

Bijlage B: Bodemenergie voor warmtelevering in de Gemeente Utrecht: De huidige en toekomstige potentie in kaart (KWR, 2024)

Bijlage bij het rapport “Data-analyses voor de onderbouwing van de Beleidsnota Warmte en het Warmteprogramma”



KWR 2024.003 | April 2024

Bodemenergie voor warmtelevering in de Gemeente Utrecht: De huidige en toekomstige potentie in kaart

Colofon

Bodemenergie voor warmtelevering in de Gemeente Utrecht: De huidige en toekomstige potentie in kaart

KWR 2024.003 | April 2024

Opdrachtnummer

403820-001

Projectmanager

Ir. E. Broers

Opdrachtgever

Gemeente Utrecht

Auteur(s)

S.T.W. Beernink MSc., L.P. Brokx MSc., Dr. D.F. Wiggers de Vries, Dr. M. Bloemendal, Dr. N. Hartog

Kwaliteitsborger(s)

Dr. N. Hartog

Verzonden naar

Gemeente Utrecht

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject. KWR zal zich onthouden van verspreiding van dit rapport en het rapport derhalve niet verstrekken aan derden, tenzij partijen anders overeenkomen. Opdrachtgever is gerechtigd het rapport te verspreiden mits KWR daarvoor vooraf toestemming heeft verleend. Aan de toestemming voor de verspreiding van (onderdelen van) het rapport kan KWR voorwaarden verbinden.

Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectuele- en industriële eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

Keywords

OBES, GBES, Warmtetransitie, Bodemenergie, Utrecht

Jaar van publicatie
2024

Meer informatie

Stijn Beernink MSc

T +31306069607

E Stijn.Beernink@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl

The logo for KWR, consisting of the letters 'KWR' in a bold, blue, sans-serif font.

Maart 2024 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Samenvatting

Aanleiding en doel

De gemeente Utrecht staat voor een opgave in de energietransitie en wil daarom op duurzame wijze gebouwen van warmte en koude kunnen voorzien. Bodemenergie is een belangrijke mogelijkheid voor de gemeente Utrecht om de warmtevoorziening van gebouwen te verduurzamen. Hoe belangrijk bodemenergie technieken in de nieuwe energiemix gaan zijn, hangt onder andere af van de capaciteit die deze technieken hebben in de gemeente Utrecht om warmte (en koude) te leveren. Met inzicht in de potentiële capaciteit van de ondergrond, en waar dit vanaf hangt, kan de gemeente per buurt waar nodig passend stimulerings- en/of ordeningsbeleid instellen. Op basis van door de gemeente Utrecht aangeleverde gegevens zijn in deze studie zowel open bodemenergiesystemen (OBES) als gesloten bodemenergiesystemen (GBES) beschouwd en is op buurtniveau de huidige warmtelevering met OBES en GBES berekend. Ook is de huidige (2023) en toekomstige (2050) warmtevraag beschouwd op basis van de door de gemeente Utrecht aangeleverde gegevens. Daarnaast is de potentiële capaciteit van OBES en GBES berekend voor een range aan ontwerp- en gebruikscondities. In deze studie zijn specifiek de volgende drie vragen onderzocht:

1. Hoeveel warmte wordt er op dit moment geleverd met bodemenergie?

Uit de integratie en analyse van verschillende verzamelde datasets blijkt dat conventionele lage temperatuur OBES (LT-OBES, <25 °C) momenteel wordt toegepast in 33 van de 111 buurten in Utrecht, waarmee in totaal per jaar 692 duizend GJ warmte wordt geleverd. De twee buurten met de grootste huidige warmtelevering door OBES zijn buurt 533 “Utrecht Science Park” met 212 duizend GJ per jaar en “Hoog Catharijne, NS, Jaarbeurs” (buurt 613) met 123 duizend GJ per jaar. GBES wordt op dit moment toegepast in 45 van de 111 buurten en in totaal wordt er 52 duizend GJ per jaar aan warmte geleverd met GBES. In de buurt “Leeuwesteyn” (buurt 934) wordt de meeste warmte per jaar geleverd door GBES in heel de gemeente Utrecht (12 duizend GJ per jaar). Van alle 111 buurten wordt er op dit moment in 62 buurten warmte geleverd met bodemenergie (OBES en/of GBES). Er zijn 16 buurten waar zowel OBES en GBES worden toegepast.

2. Wat is de huidige en verwachte toekomstige (2050) warmtevraag?

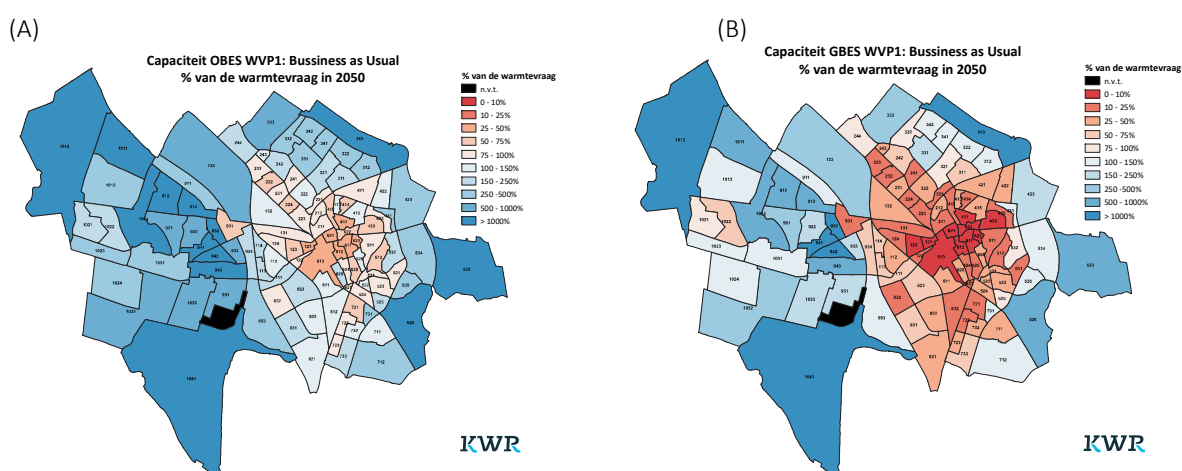
Op basis van aangeleverde data van de gemeente Utrecht is de huidige warmtevraag, en in 2050, het grootste in het centrum gebied van Utrecht. Buurt 613 “Hoog Catharijne, NS, Jaarbeurs” is hier de koploper met een verwachte warmtevraag van 454 duizend GJ per jaar in 2050. Bij de berekening van de warmtevraag in 2050 door gemeente Utrecht wordt uitgegaan van een gemiddelde energiebesparing van 35% ten opzichte van de huidige warmtevraag voor huidige bebouwing, en wordt de verwachte extra warmtevraag door nieuwbouw meegenomen. Voor 11 van de 111 buurten resulteert dit in een toename van de warmtevraag, en voor de overige 100 buurten in een afname van de totale warmtevraag. Voor heel Utrecht neemt de totale warmtevraag af van 8 miljoen GJ/jaar op dit moment naar 6 miljoen GJ/jaar in 2050.

3. Wat is de warmteleveringscapaciteit van OBES en GBES, afhankelijk van verschillende wijze van toepassing?

De ondergrond in Utrecht, zowel het 1^e als het 2^e watervoerende pakket, is in principe geschikt voor warmtelevering door OBES en GBES. In totaal is berekend dat, uitgaande van de aannames en condities toegepast in deze studie, er uit het 1^e watervoerende pakket onder het grondgebied van de gemeente Utrecht met conventionele lage temperatuur OBES (LT-OBES, <25 °C) theoretisch 15,5 miljoen GJ per jaar aan warmte kan worden geleverd. De belangrijkste aannames hierbij zijn dat alle buurten een gelijke procentuele ondergrondbenutting hebben en dat alle LT-OBES die gebruik maken van de ondergrond eenzelfde ΔT tijdens warmtelevering hebben. Voor GBES, met een boordiepte van de lussen tot de onderkant van het 1^e watervoerende

pakket (WVP1, 50m) is dit ongeveer 6 miljoen GJ per jaar. De belangrijkste aannames hierbij zijn dat alle lussen eenzelfde lengte hebben (afhankelijk van het scenario) en hetzelfde specifieke warmteonttrekking (W/m/j) hebben (afhankelijk van het scenario). Voor de buurten in Utrecht waar de warmtevraag relatief laag is, is de potentiële capaciteit in veel gevallen groter dan de benodigde warmtevraag in 2050 (Figuur 0-1). Alleen voor de buurten in het centrumgebied met een relatief hoge warmtevraag is de potentiële warmteleveringscapaciteit (veel) kleiner dan de totale warmtevraag. In een aantal buurten in het centrum gebied kan bodemenergie 3 tot 25% van de warmtevraag per jaar in 2050 leveren voor het standaard reguleringsscenario met bronnen in het 1^e watervoerende pakket. De potentie voor warmtelevering met OBES en GBES kan sterk worden vergroot door het toepassen van verschillende sturingsmaatregelen waarmee de ruimte in de ondergrond efficiënter kan worden gebruikt. Met verbeterde regulering van conventionele lage temperatuur OBES en GBES systemen (dichtere plaatsing van systemen bij elkaar, grotere ΔT , energiebalans) kan theoretisch de capaciteit van het 1^e watervoerende pakket tot 2,5 maal worden vergroot. Het diepere en dikkere 2^e watervoerende pakket (WVP2) is in theorie ook een mogelijkheid om de totale potentiële warmtelevering met OBES en GBES te vergroten. Echter is dat vanwege grondwaterbeschermingsbeleid in een groot deel van gemeente Utrecht niet toegestaan.

De berekeningen in deze studie geven inzicht in de theoretische potentiële capaciteit onder bepaalde aannames en voor specifieke uitgangspunten. Welk deel van de berekende theoretische warmteleveringscapaciteit daadwerkelijk zou kunnen worden benut zal per buurt sterk variëren. Zo bepaalt het type bebouwing, en de ruimte rondom de bebouwing in grote mate welk type bodemenergie geschikt is, en zo ja of dit type bodemenergie ook daadwerkelijk gerealiseerd zou kunnen worden in de nabijheid van het gebouw. Daarnaast is in deze studie uitgegaan van een optimale onderlinge plaatsing van bronnen/lussen in de beschikbare ruimte, in de praktijk zullen ruimtelijke en praktische bezwaren dit in enige mate verhinderen. Daarnaast wordt in deze studie niet ingegaan op de mogelijke uitsluiting van OBES en GBES in sommige gebieden omwille van andere belangen in de ondergrond zoals drinkwaterproductie, bemalingen of de aanwezigheid van grondwaterverontreinigingen. Anderzijds kan de praktisch benutbare capaciteit die hier berekent is voor LT-OBES sterk vergroot worden door opslag bij middelhoge of hoge temperaturen (MTO/HTO). De capaciteit van de warmteopslag/levering neemt daarmee een factor 5 tot 10 toen (afhankelijk van de ΔT). Opslag bij hogere temperaturen in combinatie met power-to-heat biedt daarnaast potentie voor het beter benutten van duurzame elektriciteit in de zomer (vergroten CO₂ emissie reductie) en het tegengaan van netcongestie in de winter.



Figuur 0-1: capaciteit OBES (A) en GBES (B) voor het Business As Usual scenario (prestaties en inpassing van bronnen/lussen zoals bij conventionele lage temperatuur bodemenergie) in WVP1 als percentage van de warmtevraag per buurt in 2050. Kleiner dan 100% (rood) betekent dus dat de potentie kleiner is dan de warmtevraag. Buurten met een blauwe kleur (>100%) hebben juist een grotere potentie dan de verwachte warmtevraag in 2050.

Inhoud

Colofon	2
Samenvatting	3
Inhoud	5
1 Aanleiding	6
2 Methodes en uitgangspunten	7
2.1 Geografische data van buurten in Utrecht	7
2.2 Potentiële warmteleveringscapaciteit met OBES en GBES per buurt	8
2.2.1 OBES	8
2.2.2 GBES	10
2.3 Huidige warmtelevering OBES en GBES per buurt	14
2.3.1 OBES	14
2.3.2 GBES	17
2.4 Huidige en toekomstige warmtevraag bodemenergie per buurt	20
3 Resultaten	21
3.1 Potentiële capaciteit van de bodem voor warmtelevering met OBES en GBES	21
3.2 Huidige warmtelevering met OBES en GBES	21
3.3 Huidige en toekomstige warmtevraag	23
3.4 Invloed van de verschillende toepassingsscenario's op de potentiële capaciteit	25
4 Discussie en reflectie	27
4.1 De praktisch benutbare capaciteit versus de potentiële capaciteit	27
4.2 Gebruikte aannames voor berekening potentiële capaciteit	28
4.3 Potentie voor optimalisatie en stimulerings- en/of ordeningsbeleid	29
5 Conclusies	31
6 Referenties	33
Bijlage I. Buurt ID, buurtnamen en oppervlak	35
Bijlage II. Ondergrondopbouw Utrecht	38
Bijlage III. Overige kaartresultaten	39

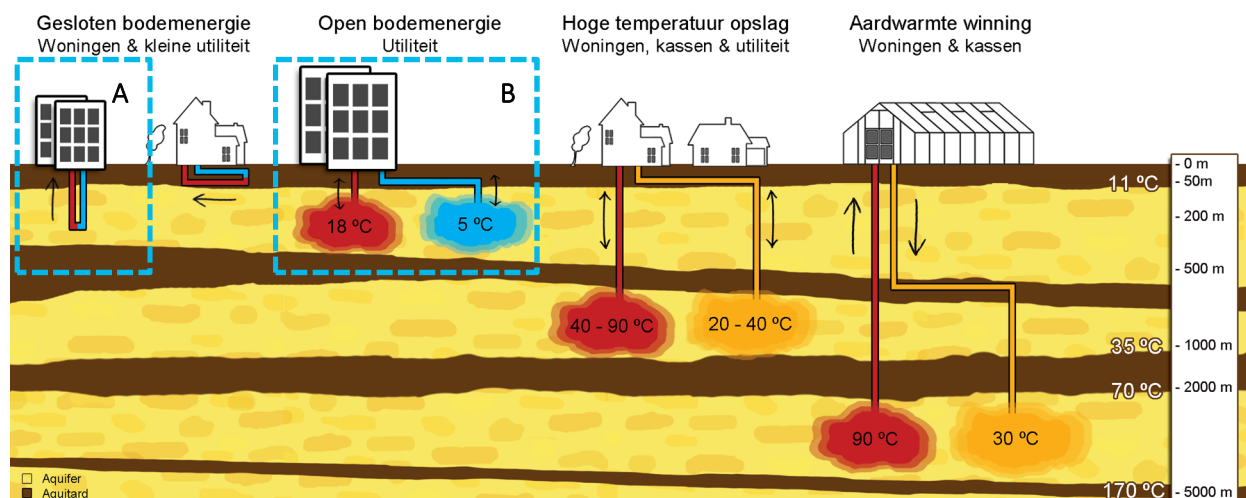
1 Aanleiding

De gemeente Utrecht staat voor een opgave in de energietransitie en wil daarom op duurzame wijze gebouwen van warmte en koude kunnen voorzien. Bodemenergie is een belangrijke mogelijkheid voor De gemeente Utrecht om de warmtevoorziening van gebouwen te verduurzamen. Hoe belangrijk bodemenergie technieken in de nieuwe energiemix gaan zijn, hangt onder andere af van de capaciteit die deze technieken hebben in de gemeente Utrecht om warmte (en koude) te leveren. Met inzicht in de potentiële capaciteit van de ondergrond, en waar dit vanaf hangt, kan de gemeente per buurt waar nodig passend stimulerings- en/of ordeningsbeleid instellen. In deze studie is gekeken naar conventionele lage temperatuur open bodemenergiesystemen (OBES) en gesloten bodemenergiesystemen (GBES).

De capaciteit van bodemenergie voor warmtelevering in Utrecht is aan de hand van de volgende drie vragen in beeld gebracht:

1. Welke capaciteit van de ondergrond wordt op dit moment per buurt gebruikt voor bodemenergie in het eerste watervoerende pakket. En idem voor het tweede watervoerende pakket?
2. Wat is de vraag naar bodemenergie per buurt voor nieuwbouw en bestaande bouw? Is er sprake van een '(mis)match' tussen de beschikbare bodemenergiecapaciteit en (verwachte) behoefte aan bodemenergie op buurtniveau? Zo ja, wat is het verschil?
3. Wat is de warmteleveringscapaciteit van bodemenergie (OBES en GBES) per buurt in de gemeente Utrecht, afhankelijk van verschillende wijze van toepassing (Business as Usual, planning/ordeningsregels, sturen op prestatie)?

Om deze drie onderzoeksvragen te beantwoorden zijn de huidige OBES en GBES systemen per buurt in kaart gebracht door middel van een GIS analyse. Daarnaast is de theoretische potentiële capaciteit van OBES en GBES per buurt berekend voor verschillende toepassingsscenario's. Vervolgens zijn deze resultaten vergeleken met de door de gemeente aangeleverde huidige en geschatte warmtevraag van de buurten in Utrecht in 2050. Dit rapport beschrijft de in dit onderzoek verschillende gebruikte methodes en aannames, een selectie van de resultaten van de berekeningen en inzichten op hoofdlijnen en de reflectie daarop.

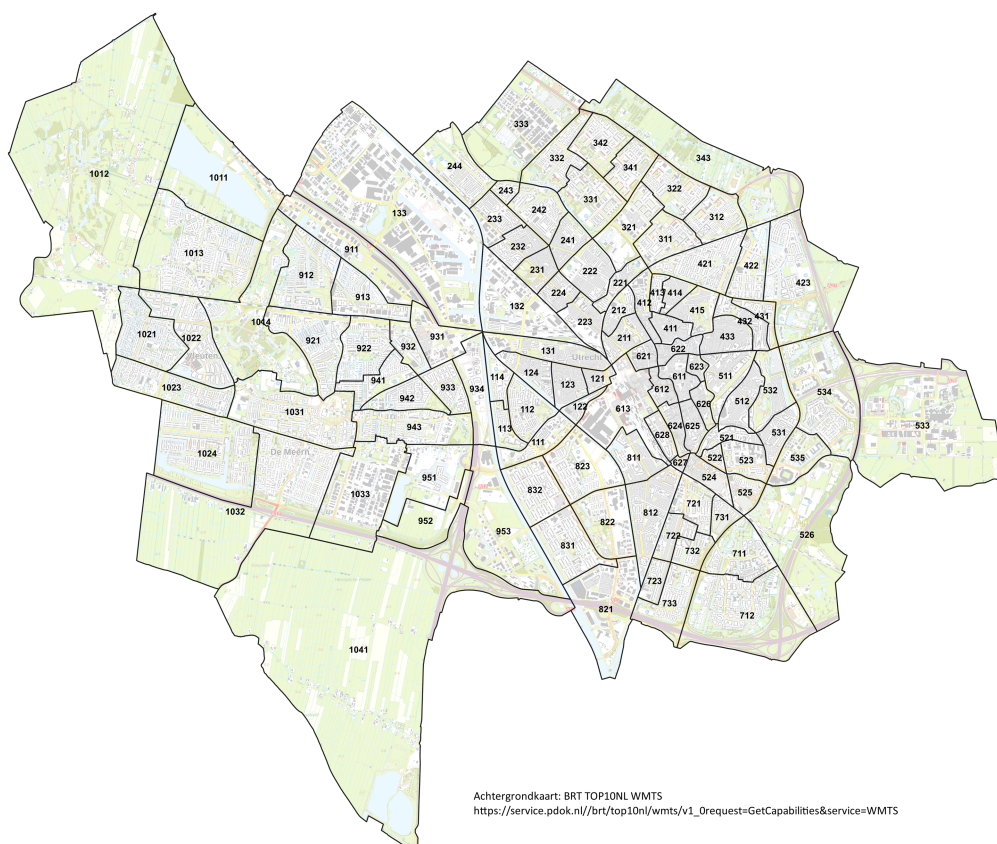


Figuur 1-1. Verschillende technieken voor de opslag en productie van warmte (GBES, OBES, HTO) of de productie van warmte (geothermie). In deze studie wordt de capaciteit van de ondergrond in Utrecht voor de twee meest gangbare technieken [A] verticale Gesloten Bodem Energie Systemen (GBES) en [B] Open Bodem Energie Systemen (OBES) onderzocht. Bron: Bloemendal (2018).

2 Methodes en uitgangspunten

2.1 Geografische data van buurten in Utrecht

Voor het inzichtelijk maken van de warmtevraag en bodemenergiecapaciteit per buurt is gebruik gemaakt van de buurtgrenzen zoals zijn gedefinieerd in het dataportaal van de gemeente Utrecht (Utrecht, 2023). De oppervlakte van iedere buurt is berekend in QGIS uit het bijbehorende vector-bestand. De grenzen van de 111 buurten van de gemeente Utrecht zijn weergegeven in Figuur 2-1, inclusief het 'buurt-id' van iedere buurt. De bijbehorende buurtnamen zijn opgenomen in Bijlage I.



Figuur 2-1 . De 111 buurten in Utrecht die zijn meegenomen in dit onderzoek. Per buurt is hier de 'buurt-ID' gegeven die de gemeente voor de buurten hanteert. De bijbehorende buurtnamen zijn opgenomen in Bijlage I.

2.2 Potentiële warmteleveringscapaciteit met OBES en GBES per buurt

In deze studie wordt de theoretische potentiële warmteleveringscapaciteit van de ondergrond in Utrecht door het gebruik van OBES en GBES berekend voor verschillende gebruikscondities. Let op: deze berekening gaat uit van een volledige benutting van de beschikbare ruimte in de ondergrond van de gemeente Utrecht en houdt dus geen rekening met de aanwezigheid van een warmtevraag, of het niet kunnen inzetten van GBES of OBES door andere belangen in de ondergrond. De benuttingsgraad van de ondergrond die wordt gebruikt voor de berekening van de theoretische capaciteit zal dus zeer waarschijnlijk een overschatting zijn van de praktisch haalbare benuttingsgraad van de ondergrond.

Bij de berekening van deze warmteleveringscapaciteit worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De ondergrond van Utrecht wordt versimpeld tot één uniform gelaagde ondergrondopbouw.
- De capaciteit wordt bepaald voor watervoerend pakket 1 (WVP1) en watervoerend pakket 2 (WVP2)
- Bij de berekening wordt geen rekening gehouden met huidige (OBES/GBES) systemen en andere belangen in de ondergrond.
- Daarnaast betreft het de potentiële warmtelevering door OBES of GBES; de potentiële capaciteit wordt voor iedere technieken los berekend en het totaal van beide berekeningen kan dus niet worden opgeteld.

2.2.1 OBES

Berekening warmtelevering

De potentiële theoretische warmteleveringscapaciteit voor OBES wordt bepaald door twee factoren: het verpompte volume voor verwarmen en het temperatuurverschil (ΔT) tussen de onttrekkingsbron (warme bron) en de injectiebron (koude bron).

De hoeveelheid energie (J) die onttrokken wordt aan de bodem (E_B) is:

$$E_B = V \cdot \Delta T \cdot C_w \quad (1)$$

Waarbij:

V : het totale verpompte volume voor verwarmen [m^3],

ΔT : het gemiddelde temperatuurverschil tussen de putten [$^{\circ}C$]

C_w de volumetrische warmtecapaciteit van water = $4,18 \times 10^6 \text{ J}/m^3/^{\circ}C$.

De nuttige warmte (E_W) die gebruikt kan worden is de bodemzijdige energie (E_B), plus de elektrische energie die wordt toegevoegd door de warmtepomp. De verhouding tussen de elektrische energie die gebruikt wordt in de warmtepomp en de totale hoeveelheid geproduceerde warmte is de COP ('Coefficient Of Performance'):

$$COP = \frac{E_W}{E_E} = \frac{E_B + E_E}{E_E} \quad (2)$$

Waarbij:

E_W : de totale geproduceerde warmte (GJ)

E_B : de aan de bodem onttrokken warmte (GJ)

E_E : de elektrische energie (GJ)

De totale geproduceerde warmte kan vervolgens worden uitgerekend als:

$$E_W = E_B \cdot \frac{COP}{(COP-1)} \quad (3)$$

De COP van een warmtepomp varieert voor verschillende type warmtepompen en is afhankelijk van de gebruikscondities. De efficiëntie van een warmtepomp neemt toe met een kleiner wordend temperatuurverschil tussen de productietemperatuur van de warmtepomp (voor ruimteverwarming circa $35 - 50^{\circ}C$ en eventueel tapwaterproductie bij circa $65 - 75^{\circ}C$) en de inkomende temperatuur uit de bodem. De temperatuur die uit de

bodem wordt geleverd varieert tussen ieder systeem, varieert afhankelijk van het moment in het jaar (relatief hoog in begin warmteleveringsseizoen, relatief laag eind warmteleveringsseizoen). Voor conventionele LT-OBES systemen wordt er grofweg met een temperatuur van 12 – 18 °C warmte onttrokken uit de warme bron en afgegeven aan de warmtepomp. Voor deze temperatuurrange varieert de COP van de warmtepomp met maximaal circa 15%. In de praktijk resulteert dit voor warmtepompen die worden toegepast bij LT-OBES in een COP tussen de 4 en de 6 (Ecensy, 2024). In deze studie is een gemiddelde waarde van COP=5 aangenomen. Bij een COP van 5 is de totale warmteleveringscapaciteit (E_w) die geproduceerd wordt met een hoeveelheid bodemwarmte (E_b) gelijk aan:

$$E_w = E_b \cdot 1,25 \quad (4)$$

Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn gebruikt om de potentiële hoeveelheid warmtelevering met OBES te berekenen per buurt voor de verschillende scenario's:

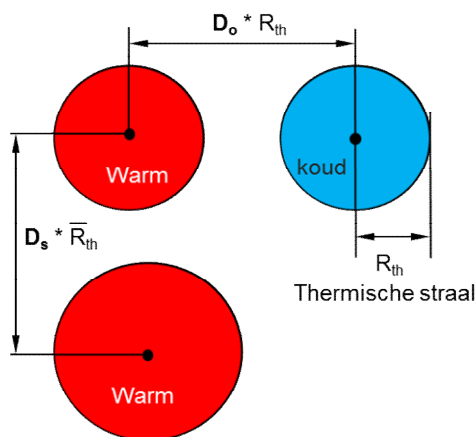
1 Verpompt volume

Het beschikbare volume grondwater (m^3) per buurt wordt berekend op basis van het oppervlak van de buurt A (m^2), de effectieve dikte van de watervoerende laag L (m) en de benuttingsgraad F_s waarmee dit volume gebruikt kan worden voor het verpompen van grondwater met OBES (%):

$$V = A \cdot L \cdot F_s \cdot 0,5 \quad (5)$$

Waarbij:

- A:** Het totale oppervlak per buurt. Dit volgt uit de GIS-analyse in Paragraaf 2.1 (zie ook Bijlage I).
- L:** De dikte van het watervoerende pakket. Voor het 1^e watervoerende pakket is een effectieve (bruikbare) dikte van 24 m aangehouden, en voor het 2^e watervoerende pakket een dikte van 64m. Ondanks dat de diepteligging van de lagen wat verloopt, en verspringt ten noorden van het centrumgebied omwille van een breuklijn, is de totale dikte voor beide watervoerende pakketten in heel Utrecht vrij consistent (WVP1 = 35 – 45m totale dikte, WVP2 = 72 – 88m totale dikte). Zie Bijlage II voor verdere beschrijving.
- F_s :** De benuttingsgraad is het percentage waarmee het volume van het watervoerende pakket in de ondergrond gebruikt kan worden voor het jaarlijks verpompen van grondwater voor OBES. De studies van Bloemendal et al. (2018), Beernink et al. (2022) en Duijff (2019) beschrijven hoe de benuttingsgraad van de ondergrond met OBES wordt beïnvloed door de plaatsingsregels van de bronnen. Bij ruimere plaatsingsregels is er minder kans op interactie (positief of negatief) tussen bronnen, en wordt de ruimte in de bodem minder effectief benut. In de huidige praktijk wordt er standaard een afstand van tweemaal de thermische straal (R_{th}) tussen bronnen van het zelfde thermische type (D_s) gebruikt (bijv. warm - warm), en driemaal de thermische straal afstand tussen bronnen van het tegenovergestelde thermische type (D_o , warm - koud) (Figuur 2-2). De studie van Beernink et al. (2022) laat zien dat de benuttingsgraad F_s ongeveer 50% is bij conventionele plaatsing ($D_s=2$, $D_o=3$) en dat bij dichtere plaatsingsregels ($D_s=1$, $D_o=2$) de benuttingsgraad F_s oploopt tot meer dan 80%.
- 0,5:** Het volume dat op de bovenstaande manier uitgerekend wordt is het totale volume dat per jaar voor verwarmen en koelen gebruikt kan worden. Uitgaande van een volumebalans, is het volume beschikbaar voor verwarmen dus de helft (50%) van het totale beschikbare grondwatervolume.



Figuur 2-2. Afstandsregels tussen OBES bronnen (Duijff, 2019). In de praktijk wordt voor conventionele OBES putten over het algemeen $D_s=2$ en $D_o=3$ toegepast.

2 Het gemiddelde temperatuurverschil (ΔT)

Het gemiddelde temperatuurverschil ($T_{\text{warme bron}} - T_{\text{koude bron}}$) tijdens warmtelevering bepaalt de hoeveelheid energie per m^3 verpompt grondwater. Bij een hogere ΔT is de warmtelevering per verpompt volume groter (en dus efficiënter). De ΔT wordt beïnvloed door onder meer de operationele/gebouwzijdige aansturing van de OBES, de mate van energiebalans en het terugwinrendement van de bronnen. In de huidige praktijk functioneren OBES met een ΔT tussen de 3 en 8 °C, met een gemiddelde van rond de 5 °C (Beernink et al., 2019; Fleuchaus et al., 2020; IF-Technology, 2016).

OBES toepassingsscenario's

De potentiële warmtelevering is bepaald voor zowel het 1e (WVP1) als het 2e watervoerende pakket (WVP2), en voor ieder pakket zijn drie verschillende toepassingsscenario's doorgerekend (Tabel 1). Bij het basisscenario 'Business as Usual' worden bronnen geplaatst met de conventionele afstandsregels ($F_s=50\%$) en met een gemiddelde $\Delta T=5$ °C. Het tweede scenario beschouwt de warmtelevering bij een dichtere plaatsing van bronnen ($F_s=80\%$). Het derde scenario past naast de dichtere plaatsing ook een grotere ΔT ($\Delta T=8$ °C) toe.

Tabel 1 De 6 scenario's die per buurt zijn doorgerekend voor de warmteleveringscapaciteit voor OBES.

Scenario's	Business as Usual (BaU)	Dichtere plaatsing bronnen	Dichtere plaatsing bronnen + grotere ΔT
WVP 1 (24 m)	1.1 $F_s = 50\%$, $\Delta T=5$ °C	1.2 $F_s = 80\%$, $\Delta T=5$ °C	1.3 $F_s = 80\%$, $\Delta T=8$ °C
WVP 2 (64 m)	2.1 $F_s = 50\%$, $\Delta T=5$ °C	2.2 $F_s = 80\%$, $\Delta T=5$ °C	2.3 $F_s = 80\%$, $\Delta T=8$ °C

2.2.2 GBES

Berekening warmteleveringscapaciteit GBES

De hoeveelheid warmte (joule) die met GBES aan de bodem kan worden onttrokken per buurt is afhankelijk van het aantal lussen (n) dat geplaatst kan worden, de lengte van de lussen (L in m), het maximale vermogen (specifiek piekvermogen) per meter lus gemiddeld over de lengte van de lus (P in W/m) en het aantal vollasturen dat iedere lus gebruikt wordt (u in uur/jaar):

$$E_B = n \cdot L \cdot P \cdot u_{eq} \cdot 3,6 \quad (6)$$

De daadwerkelijke geleverde warmte wordt vervolgens berekend rekening houdende met de toegevoegde elektrische energie in de warmtepomp (in deze studie vaste waarde voor de COP van 5 toegepast, beschrijving zie hoofdstuk 2.2.1):

$$E_W = E_B \cdot \frac{COP}{(COP-1)} = E_B \cdot 1,25 \quad (7)$$

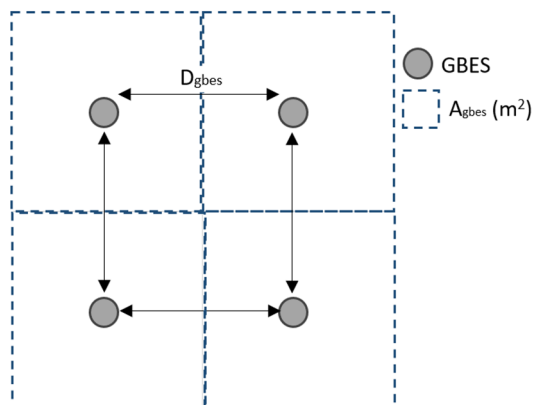
Uitgangspunten

1 Aantal GBES-lussen (n)

Het aantal GBES-lussen dat potentieel geplaatst kan worden is afhankelijk van (A) het ruimtegebruik van een GBES lus (afhankelijk van de minimale afstand tussen de lussen) en (B) de beschikbare ruimte om lussen te boren.

- (A) GBES systemen worden zo geplaatst dat er geen (of maximaal 1,5 °C) temperatuurverschil bij een andere lus optreedt door interferentie. In de praktijk betekent dit dat lussen van verschillende GBES niet dichters dan circa 10m worden geplaatst (ISSO, 2017). Mogelijk kunnen lussen dichters geplaatst worden (bijv. 7 tot 8m afstand), dit wordt momenteel onderzocht in het OPTIGBES project. Het oppervlak dat rondom een GBES niet beschikbaar is, is berekend als het oppervlak van een vierkant rondom de GBES-lus (Figuur 2-3). Bij een plaatsingsafstand van 10m kan er dus iedere 100 m² één GBES-lus worden geplaatst (de oppervlakte claim per lus).
- (B) Het oppervlak dat beschikbaar is voor het plaatsen van GBES lussen is berekend o.b.v. een GIS analyse waarbij de ruimte (m²) die bebouwd is (wegen, huizen, waterlopen) is afgetrokken van het totale oppervlak van iedere buurt (verder uitleg berekening zie box I en Bijlage I).

Het totale maximale aantal GBES lussen wordt vervolgens berekend door de totale beschikbare ruimte per buurt (m²) te delen door de oppervlakte claim per lus (m²/lus).



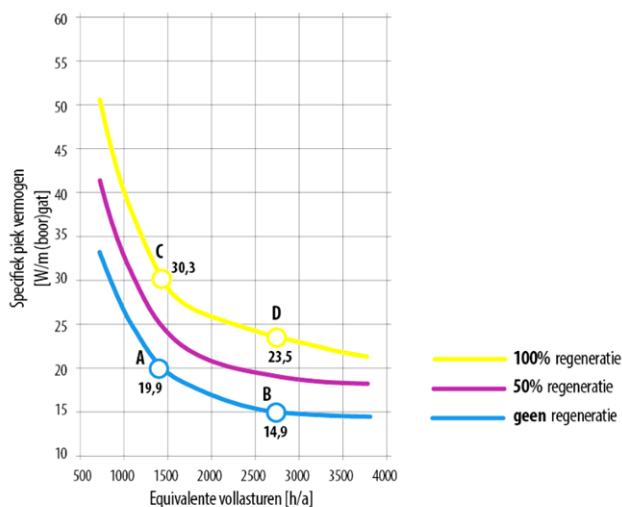
Figuur 2-3. Berekening van de oppervlakte claim (m²) per GBES-lus ($A_{gbes} = D_{gbes} \cdot D_{gbes}$).

2 Lengte van GBES-lus (L)

De lengte van iedere GBES-lus wordt bepaald door de gebruikte boordiepte, en is in de praktijk afhankelijk van het gewenste vermogen of de regelgeving. In deze studie worden twee boordiepten beschouwd, vanaf maaiveld tot de onderkant van WVP1 (50m) en vanaf maaiveld tot de onderkant van WVP2 (150m). Voor alle buurten in Utrecht is dezelfde laagopbouw aangenomen (Bijlage II).

3 Specifiek piekvermogen (P) en equivalente vollasturen (u_{eq})

Het specifieke vermogen van een lus hangt onder andere af van het gemiddelde temperatuurverschil tussen de circulatievloeistof en de omringende bodem (o.a. beïnvloedt door de mate van energiebalans), de thermische eigenschappen van de lus en geohydrologische en thermische eigenschappen van de bodem. Op basis van de ontwerprichtlijnen van de ontwerptechnische kwaliteitseisen en uitvoeringsrichtlijnen in ISSO (2017), kan het specifieke piekvermogen (W/m) van een lus worden ingeschat voor het aantal equivalente vollasturen dat een GBES gebruikt gaat worden, afhankelijk van de mate van regeneratie van de lus (mate van energiebalans) (Figuur 2-4). Voor het gebruik van een GBES met 2000 equivalente vollasturen varieert het specifieke bodemzijdige piekvermogen van circa 17,5 tot iets meer dan 25 W/m, afhankelijk van de mate van regeneratie. In deze studie beschouwen we een gemiddeld functionerend systeem (50% regeneratie, 20 W/m) en een systeem dat in energiebalans opereert (100% regeneratie, 25 W/m).



Figuur 2-4. Samenhang tussen het aantal equivalente vollasturen (x-as), en de mate van regeneratie voor het te verwachten specifieke vermogen (y-as) van een GBES lus, gemiddeld over de totale duur van het gebruik van de lus (bijv. 25 jaar) (ISSO, 2017).

GBES toepassingsscenario's

De potentiële warmtelevering is bepaald voor GBES-lussen met een boordiepte van maaiveld tot de onderkant van WVP1 (50m diepte) en met een boordiepte van maaiveld tot aan de onderkant van WVP2 (150m). Voor beide luslengtes zijn drie verschillende scenario's doorgerekend (Tabel 2). Bij het basisscenario 'Business as Usual' worden lussen geplaatst met een afstand van 10m ($D_{\text{gbes}} = 10\text{m}$) en met het specifieke piekvermogen van $P=20\text{ W/m}$ bij 2000 equivalente vollasturen. Het tweede scenario beschouwt de warmtelevering bij 100% regeneratie (energiebalans) van de lus ($P=25\text{ W/m}$ bij 2000 vollasturen). Het derde scenario past naast de energiebalans ook een dichtere plaatsing toe van GBES lussen $D_{\text{gbes}}=7,5\text{m}$.

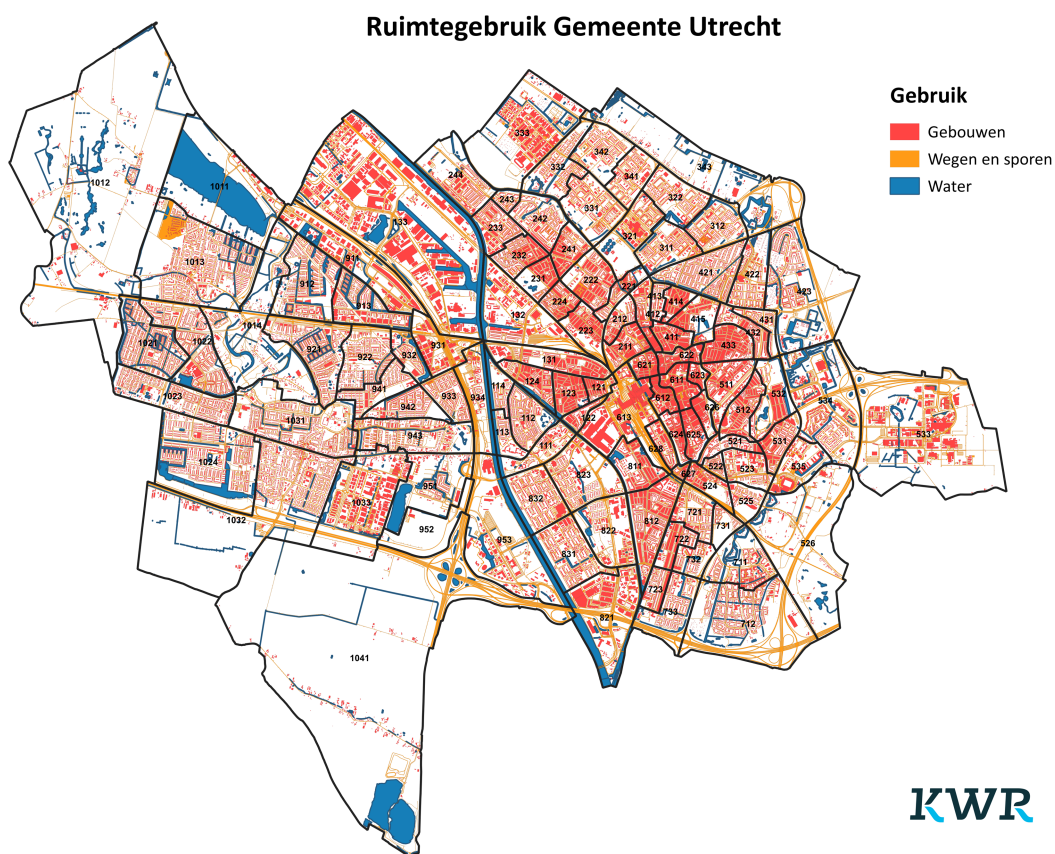
Tabel 2 De 6 scenario's die per buurt zijn doorgerekend voor de warmteleveringscapaciteit voor GBES. Voor alle berekeningen is $u_{\text{eq}}=2000$.

Scenario's	Business as Usual (BaU)	Energiebalans (100% regeneratie)	Energiebalans + dichtere plaatsing
Onderkant WVP 1 (50 m)	1.1 $P= 20\text{ W/m}$, $D_{\text{gbes}}= 10\text{m}$	1.2 $P= 25\text{ W/m}$, $D_{\text{gbes}}= 10\text{m}$	1.3 $P= 25\text{ W/m}$, $D_{\text{gbes}}= 7,5\text{m}$
Onderkant WVP 2 (150 m)	2.1 $P= 20\text{ W/m}$, $D_{\text{gbes}}= 10\text{m}$	2.2 $P= 25\text{ W/m}$, $D_{\text{gbes}}= 10\text{m}$	2.3 $P= 25\text{ W/m}$, $D_{\text{gbes}}= 7,5\text{m}$

Box: berekening beschikbare ruimte voor GBES

De straal van thermische beïnvloeding rondom een GBES-lus is in de regel slechts enkele meters. Voor verticale bodemlussen betekent dit dat het bestaande bovengrondse ruimtegebruik een obstakel vormt en de ondergrond niet volledig benut kan worden. Voor een woning zal er bijvoorbeeld niet in én vaak ook niet achter de woning geboord worden, omdat dit voor een boorwagen praktisch niet haalbaar is. Ditzelfde geldt ook voor waterlopen en wegen, voor deze laatste mede omdat bestaande ondergrondse infrastructuur ontweken moet worden. Om een indicatie te krijgen van de ondergrondse ruimte die niet beschikbaar is voor GBES door dergelijke beperkingen, is tijdens deze studie de ruimte aan het oppervlak bezet door gebouwen, wegen, sporen en water per buurt als niet voor GBES beschikbaar verondersteld (Figuur 2-5).

De gebouwen en waterlopen in de Gemeente Utrecht zijn afgeleid uit de TOP10NL-dataset (PDOK, 2023b), wegen en sporen uit de BGT-dataset (PDOK, 2023a). Voor de dataset van de wegen en sporen zijn de bezette oppervlaktes van het type 'voetpad', 'voetgangersgebied' en 'parkeerplaatsen' niet meegenomen en worden deze dus wel gezien als beschikbare ruimte voor GBES. In de praktijk zal een deel van de ruimte onder één van de genoemde objecten wel beschikbaar zijn voor GBES, bijvoorbeeld wanneer een bodemlus vlakbij een gevel of weg geplaatst wordt. Anderzijds worden hier andere beperkingen zoals de eerder genoemde achtertuinen juist niet in meegenomen. Het betreft hier dus slechts een indicatie van de beschikbare ruimte per buurt.



Figuur 2-5. Gebruikte ruimte in de Gemeente Utrecht, als indicatieve ruimte die niet beschikbaar is voor GBES. Voetpaden, voetgangersgebied en parkeerplaatsen maken geen onderdeel uit van dit ruimtegebruik en zijn dus beschikbaar voor GBES. Gebouwen en water zijn verkregen uit TOP10NL, wegen en sporen uit BGT.

2.3 Huidige warmtelevering OBES en GBES per buurt

In de onderstaande paragrafen wordt beschreven hoe de huidige warmtelevering met OBES en GBES per buurt is berekend. Op basis van een GIS-analyse is bepaald in welke buurt ieder systeem zich bevindt. Voor systemen die zich op de rand van een buurt bevinden is aangenomen dat een systeem alleen gebruik maakt van de ruimte in de bodem in de buurt waarin de bronnen (voor OBES) of bodemlussen (voor GBES) gelegen zijn.

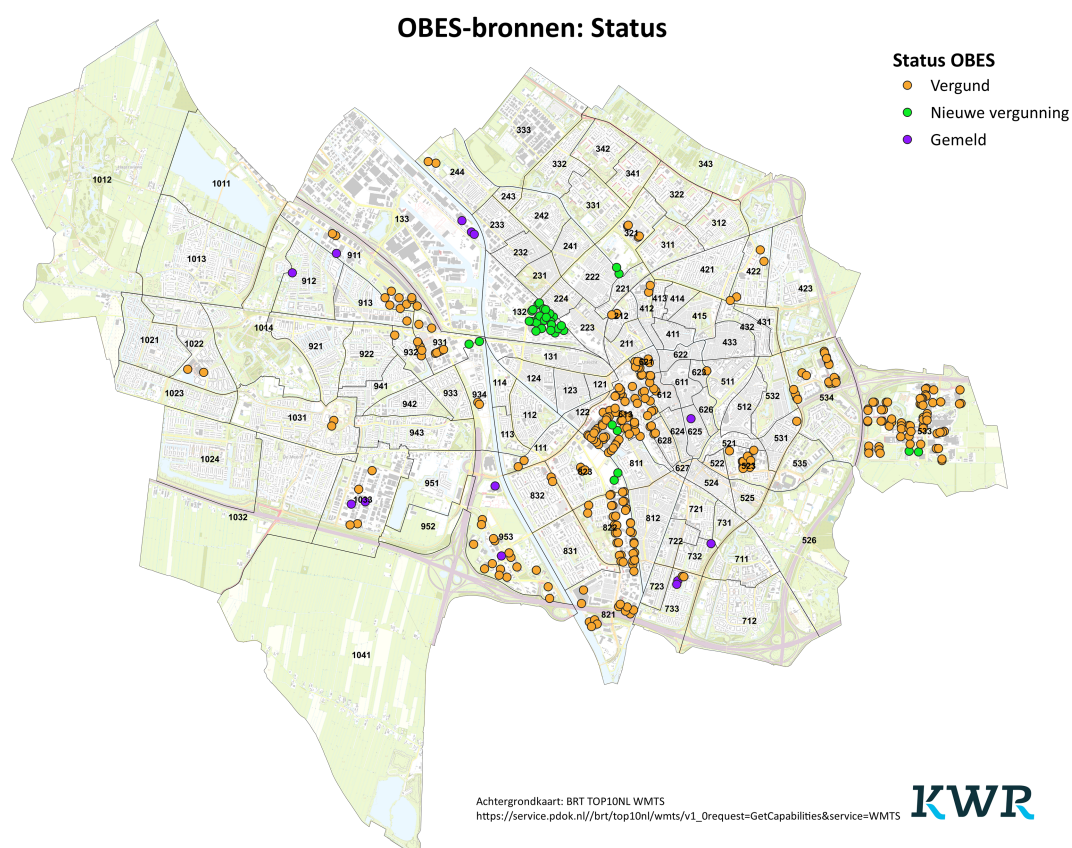
2.3.1 OBES

Voor het verkrijgen van de locaties en eigenschappen van de OBES-systemen in de gemeente Utrecht is gebruik gemaakt van de volgende 3 datasets:

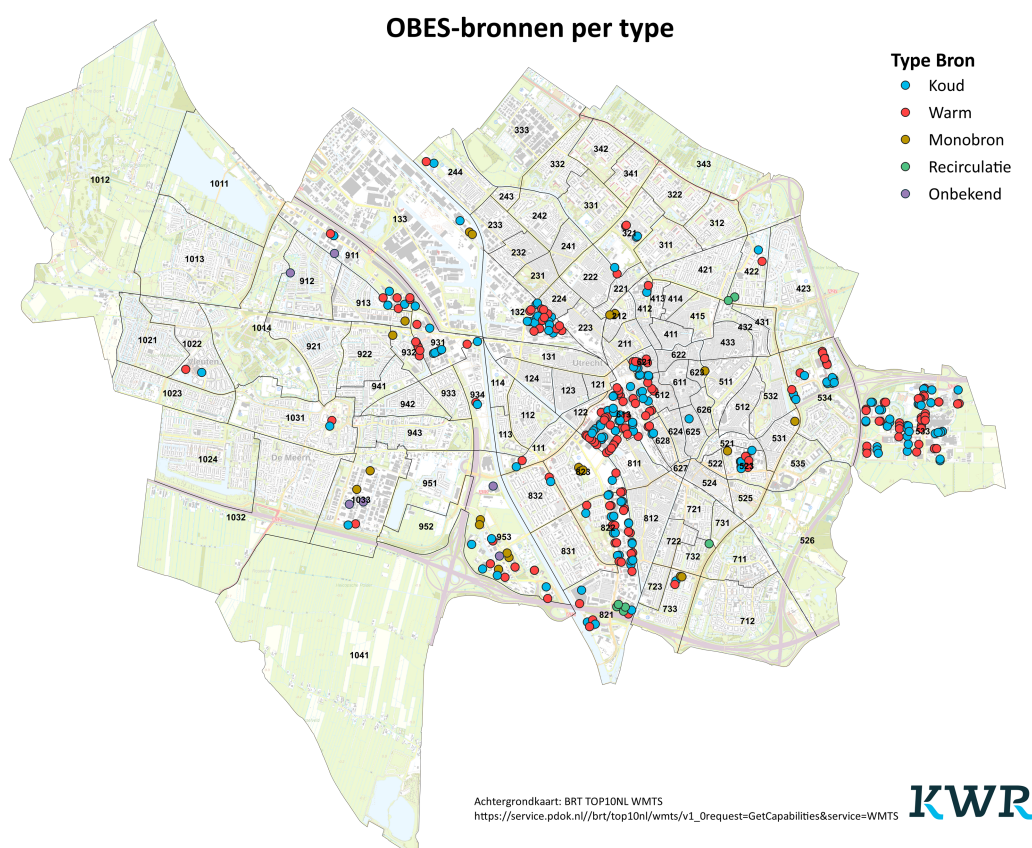
- a De registratie van Open Bodemenergiesystemen door de Provincie Utrecht zoals geleverd aan de gemeente Utrecht (aangeleverd door gemeente Utrecht op 6 november 2023).
- b De OBES-bronnen in het Landelijk Grondwater Register (LGR) op 6 november 2023 (aangeleverd door gemeente Utrecht op 6 november 2023).
- c Gegevens over de OBES-systemen, de bronlocaties en de jaaropgaven (niet volledig, aangeleverd door RUD op 27 oktober 2023).

Hierbij diende dataset a als uitgangspunt, waarin 72 vergunde en 12 gemelde systemen opgenomen zijn, waarvan de meest recente uit januari 2022. Aanvullend hierop zijn o.b.v. dataset b 6 recent vergunde systemen toegevoegd, waarbij de vergunning is verleend in de periode mei 2022 tot maart 2023 (Figuur 2-6). Daarnaast zijn dataset b en dataset c gebruikt om ontbrekende gegevens in dataset a in te vullen. Dit betrof voornamelijk de bronlocaties van de gemelde systemen. In totaal zijn er dus 90 OBES systemen meegenomen in de studie, bestaande uit 370 bronnen (zie Figuur 2-6, Figuur 2-7 en Figuur 2-8). Voor een aantal systemen was daarnaast het watervoerend pakket waarin het systeem is geplaatst niet opgenomen. Voor de ontbrekende data kon deze worden afgeleid aan de hand van de filterdiepte van de systemen. Het merendeel van de systemen ligt in het eerste watervoerende pakket (Figuur 2-8).

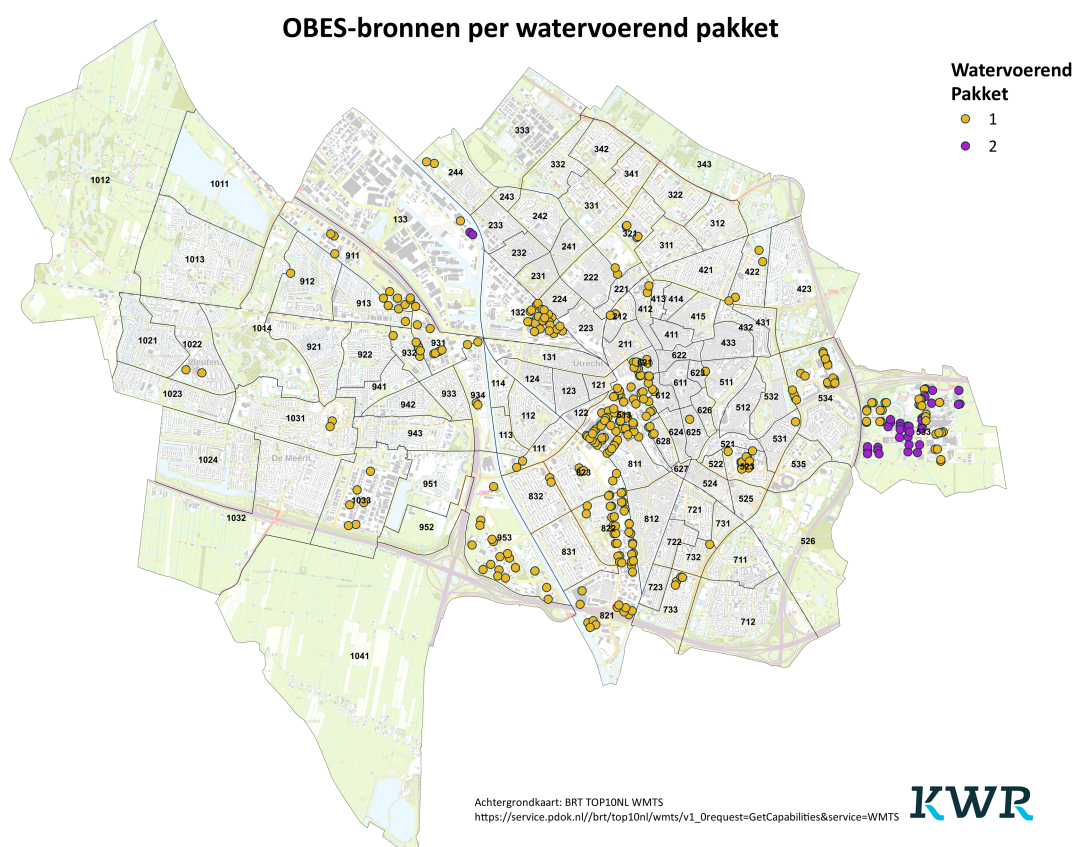
Voor slechts 4 van de 12 gemelde systemen is een jaarlijkse waterverplaatsing opgegeven. De gemiddelde waterverplaatsing van deze 4 systemen ($59.635 \text{ m}^3/\text{jaar}$) is daarom aangenomen als het gemiddelde van de verpompte hoeveelheid en gebruikt voor de overige 8 systemen. Voor bodemenergiesystemen geldt een vergunningsplicht bij een uur-debiet van meer dan $10 \text{ m}^3/\text{uur}$ oftewel $87.600 \text{ m}^3/\text{jaar}$. De 8 overige gemelde systemen zullen dus een jaarlijks verpompt volume hebben dat lager ligt dan dit getal. De 78 vergunde systemen in Utrecht hebben daarentegen een gemiddeld jaarlijks debiet van $669.300 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Afwijkingen van de aangenomen waarde ($59.635 \text{ m}^3/\text{jaar}$) voor de 8 gemelde systemen waarvan de waterverplaatsing niet bekend was, hadden dus naar verwachting een relatief kleine invloed op de inschatting van de warmtelevering per buurt.



Figuur 2-6. OBES-bronnen in de gemeente Utrecht, uitgesplitst naar status. Nieuwe vergunningen zijn hierbij vergunningen aangevraagd in de periode mei 2022 tot maart 2023, die nog niet in de registratie van de gemeente Utrecht zelf opgenomen waren.



Figuur 2-7. OBES-bronnen per type. Voor een aantal gemelde systemen is het systeemtype onbekend. Voor het doublet in buurt-ID 625 slechts één putlocatie.



Figuur 2-8. OBES-bronnen per watervoerend pakket.

Voor het berekenen van het huidige OBES-gebruik per buurt is aangenomen dat ieder systeem zich in een enkele buurt bevindt. Op één na is dit voor ieder systeem ook in de praktijk het geval. Hierbij is de buurt bepaald aan de hand van de locatie van de eerste put in de dataset; voor doubletsystemen is dit de eerste koude put.

Voor het bepalen van de huidige warmtelevering van OBES per buurt en per watervoerend pakket is in eerste instantie gekeken naar de som van de gemelde 'theoretisch benodigde warmte' per systeem zoals opgenomen in de vergunning. Deze data is echter niet bekend voor de gemelde systemen, de nieuw vergunde systemen, en een deel van de vergunde systemen. Daarom is in plaats daarvan gebruik gemaakt van het vergunde (of gemelde) jaarlijkse volume van de systemen. Op basis van het verpompte volume is vervolgens de warmtelevering berekend volgens (gelijk aan de berekening van de capaciteit in Hoofdstuk 2.2.1):

$$E_w = 0,5 \cdot V \cdot \Delta T \cdot C_w \cdot \frac{COP}{(COP-1)} \quad (8)$$

Waarbij:

E_w = Warmtelevering [J/jaar]

V = Verpompt volume [m³/jaar]

ΔT = Aangenomen temperatuurverschil over de warmtewisselaar (5 °C)

C_w = Warmtecapaciteit van water (4,18 x 10⁶ J/m³/°C)

COP = Efficiëntie van de warmtepomp, hier $COP=5$ (zie Hoofdstuk 2.2.1)

De factor 0,5 in vergelijking 8 is toegevoegd omdat ongeveer de helft van het verpompte volume gebruikt is voor verwarming en de helft voor verkoeling. Een energie- en waterbalans maakt namelijk onderdeel uit van de vergunning.

2.3.2 GBES

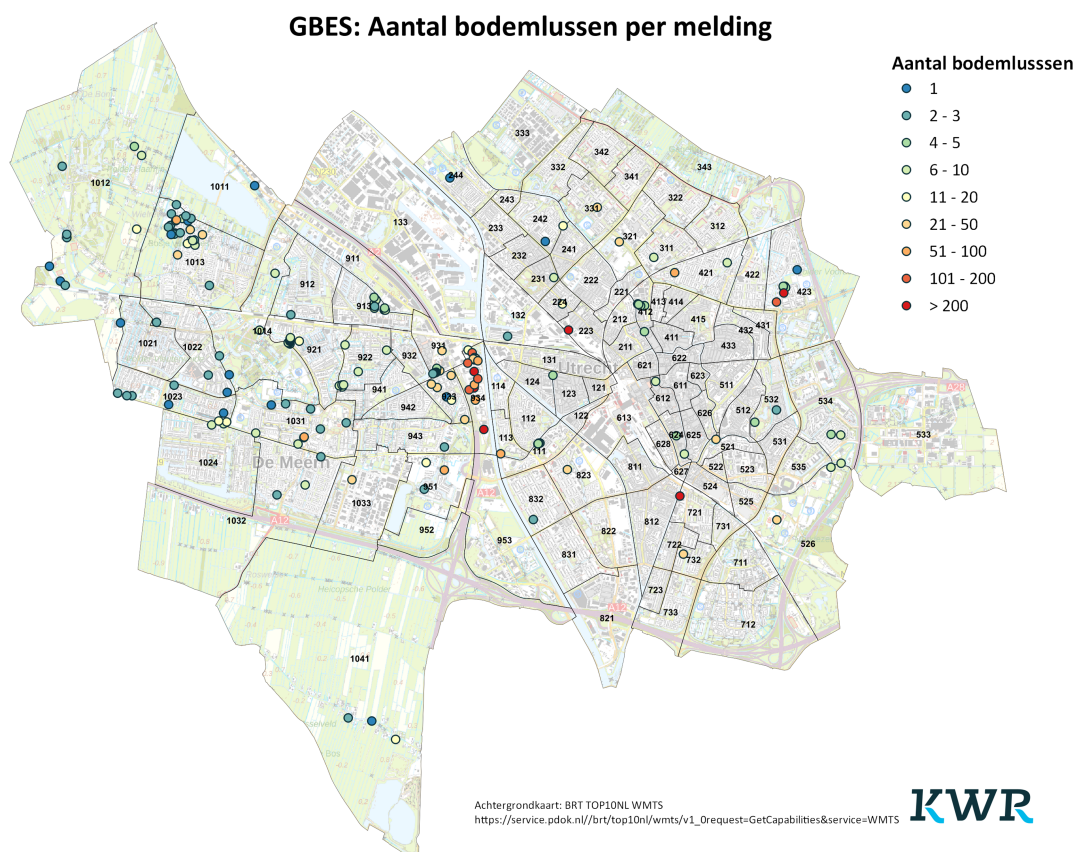
Voor het verkrijgen van de locaties en eigenschappen van de gesloten bodemenergiesystemen (GBES) in de gemeente Utrecht is gebruik gemaakt van de dataset van gemelde bodemenergiesystemen in de periode 2014-2023 aangeleverd door de gemeente Utrecht d.d. 27 oktober 2023. Hierin zijn 177 meldingen opgenomen, waarbij het aantal bodemlussen sterk varieert tussen 1 en 283 per melding (Figuur 2-9). In de meeste gevallen bevat iedere melding 1 systeem. Echter zijn er ook meldingen waarin meerdere systemen zijn opgenomen, tot maximaal 84. In totaal zijn er 4350 gemelde bodemlussen in de gemeente Utrecht. In deze dataset is voor elk systeem de XY-locatie opgegeven. Aangenomen is dat alle lussen binnen een melding liggen in de buurt waarbinnen deze locatie zich bevindt. Bij enkele meldingen is geen XY-locatie opgegeven; voor deze meldingen is de locatie herleid aan de hand van het adres of de adressen die voor ieder systeem in de dataset opgenomen zijn.

Sinds 1 juli 2013 geldt er een meldingsplicht bij het aanleggen van een GBES volgens het wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen (Staatsblad-112, 2013). Voor systemen die zijn aangelegd vóór deze datum gold deze meldingsplicht dus niet en daarom zijn deze systemen niet in beeld bij de gemeente Utrecht. Uitzondering hierop zijn een drietal systemen, 2 uit 2009 en 1 uit 2012, die met terugwerkende kracht bij de gemeente zijn gemeld. Het is zeer waarschijnlijk dat het aantal bodemlussen in Utrecht hoger is dan de gemelde 4350.

Voor een inschatting van het aantal niet gemelde GBES-lussen van vóór juli 2013 kan gebruik worden gemaakt van de CBS statistieken voor GBES in heel Nederland (CBS, 2023). Daar is een inschatting gemaakt van het aantal bodemwarmtepompen aangesloten op GBES van vóór 1 juli 2013. In heel Nederland was het aantal van dit type warmtepompen eind 2013 geschat op 22.101 en voor eind 2021 op 83.686, een toename van 61.585 bodemlussen. In Utrecht is het aantal bodemlussen in diezelfde periode met 3.756 toegenomen. Met als aanname dat de verhouding tussen het aantal bodemlussen per warmtepomp niet is veranderd over de tijd en dat het aantal systemen zich in de gemeente Utrecht op dezelfde ontwikkeld als in de rest van Nederland, zou dit betekenen dat er, op basis van de verhoudingen van het aantal bodemwarmtepompen van voor eind 2013 en voor eind 2021, er

eind 2013 al ca. 1.348 bodemlussen in Utrecht aanwezig zouden zijn, waarvan er dan slechts 75 (~5%) bekend zijn binnen de drie met terugwerkende kracht gemelde systemen.

Omdat de locaties van de overig voor 2013 gerealiseerde lussen niet bekend zijn, is de in deze studie gerapporteerde huidige en verwachte toekomstige toepassing van GBES systemen een onderschatting.



Figuur 2-9. Verspreiding van GBES in de gemeente Utrecht en aantal bodemlussen per melding.

Voor het bepalen van de warmtelevering van GBES per buurt is gebruik gemaakt van de warmtevraag gesommeerd per melding, zoals opgenomen in de aangeleverde dataset. Een deel van GBES in de gemeente Utrecht ligt niet dieper dan tot de onderkant van WVP1, terwijl andere lussen tot de onderkant van WVP2 gaan (Figuur 2-10). Met name ten oosten van het Amsterdam-Rijnkanaal liggen de GBES-bodemlussen niet dieper dan WVP1. Dit houdt verband met de beperkingen die in een groot deel van dit gebied gelden voor het boren dieper dan WVP1, ter voorkoming van de verspreiding van de aanwezige verontreinigingen van WVP1 naar WVP2 (RoyalHaskoningDHV & Gemeente-Utrecht, 2015).

In deze studie is onderscheid gemaakt tussen de warmtelevering door bodemlussen tot de onderkant van watervoerend pakket 1 (WVP1) en tot de onderkant van watervoerend pakket 2 (WVP2). Voor de onderkant van WVP1 is een gemiddelde diepte van 50 m-mv aangenomen (zie Paragraaf 2.2 en Bijlage II). Echter varieert deze diepte in de praktijk enigszins, waardoor de einddiepte van sommige bodemlussen net iets dieper is dan 50 m-mv, maar niet tot in WVP2 reikt. Daarom zijn alle GBES waarvan de bodemlussen tot maximaal 60 m-mv maaiveld liggen beschouwd als GBES die volledig in WVP1 liggen. Hiervoor is de volledige 'gesommeerde warmtevraag' meegenomen voor de totale warmtelevering. Voor systemen die doorlopen tot onder WVP1 is ook los berekend

hoeveel warmte de lus uit het ondiepe deel (tot einde WVP1) en uit het diepe deel (tot einde WVP2) haalt. Om dit te berekenen is de warmtelevering verhoudingsgewijs gecorrigeerd:

$$E_{GBES,WVP1} = \frac{50}{L_{GBES}} * E_{GBES,tot} \quad L_{GBES} > 60 \quad (9)$$

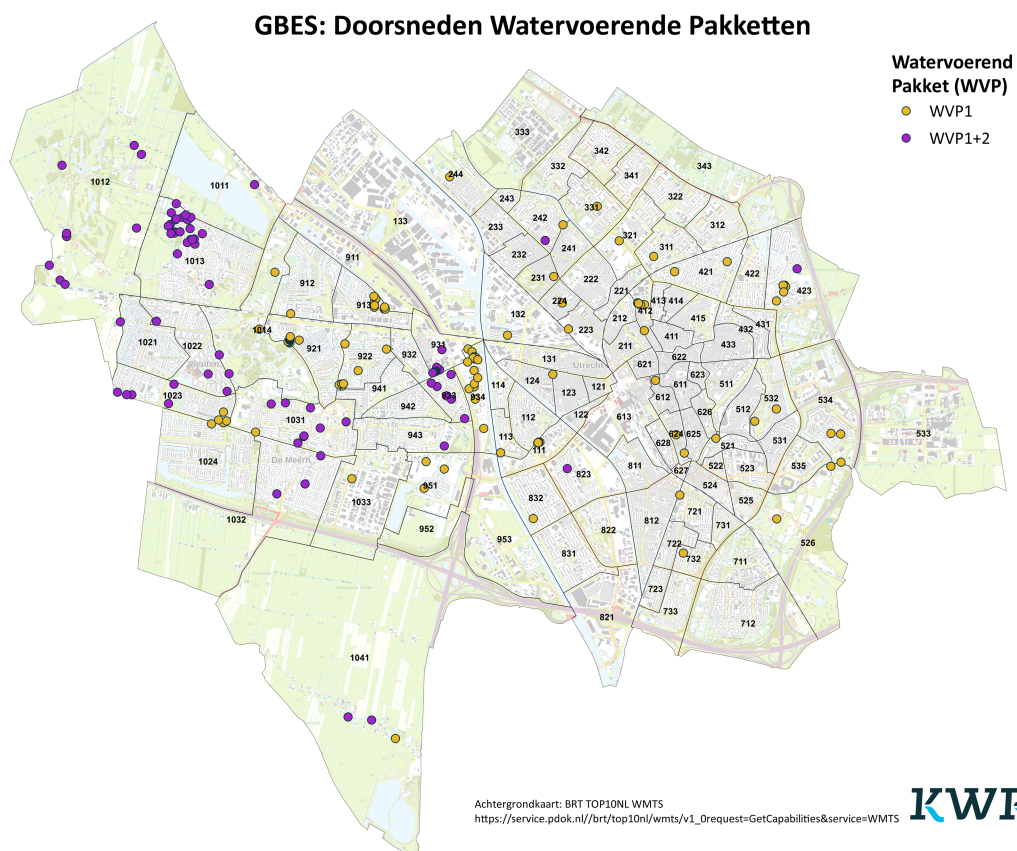
$$E_{GBES,WVP1} = E_{GBES,tot} \quad L_{GBES} \leq 60 \quad (10)$$

Waarbij:

- $E_{GBES,WVP1}$ = De warmtelevering van het GBES tot de onderkant van WVP1 [GJ]
 $E_{GBES,tot}$ = De totale warmtelevering van het GBES, de 'gesommeerde warmtevraag' [GJ]
 L_{GBES} = De einddiepte van de lussen in het GBES [m-mv]

De correctiefactor betreft hier nog wel 50 meter (en niet 60 meter), omdat 50 m-mv als de gemiddelde einddiepte van WVP1 is verondersteld. De totale warmtelevering per buurt tot de onderkant van WVP1 is gelijk aan de gesommeerde $E_{GBES,WVP1}$ van alle systemen in een buurt. De totale warmtelevering per buurt tot de onderkant van WVP2 is gelijk aan de gesommeerde $E_{GBES,tot}$ van alle systemen in een buurt. De warmtelevering tot de onderkant van WVP2 is dus per buurt altijd groter of gelijk aan de warmtelevering tot de onderkant van WVP1.

Voor een tweetal GBES was er geen gesommeerde warmtevraag beschikbaar in de gebruikte dataset. Voor deze twee systemen is de warmtevraag ingeschat door de totale lengte van alle bodemplussen binnen de systemen te vermenigvuldigen met de gemiddelde warmtelevering per meter van de overige 175 GBES.



Figuur 2-10. Ligging van GBES in de gemeente Utrecht en de watervoerende pakketten die de bodemplussen doorsnijden.

2.4 Huidige en toekomstige warmtevraag bodemenergie per buurt

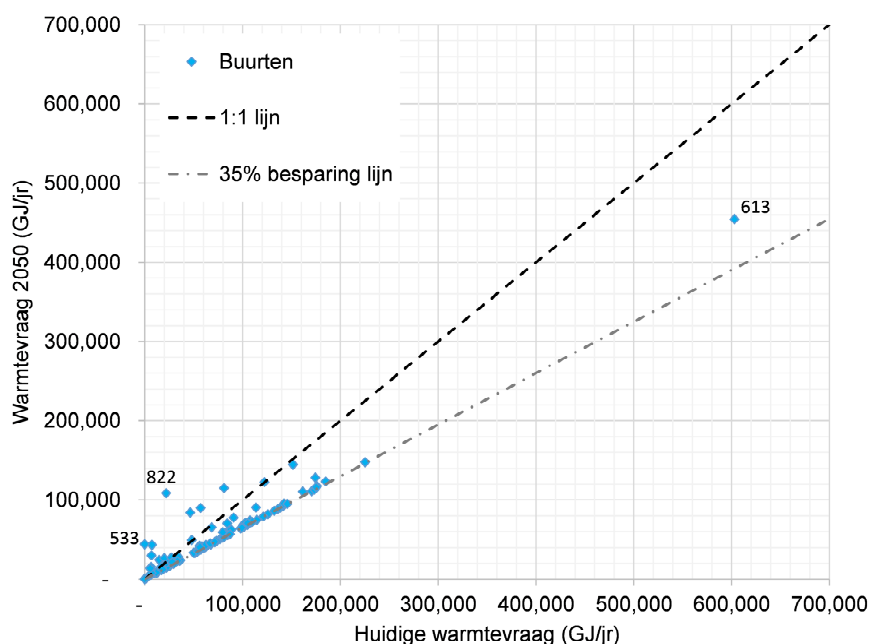
Een dataset van de huidige en toekomstige (2050) warmtevraag per buurt in Utrecht is aangeleverd door de gemeente Utrecht. Dit betreft gegevens geproduceerd in 2020 met het 'Vesta Mais ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving'. In Vesta Mais wordt op basis van o.a. het aantal huizen, type huizen, oppervlak utiliteit en de mate van isolatie de totale warmtevraag ingeschat voor een buurt.

Van de totale warmtevraag per buurt kan een deel worden ingevuld door warmtelevering met het warmtenet. Per buurt is door de gemeente Utrecht aangeleverd hoeveel procent van de warmtevraag wordt ingevuld door het warmtenet. De huidige niet ingevulde warmtevraag die voor deze studie wordt gebruikt betreft dus de totale warmtevraag minus de warmtevraag die wordt ingevuld door warmtenetten. De invulling door warmtenetten varieert sterk per buurt, en dekt voor de totale gemeente iets meer dan 27% van de totale warmtevraag. De totale warmtevraag voor de gemeente Utrecht die naast de invulling door het warmtenet nog openstaat betreft per jaar ongeveer 8 miljoen GJ.

Op basis van de huidige energievraag wordt de warmtevraag in 2050 berekend met de volgende aannames:

- 35% energiebesparing (door o.a. isolatie, slimmer gebruik van verwarming)
- 15 GJ per nieuw te bouwen huis (aantal nieuwbouwhuizen per buurt is ook aangeleverd)

Voor buurten waar veel nieuwbouw staat gepland kan de energievraag dus toe nemen richting het jaar 2050 (Figuur 2-11). Voor buurten waar weinig uitbreiding is gepland, het merendeel van de buurten, is de totale energievraag in 2050 minder dan de huidige energievraag door de energiebesparende maatregelen.



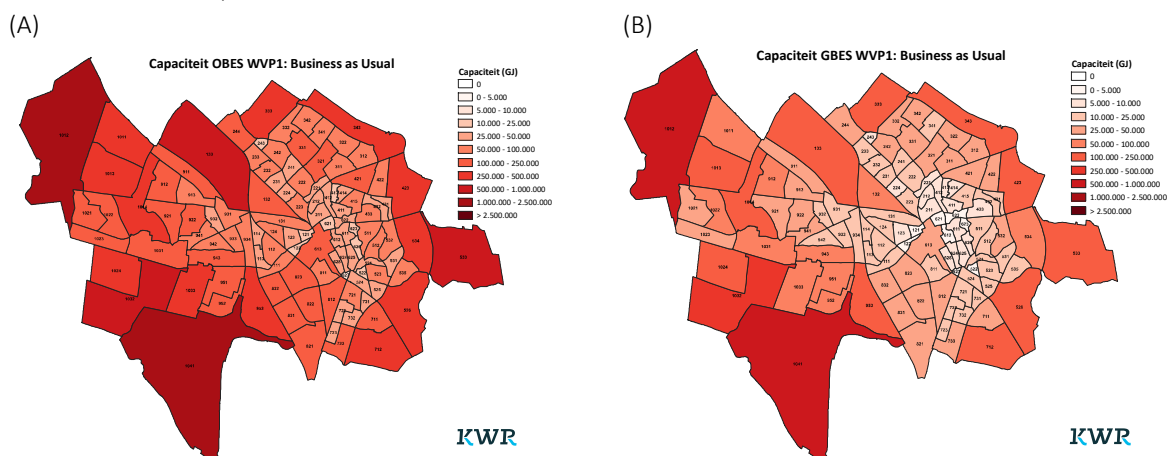
Figuur 2-11. Huidige en toekomstige (2050) warmtevraag voor de 111 buurten in Utrecht. Drie buurten met een relatief grote warmtevraagverandering zijn uitgelicht: buurt 533: Utrecht Science Park, buurt 822: Transwijk-zuid en buurt 613: Hoog Catharijne, NS, Jaarbeurs.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden in 3.1 – 3.3 de berekende potentiële capaciteit van de bodem voor warmtelevering met OBES en GBES gepresenteerd voor het Business as Usual (BaU) scenario in WVP1 (OBES in WVP1, GBES boordiepte tot onderkant WVP1) (3.1), en vergeleken met de huidige warmtelevering (3.2) en toekomstige warmtevraag in 2050 (3.3). In hoofdstuk 3.4 wordt voor OBES het BaU scenario in WVP1 vergeleken met de resultaten van de andere toepassingsscenario's, en het effect van het gebruik van WVP2 (OBES in WVP2, GBES tot onderkant WVP2 (150m lus-lengte)). Daarnaast zijn alle kaartresultaten te vinden in Bijlage III, en als resultaat in het Excel rekenbestand. Ook zijn alle kaarten als kaartbestand en figuur aangeleverd aan de gemeente Utrecht.

3.1 Potentiële capaciteit van de bodem voor warmtelevering met OBES en GBES

De potentiële warmteleveringscapaciteit (GJ/jr) per buurt is gepresenteerd in Figuur 3-1. De capaciteit per buurt wordt in grote mate bepaald door de oppervlakte van een buurt. Zo heeft de grote buurt Rijnenburg (buurt 1041, links onderin) een grote potentiële capaciteit (1,7 miljoen GJ/jr OBES, 866 duizend GJ/jr GBES) door het bijbehorende grote ondergrondse volume. Voor GBES bepaalt daarnaast de bebouwingsgraad van de buurt of er een grote potentiële capaciteit is voor warmtelevering met GBES. In de dichtbebouwde gebieden van Utrecht in het centrum (bijv. Hoog Catharijne [buurt 613] en Lombok-oost [buurt 121]) is de capaciteit voor GBES dus relatief klein (29 duizend GJ/jr en 4 duizend GJ/jr) t.o.v. de potentie voor OBES (165 duizend GJ/jr en 21 duizend GJ/jr). De potentiële capaciteit van GBES is in alle buurten kleiner dan de capaciteit van OBES. Ten opzichte van de capaciteit van OBES, heeft GBES voor de dichtst bebouwde buurt slechts 11% van de OBES capaciteit. De buurt Haarzuilens [buurt 1012] is de minst bebouwde buurt in Utrecht met 93% onbebouwd gebied. Voor deze buurt is de capaciteit van GBES 53% van de capaciteit van OBES.



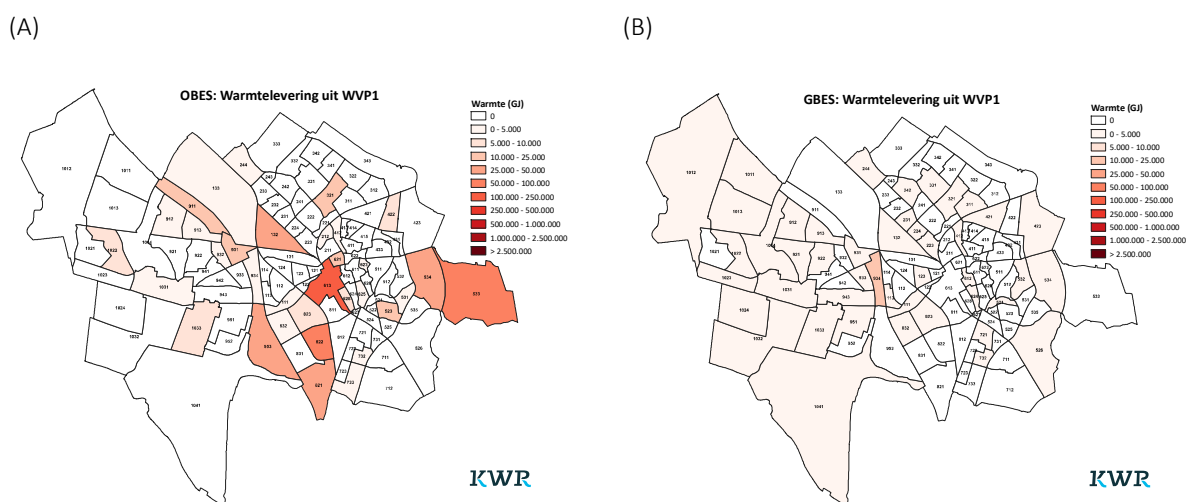
Figuur 3-1. Potentiële warmtelevering (GJ/jr) door de bodem voor het Business as Usual scenario, voor (A) OBES in WVP1 of (B) GBES tot de onderkant van WVP1. De totale potentiële capaciteit in WVP1 is met OBES in totaal 15,5 miljoen GJ per jaar, en met GBES in totaal 6,0 miljoen GJ per jaar.

3.2 Huidige warmtelevering met OBES en GBES

De huidige warmtelevering door OBES en GBES uit WVP1 is gepresenteerd in Figuur 3-2. In 33 van de 111 buurten in Utrecht wordt momenteel OBES toegepast. OBES wordt al relatief veel gebruikt in vooral het centrum gebied (Figuur 3-2A). In het centrum is buurt 613 de buurt met de grootste warmtelevering door OBES (Hoog Catharijne) met 93 duizend GJ/jr per jaar. In gemeente Utrecht is Buurt 533 (Utrecht Science Park, rechts op kaart) de buurt met de grootste huidige warmtelevering met OBES (130 GJ/jr) op dit moment.

In 45 van de 111 buurten in Utrecht wordt GBES toegepast. GBES wordt juist minder in het centrum gebruikt (Figuur 3-2B). In veel van de buurten aan de buitenrand van Utrecht wordt GBES op relatief kleine schaal toegepast, en is op dit moment per buurt de totale warmtelevering door GBES kleiner dan 5000 GJ/jr. In 66 buurten in Utrecht is er op dit moment geen warmtelevering met GBES. De buurt Leeuwesteyn [buurt 934] heeft relatief veel nieuwbouwapartementen die gebruik maken van een GBES. Deze buurt heeft momenteel de grootste huidige warmtelevering door GBES uit WVP1, in totaal 12 duizend GJ/jr.

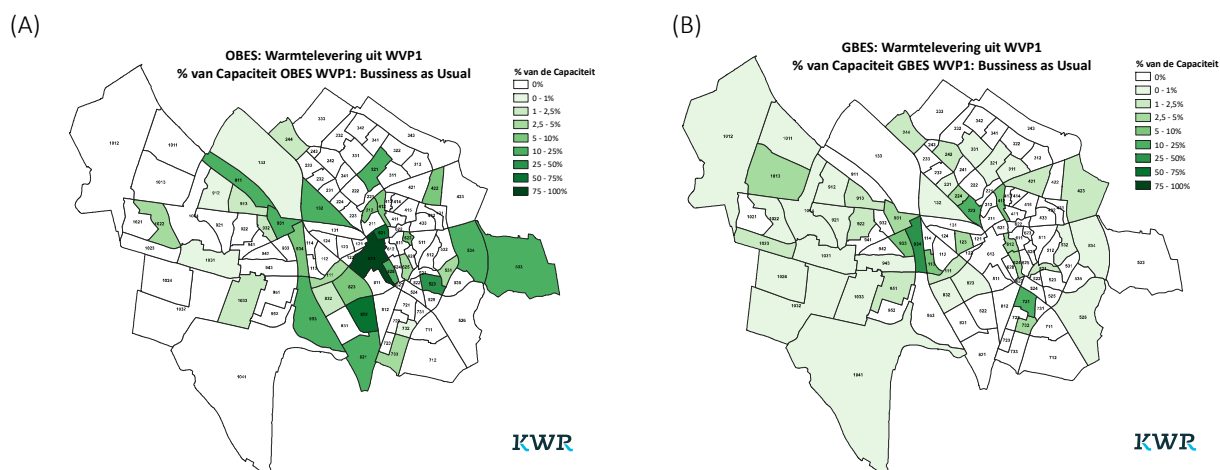
Van alle 111 buurten wordt er op dit moment in 62 buurten warmte geleverd met bodemenergie (OBES en/of GBES). Er zijn 16 buurten waar zowel OBES en GBES worden toegepast.



Figuur 3-2. De huidige warmtelevering door OBES in WVP1 (A) en GBES-lussen tot de onderkant van WVP1 (B). Warmtelevering met OBES is in Utrecht in totaal 692 duizend GJ/jaar, warmtelevering met GBES is in totaal 52 duizend GJ/jaar.

De huidige warmtelevering met OBES in WVP1 is in de meeste buurten relatief klein ten opzichte van de potentiële capaciteit, gemiddeld voor alle buurten slechts 3.9% (Figuur 3-3A). Er zijn echter twee buurten waar de huidige warmtelevering door OBES meer is dan 50% van de theoretische potentiële capaciteit; in de buurt “Hoog Catharijne, NS, Jaarbeurs” [buurt 613] wordt op dit moment 75% van de berekende potentiële capaciteit geleverd, en in Wijk-C [buurt 621] 60%.

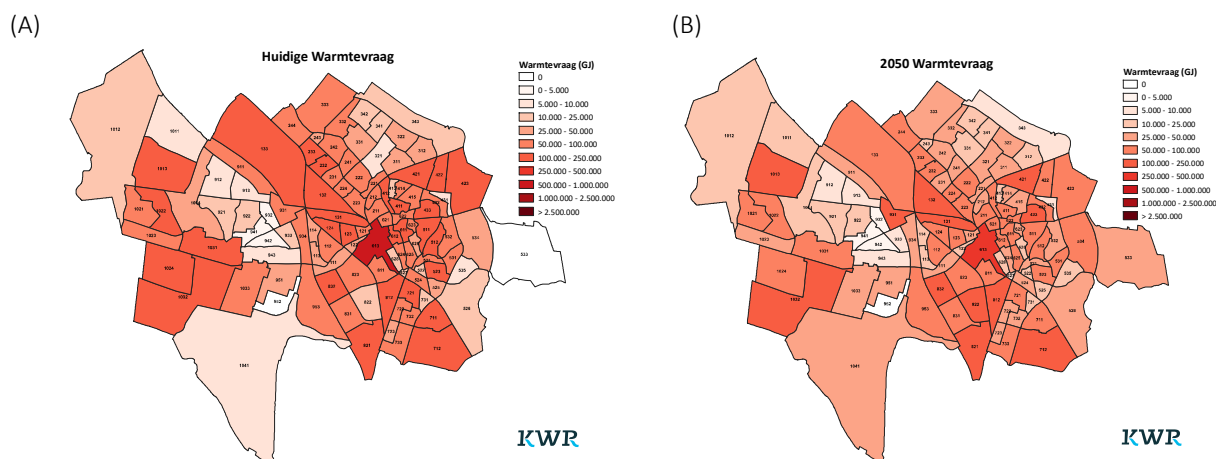
Voor de 45 buurten met minimaal één GBES, is de huidige warmtelevering met GBES slechts gemiddeld 3% van de totale potentiële capaciteit in WVP1 (Figuur 3-3B). De buurt Leeuwesteyn [buurt 934] heeft op dit moment het hoogste percentage in gebruik ten opzichte van de berekende capaciteit (47%).



Figuur 3-3. De huidige warmtelevering relatief t.o.v. de maximale capaciteit voor de buurt, hoe donkerder de kleur, hoe hoger het percentage van de capaciteit is al aangevuld op dit moment. (A) voor OBES in WVP1 en (B) voor GBES tot de onderkant van WVP1.

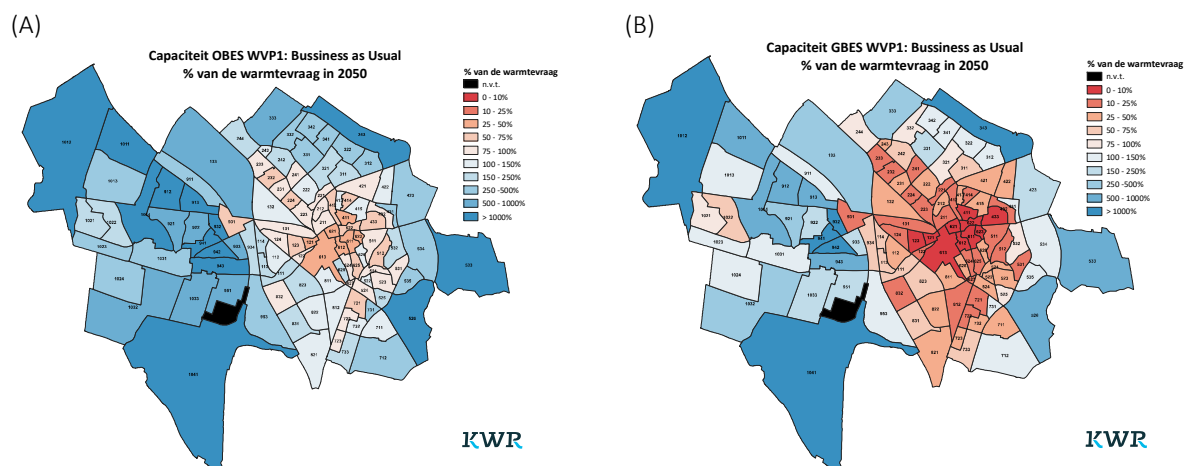
3.3 Huidige en toekomstige warmtevraag

De huidige warmtevraag (totaal ongeveer 8 miljoen GJ) en de warmtevraag in 2050 (totaal ongeveer 6 miljoen GJ) zijn gepresenteerd in Figuur 3-4. De buurt met de grootste totale warmtevraag, zowel nu als in 2050, is buurt 613 [Hoog Catharijne, NS, Jaarbeurs] met een jaarlijkse warmtevraag van 454.000 GJ in 2050.



Figuur 3-4. (A) Huidige warmtevraag (GJ/jr) per buurt in Utrecht. (B) Warmtevraag in 2050 (GJ/jr) per buurt in Utrecht.

Per vierkante meter is de warmtevraag relatief groot in het centrumgebied van Utrecht. Dit zijn gebieden waar de potentiële warmtelevering met OBES of GBES (BaU in WVP1) kleiner is dan de warmtevraag in 2050 (Figuur 3-5). In deze buurten is er veel bebouwing en dus weinig ruimte om GBES te boren. De potentiële warmtelevering door GBES is in het centrumgebied daarom ten opzichte van OBES relatief nog lager dan t.o.v. buurten buiten het centrum. Het gebied waar de potentiële capaciteit het laagste is t.o.v. de warmtevraag in 2050 zijn de buurten in het centrum gebied (Hoog Catharijne, NS, Jaarbeurs Hoog Catharijne [613], Wijk C [621] en Mariaplaats [612]), met 36 – 38% voor OBES en 4-6% voor GBES. Buurten gelegen aan de rand van de stad zijn over het algemeen minder dicht bebouwd en hebben daarom een relatief lage warmtevraag per m². In deze buurten is de capaciteit voor warmtelevering met OBES of GBES in WVP1 in veel gevallen groot genoeg om de verwachte warmtevraag in 2050 te dekken.



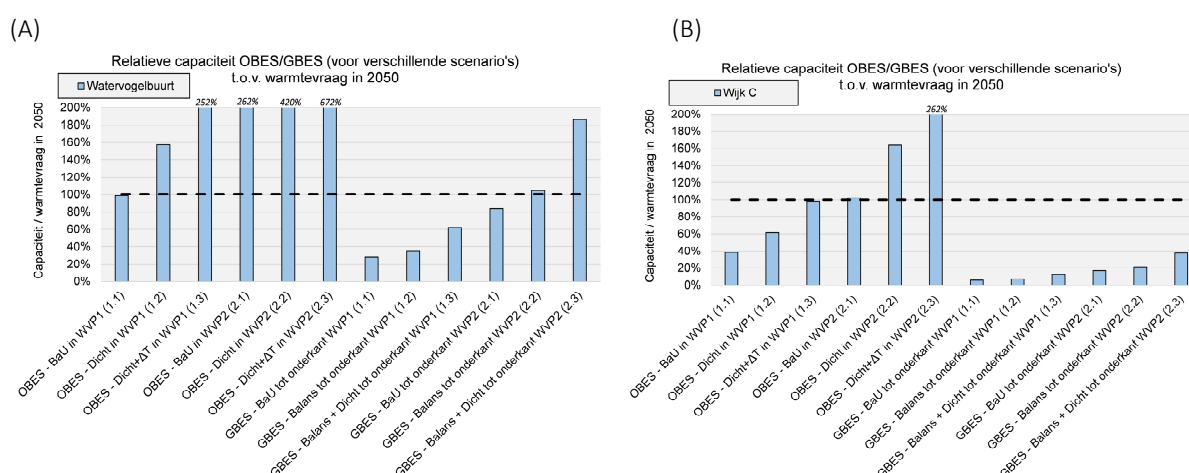
Figuur 3-5. Capaciteit OBES (A) en GBES (B) voor BaU in WVP1 t.o.v. de warmtevraag per buurt. Kleiner dan 100% (roodtinten) betekent dus dat de potentie kleiner is dan de warmtevraag. Buurten in blauwtinten (>100%) hebben juist een grotere potentie dan de verwachte warmtevraag in 2050.

3.4 Invloed van de verschillende toepassingsscenario's op de potentiële capaciteit

Ten opzichte van het Business as Usual (BaU) scenario wordt de ondergrond beter benut in de efficiëntere toepassingsscenario's (plaatsingsafstand/energetisch) en neemt de capaciteit dus toe. De warmteleveringscapaciteit voor de verschillende toepassingsscenario's zijn ten opzichte van de warmtevraag in 2050 gepresenteerd voor twee buurten in Figuur 3-6.

Voor dichtere plaatsing van OBES bronnen, een toename in de benuttingsgraad van de ondergrond (F_s) van 50% naar 80%, neemt het potentieel te verpompen grondwatervolume en dus de potentiële warmteleveringscapaciteit met 60% toe (verschil tussen 1.1 en 1.2 of het verschil tussen 2.1 en 2.2 in Figuur 3-6). Voor een vergroting van de ΔT neemt de warmteleveringscapaciteit op een gelijke manier toe (toename van $\Delta T = 5$ naar 8°C resulteert ook in een toename van 60%). Voor scenario 3, waar beide verbeteringen worden toegepast, is de capaciteitstoename dus $1,6 \cdot 1,6 = 2,56$ keer de potentiële capaciteit t.o.v. het BaU scenario (scenario 1.3 t.o.v. 1.1 en scenario 2.3 t.o.v. 2.1). De potentiële capaciteit wordt daarnaast bepaald door de effectieve dikte van het gebruikte watervoerende pakket (64 m voor WVP2 t.o.v. 24 m voor WVP1). Volgens deze uitgangspunten is in WVP2 onder gelijke reguleringsomstandigheden de potentiële warmteleveringscapaciteit dus 2,67 groter dan in het 1^e WVP. Ten opzichte van BaU in WVP1, resulteert verbeterde regulering in WVP1 (2,56 grotere warmtelevering) dus in een vergelijkbare toename qua potentiële warmtelevering met OBES door het gebruik van WVP2 (2,67 grotere warmtelevering). De relatieve toename in capaciteit is gelijk voor WVP1 en WVP2.

Bij GBES neemt de capaciteit op een vergelijkbare manier toe bij een effectiever gebruik van de ondergrond (verbeterde energiebalans of dichtere plaatsing). De potentiële capaciteit neemt hier met 25% toe bij het vergroten van het specifieke vermogen van 20 naar 25 W/m (door middel van een verbeterde energiebalans). De grootste toename is er bij een dichtere plaatsing. Bij een plaatsingsafstand van 7,5m in plaats van 10m neemt het oppervlaktegebruik per lus met bijna 50% af (oppervlak is kwadratisch afhankelijk van de afstand), en dus de capaciteit bijna met 100% toe (verschil tussen GBES 1.2 – 1.3 of GBES 2.2 – 2.3). Wanneer de boordiepte van de GBES lussen wordt vergroot van het maaiveld tot de onderkant van WVP2 (150m) in plaats van maaiveld tot de onderkant van WVP1 (50m) neemt de potentiële capaciteit met een factor 3 toe (vergelijking GBES scenario 1.X en 2.X).

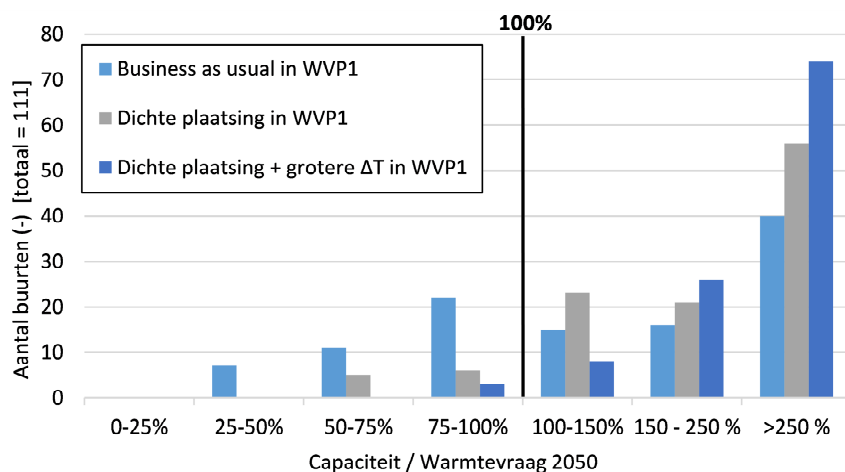


Figuur 3-6. De relatieve capaciteit van OBES en GBES voor de verschillende reguleringsscenario's t.o.v. de warmtevraag in 2050 voor de voorbeelden (A) watervogelbuurt [buurt 524] en (B) wijk C [buurt 621]. De y-as is afgekapd op 200%, de daadwerkelijke percentages zijn in het figuur aangegeven.

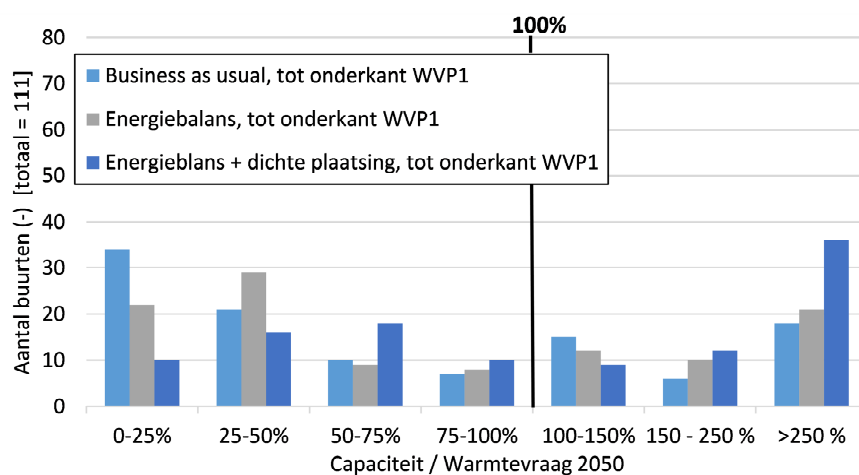
Het totaal aantal buurten waarin de potentiële capaciteit kleiner is dan de warmtevraag in 2050 varieert tussen de verschillende toepassingsscenario's voor OBES in WVP1 (Figuur 3-7A) en GBES tot onderkant van WVP1 (Figuur 3-7B). Bij BaU in WVP1 is bij OBES voor 40 van de 111 buurten de capaciteit kleiner dan de warmtevraag in 2050,

met verbeterde toepassingscondities neemt dit af tot 15 buurten bij dichte plaatsing en 3 buurten (allen >75%) bij dichte plaatsing + grotere ΔT (de som van de buurten links van de 100% lijn in Figuur 3-7). Voor GBES tot de onderkant van WVP1 (50m lus-lengte) is de relatieve capaciteit kleiner, en is de potentiële capaciteit bij 72 van de 111 buurten in de gemeente Utrecht kleiner dan de warmtevraag in 2050. Met het gebruik van GBES in energibalans + dichte plaatsing neemt dit af tot 55 buurten, de helft van alle buurten in de gemeente Utrecht.

(A)



(B)



Figuur 3-7 De relatieve capaciteit ten opzichte van de warmtevraag in 2050 voor de drie berekende toepassingscondities voor (A) OBES (in WVP1) en (B) GBES (lus-lengte tot onderkant van WVP1).

4 Discussie en reflectie

4.1 De praktisch benutbare capaciteit versus de potentiële capaciteit

De ondergrond in gemeente Utrecht heeft een grote theoretische potentie om met OBES en GBES in de totale warmtelevering van de gemeente te voorzien, nu en in 2050 (Hoofdstuk 3.1). De beschouwing van verbeterde toepassingsscenario laat zien dat het efficiënter benutten van de ondergrondse ruimte dan de huidige standaardpraktijk (Business as Usual (BaU) scenario) die potentie in belangrijke mate kan vergroten in buurten waar de benutting nu al richting maximale capaciteit gaat of waar de verwachting is dat dit in de toekomst zal gebeuren. In welke mate de berekende potentiële capaciteit in de praktijk ook voldoende is om in de (verwachte) warmtevraag te voorzien is daarnaast echter ook afhankelijk van andere factoren dan de energievraag- en ondergrondeigenschappen. In welke mate de potentiële capaciteit die in deze studie wordt berekend daadwerkelijk benut kan worden is dan ook locatie-specifiek en zal variëren tussen de verschillende buurten in Utrecht. De factoren die de praktische benutbaarheid van de warmteleveringscapaciteit beïnvloeden, en hoe daar mee omgegaan kan worden, zijn hieronder beschreven.

Vergunde OBES-volume groter dan daadwerkelijk gebruikte volume

In de praktijk wordt het maximale vergunde volume voor OBES-systemen slechts zelden gebruikt, of alleen benaderd in jaren met een relatief hoge warmte- (relatief koude winter) of koudevraag (warme zomer). Op basis van een studie van 57 OBES systemen in de provincie Utrecht in 2019 bleek dat gemiddeld slechts 55% van het vergunde pompvolume op jaarbasis werd gebruikt (Beernink et al., 2019). Daarnaast bleek uit een studie van IF-Technology (2016) waar 126 OBES systemen werden geanalyseerd dat er gemiddeld slechts 41% van de totale vergunde hoeveelheid werd gebruikt. Omdat het kunnen vergunnen van additionele OBES-systemen wordt bepaald door de vergunde volumes van de reeds aanwezige OBES-systemen, werkt deze onnodig beperkend op het benutten van de ondergrondse potentie. Om de potentiële capaciteit in de ondergrond beter te kunnen benutten, zou in het vergunningstraject de aanvraag van kleinere (realistischere) volumes gestimuleerd kunnen worden zodat de aangevraagde volumes beter aansluiten op de in de praktijk ook daadwerkelijk benodigde volumes. Opslag met groter temperatuurverschil tussen koude en warme bron (ΔT) en met kortere afstanden tussen putten helpen de potentiële capaciteit verder te vergroten (hieronder in meer detail).

Benutting van OBES voor warmtevraag hangt af van mate van thermische balans en grootte/type gebouw

Of OBES een geschikte oplossing is om duurzame warmte (en koude) te leveren is afhankelijk van het type gebouw. OBES wordt alleen toegepast vanaf een bepaalde schaalgrootte, en is geschikt voor voornamelijk middelgrote tot grote gebouwen (utiliteit) en appartementencomplexen. In de praktijk is de potentiële capaciteit die OBES te bieden heeft dus lastiger te benutten voor kleine gebouwen en losstaande huizen. Collectieve OBES systemen i.c.m. een LT-warmtenet (DHV-groep, 2010) zou hiervoor een oplossing kunnen bieden. Een ander punt dat geadresseerd moet worden bij OBES voor woningen is dat woningen in de regel een grotere warmtevraag dan koudevraag hebben, waardoor bij OBES toepassing dus lastig is te voldoen aan de eis voor energiebalans van de OBES. Dit kan worden opgelost door een juiste mix met utiliteit (die hebben in de regel een grotere koude vraag) of door het realiseren van voldoende regeneratie (DHV-groep, 2010).

Benodigde ruimte voor het kunnen boren van GBES-lussen beperkt de benutting

In deze studie is de potentiële capaciteit van de bodem voor GBES bepaald door een inschatting te doen van het bruikbare oppervlak voor het boren van de lussen door alle watergangen, wegen en gebouwen niet mee te nemen (hoofdstuk 2.2.2 en box 1). In de praktijk zullen echter nog meer omgevingsfactoren de plaatsing van GBES-lussen

beïnvloeden, zoals kabels en leidingen en de toegankelijkheid van de locatie voor de boorwagen (bijvoorbeeld achtertuinen).

De sterke locatie-gebondenheid beperkt de benutting van GBES

GBES wordt in de regel voor kleine gebouwen of individuele huizen toegepast als er in de directe omgeving ruimte is om de lus(sen) te boren. Bij het berekenen van de potentiële capaciteit is hier echter geen rekening mee gehouden; parken, bossen en weilanden hebben een groot bruikbaar oppervlak, echter is in veel gevallen deze ruimte niet bruikbaar voor GBES aangezien het niet dicht genoeg in de buurt is van de warmtevraag. In enige mate is dit ook het geval voor OBES. Echter speelt dat daarvoor minder omdat de projectie naar maaiveld vanuit één OBES bron al snel een oppervlakte van meer dan 1000 m² bereikt, ten opzichte van 50-100 m² bij een GBES-lus.

4.2 Gebruikte aannames voor berekening potentiële capaciteit

In deze studie is een aantal aannames gedaan om de potentiële capaciteit voor verschillende toepassingsscenario's te kunnen berekenen. Het mogelijke effect van onzekerheden of variatie van de belangrijkste aannames en uitgangspunten wordt hier besproken.

Effect van COP op berekende hoeveelheid nuttige energie

De Coefficient Of Performance (COP) van de warmtepomp bepaalt het aandeel elektriciteit dat nodig is (naast de bodemzijdige energie) om de gewenste hoeveelheid energie te leveren op de gewenste aanvoertemperatuur. In de praktijk varieert de COP en wordt deze beïnvloed door o.a. de prestaties van het bodemenergiesysteem, type warmtepomp en de gebruikte temperatuurniveaus van het systeem. Bij een slechtere (lagere) COP moet er relatief meer stroom worden gebruikt om dezelfde hoeveelheid omgevingswarmte (uit de ondergrond) te kunnen benutten. Voor conventionele LT-OBES productietemperaturen van 12 – 16 °C varieert de COP in de praktijk ongeveer tussen 4 en 6. In deze studie wordt de hoeveelheid warmte die kan worden geleverd uit de bodem berekend. Vervolgens wordt de COP gebruikt om de daadwerkelijke warmteleveringscapaciteit te berekenen, aangezien lage temperatuur bodemenergie voor warmtelevering altijd gebruik maakt van een warmtepomp. Voor de range van COP 4-6 varieert de totale warmteleveringscapaciteit met +15% tot -4% ten opzichte van COP=5, een relatief klein verschil ten opzichte van de andere factoren die de warmteleveringscapaciteit beïnvloeden (+60% tot +250%, zie Hoofdstuk 3.4).

Grondwaterstroming

Voor alle berekeningen is ervan uitgegaan dat grondwaterstroming niet van invloed is op de warmteleveringscapaciteit van OBES en GBES. Voor OBES kan grondwaterstroming ervoor zorgen dat het terugwinrendement van de bronnen lager is dan verwacht, met een (klein) effect op de energetische efficiëntie van het systeem voor conventionele LT-OBES omdat bij conventionele lage temperatuur OBES (BaU scenario) met een kleine ΔT het terugwinrendement maar een kleine bijdrage heeft op de totale energieprestatie (Beernink et al., 2022). Voor conventionele GBES die voornamelijk warmte onttrekken uit de bodem en niet zozeer opslaan (standaard GBES-lussen zonder energiebalans) heeft grondwaterstroming een positief effect op de efficiëntie waarmee op de lange termijn warmte geleverd kan worden (Zanchini et al., 2012). De netto afkoeling die ontstaat door warmteonttrekking met de GBES lus wordt namelijk verminderd door de aanvoer van relatief warmer grondwater, resulterend in een beter presterend systeem. Door grondwaterstroming mee te nemen in de analyse zal de warmteleveringspotentie van GBES dus in principe toenemen, of kunnen GBES-lussen korter worden geboord.

Omgevingsbelangen

Er is geen rekening gehouden met andere belangen in de ondergrond zoals drinkwaterbelangen of natuurgebieden, of gebieden met verontreinigd grondwater voor het berekenen van de potentiële capaciteit. Afhankelijk van de aanwezigheid hiervan kan de potentie voor OBES of GBES in verschillende mate beperkt worden.

4.3 Potentie voor optimalisatie en stimulerings- en/of orderingsbeleid

Optimaler benutten van ondergrond door dichtere plaatsing

Voor OBES systemen blijkt uit verschillende studies dat de huidige standaard plaatsingsafstand tussen bronnen de potentiële warmtelevering met OBES beperkt. Eerder onderzoek (Beernink et al., 2022; Duijff et al., 2021) heeft laten zien dat bij dichte plaatsing van bronnen (voor hetzelfde thermische type: $1 \cdot R_{th}$, voor het tegenovergestelde thermische type: $2 \cdot R_{th}$) de totale warmtelevering voor het hele gebied sterk vergroot kan worden (en dus CO₂ emissie reductie), echter wel met (grotere kans op) interactie tussen bronnen. Voor OBES-bronnen van hetzelfde type (warm-warm) kan dit een positief effect hebben (groter gezamenlijk thermisch volume), maar ook is er een grotere kans op een toename in energieverbruik (tot 5%) voor sommige individuele OBES-gebruikers door negatieve interactie tussen bronnen van het tegenovergestelde thermische type. Ondanks de kans op een kleine toename van het energieverbruik voor een enkele individuele OBES neemt op deze manier voor het gebied als geheel de totale CO₂ emissie reductie sterk toe (Beernink et al., 2022; Duijff et al., 2021). Er zijn daarnaast twee andere factoren die bijdragen aan de potentie voor het dichter plaatsen van OBES-bronnen. Ten eerste wordt de afstand tussen bronnen ontworpen op het vergunde volume van OBES-bronnen, terwijl deze in de praktijk, zoals al eerder vermeld, gemiddeld slechts 40% tot 60% van dit volume gebruiken (Beernink et al., 2019; IF-Technology, 2016). Daarnaast wordt een deel van het vergunde volume ingezet voor opslag op een kortere termijn (bijv. dag-nacht buffering). Uit de analyse van een OBES in Bloemendal et al. (2020a) bleek dat op dag-basis netto slechts 40-80% van het geïnfilterde volume bijdroeg aan de grootte van het thermisch beïnvloedingsgebied. Echter, hoe in het algemeen voor conventionele LT-OBES het jaarlijks geïnjecteerde volume zich verhoudt tot het netto volume dat het daadwerkelijke (seizoenale) thermische beïnvloedingsgebied bepaald is nog weinig over bekend. Dichtere plaatsing van bronnen is in de praktijk dus een goede mogelijkheid om de warmteleveringscapaciteit met OBES te kunnen vergroten (Bloemendal et al., 2020b).

Optimaler benutten van ondergrond voor GBES door operationele verbetering

Voor de capaciteit voor warmtelevering bij GBES is het gunstig als het systeem evenveel warmte de bodem in brengt (in de zomer tijdens koelen gebouw) als er warmte wordt onttrokken in de winter. De bodemtemperatuur blijft dan op de langere termijn gemiddeld stabiel, waardoor de capaciteit voor warmtelevering met de tijd niet terugloopt (ISSO, 2017). Dit is echter in de huidige praktijk geen vereiste. Aangezien veel GBES-systemen worden ontworpen voor woningen, waar over het algemeen een grotere warmte- dan koelvraag is, worden GBES voornamelijk voor netto warmtewinning gebruikt. Dit resulteert in een langjarige afkoeling van de bodem rondom de GBES, met verslechterende prestaties van de warmtepomp als gevolg en vermindering van de potentie van omringende en/of stroomafwaartse gebieden. Het thermisch balanceren van het systeem door het inbrengen van extra ingevangen (duurzame) warmte in de zomer zou dit kunnen voorkomen, en dus tot een groter (langjarige) warmtelevering kunnen leiden.

Optimaler benutten van ondergrond voor OBES door vergroten ΔT

Voor OBES kan de ondergrond efficiënter worden gebruikt door het temperatuurverschil tussen de koude en de warme bron ΔT te vergroten (scenario 1.3 in Figuur 3-6). Een efficiënte inregeling en beheer van de OBES kan er voor zorgen dat een ΔT van 8 °C haalbaar is voor een reguliere OBES. Voor een conventionele LT-OBES zonder aanvullende bronnen voor invang van warmte is een grote ΔT in de praktijk niet altijd vanzelfsprekend. Bij een relatief lage koudevraag (gebrek aan warmte om op te slaan) wordt de ΔT vaak relatief klein doordat het aan/uit schakelen van de bronpompen bij kleine volumes voorkomen moet worden (RVO, 2021). Een recente pilot laat zien dat de ΔT tijdens het laden van het systeem (zomer) effectief sterk vergroot kan worden ($\Delta T = 12-15$ °C) door gebruik te maken van extra duurzame warmtebronnen in en rondom het systeem zoals aquathermie, PVT-collectoren of restwarmte uit het gebouwssysteem (Bloemendal et al., 2020a). Het vergroten van de warmteproductie met OBES door het verhogen van de ΔT heeft een grote potentie om tot duurzamere warmtelevering met de ondergrond te komen.

CO₂ emissie reductie met bodemenergie optimaliseren en verminderen netcongestie

De warmte die wordt onttrokken aan de bodem met LT-OBES en GBES, wordt met behulp van een warmtepomp naar de juiste aanvoertemperatuur voor het gebouwstelsel verhoogd, van bijv. 15 °C naar bijv. 40-55 °C. Gemiddeld gebeurt dit momenteel bij een COP van de warmtepomp van 5, en is dus 20% van de totale warmte die wordt geleverd elektriciteit (zie hoofdstuk 2.2). Met de huidige energiemix is stroom nog grotendeels geproduceerd met fossiele brandstoffen, afhankelijk van de beschikbaarheid van groene stroom. In 2019 was er bij het gebruik van 1 kWh stroom jaargemiddeld 0,34 kg CO₂-equivalent uitstoot gemoeid (Beernink et al., 2022). Desalniettemin is met deze stroommix al een sterke afname van de CO₂ uitstoot gemoeid (gemiddeld 40 – 60%) ten opzichte van verwarming met een standaard boiler (Beernink et al., 2022).

De warmtepomp produceert met conventionele OBES en GBES voornamelijk warmte in de winter, wanneer de beschikbaarheid van groene stroom relatief laag is. Echter, om de duurzaamheid van de geproduceerde warmte verder te vergroten, en netcongestie te verminderen, zou de warmtepomp vooral moeten worden ingezet op de momenten dat er duurzame stroom beschikbaar is. Door de warmtepomp in te zetten in de zomer (power-to-heat) kan het aandeel groene stroom, en dus CO₂ reductie, sterk toenemen (van der Roest et al., 2021; van der Roest et al., 2020). Daarnaast kan hiermee netcongestie (grote stroomvraag in de winter) worden verminderd. Om warmte in de winter beschikbaar te hebben die direct (zonder warmtepomp) gebruikt kunnen worden voor verwarming (bijv. 40-90 °C) kan warmte in de ondergrond worden opgeslagen op hogere temperatuur (MT-OBES (MTO) / HT-OBES (HTO), Figuur 1-1). Daarnaast biedt de opslag bij hogere temperaturen een grote potentie voor effectiever ruimtegebruik van de ondergrond, doordat de ΔT die per m³ grondwater wordt opgeslagen/onttrokken groter is. Wanneer bij HT-OBES een ΔT van 60 °C wordt toegepast (bijv. 90 °C hete bron, 30 °C warme bron) is de energiedichtheid, en dus de potentiële warmteleveringscapaciteit, een factor 10 groter dan bij LT-OBES met een ΔT van 6 °C (Zwamborn & Kleinlugtenbeld, 2020).

5 Conclusies

In deze studie is per buurt in de gemeente Utrecht de huidige warmtelevering met OBES en GBES bepaald, de huidige en toekomstige (2050) warmtevraag gepresenteerd en de potentiële 'theoretische' capaciteit van conventionele lage temperatuur OBES en GBES bepaald voor een bandbreedte aan toepassingscondities.

Hoeveel warmte wordt er op dit moment geleverd met bodemenergie?

Uit de integratie en analyse van verschillende verzamelde datasets blijkt dat conventionele lage temperatuur OBES (LT-OBES, <25 °C) momenteel wordt toegepast in 33 van de 111 buurten in Utrecht, waarmee in totaal per jaar 692 duizend GJ warmte wordt geleverd. De twee buurten met de grootste huidige warmtelevering door OBES zijn buurt 533 "Utrecht Science Park" met 212 duizend GJ per jaar (14% van berekende theoretische capaciteit met BaU in WVP1) en buurt 613 "Hoog Catharijne, NS, Jaarbeurs" met 123 duizend GJ per jaar (75% van berekende theoretische capaciteit met BaU in WVP1). GBES wordt op dit moment toegepast in 45 van de 111 buurten en in totaal wordt er 52 duizend GJ per jaar aan warmte geleverd met GBES. In de buurt "Leeuwestyn" (buurt 934) wordt de meeste warmte per jaar geleverd door GBES van heel Utrecht (12 duizend GJ per jaar). Van alle 111 buurten wordt er op dit moment in 62 buurten warmte geleverd met bodemenergie (OBES en/of GBES). Er zijn 16 buurten waar zowel OBES en GBES worden toegepast.

Wat is de huidige en verwachte toekomstige (2050) warmtevraag?

Op basis van de aangeleverde gegevens van de gemeente Utrecht is de warmtevraag nu, en in 2050, het grootste in het centrum gebied. Buurt 613 "Hoog Catharijne, NS, Jaarbeurs" is hier de koploper met een warmtevraag van 454 duizend GJ per jaar in 2050. Voor 11 van de 111 buurten resulteert dit in een toename van de warmtevraag, en voor de overige 100 buurten in een afname van de totale warmtevraag. Voor heel Utrecht neemt de totale warmtevraag af van 8 miljoen GJ/jaar op dit moment naar 6 miljoen GJ/jaar in 2050.

Wat is de warmteleveringscapaciteit van OBES en GBES, afhankelijk van verschillende toepassingscondities?

De ondergrond in Utrecht, zowel het 1^e als het 2^e watervoerende pakket, is zeer geschikt voor warmtelevering met OBES en GBES. In totaal is berekend dat, uitgaande van de aannames en condities toegepast in deze studie, er uit het 1^e watervoerende pakket met standaard OBES ongeveer 15,5 miljoen GJ per jaar aan warmte kan worden geleverd, voor GBES tot de onderkant van het 1^e watervoerende pakket (50m diepte) is dit ongeveer 6 miljoen GJ per jaar. Voor de buurten in Utrecht waar de warmtevraag relatief laag is, is de potentiële capaciteit in veel gevallen groter dan de benodigde warmtevraag in 2050. Echter, voor de buurten in het centrumgebied met een relatief hoge warmtevraag is de potentiële warmteleveringscapaciteit (veel) kleiner dan de totale warmtevraag. In een aantal buurten in het centrum gebied van de stad Utrecht kan bodemenergie 3 tot 25% van de warmtevraag per jaar in 2050 leveren voor het standaard reguleringsscenario (BaU) in het 1^e watervoerende pakket. De potentie voor warmtelevering met OBES en GBES kan sterk worden vergroot door het toepassen van verschillende sturingsmaatregelen waarmee de ruimte in de ondergrond efficiënter kan worden gebruikt. Met verbeterde regulering (dichtere plaatsing van bronnen/lussen bij elkaar, grotere ΔT , energiebalans) kan theoretisch een vergroting van de capaciteit tot 2,5 maal de huidige potentie worden bewerkstelligd. Het diepere en dikkere 2^e watervoerende pakket (WVP2) is in theorie ook een mogelijkheid om de totale potentiële warmtelevering met OBES en GBES te vergroten. Echter is dat vanwege grondwaterbeschermingsbeleid in een groot deel van de gemeente Utrecht niet mogelijk. Ten opzichte van de berekende warmteleveringscapaciteit bij conventionele LT-OBES kan deze het sterkst vergroot worden door opslag bij hogere temperaturen (MTO en HTO). De capaciteit van de ondergrond voor warmteopslag/levering neemt daarmee een factor 5 tot 10 toen (afhankelijk van de ΔT). Opslag bij hogere temperaturen biedt daarnaast potentie om in combinatie met power-to-heat duurzame

elektriciteit beter te benutten in de zomer (vergroten CO₂ emissie reductie) en netcongestie in de winter tegen te gaan.

Deze studie geeft inzicht in de theoretische potentiële warmteleveringscapaciteit en laat zien hoe de daadwerkelijke benutting afhangt van toepassings- en ondergrondcondities en buurtkarakteristieken. De resultaten van deze studie geven een aanzet om hier bij de verdere planvorming en implementatie rekening mee te kunnen houden.

6 Referenties

- Beernink, S., Bloemendal, M., Kleinlugtenbelt, R., & Hartog, N. (2022). Maximizing the use of aquifer thermal energy storage systems in urban areas: effects on individual system primary energy use and overall GHG emissions. *Applied Energy*, 311, 118587. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118587>
- Beernink, S., Hartog, N., Bloemendal, M., & Meer, M. v. d. (2019). *ATES systems performance in practice: analysis of operational data from ATES systems in the province of Utrecht, The Netherlands*. Paper presented at the European Geothermal Congress, The Hague, Netherlands. <http://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/262.pdf>
- Bloemendal, M. (2018). *The hidden side of cities*. Delft.
- Bloemendal, M., Beernink, S., Bel, N., Hockin, A. E., & Schout, G. (2020a). *Transitie open bodemenergiesysteem Koppert-Cress naar verhoogde opslagtemperatuur. Evaluatie van energiebesparingen en grondwatereffecten*. Retrieved from Nieuwegein: <https://library.kwrwater.nl/publication/61755396/>
- Bloemendal, M., Jaxa-Rozen, M., & Olsthoorn, T. (2018). Methods for planning of ATES systems. *Applied Energy*, 216, 534-557. doi:10.1016/j.apenergy.2018.02.068
- Bloemendal, M., Valstar, J., Beernink, S., Kleinlugtenbelt, R., & Brugge van den, R. (2020b). *Optimale ondergrondse inpassing van open bodemenergiesystemen. Bepaling van plaatsingsregels voor de toepassing van open bodemenergie met hoge ruimtelijke dichtheid ter verlaging van de gebiedsuitstoot van CO₂*. (KWR 2020.055). Retrieved from Nieuwegein:
- CBS. (2023). *Warmtepompen; aantallen, thermisch vermogen en energiestromen, 1994-2021*. . Retrieved from: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82380NED/table>
- DHV-groep. (2010). *Centraal stellen van duurzame energieambities in het gebiedsontwikkelingsproces*. Retrieved from Amersfoort:
- Duijff, R. (2019). *Interaction between multiple ATES systems*. Retrieved from Delft: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Acf4bcee3-b775-4676-b683-0e38fabb70ee>
- Duijff, R., Bloemendal, M., & Bakker, M. (2021). Interaction Effects Between Aquifer Thermal Energy Storage Systems. *Groundwater*, n/a(n/a). doi:<https://doi.org/10.1111/gwat.13163>
- Ecensy. (2024). Warmte Koude Opslag - wat zijn de voordelen? Retrieved from warmtekoudeopslag.info
- Fleuchaus, P., Schüppler, S., Godschalk, B., Bakema, G., & Blum, P. (2020). Performance analysis of Aquifer Thermal Energy Storage (ATES). *Renewable Energy*, 146, 1536-1548. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.030>
- IF-Technology. (2016). *Rapportage bodemenergiesystemen in Nederland - analyse van 125 projecten*. Retrieved from
- ISSO. (2017). *ISSO 73: Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars*. Retrieved from
- PDOK. (2023a). *BGT* Retrieved from: <https://app.pdok.nl/lv/bgt/download-viewer/>
- PDOK. (2023b). *TOP10NL*. Retrieved from: <https://app.pdok.nl/brt/top10nl/download-viewer/>
- RoyalHaskoningDHV, & Gemeente-Utrecht. (2015). *Gebiedsplan gebiedsgericht grondwaterbeheer en visie op duurzaam gebruik van de ondergrond*. Retrieved from Utrecht: [https://www.rudutrecht.nl/files/2022-11/gebiedsplan Gemeente Utrecht 29 april 2015.pdf](https://www.rudutrecht.nl/files/2022-11/gebiedsplan%20Gemeente%20Utrecht%2029%20april%202015.pdf)
- RVO. (2021). *Het functioneren van uw WKO in een oogopslag vastgesteld*. Retrieved from
- Staatsblad-112. (2013). Besluit van 24 maart 2013 tot wijziging van een aantal algemene maatregelen van bestuur in verband met regels inzake bodemenergiesystemen en enkele technische verbeteringen. Retrieved from <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2013-112.html>
- Utrecht, G. (2023). *Grenzen gemeente wijk buurt*. Retrieved from: <https://data.utrecht.nl/dataset/grenzen-gemeente-wijk-buurt>
- van der Roest, E., Beernink, S., Hartog, N., van der Hoek, J. P., & Bloemendal, M. (2021). Towards Sustainable Heat Supply with Decentralized Multi-Energy Systems by Integration of Subsurface Seasonal Heat Storage. *Energies*, 14(23), 1-31. doi:10.3390/en14237958
- van der Roest, E., Snip, L., Fens, T., & van Wijk, A. (2020). Introducing Power-to-H3: Combining renewable electricity with heat, water and hydrogen production and storage in a neighbourhood. *Applied Energy*, 257, 114024. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114024>

- Zanchini, E., Lazzari, S., & Priarone, A. (2012). Long-term performance of large borehole heat exchanger fields with unbalanced seasonal loads and groundwater flow. *Energy*, 38(1), 66-77.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.12.038>
- Zwamborn, M., & Kleinlugtenbeld, R. (2020). *Notitie vergelijking en selectie locaties voor ondergrondse warmteopslag*. Retrieved from <https://www.warmingup.info/documenten/window-fase-1---a1---notitie-vergelijking-en-selectie-locaties.pdf>

Bijlage I. Buurt ID, buurtnamen en oppervlak

BUURT_ID	BUURTKODE	NAAM_BUURT	WIJK_ID	SUBWIJK_ID	Oppervlak totaal (m²)	Oppervlak niet bebouwd (m²)
111	11	Welgelegen, Den Hommel	1	11	394161	226010
112	12	Oog in Al	1	11	471284	271568
113	13	Halve Maan-zuid	1	11	232131	137007
114	14	Halve Maan-noord	1	11	247509	130809
121	21	Lombok-oost	1	12	131956	41951
122	22	Leidseweg e.o.	1	12	130222	49551
123	23	Lombok-west	1	12	296822	78286
124	24	Laan van Nieuw-Guinea, Spinozaweg e.o.	1	12	348849	126389
131	31	Nw Engeland, Th. à Kempisplantsoen e.o.	1	13	577535	254417
132	32	Schepenbuurt, Cartesiusweg e.o.	1	13	1159442	627138
133	33	Bedrijfsgebied Lage Weide	1	13	4962707	2605177
211	11	Pijlsweerd-zuid	2	21	313676	104960
212	12	Pijlsweerd-noord	2	21	209011	106820
221	21	Nijenoord, Hoogstraat e.o.	2	22	223312	110947
222	22	Ondiep	2	22	485806	226752
223	23	2e Daalsebuurt e.o.	2	22	372674	169037
224	24	Egelantierstraat, Mariendaalstraat e.o.	2	22	227688	88701
231	31	Julianapark e.o.	2	23	282233	147199
232	32	Elinkwijk e.o.	2	23	331630	149632
233	33	Pr. Bernhardplein e.o., Demkagebied	2	23	387048	189422
241	41	Geuzenwijk, De Driehoek	2	24	304273	124962
242	42	Schaakbuurt e.o.	2	24	503982	309103
243	43	Queekhovenplein e.o.	2	24	111594	61122
244	44	Zuilen-noord	2	24	779315	509293
311	11	Taagdreef, Rubicondreef e.o.	3	31	504038	295040
312	12	Donaudreef, Wolgadreef e.o.	3	31	526677	312484
321	21	Zamenhofdreef e.o.	3	32	653313	397650
322	22	Neckardreef e.o.	3	32	549863	357380
331	31	Vechtzoom-zuid	3	33	684115	453351
332	32	Vechtzoom-noord, Klopvaart	3	33	584060	369521
333	33	Bedrijfsgebied Overvecht	3	33	1846763	1292964
341	41	Zambesidreef e.o.	3	34	426426	271239
342	42	Tigridreef e.o.	3	34	528127	370361
343	43	Poldergebied Overvecht	3	34	2181115	1765719
411	11	Vogelenbuurt	4	41	210019	60779
412	12	Lauwerecht	4	41	243286	92811
413	13	Staatsliedenbuurt	4	41	124855	73671
414	14	Tuinwijk-west	4	41	169276	57292
415	15	Tuinwijk-oost	4	41	356973	189500
421	21	Tuindorp, Van Lieflandlaan-west	4	42	731127	436861

BUURT_ID	BUURTKODE	NAAM_BUURT	WIJK_ID	SUBWIJK_ID	Oppervlak totaal (m²)	Oppervlak niet bebouwd (m²)
422	22	Tuindorp-oost	4	42	535148	323591
423	23	Voordorp/Voorveldsepolder	4	42	1872985	1377427
431	31	Huizingalaan, Karel Doormanlaan e.o.	4	43	194873	116417
432	32	Zeeheldenbuurt, Hengeveldstraat e.o.	4	43	260856	134075
433	33	Wittevrouwen	4	43	374001	105373
511	11	Buiten Wittevrouwen	5	51	479128	223838
512	12	Oudwijk	5	51	377789	150517
521	21	Abstede, Tolsteegsingel e.o.	5	52	207171	120220
522	22	Sterrenwijk	5	52	96673	52866
523	23	Rubenslaan e.o.	5	52	367432	210550
524	24	Watervogelbuurt	5	52	271161	134079
525	25	Lodewijk Napoleonplantsoen e.o.	5	52	245165	163894
526	26	Maarschalkerweerd, Mereveld	5	52	2397374	1981932
531	31	Schildersbuurt	5	53	312211	140099
532	32	Wilhelminapark e.o.	5	53	527941	308439
533	33	Utrecht Science Park	5	53	3668172	2754718
534	34	Rijnsweerd	5	53	1614950	1008133
535	35	Galgenwaard e.o.	5	53	478870	250093
611	11	Domplein, Neude, Janskerkhof	6	61	249311	56973
612	12	L.Elisabethstraat, Mariaplaats e.o.	6	61	171042	32827
613	13	Hoog Catharijne, NS, Jaarbeurs	6	61	1050065	324174
621	21	Wijk C	6	62	158234	40502
622	22	Breedstraat, Plompetorengracht e.o.	6	62	181755	52720
623	23	Nobelstraat e.o.	6	62	94051	32284
624	24	Springweg e.o., Geertebuurt	6	62	188576	79213
625	25	Lange Nieuwstraat e.o.	6	62	222309	74204
626	26	Nieuwegracht-oost	6	62	157003	63952
627	27	Bleekstraat e.o.	6	62	48907	12996
628	28	Hooch Boulandt	6	62	186036	80495
711	11	Lunetten-noord	7	71	691571	427097
712	12	Lunetten-zuid	7	71	2073811	1451184
721	21	Tolsteeg, Rotsoord	7	72	393980	221301
722	22	Oud Hoograven-noord	7	72	267320	120170
723	23	Oud Hoograven-zuid	7	72	211968	111297
731	31	Bokkenbuurt	7	73	196462	151737
732	32	Nieuw Hoograven-noord	7	73	255554	155148
733	33	Nieuw Hoograven-zuid	7	73	641405	394446
811	11	Dichterswijk	8	81	438502	200204
812	12	Rivierenwijk	8	81	772517	315998
821	21	Bedrijfsgebied Kanaleneiland- zuid	8	82	1307214	546379
822	22	Transwijk-zuid	8	82	768012	481120
823	23	Transwijk-noord	8	82	844142	531029
831	31	Kanaleneiland-zuid	8	83	757187	421925
832	32	Kanaleneiland-noord	8	83	665988	350716
911	11	Bedrijfsgebied De Wetering	9	91	1095202	543033
912	12	Terwijde-west	9	91	963114	618575
913	13	Terwijde-oost	9	91	631637	320402
921	21	Het Zand-west	9	92	908656	540417
922	22	Het Zand-oost	9	92	665646	437979
931	31	Leidsche Rijn-centrum	9	93	515469	212349
932	32	Graauwaart	9	93	291365	156391

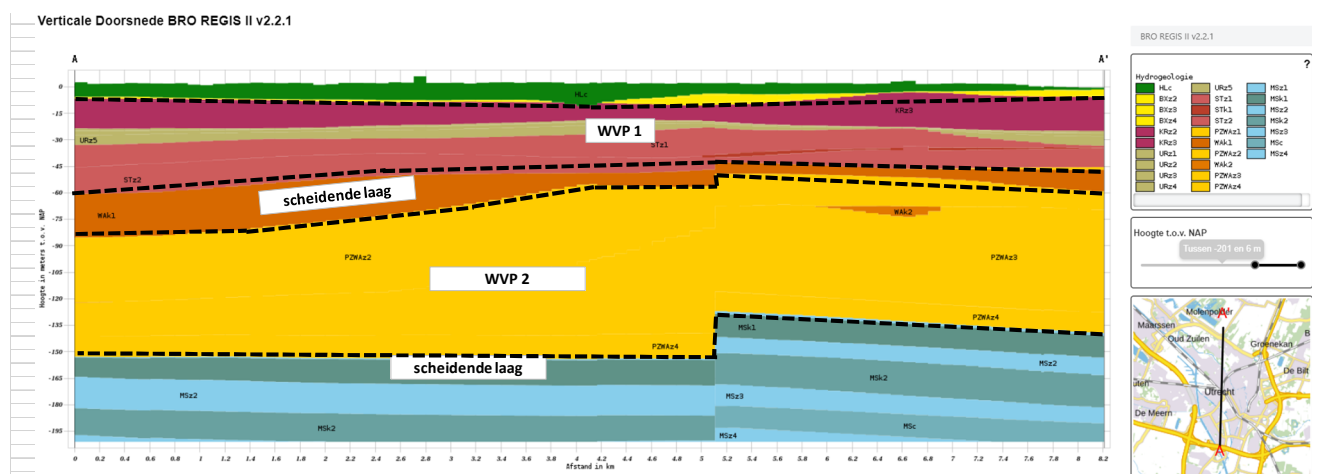
BUURT_ID	BUURTKODE	NAAM_BUURT	WIJK_ID	SUBWIJK_ID	Oppervlak totaal (m ²)	Oppervlak niet bebouwd (m ²)
933	33	Hoge Weide	9	93	364500	217697
934	34	Leeuwesteyn	9	93	603193	276147
941	41	Parkwijk-noord	9	94	414206	284719
942	42	Parkwijk-zuid	9	94	418201	267839
943	43	Langerak	9	94	899289	596313
951	51	Rijnvliet	9	95	993963	632119
952	52	Bedrijfsgebied Strijkviertel	9	95	669690	596377
953	53	Bedrijfsgebied Papendorp	9	95	1858488	1205918
1011	11	Haarrijn	10	101	2101684	1089640
1012	12	Haarzuilens e.o., Parkweg-zuid	10	101	8150441	7571738
1013	13	Vleuten	10	101	2262511	1555638
1014	14	Máximapark	10	101	1991260	1581192
1021	21	Vleuterweide-west	10	102	857726	513932
1022	22	Vleuterweide- noord/oost/centrum	10	102	994682	579819
1023	23	Vleuterweide-zuid	10	102	829959	549186
1024	24	Veldhuizen	10	102	1889108	1201498
1031	31	De Meern-noord	10	103	1477564	1024983
1032	32	De Meern-zuid	10	103	3890781	3243210
1033	33	Bedrijfsgebied Oudenrijn	10	103	1625693	982432
1041	41	Rijnenburg	10	104	10780645	9617094

Bijlage II. Ondergrondopbouw Utrecht

De gebruikte opbouw van de ondergrond in Utrecht is gegeven in Figuur 6-1, gebaseerd op REGIS II data (Figuur 6-2) en de data van de OBES systemen die zijn geanalyseerd in dit onderzoek. Voor het watervoerende pakket wordt een dikte van gemiddeld totaal 50m ingeschat, voor WVP2 is dit 80 meter. Omdat in de praktijk slechts een deel van het pakket gebruikt kan worden voor de filterstelling (bij aantreffen dunne kleilagen wordt er geen filter geplaatst, en er wordt afstand gehouden met bovenste en onderste kleilaag) wordt dit pakket nooit helemaal gebruikt. Daarnaast moet er qua effectief gebruik van de aquifer rekening worden gehouden met de maximale afpomping/injectiedruk in een laag. Omdat WVP1 ondieper ligt kan er een kleiner percentage van de totale laagdikte worden gebruikt. De effectieve dikte is voor deze laag ingeschat als 60% van de totale dikte, voor WVP2 is dit ingeschat als 80%. De aanname wordt gedaan dat deze dikte gelijk is aan de hoogte van de warme en koude bellen die ontstaan rondom de WKO bronnen. Dit is echter een vrij conservatieve aanname omdat er ook verticale verplaatsing van het geïnjecteerde water zal zijn.



Figuur 6-1 Versimpelde laagopbouw van de ondergrond in Utrecht, gebruikt voor de aannames voor de effectieve dikte van WVP 1 (24m) en WVP2 (64m) voor OBES, en voor de totale diepte van GBES tot de onderkant van WVP1 (50m) of WVP2 (150m).



Bijlage III. Overige kaartresultaten

De kaartresultaten van de verschillende toepassingsscenario's zijn bijgevoegd als losse PDF.

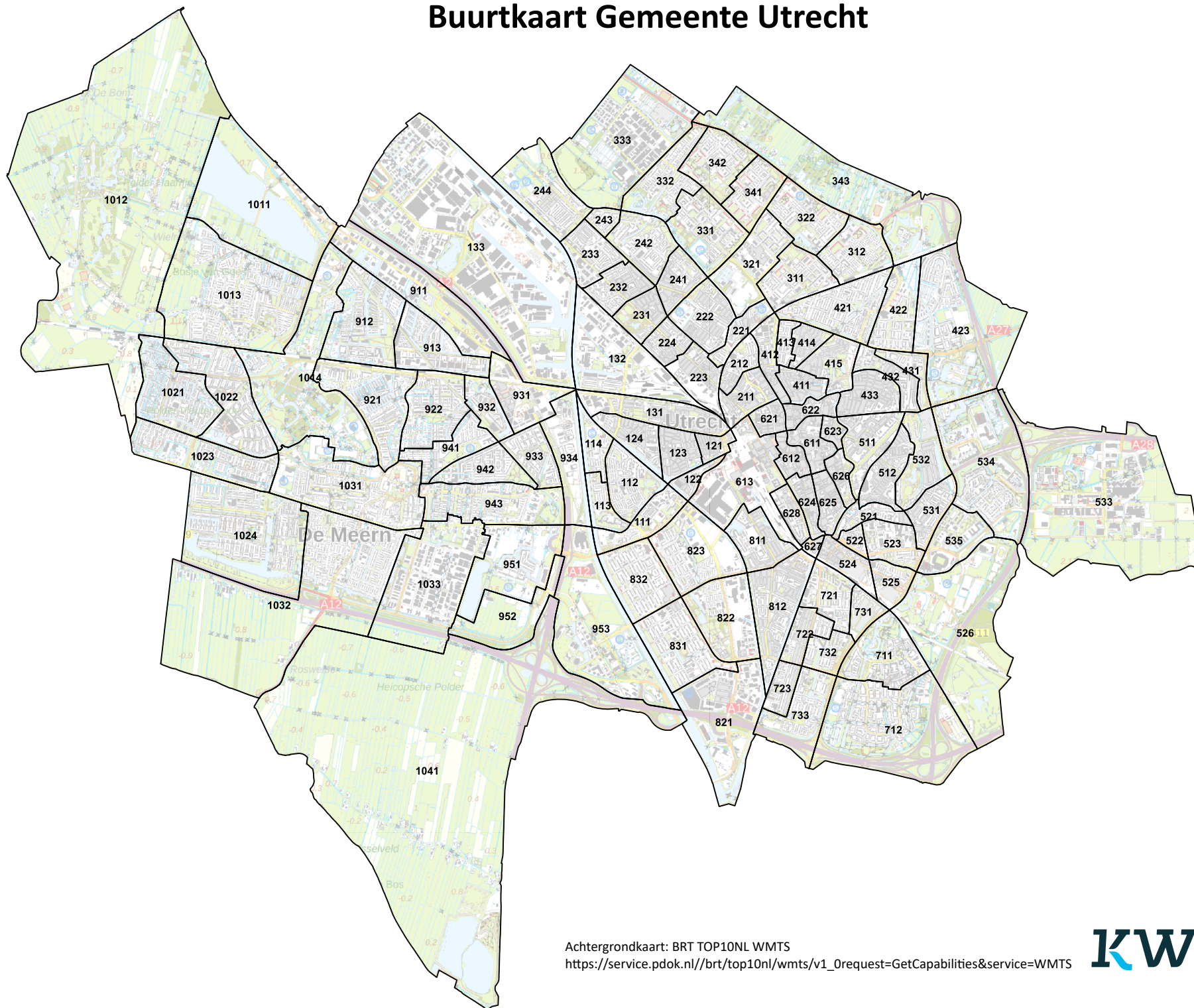
Bijlage III

Overige Kaartresultaten

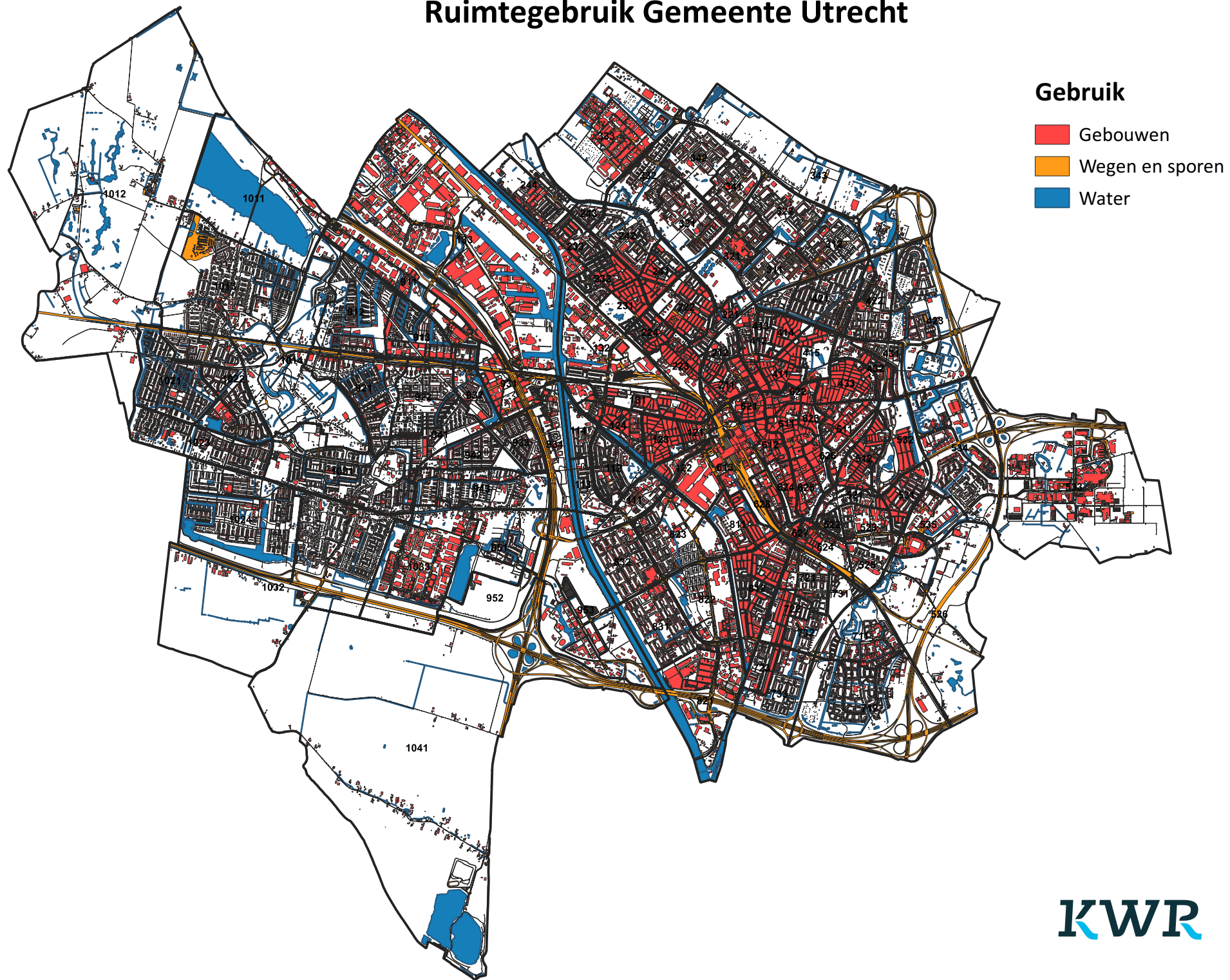
Bijlage bij KWR 2024.003:

Bodemenergie voor warmtelevering in de
Gemeente Utrecht: De huidige en toekomstige
potentie in kaart

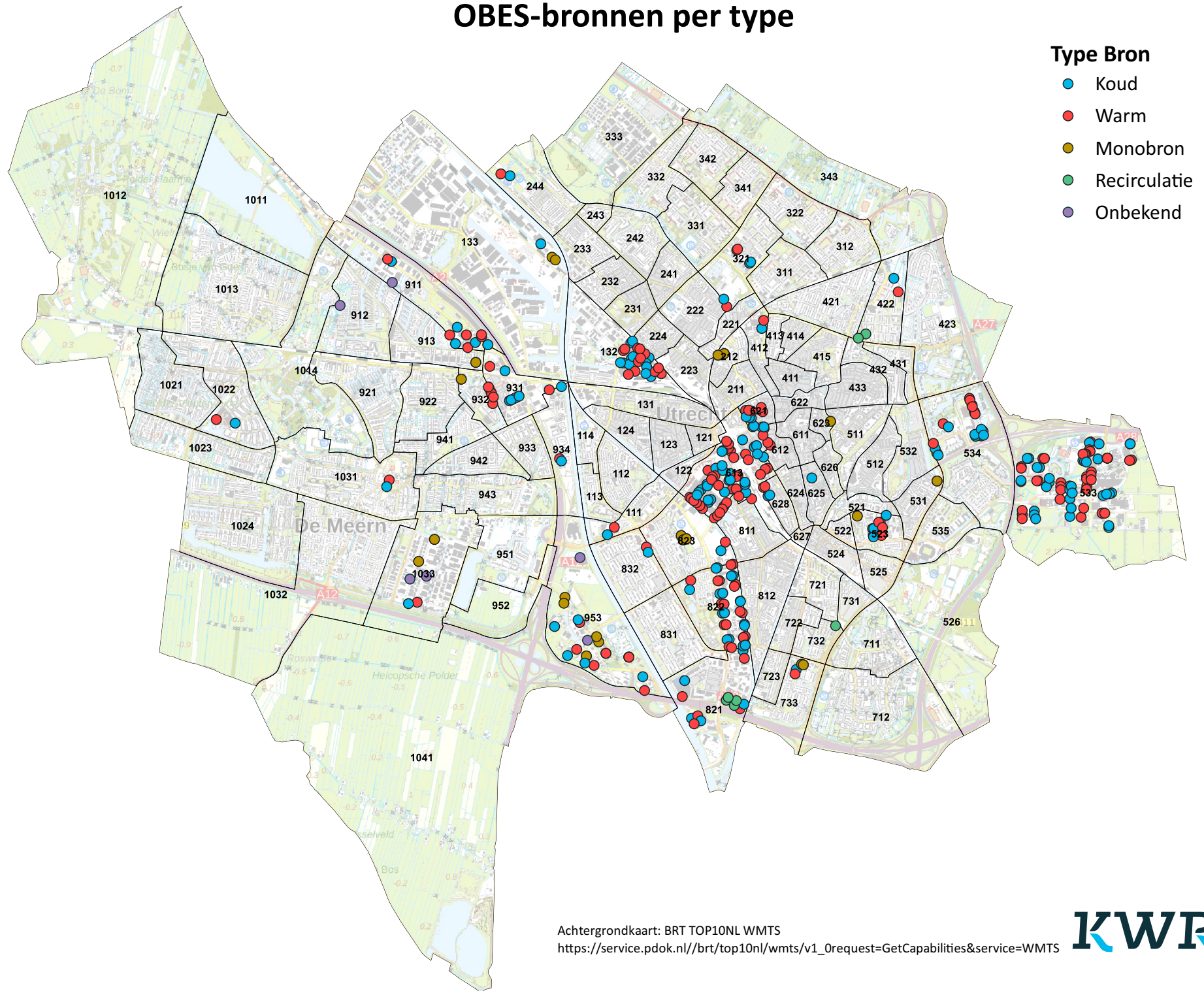
Buurtkaart Gemeente Utrecht



Ruimtegebruik Gemeente Utrecht



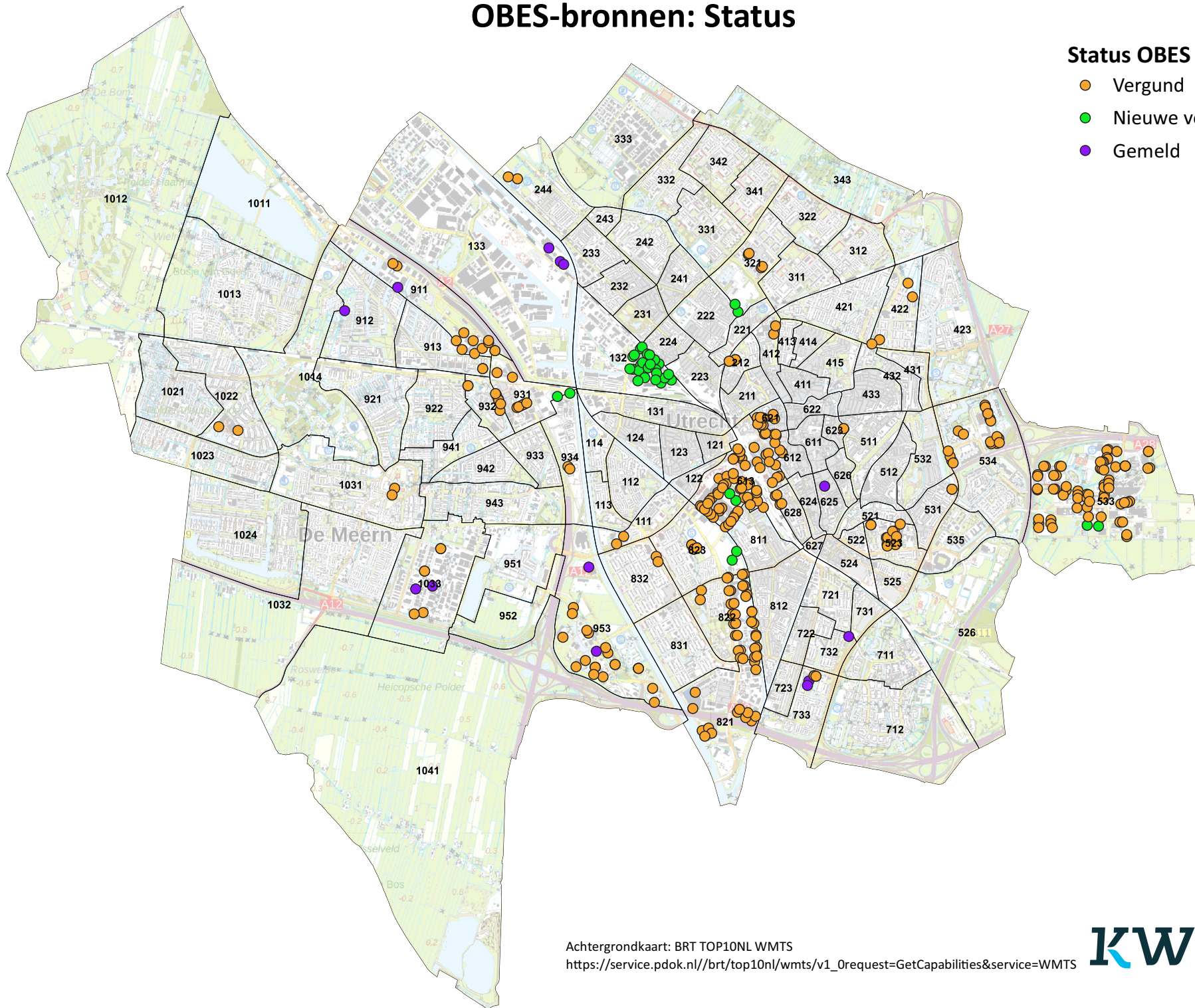
OBES-bronnen per type



OBES-bronnen: Status

Status OBES

- Vergund
- Nieuwe vergunning
- Gemeld

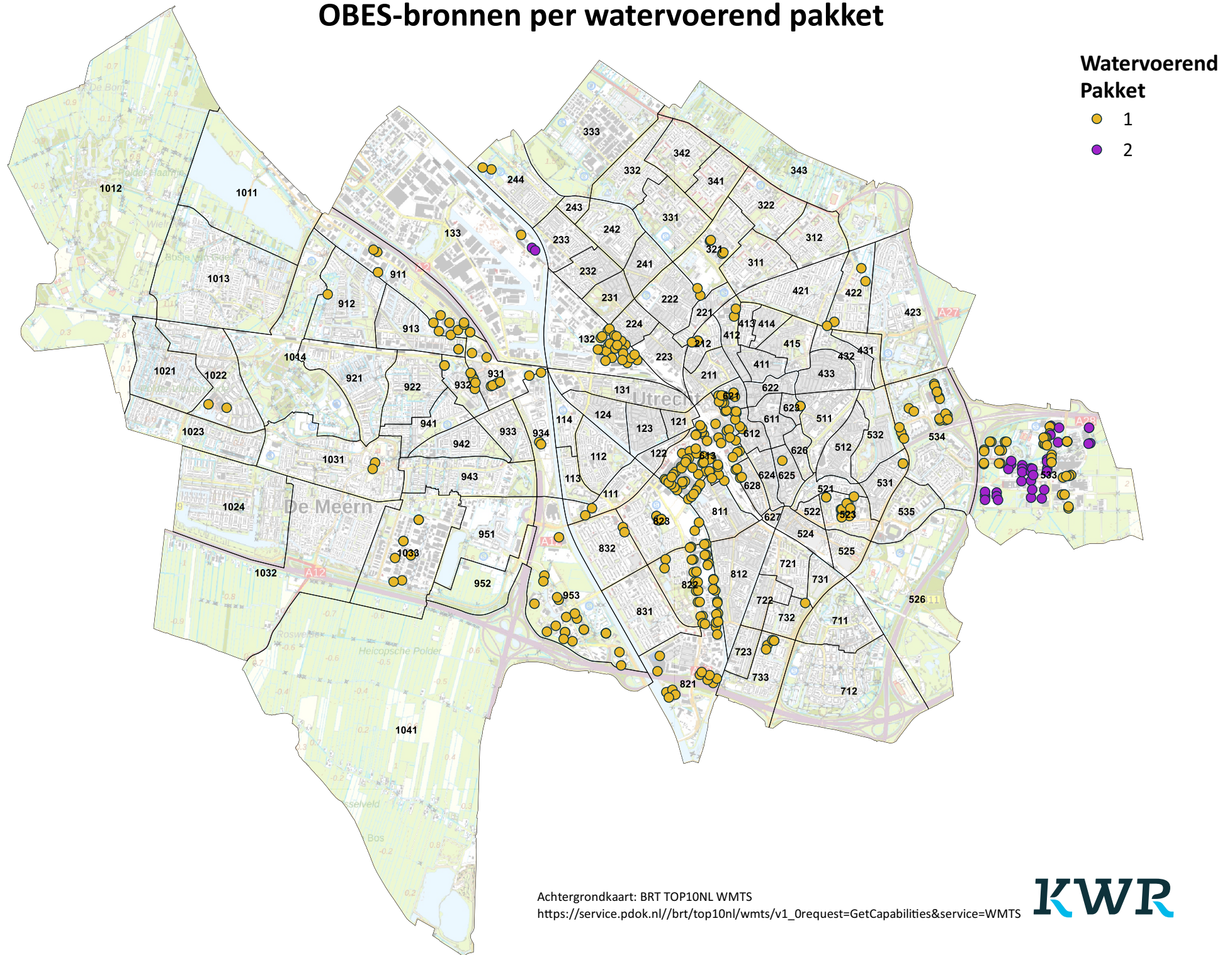


Achtergrondkaart: BRT TOP10NL WMTS

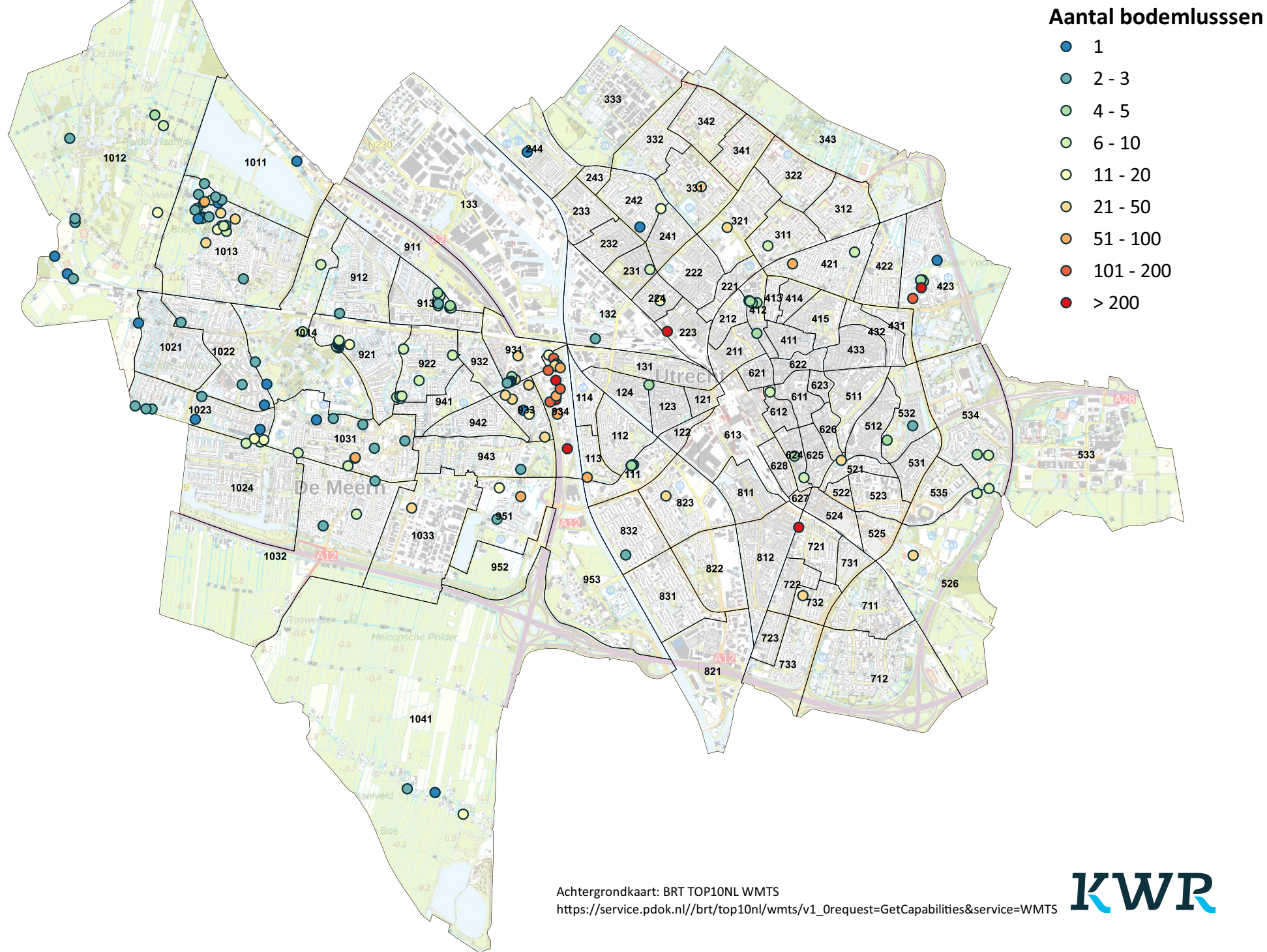
https://service.pdok.nl//brt/top10nl/wmts/v1_0request=GetCapabilities&service=WMTS

KWR

OBES-bronnen per watervoerend pakket



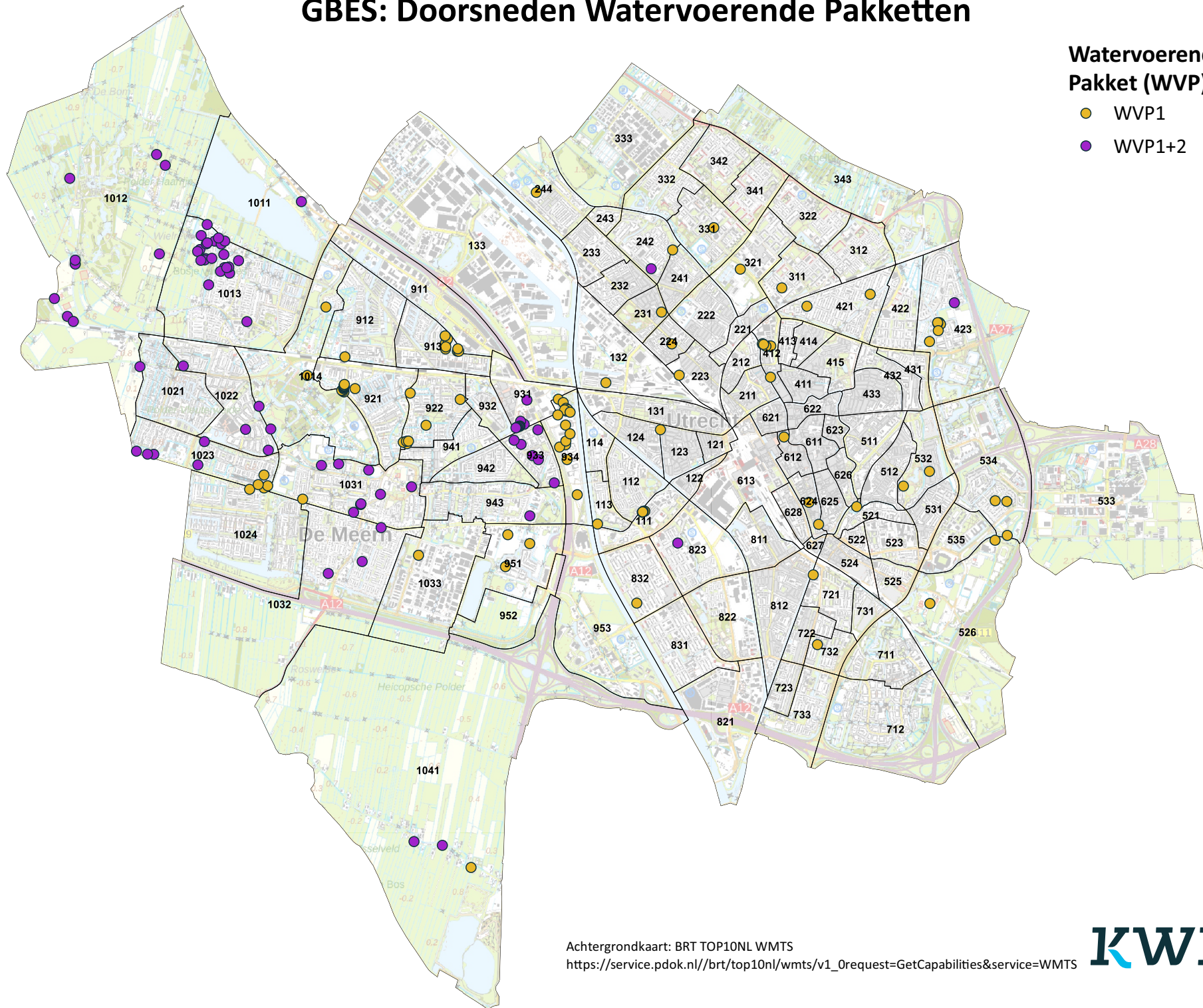
GBES: Aantal bodemplussen per melding



GBES: Doorsneden Watervoerende Pakketten

Watervoerend Pakket (WVP)

- WVP1
- WVP1+2

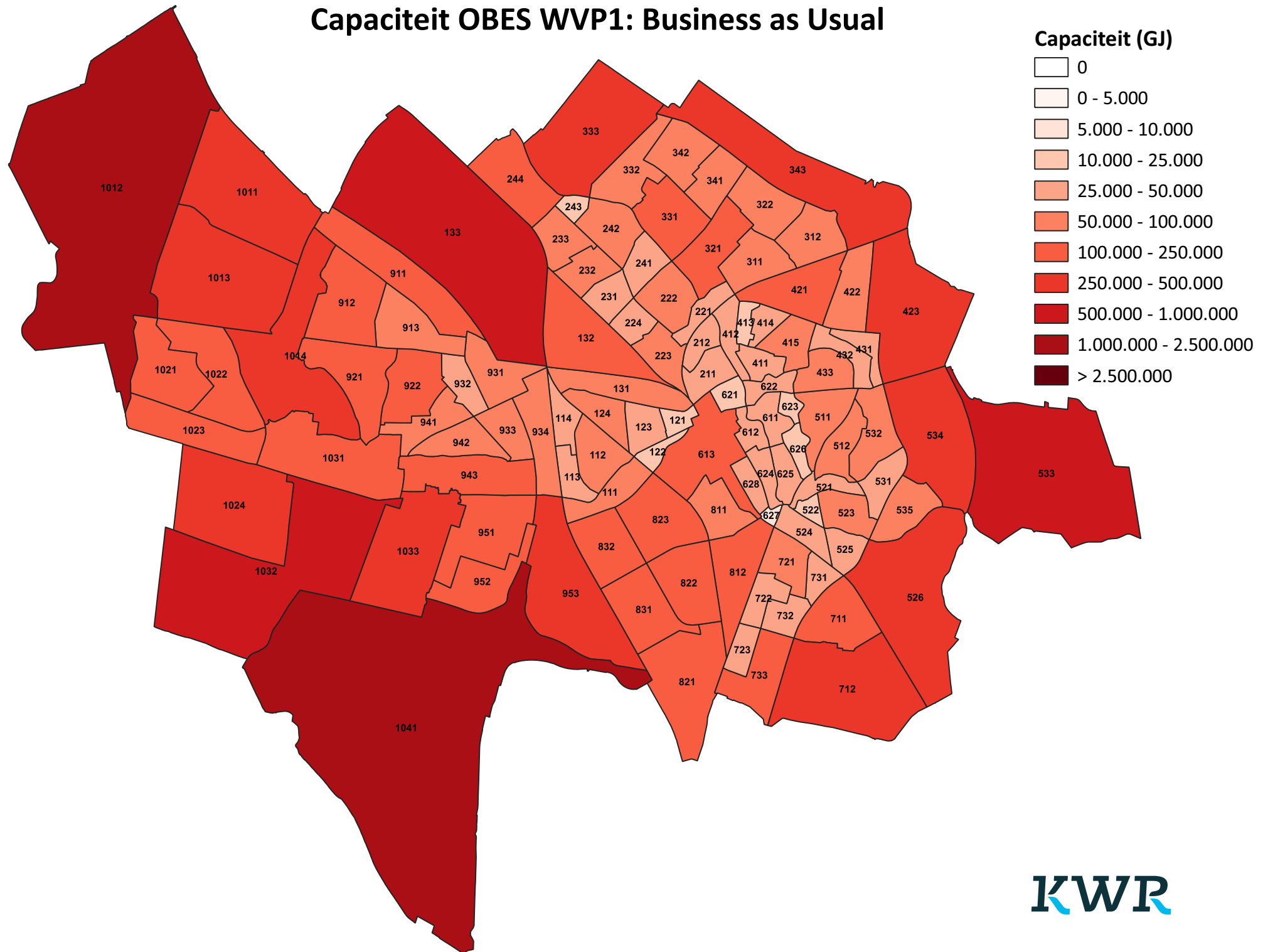


Achtergrondkaart: BRT TOP10NL WMTS

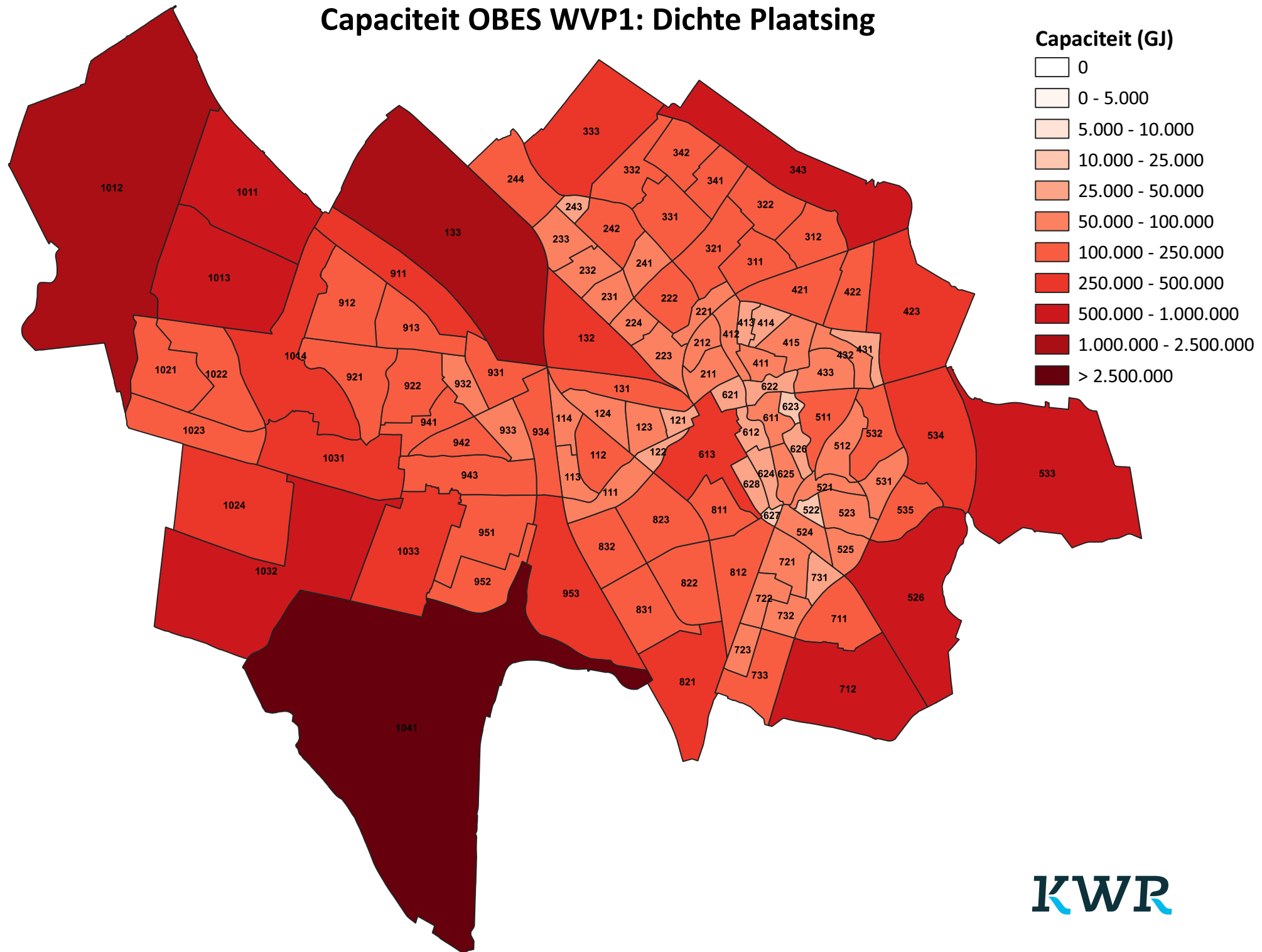
https://service.pdok.nl//brt/top10nl/wmts/v1_0request=GetCapabilities&service=WMTS

KWR

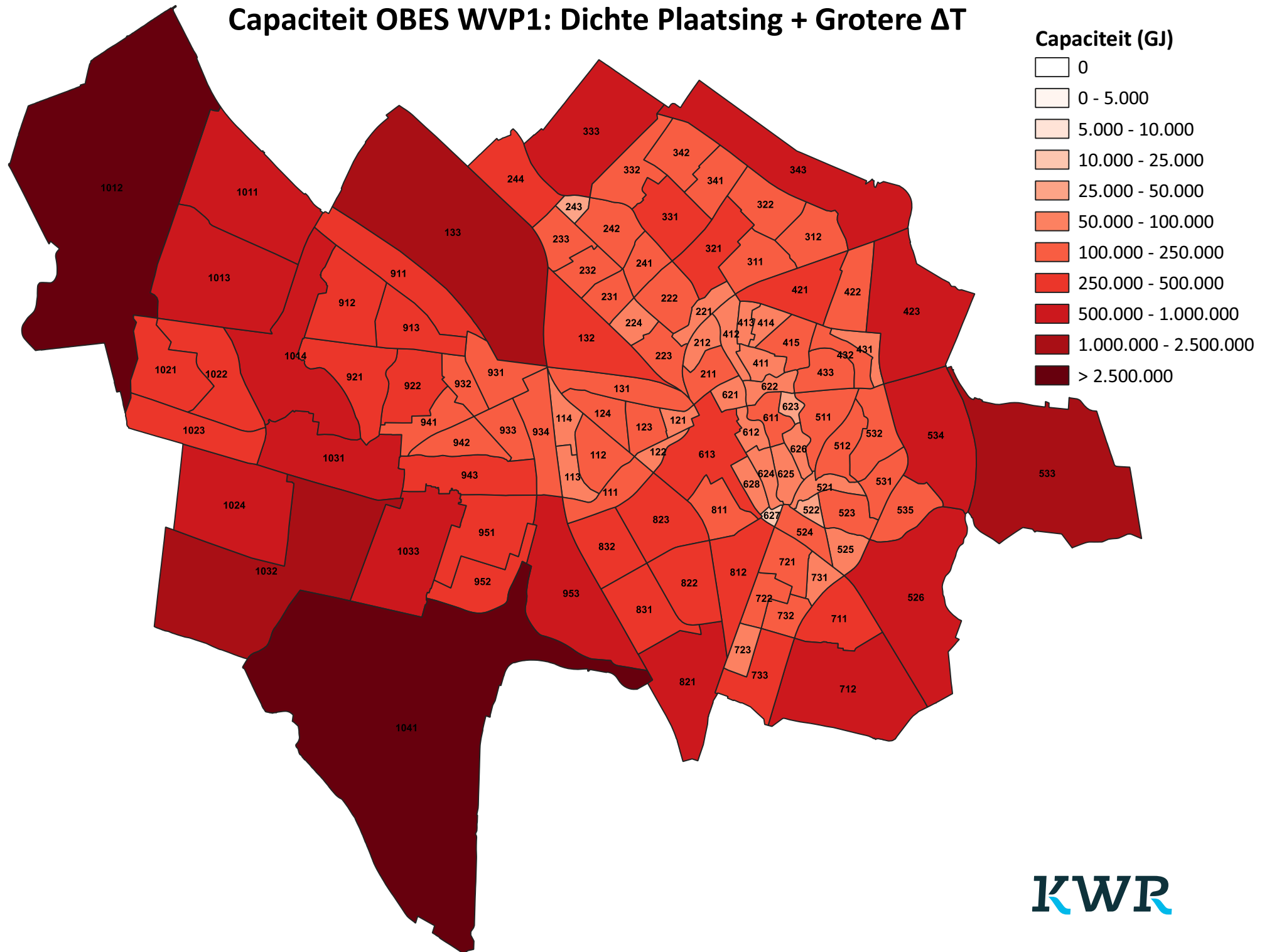
Capaciteit OBES WVP1: Business as Usual



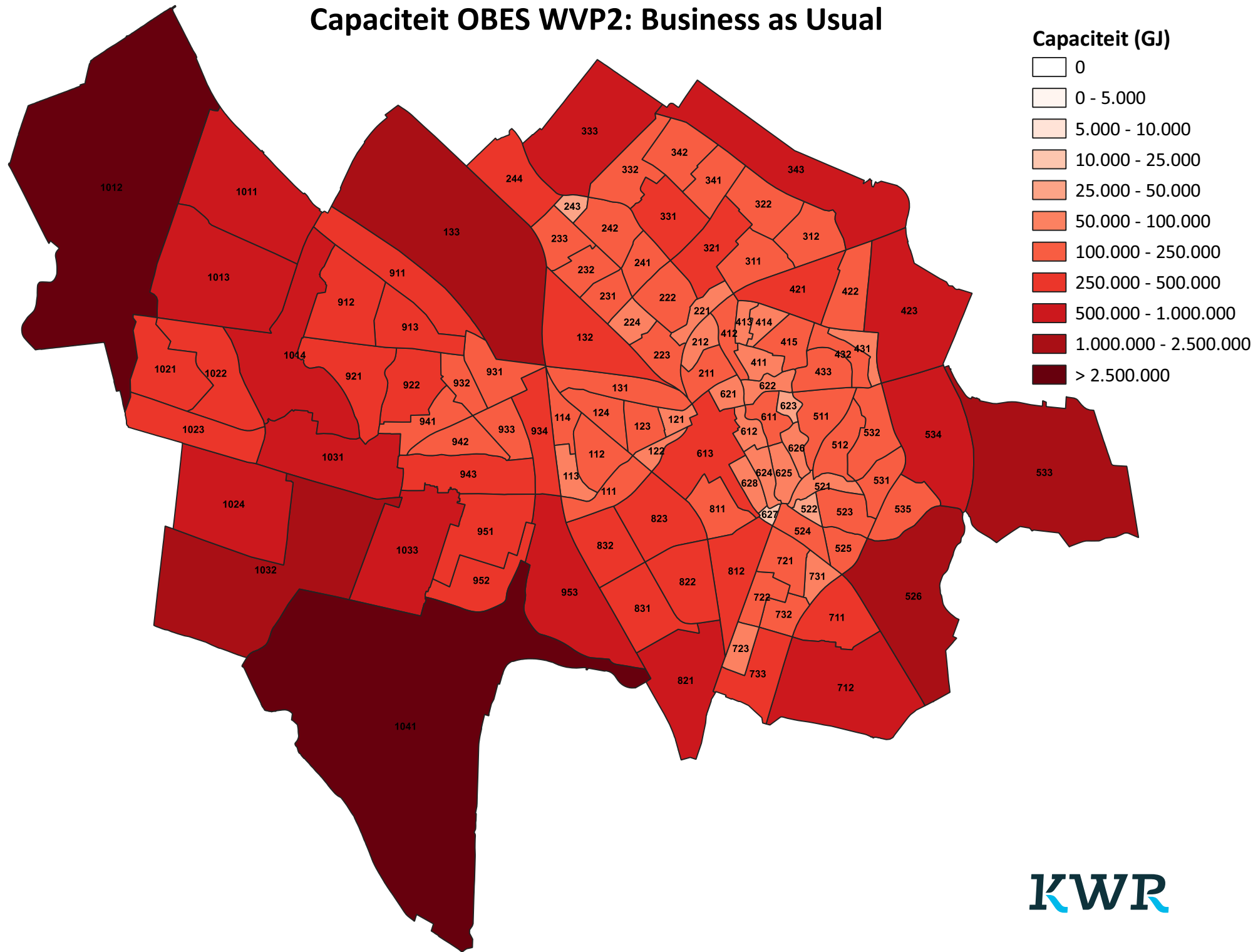
Capaciteit OBES WVP1: Dichte Plaatsing



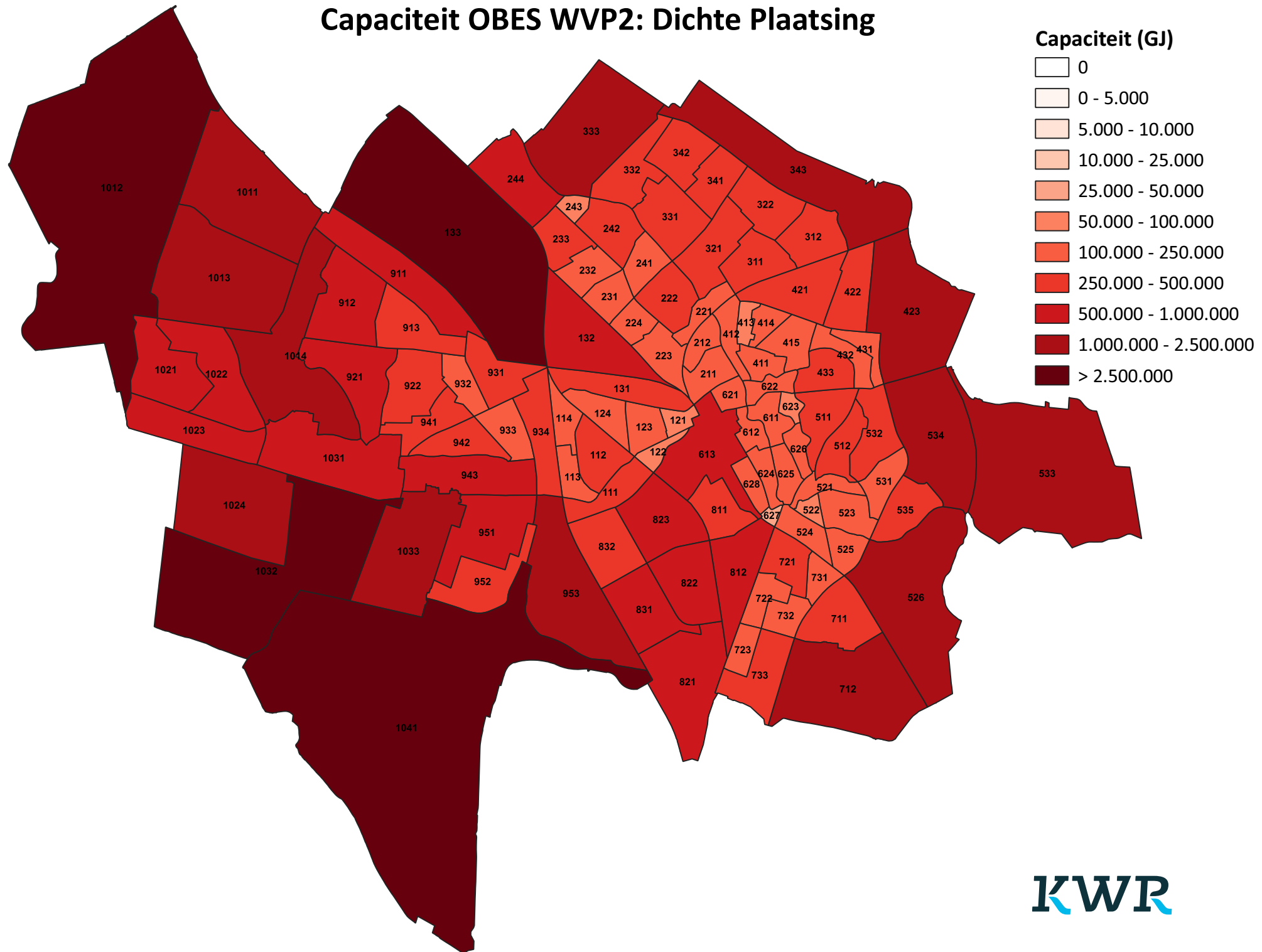
Capaciteit OBES WVP1: Dichte Plaatsing + Grotere ΔT



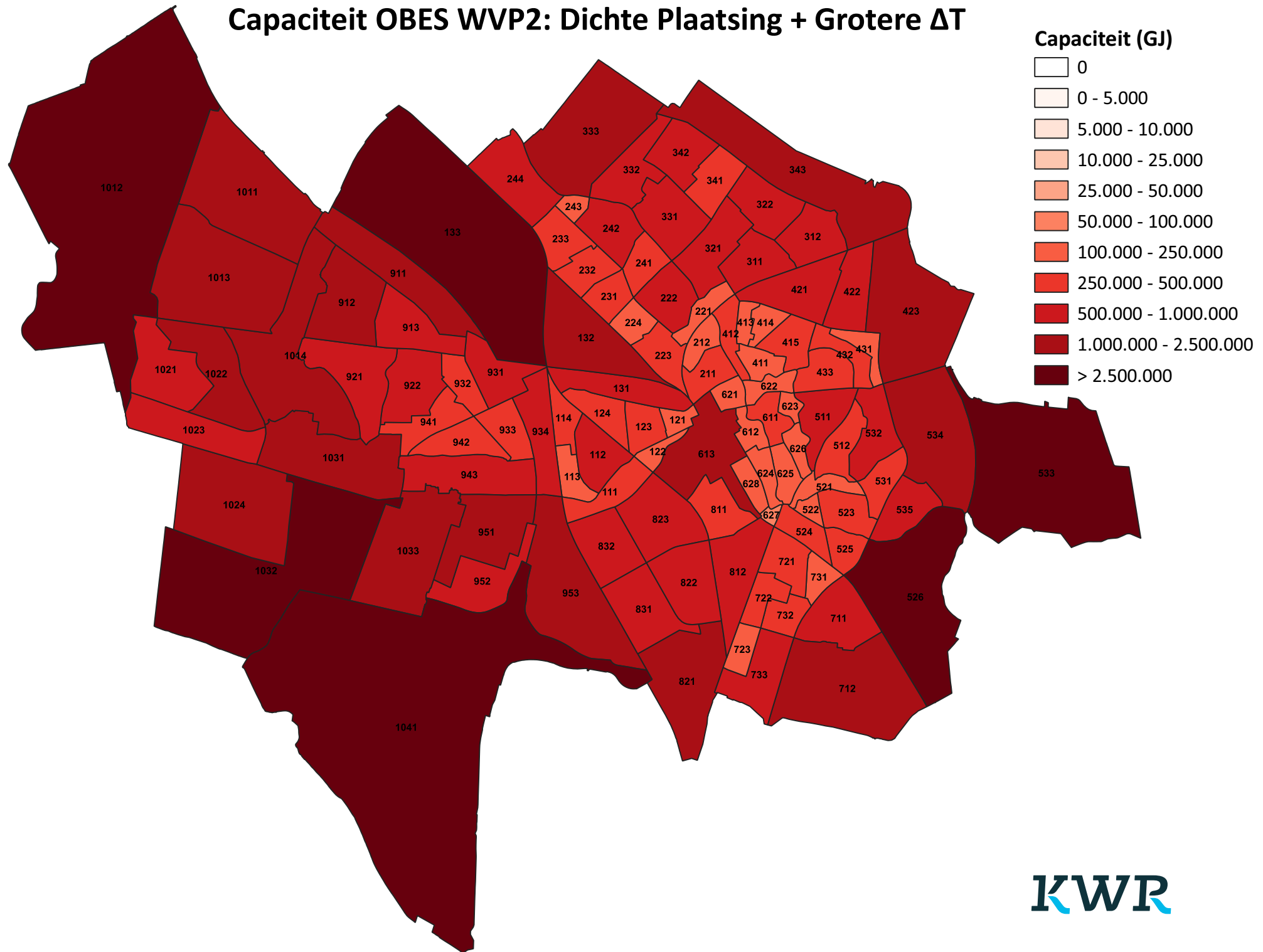
Capaciteit OBES WVP2: Business as Usual



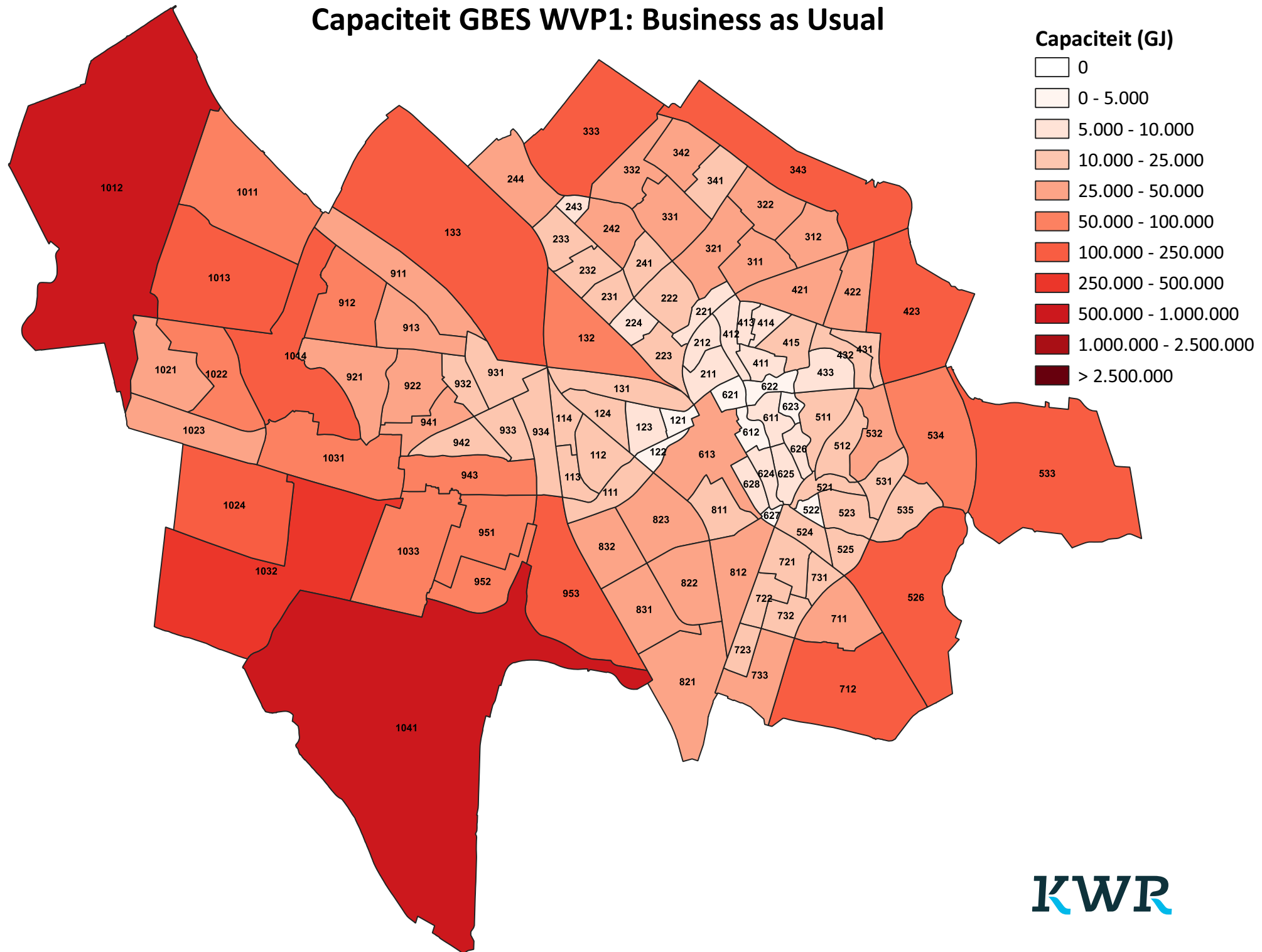
Capaciteit OBES WVP2: Dichte Plaatsing



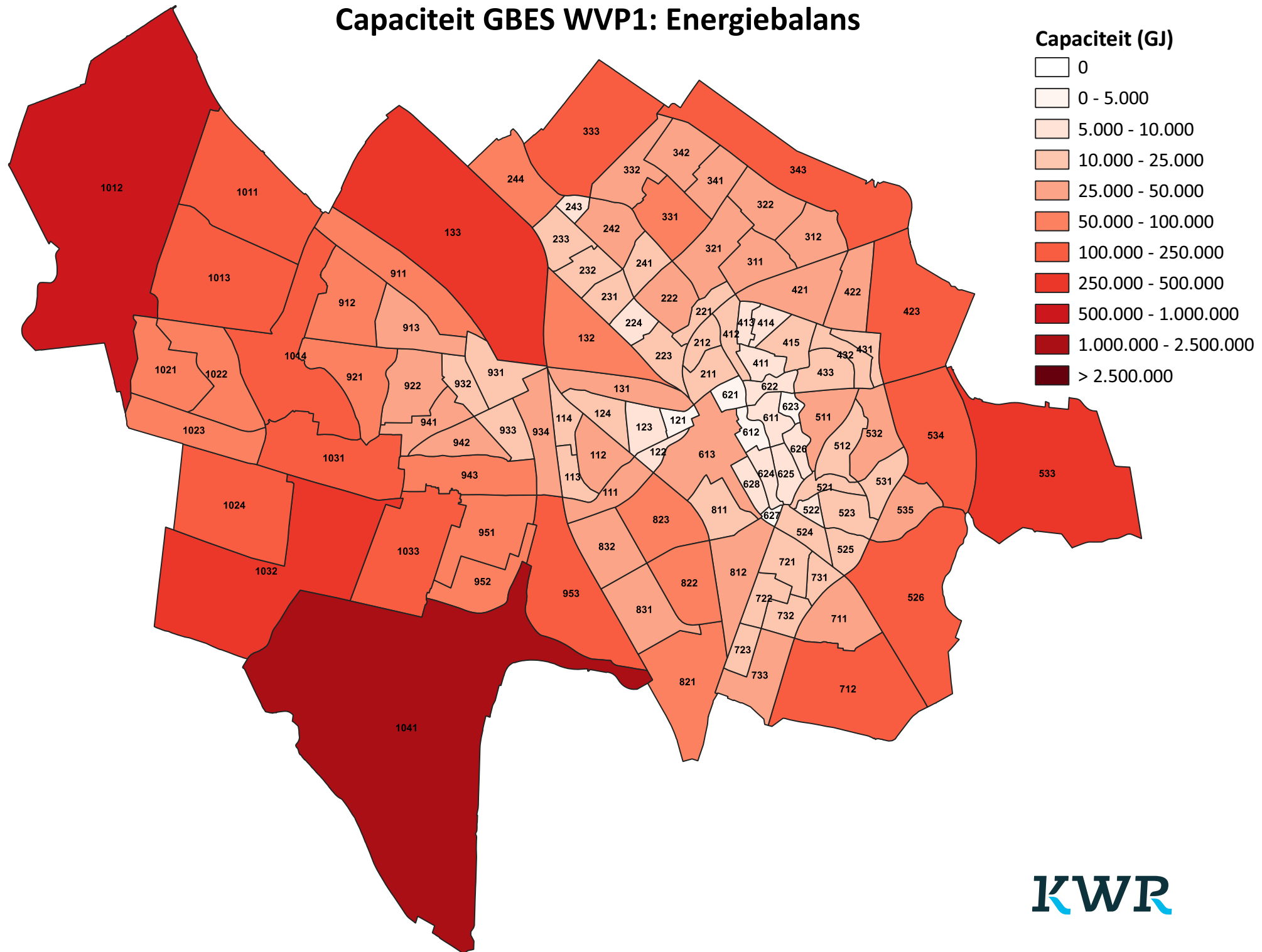
Capaciteit OBES WVP2: Dichte Plaatsing + Grotere ΔT



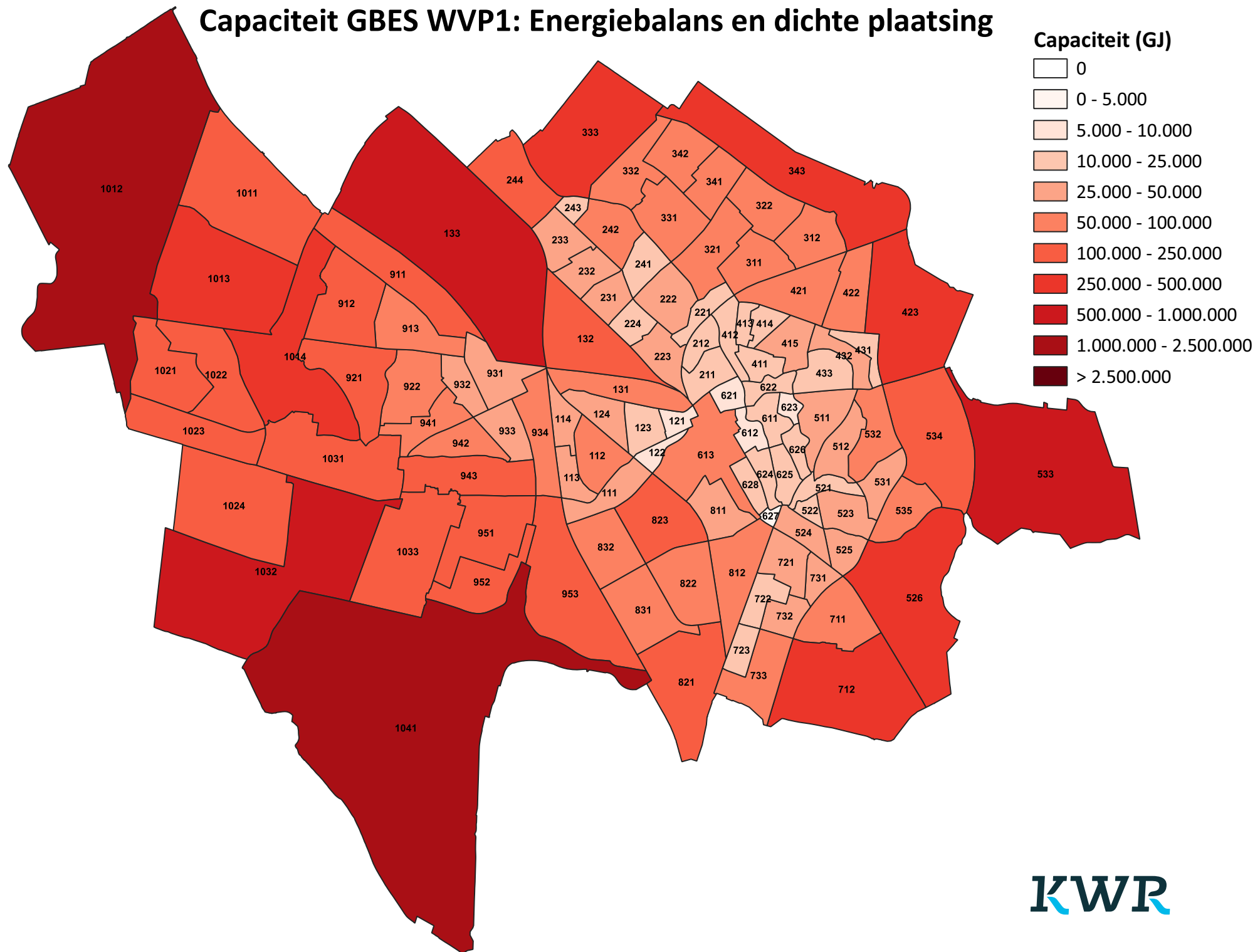
Capaciteit GBES WVP1: Business as Usual



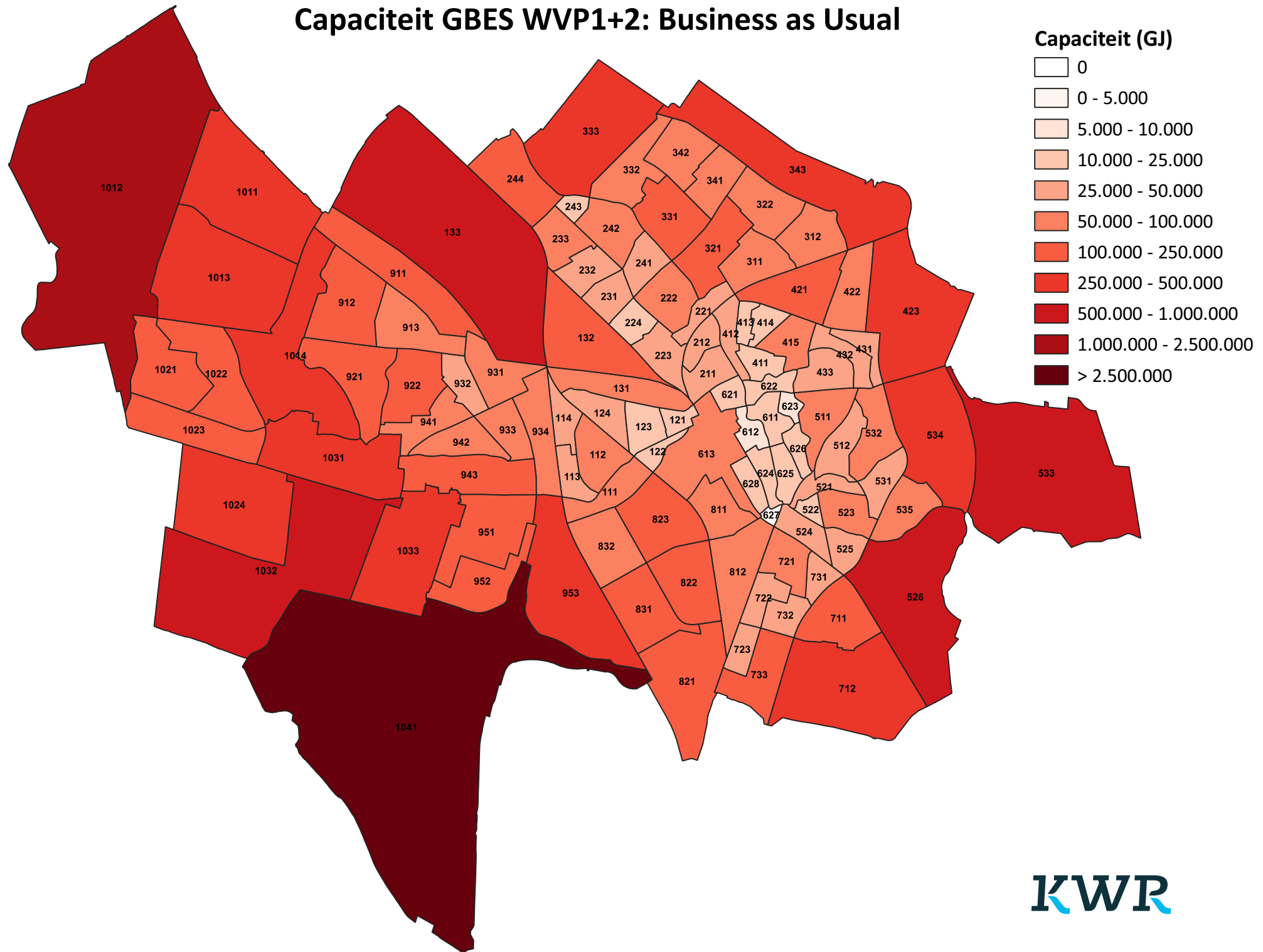
Capaciteit GBES WVP1: Energiebalans



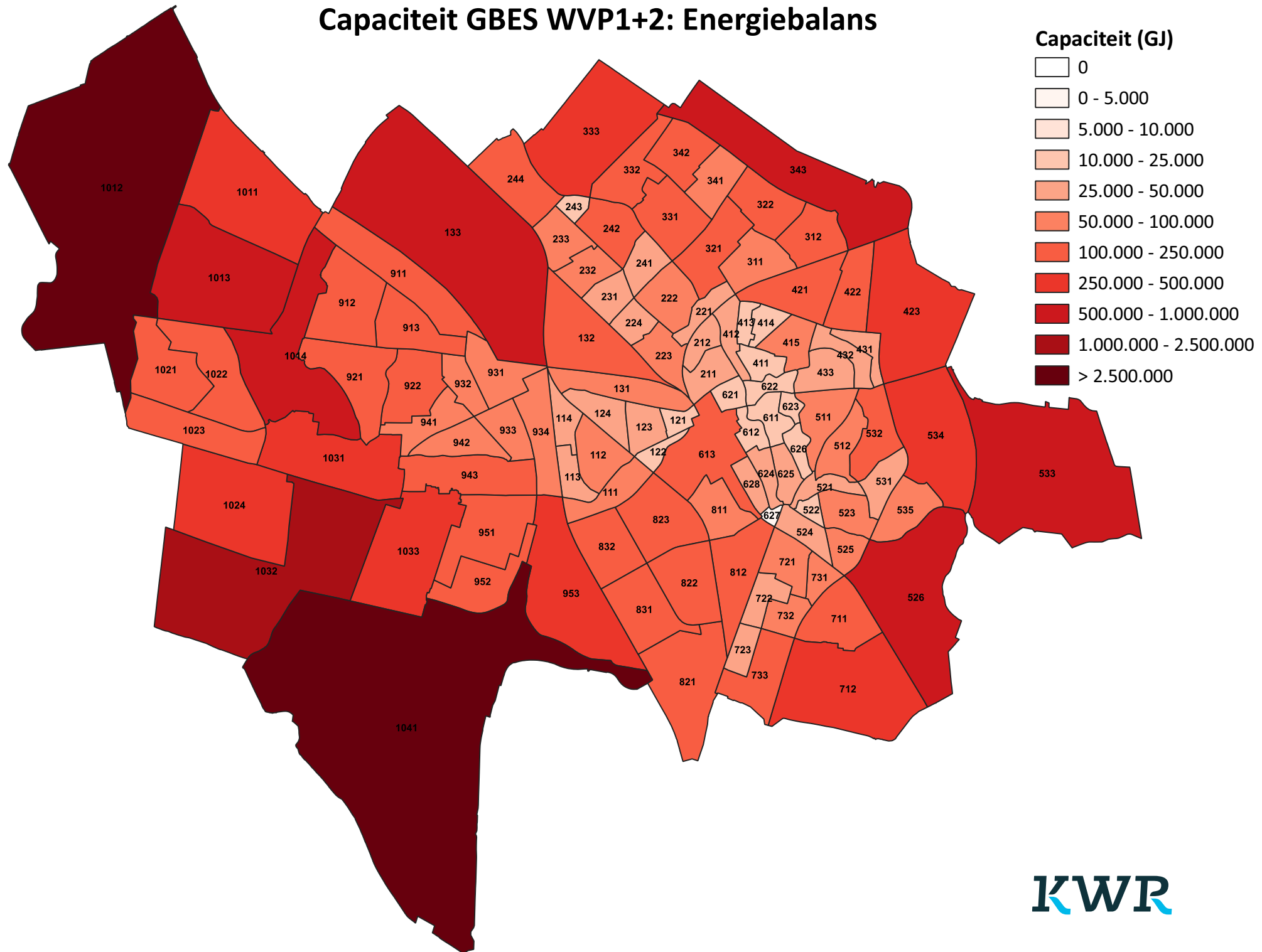
Capaciteit GBES WVP1: Energiebalans en dichte plaatsing



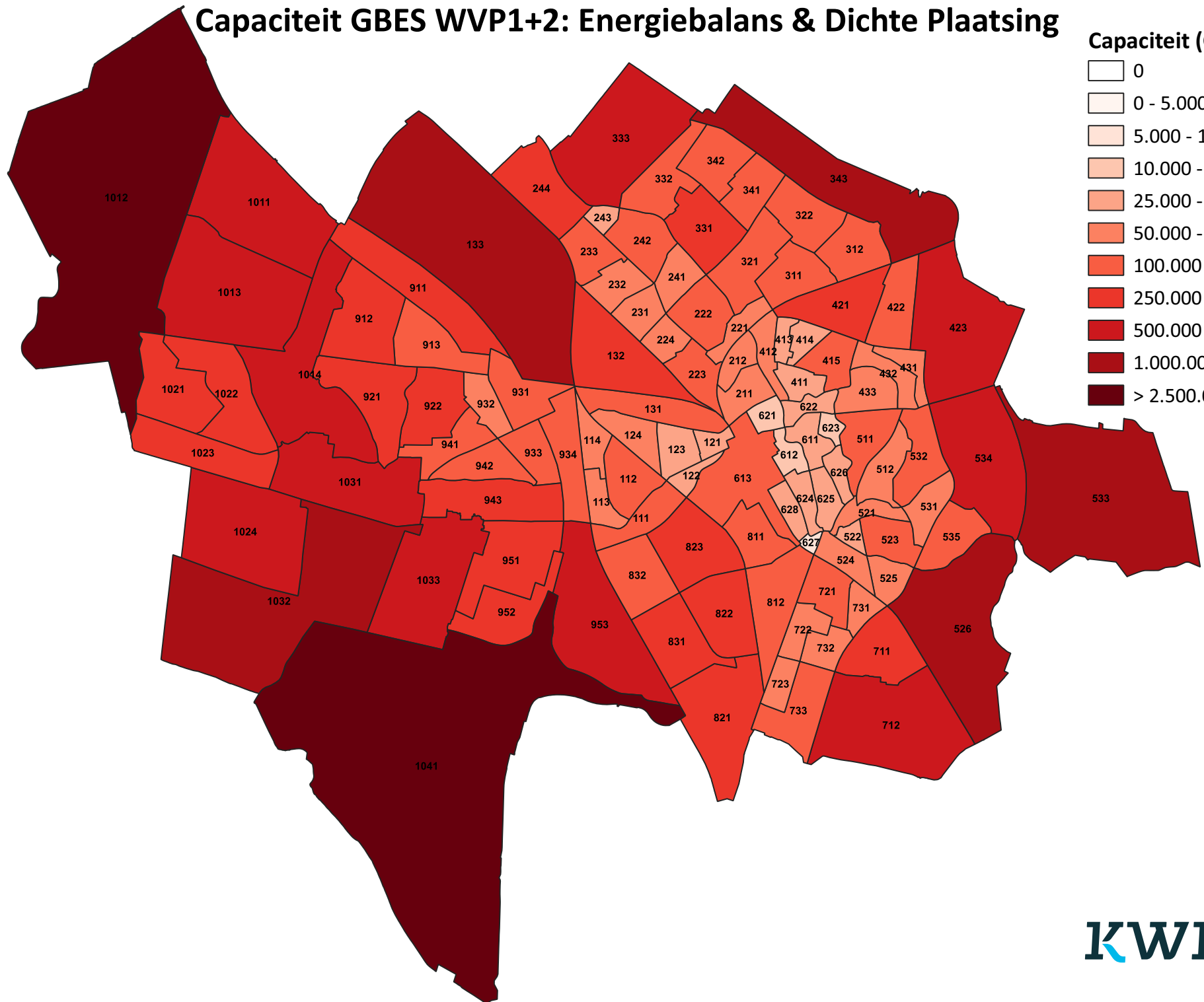
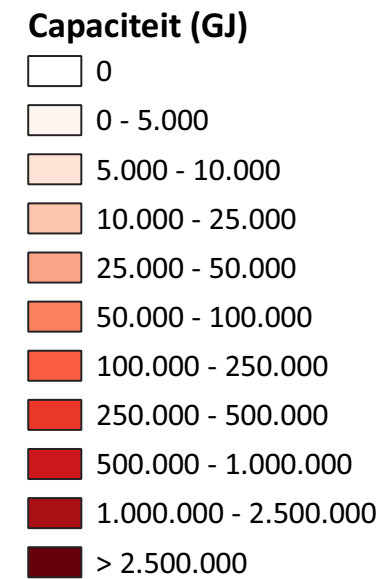
Capaciteit GBES WVP1+2: Business as Usual



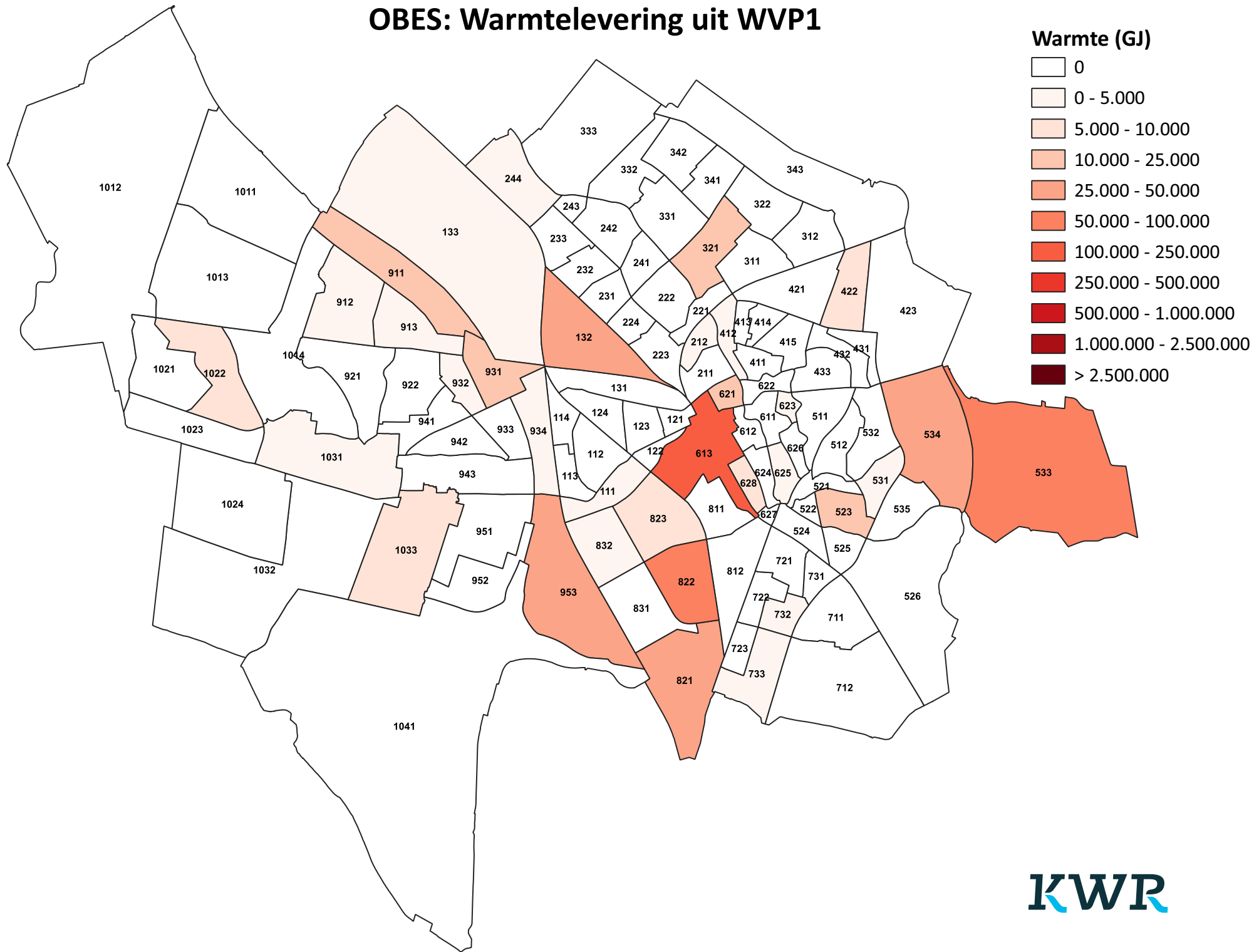
Capaciteit GBES WVP1+2: Energiebalans



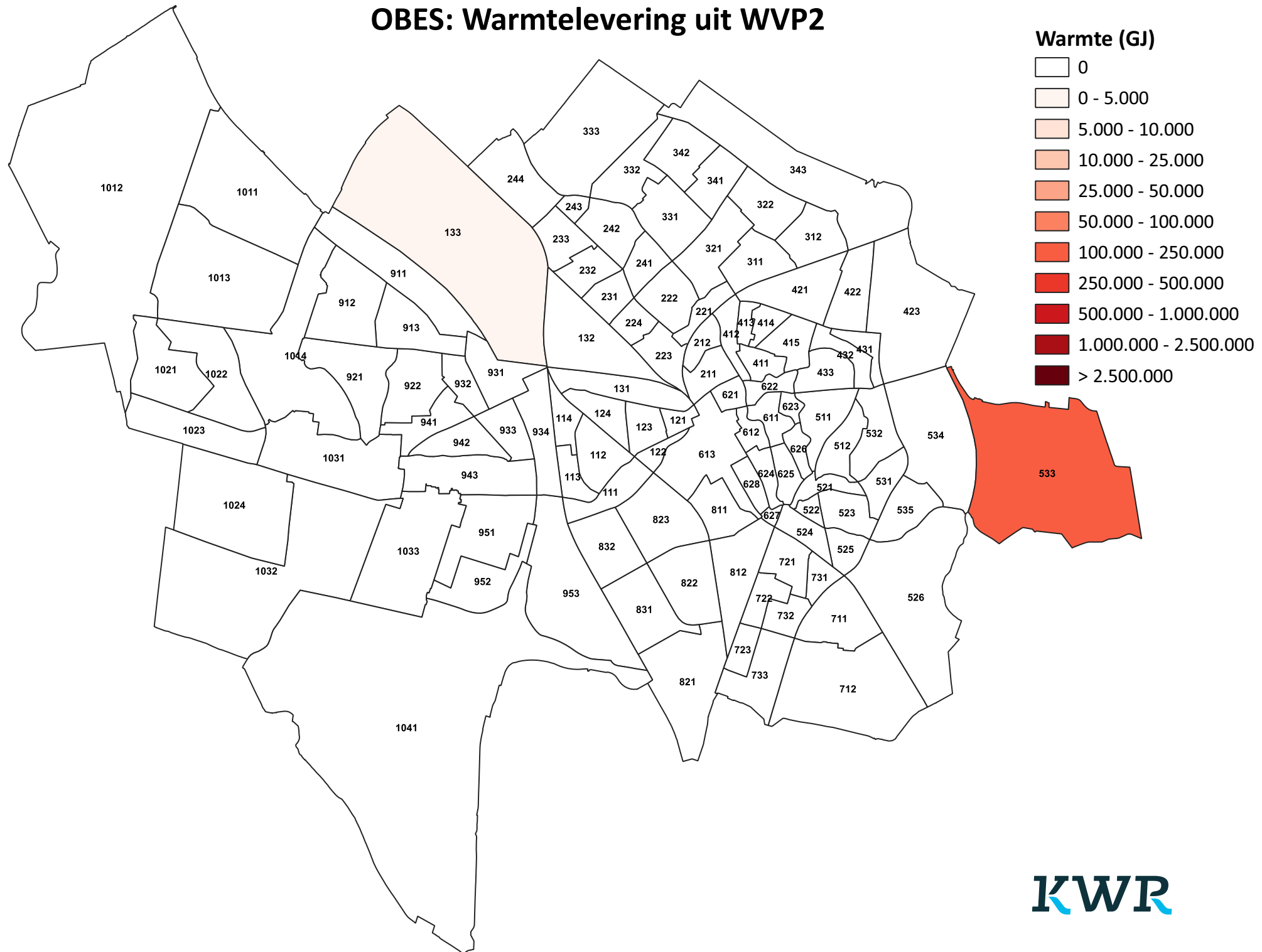
Capaciteit GBES WVP1+2: Energiebalans & Dichte Plaatsing



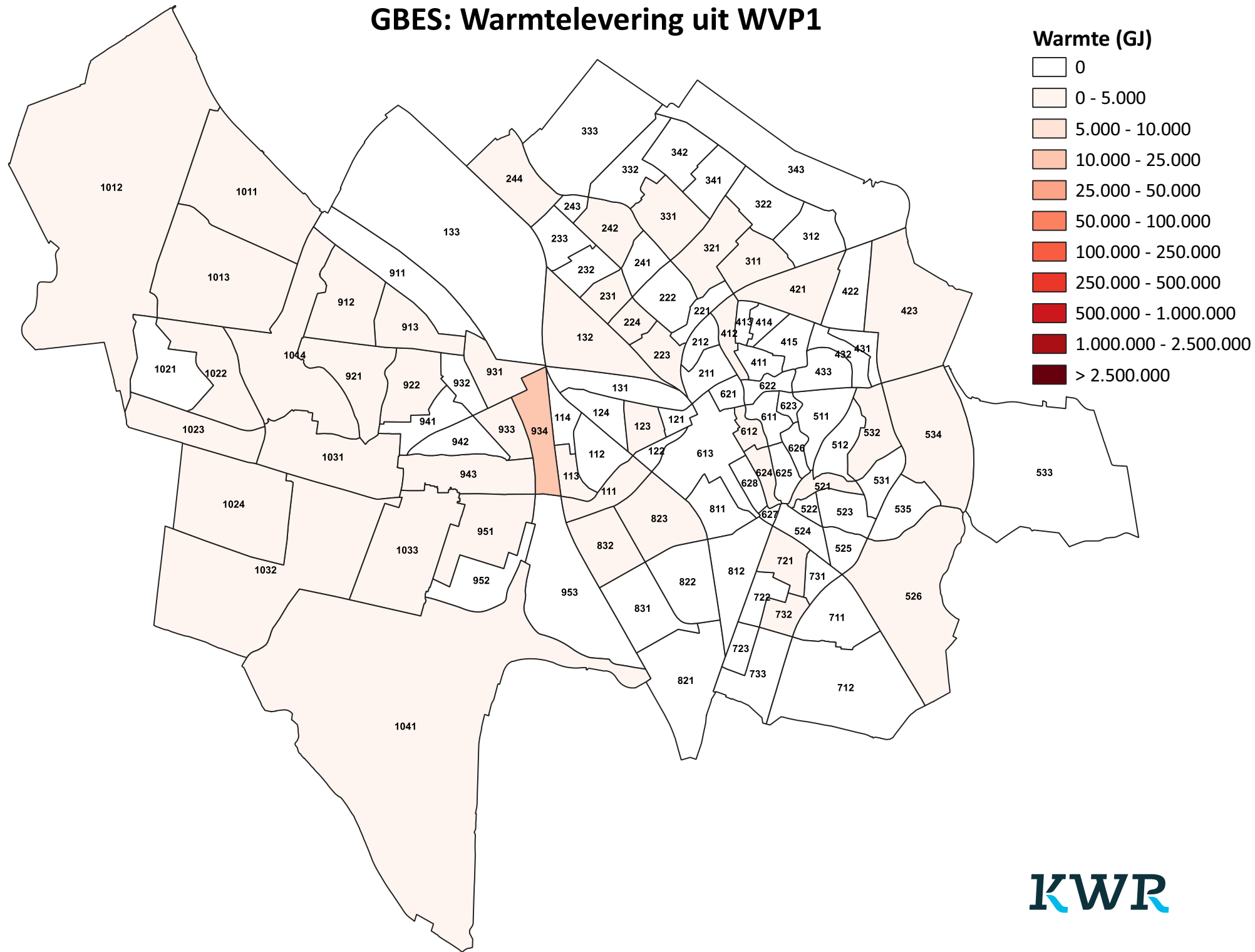
OBES: Warmtelevering uit WVP1



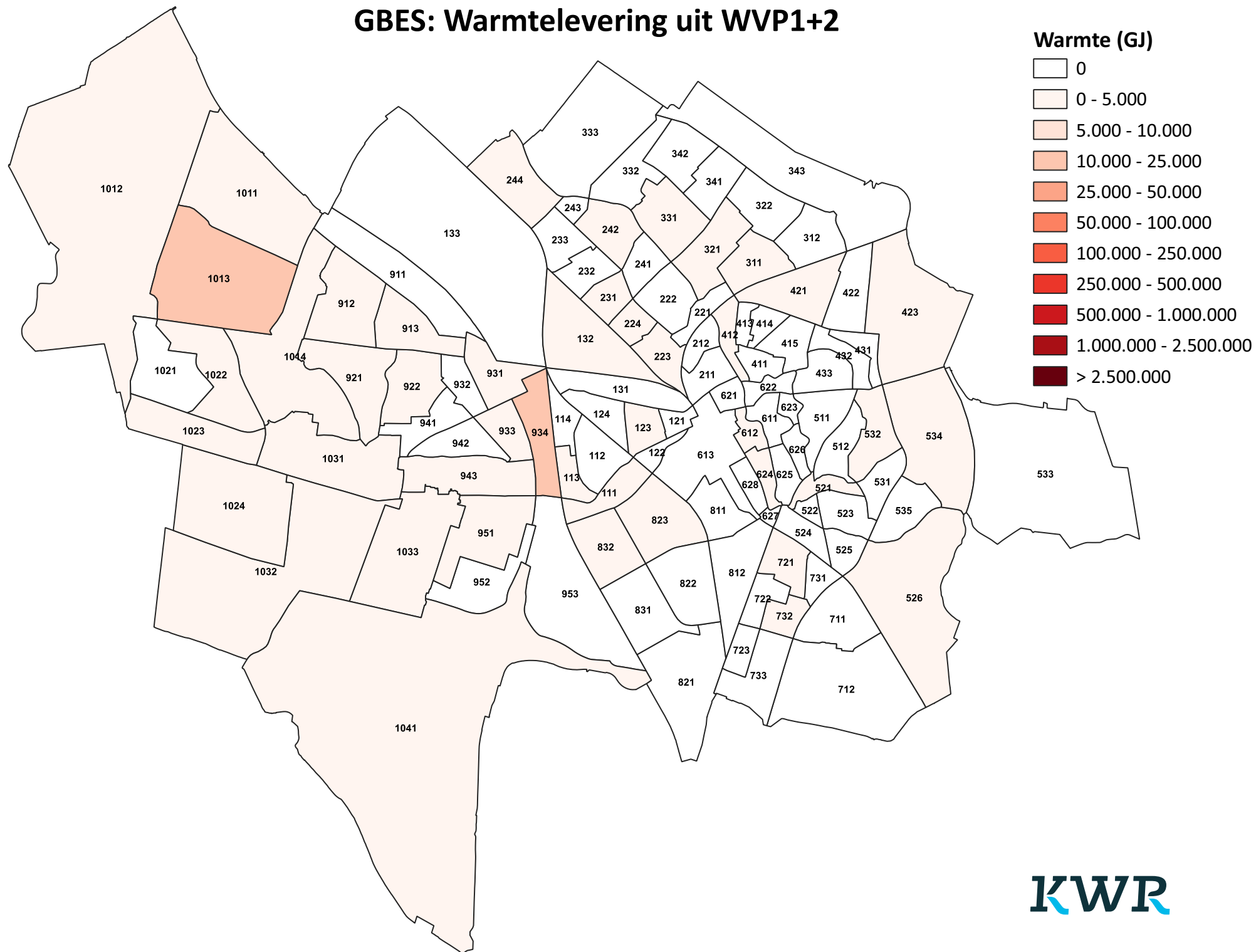
OBES: Warmtelevering uit WVP2



GBES: Warmtelevering uit WVP1



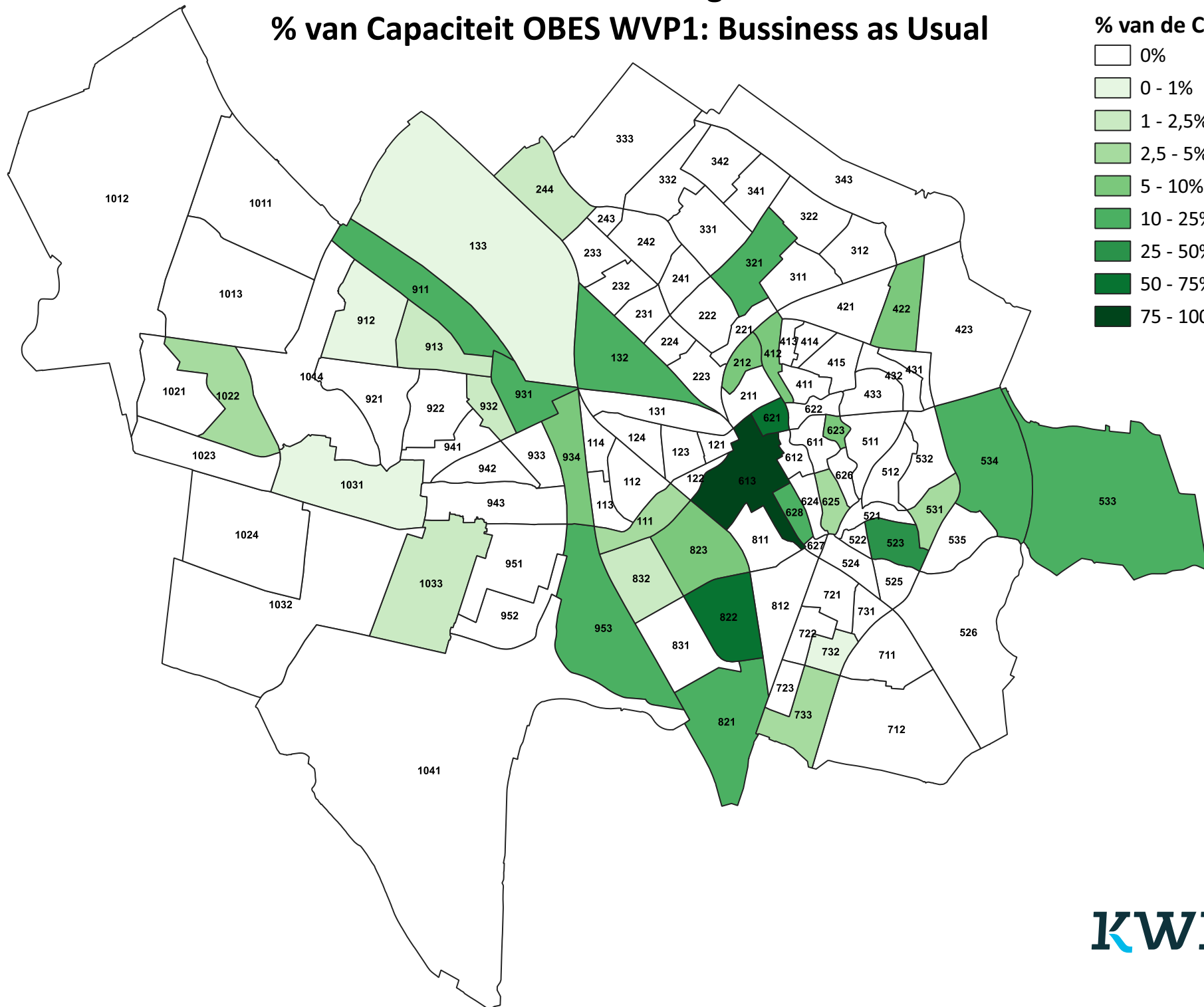
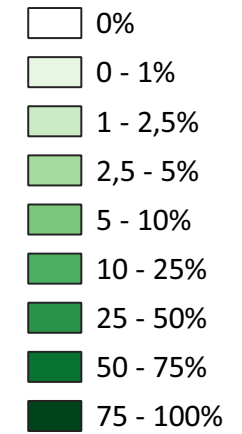
GBES: Warmtelevering uit WVP1+2



OBES: Warmtelevering uit WVP1

% van Capaciteit OBES WVP1: Bussiness as Usual

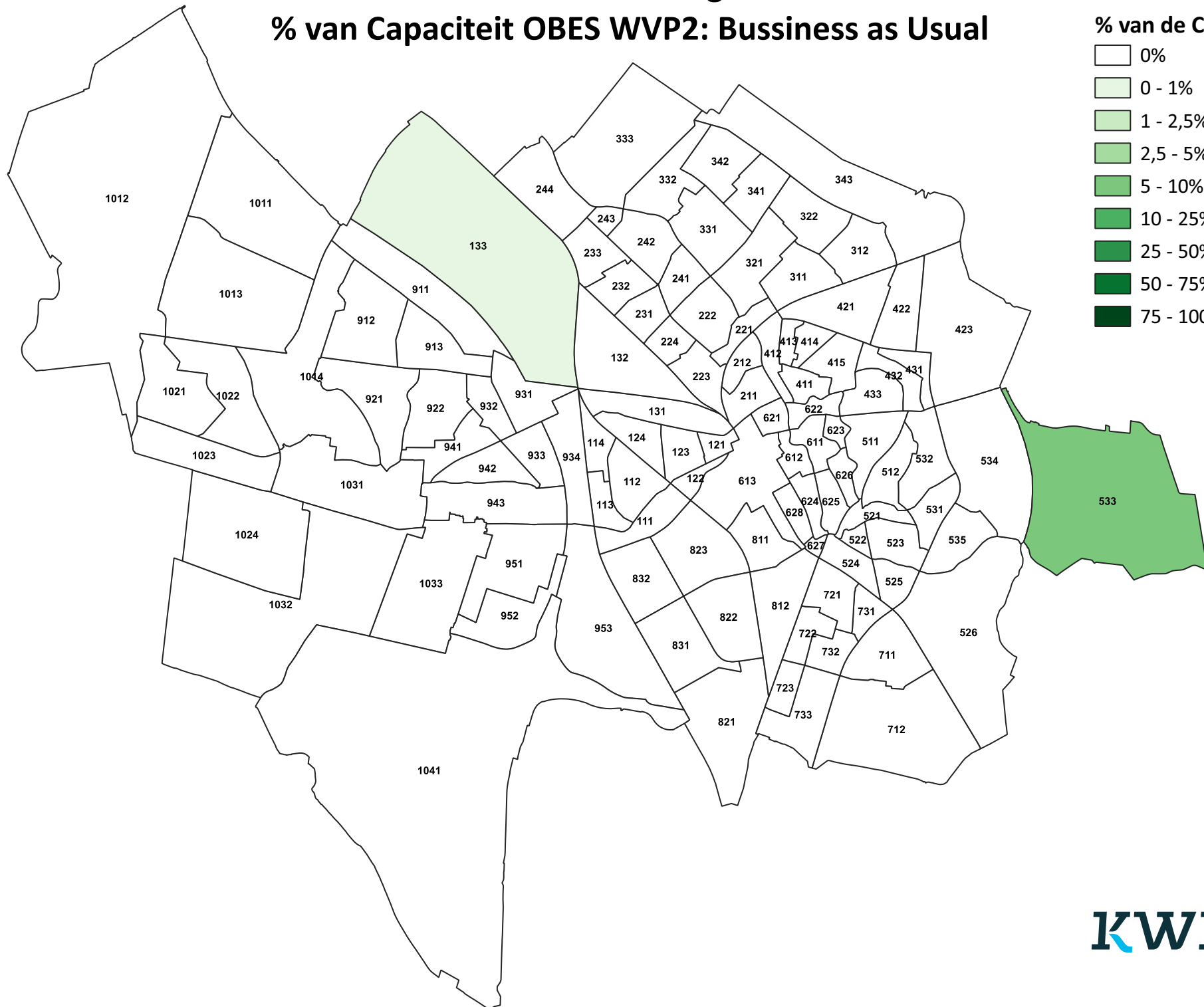
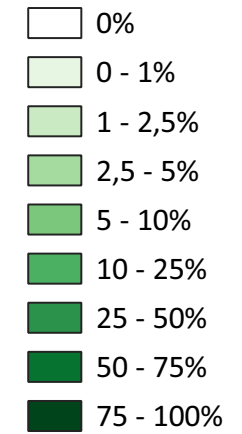
% van de Capaciteit



OBES: Warmtelevering uit WVP2

% van Capaciteit OBES WVP2: Bussiness as Usual

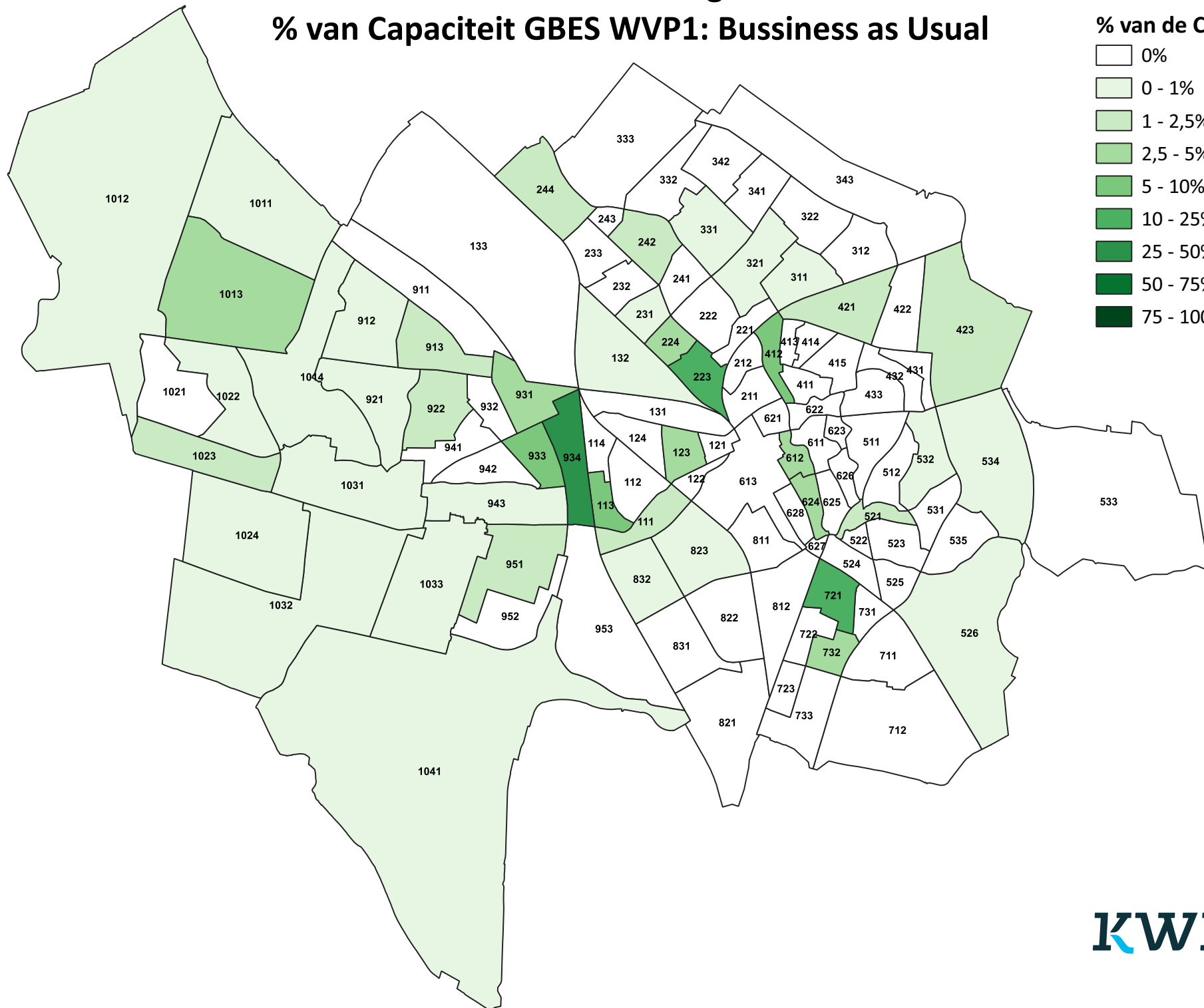
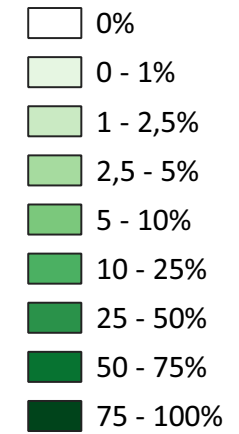
% van de Capaciteit



GBES: Warmtelevering uit WVP1

% van Capaciteit GBES WVP1: Bussiness as Usual

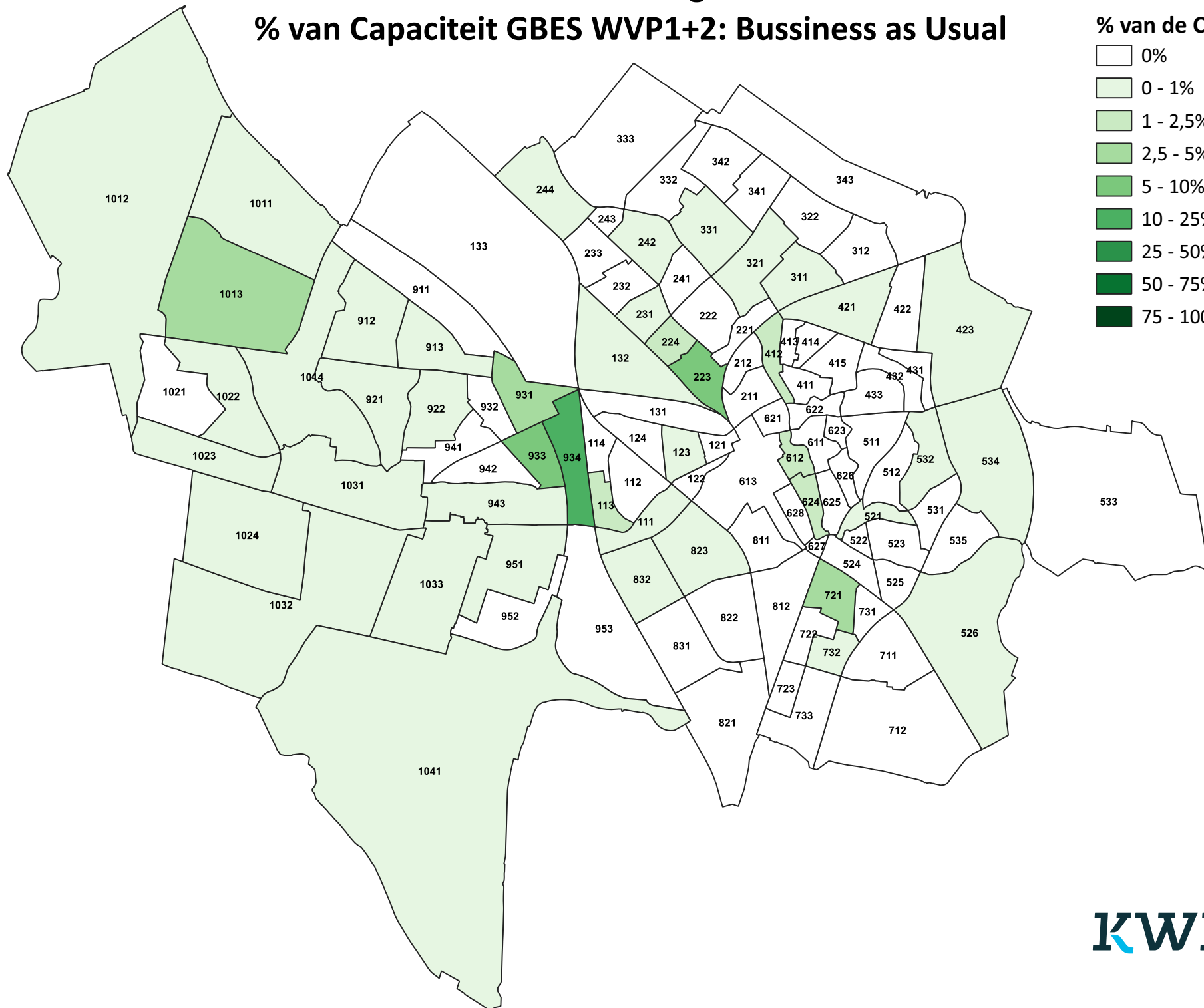
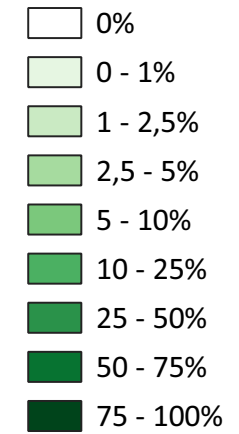
% van de Capaciteit



GBES: Warmtelevering uit WVP1+2

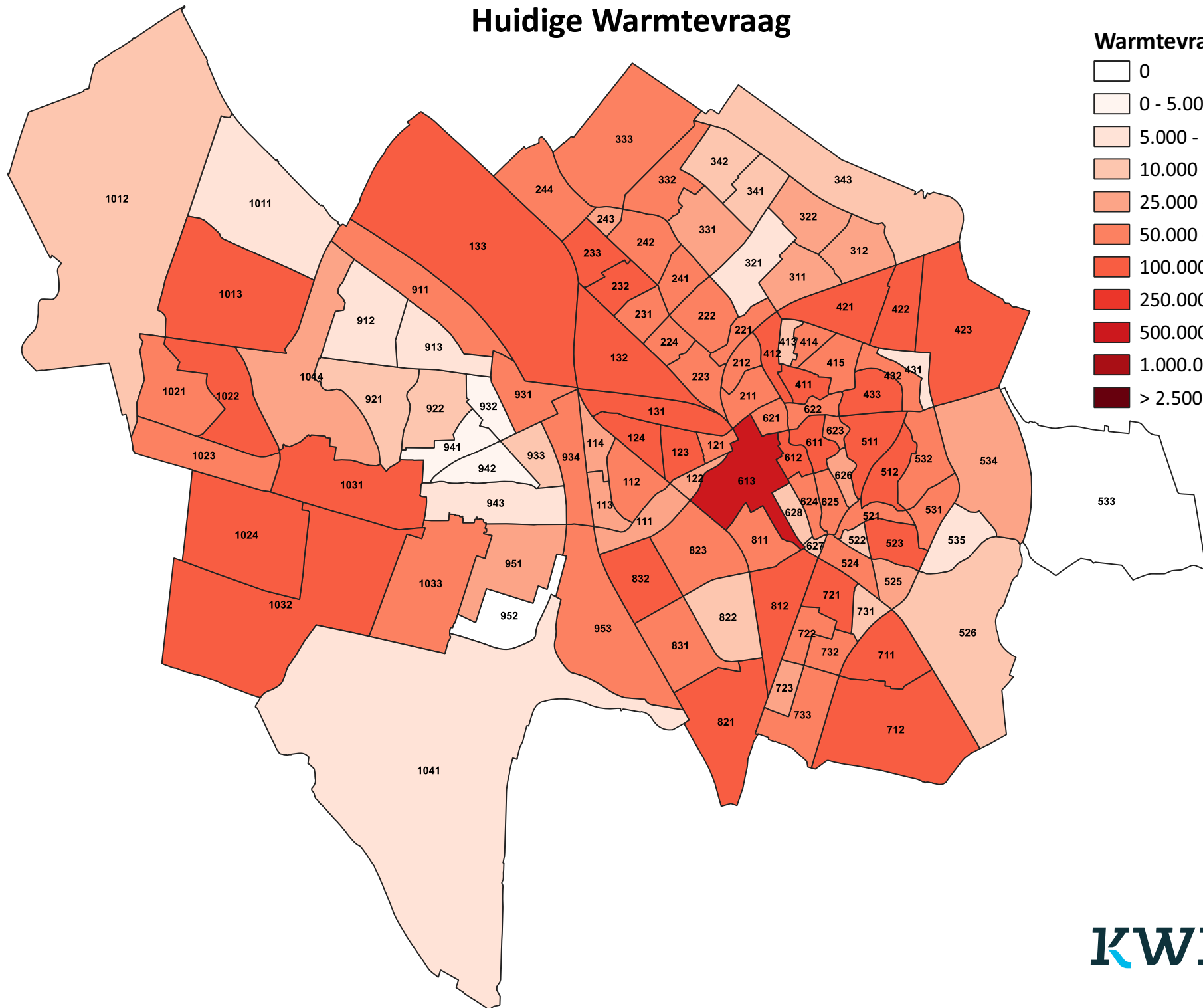
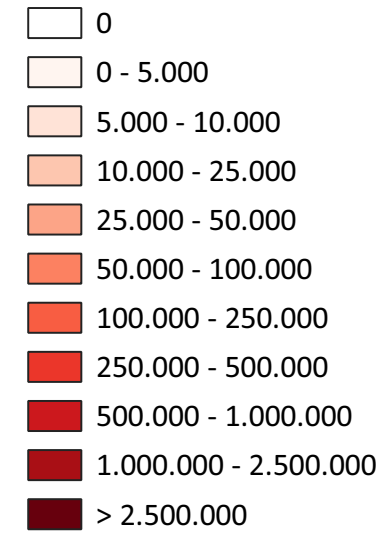
% van Capaciteit GBES WVP1+2: Bussiness as Usual

% van de Capaciteit

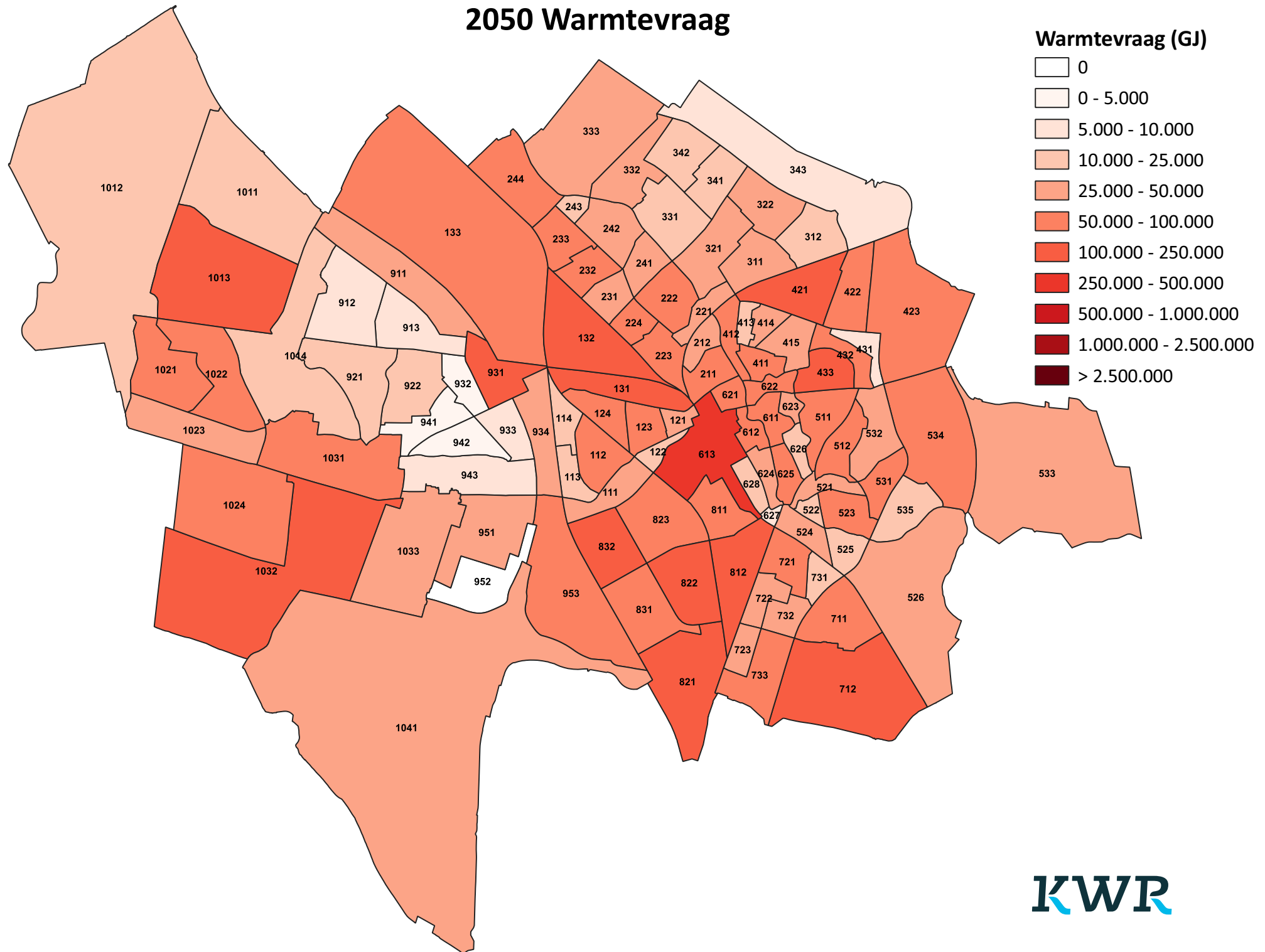


Huidige Warmtevraag

Warmtevraag (GJ)

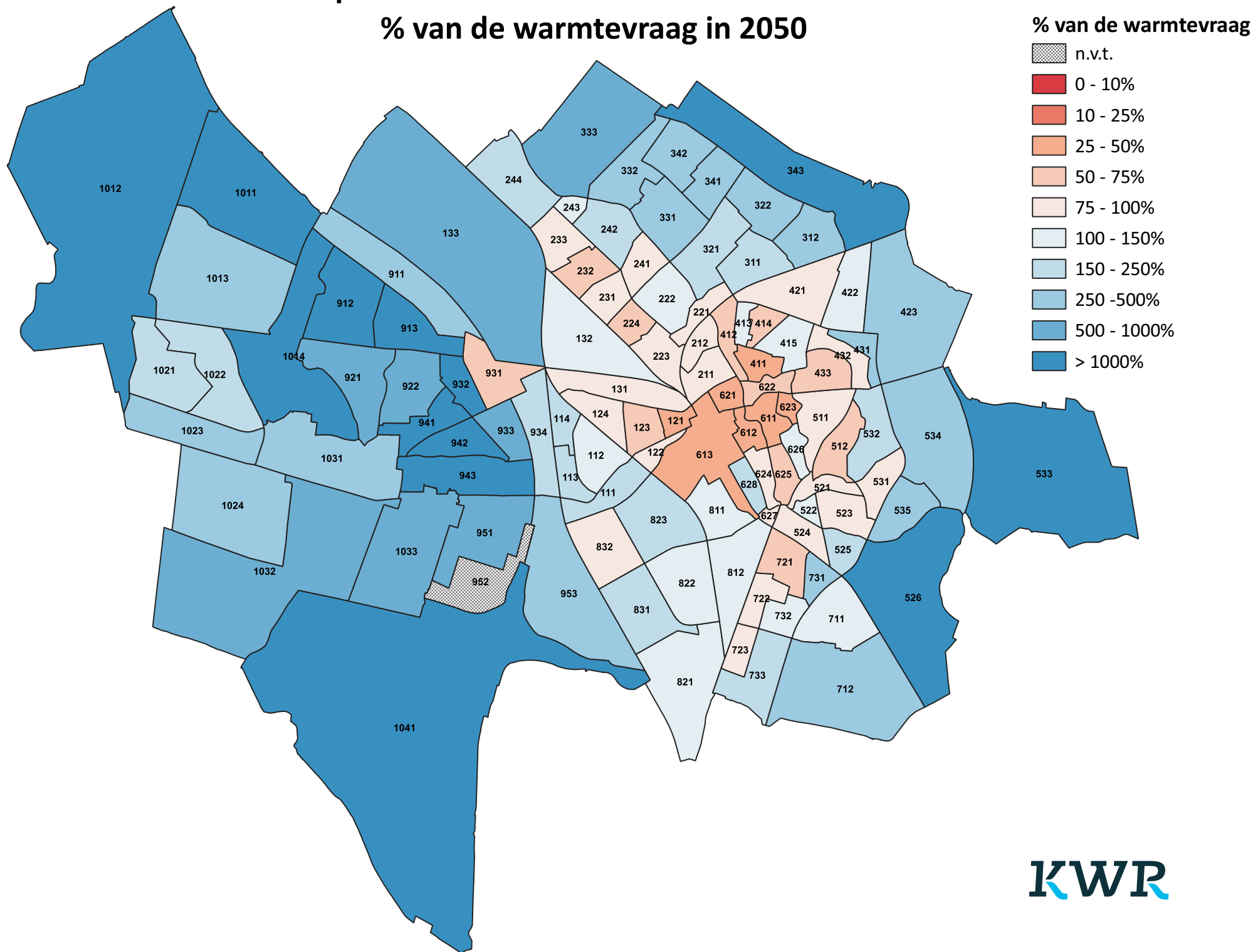


2050 Warmtevraag



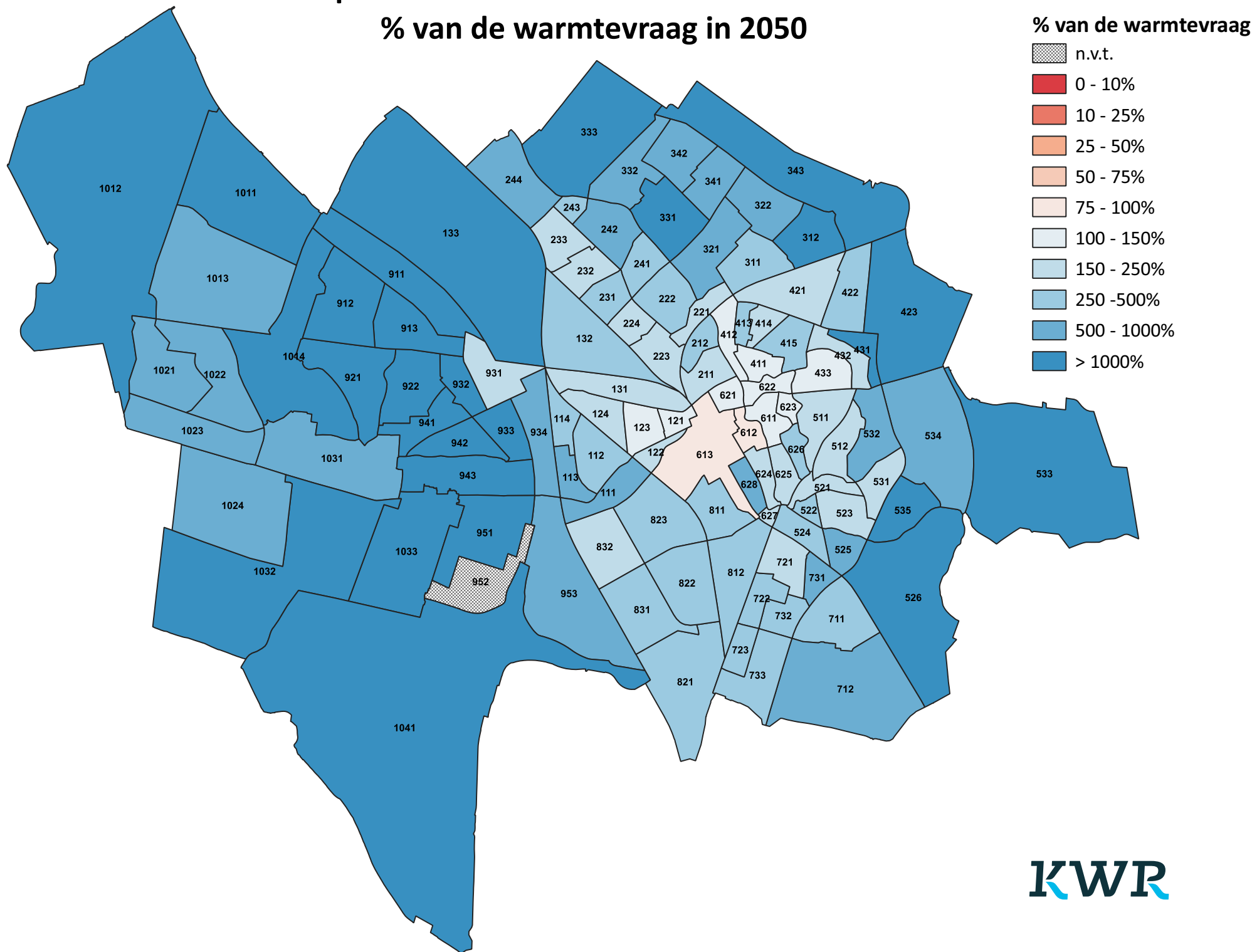
Capaciteit OBES WVP1: Bussiness as Usual

% van de warmtevraag in 2050



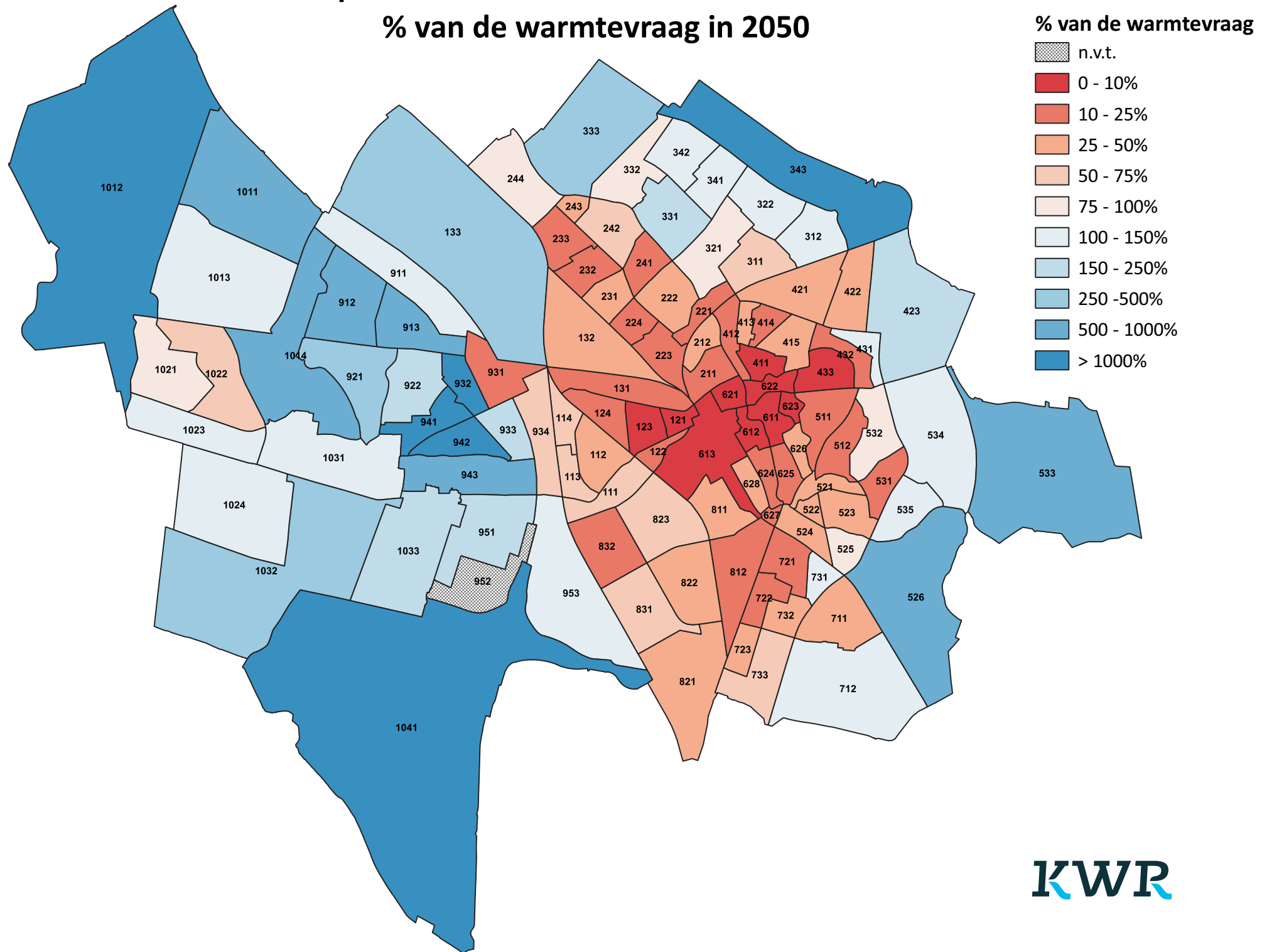
Capaciteit OBES WVP2: Bussiness as Usual

% van de warmtevraag in 2050



Capaciteit GBES WVP1: Bussiness as Usual

% van de warmtevraag in 2050



Capaciteit GBES WVP1+2: Bussiness as Usual

% van de warmtevraag in 2050

