

STUDIE BETREFFENDE HET FOTOVOLTAÏSCHE PARK IN HET BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST - 2020

Studie op initiatief

(BRUGEL-Studie-20220719-40)

**Betreffende het fotovoltaïsche park in het Brussels
Hoofdstedelijk Gewest
2020**

**Opgesteld op basis van artikel 30bis § 2, 2° van de ordonnantie
van 19 juli 2001 betreffende de organisatie van de
elektriciteitsmarkt in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest**

19/07/2022

**Verslag opgesteld door het consortium Becquerel Institute –
LuciSUN – SUN7 voor rekening van BRUGEL**

Inhoudsopgave

1	Management summary	5
2	Inleiding.....	7
2.1	Juridische grondslag.....	7
2.2	Voorwerp van het verslag.....	7
2.3	Inhoud van het verslag.....	8
2.4	Wijziging in vergelijking met eerdere oefeningen	8
3	Inhoud en methodologie	9
4	Staat van het geïnstalleerde fotovoltaïsche (FV-) park.....	11
4.1	Samenvatting van de markante feiten.....	11
4.2	Situatie in 2020.....	11
4.3	Evolutie van het FV-park per eigenaar.....	15
4.4	Evolutie van het park per vermogensklasse	19
4.5	Europese en interregionale vergelijking.....	21
5	Geïnstalleerd materiaal	23
5.1	Samenvatting van de markante feiten.....	23
5.2	Specifiek vermogen van de panelen.....	24
5.3	Dimensionering van de omvormers	27
5.4	Marktaandelen van de fabrikanten van panelen.....	33
5.5	Marktaandelen van de fabrikanten van omvormers.....	37
6	Prijs van de installaties	40
6.1	Samenvatting van de markante feiten.....	40
6.2	Prijs per kWp naargelang de vermogenscategorieën in 2020.....	41
6.3	Prijs per kWp naargelang het jaar van indienstname en de vermogenscategorieën.....	44
6.4	Prijs in functie van de specifieke vermogens en van de vermogenscategorieën.....	45
6.5	Bijdrage tot het Brussels BBP	48
6.6	LCOE per vermogenscategorie.....	49
7	Productiviteit van de installaties	55
7.1	Samenvatting van de markante feiten.....	55
7.2	Zonne-energie	56
7.3	Analyse van de oriëntaties van de panelen van het fotovoltaïsch park.....	64
7.4	Filtering van de gegevens.....	67
7.5	Specifieke energieproductiviteit	71
7.6	Performance Ratio (PR)	75
7.7	Statistische analyses.....	80
8	Gemeentelijke analyse van het fotovoltaïsche park.....	95
8.1	Samenvatting van de markante feiten.....	95
8.2	Voorgestelde indicatoren.....	95
8.3	Geanalyseerde steekproef.....	95
8.4	Resultaten	96
8.5	Zonnepotentieel per gemeente.....	105
9	Referenties.....	110
10	Verklarende woordenlijst	112
11	Afkortingen.....	113

Lijst van de illustraties

Figuur 3-1: Illustratie van de begrippen installaties en gecertificeerde eenheden (CU).....	9
Figuur 4-1: Verdeling van het aantal installaties en het vermogen per eigenaar voor het volledige actieve park eind 2020.....	12
Figuur 4-2: Verdeling van het aantal installaties en het geïnstalleerd vermogen per vermogenscategorie voor het volledige actieve park eind 2020.....	13
Figuur 4-3: Verdeling van het aantal FV-installaties per vermogenscategorie en per eigenaar eind 2020	13
Figuur 4-4: Evolutie van de premies en fiscale voordelen in het BHG.....	15
Figuur 4-5: Evolutie van het in dienst genomen FV-vermogen per type eigenaar en per jaar van indienstname (2008-2020)	16
Figuur 4-6: Evolutie van het aantal in dienst genomen FV-installaties in het BHG per type eigenaar en per jaar (2008-2020)	17
Figuur 4-7: Relatieve evolutie van de marktaandeelen van de verschillende vermogenscategorieën.....	19
Figuur 4-8: Evolutie van het gecumuleerde in gebruik genomen vermogen van de installaties van het FV-park in het BHG tussen 2008 en 2020, uitgesplitst per vermogenscategorie	20
Figuur 4-9: Vergelijking van de Wp/inwoner met 13 andere steden (2020).....	21
Figuur 4-10: Vergelijking van de geïnstalleerde kWp/km ² met 13 andere steden (2020).....	22
Figuur 5-1: Frequenties van de specifieke vermogens van de panelen: Staat van het Brusselse park eind 2020	24
Figuur 5-2: Frequenties van de specifieke vermogens van de panelen: Installaties in dienst genomen in 2010 (bovenaan) en in 2020 (onderaan)	25
Figuur 5-3: Voorbeeld van overgedimensioneerde installatie met piekvereffening.....	28
Figuur 5-4: Evolutie van de gemiddelde verhouding GS/WVS per jaar van indienstname.....	29
Figuur 5-5: Spreiding van de vermogensverhoudingen GS/WVS in 2010 en in 2020	31
Figuur 6-1: Prijs van de installaties per vermogenscategorie (€/kWp) – jaar van indienstname 2020.....	42
Figuur 6-2: Prijs van de installaties per vermogenscategorie in het segment onder 5 kWp (€/kWp), 2020	43
Figuur 6-3: Gemiddelde van de prijzen van de installaties over de periode 2012-2020 (€/kWp)	45
Figuur 6-4: Verband tussen specifiek vermogen en prijs voor de categorie]4-5] kWp in 2020.....	46
Figuur 6-5: Verband tussen specifiek vermogen en prijs voor de categorie]5-36] kWp in 2020	47
Figuur 6-6 LCOE van de installaties per geïnstalleerde vermogenscategorie, in 2019.....	51
Figuur 6-7 LCOE van de residentiële installaties (categorie]0-5] kWp) in functie van het vermogen, in 2019.....	53
Figuur 6-8 LCOE van de installaties van de residentiële categorie]0-5] kWp, naargelang het jaar van indienstname.....	54
Figuur 7-1: Jaarlijkse horizontale globale zoninstraling gemeten door het KMI-station in Ukkel, vergeleken met de satellietgegevens CAMS.....	57
Figuur 7-2: Raming van de jaarlijkse statistische afwijking (met als referentie de gegevens van het KMI-weerstation in Ukkel)	58
Figuur 7-3: Heatmap van de statistische afwijking tussen de satellietgegevens CAMS en de gegevens van het KMI op maandelijkse basis tijdens de periode 2008-2019.....	60
Figuur 7-4: Geaggregeerde maandelijkse gemiddelde afwijking voor de periode 2008-2019 tussen de satellietgegevens inzake zoninstraling en de gegevens van het weerstation in Ukkel.....	61
Figuur 7-5: Jaarlijkse globale horizontale zoninstraling gemeten in Ukkel. Bron: KMI, 2020.....	62
Figuur 7-6: Beeld van het stadscentrum van Brussel (Vijfhoek) vanuit de lucht.....	65
Figuur 7-7: Instrument voor detectie van de oriëntaties.....	66
Figuur 7-8: Verdeling van de oriëntaties van de installaties in de steekproef van BRUGEL	67
Figuur 7-9: Aantal beschikbare installaties per productiejaar voor de analyse van de productiviteit vóór toepassing van de filter betreffende de beschikbaarheid van de gegevens	69
Figuur 7-10: Aantal beschikbare installaties per productiejaar voor de analyse van de productiviteit na toepassing van de filter betreffende de beschikbaarheid van de gegevens	69
Figuur 7-11: Samenvattend schema van de toegepaste filters op de bruto gegevens tot aan de definitieve gegevens die worden gebruikt om de prestaties van het FV-park in het BHG te analyseren.....	71
Figuur 7-12: Verdeling van de jaarlijkse productiviteit van de installaties in het voorbije decennium (2010-2020)	72
Figuur 7-13: Evolutie van de jaarlijkse productiviteit in de loop van de tijd, gedurende een decennium (2010-2020).....	73
Figuur 7-14: Verdeling van de jaarlijkse productiviteit van de FV-installaties voor referentiejaar 2020.....	74
Figuur 7-15: Evolutie van de jaarlijkse PR in het decennium 2010-2020.....	76
Figuur 7-16: Verdeling van de PR van de installaties in het BHG geglobaliseerd voor het decennium 2010-2020.....	77
Figuur 7-17: Verdeling van de jaarlijkse PR in het BHG voor referentiejaar 2020.....	78
Figuur 7-18: PR in functie van het jaar van indienstname van de fotovoltaïsche installaties	80
Figuur 7-19: PR in functie van de vermogenscategorieën.....	81
Figuur 7-20: PR in functie van het type eigenaar van de installatie	82
Figuur 7-21: Jaarlijkse PR (2010-2020) in functie van de meest geïnstalleerde modules	83
Figuur 7-22: Jaarlijkse PR (2010-2020) in functie van de meest geïnstalleerde omvormers	85
Figuur 7-23: Jaarlijkse Performance Ratio in functie van de categorie van geïnstalleerd vermogen van de panelen	86
Figuur 7-24: Jaarlijkse Performance Ratio in functie van de categorie van geïnstalleerd vermogen van de omvormers.....	87
Figuur 7-25: Jaarlijkse PR (2010-2020) in functie van het specifiek vermogen van de fotovoltaïsche panelen.....	88
Figuur 7-26: Jaarlijkse PR (2010-2020) in functie van de specifieke kostprijs van de installatie.....	89

Figuur 7-27: Jaarlijkse Performance Ratio in functie van de dimensionering van de omvormer tijdens het laatste decennium	90
Figuur 7-28: Rendementscurve van een omvormer SolarEdge met een nominaal vermogen van 4 kVA.....	91
Figuur 7-29: Verdeling van de maandelijkse PR voor referentiejaar 2020	92
Figuur 7-30: Evolutie van de maandelijkse PR in de loop van referentiejaar 2020	93
Figuur 7-31: Maandelijkse Performance Ratio voor de maanden juni (links) tot december (rechts), gegroepeerd voor het laatste decennium	94
Figuur 9-1: Gemeentelijke verdeling van het aantal installaties per type eigenaar, eind 2020, in het BHG.....	96
Figuur 9-2: Aantal installaties van het FV-park eind 2020 in het BHG per 1000 inwoners, per gemeente.....	97
Figuur 9-3: Aantal installaties per vermogenscategorie en per gemeente, eind 2020, in het BHG	98
Figuur 9-4: Geïnstalleerd vermogen in het BHG per gemeente en per type eigenaar, 2020.....	99
Figuur 9-5: Totaal in 2020 geïnstalleerd vermogen per gemeente, opgesplitst in vermogensklassen.....	100
Figuur 9-6: Totaal geïnstalleerd vermogen in het BHG per 1.000 inw. en per gemeente, in 2020	100
Figuur 9-7: Dichtheid van het totaal gecumuleerd FV-vermogen per type eigenaar en per gemeente in 2020.....	102
Figuur 9-8: Installaties < 5kWp: gecumuleerd vermogen per gemeente en dichtheid. (2020)	104
Figuur 9-9: Eind 2020 verwezenlijkt FV-potentieel voor de 19 Brusselse gemeentes.....	107
Figuur 9-10: Cartografie van het geëxploiteerd zonnepotentieel per gemeente, in 2020	108
Figuur 9-11: Gecumuleerde FV-oppervlakten voor de 19 gemeenten van het BHG in 2020	109

Lijst van de tabellen

Tabel 4-1: Staat van het actieve fotonvoltaïsche productiepark eind 2020 in het BHG	12
Tabel 4-2: Evolutie van het aantal en het vermogen van de actieve installaties van het FV-park in het BHG, uitgesplitst per jaar van indienstname en type eigenaar	18
Tabel 4-3: evolutie van het aantal en het vermogen van de installaties van het FV-park in het BHG, uitgesplitst per jaar van indienstname en vermogenscategorie tussen 2006 en 2020	20
Tabel 5-1: Top 25 van de in het BHG geïnstalleerde panelen/modules	34
Tabel 5-2: Top 10 van fabrikanten van panelen.....	35
Tabel 5-3: Relatieve marktaandeelen van de Top 25 op het vlak van vermogen	36
Tabel 5-4: Top 10 van de merken van omvormers van het FV-park eind 2020 in het BHG	37
Tabel 5-5: Top 5 van de fabrikanten van omvormers in het residentiële segment.....	38
Tabel 5-6: Top 5 van de fabrikanten van omvormers in het commercieel/industriële segment.....	38
Tabel 5-7: Top 5 van de fabrikanten van omvormers in het residentiële segment en het commercieel/industriële segment.....	38
Tabel 5-8: Relatieve marktaandeelen van de top 10 van omvormers op het vlak van vermogen	39
Tabel 6-1: Omvang en representativiteit van de steekproef - jaar 2020.....	41
Tabel 6-2: Statistische gegevens van de prijzen per vermogenscategorie - jaar 2020	42
Tabel 6-3: Omvang en representativiteit van de steekproef	44
Tabel 6-4: Gemiddelde prijs van de panelen per jaar van IDN in €/kWp (2012-2020).....	44
Tabel 6-5: Berekening van het financieel volume van in 2020 in dienst genomen installaties	48
Tabel 6-6: Omvang en representativiteit van de steekproef	50
Tabel 6-7 Statistische gegevens van de LCOE per vermogenscategorie, in 2019	52
Tabel 6-8 Statistische gegevens van de LCOE van de residentiële installaties (categorie]0-5] kWp) in functie van het vermogen, in 2019.....	53
Tabel 6-9 Statistische gegevens van de LCOE van de installaties van de residentiële categorie (]0-5] kWp), naargelang het jaar van indienstname.....	54
Tabel 9-1: raming van de netto dakoppervlakte in het BHG.....	105
Tabel 9-2: Verdeling van de netto in aanmerking genomen dakoppervlakte en van de in het BHG per gemeente geïnstalleerde oppervlakten tussen 2019 en 2020.....	107

I Management summary

De analyses die in dit verslag worden voorgesteld, hebben betrekking op de toestand van het fotovoltaïsch park in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (BHG) op 31 december 2020 op basis van de door BRUGEL verzamelde gegevens. Ze tonen de volgende trends:

- A. 2020 werd gekenmerkt door een toename met ca. 50% van het gecumuleerd vermogen alsook door een toename met 58,8% van het aantal installaties dat tijdens het jaar in dienst werd gesteld in vergelijking met het aantal installaties dat in 2019 in dienst werd gesteld. Op het eind van het jaar bestond het park uit 10.624 actieve installaties.

De stijging van het in 2020 in dienst gestelde vermogen is gelijk aan 65 MWp, of 67% meer dan het vermogen dat tijdens 2019 werd geïnstalleerd, voor een gecumuleerd totaal van 195 MWp.

Deze stijgingen worden vastgesteld voor alle types houders van installaties. Ondernemingen in de privésector hebben het meest bijgedragen tot de toename van het aantal fotovoltaïsche installaties die in 2020 in dienst werden gesteld, met een aantal in 2020 in dienst gestelde installaties dat ca. 65% hoger is dan het aantal installaties dat in 2019 in dienst werd gesteld (2.334 in 2020, 1.416 in 2019). Vergelijken we deze toename met het gecumuleerd aantal installaties in het park in 2019 (2.354), dan gaat het om een toename met bijna 100%, enkel voor het jaar 2020 (2.334), vergeleken met de openbare sector die eveneens een sterke maar minder bruuske toename liet optekenen tijdens hetzelfde jaar (+25%).

De groei van de markt is ook te danken aan particulieren, met een toename met meer dan 35% voor de nieuwe installaties die in 2020 in dienst werden gesteld in vergelijking met het aantal installaties van particulieren die in 2019 in dienst werden gesteld. Deze markt bestaat hoofdzakelijk uit installaties met een nominaal vermogen van minder dan 5 kWp.

- B. Wat betreft het materieel (hoofdstuk 5) en het ontwerp van de installaties blijven we een toename zien van het specifieke vermogen (Wp/m²) van de panelen, dat nu rond 200 Wp/m² bedraagt.

De tendens tot overdimensionering, die in 2019 werd waargenomen, zet zich door. De gemiddelde verhouding van het vermogen in gelijkstroom/vermogen in wisselstroom (verhouding GS/WS) van het fotovoltaïsch park is voor 2020 gelijk aan 130% tegenover 124% in 2019 en tussen 100 tot 106% in 2017.

Het huidig fotovoltaïsch park in het BHG bestaat uit fotovoltaïsche zonnepanelen afkomstig van meer dan 163 fabrikanten. Sommige hiervan zijn van de markt verdwenen, andere bestaan nog steeds.

De markt van fotovoltaïsche omvormers bestaat uit een dertigtal fabrikanten en wordt grotendeels gedomineerd door de Duitse fabrikant SMA (40%), in alle installatiesegmenten. De Chinese fabrikant Huawei installeerde in 2020 echter meer dan SMA in het segment > 5 kWp.

- C. De analyse van de installatieprijzen (hoofdstuk 6) vestigt de aandacht op de dalende trend van de prijzen in 2019, die in 2020 is gestagneerd en met voor dat jaar enkel een significante daling voor de grote systemen (-10%).

Sinds 2012 komt de gemiddelde prijsdaling in de verschillende vermogenscategorieën in de buurt van 50% of meer voor systemen met een vermogen van minder dan 100 kWp en bedraagt die daling meer dan 35% voor systemen met een vermogen hoger dan 100 kWp.

Zoals elk jaar stellen we vast dat de prijzen per kWp een neerwaartse trend vertonen naarmate het vermogen van de installatie toeneemt, met een afname van ongeveer 45% tussen > 250 kWp (gemiddelde van € 817/kWp en [0-5] kWp (€ 1.445/kWp).

De kruising van de prijsgegevens met de specifieke rendementen van de installaties toont geen duidelijk verband tussen beide aan. Het rendement van een paneel is dus niet het voornaamste element om de prijs van een installatie te bepalen.

- D. De productiviteit van de installaties (hoofdstuk 7) werd geanalyseerd aan de hand van de Performance Ratio (PR), een in de fotovoltaïsche industrie veel gebruikte prestatie-indicator die informatie geeft over de goede werking van het FV-park, en die wordt opgebouwd door een normalisatie van de energieproductie door het piekvermogen en de zoninstraling.

De voorbije vier decennia is de zonne-energie in Brussel steeds toegenomen. In de loop van de voorbije veertig jaar bedroeg de gemiddelde globale horizontale zoninstraling ongeveer 1.000 kWh/m². De laatste tien jaar bedraagt deze gemiddelde waarde 1.078 kWh/m², ongeveer 8% boven het gemiddelde van de laatste vier decennia. In 2018 werd een historisch maximum geregistreerd, met 1.172 kWh/m², wat ongeveer 17% meer is dan het gemiddelde van de laatste vier decennia. In 2020 bereikte de zoninstraling opnieuw waarden die historisch gezien tot de hoogste waarden behoren die ooit werden geregistreerd en in de buurt komen van de waarden voor 2018.

De mediane specifieke energieproductie van fotovoltaïsche installaties in het BHG bedroeg ongeveer 862 kWh/kWp in het voorbije decennium, wat beschouwd kan worden als een typische en representatieve waarde voor het park.

De mediane Performance Ratio van fotovoltaïsche installaties in het BHG bedroeg ongeveer 71% in het voorbije decennium, wat beschouwd kan worden als een typische en representatieve waarde voor het park. Ter vergelijking: de typische Performance Ratio's die in Europa worden waargenomen, liggen tussen 70 en 80%.

Statistische analyses toonden een verband aan tussen de prestaties van de installaties en bepaalde essentiële parameters zoals het geïnstalleerd piekvermogen, hun jaar van indiening, het merk van de fotovoltaïsche panelen, de vermogenscategorie of ook het type eigenaar van de installatie.

- E. De analyse van de verspreiding per gemeente (hoofdstuk 9) toont aan wat volgt:
- Eind 2020 is de gemeente Brussel goed voor 31,3% van het volledige in de 19 gemeentes geïnstalleerde vermogen.
 - Sint-Pieters-Woluwe heeft het hoogste aantal installaties per 1.000 inwoners van de 19 gemeenten (17 installaties/1.000 inwoners).
 - Voor wat vermogen per inwoner betreft, doet Vorst beter dan Brussel-Stad, met 370 Wp/1.000 inwoners.
 - Het investeringsprogramma SolarClick werpt zijn vruchten af op het vlak van installaties op openbare gebouwen.
 - Momenteel wordt 6,2% van het Brusselse zonnepotentieel op daken geëxploiteerd.

2 Inleiding

2.1 Juridische grondslag

De ordonnantie van 19 juli 2001 betreffende de organisatie van de elektriciteitsmarkt in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest bepaalt in haar artikel 30bis, §2, 7°, ingevoegd door artikel 56 van de ordonnantie van 14 december 2006, wat volgt:

"... BRUGEL is bekleed met een adviesopdracht ten aanzien van de overheid over de organisatie en de werking van de gewestelijke energiemarkt enerzijds, en met een algemene toezicht- en controleopdracht inzake de toepassing van de hiermee verband houdende ordonnanties en besluiten anderzijds.

BRUGEL is belast met volgende opdrachten:

2° op eigen initiatief of op vraag van de Minister of de Regering, het uitvoeren van onderzoeken en studies of het geven van adviezen, betreffende de elektriciteits- en gasmarkt. (...)"

De werking van de markt van de groenestroomcertificaten en de garanties van oorsprong werd tot 1 februari 2016 wettelijk geregeld door het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 6 mei 2004 betreffende de promotie van groene elektriciteit en van kwaliteitswarmtekrachtkoppeling. Dit besluit werd op 1 februari 2016 opgeheven en vervangen door het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 17 december 2015 betreffende de promotie van groene elektriciteit.

Deze studie past in het voornoemde kader.

2.2 Voorwerp van het verslag

In het jaarverslag van BRUGEL over de werking van de markt van de groenestroomcertificaten en de garanties van oorsprong worden de Brusselse productieparken voor groene elektriciteit en in het bijzonder het park van fotovoltaïsche panelen (FV) geanalyseerd en gedetailleerd beschreven. Deze informatie is voornamelijk opgebouwd rond vier sleutelindicatoren: aantal en vermogen van de installaties, geproduceerde elektriciteit, aantal toegekende garanties van oorsprong (GO) die ermee verbonden zijn en aantal toegekende groenestroomcertificaten (GSC).

Het doel van deze studie is de informatie in de databank van BRUGEL die niet in het jaarverslag is opgenomen, te benutten. De studie maakt het mogelijk een aantal relevante indicatoren voor het fotovoltaïsche park te identificeren, te analyseren en te interpreteren en de resultaten te vergelijken met de gemeentelijke gegevens.

Dit verslag heeft betrekking op de resultaten van een studie die door het consortium Becquerel Institute – LuciSun – SUN7 voor rekening van BRUGEL werd uitgevoerd als update van de drie vorige studies, uitgevoerd vanaf 2014 en beschikbaar op de site van BRUGEL in de rubriek Studie: https://www.brugel.brussels/nl_BE/documents/surveys/rechercher.

Tenzij anders vermeld, resulteren de gegevensbronnen, tabellen en cijfers uit de analyse van de gegevens van BRUGEL en van SIBELGA in het kader van deze studie.

De voorgestelde resultaten focussen op specifieke analyses die als bijzonder relevant werden geïdentificeerd om de evolutie van het Brusselse FV-park te begrijpen. De studie heeft betrekking op de toestand van het park eind 2020, per vermogen en per eigenaar, en op de productie van fotovoltaïsche installaties tot eind 2020.

In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (BHG) zijn alle installaties die groene stroom produceren sedert 2007 uitgerust met bidirectionele elektriciteitsmeters waarmee de van het distributienet afgenomen energie en de op het net geïnjecteerde energie afzonderlijk kunnen worden gemeten. Ook al werd de compensatie (op het deel "commodity" en "kosten van het net" nog steeds toegepast in 2020, moeten de gegevens van slimme meters een nauwkeurige studie mogelijk maken van het zelfverbruik, namelijk de productie die niet op het net wordt geïnjecteerd, maar direct ter plaatse wordt verbruikt. Door gebrek aan beschikbare gegevens konden deze analyses echter niet worden uitgevoerd.

2.3 Inhoud van het verslag

Dit verslag is onderverdeeld in zeven grote delen:

1. **Inhoud en Methodologie:** voorstelling van de in het verslag gebruikte gegevensbronnen en van de verwerking die ze hebben ondergaan.
2. **Staat van het geïnstalleerde fotovoltaïsche park:** beschrijving van de algemene kenmerken van het fotovoltaïsch productiepark in het BHG eind 2020.
3. **Geïnstalleerde apparatuur:** aanvulling van het vorige hoofdstuk met de evolutie van de specifieke geïnstalleerde vermogens en de marktaandelen van de verschillende fabrikanten van panelen en omvormers.
4. **Prijs van de installatie:** voorstelling van de prijzen van de FV-installaties per kWp en vergelijking van deze prijzen op basis van de vermogenscategorieën en de rendementen van de modules.
5. **Productiviteit van de installatie:** weergave van de productiviteit van het park, gedefinieerd als de jaarlijkse productie van de installatie (kWh) gedeeld door het geïnstalleerd vermogen (kWp).
6. **Gemeentelijke analyse van het fotovoltaïsch park:** weergave van het aantal installaties en het geïnstalleerd vermogen per gemeente.

Het zelfverbruik en de zelfvoorziening zullen in een volgende editie worden geanalyseerd aangezien de brongegevens voor de oefening van 2020 nog niet geëxploiteerd konden worden.

Deze verschillende hoofdstukken zijn onafhankelijk van elkaar en het is niet noodzakelijk alle hoofdstukken te lezen om een hoofdstuk te begrijpen. De lezer kan dus kennis nemen van het hoofdstuk dat hem interesseert zonder dat hij het hele verslag hoeft te lezen. Aan het begin van elk hoofdstuk wordt eveneens een samenvatting van de markante feiten gegeven.

Aan het einde van het verslag bevindt zich een verklarende woordenlijst waarin meerdere belangrijke termen die regelmatig gebruikt worden in dit verslag worden uitgelegd. De afkortingen worden in het begin van het verslag verklaard. Op het einde van het verslag is er een deel met de externe referenties die in de tekst worden genoemd.

2.4 Wijziging in vergelijking met eerdere oefeningen

Daarnaast werd het specifieke criterium vermogensbegrenzer voor de FV-panelen van 215 Wp/m² opgetrokken tot 220 Wp/m² om rekening te houden met de technische vooruitgang.

Op de datasets werden eveneens filters toegepast om redundante of afwijkende gegevens te groeperen.

Gegevens inzake ontvangen zonne-energie, afgeleid van satellietbeelden, werden gebruikt voor de nieuwe editie van deze studie in vergelijking met de vorige editie, toen deze gegevens afkomstig waren van het weerstation in Ukkel (KMI). Deze keuze maakt een grotere ruimtelijke dekking van het BHG mogelijk en laat ook toe de volledige analyseperiode te bestrijken door gebruik te maken van gegevens

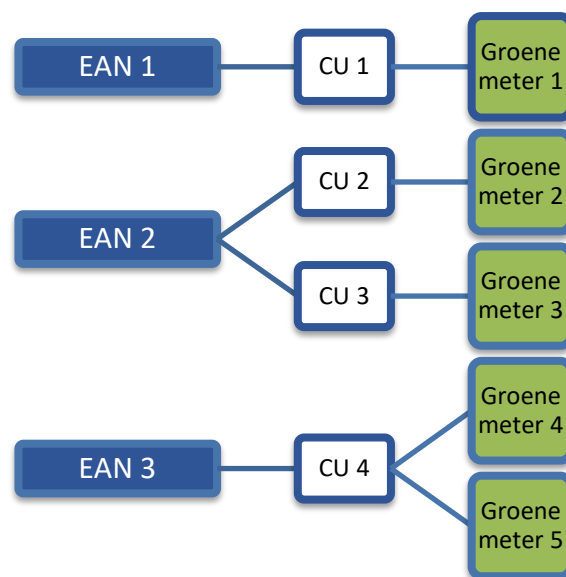
met een indeling per uur. In vergelijking met het vorige jaar werd een dagelijkse indeling van de instralingsgegevens verkregen via het weerstation in Ukkel. Deze urengegevens maken het dus mogelijk aan nauwkeurigheid te winnen in de omzettingsmodellen, waardoor de zoninstraling op het hellend vlak van de fotovoltaïsche panelen met grotere nauwkeurigheid kan worden geraamd.

Tot slot, wat betreft de analyse van de productiviteit, wordt de Performance Ratio (PR) momenteel opgebouwd, volgens de traditionele en strikte definitie ervan, op basis van een normalisatie van de energieproductie door het piekvermogen en de zoninstraling. Daartoe werd een instrument voor analyse van de oriëntaties ontwikkeld dat toelaat de reële informatie te verwerven voor alle installaties in het Brussels park waarvan de adressen gekend zijn.

3 Inhoud en methodologie

De studies van de voorbije oefeningen baseerden zich voor de analyse van de productie op de gegevens verstrekt per groene meter en voor het zelfverbruik en de zelfvoorziening op de gegevens verstrekt per installatie. Een installatie komt overeen met een type technologie dat verbonden is met een EAN-code voor afname (verbruik).

De voor de studie van het FV-park in 2020 verstrekte gegevens zijn echter afkomstig van door BRUGEL gecertificeerde eenheden (CU). Een gecertificeerde eenheid wordt gevormd door een of meerdere delen van een installatie met dezelfde voorwaarden voor certificering en toekenning van GSC. Bijgevolg kunnen er zich binnen eenzelfde EAN-code meters bevinden met verschillende groenestroomcertificaatregelingen. Het verschil tussen deze twee begrippen wordt weergegeven in Figuur 3-1.



Figuur 3-1: Illustratie van de begrippen installaties en gecertificeerde eenheden (CU)

Om de lezing van het verslag te vergemakkelijken zal in het verdere verslag de term "Gecertificeerde eenheid" vervangen worden door "Installatie", ook al zijn dit slechts bij benadering synoniemen.

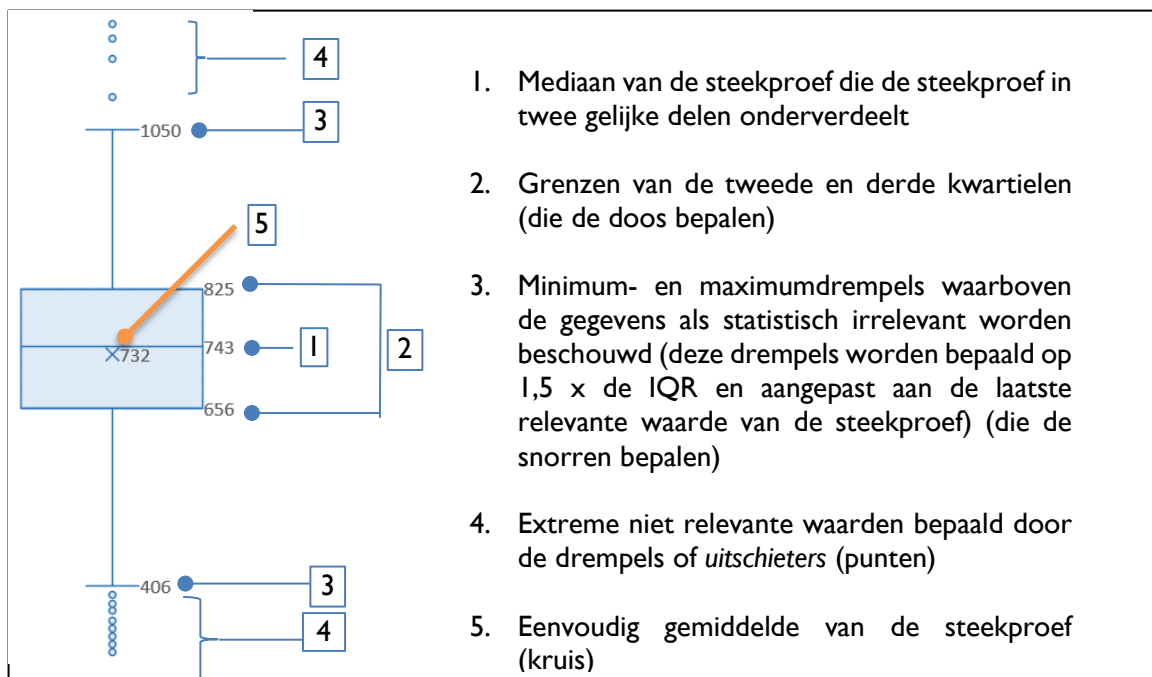
Daarnaast leiden de verschillende gegevensbronnen (BRUGEL, SIBELGA) tot specifieke filters voor elk van de in deze studie behandelde delen. Deze worden aan het begin van elk hoofdstuk voorgesteld en geven aan wat de impact is op de omvang van de voor de analyses gebruikte steekproef.

De hoofdstukken over de prijs en de prestatie stellen grafieken van het type snorrendoos, "boxplot" voor, waarvan we hieronder het belang in het kader van deze studie in herinnering brengen.

De extreme waarden zijn visueel identificeerbaar door observatie van de verdeling van de gegevensdichtheid in een "spreidingsdiagram", of statistisch door te zoeken naar drempelwaarden die de grenzen van de gegevensspreiding aangeven waarboven of waaronder elk gegeven als afwijkend wordt beschouwd. We gebruiken de methode van de weergave van de interkwartielverdeling (IQR) om de centrale trends van de gegevens weer te geven. De statistische verdeling is gerangschikt in oplopende volgorde van waarden, gegroepeerd in vier kwartielen die elk 25% van de verdeling bevatten. Een kwartiel staat dus voor 25% van de steekproef en het tweede kwartiel slaat op de waarden tussen 25% en 50% van de individuele waarden van de steekproef, in oplopende volgorde.

De centrale waarden komen overeen met het tweede en derde kwartiel, die samen 50% van de onderzochte punten vertegenwoordigen. De IQR geeft het interval weer dat zich uitstrekt tussen de laagste waarde van het tweede kwartiel en de hoogste waarde van het derde kwartiel. Vervolgens wordt de methode van Tukey gebruikt om er de extreme waarden uit te filteren, waarbij alle waarden die meer dan $1,5 \times \text{IQR}$ verwijderd zijn van de onder- en bovengrens van dit IQR als aberrant worden beschouwd. Om deze statistische analyse grafisch weer te geven, wordt gebruikgemaakt van de methode van de "snorrendoos", die het mogelijk maakt om tegelijk de IQR en de reeksen van aanvaardbare waarden $1,5 \text{ IQR}$ visueel weer te geven [1]. In deze studie worden de twee weergavemethodes gebruikt.

Lezing van de snorrendozen:



Deze figuur bevat de informatie over het gemiddelde, de mediaan, het 1ste en 3de kwartiel en het maximum en minimum van de indicator al naargelang de gegevens als statisch relevant (onderste of bovenste lijn) of niet relevant (kleine punten die *outliers* vertegenwoordigen) worden beschouwd.

4 Staat van het geïnstalleerde fotovoltaïsche (FV-) park

De fotovoltaïsche productie ging in 2006 van start in België, na de invoering van de productie-ondersteunende systemen. De eerste fotovoltaïsche installaties deden hun intrede in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (BHG) vanaf 2006. We stellen achtereenvolgens de staat van het FV-park in 2020 voor en de evolutie van dit park voor de periode 2006 tot 2020, op basis van de databank van BRUGEL.

4.1 Samenvatting van de markante feiten

Uit de analyse van de toestand van het fotovoltaïsch park van het BHG in 2020 blijkt wat volgt:

2020 werd gekenmerkt door een toename met ca. 50% van het gecumuleerd vermogen alsook door een toename met 58,8% van het aantal installaties dat tijdens het jaar in dienst werd gesteld in vergelijking met het aantal installaties dat in 2019 in dienst werd gesteld. Op het einde van het jaar bestond het park uit 10.624 actieve installaties.

Meer bepaald is de stijging van het in 2020 in dienst gestelde vermogen gelijk aan 65 MWp, of 67% meer dan het vermogen dat tijdens 2019 werd geïnstalleerd, voor een gecumuleerd totaal van 195 MWp.

Deze stijgingen worden vastgesteld voor alle types eigenaars van installaties. Ondernemingen in de privésector hebben het meest bijgedragen tot de toename van het aantal fotovoltaïsche installaties die in 2020 in dienst werden gesteld, met een aantal in 2020 in dienst gestelde installaties dat ca. 65% hoger is dan het aantal installaties dat in 2019 in dienst werd gesteld (2.334 in 2020, 1.416 in 2019). Wanneer we deze toename vergelijken met het gecumuleerd aantal installaties in het park in 2019 (2.354), gaat het om een toename met bijna 100%, enkel voor het jaar 2020 (2.334), vergeleken met de openbare sector die eveneens een sterke maar minder bruuske toename liet optekenen tijdens hetzelfde jaar (+25%).

De groei van de markt is ook te danken aan particulieren, met een toename met meer dan 35% voor de nieuwe installaties die in 2020 in dienst werden gesteld in vergelijking met het aantal installaties van particulieren die in 2019 in dienst werden gesteld. Deze markt bestaat hoofdzakelijk uit installaties met een nominaal vermogen van minder dan 5 kWp.

4.2 Situatie in 2020

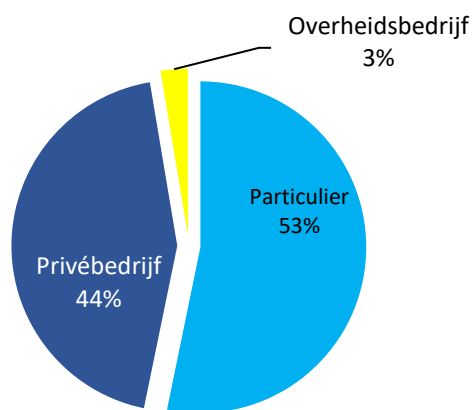
Tot eind 2020 waren er 10.646 installaties met een totaal cumulatief vermogen van 195.625 kWp geïnstalleerd in het BHG. 22 installaties, met een gecumuleerd vermogen van 348 kWp, of 0,02% van het totaal vermogen van het park werden in de loop der tijd gedeactiveerd om verschillende, in de databank niet nader toegelichte redenen. Met deze installaties wordt in de analyse van het park geen rekening meer gehouden. Het actieve FV-park in het BHG bestond dan ook uit 10.624 installaties met een totaal cumulatief vermogen van 195.277 kWp.

De verdeling van dit fotovoltaïsche productiepark wordt samengevat in Tabel 4-I en Figuur 4-I, volgens het type eigenaar en de vermogenscategorie van de installaties.

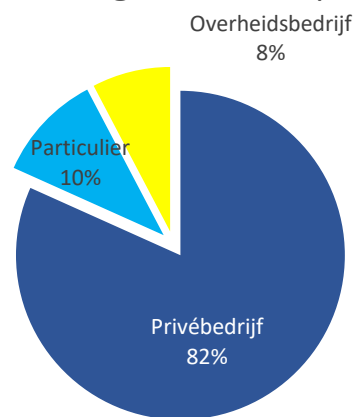
Tabel 4-1: Staat van het actieve fotovoltaïsche productiepark eind 2020 in het BHG

Vermogenscategorie	Aantal installaties			Geïnstalleerd vermogen [kWp]			Totaal aantal installaties	Totaal vermogen [kWp]
	Privébedrijf	Overheidsbedrijf	Particulier	Privébedrijf	Overheidsbedrijf	Particulier		
[0-5] kWp	3.471	52	5.062	15.035	160	16.441	8.585	31.636
]5-36] kWp	630	118	589	8.492	2.063	4.044	1.337	14.599
]36-100] kWp	286	66	4	17.962	3.848	191	356	22.001
]100-250] kWp	169	39	0	25.885	6.106	0	208	31.991
> 250 kWp	132	6	0	92.195	2.856	0	138	95.051
TOTAAL	4.688	281	5.655	159.569	15.033	20.675	10.624	195.277
Aandeel van het totaal	44%	3%	53%	82%	8%	11%	100%	100%

Aantal: 10.624 installaties



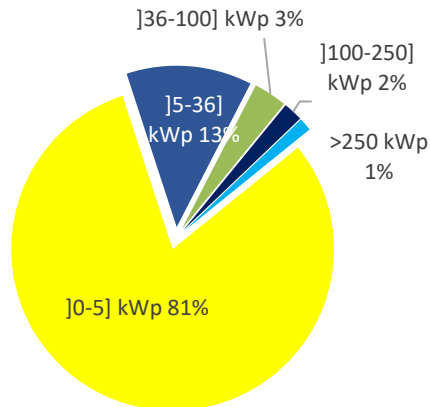
Vermogen: 195 MWp



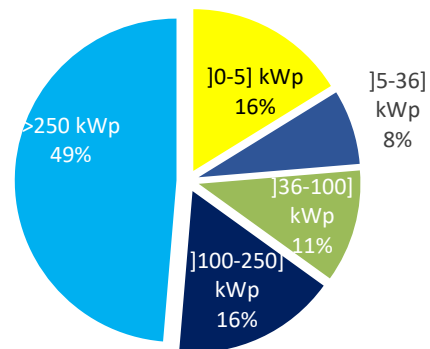
Figuur 4-1: Verdeling van het aantal installaties en het vermogen per eigenaar voor het volledige actieve park eind 2020

De analyse van het type eigenaar in Figuur 4-1 toont aan dat de meeste installaties nog eigendom zijn van particulieren (53%), maar dat deze meerderheid in aantal installaties slechts goed is voor 10,5% van het geïnstalleerde vermogen. Privébedrijven daarentegen vertegenwoordigen slechts 44% van de installaties maar zijn goed voor meer dan 82% van het geïnstalleerde vermogen. Dit is het rechtstreekse resultaat van het verschil van het gemiddeld geïnstalleerd vermogen per installatie tussen particulieren, die kleine installaties hebben, en bedrijven, die installaties met een grotere capaciteit hebben.

Aantal: 10.624 installaties

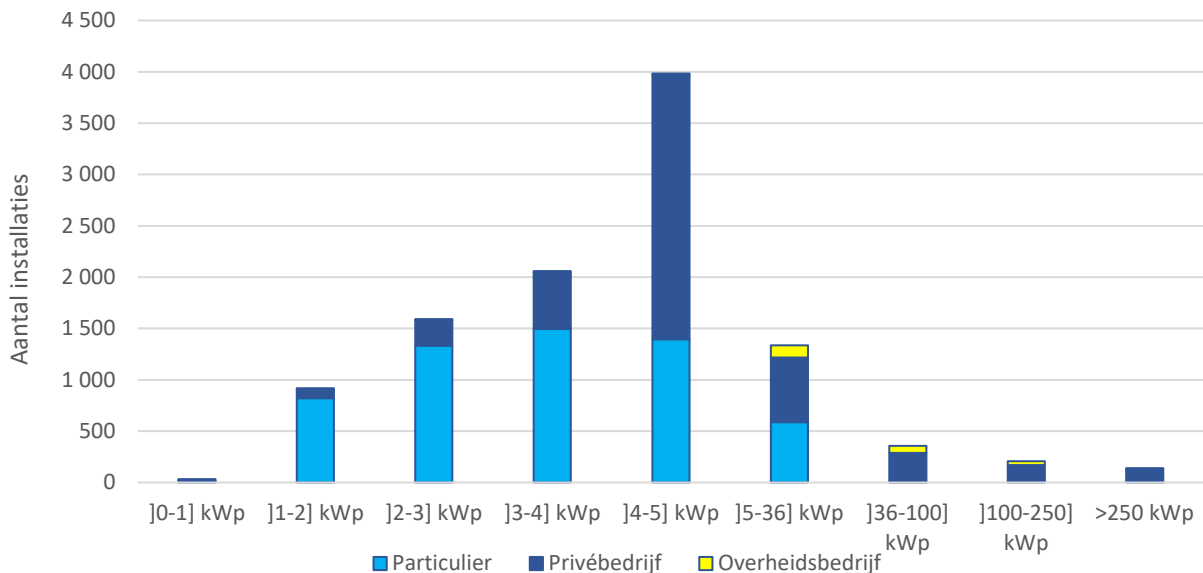


Vermogen 195 MWp



Figuur 4-2: Verdeling van het aantal installaties en het geïnstalleerd vermogen per vermogenscategorie voor het volledige actieve park eind 2020

Figuur 4-2 toont aan dat het marktaandeel van de residentiële installaties (≤ 5 kWp) 81% van het aantal installaties (8.585) van het volledige park en 16% van het totaal geïnstalleerd vermogen (31.636 kWp) vertegenwoordigt. Alle andere segmenten van meer dan 5 kWp vertegenwoordigen dus niet meer dan 19% van het aantal installaties (2.039), maar zijn goed voor 84% van het totaal geïnstalleerd vermogen (163.641 kWp).



Figuur 4-3: Verdeling van het aantal FV-installaties per vermogenscategorie en per eigenaar eind 2020

Figuur 4-3 geeft de verdeling weer van het aantal installaties per type eigenaar en vermogenscategorie, met specifieke aandacht voor de categorie van minder dan 5 kWp.

Kleine installaties (≤ 5 kWp) zijn doorgaans eigendom van particulieren (59% van de kleine installaties), maar hun aantal is gedaald ten opzichte van de voorgaande jaren (88% in 2018, 71% in 2019). Een van de redenen voor deze evolutie is de niet onopgemerkt gebleven komst van derde-

investeerdersondernemingen, die fotonvoltaïsche panelen plaatsen op daken van het residentieel segment, maar wel eigenaar blijven van de installatie zolang er groenestroomcertificaten verkregen kunnen worden (10 jaar). Dit is duidelijk te zien in de grafiek, en meer bepaald in segment]4-5] kWp, dat financieel gezien het aantrekkelijkste segment is voor derde-investeerders.

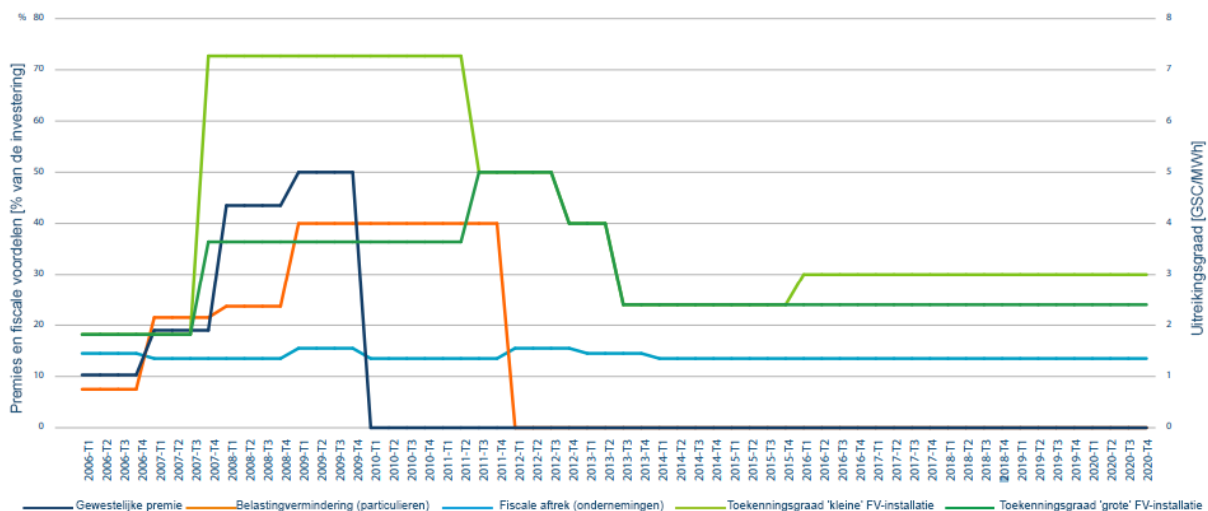
De categorie]5-36] kWp is een gemengde categorie, met 44% particulieren, 47% privébedrijven en 9% overheidsbedrijven. De andere categorieën zijn uitsluitend in handen van privébedrijven of overheidsbedrijven. Verenigingen van mede-eigenaars (VME's) zijn mee opgenomen in de privébedrijven. Het zou waarschijnlijk interessant zijn het aantal mede-eigendommen dat FV-installaties geplaatst heeft te kunnen kwantificeren, maar de gegevens van BRUGEL laten dit voor deze oefening niet toe.

4.3 Evolutie van het FV-park per eigenaar

4.3.1 Historiek van de financiële stimulansen voor de installatie van fotovoltaïsche panelen

Sinds 2006 werden in het BHG *via* het "compensatieprincipe"¹² diverse financiële stimulansen in de vorm van premies, fiscale voordelen, groenestroomcertificaten en aangepaste tarifiering toegekend voor de installatie van fotovoltaïsche panelen.

Een samenvattende grafiek van deze stimulansen die de evolutie van de overheidssteun voor de installatie van fotovoltaïsche panelen in het BHG toont, vindt u in Figuur 4-4.



Figuur 4-4: Evolutie van de premies en fiscale voordelen in het BHG³

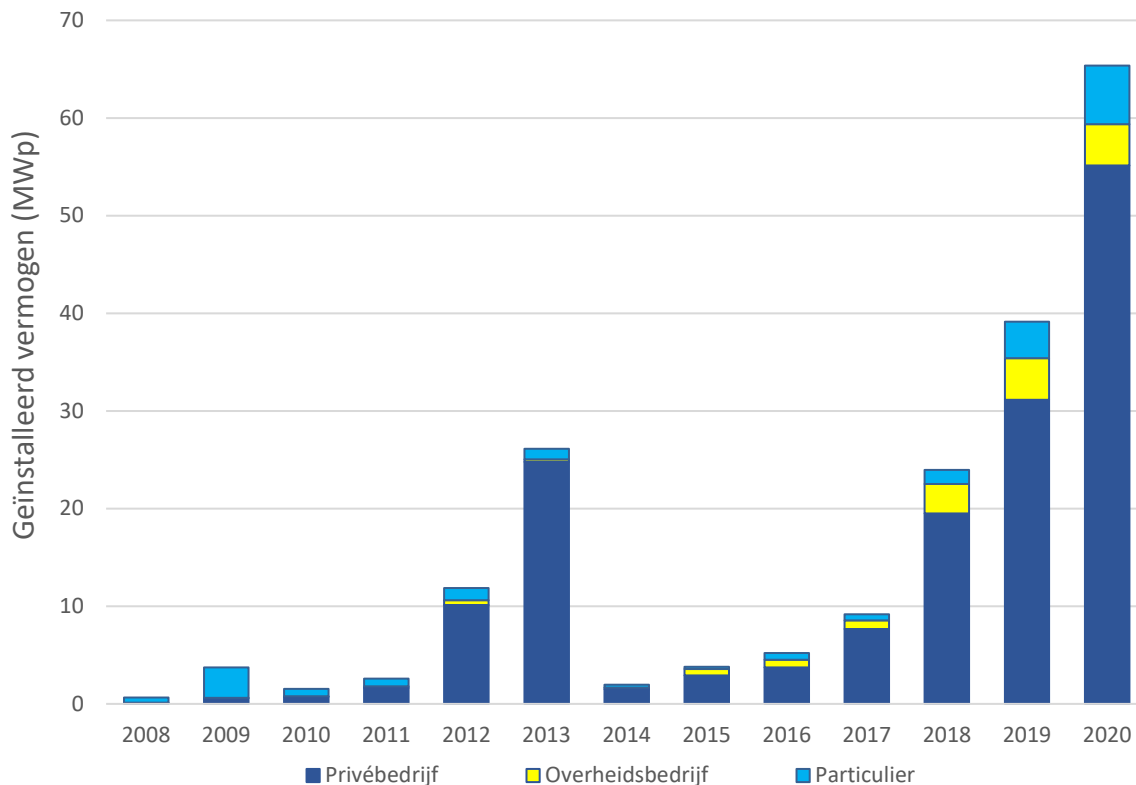
We stellen vast dat de gewestelijke premie (blauwe curve), na tussen 2006 en 2009 regelmatig te zijn gestegen, in 2010 is terugggevallen op 0. De belastingverminderingen bleven voor particulieren wel bestaan tot het eerste kwartaal van 2012 (rode curve). We zien ook een geleidelijke verlaging van de premies en de fiscale voordelen voor de "grote" FV-installaties vanaf het derde kwartaal van 2011 (donkergroene curve). Zoals we hierna zullen zien, is de ontwikkeling van de installaties op het grondgebied van het BHG rechtstreeks verbonden met de evolutie van deze verschillende financiële stimulansen.

¹ Het jaarverslag 2020 van BRUGEL over de werking van de markt van de groenestroomcertificaten en de garanties van oorsprong behandelt de driemaandelijke evolutie over de periode 2006-2020 van deze financiële stimulansen en de resulterende evolutie van het fotovoltaïsche productiepark.

² De compensatie is een telmechanisme dat erin bestaat de in het net geïnjecteerde hoeveelheden af te trekken van de van het net afgenomen hoeveelheden. Het compensatieprincipe geldt uitsluitend voor productie-installaties voor groene stroom en warmtekrachtkoppelingeninstallaties met een vermogen van de omvormer, aan de AC-zijde, kleiner dan of gelijk aan 5 kW. De stopzetting van het compensatieprincipe op het deel "netkosten" geldt sedert 1 januari 2020. Voor het gedeelte energie, het zogenaamde "commodity"-deel, blijft de compensatie evenwel van toepassing tot het besluit inzake groene elektriciteit dat dit deel regelt eventueel wordt aangepast. Zie "Valorisatie van de geproduceerde elektriciteit" https://www.brugel.brussels/nl_BE/themes/hernieuwbare-energie-11.

³ BRUGEL: jaarverslag 2020 – Thematisch verslag 4

4.3.2 Evolutie van het geïnstalleerd vermogen en het aantal installaties



Figuur 4-5: Evolutie van het in dienst genomen FV-vermogen per type eigenaar en per jaar van indienstname (2008-2020)

Figuur 4-5 toont voor 2020 een nieuw record in de evolutie van het totale vermogen van de jaarlijks in dienst genomen installaties; namelijk meer dan 65 MWp of meer dan 67% meer dan in 2019. De jaren 2006 en 2007 werden niet opgenomen in deze grafiek omwille van het lage vermogen dat ze vertegenwoordigden.

De eerste piek van 2013 was het gevolg van een massale investering vóór de verlaging, in 2013, van het toekenningspercentage voor fotovoltaïsche installaties (> 5 kWp).

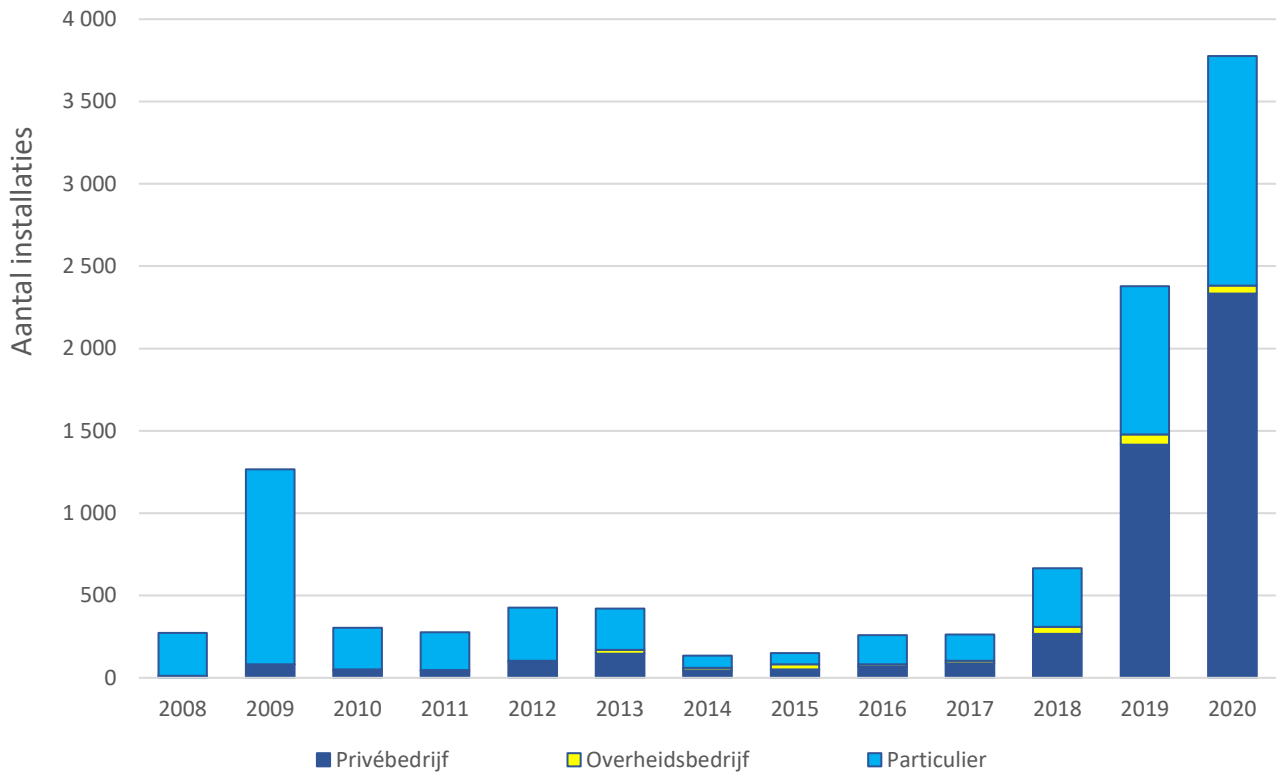
Tussen 2014 en 2017 is het installatieritme van het FV-park vertraagd als gevolg van deze aanzienlijke verlaging van de steun voor de installaties aan privébedrijven (verlaging van het toekenningspercentage van 4 naar 2,4 GSC/MWh), maar ook van een zeker verlies aan vertrouwen in de markt.

2018 wordt gekenmerkt door een nieuwe piek (23,7 MWp), die echter ruimschoots wordt overschreden in 2019 en vervolgens in 2020.

Voor dit type eigenaar stelt men vast dat tot in 2009 de particuliere markt dominant was. Vanaf 2010 wordt een omgekeerde tendens merkbaar. Geleidelijk aan werden de privébedrijven immers dominant voor wat het geïnstalleerd vermogen betreft.

Op te merken valt ook dat het jaar 2020 wordt gekenmerkt door de continuïteit van de toename van geïnstalleerd vermogen in de privésector, waartoe de privébedrijven en de particulieren behoren. Deze 2 segmenten hebben opnieuw een jaarrecord bereikt. De vooruitgang van de openbare sector in 2018-2019 is het rechtstreeks gevolg van het programma SolarClick, het gewestelijk investeringsprogramma dat in 2017 opgestart werd door het BHG. De openbare sector is er minder sterk op vooruitgegaan

dan in 2019, met een stagnatie van 38% van het jaarlijks geïnstalleerd vermogen in 2020 in vergelijking met het jaarlijks geïnstalleerd vermogen voor 2019 (39% in 2019).



Figuur 4-6: Evolutie van het aantal in dienst genomen FV-installaties in het BHG per type eigenaar en per jaar (2008-2020)

Figuur 4-6 geeft de evolutie weer van het aantal jaarlijks in dienst genomen installaties. Ze toont een eerste piek in 2009, met 1.279 installaties. Deze piek van de installaties is onder meer het gevolg van de aankondiging van de afschaffing van de gewestelijke premie, die 50% van de investering bedraagt, voor 2010.

Tussen 2010 en 2017 blijft het aantal installaties laag, ook al was 2013 een goed jaar voor wat het geïnstalleerd vermogen betreft, dankzij meerdere grote installaties.

In 2018 zien we een mooi herstel van het aantal installaties (666) in de drie segmenten. Dit is te verklaren door een samenloop van meerdere elementen, waaronder de wereldwijde prijsverlaging, de stijging van de elektriciteitsprijzen en het behoud van het ondersteuningssysteem, dat sinds 2013 niet meer gewijzigd werd. Deze drie elementen vormden een vruchtbare voedingsbodem voor de eerste verwezenlijkingen van de SolarClick-programma's en voor het groeiende succes van de derde-investeerders.

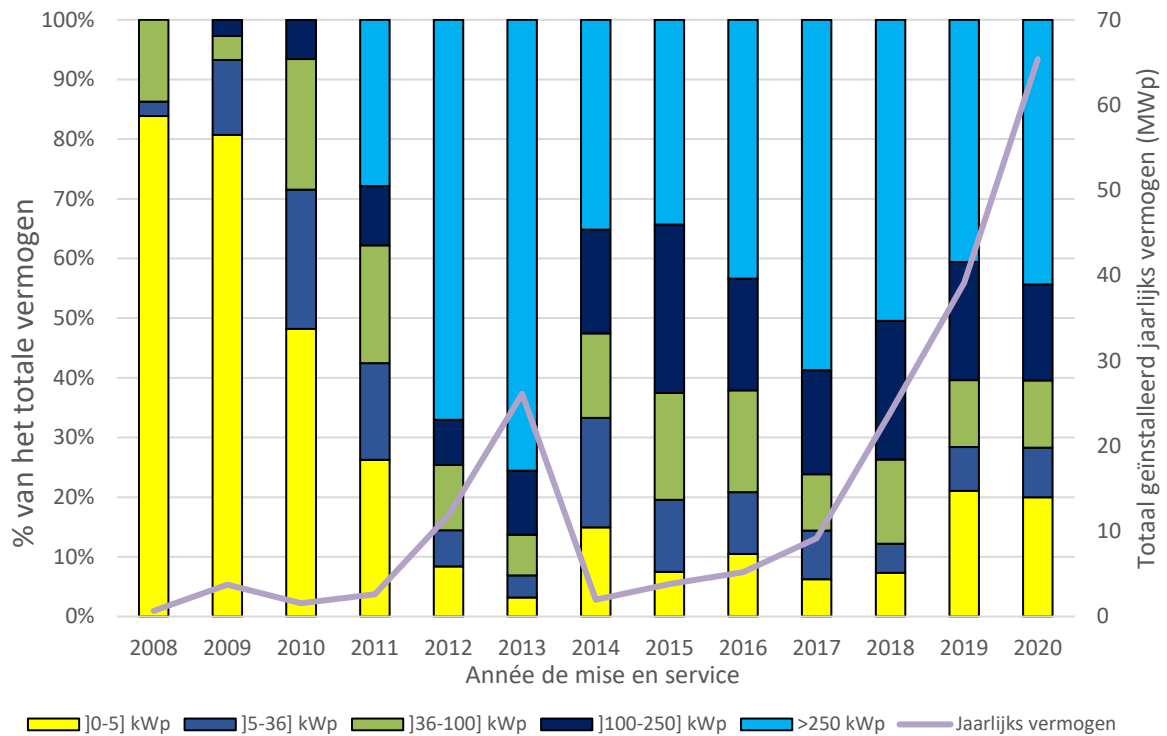
Dit herstel bevestigde zich in 2019, met een nieuw recordaantal installaties in een jaar: 2.379 installaties, i.e. meer dan het drievoudige van het aantal installaties in 2018. In 2020 versterkte deze toename zich met een recordaantal jaarlijks in dienst gestelde installaties, i.e. 3.777 installaties of 58,8% meer dan in 2019.

Tabel 4-2 geeft de gegevens weer die als basis hebben gediend voor Figuur 4-5 en Figuur 4-6.

Tabel 4-2: Evolutie van het aantal en het vermogen van de actieve installaties van het FV-park in het BHG, uitgesplitst per jaar van indienstname en type eigenaar

Jaar IDN	Aantal installaties			Geïnstalleerd vermogen [kWp]			Totaal aantal installaties	Totaal vermogen [kWp]
	Privébedrijf	Overheidsbedrijf	Particulier	Privébedrijf	Overheidsbedrijf	Particulier		
2006	1	1	2	3	28	7	4	38
2007	-	-	24	-	-	42	24	42
2008	11	1	261	79	44	544	273	666
2009	80	2	1.185	599	19	3.132	1.267	3.750
2010	43	9	252	713	68	764	304	1.545
2011	42	5	229	1.631	180	781	276	2.591
2012	95	9	322	10.134	486	1.259	426	11.880
2013	146	23	251	24.798	235	1.097	420	26.130
2014	45	15	74	1.498	163	292	134	1.952
2015	52	31	68	2.926	635	250	151	3.812
2016	68	15	177	3.733	779	689	260	5.201
2017	88	16	159	7.671	874	635	263	9.179
2018	267	43	356	19.506	3.025	1.446	666	23.978
2019	1.416	63	900	31.145	4.263	3.729	2.379	39.137
2020	2.334	48	1.395	55.134	4.233	6.009	3.777	65.376
TOTAAL	4.688	281	5.655	159.569	15.033	20.675	10.624	195.277
%	44%	3%	53%	82%	8%	11%	100%	100%

4.4 Evolutie van het park per vermogensklasse



Figuur 4-7: Relatieve evolutie van de marktaandelen van de verschillende vermogenscategorieën

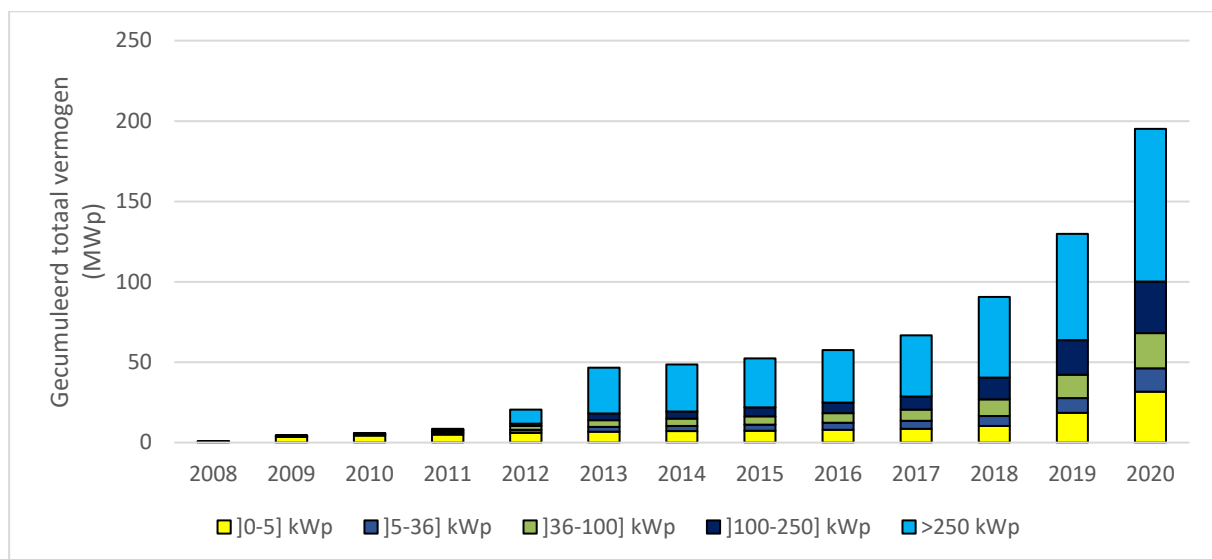
Uit de analyse van de marktaandelen van de verschillende vermogenscategorieën zoals weergegeven in Figuur 4-7 blijkt een aanzienlijke toename van het residentiële aandeel (< 5 kWp) in vergelijking met de 7 voorbije jaren, tot 20% (+ 8,2 MWp) in 2019. Dit is des te opvallender aangezien de markt in volle groei was. In absolute waarde gaat het om een vermenigvuldiging van het in een jaar in dienst genomen vermogen met 4,5 in vergelijking met 2018.

Voor 2020 stellen we vast dat het relatieve aandeel van de residentiële categorie (< 5 kWp) stagneerde rond 20%, met tegelijk een toename met 4,8 MWp ten opzichte van het vermogen van de nieuwe installaties van het vorige jaar (13 MWp in 2020).

Onderstaande tabel 4-3 toont het aantal en de geïnstalleerde vermogens per jaar over de periode 2006-2020, uitgesplitst per vermogenscategorie. Daarin is ook te zien dat alle segmenten in 2020 een toename kennen in absolute cijfers tegenover 2019, met nieuwe records in alle categorieën.

Tabel4-3: evolutie van het aantal en het vermogen van de installaties van het FV-park in het BHG, uitgesplitst per jaar van indienstname en vermogenscategorie tussen 2006 en 2020

Jaar	Aantal installaties					Geïnstalleerd vermogen in kWp					Totaal aantal installaties	Totaal vermogen
	[0-5] kWp	]5-36] kWp	]36-100] kWp	]100-250] kWp	>250 kWp	[0-5] kWp	]5-36] kWp	]36-100] kWp	]100-250] kWp	>250 kWp		
2006	3	1				10	28				4	38
2007	23	1				34	8				24	42
2008	268	3	2			558	16	91			273	666
2009	1.203	61	2	1		3.027	469	151	102		1.267	3.750
2010	262	36	5	1		745	361	338	102		304	1.545
2011	221	43	9	2	1	680	419	511	257	723	276	2.591
2012	294	93	22	6	11	998	722	1.300	895	7.964	426	11.880
2013	237	116	29	19	19	831	966	1.787	2.801	19.744	420	26.130
2014	82	43	4	3	2	292	357	277	340	687	134	1.952
2015	88	43	10	7	3	285	461	682	1.076	1.308	151	3.812
2016	181	58	13	5	3	545	539	886	975	2.257	260	5.201
2017	163	66	13	10	11	574	748	868	1.599	5.390	263	9.179
2018	460	97	55	35	19	1.753	1.180	3.372	5.571	12.103	666	23.978
2019	1.969	267	65	54	24	8.238	2.874	4.396	7.748	15.881	2.379	39.137
2020	3.131	409	127	65	45	13.066	5.450	7.340	10.526	28.994	3.777	65.376
TOTAAL	8.585	1.337	356	208	138	31.636	14.599	22.001	31.991	95.051	10.624	195.277
%	81%	13%	3%	2%	1%	16%	7%	11%	16%	49%	100%	100%



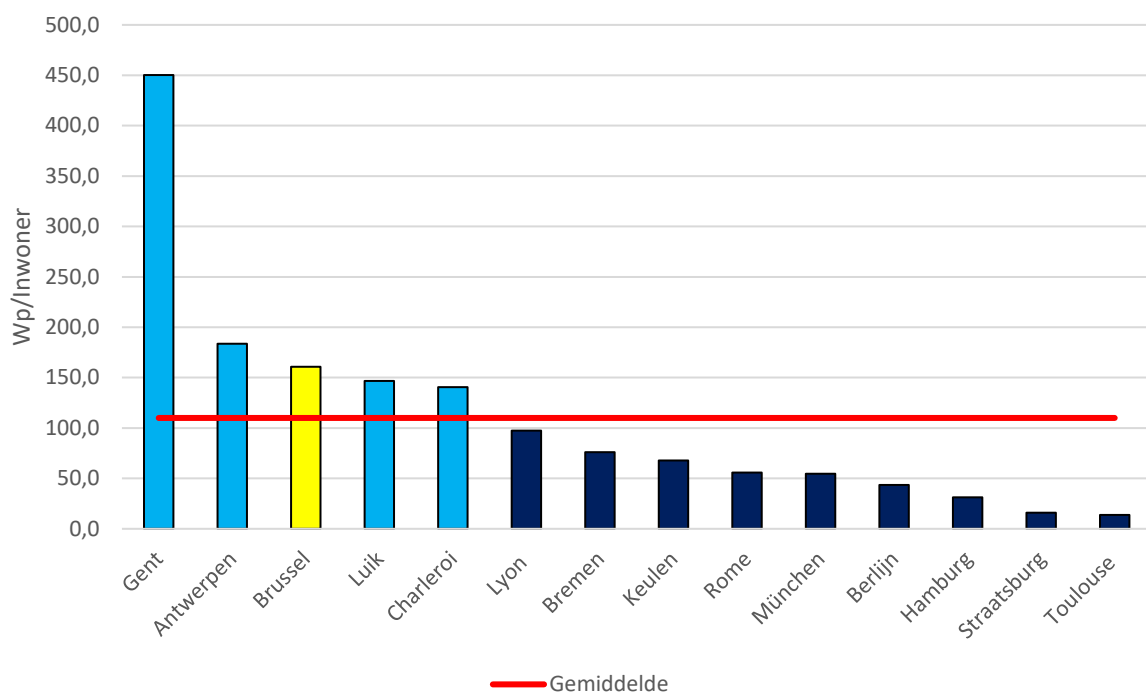
Figuur 4-8: Evolutie van het gecumuleerde in gebruik genomen vermogen van de installaties van het FV-park in het BHG tussen 2008 en 2020, uitgesplitst per vermogenscategorie

Zoals Figuur 4-8 aantoont, domineren de grote systemen (> 250 kWp) het gecumuleerd vermogen sinds 2013 en vertegenwoordigden ze tot eind 2019 meer dan 50%. Als gevolg echter van de indienststellingen van installaties in 2020 stellen we voor het eerst sinds 2013 vast dat het aandeel geïnstalleerd totaal vermogen lager is dan 50% voor de categorie > 250 kWp.

4.5 Europese en interregionale vergelijking

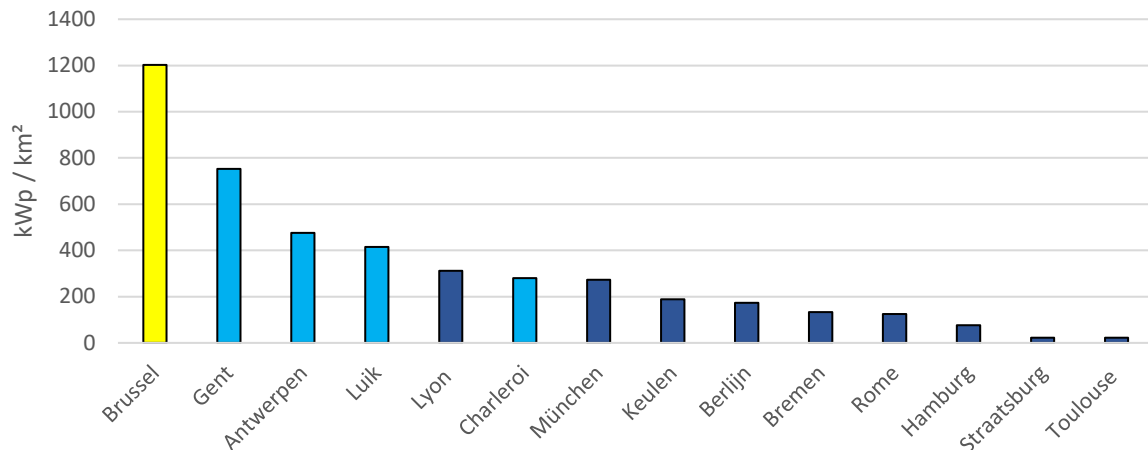
Het Brussels Hoofdstedelijk Gewest is met meer dan 1.214.500 inwoners op ca. 162 km² een van de dichtstbevolkte regio's van Europa. De meeste internationale vergelijkingen om de ontwikkeling van het FV-park in een land of een regio te beoordelen, gebeuren op basis van het totaal geïnstalleerd vermogen of van dit vermogen per inwoner, zonder rekening te houden met de dichtheid. Deze vergelijkingen hebben bijgevolg slechts een beperkt nut voor steden, omdat deze, in tegenstelling tot andere gebieden, weinig mogelijkheden hebben om grote centrales op de grond te installeren.

Daarom wordt in deze afdeling een analyse gemaakt van de prestaties van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest in vergelijking met 13 andere steden. Deze steden werden geselecteerd op basis van hun nabijheid en hun gelijkaardige typologie (aantal inwoners, oppervlakte). Merk op dat Brussel de stad is met de grootste bevolkingsdichtheid onder die steden.



Figuur 4-9: Vergelijking van de Wp/inwoner met 13 andere steden (2020)

Uit de analyse van Figuur 4-9, die het gecumuleerd vermogen in Wp per inwoner weergeeft, blijkt dat het BHG een geïnstalleerd vermogen van 161 Wp/inwoner heeft, wat hoger is dan het gemiddelde van de andere geanalyseerde steden (110 Wp/inw.). Steden waar het geïnstalleerd fotovoltaïsch vermogen per inwoner hoger is dan in Brussel, hebben vaak grote industriegebieden.



Figuur 4-10: Vergelijking van de geïnstalleerde kWp/km² met 13 andere steden (2020)

Deze analyse kan aangevuld worden met de vergelijking van de installatiedichtheid per km². Deze toont beter in welke mate het potentieel wordt geëxploiteerd. Figuur 4-10 toont dat het Brussels Hoofdstedelijk Gewest meer FV per km² geïnstalleerd heeft dan de andere geanalyseerde steden en dit ondanks de grotere bevolkingsdichtheid (~7.500 inw./km²). Het gaat om een cijfer dat meer dan 2 keer hoger ligt dan Antwerpen of Luik, hoewel die een drie keer lagere bevolkingsdichtheid hebben.

5 Geïnstalleerd materiaal

Op basis van de technische gegevens waarover BRUGEL voor deze studie beschikte, werden in dit hoofdstuk vier indicatoren gebruikt en werden de trends die ze vertonen geanalyseerd:

- 1 Specifiek vermogen van de panelen (Wp/m^2) en rendement;
- 2 Dimensioneringsratio tussen het nominaal vermogen in gelijkstroom (GS) van de panelen en het maximaal vermogen in wisselstroom (WS) van de omvormers;
- 3 Marktaandelen van de fabrikanten van panelen;
- 4 Marktaandelen van de fabrikanten van omvormers.

5.1 Samenvatting van de markante feiten

Op basis van de analyse van het materieel van het fotovoltaïsch park in 2020 in het BHG kunnen we de volgende opmerkingen formuleren:

Zoals voorgesteld in de voorgaande jaren, blijven we een geleidelijke toename zien van het specifieke vermogen (Wp/m^2) van de panelen; dit vermogen concentreert zich nu rond $200 Wp/m^2$, wat een hoge waarde is die overeenstemt met hoogrendementsmodules.

Er is een sinds 2017 steeds opvallender tendens tot overdimensionering van het zonnepanelenveld in verhouding tot het vermogen van de omvormers. De gemiddelde verhouding van het vermogen in gelijkstroom/vermogen in wisselstroom (verhouding GS/WS) van het fotovoltaïsch park is voor 2020 gelijk aan 130% tegenover 124% in 2019 en tussen 100 tot 106% in 2017.

Het huidige fotovoltaïsch park in het BHG bestaat uit fotovoltaïsche zonnepanelen afkomstig van meer dan 163 fabrikanten. Sommige hiervan zijn van de markt verdwenen, andere bestaan nog steeds.

De markt van fotovoltaïsche omvormers bestaat uit een dertigtal fabrikanten en wordt grotendeels gedomineerd door de Duitse fabrikant SMA (40%), in alle installatiesegmenten. De Chinese fabrikant Huawei installeerde in 2020 echter meer dan SMA in het segment $> 5 kWp$.

5.2 Specifiek vermogen van de panelen

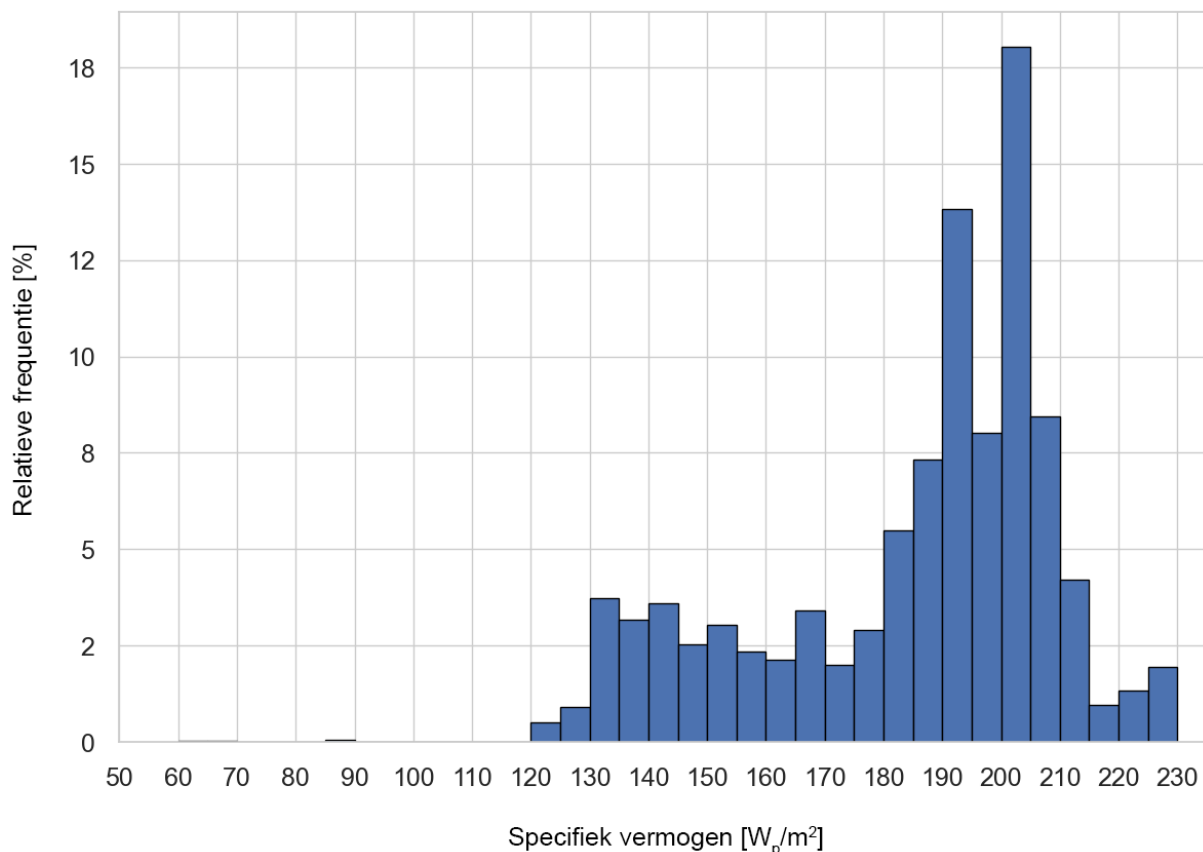
5.2.1 Definitie van de indicator

De databank van BRUGEL bevat zowel het piekvermogen (W_p) als de oppervlakte (m^2) per installatie. Op basis van deze informatie kan het specifieke vermogen van de panelen direct berekend worden door het vermogen te delen door de oppervlakte (W_p/m^2). Deze gegevens vormen technische parameters die de installatie kenmerken in de fase van het ontwerp en de keuze voor de geïnstalleerde onderdelen (technische fiches), maar geven geen informatie over de werkelijke productie van de installaties.

De productiviteit van de fotovoltaïsche installaties en hun prestaties worden geanalyseerd in een hoofdstuk apart (Hoofdstuk 0).

5.2.2 Situatie eind 2020

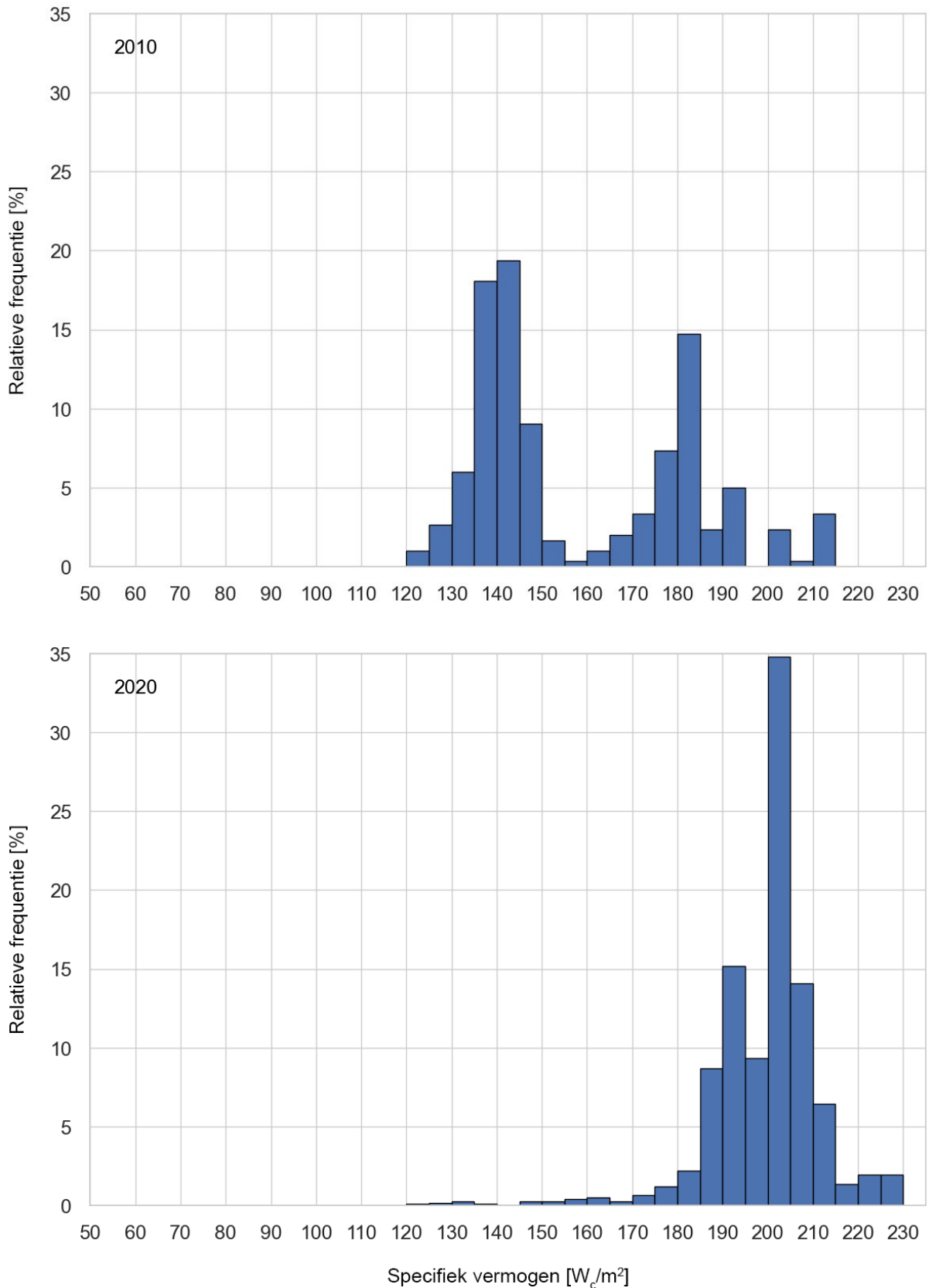
Histogram van de specifieke vermogens van het FV-park



Figuur 5-1: Frequenties van de specifieke vermogens van de panelen: Staat van het Brusselse park eind 2020

Figuur 5-1 geeft de situatie van het FV-park aan het einde van 2020 weer (gecumuleerde vermogens). Ze toont vrij gespreide oppervlakterendementen met twee modi (twee relatieve maxima) van ongeveer $140 W_p/m^2$ en $200 W_p/m^2$. We vinden technologieën met een laag rendement ($60 W_p/m^2$) van het type amorf silicium terug, naast mono- en polykristallijne technologieën (120 tot $180 W_p/m^2$) en technologieën met een hoog rendement (meer dan $180 W_p/m^2$) van het type LG of SunPower (de zogenaamde "backcontacten"). De analyse van de evolutie van deze indicator in de tijd toont aan hoe deze bimodale verdeling tot stand is gekomen.

5.2.3 Evolutie van de specifieke vermogens



Figuur 5-2: Frequenties van de specifieke vermogens van de panelen: Installaties in dienst genomen in 2010 (bovenaan) en in 2020 (onderaan)

Zoals voor 2019 toont de vergelijking van de verdeling van de specifieke vermogens van de installaties in dienst genomen met een tussentijd van 10 jaar (2010 en 2020) ons twee duidelijk verschillende situaties:

- Vóór 2010 was er een zeer brede waaier van specifieke vermogens die toeliet een onderscheid te maken tussen verschillende technologieën van panelen (amorf silicium en dunne lagen, poly- en monokristallijn silicium en monokristallijn silicium met hoog rendement), zoals wordt getoond in de gecumuleerde situatie van Figuur 5-1.
- In 2010 stellen we vast dat de in dienst gestelde vermogens zich concentreren rond drie belangrijke technologieën: de polykristallijntechnologie met een relatief maximum rond 140 W/m^2 , de monokristallijntechnologie rond 180 Wp/m^2 en de hoogrendementstechnologie rond 200 Wp/m^2 van het type LG of SunPower (zogenaamd "met backcontact").
- 10 jaar later is de spreiding veel kleiner en eerder geconcentreerd rond een heel wat hoger specifiek vermogen, wat wijst op een algemene evolutie van de "state of the art" wat betreft de vervaardiging van fotovoltaïsche panelen. Het wordt heel moeilijk er de verschillende aanwezige technologieën in te onderscheiden, uitgezonderd de hoogrendementstechnologie van het type SunPower of LG ($> 220 \text{ Wp/m}^2$).

Zoals we eveneens zullen zien bij de analyse van de marktaandelen is de technologische omgeving in 10 jaar erg veranderd, met een tendens tot meer homogeniteit. De merken en technologieën lijken te evolueren naar hoge standaarden van oppervlakterendement voor fotovoltaïsche panelen geïnstalleerd op zonnecentrales of op daken (Building Applied Photovoltaics - BAPV), die de grote meerderheid van de huidige markt vormen. De vorige studies kondigden deze geleidelijke verbetering van de Wp/m^2 op het grondgebied reeds aan en deze tendens zet zich door.

5.3 Dimensionering van de omvormers

Sinds 2018 staat BRUGEL niet langer in voor het beheer van de informatie met betrekking tot de omvormers. De databank van de installaties die voor dit hoofdstuk zijn geanalyseerd, is afkomstig van SIBELGA.

Van de 10.356 CU in het bestand werden 195 lijnen geweerd daar ze overeenstemden met fotovoltaïsche systemen die zijn samengesteld uit meerdere merken en/of meerdere types omvormers. Deze fotovoltaïsche systemen met omvormers van verschillende types of merken vertegenwoordigen 7,208 MVA en de geaggregeerde gegevens inzake geïnstalleerd vermogen (kWp en kVA) zijn elders in het bestand beschikbaar.

Het geanalyseerde SIBELGA-bestand bevat eind 2020 dus 10.161 unieke CU voor een totaal van 177,805 kWp en 149,557 kVA, op basis waarvan we een gemiddelde overdimensionering kunnen berekenen van 119% aan AC-vermogen dat is aangesloten op het distributienet. Deze ratio, die 1% is gestegen in vergelijking met 2019, blijft in de lijn liggen van de tendensen inzake ontwerp en installatie. Alleen al voor het jaar 2020 wordt deze ratio op 130% gebracht.

Er wordt voorbehoud gemaakt wat betreft de betrouwbaarheid van de gegevens, meer bepaald in het geval van het maximaal AC-vermogen van de omvormers Delta Grid en sommige omvormers van Huawei.

De omvormers Delta Grid zijn ontworpen voor driefasige netten zonder verdeelde nulleider (3x230V). Het gaat om een configuratie van LS-aansluiting die wijdverspreid is bij particulieren en bedrijven op het grondgebied van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Het maximaal AC-vermogen van de omvormer Delta Grid wordt geparаметriséerd om te worden verminderd met een factor $\sqrt{3}$ in vergelijking met de driefasige omvormers die initieel werden ontworpen om te worden aangesloten op 400 V. In de praktijk wordt het vermogen van de omvormer aangepast aan het distributienet waarmee hij wordt verbonden. Hoewel het om hetzelfde toestel gaat, wordt een driefasige omvormer van 17 kVA voor een aansluiting in 400 V een omvormer van 10 kVA voor een aansluiting in 3x230 als gevolg van de parametrisatie.

In het bestand vermelden de omvormers waarvan wordt vermeld "aangesloten in delta", soms een Delta Grid-vermogen en soms een nominaal vermogen. In totaal vermeldt het bestand eind 2020 96 meervoudige CU met Delta Grid-omvormers voor een totaal van 3,89 MVA.

Het type omvormer is een interessant veld dat nog heel wat informatie kan verstrekken in het kader van de toekomstige studie over het zelfverbruik. Dit veld laat immers toe het maximaal AC-vermogen inzake productie en het type aansluiting (mono of driefasig) van de fotovoltaïsche omvormer te kennen. In het residentieel segment bestaat een courante installatiepraktijk er immers in om een eenfasige omvormer aan te sluiten op een 3x230-net. Technisch gezien wordt de elektriciteitsproductie op basis van FV-panelen verzekerd, maar de percentages zelfverbruik zullen misschien minder hoog zijn dan verwacht. De studie van het zelfverbruik van deze gevallen zal wellicht een aantal denkpijpen opleveren betreffende de installatie- of verbruikspraktijken.

De toegewezen AC-vermogens en het type aansluiting van alle types omvormers met C10/11-homologatie behoren tot de eigenschappen die beschikbaar zijn in het bestand van het materieel dat Synergrid, i.e. de federatie van de netbeheerders voor elektriciteit en gas in België, in haar lijst heeft gehomologeerd[2].

Het zou dus mogelijk zijn een standaardisering van de gegevensinvoer betreffende het type omvormer in overweging te nemen.

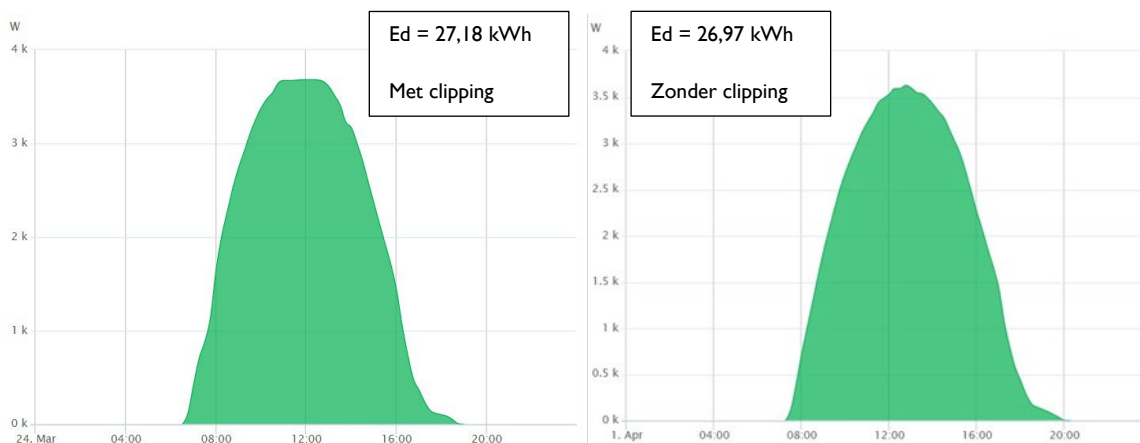
5.3.1 Definitie van de indicator

De analyse van de dimensionering van de omvormer gebeurt door middel van de vermogensverhouding GS/WS, m.a.w. de verhouding tussen het nominaal vermogen onder standaard testvoorwaarden (Standard Test Conditions – STC⁴) in gelijkstroom van de panelen en het maximaal AC-vermogen in wisselstroom van de omvormer.

$$\text{Vermogensverhouding} \frac{GS}{WS} = \frac{\text{STC – vermogen van de panelen (kWp)}}{\text{Maximaal AC – vermogen van l'omvormer (kVA)}}$$

Als deze verhouding groter is dan 1, spreken we over overdimensionering van de installatie.

Overdimensionering komt steeds vaker voor bij installatie, daar het nominaal vermogen of piekvermogen van de panelen (uitgedrukt in kWp) zelden wordt bereikt en afhankelijk is van de ontvangen instraling en de temperatuur van de panelen. Aangenomen wordt eveneens dat een omvormer die te licht belast is vaak minder efficiënt is dan een omvormer die tegen een grotere belasting werkt, niettegenstaande de piekvereffening van het vermogen van de omvormer op bepaalde ogenblikken van het jaar. De piekvereffening doet zich voor wanneer het maximaal AC-vermogen van de omvormer door de panelen wordt bereikt. Natuurlijk moet ze beperkt blijven om een kwaliteitsvolle productiviteit te garanderen. Deze tendens tot matige piekvereffening wordt in het Engels "clipping" genoemd.



Figuur 5-3: Voorbeeld van overgedimensioneerde installatie met piekvereffening

Figuur 5-3 toont met 2 dagen tussentijd, voor eenzelfde systeem en uitgaand van een zonnige dag, een productie met piekvereffening van 27,18 kWh en een vermogen zonder piekvereffening van 26,97 kWh. Algemeen stellen we vast dat productie met piekvereffening dus groter kan zijn dan productie zonder piekvereffening.

Overdimensionering laat toe de kosten van de gebruikte omvormers en dus ook de investeringskosten te beperken. Natuurlijk veralgemeent deze praktijk zich in een concurrentiële markt en leidt ze tot een daling van de kostprijs van elektriciteit voor zelfproducenten. Deze tendens in de dimensionering van de installaties wordt bovendien ondersteund door de voornaamste fabrikanten van omvormers, die hun producten waarborgen voor dimensioneringen die in sommige gevallen tot 330 % van het AC-

⁴ STC-vermogen: gestandaardiseerd vermogen onder de volgende voorwaarden: bezonning 1.000 W/m²; celtemperatuur 25°C et luchtmassaspectrum 1,5.

vermogen kunnen bedragen⁵. Er is geen enkele omvormer van dit type teruggevonden in de gegevensbank van SIBELGA, zodat we een maximale waarde van 200% overdimensionering in aanmerking hebben genomen om de kwaliteit van het FV-park eind 2020 te beoordelen.

In het kader van deze studie werd een filter "Hoog-Laag" toegepast om enkel de waarden van GS/WS-verhouding tussen 70 en 200% te behouden, wat overeenstemt met het technisch potentieel van de omvormers eind 2020. De waarden buiten dit bereik stemmen overeen met installaties waarvan het ontwerp of de gegevensbanken van lage kwaliteit zijn.

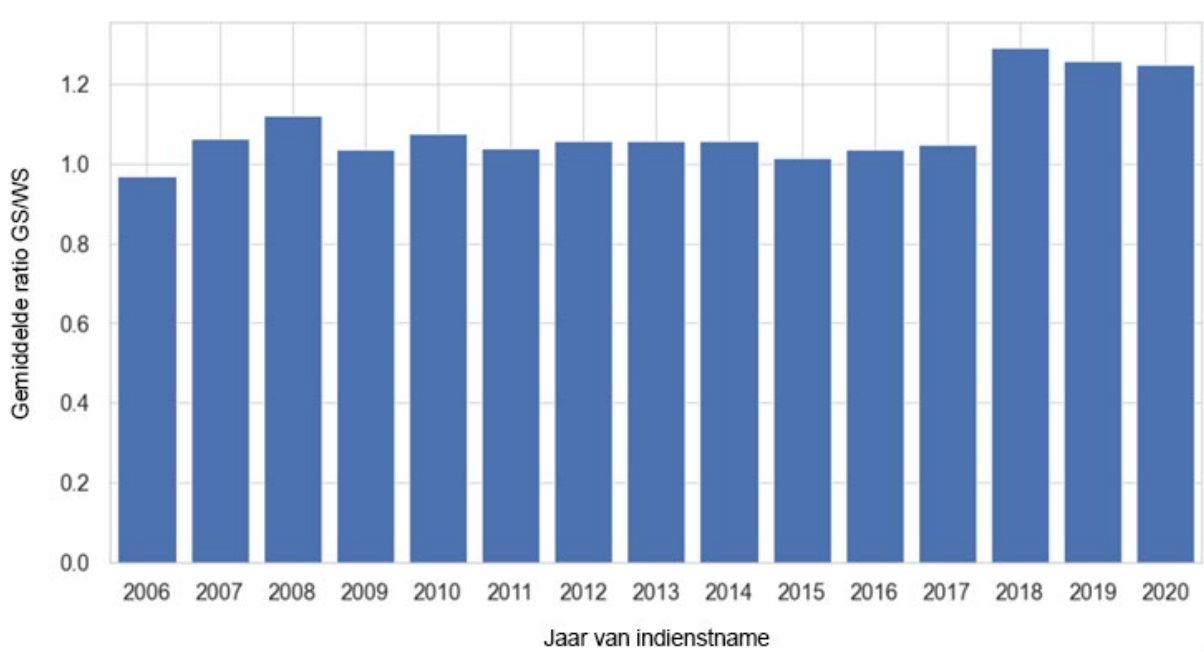
5.3.2 Situatie in 2020

Over het geheel van de gegevensbank van SIBELGA wordt een gemiddelde overdimensionering van 119% vastgesteld voor het vermogen van de panelen in verhouding tot het vermogen van de omvormers. Een winst van 1% in vergelijking met 2019 wordt waargenomen voor het geheel van de steekproef.

Uit de analyse per vermogenscategorie bleek geen significant verschil tussen de klassen. Dit wordt hier dus niet verder uitgewerkt.

De analyse per jaar van indienststelling toont echter een significante evolutie van deze dimensioneringsverhouding, zoals we hierna voorstellen.

5.3.3 Evolutie van de vermogensverhouding GS/WS



Figuur 5-4: Evolutie van de gemiddelde verhouding GS/WS per jaar van indienstname⁴

Figuur 5-4 toont ons dat deze verhouding schommelt tussen 100 en 106%, tot in 2017.

⁵ Dit is het geval voor de omvormer SolarEdge SE 10k HDC.

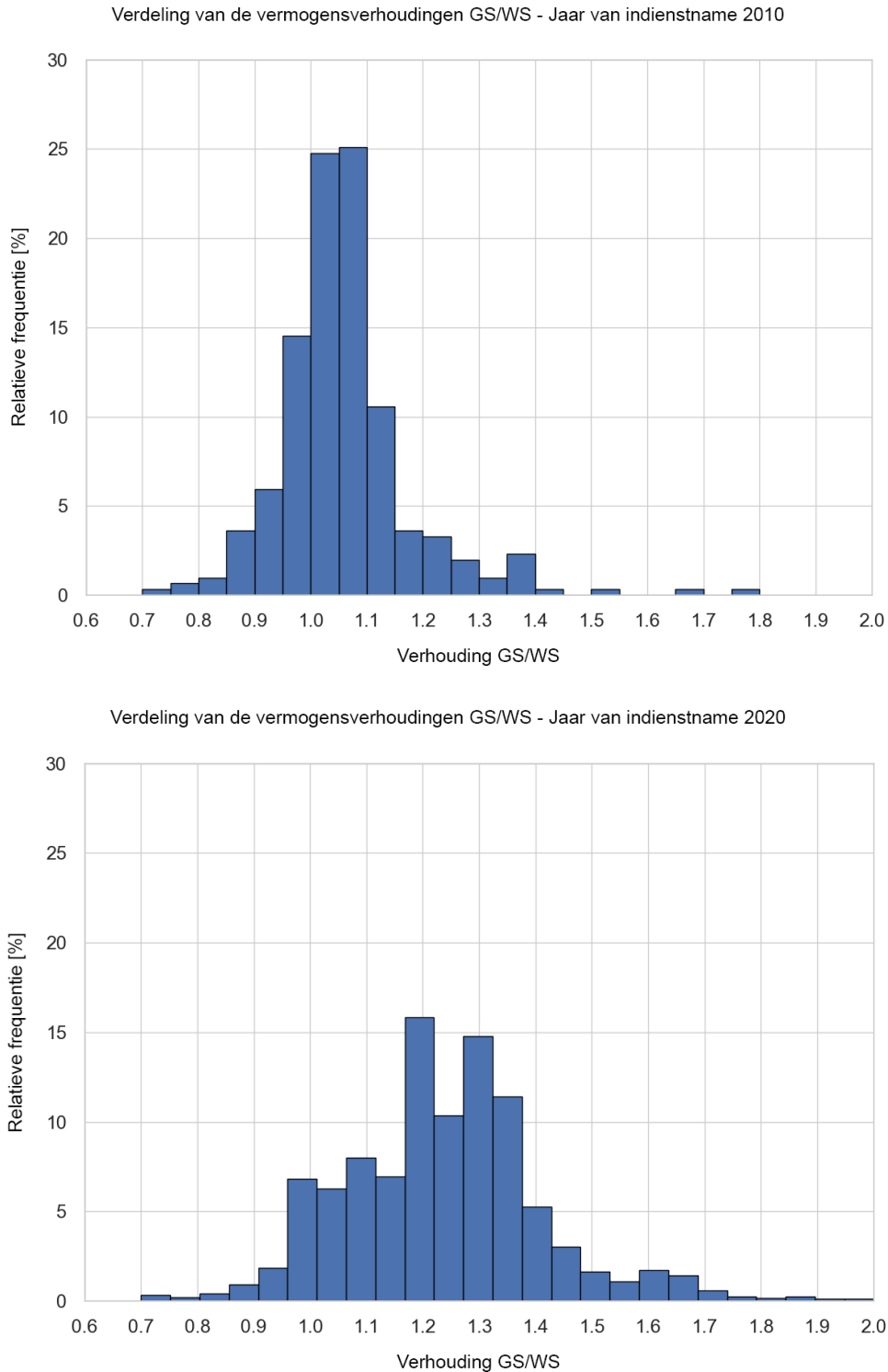
De laatste drie jaar tonen een sterke breuk wat betreft de dimensioneringspraktijken van de omvormers. De overdimensionering die wordt gewaarborgd door de constructeurs, bereikt 130% in 2020 voor 3.579 CU.

Algemeen stellen we vast, net als vorig jaar, dat de algemene verhouding GS/WS van het FV-park in het BHG een stijgende tendens laat zien.

De historische waarden van goede praktijken, die een vermogensverhouding GW/WS tussen 80 en 120% bepalen, lijken te worden overschreden en zouden kunnen worden aangepast met waarden die in de buurt komen van de overdimensioneringen die worden gewaarborgd door de constructeurs van omvormers [3].

In Brussel worden de vermogensklassen voor de toekenning van GSC uitgedrukt in kWp, zodat de evolutie van deze verhouding aanleiding zou kunnen geven tot een herziening van de drempel van 5 kWp voor residentiële installaties, wat perfect in overeenstemming is met de technische reglementen voor aansluiting op het distributienet.

Figuur 5-5 vergelijkt de spreiding van deze verhoudingen tussen twee jaren met een tussentijd van 10 jaar: 2010 en 2020. Ook deze tendens in de richting van een overdimensionering van de omvormers is merkbaar.



Figuur 5-5: Spreiding van de vermogensverhoudingen GS/WS in 2010 en in 2020

Deze tendens tot overdimensionering van het GS-vermogen ten opzichte van het WS-vermogen is duidelijk merkbaar sinds 2018 en kan worden verklaard door meerdere factoren:

- Dankzij de technologische evolutie kunnen fabrikanten momenteel garanties bieden voor omvormers met hoge overdimensioneringspercentages in verhouding tot de zonnepanelenvelden. Zo garandeert SMA haar eenfasige en driefasige omvormers voor een overdimensionering van 170 tot 200% op onze breedteligging[3].
- De tijdens de afgelopen jaren meer uitgesproken exploitatie van daken met oost-westoriëntatie of met gedeeltelijke schaduw verklaart dit fenomeen zonder enige twijfel. Ze laten een overdimensionering van het veld met fotovoltaïsche panelen mogelijk, daar de panelen slechts zeer zelden hun STC-vermogen zullen bereiken.
- Ten slotte zijn de technische regelgevingen met betrekking tot het maximaal AC-vermogen in de loop van de tijd geëvolueerd en hebben ze wellicht een weerslag gehad op de technische offertes van de fabrikanten van omvormers. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de vereiste met betrekking tot het ontkoppelingsrelais (van 10 naar 30 kVA), de gedeeltelijke beëindiging van de compensatie onder 5 kVA of de invoering van een prosumenteraarf dat vaak gebaseerd is op het maximaal AC-vermogen in Vlaanderen en Wallonië.

Hoe dan ook moet deze overdimensionering een vermindering van de investeringskosten mogelijk maken en, bijgevolg, ook van de kostprijs van zonne-elektriciteit (LCOE) indien de overdimensionering niet al te vaak tot piekvereffening leidt. Het productieverlies als gevolg van het feit dat een maximale AC-grens wordt bereikt, moet immers beperkt blijven tot enkele uren rond de zonnemiddag en dit slechts op enkele dagen over een heel jaar. De helling van de panelen en de temperatuur spelen natuurlijk een belangrijke rol in de periode waarin deze piekvereffening plaatsheeft, zodat deze piekvereffeningen slechts sporadisch mogen opduiken in de lente, wanneer de temperatuur van de cellen laag blijft.

5.4 Marktaandeelen van de fabrikanten van panelen

De analyse van de marktaandeelen van de verschillende fabrikanten van panelen heeft tot doel de grote trends op de Brusselse markt vast te stellen en ze te situeren ten opzichte van de wereldwijde trends. Deze analyse werd uitgevoerd op het volledige park van installaties in het Gewest, zowel actieve als inactieve.

In tegenstelling tot de voorbije jaren werd de oorsprong van de panelen niet behouden als relevant criterium, voornamelijk om de twee volgende redenen: Enerzijds is het moeilijk het land van oorsprong te bepalen, aangezien de fabrikanten in vele landen assemblagelijnen hebben, en niet alleen in het land waar de maatschappelijke zetel gevestigd is. Anderzijds zijn ook de onderdelen van de panelen van meerdere landen afkomstig (voornamelijk uit China), ook al kan de assemblage lokaal zijn, zoals voor de Belgische fabrikanten New ISSOL (Verviers) of Evocells (Baillonville).

De resultaten van deze studie zouden idealiter kunnen worden gebruikt ter evaluatie van de aansluiting van de fabrikanten bij de recyclingindustrie en de verplichting inzake milieubijdrage PVCycle die sinds 1 januari 2020 van toepassing is in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

5.4.1 Geanalyseerde steekproef

De databank van BRUGEL vermeldt eind 2020 163 verschillende merken van panelen (tegenover 152 in 2019), in alle ontwikkelingsfasen van de administratieve procedure. De grote variëteit aan merken doorheen de jaren toont de dynamiek die op deze markt heerst. Los van de groepering van bepaalde merken omwille van bedrijfsfusie, werden geen andere filters toegepast. De voor deze indicator voorgestelde gegevens hebben dus betrekking op het geheel van de bezorgde gegevens. De informatie over de fabrikant is niet beschikbaar voor 7.512 kWp (4% van het park), i.e. dezelfde ratio als voor 2019. Installaties met afwijkende gegevens kwamen eveneens in de categorie "NDA⁶(-)" terecht.


























Omwille van de zichtbaarheid van de voorgestelde analyseresultaten hebben we een selectie gemaakt van de eerste 25 merken op vlak van geïnstalleerd vermogen sinds 2012. De andere merken van modules bevinden zich in de categorie "Others" (17% van het vermogen, of 7% meer tegenover 2019).

⁶ NDA (-) = no data available

5.4.2 Rangschikking van de 25 meest geïnstalleerde merken in het BHG

De eerste 25 fabrikanten vertegenwoordigen eind 2020 81% van het geïnstalleerd vermogen (-4% tegenover 2019). Deze fabrikanten (top 25) worden hieronder weergegeven; de categorie "Others" groepeert de fabrikanten die niet in deze rangschikking zijn opgenomen.

Tabel 5-1: Top 25 van de in het BHG geïnstalleerde panelen/modules

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Algemeen totaal		
JA Solar	37	1.548	52	32	3	1.048	2.545	12.907	13.532	31.704		
Trina Solar	830	1.781	65	738	317	576	837	7.244	10.922	23.421		
Sunpower	565	4.205	174	231	146	495	582	2.309	5.954	14.817		
Hanwha (Qcells)	786	2.059	96	362	252	203	2.633	2.224	4.226	12.843		
Yingli	1.159	7.063	14	3	17		2.498			10.916		
REC	37	3.769	60	211	974	57	1.153	1.479	655	8.458		
Longi							325	3.249	4.326	7.899		
LG	32	14	4	20	127	16	2.651	1.807	1.417	6.087		
Canadian Solar	72	533	28			852	1.368	900	1.510	5.284		
EnergyVision (EV)									4.962	4.962		
Suntech	32	1.323	1.038		4				689	3.085		
CSUN		361	54		836		1.825		5	3.081		
EXE							4	1.425	1.135	2.564		
AUO			62	7	38	576	1.030	469	251	80	2.512	
Risen Energy			143					926	1.251	2.319		
LDK Solar			2.295							2.295		
ET Solar	17	624	950	325						1.938		
Espy		1.749								1.749		
Panasonic	121	177	22	10		4	436	108	697	1.635		
Talesun						1.234	135	17	153	1.538		
BYD (Build Your Dreams)		3	60				606	730		1.399		
Renesola		885	32	245	40				93	1.294		
IBC Solar				15	17	80	189	613	261	1.218		
S-Energy	1	11		20	282	61	695	111	19	1.206		
Astronergy			90					25	1.090	1.205		
Algemeen totaal	3.688	28.693	2.655	2.251	3.592	5.657	18.950	36.325	52.974	155.432 kWp		
											NDA (-): 2% 3.558 kWc	
											Others: 17% 32.729 kWc	
											Sample 100% 195.277 kWc	

In vergelijking met 2019 verschijnt er in 2020 een nieuw merk van module (EnergyVision – EV-) dat al vanaf zijn aankomst op de installatiemarkt in het BHG positie inneemt in de top 10 met 4,96 geïnstalleerde MWp voor het jaar 2020 voor alle vermogenscategorieën samen. Het gaat om de panelen die worden geïnstalleerd door een van de grootste derde-investeerders die actief zijn in Brussel.

Algemeen zijn de hierboven vermelde fabrikanten voor het merendeel gerenommeerde merken op de wereldmarkt, wat minstens ten dele voor de prosumers waarborg staat voor kwaliteit en een grotere zekerheid voor wat betreft de dienst na verkoop en de recuperatie van de panelen op het einde van hun levensduur.

In deze tabel merken we net als in 2019 een zekere regelmaat doorheen de jaren op voor wat de merken in de top 10 betreft, evenals een consolidatie van de plaatsen die de grootste spelers innemen (toename in functie van de jaarlijkse dynamiek van de FV-markt).

We vestigen de aandacht op SunPower, dat de grootste relatieve groei realiseert met 258% tegenover 2019, en Trina Solar (+151%) dat op gevoelige wijze in de buurt komt van het jaarlijks geïnstalleerd volume door JA Solar (-7% in vergelijking met zijn resultaten voor 2019).

De "premium"-merken zoals LG (8ste) en SunPower (3de) zijn goed vertegenwoordigd in deze rangschikking en hun cijfers weerspiegelen duidelijk de dynamiek van de markt. Sunpower had een zeer goed jaar 2020 in Brussel en doet beter dan Hanwha (Qcells) en Longi in vergelijking met 2019. In deze

studie worden merken die hoge rendementen en vooral garanties op hun producten van 25 jaar bieden als "premium"-merken beschouwd.

Sommige merken maken hun opwachting in het klassement (EnergyVision) terwijl andere van de Brusselse markt lijken te verdwijnen (Yingli, LDK, ET, Espy, BYD).

Bijna de helft van de merken in deze rangschikking heeft in de loop van 2020 meer dan 1 MWp geïnstalleerd en de eerste plaatsen worden ingenomen door fabrikanten die tijdens een goed jaar meer dan 10 MWp installeren.

We stellen eveneens vast dat een Belgische fabrikant uit dit klassement is verdwenen, i.e. ISSOL, die voornamelijk teerde op zijn resultaten van 2014, met 1,08 MWp geïnstalleerd op een beperkte markt. Evocells (panelen geassembleerd in Baillonville) installeerde dan weer 114 kWp in 2020 (18 kWp in 2019) en brengt zijn gecumuleerd vermogen daarmee op 141 kWp op het grondgebied van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

5.4.3 Top 10 van merken voor het residentieel en commercieel/industriële segment

De analyse van deze merken per segment toont aan dat er verschillen zijn tussen de segmenten voor wat marktdynamieken betreft.

Tabel 5-2: Top 10 van fabrikanten van panelen

	Residentieel segment (< 5 kWp)		Industrieel segment (> 5 kWp)	
	Merk	Vermogen	Merk	Vermogen
1	JA Solar	5.918	JA Solar	25.784
2	Sunpower	5.898	Trina Solar	21.653
3	EnergyVision (EV)	2.918	Hanwha (Qcells)	12.099
4	EXE	2.114	Yingli	10.846
5	Trina Solar	1.657	Sunpower	8.841
6	Boviet Solar	870	REC	8.187
7	LG	798	Longi	7.166
8	Hanwha (Qcells)	744	LG	5.290
9	Longi	733	Canadian Solar	5.166
10	AUO	623	CSUN	3.069
	Algemeen totaal	22.271	Algemeen totaal	108.100

Bij de installaties van minder dan 5 kWp vertegenwoordigen de eerste 10 merken 81% van de residentiële markt in 2020 (85% in 2019).

Bij de installaties van meer dan 5 kWp zijn de eerste 10 merken samen goed voor 72% van dit segment (dezelfde verhouding als in 2019).

EnergyVision (EV) verschijnt in 2 marktsegmenten maar springt vooral in het oog in het residentieel segment. Met uitzondering van 7 merken (EXE, AUO, Boviet Solar, Yingli, REC, Canadian Solar, CSUN) zijn in de twee segmenten grotendeels dezelfde spelers aanwezig.

5.4.4 Relatieve marktaandeelen

De analyse van de relatieve marktaandeelen wordt weergegeven in onderstaande Tabel 5-3. Om een duidelijker beeld te geven werden de waarden afgerond en werden waarden die tijdens het jaar niet evolueerden, weggelaten. Waarden van 0% zijn dus relatieve marktaandeelen van minder dan 0,5%.

Tabel 5-3: Relatieve marktaandeelen van de Top 25 op het vlak van vermogen

Merk	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Gecumuleerd:
JA Solar	1%	5%	2%	1%	0%	19%	14%	36%	22%	19%
Trina Solar	22%	6%	2%	33%	9%	10%	5%	20%	21%	15%
Sunpower	15%	15%	6%	10%	4%	9%	3%	6%	11%	9%
Hanwha (Qcells)	21%	7%	3%	16%	7%	4%	14%	6%	8%	8%
Yingli	30%	25%	1%	0%	1%		14%			7%
REC	1%	13%	2%	9%	29%	1%	6%	4%	1%	5%
Longi							2%	9%	8%	5%
LG	1%	0%	0%	1%	4%	0%	14%	5%	3%	4%
Canadian Solar	2%	2%	1%			15%	7%	2%	3%	3%
EnergyVision (EV)									9%	3%
Suntech	1%	5%	37%		0%				1%	2%
CSUN		1%	2%		25%		10%		0%	2%
EXE							0%	4%	2%	2%
AUO		0%	0%	2%	17%	18%	3%	1%	0%	2%
Risen Energy		0%						3%	2%	1%
LDK Solar		8%								1%
ET Solar	0%	2%	34%	15%						1%
Espy		6%								1%
Panasonic	3%	1%	1%	0%		0%	2%	0%	1%	1%
Talesun								0%	3%	1%
BYD (Build Your Dreams)						22%	1%	0%	0%	1%
Renesola		0%	2%				3%	2%		1%
IBC Solar		3%	1%	11%	1%				0%	1%
S-Energy				1%	1%	1%	1%	2%	0%	1%
Astronergy	0%	0%		1%	8%	1%	4%	0%	0%	1%

Net als in 2019 zien we in 2020 een vrij sterke concentratie van de geïnstalleerde volumes verspreid over enkele grote merken:

- JA Solar en TrinaSolar totaliseren 43% van het geïnstalleerd vermogen in 2020 in het BHG
- Sunpower (11%) en LG (3%) totaliseren 13% van het geïnstalleerd vermogen eind 2020 in het BHG
- De komst van de panelen van het merk EnergyVision is duidelijk en bliksemsnel, met 9% van het geïnstalleerd vermogen in 2020, i.e. meer dan Hanwha (Qcells) en Longi die ieder toch ook goed waren voor 8%.

5.5 Marktaandeelen van de fabrikanten van omvormers

5.5.1 Geanalyseerde steekproef











De gegevens die voor deze indicator worden voorgesteld, zijn afkomstig van SIBELGA en betreffen installaties met jaren van indienstname 2006 tot en met eind 2020. Er werd een filter toegepast op deze dataset en enkel de waarden met een verhouding GS/WS tussen 80% en 200% werden gebruikt. Niet-gebruikte gegevens werden ondergebracht in de categorie "NDA (-)". De installaties werden eveneens gegroepeerd per vermogensklasse in kWp om de vergelijking met de bestanden van BRUGEL mogelijk te maken. Ten slotte is voor 17% van de installaties (25% in 2019) geen informatie over de fabrikant beschikbaar in de dataset. Dit komt neer op 5% van het vermogen tegenover 6% in 2019 en vertegenwoordigt een totaal van 7.540 kVA. Deze installaties werden overgebracht naar de categorie "NDA (-)"⁷.

De minst vertegenwoordigde merken zijn samengebracht in de categorie "Others".

5.5.2 Klassement en top 10 van de merken van omvormers

Tabel 5-4 geeft de marktaandeelen weer van de top 10 van merken van omvormers in het BHG met maximaal AC-vermogen aangesloten op het laagspanningsdistributienet

Tabel 5-4: Top 10 van de merken van omvormers van het FV-park eind 2020 in het BHG

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Algemeen totaal	
SMA	648	359	367	1.721	11.650	2.919	1.605	1.570	1.658	3.576	13.202	16.547	55.934	
Huawei	4		4		28			283	1.034	5.791	8.073	15.964	31.181	
ABB	30	15	147	1.718	12.272	346	1.138	346	421	1.358	1.627	1.192	20.609	
SolarEdge			16	156	369	76	10	166	426	2.703	4.204	8.123	16.250	
Fronius	117	62	27	913	1.125	254	42	1.332	2.041	2.123	65	177	8.310	
Solis									4	22	2.563	1.617	4.206	
GoodWe									15	10	302	563	890	
KACO	36	13	5	18	56					673			811	
Growatt					210	280		2	9			11	210	
REFUsoI					476		122						598	
Algemeen totaal	3.491	1.365	1.160	4.700	27.303	3.879	3.312	3.703	6.121	16.940	30.058	44.393	147.024	kVA
Others:													2.533	kVA
NDA (-):	2.654	915	595	174	1.118	4	395	3	514	684	11	0	7.511	kVA
Sample:													149.557	kVA
Oversizing (ratio DC/AC) -SIBELGA-:													119%	

We stellen vast dat deze markt nog sterker is geconcentreerd dan die van de panelen. De top 10 van de merken van omvormers concentreert immers 93% van de markt in het BHG (91% in (2019) en slechts drie merken (SMA, ABB en Huawei) domineren de Brusselse markt met 73% marktaandeel (77% in 2019). In totaal worden 34 verschillende merken geteld op het grondgebied van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. In vergelijking met het vorige jaar hebben we er de voorkeur aan gegeven het commerciële merk, Solis, te behouden in plaats van het ondernemingsmerk, Ginlong Technologies, maar het gaat om dezelfde fabrikant en dezelfde toestellen.

Het aantal onbeschikbare gegevens (NDA) neemt sterk af van jaar tot jaar en alle gegevens voor 2020 vermelden de naam van de fabrikant.

Volgens de ter beschikking gestelde dataset bedraagt de gemiddelde verhouding GS/WS van het park 119% , wat representatief lijkt.

⁷ NDA (-) = no data available

5.5.3 Top 5 van de fabrikanten van omvormers in het "residentieel" en het "commercieel/industriële" segment

Tabel 5-5 en Tabel 5-6 geven de evolutie weer van de marktaandeelen van de aangesloten vermogens per merk van omvormers in het residentieel segment (< 5 kWp) en in het segment van de grote installaties, dat we besloten hebben het commercieel/industriële segment te noemen (> 5 kWp).

Het geïnstalleerde totaal komt overeen met de dataset (2006-2020), maar de waarden van vóór 2009 worden in deze tabellen niet getoond. Ze zijn echter wel opgenomen in de totale cijfers.

Tabel 5-5: Top 5 van de fabrikanten van omvormers in het residentieel segment

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Algemeen totaal
SMA	497	92	131	494	362	98	161	377	276	741	3.810	5.956	13.075
SolarEdge			3	99	115	35	10	68	141	424	1.801	2.302	4.998
Huawei	4		4							3	395	1.243	1.649
GoodWe									15	10	258	527	810
ABB	15	15	60	172	155	71	44	49	21	32	51	29	716
Totaal:	517	106	198	765	632	204	215	494	453	1.210	6.316	10.056	21.248 kVA
Others:													5.420 kVA
NDA (-)	2.303	550	411	74	43	4	-	3	-	137	6	-	3.985 kVA
Sample													26.668 kVA

Tabel 5-6: Top 5 van de fabrikanten van omvormers in het commercieel/industriële segment

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Algemeen totaal
SMA	151	268	236	1.227	11.288	2.820	1.444	1.194	1.382	2.835	9.392	10.591	42.877
Huawei					28			283	1.034	5.788	7.678	14.721	29.532
ABB	15		87	1.546	12.116	274	1.094	297	399	1.326	1.576	1.163	19.893
SolarEdge			13	57	255	41		99	285	2.278	2.402	5.822	11.252
Fronius	25	15	7	882	1.119	249	38	1.328	1.994	2.106	10	138	7.912
Algemeen totaal	191	283	343	3.712	24.806	3.385	2.576	3.200	5.094	14.334	21.057	32.434	111.466 kVA
Others:													7.868 kVA
NDA (-)	351	365	183	100	1075	0	395	0	514	547	5	0	3.556 kVA
Sample													122.889 kVA

We stellen vast dat SMA in beide segmenten leider blijft en dat het grotendeels om dezelfde fabrikanten gaat. De top 5 van de residentiële omvormers vertegenwoordigt 80% van het geïnstalleerd vermogen in het residentiële segment en 91% van het geïnstalleerd vermogen in het commercieel/industriële segment.

Tabel 5-7: Top 5 van de fabrikanten van omvormers in het residentieel segment en het commercieel/industriële segment

	Residentieel segment (< 5 kWp)		Industriële segment (> 5 kWp)	
	Merk	Vermogen (kVA)	Merk	Vermogen (kVA)
1	SMA	13.075	SMA	42.877
2	SolarEdge	4.998	Huawei	29.532
3	Huawei	1.649	ABB	19.893
4	GoodWe	810	SolarEdge	11.252
5	ABB	716	Fronius	7.912
	Totaal:	21.248	Totaal:	111.466

5.5.4 Relatieve marktaandeelen

Om een duidelijker beeld te geven werden de waarden afgerond en werden waarden die tijdens het jaar niet evolueerden, weggelaten. Waarden van 0% zijn dus marktaandeelen van minder dan 0,5%.

Tabel 5-8: Relatieve marktaandeelen van de top 10 van omvormers op het vlak van vermogen

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Gecumuleerd
SMA	74%	77%	80%	65%	38%	44%	75%	55%	42%	30%	22%	44%	37%	40%
Huawei		1%		1%		0%			8%	18%	36%	27%	36%	22%
ABB		4%	3%	26%	38%	47%	9%	39%	9%	8%	8%	5%	3%	15%
SolarEdge				3%	3%	1%	2%	0%	4%	8%	17%	14%	18%	12%
Fronius	21%	14%	14%	5%	20%	4%	7%	1%	36%	36%	13%	0%	0%	6%
Solis										0%	0%	9%	4%	3%
GoodWe										0%	0%	1%	1%	1%
KACO	6%	4%	3%	1%	0%	0%					4%			1%
Growatt						1%	7%		0%	0%		0%	0%	1%
REFUsol						2%		4%						0%

Van de fabrikanten uit de top 10 zijn de meeste wereldleiders in het domein van de fotovoltaïsche omvormers. We hebben dus geen enkele bijzonderheid vastgesteld op de Brusselse markt inzake fabrikanten van omvormers.

In het algemeen stellen we dezelfde evoluties vast als voordien: een grote dominantie van de top 5, met ABB dat beetje bij beetje uit het klassement lijkt te verdwijnen ten voordele van Huawei dat bijna dezelfde volumes van geïnstalleerd vermogen als SMA realiseert in 2020.

SMA blijft de voornaamste speler en dekt in 2020 37% van de markt. Eind 2020 rust dit Duitse merk 40% van de aangesloten omvormers in het BHG uit (+4% tegenover 2019).

ABB is een merk dat nog steeds wordt geïnstalleerd in Brussel, maar zijn plaats in het klassement is vooral het resultaat van de grote installaties die in 2015 werden gerealiseerd.

De belangrijkste evolutie is die van Huawei, dat sinds 2016 steeds nadrukkelijker aanwezig is en 36% van de activiteit van 2020 vertegenwoordigt en 22% van het hele park in het BHG eind 2020 (+7% tegenover 2019).

6 Prijs van de installaties

De hierna voorgestelde analyse van de prijzen van fotovoltaïsche installaties die op de Brusselse markt werden toegepast in de periode 2012-2020, vult de prijsanalyse aan die BRUGEL jaarlijks uitvoert. Deze laatste laat de actualisering toe van de economische parameters van de berekeningsformule voor de vermenigvuldigingscoëfficiënt die wordt toegepast op het aantal aan de fotovoltaïsche installaties toekende GSC [4].

Deze analyse heeft tot doel de impact te kwantificeren van de verschillende factoren die de totale kostprijs van een fotovoltaïsche installatie kunnen beïnvloeden op basis van de informatie die de databank van BRUGEL bevat: jaar van indiening, vermogenscategorie van de installatie en type eigenaar.

De vermogenscategorie is een essentiële factor die van grote invloed is op de prijs, gelet op de schaalvoordelen die grotere werven genieten. De analyses van de voorgaande jaren toonden deze sterke samenhang tussen vermogen en prijs. Bijgevolg houden alle analyses in dit hoofdstuk rekening met deze categorieën.

In tegenstelling tot de voorbije jaren werd de oorsprong van de panelen niet behouden als relevant criterium om twee redenen. Enerzijds is het moeilijk het land te bepalen, aangezien merken in vele landen assemblagefabrieken hebben, en niet noodzakelijkerwijs alleen in het land waar de maatschappelijke zetel gevestigd is. Anderzijds zijn ook de onderdelen van de panelen van meerdere landen afkomstig (voornamelijk uit China).

De in de databank vermelde gegevens worden ongewijzigd overgenomen. Ze worden verondersteld het geheel van de kosten van het project⁸ te dekken en er wordt geen enkele correctie aan deze prijzen aangebracht om rekening te houden met eventuele bijkomende kosten die niet zijn vermeld in het dossier dat bij BRUGEL wordt ingediend. Alle prijzen zijn vermeld incl. btw⁹. De in de verschillende onderstaande analyses vermelde prijs is altijd uitgedrukt ten opzichte van het geïnstalleerde vermogen van de installatie (€/kWp).

De prijzen houden geen rekening met de inflatie. De vergelijking heeft dus betrekking op courante euro en niet op constante euro.

6.1 Samenvatting van de markante feiten

De dalende trend van de prijzen in 2019 is in 2020 gestagneerd en met voor dat jaar enkel een significante daling voor de grote systemen (-10%).

Sinds 2012 komt de gemiddelde prijsdaling in de verschillende vermogenscategorieën in de buurt van 50% of meer voor systemen met een vermogen van minder dan 100 kWp en bedraagt die daling meer dan 35% voor systemen met een vermogen hoger dan 100 kWp.

Zoals elk jaar stellen we vast dat de prijzen per kWp een neerwaartse trend vertonen naarmate het vermogen van de installatie toeneemt, met een afname van ongeveer 45% tussen > 250 kWp (gemiddelde van € 817/kWp en [0-5] kWp (€ 1.445/kWp).

⁸ De meerkosten verbonden met de studies (stabiliteit, wind enz.) en de prijs van de meter van SIBELGA worden echter niet in aanmerking genomen.

⁹ Varieert naargelang de categorie (particulier, professioneel) en de leeftijd van het gebouw.

De kruising van de prijsgegevens met de specifieke rendementen van de installaties toont geen duidelijk verband tussen de twee aan. Het rendement van een paneel is dus niet het voornaamste element om de prijs van een installatie te bepalen.

6.2 Prijs per kWp naargelang de vermogenscategorieën in 2020

Er werd een grondiger analyse van de prijzen op basis van de vermogenscategorie uitgevoerd voor 2020, met name omwille van het groot aantal beschikbare gegevens.

6.2.1 Geanalyseerde steekproef 2020

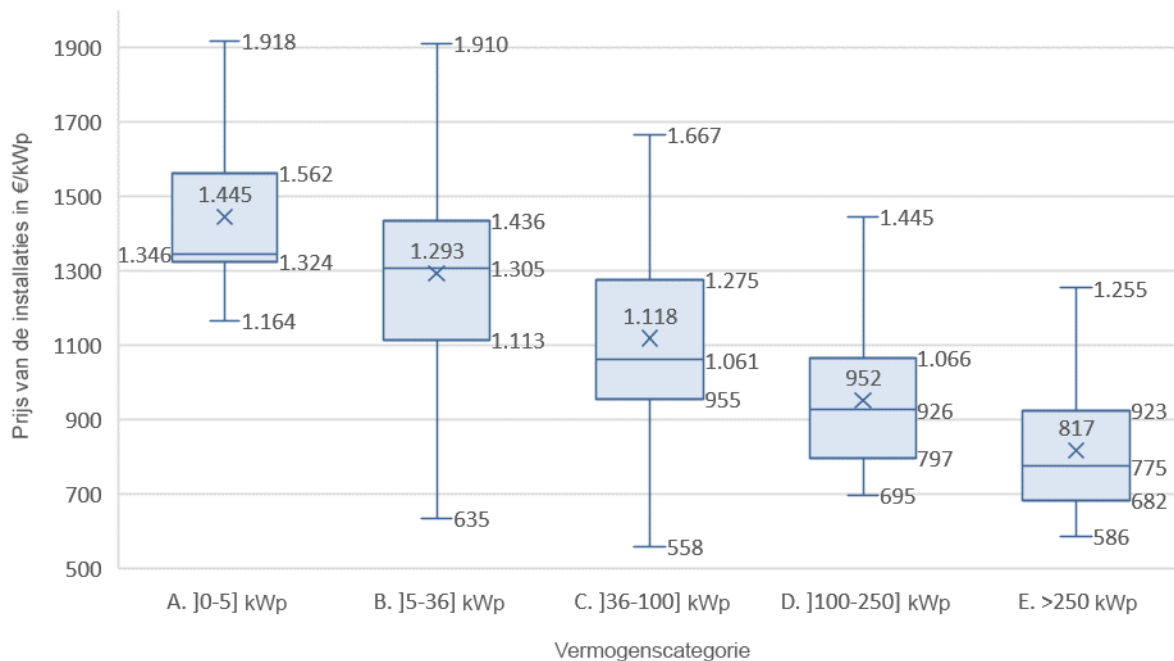
De onderstaande tabel bevat de omvang van de steekproef waarop de analyse werd uitgevoerd na toepassing van de filters. Bijna 89% van de installaties van 2020 vermeldt een prijs (3.418 op 3.836). 366 van deze installaties werden als te afwijkend van de algemene tendensen beschouwd, omdat ze ofwel onder het 5de centiel ofwel boven het 95ste centiel lagen. Deze prijzen wijken sterk af van het gemiddelde, wat verklaard kan worden door: fouten bij de invoer, prijzen exclusief het materiaal of daarentegen met inbegrip van andere werken ...). Deze extreme prijzen worden dus beschouwd als afwijkende waarden (outliers) en werden niet in aanmerking genomen.

Tabel 6-1: Omvang en representativiteit van de steekproef - jaar 2020

Vermogenscategorie [kWp]	[0-5]	]5-36]	]36-100]	]100-250]	>250	Totaal
Aantal installaties	2.900	351	85	51	31	3.418
Aantal geanalyseerde installaties	2.590	315	75	45	27	3.052
% van het totale aantal installaties	89%	90%	88%	88%	87%	89%
Aantal outliers	310	36	10	6	4	366

6.2.1.1 Prijs van de installaties in 2020 per geïnstalleerde vermogenscategorie

De onderstaande figuur geeft de verdeling weer van de prijzen van de installaties (€/kWp) naargelang de vermogenscategorie en met een IDN in 2020.



Figuur 6-1: Prijs van de installaties per vermogenscategorie (€/kWp) – jaar van indienname 2020

Figuur 6-1 toont een geleidelijke daling van de mediane en gemiddelde prijzen naargelang de vermogenscategorie. Hoe groter de installatie, hoe lager de prijs per kWp. De residentiële categorie (]0-5] kWp) wordt afzonderlijk geanalyseerd in het volgend punt. Let op de gemiddelde en mediane prijzen onder € 1.000 / kWp voor de categorieën]100-250] en > 250 kWp.

Onderstaande tabel geeft de gemiddelde en mediane waarden en de standaardafwijkingen per categorie weer voor de steekproef.

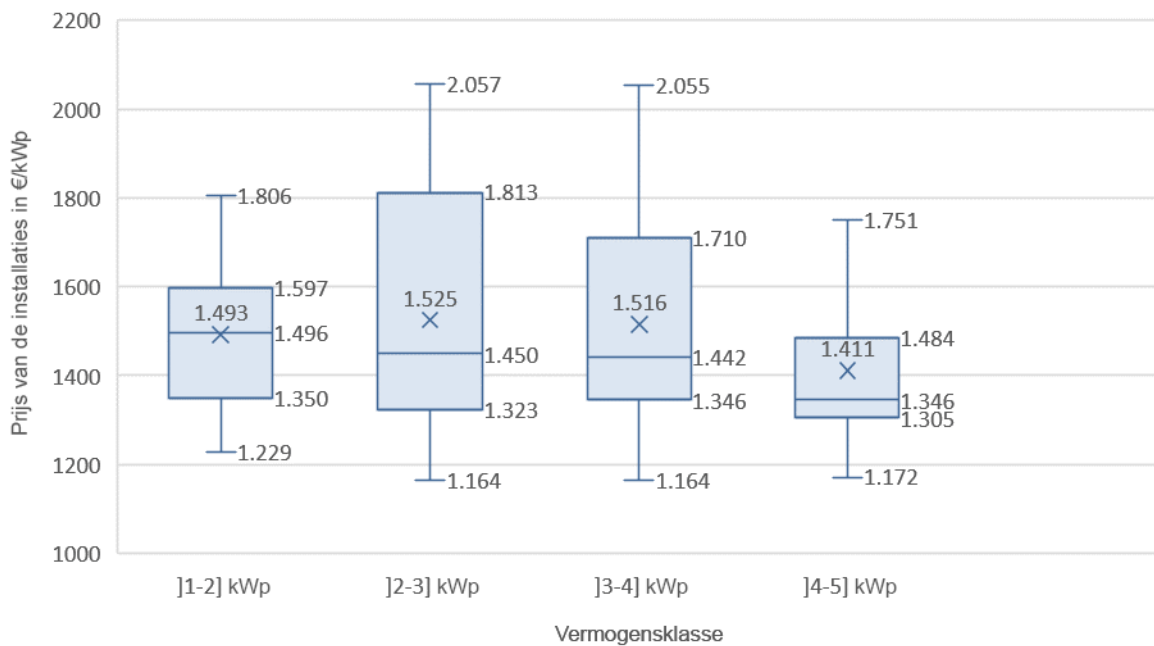
Tabel 6-2: Statistische gegevens van de prijzen per vermogenscategorie - jaar 2020

Vermogenscategorie [kWp]	]0-5]	]5-36]	]36-100]	]100-250]	>250
Prijsgemiddelde	€ 1.445	€ 1.293	€ 1.118	€ 952	€ 817
Prijsmediaan	€ 1.346	€ 1.305	€ 1.061	€ 926	€ 775
Standaardafwijking van de prijzen	€ 203	€ 273	€ 261	€ 204	€ 195

6.2.2 Focus op de residentiële categorie

Gelet op de grafiek en het typeverschil zoals aangegeven in de tabel is dit een van de meest homogene categorieën. Als we deze categorie meer in detail analyseren, stellen we een opvallende prijsdaling vast in functie van het vermogen. Dit is te verklaren door een aantal zo goed als vaste kosten (administratieve kosten, commerciële kosten, verplaatsingen, verzekeringen, opstarten van de werf, ...), ongeacht de omvang van de installatie. In een kleine installatie vertegenwoordigen ze dus een aanzienlijk groter deel van de prijs dan in een grote installatie.

Figuur 6-2 toont prijsgemiddelden met een dalende tendens hoe hoger we opklimmen in het vermogen van de installaties, als gevolg van een schaafeffect. Categorie]1-2] kWp stagneert ten opzichte van categorie]2-3] kWp. Het aantal gegevens voor categorie]1-2] kWp is echter beperkt in vergelijking met de andere categorieën en we moeten dus de nodige voorzichtigheid aan de dag leggen wat betreft de gegevens die worden geproduceerd door deze categorie (14 gegevens voor]1-2] kWp, 229 voor]2-3] kWp, 570 voor]3-4] kWp en 1.775 voor]4-5] kWp). Categorie]0-1] kWp is niet weergegeven in de grafiek, daar ze slechts twee installaties heeft voor het jaar 2020; het lijkt bijgevolg niet relevant om de grafiek te verzwaren met deze categorie. Vergelijken we de categorieën]1-2] kWp en]4-5] kWp, dan zien we een afname met ca. 5% tussen de gemiddelde prijzen van beide categorieën, en dus met 10% voor de mediane prijzen.



Figuur 6-2: Prijs van de installaties per vermogenscategorie in het segment onder 5 kWp (€/kWp), 2020

6.3 Prijs per kWp naargelang het jaar van indienstname en de vermogenscategorieën

6.3.1 Geanalyseerde steekproef

Om de evolutie in de tijd te analyseren en een grondige analyse te bekomen, werd gekozen voor een specifieke analyse van de 5 jaren met meer dan 250 punten aan gegevens: 2012-2013 en 2018-2020.

Tabel 6-3: Omvang en representativiteit van de steekproef

Jaar van indienstname	2012	2013	2018	2019	2020
Aantal installaties met prijsgegevens	360	387	563	2.136	3.418
Aantal geanalyseerde installaties	316	342	502	1.900	3.052
% van de totale steekproef	88%	88%	89%	89%	89%
Aantal outliers	44	45	61	236	366

Tabel 6-3 geeft de grootte weer van de steekproef waarop de analyse werd uitgevoerd, evenals de representativiteit ervan in verhouding tot het volledige fotovoltaïsch park en het aantal en percentage afwijkende gegevens (outliers). De outliers zijn uitgesloten van de analyse op basis van de volgende criteria: gegevens kleiner dan het 5de centiel of groter dan het 95ste centiel, per vermogenscategorie en per jaar. Ongeveer 89% van de installaties waarvoor een prijs vermeld werd, werd in aanmerking genomen voor de analyse.

6.3.2 Resultaten: trends van de indicator

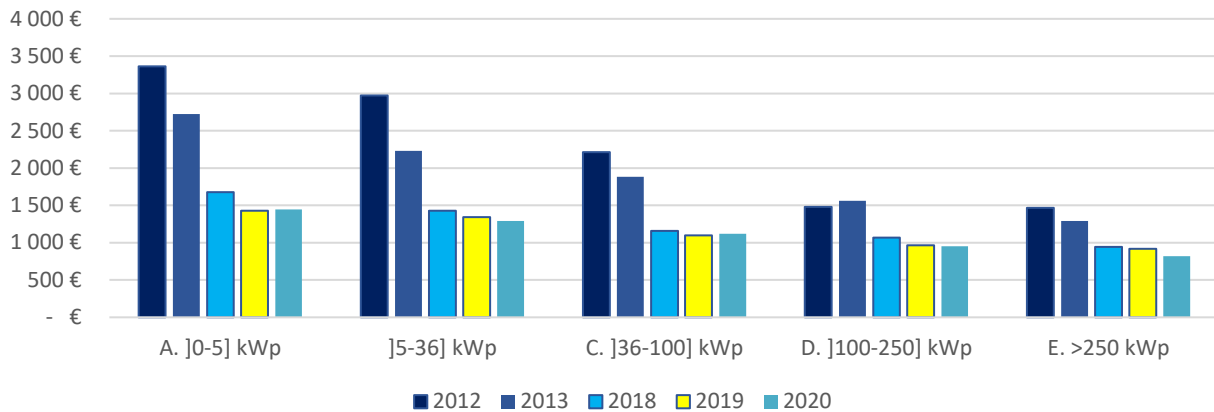
Categorie	2012	2013	2018	2019	2020	2019/2020	2012/2020
[0-5] kWp	3.332	2.726	1.678	1.431	1.445	1%	-57%
]5-36] kWp	2.974	2.229	1.430	1.346	1.293	-4%	-57%
]36-100] kWp	2.213	1.884	1.158	1.098	1.118	2%	-49%
]100-250] kWp	1.477	1.560	1.066	967	952	-2%	-36%
>250 kW	1.468	1.289	944	932	817	-12%	-44%

Tabel 6-4: Gemiddelde prijs van de panelen per jaar van IDN in €/kWp (2012-2020)

Tabel 6-4 geeft de eenvoudige rekenkundige gemiddelden weer van de prijs van de FV-installaties in de periode 2012-2013 en 2018-2020. In vergelijking met de daling tussen 2018 en 2019 zijn de prijzen in 2020 gestagneerd, met enkel een daling met meer dan 10% voor de categorie > 250 kWp.

In vergelijking met 2012 wordt de tendens van daling van de categorie [0-5], die op de mondiale markten wordt vastgesteld, bevestigd door een daling van bijna 60% voor het residentiële segment.

Evolutie van de prijsgemiddelden in €/kWp



Figuur 6-3: Gemiddelde van de prijzen van de installaties over de periode 2012-2020 (€/kWp)

Figuur 6-3 toont de verdeling van de prijsgemiddelden van de installaties per vermogenscategorie (€/kWp). We zien waarden die vanaf 2018 in de buurt of zelfs onder de grens van € 1.000/kWp liggen voor de categorieën]100-250] en meer dan 250 kWp. De jaren 2019 en 2020 bevestigen een dalende tendens voor de prijsgemiddelden van de installaties, voor alle vermogenscategorieën.

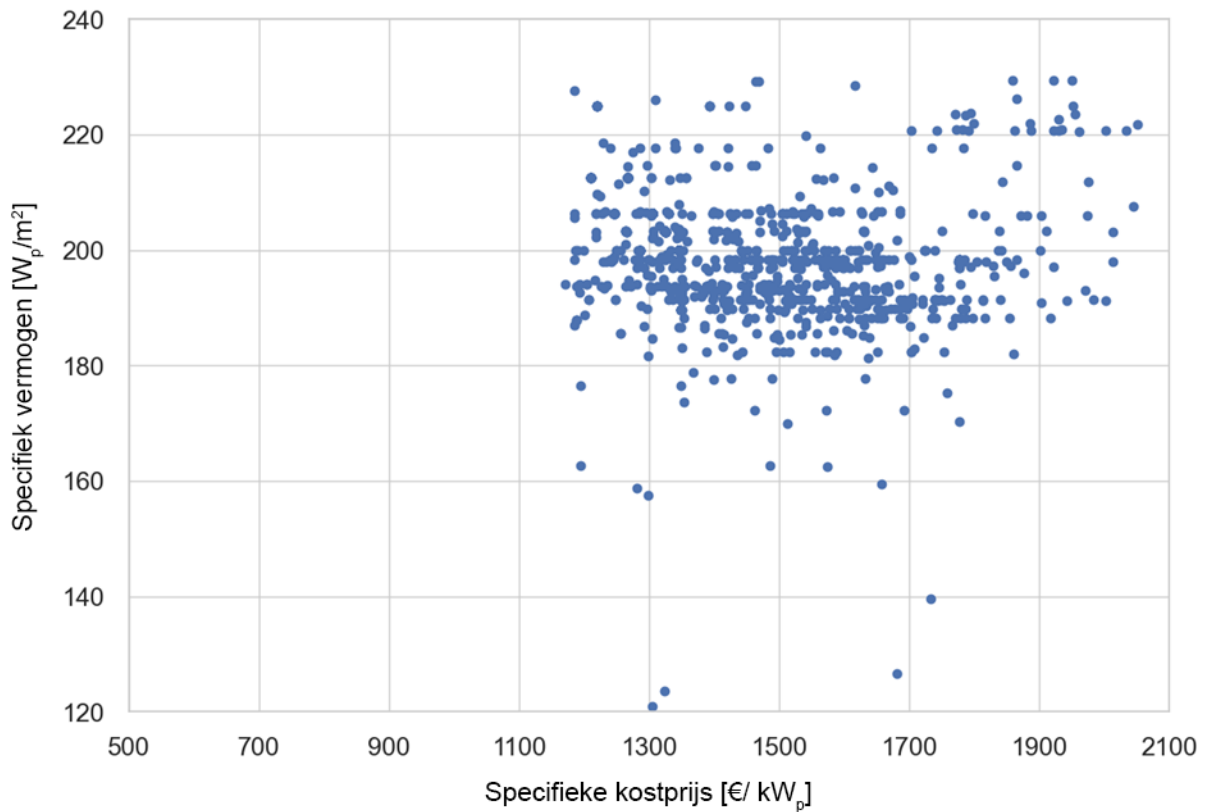
6.4 Prijs in functie van de specifieke vermogens en van de vermogenscategorieën

Om de verhouding tussen het specifieke vermogen van de panelen en de prijzen van de installatie te analyseren, zoals gebeurd is in de voorgaande oefeningen, hebben we gekozen voor een analyse zonder de panelen op te delen in laag, middelmatig en hoog rendement, maar hebben we deze verhouding geëvalueerd voor alle gekoppelde waarden, aangezien deze variabelen beide kwantitatief zijn.

We hebben de in 2020 meest vertegenwoordigde categorieën geanalyseerd, namelijk de]4-5] kWp en de]5-36] kWp.

Wat betreft categorie]4-5] kWp hebben we van de 1.775 installaties 1.710 installaties behouden na filtering van aberrante gegevens. Om te beginnen passen we de filter toe die wordt beschreven in deel 6.2, wat betekent dat installaties met een prijs lager dan het 5de centiel of hoger dan het 95ste centiel worden uitgesloten. Vervolgens wordt voor elke technologie van zonnepaneel een specifieke filter toegepast op de oppervlaktevermogens om enkel de coherente gegevens te behouden.

Specifiek vermogen in functie van de specifieke kosten voor de in 2020 in dienst gestelde installaties
Vermogenscategorie]4-5] kW_p

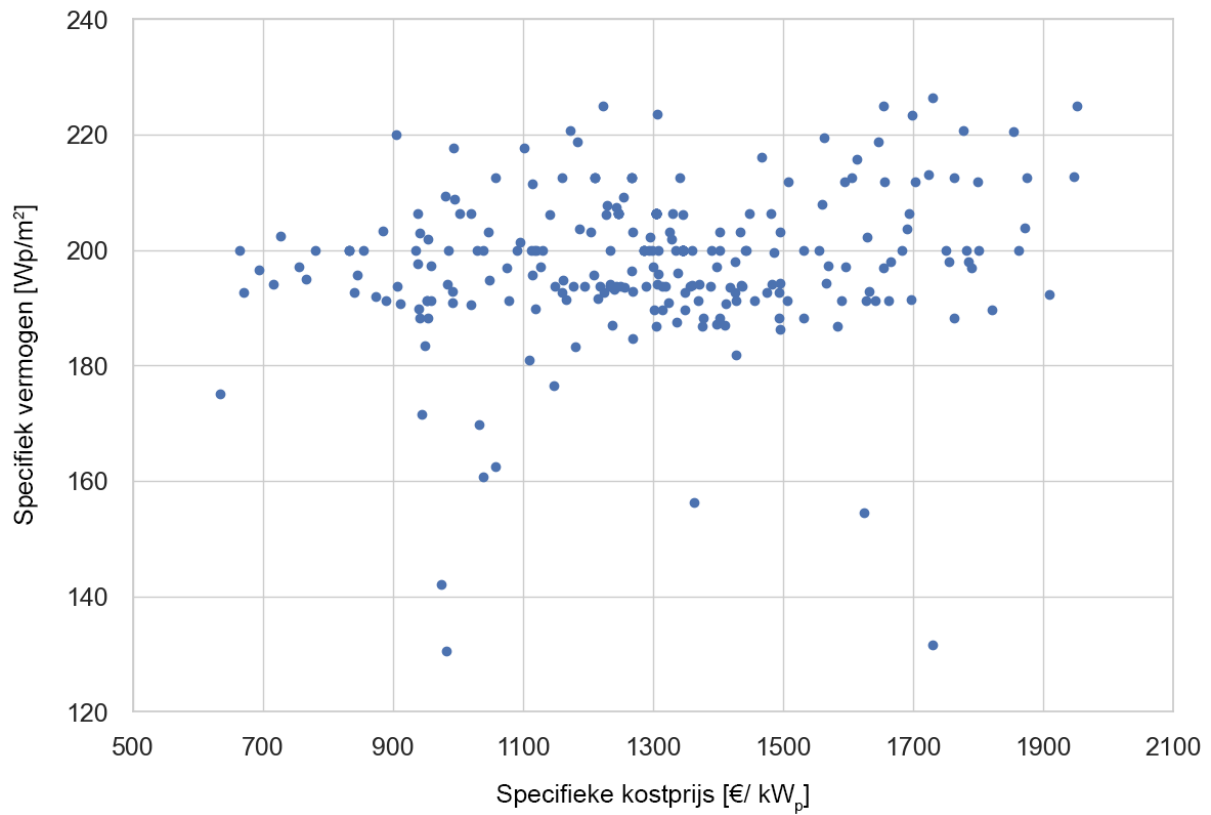


Figuur 6-4: Verband tussen specifiek vermogen en prijs voor de categorie]4-5] kWp in 2020

Figuur 6-4 toont aan dat er geen duidelijke relatie is tussen de prijzen en de specifieke vermogens. Het spreidingsdiagram toont immers geen duidelijke tendens en wijst erop dat het specifiek vermogen van de panelen geen sterke verklarende factor is voor de prijsschommelingen tussen installaties.

Voor de categorie]5-36] kW_p werden 272 van de 315 installaties geanalyseerd na toepassing van identieke filters als voor categorie]4-5] kW_p, waarvan hierboven sprake.

Specifiek vermogen in functie van de specifieke kosten voor de in 2020 in dienst gestelde installaties
Vermogenscategorie]5-36] kW_p



Figuur 6-5: Verband tussen specifiek vermogen en prijs voor de categorie]5-36] kW_p in 2020

Figuur 6-5 toont een spreidingsdiagram dat gelijkaardig is aan de vorige figuur, hoewel er zich een zwak, niet-significant verband lijkt af te tekenen.

Deze oefening werd herhaald voor andere categorieën en andere jaren, telkens met gelijkaardige resultaten.

6.5 Bijdrage tot het Brussels BBP

Als we de geïnstalleerde vermogens vergelijken met de gemiddelde prijs per categorie, is het mogelijk de economische impact van de FV-sector op het Brussels bruto binnenlands product (BBP) te berekenen, zoals weergegeven in de volgende tabel. De totale som van de economische impact van de FV-sector in het bbp vertegenwoordigt 0,09% van het bbp van het BHG.

Tabel 6-5: Berekening van het financieel volume van in 2020 in dienst genomen installaties

Categorie	Gemiddelde van de prijs/kWp	Geïnstalleerd vermogen kWp	Totaal bedrag
[0-5] kWp	€ 1.445	13.066	€ 18.876.501
]5-36] kWp	€ 1.293	5.450	€ 7.045.318
]36-100] kWp	€ 1.118	7.340	€ 8.206.661
]100-250] kWp	€ 952	10.526	€ 10.023.495
> 250 kW	€ 817	28.994	€ 23.696.697
TOTAAL			€ 67.848.672

6.6 LCOE per vermogenscategorie

6.6.1 Methodologie

De "Levelized Cost of Electricity" (LCOE), wat we kunnen vertalen als de "geactualiseerde energiekosten", wordt uitgedrukt in € per eenheid energie, typischerwijze in €/kWh. Dit begrip kan worden gedefinieerd als de kosten die, toegewezen aan elke eenheid elektriciteit die een systeem tijdens zijn (theoretische) levensduur produceert, gelijk zijn aan de totale kosten die het systeem tijdens zijn levensduur oploopt (*Life Cycle Costs*). Het totaal van deze kosten wordt geactualiseerd om een definitieve waarde te verkrijgen, uitgedrukt in €, van het basisjaar, i.e. het jaar waarin de initiële investering is gerealiseerd.

Er bestaan formules van uiteenlopende complexiteit, rekening gehouden met verschillende technisch-economische parameters, die telkens zijn aangepast aan de behoeften van de analyse en het type systeem dat wordt bestudeerd. In het kader van het huidige verslag wordt een vrij vereenvoudigde versie van de LCOE gebruikt teneinde de berekeningen te vergemakkelijken. Verschillende parameters (bv. de bedragen van de operationele kosten, van onderhoud, de levensduur en de kosten voor vervanging van bepaalde componenten zoals de omvormer, of ook het type financiering dat voor de investering wordt gebruikt) blijven immers onbekend, daar de gegevens ontbreken. Er is dus reden om de onzekerheid te verkleinen door het aantal gebruikte parameters te beperken. Bovendien kunnen de in aanmerking te nemen technische, economische en financiële parameters beperkt zijn in het kader van FV-projecten op daken die voor zelfverbruik zijn bestemd. Anderzijds kunnen grote centrales op de grond worden beschouwd als financiële activa en verbonden zijn met strengere voorwaarden inzake rendement, wat dan weer grotere nauwkeurigheid vereist.

De gehanteerde formule voor de LCOE is de volgende:

$$LCOE = \frac{CAPEX_0 + \sum_{i=1}^N \frac{O\&M_i}{(1+d)^i}}{\sum_{i=1}^N \frac{E_i}{(1+d)^i}}$$

Waarbij:

- CAPEX₀ [€]: de initiële investeringen die zijn gerealiseerd in het jaar 0
- O&M_i [€]: de operationele kosten (controle, onderhoud ...) tijdens het jaar i
- E_i [kWh]: de energie geproduceerd in het jaar i
- d [%]: het actualiseringspercentage
- N [jaren]: de theoretische levensduur van het systeem

In het kader van deze LCOE-analyse werd gebruik gemaakt van de eerder voorgestelde prijsgegevens (CAPEX). Ook de reële productiegegevens, voorgesteld in Hoofdstuk 7, konden worden gebruikt. Daar er voor de operationele kosten en de onderhoudskosten (O&M) geen gegevens beschikbaar waren, werd - door vereenvoudiging - een raming gemaakt van een jaarlijks bedrag in €/kWp gelijk aan 2% van de CAPEX. Op die manier verkrijgt men niveaus van operationele kosten en onderhoudskosten die coherent zijn door de tijd, i.e. die aansluiten bij de marktsituatie, ongeacht het installatiejaar. Er wordt ook aangenomen dat de O&M-kosten rekening houden met de eventuele vervanging van de omvormer. Op te merken valt ook nog dat dit bedrag wordt gecorrigeerd door de geraamde inflatie (1,5%), op jaarbasis, opdat het constant zou zijn in reële waarde.

Bovendien werd een percentage van verslechtering van de prestaties van het FV-systeem met 0,5% per jaar toegepast. Wat betreft het actualiseringspercentage werd een waarde van 2% in aanmerking genomen, los van het profiel van de eigenaars (particulier, openbare of private vennootschap). Tot slot wordt er, door vereenvoudiging, van uitgegaan dat de restwaarde van het FV-systeem gelijk is aan nul, i.e. er worden geen kosten of inkomsten verbonden met de de-installatie van het systeem, de eventuele opslag, vervoer en recyclage of doorverkoop van zijn componenten.

6.6.2 Geanalyseerde steekproef

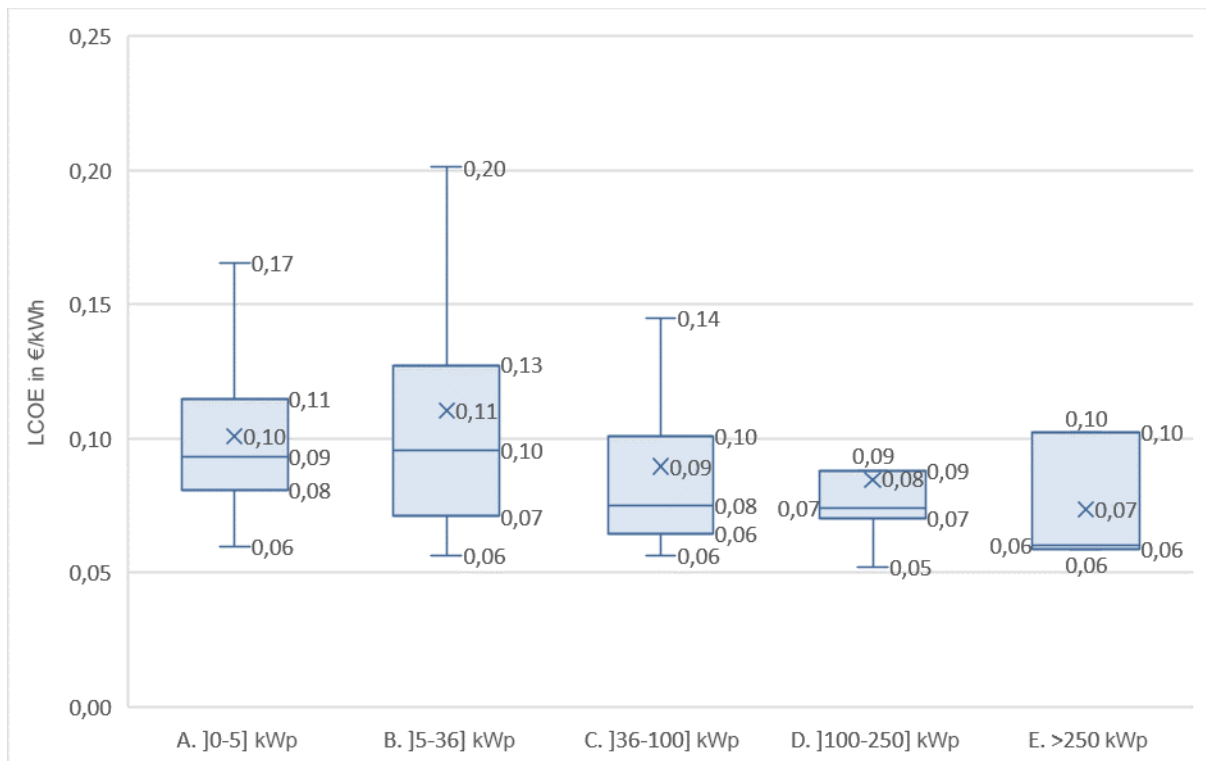
De onderstaande tabel bevat de omvang van de steekproef waarop de LCOE-analyse werd uitgevoerd na toepassing van de verschillende filters. Het initiële aantal installaties komt overeen met de gegevens in punt 6.3.1. We herhalen dat alleen de jaren 2012, 2013, 2018 en 2019 worden vermeld. Het gaat immers om de enige jaren waarvoor een voldoende aantal prijsgegevens (≥ 250), die cruciaal zijn voor de LCOE-analyse, beschikbaar zijn. De gegevens van het jaar 2020 werden geweerd: ondanks de beschikbaarheid van een grote hoeveelheid prijsgegevens, zijn de productiegegevens onvolledig, waardoor de LCOE niet op voldoende nauwkeurige wijze kan worden berekend. Daarom werd het jaar 2019 als referentie genomen voor deze analyse. Voor deze 4 geselecteerde jaren werd een tweede filter ingevoerd om de *outliers* aan de kant te schuiven, i.e. gegevens waarvan de prijzen worden geacht te ver af te wijken van de algemene tendensen. Zoals gezegd in het vorige deel, worden deze *outliers* gedefinieerd als de waarden lager dan het 5de^e centiel of hoger dan het 95ste centiel. Het totale aantal installaties dat als gevolg van de toepassing van deze filter uit de analyse wordt geweerd, is gelijk aan 393. De onderstaande tabel bevat de gedetailleerde gegevens per jaar. Tot slot werd een laatste filter toegepast, die erin bestaat de installaties te weren waarvan de productiegegevens niet beschikbaar waren, als gevolg waarvan de LCOE-analyse onmogelijk kan worden gemaakt. Deze laatste filter had tot gevolg dat in totaal 1.268 installaties werden geweerd voor de 4 onderzochte jaren.

Tabel 6-6: Omvang en representativiteit van de steekproef

	2012	2013	2018	2019	Totaal
Aantal installaties met prijsgegevens	367	392	565	2.147	3.471
Aantal <i>outliers</i>	45	47	62	239	393
Aantal geanalyseerde installaties - Prijs	322	345	503	1.908	3.078
% van de totale steekproef	88%	88%	89%	89%	88%
Aantal installaties zonder productiegegevens	139	169	135	825	1.268
Aantal geanalyseerde installaties - LCOE	183	176	368	1.083	1.810
% van de totale steekproef	50%	45%	65%	50%	53%

6.6.3 LCOE van de installaties per geïnstalleerde vermogenscategorie, in 2019

De volgende figuur toont de verdeling van de LCOE in functie van de vermogenscategorie tijdens het jaar 2019.



Figuur 6-6 LCOE van de installaties per geïnstalleerde vermogenscategorie, in 2019

In Figuur 6-6 ontwaren we een zekere homogeniteit van het gemiddelde doorheen de verschillende vermogenscategorieën, tussen 0,07 en 0,11 €/kWh. Ook de mediaan is vrij homogeen, met een waarde tussen 0,06 en 0,10 €/kWh. Voor alle categorieën bedraagt de minimale LCOE circa 0,06 €/kWh, terwijl de maximale waarden sterk schommelen en toelaten de verschillende vermogenscategorieën te onderscheiden.

Focussen we op de zogenaamde residentiële systemen, vertegenwoordigd door de categorie]0-5] kWp, dan stellen we vast dat deze categorie vrij homogeen is ondanks de omvang van de geanalyseerde steekproef, met een typeverschil van € 0,03 / kWh en met 50% van de installaties die een LCOE hebben tussen € 0,08 en € 0,11 / kWh. Aan het andere uiteinde van de grafiek situeert deze vork zich tussen € 0,06 en € 0,10 / kWh voor de systemen met een capaciteit hoger dan 250 kWp.

Voor de installaties met een lagere capaciteit, i.e. kleiner dan of gelijk aan 36 kWp, ligt de maximale LCOE tussen € 0,17 / kWh en € 0,20 / kWh. Deze waarde daalt tot € 0,14 / kWh voor de categorie]36-100] kWp en tot € 0,09 / kWh voor de categorie]100-250] kWp. Voor de categorie van grote FV-installaties, van meer dan 250 kWp, is de maximale waarde gelijk aan € 0,10 / kWh, wat ook bijna gelijk is aan de limiet van het 3de kwartiel.

Op te merken valt de beperkte afname van de LCOE-niveaus in functie van het vermogen van de installaties. Deze tendens kan verrassend lijken, daar de kosten significant dalen naargelang het vermogen groter wordt, zoals we eerder in dit deel hebben vastgesteld alsook in het verslag betreffende het vorige jaar. Dit kan worden verklaard door de beperkte omvang van de steekproef (zie details in onderstaande tabel), waardoor de uiterste waarden een grote impact hebben op de resultaten per categorie.

Onderstaande tabel geeft een meer gedetailleerd beeld van de gemiddelde en mediane waarden en de standaardafwijkingen per categorie voor de steekproef. Op te merken valt dat het aantal geanalyseerde installaties vrij laag is voor de categorie]5-36] kWp en zeer laag voor de drie categorieën met de

systemen met een vermogen van meer dan 36 kWp (tussen 3 en 18 installaties per categorie). Behalve voor de categorie]0-5] kWp kan de gemaakte analyse niet als een zeer stevige analyse worden beschouwd. De voorgestelde resultaten moeten dus met de nodige omzichtigheid worden behandeld daar ze onvoldoende representatief zijn voor de werkelijkheid; we raden dan ook af om er al te overhaaste conclusies uit te trekken.

Toch tonen deze cijfers aan dat FV-installaties, ook wanneer ze op het dak staan en beperkte afmetingen hebben, toelaten elektriciteit te produceren die kan concurreren met de elektriciteit die op het net wordt gekocht. De gemiddelde prijs per kWh in het BHG voor residentiële klanten was immers hoger dan € 0,21 / kWh, in 2020 en in 2021 [5].

Tabel 6-7 Statistische gegevens van de LCOE per vermogenscategorie, in 2019

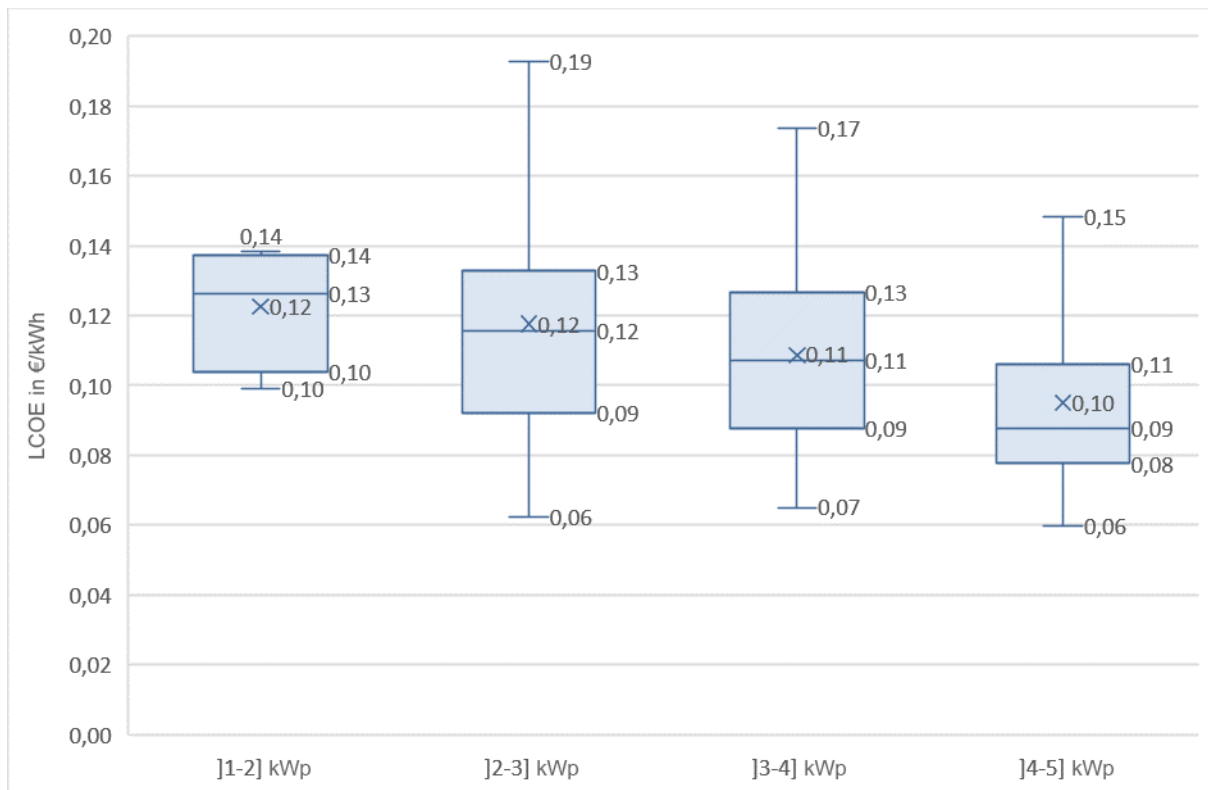
	]0-5] kWp	]5-36] kWp	]36-100] kWp	]100-250] kWp	>250 kWp
Aantal geanalyseerde installaties	977	72	18	13	3
Gemiddelde van de LCOE's [€/kWh]	0,10	0,11	0,09	0,08	0,07
Mediaan van de LCOE's [€/kWh]	0,09	0,10	0,08	0,07	0,06
Standaardafwijking van de LCOE's [€/kWh]	0,028	0,063	0,04	0,03	0,025

6.6.3.1 Focus op de residentiële categorie

De onderstaande grafiek bevat de LCOE van de installaties voor de residentiële categorie in 2019. Het gaat immers om de vermogenscategorie waarvoor de beschikbaarheid van de gegevens het grootst is, zoals eerder al gezegd, en bijgevolg is het interessant om een meer gedetailleerde analyse te maken. Op te merken valt dat de vermogenscategorie]0-1] kWp niet is weergegeven, daar er geen gegevens beschikbaar zijn voor deze installaties met een zeer laag vermogen. Dit gebrek aan gegevens lijkt coherent, gelet op de evoluties van de FV-technologieën als gevolg waarvan het gemiddeld vermogen van de panelen de voorbije jaren significant is gestegen. Dit laat toe te beschikken over installaties met een totaal vermogen van meer dan 1 kWp, zelfs al is de beschikbare oppervlakte beperkt, daar slechts enkele panelen al volstaan.

In Figuur 6-7 zien we een duidelijke tendens tot afname van de LCOE, naargelang het nominaal vermogen van de FV-systemen toeneemt. De gemiddelde LCOE voor de categorie]4-5] kWp, die het grootste aantal installaties bevat (634), bedraagt € 0,10 / kWh, en de mediaan is gelijk aan € 0,09 / kWh. Voor de lagere vermogenscategorieën zijn deze cijfers iets hoger. Het gemiddelde en de mediaan van de LCOE bedragen € 0,11 / kWh voor de installaties van 3 tot 4 kWp, terwijl deze gemiddelde waarde en mediaan voor de installaties van de categorie]2-3] kWp gelijk zijn aan € 0,12 / kWh. Voor de zeer kleine installaties, tussen 1 en 2 kWp, is het verschil iets groter, met een gemiddelde gelijk aan € 0,12 / kWh en een mediaan gelijk aan € 0,13 / kWh.

Deze tendensen vallen voornamelijk te verklaren door de verschillen in gemiddelde prijs tussen de vermogenscategorieën. Dit kan worden geïllustreerd door een vergelijking met het gemiddelde van de kosten in 2019, voor elke residentiële subcategorie. Tussen de categorie]1-2] kWp en de categorie]2-3] kWp blijft de gemiddelde LCOE immers stabiel met een variatie gelijk aan nul, terwijl het gemiddelde van de kosten een kleine afwijking van -5% vertoont. Tussen de categorieën die het verst van elkaar zijn verwijderd (]1-2] kWp en]4-5] kWp), stellen we eveneens vast dat de dalende tendens van de gemiddelde LCOE en de gemiddelde kosten relatief proportioneel is. De gemiddelde LCOE daalt immers met ~17% tussen deze twee categorieën, terwijl de gemiddelde kosten een verschil van ca. -25% laten zien.



Figuur 6-7 LCOE van de residentiële installaties (categorie]0-5] kWp) in functie van het vermogen, in 2019

Tabel 6-8 Statistische gegevens van de LCOE van de residentiële installaties (categorie]0-5] kWp) in functie van het vermogen, in 2019

	]1-2] kWp	]2-3] kWp	]3-4] kWp	]4-5] kWp
Aantal geanalyseerde installaties na toepassing van filters	4	94	245	634
Gemiddelde van de LCOE's [€/kWh]	0,12	0,12	0,11	0,1
Mediaan van de LCOE's [€/kWh]	0,13	0,12	0,11	0,09
Standaardafwijking van de LCOE's [€/kWh]	0,018	0,037	0,026	0,026

6.6.4 LCOE van de installaties naargelang het jaar van indienstname en de vermogenscategorie

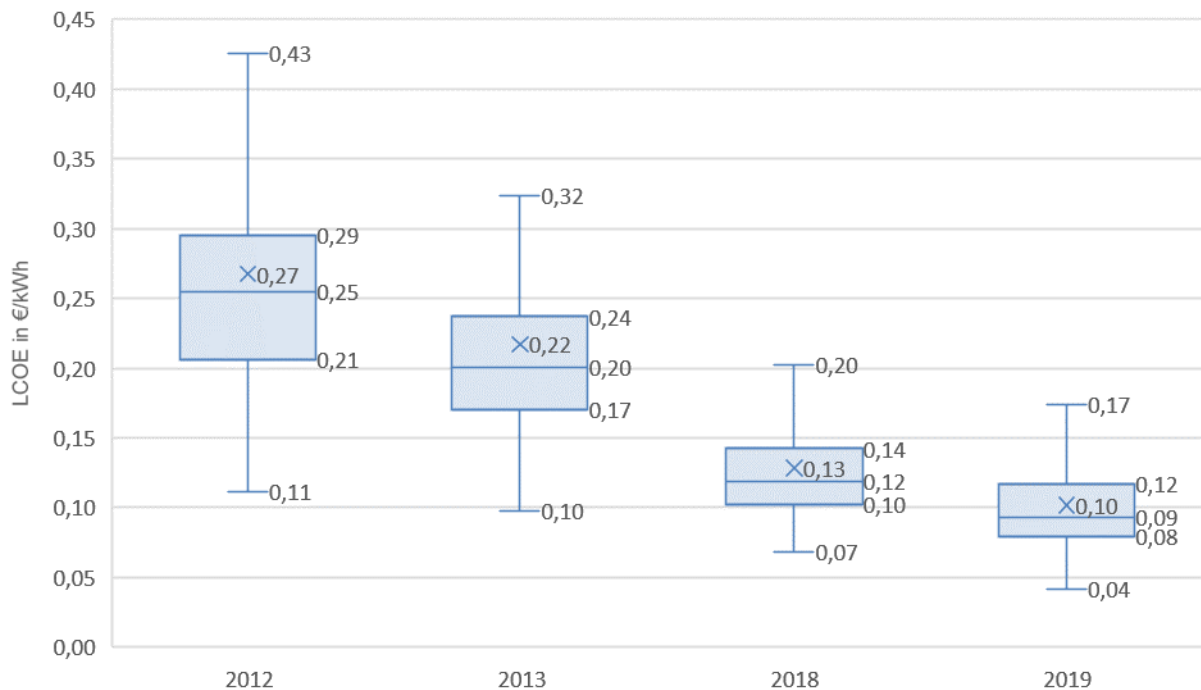
i. Voor de residentiële categorie

Figuur 6-8 bevat de LCOE van de residentiële installaties naargelang het jaar van indienstname. Zoals hierboven gezegd, is de residentiële categorie de categorie met het hoogste percentage beschikbare gegevens. Ze lijkt dus de meest relevante categorie te zijn om de evolutie van de LCOE tussen 2012 en 2019 te analyseren.

In deze Figuur 6-8 zien we een LCOE die sterkt daalt naargelang het jaar van installatie. De gemiddelde LCOE van de installaties die in 2012 in dienst werden gesteld, bedraagt € 0,27 / kWh, en € 0,22 / kWh voor de installaties die in 2013 werden gesteld, wat een significante daling met meer dan 18% in nauwelijks 1 jaar vertegenwoordigt. Deze gemiddelde waarde bleef dalen tot € 0,10 / kWh in 2019, wat

neerkomt op een daling met 63% tegenover 2012. Dit valt voornamelijk te verklaren door de daling van de prijzen voor FV-installaties. Voorts stellen we een evenredige daling vast van de gemiddelde kosten tijdens dezelfde periode, van 2012 tot 2019, met een daling van 57%. Voor de mediane waarden van de LCOE kunnen dezelfde tendensen worden waargenomen.

Tot slot valt op te merken dat we ook een afname zien van de spreiding van de resultaten, en dus een afname van het verschil tussen de maximale en minimale waarden binnen de categorieën in functie van het jaar van indiening.



Figuur 6-8 LCOE van de installaties van de residentiële categorie (10-5 kWp), naargelang het jaar van indiening

Tabel 6-9 Statistische gegevens van de LCOE van de installaties van de residentiële categorie (10-5 kWp), naargelang het jaar van indiening

	2012	2013	2018	2019
Aantal geanalyseerde installaties na toepassing van filters	147	126	281	977
Gemiddelde van de LCOE's [€/kWh]	0,27	0,22	0,13	0,10
Mediaan van de LCOE's [€/kWh]	0,25	0,2	0,12	0,09
Standaardafwijking van de LCOE's [€/kWh]	0,098	0,087	0,042	0,033

7 Productiviteit van de installaties

De evaluatie van de werkelijke energieproductiviteit van de in het BHG geïnstalleerde fotovoltaïsche installaties heeft tot doel de staat van werking van het huidige geïnstalleerde park, zijn specifieke kenmerken en de factoren die deze beïnvloeden beter te begrijpen, evenals de aard en de frequentie van eventuele problemen waaronder fotovoltaïsche installaties te lijden hebben. Een betere kennis hiervan is essentieel voor de goede ontwikkeling en de duurzaamheid van de fotovoltaïsche sector. Bovendien laat ze toe beslissingen met betrekking tot overheidssteun beter te oriënteren. De fotovoltaïsche sector is nog relatief jong in het BHG: de meeste installaties zijn slechts tien jaar of jonger. In de loop van de tijd heeft de sector bijgeleerd en is hij professioneler geworden, dankzij de opgedane ervaring en de begane fouten, zowel voor wat fabrikanten van panelen en omvormers betreft als installateurs, de overheid of eigenaars van installaties. Meer dan tien jaar geleden hadden sommige landen die voorlopers waren in de fotovoltaïsche sector al ervaring opgedaan en er werden voorstellen geformuleerd om Brussel profijt te laten trekken uit de elders geleerde lessen[6]. Geleidelijk aan werden in het BHG inspanningen geleverd om gegevens in te zamelen en systematisch te analyseren, onder meer door deze studie van het fotovoltaïsch park in Brussel, waarvan de periodiciteit jaarlijks is en waarvan de eerste uitgave in 2014 tot stand is gekomen. Tegelijkertijd blijven er nog meerdere acties mogelijk om beetje bij beetje een completer en nauwkeuriger beeld te krijgen van de staat van werking van het fotovoltaïsch park in het BHG.

De energieproductie van een fotovoltaïsche installatie hangt min of meer lineair af van de zonne-energie die ze ontvangt en het geïnstalleerd piekvermogen. Om de energie die de fotovoltaïsche installaties van het park van het BHG produceren te vergelijken, moet de energieproductie dus voor elk van beide factoren genormaliseerd worden. De normalisatie van de energieproductie door het piekvermogen leidt tot het begrip specifieke energieproductiviteit (uitgedrukt in kWh/kW_p). De normalisatie van de energieproductie door het piekvermogen en de zoninstraling leidt tot het begrip Performance Ratio (PR). Deze twee productiviteits- en prestatie-indicatoren werden toegepast op het FV-park van Brussel en worden nader in detail uitgelegd in de betreffende afdelingen.

7.1 Samenvatting van de markante feiten

De voorbije vier decennia is de zonne-energie in Brussel steeds toegenomen. In de loop van de voorbije veertig jaar bedroeg de gemiddelde globale horizontale zoninstraling ongeveer 1.000 kWh/m². De laatste tien jaar bedraagt deze gemiddelde waarde 1.078 kWh/m², ongeveer 8% boven het gemiddelde van de laatste vier decennia. In 2018 werd een historisch maximum geregistreerd, met 1.172 kWh/m², wat ongeveer 17% meer is dan het gemiddelde van de laatste vier decennia. In 2020 bereikte de zoninstraling opnieuw waarden die historisch gezien tot de hoogste waarden behoren die ooit werden geregistreerd en in de buurt komen van de waarden voor 2018.

De mediane specifieke energieproductie van fotovoltaïsche installaties in het BHG bedroeg ongeveer 862 kWh/kW_p in het voorbije decennium, wat beschouwd kan worden als een typische en representatieve waarde voor het park.

De mediane Performance Ratio van fotovoltaïsche installaties in het BHG bedroeg ongeveer 71% in het voorbije decennium, wat beschouwd kan worden als een typische en representatieve waarde voor het park. Ter vergelijking: de typische Performance Ratio's die in Europa worden waargenomen liggen tussen 70 en 80%.

Statistische analyses toonden een verband aan tussen de prestaties van de installaties en bepaalde essentiële parameters zoals het geïnstalleerd piekvermogen, hun jaar van indiening, het merk van de fotovoltaïsche panelen, de vermogenscategorie of ook het type eigenaar van de installatie.

7.2 Zonne-energie

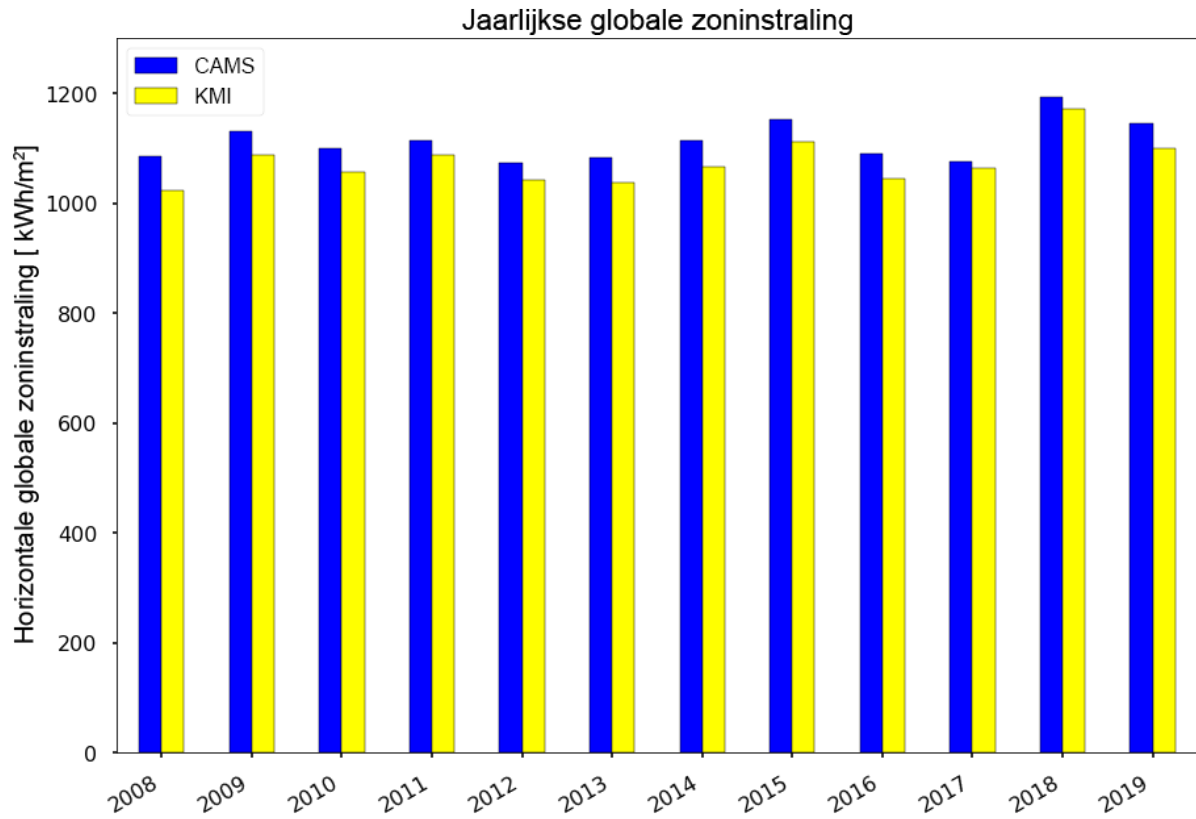
De potentiële energieproductie van een fotovoltaïsche installatie hangt bijna lineair af van de hoeveelheid zonne-energie die ze ontvangt en het geïnstalleerd piekvermogen. De evaluatie van de beschikbare zonne-energie en van de evolutie ervan zijn dus essentiële factoren om de energieproductie van de fotovoltaïsche installaties te analyseren.

De zonne-energie wordt in het algemeen gemeten via de globale horizontale zoninstraling (Global Horizontal Irradiation – GHI). Deze metingen kunnen gebeuren via meetstations op de grond, door middel van een pyranometer of door de analyse van satellietbeelden. Metingen van de zoninstraling door middel van een goed geijkte en onderhouden pyranometer zijn in het algemeen zeer betrouwbaar. De dichtheid van het netwerk van in België geïnstalleerde pyranometers laat echter niet toe een volledig representatieve dekking van de zonne-energie voor het hele grondgebied te garanderen [7]. Observaties via satellietbeelden geven een betere geografische dekking, maar zijn in het algemeen iets minder precies. De gegevens inzake zoninstraling die met een pyranometer worden gemeten, zijn gewoonlijk nauwkeuriger dan satellieten wanneer ze worden gemeten in de buurt van de bestudeerde zone (gewoonlijk minder dan 30 km) en de bestudeerde geografische zone vrij homogeen is (geen bergen, kustgebied, specifieke menselijke activiteit enzovoort), terwijl satellietgegevens in een algemener geval kunnen worden gebruikt [8].

Van satellietbeelden afgeleide gegevens inzake zoninstraling worden steeds meer gebruikt voor toepassingen van zonne-energie. Deze door satelliet afgeleide gegevens inzake zoninstraling worden vaak gebruikt als startgegevens voor de evaluatie van het rendement op lange termijn, alsook voor de opvolging van de referentieproductiviteit. Er bestaan meerdere redenen die een verklaring bieden voor het groeiend gebruik van deze gegevens die afkomstig zijn van satellietbeelden. Om te beginnen zijn ze nu bijna even nauwkeurig als gegevens die worden gemeten in de weerstations. Ten tweede zijn ze inmiddels vlot verkrijgbaar, tegen lage kosten, en zijn ze in grote beschikbaar in zowel ruimte als tijd. Satellieten maken het mogelijk gegevens inzake zoninstraling te verkrijgen voor de meeste regio's op aarde, met een ruimtelijke resolutie van enkele vierkante kilometer en een resolutie in de tijd van gewoonlijk één uur of zelfs minder dan één uur. Bovendien zijn historische satellietgegevens die tien jaar of meer in de tijd teruggaan, vaak beschikbaar.

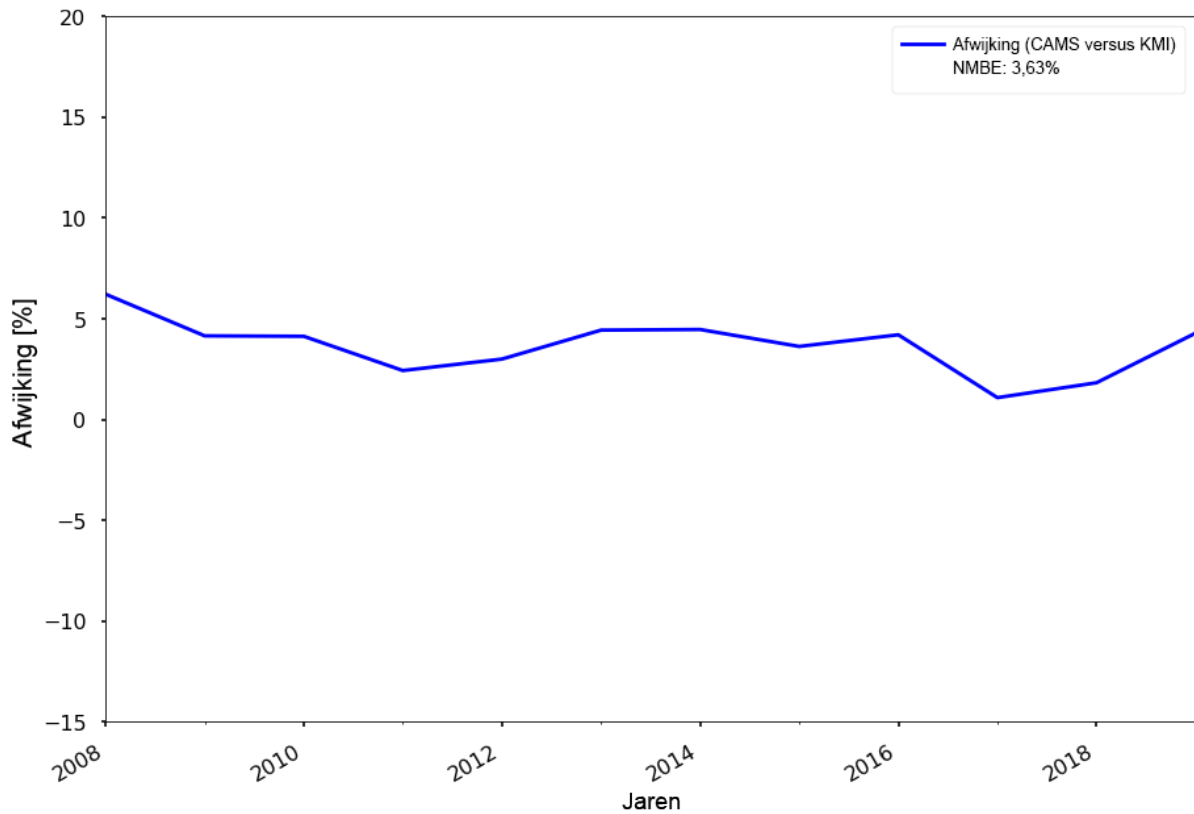
Voor de studie van het vorige jaar gebeurde de evaluatie van de zonne-energie op basis van de globale horizontale zoninstraling gemeten in Ukkel in een weerstation uitgerust met een pyranometer. De meting werd uitgevoerd door het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI). De jaarlijkse zoninstraling in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest is zeer homogeen, waardoor een enkel gekend referentiepunt gebruikt kan worden om heel het grondgebied te analyseren. Deze gegevens werden door het KMI op dagelijkse basis verstrekt, waardoor de precisie van de analyses lichtjes afnam in vergelijking met de analyses op basis van urengegevens die per satelliet beschikbaar zijn.

Voor de nieuwe editie van deze studie werden gegevens inzake globale horizontale zoninstraling verworven bij de stralingsdienst van Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS), die een historiek van instralingsgegevens voor de afgelopen twaalf jaar biedt via de beelden van de satelliet Meteosat waarvan de ruimtelijke dekking het Brussels Hoofdstedelijk Gewest omvat. In vergelijking met het vorige jaar, toen een dagelijkse verdeling van de zoninstralingsgegevens werd verzameld via het weerstation in Ukkel (KMI), zijn de gegevens voor het huidige jaar in de tijd verdeeld op uurbasis, wat meerdere voordelen oplevert voor de analyse van de gegevens van fotovoltaïsche productie. In België is het verschil tussen de waarden van de gegevens inzake zoninstraling op horizontaal vlak die worden geleverd door satellieten of de stations aan de grond die zijn uitgerust met pyranometers gewoonlijk gelijk aan enkele procenten over een jaarlijkse integratieperiode. [9].



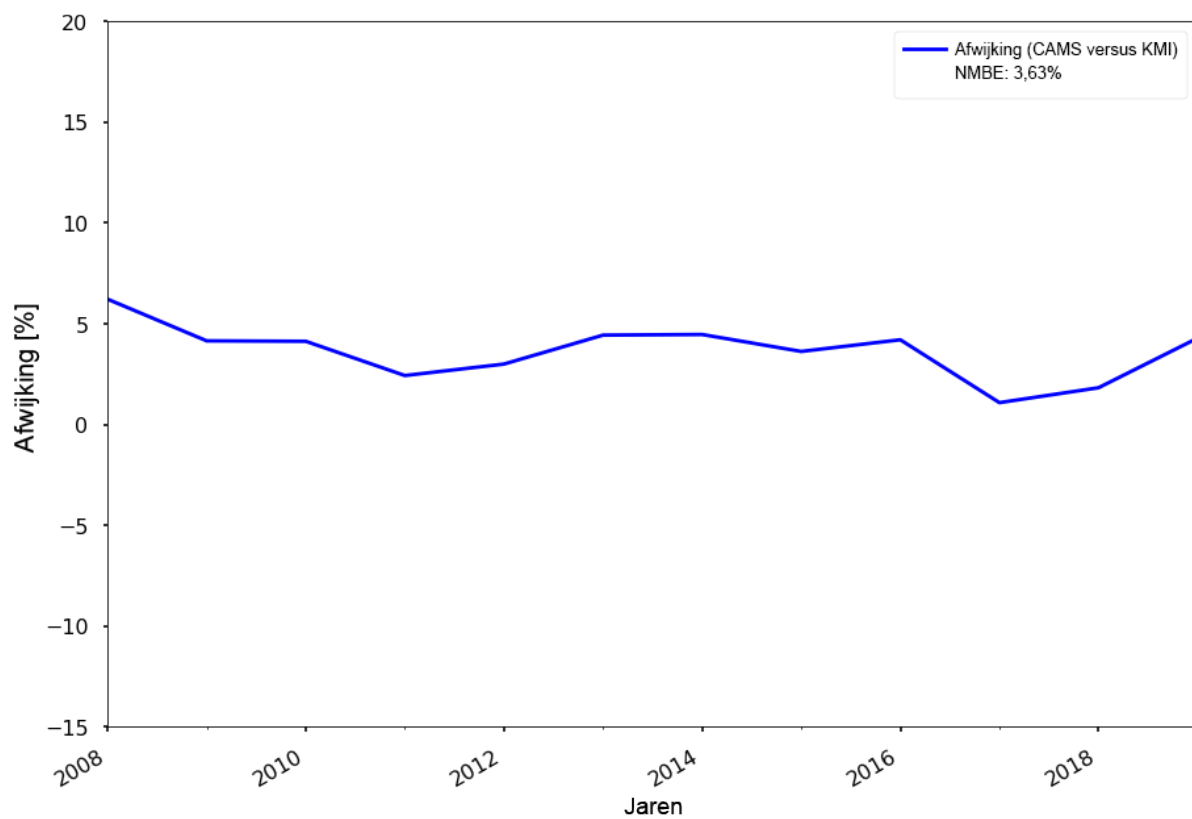
Figuur 7-I: Jaarlijkse horizontale globale zonninstraling gemeten door het KMI-station in Ukkel, vergeleken met de satellietgegevens CAMS

Figuur 7-I toont aldus de geraamde hoeveelheid ontvangen zonninstraling van de gegevens van het weerstation in Ukkel in vergelijking met de CAMS-gegevens op jaarbasis.

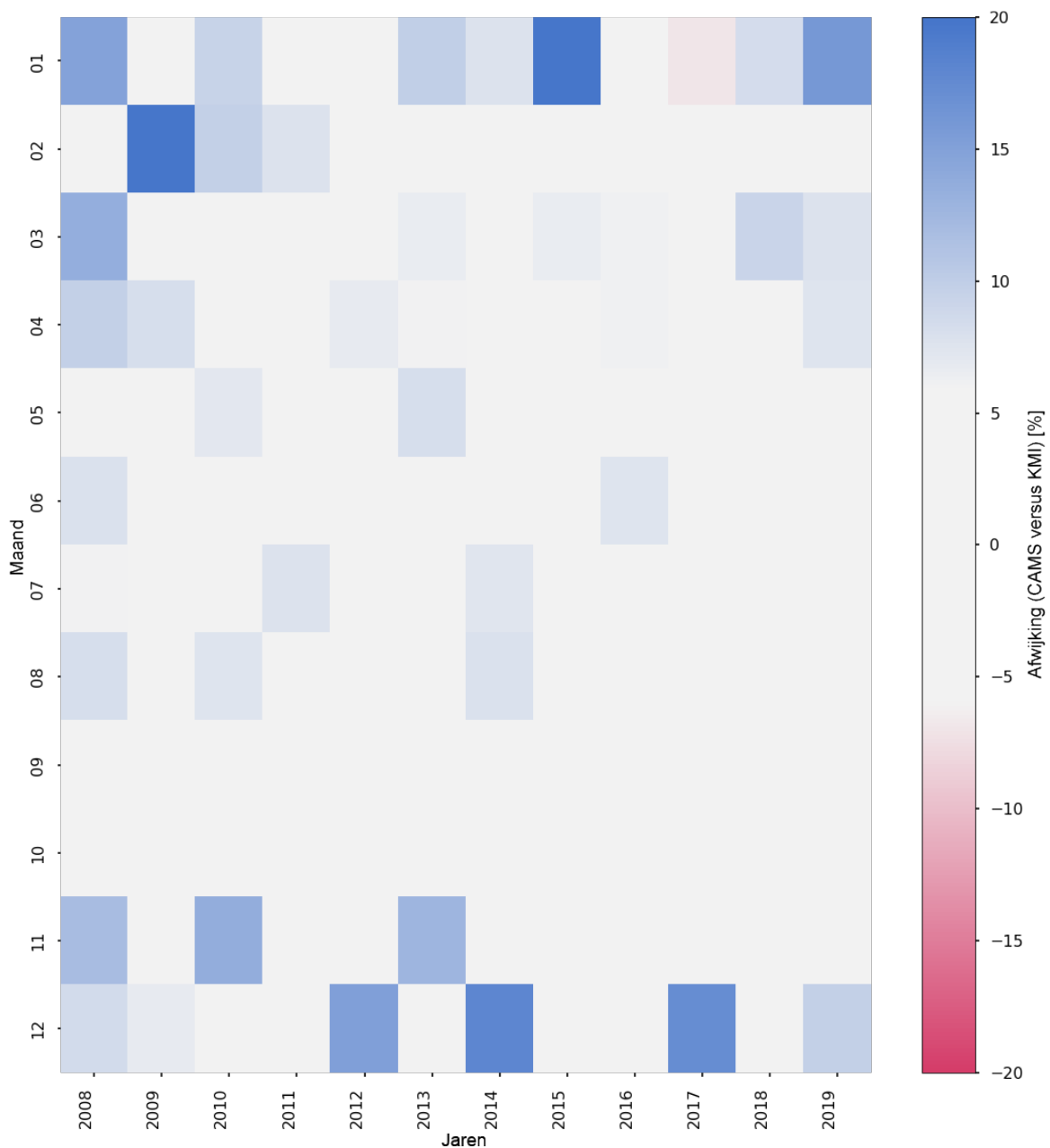


Figuur 7-2: Raming van de jaarlijkse statistische afwijking (met als referentie de gegevens van het KMI-weerstation in Ukkel)

De door CAMS geraamde waarden van jaarlijkse zoninstraling op horizontaal vlak zijn lichtjes hoger dan de gegevens zoals gemeten door de pyranometer van het KMI in Ukkel. Het gaat om een vrij stelselmatig verschil dat kan worden geassimileerd met een gemiddelde afwijking van 3,6% tijdens de verschillende geanalyseerde jaren, zoals te zien is in



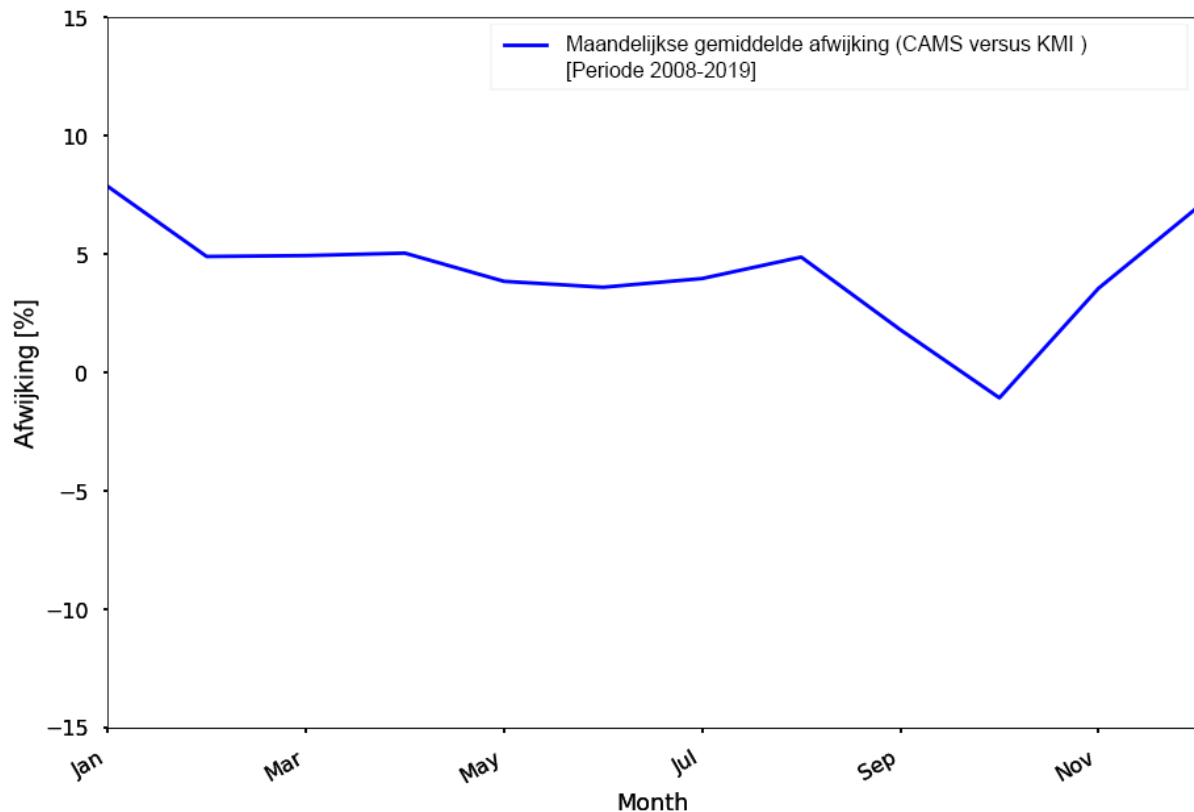
Figuur 7-2.



Figuur 7-3: Heatmap van de statistische afwijking tussen de satellietgegevens CAMS en de gegevens van het KMI op maandelijkse basis tijdens de periode 2008-2019

Om een meer gedetailleerd beeld te hebben en het gebruik van deze satellietgegevens te valideren werd een maandelijkse analyse gemaakt van de statistische afwijking voor de hele analyseperiode; op die manier kan er in Figuur 7-3 een heatmap worden getoond die een beeld geeft van het verschil tussen de satellietgegevens van CAMS en de gegevens van de pyranometer van het KMI.

Tijdens de winter is er een grotere positieve afwijking als gevolg van een onnauwkeurige verwerking van het wolkendek in de analyses van de satellietbeelden van het CAMS-model. De impact van deze fouten is des te groter daar de zon minder hoog staat. Dit type waarneming is typisch voor satellietgegevens.



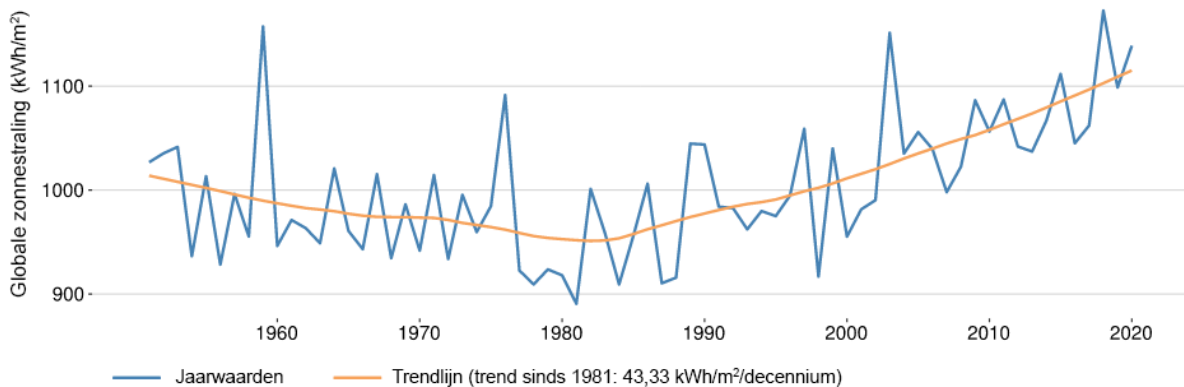
Figuur 7-4: Geaggregeerde maandelijkse gemiddelde afwijking voor de periode 2008-2019 tussen de satellietgegevens inzake zoninstraling en de gegevens van het weerstation in Ukkel

Op maandelijkse basis kunnen de CAMS-gegevens worden gebruikt voor de studie van de prestaties van de fotovoltaïsche installaties, door aggregatie van de dataset voor de hele analyseperiode en binnen een afwijkingsraam te blijven tussen -1% en +7% (Figuur 7-4) naargelang de maanden van het jaar[10].

Het gebruik van gegevens op uurbasis die afkomstig zijn van de satellietbeelden van CAMS (in tegenstelling met de gegevens van het KMI-station in Ukkel die worden verkregen op dagelijkse basis) wordt voornamelijk gemotiveerd door het feit dat deze gegevens toelaten grotere nauwkeurigheid te verkrijgen betreffende de omzetting van de zoninstraling, van het horizontale vlak naar het vlak van de fotovoltaïsche panelen, zoals hierna op meer gedetailleerde wijze wordt uitgelegd.



Globale zonnestraling, jaarwaarde in Ukkel tussen 1951 en 2020



Figuur 7-5: Jaarlijkse globale horizontale zonnestraling gemeten in Ukkel. Bron: KMI, 2020

In de loop van de laatste decennia is de jaarlijkse zonnestraling erg geëvolueerd. In 2018 heeft ze nieuwe records gebroken in België. Het KMI, dat de globale horizontale zonnestraling meet, heeft inderdaad een jaarwaarde van 1.172 kWh/m² gemeten op zijn zetel in Ukkel. Dit is de hoogste door het KMI gemeten waarde sinds het begin van de metingen in de jaren 50 (zie Figuur 7-5). In 2020 bereikte de zonnestraling opnieuw waarden die in de buurt komen van dit historisch maximum. Deze evolutie heeft rechtstreekse gevolgen voor de energieproductie van de fotovoltaïsche installaties in Brussel [10].

Deze nieuwe records bevestigen de stijgende tendens die wordt waargenomen sinds de jaren 80, al bijna 4 decennia dus. Voor elk decennium werd inderdaad een toename van meer dan 40 kWh/m² vastgesteld, dus bijna 4% per decennium.

Het historisch minimum werd gemeten in 1981, en bedroeg iets minder dan 900 kWh/m². De gemiddelde waarde van zonnestraling tussen 1951 en 2020 is iets hoger dan 1.000 kWh/m². Het historisch maximum van 2018 is dus ongeveer 30% meer dan het minimum van 1981 en ongeveer 17% meer dan de gemiddelde waarde. De gemiddelde instraling tijdens het afgelopen decennium bedraagt 1.078 kWh/m², een toename van ongeveer 8% in vergelijking met de gemiddelden van de voorbije veertig jaar.

Bijgevolg bleken de meeste voorspellingen met betrekking tot de fotovoltaïsche productie van 10 jaar geleden pessimistisch. In werkelijkheid hebben de Belgische installaties meer geproduceerd dan aanvankelijk gepland.

De toename van de zonnestraling (en dus van de fotovoltaïsche productie) is niet specifiek voor Ukkel of zelfs voor België. Sinds begin jaren 80 werden gelijkaardige tendensen van stijging waargenomen in de meeste Europese landen, in Noord-Amerika en in andere regio's op aarde. Omgekeerd worden er dalende tendensen waargenomen in andere regio's zoals China of India [11].

De redenen hiervoor zijn nog niet precies gekend. De zonnestraling wordt voornamelijk beïnvloed door twee parameters: de hoeveelheid aerosolen in de atmosfeer [12], en de hoeveelheid wolken, die de zonnestraling verspreiden en absorberen voor ze de grond bereikt. Recente wetenschappelijke studies wijten ongeveer driekwart van de tendensen aan de aerosolen en een kwart aan de evolutie van de bewolking [13]. Tijdens de drie voorbije decennia kwamen er minder aerosolen in de Belgische lucht terecht en was er ook een beetje minder bewolking.

Fotovoltaïsche zonnepanelen worden meestal niet horizontaal geïnstalleerd maar op een schuin vlak, dat van het dak waarop ze geplaatst worden of een ander vlak dat voor hen ter beschikking wordt gesteld, om de ontvangen hoeveelheid straling te maximaliseren. Om de prestaties van de fotovoltaïsche installaties te analyseren, is het dus noodzakelijk de energieproductie te vergelijken met de zoninstraling die het vlak met de zonnecollectoren ontvangt. Voor deze studie werd de horizontale zoninstraling per uur dus omgezet naar het plan van de fotovoltaïsche panelen (Global Tilted Irradiation – GTI) door middel van courant gebruikte uitsplitsings- [14] en omzettingsmodellen [15].

De gegevens inzake oriëntatie en helling van de fotovoltaïsche panelen zijn niet opgenomen in de gegevensbank van BRUGEL. Een goede kennis van deze informatie zou het mogelijk maken om de nauwkeurigheid van de analyses te verbeteren. Voor de huidige studie werd de oriëntatie van het vlak van de zonnepanelen gemeten met behulp van een speciaal ontwikkeld instrument om de satellietbeelden van de fotovoltaïsche installaties te bekijken en te analyseren. Deze beschouwingen worden nader toegelicht in het volgende deel.

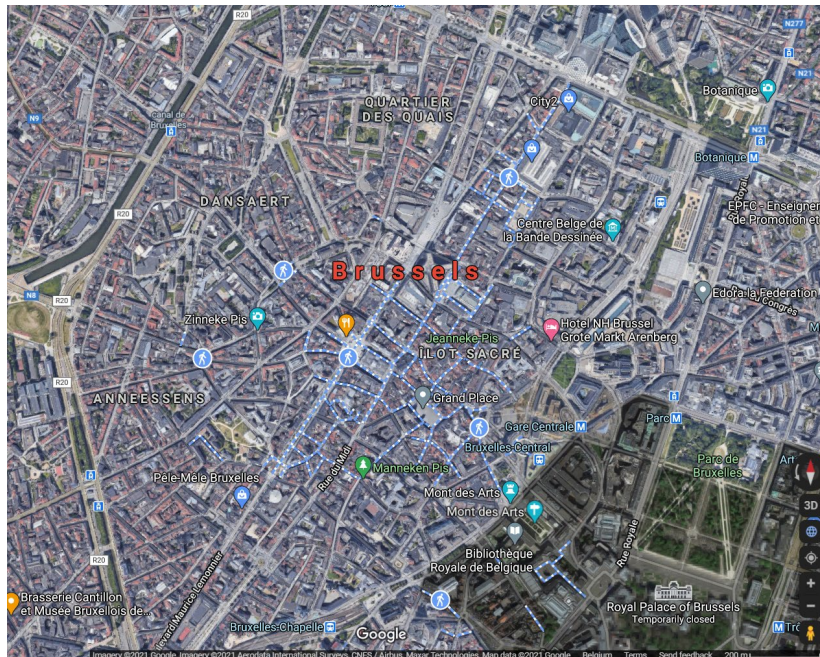
7.3 Analyse van de oriëntaties van de panelen van het fotovoltaïsch park

Om de prestaties van de fotovoltaïsche installaties te bestuderen, is het belangrijk om de helling en vooral de oriëntatie van de zonnepanelen te kennen. Deze twee parameters spelen immers een belangrijke rol bij de energieproductie van fotovoltaïsche installaties.

De gegevensbank van BRUGEL bevat echter geen informatie over de helling en de oriëntatie van de installaties van het FV-park in het BHG. De impact van de helling op de jaarlijkse productiviteit is beperkt wanneer die helling tussen 10° en 50° bedraagt. Om deze reden is er bij de analyses uitgegaan van een helling van 35° voor alle installaties. Dit komt overeen met een optimum voor de zuidwaarts georiënteerde panelen. Hellingen die in de buurt komen van deze waarde zijn frequent om twee redenen: het zoeken naar een optimale helling voor de installaties en de natuurlijke helling van de daken waarop panelen gewoonlijk worden geplaatst. Dit uitgangspunt met betrekking tot de helling kan leiden tot overschatting of onderschatting met enkele percenten van de jaarlijkse verwachte zoninstraling op het vlak van de collectoren. Voor het geheel van het FV-park in Brussel zouden deze systematische fouten in principe relatief gering moeten zijn.

In tegenstelling met de helling van de zonnepanelen heeft de oriëntatie een grote impact op de energieproductie van fotovoltaïsche installaties. In België bijvoorbeeld produceert een zuidwaarts georiënteerde installatie met een helling van 35° 15% tot 20% meer dan een installatie met dezelfde helling maar die op het oosten of het westen is georiënteerd. Het is dus belangrijk om te beschikken over een vrij nauwkeurige kennis van deze oriëntatiegegevens om fouten te vermijden die een weerslag hebben op de analyses.

In het kader van de vorige editie van deze studie betreffende de analyse van het fotovoltaïsch park in Brussel eind 2019, had BRUGEL een approximatieve meting gemaakt van deze oriëntaties voor een steekproef van 151 installaties, op basis van een identificatie aan de hand van satellietbeelden. Deze oriëntaties werden geklasseerd met een hoekpositief van 22,5° (zuid, zuidzuidoost, zuidoost etc.). Vervolgens werd de verdeling van deze oriëntaties geanalyseerd om de tendensen ervan te observeren en hieruit een voor het volledige park representatieve oriëntatie af te leiden.



Figuur 7-6: Beeld van het stadscentrum van Brussel (Vijfhoek) vanuit de lucht

Figuur 7-6 geeft een beeld weer van het stadscentrum van Brussel vanuit de lucht. Hier is duidelijk op te zien dat de ruimtelijke ordening van dien aard is dat zeer weinig daken exact op het zuiden gericht zijn en dat veel daken een schuine oriëntatie hebben tussen zuidoost en zuidwest. Deze verdeling van de natuurlijke oriëntatie van de daken heeft waarschijnlijk de verdeling van de oriëntaties van de in het BHG geïnstalleerde fotovoltaïsche panelen sterk beïnvloed.

Aldus werd, op basis van de installaties van de steekproef met gekende oriëntaties, een gelijkwaardige referentieoriëntatie vastgesteld voor het volledige FV-park in het kader van de vorige editie. Deze oriëntatie was zodanig vastgesteld dat ze leidde tot een ontvangen jaarlijkse hoeveelheid zonne-energie die gelijkwaardig was aan de door deze installaties van de steekproef ontvangen gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid zonne-energie. Het resultaat van dit onderzoek leidde tot de conclusie dat de gelijkwaardige oriëntatie die representatief is voor het volledige fotovoltaïsche park in Brussel overeenkomt met een afwijking van 15° ten overstaan van het zuiden. Deze afwijking ten overstaan van het zuiden werd op willekeurige wijze gekozen naar het westen. Vervolgens werd deze referentieoriëntatie gebruikt om de prestaties van het volledige FV-park te analyseren.

Deze methode van referentieoriëntatie brengt echter bepaalde nadelen met zich mee. Er hangt immers heel wat onzekerheid rond de specifieke resultaten. Ze leidt tot een over- of onderwaardering van de zoninstraling die jaarlijks wordt ontvangen door de FV-installaties en veroorzaakt een significante spreiding van de gegevens in alle analyses van het vorige werkjaar.

De beperkingen van deze methode hebben geleid tot de ontwikkeling van een instrument dat toelaat een raming van de waarden van deze oriëntaties te verkrijgen. Dit instrument is gebaseerd op een identificatie door satellietbeelden van de fotovoltaïsche installaties. Deze techniek maakte het ook mogelijk zich niet langer te beperken tot een steekproef van 151 installaties, maar de studie uit te breiden tot de evaluatie van de oriëntatie van het volledige FV-park van het BHG. Het instrument heeft nood aan een tabel met de adressen van elke installatie van het FV-park. Voor elke installatie wordt het adres omgezet in breedte- en lengteligging. Deze geografische coördinaten worden vervolgens gebruikt om het satellietbeeld van de betrokken installatie te tonen. Vervolgens kan de oriëntatie van de panelen worden gevisualiseerd.

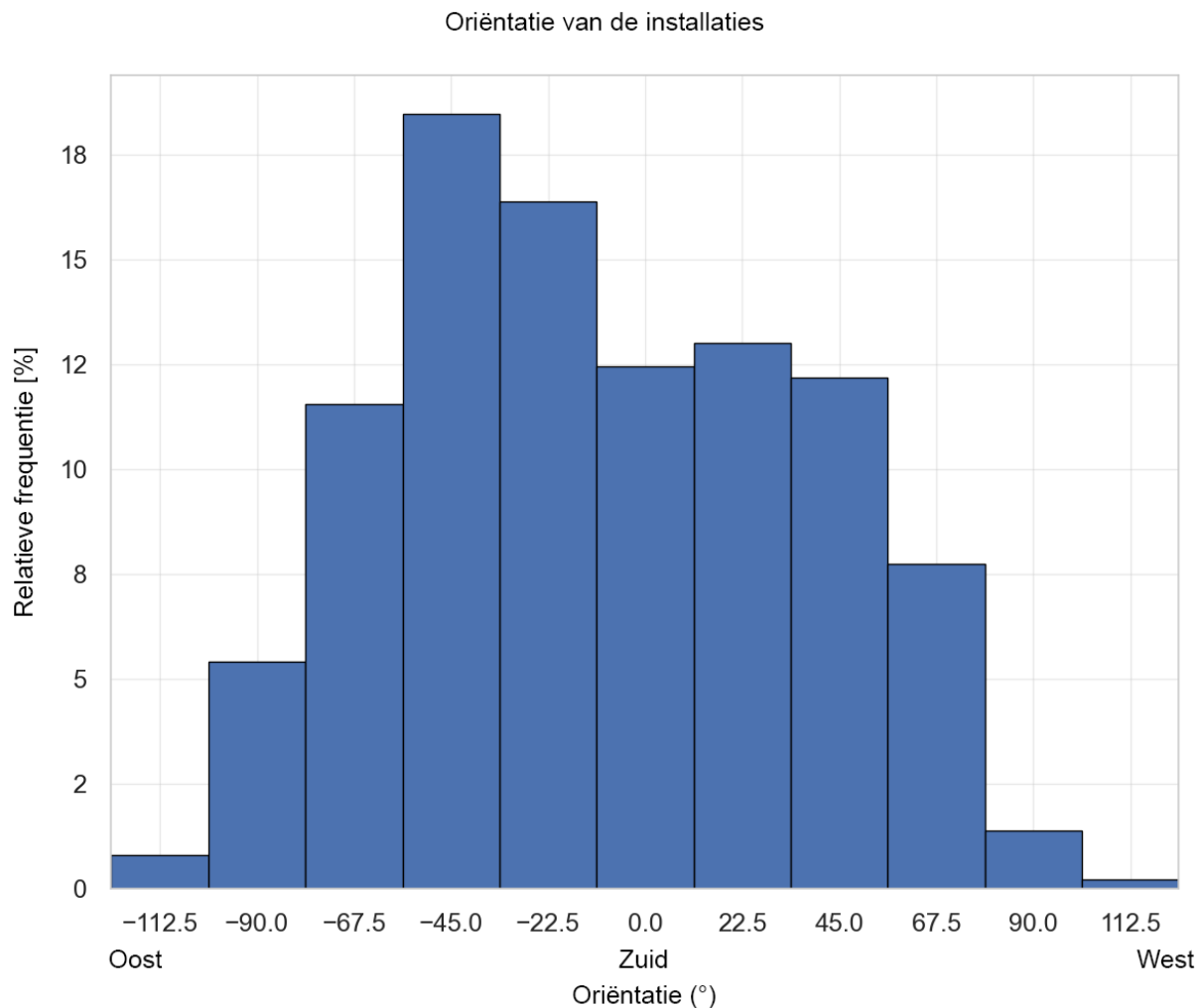


Figuur 7-7: Instrument voor detectie van de oriëntaties

In het geval waarin de panelen volgens verschillende oriëntaties zijn opgesteld, wordt de installatie geëxfiltreerd om de productiviteit en de prestatie te analyseren, daar het in het kader van deze studie gebruikte instrument geen vlotte verwerking van meerdere oriëntaties mogelijk maakt. Om ze in de studie op te nemen, zou immers de verhouding gekend moeten zijn van de in elk van de configuraties georiënteerde zonnepanelen, om een weging te maken van de ontvangen zonne-energie in elk van de hellingsvlakken en daaruit een waarde van deze ontvangen zonne-energie af te leiden die representatief zou zijn voor de hele installatie.

Voor sommige FV-installaties heeft het instrument niet toegelaten een betrouwbare oriëntatiewaarde te verkrijgen, ofwel omdat het satellietbeeld niet actueel was of dat niet mogelijk maakte, ofwel omdat het adres van de installatie niet in een van de aanvaarde formaten was geregistreerd.

De verdeling van de gelabelde oriëntaties wordt weergegeven in Figuur 7-8. Net als voor de vorige editie die de verdeling van de oriëntaties toonde op een steekproef van 151 gelabelde oriëntaties, toont de verkregen verdeling dat de meest voorkomende oriëntaties van de zonnepanelen overeenstemmen met oriëntaties die bij benadering gericht zijn op het zuid-zuidoosten (-22,5) of het zuidoosten (-45°) enerzijds of het zuidwesten (+45°) of het zuid-zuidwesten (+22,5) anderzijds.



Figuur 7-8: Verdeling van de oriëntaties van de installaties in de steekproef van BRUGEL

Er werd een grondige analyse gemaakt van het instrument voor detectie van de oriëntaties met als doel de nauwkeurigheid van de door de gebruikers ingevoerde oriëntaties te bepalen. Er werd vastgesteld dat de precisiefout van de oriëntatie kleiner is dan 5° in meer dan 95% van de gevallen.

7.4 Filtering van de gegevens

De productiviteit van de installaties van het FV-park van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en de bijbehorende statistieken werden geschat op basis van zes gegevensbronnen:

- Een uittreksel uit de databank van BRUGEL met de technische gegevens voor elke installatie (nominaal vermogen, type eigenaar, merk, postcode, etc.);
- Een uittreksel uit de databank van BRUGEL met de dimensioneringsgegevens van de omvormers die in de verschillende installaties worden gebruikt;
- Een uittreksel uit de databank met de productievolumes per groene meter (op basis van de door de eigenaars naar BRUGEL gestuurde meterstanden) tot december 2018;

- Uittreksel van de databank van SIBELGA met voor elke installatie de gegevens van de netto-elektriciteit geproduceerd vanaf december 2018 tot in oktober 2021;
- Uittreksel van de databank die de nummers van de groene meters linkt aan de installaties om een eenduidig beeld te krijgen van alle erkende installaties en de samenvoeging van de twee types productiegegevens die voor deze oefening werden gebruikt.
- Een tabel met de adressen van de verschillende installaties, die wordt gebruikt om de oriëntaties van de FV-installaties af te leiden.

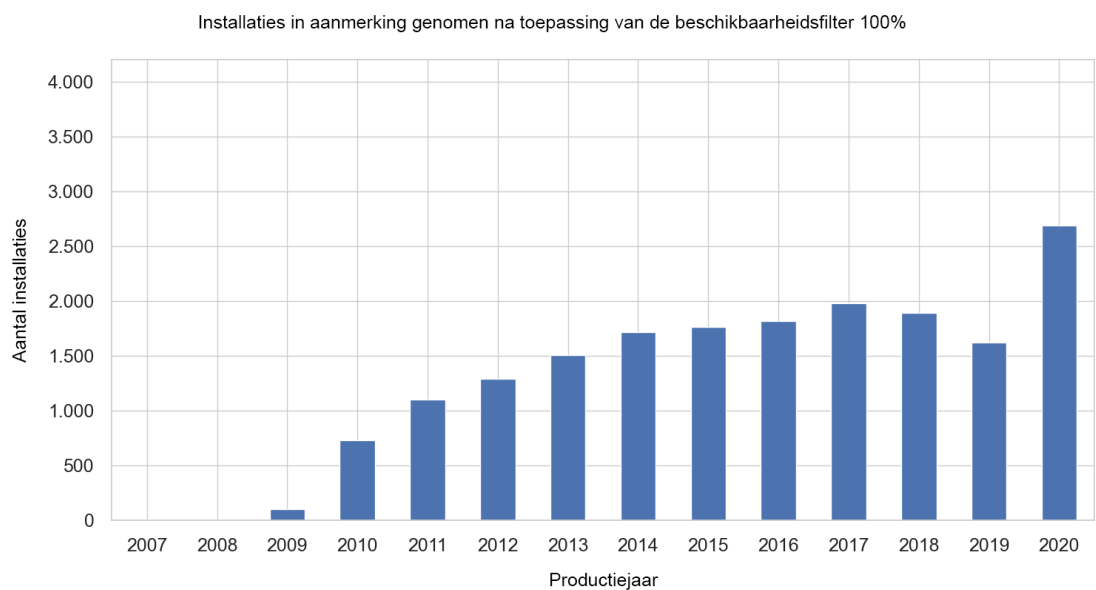
De analyse van de productiviteit van het fotovoltaïsch park in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest is gebaseerd op relevant geachte gegevens, met toepassing van een filterprocedure om enkel de in het licht van de gemaakte analyses relevant en betrouwbaar geachte gegevens te bewaren. In totaal telt de databank van het FV-park in Brussel 11.509 verschillende installaties. Volgens de toegepaste filters kan dit aantal installaties echter sterk worden verminderd.

- Filter 1: Er ontbreken installaties in de databank die de nummers van groene meters verbindt met de installaties. Voor die installaties is het onmogelijk de technische kenmerken te verkrijgen en dus worden ze uit de analyse geweerd. 301 installaties worden verwijderd in deze fase.
- Filter 2: Deze filter heeft betrekking op de adressen van de installaties. Alleen de installaties met een coherent adres, i.e. een adres dat toelaat de oriëntatie van de FV-installatie af te leiden, worden behouden in de analyse van de prestaties. 188 installaties worden verwijderd in deze fase.
- Filter 3: De installaties waarvoor meerdere oriëntaties van FV-panelen worden waargenomen of waarvoor de oriëntatie niet met zekerheid kon worden afgeleid aan de hand van het instrument voor detectie van de oriëntatie, worden geëxfiltreerd. 5.709 installaties worden verwijderd in deze fase.
- Filter 4: De installaties met slechts één regel in de databank met de productievolumes worden geëxfiltreerd omdat het, op basis van deze enkele regel, niet mogelijk is het verschil tussen beide metingen vast te stellen teneinde de productie van deze installatie af te leiden. 30 installaties worden verwijderd in deze fase.
- Filter 5: De installaties met meerdere verschillende metingen van productie voor dezelfde productieperiode worden verwijderd uit de analyse. 2 installaties worden verwijderd in deze fase.
- Filter 6: De productiegegevens die, per groene meter, productiemetingen laten zien die niet steeds monotoon stijgend zijn, worden als ongeldig beschouwd (negatieve producties gedurende een bepaalde periode) en de overeenstemmende installaties worden geëxfiltreerd. 15 installaties worden verwijderd in deze fase.
- Filter 7: Deze filter heeft betrekking op de jaarlijkse beschikbaarheid van de geanalyseerde gegevens. De jaarlijkse beschikbaarheid van de gegevens van een installatie, uitgedrukt in procenten, vertegenwoordigt het aandeel dagen van het jaar die opgenomen zijn tussen twee meterstanden van de energieproductie. Zo een periode van het jaar door geen enkele opmetingsperiode wordt gedekt, betekent dit dat ten minste één opmeting ontbreekt, of dat een opmetingsdatum verkeerd is. Daardoor is het onmogelijk om aan deze periode een betrouwbaar resultaat van energieproductie toe te wijzen. Indien, voor een installatie, niet alle dagen van een jaar zijn gedekt door de meterstanden, is de jaarlijkse beschikbaarheid van de

gegevens voor het betrokken jaar lager dan 100%. In dit geval worden de gegevens inzake energieproductie voor de rest van het jaar geëxfiltreerd en wordt het bewuste jaar niet geanalyseerd voor de betrokken installatie. De filter verwijdert de installaties dus niet rechtstreeks, maar het zijn de productieperioden van deze installaties die worden gefilterd. Deze filter is noodzakelijk om de coherentie te garanderen tussen de geanalyseerde productiegegevens voor alle installaties van het FV-park in Brussel. De energieproductiviteit is sterk verbonden met de door de FV-panelen ontvangen zoninstraling, net als andere factoren die sterk seizoensgebonden zijn. Bijgevolg zou de vergelijking van de productiviteit van meerdere installaties waarvan de gegevens inzake energieproductie geen betrekking hebben op dezelfde analyseperiode, een vertekend beeld van de resultaten kunnen opleveren. 1.112 installaties worden verwijderd in deze fase.



Figuur 7-9: Aantal beschikbare installaties per productiejaar voor de analyse van de productiviteit vóór toepassing van de filter betreffende de beschikbaarheid van de gegevens



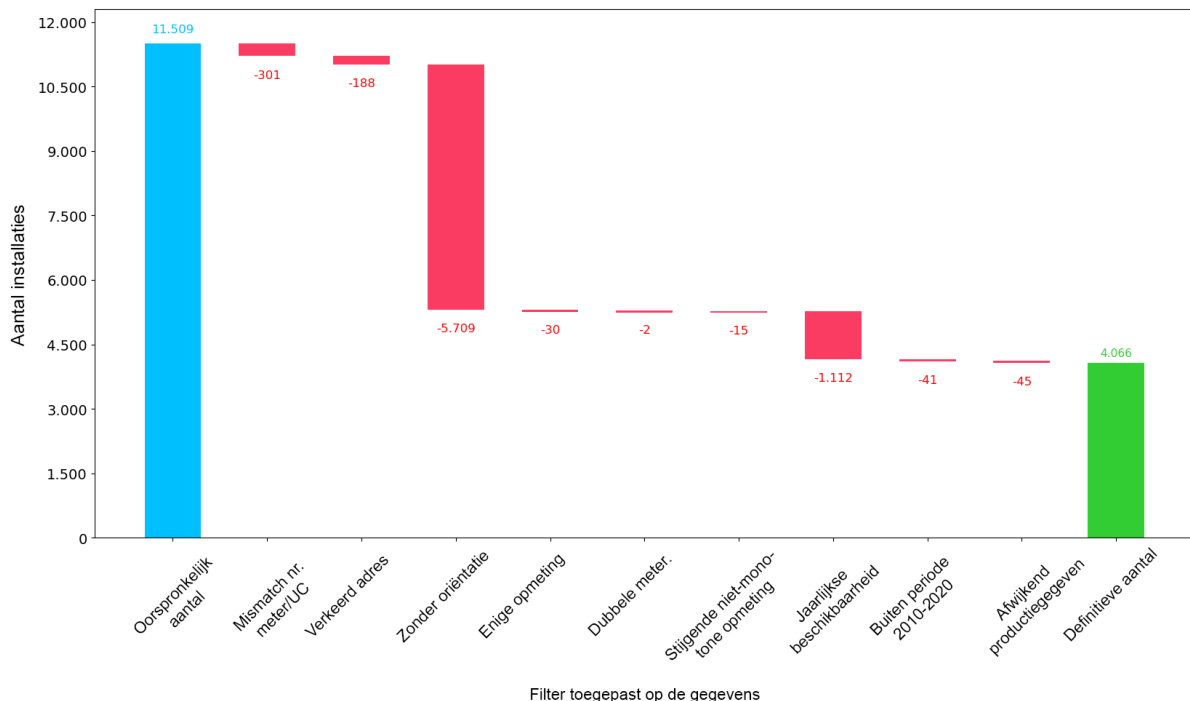
Figuur 7-10: Aantal beschikbare installaties per productiejaar voor de analyse van de productiviteit na toepassing van de filter betreffende de beschikbaarheid van de gegevens

Figuur 7-9 en Figuur 7-10 tonen het aantal installaties per productiejaar, respectievelijk vóór en na de filter betreffende de beschikbaarheid van de gegevens. Deze filter heeft de grootste weerslag op het jaar 2019. Het jaar 2020 werd gekozen als referentiejaar tijdens de analyses, met als hoofddoel een betrouwbaar beeld te krijgen van het recent geïnstalleerde FV-park, aangezien dit het meest recente jaar is en ook het jaar met het hoogste aantal installaties waarvan de gegevens inzake energieproductie geldig zijn.

- Filter 8: De verschillende databanken bevatten gegevens voor een periode die loopt van 2006 tot 2021. In het kader van deze editie bestuderen we echter enkel het interval 2010-2020, wat het aantal geanalyseerde installaties beperkt. Figuur 7-10 toont waarom het bestudeerde interval enkel de periode 2010-2020 bestrijkt, met het aantal beschikbare installaties voor elk jaar tussen 2007 en 2020 na toepassing van de filter betreffende de beschikbaarheid van de gegevens voor 100%. Na toepassing van deze filter wordt het aantal installaties met productiegegevens in 2008 teruggebracht tot nul. Ook het aantal installaties met productiegegevens in 2009 wordt sterk verlaagd, i.e. van meer dan 500 installaties vóór toepassing van de filter tot slechts een honderdtal na toepassing ervan. Statistisch gezien zijn de productiegegevens dus enkel representatief vanaf 2010, en dit is dan ook de reden waarom de analyse van de prestaties van het FV-park zich beperkt tot de productieperiode 2010-2020. 41 installaties worden verwijderd in deze fase.
- Filter 9: Tot slot wordt een filter toegepast om aberrante productiegegevens te verwijderen, zoals een Performance Ratio (zie definitie in deel 7.6) die hoger is dan 100%. 45 installaties worden verwijderd in deze fase.

Na toepassing van deze reeks filters, waardoor enkel de installaties met coherente en volledige productiegegevens overblijven, vertegenwoordigen de bestudeerde gegevens 4.066 installaties. 7.443 installaties worden dus uit de analyse gehaald, i.e. iets meer dan 60% van het bestudeerde FV-park. Figuur 7-11 bevat een samenvatting van de filters die op de basisinstallaties werden toegepast met als doel de definitieve gegevens te verkrijgen die worden gebruikt om de productiviteit van het FV-park in het BHG te analyseren.

Evolutie van het aantal installaties bij de filtering van de gegevens



Figuur 7-11: Samenvattend schema van de toegepaste filters op de bruto gegevens tot aan de definitieve gegevens die worden gebruikt om de prestaties van het FV-park in het BHG te analyseren

De definitieve gegevens die worden gebruikt om de prestaties van het FV-park in het BHG te analyseren, hebben dus betrekking op 4.066 installaties met coherente productiegegevens voor een of meerdere volledige jaren (100% beschikbaarheid) tijdens de periode van 2010 tot en met 2020. Het totale geïnstalleerde piekvermogen van deze steekproef is gelijk aan 50,9 MWp, terwijl de omvormers een nominaal vermogen hebben van 38,1 MVA.

7.5 Specifieke energieproductiviteit

7.5.1 Definitie

De specifieke jaarproductiviteit van een installatie kwantificeert haar jaarlijkse productie (in kWh) in verhouding tot haar geïnstalleerd vermogen (kWp). Ze wordt uitgedrukt in kWh/kWp.

Deze specifieke energieproductiviteit of productiviteit wordt als volgt gedefinieerd:

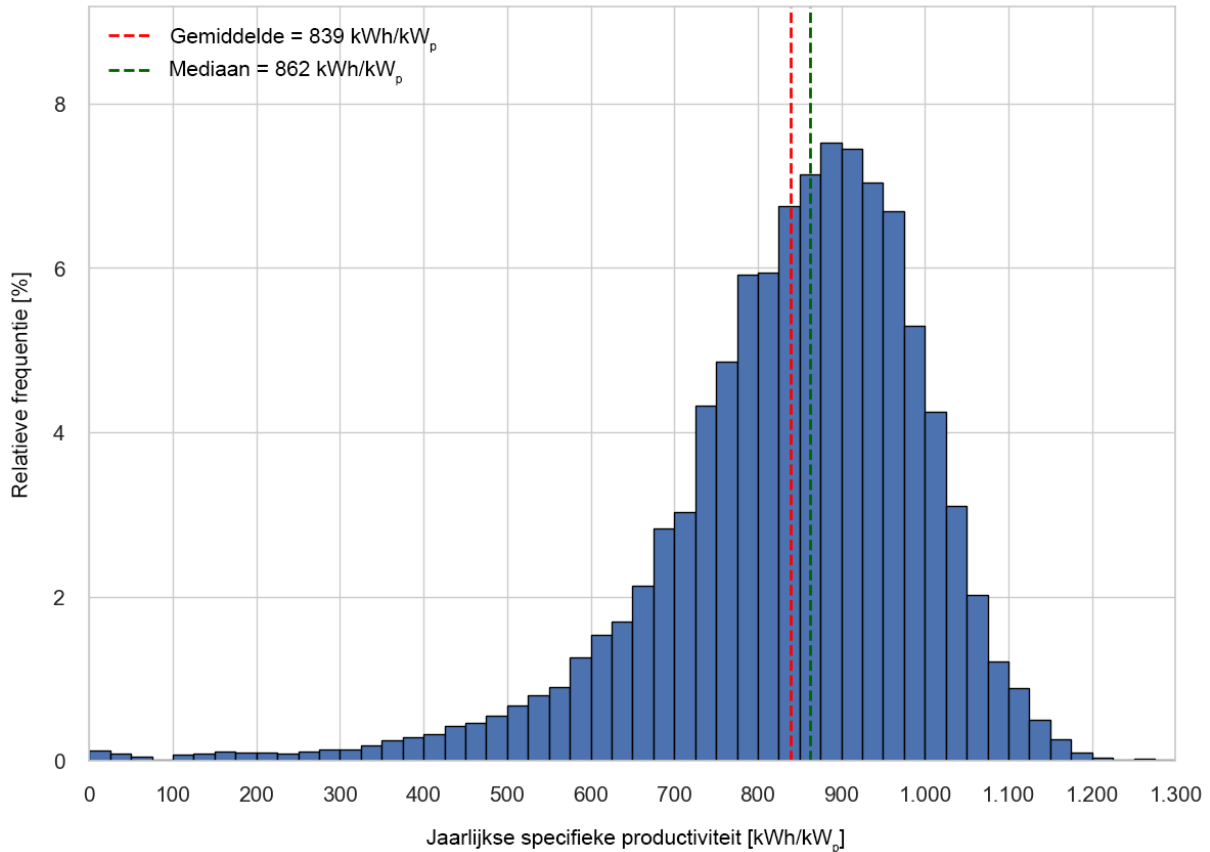
$$Productiviteit_{FV}[kWh/kWp] = \frac{Productie_{FV}[kWh]}{Piekvermogen_{FV}[kWp]}$$

Deze parameter laat toe een globaal beeld te bekomen van de genormaliseerde energieproductiviteit van de fotovoltaïsche installaties per eenheid geïnstalleerd vermogen. Dankzij deze normalisering van de productiviteit door het vermogen van de installatie is het mogelijk om installaties met verschillende geïnstalleerde piekvermogens met elkaar te vergelijken.

De productiviteit van een installatie is sterk afhankelijk van meerdere parameters, zoals de ontvangen zinstraling maar ook de operationele temperatuur van de fotovoltaïsche cellen, de eventuele schaduweffecten enzovoort.

7.5.2 Jaarlijkse specifieke productiviteit tijdens het decennium 2010-2020

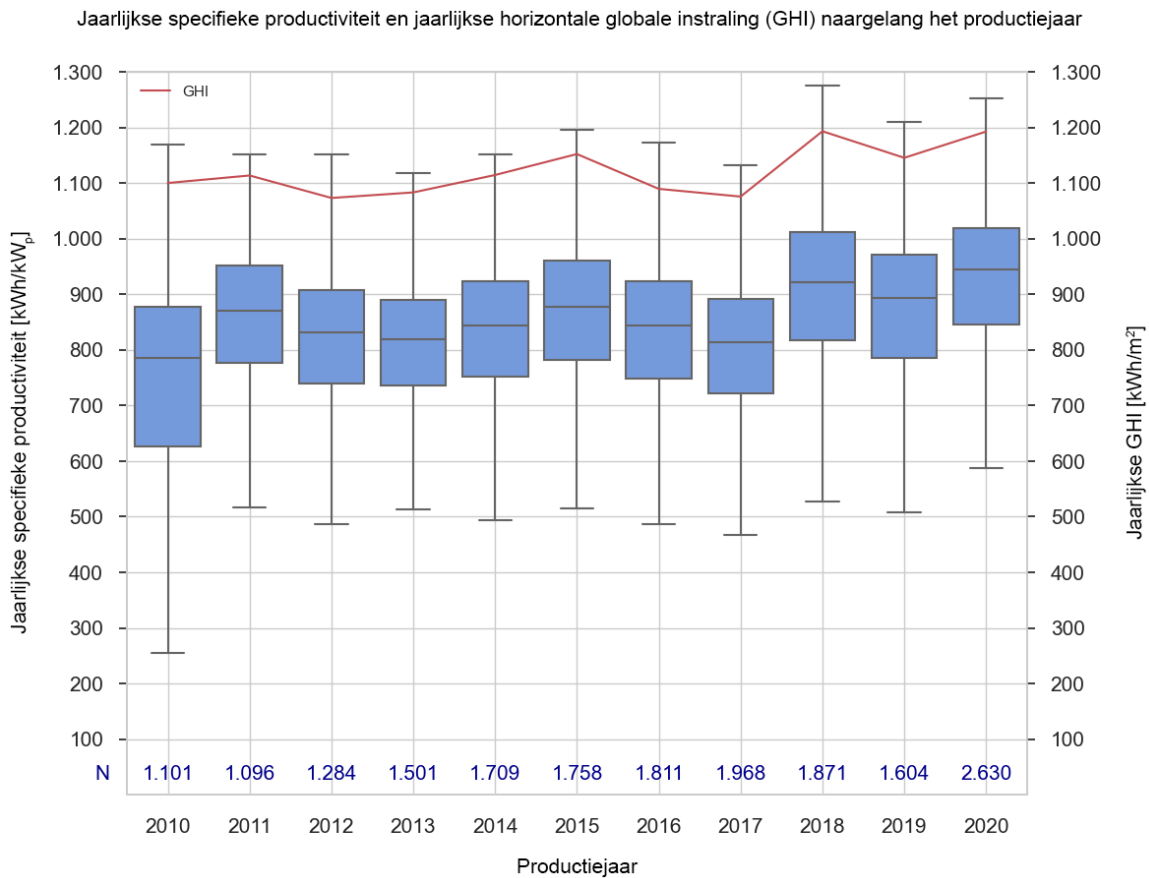
Verdeling van de jaarlijkse productiviteit van de installaties in het voorbije decennium (2010-2020)



Figuur 7-12: Verdeling van de jaarlijkse productiviteit van de installaties in het voorbije decennium (2010-2020)

Figuur 7-12 toont de verdeling van de jaarlijkse productiviteit van de installaties in het voorbije decennium, tussen 2010 en 2020. De gemiddelde productiviteit bedraagt 839 kWh/kW_p en de mediaan bedraagt 862 kWh/kW_p. De verdeling toont een lichte asymmetrie in de richting van de laagste waarden.

De productiviteit van de meeste installaties schommelt tussen 700 en 1.000 kWh/kW_p. Sommige installaties hebben een productiviteit van meer dan 1.100 kWh/kW_p, terwijl andere een productiviteit van minder dan 500 kWh/kW_p hebben. Er is dus nog een factor tussen de hoogste en de laagste productiviteiten. Er wordt een grote dispersie waargenomen tussen de hoogste en de laagste productiviteitswaarden. Deze dispersie kan worden verklaard door het verschil van de oriëntaties van de installaties, door de kwaliteit van de componenten en de uitvoering van de installatie alsook door de aanwezigheid van schaduw effecten of operationele problemen.

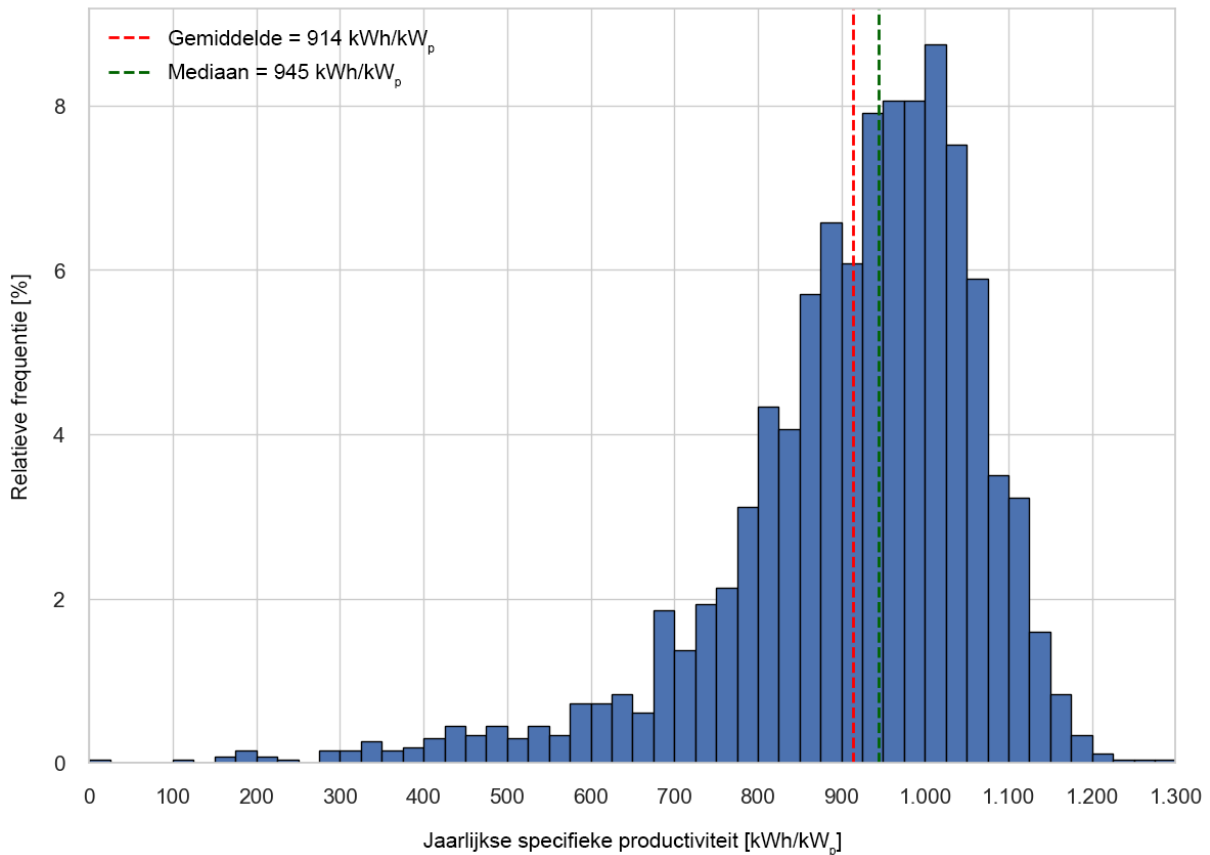


Figuur 7-13: Evolutie van de jaarlijkse productiviteit in de loop van de tijd, gedurende een decennium (2010-2020)

Figuur 7-13 geeft de evolutie weer van de jaarlijkse productiviteit in de loop van de tijd, gedurende een decennium, tussen 2010 en 2020. Voor elk jaar toont de grafiek het aantal installaties in de voorgestelde steekproef (N). De productiviteit schommelt met ca. 5 tot 10% tussen de jaren onderling. Deze schommeling is voornamelijk te wijten aan de schommeling van de zinstraling tussen de jaren onderling, die een lichtjes stijgende tendens vertoont in het laatste decennium. Vooral in de jaren 2018 en 2020 was er heel veel zon en deze jaren vertonen globaal hogere waarden op het vlak van energieproductiviteit.

7.5.3 Jaarlijkse specifieke productiviteit voor het referentiejaar 2020

Verdeling van de jaarlijkse productiviteit van de installaties voor het referentiejaar (2020)



Figuur 7-14: Verdeling van de jaarlijkse productiviteit van de FV-installaties voor referentiejaar 2020

Zoals blijkt uit Figuur 7-14 vertoont de verdeling van de productiviteit van de fotovoltaïsche installaties gelijkaardige tendensen voor referentiejaar 2020 ten opzichte van de tendensen voor het volledige laatste decennium. De absolute waarden liggen hoger dan de waarden die overeenkomen met het gemiddelde van het voorbije decennium, omwille van de extreem gunstige zinstraling in 2020. De gemiddelde productiviteitswaarde bedraagt 914 kWh/kW_p en de mediaan bedraagt 945 kWh/kW_p. De maximale waarden bedragen circa 1.200 kWh/kW_p.

7.6 Performance Ratio (PR)

7.6.1 Definitie

De Performance Ratio (PR) laat toe de energieproductiviteit te normaliseren in verhouding tot de productiviteit van een fotovoltaïsch referentiesysteem dat dezelfde hoeveelheid straling zou ontvangen maar geen extra energieverliezen zou lijden in vergelijking met een werking onder standaard testomstandigheden (Standard Test Conditions – STC).

De Performance Ratio wordt als volgt gedefinieerd:

$$PR = \frac{\text{Productiviteit}_{FV}}{\text{Productiviteit}_{REF}}$$

waarbij de specifieke productiviteit de productiviteit is die voorafgaand bepaald is door:

$$\text{Productiviteit}_{FV} [kWh/kWp] = \frac{\text{Productie}_{FV} [kWh]}{\text{Piekvermogen}_{FV} [kWp]}$$

en de referentieproductiviteit wordt verkregen door:

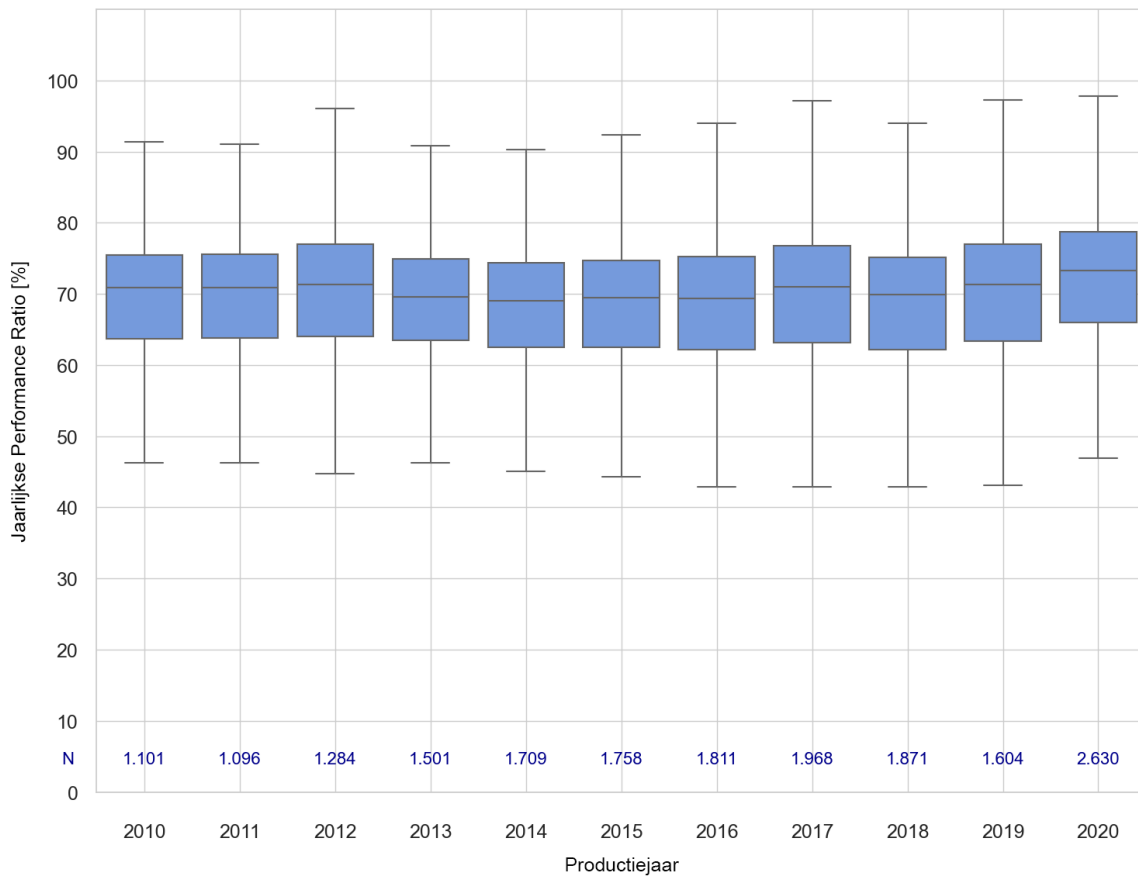
$$\text{Productiviteit}_{REF} [kWh/kWp] = \frac{\text{Instraling} [kWh/m^2]}{G^{STC} [kW/m^2]}$$

waarbij de straling degene is die het vlak van de fotovoltaïsche panelen ontvangt en G^{STC} de straling is onder standaard meetomstandigheden (Standard Test Conditions – STC), dus 1 kW/m².

De Performance Ratio biedt dus de mogelijkheid een performantie-indicator te ontwerpen die de energieproductiviteit weergeeft van een fotovoltaïsche installatie en zowel genormaliseerd is door haar piekvermogen als door de ontvangen zinstraling.

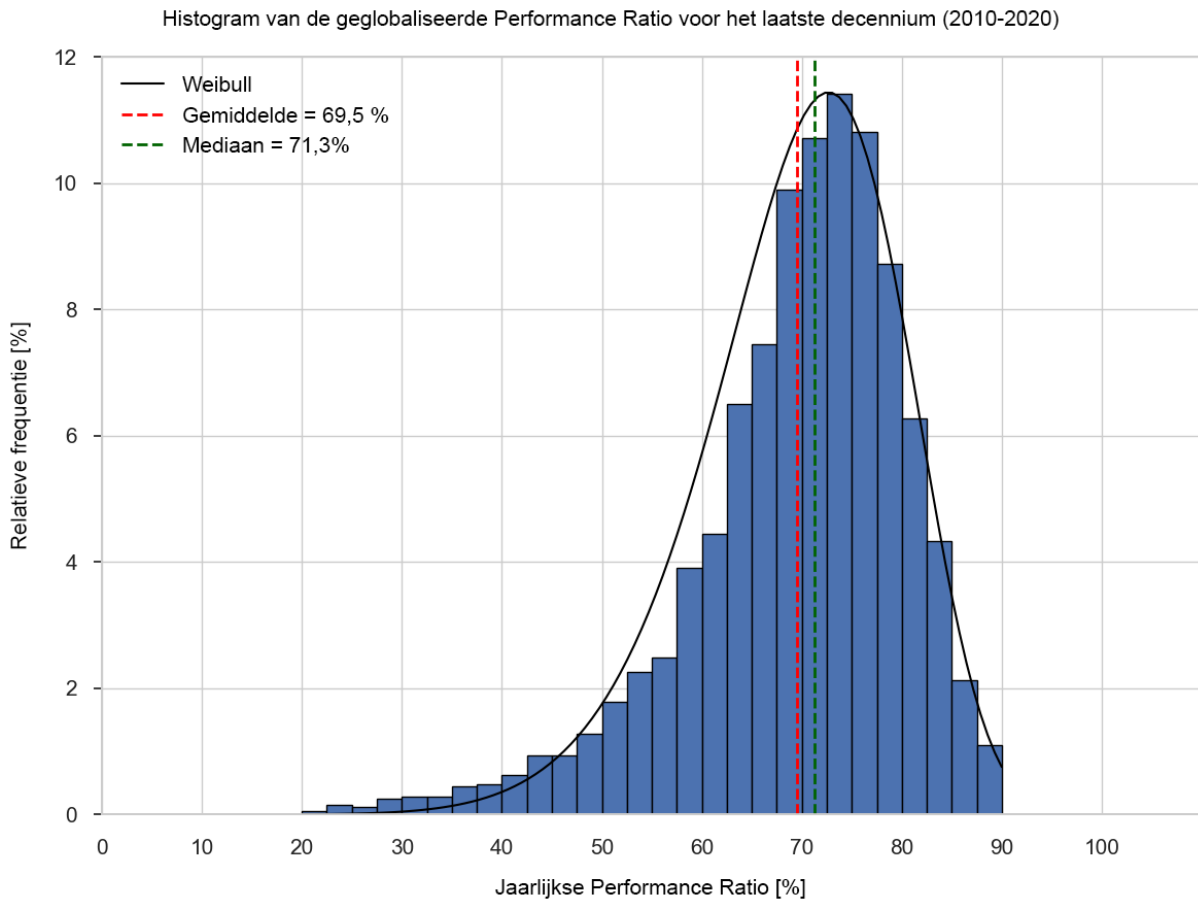
7.6.2 Performance Ratio voor de periode 2010-2020

Boxplot van de jaarlijkse Performance Ratio per productiejaar



Figuur 7-15: Evolutie van de jaarlijkse PR in het decennium 2010-2020

Figuur 7-15 geeft een beeld van de typische interjaarlijkse variatie van de jaarlijkse PR in de loop van het decennium 2010-2020. Voor elk jaar toont de grafiek het aantal installaties in de voorgestelde steekproef (N). We stellen vast dat de representatieve PR-waarden van het volledige park vrij stabiel blijven over de jaren heen. Bovendien is er geen duidelijke tendens te zien in de evolutie van de PR. Deze interjaarlijkse stabiliteit is het bedoelde resultaat van de normalisatie van de productie door de zinstraling. Aldus laat deze normalisatie toe de prestatiegegevens van meerdere jaren te vergelijken.



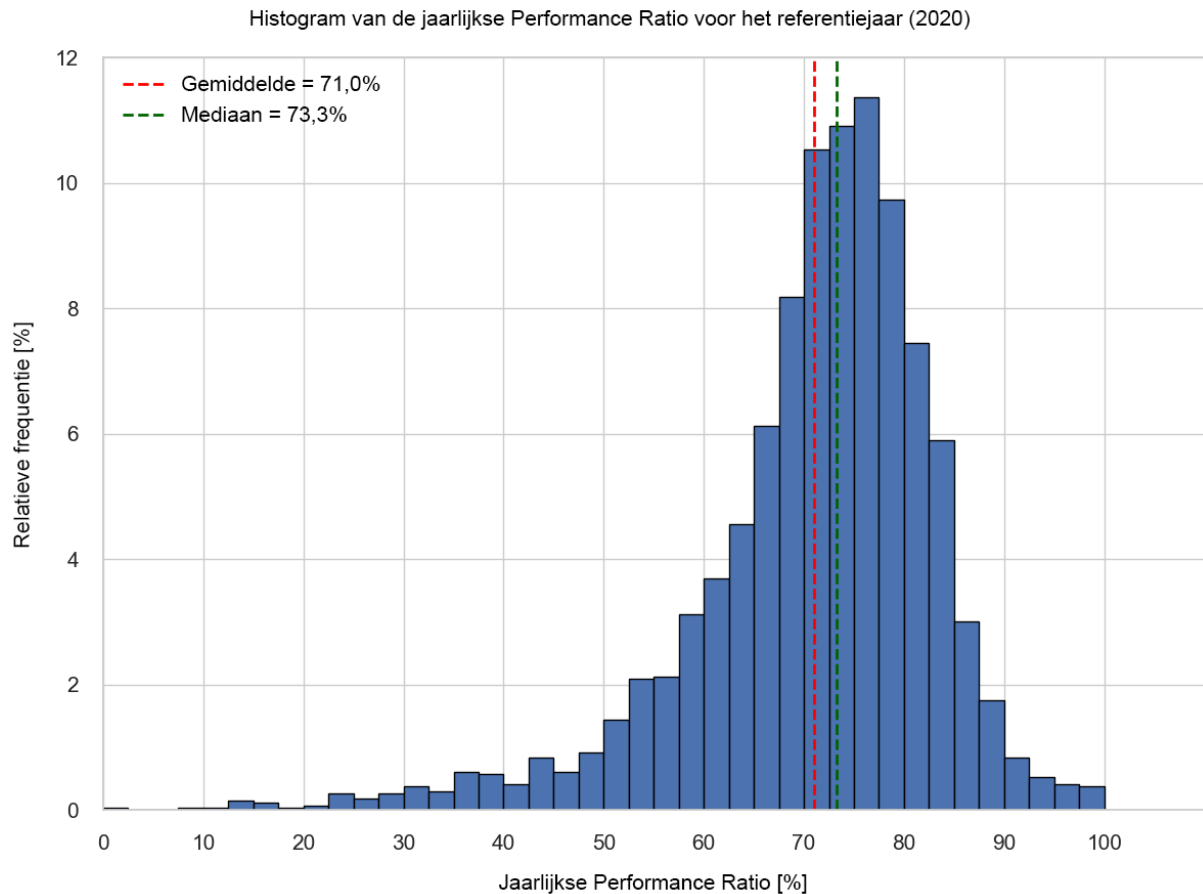
Figuur 7-16: Verdeling van de PR van de installaties in het BHG geglobaliseerd voor het decennium 2010-2020

Figuur 7-16 toont de verdeling van de geglobaliseerde PR voor het decennium 2010-2020. De geglobaliseerde Performance Ratio is de som van de jaarlijkse specifieke productiviteit voor de hele productieperiode van een genormaliseerde installatie door de som van de jaarlijkse referentieproductiviteit voor diezelfde periode. Aldus kan er aan elke installatie een globale PR worden toegewezen die representatief is voor de efficiëntie van die installatie tijdens de periode 2010-2020. De voor het decennium 2010-2020 geglobaliseerde PR heeft een gemiddelde waarde van 69,5% en een mediaanwaarde van 71,3%.

De distributiecurve die de verdeling van de PR in het BHG het best uitlegt, is een Weibull-verdeling. Het betreft hier een asymmetrische verdeling die vaak wordt waargenomen als een populatie een fysieke grens heeft aan een van de twee uiteindes maar niet aan het andere. In het geval van de fotovoltaïsche installaties in België is het in het algemeen fysiek gezien zeer onwaarschijnlijk een jaarlijkse PR van meer dan 90% te kunnen halen, omdat er vaak bepaalde verliezen in het systeem aanwezig zijn, terwijl het vaker voorkomt dat installaties PR opgeven die aanzienlijk onder het gemiddelde liggen, onder meer door prestatieproblemen. De Weibull-verdeling geeft aan dat de meest typische PR-waarde waarvan uitgegaan moet worden voor een fotovoltaïsche installatie geïnstalleerd in het BHG in de loop van de voorbije tien jaar rond 70% ligt. Rond deze typische waarde zijn grote schommelingen vast te stellen, met 90% voor de beste installaties en 20% voor de zwakst presterende. De verschillen zijn heel groot,

wat onder meer verklaard kan worden doordat een aanzienlijk deel van de installaties prestatieproblemen heeft die niet opgemerkt en/of niet verholpen worden.

7.6.3 Performance Ratio voor een referentiejaar (2020)



Figuur 7-17: Verdeling van de jaarlijkse PR in het BHG voor referentiejaar 2020

Figuur 7-17 geeft de waarden van de jaarlijkse PR voor het productiejaar 2020 weer, berekend voor alle geanalyseerde fotovoltaïsche installaties. De gemiddelde waarde ervan bedraagt 71,0% en de mediaan is 73,3%, met een lichte asymmetrie naar de lagere waarden toe.

De waargenomen tendensen zijn zeer gelijklopend en de PR-waarden verschillen slechts weinig van die van het decennium 2010-2020. Dit toont aan dat de jaarlijkse PR een relatief stabiele prestatie-indicator is, onafhankelijk van het gekozen referentiejaar. Hij levert dus een goed beeld van de globale prestaties van het fotovoltaïsch park. Het feit dat de PR-waarden in 2020 lichtjes hoger zijn dan voor het hele decennium, kan ten dele worden verklaard door een verbetering van de prestaties van de fotovoltaïsche installaties over de jaren, dankzij een betere kwaliteit van de componenten en de installatiepraktijken. In de productiegegevens voor 2020 is de verhouding recente installaties hoger dan in de productiegegevens van enkele jaren geleden, wat een gedeeltelijke verklaring biedt voor deze evolutie, die ook te zien is in Figuur 7-15.

Deze typische jaarlijkse PR-waarden van 70-75% die kenmerkend zijn voor de fotovoltaïsche installaties in Brussel, kunnen worden vergeleken met de PR-waarden verkregen in het kader van andere in België of elders in Europa uitgevoerde studies. Bepaalde studies hebben de PR van tienduizenden installaties

in Europa vergeleken, met jaren van indienstname die globaal gezien gelijkaardig zijn voor het in het BHG geïnstalleerde park. Een studie waarbij meer dan 32.000 fotovoltaïsche installaties in Europa, gelegen in België, Frankrijk, Italië, Luxemburg, Duitsland en Nederland, onderzocht werden, kwam tot de conclusie dat de gemiddelde PR tussen 70 en 75% liggen [16]. Een andere studie, waarbij meer dan 31.000 fotovoltaïsche installaties in Europa, voornamelijk gelegen in België, Frankrijk en in het Verenigd Koninkrijk, onderzocht werden, kwam tot de conclusie dat de PR van de meeste van deze installaties tussen 60 en 90% liggen, met gemiddelde waarden per land die in het algemeen boven 75% liggen en typische PR van ongeveer 80% [17]. Een studie waarbij een duizendtal fotovoltaïsche installaties in Wallonië onderzocht werd, kwam tot zeer gelijklopende conclusies, met een gemiddelde waarde van 78% en een typische waarde van ongeveer 80% [18].

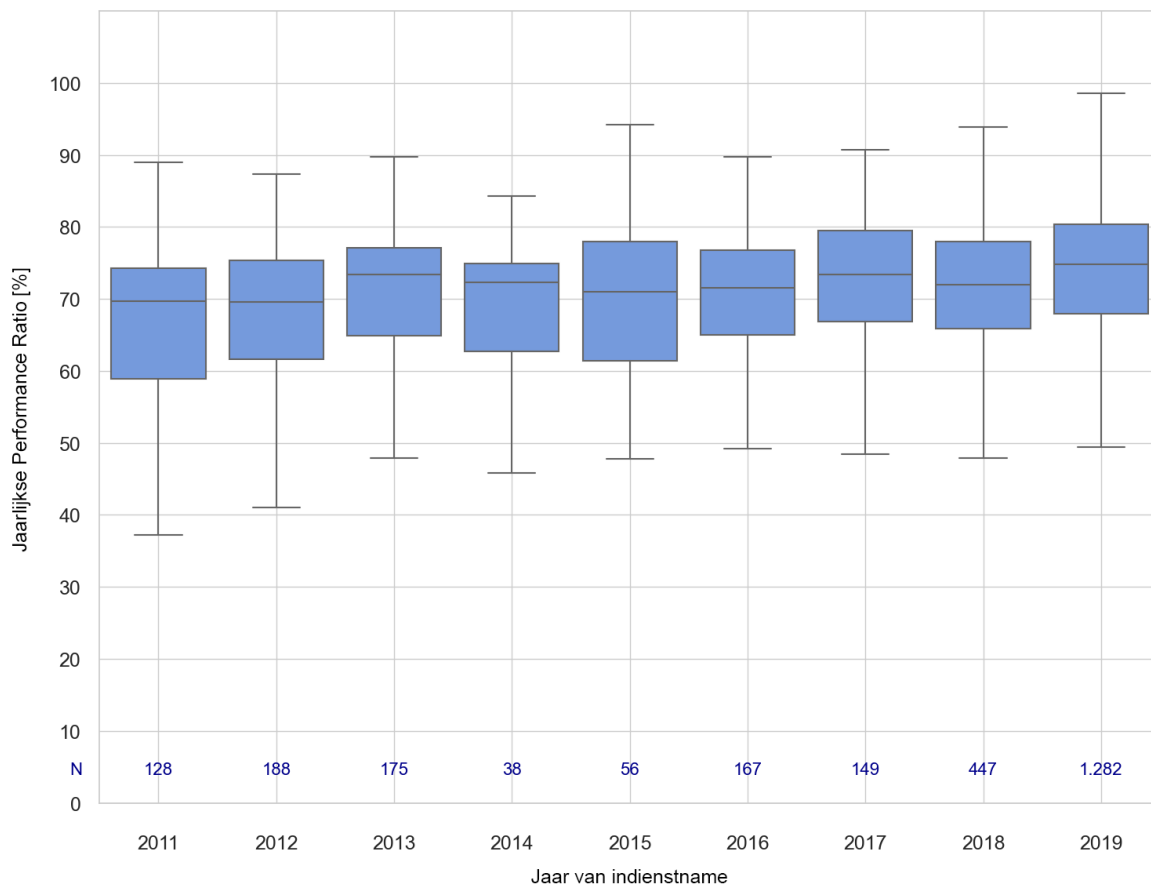
Gemiddeld liggen de PR in Wallonië dus ongeveer 5 tot 10% hoger dan in het BHG. Er zijn meerdere oorzaken die deze verschillen kunnen verklaren. In Wallonië worden fotovoltaïsche panelen vaak geplaatst op daken van huizen waarop zo goed als geen schaduw valt, terwijl in een dichtbebouwde stedelijke context zoals die van Brussel, er dikwijls veel meer schaduw valt op de panelen en ook de oriëntatie een impact heeft. Daarnaast kunnen deze prestatieverschillen ook verklaard worden door verschillen in installatie en onderhoud.

7.7 Statistische analyses

Er werden statistische analyses uitgevoerd op basis van de prestaties van de fotovoltaïsche installaties en in functie van de voornaamste parameters die een impact kunnen hebben op deze prestaties en de variabiliteit van de productie binnen de bestudeerde populatie zouden kunnen verklaren. Deze afdeling stelt de meest opvallende vaststellingen voor die in deze fase werden gedaan. Tenzij anderszins vermeld, hebben de statistieken betrekking op de volledige productieperiode 2010-2020.

7.7.1 PR voor het referentiejaar in functie van het jaar van indienstname

Performance Ratio in functie van het jaar van indienstname van de fotovoltaïsche installaties - Productiejaar 2020

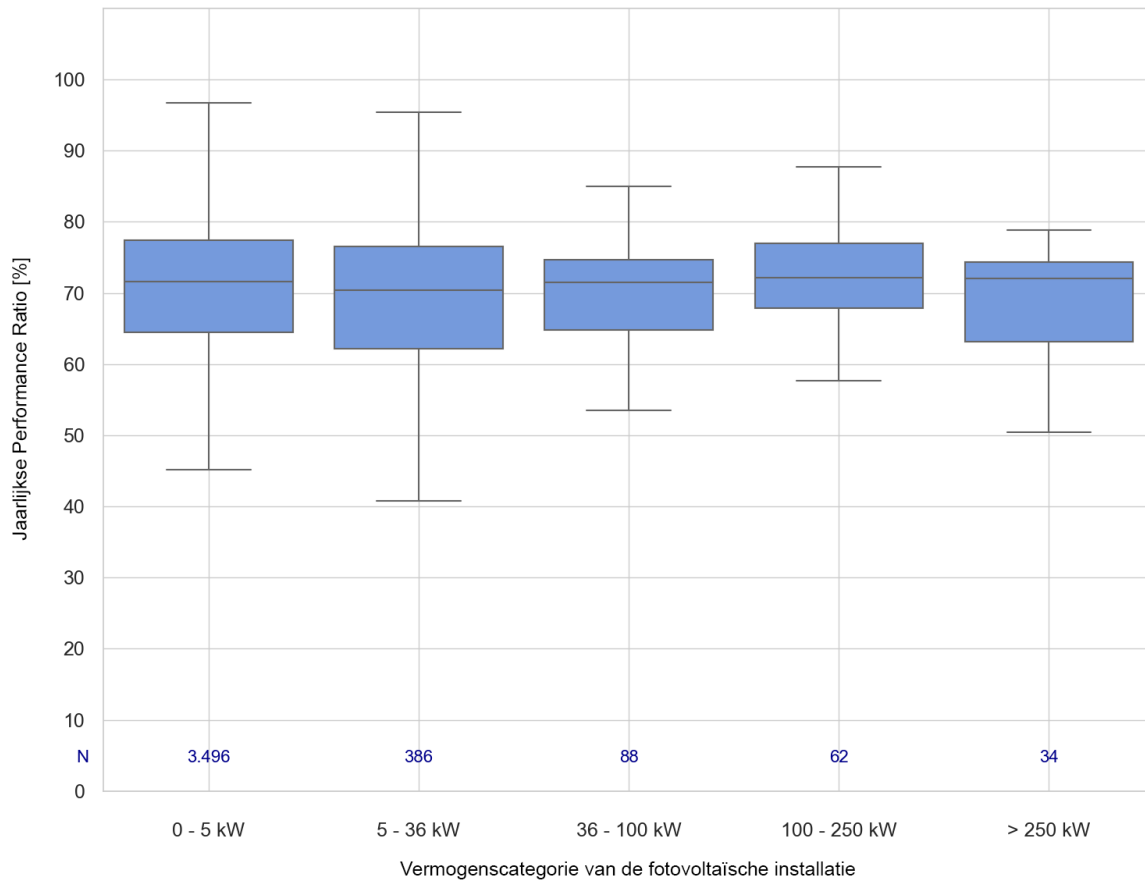


Figuur 7-18: PR in functie van het jaar van indienstname van de fotovoltaïsche installaties

Figuur 7-18 geeft de jaarlijkse PR mee die werd gemeten voor referentieproductiejaar 2020, in functie van het jaar van indienstname van de installaties. Voor elk jaar toont de grafiek het aantal installaties in de voorgestelde steekproef (N). We stellen vast dat de oudste installaties in het algemeen lichtjes zwakker presteren. De voornaamste twee redenen hiervoor zijn: de veroudering van de installaties en de verbetering van de technologie en de installatietechnieken in de loop der tijd.

7.7.2 Performance Ratio in functie van het geïnstalleerd vermogen

Jaarlijkse Performance Ratio in functie van de vermogenscategorieën

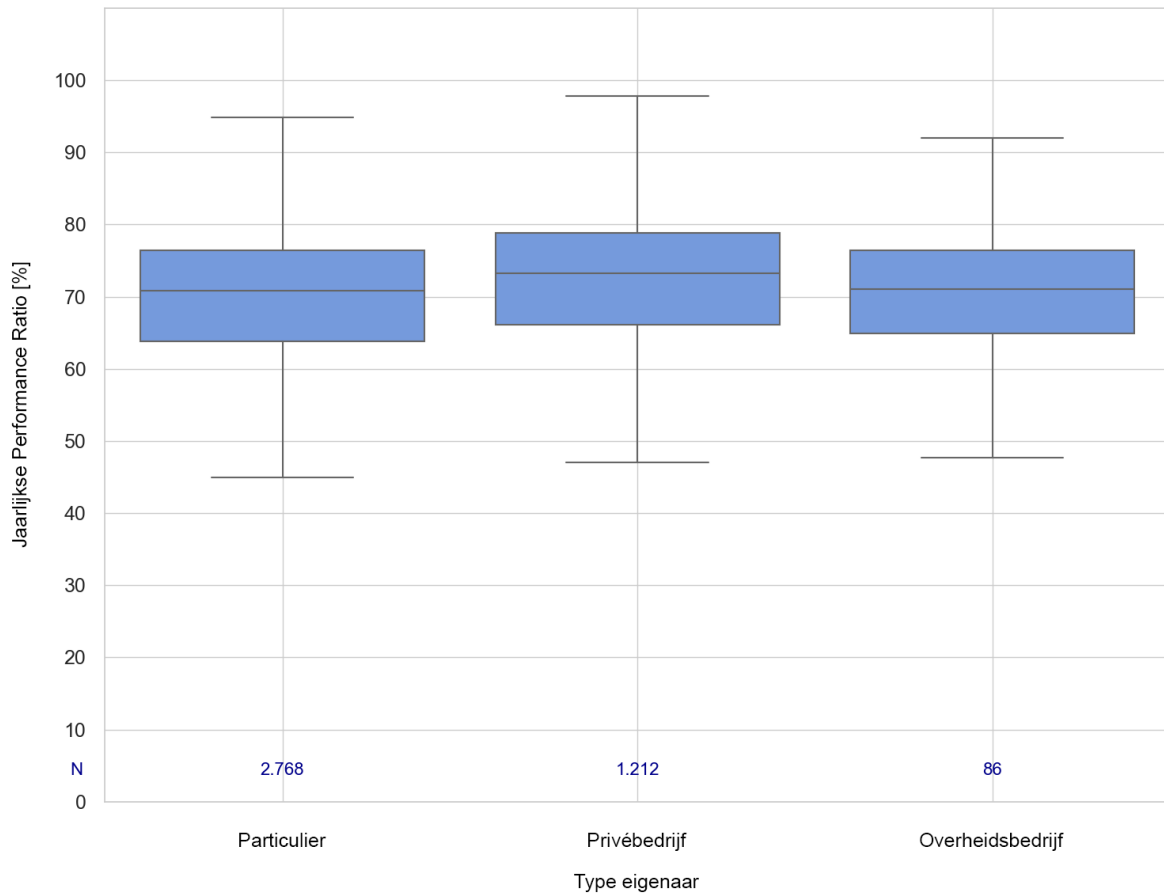


Figuur 7-19: PR in functie van de vermogenscategorieën

Figuur 7-19 geeft het verschil weer in jaarlijkse PR tussen installaties die behoren tot verschillende vermogenscategorieën. Voor elke vermogenscategorie toont de grafiek het aantal installaties in de voorgestelde steekproef (N). We zien een zwakke spreiding van de PR voor grotere installaties. Er bestaat een uitzondering voor installaties met een vermogen van meer dan 250 kW, maar dergelijke installaties zijn zeldzaam en deze spreiding is waarschijnlijk het gevolg van specifieke factoren die statistisch gezien niet representatief zijn. Dit is een vaststelling die aansluit op talrijke voorafgaande studies en die bepaalde, beperkte, schaafeffecten aantonen voor wat de prestaties van fotovoltaïsche installaties betreft. De PR-waarden liggen gemiddeld hoger bij grote installaties omwille van verschillende factoren. Deze installaties worden in het algemeen ontworpen, geplaatst en bediend door beter gekwalificeerd personeel, de selectie van de kwaliteit van het materiaal is dikwijls strenger, ze hebben in het algemeen minder te lijden onder beschaduwing en de productie wordt strikter opgevolgd. De verschillen in PR tussen de vermogenscategorieën blijven beperkt, wat zeer goed nieuws is voor de fotovoltaïsche productie van zonne-energie, die een grote modulariteit en beperkte schaafeffecten vertoont, en wat toelaat installaties van zeer verschillende afmetingen leefbaar te houden.

7.7.3 Performance Ratio in functie van het type eigenaar van de installatie

Jaarlijkse Performance Ratio in functie van het type eigenaar van de installatie

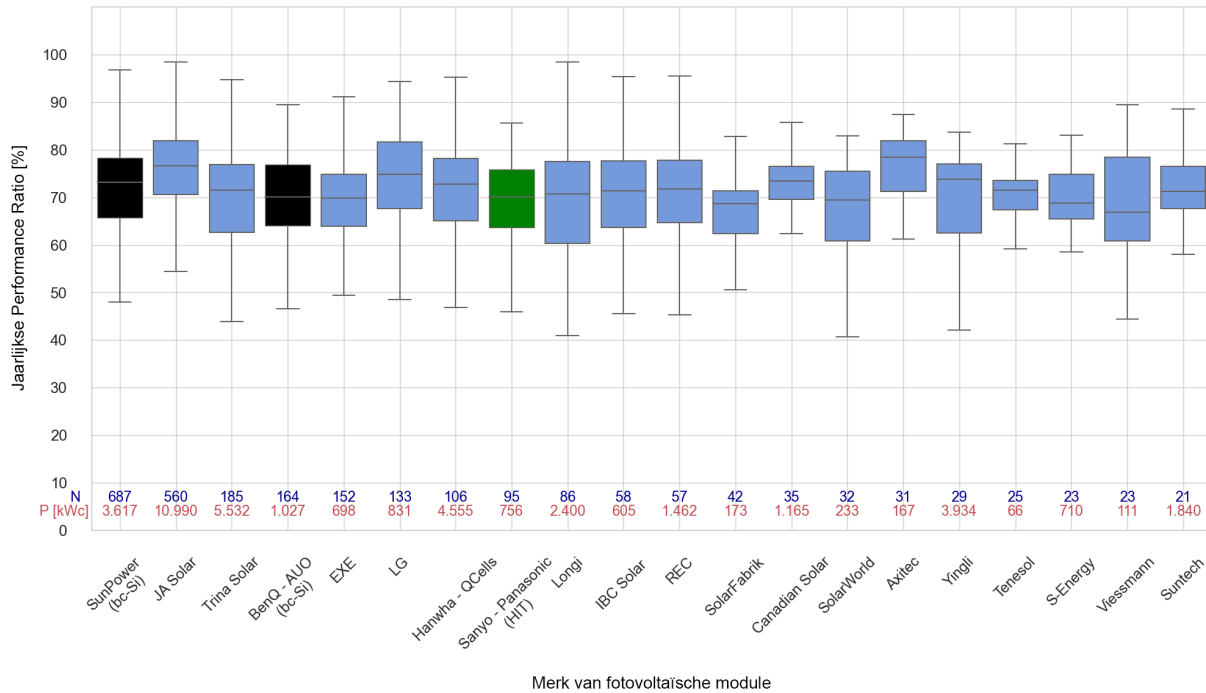


Figuur 7-20: PR in functie van het type eigenaar van de installatie

Figuur 7-20 geeft de vergelijking weer van de jaarlijkse PR in functie van het type eigenaar van de installatie. Voor elk type eigenaar toont de grafiek het aantal installaties in de voorgestelde steekproef (N). We stellen hierop vast dat de PR van installaties in het bezit van particulieren lichtjes lager liggen, wat waarschijnlijk een rechtstreeks gevolg is van de reeds gedane vaststelling met betrekking tot het verband tussen de PR en de grootte van de installaties. Particulieren hebben in het algemeen kleinere installaties dan privé- of overheidsbedrijven, wat zich uit in lichtjes lagere PR.

7.7.4 Performance Ratio in functie van de fotovoltaïsche zonnepanelen

Boxplot van de jaarlijkse Performance Ratio van de 20 meest geïnstalleerde merken van modules



Figuur 7-21: Jaarlijkse PR (2010-2020) in functie van de meest geïnstalleerde modules

Figuur 7-21 toont de jaarlijkse PR in functie van het merk van de fotovoltaïsche panelen die het meest worden gebruikt, rekening gehouden met de dataset van installaties waar deze analyse van PR is gemaakt, tijdens de periode 2010-2020. Voor elk merk toont de grafiek het aantal installaties met het merk van het paneel (N) en het totale geïnstalleerde vermogen in kWp (P[kWp]). In de analyses werd geprobeerd te bepalen of er statistisch belangrijke verbanden zijn tussen de PR van de installaties en het gebruikte type fotovoltaïsch paneel.

Deze figuur toont dat SunPower het merk van panelen is dat het meest is geïnstalleerd in de steekproef van installaties die werden gebruikt om de prestatieanalyses te maken; het gaat om 687 installaties op een totaal van 4.066 installaties die na filtering werden behouden om de prestaties te analyseren, i.e. circa 15% van de steekproef. Nochtans is dit merk van panelen niet het meest geïnstalleerde merk in kWp in de top 20 van meest geïnstalleerde merken. Dit record gaat immers naar het merk JA Solar, met bijna 11 MWp aan geïnstalleerd vermogen in de bewuste steekproef, i.e. bijna 30% van de steekproef.

Bij de interpretatie van de prestaties van een bepaald merk panelen moeten meerdere voorzorgen genomen worden, zeker omdat andere, verborgen parameters verantwoordelijk zouden kunnen zijn voor de goede of zwakke prestatie van de installatie die deze panelen gebruikt. Er zijn dus geavanceerde multivariabele analyses nodig om statistisch betekenisvolle resultaten te bekomen en deze analyses vallen buiten het kader van deze studie, zowel omwille van hun complexiteit als omwille van de beperkingen die de beschikbare invoergegevens stellen. Er kunnen echter wel enkele eenvoudige vaststellingen worden gedaan. De op basis van deze databank gedane vaststellingen komen zeer goed

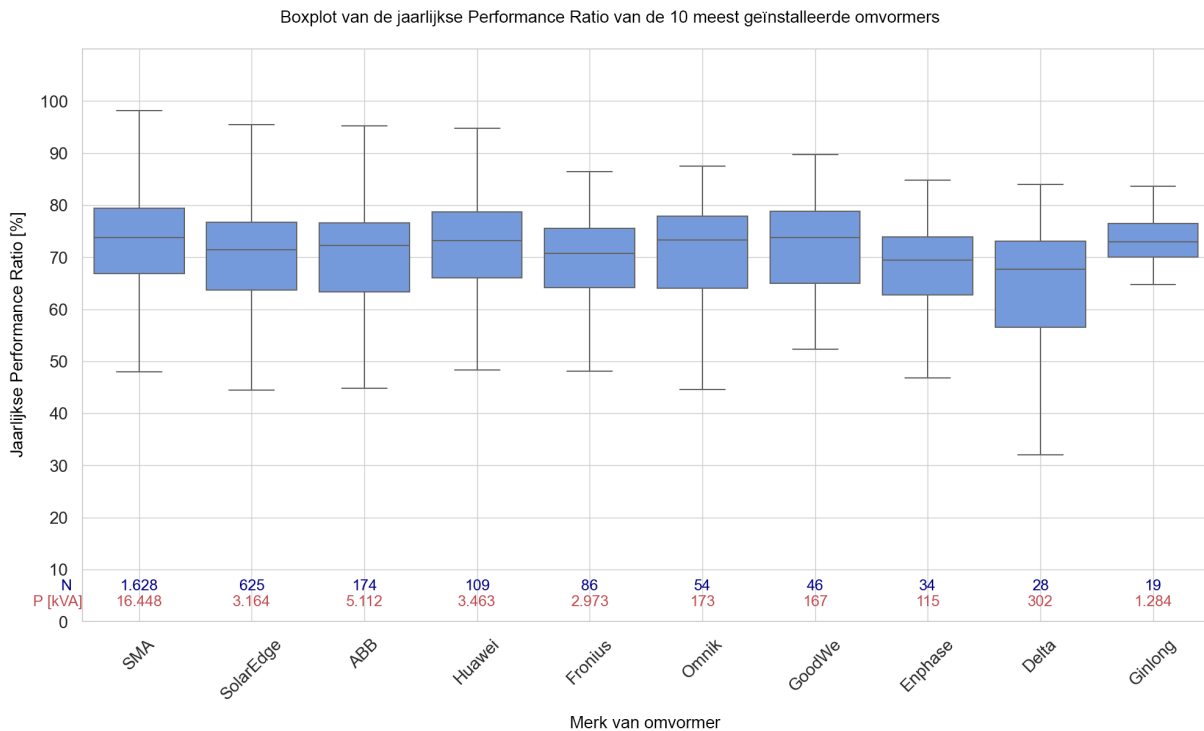
overeen met gelijkaardige vaststellingen op basis van andere databanken, onafhankelijk van BRUGEL, en elders, buiten het BHG.

Het grootste deel van de prestatieverschillen tussen installaties ligt niet aan het merk van de gebruikte panelen, maar aan andere factoren, aangezien in de meeste gevallen de spreiding van de PR-waarden binnen elke groep van hetzelfde merk panelen vrij groot is in vergelijking met het verschil in PR tussen verschillende groepen. Vooral de meeste merken zonnepanelen die de kristallijn silicium-technologie gebruiken en die meer dan 95 % van de markt in het BHG vertegenwoordigen, hebben relatief gelijklopende PR.

We stellen eveneens vast dat zonnepanelen die in het algemeen als "premium" beschouwd worden, relatief goede prestaties leveren, ook al verschillen ze statistisch gezien niet van de klassiekere modules van kristallijnsilicium. Dit is meer bepaald het geval voor de panelen SunPower of BenQ – AUO, die de technologie van backcontact gebruiken (back-contact – bcSi), of van Sanyo – Panasonic, dat gebruik maakte van de technologie Heterojunction Intrinsic Thin layer (HIT). Deze HIT-technologie wordt momenteel opgegeven op commercieel vlak wegens een gebrek aan concurrentievermogen wat betreft de kosten. Dit is het verwachte resultaat, daar de aantrekkingskracht van deze technologieën erin bestaat hogere rendementen of vermogens aan het oppervlak te produceren (in Wp/m²), niet om de specifieke productiviteit te verhogen (in kWh/kWp).

De vergelijking van de panelen toont aan dat er geen duidelijk verband is tussen de geografische oorsprong van een merk panelen en de prestaties ervan. Deze vaststelling sluit aan bij andere in Europa uitgevoerde studies die onder meer aantonen dat de panelen die zijn gefabriceerd door de grootste Chinese fabrikanten momenteel van zeer hoge kwaliteit zijn [17].

7.7.5 Performance Ratio in functie van de zonneomvormers



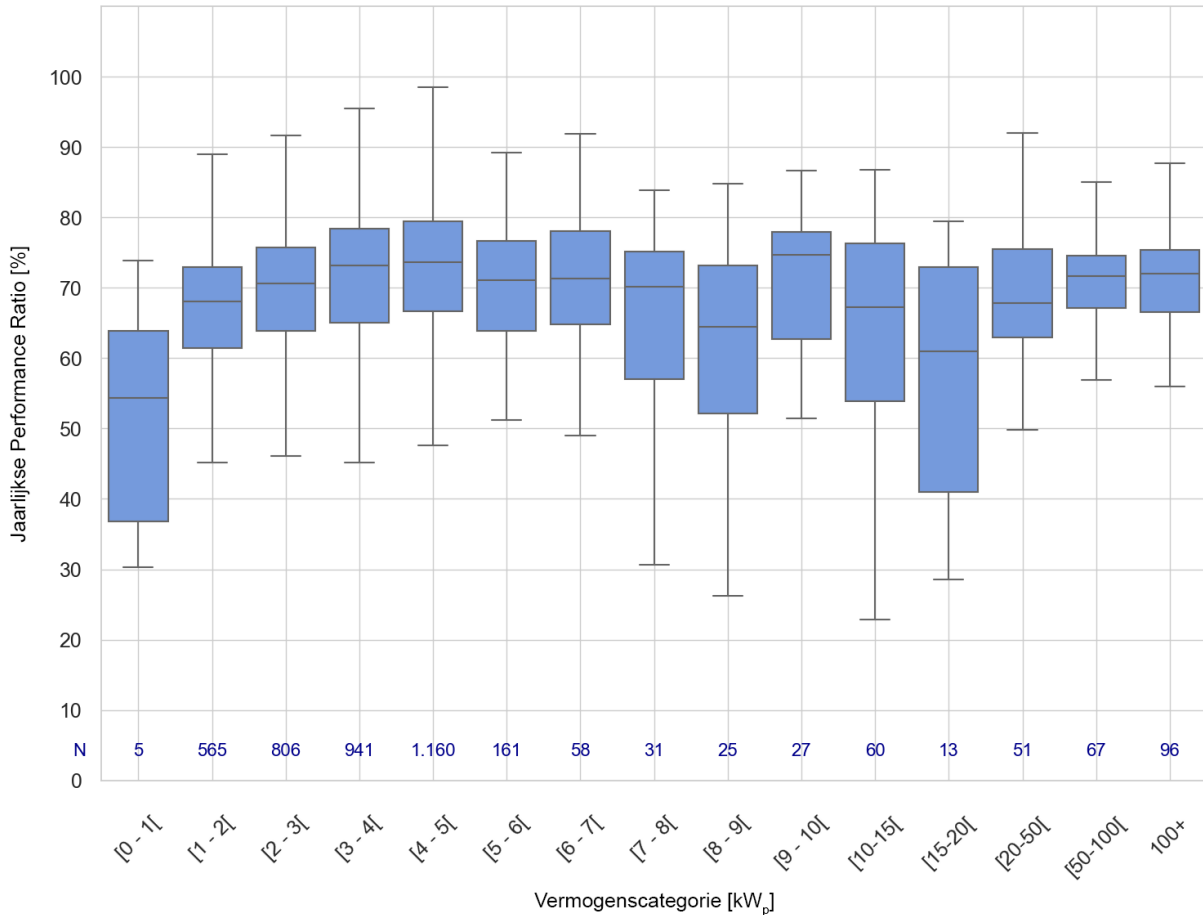
Figuur 7-22: Jaarlijkse PR (2010-2020) in functie van de meest geïnstalleerde omvormers

Figuur 7-22 toont de jaarlijkse PR in functie van het merk van de meest gebruikte zonneomvormers, rekening gehouden met de dataset van installaties waar deze analyse van PR is gemaakt, tijdens de periode 2010-2020. Voor elk merk toont de grafiek het aantal installaties met het merk van de omvormer (N) en het totale geïnstalleerde vermogen in kVA (P[kVA]). In de analyses werd geprobeerd te bepalen of er statistisch belangrijke verbanden zijn tussen de PR van de installaties en het gebruikte type zonneomvormer.

De eerste waarneming die kan worden gemaakt op basis van Figuur 7-22 is dat de variabiliteit van de mediane jaarlijkse Performance Ratio vrij laag is en schommelt tussen 65 en 75%. Bovendien zijn de zonneomvormers van het merk SMA het meest geïnstalleerd in de bestudeerde steekproef, met 1.628 installaties, i.e. 40% van deze steekproef. De zonneomvormer SMA is ook de meest geïnstalleerde op het vlak van kVA-vermogen, met bijna 16,5 MVA, of ca. 30% van de steekproef.

7.7.6 Performance Ratio in functie van het vermogen in kWp van geïnstalleerde panelen

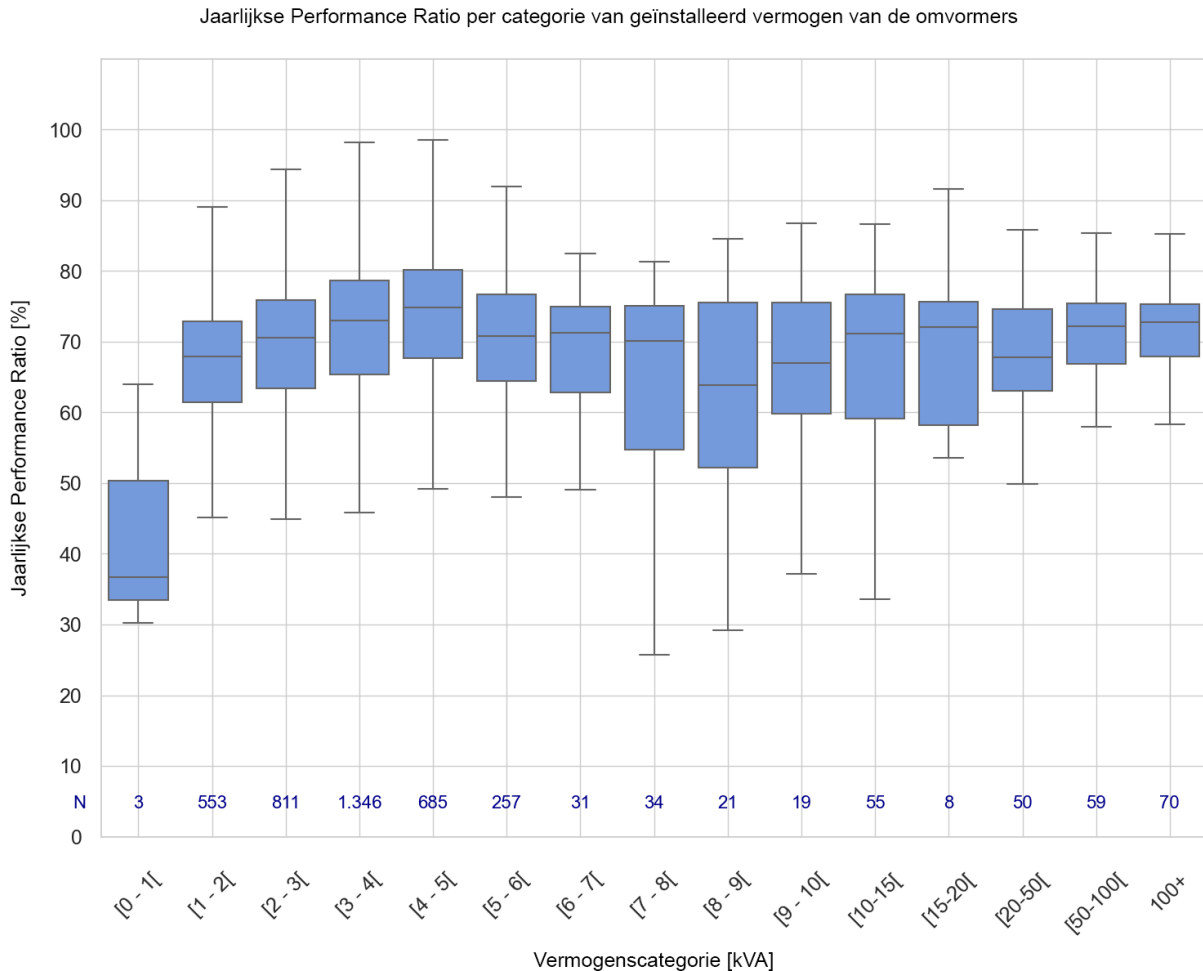
Jaarlijkse Performance Ratio per categorie van geïnstalleerd vermogen van de panelen



Figuur 7-23: Jaarlijkse Performance Ratio in functie van de categorie van geïnstalleerd vermogen van de panelen

De evolutie van de Performance Ratio in functie van het geïnstalleerde piekvermogen toont tendensen die aanwezig lijken te zijn maar niet gemakkelijk te verklaren zijn aan de hand van de gegevens die voor deze studie beschikbaar zijn. Globaal stellen we vast dat de PR de neiging vertonen lichtjes te stijgen naargelang de grootte van de installaties. We vinden de hoogste en meest eenvormige PR bij de grote installaties, inzonderheid installaties boven 20 kW_p. De zeer lage resultaten die worden waargenomen bij de installaties met een piekvermogen lager dan 1 kW_p, zijn statistisch gezien niet significant daar het om niet meer dan 5 installaties gaat. Ook de waargenomen tendensen bij installaties met een piekvermogen tussen 7 en 20 kW_p hebben waarschijnlijk geen statistische significantie, daar installaties van deze tussengrootte vrij zeldzaam zijn in Brussel, om technische en administratieve redenen die richtinggevend waren voor de keuze van de grootte en de dimensionering van de installaties.

7.7.7 Performance Ratio in functie van het vermogen in kVA van geïnstalleerde omvormers

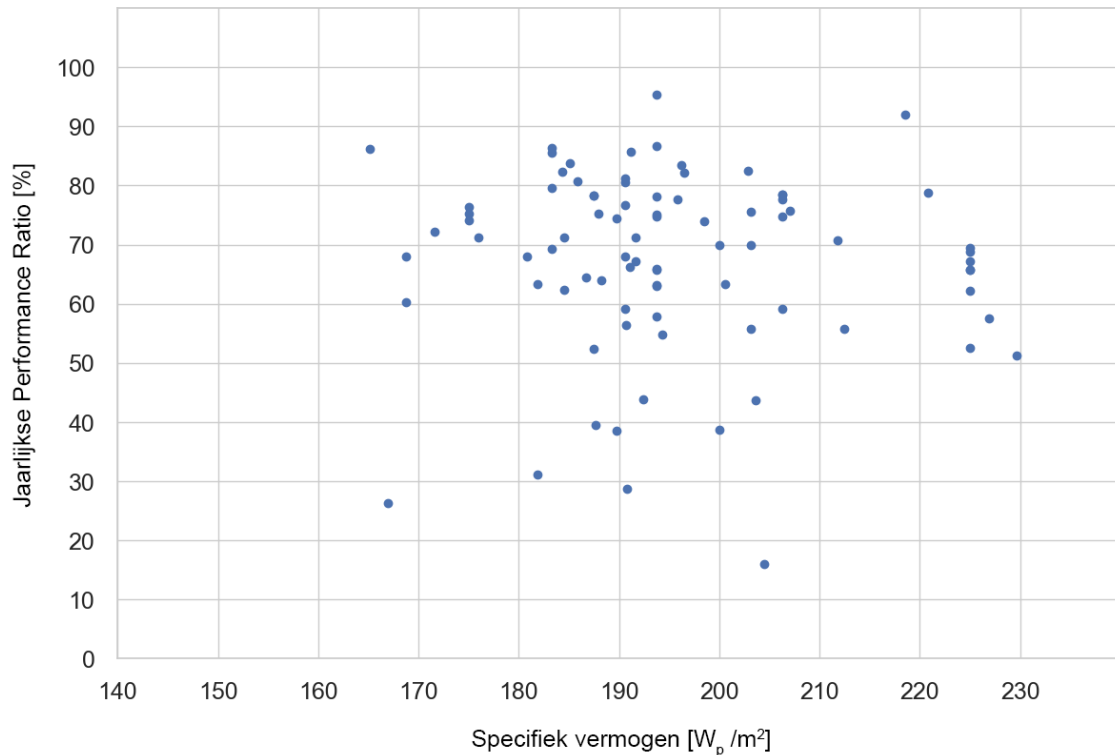


Figuur 7-24: Jaarlijkse Performance Ratio in functie van de categorie van geïnstalleerd vermogen van de omvormers

De evolutie van de Performance Ratio in functie van het nominaal vermogen van de omvormers toont tendensen die vergelijkbaar zijn met de waargenomen tendensen voor het piekvermogen van de zonnepanelen. De zeer lage resultaten die worden waargenomen bij de omvormers met een nominaal vermogen lager dan 1 kVA, zijn statistisch gezien niet significant daar het om niet meer dan 3 installaties gaat.

7.7.8 Performance Ratio in functie van het vermogen en de specifieke kostprijs van de installatie

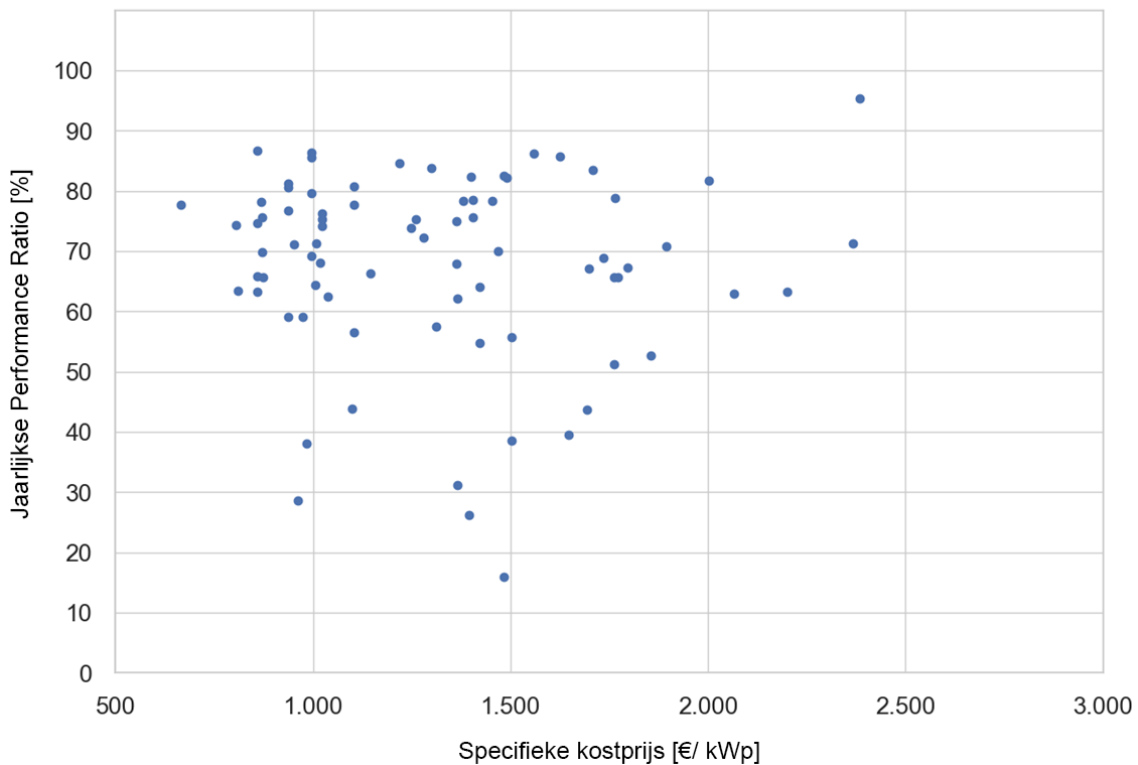
Jaarlijkse Performance Ratio in functie van het specifiek vermogen van de fotovoltaïsche panelen
Jaar van indienstname: 2019 - Vermogenscategorie: [5-36] kW_p



Figuur 7-25: Jaarlijkse PR (2010-2020) in functie van het specifiek vermogen van de fotovoltaïsche panelen

Figuur 7-25 geeft het verband weer tussen het specifiek vermogen van de fotovoltaïsche panelen en de Performance Ratio van de installaties waar ze deel van uitmaken. Er wordt geen significant verband vastgesteld. Het is een coherent resultaat, dat bevestigt dat de begrippen specifiek vermogen en Performance Ratio relatief los van elkaar staan. Het specifiek vermogen geeft het vermogen weer dat een paneel kan leveren per oppervlakte-eenheid, terwijl de Performance Ratio de hoeveelheid energie weergeeft die per eenheid piekvermogen van de installatie en ontvangen zinstraling wordt geproduceerd.

Jaarlijkse Performance Ratio in functie van de specifieke kosten
Jaar van indiening: 2019 – Vermogenscategorie: [5-36] kWp

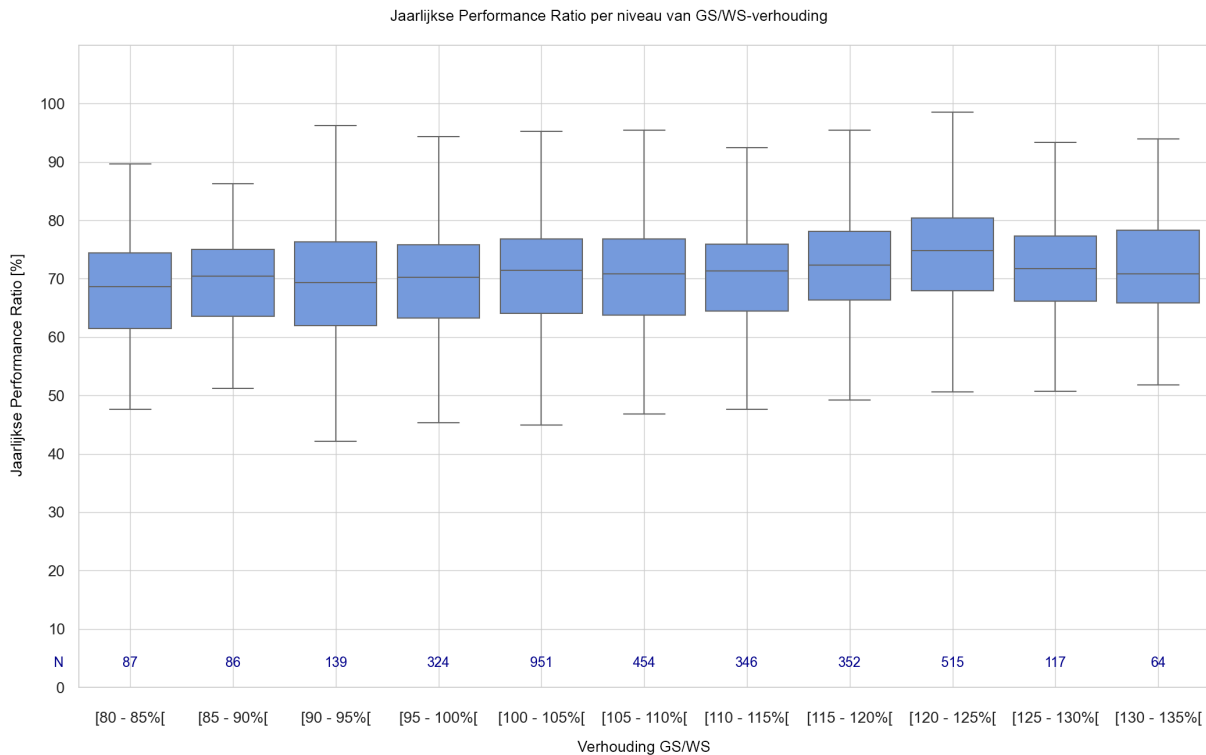


Figuur 7-26: Jaarlijkse PR (2010-2020) in functie van de specifieke kostprijs van de installatie

Om geldige vergelijkingen te kunnen maken, werden de analyses beperkt tot installaties die in dienst genomen werden in 2019 en een piekvermogen hebben tussen 5 kWp en 36 kWp.

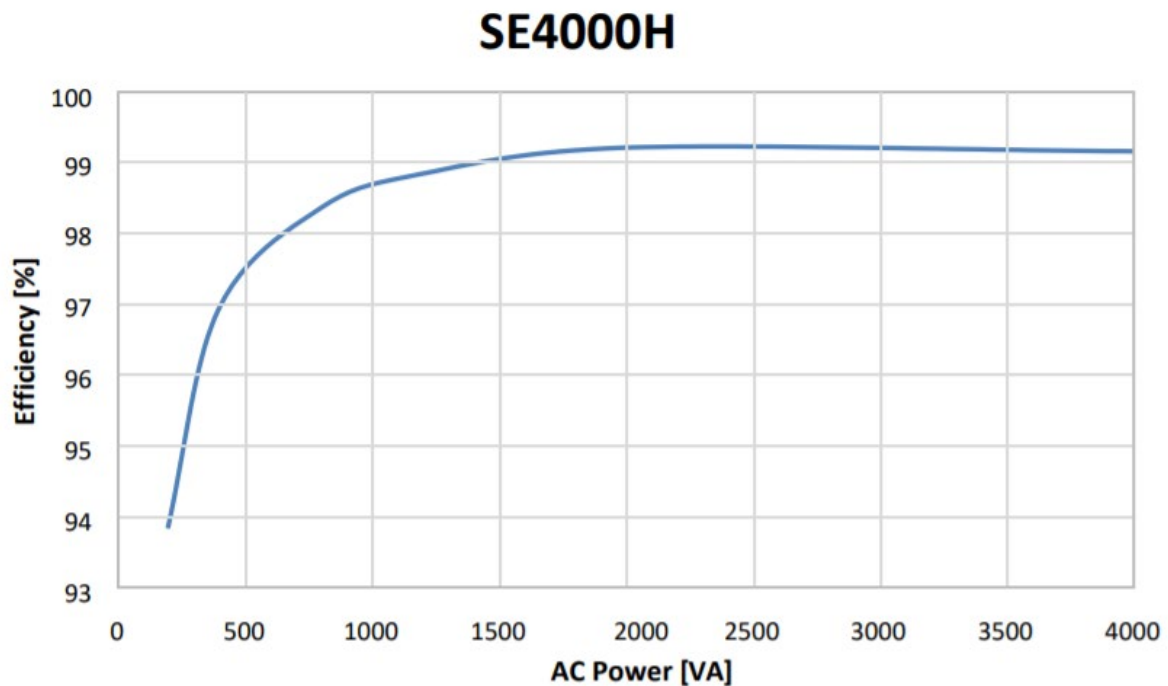
Figuur 7-26 geeft het verband weer tussen de Performance Ratio van een fotovoltaïsche installatie en de kostprijs ervan. Zoals hierboven reeds besproken, is de prijs van de installaties in de loop van de voorbije tien jaar sterk gedaald en daalt de prijs ook aanzienlijk afhankelijk van de grootte van de installaties. Om geldige vergelijkingen te kunnen maken, werden de analyses beperkt tot installaties die in dienst genomen werden in 2019 en een piekvermogen hebben tussen 5 kWp en 36 kWp. Deze vergelijkingen tonen aan dat het verband tussen de kostprijs van een installatie en de energieprestatie ervan in het algemeen heel zwak is. We stellen echter een licht positief verband vast tussen kostprijs en prestatie, wat doet vermoeden dat er een zekere rechtvaardiging is voor de prijsverschillen op de markt. Toch toont het algemene zwakke verband aan dat het nog zeer moeilijk is de prijszettingsmechanismen op de huidige markt te begrijpen. Terwijl de prijs-kwaliteitsverhouding niet de voornaamste factor lijkt te zijn die deze prijzen bepaalt, zijn er belangrijker parameters die deze zouden kunnen verklaren. Bijvoorbeeld de moeilijkheidsgraad om fotovoltaïsche installaties te plaatsen in de Brusselse stedelijke context.

7.7.9 Performance Ratio in functie van de dimensionering van de omvormer



Figuur 7-27: Jaarlijkse Performance Ratio in functie van de dimensionering van de omvormer tijdens het laatste decennium

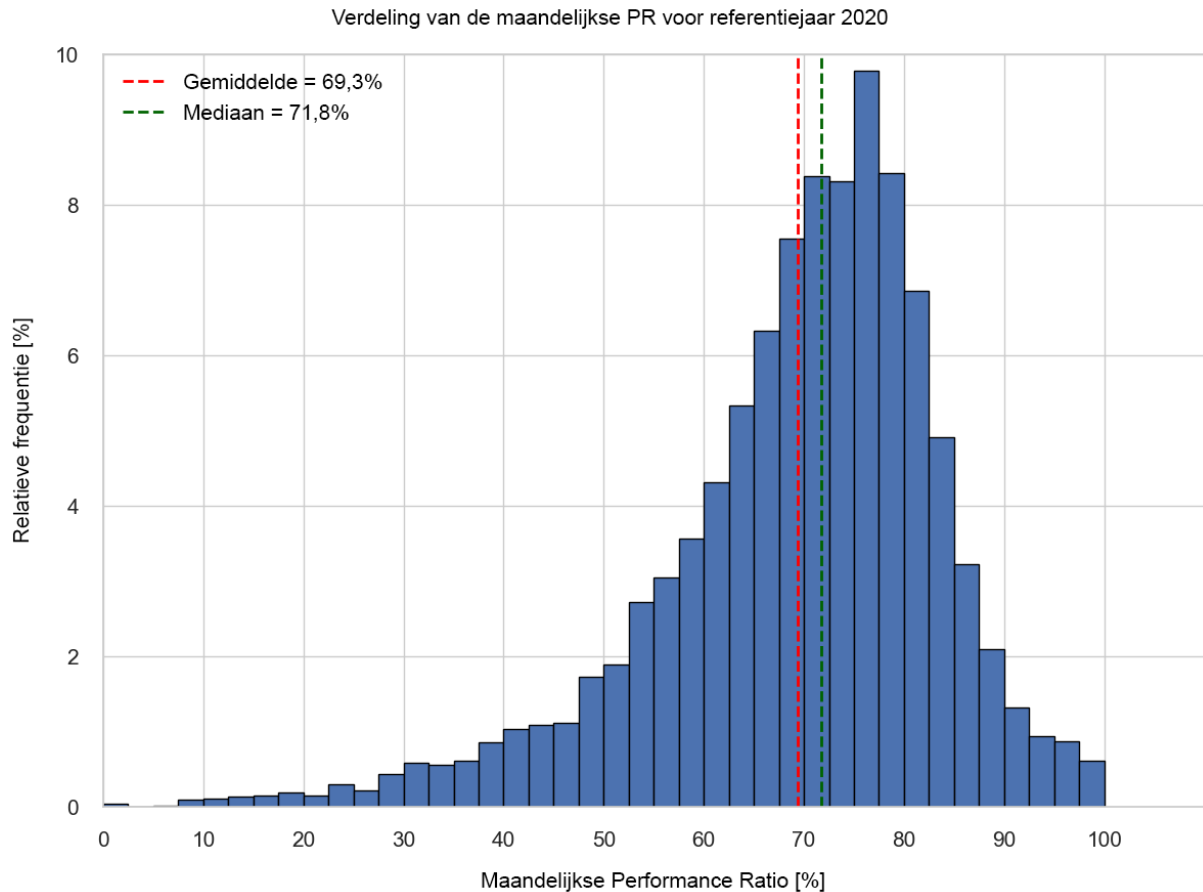
Figuur 7-27 toont de jaarlijkse Performance Ratio in functie van de vermogensratio GS/WS, i.e. de dimensionering van de omvormer. Voor elk bereik van GS/WS-ratio toont de grafiek het aantal installaties dat is opgenomen in de weergegeven steekproef (N). Deze STC-vermogensratio's van de panelen en van het maximaal WS-vermogen in wisselstroom van de omvormer werden samengebracht per bereik van 5%. De eerste belangrijke waarneming betreft de waarde van de verschillende medianen voor elk van de categorieën GS/WS-ratio. Zoals te zien is in Figuur 7-27 zijn de medianen van elke steekproef sterk gelijklopend. Dit doet veronderstellen dat de GS/WS-ratio slechts een beperkte invloed heeft op de prestaties van een installatie. Bovendien zijn er grote mogelijkheden voor configuratie van de omvormers die alle vrij goede prestaties leveren, waardoor er een zekere vrijheid is wat betreft de FV-installaties. De tweede waarneming betreft de prestatiepiek bij een dimensionering van de omvormer tussen 120 en 125%. Uit deze figuur blijkt dus dat de omvormer gewoonlijk optimaal werkt wanneer hij lichtjes is ondergedimensioneerd (i.e. wanneer de installatie lichtjes is overgedimensioneerd (GS/WS-ratio hoger dan 100%)). Wanneer de omvormer sterk is overgedimensioneerd, voor dimensioneringswaarden van 30% of minder, functioneert hij met een beperkte doeltreffendheid. Hoe dichter de dimensioneringsfactor in de buurt komt van 120%, hoe beter de omvormer werkt. Daar de zonnepanelen slechts zeer weinig hun nominaal vermogen leveren, maakt de onderdimensionering van de omvormer het mogelijk om vaker te werken op een werkingpunt met hoog rendement van de curve van de omvormer. Dit maximum wordt uitgelegd met behulp van Figuur 7-28.



Figuur 7-28: Rendementscurve van een omvormer SolarEdge met een nominaal vermogen van 4 kVA

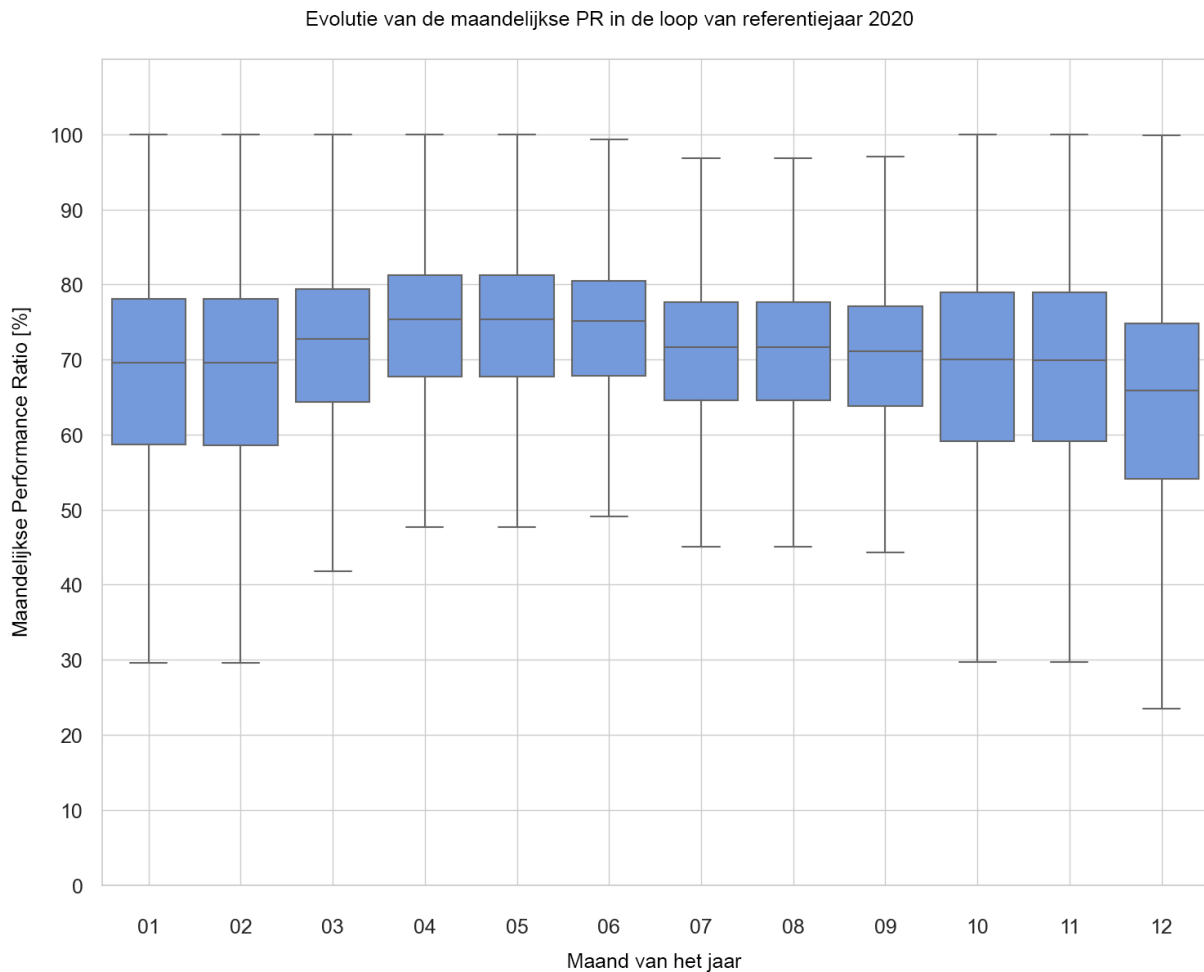
Figuur 7-28 toont de evolutie van de doeltreffendheid van de zonneomvormer in functie van de belasting, i.e. de GS/WVS-ratio, in het geval van de rendementscurve van een omvormer SolarEdge van 4 kVA, i.e. een merk en een vermogen van omvormer die vaak voorkomen in Brussel. Het rendement van de omvormer is niet constant, ongeacht zijn belastingsfactor. Het is maximaal wanneer de staat van belasting ca. 50% van de nominale belasting bedraagt, en het is vrij gunstig voor alle belastingsstaten tussen 30% en 100% van de nominale belasting. Bijgevolg moet een goede dimensionering van een fotovoltaïsche installatie vermijden dat het systeem al te vaak werkt onder een belastingsstaat van 30% (laag rendement) of boven een belastingsstaat van 100% (piekvereffening door verzadiging). Daar fotovoltaïsche panelen in België zeer zelden werken bij een nominaal vermogen, alsook in functie van andere belangrijke parameters zoals de oriëntatie van de installatie, liggen de optimale dimensioneringsratio's gewoonlijk rond een P_{dc}/P_{ac} -factor = 120%, met grote bewegingsruimte rond deze optimale waarde, wat lijkt overeen te stemmen met de observaties op basis van de geanalyseerde gegevens.

7.7.10 Maandelijke Performance Ratio



Figuur 7-29: Verdeling van de maandelijkse PR voor referentiejaar 2020

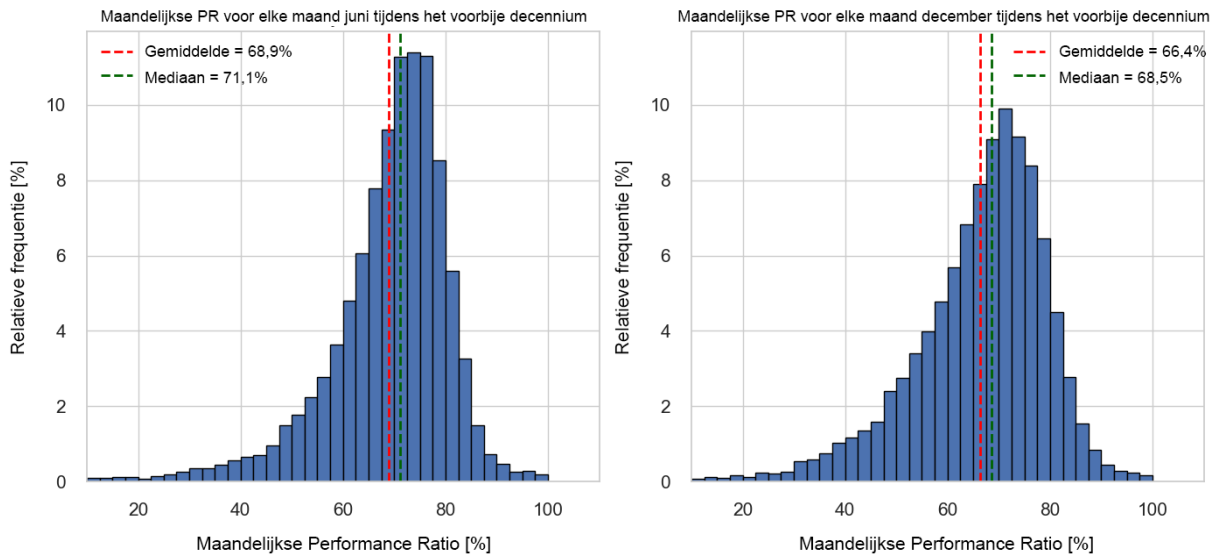
Figuur 7-29 toont de verdeling van de maandelijkse PR voor referentiejaar 2020. We stellen hierop vast dat de spreiding van de PR-waarden groter is dan voor de jaarlijkse PR. Er zijn meerdere elementen om dit te verklaren. Ten eerste is de intermaandelijks variabiliteit groter dan de interjaarlijkse variabiliteit, omdat werkingsomstandigheden (instraling, temperatuur, schaduw etc.) sterk kunnen verschillen naargelang de maand van het jaar. Daarnaast kunnen werkingsproblemen en defecten meerdere maanden een invloed hebben op de fotovoltaïsche panelen alvorens ze opgelost geraken. Deze sterke spreiding van de PR wijst erop dat vele installaties sterk onderpresteren gedurende ten minste een deel van het jaar.



Figuur 7-30: Evolutie van de maandelijkse PR in de loop van referentiejaar 2020

Figuur 7-30 geeft de evolutie weer van de maandelijkse PR in de loop van referentiejaar 2020. We stellen hierop vast dat de PR lichtjes hoger ligt in de lente en de zomer dan in de herfst en de winter. De PR is dus hoger als de zon hoger aan de hemel staat, wat doet vermoeden dat vele installaties te lijden hebben onder veel beschaduwing. Deze variabiliteit van de PR kan ook verklaard worden door andere factoren, onder meer door een zwakke prestatie van de installaties onder omstandigheden van zwakke instraling. Deze situatie doet zich vaak voor als de omvormers overgedimensioneerd zijn, wat in Brussel het geval lijkt te zijn voor vele installaties van het geïnstalleerde park, ook al evolueren de dimensioneringsverhoudingen de laatste jaren in de richting van optimalere waarden, zoals hiervoor reeds werd besproken. Deze evolutie van de maandelijkse PR, met hogere waarden in de zomer dan in de winter, is kenmerkend voor fotovoltaïsche installaties in een dichtbebouwd stedelijk milieu. Bij grote zonnecentrales is dikwijls de omgekeerde tendens waar te nemen in de loop van het jaar, met zomerse PR-waarden die lichtjes lager zijn dan de winterwaarden, omwille van de thermische verliezen van de fotovoltaïsche panelen.

Histogram van de PR voor elke maand juni en elke maand december tussen 2010 en 2020



Figuur 7-31: Maandelijkse Performance Ratio voor de maanden juni (links) tot december (rechts), gegroepeerd voor het laatste decennium

Figuur 7-31 toont de verdeling van de maandelijkse Performance Ratio voor de maanden juni van het laatste decennium, gegroepeerd in de figuur links, en voor de maanden december in de figuur rechts. Deze twee maanden werden gekozen omdat ze de weergave zijn van gemiddeld twee uiterste voorwaarden inzake invallende zoninstraling maar ook wat betreft de hoogte van de zon. Beide factoren kunnen aanleiding geven tot meer warmteverliezen voor de installaties en/of meer gevallen van installaties met beschaduwning tijdens momenten van de dag waarop de zon het minst hoog staat. Om te beginnen worden er betere prestaties vastgesteld tijdens de maanden juni, met een mediaan van 71,1%, vergeleken met 68,5% tijdens de maanden december. De spreiding van de installaties is groter tijdens de maand december in vergelijking met de maand juni. Deze spreiding betekent dat er nog steeds een groot aantal installaties is dat presteert tijdens het gebruikelijke venster van Performance Ratio, maar dat een groter deel van de installaties onderpresteert tijdens de maand december. Daardoor is de spreiding van de verdeling van de PR groter in de maand december. Dit bevestigt wat er te zien is in de illustratie van Figuur 7-30, met een schommeling van de PR tijdens het jaar, daar de FV-installaties tijdens het winterseizoen vooral de impact ondergaan van de thermische omgeving en de aanwezigheid van schaduw effecten.

8 Gemeentelijke analyse van het fotovoltaïsche park

Het doel van dit deel is de gegevens van het fotovoltaïsche park in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest op gemeentelijk niveau voor te stellen (situatie eind 2020). Het geeft het detail van de informatie die in de andere delen van dit verslag wordt gepresenteerd op gemeentelijk niveau, en meer bepaald de gemeentelijke trends op het vlak van het aantal installaties, het geïnstalleerd vermogen en het installatiepotentieel.

De gemeentelijke verdeling van de installaties in aantal en vermogen is beschikbaar op de website van BRUGEL onder de vorm van een interactieve tabel met de voornaamste analyse-elementen.

8.1 Samenvatting van de markante feiten

De resultaten lopen sterk uiteen naargelang de geselecteerde indicator.

Eind 2020 zijn Brussel-Stad, Laken, Haren en NOH, m.a.w. de gemeente Brussel, goed voor 31,3% van het volledige in de 19 gemeentes geïnstalleerde vermogen. Anderlecht blijkt echter de gemeente te zijn met het grootste geïnstalleerd vermogen (kWp), in 2020, voor Brussel-Stad en Vorst.

Sint-Pieters-Woluwe heeft het hoogste aantal installaties per 1.000 inwoners van de 19 gemeenten (17 installaties/1.000 inwoners).

Voor wat vermogen per inwoner betreft, doet Vorst beter dan Brussel-Stad, met 370 Wp/1.000 inwoners.

Tot slot wordt momenteel 6,2% van het Brusselse zonnepotentieel geëxploiteerd. Ter vergelijking: dit is de oppervlakte van 164 voetbalvelden.

8.2 Voorgestelde indicatoren

Om een beter vergelijkingspunt te krijgen van gemeente tot gemeente, werd het aantal installaties en het geïnstalleerd vermogen gedeeld door het totale aantal inwoners [19]. De eenheden van de resulterende indicatoren zijn dus het aantal installaties/1.000 inwoners en het geïnstalleerd vermogen/1.000 inwoners. In dit hoofdstuk wordt eveneens een cartografie van de dichtheid van het gemeentelijk vermogen (Wp/km²) voorgesteld.

8.3 Geanalyseerde steekproef

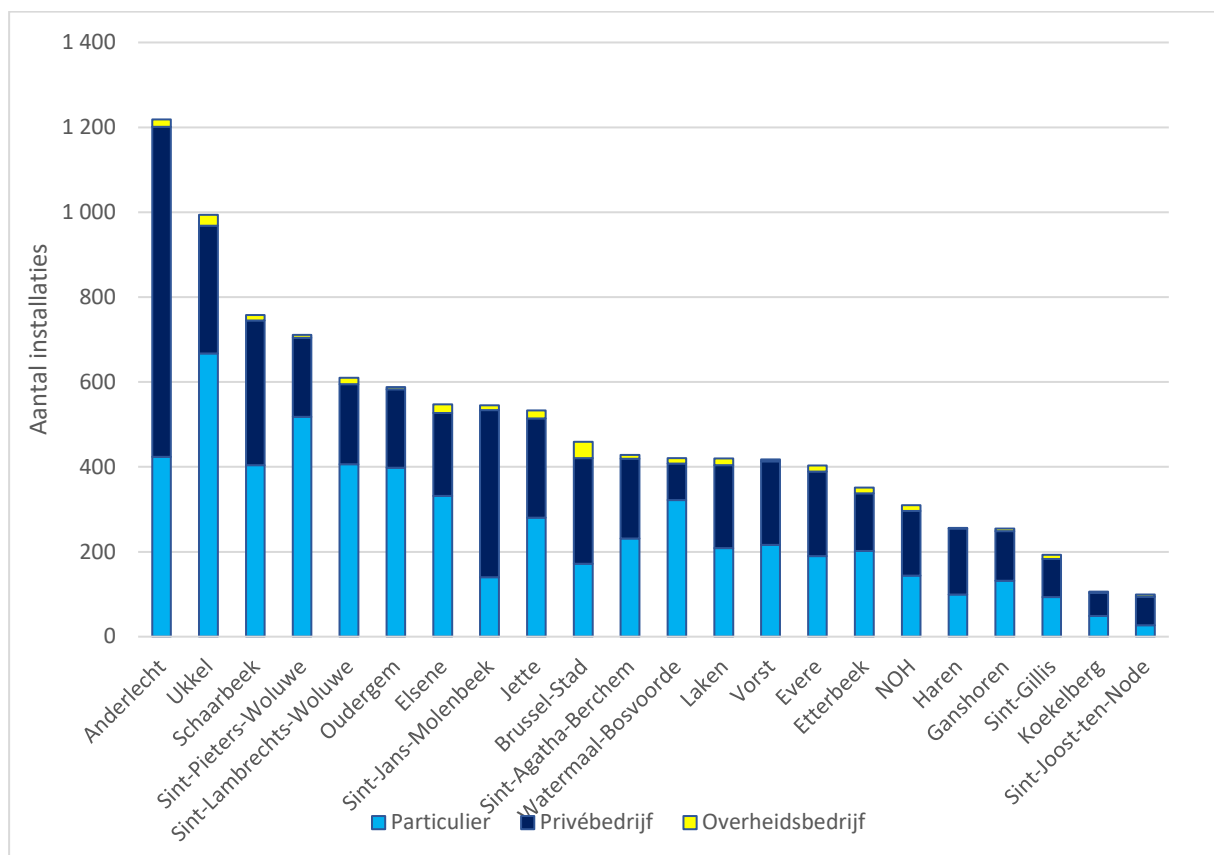
Op de hierna voorgestelde gegevens werd een bijzondere filter toegepast: de Europese postcodes werden opgenomen in de gemeente Etterbeek (1040). De postkantons Haren (1130), Neder-Over-Heembeek (1120) en Laken (1020) werden afzonderlijk van de gemeente Brussel-Stad (1000) geanalyseerd wanneer er voldoende gegevens beschikbaar waren, i.e. onder andere wanneer ze geen enkele populatie-indicator vereisten. (Het gaat om de figuren 9-1, 9-3, 9-4, 9-5). In de andere grafieken werden deze postkantons opgenomen bij Brussel-Stad.

8.4 Resultaten

8.4.1 Aantal installaties per gemeente

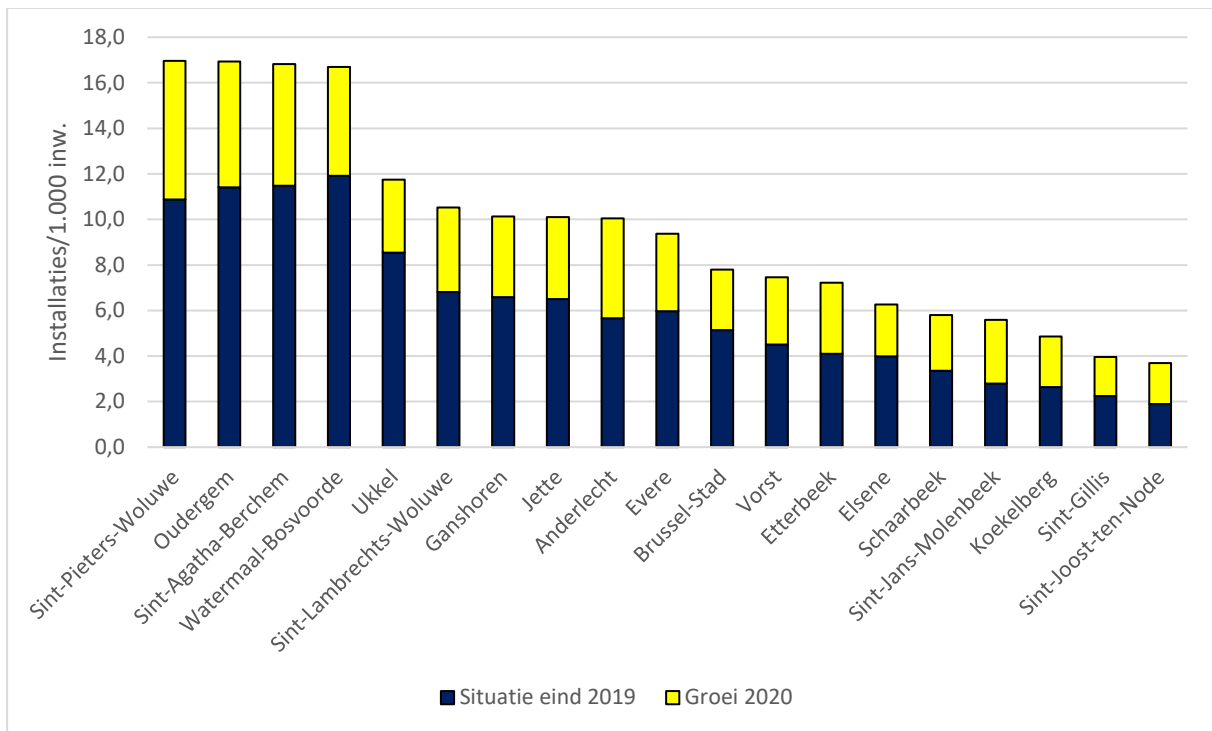
Het aantal ingeplante installaties verschilt sterk van de ene gemeente tot de andere, ongeacht het type eigenaar. Hoewel Brussel-Stad het grootste aantal FV-installaties telt, hebben de gemeenten met de grootste bevolking niet noodzakelijk het grootste aantal installaties.

Eind 2020 zijn Schaarbeek (1030), Ukkel (1180) en Anderlecht (1070) de drie koplopers voor wat het aantal in de gemeente geplaatste installaties betreft. In vergelijking met de voorgaande jaren ging de eerste plaats naar Anderlecht, waar het aantal commerciële en industriële installaties groot is. Tot slot zou de grote aanwezigheid van derde-investeerdersonoplossingen in de gemeente ook een verklaring kunnen bieden voor de ontwikkeling van het FV-park in de gemeente.



Figuur 8-1: Gemeentelijke verdeling van het aantal installaties per type eigenaar, eind 2020, in het BHG

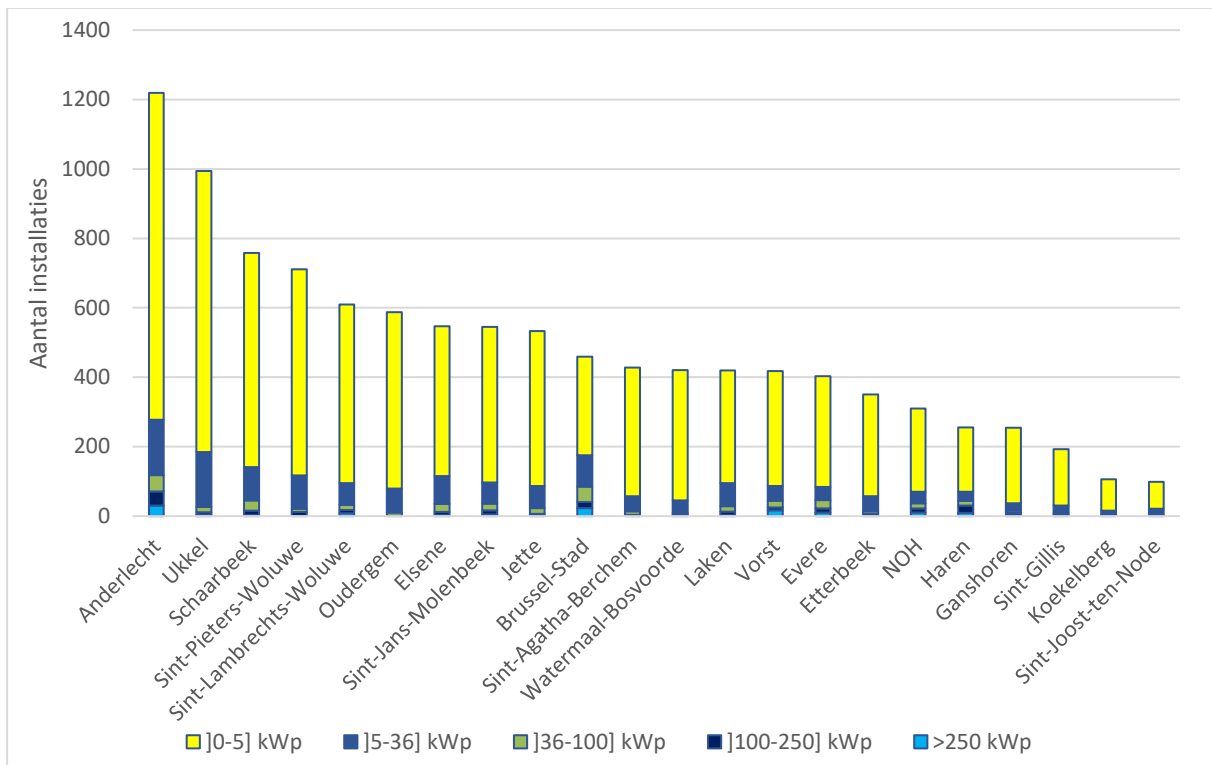
Figuur 8-1 geeft eveneens weer, zoals uiteengezet in hoofdstuk 4, dat het aantal particulieren dat eigenaar is van installaties hoger blijft dan het aantal privébedrijven (o.a. derde-investeerderson) en overheidsbedrijven. In de komende jaren zal de analyse van deze tendens interessant worden.



Figuur 8-2: Aantal installaties van het FV-park eind 2020 in het BHG per 1000 inwoners, per gemeente

Zoals Figuur 8-2 toont, kan men de ontwikkeling van het FV-park in een lokale context situeren door specifieke gegevens over de fotovoltaïsche installaties, zoals het aantal installaties, te vergelijken met de bevolkingsgegevens van de gemeenten. Het aantal installaties per 1.000 inwoners schommelt tussen 17 (Sint-Pieters-Woluwe, een groei van 6,1 tegenover 2019) en 3,7 (Sint-Joost-ten-Node, een groei van 1,9 sinds 2019). De gegevens betreffende vermogen/km² worden verderop weergegeven in de cartografie.

Opvallend is de mooie progressie voor de gemeente Anderlecht tegenover 2019, die de gemeente Evere voorbijsteekt wat betreft het aantal installaties per 1.000 inwoners en zich op het niveau hijst van de gemeentes Jette en Ganshoren. We vestigen ook de aandacht op de progressie van de gemeente Sint-Pieters-Woluwe, die opklimt van de 4de gemeente met het grootste aantal installaties per 1.000 inwoners tot de eerste in de rangschikking, met 17 installaties per 1.000 inwoners. De andere gemeenten behouden hun plaats in de rangschikking tussen 2019 en 2020.



Figuur 8-3: Aantal installaties per vermogenscategorie en per gemeente, eind 2020, in het BHG

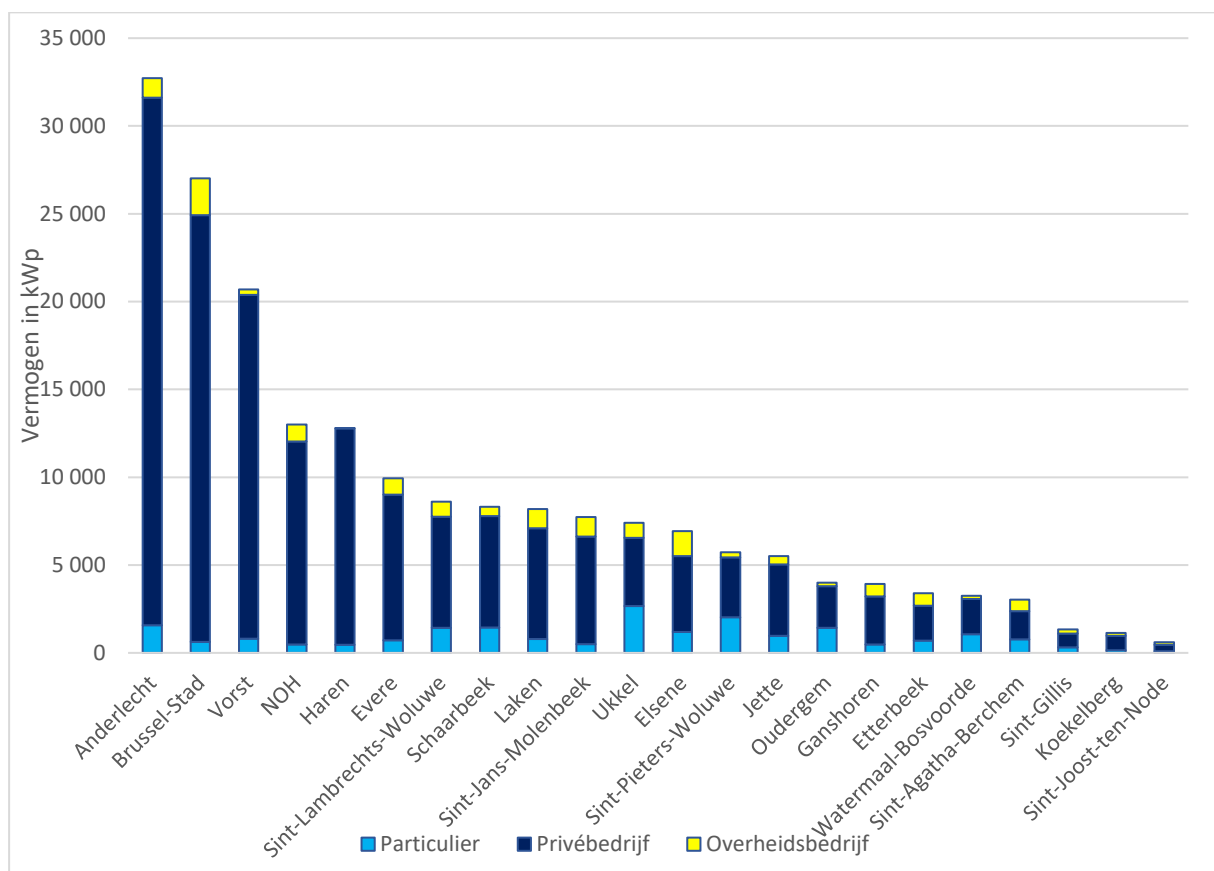
Figuur 8-3 geeft de indeling per vermogenscategorie en per gemeente weer. Er is duidelijk een overwicht van het aantal residentiële installaties]0-5] kWp. De gemeente Anderlecht bevestigt de tendens die wordt waargenomen in de grafiek met het aantal installaties per 1.000 inwoners per gemeente en versterkt haar eerste plaats als gemeente met het hoogste aantal installaties.

8.4.2 Geïnstalleerd vermogen

Figuur 8-4 geeft de spreiding weer van het geïnstalleerde vermogen van het FV-park, uitgedrukt in kWp per type van eigenaar op gemeentelijk niveau.

In termen van vermogen zijn in veel gemeenten de privébedrijven in de meerderheid, terwijl ze in termen van aantal installaties vaak een minderheid vertegenwoordigen. Dit is te verklaren door de omvang van de installaties die geplaatst werden. De gemeenten Vorst, Anderlecht en Brussel-Stad hebben enkele zeer grote installaties op hun grondgebied, dankzij hun industriezones, waardoor ze zich kunnen onderscheiden.

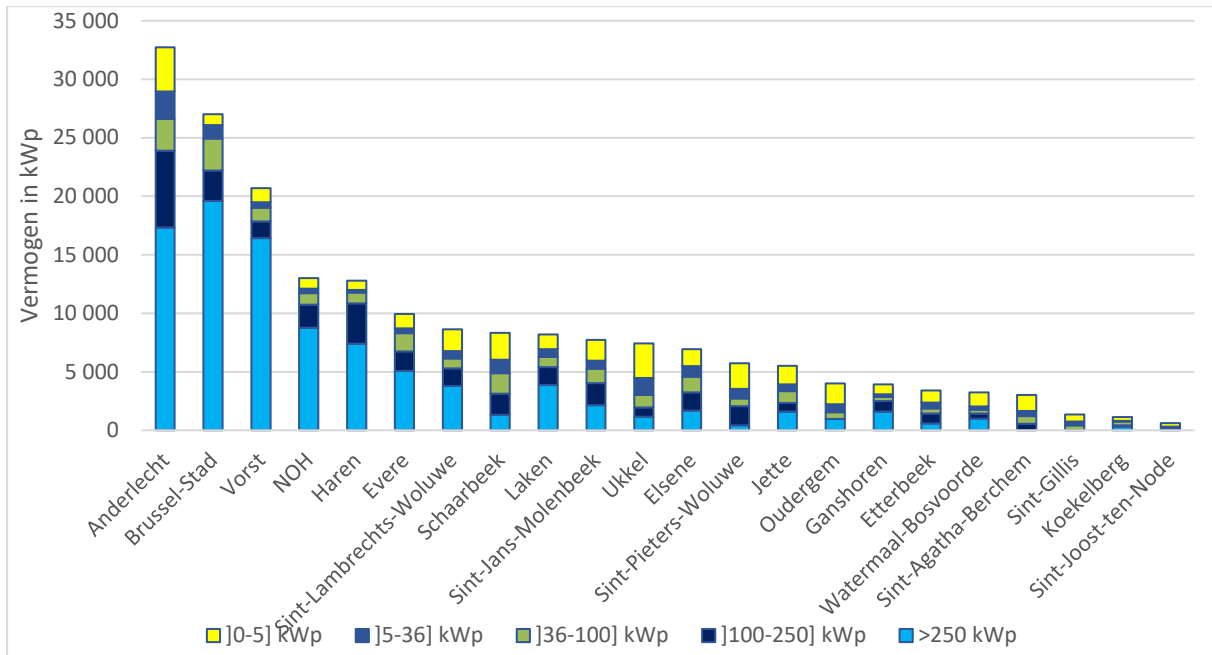
Binnen de overheidssector kon een deel van het potentieel van de overheidsgebouwen geëxploiteerd worden dankzij het programma SolarClick van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, opgestart in 2017. De impact ervan was reeds merkbaar op de situatie in 2019 en dat blijft zo in 2020.



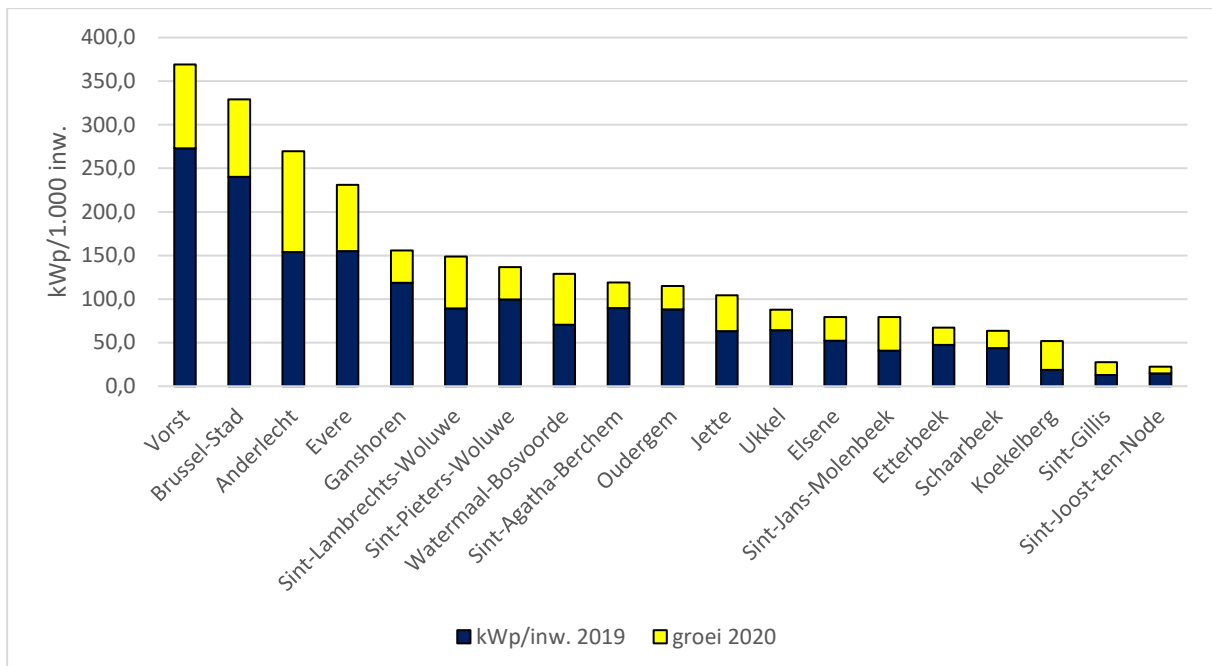
Figuur 8-4: Geïnstalleerd vermogen in het BHG per gemeente en per type eigenaar, 2020

Figuur 8-5, die ditzelfde gemeentelijk vermogen overneemt maar opgesplitst in vermogensklassen, toont ons dat de gemeenten in de Brusselse rand, met veel dakruimte, met name in de industriegebieden, goed vertegenwoordigd zijn (Brussel-Stad, Anderlecht, Vorst) en dat de meeste grote installaties (> 250 kWp) daar geconcentreerd zijn.

Eind 2020 concentreren Brussel-Stad, Laken, NOH en Haren 31,3% van het geïnstalleerd vermogen in het BHG.



Figuur 8-5: Totaal in 2020 geïnstalleerd vermogen per gemeente, opgesplitst in vermogensklassen

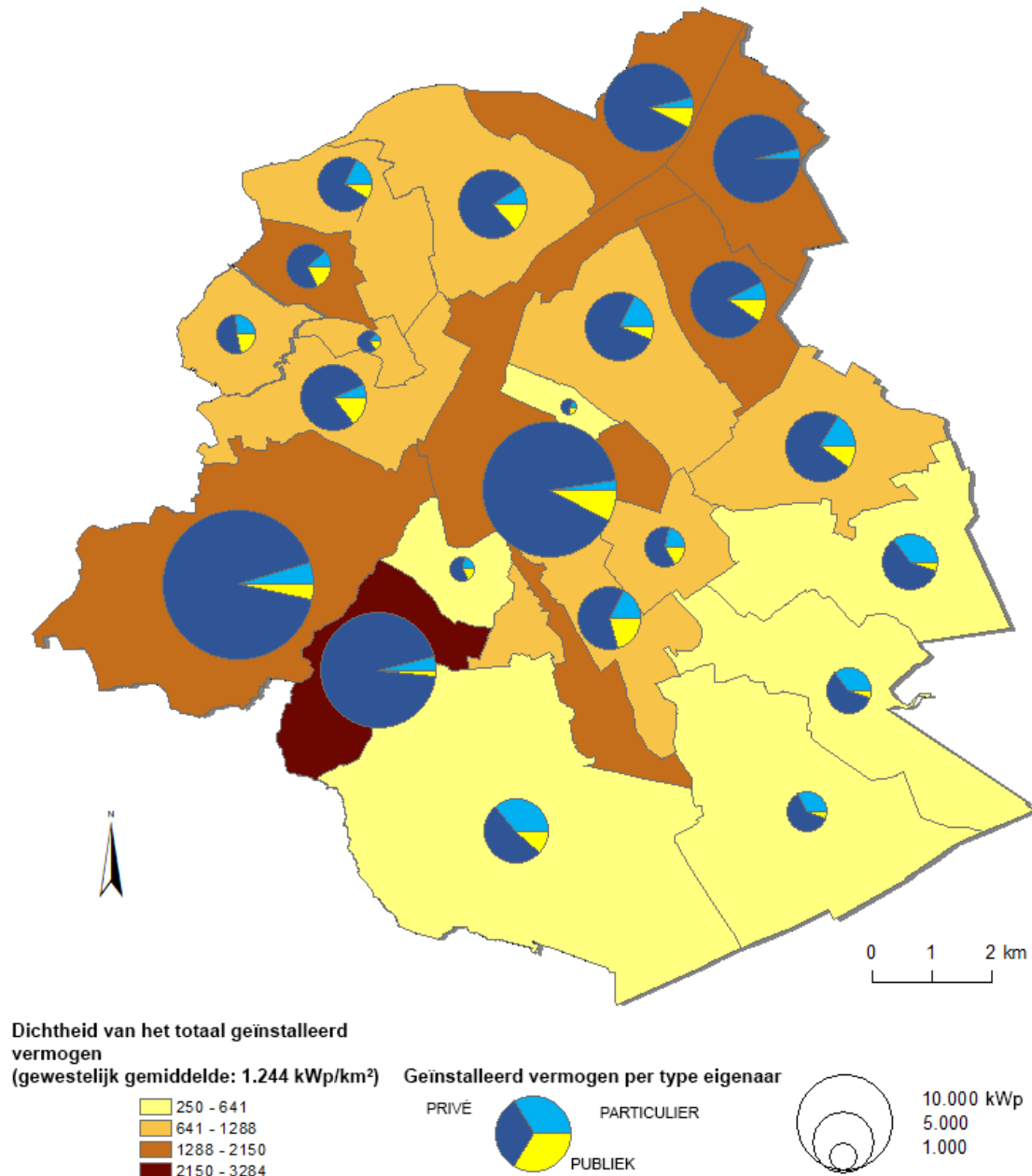


Figuur 8-6: Totaal geïnstalleerd vermogen in het BHG per 1.000 inw. en per gemeente, in 2020

Figuur 8-6 rangschikt de gemeenten in functie van het totaal geïnstalleerd vermogen per 1.000 inwoners. De spreiding verschilt sterk van die van het aantal installaties per 1.000 inwoners, aangezien de impact van de door de bedrijven geïnstalleerde grote vermogens doorslaggevend is in vergelijking met de kleine installaties van de particulieren. We zien immers dat de Brusselse gemeenten die meer industriezones hebben (Vorst, Anderlecht) de grootste progressie boeken voor het aantal kWp per 1.000 inwoners. Onder de meer residentiële gemeenten van het BHG gaan Sint-Lambrechts-Woluwe en Watermaal-Bosvoorde er in 2020 het sterkst op vooruit met, respectievelijk, 59,8 kWp per 1.000 inwoners voor Sint-Lambrechts-Woluwe en 58,5 kWp per 1.000 inwoners voor Watermaal-Bosvoorde.

8.4.3 Weergave van de gemeenten

Om de analyse van het fotovoltaïsche park in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest in 2020 te verrijken, werden 2 gemeentelijke thematische kaarten opgesteld.

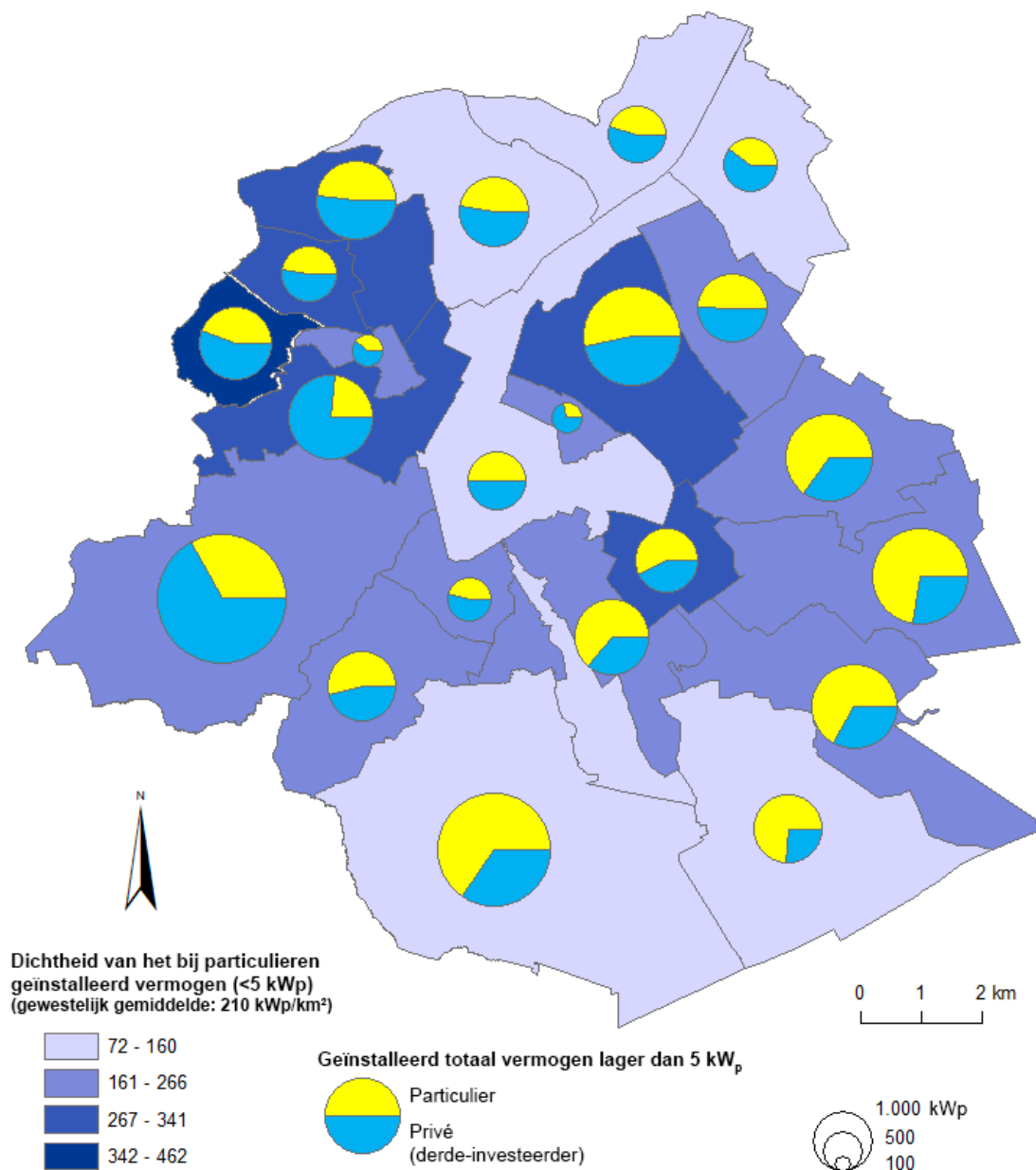


Figuur 8-7: Dichtheid van het totaal gecumuleerd FV-vermogen per type eigenaar en per gemeente in 2020

Figuur 8-7 geeft de gemeentelijke verdeling van de dichtheid weer in kWp/km², zoals geanalyseerd in punt 4.5 op gewestelijk niveau. Daarnaast geeft deze figuur ook het totaal geïnstalleerd vermogen per gemeente verdeeld per type eigenaar weer. De gemeente Brussel werd opgesplitst in haar vier entiteiten (Brussel-Stad, Haren, Laken en Neder-Over-Heembeek).

Wat dichtheid betreft, onderscheidt Vorst zich voornamelijk door grote private installaties. In het algemeen konden gemeenten met industriële oppervlakten (industriegebied, haven) een groot privaat FV-park ontwikkelen, waardoor ze een hogere densiteit in kWp/km² bereiken dan voornamelijk residentiële gemeenten. Globaal valt ook op te merken dat de gemeenten in het zuiden en zuidoosten een lagere dichtheid van totaal gecumuleerd vermogen hebben in vergelijking met de gemeenten in het noorden en noordwesten. Deze tendens kan in verband worden gebracht met de bevolkingsdichtheid. De gemeenten in het noorden/noordwesten hebben immers een grotere bevolkingsdichtheid dan de gemeenten in het zuiden/zuidoosten¹⁰, wat coherent is met een grotere dichtheid van kleinere systemen per km².

¹⁰ Gemiddeld 12.771 inw./km² voor de gemeenten Sint-Jans-Molenbeek, Ganshoren, Sint-Agatha-Berchem en Jette tegenover gemiddeld 4.450 inw./km² voor de gemeenten Ukkel, Watermaal-Bosvoorde en Sint-Lambrechts-Woluwe.



Figuur 8-8: Installaties < 5kWp: gecumuleerd vermogen per gemeente en dichtheid. (2020)

Figuur 8-8 geeft de vermogensdichtheid van kleine installaties in het BHG weer. De figuur toont ook het aandeel van private derde-investeerders in vergelijking met particulieren in kleine installaties. Het gewestelijk gemiddelde wat betreft de dichtheid van kleine installaties (<5 kWp) is verdubbeld tussen 2019 en 2020 (95 kWp in 2019, 210 kWp in 2020).

Bovendien lijken de residentiële gemeenten in het noordwesten een grotere dichtheid van bij particulieren geïnstalleerd vermogen te hebben in vergelijking met de gemeenten in het zuidoosten. Dit bevestigt de tendens die al te zien was op de vorige kaart. Deze tendens kan in verband worden gebracht met de bevolkingsdichtheid. De gemeenten in het noorden/noordwesten hebben immers een

grotere bevolkingsdichtheid dan de gemeenten in het zuiden/zuidoosten¹¹, wat coherent is met een grotere dichtheid van kleinere systemen per km².

Een ander element dat deze zones van elkaar onderscheidt, is het type eigenaar van de installaties. Over de hele westelijke ring, i.e. vertrekkende van Anderlecht in het zuidwesten en gaande tot Laken in het noordwesten (zelfs tot Haren), zijn de meeste installaties van minder dan 5 kWp het resultaat van de investeringen van privévennootschappen, i.e. waarschijnlijk van derde-investeerders. Aan de andere kant van het Brussels Gewest, i.e. van Ukkel tot Schaarbeek, zijn deze kleine FV-installaties grotendeels rechtstreeks eigendom van particulieren.

8.5 Zonnepotentieel per gemeente

Leefmilieu Brussel (LB) heeft een studie uitgevoerd naar het zonnepotentieel per gemeente, op basis waarvan de "zonnekaart" werd opgemaakt, waarmee het productiepotentieel voor een specifiek adres in het BHG kan worden ingeschat [20].

De hypothesen worden toegelicht in de [21] op de website van Leefmilieu Brussel. De onderstaande tabel toont de overgang van de totale oppervlakte van het Gewest (161 km²) naar de netto in aanmerking genomen dakoppervlakte (18 km²), dat wil zeggen de dakoppervlakte waar mogelijk een fotovoltaïsche installatie kan worden geplaatst.

De daken zijn onderverdeeld in zoninstralingsklassen, waarbij ook rekening wordt gehouden met de schaduw, de oriëntatie en de helling voor een stralingsbereik van 350 tot 1.283 kWh/m²/jaar. De raming van de in aanmerking genomen bruto oppervlakte (30.009.909 m²) houdt enkel rekening met daken die meer dan 950 kWh/m²/jaar opvangen.

Merk op dat de overgang van de bruto in aanmerking genomen oppervlakte naar de netto in aanmerking genomen dakoppervlakte rekening houdt met gemiddelde obstakels op de daken (schoorsteen, dakraam, enz.), die op 18 % van de oppervlakte geraamd worden en verloren oppervlakten (dakranden, enz.) die op 20 % geraamd worden.

Tabel 8-1: raming van de netto dakoppervlakte in het BHG

Indicator	m ²	%/totale m ²	%/kadastrale m ²
Totale oppervlakte van het BHG [22]	161.380.000		
Kadastrale oppervlakte BHG [23]	128.420.000	79,58%	
Bebouwde oppervlakte BHG [24]	75.767.800	46,95%	59,00%
Totale bruto dakoppervlakte	43.173.750	26,75%	33,62%
Bruto in aanmerking genomen dakoppervlakte	30.009.909	18,60%	23,37%
Totale netto dakoppervlakte	26.767.725	16,59%	20,84%

¹¹ Gemiddeld 12.771 inw./km² voor de gemeenten Sint-Jans-Molenbeek, Ganshoren, Sint-Agatha-Berchem en Jette tegenover gemiddeld 4.450 inw./km² voor de gemeenten Ukkel, Watermaal-Bosvoorde en Sint-Lambrechts-Woluwe.

Netto in aanmerking genomen dakoppervlakte 18.606.144 11,53% 14,49%

8.5.1 Specifieke kenmerken van de oefening 2020

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de oefeningen en zo de evolutie van de verwezenlijking van het potentieel doorheen de tijd te kunnen zien, werd uitgegaan van het vooraf berekend globaal potentieel van 18.606.144 m². Aangezien de berekeningsmethodologie per type paneel en oppervlakterendement steeds minder relevant bleek, gelet op de technologische evoluties (cf. hoofdstuk 5 over het in het BHG geïnstalleerd materiaal), hebben we eenvoudigweg de oppervlakten met geïnstalleerde panelen (technische parameters in m²) uit de databank van BRUGEL samengevoegd en het voorbije jaar als referentiejaar genomen.

De resultaten worden hier voor de 19 gemeenten voorgesteld omdat de informatie betreffende het potentieel op gemeentelijk niveau verstrekt werd door Leefmilieu Brussel. De gegevens voor Haren, NOH en Laken worden dus geïntegreerd in Brussel-Stad en de Europese postcodes worden geïntegreerd in Etterbeek.

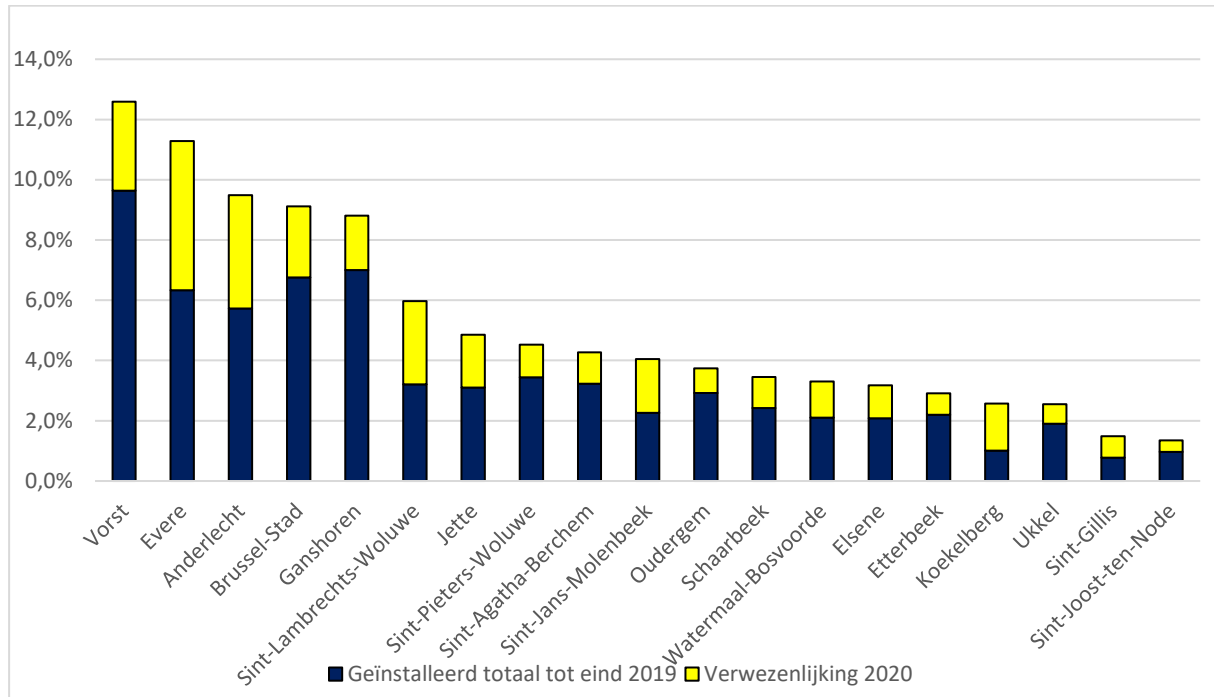
8.5.2 Analyse van daadwerkelijke dekking vergeleken met het potentieel per gemeente

De totale geïnstalleerde oppervlakte per gemeente en de vergelijking met het potentieel wordt in de volgende tabel uitgewerkt.

Gemeente	Potentieel	Eind 2019		Eind 2020		Groei van het geïnstalleerd potentieel per gemeente in 2020
	(m ²)	(m ²)	%	(m ²)	%	%
Anderlecht	1.997.788	114.424	5,7%	189.608	9,5%	3,8%
Oudergem	608.794	17.781	2,9%	22.795	3,7%	0,8%
Sint-Agatha-Berchem	395.720	12.769	3,2%	16.884	4,3%	1,0%
Brussel-Stad	4.039.293	272.900	6,8%	368.419	9,1%	2,4%
Etterbeek	620.401	13.661	2,2%	19.221	3,1%	0,9%
Evere	642.739	40.677	6,3%	72.545	11,3%	5,0%
Vorst	918.542	88.537	9,6%	115.636	12,6%	3,0%
Ganshoren	258.576	18.094	7,0%	22.765	8,8%	1,8%
Elsene	1.174.823	24.466	2,1%	37.342	3,2%	1,1%
Jette	658.783	20.466	3,1%	31.988	4,9%	1,7%
Koekelberg	216.594	2.175	1,0%	5.567	2,6%	1,6%
Sint-Jans-Molenbeek	1.062.281	24.015	2,3%	43.023	4,1%	1,8%
Sint-Gillis	504.487	3.905	0,8%	7.519	1,5%	0,7%
Schaarbeek	1.385.112	33.616	2,4%	47.861	3,5%	1,0%
Sint-Joost-ten-Node	247.433	2.386	1,0%	3.345	1,4%	0,4%
Ukkel	1.604.257	30.560	1,9%	40.900	2,5%	0,6%
Watermaal-Bosvoorde	409.431	8.612	2,1%	13.529	3,3%	1,2%
Sint-Lambrechts-Woluwe	953.002	30.596	3,2%	56.912	6,0%	2,8%
Sint-Pieters-Woluwe	727.419	25.045	3,4%	32.939	4,5%	1,1%
Algemeen totaal:	18.606.144	784.695	4,2%	1.148.796	6,2%	2,0%

Tabel 8-2: Verdeling van de netto in aanmerking genomen dakoppervlakte en van de in het BHG per gemeente geïnstalleerde oppervlakten tussen 2019 en 2020

Eind 2020 waren de netto in aanmerking genomen dakoppervlakten in het BHG dus voor 6,2% bedekt met zonnepanelen.



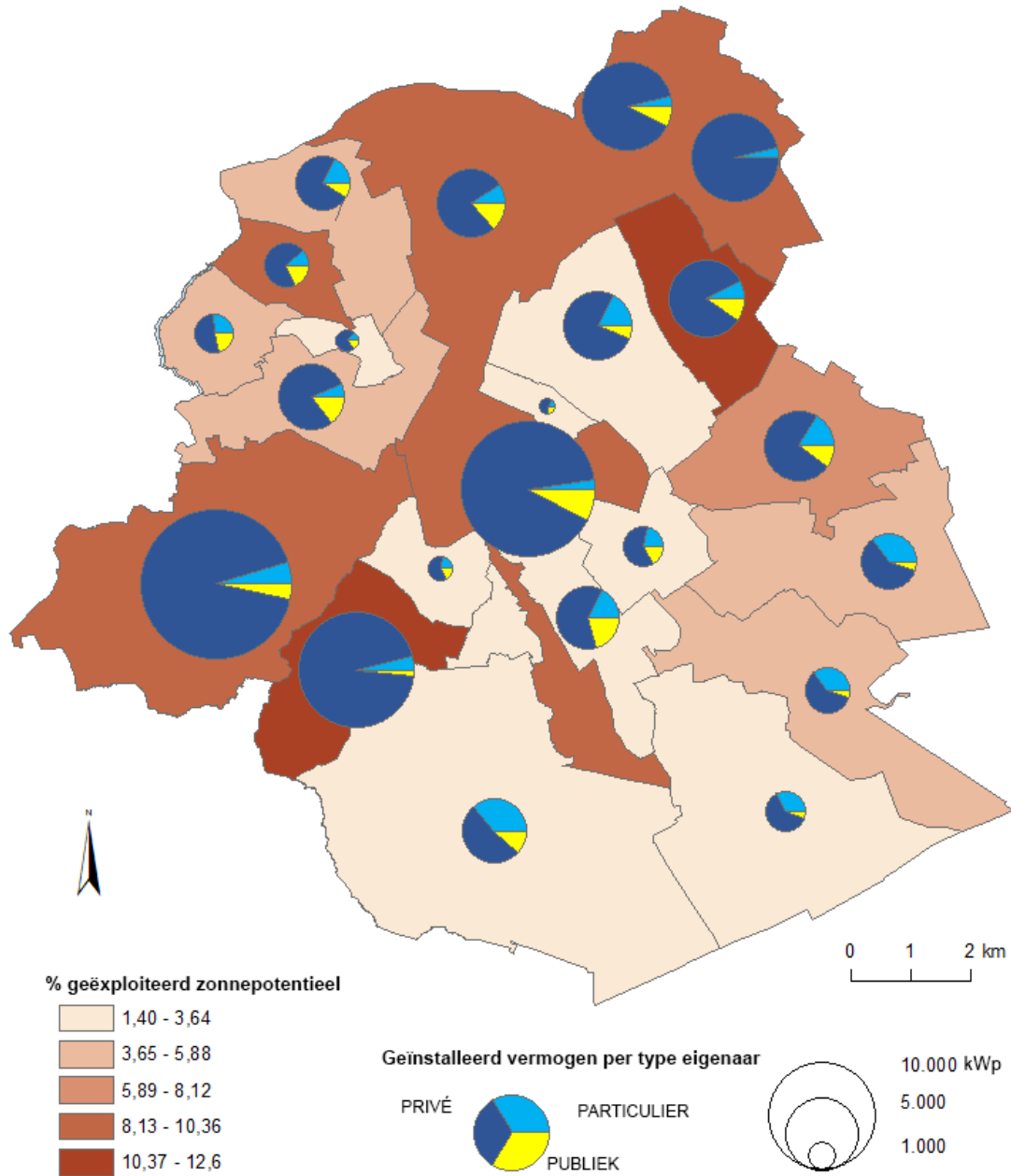
Figuur 8-9: Eind 2020 verwezenlijkt FV-potentieel voor de 19 Brusselse gemeentes

Figuur 8-9 toont dat 2020 een zeer vruchtbaar jaar was wat betreft nieuwe FV-installaties, met een significante toename van het geëxploiteerd potentieel in de meeste gemeenten van het Gewest.

Dit is bijvoorbeeld het geval in de gemeenten Sint-Jans-Molenbeek of Sint-Lambrechts-Woluwe, waar in slechts één jaar tijd bijna evenveel fotonvoltaïsche panelen werden geïnstalleerd als tijdens de voorgaande 10 jaar. Er werd ook mooie progressie geboekt in Evere (+5%), Anderlecht (+3,8%), Vorst (+3%), Sint-Lambrechts-Woluwe (+2,8%) of ook in Brussel-Stad (+2,4%), i.e. de 5 gemeenten met de grootste stijging, in percentage, van hun potentieel.

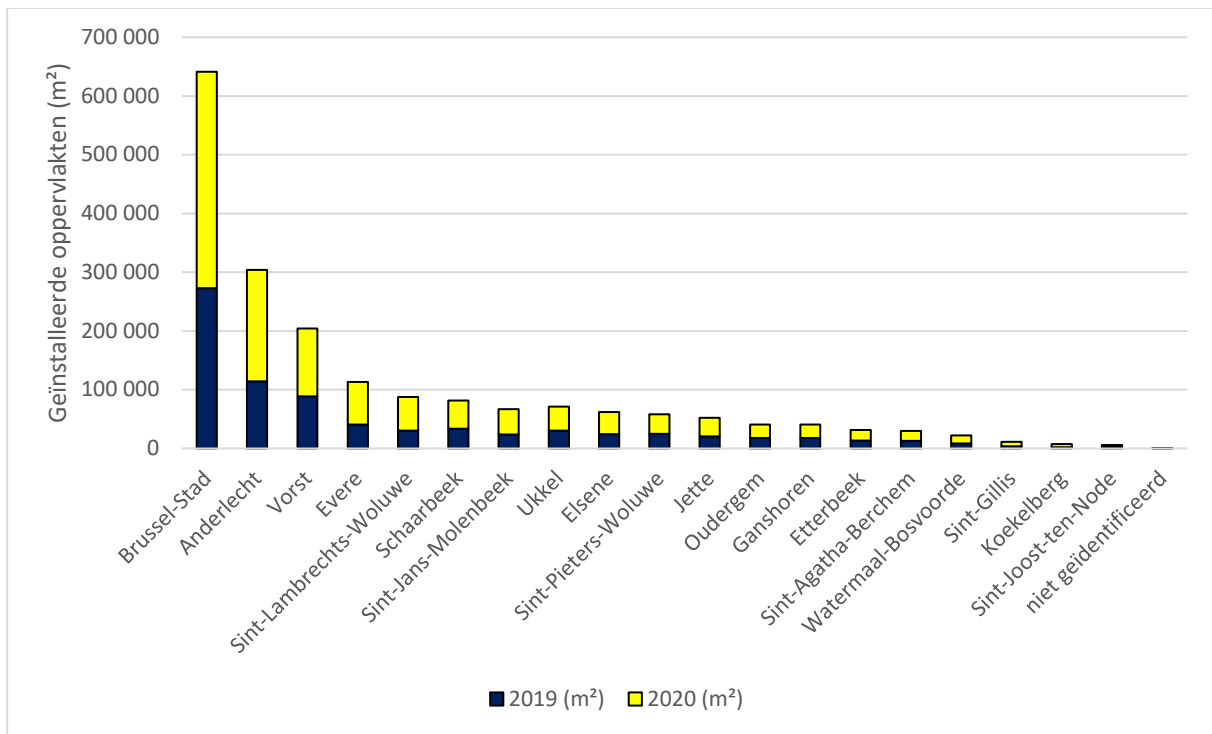
Ook de gemeenten die achteraan het peloton bengelen omdat ze hun zonnepotentieel voorheen nauwelijks hadden geëxploiteerd, zoals Koekelberg of Sint-Gillis, laten een mooie toename zien in 2020. Koekelberg stijgt immers van 1% geëxploiteerd vermogen eind 2019 tot 2,6% geëxploiteerd vermogen in 2020, en Sint-Gillis van 0,8% geëxploiteerd vermogen eind 2019 tot 0,7% geëxploiteerd vermogen in 2020. Van de 19 gemeenten toont alleen Sint-Joost-ten-Node een minieme en vrij ontgoochelende progressie in het licht van het tot dan geëxploiteerde potentieel en de prestaties van de buurgemeenten.

In de algemene rangschikking springt Vorst in het oog met 12,6% van het geraamd maximaal potentieel op daken, gevolgd door Evere (11,3%) en Anderlecht (9,5%). Deze resultaten tonen grote verschillen tussen de gemeenten en hangen sterk af van de publieke en private installatieprogramma's. Globaal echter illustreren deze cijfers het aanhoudend ontwikkelingstempo van de FV-markt in het Gewest.



Figuur 8-10: Cartografie van het geëxploiteerd zonnepotentieel per gemeente, in 2020

Figuur 8-10 geeft het exploitatieniveau van het zonnepotentieel weer in de vorm van een cartografie. We zien er dezelfde tendensen terugkeren als in figuur 9-9: Vorst, Brussel en Anderlecht onderscheiden zich zowel door hun reeds geactiveerd potentieel als door het overwicht van het geïnstalleerd vermogen in handen van de privésector, d.w.z. voornamelijk grote systemen.



Figuur 8-II: Gecumuleerde FV-oppervlakten voor de 19 gemeenten van het BHG in 2020

Figuur 8-II toont de oppervlakte in m² die wordt ingenomen door in het BHG geïnstalleerde FV-systemen. We zien er dat Brussel-Stad de gemeente is met het hoogste aantal m² aan geïnstalleerde FV-panelen. Deze statistiek dient echter met de nodige omzichtigheid te worden behandeld, rekening gehouden met het feit dat de gemeenten Haren, Laken en Neder-Over-Heembeek zijn opgenomen bij Brussel-Stad.

Een parallel met figuur 9-9 laat ons toe deze prestatie van Brussel-Stad te matigen en de aandacht te vestigen op de gemeenten Anderlecht, Vorst en Evere. Deze laatste zijn immers de gemeenten met het hoogste percentage gerealiseerd potentieel en behoren tegelijk tot de gemeenten met de grootste geïnstalleerde oppervlakten in m², na Brussel-Stad.

In termen van totale absolute oppervlakte betekent dit bijna 1.150.000 m² (115 ha) panelen die eind 2020 geïnstalleerd zijn en die zeer ongelijkmatig verdeeld zijn, afhankelijk van de typologie van de gebouwen van elke gemeente. Ter vergelijking: dit is de oppervlakte van meer dan 164 voetbalvelden.

Aangezien de datum van indienname van de installatie geldt als bewijs, dient opgemerkt te worden dat deze resultaten niet onveranderlijk zijn en kunnen evolueren van een oefening naar de volgende, naarmate de certificeringsgegevens aan BRUGEL worden meegedeeld.

9 Referenties

- https://www.researchgate.net/publication/23530793_La_boite_a_moustaches_pour_sensibiliser_a_la_statistique[1] M. Le Guen, “La boite a moustaches pour sensibiliser à la statistique,” *Bulletin of Sociological Methodology/Bulletin de Méthodologie Sociologique*, vol. 73, no. 1, pp. 43–64, Jan. 2002, doi: https://www.researchgate.net/publication/23530793_La_boite_a_moustaches_pour_sensibiliser_a_la_statistique.
- [2] Synergrid, “Gehomologeerde materialen,” 2019. http://www.synergrid.be/index.cfm?PageID=20872&language_code=FRA
- [3] “SMA France - Dimensionnement d’une installation PV.” Accessed: Dec. 13, 2021. [Online]. Available: <https://www.sma-france.com/centre-de-connaissances/conseils-techniques-avant-linstallation/dimensionnement-dune-installation-pv.html>
- [4] BRUGEL, Reguleringscommissie voor Energie in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, *Ontwerpvoorstel 27 betreffende de vermenigvuldigingscoëfficiënt toegepast op fotovoltaïsche installaties – Analyse van de economische parameters*. 2020. [Online]. Available: <https://www.brugel.brussels/publication/document/voorstellen/2020/nl/ONTWERPVOORSTEL-27-VERMENIGVULDOGINGSCO%C3%8BFFICI%C3%8BNT-BIPV.pdf>
- <https://www.creg.be/nl/publicaties/studie-f20210517>[5] Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas, “Rapport PwC besteld door de CREG- A European comparison of electricity and natural gas prices for residential, small professional and large industrial consumers”, *Etude F20210517*, May 2021. <https://www.creg.be/nl/publicaties/studie-f20210517>
- [6] J. Leloux and G. Sala, “Towards the consolidation of a photovoltaic observatory in Wallonia and Brussels (Belgium),” *28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, pp. 104013–4016, 2009, doi: [10.4229/28thEUPVSEC2013-5BV.4.56](https://doi.org/10.4229/28thEUPVSEC2013-5BV.4.56).
- [7] KMI, Koninklijk Meteorologisch Instituut, “Waarnemingen KMI weer België”, *Koninklijk Meteorologisch Instituut*. <https://www.meteo.be/nl/klimaat/klimaatverandering-in-belgie/klimaattrends-in-ukkel/zonnestraling/globale-zonnestraling>
- [8] T. Muneer, C. Gueymard, H. Kambezidis, and T. Muneer, *Solar radiation and daylight models: with software available from companion web site*, 2nd ed. Oxford ; Burlington, MA: Elsevier Butterworth Heinemann, 2004.
- [9] M. ParisTech, “VALIDATION CAMS RADIATION SERVICE - BSRN STATIONS.” <http://www.soda-pro.com/help/validation/cams-radiation-bsrn>
- [10] A. Woyte, K. D. Brabandere, B. Sarr, and M. Richter, “THE QUALITY OF SATELLITE-BASED IRRADIATION DATA FOR OPERATIONS AND ASSET MANAGEMENT,” *32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, p. 5, doi: [10.4229/EUPVSEC20162016-5AO.7.6](https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20162016-5AO.7.6).
- [11] Jonathan LELOUX, “Ensoleillement record en Belgique en 2018: Combien produiront les panneaux solaires demain?,” *Renouvelle*, Jan. 21, 2019. [Online]. Available: <https://www.renouvelle.be/fr/ensoleillement-record-en-belgique-en-2018-combien-produiront-les-panneaux-solaires/>
- [12] M. Wild, “Decadal changes in radiative fluxes at land and ocean surfaces and their relevance for global warming,” *WIREs Clim Change*, vol. 7, no. 1, pp. 91–107, Jan. 2016, doi: [10.1002/wcc.372](https://doi.org/10.1002/wcc.372).
- [13] C. Gutiérrez et al., “Future evolution of surface solar radiation and photovoltaic potential in Europe: investigating the role of aerosols,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 15, no. 3, p. 034035, Mar. 2020, doi: [10.1088/1748-9326/ab6666](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6666).
- [14] D. G. Erbs, S. A. Klein, and J. A. Duffie, “Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation,” *Solar Energy*, vol. 28, no. 4, pp. 293–302, 1982, doi: [10.1016/0038-092X\(82\)90302-4](https://doi.org/10.1016/0038-092X(82)90302-4).

- [15] J. E. Hay, "Calculation of solar irradiances for inclined surfaces: Validation of selected hourly and daily models," *Atmosphere-Ocean*, vol. 24, no. 1, pp. 16–41, Mar. 1986, doi: [10.1080/07055900.1986.9649238](https://doi.org/10.1080/07055900.1986.9649238).
- [16] J. Schardt and H. te Heesen, "Performance of roof-top PV systems in selected European countries from 2012 to 2019," *Solar Energy*, vol. 217, pp. 235–244, Mar. 2021, doi: [10.1016/j.solener.2021.02.001](https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.02.001).
- [17] J. Leloux, J. Taylor, R. Moretón, L. Narvarte, D. Trebosc, and A. Desportes, "Monitoring 30,000 PV systems in Europe: Performance, Faults, and State of the Art," *31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg*, p. 10, Sep. 2015, doi: [10.4229/EUPVSEC20152015-5AO.8.1](https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20152015-5AO.8.1).
- [18] J. Leloux, L. Narvarte, and D. Trebosc, "Review of the performance of residential PV systems in Belgium," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 1, pp. 178–184, Jan. 2012, doi: [10.1016/j.rser.2011.07.145](https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.145).
- [19] BISA, Brussels Instituut voor Statistiek en Analyse, "Jaarlijkse evolutie van de bevolking", <https://bisa.brussels/>. <https://bisa.brussels/themas/bevolking/jaarlijkse-evolutie>
- [20] Leefmilieu Brussel, "Zonkaart van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest". <https://leefmilieu.brussels/themas/gebouwen-en-energie/bouwen-en-renoveren/analyseer-uw-gebouw/zonkaart-van-het-brussels>
- [21] Leefmilieu Brussel, "Zonkaart van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest: FAQ". <https://leefmilieu.brussels/content/zonkaart-brussel-faq>
- [22] STATBEL, Algemene Directie Statistiek, "STATBEL". <https://statbel.fgov.be/>
- [23] "BruGIS," <https://gis.urban.brussels>. <https://gis.urban.brussels>
- [24] Leefmilieu Brussel, "Bodemgebruik en bebouwing in het Brussels Gewest". <https://leefmilieu.brussels/staat-van-het-leefmilieu/verslag-2011-2014/brusselse-context/bodemgebruik-en-bebouwing-het-brussels>

10 Verklarende woordenlijst

]5-36]	Een naar binnen gerichte haak duidt op een gesloten interval (de waarde wordt dus in aanmerking genomen) en een naar buiten gerichte haak duidt op een open interval (de waarde is niet in het interval opgenomen). In dit geval is 5 uitgesloten en 36 inbegrepen.
Zelfverbruik	Hoeveelheid door de fotovoltaïsche installatie geproduceerde elektriciteit die meteen in het gebouw wordt verbruikt en dus niet op het elektriciteitsnet wordt geïnjecteerd.
Zelfvoorziening	Aandeel van de verbruikte elektriciteit dat wordt gedekt door de productie van de fotovoltaïsche installatie.
BRUGEL	De Reguleringscommissie voor energie in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest
Eindverbruik elektriciteit	Som van de zelfverbruikte elektriciteit van de fotovoltaïsche installatie en de van het net afgenomen elektriciteit.
Privébedrijf	Instelling die tot een privéonderneming behoort, zoals winkels, privékantoren, banken, verzekeringen, privéziekenhuizen, vrij onderwijs ...
Overheidsbedrijf	Gebouw dat toebehoort aan een overheidsinstelling zoals: administratie, gemeentelijk onderwijs, gemeentelijke werkplaatsen.
Injectie	Hoeveelheid door de fotovoltaïsche panelen geproduceerde elektriciteit die terug aan het elektriciteitsnet wordt gegeven of op het net wordt geïnjecteerd - deze wordt dus niet ter plaatse verbruikt.
Kilowattpiek	Vermogenseenheid van de panelen onder standaard testomstandigheden, die in het algemeen bij benadering het maximaal vermogen weergeeft dat door de fotovoltaïsche zonnepanelen wordt opgewekt.
Indienststelling	"De datum van het conformiteitsattest in het Algemeen Reglement op de elektrische installaties (AREI) zonder opmerkingen" Uittreksel uit het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering betreffende de promotie van groene elektriciteit van 17 december 2015.
Particulier	Een natuurlijke persoon die op zijn woning panelen voor persoonlijk gebruik heeft geïnstalleerd.
Afname	Hoeveelheid op het net aangekochte elektriciteit voor verbruik in het gebouw.
Productie	Hoeveelheid elektriciteit geproduceerd door de fotovoltaïsche panelen in de loop van een bepaalde tijdsperiode (een kalenderjaar of tussen twee meteropnames)
Specifiek vermogen	Verhouding tussen het vermogen in Wp van de modules en hun oppervlakte in m ² .
SIBELGA	Beheerder van het gas- en elektriciteitsnet in Brussel.
SolarClick	Gewestelijk programma voor de financiering van FV-installaties op de daken van openbare gebouwen. Dit programma (2017-2020), waarvoor SIBELGA verantwoordelijk is, heeft tot doel fotovoltaïsche panelen te leggen op 85.000 m ² daken van openbare gebouwen.

II Afkortingen

BIPV: Building Integrated Photovoltaïc = In het gebouw geïntegreerde FV-installatie

BAPV: Building Applied Photovoltaïc = Op het gebouw geplaatste FV-installatie

LS: Laagspanning

WS: Wisselstroom

GS: Gelijkstroom

VC: Vermenigvuldigingscoëfficiënt

GSC: Groenestroomcertificaat

DB: Database, databank

GO: Garantie van oorsprong

kEUR: kilo-euro of duizend euro

kW: kilowatt

kVA: kilovolt-ampère

kWp: kilowattpiek

IDN: Indienstname

MW: Megawatt

MWh: Megawattuur

FV: Fotovoltaïsch

PR: Performance Ratio

BHG: Brussels Hoofdstedelijk Gewest

STC: Standard Test Conditions

CU: Door BRUGEL gecertificeerde eenheid