

Duurzame energie in Amsterdam: kansen aan de horizon

Raming van het potentieel
voor 2025

Rapport

Delft, juni 2008

Opgesteld door:

A. (Ab) de Buck
D. (Dagmar) Nelissen
C. (Cor) Leguijt
J.H.B. (Jos) Benner
H.J. (Harry) Croezen



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

A. (Ab) de Buck, D. (Dagmar) Nelissen, C. (Cor) Leguijt, J.H.B. (Jos) Benner,
H.J. (Harry) Croezen
DE in Amsterdam: kansen aan de horizon
Raming van het potentieel voor 2025
Delft, CE, 2008

Gemeenten / Energievoorziening / Duurzame energie / Capaciteit / Prognoses

Publicatienummer: 08.3718.25

Alle CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Opdrachtgever: Gemeente Amsterdam.

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Ab de Buck.

© copyright, CE, Delft

CE Delft

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

De meest actuele informatie van CE Delft is te vinden op de website: www.ce.nl.

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	7
1.1 Doel studie	7
1.2 Kader	7
1.2.1 Trias Energetica	7
1.2.2 Primair- en eindgebruik; directe en indirecte emissies	7
1.2.3 Kosten en kosten-effectiviteit	8
1.2.4 Concurrerende opties	8
1.2.5 Kentallen, protocol duurzame energie	8
1.3 Doelstellingen	9
1.3.1 Gebruik duurzame energie	9
1.3.2 CO ₂ -reductie	10
1.4 Aanpak	10
1.4.1 Onderzochte DE-opties	10
1.4.2 Uitgangspunten voor potentieelramingen	11
1.4.3 Werkwijze	11
2 Huidige situatie (2007) en prognoses 2025	13
2.1 Huidig energiegebruik en emissies CO ₂	13
2.2 Huidig gebruik duurzame energie	13
2.2.1 2007	13
2.2.2 2006	14
2.3 Prognoses energiegebruik 2025 (bij ongewijzigd beleid)	15
3 Potentieelramingen Duurzame energie CEA (2003)	17
4 Technische ontwikkeling en leercurve	19
5 Raming per optie	21
5.1 Stadswarmte en -koude en koude-/warmteopslag	21
5.1.1 Werkwijze en uitgangspunten	21
5.1.2 Raming energiebesparing	22
5.1.3 Raming CO ₂ -reductie	23
5.1.4 Kosten en implementatie potentieel	25
5.2 Windenergie	26
5.2.1 Ramingen CEA-studie	26
5.2.2 Mogelijke locaties	27
5.2.3 Haven Amsterdam	29
5.2.4 Stadsdeel Noord	31
5.2.5 Amsterdam Zuid-Oost	32
5.2.6 Zeeburgereiland	32
5.2.7 Locaties in de stad	33
5.2.8 Windturbines in de gebouwde omgeving	33
5.2.9 Totaalraming	33
5.2.10 Kosten en implementatie	33

5.3	Zonne-energie	34
5.3.1	Algemeen	34
5.3.2	Zon-PV	34
5.3.3	Zon-thermisch	35
5.3.4	Kosten	35
5.3.5	Potentieel Amsterdam	36
5.4	Biomassa	38
5.4.1	GFT in huis- en bedrijfsafval:	38
5.4.2	Rioolwaterzuiveringsslib	39
5.4.3	Snoeiafval parken en plantsoenen	40
5.4.4	Organische reststromen	40
5.4.5	Totaal raming potentieel biomassa	40
5.4.6	Kosten en implementatie	41
5.5	Micro-WKK	41
5.5.1	Algemeen	41
5.5.2	Raming potentieel Amsterdam:	43
5.5.3	Kosten en implementatie	44
5.5.4	WKK	44
6	Potentieel DE in relatie tot doelstellingen	45
6.1	Inleiding	45
6.2	Potentiële Duurzame energie	45
6.2.1	Overall potentieel DE	45
6.2.2	Vergelijking potentieel met doelstellingen	45
6.2.3	Huishoudens en bedrijven vs. verkeer en vervoer	46
6.3	Potentiële CO ₂ -reducties	47
6.3.1	Gezamenlijke CO ₂ -reductie onderzochte maatregelen	47
6.3.2	Vergelijking met CO ₂ -reductie doelstelling gemeente Amsterdam	48
6.3.3	Specificatie naar bedrijven en huishoudens	49
6.4	Kosten	49
6.5	Haalbaarheid potentieel; leercurve	49
6.6	Implementatie	49
	Literatuurlijst	51

Samenvatting

Duurzame energie: kansen voor substantiële CO₂-reductie ?

De zorg in de maatschappij over de gevolgen van klimaatverandering neemt steeds meer toe. Amsterdam heeft zich daarom ten doel gesteld om de CO₂-emissie fors terug te brengen: in 2025 40% reductie ten opzichte van de emissie in 1990. Dit ambitieuze doel vraagt om concrete acties op meerdere fronten.

Eén van deze acties is het verhogen van het aandeel duurzame energie (DE) in de Amsterdamse energievoorziening. De gemeente Amsterdam bepaalt hiervoor op korte termijn haar ambitie. Deze verkenning levert daarvoor de onderbouwing. De studie brengt in beeld welke bijdrage duurzame energie maximaal kan leveren aan de energievoorziening en wat dat betekent voor de emissies van CO₂. Naast de eigen CO₂-doelstelling van de gemeente Amsterdam wordt een vergelijking gemaakt met de concept EU-wetgeving voor realisatie van duurzame energie: per 2020 moet 14% van totale energiegebruik in Nederland afkomstig zijn uit duurzame bronnen. In deze doelstelling is de inzet van duurzame bronnen in de sector verkeer en vervoer meegenomen.

Naast de drie 'zuivere' bronnen voor opwekking van duurzame energie (wind, zon en biomassa), richt de studie zich ook op drie typen maatregelen waarmee energie efficiënter kan worden benut: warmte- en koudenetten, micro-WKK en de opwekking van elektriciteit uit afval (anders dan biomassa). De eerste valt onder de criteria van de voorgestelde nieuwe EU-wetgeving.

Huidige energievoorziening

Het totale primaire energiegebruik (sectoren huishoudens, bedrijven en verkeer) in Amsterdam bedroeg in 2007 ca. 73 PJ. Uit eerdere ramingen volgt dat het energiegebruik in 2025, bij ongewijzigd beleid, zal zijn toegenomen tot ca. 84 PJ. De CO₂-emissie stijgt daarmee van 4.941 naar 6.350 kton. De doelstelling van de gemeente Amsterdam ligt op 2.500 kton in 2025, wat neer komt op een reductie-opgave van 3.850 kton.

In 2007 bedroeg het aandeel van duurzame bronnen in de totale energievoorziening van Amsterdam ca. 5,8%. Deze waarde ligt aanzienlijk hoger dan het landelijke gemiddelde van 2,8%. Deze is opgebouwd uit de volgende bronnen:

Tabel 1 Opwekking duurzame energie Amsterdam 2007

Bron	Vermeden energie (primaire) (PJ)	Vermeden CO ₂ -emissie (kton CO ₂)
<i>Duurzame energie (cf. EU):</i>		
Biomassa	2,96	209
Wind	0,66	47
Zonne-energie	0,004	0,3
Warmtelevering	0,62	27
Koude-/warmteopslag	0,02	1
Totaal	4,26	285
% van totaal	5,8%	5,5%
<i>Overige opties:</i>		
Overig afval (geen biomassa)	3,00	212

De opwekking van elektriciteit uit afval (biomassa en overig) levert hierbij de grootste bijdrage van 5,96 PJ op. Het hoge aandeel van energie uit afval hangt samen met het hoge opwekkings-rendement van het AEB en de grote volumes vanwege de centrale plaats die het AEB inneemt in de afvalverwerking in de regio.

Potentiële bijdrage aan energievoorziening 2025

Het potentieel van duurzame bronnen (cf. de criteria van de EU) ligt in totaal op 13,7 - 16,2 PJ.

In deze raming is:

- rekening gehouden met concurrentie tussen verschillende opties. Zo geldt dat zon-thermisch en zon-PV 'concurreren' om de beschikbare ruimte op daken;
- ook de CO₂-reductie bij het Afval- en Energiebedrijf door verwerking van afval van buiten Amsterdam meegenomen. Dit wordt redelijk geacht omdat Amsterdam verantwoordelijk is voor de hoog-efficiënte verwerkingsinstallatie;
- geen rekening gehouden met de kosten van de diverse opties. Zon-PV is in de huidige situatie een relatief dure maatregel. Andere maatregelen zijn tegen veel lagere kosten te realiseren.

De verdeling over de diverse opties is als volgt (in PJ):

Tabel 2 Potentieel opties duurzame energie aan energievoorziening Amsterdam 2025

Windenergie	Biomassa	Zon-PV	Zon-thermisch	Warmtenetten en KWO	Totaal
2,9 - 4,4	4,9	1 - 2		4,9	13,7 - 16,2

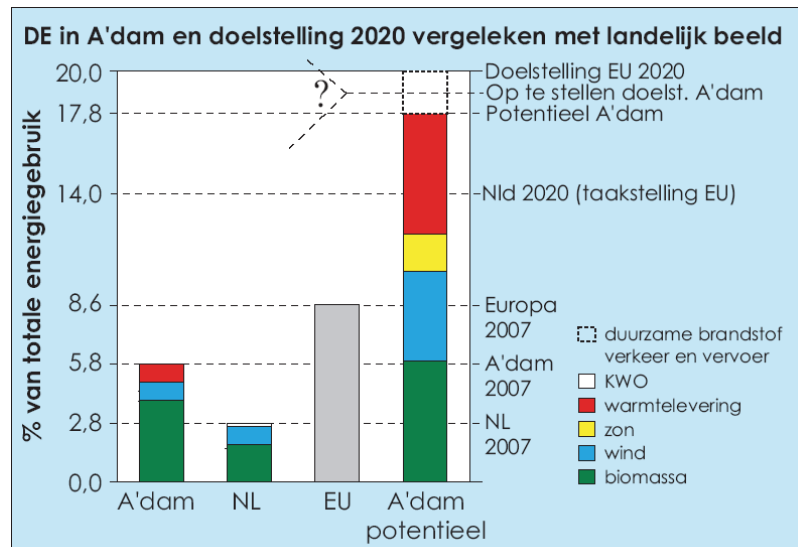
Duurzame energie kan hiermee een substantiële bijdrage leveren aan het totale primaire energiegebruik. Ten opzichte van de prognose van 83,8 PJ in 2025 ligt het aandeel op ca. 17,8%.

De aangegeven maatregelen richten zich op de sectoren huishoudens en bedrijven. Voor verkeer en vervoer kan een inschatting gemaakt worden op grond van de Europese biobrandstoffenrichtlijn. Deze zet in op een aandeel van 10% biobrandstoffen per 2020. Voor Amsterdam geëxtrapoleerd komt dit neer op 2,2 PJ



duurzame energie in de sector verkeer en vervoer in 2025. Hiermee komt het Amsterdamse potentieel op 20%. Dit ligt ruim boven de voorgestelde EU-taakstelling voor Nederland van 14% in 2020. Een en ander is weergegeven in Figuur 1.

Figuur 1 Duurzame energie in Amsterdam, 2007 en potentieel 2025: vergelijking met doelstellingen

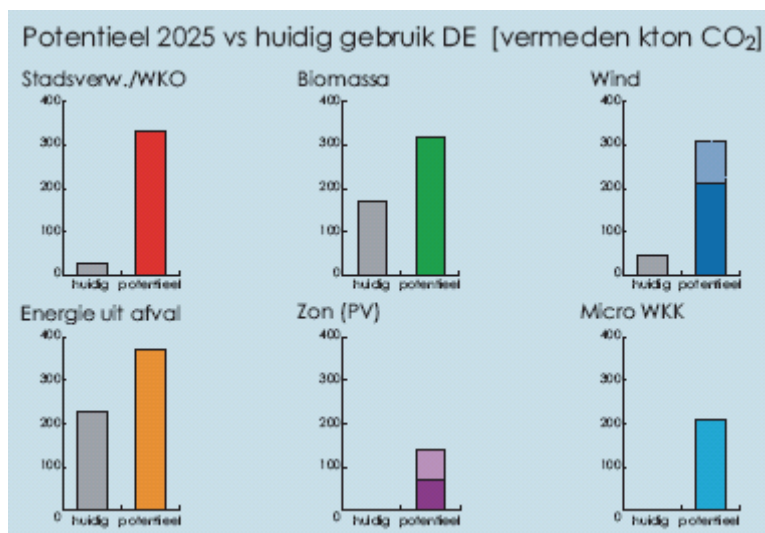


De onderzochte opties micro-WKK en verbranding van overig afval (d.w.z.: excl. biomassa) vallen buiten de definitie van duurzame energie in de EU-richtlijn. Het potentieel van deze twee opties ligt op ca. 7,1 PJ.

Potentiële bijdrage aan CO₂-reductie 2025

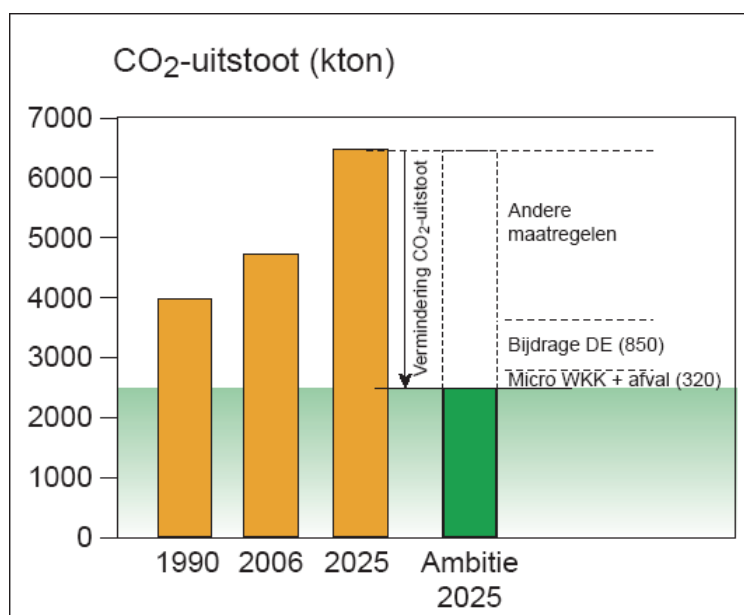
Het gebruik van duurzame energie leidt min of meer tot een evenredige verlaging van CO₂-emissies. Het berekende potentieel voor CO₂-reductie door DE-bronnen (cf. definitie EU) ligt op 950 - 1.120 kton CO₂. Voor de overige twee maatregelen (micro-WKK en elektriciteitsopwekking uit verbranding van ander afval dan biomassa) ligt het potentieel op ca. 490 kton CO₂-reductie. Dit is een forse groei ten opzichte van wat op dit moment (2007) al is gerealiseerd:

Figuur 2 CO₂-reductie door DE. Potentiëlen 2025 en reeds gerealiseerd in 2007



Concluderend geldt dat de zes onderzochte opties tezamen een bijdrage kunnen leveren van ca. 1.170 kton (30%) aan de beoogde reductie van CO₂-emissies van Amsterdam. In deze raming is meegenomen dat in de prognoses voor het energiegebruik in 2025 al een deel duurzame energie wordt verondersteld.

Figuur 3 Bijdrage DE-opties aan realisatie CO₂-reductiedoelstelling Amsterdam



Realisatie van het potentieel

Het berekende potentieel gaat steeds uit van wat 'maximaal haalbaar' wordt beschouwd. De realisatie hiervan vraagt een (zeer) grote inspanning. Dit geldt met name bij de ambities voor: warmtenetten, zonne-energie en micro-WKK. Voor windenergie en biomassa sluiten de genoemde potentiëlen meer aan op reeds in gang zijnde ontwikkelingen, maar ook daar zal een forse inspanning van

bedrijven en overheden nodig zijn. Aan de andere kant geldt dat het potentieel door technische ontwikkeling zal toenemen. De verwachting is dat daardoor ook de prijzen zullen dalen, waardoor deze technieken een steeds groter marktaandeel kunnen verwerven.



1 Inleiding

1.1 Doel studie

De gemeente Amsterdam heeft zich ten doel gesteld om de CO₂-emissies fors te reduceren. Het doel is een vermindering van de uitstoot in 2025 met 40% ten opzichte van het niveau in 1990.

Een van de sporen bij het reduceren van de CO₂-emissie is het verhogen van het aandeel duurzame energie. Hiervoor wil Amsterdam op korte termijn haar ambitie vaststellen. De focus ligt daarbij op het maximaal haalbare: wat kan met een maximale inspanning in Amsterdam gerealiseerd worden?

Deze studie levert daarvoor de onderbouwing. Hij brengt in beeld welke bijdrage geleverd kan worden door duurzame energie en wat dat betekent aan vermindering van emissies van CO₂.

1.2 Kader

1.2.1 Trias Energetica

Duurzame energie is energie uit hernieuwbare bronnen. Daarmee worden bestaande voorraden dus niet uitgeput. De belangrijkste zijn: wind, zon en biomassa (mits duurzaam geproduceerd). In de Trias Energetica (Figuur 4) staat duurzame energie op de tweede trede, na het besparen op het eindgebruik van energie. De derde trede van de Trias is het efficiënt benutten van energie opgewekt uit fossiele bronnen, bijvoorbeeld door restwarmte te gebruiken.

1.2.2 Primair- en eindgebruik; directe en indirecte emissies

Bij het energiegebruik kan een onderscheid gemaakt worden naar het eindgebruik (hoeveel energie gebruikt de afnemer ?) en naar het primaire energiegebruik (energiegebruik inclusief verliezen bij opwekking en transport van energiedragers). In deze studie wordt steeds het primaire gebruik als referentie genomen.

De termen 'directe' en 'indirecte' emissies van CO₂ hangen hiermee samen. 'Directe' emissies betreffen de emissies die plaatsvinden bij de eindgebruiker, 'indirecte' emissies de emissies die elders plaatsvinden t.b.v. het energiegebruik van de eindgebruiker. In deze studie wordt steeds gekeken naar de totale emissies van CO₂, direct en indirect.

1.2.3 Kosten en kosteneffectiviteit

De kosten van maatregelen kunnen worden uitgedrukt in de jaarlijkse kosten per vermeden ton CO₂. Deze kosteneffectiviteit is een graadmeter voor de economische haalbaarheid van de maatregelen.

In deze verkenning wordt per optie in globale termen de kosteneffectiviteit beschreven.

1.2.4 Concurrerende opties

Niet alle onderzochte maatregelen zullen tegelijk worden toegepast. Zo geldt dat het dakoppervlak van een woning benut kan worden voor zon-PV of zonneboilers.

Verder geldt dat woningen aangesloten op restwarmte of KWO doorgaans geen gasaansluiting hebben, waardoor micro-WKK daar geen optie meer is.

Tabel 3 geeft een overzicht van deze 'concurrerende opties'. In de raming van het potentieel wordt hier uiteindelijk rekening mee gehouden. N.B.: dit punt van concurrentie tussen opties is niet meegenomen in de studie van CEA (CEA, 2003).

Tabel 3 'Concurrerende' opties Duurzame energie (te lezen van boven naar onder: maatregelen boven in de kolom gaat niet samen met maatregelen in de rij)

	W-/K-netten	KWO	Zon-PV	Zon-therm.	Wind	Biomassa (e-prod.)	Micro-WKK
W-K netten							X
KWO							X
Zon-PV				X			
Zon-therm.			X				
Wind							
Biomassa							
Micro-WKK	X	X					

1.2.5 Kentallen, protocol duurzame energie

Enkele jaren na de CEA-studie is landelijk het protocol duurzame energie (SenterNovem, 2006) vastgesteld. Dit geeft gestandaardiseerde kentallen voor de energie-inhoud van bronnen van duurzame energie en voor de energie die, door de inzet van duurzame energie, elders wordt bespaard. Deze kentallen zijn in de huidige studie gehanteerd. De belangrijkste zijn in Tabel 4 en Tabel 5 weergegeven.

Tabel 4 Kentallen energie-inhoud duurzame opties (Protocol Duurzame energie, 2006)

		Kentallen
Windenergie		Vollasturen op land 2.000 h/jr
Zonne-energie	PV	Vollasturen netgekoppelde systemen: 700 hr/jr Vollasturen autonome systemen: 400 hr/jr
	Zon-thermisch	Aardgasbesparing per capaciteit 173 m ³ /jr (45% van warmtevraag voor warm tapwater in huishoudens), elektriciteitsverbruik per capaciteit 33 kWh/jr
Koude-/warmteopslag	Systeem zonder warmtepomp	Vermeden emissies 0,47 kg/m ³
	Systeem met warmtepomp	Vermeden emissies 0,4 kg/m ³ , fractie grondwater ten behoeve van koeling: 0.5
Biomassa	Verbranding AVI	Aandeel duurzame/hernieuwbare energie 2005: 47%

Tabel 5 Kentallen elektriciteitsopwekking (Duurzame energie, 2006)

Elektrisch omzettingsrendement Productie	Elektrisch omzettingsrendement geleverd bij verbruiker	Emissiefactor CO ₂ per GJprim gemiddeld	Emissiefactor CO ₂ per kWh productie	Emissiefactor CO ₂ per kWh geleverd bij verbruiker
43,1%	41,4%	70,9 kg/GJprim	0,592 kg/kWhe	0,616 kg/kWhe

1.3 Doelstellingen

1.3.1 Gebruik duurzame energie

De Europese Commissie heeft in januari 2008 een wetsvoorstel gelanceerd gericht op groei van duurzame energie (Directive on the use of Renewable Energy Sources, Europese Commissie, januari 2008 (EU, 2008). Naar verwachting zal dit voorstel eind dit jaar worden bekrachtigd. In het voorstel zijn naast 'echte' duurzame bronnen, ook energiebesparing door warmte-/koudenetten en koude-/warmteopslag opgenomen. Doel van het wetsvoorstel is dat in 2020 20% van de in de Europese Unie gebruikte energie is geleverd uit duurzame bronnen. Per lidstaat zijn daarbij taakstellingen geformuleerd, waarop de lidstaten worden 'afgerekend'. Voor Nederland komt deze taakstelling overeen met een aandeel duurzame energie van 14%. Dit is een zeer forse stijging: in de huidige situatie ligt het aandeel duurzaam in de totale energievoorziening op 2,8%, waarvan een aanzienlijk deel geïmporteerd.

Bij de start van het kabinet Balkenende IV heeft de regering ook een doel geformuleerd t.a.v. inzet van duurzame energie. Deze ligt op 20% in 2020. Dit beleidsdoel heeft juridisch minder betekenis dan de taakstelling van de Europese Commissie.

In deze studie wordt het potentieel aan Duurzame energie in Amsterdam vergeleken met de taakstelling van de EU voor 2020.

1.3.2 CO₂-reductie

De gemeente Amsterdam heeft als doel een vermindering van de uitstoot van CO₂ in 2025 met 40% ten opzichte van het niveau in 1990. Dit komt neer op een emissie van 2.500 kton CO₂ in 2025. Ten opzichte van de prognose bij ongewijzigd beleid (6.350 kton) betekent dit een reductie van 3.850 kton.

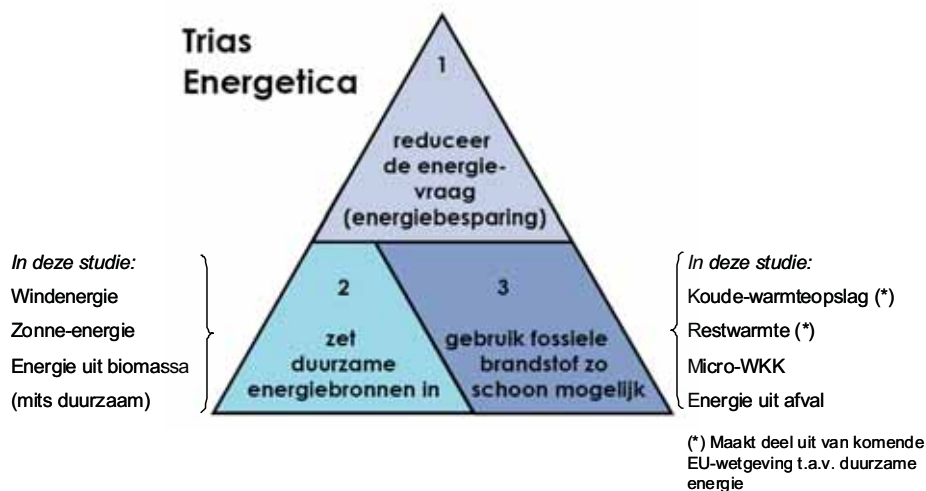
In deze studie wordt het potentieel aan Duurzame energie uitgedrukt in vermeden tonnen CO₂. Deze worden vergeleken met de bovenstaande doelstelling. Een punt van aandacht is daarbij dat in de prognose bij ongewijzigd beleid al het huidige gebruik (peiljaar 2006) van Duurzame energie is meegenomen. Dit deel telt daarom niet mee in de benodigde reductie van 3.850 kton.

1.4 Aanpak

1.4.1 Onderzochte DE-opties

Naast de drie 'zuivere' bronnen voor opwekking van Duurzame energie (wind, zon en biomassa), richt de studie zich ook op drie typen maatregelen waarmee energie efficiënter kan worden benut: warmte- en koudenetten, elektriciteitsopwekking uit afval (anders dan biomassa) en micro-WKK. Daarvan vallen warmte- en koudenetten onder de criteria van de voorgestelde nieuwe EU-wetgeving.

Figuur 4 Duurzame energie in Trias Energetica



1.4.2 Uitgangspunten voor potentieelramingen

De ramingen zijn gebaseerd op de volgende twee algemene uitgangspunten:

- opties hebben het energetisch rendement zoals op dit moment maximaal op de markt beschikbaar is;
- brede implementatie van de optie in Amsterdam.

Uitgangspunt is dat een optie maximaal in Amsterdam wordt toegepast: maximale benutting van de fysiek beschikbare ruimte, binnen de bestaande wettelijke regels.

Voor de raming van het potentieel zonne-energie is hiervan enigszins afgeweken. Reden is dat zonne-energie (en dan met name PV) op dit moment nog erg kostbaar is en dat het daarom irreëel is om te veronderstellen dat het technisch beschikbare potentieel per 2025 volledig zal kunnen worden benut. De voorzet voor zonne-energie is daarom mede gebaseerd op een inschatting van de ontwikkeling van het marktpotentieel tot 2025.

1.4.3 Werkwijze

De studie bouwt voort op de resultaten van een inventarisatie van CEA uit 2003 (CEA, 2003). In die studie zijn ramingen gemaakt voor energieproductie uit Duurzame energie op basis van kentallen van de gemeente Amsterdam (zoals het aantal woningen of het m² beschikbaar dakoppervlak) en ramingen van gemiddeld rendement van de diverse mogelijke vormen van duurzame energie.

Actualisatie van deze studie is nodig omdat:

- sindsdien technische en economische ontwikkelingen hebben gezorgd voor een verhoging van het beschikbare potentieel;
- de urgentie voor en het politieke belang van opties voor CO₂-reductie aanzienlijk is toegenomen.

Bij de studie is de volgende aanpak gehanteerd:

- 1 Analyse van uitgangspunten van de CEA-studie uit 2003 (CEA, 2003).
- 2 Literatuuronderzoek, verificatie en update met andere kennisbronnen.
- 3 Gesprekken met stakeholders, waaronder leveranciers van duurzame energietechnologie en de gemeente Amsterdam.
- 4 Doorrekening van potentiëlen naar vermeden energiegebruik en emissies van CO₂.
- 5 Vergelijking van potentiëlen met doelstellingen t.a.v. inzet duurzame energie en CO₂-reductie.



2 Huidige situatie (2007) en prognoses 2025

2.1 Huidig energiegebruik en emissies CO₂

Het energiegebruik in de gemeente Amsterdam kende in 2006 de volgende opbouw (CE Delft, 2007):

Tabel 6 Energiegebruik in 2006 in de gemeente Amsterdam (PJ)

		Eindgebruik	Primair gebruik
Huishoudens	Elektriciteit	5,39	13,02
	Groene stroom	0,51	1,18
	Gas	13,42	13,42
	Warmte	0,5	0,17
Bedrijven	Elektriciteit	6,73	16,26
	Groene stroom	0,07	0,16
	Gas	6,11	6,11
	Warmte	0,44	0,15
Verkeer en vervoer		22,20	22,20
Totaal		55,37	72,67

Dit betekent voor de emissie van CO₂ (CE Delft, 2007):

Tabel 7 CO₂-emissies in 2006 van de belangrijkste sectoren in de gemeente Amsterdam (in kton per jaar)

	Direct	Direct + Indirect
Huishoudens	750	1.676
Bedrijven	342	1.487
Verkeer en vervoer	1.629	1.629
Totaal	2.721	4.941

2.2 Huidig gebruik duurzame energie

2.2.1 2007

In het peiljaar 2007 werden in Amsterdam de volgende hoeveelheden duurzame energie opgewekt (Tabel 8). De onderliggende data zijn vooral afkomstig van de gemeente Amsterdam (PMB Amsterdam, 2008 a,b,c,d,e). In deze tabel zijn de cijfers weergegeven in termen van vermeden primair energiegebruik en vermeden emissie van CO₂.

Tabel 8 Bijdrage duurzame energie bronnen aan energievoorziening Amsterdam 2007

Bron	Vermeden energie (primair) (PJ)	Vermeden CO ₂ -emissie (kton CO ₂)
<i>Duurzame energie:</i>		
Biomassa	2,96	209
Wind	0,66	47
Zonne-energie	0,004	0,3
Warmtelevering	0,62	27
Koude-/warmteopslag	0,02	1
Totaal duurzame energie	4,26	285
% van totaal	5,8%	5,5%
<i>Overige opties:</i>		
Afval (anders dan biomassa)	3,00	212
<i>Totaal:</i>	<i>7,26</i>	<i>597</i>

In dit plaatje levert vooral biomassa een belangrijke bijdrage. Dit hangt samen met het relatief hoge opwekkingsrendement van stroom van het AEB en de grote doorzet van biomassa in de centrale (ook van buiten Amsterdam). Het AEB verwerkt afval uit Amsterdam en uit andere gemeenten, ca. 42% komt uit Amsterdam. In de berekeningen is ook de productie van elektriciteit uit afval van buiten Amsterdam meegenomen. Het AEB levert ook warmte die uit biomassa wordt geproduceerd. Dit is niet onder 'biomassa' meegenomen, maar is meegenomen onder de levering van Stadswarmte/koude.

Daarnaast wordt een belangrijke bijdrage geleverd door de productie van wind-energie (met name afkomstig van Westpoort) en door het warmtenet.

Daarmee ligt het aandeel van duurzame bronnen in Amsterdam (5,8%) duidelijk hoger dan het landelijke gemiddelde van 2,8%.

2.2.2 2006

Het jaar 2006 is in de Bouwstenen-studie van CE Delft het peiljaar voor de ramingen van huidig gebruik van energie en de prognoses 2025 bij ongewijzigd beleid (CE Delft, 2007). Data van het gebruik van duurzame energie in 2006 zijn daarom ook van belang voor deze studie. Tabel 9 geeft de CO₂-reducties die overeenstemmen met het gebruik van duurzame energie in 2006. De totale vermeden emissie van CO₂ door inzet van duurzame energie ligt op 194 kton. Inclusief de overige twee bronnen komt de vermeden emissie uit op 360 kton.

Tabel 9 Vermeden CO₂-emissies door inzet Duurzame energie in Amsterdam, 2006 (kton/jr)

Duurzame energie					Andere opties		Totaal
Biomassa	Wind	Warmte-/koudenetten	Zon	Totaal duurzaam	Micro-WKK	Overig afval (ex-cl. biomassa)	
154	11	28 ¹	0,3 ¹	194	0	166	360

¹ Geen exacte gegevens beschikbaar; gelijk verondersteld aan bijdrage in 2007.



De bijdrage van DE aan de energievoorziening in het jaar 2006 is meegenomen in de prognoses voor energiegebruik en CO₂-emissie in 2025 (CE Delft, 2007). Dit deel levert daarmee dus geen bijdrage aan de benodigde besparing van CO₂-emissies van 3.850 kton in 2025.

Van 2006 naar 2007 is het gebruik van Duurzame energiebronnen aanzienlijk gegroeid: de vermeden CO₂-emissies zijn gestegen van 194 kton naar 279 kton. Reden hiervan is in 2007 bij het AEB de opwekking van elektriciteit uit afval (waaronder biomassa) aanzienlijk is gegroeid (door de ingebruikname van de HRC (hoogrendementscentrale). Tevens is in 2007 in het havengebied een fors potentieel aan windenergie gerealiseerd.

2.3 Prognoses energiegebruik 2025 (bij ongewijzigd beleid)

In het Bouwstenenrapport zijn de volgende ramingen opgenomen voor het energiegebruik en de CO₂-emissies in 2025 bij ongewijzigd beleid (CE, 2007). In deze prognoses is al verdisconteerd dat er in 2025 enige inzet is van duurzame energie. Dat is gebaseerd op het gebruik van DE in 2006.

Tabel 10 Prognoses 2025 bij ongewijzigd beleid: energiegebruik en CO₂-emissies

		Energiegebruik (PJ)	Primair energiegebruik (PJ)	CO ₂ -emissie (kton)
Huishoudens	Elektriciteit	8,05	19,44	2.242
	Groene stroom	0,51	1,18	
	Gas	11,15	11,15	
	Warmte	0,5	0,17	
Bedrijven	Elektriciteit	10,08	24,35	2.530
	Groene stroom	0,07	0,16	
	Gas	5,7	5,7	
	Warmte	0,44	0,15	
Verkeer		21,50	21,50	1.577
Totaal		58,00	83,81	6.348

In grote lijnen wordt een groei voorzien van het elektriciteitsgebruik en een beperkte afname van het gasgebruik. Dit leidt tot een groei van CO₂-emissie met ca. 22%.



3 Potentieelramingen Duurzame energie CEA (2003)

Het onderzoek van CEA uit 2003 (CEA, 2003) is gebaseerd op een rekenmodel. In detail is per stadsdeel het aantal woningen, kantoren, scholen, et cetera in kaart gebracht. Vervolgens is met een aantal standaard kentallen een doorrekening gemaakt naar het potentieel voor opwekking van Duurzame energie. In de CEA-studie zijn zes maatregelen doorgeleucht:

- 1 Zon-thermisch (zonneboiler).
- 2 Zon-PV.
- 3 Warmtepomp.
- 4 Aquifer.
- 5 Bio-energie (biomassa).
- 6 Windenergie.

De analyses zijn doorgaans uitgevoerd voor vijf sectoren: huishoudens, recreatie, zorg, overheid, bedrijven/diensten/kantoren, met daarbij een onderverdeling naar bestaand en nieuw.

Het CEA-rekenmodel is gebaseerd op de volgende parameters:

Tabel 11 Rekenmodel (CEA, 2003)

Technologie	Typerende parameters 'stad'	Typerende parameters 'technologie'	Referentierendement (met welk rendement zou de energie anders zijn opgewekt?)
Zon-PV	– m² dakoppervlak – % geschikt voor PV – Gemiddeld dakoppervlak	– Opbrengst PV (GJ/m²)	– Rendement elektriciteitsopwekking - Typerende waarde: 42%
Zon-thermisch (zonneboiler)	– Aantal gebouwen (woningen, verzorgingstehuizen, kantoren, etc.) – Geschiktheidsfactor	– Energielevering per gebouw (GJ/gebouw)	– Rendement productie warm water met CV-ketel - Typerende waarde: 65%
Warmtepomp	– Aantal woningen – Oppervlak kantoren/ utiliteitsgebouwen – Dekkingsgraad	– Energievraag (GJ/woning) of (GJ/m²)	– Rendement CV-ketel - Typerende waarde: 80-95%
Aquifer	– Oppervlak bedrijven/kantoren – Geschiktheidsfactor	– Energiebesparing (GJ/m²)	– Rendement CV-ketel: 80%
Biomassa	– Oppervlak bos en recreatieterrein	– Productie biomassa (ton/ha) – Omzettingsrendement elektriciteitsproductie	– Referentierendement electriciteitsproductie

Voor de Duurzame energielevering hanteert de studie een aantal typerende waarden. Tabel 12 geeft een overzicht van de parameters voor maatregelen in de gebouwde omgeving:

Tabel 12 Typerende kentallen voor productie duurzame energie Amsterdam, maatregelen gebouwde omgeving (CEA, 2003)

Maatregel	Kental			
	Huishoudens	Bedrijven/ kantoren	Scholen	Overheid
Zon-PV	0,29 GJ/m ²			
Zonneboiler	2,9-3,8 GJ/woning	9 MJ/m ²		
Warmtepomp	16-25 GJ/woning	0,5 GJ/m ²		
Aquifer	-	0,072 GJ/m ²		

Daarnaast hanteert de studie de volgende kentallen voor windenergie en biomassa:

- 1 Windenergie: 1.800 draaiuren/jaar, met een referentierendement van 42%.
- 2 Biomassa: 2,9 ton/ha (bos, recreatie, natuurlijk terrein); 3,5 ton/ha (bermen).

De studie van CEA resulteert in de volgende raming van het potentieel van duurzame energie in Amsterdam. Tabel 13 geeft zowel het berekende potentieel voor energieopwekking als de daarmee overeenkomende besparing op het primaire energiegebruik. De potentieelraming is niet gericht op een bepaald peiljaar.

Tabel 13 Totale energiebesparing door inzet duurzame energie (CEA, 2003)

	Potentieel (GJ/jaar)	Potentieel (GJ primair/jaar)
Ruimtelijke ordening	600.696	1.440.518
Geluidsschermen	8.124	19.494
Kantoren	1.689.043	2.763.146
Huishoudens, best. bouw	496.647	785.424
Huishoudens, nieuwbouw	471.156	601.723
Gemeentegebouwen	26.354	44.104
Scholen	51.036	99.709
Zorgsector	84.176	143.742
Groen en natuur	145.804	184.615
Akkerbouw	4.888	6.175
Tuinbouw	146	167
Veeteelt	391	538
Hotels	251.023	390.772
Verblijfsrecreatie	635	1.402
Zwembaden	469	586
Sport	1.689	3.378
Centrale afvalinzameling		1.111.252
Riool- en afvalwaterzuiver		142.300
Totaal	4.822.489	7.739.046

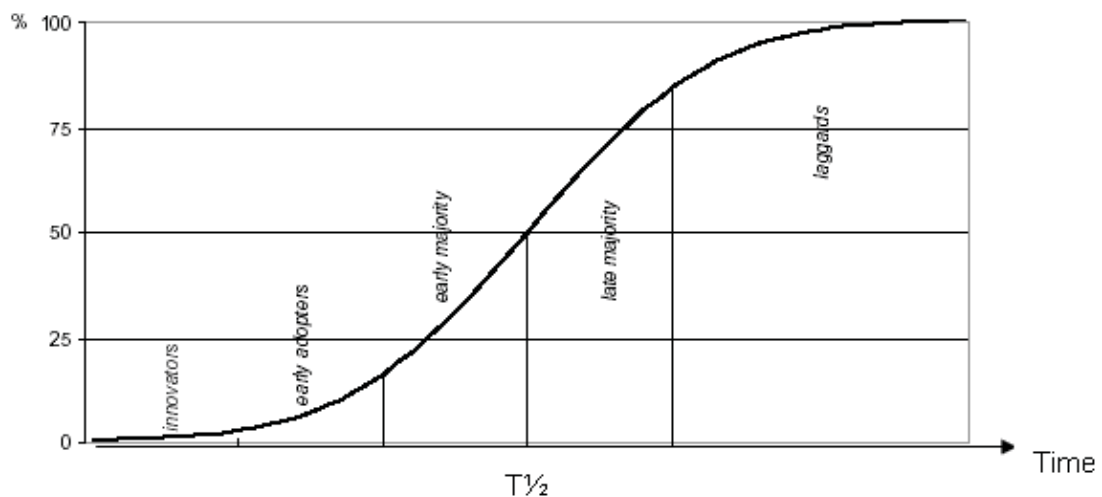
Bron: CEA, 2003.



4 Technische ontwikkeling en leercurve

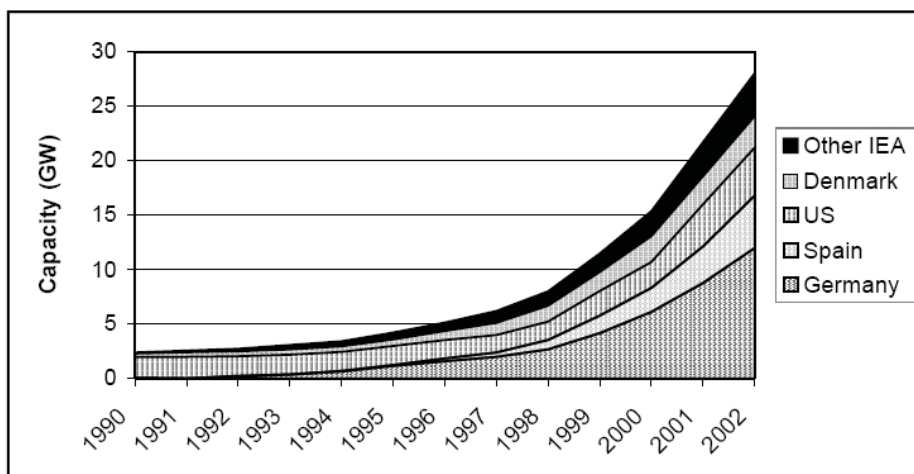
In zijn algemeenheid blijkt dat technologieën een leercurve doormaken. Daarbij nemen rendementen toe en gaan de kosten omlaag. Daardoor komen technieken binnen bereik van een groter aandeel van de markt. Uitgebreid onderzoek naar die ontwikkeling bij technieken voor Duurzame energie is recent uitgevoerd door Martin Junginger (Junginger, 2005). Hieraan is onderstaande leercurve ontleend (Figuur 5). De curve geeft aan hoe in het verloop van de tijd door technische ontwikkeling een techniek beschikbaar komt voor een groeiend deel van de markt.

Figuur 5 Typerende leercurve bij technische ontwikkeling (Junginger, 2005)



Figuur 6 illustreert dit patroon voor de ontwikkeling van windenergie in de geïndustrialiseerde landen (OECD, 2005).

Figuur 6 Ontwikkeling potentieel windenergie 1990-2002 IEA-landen



5 Raming per optie

5.1 Stadswarmte en -koude en koude-/warmteopslag

5.1.1 Werkwijze en uitgangspunten

Uitgangspunt voor de raming van het potentieel voor warmte- en koudenetten en KWO (koude-/warmteopslag) is een recente verkenning van de gemeente Amsterdam en NUON (Amsterdam/NUON, 2007). De aannames en uitvoering van deze verkenning zijn door CE Delft gecheckt, in nauw overleg met NUON en de gemeente Amsterdam. Daarnaast is aan de bedrijven IF Technology en GTI gevraagd om een second opinion te geven. Deze gaven aan dat ze zich op grote lijnen in de door de gemeente Amsterdam/NUON gevolgde aanpak konden vinden. Op een aantal specifieke punten zijn aanpassingen voorgesteld, die vervolgens zijn verwerkt.

De verkenning van de gemeente en NUON is gebaseerd op de volgende voorkeursvolgorde:

- 1 Waar stadswarmte beschikbaar is, heeft toepassing hiervan de eerste voorkeur.
- 2 Voor koudetoepassingen in de utiliteitssector heeft koude vanuit Nieuwe Meer of Oudekerkerplas de eerste voorkeur.
- 3 Voor koudetoepassingen in de utiliteitssector (grootschalig) waar deze koude niet beschikbaar is, maar wel stadswarmte beschikbaar is, wordt absorptiekoeling ingezet.
- 4 Voor koudetoepassingen op locaties met hoofdzakelijk woningbouw wordt het fusieconcept ingezet.
- 5 Als geen stadswarmte beschikbaar is, wordt indien mogelijk (d.w.z. bij voldoende omvang) koude-/warmteopslag ingezet.

Uitgangspunt bij de verkenning waren de volgende aantallen woningen en bedrijven/instellingen in 2007² en de geplande bouw tot 2025. Voor 2025 is ingeschat hoeveel complexen op stadswarmte en KWO aangesloten kunnen worden:

² De aantallen woningen en m²-utiliteit aangesloten in 2007 sluiten nauw aan op de ramingen gehanteerde in het rapport van CE Delft (Bouwstenen voor CO₂-reductieprogramma Amsterdam; CE, Delft 2006).

Tabel 14 Potentieel aan woningen en bedrijven en aansluitingen op Stadswarmte in 2007 en 2025

Wat	2007	Totaal 2025 (2007+PRI)	% op warmte cq koude
Totaal woningen Amsterdam (wooneenheid)	378.507	464.450	
Woningen op warmte (wooneenheid)	16.121	118.110	25,43%
Woningen op koude (wooneenheid)	0	29.784	6,41%
Totaal utiliteit Amsterdam (m ² bvo)	15.999.313	20.306.304	
Utiliteit op warmte (m ² bvo)	2.977.413	11.838.682	58,30%
Utiliteit op koude (m ² bvo)	639.699	8.703.637	42,86%

5.1.2 Raming energiebesparing

Voor deze woningen is vervolgens de koude- en warmtebehoefte berekend. Hierbij is voor koudelevering uitgegaan van 8 GJ koude per woning per jaar, en 30 GJ koude per woningeenheid (w.e.) utiliteit. Voor de warmtelevering is uitgegaan van 25 GJ per woning per jaar, en circa 30 GJ per wooneenheid utiliteit per jaar (kantoor). Deze exercitie resulteert in een totale energievraag van 5,44 PJ.

Bij de levering van warmte en koude treedt een energieverlies op (pompen, compressoren, hulpketels). De netto besparing op primair energiegebruik ligt daarom lager.

Tabel 15 geeft per concept de netto energiebesparing door warmte- en koudelevering. Overall volgt een netto besparing van ca. 4,9 PJ, te realiseren in 2025.

Tabel 15 Potentiële besparing op energiegebruik door warmte-/koudenetten en KWO (A'dam, 2025)

Voorkeurs-techniek koude	Voorkeurs-techniek warmte	2025 besp. Gprim woningen koude	2025 besp. GJprim woningen warmte	2025 besp. GJprim utiliteit koude	2025 besp. GJprim utiliteit warmte	2025 besp. GJprim totaal koude	2025 besp. Gprim totaal warmte	2025 besp. GJprim totaal
Fusie-concept	Stadswarmte AEB	104.250	981.679	247.940	382.363	352.190	1.364.042	1.716.232
Fusie-concept	Stadswarmte DM33	58.059	597.023	172.300	302.022	230.359	899.045	1.129.404
Koude absorptie-koeling	Stadswarmte AEB	0	0	121.948	243.576	121.948	243.576	365.524
Koude Nieuwe Meer	Stadswarmte DM33	38.955	89.759	119.709	193.130	158.665	282.890	441.554
Koude Oude-kerkerplas	Stadswarmte DM33	11.275	81.633	195.384	323.751	206.659	405.385	612.044
WKO-koude	WKO-warmte	0	19.206	0	205.527	0	224.733	224.733
Geen	Stadswarmte AEB	0	22.061	0	1.031	0	23.092	23.092
Geen	Stadswarmte DM33	0	220.487	0	194.305	0	414.792	414.792
Totalen		212.539	2.011.849	857.281	1.845.705	1.069.821	3.857.555	4.927.375

NB: Besparing WKO-koude is al bij WKO-warmte geteld, vandaar de nullen bij WKO-koude.

5.1.3 Raming CO₂-reductie

Vervolgens zijn CO₂-emissiereducties berekend. Dit is gebeurd aansluitend op de methodiek uit het 'Bouwstenenrapport' (CE Delft, 2007). De toename van de behoefte aan koeling is daarin opgenomen in de trends voor toename van het elektriciteitsgebruik, en daaruit niet af te zonderen.

Voor woningen en bedrijven die aangesloten worden op stadswarmte/koude of koude-warmteopslag zijn daarbij de volgende kentallen gehanteerd voor CO₂-reductie.

Tabel 16 Kentallen voor CO₂-reductie bij toepassing stadswarmte/-koude of koude-/warmteopslag (kg CO₂/wooneenheid/jaar)

Voorkeurstechologie Koude	Woningen	Utiliteit
Fusie concept	500	1.181
Koude Absorptiekoeling	500	1.042
Koude Nieuwe Meer	500	1.111
Koude Ouderkerkerplas	500	1.111
Stadswarmte AEB	1.512	2.016
Stadswarmte AEB/Hemweg		
Stadswarmte DM33	999	1.332
Stadswarmte Hemweg		
WENK+		
WKK	499	499
WKO warmte	175	857
WKO koude		

Vervolgens zijn CO₂-reductie berekend ten opzichte van een referentiesituatie. De referentie is gebaseerd op toepassing van koude met compressiekoeling (gebruik van elektriciteit)) en gebruik van warmte opgewekt met HR-ketels (gebruik van gas).

Ten opzichte van deze referentie is een reductie haalbaar van 327 kton CO₂.

De geografische spreiding van de CO₂-reductie is weergegeven in Figuur 7.

Figuur 7 Ruimtelijke weergave potentieel warmte-/koudenetten en koude-/warmteopslag



Bron: gemeente Amsterdam/NUON.

5.1.4 Kosten en implementatie potentieel

De kosten van aanleg van warmte-/koudenetten en KWO zijn afhankelijk van de specifieke situatie. Het gaat daarbij met name om de kosten voor de aanleg van de infrastructuur vs. de besparingen op het energiegebruik. Wanneer sprake is van een sluitende businesscase zullen de kosten en baten met elkaar in evenwicht zijn.

Voor KW-opslag geldt dat in veel situaties vanuit de markt zelf al de initiatieven worden genomen, met name bij nieuwe, grote kantoorlocaties. Voor de collectieve systemen (stadswarmte en -koude) geldt in zijn algemeenheid dat deze niet vanzelf tot stand komen, daar is regie voor nodig. Suggesties daarvoor zijn:

- per gebied een energieconcept vaststellen, concessie verlenen of zelf investeren in het net;
- aansluitplicht op warmte- en koudenet regelen (voor warmte is dit in Amsterdam onlangs geregeld via de bouwverordening (op <40 meter van warmtenet is aansluiting verplicht), voor koude moet dit nog geregeld worden);
- afspraken met woningcorporaties over aansluiting op collectieve voorzieningen;
- specifiek bij drukke WKO-gebieden: het voeren van regie op de ondergrond. Een voorbeeld daarvoor is het model van Masterplan WCW-terrein (Science Park). In de praktijk betekent dat warme bronnen bij warme bronnen worden gepositioneerd, en koude bij koude. Zo versterken ze elkaar in plaatst. van dat ze elkaar bijten. De kansen van onderlinge versterking van bronnen wordt fraai geïllustreerd door Figuur 8.

Figuur 8 Versterking van potentieel koude-/warmteopslag door gerichte positionering van bronnen; voorbeeld Zuid-As Amsterdam 2005



Bron: IF Technology, 2005.

5.2 Windenergie

5.2.1 Ramingen CEA-studie

Voor windenergie kwam het onderzoek van CEA uit 2003 op een potentieel van 78 MW. Daarbij werd uitgegaan van turbines met een maximaal vermogen van 2,5 MW en een reeds aanwezig vermogen van 13 MW.

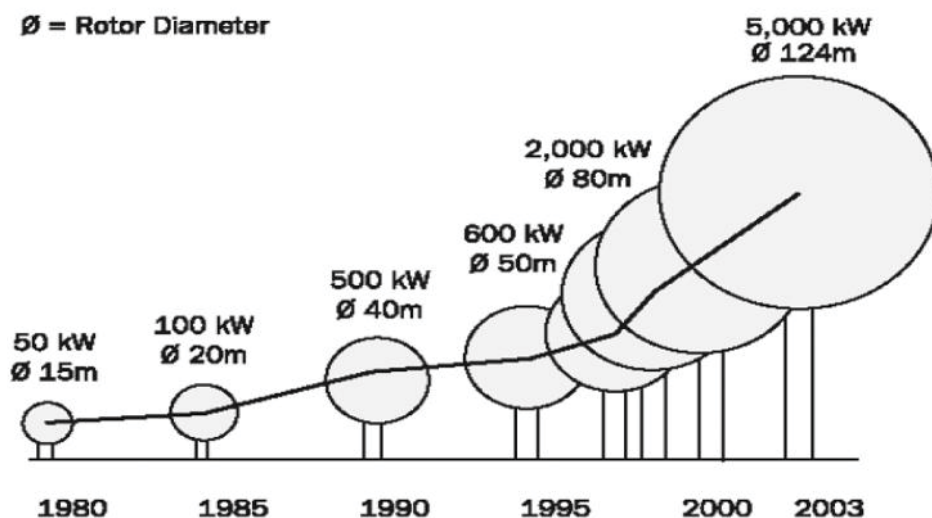
Tabel 17 Ramingen potentieel windenergie, CEA (2003)

	Potentieel (MW)
Ringweg Noord/Coenplein e.o.	12
Uitbreiding bestaande locaties Westpoort	3
Westpoort nieuwe locaties	47
<i>Sub Australiehaven</i>	8
<i>Sub Afrikahaven</i>	6
<i>Sub Zuidertocht</i>	4
Locatie	5
<i>Sub Bauduin</i>	2
<i>Sub De Heining</i>	3
<i>Sub Geuzenveld Sloterdijk</i>	13
<i>Sub Mercuriushaven</i>	6
Cornelis Douwesterrein	6
Zeeburgereiland	2
Holendrecht	2
Alle locaties gesommeerd	78

Ten opzichte van deze verkenning van CEA lijkt per 2008 de potentie hoger te zijn geworden door twee ontwikkelingen:

- door gericht te zoeken naar mogelijke locaties zijn meer locaties in beeld gekomen;
- door technische ontwikkeling zijn grotere turbines op de markt gekomen, met een aanzienlijk hoger vermogen.

Figuur 9 Ontwikkeling vermogen windenergie



Bron: Wind Power Technology, European Wind Energy Association (2004).

5.2.2 Mogelijke locaties

De provincie Noord-Holland heeft randvoorwaarden opgesteld voor mogelijke locaties voor windenergie. Op basis van die randvoorwaarden is een provinciale kanskaart Windenergie opgesteld.

Uit de Windkanskaart volgt dat in een groot deel van Amsterdam *geen* windturbines mogelijk zijn. Dat geldt voor het stedelijk gebied, maar ook voor het meeste landelijk gebied binnen de gemeentegrenzen.

In het algemeen gelden de volgende beperkingen:

- luchtverkeer en hoogtebeperking Schiphol;
- het Luchthavenindelingsbesluit stelt beperkingen aan de hoogte van windturbines, deze zijn onlangs aangescherpt;
- hoogspanningslijnen;
- afstand tot rijkswegen;
- hoofdtransportleidingen;
- geluidsgevoelige bestemmingen;
- groene en cultuurhistorische waarden;
- vogel-/habitatgebieden;
- straalpad;
- hinder door slagschaduw³;
- veiligheid.

³ Dit leidt onder andere tot beperkingen voor werknemers op bedrijventerreinen t.a.v. het aantal uren dat ze mogen werken in de buurt van een turbine.

Uit de Windkansenkaart en de eerdere studie van CEA volgt dat de meeste mogelijkheden lijken te liggen in:

- het havengebied (Westpoort):
Hier is al een aanzienlijk vermogen aan windenergie gerealiseerd en wordt gewerkt aan verdere uitbouw.
- Amsterdam Zuid-Oost/Holendrecht:
Dit is als optie opgevoerd in de studie van CEA, 2003. Knooppunt A2/A9.
- Zeeburgereiland:
Dit is als optie opgevoerd in de studie van CEA, 2003. Op het eiland en langs het Amsterdam-Rijnkanaal.
- Amsterdam Noord:
Hiervoor is recent een specifieke studie gedaan. Focus ligt daarbij vooral op locaties langs de A-10.

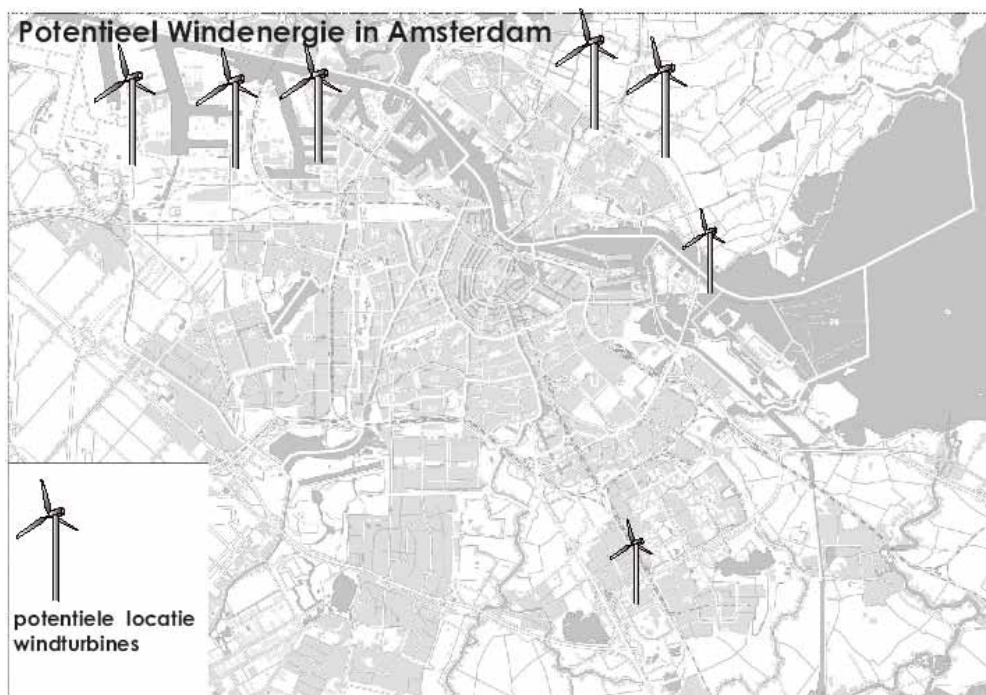
Kijkend naar de kaart lijken er verder nog enkele opties in Amsterdam Zuidwest (het stedelijk gebied ten zuiden van het havengebied) te bestaan. Dit deel van de stad ligt echter dicht bij Schiphol en om reden van luchtverkeer en hoogtebeperking Schiphol zullen hier geen turbines zijn toegestaan.

Tot slot geldt dat er wellicht in de bebouwde omgeving van Amsterdam nog diverse specifieke locaties zijn waar een windturbine past vanwege de aard van het gebouw, bijvoorbeeld onderzoeks- of onderwijsinstellingen. Denk bijv. aan een turbine bij het Sciencepark of Jeugdland.

In zijn algemeenheid geldt dat locaties ten noordoosten van de stad minder rendement opleveren dan locaties ten zuidwesten van de stad.

Figuur 10 geeft de belangrijkste locaties schematisch weer.

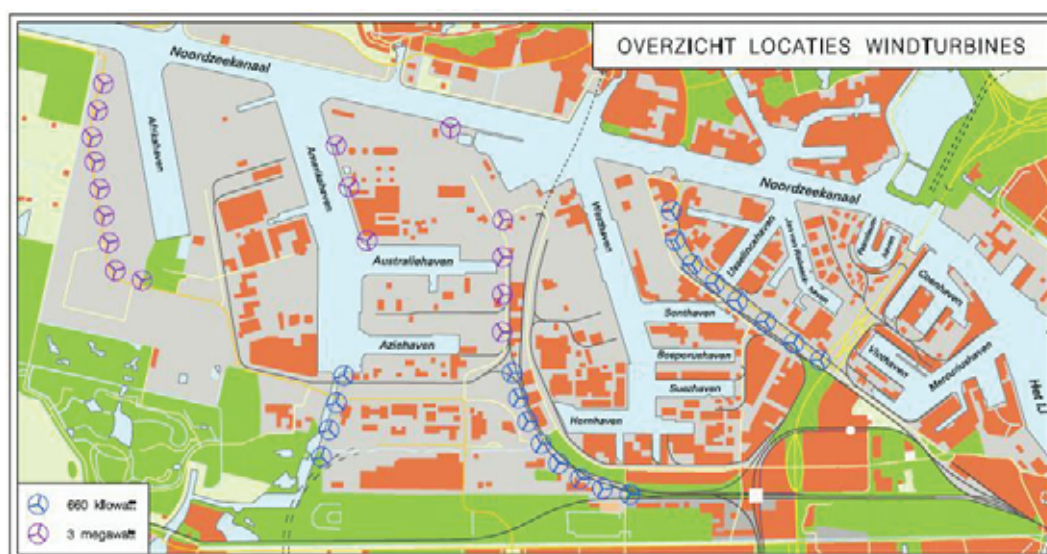
Figuur 10 Indicatief overzicht van potentiële locaties windenergie Amsterdam



5.2.3 Haven Amsterdam

Het Havenbedrijf Amsterdam zet actief in op de realisatie van meer windenergie. Onderstaande kaart (Figuur 11) geeft een beeld van bestaande en in aanbouw zijnde windturbines: 18 turbines met een vermogen van 3 MW en 20 met een vermogen van 0,66 MW. In totaal 67,2 MW. Dit zal in 2008 zijn gerealiseerd.

Figuur 11 Windturbines in Westpoort 2008. Turbines reeds geplaatst of in aanbouw



Bij de realisatie van windvermogen in het havengebied spelen, aanvullend op de genoemde beperkingen, de volgende punten:

- Optisch beeld: plaatsing van turbines langs noord- en zuidassen.
Het havenbedrijf heeft in samenwerking met de Dienst Ruimtelijke Ordening een stedenbouwkundige visie voor plaatsing van windmolens opgesteld. Hierbij is de voorkeur voor parallelle lijnopstellingen in noord-zuidelijke richting uitgekomen als stedenbouwkundige kwaliteitseis. Plaatsing van turbines in banen van oost naar west zou leiden een ‘rommelig’ aanzicht van het gebied. De keuze voor plaatsing langs Noord-Zuid-banen is vastgelegd in het ruimtelijk inrichtingsbeleid voor Westpoort.
- Scherpe veiligheidseisen/contouren langs olieterminals en andere bedrijven met een verhoogd risicoprofiel.
- Beleid om geen turbines te plaatsen langs het Noordzeekanaal.
Vanwege veiligheid voor het scheepvaartverkeer worden in principe geen turbines geplaatst langs het Noordzeekanaal. Turbines langs het kanaal zouden kunnen leiden tot een soort ‘tunnelvisie’ bij schepen, met verhoogd risico op ongelukken.
In het verleden is wel studie gedaan naar het plaatsen van molens aan een zijde van het kanaal. Of dit belemmeringen op zal leveren voor de scheepvaart moet worden onderzocht.

Van belang is verder dat het Luchthavenindelingsbesluit leidt tot aanzienlijke beperkingen voor bouw van windturbines (ministerie V&W, 2004). Met de aangekondigde aanscherping van het besluit zullen in een groot deel van het havengebied (met name het gebied ten westen van de Australiëhaven) geen turbines geplaatst kunnen worden.

Mogelijkheden voor realisatie van extra windvermogen zijn, in oplopende graad van ‘moeilijkheid’:

- 1 Mogelijkheden binnen het staande beleid:
 - Vervangen van kleine door grote windturbines.
Dit is voor een deel al bestaande praktijk. Wanneer op de bestaande ‘lijnen’ van windturbines de ‘kleine’ (0,67 MW) turbines worden vervangen door ‘grote’ (3 MW) turbines levert volgens berekeningen van NUON dit een potentieel op van ca. 15 MW.
 - Lijnopstelling aan de Oostzijde van de Afrikahaven.
Een eerste inschatting is dat hier zeven turbines geplaatst zouden kunnen worden, overeenkomend met ca. 21 MW. Mogelijk ligt hier wel een beperking door Schiphol. Wellicht zou ook een ‘vorkopstelling’ mogelijk zijn door enkele turbines te plaatsen tussen die lijn en de bestaande lijn langs de westzijden van de Afrikahaven.
 - Plaatsing van drie individuele turbines.
Er zijn plannen voor plaatsing van drie ‘individuele turbines’ in het havengebied. Bijbehorend potentieel is ca. 9 MW.

In zijn totaliteit komt dit potentieel uit op ca. 45 MW. Dit is gebaseerd op turbines van 3 MW. Rekening houdend met een ophoogfactor van 25% vanwege grotere turbines (4-5 MW) die op de markt komen, komt dit uit op max. ca. 55-60 MW.



- 2 Mogelijkheden bij toestaan van Oost-West-opstellingen:
- Een eerste optie is om aan de zuidkant van het havengebied een lijn op te stellen. Een knelpunt hier kan zijn dat woningen op korte afstand liggen. Tevens is Schiphol hier een beperking.
 - Verdere Oost-West-opstellingen.
In eerste aanleg is het beeld dat de mogelijkheden hier beperkt zijn, mede omdat gronden vaak uitgegeven zijn. Hier zouden bedrijven individueel benaderd moeten worden om te peilen of er interesse bestaat. Op dit moment hanteert het havengebied een beleid dat niet uit gaat van plaatsing van individuele molens op uitgegeven terreinen. Er lopen wel aanvragen van bedrijven.
 - Een lijnopstelling langs het Noordzeekanaal.
Dit vraagt aanpassing van het huidige beleid en onderzoek naar mogelijke belemmeringen voor de scheepvaart. Daarnaast geldt dat het gaat om in gebruik zijnde bedrijventerreinen, waarvan het de vraag is of de bedrijven een turbine zouden willen laten plaatsen en is de benodigde infrastructuur (leidingen, kabels) niet aanwezig.
Een eerste indicatie van dit potentieel komt uit op ca. 50 MW. Bij een ophoogfactor van 25% voor grotere turbines komt dit neer op max. ca. 65 MW.
In zijn totaliteit komt het potentieel hiermee uit op ca. 120-180 MW.

5.2.4 Stadsdeel Noord

Het Stadsdeel Noord heeft het bureau Ecofys een verkenning laten doen naar mogelijke opties voor windenergie. Het Stadsdeel heeft Ecofys een aantal zoeklocaties meegegeven waarvoor het bureau vervolgens in kaart heeft gebracht wat, rekening houdend met de grenzen van het provinciale beleid, de mogelijkheden zijn. Dit heeft geleid tot vijf locaties, met in totaal een opgesteld vermogen van 55 MW. Bij de locaties spelen de volgende aandachtspunten vanuit RO-beleid, naast de eerder genoemde algemene beperkingen.

Tabel 18 Mogelijke ruimtelijke beperkingen bij uitbouw windvermogen in Amsterdam Noord

Locatie	Op te stellen vermogen	Mogelijke lokale knelpunten (c.q. provinciaal beleid)
Cornelis Douwesterrein	10 MW	Ecologische Hoofdstructuur
A10 bij Landsmeer	3 MW	Ecologische hoofdstructuur
Golfbaan + volkstuinen	24 MW	Grens stiltegebied Landelijke leidingstrook
IJsselmeer	12 MW	Stiltegebied Belvederegebied (stelling van Amsterdam) Natuurbeschermingswet
Albe Marle	6 MW	Risico-analyse t.b.v. Albe Marle
Totaal	55 MW	

De uitgevoerde scan geeft niet exact aan wat het maximale potentieel voor windenergie in Amsterdam Noord is. Een aantal overwegingen pleit voor een groter potentieel (+), een aantal andere voor een lager potentieel (-):

-

Niet uitgesloten is dat in sommige gevallen de knelpunten zodanig zwaar wegen dat op die locatie vestiging van windturbines op grond van provinciaal RO-beleid geen doorgang kan vinden.

+

Aan de andere kant zijn er mogelijkheden om het aantal locaties nog wat uit te breiden, c.q. de kans voor vestiging te vergroten:

- Bij aanvang van het onderzoek is het bureau een aantal zoeklocaties meegegeven. Naast deze zoeklocaties zijn er wellicht ook nog enkele andere mogelijke locaties in Amsterdam Noord.
- Versoepeling van de geluidregelgeving zou meer locaties beschikbaar maken. Op Stadsdeelniveau wordt deze mogelijkheid onderzocht (check: kan Amsterdam dat zelf, is dat niet landelijke wetgeving?).
- Door omwonenden van windturbines mede-eigenaar te maken van de turbine (en hen financieel mee te laten profiteren van de exploitatie) wordt draagvlak verhoogd en de kans op bezwaren verkleind.

Overall is het beeld dat de plussen de min compenseren. Als potentieel wordt aangehouden ca. 40-60 MW.

5.2.5 Amsterdam Zuid-Oost

In Amsterdam Zuid-Oost liggen waarschijnlijk mogelijkheden langs de A9 en A10. Er is in Amsterdam Zuid-Oost echter nog geen verdere studie gedaan naar het potentieel, zoals in Amsterdam Noord.

CEA schatte het potentieel in op 2 MW, op basis van een solitaire turbine op het kruispunt van A9 en A10.

Uit de workshop kwamen als opties: kruising A2/A9, Sciencepark, Jeugdland en Weespertrekvaart. Het verdient aanbeveling om met gericht locatieonderzoek deze opties te toetsen. Als eerste indicatie wordt gedacht aan een potentieel van ca. 5 - max. 15 MW.

5.2.6 Zeeburgereiland

Op Zeeburgereiland zouden mogelijkheden kunnen liggen langs het IJ, als markering tussen van de overgang tussen water en land. CEA (2003) schatte het potentieel in op 2 MW, gebaseerd op een enkele turbine. In het kader van de ontwikkeling van IJburg zijn in het verleden diverse studies uitgevoerd. Het algemene beeld is dat de woonbebouwing dusdanig intensief is dat er weinig mogelijkheden overblijven. In de workshop kwamen o.a. als suggesties naar voren: toegang Zeeburgertunnel en op het Sluiseiland. In het eerste geval gaat het om een 'landmark' aan een van de poorten van de 'duurzame stad'.

Als eerste indicatie wordt van maximaal 5 MW uitgegaan. Dit vraagt echter nader onderzoek op locatie.

5.2.7 Locaties in de stad

Tot slot kan er aan gedacht worden om in de stad individuele turbines te plaatsen op bestemmingen waar dat om een of andere reden past. Zo kan gedacht worden aan een turbine op een scouting terrein of bij een onderzoeksinstelling voor natuurwetenschappen. Wanneer zo'n turbine ook deels eigendom is van de betreffende instelling en die gebruik kan maken van de geleverde stroom, kunnen bezwaren worden weg genomen en de juridische mogelijkheden voor plaatsing worden vergroot.

Het aantal locaties waar individuele turbine geplaatst kan worden zal evenwel niet erg groot zijn, als eerste indicatie wordt uitgegaan van ca. vijf. Tevens geldt dat zulke turbines relatief klein zullen moeten zijn - anders vallen ze binnen hindercontouren van andere gebouwen. Overall wordt daarmee het potentieel in deze categorie ingeschat op max. 5 MW.

5.2.8 Windturbines in de gebouwde omgeving

Het potentieel voor windturbines in de gebouwde omgeving (waaronder de zgn. 'turbies') wordt klein ingeschat. De turbines hebben een klein vermogen (ca. 2-5 kW), bijna een factor 1.000 lager dan een grote windturbine. Het totale potentieel wordt daarom klein ingeschat, max. 5 MW.

5.2.9 Totaalraming

Tabel 19 Overzicht raming potentieel windenergie 2025

	Potentieel raming 2003 (CEA) (MW)	Potentieel maximaal raming 2025 (MW)
Haven Amsterdam	50	120-180
Amsterdam Noord	18	40-60
Amsterdam Zuidoost/ Holendrecht	2	5-15
Zeeburgereiland	2	5
Individuele turbines	-	5
Totaal	72	Ca. 175-265

Het huidig geraamde potentieel ligt dus aanzienlijk hoger dan de raming van CEA uit 2003. Het potentieel van 175-265 MW correspondeert met 2,9-4,4 PJ aan vermeden inzet van primaire energie (cf. protocol monitoring duurzame energie 2006 (2000 vollasturen/jr)). De bijbehorende CO₂-reductie is 210-310 kton/jr.

5.2.10 Kosten en implementatie

De kosten voor windenergie op land zijn relatief laag. Het ECN raamt de nationale kosten op € 77,6/tonCO₂, en de kosten voor de eindgebruiker op € -1,8/ton CO₂. In de laatste raming zijn de opbrengsten van subsidies verdisconteerd. Ook in de markt blijkt windenergie goed te liggen, er zijn voldoende initiatiefnemers die willen investeren in windenergie.

De belangrijkste beperking voor realisatie van windenergie wordt gevormd door de beperkte beschikbaarheid van geschikte locaties. Beperkingen per deelgebied zijn aangeduid in de voorgaande paragrafen. Stimulering van windenergie vraagt vooral om gedegen analyse van de realiteitswaarde van de aangegeven beperkingen en een actief beleid om binnen de wettelijke mogelijkheden de beschikbare ruimte maximaal te benutten.

5.3 Zonne-energie

5.3.1 Algemeen

Theoretisch geldt dat de zon een grote hoeveelheid energie in Amsterdam brengt. De stralingsdichtheid ligt op ca. 1.000 W/m², één uur volle zon levert dus als maat 1.000 Wh per m². Het aantal uren volle zon in Amsterdam bedraagt bijna 1.000 per jaar, zodat Amsterdam op jaarbasis ca. 200 x 10⁹ kWh zonthermische energie ontvangt, ofwel ruim 700 PJ (over het gehele oppervlak van de gemeente). Vergeleken met het jaarlijkse energiegebruik van Amsterdam (73 PJ in 2006) levert de zon in theorie dus een zeer grote hoeveelheid energie. Niet het hele oppervlak van de gemeente is echter geschikt voor gebruik van zonne-energie. In onderstaande berekening wordt uitsluitend uitgegaan van daken van gebouwen en niet plaatsing in de publieke ruimte. Daarbij geldt dat een zonne-installatie een maximale opbrengst heeft als deze wordt opgesteld onder een hellingshoek van ca. 60° en met een oriëntatie op het zuiden. De potentiële van zon-thermisch en PV kunnen niet een op een bij elkaar worden opgeteld, omdat het dakoppervlak maar een keer gebruikt kan worden. Verder geldt dat zonnepanelen of collectoren moeilijk samen gaan met groene daken. Groene daken zijn een optie om meer groen in de stad te brengen en dragen bij aan het tegengaan van de effecten van klimaatverandering.

5.3.2 Zon-PV

Zonnepanelen bestaan in vele verschillende soorten en maten. De onderstaande beschrijving gaat uit van de meest gebruikte voor de elektriciteitsvoorziening in de gebouwde omgeving. Verder wordt uitgegaan van netgekoppelde panelen. Voor de opbrengst is van belang welke type zonnecel is gebruikt op de panelen. De meest voorkomende zijn monokristallijne zonnecellen (waarin de siliciumatomen netjes gerangschikt zijn en het elektrische rendement relatief hoog is) en multikristallijne of polykristallijne zonnecellen (waarbij het rendement iets lager is). Verder bestaan er dunne-laag-zonnecellen of amorphe zonnecellen (die worden opgedampt en relatief goedkoop zijn, maar waarvan het rendement verhoudingsgewijs laag is. Tabel 20 geeft hiervan een overzicht.

Tabel 20 Rendementen en marktaandelen van diverse soort PV-zonnecellen. In de berekening van het maximale potentieel is uitgegaan van een rendement van 15%

Celtype	Monokristallijn	Polykristallijn	Amorf
Materiaal	Star	Star	Flexibel/star
Marktaandeel	85%		15%
Rendement	15%	12-14 %	6-8%



De TU Delft werkt in een samenwerkingsverband met andere partijen aan de ontwikkeling van zonnecelfolie. Daarbij wordt een zeer dunne laag amorf silicium op een folie gespoten. De cellen zijn hierdoor op veel grotere schaal en goedkoper te produceren. Bij deze technologie kan feitelijk ook niet meer worden gedacht in termen van panelen.

Om een uitspraak te kunnen doen over het vermogen van een zonnepaneel wordt gerekend met het piekvermogen van het paneel. Dit is het maximale elektrische vermogen dat het paneel kan leveren bij een bepaalde zoninstraling, onder vastgestelde condities. Het wordt uitgedrukt in Wattpiek (Wp).

Een gangbaar zonnepaneel heeft een oppervlakte van ca. een vierkante meter en een piekvermogen van ongeveer 120 Wp. Zonder systeemverliezen zou dit circa 110 kWh per jaar opleveren. Rekening houdend met de verliezen haalt een gemiddeld huishouden met 4 m² aan panelen (500 Wp) jaarlijks een productie van ca. 370 kWh. Dit komt overeen met een emissiereductie van ca. 200 kg CO₂/jaar. Vergeleken met een gemiddelde CO₂-emissie (direct + indirect) per woning in Amsterdam van 4,4 ton, betekent dit een besparing van ca. 5% op de totale CO₂-emissie (en ca. 10% op de CO₂-emissies als gevolg van het elektriciteitsgebruik).

Een installatie van 4 m² kan worden gezien als een (veel voorkomende) ondergrens. In de praktijk komen ook installaties tot ca. 12 m² regelmatig voor.

5.3.3 Zon-thermisch

Bij de zon-thermische installaties onderscheiden we de zonneboiler en de zonneboilercombi. De warmte uit een zonneboiler draagt bij aan het verwarmen van het tapwater. Een zonneboilercombi draagt ook bij aan de ruimteverwarming. In beide gevallen vangt een collector de warmte van de zon in, waarmee direct water wordt verwarmd. De collector heeft veelal een oppervlak van ca. 1,5 m². Regelmatig wordt op een dak meer dan één collector geplaatst.

Een collector van ca. 1,5 m² heeft een vermogen van 1.000 W_{th} en levert op jaarbasis 1,9 GJ bruikbare warmte. Dit vervangt het gebruik van ca. 80 m³ aardgas en bespaart ca. 160 kg CO₂-uitstoot. Dit komt neer op ca. 3,6% van de CO₂-emissie van een woning in Amsterdam, en ca. 8% op de CO₂-emissie als gevolg van gebruik van gas. Bij een dubbele zonnecollector verdubbelen deze waarden uiteraard.

5.3.4 Kosten

Kosten PV

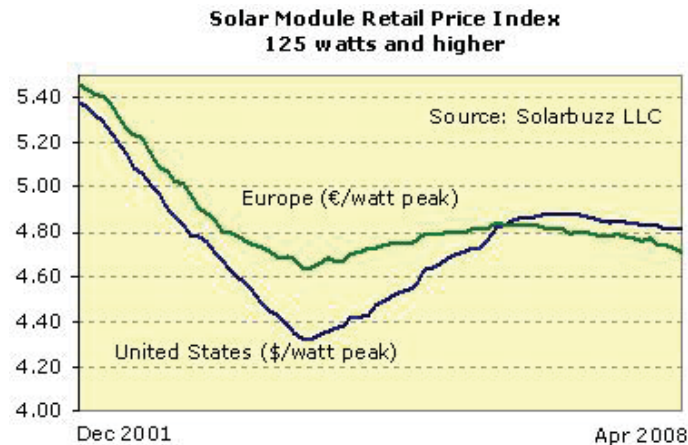
De investeringskosten voor netgekoppelde PV-systemen zijn de afgelopen tien jaar gehalveerd. Ze blijven echter de afgelopen jaren redelijk constant (Figuur 12) op een waarde iets onder de € 5 per Wp. Dat resulteert in een prijs van € 600 voor een zonnepaneel van 120 Wp, excl. installatie (de prijs incl. installatie ligt ca. € 2 per Wp hoger). Een dergelijk paneel levert in Nederland ca. 80-100 kWh per jaar op.

De opwekkosten van zonne-p.v. komen daarmee in Nederland neer op ongeveer 50 Eurocent per kWh. Dat is ongeveer tien keer meer dan de conventionele

opwekkosten. De bijbehorende (nationale) kosteneffectiviteit ligt hoog, in de orde van ca. € 1.000/ ton CO₂.

Voor de eindgebruiker liggen echter verhoudingsgewijs de kosten lager. De referentie is hier immers niet de kosten van grootschalige opwekking van elektriciteit in een elektriciteitscentrale, maar de kleinverbruikersprijs. De kleinverbruikersprijs ligt een stuk hoger, waardoor voor huishoudens PV een stuk eerder rendabel is dan voor energiebedrijven.

Figuur 12 Prijsontwikkeling zonnepanelen in Europa en de Verenigde Staten



Zonneboiler

Een zonneboilerinstallatie in de bestaande bouw kost tussen € 2.000 en € 3.000. Een zonneboiler-combi kost iets meer: € 3.100 tot € 3.700. Dat is steeds inclusief installatie en BTW. De gemiddelde prijs van een zonneboilerinstallatie in de nieuwbouw bedraagt € 1.800,-. De (nationale) kosteneffectiviteit van zonneboilers ligt op ca. € 500.

5.3.5 Potentieel Amsterdam

Als eerste indicatie is uitgegaan van plaatsing van zonnepanelen of zonnecollectoren op alle daken die daarvoor in aanmerking komen.

Hierbij is uitgegaan van 464.000 woningen in 2025 en gemiddeld 10 m² per woning aan dakoppervlak dat geschikt is voor inzet van een zon-thermische of zon-PV installatie. Dit resulteert in totaal ca. 4.640 duizend m² dakoppervlak.

Voor bedrijven en utiliteitsbouw is uitgegaan van de ramingen van beschikbaar dakoppervlak uit het CEA-rapport. Deze komen voor de huidige situatie neer op op ca. 2.040 duizend m² dakoppervlak.

Met name zon-PV zou ook nog op vele andere plaatsen kunnen worden ingezet, maar we hanteren hier het potentieel in de gebouwde omgeving. Voor PV is uitgegaan van de inzet van monokristallijne en polykristallijne zonnecellen. Bij benutting van amorfe cellen (folie) is het potentieel wezenlijk lager, bij de huidige systemen ca. 50%.

Deze eerste benadering tot de volgende raming van beschikbare capaciteit:

Tabel 21 Raming maximaal DE-potentieel zon-PV

	Beschikbaar dakoppervlak (* 10 ³ m ²)	# Woningen (* 10 ³)	Fractie geschikt (monument, beschadwing)	Potentieel eindgebruik (PJ)	Vermeden primaire energie-productie (PJ)	Vermeden CO ₂ -emissie (kton)
Woningen		ca. 4.640	50%	1,5	3,7	262
Bedrijven	ca. 2.040		60%	0,4	1,0	69
Totaal				1,9	4,7	331

Tabel 22 Raming maximaal DE-potentieel zon-thermisch

		Fractie geschikt (monument, beschadwing)	Kental zonne-boiler (m ² /woning)	Opbrengst boiler (GJ/m ²)	Potentieel (PJ)	Vermeden energie-productie (PJ)	Vermeden CO ₂ -emissie (kton)
Woningen	Eensgezins	40%	10	1,3	1,5	2,3	129
	Meergezins	60%	10	1,3			
Bedrijven		60%		1,3	0,5	0,8	43
Totaal					2,0	3,1	172

Deze eerste benadering van het potentieel komt daarmee uit op 4,7 PJ voor zon-PV en 3,1 PJ voor zon-thermisch. Bijbehorende CO₂-reducties liggen op resp. 310 en 170 kton/jr.

In de huidige situatie geldt zon-PV als een relatief 'dure' maatregel. Daardoor worden zonnepanelen nog slechts op beperkte schaal toegepast. Zo ligt het huidige opgewekte vermogen in Amsterdam op slechts ca. 0,004 PJ, ca. 0,005 % van het totale energiegebruik. Zonnecollectoren zijn goedkoper, maar ook hier is de penetratiegraad nog beperkt. Bovendien is hier vaker sprake van concurrentie met andere maatregelen (zoals koude-/warmtenetten).

Wel geldt dat wereldwijd er een sterke technische ontwikkeling is in de ontwikkeling van zonnepanelen. Het is de verwachting dat hierdoor op termijn het prijsniveau zal dalen, en de implementatie zal toenemen. Het valt op dit moment niet te voorzien hoever die ontwikkeling dan is, of en zonnepanelen per 2025 al een rendabele investering vormen.

Als schatting wordt op dit moment verondersteld dat per 2025 het gecombineerde potentieel voor zon-PV en zon-thermisch zal liggen op max. 1-2 PJ (vermeden conventionele opwekking). De bijbehorende vermeden CO₂-reducties liggen op ca. 70-140 kton/jaar. Dit komt er mee overeen dat ca. 10 - 20% van de woningen is uitgerust met 10m² aan zonnepanelen.

5.4 Biomassa

Bij energieopwekking uit biomassa kunnen verschillende stromen worden onderscheiden. Uit de grootste stroom, biomassa aanwezig in afval dat wordt verwerkt door het AEB, wordt al energie opgewekt in de vorm van elektriciteit en warmte. Door verhoging van het rendement kan dit potentieel nog verder worden vergroot. Diverse andere stromen worden nog niet benut voor het opwekken van energie. Ook hier ligt nog een aanzienlijk potentieel. Tabel 23 geeft een overzicht van de diverse stromen biomassa en huidige verwerking.

Tabel 23 Huidige verwerking biomassastromen op opwekking elektriciteit en warmte

	Omvang (2007)	Huidige verwerking	Opties voor verhoging elektriciteitsproductie
GFT in huis- en bedrijfsafval	598 kton 48% van 1.246 kton/jr (Amsterdam en elders)	Verbranding in AEB, (gecombineerd met elektriciteit- en warmteopwekking)	Verhoging rendement energieopwekking en warmteproductie
Riool- waterzuiveringsslib	8,7 miljoen m ³	Verwerking in afvalwaterbehandelingsinstallatie; gevolgd door verbranding in AEB (met elektra- en warmteopwekking)	Idem
Snoeiafval parken en plantsoenen	Ca. 12 kton	Compostering	Verwerking in vergistingsinstallatie
Biomassaresten voedingsmiddelen-industrie	p.m.	Verbranding bij kolen/biomassa-centrales (buiten Amsterdam)	-
Organische reststromen horeca en detailhandel (o.a. frituurvet, groente en fruit)	n.b.	Verbranding in AEB	Hoogwaardige verwerking in geïntegreerd bedrijf (GreenMills)

5.4.1 GFT in huis- en bedrijfsafval:

Huis- en bedrijfsafval wordt verwerkt bij het AEB. Gemiddeld bestaat daarvan 48% uit biomassa (protocol Duurzame energie). Het AEB wekt daarbij elektriciteit en warmte op. De opwekking van elektriciteit gebeurt relatief hoogefficiënt: het rendement van de twee nieuwste lijnen ligt op 30%, het hoogste van Europa.

Het AEB verwerkt naast afval uit Amsterdam ook afval van elders. Per 2007 is ca. 42% van de ca. 1.250 kton verwerkte afval afkomstig uit Amsterdam. Volgens de prognoses neemt de hoeveelheid te verwerken afval toe tot ca. 1.360 kton in 2025, waarvan ca. 67% van buiten Amsterdam. De onderhavige berekeningen gaan uit van de totale hoeveelheid biomassa die wordt verwerkt, zowel afkomstig van binnen Amsterdam als van buiten de stad.

De plannen van het AEB voorzien daarbij in een groei van opwekking van elektriciteit door verdere verhoging van het rendement. Tevens wordt voorzien in een forse groei van de warmtelevering. Dit leidt tot een forse verhoging van de productie van duurzame energie. Dit is samengevat in Tabel 24.



Tabel 24 Energielevering door het AEB. Huidig en plannen AEB 2010 en 2025

Jaar	Doorzet afval	Levering elektriciteit aan derden (TJ)	Levering warmte (TJ) ⁴	Totaal levering energie (TJ)
2007	1.246	2.484 ⁵	216	2.156
2010	1.360	3.310	970	4.280
2025	1.360	3.250	1.350	4.600

Bron: AEB, 2008.

Van 2010 tot 2025 wordt een groei voorzien in de warmtelevering. Deze gaat samen met een kleine afname in levering van elektriciteit.

De afvalstroom bestaat voor 48% uit biomassa⁶ (SenterNovem, 2006). De opwekking van stroom uit dit deel bedraagt daarmee in 2025 ca. 1,56 PJ. Zou deze stroom via het reguliere park worden opgewekt, dan zou een primaire energie-inzet nodig zijn van 3,62 PJ. Dit correspondeert met een vermeden CO₂-emissie van 257 kton.

De opwekking van stroom uit het overige deel van de afvalstromen (niet zijnde biomassa) ligt op 1,69 PJ. Dit komt overeen met 3,92 PJ aan primaire energie-opwekking en 278 kton CO₂.

5.4.2 Rioolwaterzuiveringsslib

Het afvalwater van Amsterdam wordt verwerkt in de afvalwaterbehandelingsinstallatie. Deze is energetisch geïntegreerd met het AEB: het AEB levert stroom en warmte aan de afvalwaterbehandelingsinstallatie en de laatste levert weer slibwater en biogas aan het AEB. Die laatste stromen worden weer verbrand, met energierugwinning. In totaal levert dit de volgende stromen aan geleverde energie op.

De afvalwaterbehandelingsinstallatie verwerkt slechts een geringe hoeveelheid afvalwater van buiten Amsterdam. Het zit ook niet in de planning dit te verhogen. In theorie zou hier wel een mogelijkheid liggen om energie op te wekken: de verwerking in de geïntegreerde installatie van Amsterdam gebeurt met zeer hoog energetisch rendement, wat naar verwachting aanzienlijk hoger ligt dan bij andere installaties in Nederland, dus naarmate er meer slib van elders wordt verwerkt, levert dit ook netto meer energie uit biomassa op.

Tabel 25 Energieproductie uit rioolwaterzuiveringsslib AEB, 2007

Doorzet (miljoen m ³ /jr)	Productie elektriciteit (TJ)	Primaire energie (TJ)	Vermeden CO ₂ -emissie (kton)	Productie warmte (TJ)
8,7	81	188	13	48

De CO₂-emissiereductie bedraagt ca. 13 kton. De CO₂-emissiereductie door warmtelevering is meegenomen in de potentieelberekening voor warmte-/koude netten.

⁴ De levering van warmte is meegerekend bij warmte-/koudenetten (paragraaf 4.1).

⁵ Bron: PMB, Amsterdam, 2007.

⁶ Met name groente-, fruit- en tuinafval (GFT).

5.4.3 Snoeiafval parken en plantsoenen

De hoeveelheid snoeiafval van parken en plantsoenen bedraagt volgens het CEA-rapport ca. 12 kton/jr. Terugwinning van energie zou in potentie mogelijk zijn door het te verwerken in een biomassa vergassingsinstallatie of door het mee te verbranden in een kolencentrale. Hiermee zou ca. 145 TJ aan elektriciteit opgewekt kunnen worden. Dit correspondeert met een te vermijden primair energiegebruik van ca. 350 TJ, en een te vermijden CO₂-emissie van ca 25 kton. De dienst Milieubeheer heeft in 2006 onderzoek laten verrichten naar deze optie (Gemeente Amsterdam, DMB/ARC, 2006a en 2006b). Uit het onderzoek bleek dat in de huidige situatie slechts een beperkt deel van het snoeiafval (20%) geschikt was voor chipsproductie en opwekking van bio-energie. Om het overige deel geschikt te maken zouden aanvullende stappen nodig zijn. Tegelijk kwam uit het onderzoek naar voren dat ook dan de stroom relatief klein zou blijven en slechts een kleine biomassacentrale mogelijk zou zijn, die waarschijnlijk niet rendabel zou zijn. Daarnaast zijn vraagtekens gezet of deze vorm van verwerken vanuit integraal milieuperspectief een meerwaarde heeft boven composteren. Dit vraagt nader onderzoek. Om deze redenen heeft het ARC geadviseerd om vooralsnog af te zien van deze vorm van verwerking van biomassa.

In de periode tot 2025 ontstaan er wellicht mogelijkheden om de logistieke, economische en milieuhygienische performance te verbeteren, zodanig dat hoogenergetische verwerking van deze stroom wel mogelijk wordt. De stroom snoeiafval is daarom verder wel in de potentieelraming mee genomen.

5.4.4 Organische reststromen

In de haven van Amsterdam heeft het bedrijf Greenmills het initiatief genomen om fabriek op te starten waar organische reststromen (o.a. afkomstig van horeca en detailhandel) hoogwaardig worden gerecycled tot onder meer energie. Volgens opgave van het bedrijf kan dit leiden tot levering van elektriciteit aan ca. 25.000 huishoudens, corresponderend met een besparing aan primaire energie van ca. 0,6 PJ en ca. 43 kton CO₂ (Havenbedrijf Amsterdam, 2007).

5.4.5 Totaal raming potentieel biomassa

In totaal leidt dit tot de volgende raming van het potentieel aan energiebesparing door inzet van biomassa:



Tabel 26 Potentieel levering duurzame energie uit biomassastromen en vermeden emissies CO₂ (2025)

	Levering elektriciteit (PJ)	Vermeden primaire productie (PJ)	Vermeden emissie CO ₂ (ton)
<i>Biomassa-stromen:</i>			
GFT in huisafval	1,56	3,72	257
Rwzi-slib	0,081	0,19	13
Snoeihout parken en plant-soenen ⁷	0,15	0,35	25
Organische rest-stromen horeca en detailhandel	0,25	0,6	43
Totaal	2,04	4,86	338
<i>Overige stromen (geen biomassa)</i>			
Overig afval	1,69	3,92	278

5.4.6 Kosten en implementatie

De voorgestelde maatregelen zijn in de planning van de betreffende bedrijven opgenomen: het zijn min of meer kosteneffectieve maatregelen. Deze zijn echter wel technologisch gecompliceerd en vragen vergaande aanpassingen/ vernieuwingen in productieprocessen.

5.5 Micro-WKK

5.5.1 Algemeen

Micro-WKK (ook wel HR-E ketel genoemd) is een nieuw type cv-ketel, waarbij de ketel naast levering van warmte ook elektriciteit opwekt. Micro-WKK verkeert op dit moment in het stadium van demoprojecten die worden uitgetest. Als deze succesvol verlopen gaan fabrikanten naar verwachting seriematig de ketels produceren.

⁷ Niet meegenomen in totaalstelling.

Figuur 13 Micro-WKK ketel



Kernmerkend voor micro-WKK is dat er een forse besparing is in de hoeveelheid elektriciteit die extern wordt aangeleverd. Tegelijk is er wel een beperkte groei van het gasgebruik. Overall is er daarmee een besparing in de emissies van CO₂.

Micro-WKK kan in de meeste woningen en bedrijven worden ingebouwd in plaats van de bestaande ketel. Inpassing is daarmee zowel mogelijk bij nieuwbouw als bij bestaande bouw. Wel geldt dat micro-WKK alleen toepasbaar is als het gas wordt gebruikt voor verwarming; dus niet bij woningen die zijn aangesloten op warmtenet of koude-/warmteopslag.

Voor een typerende casus (een woning 'gestapelde bouw') liggen de cijfers als volgt ('Slim met Gas', 2008):

Tabel 27 Energiebesparing en CO₂-reductie bij toepassing micro-WKK. Case-studie 'gestapelde woning'. Referentie is opwekking van warmte met een HR-ketel en levering van elektriciteit uit een STEG-centrale

	Referentie (HR ketel, elektriciteit uit gasgestookte STEG)	Micro-WKK	Vershil	% Verschil
Gasverbruik (m ³)	1.308	1.507	+ 199	15
Elektragebruik (kWh)	3.000	1.012	- 1.988	-66
Totaal energiege- bruik (GJ)	60,7	54,2	- 6,5	-11
CO ₂ -emissie (ton/jr)	3.420	3.050	- 370	-11

Bron: Slim met Gas.

In deze referentie wordt de warmte in de woning opgewekt met een moderne HR-ketel. De elektriciteit met een (relatief schone) gasgestookte STEG-centrale. Ten opzichte van de huidige situatie is dat conservatief ingeschat, omdat er nog een aanzienlijk aantal woningen bestaat dat gestookt wordt met een minder efficiënt type ketel.

5.5.2 Raming potentieel Amsterdam:

Met een zeer indicatieve berekening is in beeld gebracht wat de energiebesparing en CO₂-reductie kan zijn door massaal ketels te vervangen door micro-WKK ketels.

Uitgangspunten bij deze berekening zijn:

- Alle woningen en bedrijven die niet zijn of worden aangesloten op warmtekoudenetten of KW-opslag, schaffen een micro-WKK ketel aan; dit betreft resp. ca. 74,6 % van de huishoudens en 41,7 % van de bedrijven.
- Deze woningen hebben een evenredig aandeel in het totale huidige energiegebruik.
- Als referentie geldt dat alle woningen en bedrijven een HR-ketel hebben staan (noot: dit is nu in veel situatie niet het geval, werkelijke besparing zal hoger zijn als er een minder efficiënt type ketel staat).
- De gerealiseerde besparing is percentueel gelijk aan die bij de bovenstaande casus voor gestapelde bouw.

Tabel 28 Raming potentieel energiebesparing door plaatsing micro-WKK installaties (in plaats van HR-ketels) in Amsterdam 2025

Sector	Totaal Energie-gebruik (2006)	CO ₂ -emissie (direct en indirect)	Aandeel in 2025 niet aangesloten op stadswarmte of KW-O	Verlaging van energie-gebruik bij plaatsing micro-WKK	
				Energie (primair, PJ)	CO ₂ (kton)
Woningen (*1000)	26,7	1.695	74,6 %	2,19	139
Bedrijven/instellingen (*1000)	22,4	1.497	41,7 %	1,03	69
Totaal:	49,1	3.192		3,22	208

5.5.3 Kosten en implementatie

Een micro-WKK ketel vraagt een extra investering. De inzet van de producenten is dat deze op afzienbare termijn komt te liggen op max. € 1.500 = t.o.v. een HR-ketel. De terugverdientijd ligt daarbij op ca. 5 jaar, waarmee het een rendabele investering zou zijn.

Bij de implementatie van micro-WKK is van belang dat het gaat om plaatsing in een zeer groot aantal woningen en bedrijven. Dit zal een zeer grote inspanning vragen. Van groot belang zal daarbij ook de technische en kostenontwikkeling van micro-WKK zijn: naarmate de kosten lager uitvallen en de terugverdientijd korter is, zal de acceptatie in de markt gemakkelijker verlopen.

5.5.4 WKK

De inschatting is dat bij industriële bedrijven in Amsterdam ook nog een aanzienlijk potentieel bestaat voor grootschalige WKK: het gecombineerd opwekken van stroom en warmte. In het AEB wordt dit al gecombineerd opgewekt, maar het zicht ontbreekt op welke bedrijven dit verder toepassen en waar dit nog mogelijk zou zijn. Op landelijke schaal geldt dat met WKK nog zeer forse besparingen op energiegebruik en CO₂-emissies zijn te realiseren, tegen relatief lage kosten.

6 Potentieel DE in relatie tot doelstellingen

6.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt voor de verschillende maatregelen gezamenlijk het potentieel aan DE in beeld gebracht, en de bijbehorende potentiële reducties in emissies van CO₂. De DE-potentieën worden vergeleken met de EU-doelstellingen voor het aandeel DE in de energievoorziening, de potentiële CO₂-reducties met de doelstelling van de gemeente Amsterdam voor 40% CO₂-reductie in 2025.

6.2 Potentiëlen Duurzame energie

6.2.1 Overall potentieel DE

Tabel 29 geeft de bijdragen van de verschillende bronnen aan Duurzame energie weer.

Tabel 29 Overzicht potentieel duurzame energiebronnen Amsterdam (PJ)

	Maatregel									
	Duurzame energie						Efficiencyverbetering elektriciteitsopwekking			
	Wind-energie	Bio-massa	Zon-PV	Zon-thermisch	Warmte-netten en koude/warmte-opslag	Totaal	Micro-WKK	WKK	Afval-verbranding (excl. GFT)	Totaal
Potentieel 2025	2,9-4,4	4,86 ⁸	1-2		4,9	13,7 – 16,2	3,22	p.m.	3,92	7,1
Gerealiseerd 2007	0,66	2,96	0,004		0,64	4,26	0	p.m.	3,00	3,00

Ten opzichte van de prognose voor 2025 van het totale energiegebruik in Amsterdam (ca. 83,8 PJ), betekent dit dat een aanzienlijk deel van het energiegebruik duurzaam ingevuld kan worden. Daarnaast is er nog een substantieel potentieel voor andere maatregelen op het vlak van opwekking van elektriciteit. Het potentiële aandeel duurzaam cf. definitie EU-richtlijn) ligt op 13,7 - 16,2 PJ. Gemiddeld is dit 15,0 PJ, oftewel 17,8 % van het geprognostiseerde totale energiegebruik.

6.2.2 Vergelijking potentieel met doelstellingen

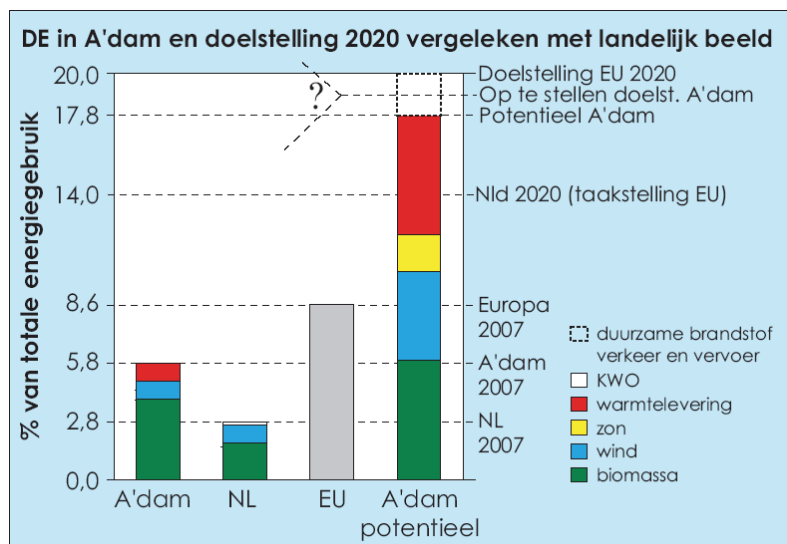
De EU-taakstelling voor het aandeel DE in de energievoorziening van Nederland ligt op 14%, te bereiken in 2020. Voor de EU als totaal ligt het doel op 20%. Het berekende DE-potentieel van max. 17,8% in Amsterdam ligt daarmee boven de

⁸ Inclusief energieopwekking uit snoeiafval.

EU-taakstelling voor Nederland⁹. Kanttekening is daarbij wel dat het potentieel is berekend voor het zichtjaar 2025, en de doelstelling geldt voor 2020.

In Figuur 14 zijn beiden naast elkaar gezet; dit geeft het berekende potentieel voor Amsterdam in vergelijking tot deze doelstellingen. Ter vergelijking is ook het huidige aandeel DE aangegeven.

Figuur 14 Bijdrage duurzame energie aan energievoorziening Amsterdam, in vergelijking tot nationale en EU-doelstellingen



6.2.3 Huishoudens en bedrijven vs. verkeer en vervoer

De aangegeven maatregelen grijpen alleen aan op het segment woningen en bedrijven. Voor dit deel, ligt de prognose van het energiegebruik in 2025 op 62,3 PJ. Daarmee ligt dan het aandeel DE (cf. EU-definitie) op 25%¹⁰.

Het DE-potentieel voor de verkeer en vervoerssector is in deze studie niet in beeld gebracht. De EU zet in op 10% biobrandstoffen per 2020. Extrapolatie van dit cijfer naar Amsterdam 2025 komt uit op 2,2 PJ.

⁹ Als ook de twee overige maatregelen worden meegenomen komt het potentieel op ca. 20,8-23,3 PJ, ruim een kwart van het totale energiegebruik.

¹⁰ Incl. overige efficiencyverbetering energieopwekking (micro-WKK en overig afval [excl. biomassa]) komt het uit op ca. 36%.

6.3 Potentiële CO₂-reducties

6.3.1 Gezamenlijke CO₂-reductie onderzochte maatregelen

De besparing in energiegebruik resulteert in de onderstaande besparing in CO₂-emissies (Tabel 30). In de tabel zijn ook de reeds gerealiseerde vermeden CO₂-emissies voor 2006 en 2007 aangegeven.

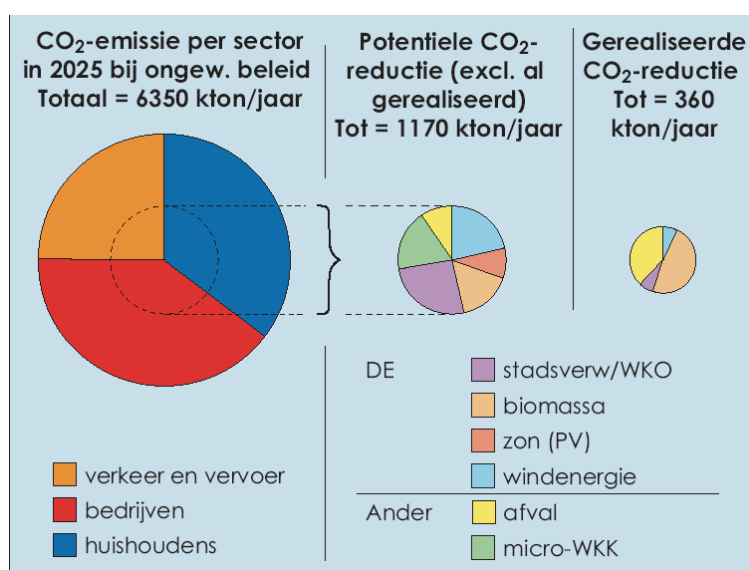
In totaal komt de potentiële CO₂-reductie van DE uit op 950 - 1.120 kton CO₂. Inclusief de twee overige opties voor efficiencyverbetering elektriciteitsopwekking gaat het om 1.530 - 1.700 kton CO₂.

Tabel 30 Besparing op CO₂-emissies door inzet duurzame energie en twee overige maatregelen (micro-WKK en afval (excl. biomassa) (kton/jr). Potentieel 2025 vs. realisatie in 2007 en 2006.

	Duurzame energie						Efficiencyverbetering elektriciteitsopwekking			
	Wind-energie	Biomassa	Zon-PV	Zon-thermisch	Warmte-netten en koude/warmte-opslag	Totaal	Micro-WKK	WKK	Afval-verbranding (excl. GFT)	Totaal
Potentieel 2025	210 - 310	340	70 - 140		330	950 - 1.120	210	p.m.	278	488
Reeds gerealiseerd 2007	47	209	0,3		28	285	-	p.m.	212	212
Gerealiseerd 2006	11	154	0,3		28	194	-	p.m.	166	360

Figuur 15 geeft grafisch de CO₂-reductie weer.

Figuur 15 Potentiële CO₂-reducties door inzet duurzame energie 2025



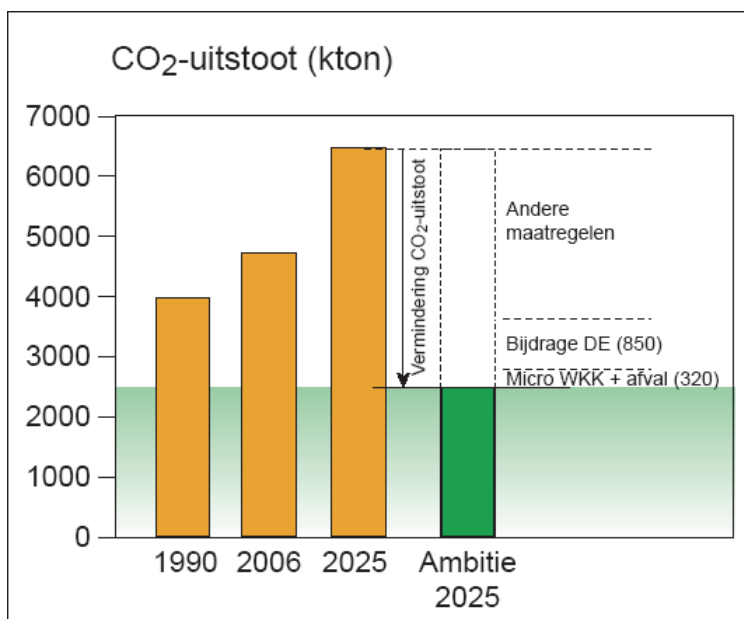
6.3.2 Vergelijking met CO₂-reductie doelstelling gemeente Amsterdam

De doelstelling van Amsterdam is 40% reductie in CO₂-emissies in 2025 t.o.v. 1990. Dit komt neer op een CO₂-emissie van max. 2.500 kton CO₂ in 2025 en vraagt een emissiereductie van ca. 3.850 kton CO₂.

De onderzochte DE-opties hebben een potentieel van ca. 950 - 1.120 kton CO₂. Een deel van dit potentieel (te weten wat al in 2006 was gerealiseerd, 194 kton) is al meegenomen in de prognoses voor 2025 bij ongewijzigd beleid. Gecorrigeerd hiervoor komt het nog te realiseren potentieel uit op ca. 760 - 930 kton. De twee extra opties hebben een potentieel van 488 kton CO₂-emissiereductie. Gecorrigeerd voor het deel dat al in 2006 was gerealiseerd (166 kton), levert dit een nog te realiseren potentieel van ca. 320 kton.

De vier DE opties en de twee overige opties hebben daarmee samen een nog te realiseren potentieel van ca. 1.170 kton CO₂-emissie reductie (1080 - 1250). Dit kan een bijdrage leveren van ca. 30% aan de beoogde CO₂-reductiedoelstelling.

Figuur 16 Bijdrage DE-potentieel aan realisatie doelstellingen CO₂-reductie Amsterdam



6.3.3 Specificatie naar bedrijven en huishoudens

De onderzochte maatregelen grijpen uitsluitend aan op de CO₂-emissies van de sectoren huishoudens en bedrijven. Naar verhouding is hier een CO₂-reductie nodig van 2.890 kton. Met 1.170 kton levert het onderzochte pakket hieraan een bijdrage van ca. 40%.

6.4 Kosten

De kosten van de verschillende maatregelen lopen uiteen. In grote lijnen geldt dat warmte-koudenetten, windenergie, biomassa en energie uit afval min of meer rendabel zijn. Voor micro-WKK is er nog sprake van een aanzienlijke onzekerheid over de kosten: de producenten mikken op een terugverdientijd van vijf jaar, maar het is nog niet zeker of dit wordt gehaald. Zonne-energie (m.n. zon- PV) is duidelijk duurder dan de overige maatregelen.

6.5 Haalbaarheid potentieel; leercurve

Bovenstaande ramingen zijn grosso modo gebaseerd op wat op dit moment technisch leverbaar is (wat is nu op de markt?) en op een zeer brede implementatie in de stad (overall toepassen waar dat technisch en binnen wettelijke kaders mogelijk is).

Ten aanzien van het eerste uitgangspunt geldt dat er in het tijdsbestek tot 2025 sprake zal zijn van een technische ontwikkeling, en verdere acceptatie van technieken door de markt. Daardoor kan het potentieel verder groeien dan in deze studie aangenomen.

Aan de andere kant geldt dat kritische kanttekeningen geplaatst kunnen worden bij het uitgangspunt dat de genoemde maatregelen zeer breed worden geïmplementeerd. Het is de vraag in hoeverre dit realistisch is, ook bij een zeer forse inspanning vanuit de gemeente Amsterdam. Zeker voor maatregelen met een groot aantal belanghebbenden, zoals zonne-energie en micro-WKK.

6.6 Implementatie

Realisatie van het aangegeven potentieel zal een zeer grote inspanning vergen. Dit geldt met name van de ambities voor warmte/koudenetten, zonne-energie en micro-WKK. De potentiëlen die hiervoor zijn berekend liggen aanzienlijk hoger dan in eerdere analyses. Voor windenergie en biomassa sluiten de genoemde potentiëlen meer aan op reeds in gang zijnde ontwikkelingen, maar ook daar zal een forse inspanning van bedrijven en overheden nodig zijn.



Literatuurlijst

AEB, 2008

Opgave AEB in mail d.d. 28/05/'08

CEA, 2003

Marieke Butterhof, Marcel Langeveld, Marco Tieleman, Theo Voskuilen
Duurzame energie in Amsterdam : Het potentieel voor Duurzame energie in Amsterdam, resultaten Duurzame energiescan
Rotterdam : CEA, Bureau voor communicatie en advies over energie en milieu B.V., 2003

CE Delft, 2006

C. (Cor) Leguijt, A (Ab) de Buck, M.C.M. (Marjolein) Koot, L.M.L (Lonneke) Wielders, M.I. (Margret) Groot, J.H.B. (Jos) Benner, L.C. (Eelco) den Boer
Bouwstenen voor CO₂-reductieprogramma Amsterdam : naar 40% CO₂-uitstootreductie in 2025
Delft : CE Delft, 2006

EC, 2008

Directive on the use of Renewable Energy Source (COM(2008,16)
Brussels : European Commission, 2008

Gemeente Amsterdam/ NUON

Warmte koude kaart Amsterdam v2_3 [met bijbehorende CO₂-kaarten 2007 en 2025], ongepubliceerde resultaten
Amsterdam : Gemeente Amsterdam/ NUON, 2007

Gemeente Amsterdam, Energiebureau ARC, 2005

Haalbaarheidsstudie bio-energie uit snoei- en maaiafval : Eindrapportage
Amsterdam : Gemeente Amsterdam, 2005

Gemeente Amsterdam, Energiebureau ARC, 2006

Verslag milieucoördinatorenoverleg (niet openbaar)
Amsterdam : Gemeente Amsterdam, 2006

Havenbedrijf Amsterdam, 2007

Jaarverslag 2006
Amsterdam : Gemeentelijk Havenbedrijf Amsterdam, 2007

Junginger, 2005

Hans Martin Junginger
Learning in renewable energy technology development.
Utrecht : RU Utrecht (Copernicus Instituut), 2005
Utrecht, 2005

PMB Amsterdam, 2008 a,b,c,d,e

K. van Wensen

Vijf mails Projectbureau Klimaat Amsterdam met opgave van gebruik DE in 2007 op 21,22 en 23 april 2008.

SenterNovem, 2006

Protocol duurzame energie

Utrecht : Senter Novem, 2006

Slim met Gas, 2008

Casus Berekening HRe, casus 1 (niet gepubliceerde resultaten)

Delft : Stichting 'Slim met Gas' , 2008

