho Daalderop - HP-M 25 i; de 'geen-gedoe' warmtepomp voor elk type woning
- Ventilatielucht/water warmtepompen - NIBE
- Inventum Modul-AIR ventilatiewarmtepomp - Inventum.com
- Inventum Spaarpomp ventilatiewarmtepomp- Inventum.com
- Eneco WarmteWinner® | Eneco
- LWZ Trend: 3-in-1 STIEBEL ELTRON ventilatiesysteem D met warmtepomp STIEBEL ELTRON Persbericht (stiebel-eltron.nl)

Hoofdstuk 8

# Afwegingen - voor welk ventilatiesysteem zou je moeten kiezen?

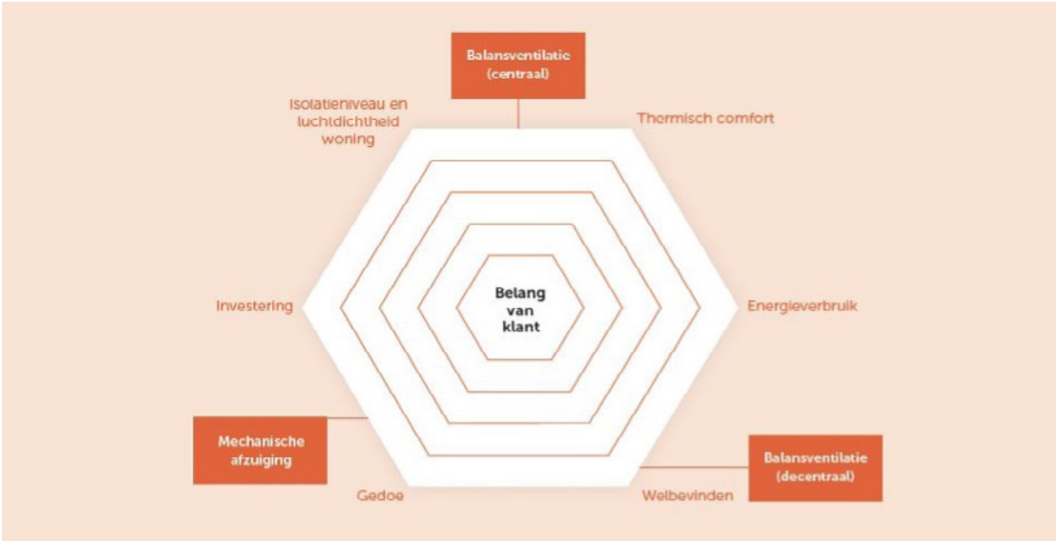
**In dit kennisdossier is gekeken naar de kosten en energieverbruiken van verschillende ventilatiesystemen. Op basis hiervan is een business case bepaald. We denken dat het nuttig is om deze kosten-/batenanalyse te geven, maar eigenlijk is dit vreemd te noemen. Een ventilatiesysteem is een basisvoorziening net zoals een keuken of badkamer dit is. Bij een nieuwe keuken of badkamer doen mensen een aankoop op basis van een heel ander perspectief.**

De aanschaf van een ventilatiesysteem in een bestaande situatie is kostbaar, maar tegelijkertijd is een nieuwe badkamer of keuken veel duurder. Dit heeft natuurlijk te maken met de zichtbaarheid en het dagelijkse gebruik van deze voorzieningen, maar ook voor ventilatie zou het de norm moeten zijn dat alle bestaande woningen voldoende geventileerd worden. Een hulpmiddel om te controleren dat of een woning voldoende geventileerd wordt is het Programma van Eisen voor woningventilatie dat Adeas heeft opgesteld. In het PvE wordt onderscheid gemaakt tussen Bouwbesluit-kwaliteit en aanvullende Aedes-kwaliteit.

Er zijn niet voor niets verschillende type ventilatiesystemen op de markt om deze kwaliteit voor elkaar te krijgen. Elk type systeem heeft haar eigen voordelen en toepassingsgebieden.

In dit afwegingskader worden de bewonersvoorkeuren en -wensen, huidige woonsituatie en ventilatie, de (gekozen) verduurzamingsstrategie & ambitieniveau, en het woningtype meegenomen.

**Wat vind je belangrijk?**
Zoals tabel 2 laat zien, hebben alle ventilatiesystemen verschillende eigenschappen, waaraan de bewoner waarde kan hechten. Welke van deze eigenschappen doorslaggevend zijn, is erg afhankelijk van de bewonersvoorkeuren. In de routekaart ventilatie en luchtdichtheid is het onderstaande afwegingskader opgenomen. Dit afwegingskader kan een bewoner helpen om te duiden welke eigenschappen belangrijk voor hem zijn en welk ventilatiesysteem het beste bij de bewonerswensen past.



### Huidige situatie van de woning

De huidige staat en voorzieningen van bestaande woningen kan ook een afweging zijn bij het kiezen voor een bepaald ventilatiesysteem. Hierbij valt te denken aan bestaande ventilatievoorzieningen, het aantal woonruimtes en hoe vaak iemand thuis is. Onderstaand een aantal voorbeelden van woonsituaties die invloed kunnen hebben op de keuze voor een ventilatiesysteem.

| Huidige woonsituatie | Logische oplossing |
|---|---|
| Natuurlijke ventilatie | Neigt meer naar een WTW-systeem |
| Bestaande mechanische afzuiging | Eventueel uitbreiden en vraaggestuurd maken |
| Bestaande ventilatieroosters | Roosters vraaggestuurd maken (winddruk of zelfs elektronisch geregeld) |
| Bestaande ventilatiekanalen | Situatie afhankelijk |
| Roosters plaatsen lastig/niet wenselijk | WTW-systeem |
| Beschikbare ruimte voor een ventilatiesysteem | Situatie afhankelijk |
| Weinig leefruimtes (kamers) | Decentrale WTW of indien al een C-systeem aanwezig vraaggestuurd maken |
| Veel leefruimtes (kamers) | Centrale WTW |
| Vaak iemand thuis aanwezig | WTW-systeem |
| Veelal niemand aanwezig | Decentrale WTW of Vraaggestuurde mechanische afzuiging |
| Wonend in een gebied met veel vervuiling (bijvoorbeeld binnenstad of aan een drukke weg) | Centrale WTW |

### Verduurzamingsstrategie & ambitieniveau

Een deel van de mensen zal het minimale verduurzamingsniveau prima vinden. Dat wil zeggen dat ze zich aan de wettelijke vereisten zullen voldoen en daarbij de meest economische oplossing voor proberen te zoeken. Daarbij is de verwachting dat de slechte energielabels uit gefaseerd worden en dat alle woningen minimaal aan de Standaard moeten voldoen. Dit is te behalen door alle bouwdelen te voorzien van de standaard isolatiewaardes en voldoende kierdichting. Samen met vraaggestuurde mechanische afzuiging wordt de Standaard gehaald. Bij goed geïsoleerde woningen of na verduurzaming van woningen is mechanische ventilatie zonder vraagsturing echt achterhaald, vanwege energieverliezen, gezondheid en comfort. Een C4c systeem is hierbij vaak een relatief goedkope oplossing om toe te passen van de onderzochte ventilatiesystemen. Mits goede uitvoering van vraagsturing - per vertrek en bij voorkeur ook gestuurd op vocht in natte ruimtes, is dit ook een energiezuinige oplossing.

Compartimenteren kan een strategie zijn om woningen op goedkopere wijze energiezuinig te maken. Bij compartimenteren worden de woonkamer en vaak ook de keuken goed geïsoleerd en weinig gebruikte woonruimten worden niet of minder goed geïsoleerd. Slaapkamers kan je bijvoorbeeld koeler houden dan een woonkamer. Als dit de strategie is dan zijn een decentraal WTW-systeem en vraaggestuurde mechanische afzuiging de meest waarschijnlijke opties.

Als de ambitie is om op lage temperatuur te verwarmen of zelfs naar een Nul-Op- de-Meter (NOM) woning te gaan dan is een ventilatiesysteem met WTW een goede optie voor optimaal comfort en zo min mogelijk energieverlies. Vraaggestuurde mechanische afzuiging is ook een optie, maar dit kan tot verminderd comfort leiden en mogelijk tot meer vermogen van de warmtebron. In het geval dat een warmtepomp wordt toegepast kan dit leiden tot meerkosten voor een warmtepomp met een hoger vermogen.

Als de woning op de nominatie staat om van het gas af gehaald te worden in een wijkaanpak zijn verschillende opties mogelijk, met name afhankelijk van of er een HT-, MT- LT- of all-electric oplossing van toepassing is

| Verduurzamingsstrategie en ambitieniveau | Logische optie |
|---|---|
| Minimaal verduurzamen - Voldoen aan toekomstige wettelijke verplichtingen | Vraaggestuurde mechanische afzuiging |
| Compartimenteren | Decentrale WTW of vraaggestuurde mechanische afzuiging |
| (Z)LT-verwarming | WTW-systeem |
| NOM of beter | WTW-systeem |
| Aanpassen op warmtebron (bijvoorbeeld stadswarmte of blokverwarming) | Afhankelijk van aanvoertemperatuur |

### Woningtype

Zoals de business case in de vorige paragraaf liet zien, zijn er significante verschillen in kosten en energieverbruiken per ventilatiesysteem voor verschillende woningtypen.

Een ventilatiesysteem (type D5a of D5c) is over het algemeen wat duurder dan een C4c systeem en zal zichzelf niet altijd terugverdienen voor einde levensduur in een klein appartement. Bij (vrijstaande) woningen met een hoog energieverbruik en bij lage temperatuurverwarming, kan de business case voor een D-systeem positiever zijn. De energiebesparing is groter, maar de meerkosten ten opzichte van een klein appartement zijn te overzien. Daarnaast heeft een D-systeem een aantal nevenvoordelen, zoals de

mogelijke luchtfiltering en passieve koeling. Een D5a systeem is de meest energiezuinige variant, maar voor appartementen kan ook D5c uitkomst bieden.

In energiezuinige (hoogbouw) appartementen, kleine woningen of indien alleen woonruimte (extra) ventilatie behoeft, zijn ventilatiesystemen met decentrale warmteterugwinning (D5b-systemen) vaak de beste oplossing. Ook in het geval van integrale verduurzaming (i.c.m. vervangen kozijnen of een nieuwe gevel) kan decentrale ventilatie vaak geïntegreerd worden. In de berekeningen van dit kennisdossier komt dit ventilatiesysteem als meest rendabel naar voren na een C4c systeem. Daarbij is wel de voorwaarde dat dit systeem ook praktisch toepasbaar is. Als verschillende woonruimtes voorzien moeten worden van een decentrale WTW-unit dan zullen de kosten een stuk hoger zijn dan voor een systeem met centrale warmteterugwinning.

| Woningtype | Logische optie |
|---|---|
| Appartement (hoogbouw) | Centraal collectief WTW systeem of Decentrale WTW |
| Appartement (laagbouw) | Decentrale WTW of Vraaggestuurde mechanische afzuiging |
| Rijwoning | Alle opties, voornamelijk afhankelijk van bewonervoorkeuren |
| Vrijstaande Woning | Vraaggestuurde Mechanische afzuiging, centrale WTW unit of een hybride systeem |

Tot slot, mocht je (mede) naar aanleiding van dit kennisdossier beslissen om je woning van ventilatie (in combinatie met naad- en kierdichting) te voorzien, dan kan je onder andere bij onderstaande leveranciers om hulp vragen. Zij geven over het algemeen ook aan bij welke installateur je zou kunnen zijn voor uitvoering.

| C4c | D5a / D5c | D5b/E |
|---|---|---|
| Duco | Duco | Fresh-r |
| Vasco | Brink | Climarad |
| Itho Daalderop | Vasco | Brink |
| Orcon | Itho Daalderop | Vasco |
| Soler & Palau | Orcon | |
| Zehnder | Vent-Axia | |
| Renson | Zehnder | |
| | Soler & Palau | |
| | Renson | |

Als er nog gegevens missen en/of toevoegingen zijn, laat dit dan weten via de contactgegevens aan het einde van dit kennisdossier. **De datum van de laatste wijziging is: september 2022.**

Hoofdstuk 9

# Vervolgstappen

Naast het opstellen van dit kennisdossier heeft TKI Urban Energy de routekaart ventilatie en luchtdichtheid gepubliceerd. In deze routekaart wordt een stappenplan gegeven waarmee bewoners/eigenaars geholpen worden met het maken van een ventilatiesysteemkeuze en het gebruik van het huidige en eventueel nieuwe ventilatiesysteem voor een gezond en energiezuinig binnenklimaat. De routekaart ventilatie en luchtdichtheid richt zich in eerste instantie op professionals die particulieren helpen verduurzamen.

Bij het opstellen van dit kennisdossier is geconcludeerd dat er nog te weinig aandacht geschonken wordt aan kierdichting en ventilatie in de bewonersreis die woningeigenaren maken om hun woning te verduurzamen. We steunen daarom diverse initiatieven, voorbeelden en onderzoeken die zich hierop richten.

Heb je hier ideeën over? Laat het vooral weten via: **orin@tki-urbanenergy.nl.**

# Bijlagen

## Bijlage 1: Energieverbruiken in kWh/m² primair fossiel energieverbruik

### Bij een $q_{v10}$ van 0,4 zonder kwaliteitsverklaringen

| Woningtype | C2a | C4c | D2 | D5a | D5b | D5c |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Appartement | 119,1 | 102,7 | 137,6 | 101,5 | 101,2 | 106,7 |
| Tussenwoning | 131,9 | 116,0 | 149,4 | 114,5 | 114,2 | 119,5 |
| Vrijstaande woning | 122,5 | 107,3 | 140,6 | 106,4 | 106,1 | 111,4 |

### Bij een $q_{v10}$ van 0,4 met kwaliteitsverklaringen

| Woningtype | C2a | C4c | D2 | D5a | D5b | D5c | E1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Appartement | 118,6 | 98,4 | 97,2 | 96,8 | 85,7 | 106,0 | 110,8 |
| Tussenwoning | 129,3 | 109,9 | 104,6 | 108,6 | 95,1 | 117,7 | 125,4 |
| Vrijstaande woning | 149,6 | 130,2 | 125,0 | 129,0 | 115,5 | 138,0 | 144,0 |

### Bij een $q_{v10}$ van 1,0 met kwaliteitsverklaringen

| Woningtype | C2a | C4c | D2 | D5a | D5b | D5c | E1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Appartement | 128,4 | 107,7 | 105,8 | 105,4 | 94,0 | 114,7 | 119,7 |
| Tussenwoning | 138,4 | 118,6 | 112,9 | 116,8 | 103,4 | 126,0 | 133,9 |
| Vrijstaande woning | 158,7 | 139,0 | 133,2 | 137,2 | 123,7 | 146,3 | 152,5 |

### Bij een $q_{v10}$ van 1,5 met kwaliteitsverklaringen

| Woningtype | C2a | C4c | D2 | D5a | D5b | D5c | E1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Appartement | 136,2 | 115,3 | 113,1 | 112,8 | 101,2 | 122,1 | 127,2 |
| Tussenwoning | 145,7 | 125,7 | 119,8 | 123,8 | 110,3 | 132,9 | 140,9 |
| Vrijstaande woning | 166,0 | 146,0 | 140,0 | 144,1 | 130,6 | 153,2 | 159,4 |

## Bijlage 2: Energieverbruiken voor de gehele woning in kWh (primair fossiel energieverbruik) – zonder gebruik van kwaliteitsverklaringen

| Woningtype | Qv10 0,2 | C2a | C4c | D2 | D5a | D5b | D5c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Appartement | Geen kwaliteitsverklaring | 8.089 | 6.959 | 9.426 | 6.901 | 6.885 | 7.265 |
| Tussenwoning | Geen kwaliteitsverklaring | 12.865 | 11.283 | 14.624 | 11.130 | 11.104 | 11.636 |
| Vrijstaande woning | Geen kwaliteitsverklaring | 17.916 | 15.648 | 20.652 | 15.522 | 15.483 | 16.268 |

## Bijlage 3: Energieverbruiken voor de gehele woning in kWh energieverbruik – met gebruik van kwaliteitsverklaringen, uitgesplitst in energieverbruik voor ventilatie en ruimteverwarming:

| Woningtype | D5a | | | D5b | | | D5c | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EP2 bij Qv10 0,4 (niet primair) | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | |
| Appartement | 7.728 | 1.048 | 3.256 | 6.493 | 669 | 2.411 | 6.243 | 1.038 | 1.799 |
| Tussenwoning | 12.865 | 1.586 | 6.679 | 11.075 | 1.013 | 5.480 | 10.276 | 1.572 | 4.140 |
| Vrijstaande woning | 21.862 | 2.305 | 13.934 | 19.234 | 1.472 | 12.198 | 18.068 | 2.284 | 10.248 |

| Woningtype | D5a | | | D5b | | | D5c | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EP2 bij Qv10 0,4 (niet primair) | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | |
| Appartement | 6.216 | 1.047 | 1.764 | 5.561 | 771 | 1.390 | 6.727 | 1.328 | 1.991 |
| Tussenwoning | 10.688 | 1.585 | 4.533 | 9.454 | 1.167 | 3.729 | 11.459 | 2.010 | 4.875 |
| Vrijstaande woning | 18.674 | 2.303 | 10.827 | 16.878 | 1.696 | 9.654 | 19.790 | 2.921 | 11.318 |

| Woningtype | E1 | | |
|---|---|---|---|
| EP2 bij Qv10 0,4 (niet primair) | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | |
| Appartement | 7.061 | 1.330 | 2.318 |
| Tussenwoning | 12.300 | 1.942 | 5.772 |
| Vrijstaande woning | 20.723 | 2.893 | 12.266 |

| Woningtype | C2a | | | C4c | | | D2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EP2 bij Qv10 1,0 (niet primair) | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | |
| Appartement | 8.410 | 1.048 | 3.928 | 7.140 | 669 | 3.049 | 6.845 | 1.038 | 2.393 |
| Tussenwoning | 13.827 | 1.586 | 7.629 | 11.995 | 1.013 | 6.387 | 11.149 | 1.572 | 5.001 |
| Vrijstaande woning | 23.222 | 2.305 | 15.311 | 20.571 | 1.472 | 13.517 | 19.330 | 2.284 | 11.492 |

| Woningtype | D5a | | | D5b | | | D5c | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EP2 bij Qv10 1,0 (niet primair) | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | |
| Appartement | 6.814 | 1.047 | 2.354 | 6.138 | 771 | 1.960 | 7.337 | 1.328 | 2.594 |
| Tussenwoning | 11.557 | 1.585 | 5.391 | 10.328 | 1.167 | 4.591 | 12.335 | 2.010 | 5.739 |
| Vrijstaande woning | 19.934 | 2.303 | 12.070 | 18.130 | 1.696 | 10.889 | 21.053 | 2.921 | 12.564 |

| Woningtype | E1 | | |
|---|---|---|---|
| EP2 bij Qv10 1,0 (niet primair) | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | |
| Appartement | 7.679 | 1.330 | 2.928 |
| Tussenwoning | 13.201 | 1.942 | 6.661 |
| Vrijstaande woning | 22.012 | 2.893 | 13.537 |

| Woningtype | C2a | | | C4c | | | D2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EP2 bij Qv10 1,5 (niet primair) | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | |
| Appartement | 8.951 | 1.048 | 4.462 | 7.670 | 669 | 3.571 | 7.353 | 1.038 | 2.894 |
| Tussenwoning | 14.601 | 1.586 | 8.392 | 12.741 | 1.013 | 7.123 | 11.869 | 1.572 | 5.712 |
| Vrijstaande woning | 24.336 | 2.305 | 16.409 | 21.653 | 1.472 | 14.585 | 20.379 | 2.284 | 12.527 |

| Woningtype | D5a | | | D5b | | | D5c | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EP2 bij Qv10 1,5 (niet primair) | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | |
| Appartement | 7.352 | 1.047 | 2.859 | 6.639 | 771 | 2.455 | 7.850 | 1.328 | 3.099 |
| Tussenwoning | 12.289 | 1.585 | 6.113 | 11.048 | 1.167 | 5.301 | 13.058 | 2.010 | 6.452 |
| Vrijstaande woning | 20.984 | 2.303 | 13.105 | 19.187 | 1.696 | 11.932 | 22.106 | 2.921 | 13.603 |

| Woningtype | E1 | | |
|---|---|---|---|
| EP2 bij Qv10 1,5 (niet primair) | Totaal / ventilatie / ruimteverwarming (in kWh) | | |
| Appartement | 8.201 | 1.330 | 3.443 |
| Tussenwoning | 13.937 | 1.942 | 7.387 |
| Vrijstaande woning | 23.077 | 2.893 | 14.588 |

# Bibliografie


1 B. Meijer, Kennisdossier een gezond en comfortabel binnenklimaat: de sleutel in de energietransitie TKI Urban Energy, Utrecht, 2020.

2 YouGov & Velux Group, The effects of modern indoor living on health, wellbeing and productivity, 2018.

3 A. v. d. Linden, Handboek Bouwfysische Kwaliteit Gebouwen, Nederlands Vlaamse Bouwfysica Vereniging, 2018.

4 ISSO Publicatie 62, 2010.

5 ISSO Publicatie 82.1, 2020.

6 ISSO, EnergieVademecum Energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen, ISSO, 2020.

7 P. Jacobs, E. Hoes-van Oeffelen, O. Vijlbrief en W. Kornaat, Openbaar eindrapport TKI Be Aware – Bewustwording van binnenluchtkwaliteit in woningen: bronnen en effectieve energie-efficiënte interventiestrategieën.TNO R10627, 2020.

8 P. Jacobs, De feiten over ventilatie, fijnstof en schone lucht in huis. Gawalo, 11 maart 2020.

9 Lente Akkoord, Betere kookafzuiging in nieuwbouw woningen, Lente Akkoord - Zeer energiezuinige nieuwbouw, 2020.

10 H. Valk en R. van Holsteijn, Nieuwe blik op woning-ventilatie, TVVL, pp. 14-18, 2015.

11 TNO, Ventilatie van ruimten ten behoeve van personen - Achtergronden van de eisen, 2011.

12 Aedes, Programma van Eisen voor woningventilatie, 2021.

13 RVO, Infoblad Ventilatiesystemen in energiezuinige woningen, 2014.

14 Arcadis, Investeringskosten energiebesparende maatregelen, RVO, 2020.

15 Arcadis, Kostenoptimalisatiestudie BENG, 2018.

16 Stroomversnelling, Onderhoud en beheer van duurzame installaties. Hoe Onderhoud je de (energie)prestatie? 2021.

17 TNO, AaCee Bouwen en Milieu, Greenhome, Duurzaam Bouwloket, Realistische renovatie-pakketten voor substantiële energiebesparing van vooroorlogse particuliere won, 2020.

18 E. Cloes, De ware kost van ventilatie, Ik ga bouwen en renoveren , maart 2019.

19 M. L. K. V. P. C. E. Menkveld, Besparingsgetallen Energiebesparende maatregelen op basis van werkelijke gebruiksgegevens, ECN, 2012.

20 Vereniging Eigen Huis, Balansventilatie. (Online)

Available:
*https://www.eigenhuis.nl/energie/maatregelen/isoleren-en-ventileren/balansventilatie#/*
***(Geopend december 2021)***

21 Bouwwereld, Bouwwereld, 11 Oktober 2019 (Online)

Available:
*https://www.bouwwereld.nl/producten/brink-introduceert-wtw-zonder-toevoerkanalen/*
***(Geopend december 2021)***

22 A. Van der Linden, Bouwfysica (6e druk), Amersfoort: ThiemeMeulenhoff, 2016.

23 B. Hasselaar en H. Bosch, Keuze van een ventilatiesysteem - de minder bekende nuance, TVVL Magazine, december 2019.

24 P. Jacobs, Openbaar eindrapport Ventkook. Ventilatiesysteem met goede kookafzuiging, TNO R11055, 2018.

25 P. Jacobs, W. A. Borsboom, K. F. S. Van Haaster, V. O. J. W. Koppen en P. H. Kraakman, Ventilatiesysteem met kookafzuiging, TVVL Magazine, december 2018.

26 P. Wargorcki, O. Seppänen, J. Andersson, A. Boerstra, D. Clements-Croome, K. Fitzner en S. Hanssen, REHVA Guidebook: Indoor Climate and Productivity In Offices, REHVA, 2006.

27 Stroomversnelling, Themablad Luchtkwaliteit Keuken, 2020.

28 A. Van der Linden, Klimapedia, 2019. (Online)

Available:
*https://klimapedia.nl/publicaties/3-condensatie-en-schimmelvorming/*
***(Geopend 2021)***

29 Vasco, Kiezen tussen een ventilatiesysteem C of D? 2021. (Online)

Available:
*https://vasco.eu/nl-nl/ventilatie/systeem-c-systeem-d*

30 NBD, Basiskennis Installaties: Mechanische ventilatie (systeem D). (Online)

Available:
*https://www.nbd-online.nl/product/188568-basiskennis-installaties-mechanische-ventilatie-systeem-d?back=/zoeken/mechanische%2520ventilatie*
***(Geopend 2021)***

31 Gawalo, Betere kookafzuiging in nieuwbouw-woningen vergt kennis van installateur, 24 November 2020. (Online)

Available:
*https://www.gawalo.nl/ventilatie/artikel/2020/11/betere-kookafzuiging-in-nieuwbouwwoningen-vergt-kennis-van-installateur-1019329?utm_source=Vakmedianet_red&utm_medium=e-mail&utm_campaign=20201223_GWL&tid=TID-P4478555XACF884B63DAA4FEAB3CB2BAE0EDEBD-B3YI4&utm_*
***(Geopend 2021)***

32 W. Kornaat, Openbare eindrapportage TKI SecureVent Energiebesparing en luchtkwaliteit goed (in)-geregeld - Eenvoudige methodieken voor de borging van de integrale prestatie van luchtinstallaties in woningen, TNO, 2020.

33 M. Menkveld, K. Leidelmeijer, P. Vethman en E. Cozijnsen, Besparingsgetallen energiebesparende maatregelen op basis van werkelijke verbruiks-gegevens, ECN, 2012.

34 Vereniging Eigen Huis, Vereniging Eigen Huis (Online)

Available:
*https://www.eigenhuis.nl/energie/maatregelen/isoleren-en-ventileren/balansventilatie#/*
***(Geopend december 2021)***

35 Regionaal Energieloket, Soorten ventilatiesystemen en kosten. (Online)

Available:
*https://kennisbank.regionaalenergieloket.nl/ventilatie/soorten-ventilatiesystemen-en-kosten/*
***(Geopend december 2021)***

36 Milieu Centraal, Slim en energiezuinig ventileren. (Online)

Available:
*https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/ventilatie/slim-en-energiezuinig-ventileren/*
***(Geopend december 2021)***

37 Ventilatiesysteemabcd.nl, Prijs ventilatiesysteem. (Online)

Available:
*https://www.ventilatiesysteemabcd.nl/prijs-ventilatiesysteem*
***(Geopend december 2021)***

38 Liveos, Richtprijzen ventilatie (Online)

Available:
*https://www.livios.be/nl/bouwinformatie/technieken/ventilatie/richtprijzen-ventilatie*
***(Geopend december 2021)***

39 Mechanischeventilatie.net, Vraaggestuurde ventilatie. (Online)

Available:
*https://www.mechanischeventilatie.net/vraag-gestuurde-ventilatie/*
***(Geopend december 2021)***

40 vdstoel.nl, Ventilatie, 2020. (Online)

Available:
*https://vdstoel.nl/ons-houtgestookte-passiefhuis/een-energiezuinige-woning/ventilatie*
***(Geopend december 2021)***

41 Ventilatieland, CO2 gestuurde ventilatie. (Online)

Available:
*https://www.ventilatieland.nl/co2-gestuurde-ventilatie*
***(Geopend december 2021)***

42 Solyd, Renson ventilatie - Kit Healthbox 3.0 Smartzone Renson ventilatiesysteem C+ - 66060103. (Online)

Available:
*https://www.solyd.be/nl/renson-ventilatie-kit-healthbox-3-0-smartzone-renson-ventilatie-systeem-c-66060103.html?wdp=d2RwMw,,/*
***(Geopend december 2021)***

43 Itho Daalderop, productoverzicht. (Online)

Available:
*https://www.ithodaalderop.nl/nl-NL/consument/productoverzicht/a04* ***(Geopend december 2021)***

44 Duco, Mechanische ventilatie. (Online)

Available:
*https://www.duco.eu/nl/producten/mechanische-ventilatie* ***(Geopend december 2021)***

45 Woonwijzerwinkel, Brink Renovent Excellent – balansventilatie WTW. (Online)

Available:
*https://www.woonwijzerwinkel.nl/product/brink-renovent/* ***(Geopend december 2021)***

46 Wasco, WTW Units. (Online)

(Online)
*https://www.wasco.nl/duurzaam/ventilatie/wtw-units?page=1* ***(Geopend december 2021)***

47 Alpha Ventilatie, WTW unit vervangen. (Online)

Available:
*https://alphaventilatie.nl/wtw-unit/vervangen/*
***(Geopend december 2021)***

48 Offerte Adviseur, Kosten wtw-installatie. (Online)
Available:
*https://www.offerteadviseur.nl/categorie/bouw/verbouwing/kosten-wtw-installatie/*
***(Geopend december 2021)***

49 Filterfabriek, VENTO Expert A50-1 - 3 standen - WIFI - Ø160mm. (Online)

Available:
*https://www.filterfabriek.nl/vento-expert-a50-1-3-standen-wifi-o160mm.html*
***(Geopend december 2021)***

## Meer informatie

Voor meer informatie over deze publicatie of over de TKI Urban Energy, kun je contact opnemen met ons kantoor.

Adres
Arthur van Schendelstraat 550d / 3511 MH Utrecht
Telefoonnummer
030 747 00 27
E-mail
info@tki-urbanenergy.nl
Website
www.tki-urbanenergy.nl

ontwerp en opmaak: Vrije Stijl