



**Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland**

Energiepotentiestudie, case Tilburg

EOS LT 03029

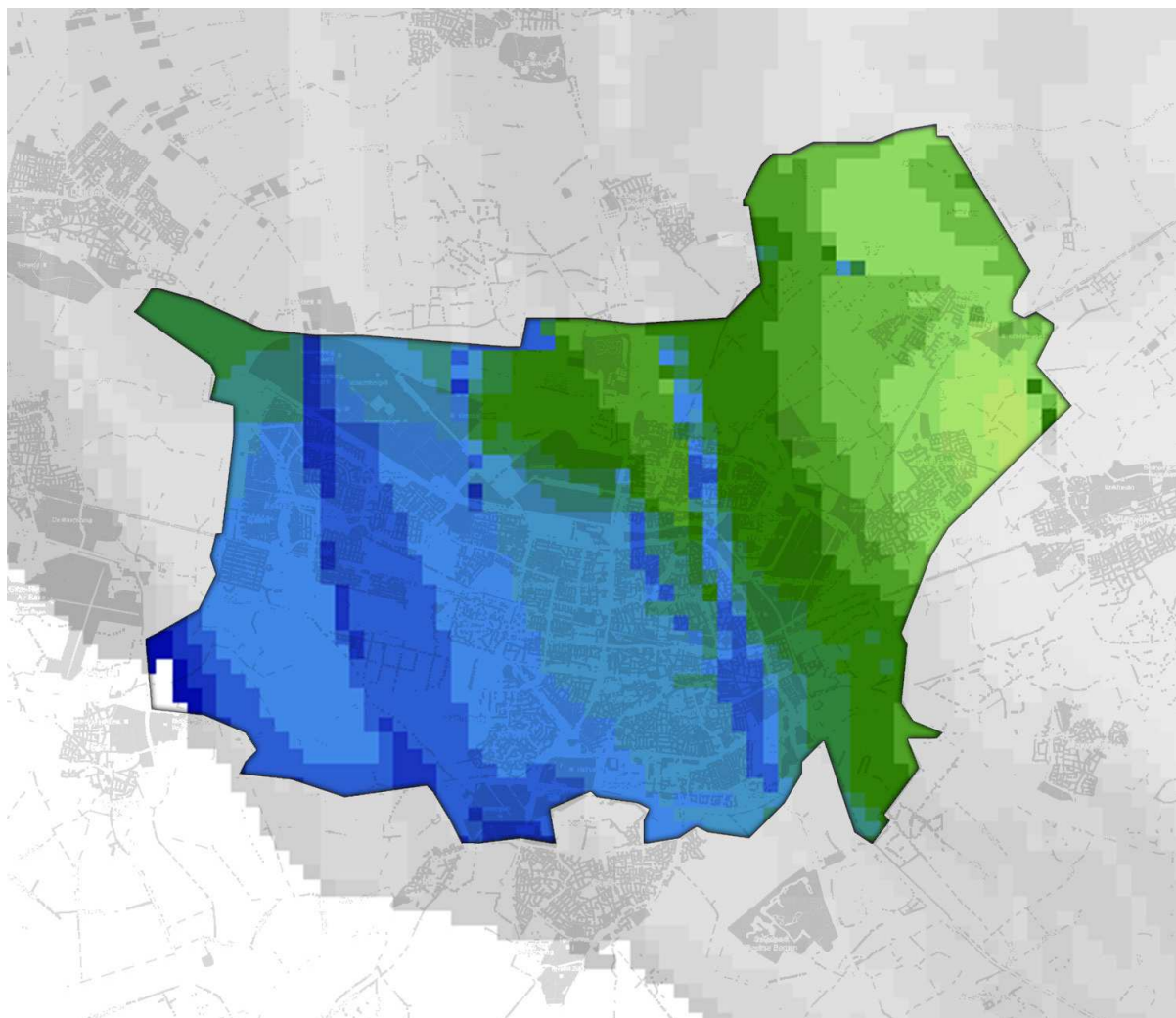
Datum 26 januari 2012

TU Delft, Faculteit Bouwkunde, Afdeling Architectural
Engineering + Technology, Leerstoel Climate Design &
Sustainability

in opdracht van Agentschap NL (nu Rijksdienst voor
Ondernemend Nederland)
www.rvo.nl

Energiepotenties gemeente Tilburg

Energienulmeting en energiepotentiëstudie van de gemeente Tilburg



Energiepotenties gemeente Tilburg

Energienulmeting en energiepotentiëstudie van de gemeente Tilburg



Technische Universiteit Delft

TU Delft, Faculteit Bouwkunde, Afdeling Architectural Engineering + Technology,
Leerstoel Climate Design & Sustainability

Uitgevoerd door:

Ir. Siebe Broersma

Michiel Fremouw

Ir. Bob Geldermans

Prof.dr.ir. Andy van den Dobbelsteen

versie 1.1

26 januari 2012

Energiepotenties gemeente Tilburg

In dit rapport wordt het huidige energiegebruik in een energienulmeting bepaald en is een energiepotentiëstudie van de gemeente Tilburg gemaakt. Dit is gedaan in het kader van het EOS-LT-onderzoek Transitie in Energie en Proces – Duurzame Gebouwde Omgeving (Transep-DGO)

Beide studies kunnen bijdragen in het opstellen en onderbouwen van verschillende energievisies. De energienulmeting geeft met een berekening het huidige energiegebruik en de werkelijke energievraag en kan als uitgangspunt dienen om energievisies te gaan onderbouwen.

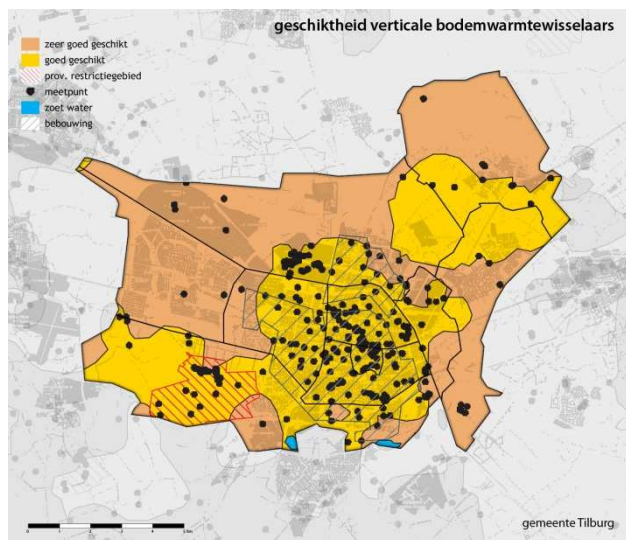
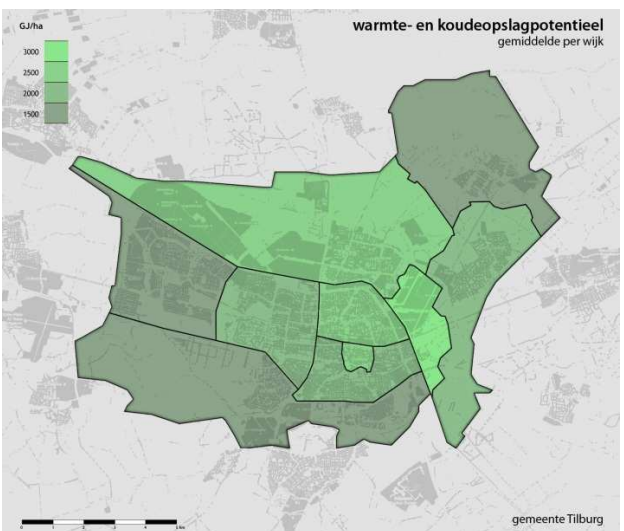
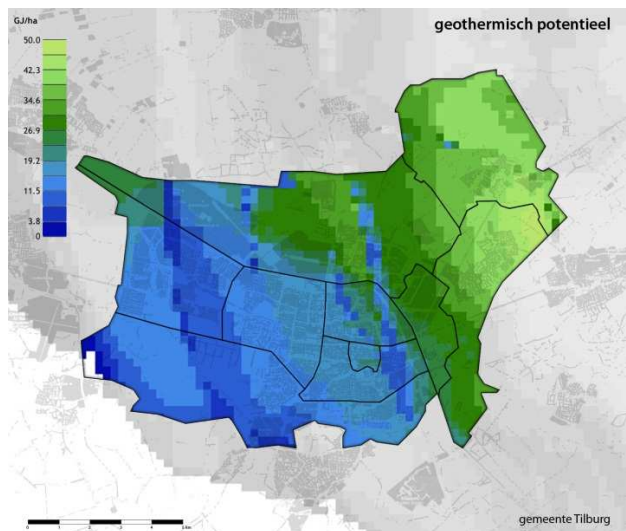
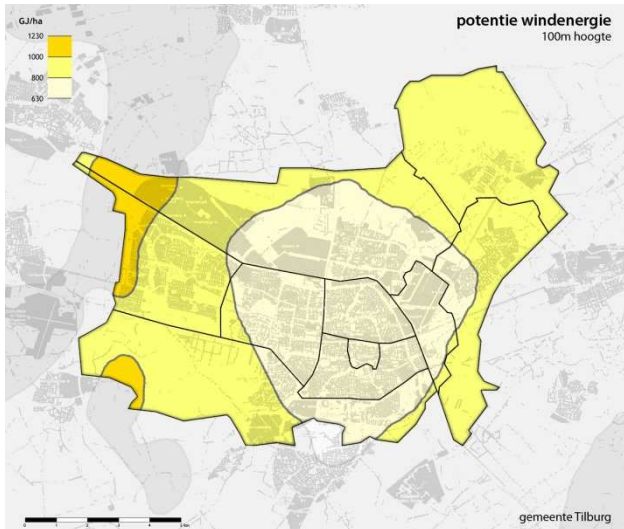
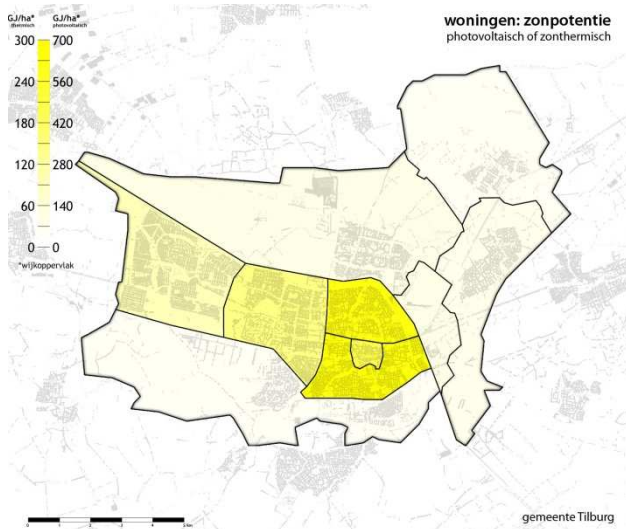
Inhoudsopgave

1.	Samenvatting	7
2.	Energienulmeting gemeente Tilburg.....	9
2.1	Opzet berekening.....	9
2.2	Energiegebruik woningen	10
2.3	Energiegebruik bedrijvigheid	12
2.4	Energiegebruik vervoer	13
2.5	Energienulmeting	13
3.	Energiepotenties gemeente Tilburg.....	15
3.1	Biomassapotenties	15
3.2	Zon elektrisch en thermisch.....	17
3.3	Wind	19
3.4	Geothermie	21
3.5	Warmte- en koudeopslag in de middeldiepe ondergrond.....	24
3.6	Warmte van bodemwarmtewisselaars	25
3.7	Restbronnen en grootverbruikers van warmte en koude	27
3.8	Totaaloverzicht.....	28
4.	Hoe verder?.....	29

1. Samenvatting

Energiegebruik en- vraag gemeente Tilburg						
Energie (PJ)	warmte	elektriciteit	fossiel brandstof	gas	kolen	(PJ) totaal:
woningen vervoer bedrijvigheid	gebruik:					
		1,14		5,59		
			4,85			
		1,62		3,34		
totaal:		2,76	4,85	8,94		16,54
gas/kolen door elektr.prod. gas transport	primair gebruik					
				4,82	2,07	
				8,94		
			4,85			
totaal:			4,85	13,76	2,07	20,67
elektriciteit warmte (won. en bedr.) procesenergie vervoer	energievraag:					
		2,76				
	6,54					
					1,67	
			4,85			
totaal:	6,54	2,76	4,85	1,67		9,29
Energiepotenties gemeente Tilburg						
	warmte	elektriciteit	brandstof	brandstof biogas	(kolen/) houtachtig	
biomassa: (PJ)	aanbod: (PJ)					
RWZI				0,04		
Mest				0,34		
GFT				0,08		
restafval akkers				0,09		
hout (afval)					0,06	
hout (bos)					0,08	
hout (snoei)					0,05	
biomassatotaal:				0,56	0,19	0,75
overig: (GJ/ha)	aanbod: (GJ/ha)					
Geothermie	650					
WKO	1500-3000					
Wind		600-1200				
zon	12000	5000				

Energiepotentiekaarten gemeente Tilburg



2. Energienulmeting gemeente Tilburg

2.1 Opzet berekening

Het totale huidige energiegebruik is onder te verdelen in de gebouwgebonden energievraag van woningen, de energievraag vanuit de bedrijven en instanties (bedrijvigheid) en vanuit het vervoer. Deze zullen hier afzonderlijk bepaald en bij elkaar opgeteld worden om een totaalbeeld van het energiegebruik in de gemeente Tilburg te krijgen.

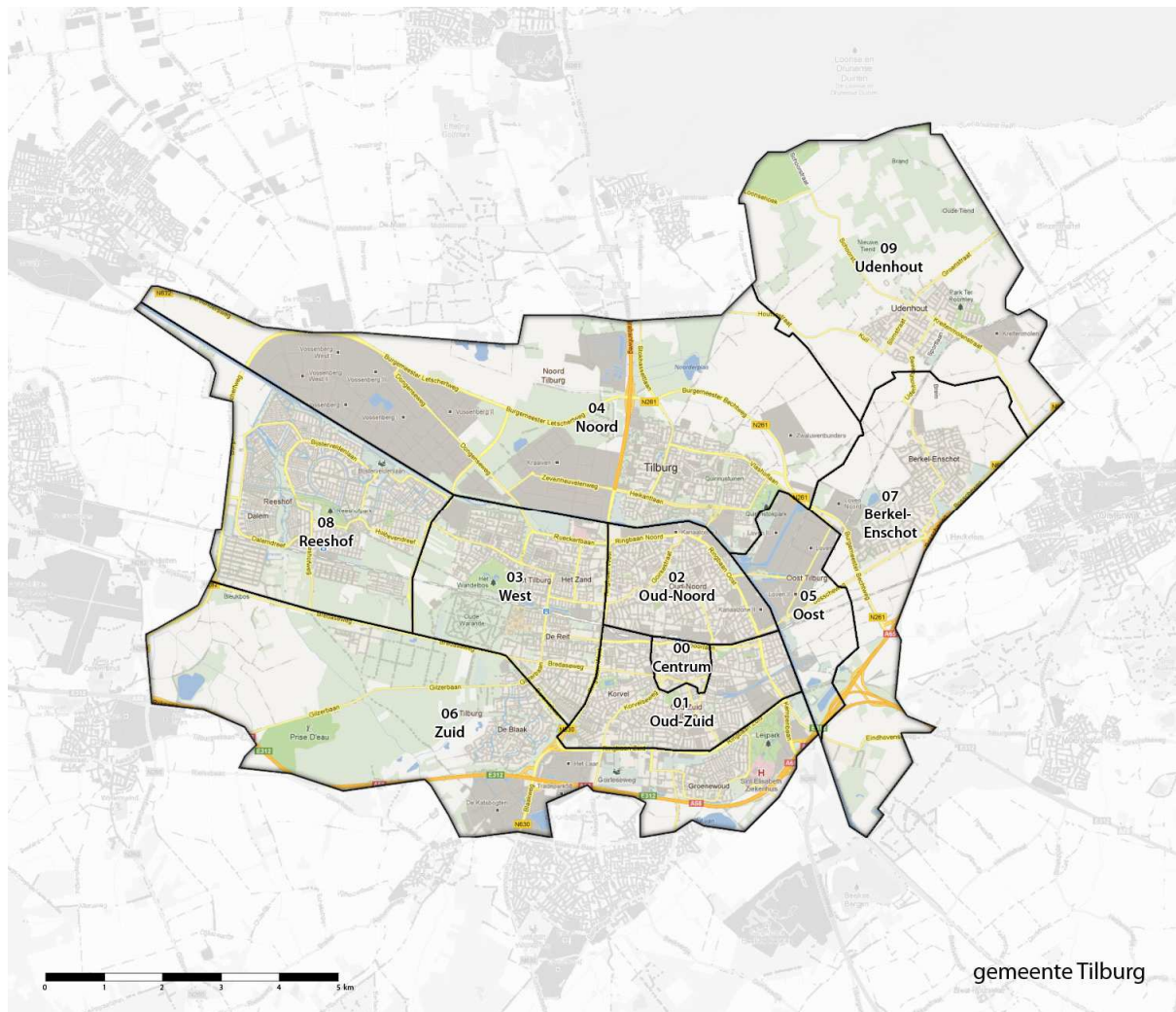
Er wordt hier onderscheid gemaakt in de verschillende energiedragers of -vragers binnen het gebruik en de vraag. Deze zijn onderverdeeld in elektriciteit, gas, warmte en primaire brandstof, waarbij de primaire brandstof nog is onderverdeeld in de vorm met hoge dichtheid (olie, (bio)brandstof), geschikt voor vervoer, en de vorm van minder hoge dichtheid (houtachtig/kolen), waarmee bijvoorbeeld wel de hoogste temperaturen (bruikbaar in de industrie) zijn te maken.

Om het energiegebruik vanuit de 3 verschillende gebruikerstypen te bepalen, wordt met basisgegevens van het CBS gerekend en met gemiddelde energetische waarden. Deze gemiddelde waarden worden telkens bij de verschillende berekeningen besproken.

Hieronder staan enkele basisgegevens waarmee hier gerekend wordt. De gegevens zijn van 2010 en gespecificeerd naar wijk (hiervan bezit het CBS van alle verschillende onderdelen de cijfers). In de verschillende kaarten wordt deze wijkindeling telkens aangehouden.

Basisgegevens gemeente Tilburg (CBS)					
Wijk	inwoners	woningen	huishoudens	voertuigen	oppervlakte (ha)
	aantal				land (incl. water)
Wijk 00 Centrum	6175	3540	4305	2165	83
Wijk 01 oud-Zuid	38370	18670	21860	14315	38
Wijk 02 Oud-Noord	31560	14555	17130	11940	474
Wijk 03 West	29265	13970	15520	11100	884
Wijk 04 Noord	22825	9870	10440	15445	2899
Wijk 05 Oost	770	330	340	695	426
Wijk 06 Zuid	14975	5945	6325	6840	2356
Wijk 07 Berkel-Enschot	10615	4105	4105	5260	1253
Wijk 08 Reeshof	41955	15310	15445	18380	1218
Wijk 09 Udenhout	8340	3210	3235	4055	1783
totaal gemeente Tilburg	204850	89505	98705	90195	11414

Tabel 1

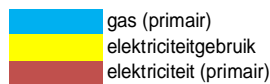


Figuur 1: De gemeente Tilburg en haar wijken

2.2 Energiegebruik woningen

De energievraag van woningen bestaat uit de elektriciteitsvraag en de gasvraag. Het CBS geeft sinds dit jaar deze cijfers gespecificeerd per wijk; hierdoor is het energiegebruik voor woningen vrij nauwkeurig te bepalen. Door het gasgebruik en elektriciteitsgebruik per huishouden met het aantal huishoudens in de gemeente te vermenigvuldigen, is het totale energiegebruik voor woningen bepaald. Deze is af te lezen in navolgende tabel.

Energieverbruik huishoudens gemeente Tilburg								
Wijk	huishoudens	Gas		elektriciteit				totaal G+E
		gas/hh	totaal	totaal				
	aantal	(m3)	(PJ)	(kWh/hh)	(GWh)	(PJ)	(PJ-prim)	(PJ-prim)
Wijk 00 Centrum	4305	1500	0,20	2750	11,84	0,04	0,11	0,31
Wijk 01 oud-Zuid	21860	1700	1,18	2850	62,30	0,22	0,56	1,74
Wijk 02 Oud-Noord	17130	1650	0,89	3000	51,39	0,19	0,46	1,36
Wijk 03 West	15520	1500	0,74	2800	43,46	0,16	0,39	1,13
Wijk 04 Noord	10440	1050	0,35	3100	32,36	0,12	0,29	0,64
Wijk 05 Oost	340	3050	0,03	4250	1,45	0,01	0,01	0,05
Wijk 06 Zuid	6325	2100	0,42	3800	24,04	0,09	0,22	0,64
Wijk 07 Berkel-Enschot	4105	2500	0,32	4100	16,83	0,06	0,15	0,48
Wijk 08 Reeshof	15445	2500	1,22	3850	59,46	0,21	0,54	1,76
Wijk 09 Udenhout	3235	2300	0,24	4000	12,94	0,05	0,12	0,35
totaal gemeente Tilburg	98705		5,59		316	1,14	2,84	8,44

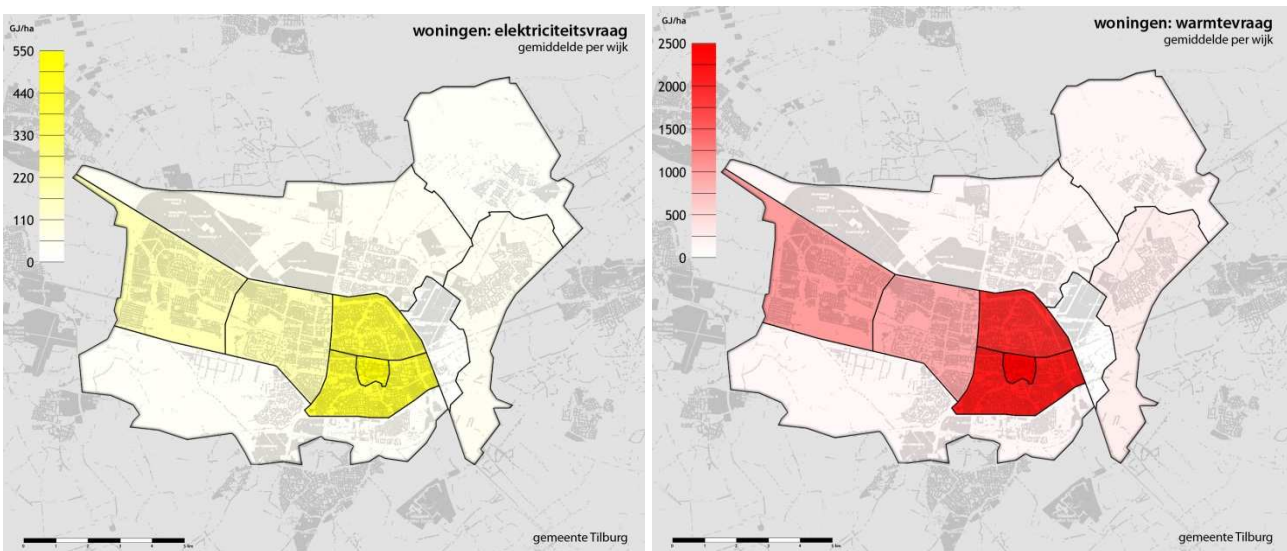


Tabel 2

rood geeft aan in welke wijk zich een warmtenet bevindt, het energieverbruik is hier een schatting.

De gasvraag voor woningbouw bedraagt in de gemeente Tilburg bijna 5,6 PJ en de elektriciteitsvraag ruim 1,1 PJ. Deze laatste wordt in elektriciteitscentrales uit 2,8 PJ primaire energie gemaakt, waarmee het totale primaire energiegebruik voor huishoudens op 8,4 PJ komt.

Hieronder is de elektriciteits- en warmtevraag van woningen van de gemeente Tilburg in kaart inzichtelijk gemaakt.



Figuur 2 en 3: Elektriciteitsvraag en warmtevraag per Tilburgse wijk in GJ/ha

2.3 Energiegebruik bedrijvigheid

Het bepalen van het energiegebruik van alle bedrijven is in principe ingewikkelder, omdat bedrijven geheel verschillend van schaal kunnen zijn (woningen wijken weinig af van gemiddelde waarden) en er kunnen zich verschillende energievragende processen plaatsvinden. Om het energiegebruik van de bedrijven te bepalen, is gekeken naar het aantal werknemers dat werkzaam is in een bepaalde sector in de gemeente. Via het CBS is te vinden hoeveel personen in een bepaalde gemeente in een bepaalde SBI-2008-sector (standaard beroepsgroep) werkzaam zijn en via Ecofys zijn gegevens verkregen over het gemiddelde gas- en elektriciteitsgebruik per werknemer onderverdeeld naar de verschillende sectoren per SBI'93-sector. (De SBI-2008 van het CBS is vervolgens naar de oude SBI'93-indeling teruggerekend.) In dit energiegebruik zijn alle bedrijfsgebonden energievragen opgenomen voor zowel elektriciteit, ruimteverwarming als procesenergie.

Energiegebruik werknemers in Gemeente Tilburg							
werknemers in gem. Tilburg werkzaam in:		energiegebruik per werknemer		energieverbruik			
SBI'93-sector	Aantal	(m3 gas)	(kWh-e)	(m3 gas)		(kWh-e)	
C Winning van delfstoffen	0	41472	46923	0		0	
D Industrie (geen aardolie-, cokes-)	0	8037	64689	0		0	
E Productie en distributie van en ..	0	33371	50449	0		0	
F Bouwnijverheid	3220	1819	7142	5857180		22997240	
G Reparatie van consumentenartikelen ..	15720	2948	10573	46342560		166207560	
H Horeca	3090	372	2641	1149480		8160690	
I Vervoer, opslag en communicatie	6080	373	3236	2269665		19677738	
J Financiële instellingen	6010	306	3102	1836831		18643086	
K VH en handel in onroerend goed, ..	29270	741	5377	21692268		157396524	
L Openbaar bestuur, overheidsdiensten ..	0	751	5465	0		0	
M Onderwijs	0	1059	2094	0		0	
N Gezondheids- en welzijnszorg	25600	997	2094	25523200		53606400	
O Milieudienstverlening, cultuur, ..	110	2671	8457	293799		930255	
X SBI niet in te delen (A,B,P,Q)	190	2671	8457	507470		1606804	
totaal		89290		105472453	m3	449226298	kWh
energieinhoud aardgas:		8,8	kWh/m3	928	GWh-pr	449	GWh
				3,34	PJ-prim	4,04	PJ-prim
					totaal:	7,38	PJ-prim

	gas (primaire)
	elektriciteitsgebruik
	elektriciteit (primaire)
	totaal primaire

Tabel 3

Het totale gasgebruik bedraagt 3,3 PJ; dit is voor ruimteverwarming en de processen die zich binnen de bedrijven afspelen. De elektriciteitsvraag is 1,6 PJ, waarvoor in de elektriciteitscentrales 4 PJ primaire energie nodig is (bij een gemiddeld rendement van 40%). Het totale primaire energiegebruik komt hiermee op 7,4 PJ voor alle bedrijvigheid in de gemeente Tilburg.

Dit energiegebruik is niet verder per wijk en in een detailkaart te specificeren.

2.4 Energiegebruik vervoer

De energievraag voor vervoer komt van het wegverkeer veroorzaakt door personenauto's, motorvoertuigen en bedrijfsmotorvoertuigen.

In 2008 waren er in Nederland in totaal 9.059.630 voertuigen die een uitstoot van 34.800 kiloton CO₂ veroorzaakten [CBS]. Hiermee kan de gemiddelde uitstoot en het gemiddelde gebruik per voertuig bepaald worden. Gemiddeld wordt 1 kilogram CO₂ geproduceerd bij een brandstofgebruik van 14 MJ; dat is iets minder dan 1/3 liter brandstof. Bij een CO₂-uitstoot van 3841 kg per voertuig betekent dit een gemiddeld energiegebruik van 53,8 GJ per jaar.

Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar het soort voertuig. Autobussen en vrachtwagens hebben een aanzienlijk groter gebruik echter zij vertegenwoordigen slechts een aandeel van minder dan 2%.

Met een totaal van ruim 90.000 voertuigen in de gemeente Tilburg in 2010 betekent dit een totale energievraag voor het vervoer van 4,9 PJ.

Energieverbruik en CO ₂ -uitstoot vervoer in gem. Tilburg				
2008 Nederland				
personenauto's	7391903	CO ₂ uitstoot wegverkeer	34800	kiloton
motorfietsen	585204	MJ brandstof/kilo CO ₂	14	MJ/kilo
bedrijfsmotorvoertuigen	1082523	kilogram CO ₂ per auto	3841	kilo
tot. N voertuigen NL	9059630	brandstofverbruik totaal	487,2	PJ/jaar
gemiddeld verbruik per voertuig	53,8	GJ/auto/jr		
2010 gem. Tilburg				
aantal voertuigen gem. Tilburg	90195	CO ₂ -uitstoot vervoer Tilburg	346	kiloton
energieverbruik vervoer nw-O:	4,85	PJ/jaar		

Tabel 4

Het energiegebruik van vervoer is niet specifiek in kaart weer te geven.

2.5 Energienulmeting

De energienulmeting geeft hier achtereenvolgens inzicht in het energiegebruik, het primair gebruik en de energievraag. De eerste is de hoeveelheid gebruikte energie zoals bij de gebruiker (aan huis) te meten. De tweede is de hoeveelheid primaire energie die gebruikt is om deze hoeveelheid op te kunnen wekken. Hierbij wordt het rendementsverlies van de opwekker, de elektriciteitscentrales, meegenomen (60% rendementsverlies; bovendien is de verdeling naar gemiddelde brandstofinzet meegenomen, hier afgerond op 70% gas en 30% kolen [Referentieraming energie en emissies 2010-2020; ECN; 2010]).

De energievraag is echter de werkelijke vraag die er bij de gebruiker is. Hiervoor is het gasgebruik voor warmte vertaald naar de warmtevraag, waarbij het rendementsverlies van de installaties (10%) weer is afgetrokken.

Voor het gasgebruik bij bedrijven is hier aangenomen dat 50% voor ruimteverwarming is en 50% voor processen.

Dit levert uiteindelijk een totale energievraag van 9,3 PJ voor het gebied op. Dit is de werkelijke vraag die in een nieuwe energievisie door (duurzame) bronnen ingevuld kan worden (of eerst in stappen gereduceerd kan worden).

Energiegebruik en- vraag gemeente Tilburg						
Energie (PJ)	warmte	elektriciteit	fossiel brandstof	gas	kolen	(PJ) totaal:
		gebruik:				
woningen		1,14		5,59		
vervoer			4,85			
bedrijvigheid		1,62		3,34		
totaal:		2,76	4,85	8,94		16,54
		primair gebruik				
gas/kolen door elektr.prod.				4,82	2,07	
gas				8,94		
transport			4,85			
totaal:			4,85	13,76	2,07	20,67
		energievraag:				
elektriciteit		2,76				
warmte (won. en bedr.)	6,54					
procesenergie					1,67	
vervoer			4,85			
totaal:	6,54	2,76	4,85		1,67	9,29

Tabel 5

Gemeente Tilburg is verantwoordelijk voor een primair energiegebruik van bijna 21 PJ. De werkelijke vraag ligt veel lager, ruim 9 PJ. Het verschil komt door de rendementsverliezen van de krachtcentrales en de opwekkingsinstallaties.

3. Energiepotenties gemeente Tilburg

In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de energiepotenties voor de gemeente Tilburg bepaald van de volgende duurzame bronnen:

- Biomassa
- Zon
- Wind
- Geothermie
- WKO (warmte-koudeopslag)
- Bodemwarmtewisseling
- Restbronnen en grootverbruikers (warmte en koude)

3.1 Biomassapotenties

De biomassa-energiepotenties worden hier bepaald voor de belangrijkste reststromen van biomassa. De belangrijkste aanwezige dragers van biomassa uit reststromen zijn:

1. Zuiveringslib uit Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI)
2. Dierlijke mest uit de veeteelt
3. Houtige resten uit bosonderhoud, snoeiafval, afvalhout
4. GFT en resten van akkers

RZWI's

Tilburg heeft één grote RWZI in het noorden (RWZI Tilburg) met een capaciteit van 375000 v.e. [www.sewagennetwerk.nl].

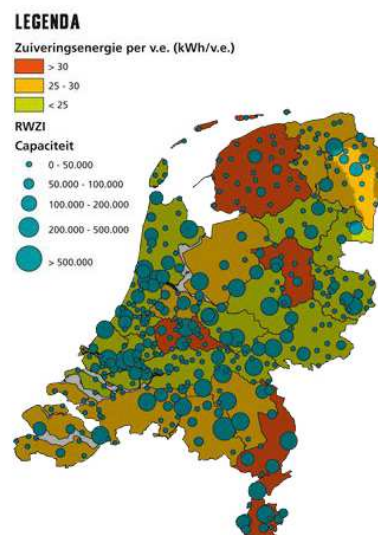
Uit één vervuilingseenheid (v.e.) kan 0,125 GJ aan biogas geproduceerd worden [www.energiefabriek.com]. Naast deze biogaspotentie bezit het slib (digestaat) nog een verbrandingspotentie van 0,219 GJ/v.e. Dit slib kan echter beter als voedingsstof worden ingezet en zo de kringloop sluiten (regelgeving verhindert dit thans).

Door de capaciteit (en de gemiddelde benuttingsgraad) van de RWZI te vermenigvuldigen met de specifieke biogasopbrengst is de biogaspotentie te bepalen (zie tabel).

Gemeente Tilburg heeft een biogaspotentie van 0,04 PJ per jaar van deze RWZI.

Biogaspotenties uit RWZI's in gemeente Tilburg		
biogaspotentie/ v.e	0,125	biogaspotentie
benutting capaciteit	90%	(PJ)
capaciteit v.e.:		
RWZI Tilburg	375000	0,042

Tabel 6



Figuur 4:

RWZI's in Nederland [www.energiefabriek.com]

Dierlijke mest

De biogaspotentie uit dierlijke mest is berekend op basis van gegevens van het CBS over hoeveelheden mest in de stal [www.statline.cbs.nl]. Deze gegevens van hoeveelheden mest zijn per gemeente te vinden. Onderaan volgende tabel zijn tevens gegevens opgenomen van potenties uit cosubstraat wanneer dit aan de mest zou worden toegevoegd. Cosubstraat dat uit afval bestaat (bijvoorbeeld GFT) is hiervoor zeer geschikt in tegenstelling tot energiemais, dat als cosubstraat als voedselvernietiging gezien kan worden.

biogasproductie uit mest uit gemeente Tilburg			
		dun	vast
mestproductie		1229	101
energieinhoud biogas		23	
gasopbrengst		10,2	24
energieinhoud uit biogas		235	552
biogaspotenties uit mest in gem. Tilburg		0,29	0,06
		0,34	
biogas uit co-substraat			
max. hoeveelheid co-substraat	50%/50%	1330	mjn kg
energieinhoud uit co-substraat		+/- 10 - 175	(m3/ton)
bij max. toevoeg. Co-substr.	max	5,70	PJ

Tabel 7

Hout, houtafval, akkerafval, GFT en totaal biomassa

Hieronder volgen de benodigde basisgegevens van het CBS, waarmee de energiepotenties uit hout, GFT en groenafval bepaald kunnen worden; deze gegevens zijn *cursief* gedrukt in de tabel.

Volgens het CBS is er 1830 hectare bos, wat bij gewoon onderhoud jaarlijks ruim 4000 ton hout oplevert. Uit de warmteatlas [www.warmteatlas.nl] zijn de gemiddelde hoeveelheden energie per

hectare per gemeente af te lezen die aanwezig zijn in hout- en snoeiafval en biomassa-resten van akkerbouw. Deze zijn met het oppervlak van de gemeente om te rekenen naar totaalhoeveelheden. Uit gegevens van het CBS zijn de gemiddelde hoeveelheden afvalhout en GFT voor inwoners van grote steden in 2010 te halen. Deze waarden vermenigvuldigd met het aantal inwoners levert hiervoor weer een totaalpotentie.

Energie uit biomassa-reststromen in gemeente Tilburg							
	energieinhoud		hoeveelheden				PJ
	GJ/ton	GJ/ha	hectare	ton	kg/inw.	inw.	
hout (uit bosonderhoud)	19	45,6	1830	4392			0,083
hout- en snoeiafval		3,96	11730				0,046
afvalhout	19			3280	16	205000	0,062
totaal verbrandingswaarde hout(achtig):							0,192
biorestafval akkerbouw, grasland		7,87	11730				0,092
GFT	9			8815	43	205000	0,079
mest (zie tabel X)							0,344
RWZI (zie tabel X)							0,044
totaal biogas uit GFT en groen en mest:							0,560

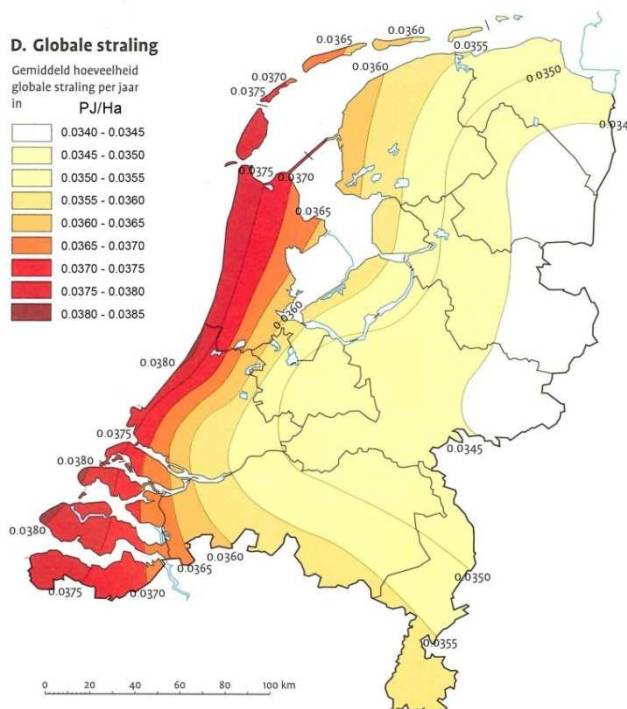
schuin gedrukt = rekenwaarde Tilburg

Tabel 8

Zoals in de tabel is af te lezen, is er in de gemeente Tilburg bijna 0,2 PJ aan houtachtige reststromen aanwezig en bijna 0,6 PJ aan biogas op te wekken uit groenafval.

3.2 Zon elektrisch en thermisch

De zonpotenties beginnen met de hoeveelheid globale straling die een oppervlak jaarlijks bereikt. Uit figuur 5 [Klimaatatlas van Nederland 1971-2000, 2002] is af te lezen dat er in de gemeente Tilburg jaarlijks 0,0355 PJ/ha (35500 GJ/ha of 3,55 GJ/m²) zonnestraling (globale straling) beschikbaar is.



Figuur 5: Globale straling in Nederland

De hoeveelheid opgewekte energie kan worden bepaald door het oppervlak te bepalen dat ingezet wordt om elektriciteit of warmte op te wekken met behulp van zonnecellen of zonnecollectoren en dit met het rendement van de betreffende energieopwekker te vermenigvuldigen.

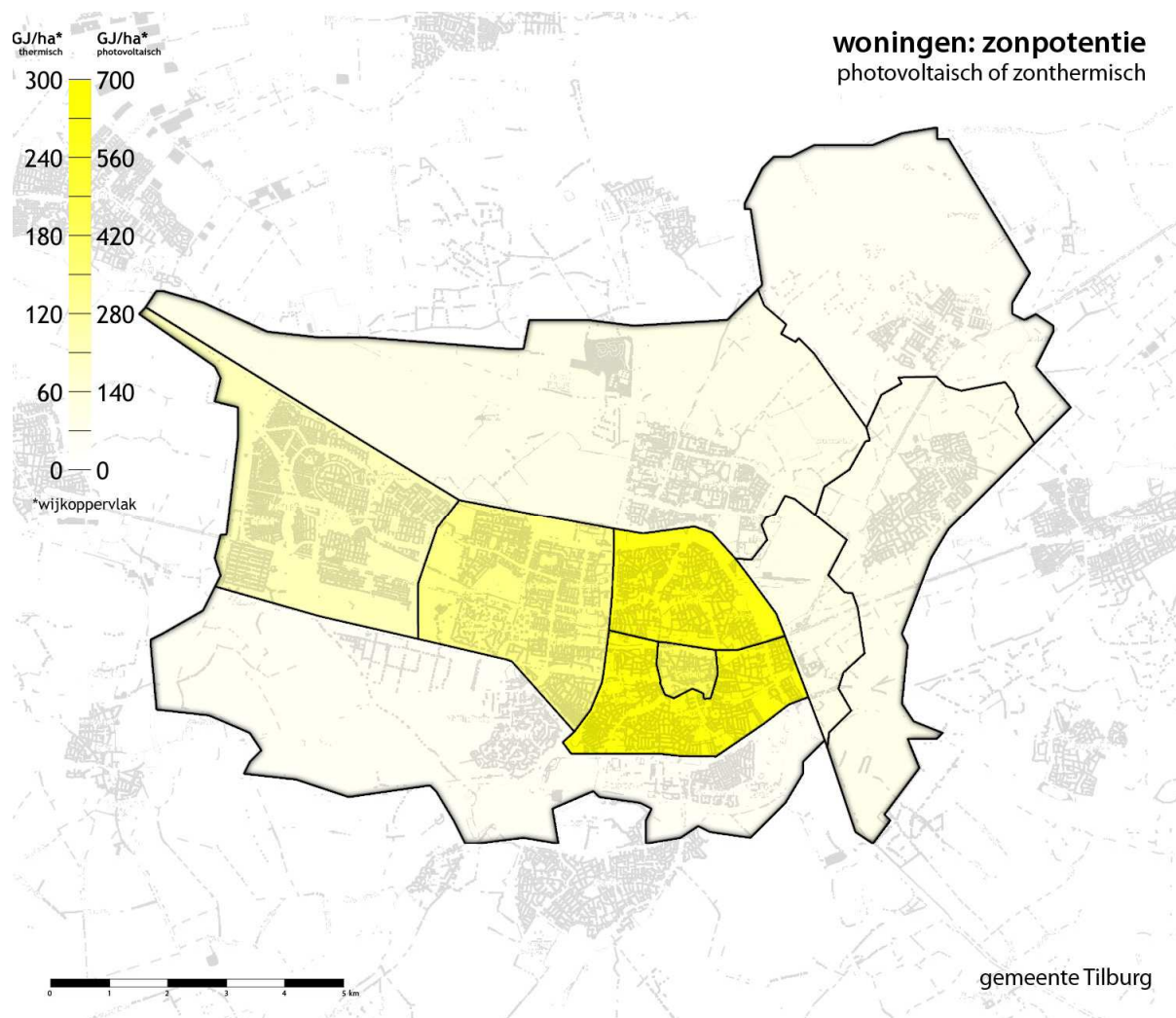
Om een realistische toegepast opwekkingspotentieel te bepalen, wordt er vanuit gegaan dat zonnecollectoren of zonnecellen alleen geplaatst of geïntegreerd worden op of in bestaande bebouwing of infrastructuur en geen onbebouwde oppervlakte in gaan nemen. Daarom wordt hier allereerst gekeken naar geschikte dakoppervlakken zodat er meervoudig van de ruimte gebruik wordt gemaakt. Niet alle dakoppervlak is echter geschikt om energie op te wekken: ongeveer 29% van het totale areaal aan dakoppervlak lijkt gemiddeld goed georiënteerd en geschikt voor energieopwekking te zijn [o.a. Energiebeelden voor de Veenkoloniën, 2011].

Met behulp van GIS-technieken is het totale dakareaal *van woningen* van de gemeente Tilburg bepaald per wijk, met een totaal van 567 ha. Dat betekent dat er zo'n 164 hectare goed georiënteerd oppervlak aanwezig is.

Van de overige functies waren op het moment van afronden van dit rapport geen gegevens in GIS beschikbaar. Tevens ontbrak gedeeltelijk data van een enkele wijk, dit is geschat.

Opbrengsten van zonnecollectoren liggen in Nederland ongeveer tussen de $1,2 \text{ GJ/m}^2$ - $1,6 \text{ GJ/m}^2$ ($330\text{-}440 \text{ kWh/m}^2$) [VROM]. Dit komt overeen met een rendement van 33-44%; gerekend wordt hier met 35%. Opbrengsten uit zonnecellen (PV) liggen tegenwoordig rond de 15%.

Onderstaande kaart toont het potentieel aan warmte en elektriciteit dat opgewekt kan worden uit zonnestraling op daken *van woningen*, uitgedrukt in GJ/ha; waarin het aantal hectare per wijk wordt bedoeld en al het beschikbare geschikte dakoppervlak in de wijk is ingezet.



Figuur 6: Energiepotenties van de zon op daken van woningen in de gemeente Tilburg

3.3 Wind

Grote windturbines wekken hun energie op uit de windsnelheden die zich rond de 100 m hoogte bevinden. De opbrengst van een windturbine is zeer gevoelig voor de windsnelheid, omdat deze evenredig is met de 3^e macht van die windsnelheid.

Met onderstaande formule is de opbrengst van een windmolen te bepalen [www.windparkkubbeweg.nl, 2011]:

$$E = C \times V^3 \times A$$

Waarin:

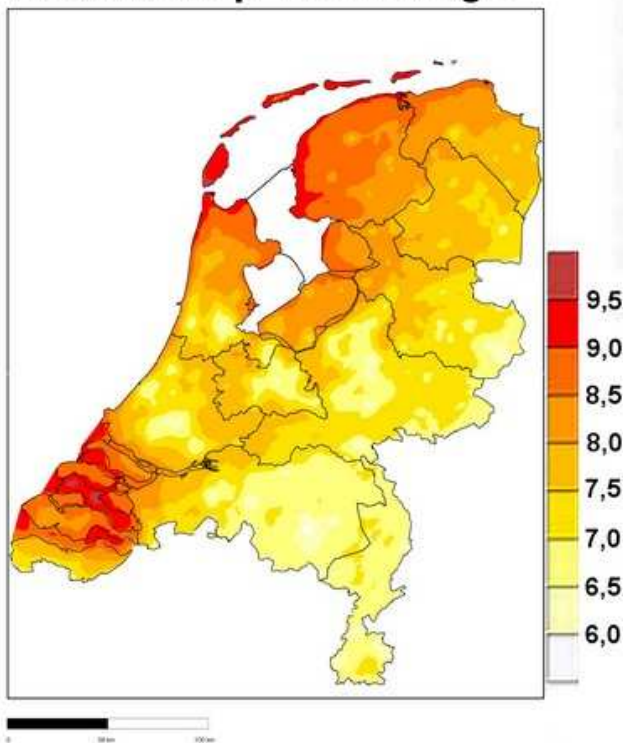
E is de gemiddelde jaarproductie in kWh

C (opbrengstfactor of Beurskensfactor) is een maat voor het totale rendement van de turbine. De waarde van C is lager naarmate de gemiddelde windsnelheid hoger is en hangt verder af van de

kwaliteit van de windturbine. In Nederland varieert deze van ca. 2,8 aan de kust tot 4,0 in het binnenland. Voor een gemiddelde windlocatie in Nederland en een goede turbine kan 3,7 worden ingevuld (hier gebruikt).

V^3 is de jaargemiddelde windsnelheid in meters per seconde op ashoogte, tot de derde macht. Deze bedraagt in de gemeente Tilburg ongeveer tussen de 6,0 en 7,5 m/s, zoals ook in figuur 7 is af te lezen [Duurzame energiebeelden voor de Veenkoloniën, 2011; TU Delft].

Windkaart op 100 m hoogte



Opbrengsten 2MW-windmolen			
2MW-molen	diameter	80	
	A	5024	
	Opp. (ha)	23,0	
Opbrengst per jaar			
windsnelh.	GWh	TJ	TJ/ha
5,5	3,1	11	0,5
6	4,0	14	0,6
6,5	5,1	18	0,8
7	6,4	23	1,0
7,5	7,8	28	1,2
8	9,5	34	1,5
8,5	11,4	41	1,8

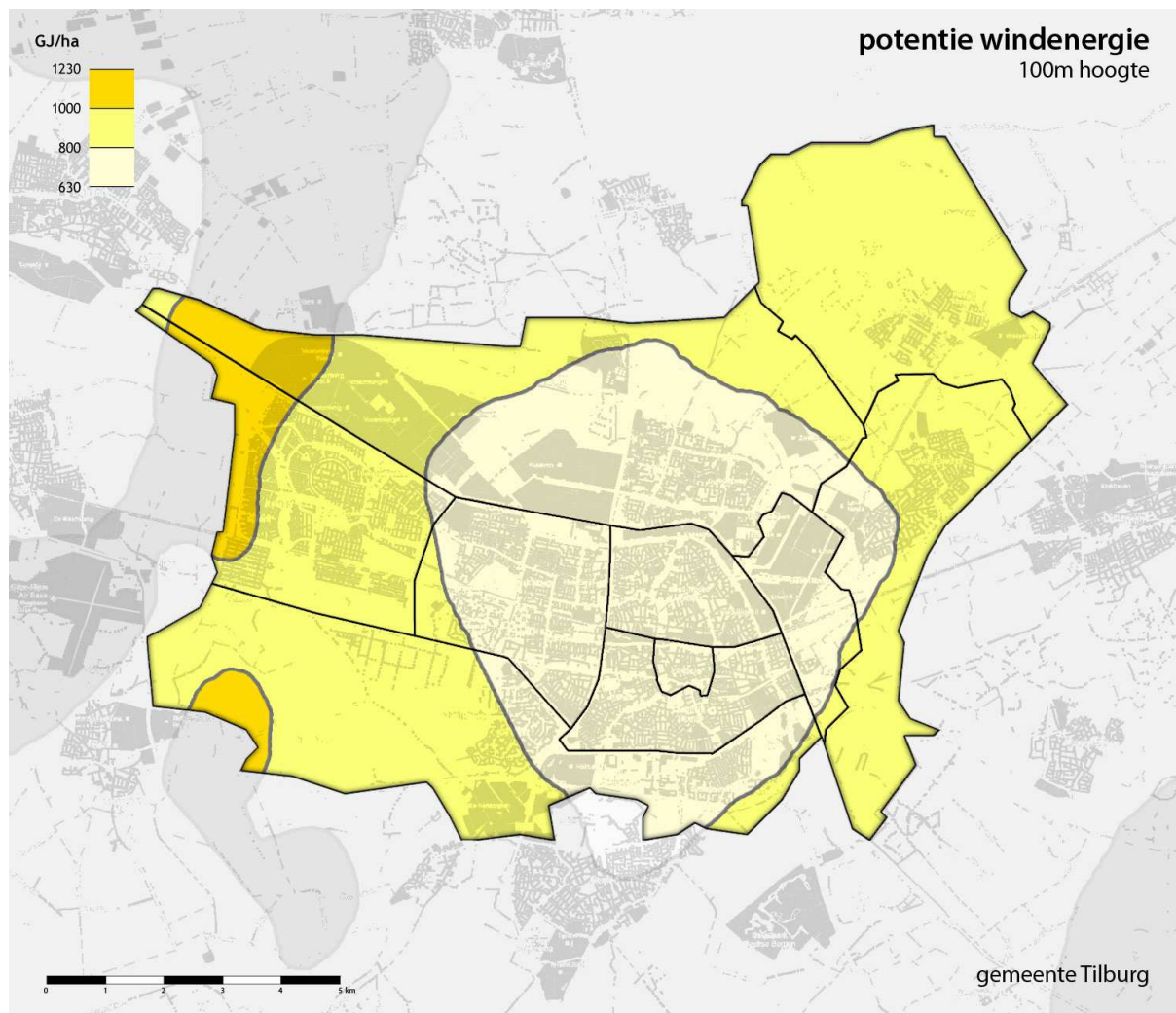
Opbrengsten 3MW-windmolen			
3MW-molen	diameter	90	
	A	6359	
	Opp. (ha)	29,2	
Opbrengst per jaar			
windsnelh.	GWh	TJ	TJ/ha
5,5	3,9	14	0,5
6	5,1	18	0,6
6,5	6,5	23	0,8
7	8,1	29	1,0
7,5	9,9	36	1,2
8	12,0	43	1,5
8,5	14,4	52	1,8

Figuur 7: Windsnelheden in Nederland op 100 m hoogte

Tabel 9

In bovenstaande tabel is af te lezen wat de te verwachten opbrengsten zijn van 2 MW en 3 MW windmolens met een ashoogte op 100 m.

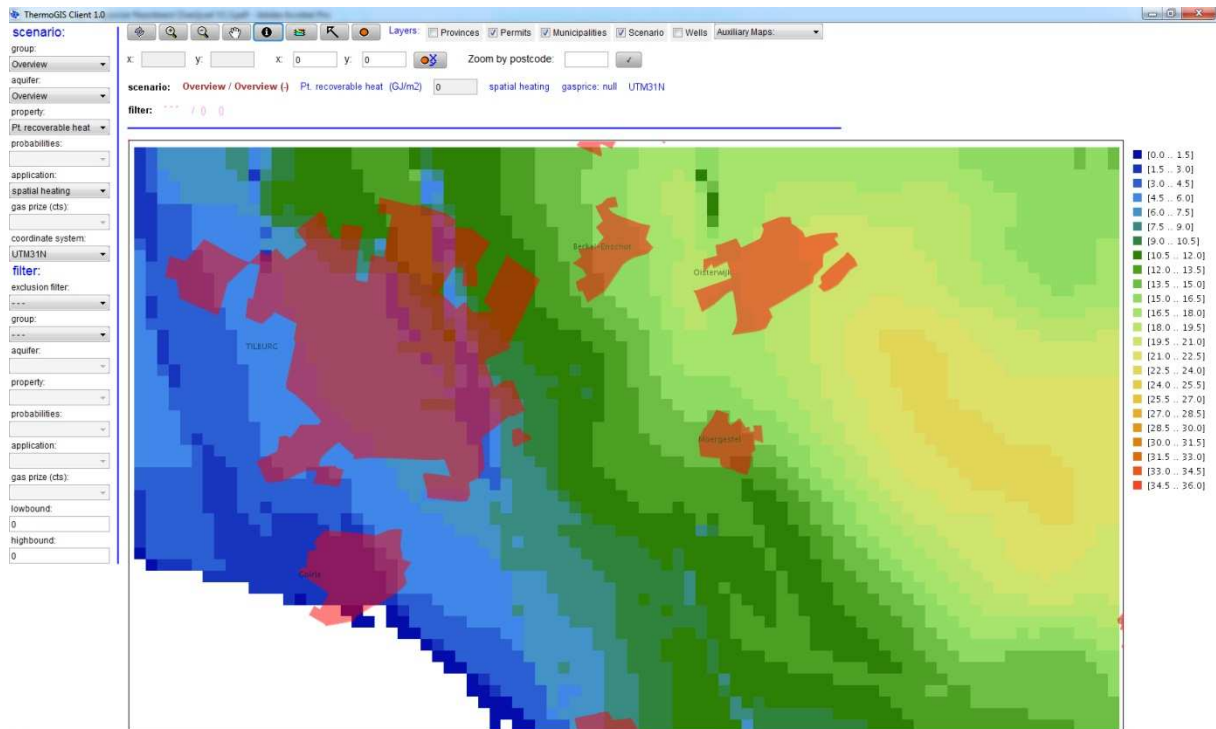
Figuur 8 geeft de potenties aan elektriciteit die per hectare te produceren zijn met windmolens met een ashoogte van 100 m. Deze potenties zijn bepaald door denkbeeldig deze molens op een grid van 6 keer de diameter van hun rotoroppervlak te plaatsen, de afstand waarop ze elkaar nog weinig beïnvloeden.



Figuur 8: Potenties uit windenergie in de gemeente Tilburg

3.4 Geothermie

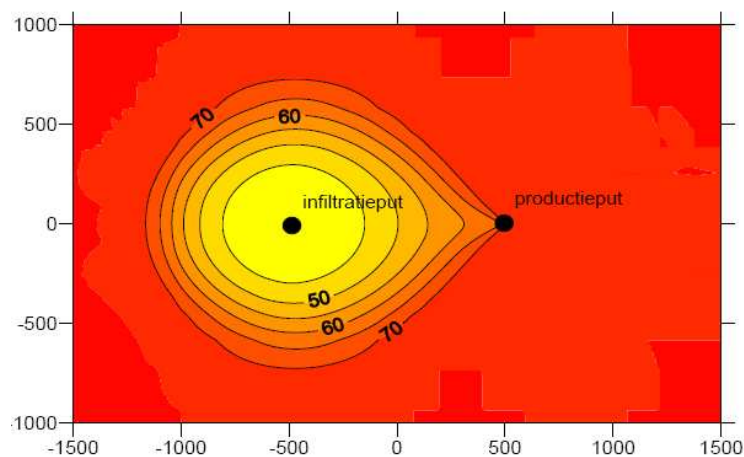
Met behulp van ThermoGis [www.thermogis.nl; TNO] zijn de potenties van geothermie in een gebied te bepalen en zijn verschillende potentiekaarten te maken. Voor dit onderzoek is de belangrijkste waarde die in de energiepotentiestudie opgenomen moet worden de jaarlijks winbare hoeveelheid geothermie. ThermoGis geeft echter de *Heat in Place* of de *Potential Recoverable Heat* weer, dus totaalhoeveelheden die in de ondergrond aanwezig zijn. Figuur 9 geeft de output van het potentieel aan winbare warmte voor de regio Tilburg. Van oost naar west loopt de potentie op tot 300 GJ/m² in de gemeente Tilburg. Deze warmtepotenties liggen voornamelijk in de Rotliegend aquifers.



Figuur 9: Output van ThermoGis voor de region Tilburg [www.thermogis.nl]

Om inzicht te krijgen in de hoeveelheid jaarlijks te winnen geothermische energie moet het totaalpotentieel aan winbare warmte van een gebied door de regeneratietijd van een standaard doublet gedeeld worden.

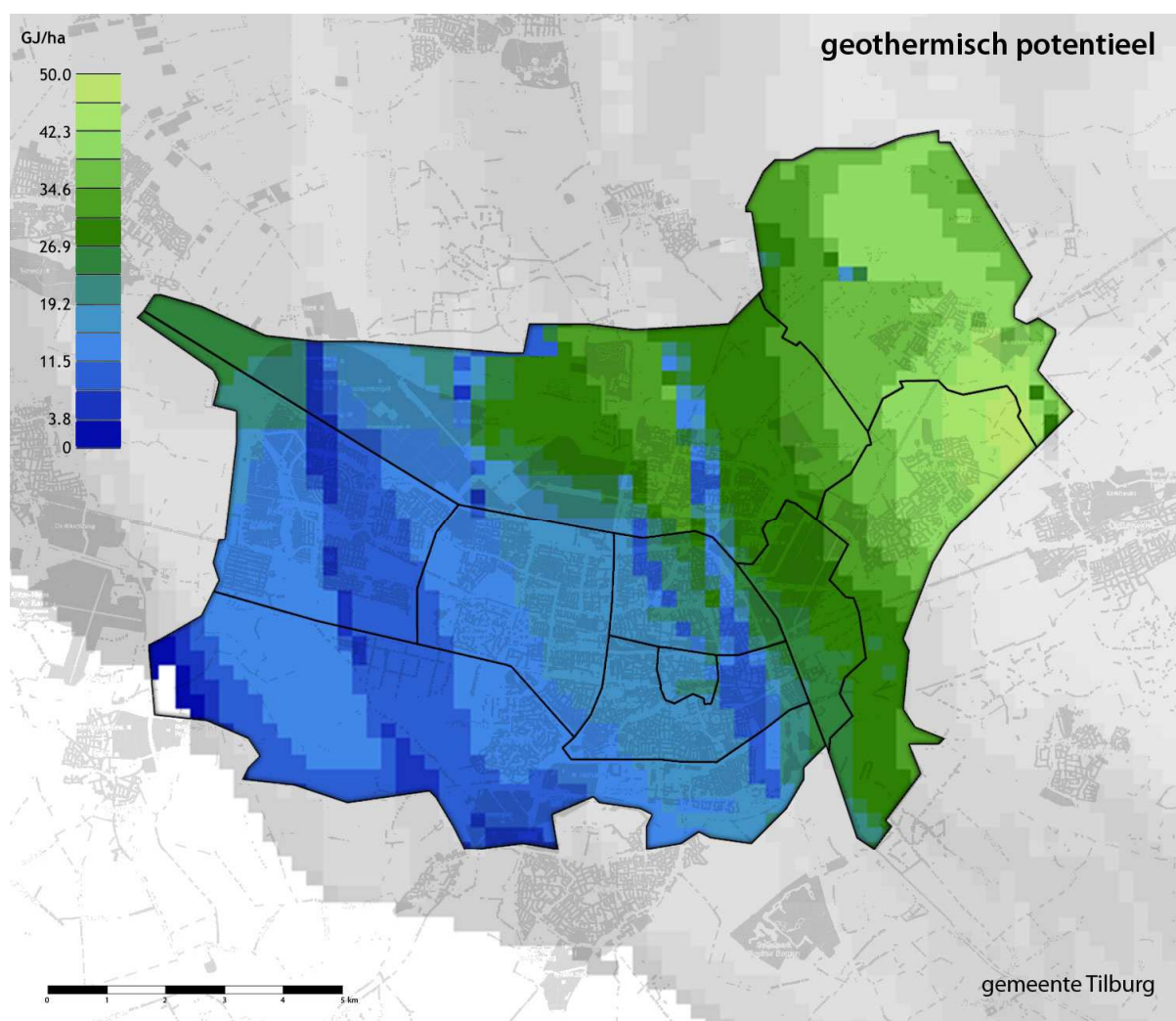
De levensduur van een geothermisch doublet bedraagt circa 30 jaar. Daarna bereikt het 'koude front' van geïnjecteerd water langzamerhand de productieput en neemt het rendement af. Als er geruime tijd geen warm water wordt onttrokken, treedt regeneratie op en kan de bron in principe weer gebruikt worden. Een standaard doublet heeft een infiltratieput en een productieput die 1500 meter van elkaar gelegen zijn, zoals in figuur 10 is te zien.



Figuur 10: Temperatuurdistributie na 30 jaar [Stichting Platform Geothermie]

Een standaard doublet heeft, na uitputting, een regeneratietijd van ongeveer 300 jaar [berekening zie: Duurzame energiebeelden voor de Veenkoloniën; 2011]. Dit betekent theoretisch dat een gebied in 10 delen verdeeld zou kunnen worden en met 1 doublet, dat iedere 30 jaar over deze delen wisselt, een bepaalde constante hoeveelheid thermische energie uit de ondergrond kan halen, zonder dat de diepe ondergrond van het totale gebied, gemiddeld gezien, zal worden uitgeput. (Tijdens gebruiksfase van het doublet wordt de ondergrond wel tijdelijk uitgeput.)

Figuur 11 toont de kaart van de aanwezige geothermische energie rondom Tilburg voor temperaturen hoger dan 60°C.



Figuur 11: Potenties uit geothermie in de gemeente Tilburg

3.5 Warmte- en koudeopslag in de middeldiepe ondergrond

Bepaalde watervoerende lagen (aquifers) in de middeldiepe ondergrond (50 tot 500 meter) kunnen worden ingezet voor warmte- en koudeopslag (WKO). De meest voorkomende oplossing is dat hierbij in de aquifer twee nabije bronnen worden geboord (een doublet), en afhankelijk van het seizoen steeds de één opgeladen en de ander gebruikt. Opgehaalde warmte en koude worden indien nodig tot de juiste temperatuur opgewaardeerd met een warmtepomp. Om opwarming of afkoeling van het grondwater op de lange termijn te voorkomen, moeten opslag en onttrekking van warmte en koude met elkaar in balans zijn.

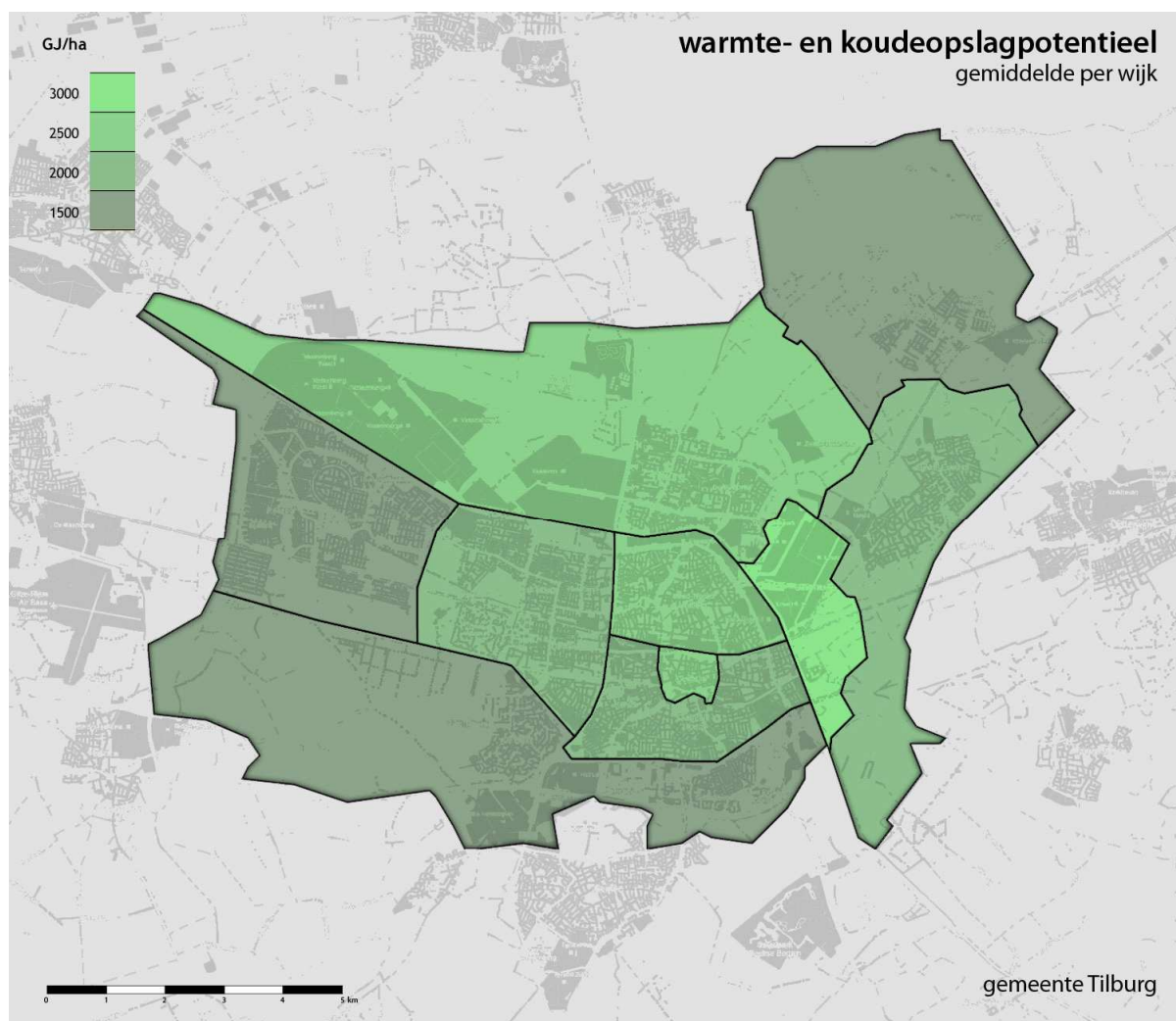
Grondwater in open systemen is afkomstig van ca. 250 m onder de grond. Omdat oppompen de kwaliteit en de stand van het grondwater kan veranderen, is voor open systemen een 'vergunning Grondwaterwet' nodig. Gesloten systemen zitten op een lagere diepte en onttrekken energie aan de bodem door via 'lussen' (ondergrondse leidingen) een mengsel van water en antivries rond te pompen.

De totale hoeveelheid aan energie die aan de ondergrond kan worden onttrokken, kan worden bepaald m.b.v. de totale mogelijke hoeveelheid te onttrekken water per oppervlakte-eenheid en het temperatuurverschil (ΔT). Met het temperatuurverschil wordt het verschil bedoeld tussen de temperatuur die uit de bron wordt gehaald en de temperatuur van het water dat het systeem verlaat (en teruggepompt wordt). ΔT hangt ook af van het bovengrondse energiesysteem.

Potentie van WKO in de gemeente Tilburg

Via de online kaartenbalie van Agentschap NL is een Warmteatlas van Nederland te vinden, die een globaal overzicht geeft van het energetische potentieel van WKO. De gehele regio bezit een potentieel dat overal tussen 1000 en 5000 GJ per ha per jaar is. Een puntmeting geeft een nauwkeuriger beeld van de potentie, middels enige puntmetingen per wijk, is een gemiddelde waarde voor de wijk bepaald.

WKO bezit flinke potenties in de ondergrond. Er moet wel worden bedacht dat het opslagpotenties zijn en dat de warmte en koude eerst moet worden geladen uit een andere bron (restwarmte, warmte uit warmtewisselaars van lucht of water, warmte van zonnecollectoren etc.).



Figuur 12: Potenties aan warmte- en koudeopslag in de gemeente Tilburg

3.6 Warmte van bodemwarmtewisselaars

Warmtepompen die warmte leveren voor verwarming en warm tapwater kunnen de benodigde warmte onttrekken uit de bodem met horizontale of verticale bodemwarmtewisselaars of een grondwatersysteem. Dit is warmte die door zonnestraling door de bodem wordt opgenomen. Verticale bodemwarmtewisselaars kunnen technisch gezien overal in Nederland worden toegepast. De maximale warmteonttrekking aan de bodem kan door variërende bodemeigenschappen verschillen. Onderstaande bodemkaart [op basis van IF Technology, Bodemgeschiktheid voor verticale bodemwarmtewisselaars, 2001] geeft een beeld van de geschiktheid van de bodem tussen 0 en 50 meter diepte voor de toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars.

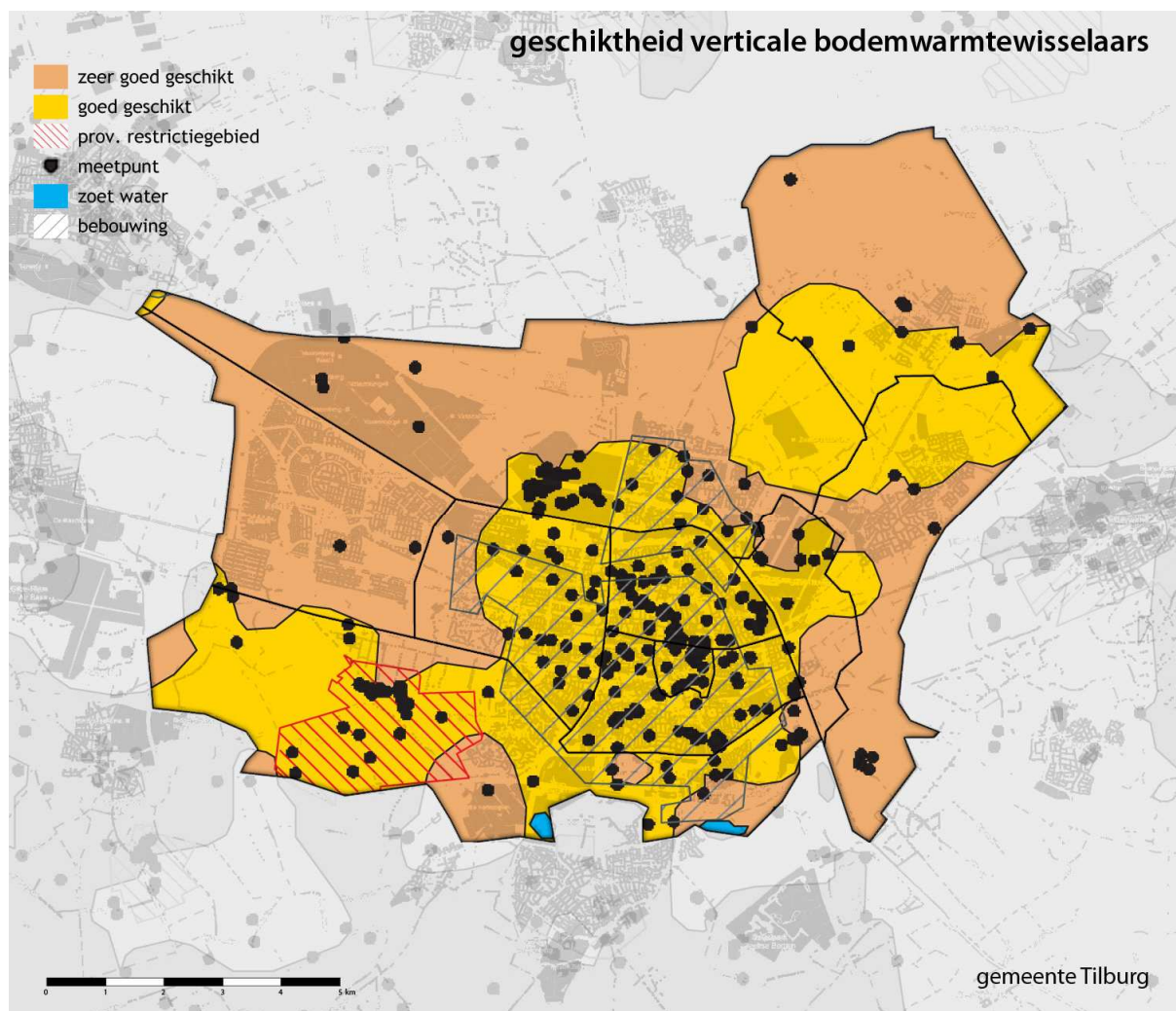
De geschiktheden zijn relatief gekwalificeerd als 'matig', 'goed' en 'zeer goed'; daarnaast zijn de lokale restrictiegebieden in de kaart opgenomen. Hierbij is 'goed' gekwalificeerd als een gemiddelde potentie waarbij 'matig' rond de 40% meer oppervlakte nodig heeft om dezelfde prestaties te leveren en 'zeer goed' heeft rond de 20% minder oppervlakte nodig.

De kaart is moeilijk te kwantificeren naar energetische potenties. Met onderstaande gegevens is wel te bepalen hoe groot een bodemwarmtewisselaar zou moeten zijn om in het gewenste vermogen te kunnen voldoen. Echter gaat dit wel om vermogens om in de piekwarmtevraag te kunnen voorzien.

Maximaal vermogen bodemwarmtewisselaar

Droge zanderige bodem	10-15 W/m ²
Vochtige zanderige bodem	15-20 W/m ²
Droge leemachtige bodem	20-25 W/m ²
Vochtige leemachtige bodem	25-30 W/m ²
Bodem met grondwater	30-35 W/m ²

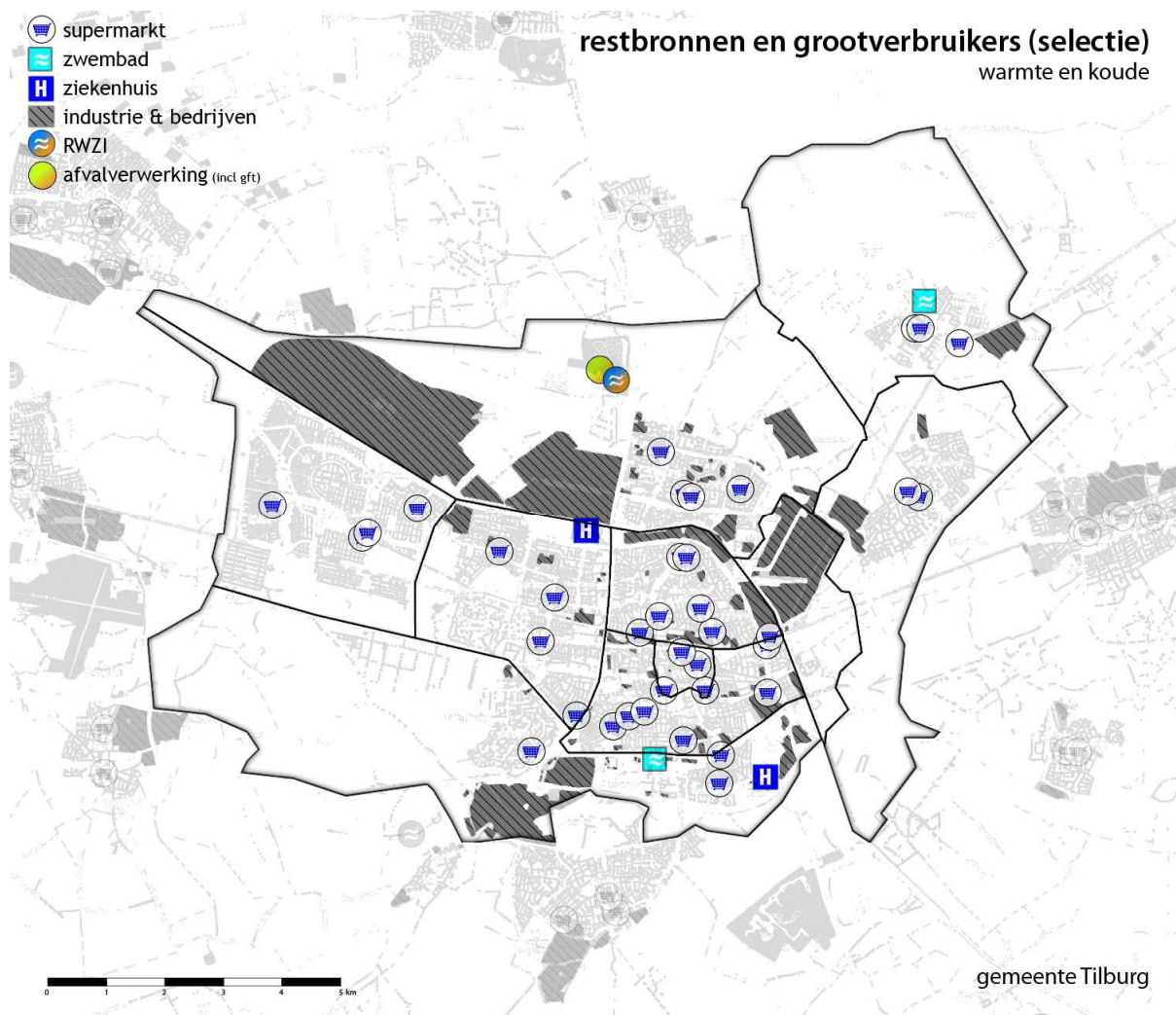
Grof redenerend kan gezegd worden dat een piekvermogen van 15-30 W/m² aan een bodem onttrokken kan worden. De kwalificaties uit de kaart van matig tot zeer goed (80-140% van gemiddeld) kunnen dan geïnterpreteerd worden als 15 – 20 – 30 W/m² voor de 3 verschillend gekwalificeerde gebieden.



Figuur 13: Geschiktheid voor verticale bodemwarmtewisselaars in de gemeente Tilburg

3.7 Restbronnen en grootverbruikers van warmte en koude

Bij het maken van plannen voor duurzame(re) energievoorzieningen is het van belang om grootverbruikers van energie en (potentiële) bronnen van restwarmte in kaart te brengen. Verschillende energiegrootverbruikers zijn o.a. zware industrie en verwerkende industrie, kassen, zwembaden en ziekenhuizen. Potentiële bronnen van restwarmte zijn elektriciteitscentrales en afvalverbrandingsinstallaties maar kunnen ook industrieën zijn als de kartonindustrie of sommige voedselverwerkende industrieën. In de kaart van figuur 14 zijn enkele belangrijke voorzieningen opgenomen die belangrijke spelers zouden kunnen zijn in lokale duurzame warmtevoorzieningen. In de gemeente zijn verschillende vormen van industrie aanwezig; vervolgonderzoek kan potenties van restwarmte hier aan het licht moeten brengen.



Figuur 14: Restbronnen en grootverbruikers van warmte en koude in de gemeente Tilburg

3.8 Totaaloverzicht

Hieronder volgt een totaaloverzicht van de verschillende energiepotenties. Bovenin de tabel staan de absolute potenties van de verschillende biomassabronnen, onderin de specifieke andere potenties per oppervlakte-eenheid.

Energiepotenties gemeente Tilburg						
	warmte	elektriciteit	brandstof	brandstof biogas	(kolen/ houtachtig)	
biomassa: (PJ)	aanbod: (PJ)					
RWZI				0,04		
Mest				0,34		
GFT				0,08		
restafval akkers				0,09		
hout (afval)					0,06	
hout (bos)					0,08	
hout (snoei)					0,05	
biomassatotaal:				0,56	0,19	0,75
overig: (GJ/ha)	aanbod: (GJ/ha)					
Geothermie	650					
WKO	1500-3000					
Wind		600-1200				
zon	12000	5000				

Tabel 10

4. Hoe verder?

Dit rapport geeft een indicatie van het energiegebruik in de gemeente Tilburg en de energiepotenties die er van nature en van antropogene bronnen aanwezig zijn. Zoals her en der aangegeven zijn niet altijd alle detailgegevens boven water gekomen. Daarvoor is aanvullend onderzoek nodig, wat binnen de beperkte tijd en middelen voor deze studie niet mogelijk was.

Bij een energiepotentiëstudie (zoals ontwikkeld aan de TU Delft en gepubliceerd in verschillende wetenschappelijke media) wordt doorgaans ook een vertaling van de bevindingen in een ruimtelijke visie gemaakt, maar daarvoor waren het tijdsbestek en de middelen te beperkt. Hiervoor is ook nader overleg met de Gemeente Tilburg nodig, om lopende plannen, beperkingen en toekomstige ontwikkelingen te kunnen doornemen, waarna energievisiekaarten kunnen worden gemaakt.

De auteurs hopen dat de Gemeente met dit rapport een nuttig basisdocument heeft, op basis waarvan zij haar duurzaamheidsbeleid verder kan vormgeven. Voor de transitie naar een duurzame gemeente, die op termijn onafhankelijk is van fossiele energie, kunnen de voorliggende inventariserende studies worden gebruikt om ruimtelijke (her)ontwikkelingen in gang te zetten en gericht duurzame investeringen te kunnen doen.

De aanpak die in het kader van het EOS-LT-project Transep-DGO is ontwikkeld – waaronder ook deze energiepotentiëstudie valt – kan het verdere proces en de technische uitwerking verder ondersteunen.

