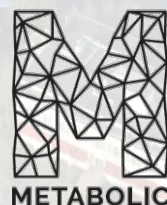


BIES

BUIKSLOTERHAM INTEGRATED ENERGY SYSTEM

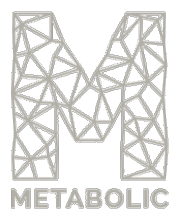
Naar een duurzaam en geïntegreerd energiesysteem voor een wijk in transitie



BIES

BUIKSLOTERHAM INTEGRATED ENERGY SYSTEM

Naar een duurzaam en geïntegreerd energiesysteem voor een wijk in transitie



BIES

BUIKSLOTERHAM INTEGRATED ENERGY SYSTEM

Naar een duurzaam en geïntegreerd energiesysteem voor een wijk in transitie

Datum: 14 November 2016
Versie: BIES_eindrapport_november 2016
Auteurs: TU Delft, Faculteit Bouwkunde (Sabine Jansen, Regina Bokel)
Stichting Stadslab Buiksloterham (Saskia Müller)
EnergyGO (Marcel Elswijk, Bart Roossien)
Metabolic (Sanderine van Odijk, Samuel de Vries)
Foto voorkant: AEROPHOTO-SCHIPHOL

Het onderzoeksproject is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Daarnaast is het onderzoek ondersteund door het Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions (AMS) te Amsterdam.

Management Samenvatting

De traditionele energievoorziening voldoet niet meer. De noodzaak om zo snel mogelijk zoveel mogelijk hernieuwbare energie te gaan gebruiken, maakt het gebruik van een variëteit aan meer lokale bronnen onvermijdelijk. Het benutten van zonne- en windenergie schept behoefte aan balancerende vraag en aanbod. Tegelijkertijd daalt de energievraag van de nieuwbouw. Al met al vraagt dit nieuwe kennis over flexibele energiesystemen.

Doel en opzet

BIES is uitgevoerd met het doel kansrijke varianten voor een flexibel en geïntegreerd energiesysteem voor woon- en werkgebieden te ontwikkelen. Zowel technische als systemische randvoorwaarden zijn daarin betrokken alsook welkomme innovaties van producten en diensten die aan dergelijke systemen bij kunnen dragen. Testcase is Buiksloterham in Amsterdam Noord: een hoogstedelijke ontwikkelingslocatie met als sleutelwoorden: transformatie, bestaande bouw, functiemenging, hoge dichtheid, bestaande infrastructuur voor gas en elektriciteit, hoge circulaire ambities, vele stakeholders, gefaseerde ontwikkeling.

De te behalen resultaten waren taakstellend geformuleerd als:

- 1) Inzicht in de haalbaarheid en meerwaarde van integrale energie scenario's op wijkniveau, (met Buiksloterham als voorbeeld), beoordeeld op een aantal KPI's.
- 2) Aanbevelingen voor verder uit te werken producten / diensten die hier aan kunnen bijdragen
- 3) Beschrijving van de aanpak die is gevolgd, met het oog op navolging (BIES 'bis')

Aanpak

De gevolgde aanpak is in de volgende opeenvolgende stappen samen te vatten.

- Stap 1: Inventarisatie
van de huidige situatie in het gebied, de stakeholders en de te verwachten ontwikkelingen.
- Stap 2 Bepalen en definiëren KPI's
Er zijn KPI's gedefinieerd binnen de categorieën energie, economie, circulariteit en implementatie-aspecten. Voor de laatste categorie is gekozen voor PSTLG: Political, Social, Technological, Legal and Governance.
- Stap 3: Bepalen van de te verwachten energievraag en het potentiële aanbod duurzame energie
Een inschatting van de te verwachten behoefte aan warmte, koeling en elektriciteit van de gebouwen in het gebied in 2025 is gemaakt. Ook is de energiepotentie van het gebied in kaart gebracht.
- Stap 4: Vaststellen en beoordelen basisvarianten voor de energievoorziening
op basis van bestaande en bewezen technieken, bruikbaar in het gebied.
- Stap 5: Stakeholder bijeenkomst 1
De basisvarianten zijn toegelicht en informatie is uitgewisseld met de stakeholders
- Stap 6: ontwikkelen alternatieve varianten en verbetermogelijkheden
Naar aanleiding van de beoordeling van de basisvarianten en de stakeholderbijeenkomst zijn alternatieven en verbeteringen ontwikkeld
- Stap 7: Stakeholder bijeenkomst 2
Verdere bespreking verbetermogelijkheden met stakeholders en enkele marktpartijen.
- Stap 8: Uitwerken
van de bevindingen in een rapportage.

De gekozen aanpak is in beginsel goed toepasbaar in andere gebieden in Nederland. De bijzonderheden van de casus zijn deels bepalend voor de geschiktheid van elk van de varianten. De in deze studie toegepaste KPI's bieden een zorgvuldig afwegingskader dat voldoende uitgebreid en niet te ingewikkeld lijkt om elders toe te passen. Om tot betrouwbare en zinvolle conclusies ten aanzien van systeemintegratie voor een gebied te komen, is de beschikbaarheid van betrouwbare en eenduidige data voorwaarde. Dit vergt medewerking van alle bij de energievoorziening betrokken partijen.

Varianten energievoorziening nieuwbouw

Er zijn drie verschillende varianten onderzocht op hun geschiktheid voor toepassing in Buiksloterham.

Variant 1: Gas en elektriciteit

Variant 2: All-electric

Variant 3: Stadswarmte met elektriciteit

Alle drie varianten zijn beoordeeld op een aantal key performance indicators (KPI's), te weten:

- energetische prestaties,
- economische kenmerken,
- gevolgen voor circulariteit en
- politieke, juridische, sociale, technologische en governmental aspecten.

Voor de nieuwbouw is naar elektriciteitsbehoefte, warmtevraag en behoefte aan koeling gekeken. Variant 1 (Gas en elektriciteit) is voor de eindgebruiker economisch de meest aantrekkelijke variant. Gelet op alle andere aspecten is deze echter niet wenselijk en valt zij in feite af. Van variant 2 (All-electric) en 3 (Stadswarmte en elektriciteit) verdient variant 2 de voorkeur op basis van energetische, economische en circulaire factoren. Deze variant geeft veruit de hoogste aandelen hernieuwbare, lokale bronnen en de laagste uitstoot van CO₂. Politiek en juridisch is er echter weinig draagvlak voor deze variant.

Variant 3 (Stadswarmte en elektriciteit) kan rekenen op bestuurlijke steun. Energetisch en qua circulariteit is deze variant minder aantrekkelijk dan de all-electric optie. De investeringskosten zijn lager zijn dan die van variant 2 doch de exploitatie- en beheerskosten tezamen zijn op termijn snel hoger dan die van variant 2. De schaal waarop de warmtevoorziening wordt georganiseerd bepaalt in belangrijke mate het precieze verschil.

Er is een vierde variant geconstrueerd die wel de voordelen doch niet de nadelen van de drie basisvarianten met zich meebrengt, bestaand uit :

- Een mini-warmtenet op een temperatuur die direct voor ruimteverwarming kan worden benut, tussen 40 en 50 °C. Voor tapwater zijn er verschillende mogelijkheden.
- Een mini-koudenet voor koeling.
- Een collectieve warmtepomp voor het opwaarderen van de laagwaarde warmte (van PVT, restwarmte van riool e.d.) tot op het niveau van het mini-warmtenet.
- Dubbele warmteopslag: een combinatie van WKO in de bodem (vanwege de grote capaciteit en de mogelijkheid ook koude te leveren) en een opslagvat op iets hogere temperaturen (ca 45-50°C). De energieopslag op hogere temperatuur wordt gevoed door de warmtepomp. Dit geeft tegelijk flexibiliteit ten aanzien van het elektriciteitsgebruik van de warmtepomp op relatief grote schaal.

Variant 4 is op hoofdlijnen verkend. De verschillende mogelijke configuraties en optimalisatie hiervan dienen nog verder onderzocht te worden. Ook de optimale temperatuur en schaal van een dergelijk mini-warmte en -koudenet behoeft nog verder onderzoek.¹

Casus Buiksloterham

Voor de nieuwbouw in Buiksloterham is sprake van een verplichte aansluiting op stadswarmte. Dit betekent echter niet dat dit stadswarmte op de relatief hoge temperaturen moet zijn. Dit is voor de nieuwbouw met hoge energieprestatie niet noodzakelijk en verhindert de mogelijkheid van invoeding van duurzame warmte op lagere temperaturen. Voor de casus Buiksloterham zou de nieuwbouw zoveel mogelijk aangesloten moeten worden op een lage temperatuur stadswarmtenet, mogelijk met als back-up de retourleiding van het huidige stadswarmtenet.

De bestaande bouw in Buiksloterham gebruikt momenteel bijna twee keer zoveel energie als de nieuwbouw naar verwachting in totaal zal gaan gebruiken. De bestaande bouw is dus zeer belangrijk voor de verduurzaming van Buiksloterham. Omdat de bestaande bouw is aangesloten op het gasnet en de gasbehoefte nauwelijks duurzaam kan worden gedekt, kan hier moeilijk verandering in aangebracht worden. In hoeverre het haalbaar is de bestaande – grotendeels industriële – gebouwen aan te sluiten op stadswarmte – dient verder te worden onderzocht.

De nieuwbouw zal gezien de gestelde EPC eisen in elk geval worden voorzien van een grote hoeveelheid PV. In combinatie met windenergie kan het verwachte elektriciteitsgebruik van de nieuwbouw hiermee voor ruim 2/3 worden geleverd. Het elektriciteitsgebruik van de bestaande bouw kan aanzienlijk duurzamer worden vervuld met installatie van PV en small wind op het aanwezige dakoppervlak. Met ambitieuze uitgangspunten t.a.v beschikbaar dakoppervlak kan in ongeveer een derde van de elektriciteitsbehoefte van de bestaande bouw worden voorzien. Om de rest van de behoefte te dekken zijn 2,8 grote (3 MW) windmolens nodig. Om te voorkomen dat in het gebied verzwaring van het (laagspannings) elektriciteitsnet noodzakelijk zal zijn, dient de mogelijkheid van meer flexibiliteit in het systeem (bijvoorbeeld met power to heat en warmteopslag) en de combinatie van PV, gelijkstroomnetten (DC-netten), mobiliteit, openbare (led) verlichting en eventuele inzet van warmtepompen concreet te worden onderzocht.

Algemene conclusies en aanbevelingen ('bis')

Voor nieuwbouwwijken met hoge energieprestatie en relatief lage warmtevraag kan veel warmte lokaal worden opgewekt. Voor energiezuinige nieuwbouw is daarom een gemiste kans om een warmtenet 'oude stijl' aan te leggen: De hoge temperatuur is in de nieuwbouw niet nodig, door de hoge temperatuur kan de potentie aan lokale warmte (LT) niet benut worden en tenslotte is een hoge temperatuur warmtenet niet geschikt voor toekomstige duurzame invoeding. Lokale lage temperatuur warmtenetten zouden wel kunnen worden onderzocht, eventueel met back-up van bestaande stadswarmtenetten. Omdat de energietransitie het lastigst is in de oudbouw die niet kan worden gerenoveerd en grotendeels afhankelijk blijft van hoge temperatuur verwarming (HTV), blijft met deze oplossing de op termijn schaarse HTV beschikbaar waar deze nodig is. Voor enkele bestaande gebouwen in een gebied met voornamelijk nieuwbouw kan de warmte ook op hogere temperatuur worden gebracht met een warmtepomp.

¹ Dit is onder andere onderwerp van het recent gestarte Europese onderzoeksproject "Smart Urban Isle", waarin ook de casus Buiksloterham verder wordt onderzocht. <http://jpi-urbaneurope.eu/project/smart-urban-isle/>

Voor de verduurzaming van zowel de warmtelevering als de elektriciteitsvoorziening zijn innovaties en pilots van bestaande innovatieve producten nodig. Deze worden hier kort samengevat:

- Verdere ontwikkeling van de mogelijkheden voor lange termijn opslag van thermische energie. Dit maakt het maximaal benutten van duurzame warmte mogelijk en creëert flexibiliteit in de inzet van elektriciteit.
- Verder onderzoek naar toepassing van lage temperatuur warmtenetten
- Boosters en andere oplossingen die de levering van warm tapwater in combinatie met lage temperatuur netten mogelijk maken.
- Energiezuinige warmtepompen die een hoge prestatie hebben bij kleine temperatuursprongen. (d.w.z. die slechts een klein temperatuurverschil hoeven te overbruggen tussen de beschikbare warmtebron en de te leveren warmte)
- Warmteterugwinning uit afvalwater (ook decentraal)
- Voorkomen van een groot piekaabod van PV en een grote piekvraag van warmtepompen en/of elektrisch vervoer. Dit kan o.a. door het mogelijk maken van flexibele inzet van elektrische apparaten, zoals bijvoorbeeld van een warmtepomp.

Tot slot zijn ook minder technische innovaties essentieel om innovatieve energieconcepten te kunnen realiseren. Dit betreft met name bedrijven die voorfinanciering in collectieve energievoorziening kunnen verzorgen, en die een transparant en concurrerend aanbod voor beheer van collectieve installaties (o.a. voor WKO, maar ook anderszins) kunnen aanbieden.

Naast de technische innovaties is de ontwikkeling van een integraal energiesysteem voor Buiksloterham en voor wijken in het algemeen gebaat bij meer regie. Het ontbreekt aan een basis voor het voeren van regie op het gebied van relatief nieuwe vormen van energieopwekking. Collectieve oplossingen zijn deels wel bekend maar de belemmeringen die worden ervaren om ze toe te passen, zijn nog groot. Stimulansen om tot meer samenwerking te komen zijn er niet. Ondersteuning van de organisatie en bijstand in de voorfinanciering van collectieve initiatieven kunnen groot verschil maken.

Inhoudsopgave

Management Samenvatting	4
Inhoudsopgave	8
Inleiding.....	10
1.1 Achtergrond.....	10
1.2 Doel.....	10
1.3 Gevolgdde aanpak	10
1.4 Opzet rapport	12
2 Gebiedsinventarisatie	13
2.1 Algemene beschrijving gebiedskenmerken, randvoorwaarden en stakeholders	13
2.2 Bestaande infrastructuur.....	16
2.3 Stakeholders	19
2.4 Beschrijving bestaande bouw ('oud')	20
2.5 Beschrijving bestaande nieuwbouw projecten	22
3 Beoordelingscriteria – KPI's	24
3.1 Energie.....	27
3.2 Economie	29
3.3 Circulariteit	29
3.4 Implementatie aspecten ('PSTLG's').....	30
4 Bepaling energievraag en energiepotentie in Buiksloterham.....	32
4.1 Uitgangspunten nieuwbouw	32
4.2 Bepaling energiebehoefte nieuwbouw	34
4.3 Bepaling finaal energiegebruik voor bestaande bouw en nieuwbouw.....	36
4.4 Energie potenties opwek hernieuwbare energie	39
5 Basisvarianten energievoorziening	41
5.1 Bestaande bouw	42
5.2 Nieuwbouw Variant 1: Traditioneel: Gas en Elektriciteit	43
5.3 Nieuwbouw variant 2: All-Electric (met warmtepomp en bodemopslag)	48
5.4 Nieuwbouw variant 3: Stadwarmte + Elektriciteit	54
5.5 Bespreking basisvarianten nieuwbouw	60
5.6 '0-alternatief' energievoorziening Buiksloterham.....	64

6	Maximaal duurzame en haalbare oplossingen	66
6.1	Verbetermogelijkheden per thema.....	67
6.2	Nieuwbouw variant 4: maximaal lokale warmte + systeemintegratie.....	69
6.3	Toepassing verbeteringen op de casus Buiksloterham	72
6.4	Benodigde innovaties (technisch en systemisch).....	75
7	Algemene resultaten en conclusies.....	80
7.1	Doel en resultaten	80
7.2	Inzicht in de haalbaarheid en meerwaarde van integrale energiescenario's op wijkniveau	80
7.3	Aanbevelingen voor verder uit te werken producten / diensten die hier aan kunnen bijdragen	81
7.4	Beschrijving van de aanpak die is gevolgd, met het oog op navolging.	82
7.5	Tot slot.....	83
	Bijlagen.....	85
	Bijlage A: Details inventarisatie infrastructuur.....	85
	Bijlage B: Inventarisatie nieuwbouwprojecten	90
	Bijlage C: energievraag en finaal energiegebruik nieuwbouw per gebouwtype.....	91
	Bijlage D: Beoordeling Circulariteit.....	93
	Literatuurlijst	105

Inleiding

1.1 Achtergrond

Nieuw opgeleverde gebouwen voldoen anno 2016 aan zeer hoge energieprestatienormen; intussen neemt het aandeel duurzaam opgewekte energie ook in Nederland toe. Dat is goed nieuws. Tegelijk maken deze ontwikkelingen tezamen grondige aanpassing van de energievoorziening noodzakelijk. Er is meer samenhang tussen gebouw en infrastructuur nodig en meer flexibiliteit bij de aanwending van de verschillende energiebronnen. Dit vergt procesmatige vernieuwing én innovatie op technisch gebied.

In Buiksloterham in Amsterdam Noord zullen tot 2024 plusminus 3.000 woningen worden gebouwd in een transformatiegebied: een voormalig scheepsbouw- en industriegebied. Daarom is deze stadswijk in ontwikkeling gekozen om varianten voor een energievoorziening nieuwe stijl te toetsen.

1.2 Doel

De doelstelling van de studie is driedelig:

- Het ontwikkelen van kansrijke varianten voor een geïntegreerd energiesysteem voor Buiksloterham. Daarbij moet rekening gehouden worden met wet- en regelgeving, politieke en sociale haalbaarheid, het streven naar optimale verduurzaming (circulariteit) maar ook met het streven naar optimalisering van de energievoorziening op gebiedsniveau.
- De verkenning van innovatieve oplossingen die hieraan bij kunnen dragen, technisch & procesmatig. Daarbij horen aanbevelingen voor verder uit te werken producten en diensten die aan kansrijke varianten kunnen bijdragen, die zelfs voordeliger kunnen zijn.
- De specifieke resultaten van de studie zijn gericht op Buiksloterham. Er worden conclusies getrokken die ook op andere nieuwbouwlocaties van toepassing zijn ('bis'). Daarnaast is, mede met het oog op navolging ook de gevolgde aanpak beschreven.

1.3 Gevolgde aanpak

De gehele studie heeft 10 maanden geduurd. De volgende stappen zijn in het proces doorlopen:

Stap 1: Inventarisatie

Stap 1 van het onderzoek betreft de gebiedsinventarisatie (zie hoofdstuk 2). Eerst is bepaald welke gegevens en informatie over het gebied noodzakelijk zijn.

- De planvorming voor het gebied (bestemmingsplan, planning kaveluitgifte) is in kaart gebracht. Geïnventariseerd is welke stakeholders in het gebied actief zijn. Vastgesteld is welke wet- en regelgeving van kracht is en in voorkomende gevallen wat betekenis en reikwijdte van regels is. Ook is de bestaande infrastructuur voor gas, elektriciteit en warmte zo nauwkeurig mogelijk bepaald. Gekeken is naar ligging en capaciteit van de bestaande infrastructuur.

Stap 2 Bepalen en definiëren KPI's

Er zijn KPI's gedefinieerd binnen de categorieën energie, economie, circulariteit en implementatie-aspecten. Voor de laatste categorie is gekozen voor PSTLG: Political, Social, Technological, Legal and Governance. DE KPI's zijn beschreven in hoofdstuk 3.

Stap 3: bepalen van de te verwachten energievraag en het potentiële aanbod duurzame energie

Op basis van de inventarisatie en de geplande nieuwbouw is een inschatting gemaakt van de te verwachten behoefte aan warmte, koeling en elektriciteit van de gebouwen in het gebied in 2025, en van het energiegebruik t.b.v. mobiliteit en openbare verlichting. Daarnaast is de energiepotentie van het gebied in kaart gebracht. Hierbij is met name uitgegaan van duurzame opwekking op en rondom de gebouwen. Tevens is de energiepotentie van huishoudelijke stromen meegenomen (warm water en afval).

- De beschikbaarheid van betrouwbare en eenduidige data bleek lang niet altijd een vanzelfsprekendheid. In het bijzonder gegevens over de bestaande energie infrastructuur en bestaand gebruik waren niet zonder meer beschikbaar. Het zoeken en vinden van geschikte informatie heeft langer geduurd dan gedacht (en heeft zich ook nog afgespeeld gedurende volgende fasen van het onderzoek).

Stap 4: Varianten voor de energievoorziening

Er zijn varianten voor de energievoorziening op basis van bestaande en bewezen technieken geïnventariseerd die bruikbaar lijken in het gebied. Ook is een beeld geschetst van het '0-alternatief' in Buiksloterham; de situatie die zal ontstaan indien geen nieuwe interventies of ingrepen worden gedaan.

Stap 5: Stakeholder bijeenkomst 1

In februari 2016 is de eerste stakeholderbijeenkomst georganiseerd. Hiervoor waren plusminus 25 betrokken uitgenodigd die vrijwel allemaal acte de présence gaven. Met hulp van deze betrokkenen is meer praktisch inzicht ontstaan in de mogelijkheden en beperkingen van de lokale situatie.

Dit heeft geleid tot het besteden van extra (ten opzichte van de planning) aandacht aan kenmerken en randvoorwaarden van de specifieke situatie in Buiksloterham.

Stap 6: Ontwikkelen alternatieve varianten en verbetermogelijkheden

Naar aanleiding van de beoordeling van de basisvarianten en de stakeholderbijeenkomst zijn alternatieven en verbeteringen ontwikkeld. Deze gaan zowel in op de nieuwbouw als op Buiksloterham als totaal.

Stap 7: Stakeholder bijeenkomst 2

In mei is een tweede stakeholderbijeenkomst georganiseerd². Tijdens deze bijeenkomst is met de deelnemers gebrainstormd over mogelijke verduurzaming van de varianten voor de energievoorziening in Buiksloterham, met inachtneming van de lokale randvoorwaarden.

Stap 8: Uitwerken

Na de bijeenkomst bestond voldoende inzicht in het technisch verbeterpotentieel. Vervolgens is de definitieve beoordeling van de KPI's bepaald en zijn de verbetermogelijkheden verder uitgewerkt. Tussentijds is er geregeld contact gelegd met diverse stakeholders om gegevens te valideren en KPI's reëel vast te stellen. Ook zijn diverse bronnen geraadpleegd om opbrengsten, kosten, emissies en dergelijke te verifiëren.

Door de beperkende randvoorwaarden in Buiksloterham was het niet mogelijk een verder uitgewerkte concrete oplossing voor de energievoorziening te ontwikkelen. Wel zijn verschillende

² Afgezien is van een brede consultatie van marktpartijen met het oog op producten en diensten die aan tot optimalisatie van varianten kunnen bijdragen. De belangrijkste reden hiervoor is dat de lokale situatie dermate complex bleek, dat een tweede workshop met stakeholders nodig was.

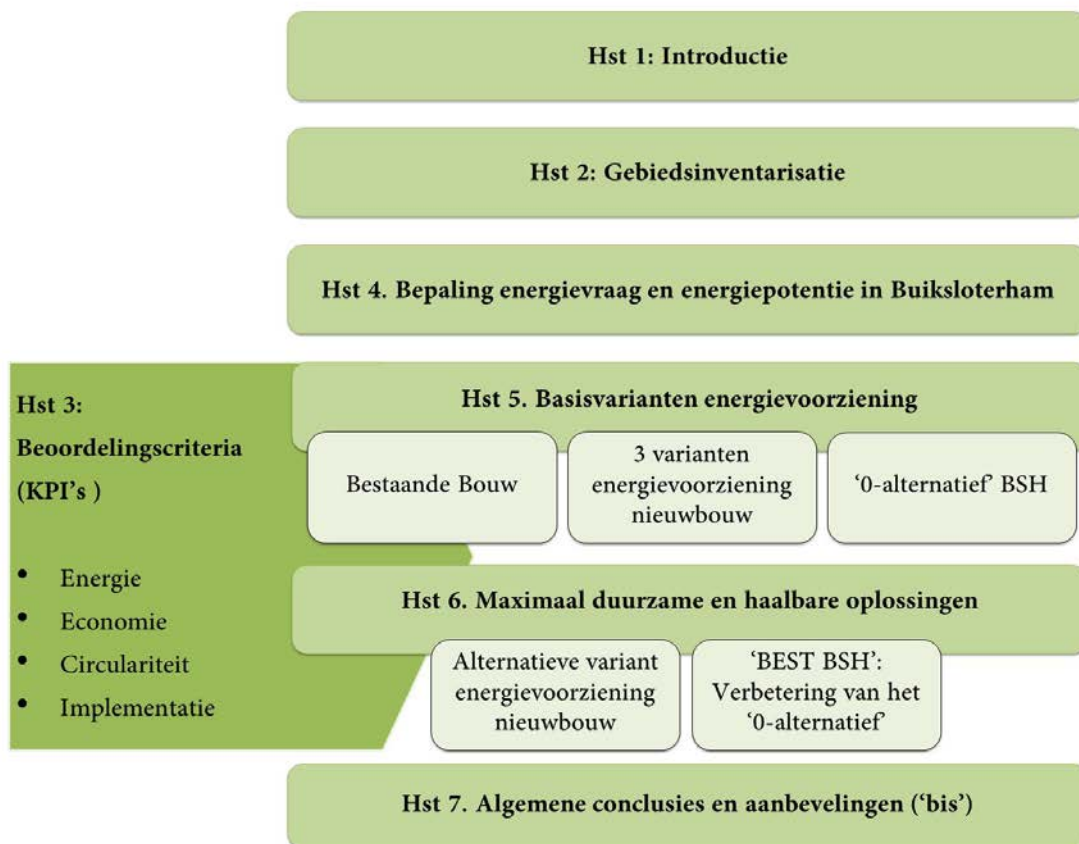
verbetermogelijkheden verkend en toont het onderzoek aan welke innovatieve technieken een rol kunnen spelen in een duurzaam energiesysteem voor Buiksloterham, en andere nieuwbouwlocaties.

Stap 9: Rapportage

De werkzaamheden zijn afgesloten met het opstellen van deze rapportage. Dit wordt gevolgd door disseminatie van de opgedane kennis.

1.4 Opzet rapport

In figuur 1 is de opzet van het rapport weergegeven.



Figuur 1: Opzet van het rapport

2 Gebiedsinventarisatie

2.1 Algemene beschrijving gebiedskenmerken, randvoorwaarden en stakeholders

2.1.1 Geschiedenis en planvorming

Het voormalige industrieterrein Buiksloterham in Amsterdam Noord aan het IJ ondergaat een transformatie naar een woonwijk met minimaal 3.500 woningen en 200.000 m² werkruimte. Het gebied is 100 ha groot.

Het was bijna een eeuw als scheepsbouw- en scheepsreparatiegebied in gebruik, tot rond 1980 kwamen bovendien zwaardere industriële activiteiten voor. Inmiddels zijn vrijwel al deze activiteiten verplaatst: een wijk met een grove infrastructuur van wegen, nutsvoorzieningen, een aantal concentraties met lichte bedrijvigheid, veel vervuilde grond en weinig bewoning (100 inw.) was het resultaat.



*Figuur 2: Ligging van het plangebied Buiksloterham
(bron: Bestemmingsplan Buiksloterham 2009)*

Het geldende bestemmingsplan dateert van 2009; dit biedt ruimte voor ontwikkeling van 1.000.000 m² BVO, ruim 3 maal de bestaande bebouwing. Voorzien is zowel in de functies wonen (50%) als werken (50%); binnen het gebied wordt deze verhouding gedifferentieerd toegepast. Onder druk van de behoeften op de woningmarkt is de woonfunctie voor de in ontwikkeling zijnde kavels verhoogd tot 80-85%. Ook op toekomstige kavels zal dit percentage waarschijnlijk worden toegepast. Het woningbouwprogramma omvat vooralsnog maximaal 4.000 woningen, waarvan minimaal 75% in appartementen. Van het totale aantal woningen moet 30 % in de sociale sector worden gerealiseerd.

De openbare ruimte zal conform het bestemmingsplan beperkt van omvang zijn en tamelijk versteend. Daarnaast liggen er nu nog veel vervuilde en inmiddels ontruimde bedrijfsterreinen braak.

2.1.2 Verkaveling

In figuur 3 is de verkaveling weergegeven, waarbij de gele de (anno 2014) nog te bebouwen kavels zijn en de grijze bestaande bouw betekenen. Van de bestaande bouw is al een klein deel zeer energiezuinige nieuwbouw. Binnen de genummerde kavels vindt bij uitgifte soms nog sub-verkaveling plaats.



Figuur 3: Overzichtskartaal van Buiksloterham met de verschillende kavels. De gele gebieden zijn de nieuwbouw kavels gepland tot 2024 (bron: Gemeente Amsterdam, februari 2015)

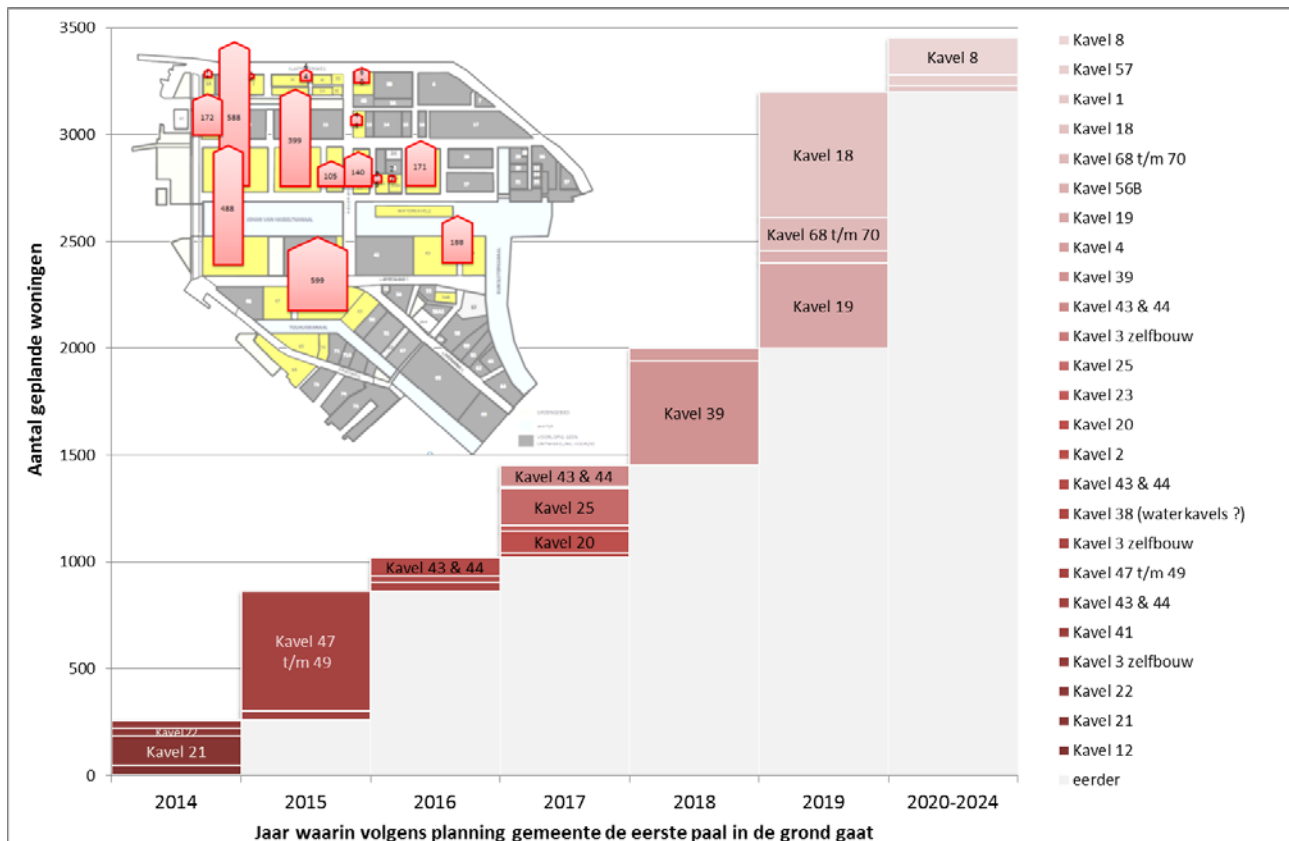
De kavelmaten zijn sterk wisselend van geschikt voor 1 woonhuis tot wel 300 wooneenheden. De eigendom van de kavels is grofweg 15 % privaat, 25 % niet uitgegeven gemeentelijk bezit en 60 % reeds uitgegeven in erfpacht. De versnipperde eigendomsrechten maken een fijnkorrelige menging van wonen en werken mogelijk.

De kavels worden gefaseerd uitgegeven. De afdeling Grond en Ontwikkeling van de gemeente Amsterdam bepaalt uiteindelijk wanneer kavels worden uitgegeven. De 'schone' kavels zijn inmiddels op de markt gebracht. Voor de (soms ernstig) vervuilde kavels zijn nog geen uitvoerbare uitgifteplannen gemaakt.

Per kavel wordt voor uitgifte een zogenaamd kavelpaspoort gemaakt door de gemeente. Daarin worden eisen t.a.v. de ontwikkeling gesteld: bijvoorbeeld bouwhoogte, bvo, fsi, welstandseisen en ook eisen ten aanzien van energievoorziening en duurzaamheid. Deze overstijgen soms de normen van het Bouwbesluit.

Sommige kavels worden op basis van tenders gegund. Daarin zijn soms vergaandere eisen aan energievoorziening en duurzaamheid gesteld. Ook hebben sommige gegadigden zichzelf relatief hoge eisen gesteld in deze opzichten.

Van de kavels in private handen bepalen de particuliere eigenaren wanneer een aanvang met de (ver)bouwplannen gemaakt wordt.



Figuur 4: eerste paal van de kavels volgens opgave planning gemeente (op basis van kavelkaart februari 2015)

2.1.3 Manifest Buiksloterham

In maart 2015 hebben 20 uiteenlopende partijen het manifest “Circulair Buiksloterham” ondertekend. Dit document bevat de circulaire ambities van Buiksloterham. Eén ambitie is een volledig duurzaam en zoveel mogelijk zelfvoorzienend energie systeem. De energetische ambitie van dit manifest is de leidraad voor dit onderzoek.



De verwerkelijking van het manifest is afhankelijk van de inzet van de 20 ondertekenaars en nieuwe toetreders: architecten, woningcorporaties, gemeentelijke afdelingen, projectontwikkelaars en aannemers, zelfbouwers en verenigde CPO's (Collectief Particulier Opdrachtgeverschap).

In het manifest is het gebied tevens benoemd als “Living Lab”. De visie en ambitie van het manifest is door meerdere partijen, waaronder Metabolic, Studioninedots en DELVA landscape Architects uitgewerkt in het rapport “Circulair Buiksloterham. Een living lab voor circulaire gebiedsontwikkeling”. (Metabolic et al., 2014).

“Verbonden door de ambitie om te bouwen aan een duurzame toekomst voor de stad”



Figuur 5: Manifest Circulair Buiksloterham en ondertekenaars

2.2 Bestaande infrastructuur

2.2.1 Elektriciteit

In Buiksloterham ligt een elektriciteitsnet, dat de bestaande, voornamelijk industriële functies voorziet van elektriciteit. De onderstaande informatie is verkregen van Liander.

De bestaande kabels in het elektriciteitsnet zijn tussen eind jaren '90 en heden gelegd. De ouderdom van de kabels is wisselend. De technische en economische levensduur is daardoor moeilijk in te schatten. Liander kon geen onderbouwde uitspraak doen over de levensduur van het elektriciteitsnet. In de bijlagen is een grafische weergave van het midden en laagspanningsnet. Het bestaande elektriciteitsnet in Buiksloterham heeft voorlopig ruim voldoende capaciteit volgens Liander om geplande nieuwbouw te kunnen bedienen. Buiksloterham was een industriegebied, waar klanten doorgaans op het midden spanning net aangesloten zijn geweest. Mede daardoor en door de aanwezigheid van het onderstation lijkt er op midden spanning niveau voldoende capaciteit aanwezig. Nu wordt de wijk ontwikkeld als gecombineerd wonen/werken. Huizen en kleine bedrijven worden aangesloten op het laagspanningsnet (aansluitingen tot max 3x80A). De inzet van PV panelen op die huizen, oplaadpunten voor elektrisch vervoer en bijvoorbeeld de inzet van warmtepompen gaan sterk bepalend zijn voor de dimensionering van het laagspanningsnet.

Op termijn kan uitbreiding van het net alsnog noodzakelijk blijken als gevolg van:

- de vestiging van energie intensieve bedrijvigheid in het gebied
- aanzienlijke verdichting van de bebouwing ten opzichte van het bestaande bestemmingsplan
- het ontstaan van grote piekvraag
- een combinatie van bovenstaande factoren.

In en nabij Buiksloterham bevinden zich 2 onderstations, aan de Papaverweg en de Klaprozenweg. Deze laatste is volledig eigendom van TenneT. Het station aan de Klaprozenweg betreft een 150 kV-installatie, opgesteld in de openlucht. Het station aan de Papaverweg bestaat uit een 150/50 kV/10 kV-onderstation, opgesteld in een gebouw. De twee onderstations zijn met elkaar verbonden via een ondergronds 150kV kabeltracé. Vanuit het 10kV onderstation aan de Papaverweg gaan vele midden spanning kabels (10.000V) door grote delen van Amsterdam Noord. Deze gebruikt Liander om energie van het onderstation naar de diverse wijktransformatoren te transporteren.

Vanuit de wijktransformatoren wordt het laagspanningsnet van Liander gevoed. Hiermee distribueren zij elektriciteit tot aan de woningen. Op dit moment is de maximaal gemeten piekbelasting op het onderstation ca. 50MVA. De capaciteit van het onderstation is geschikt t/m 63 MVA. Er kan dus maximaal 63 MVA afgenomen of worden in gevoed. Geschat wordt dat Liander over 10 à 15 jaar zal moeten investeren in het groot onderhoud van het onderstation aan de Papaverweg.

2.2.2 Gas

Door het gehele gebied loopt een gasnet. Het thans gevraagde vermogen kan eenvoudig getransporteerd worden. Er worden geen nieuwe aansluitingen meer verwacht in BSH. Mogelijk zullen enkele aansluitingen gaan verdwijnen. Omdat een aansluitplicht geldt volgens de Gaswet, zal Liander deze, indien één van de nieuwe bewoners om een gasaansluiting vraagt, realiseren. Het gasnet is in 2009 goeddeels gerenoveerd.

De gemeente heeft in diverse kavelpaspoorten aansluiting op het warmtenet verplicht gesteld. In sommige kavelpaspoorten wordt aansluiting op het gasnet verboden.

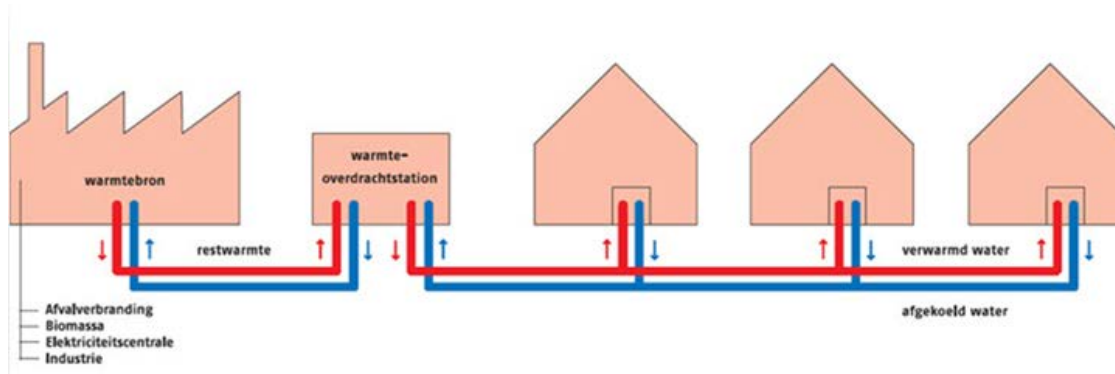
2.2.3 Stadswarmte

Voor geheel Amsterdam Noord is een zogenaamde concessieovereenkomst warmte van kracht. Deze is in 2008 gesloten tussen onder meer de gemeente, NUON Warmte, Westpoort Warmte en diverse corporaties en ontwikkelaars. Met deze overeenkomst heeft de gemeente zich ertoe verplicht bij uitgifte van nieuwe kavels aansluiting op het stadswarmtenet te eisen. In een gelimiteerd percentage van alle verwachte aansluitingen (11.000 in Amsterdam Noord), kan van deze verplichting worden afgeweken mits de vergunningplichtige kan aantonen dat deze een alternatief voor de warmtevoorziening realiseert dat minimaal even duurzaam is als warmte van het stadsverwarmingsnet.

In het gebied ligt nu nog een beperkte infrastructuur voor warmte, die hier onder wordt beschreven. Deze informatie is verkregen van Westpoort Warmte.

Het stadswarmtenet (zie figuur 6) van Amsterdam bestaat uit:

- Warmtebron: Amsterdamse energiecentrales inclusief afval energiebedrijf, biomassa centrales
- Primaire (transport) netten: hierop voedt warmteproductie in (hogere druk en hogere temperatuur dan huishoudelijk gebruik).
- Hulpketels, die momenteel met name dienen om warmte te produceren zolang het totale netwerk nog niet gekoppeld is aan de genoemde warmtebronnen.
- Onderstations (warmteoverdrachtstation): hier worden drukken en temperaturen gereduceerd tot huishoudelijk gebruik; 1 per 200 tot 300 woningen.
- Secundaire (wijk) netten: dit zijn de netten vanaf het onderstation tot in de meterkast van de woning.
- Een afleverset in de woning

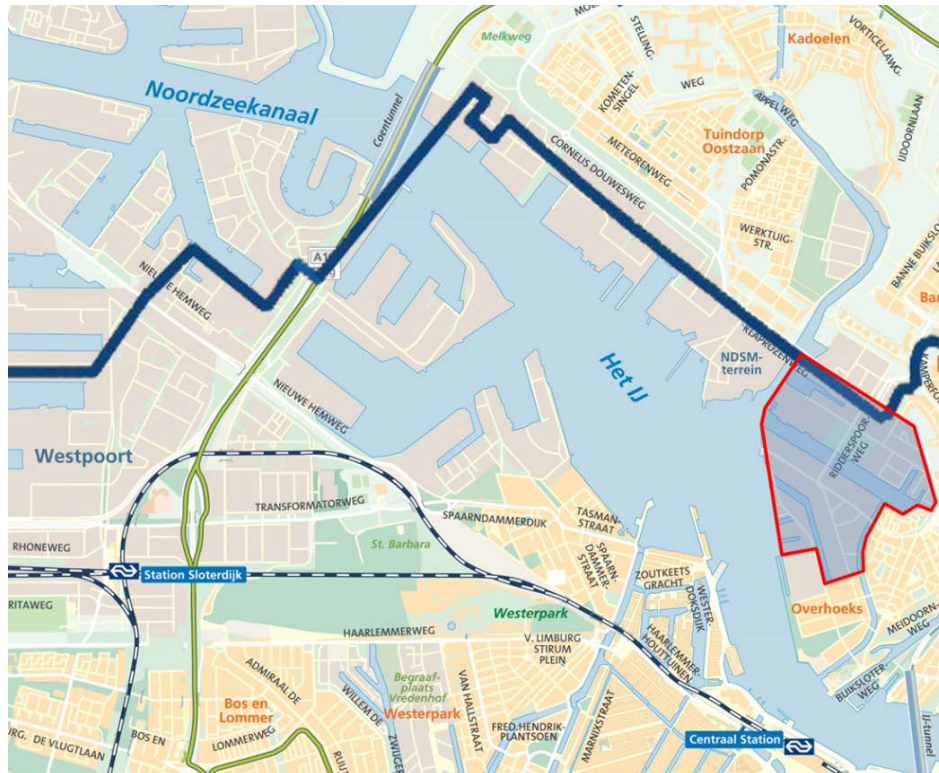


Figuur 6: Schema stadswarmte voorziening (bron: WPW)

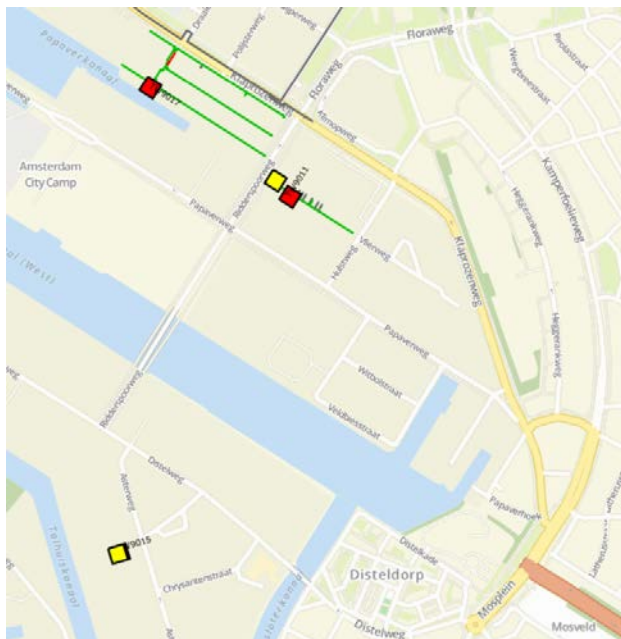
Bestaande en geplande infrastructuur in Buiksloterham:

- Begin 2016 is de 'backbone' van het warmtenet vanaf het Afval Energiebedrijf, onder het Noordzeekanaal door, tot Amsterdam Noord geleid. Naar verwachting zal deze in het najaar van 2016 afgerond zijn. Het tracé is te zien in figuur 7.
- Reeds aangelegde infrastructuur is te zien in figuur 8: secundaire netten in de Monnikskapstraat en omgeving, (groene lijnen). De rode blokjes zijn de onderstations en het gele blokje is de tijdelijke, gasgestookte warmte centrale. Deze laatste verdwijnt wanneer het primaire (transport)net (Noorderwarmte) gereed is.

- Aan te leggen infrastructuur wordt weergegeven in figuur 9: de rode lijnen zijn primaire netten. Vanaf de Klaprozenweg naar Overhoeks is dit een dikke leiding. Vanaf die leiding gaan dunnere aansluitleidingen de wijken in die de onderstations voeden (zie blokjes).
- De geplande infrastructuur kan alle voorziene woningen en andere gebouwen in BSH voeden.



Figuur 7: Backbone stadswarmtenet Amsterdam Noord (bron: WPW)



Figuur 8: bestaande secundaire netten voor warmte. De rode blokjes zijn de onderstations en het gele blokje is de tijdelijke, gasgestookte warmte centrale. Deze laatste verdwijnt wanneer het primaire (transport)net (Noorderwarmte) gereed is. (bron: WPW)



Figuur 9: geplande netten voor warmte (bron: WPW)

2.3 Stakeholders

Hieronder worden de belangrijkste spelers in het gebied benoemd. Onderscheid is gemaakt naar:

- 1) partijen betrokken bij de energievoorziening: elektriciteit, gas, warmte en overige (tabel 2-1);
- 2) ontwikkeling en bouw: corporaties, publieke en private (tabel 2-2).

Tabel 2-1 overzicht stakeholders die betrokken zijn bij de energievoorziening

Gas en elektriciteit	▪ NUON ▪ Liander
Warmte	▪ NUON Warmte ▪ Westpoort Warmte/ Afval Energiebedrijf Amsterdam ▪ Alliander DGO
Overige	▪ Amsterdamse Energie Coöperatie ▪ NDSM Energie Coöperatie ▪ Pekstroom ▪ Waternet ▪ Gemeente Amsterdam – afdeling Ruimte en Duurzaamheid ▪ Gemeente Amsterdam – afdeling Grond en Ontwikkeling

Tabel 2-2 overzicht stakeholders die betrokken zijn bij ontwikkeling en bouw

Particuliere eigenaren / ontwikkelaars met belangen in het gebied:	▪ Amvest ▪ Distelweg 113 BV (Biesterbosch, Het Fort Onroerend Goed) ▪ Hurks (Bouwer en ontwikkelaar) ▪ Projekton (vd Leij bouwbedrijven) ▪ Maarsen Groep ▪ Bunder ▪ Diverse bouwgroepen die een kavel hebben verworven: Schoon Schip, Kastoren etc.
Actieve corporaties	▪ De Alliantie * ▪ Eigen Haard * ▪ Ymere (op iets langere termijn). * De Alliantie en Eigen Haard hebben elk een aanvang hebben gemaakt met de bouw van honderden woningen in het gebied. Ymere zal op iets langere termijn gaan bouwen.
Overige	Op termijn spelen ook VVE's en huurders een rol. Op dit moment is dat nog op bescheiden schaal vanwege het nog geringe aantal bewoners.

De verschillende aanwezige stakeholders hebben verschillende verdienmodellen en investeringsbeslissingen. Onderling beïnvloeden deze verdienmodellen elkaar. De gemeente verkoopt of pacht haar kavels aan woningbouwcorporaties, CPO's en projectontwikkelaars met bijhorende duurzaamheidsvoorwaarden. Deze voorwaarden hebben een kostenplaatje voor de gebouweigenaren. Een woningcorporatie bouwt en verhuurt haar woningen. Een gebouw met een grote mate van zelfvoorzienendheid heeft invloed op het verdienmodel van een energieleverancier en netwerkbeheerder etc.

2.4 Beschrijving bestaande bouw ('oud')

In deze sectie wordt kort een typering geschetst van de bestaande bouw in Buiksloterham. De oppervlakte van Buiksloterham bedraagt ongeveer 100 hectare, waarvan rond de 300.000 m² bruto vloeroppervlak (BVO) momenteel bebouwd en het merendeel in gebruik is (bedrijfsactiviteiten). In figuur 10 is te zien dat het merendeel van de bebouwing uit industrie bestaat.



*Figuur 10: Overzicht functies bestaande bouw.
(Paars = Industrie, geel = kantoren)*

Hieronder is een samenvatting gegeven van de verschillende functies in het gebied. De gegevens zijn afkomstig uit onderzoek via de Kamer van Koophandel, Google maps, het rapport Circulair Buiksloterham (2014) en gemeentelijke statistieken³.

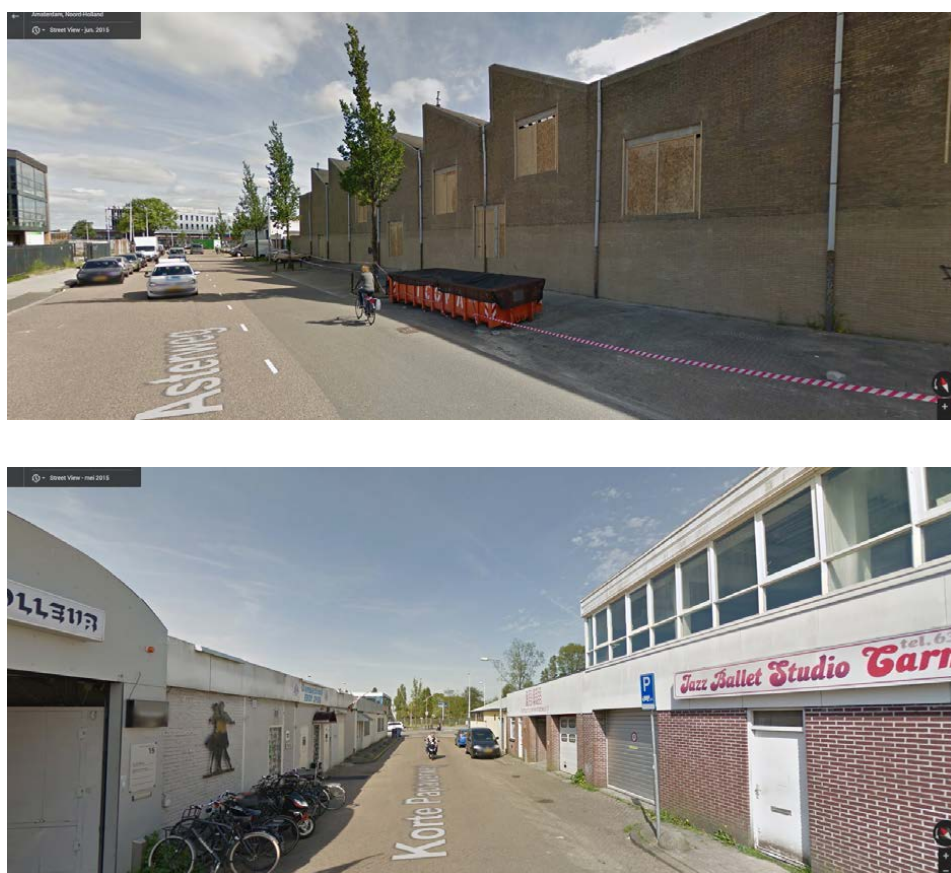
- Enkele woningen (28), in woonboten, in/boven bedrijfsruimtes
- 9 gedeelde kantoorpanden: zoals De Groene Draeck, een bedrijfsverzamel pand in een voormalige scheepswerf en New Energy Docks in het voormalige vulstation van Air Products
- scholen (2 basisscholen en een school voor speciaal onderwijs)
- andere scholen: vechtkunst-, dans- en kookschool
- verschillende industriële bakkerijen en andere lichte industrieën, zoals Winlove Probiotics (productie van probiotica)
- 43 lichte industrieën: veel autogarages; ook relatief veel kringloop en tweedehandswinkels, o.a. Boedelruimers, Van Dijk & Co, De Lokatie en Juttersdok)
- Enkele bouwhandels: Floris Bouwcenter, Bouwmaat, Boels
- 1 campercamping

³ Amsterdam OIS: de staat van de noordelijke IJ Oevers, n71, 2012

Op basis van het BAG register kan worden bekeken wanneer de meeste gebouwen zijn gebouwd. De bestaande bouw kent uiteenlopende leeftijden.⁴ Op basis van het BAG register kan worden geconcludeerd dat een groot deel van de bebouwing stamt van na 1960, en een deel van de bebouwing dateert uit de periode tussen 1900 en 1960.

De staat van de bestaande bouw is zeer wisselend, net als de leeftijd. Er zijn enkele karakteristieke panden in het gebied die vanwege hun architectonische kwaliteit en huidige functie mogelijk nog vele decennia zouden kunnen blijven staan in Buiksloterham. Een voorbeeld hiervan is het bedrijfsverzamel pand 'De Groene Draeck'.

Een deel van de bestaande bebouwing in Buiksloterham zoals aan de Korte Papaverweg is gebouwd in de jaren '70 (hetzelfde geldt voor de Chrysantenstraat). Momenteel is deze voornamelijk in gebruik bij verschillende handelaren en/of autozaken. Dit is relatief lage kwaliteit bebouwing zonder hoge architectonische waarde. De eigenaren van dit soort panden zijn niet eenvoudig te achterhalen, maar het meeste vastgoed is in handen van slechts enkele eigenaren (bijvoorbeeld een groot gedeelte van de Korte Papaverweg is eigendom van La Belle Vastgoed⁵). Deze partijen verhuren het vastgoed aan de huidige gebruikers. Het is wel denkbaar dat deze partijen de huurcontracten niet zullen verlengen als de ontwikkeling van nieuwbouw lucratiever wordt.



Figuur 11: bestaande bebouwing aan de Asterweg en de Korte Papaverweg (google streetview)

⁴ <http://code.waag.org/buildings/#52.3699,4.9081,13>

⁵ <http://code.waag.org/buildings/#52.3699,4.9081,13>

2.5 Beschrijving bestaande nieuwbouw projecten

In figuur 3 (paragraaf 2.1.2) is de geplande nieuwbouw tot 2024 weergegeven. Op dit moment is een aantal kavels al bebouwd en is bebouwing voor een aantal kavels in ontwikkeling, zie onderstaande tabel.

Tabel 2-3 Overzicht van de kavelnummers, de namen van de nieuwbouwprojecten en de opdrachtgevers en de opleveringsdatum. (Bron: gemeente Amsterdam, aangevuld met eigen onderzoek stand van zaken juni 2016.

Kavel	Naam	opdrachtgever Eigenaar	Architect en adviseurs	Status
water	Schoonschip	Stichting Schoonschip		Bouw gestart 2016
5a	Houtlofts	Huiz&	ANA Architecten	Opgeleverd 2015
12	Docklands	Vink bouw (ontwikkelaar)	Marcel Lok (architect) Pieters Bouwtechniek (constructeur)	Oplevering dec 2015
21a	Blackjack	Blackjack CPO	BO6 en BNB architecten Aldus Bouwinnovatie Huisman & van Muijen (installatieadviseurs) 4winden Sprangers Bouwbedrijf	Oplevering voorjaar 2016
21	Nova Zembla Lofts	Hans Oudendorp	Hans Oudendorp architect initiatiefnemer De Geus bouw (aannemer)	oplevering 2015
21	PUUUR_BSH	PUUUR	PUUUR architect initiatiefnemer Vink Bouw (ontwikkelaar)	Oplevering november 2016
21d	Noord4us	Berger Barnett architecten CPO *	Berger Barnett architecten Vink Bouw (ontwikkelaar) Pieters Bouwtechniek (constructeur) Vaecon (adviseur) Fore Installatieadviseurs	Oplevering aug 2016
21	Superlofts	De Hoofden CPO *	MKA Marc Koehler architecten Vink Bouw Groep FORE installatieadvies	oplevering juni 2016
22	ELTA	Bot Bouw initiatief	One Architecture (architect)	in aanbouw
21	Patch-22	Lemniskade BV CPO *	Tom Frantzen	Oplevering juli 2016
47/48/49	CityPlot	De Alliantie	DELVA (architect) Studioninedots (architect)	Planning maart 2016, uitgesteld tot nader order
69/70	Waterfront /Kop Grasweg	De Alliantie Hurks bouw	DELVA (architect) Studioninedots (architect)	Start najaar 2016
44	Vrije Kade fase 1	Eigen Haard	46 woningen, 180 m ² bedrijfsruimte	Gereed ult. 2016
20	Ridderspoorweg/ Boterbloemstraat	Diverse bouwgroepen	ANA Architecten e.a.	Start medio 2017

*) CPO= Collectief Particulier Opdrachtgeverschap

Het bijzondere van Buiksloterham is dat er relatief veel mogelijkheden zijn voor zelfbouw en dan met name in CPO. Door alle individuele zelfbouwers moet een Keuzekaart Circulair Buiksloterham worden ingevuld⁶. Deze keuzekaart is bedoeld om individuele zelfbouwers te inspireren bij het realiseren van een duurzame woning met circulaire elementen op het gebied van energie, grondstoffen, afval, water en mobiliteit. Er geldt een aansluitplicht op stadswarmte, tenzij individuele zelfbouwers een woning realiseren met een minimaal gelijke EPC.

Meer informatie over deze projecten is te vinden in bijlage A.3, waarbij het aantal woningen, andere functies dan wonen, het aantal bouwlagen en de geplande aansluiting op de stadsverwarming is weergegeven.



Nova Zembla Lofts (www.novazembla-lofts.nl/)



Patch 22 (www.patch22.nl)

Figuur 12: voorbeelden van reeds gerealiseerde projecten



City plots



Kop Grasweg

Figuur 13: Artist impressions van de twee grootste projecten: City plots en Kop Grasweg (Stadioninendots en Delva Landscape Architects)

⁶ De keuzekaart kan worden gedownload via <https://www.amsterdam.nl/projecten/buiksloterham/zelfbouw/>

3 Beoordelingscriteria – KPI's

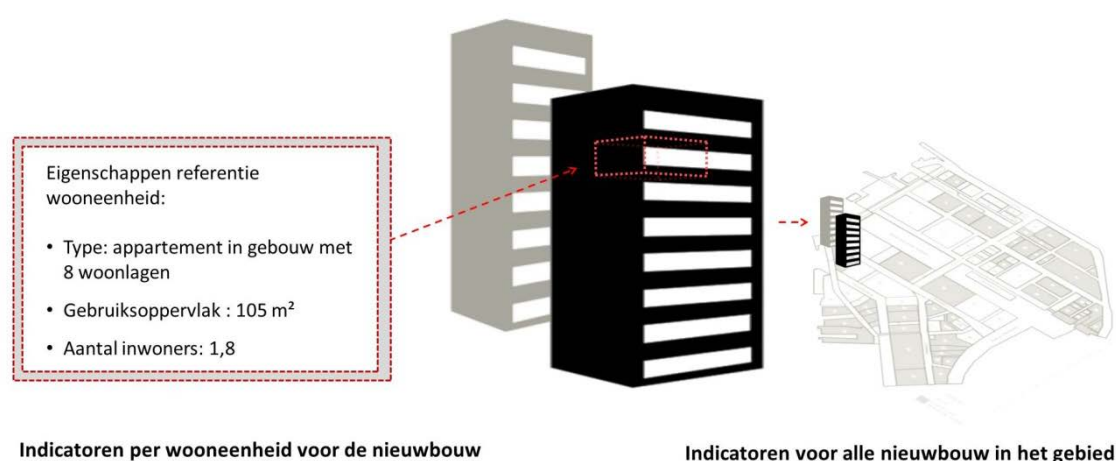
Voor het gebied worden verschillende varianten voor de energievoorziening van de nieuwbouw bekeken. Het doel is een flexibel en geïntegreerd energiesysteem te ontwikkelen dat past binnen de circulaire doelstelling. Voor energie betekent dit dat de opwekking in eerste instantie zoveel mogelijk van hernieuwbare bronnen afkomstig moet zijn. Er is meer:

- de energiebronnen moeten zo nabij mogelijk gevonden worden;
- investeringskosten moeten worden gewogen;
- exploitatiekosten (vaste en variabele) spelen een rol;
- een brede beoordeling van de circulariteit is van belang.
- mogelijke belemmeringen of stimulansen van politieke, sociale, technologische, juridische of governmental aard worden meegewogen.

In dit hoofdstuk worden de voor het onderzoek gebruikte indicatoren toegelicht. Deze zijn ingedeeld in vier thema's:

- 1) Indicatoren energie
- 2) Indicatoren economie
- 3) Indicatoren circulariteit overig⁷
- 4) Indicatoren m.b.t. implementatie

De indicatoren worden gebruikt voor de beoordeling van de energievarianten voor de nieuwbouw, waarbij de impact van alle nieuwbouw inclusief maatregelen op gebiedsniveau zal worden beoordeeld. De meeste indicatoren worden daarom voor het totaal bekeken. Voor de herkenbaarheid wordt echter voor de verschillende varianten energievoorziening nieuwbouw ook een aantal indicatoren gegeven op het niveau van één "wooneenheid". Als referentie wooneenheid is gekozen voor een appartement van 105 m² in een woongebouw van 8 verdiepingen, zoals weergegeven in onderstaande figuur. Dit is naar verwachting het meest voorkomende type wooneenheid in de nieuwbouw.



Figuur 14 Schematische toelichting op de performance indicatoren : per referentie-wooneenheid en voor alle nieuwbouw in het gebied.

⁷ Energie en economie maken deel uit van een complete beoordeling circulariteit, maar zijn in dit onderzoek, vanwege de nadruk op energie, apart bekeken.)

Een overzicht van de indicatoren is weergegeven in onderstaande tabel. Uitgebreidere toelichting wordt gegeven in de daarop volgende paragrafen.

Tabel 3-1 Overzicht van de KPI's waarop de varianten energie voorziening worden beoordeeld.

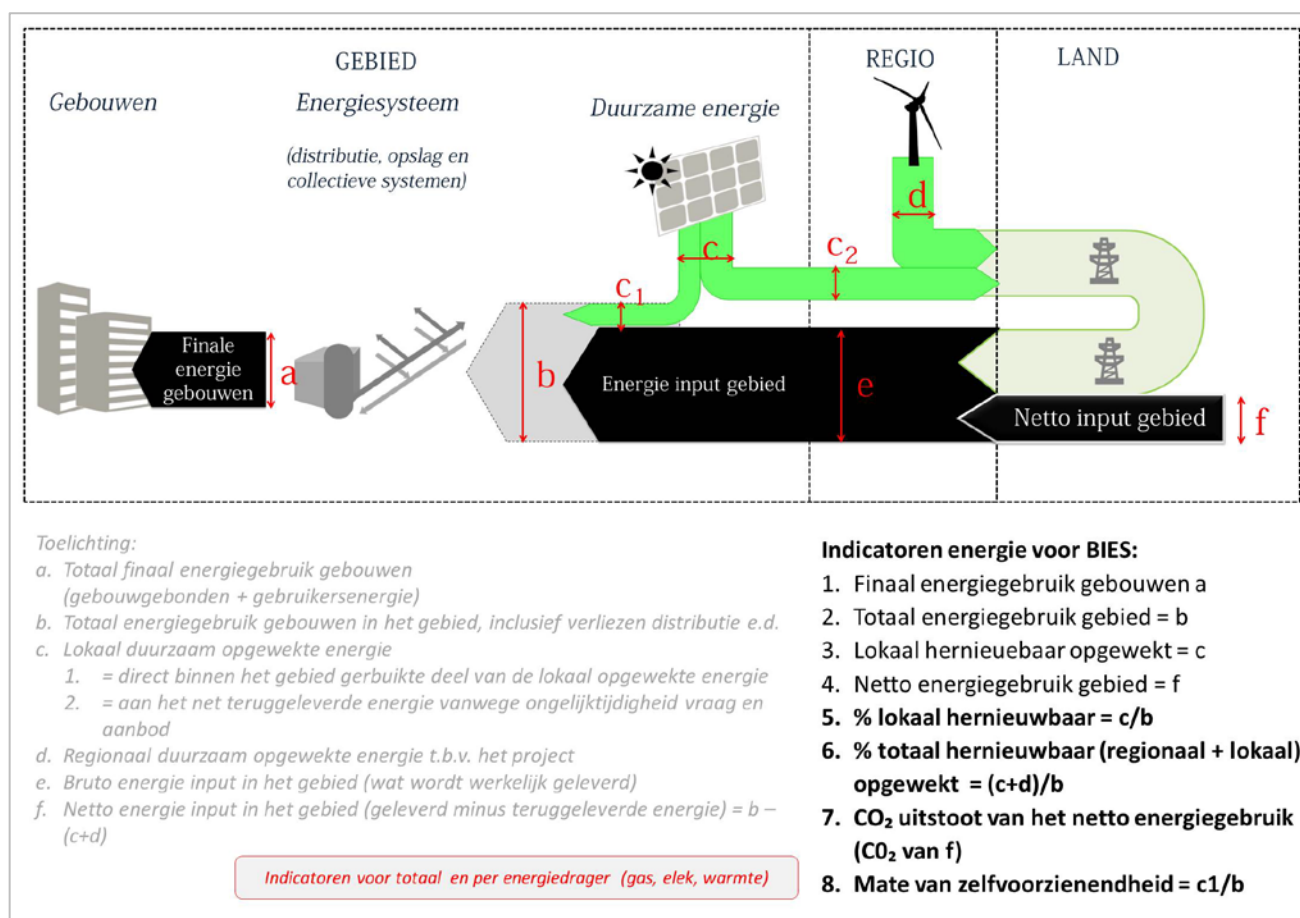
Criteria	Toelichting	Eenheid										
1. Thema 1: Energie (criteria 5 t/m 8 zijn belangrijkste criteria; 1 t/m 4 zijn sub-criteria)												
1.1 Finaal energiegebruik nieuwbouw	De energie die alle gebouwen per jaar kopen aan de meter. <i>(tevens per representatieve wooneenheid)</i>	GJ gas/ jaar GJ warmte / jaar GJ elek / jaar										
1.2 Energie-input gebied t b v nieuwbouw	Het totale energiegebruik van de gebouwen in het gebied, inclusief energieverliezen op gebiedsniveau.	GJ gas/ gebied * jaar GJ warmte / gebied *jaar GJ elek / gebied *jaar										
1.3 Lokaal hernieuwbaar opgewekt	Energie-input (*b) na aftrek van duurzame opwekking in het gebied en de regio	GJ gas/ gebied * jaar GJ warmte / gebied *jaar GJ elek / gebied *jaar										
1.4 Netto energie-input gebied	Mate waarin het totale energiegebruik van het gebied ook in het gebied wordt opgewekt (binnen de grenzen van BSH)	GJ gas/ gebied * jaar GJ warmte / gebied *jaar GJ elek / gebied *jaar										
1.5 % lokaal hernieuwbaar	Mate waarin het totale energiegebruik van het gebied ook in het gebied wordt opgewekt (binnen de grenzen van BSH)	%										
1.6 % totaal hernieuwbaar (lokaal + regionaal)	Mate waarin het totale energiegebruik van het gebied lokaal én regionaal wordt opgewekt	%										
1.7 CO ₂ uitstoot	CO ₂ uitstoot van de netto energie input van het gebied (= energiegebruik minus lokale en regionale duurzaam opgewekte energie)	Ton CO ₂ /gebied*jaar										
1.8 Mate van energie zelfvoorzienendheid	Mate waarin de lokaal opgewekte energie direct of via lokale opslag lokaal benut wordt, zonder terug levering aan het net)	Kwalitatieve beoordeling volgens onderstaande criteria: <table><tr><td>Code</td><td>Zelfvoorzienendheid kwalitatieve beoordeling</td></tr><tr><td>Rood</td><td>Niet mogelijk</td></tr><tr><td>Oranje</td><td>Knelpunten</td></tr><tr><td>Geel</td><td>Neutraal</td></tr><tr><td>Groen</td><td>Wordt bevorderd</td></tr></table>	Code	Zelfvoorzienendheid kwalitatieve beoordeling	Rood	Niet mogelijk	Oranje	Knelpunten	Geel	Neutraal	Groen	Wordt bevorderd
Code	Zelfvoorzienendheid kwalitatieve beoordeling											
Rood	Niet mogelijk											
Oranje	Knelpunten											
Geel	Neutraal											
Groen	Wordt bevorderd											

Criterium	Toelichting	Eenheid										
2. Thema 2: Economie												
2.1. Kosten eindgebruiker	De extra investeringen en operationele kosten over een periode die een gebouw eigenaar moet maken voor het energiesysteem. (Voor een representatieve wooneenheid)	- Capex (Euro) - Opex (Euro/jaar) - Capex + opex*15 jaar (Euro)										
2.2. Maatschappelijke kosten	Mate waarin extra kosten moeten worden gemaakt voor de infrastructuur, die over de hele maatschappij worden verdeeld, of waarin door de maatschappij bekostigde infrastructuur versneld wordt afgeschreven.	Kwalitatieve beoordeling volgens onderstaande criteria: <table><tr><th>Code</th><th>Maatschappelijke kosten kwalitatieve beoordeling</th></tr><tr><td>Rood</td><td>Hoog</td></tr><tr><td>Oranje</td><td>Gemiddeld</td></tr><tr><td>Geel</td><td>Neutraal</td></tr><tr><td>Groen</td><td>Vermindert maatschappelijke kosten</td></tr></table>	Code	Maatschappelijke kosten kwalitatieve beoordeling	Rood	Hoog	Oranje	Gemiddeld	Geel	Neutraal	Groen	Vermindert maatschappelijke kosten
Code	Maatschappelijke kosten kwalitatieve beoordeling											
Rood	Hoog											
Oranje	Gemiddeld											
Geel	Neutraal											
Groen	Vermindert maatschappelijke kosten											
3. Thema 3: overige indicatoren circulariteit												
3.1. Materialen (Circulariteit grondstoffengebruik)	De mate waarin grondstoffen verloren gaan en de mate waarin de kwaliteit en complexiteit van de gebruikte producten en materialen teniet wordt gedaan.	Kwalitatieve beoordeling volgens onderstaande criteria: <table><tr><th>Code</th><th>Circulariteit kwalitatieve beoordeling</th></tr><tr><td>Rood</td><td>Niet circulair mogelijk</td></tr><tr><td>Oranje</td><td>Veel knelpunten</td></tr><tr><td>Geel</td><td>Enkele knelpunten</td></tr><tr><td>Groen</td><td>Geen belemmeringen</td></tr></table>	Code	Circulariteit kwalitatieve beoordeling	Rood	Niet circulair mogelijk	Oranje	Veel knelpunten	Geel	Enkele knelpunten	Groen	Geen belemmeringen
Code	Circulariteit kwalitatieve beoordeling											
Rood	Niet circulair mogelijk											
Oranje	Veel knelpunten											
Geel	Enkele knelpunten											
Groen	Geen belemmeringen											
3.2. Water	Het waterverbruik in de gebruiksfase en in de productie en ontmanteling van materialen.											
3.3. Energie, cumulatief	De energie voor productie, onderhoud en uiteindelijke ontmanteling van benodigde materialen en producten die afkomstig is van eindige, fossiele bronnen											
3.4. Biodiversiteit en ecosystemen	De mate van schade die wordt toegebracht aan essentiële ecosystemen											
3.5. (Menselijke) Gezondheid en welzijn	De mate waarin de gezondheid van mensen, de mensenrechten en de gelijkheid tussen mensen wordt aangetast.											
3.6. Adaptiviteit en veerkracht	De economische, institutionele en socioculturele adaptiviteit en veerkracht.											
4. Thema 4: Implementatie aspecten (PSTLG)												
4.1. Politieke haalbaarheid	Mate van effectief draagvlak bij relevante politieke organen	Kwalitatieve beoordeling volgens onderstaande criteria: <table><tr><th>Code</th><th>PSTLG criteria kwalitatieve beoordeling</th></tr><tr><td>Rood</td><td>Niet mogelijk</td></tr><tr><td>Oranje</td><td>Er zijn knelpunten</td></tr><tr><td>Geel</td><td>Neutraal</td></tr><tr><td>Groen</td><td>Wordt bevorderd</td></tr></table>	Code	PSTLG criteria kwalitatieve beoordeling	Rood	Niet mogelijk	Oranje	Er zijn knelpunten	Geel	Neutraal	Groen	Wordt bevorderd
Code	PSTLG criteria kwalitatieve beoordeling											
Rood	Niet mogelijk											
Oranje	Er zijn knelpunten											
Geel	Neutraal											
Groen	Wordt bevorderd											
4.2. Sociale haalbaarheid	Mate van ondersteuning door bewoners/gebruikers o.m. door actieve deelname											
4.3. Technologische haalbaarheid	Mate waarin bewezen technologie beschikbaar en flexibel is											
4.4. Juridische haalbaarheid	Mate waarin wet- en regelgeving stimuleert of belemmert											
4.5. Governance	Haalbaarheid en doeltreffendheid van sturing en organisatie											

3.1 Energie

Het doel van de studie is aanbevelingen te doen voor een zo flexibel mogelijk en geïntegreerd energiesysteem, dat tevens aansluit bij de ambitie voor circulariteit en het lokaal sluiten van kringlopen. Voor energie betekent dit dat lokaal – d.w.z. in het gebied zelf - zoveel mogelijk hernieuwbare energie moet worden opgewekt.

In onderstaande figuur is het energiegebruik van het gebied en de duurzame opwek – lokaal, d.w.z. in het gebied zelf, en regionaal - schematisch weergegeven. Op basis van dit schema worden de performance indicatoren (KPI's) bepaald, zoals eveneens in de figuur is getoond.



Figuur 15: Schematische toelichting op de performance indicatoren voor het onderdeel energie.

3.1.1 Gebied: Energieneutraliteit en zelfvoorzienendheid

Wanneer alle jaarlijks benodigde energie vóór het gebied ook jaarlijks in het gebied (dus lokaal) wordt opgewekt, kun je spreken van 'netto energieneutraliteit'. De mate van energieneutraliteit is relatief eenvoudig te berekenen door de jaarlijks benodigde input te delen door jaarlijkse opbrengst. In dit rapport wordt dat zowel per energiedrager afzonderlijk (gas / elektriciteit / warmte) gedaan als ook voor het totaal. Omdat de behoefte aan energie en de productie ervan vaak niet gelijktijdig plaatsvinden, is er nog niet vanzelfsprekend sprake van 'zelfvoorzienendheid'. De zelfvoorzienendheid is de mate waarin de lokaal opgewekte energie ook lokaal wordt benut, direct of via opslag van energie. Dit staat in tegenstelling tot de situatie waarin energie (deels) aan het net wordt teruggeleverd wanneer deze wordt opgewekt en ingekocht wanneer er weer behoefte is. De mate van zelfvoorzienendheid is alleen met uitgebreide dynamische

energiesimulaties te berekenen. In deze studie wordt de mate van zelfvoorzienendheid daarom uitsluitend kwalitatief ingeschat.

3.1.2 Regionaal en nationaal: regionale hernieuwbare energie en CO₂ uitstoot

Naast de lokale opwekking worden ook regionale opties bekeken. Aangezien Buiksloterham een stedelijk gebied zal worden met hoge dichtheden, lijkt het onhaalbaar alle benodigde energie lokaal op te wekken; regionale opties zullen daarom ook worden bekeken.

Tenslotte is voor de netto energievraag de CO₂ uitstoot berekend voor de verschillende opties. Deze wordt sterk beïnvloed door de huidige elektriciteitsmix en in het geval van stadswarmte door de CO₂ uitstoot van de stadswarmte. De gehanteerde emissiefactoren zijn weergegeven in onderstaande tabel:

Tabel 3-2 Gehanteerde emissiefactoren voor de beoordeling op CO₂. (Bron: <http://co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/>).

Energiedrager	Eenheid	CO ₂ (kg/eenheid)	Bron:
aardgas	Nm ³ GJ	1,884 59	http://co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/ brandstoffen energieopwekking – versie maart 2015
Elektriciteit (grijze stroom)	kWh GJ	0,526 146	http://co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/ elektriciteit - versie mei 2016
Elektriciteit (uit wind)	kWh GJ	0 0	http://co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/ elektriciteit - versie mei 2016 Dit is exclusief de productie van de windmolen. Indien de CO ₂ uitstoot t.g.v. de bouw van windmolens ook wordt meegenomen dan is deze ca. 12 gram CO ₂ per kWh
stadswarmte	GJ	20	Opgave volgens Westpoort Warmte, op basis van besparingsgetallen CO ₂ t.o.v. referentie. Warmtelevering AVI volgens http://co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/ is 26,27 kg CO ₂ per GJ warmte.

3.1.3 Overige beoordelingsaspecten

- De beoordeling van de embodied energy ten gevolge van materiaalgebruik is te vinden onder thema 3: overige criteria circulariteit.
- Vanaf 2020 zal voor alle nieuwe gebouwen de zogenaamde 'BENG' ('Bijna Energieneutraal Gebouw') gelden. Indien van toepassing, wordt voor de varianten tevens een vergelijking met de BENG indicatoren gemaakt. De BENG-eisen zijn op te delen in drie indicatoren (RVO, 2015):
 1. De maximale energiebehoefte gebouw [kWh/m²] - voor woonfunctie is dit de behoefte voor verwarmen en koelen, voor utiliteit is dit voor verwarmen, koelen en verlichting.
 2. Het maximale primair energiegebruik [kWh/m²].
 3. Het minimale aandeel hernieuwbare energie [%].

Concreet gaat het in de vergelijking met name om de eerste indicator. Voor wonen geldt deze eis alleen t.a.v. de energiebehoefte voor verwarmen en koelen, het maximum is gesteld op 25 kWh/m² per jaar.

3.2 Economie

Voor de economische kritische prestatie indicatoren is gekozen voor:

- De extra investeringen en operationele kosten over een periode van 15 jaar die een gebouweigenaar moet maken voor het energiesysteem, voor het gebied representatieve wooneenheid (zie toelichting aan het begin van hoofdstuk 3)
- Maatschappelijke kosten van het energiesysteem: extra kosten die over een groter deel van de maatschappij worden verdeeld dan alleen over de direct profijt hebbenden.

3.2.1 Extra kosten eindgebruiker

Voor de kostenbepaling zijn de investeringen voor de benodigde installaties en aansluitingen (capex) en de kosten voor het energieverbruik voor een periode van 15 jaar (opex) bepaald voor een representatieve wooneenheid: één appartement. De verschillen in investeringskosten en operationele kosten zijn volledig toe te kennen aan de installaties die benodigd zijn in het energiesysteem. Investeringskosten die in elke variant gelijk zijn, zoals de investeringen voor de bouwkundige schil, zijn buiten beschouwing gelaten.

3.2.2 Maatschappelijke kosten van het energie systeem:

Buiksloterham heeft reeds bestaande netwerken voor de levering van gas en elektriciteit en een nagelnieuwe backbone voor de levering van warmte. De implementatie van een warmtenet in de wijk is op kleine schaal begonnen, terwijl de technische levensduur van het bestaande gas netwerk nog niet is bereikt. De varianten zijn kwalitatief beoordeeld op de benutting van de bestaande infrastructuur en de benodigde infrastructurele investeringen per nieuw energiesysteem en daar waar mogelijk ook kwantitatief bepaald. Hiertoe is een inschatting gemaakt van de te verwachten piekvermogens voor elektriciteit per variant.

De maatschappelijke infrastructurele kosten zijn opgedeeld in investeringskosten van kabels en leidingen en vervangingskosten. De onderhoudskosten en bestratingskosten zijn buiten beschouwing gelaten. De cijfers die zijn gebruikt voor de bepaling van de maatschappelijke waarde van het energiesysteem zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3-3: Kentallen voor kosten infrastructuur (Bron: evaluatie van ondergrondse infrastructuur, 2007, COB).

	Gas leiding	Elektra kabel	Warmte leiding
Technische Levensduur (jaar)	65	65	43*
Gemiddelden			
Aanlegkosten (€/m)	65	67	400
Vervangingskosten (€/m)	65	67	400

* Deze levensduur is de gemiddelde waarde van de genoemde 35 jaar in rapport 'Evaluatie van ondergrondse infrastructuur, 2007 van het COB en de gepresenteerd 50 jaar levensduur in het rapport 'MKBA Warmte MRA', 2015 van CE Delft.

3.3 Circulariteit

Door de voornaamste belanghebbenden in Buiksloterham is de ambitie uitgesproken om van Buiksloterham een circulair gebied te maken. Er zal dus ontwikkeld worden vanuit de gedachte van de circulaire economie. Het begrip circulaire economie is een aanvulling op het 'people, planet, profit' paradigma en verwijst naar een regeneratieve economie waarin grondstoffen en natuurlijke hulpbronnen efficiënt worden beheerd en

waar geen significante schade aan essentiële ecosystemen wordt toegebracht. Een kernwaarde van de circulaire economie is dat grondstoffen niet verloren gaan en dat de kwaliteit en complexiteit van producten en materialen zo veel mogelijk behouden blijft. Verder is energie in een circulaire economie per definitie niet meer afkomstig van eindige, fossiele bronnen. Ook moet een dergelijke economie erop ingericht zijn om plaatselijke en globale ecosystemen (ons natuurlijk kapitaal) te ondersteunen en versterken in plaats van deze schade toe te brengen en biedt een circulaire economie een basis voor een gezonde en diverse samenleving.

De hiervoor genoemde indicatoren voor energie zijn alle indicatoren voor de mate van circulariteit maar zijn hiervoor niet allesbepalend. Zo geven deze indicatoren bijvoorbeeld geen beeld van de consumptie van primaire energie die verbonden is aan de productie, het onderhoud, en de uiteindelijke ontmanteling van de benodigde materialen en producten. Ook ontbreken andere milieubelastingen zoals de bijdrage aan eutrofiering, verzuring en de afbreuk van ecosystemen.

Om de verschillende varianten te kunnen beoordelen vanuit een breder, holistisch perspectief zijn de hiervoor genoemde indicatoren aangevuld met de volgende circulariteit indicatoren: 'materialen', 'water', 'energie, cumulatief', 'biodiversiteit en ecosystemen', 'gezondheid en welzijn' en 'adaptiviteit en veerkracht'. Ieder van deze indicatoren is vervolgens weer onderverdeeld in deel-, en eindindicatoren. Zo bestaat de indicator 'biodiversiteit en ecosystemen' uit de deelindicatoren 'verzuring van bodem en water' en 'biochemische verstoringen' die respectievelijk de equivalente SO₂ uitstoot en de equivalente PO₄ uitstoot als eindindicatoren hebben. De indicator 'energie, cumulatief' omvat de energie voor productie, onderhoud en uiteindelijke ontmanteling van benodigde materialen en producten die afkomstig is van eindige, fossiele bronnen. Enkele indicatoren zijn op kwantitatieve wijze bepaald, de rest is kwalitatief bepaald (voor meer details over de bepalingsmethode zie bijlage D1).

Deze rangschikking is bepaald middels expert workshops binnen Metabolic, waar aan de hand van systeem schema's de varianten geanalyseerd zijn. Tot slot is het van belang om op te merken dat de analyse uitsluitend betrekking heeft op de situatie in Buiksloterham waar reeds een bestaande infrastructuur ligt. De adviezen over circulariteit zijn dus niet zonder meer te extrapoleren naar ontwikkelingsprojecten waar dit niet het geval is.

3.4 Implementatie aspecten ('PSTLG's')

Bij het beoordelen van de haalbaarheid van (onderdelen van) varianten, speelt een baaierd van criteria een rol die van invloed kunnen zijn op de implementatiemogelijkheden. Bij implementatie aspecten moet natuurlijk gedacht worden aan algemene aspecten van de praktische invoering (energie, kosten en circulariteit, deze worden hierboven reeds beschreven). Hier gaat het om een inschatting van andere belangrijke beïnvloedende factoren: politiek (P), sociaal (S), technologisch(T), juridisch (L – legal) en governance (G). Deze factoren hebben als volgt betekenis in dit onderzoek:

- Politieke haalbaarheid: mate van effectief draagvlak bij relevante politieke organen
- Sociale haalbaarheid: mate van ondersteuning door bewoners/gebruikers o.m. door actieve deelname
- Technologische haalbaarheid: mate waarin bewezen technologie beschikbaar en flexibel is
- Juridische haalbaarheid: mate waarin wet- en regelgeving stimuleert of belemmert
- Governance: haalbaarheid en doeltreffendheid van sturing en organisatie

3.4.1 Politiek

Voor elk van de varianten is eerst beoordeeld in hoeverre een politiek draagvlak essentieel is voor realisatie. Wanneer dit voorwaardelijk is, is de vraag in hoeverre dit in de praktijk kan worden verwacht, waarbij de ervaringen in het gebied tot nu toe mede een indicator zijn. Onder effectief draagvlak wordt verstaan een draagvlak dat daadwerkelijk van invloed op het gevoerde beleid is (verder reikt dan loutere uiting van de wens tot ondersteuning).

3.4.2 Sociaal

Het gebied telt in juni 2016, ongeveer 400 bewoners. De meesten zijn op één of andere manier redelijk actief in de buurt en ze zijn zich bewust van de circulaire ambities. Er worden nog tenminste 3.000 nieuwe bewoners verwacht in de komende 8 jaar. Daaronder zijn er die bewust voor een woonwijk hebben gekozen waarin gestreefd wordt naar duurzame energievoorziening. Er zijn ook toekomstige bewoners die gaan voor het fraaie uitzicht over het IJ of die zonder meer blij zijn met een nieuwe sociale huurwoning. Op overwegende aanhang van de transitie idealen onder de nieuwe bewoners kan niet moeiteloos gerekend worden. Het streven is de plannen voor energievoorziening nieuwe stijl zo snel en overtuigend aan te kunnen bieden, dat bouwers er niet om heen hoeven, willen en kunnen, ongeacht de schaal waarop ze bouwen. Bij dit criterium wordt gekeken in hoeverre participatie van eindgebruikers mogelijk of vereist is.

3.4.3 Technologie

Bij dit criterium is gekeken naar de mate waarin technologie al beschikbaar en marktrijp is. Een situatie waarin op grote schaal risico's gelopen worden kan niet overtuigen en is onwenselijk. Naast deze beschikbaarheid en garanties op een ongestoorde werking, is aandacht besteed aan de flexibiliteit van de technologie. Vendor lock-ins of andere afhankelijkheden zijn ongewenst. Deze kunnen op termijn de prijsstelling beïnvloeden maar zijn ook een rem op nu nog niet voorziene innovaties.

3.4.4 Juridisch

Bij dit criterium gaat het om geldende wet- en regelgeving. Deze kan lokaal, provinciaal, nationaal of zelfs Europees zijn. Zowel publiekrechtelijke als privaatrechtelijke wet- en regelgeving is in de beschouwing betrokken. Het juridische aspect kan de verwerkelijking van een variant tegenhouden, beperken maar daarentegen ook bevorderen.

3.4.5 Governance

Enkele van de varianten vergen een vorm van sturing bij de ontwikkeling en organisatie bij het beheer die voor traditionele energievoorziening niet noodzakelijk is. Zonder deze nieuwe bemoeienis zullen alternatieven soms in het geheel niet van de grond komen of niet levensvatbaar blijven. Hier kunnen sociale en politieke aspecten een rol spelen maar deze zijn niet bepalend. Samenwerking tussen diverse betrokkenen, organisaties en personen, zal hier vrijwel altijd een voorwaarde zijn. Deze is vaak denkbaar maar niet altijd haalbaar. Is zij haalbaar, dient zij ook doeltreffend te zijn.

Of van haalbaarheid en doeltreffendheid sprake zal zijn, is gebaseerd op een inschatting van de bereidheid hiertoe bij betrokkenen, veelal deelnemers van een of beide workshops.

4 Bepaling energievraag en energiepotentie in Buiksloterham.

Voor het ontwikkelen van varianten voor de energievoorziening is het van belang te weten welke energievraag ingevuld dient te worden en wat de potentie is voor opwekking van hernieuwbare energie in het gebied.

Voor het bepalen van de verwachte energievraag en de potentie voor opwekking van duurzame energie zijn uitgangspunten gehanteerd ten aanzien van bestaande bouw en nieuwbouw. Voor de bestaande bouw is uitgegaan van het energiegebruik volgens gegevens werkelijk gebruik. Voor de nieuwbouw zijn op basis van bestemmingsplan en bestaande ontwikkelingen aannames gedaan t.a.v. te verwachten typen gebouwen, bouwhoogtes en ten aanzien van de bewonersgedrag: gebruik van energie, water, productie van afval en mobiliteit. Deze aannames worden beschreven in paragraaf 4.1.

In paragraaf 4.2 wordt de energiebehoefte voor de nieuwbouw bepaald op basis van de uitgangspunten en kentallen energiegebruik nieuwbouw. Hier is uitgegaan van twee opties: Optie A: zeer energiezuinig, en optie B: Isolatiewaarden gebouwschil (d.w.z. gevels en dak) volgens bouwbesluit.

Definitie energiebehoefte: De energiebehoefte voor ruimteverwarming, koeling en warm tapwater van gebouwen is de warmte of koude die nodig is om de gewenste binnentemperatuur cq tapwater temperatuur te bereiden. Deze behoefte is nog onafhankelijk van hoe deze energiebehoefte wordt ingevuld en is in feite met name een maat voor de kwaliteit van de gebouwschil (gevels, dak en begane grondvloer).⁸

In paragraaf 4.3 is het finale energiegebruik bepaald voor zowel de nieuwbouw als de bestaande bouw. De finale energie is de energie die aan de meter wordt gekocht in de vorm van de gangbare 'energiedragers', d.w.z. gas, elektriciteit of warmte. Tevens is hier een inschatting gemaakt van het energiegebruik voor openbare verlichting en mobiliteit, het laatste op basis van volledig elektrisch vervoer. Een overzicht van het totale te verwachten gebruik is gegeven in §4.3.6.

Definitie finaal energiegebruik: Het finale energieverbruik refereert aan het energieverbruik door de eindgebruiker. Voor woningen betreft dit de energie die aan de meter wordt gekocht. Deze kan dus bestaan uit de door de bewoners gekochte energiedragers, zoals gas, elektriciteit en/of warmte. Deze zijn afhankelijk van de gekozen gebouw installaties.

De potentie voor opwekking van hernieuwbare energie is bepaald in paragraaf 4.4. Hierbij is uitgegaan van toepassing zon- en windenergie op het beschikbare dakoppervlak en energie uit de aanwezige stromen 'afval' en rioolwater. Uitgangspunten voor deze berekening zijn genoemd in paragraaf 4.1.

Hoofdstuk 4 vormt hiermee de basis voor de basisvarianten energievoorziening zoals deze worden beschreven in hoofdstuk 5.

4.1 Uitgangspunten nieuwbouw

Voor het totaal aantal nieuwbouwwoningen is uitgegaan van de gegevens volgens de kavelkaart die in figuur 3 (§2.1.2) is getoond. Het percentage grondgebonden woningen verschilt per kavel. Voor het gebied is

⁸ Zie de definitie volgens Uniforme maatlat gebouwde omgeving en 'energiebehoefte' volgens NEN 7120: "de energiebehoefte wordt zo veel mogelijk bepaald zonder de invloeden van de specifieke systemen voor verwarming, koeling, warmtapwater en ventilatie"

uitgegaan van gemiddeld ca 13% grondgebonden woningen in rijtjes van 5, wat betekent dat 40% van de rijtjeswoningen hoekwoningen zijn. Dit is van invloed op de energiebehoefte. Bovenop de vierkante meters voor wonen is 15% extra vloeroppervlak voor werken aangenomen, conform de herziening van het bestemmingsplan.

In tabel 4-1 zijn de relevante eigenschappen van de verschillende typen woon/ werk eenheden getoond. Op deze eenheden is de bepaling van de energiebehoefte en energiepotentie gebaseerd. De vierkante meters met een functie werken zijn fictief opgedeeld in units van 100 m², om een vergelijking met de woon-werk eenheden makkelijker te maken.

Tabel 4-1 Uitgangspunten t.a.v. de te verwachten nieuwbouw in Buiksloterham, gebaseerd op kavelkaart (fig 3), het bestemmingsplan 2009 en de aanpassing t.a.v. het percentage werken.

Type bebouwing	Opp (BVO)	Totaal dakoppervlak	Beschikb. dakopp. Voor zonne-energie	Aantal units in het gebied
	m ²	m ² /unit	m ² /unit	aantal
Appartementen in gebouw met gemiddeld 8 verdiepingen.	105,0	13,1	10	2.998
Grondgebonden woningen in rijtjes van 5 geschakeld (40% hoekwoning)	125,0	41,7	25	453
werkunit (a 100 m²) Units van 100 m ² BVO in gebouw met 8 verdiepingen	100,0	12,5	10	544

In tabel 4-2 zijn de uitgangspunten van de gebruikers per type woning weergegeven t.a.v. watergebruik, afval en mobiliteit. Voor afval is uitgegaan van maximale scheiding volgens de gegevens van Milieucentraal.⁹ Dit gaat er van uit dat uiteindelijk 81% van ons afval gescheiden kan worden ingezameld. Er blijft dus relatief weinig restafval over en relatief veel GFT. Verder is uitgegaan van een aantal autokilometers van 44 km/dag per huishouden.

Tabel 4-2 Uitgangspunten t.a.v. gebruikers per type woning.

Uitgangspunten bebouwing:	Opp.	Aantal bewoners	warm water gebruik	GFT	rest-afval	auto kilometers
	m ²	nr	liter/pp/dag	kg/jr	kg/jr	km/jr
appartementen	105,0	1,8	120,0	151,2	175,1	16.060
Grondgeb. woningen	125,0	2,5	120,0	302,4	175,1	16.060
Werkunit (a 100 m²)	100,0	nvt	0	0	0	nvt

⁹ <https://www.milieucentraal.nl/minder-afval/afval-scheiden-en-recyclen/cijfers-over-afvalscheiding/>

4.2 Bepaling energiebehoefte nieuwbouw

In deze paragraaf is de energiebehoefte voor verwarmen, koelen, ventileren en warm tapwater en het elektriciteitsgebruik van gebouwgebruikers bepaald per woon/werk eenheid evenals voor het totaal van alle nieuwbouw.

4.2.1 Kentallen energiegebruik per woningtype en huishouden

Voor het bepalen van de energiebehoefte zijn de kentallen voor energiebehoefte gebaseerd op de Uniforme maatlat gebouwde omgeving gebruikt (RVO, 2015a). Hierbij is uitgegaan van de volgende twee opties:

- OPTIE A: Energiezuinige gebouwschil: Met deze optie kan een EPC van 0,4 gehaald worden met een standaard energiesysteem (HR gasketel en elektriciteit van het net), zonder duurzame opwekking. Deze optie voldoet ruim aan de 1^e eis van de BENG indicatoren.
- OPTIE B: Gebouwschil volgens minimale isolatiewaarden uit het Bouwbesluit. Met stadsverwarming of andere efficiënte/ duurzame oplossingen kan dan wel een EPC van 0,4 gehaald worden.

In tabel 4-3 en 4-4 staat de energiebehoefte volgens beide opties vermeld:

Tabel 4-3 Energiebehoefte wonen en werken nieuwbouw optie A: Energiezuinig

Energiebehoefte optie A: Energiezuinig	Ruimte-verwarming	Tapwater verwarming	Koel-behoefte	elektriciteit geb.geb.*	elektricitet apparaten	Totaal elektriciteits-gebruik
	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr
appartementen	3,6	7,1	3,0	2,5	7,3	9,8
grondgebonden woningen	5,7	7,8	2,5	2,9	8,9	11,8
werkunit (a 100 m ²)	5,2	0,6	5,8	7,9	5,4	13,3

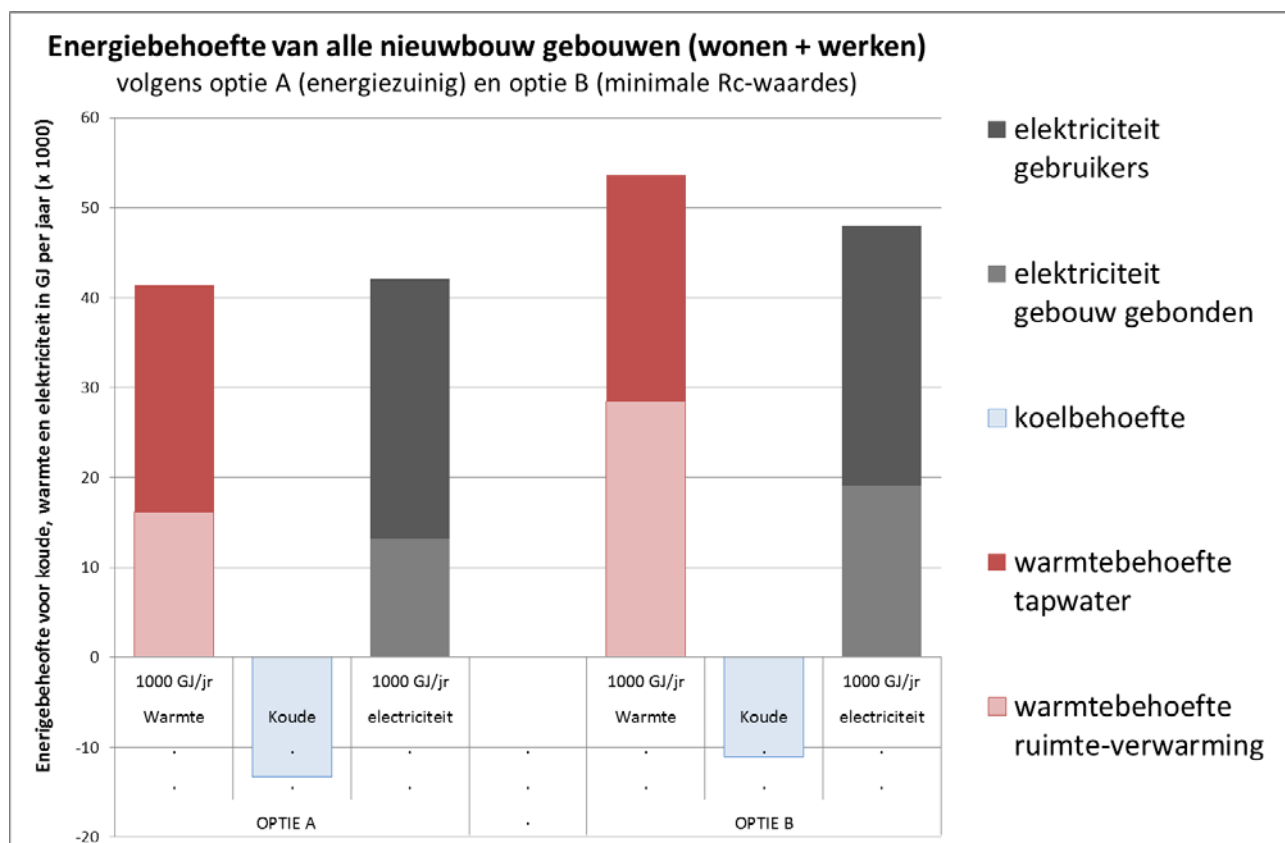
Tabel 4-4 Energiebehoefte wonen en werken nieuwbouw optie B: Bouwbesluit

Energiebehoefte optie B: Bouwbesluit	Ruimte-verwarming	Tapwater verwarming	Koel-behoefte	elektriciteit geb.geb.*	elektricitet apparaten	Totaal elektriciteits-gebruik
	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr
appartementen	7,1	7,1	2,4	4,2	7,3	11,5
Grondgebonden woningen	9,6	7,8	1,4	4,8	8,9	13,7
werkunit (a 100 m ²)	8,9	0,6	5,8	7,9	5,4	13,3

* Gebouw gebonden elektriciteit (elektriciteit geb.geb.) is in feite finaal gebruik elektriciteit voor hulpenergie / ventilatoren en verlichting (RVO, 2015a).

4.2.2 Totale energiebehoefte van alle nieuwbouw in het gebied

In figuur 14 is de totale energiebehoefte voor verwarming en koeling en het finale elektriciteitsgebruik weergegeven. De warmtevraag bestaat uit een vraag voor ruimteverwarming en een voor warm tapwater. Het elektriciteitsgebruik bestaat uit een deel voor gebouwgebonden functies (verlichting en ventilatoren) en een deel 'gebruikers-energie' (voor computers, TV en dergelijke).



Figuur 16: Totale energiebehoefte van de in BSH te verwachten nieuwbouw tot 2024 voor ruimteverwarming, koeling en tapwater verwarming. Optie A en optie B geven verschillende isolatiegraden van de schil weer (respectievelijk zeer energiezuinig en volgens minimale eisen Bouwbesluit)

BENG

Op basis van bovenstaande gegevens kan de eerste indicator van de BENG (Bijna Energie Neutraal) eis worden berekend. De eerste indicator betreft de energiebehoefte voor verwarming en koeling. Voor woningen mag de totale energiebehoefte voor verwarmen en koelen 25 kWh/m² per jaar zijn; voor werken wordt ook verlichting meegenomen en mag het totaal van verwarming, koeling en verlichting niet groter zijn dan 50 kWh/m² per jaar. (www.rvo/beng). Voor bovengenoemde nieuwbouwopties in BSH is in tabel 4-5 de energiebehoefte weergegeven in kWh/m²*jr. Zoals te zien is voldoet optie A ruimschoots aan de 1^e BENG eis t.a.v. energiebehoefte. Optie B voldoet precies aan de 1^e BENG eis t.a.v. energiebehoefte.

Tabel 4-5 Totale energiebehoefte voor verwarming en koeling (optie A en B)

		Ruimte-verwarming	Koelbehoefte	Totaal energiebehoefte
		kWh/m ² *jr	kWh/m ² *jr	kWh/m ² *jr
OPTIE A (energiezuinig)	appartementen	9,5	7,9	17,5
	grondgebonden woningen	12,6	5,6	18,2
	werkunit (a 100 m ²)	14,4	16,1	30,6
Optie B (bouwbesluit)	appartementen	18,8	6,3	25,1
	grondgebonden woningen	21,4	3,2	24,6
	werkunit (a 100 m ²)	14,4	16,1	30,6

4.3 Bepaling finaal energiegebruik voor bestaande bouw en nieuwbouw

In deze paragraaf wordt het finale energiegebruik bepaald voor de volgende onderdelen:

- Bestaande bouw: de finale energie wordt bepaald op basis van het werkelijke huidige gebruik.
- Nieuwbouw: Berekend finaal energiegebruik¹⁰ voor drie varianten:
 - Variant 1: Gas en elektra (gebruikmakend van een HR-ketel)
 - Variant 2: All-electric (gebruikmakend van warmtepompen met bodem als bron)
 - Variant 3: Warmte en elektriciteit. (gebruikmakend van externe warmtelevering)
- Mobiliteit en openbare verlichting: om de relevantie van energiegebruik voor mobiliteit en openbare verlichting te bekijken is een inschatting gemaakt op basis van autokilometers (voor de mobiliteit) en lengte van wegen (voor aantallen lichtpunten en energieverbruik)

4.3.1 Finaal energiegebruik bestaande bouw

Voor de bestaande bouw zijn gegevens voor het energieverbruik verkregen via Alliander. Het verbruik in 2014 is gegeven in onderstaande tabel:

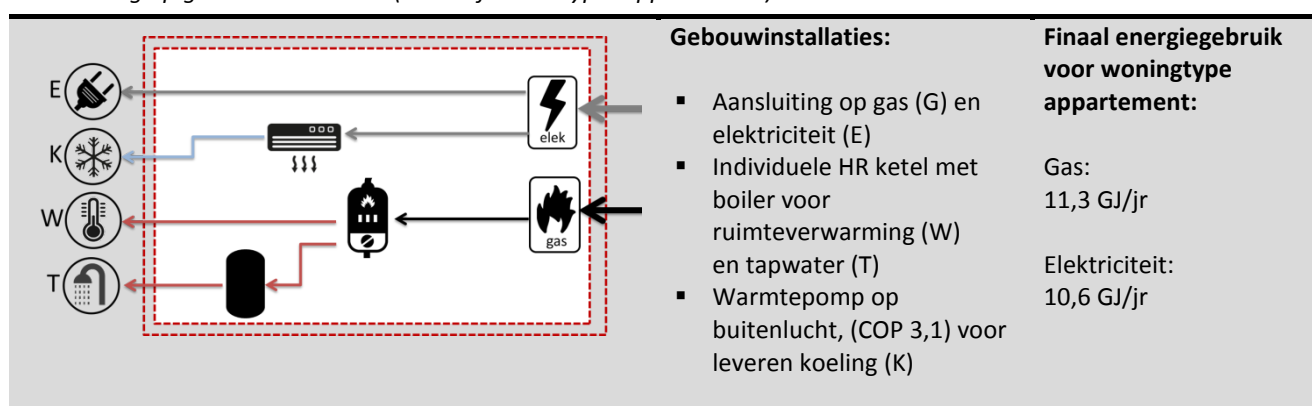
Tabel 4-6 Finaal energiegebruik van de bestaande bouw in 2014.

	Elektriciteitsverbruik bestaande bouw		Gasverbruik bestaande bouw	
In gebruikelijke eenheden:	27.032.571	kWh/jaar	2.465.891	m ³ /jaar
Omgerekend:	97.317	GJ/jaar	86.725	GJ/jaar

4.3.2 Finaal energiegebruik nieuwbouw variant 1: Gas en Elektriciteit

Voor variant 1 wordt uitgegaan van de in Nederland traditionele energievoorziening voor woningen en werkunits: ruimteverwarming en tapwater worden geproduceerd met een HR ketel, en elektriciteit wordt betrokken van het nationale elektriciteitsnet. In onderstaande tabel zijn de benodigde gebouwinstallaties weergegeven en genoemd voor de referentiewoning in BSH (type appartement). In de bijlagen is ook de finale energie voor de overige typen woon / werk eenheid weergegeven.

Tabel 4-7 Schematische weergave van de benodigde gebouwinstallaties voor energievoorziening nieuwbouw variant 1: aansluiting op gas en elektriciteit. (voor referentietype: appartement)

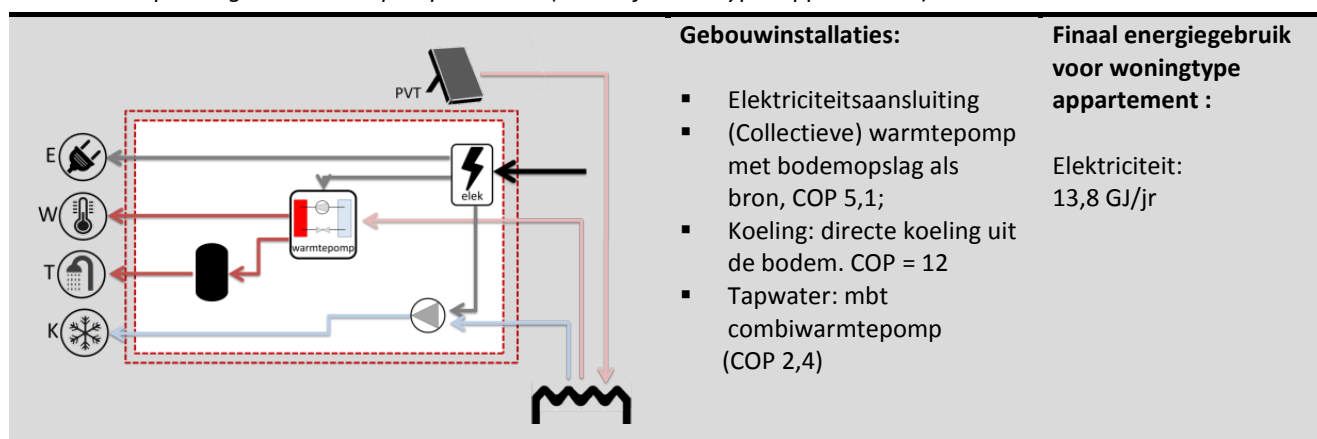


¹⁰ De gegevens voor finaal energiegebruik zijn gebaseerd op de kentallen uit de uniforme maatlat gebouwde omgeving (RVO, 2015a). De bijbehorende kentallen voor efficiënties van gebouwinstallaties zijn uit dezelfde bron afkomstig en zijn ook in de beschrijving van de varianten (§4.3.2 t/m § 4.3.4) weergegeven.

4.3.3 Finaal energiegebruik nieuwbouw variant 2: All-Electric (met warmtepompen en WKO)

Voor nieuwbouwvariant 2 wordt uitgegaan van een all-electric oplossing met een warmtepomp op een open bodemopslagsysteem (open WKO). Koeling kan hierdoor direct uit de bodem komen. Aangezien de koelvraag doorgaans aanzienlijk lager is dan de warmtevraag (inclusief warmtapwater), is regeneratie van de bodem nodig. Dit kan op meerdere manieren, bijvoorbeeld m.b.v. PVT panelen (panelen die zon omzetten in zowel elektriciteit als warmte). De woning is aangesloten op het elektriciteitsnet. In onderstaande tabel zijn de benodigde gebouwinstallaties weergegeven en genoemd voor de referentiewoning in BSH (type appartement). In de bijlagen is ook de finale energie voor de overige typen woon / werk eenheid weergegeven.

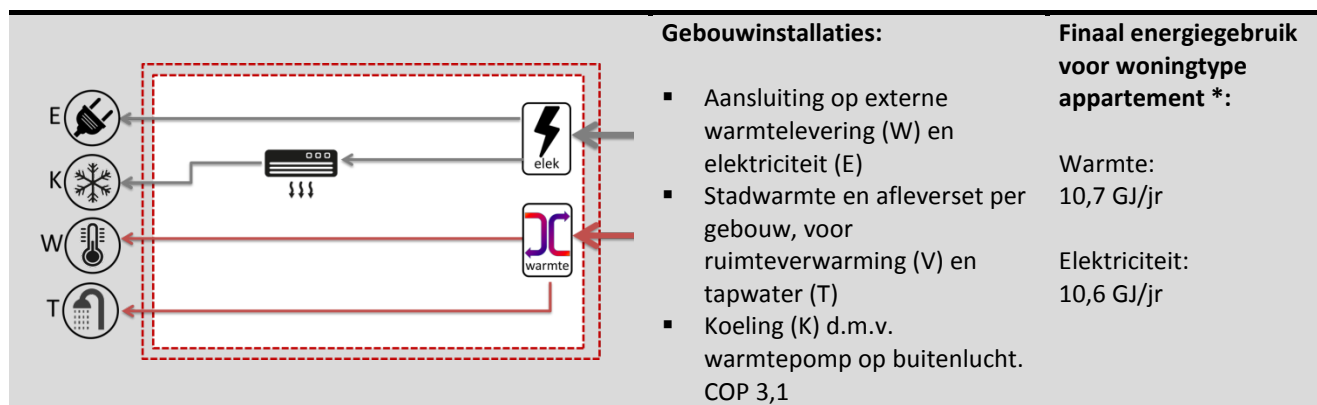
Tabel 4-8 schematische weergave van de benodigde gebouwinstallaties voor energievoorziening nieuwbouw variant 2: All electric oplossing met warmtepomp en WKO. (voor referentietype: appartement)



4.3.4 Finaal energiegebruik variant 3: Warmte en Elektriciteit (externe warmtelevering)

Voor nieuwbouwvariant 3 wordt uitgegaan van externe warmtelevering voor zowel ruimteverwarming als tapwater. In de woning is daarvoor een afleverset benodigd. Voor de elektriciteitsvraag is er een aansluiting op het elektriciteitsnet. Koeling wordt geleverd door een warmtepomp op buitenlucht (airco). In onderstaande tabel zijn de benodigde gebouwinstallaties weergegeven en genoemd voor de referentiewoning in BSH (type appartement). In de bijlagen is ook de finale energie voor de overige typen woon/ werk eenheid weergegeven.

Tabel 4-9 Schematische weergave van de benodigde gebouwinstallaties voor energievoorziening nieuwbouw variant 3: aansluiting op externe warmtelevering en elektriciteit.



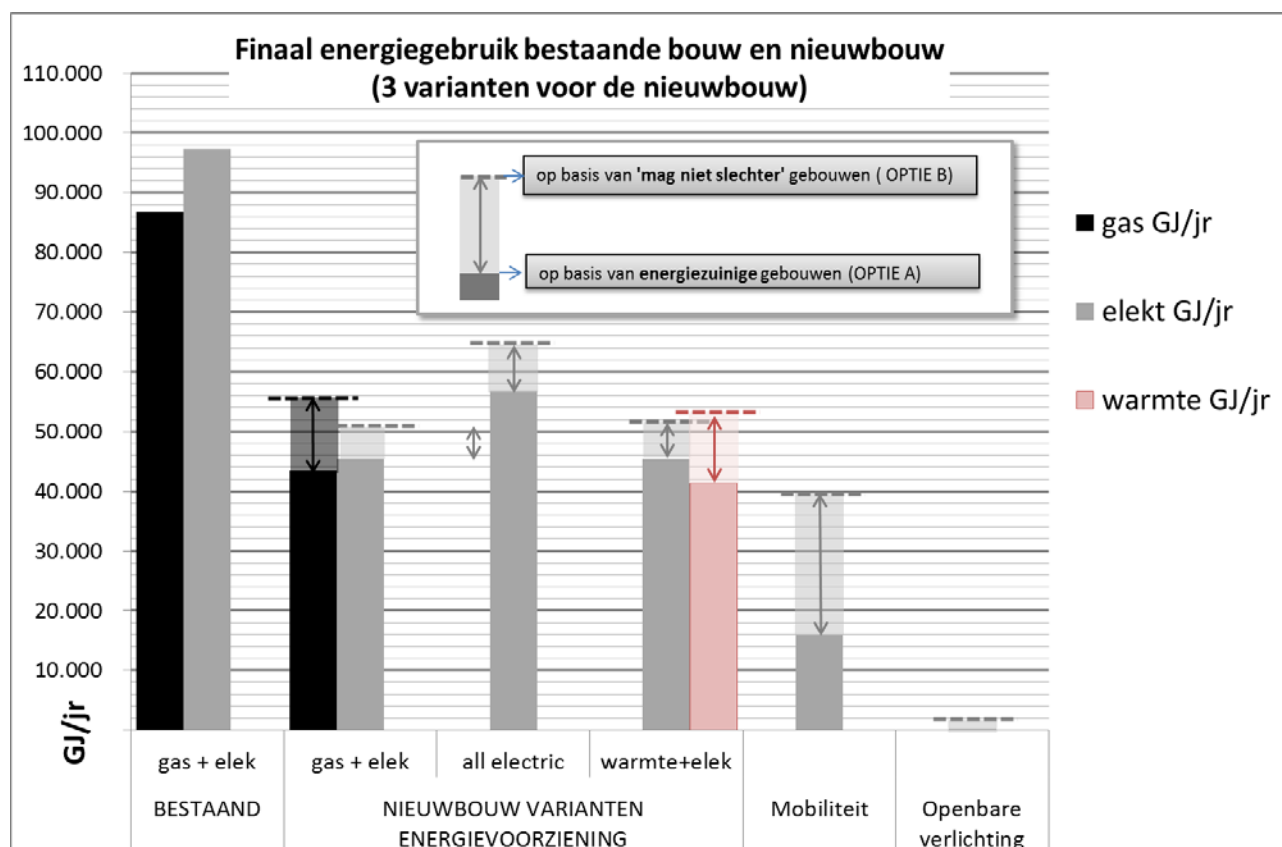
4.3.5 Finaal energiegebruik mobiliteit en openbare verlichting

Om een beeld te krijgen van de relevantie van het energiegebruik voor mobiliteit en openbare verlichting is een inschatting van het te verwachten energiegebruik gemaakt. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- OPTIE A: Energiezuinig:
 - o Alle vervoer elektrisch, met energiezuinige auto. Verbruik: 8 kWh /100 km
 - o Alle straatverlichting = led verlichting. Verbruik: 0,06 kWh/m² per jaar.
- OPTIE B: standaard
 - o Elektrisch vervoer met minder energiezuinige auto's. Verbruik gemiddeld 20 kWh/100 km)
 - o Standaard straatverlichting. Verbruik 0,37 kWh/m² per jaar.

4.3.6 Totaaloverzicht finaal energiegebruik

In onderstaande figuur wordt het finale energiegebruik weergegeven voor de bestaande bouw, voor de varianten van energielevering voor de nieuwbouw en voor mobiliteit en openbare verlichting. Op de Y-as staat het energiegebruik in GJ/jr dat rond 2024 verwacht kan worden. Bij het finale gebruik van de drie varianten energievoorziening voor de nieuwbouw is tevens de spreiding aangegeven tussen het gebruik bij zeer goed geïsoleerde woningen (OPTIE A) en bij isolatie volgens eisen uit het bouwbesluit (OPTIE B). Aandachtspunt is dat de kentallen gebaseerd zijn op standaard gebruik (RVO 2015a). In de praktijk kan het gebruik afwijken. Voor zeer energiezuinige woningen ligt het gebruik vaak hoger dan volgens standaard berekeningen (Majcen et. al., 2013).



Figuur 17: overzicht totaal finaal energiegebruik voor bestaande bouw, 3 varianten nieuwbouw, mobiliteit en openbare verlichting, voor heel Buiksloterham.

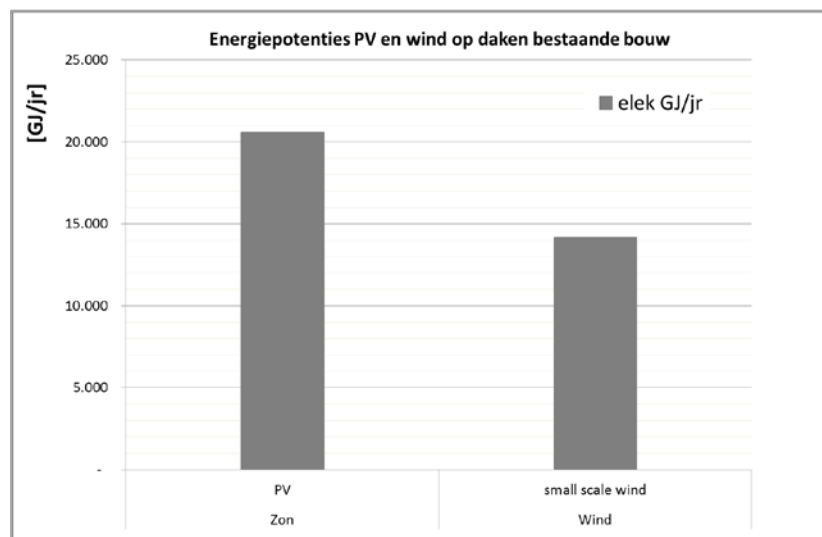
4.4 Energie potenties opwek hernieuwbare energie

In deze paragraaf is het potentieel aan opwekking van hernieuwbare energie in kaart gebracht, voor de nieuwbouw en de bestaande bouw afzonderlijk. In beide gevallen is uitgegaan van het gebruik van totaal beschikbaar dakoppervlak voor zon en windenergie. Daarnaast is voor de nieuwbouw de potentie van energieopwekking uit afvalstromen en riool meegenomen. Voor de bestaande bouw is dit achterwege gelaten omdat gegevens over type watergebruik en afval niet voorhanden waren.

4.4.1 Energiepotentie bestaande bouw

Voor de bestaande bouw is alleen gekeken naar de potentie van PV of windenergie op de daken van de voornamelijk bestaande industriële gebouwen (zie paragraaf 2.4). De voorkeur heeft het vanzelfsprekend de energievraag van de bestaande bouw te verminderen door isolatiemaatregelen te doen treffen en besparingen te stimuleren.

Het totale dakoppervlak van de bestaande bouw is 152.355 m². Voor de bestaande bouw is uitgegaan van een benuttingsfactor voor PV van 0,25; d.w.z. dat op elke vierkante meter dakoppervlak 0,25 vierkante meter PV geplaatst zal kunnen worden. Dit komt overeen met ca 36.000 m² zonnepanelen. Voor wind is uitgegaan van benutting van het gehele dakoppervlak. Deze uitgangspunten resulteren in een energiepotentie van PV van ruim 20.000 GJ/jaar en voor wind van bijna 15.000 GJ/jaar, zoals is weergegeven in figuur 18.

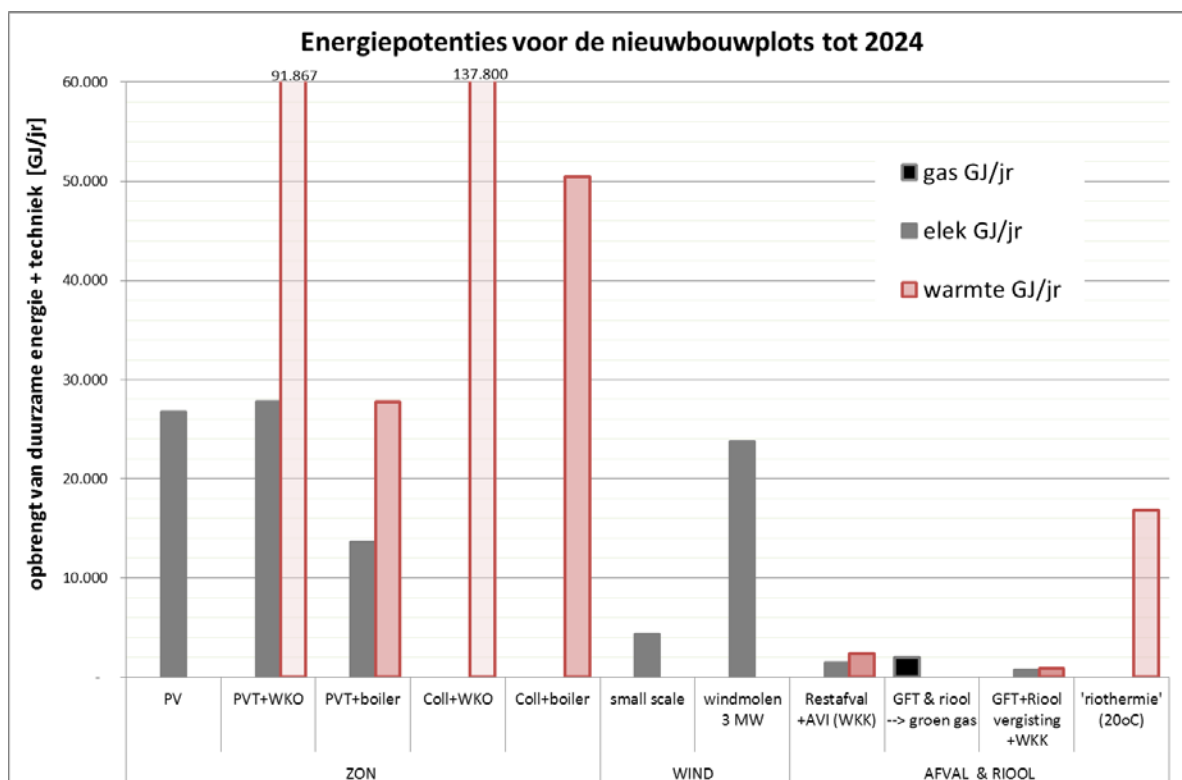


Figuur 18: Energiepotentie voor opwekking elektriciteit met PV en kleine schaal windenergie, op de daken van de bestaande bebouwing.

4.4.2 Energiepotentie nieuwbouw

Voor de nieuwbouw is uitgegaan van maximale benutting van het dakoppervlak voor zonne-energie en windenergie, zoals is aangegeven bij de uitgangspunten in paragraaf 4.1. Om dit maximum te behalen zal bij het ontwerp rekening gehouden moeten worden met oriëntatie op de zon, zoals dat voor het ontwerp van BlackJack is gebeurd. Dit en de overige uitgangspunten zoals beschreven in 4.1 resulteren in de energiepotenties zoals die in figuur 19 zijn weergegeven.

Daarnaast is de energiepotentie uit afvalwater bepaald, zowel de chemische energie die kan worden gewonnen uit rioolslib en zwart water, als de thermische energie die kan worden gewonnen door warmteterugwinning. Tot slot is de chemische energie die uit restafval kan worden verkregen meegenomen, waarbij is uitgegaan van maximale scheiding zoals toegelicht in paragraaf 4.1.



Figuur 19: Energiepotenties nieuwbouw t.g.v. zon en wind op dakoppervlak en benutting van de afval en rioolwater.

Bespreking van de resultaten

- De opbrengt van zonne-energie, zowel elektrisch als thermisch, is aanzienlijk. Dit heeft te maken met de aanname dat bijna het gehele dakoppervlak van de nieuwbouw beschikbaar is voor PV. Dit is een ambitieus uitgangspunt. Aan de andere kant is nog geen rekening gehouden met mogelijke PV op gevels.
- Zoals blijkt uit de resultaten kan de beschikbaarheid van lokale warmte op relatief lage temperaturen (15 ~ 35 °C) erg groot genoemd worden. Zowel PVT panelen (panelen die straling van de zon omzetten in zowel elektriciteit als warmte) als 'gewone' thermische zonnecollectoren kunnen veel meer warmte produceren wanneer dit op lage temperaturen kan worden afgegeven. In combinatie met WKO levert dit dus veel meer warmte op dan wanneer een boiler moet worden geladen. Naast de potentie laagwaardige warmte van de zon is er ook veel potentie in terugwinning van de warmte uit het riool. Dit wordt ook wel 'riothermie' genoemd. Hiertoe wordt een warmtewisselaar in de riolering geplaatst, waarmee warmte en/of koude wordt gewonnen. Een voordeel van warmte uit riool t.o.v. zonnewarmte is dat rioolwater ook in de winter warmte beschikbaar heeft, wanneer de vraag naar warmte het grootst is. Voor toepassing als ruimte- of tapwaterverwarming dient de laagwaardige warmte altijd op een hoger temperatuurniveau gebracht te worden, bijvoorbeeld met een warmtepomp. De benodigde elektriciteit voor de warmtepomp wordt lager naarmate de brontemperatuur dichterbij de te leveren temperatuur ligt voor dezelfde hoeveelheid te leveren warmte.
- M.b.t. de potenties uit afval: voor het bepalen van de hoeveelheid restafval en GFT is uitgegaan van maximale scheiding (dus zo circulair mogelijk). Dit betekent dat er relatief veel GFT is, en relatief weinig restafval. Restafval in een AVI en GFT (na vergisting) in een WKK kunnen elektriciteit en warmte leveren.
- M.b.t. potenties voor gas: Er kan een zeer beperkte hoeveelheid biogas worden gemaakt uit reststromen uit het gebied (GFT en zwart water). Dit kan weer worden omgezet in groen gas.

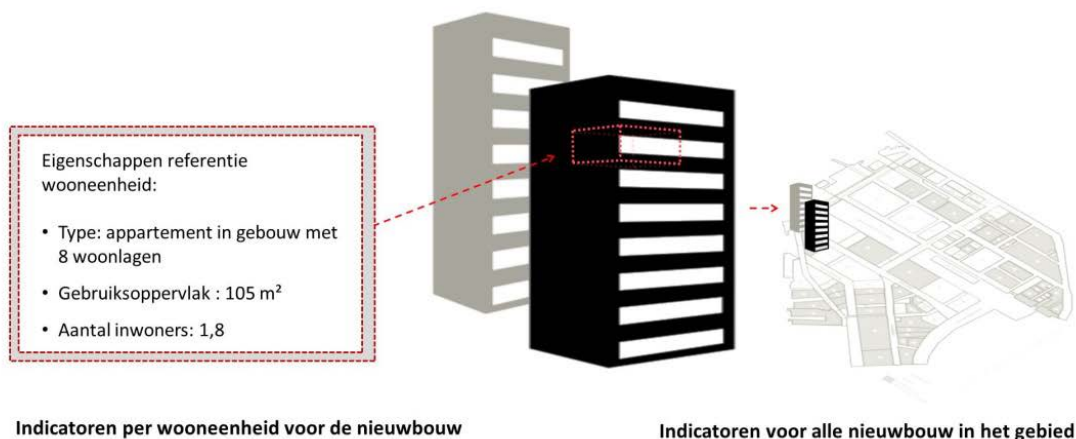
5 Basisvarianten energievoorziening

In dit hoofdstuk worden basisvarianten voor de energievoorziening beschreven en beoordeeld op de KPI's: energie, economie, circulariteit en implementatieaspecten.

Vanwege het uiteenlopende karakter van bestaande bouw en nieuwbouw worden deze apart behandeld. Voor de bestaande bouw wordt in eerste instantie alleen gekeken naar het huidige finale energiegebruik en in hoeverre deze ingevuld kan worden opwekking op eigen dak. Voor de nieuwbouw zijn drie varianten beschreven.

De drie varianten energievoorziening voor de nieuwbouw zijn gebaseerd op de varianten voor finale energievraag zoals deze in paragraaf 4.3 zijn beschreven op gebouwniveau; in dit hoofdstuk worden deze verder uitgewerkt op wijkniveau. Bovenop de finale energie van de gebouwen (d.w.z. de energie die aan de meter wordt gekocht), komen het energiegebruik of de energieverliezen op gebiedsniveau. Vervolgens wordt gekeken in welke mate de benodigde energie lokaal dan wel regionaal kan worden opgewekt met hernieuwbare energie volgens de gegevens die bepaald zijn in paragraaf 4.4. Voor alle varianten wordt uitgegaan van hetzelfde beschikbare dakoppervlak voor wind en zonne-energie, waarbij is uitgegaan van maximale benutting. De gekozen techniek verschilt wel per variant. Aangezien voor alle varianten de benodigde energie voor mobiliteit en openbare verlichting gelijk is, wordt deze niet meegenomen in de studie.

De meeste beoordelingsaspecten worden bekeken voor een totaal (totaal van de nieuwbouw). Daarnaast is voor de kosten gekeken naar de kosten voor de eindgebruiker, waarbij het meest voorkomende woningtype gekozen is als representatieve wooneenheid. Dit betreft een appartement van 105 m² in een woongebouw van 8 verdiepingen, zoals eerder toegelicht in hoofdstuk 3 en weergegeven in onderstaande figuur.



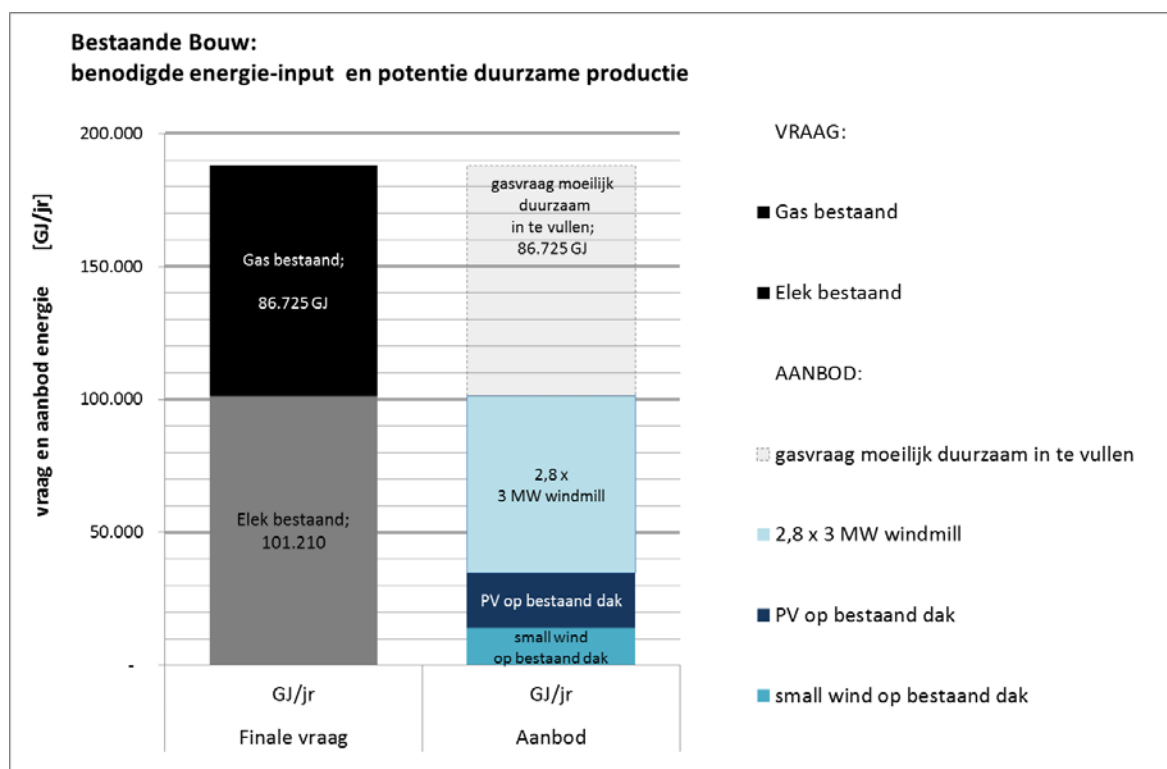
Figuur 20: De varianten nieuwbouw worden beoordeeld voor het geheel van de nieuwbouw en voor een representatieve wooneenheid (herhaling van figuur 14)

In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt het '0-alternatief' voor Buiksloterham beschreven; de situatie die er is en zal ontstaan indien er geen nieuwe ingrepen of interventies plaatsvinden.

5.1 Bestaande bouw

5.1.1 Beschrijving verduurzaming energie bestaande bouw

Voor de bestaande bouw wordt uitgegaan van het huidige finale energiegebruik zoals beschreven in paragraaf 4.3. Daarbovenop zijn verliezen op gebiedsniveau meegenomen. Voor gaslevering zijn deze verwaarloosbaar, voor elektriciteit is gerekend met 4% transportverliezen. Voor de energiepotenties is uitgegaan van benutting van het dakoppervlak voor opwekking van duurzame energie, zoals gegeven in paragraaf 4.1 en 4.4. De resulterende energiebalans is te zien in figuur 21.



Figuur 21: energiepotenties nieuwbouw t.g.v. zon en wind op dakoppervlak en benutting van de afval en rioolwater.

5.1.2 Algemene kwalitatieve beoordeling

Voor de bestaande bouw is het niet mogelijk om op het eigen dak voldoende elektriciteit op te wekken om de eigen behoefte te dekken. Om 'energieneutraal' te kunnen zijn is nog een grote hoeveelheid duurzaam op te wekken elektriciteit nodig, gelijk aan de capaciteit van bijna 3 grote (3 MW) windmolens. De gasvraag is überhaupt niet duurzaam in te vullen. Verdere verbetermogelijkheden worden besproken in hoofdstuk 5.

De bestaande bouwvoorraad wordt voorzien van 35.955m² zonnepanelen. Buiksloterham was een industriegebied waar klanten doorgaans op het middenspanningsnet aangesloten waren. De zonnepanelen op de bestaande industriegebouwen kunnen een piekvermogen van 5,88 MWp produceren. De bedrijven zijn (nog) steeds op het middenspanningsnet aangesloten. Voor deze variant zijn geen extra investeringen voor de netwerkbeheerder in het net nodig. Echter, de zonnestroom producent heeft mogelijk wel aansluitkosten. Deze kosten kunnen hoog zijn. Opgemerkt dient te worden dat dit vooral voor wind een ambitieus uitgangspunt is en het in de praktijk de vraag zal zijn of urban wind te verkiezen is boven bijvoorbeeld een grotere windmolen in de regio, vanwege o.a. de hogere efficiëntie.

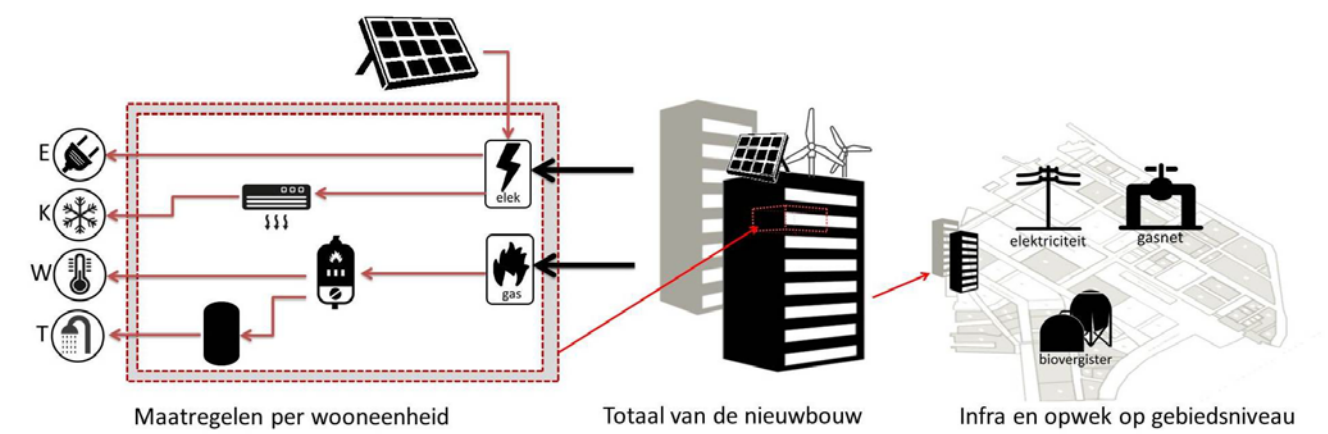
5.2 Nieuwbouw Variant 1: Traditioneel: Gas en Elektriciteit

5.2.1 Beschrijving variant 1

In deze variant wordt alle warmte in de gebouwen (voor wonen en werken) geproduceerd met HR ketels. Elektriciteit wordt betrokken van het net. Koeling wordt gerealiseerd met een airco. Het finale energiegebruik, zoals bepaald in paragraaf 4.3, is als uitgangspunt genomen. Vervolgens is dit gebruik zoveel mogelijk ingevuld met lokale hernieuwbare energie, op basis van de gegevens zoals gepresenteerd in paragraaf 4.4. Op woningniveau betekent dit 10 m² PV voor de appartementen en werkunits (per 100 m² GVO) en 25 m² PV per grondgebonden woning. Vanwege de energiedragers gas en elektriciteit is met name ingezet op maximale opwekking van elektriciteit en gas. De daarvoor benodigde maatregelen op gebouw- en gebiedsniveau zijn weergegeven in tabel 5-1.

Tabel 5-1 Overzicht maatregelen voor energievoorziening nieuwbouw variant 1.

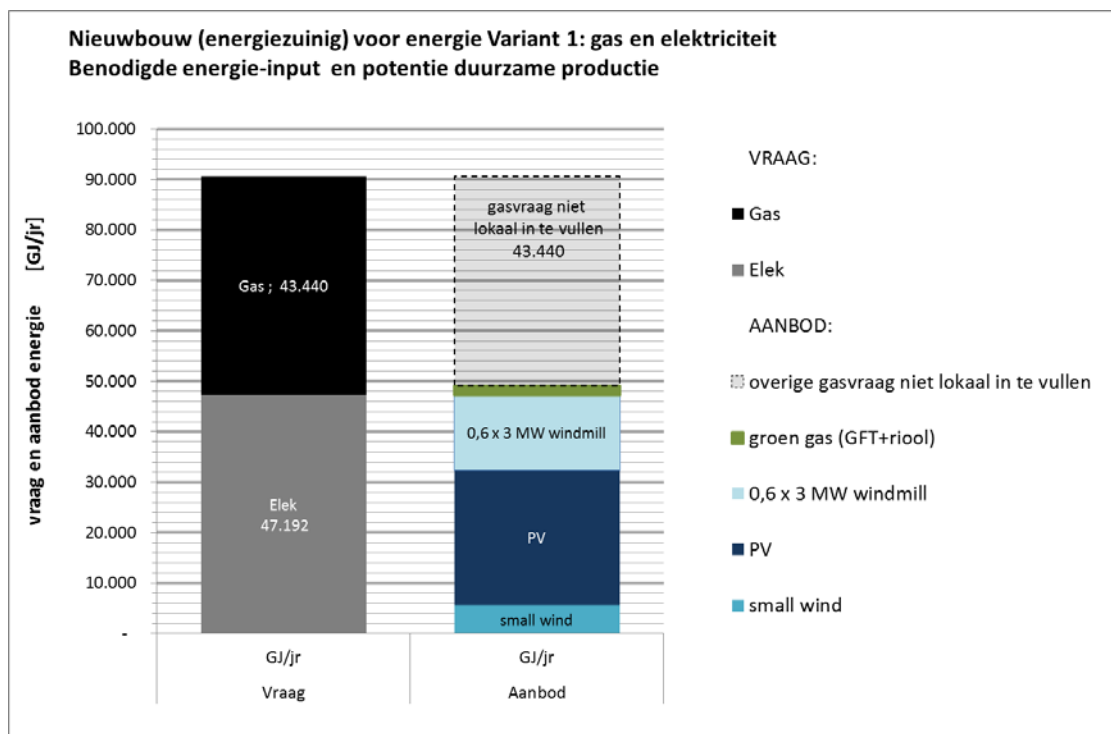
Maatregelen op gebouwniveau (type: appartement)	Infrastructuur & opwek op gebiedsniveau
Gebouwinstallaties - Aansluiting op gas en elektriciteit - Individuele HR ketel met tapwaterboiler - Airco met COP 3,1 Bruto finaal energiegebruik: Gas: 11,3 GJ/jr Elektriciteit: 10,6 GJ/jr	Infrastructuur - Gasnet - Elektriciteitsnet (transportverliezen 4%) Opwek op gebiedsniveau - Totaal van alle PV op gebouwniveau: 46.737 m² PV - Totaal van alle kleine schaal wind: 4.346 GJ/jr - Biogas WKK met het GFT afval en zwart water van alle bebouwing
Opwek op gebouwniveau 10 m² PV, optimaal georiënteerd Opwek: 5,7 GJ elektriciteit per jaar Netto finaal energiegebruik (o.b.v. salderen): Gas: 11,3 GJ/jr Elektriciteit: 10,6 – 5,7 = 4,9 GJ/jr	



5.2.2 Beoordeling energie variant 1

De resulterende energiebalans op gebiedsniveau voor variant 1 is weergegeven in figuur 21. Zichtbaar wordt dat het mogelijk is met maximale inzet van zon- en windenergie ruim tweederde van de totale elektriciteitsvraag te dekken. Hierbij dient opgemerkt te worden dat is uitgegaan van maximale benutting van het gehele dakoppervlak, zowel voor wind als voor zon. Daarnaast is uitgegaan van volledig 'salderen', wat betekent dat er een hoog piekaanbod aan elektriciteit zal ontstaan in de zomer. De productie van groen

gas uit GFT en zwart water kan totaal slechts 4% van de gasvraag dekken. De resterende gasvraag is niet lokaal in te vullen.



Figuur 22: Energiepotenties nieuwbouw t.g.v. zon en wind op dakoppervlak en benutting van de afval en rioolwater.

In onderstaande tabel zijn de KPI's voor energie voor nieuwbouw variant 1 weergegeven. Voor toelichting op de begrippen en de gebruikte CO₂ emissiefactoren wordt verwezen paragraaf 3.1.

Tabel 5-2 Overzicht KPI's energie voor energievoorziening nieuwbouw variant 1.

Onderdeel	Beoordeling				Score
	Eenheid	Gas	Elektriciteit	Totaal	
1.1 Finaal energiegebruik nieuwbouw	GJ/jr	43.440	45.377	88.817	Nvt
1.2 Energie-input gebied tbv nieuwbouw	GJ/jr	43.440	47.192	90.632	nvt
1.3 Lokaal hernieuwbaar opgewekt	GJ/jr	1.943	32.359	34.302	nvt
1.4 Netto energie-input gebied	GJ/jr		14.833	14.833	nvt
1.5 % lokaal hernieuwbaar	%	4%	69%	38%	38%
1.6 % totaal hernieuwbaar (lokaal + regionaal)	%	4%	100%	54%	54%
1.7 CO ₂ uitstoot	ton CO ₂ /jr	2.443	-	2.443	2.443
1.8 Mate van energie zelfvoorzienendheid	kwalitatief	De gasvraag is niet lokaal duurzaam in te vullen en zelfvoorzienendheid is daarom met deze variant onhaalbaar. Daarnaast is (nog) geen rekening gehouden met opslag van energie, waardoor bovendien de mismatch in tijd tussen vraag en aanbod van elektriciteit niet wordt opgelost en er een groot piekaanbod zal ontstaan.			Rood

5.2.3 Beoordeling economie variant 1

In tabel 5.3 is een overzicht van de kosten voor de eindgebruiker gegeven en een samenvatting van de beoordeling van de maatschappelijke kosten. Deze worden vervolgens nader toegelicht.

Tabel 5-3 Overzicht KPI's economie voor variant 1.

Onderdeel:		Score
2.1 Kosten voor de eindgebruiker	- CAPEX: € 5.690,- - OPEX (15 jr) : € 7.204,-	TOTAAL € 12.919,-
2.2 Maatschappelijke kosten	Benutting bestaande gasnet	neutraal
	Benutting bestaande elektriciteitsnet	neutraal
	Piekvermogen/vraag nieuw elektriciteitsnet (MWp)	7,65
	Benutting stadswarmte backbone	n.v.t.

Toelichting kosten eindgebruiker

De eindgebruiker investeert extra voor de HR ketel en tapwaterboiler, airco split unit voor de koeling en 10 m² zonnepanelen en die bedragen respectievelijk € 1.500,-; € 575,- en € 1.880,- (inclusief BTW). De eenmalige aansluitkosten voor gas en elektra bedragen € 943,- en € 792,- (incl. BTW). De totale extra eenmalige investering is € 5.690,-.

Er is uitgegaan van het netto energiegebruik van een woning, dat wil zeggen na aftrek van eigen opwekking door PV. Dit betekent dat impliciet is uitgegaan van salderen. De tarieven voor gas en elektriciteit zijn marktgemiddelde prijzen namelijk 0,63 €/m³ gas en 0,20 €/kWh. De periodieke kosten voor de gas- en elektriciteitsaansluiting (het 'capaciteitstarief') zijn verkregen middels de tarievenlijst 2016 die netbeheerder Liander op haar website heeft staan. De periodieke kosten voor de gasaansluiting zijn afhankelijk van het jaarlijks gasverbruik. Bij een verbruik < 500 m³/jaar zijn de kosten lager. Er is sprake van teruggave van energiebelasting van € 376,- per jaar.

De jaarlijkse variabele kosten bedragen € 480,29. Over een periode van 15 jaar is dit bedrag (zonder indexering) € 7.204,29. Het totaal (CAPEX + OPEX voor 15 jaar) komt daarmee op € 12.919,-

Toelichting maatschappelijke kosten

Het energiesysteem bestaat uit de infrastructuur voor gas en elektriciteit tot 2024. Op de nieuwbouw komt 46.737 m² zonnepanelen. Het reeds aangelegde gasnet wordt volledig uitgenut. Aannemende dat de levensduur van een gasnet 65 jaar is, zou de in 2009 aangelegde infrastructuur nog zeker 40 jaar mee kunnen en zou ze moeten worden uitgebreid met de aansluitingen van de nieuwe woon/werk eenheden. De benodigde lengte van de nieuwe gasleidingen voor de nieuwbouw is onbekend. In deze variant zal geen gebruik worden gemaakt van de stadswarmte backbone.

De nieuwe woningen en bedrijven worden aangesloten op het laagspanningsnet. De woningen kunnen met de zonnepanelen een piekvermogen creëren van 7,65 MWp. De dimensionering van het laagspanningsnet heeft dus rekening te houden met een gemiddeld piekvermogen van 2.000 W per woon/werk eenheid. De piekvraag voor elektriciteit voor een gemiddeld huishouden (rekening houdend met gelijktijdigheid) ligt op ongeveer 1.200 W (Melle van et al., 2015). Dit komt overeen met een piekvermogen van 4,79 MWp. De maatschappelijke kosten voor deze variant bestaan uit investeringen voor het nieuwe gasnet (65 €/m) ten behoeve van aansluiting van de nieuwbouw en de investeringen in het laagspanningsnet met een vermogen van 7,65 MWp. De vervanging van deze gasleidingen en elektriciteitskabels vindt plaats na 65 jaar.

5.2.4 Beoordeling circulariteit variant 1

In tabel 5-4 is per impact categorie aangegeven hoe variant 1 per fase scoort. In tabel 5-5 is een totaalscore beschreven, volgens de kwalitatieve criteria die beschreven staan in hoofdstuk 3. De achtergrond van de beoordeling staat beschreven in bijlage C.3.

Tabel 5-4 Overzicht impact van de verschillende indicatoren per fase van de levenscyclus voor variant 1.

Onderdeel:	Productiefase	Gebruiksfase	Ontmantelingsfase
3.1 Materialen			
3.2 Water			
3.3 Energie, cumulatief			
3.4 Biodiversiteit en ecosystemen			
3.5 Gezondheid en welzijn			
3.6 Adaptiviteit en Veerkracht			
TOTAAL			

Tabel 5-5 Samenvattend overzicht KPI's circulariteit voor variant 1.

Onderdeel:	Kwalitatieve beoordeling variant 1	Score:
3.1 Materialen	Aardgas is geen hernieuwbare grondstof. Er zijn verder weinig grondstoffen nodig voor de productie, het onderhoud en de ontmanteling van het gasnet en het elektriciteitsnet omdat deze netten er voor een groot deel al liggen.	rood
3.2 Water	De winning van aardgas gaat gepaard met grote hoeveelheden proceswater, proceswater dat na gebruik zeer vervuild is.	Oranje
3.3 Energie, cumulatief	De energie die nodig is voor productie, onderhoud en uiteindelijke ontmanteling is laag omdat de infrastructuur er voor het grootste deel al ligt.	Geel
3.4 Biodiversiteit en ecosystemen	De schadelijke emissies van de winning en verbranding van aardgas zorgen voor een toename aan schade aan essentiële ecosystemen.	Oranje
3.5 Gezondheid en welzijn	De schadelijke emissies van de verbranding van aardgas zorgen voor een toename aan stoffen die schadelijk zijn voor de menselijke gezondheid. De productie van PV kan geassocieerd worden met slechte werkomstandigheden van arbeiders, schending van mensenrechten en smogvorming als deze panelen geproduceerd worden in lage lonen landen.	oranje
3.6 Adaptiviteit en Veerkracht	De lokale- en regionale zelfvoorziening is laag. Een transitie naar een duurzamere warmtevoorziening wordt belemmerd.	Rood

Variant 1 scoort wat betreft circulariteit overwegend positief in de productie fase, negatief in de gebruiksfase en overwegend negatief tijdens de ontmantelingsfase (zie tabel 5-4). Dat de productiefase overwegend positief scoort heeft te maken met het feit dat een deel van de benodigde infrastructuur voor deze variant al ligt in Buiksloterham. De aanvullende infrastructuur bevat geen of nauwelijks kritieke of schaarse aardmetalen en deze zullen op relatief hoogwaardig niveau teruggewonnen kunnen worden.

De variant scoort in de gebruiksfase met name slecht doordat zijn voor een groot deel berust op een eindige grondstof (aardgas). Zo wordt er voor de winning van gas wordt gebruik gemaakt van grote hoeveelheden proceswater. Dit proceswater is na het gebruik sterk vervuild en wordt op verschillende wijzen verwerkt. Gaswinning, en met name de winning van schaliegas, gaan dan ook gepaard met een risico op de vervuiling van oppervlaktewater, verzilting en lokale verdroging (Eijsink, 2016; Verdonschot et al., 2013). Ook wordt door drinkwaterbedrijven gewezen op de risico's voor drinkwaterveiligheid (Eijsink, 2016). De schadelijke emissies die vrijkomen bij de verbranding van gas tijdens de gebruiksfase van het netwerk en de winning van

aardgas zorgen voor de grootste bijdrage aan zoetwater-, maritieme- en terrestrische aquatische ecotoxiciteit. Ook draagt variant 1 in de sterkste mate bij aan de verzuring van grond en oppervlaktewater en aantasting van de ozonlaag. Van de drie varianten draagt deze variant het meeste bij aan humane ecotoxiciteit. Dit wil zeggen dat in deze variant de meeste stoffen in het milieu terecht zullen komen die schadelijk zijn voor de menselijke gezondheid. Ook draagt variant 1 in de sterkste mate bij aan klimaatverandering en aantasting van de ozonlaag, mechanismen die gepaard gaan met grotere gezondheidsrisico's.

Tot slot biedt deze variant de laagste mate van lokale- en regionale zelfvoorzienendheid. Daarmee is deze variant het kwetsbaarst voor fluctuaties in de gas- en olieprijs. Verder is deze variant ook het gevoeligst voor geopolitieke ontwikkelingen. Het toepassen van variant één zal een transitie naar een duurzamere warmtevoorziening langer in de weg staan als men de economische levensduur van deze apparatuur zal willen uitnutten.

5.2.5 Beoordeling implementatie variant 1

In onderstaande tabel is de beoordeling op implementatie aspecten voor variant 1 weergegeven, inclusief de kwalitatieve score in de rechter kolom.

Tabel 5-6 Overzicht KPI's Implementatie (PSTLG) voor variant 1.

Onderdeel:	Kwalitatieve beoordeling van variant 1	Score:
4.1 Politiek	Er is geen draagvlak voor aansluiting op het gasnet van nieuwbouwwoningen in Amsterdam. Optimalisering van het PV potentieel wordt beleidsmatig ondersteund. Stedenbouwkundige concepten zijn niet altijd in lijn met dit uitgangspunt. De installatie van grootschalig windpotentieel kan op Amsterdams enthousiasme rekenen. Het provinciaal beleid is hiermee vooralsnog niet in lijn.	rood
4.2 Sociaal	Bewoners en andere gebruikers van de nieuwbouw hebben zeker geen uitgesproken voorkeur voor blijvende aansluiting op traditionele gasaansluitingen. Wel is hier en daar een voorkeur voor gas als back-up systeem (voor collectieve WKO) uitgesproken. Dit is niet toegestaan. Wat elektriciteit betreft is sprake van een positieve houding ten opzichte van zo duurzaam mogelijke opwek. Waar het de eigen woning betreft, wordt deze ook gestimuleerd door hoge EPC in de kavelpaspoorten (0,15 – passiefhuis standaard).	oranje
4.3 Technologie	Technologie is geen belemmerende noch een bevorderende factor in deze variant.	geel
4.4 Juridisch	Voortgaande aansluiting op het gasnet wordt in toenemende mate onmogelijk gemaakt. De bestaande concessie voor stadswarmte in Buiksloterham maakt aansluiting op het gasnet vrijwel onmogelijk. 85 % van het gebied is of wordt uitgegeven in erfpacht. In 90 % van die gevallen is een vorm van aansluiting op stadswarmte verplicht, veelal wordt aansluiting op het gasnet in het kavelpaspoort uitgesloten. De particulier gehouden terreinen mogen vooralsnog een eigen keuze maken. Voor elektriciteit spelen juridische factoren geen stimulerende rol; soms is er sprake van enkele belemmeringen (collectieve PV op daken bijvoorbeeld).	rood
4.5 Governance	Er is geen sprake van belemmeringen als het om gasaansluitingen gaat. Sommige arrangementen voor duurzame elektriciteitsopwekking vergen nog nadere organisatie en sturing.	geel

5.3 Nieuwbouw variant 2: All-Electric (met warmtepomp en bodemopslag)

5.3.1 Beschrijving variant 2

Ook voor variant 2 is het finale energiegebruik zoals bepaald in paragraaf 4.3 als uitgangspunt genomen. Dit energiegebruik is zoveel mogelijk ingevuld met lokale hernieuwbare energie, op basis van de gegevens gepresenteerd in paragraaf 4.4. In deze variant is uitgegaan van warmtevoorziening van zowel tapwater als ruimteverwarming met een (combi) warmtepomp. Voor efficiënt gebruik van een warmtepomp dient een warmtebron aanwezig te zijn met een zo hoog mogelijke temperatuur. In deze variant is uitgegaan van de bodem als bron voor de warmtepomp. Op basis van online gegevens van de gemeente Amsterdam ("Energie uit bodem en water"¹¹) is berekend dat de capaciteit van bodemopslag met gebruik van verticale gesloten bodemwisselaars onvoldoende is om voor het gehele gebied de benodigde warmte op te slaan. Als alle energie voor de warmtepomp in de bodem dient te worden opgeslagen, zijn daarom open systemen voor Warmte Koude Opslag (WKO) nodig. Een combinatie van open en gesloten systemen zou ook mogelijk zijn. Bij het toepassen van WKO kan koeling direct uit de bodem worden verkregen, zonder tussenkomst van de warmtepomp. De COP (Coëfficiënt of Performance) van de levering van koeling is daardoor hoog.

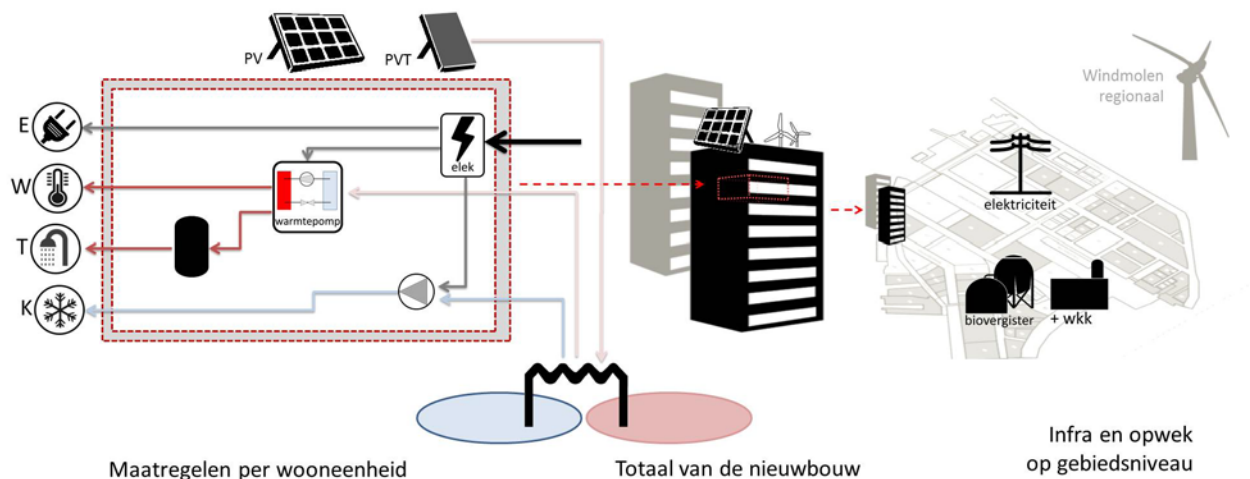
Uit de bepaling van de energiebehoefte blijkt dat de warmtevraag veel groter is dan de koudevraag, wat logisch is gezien het grote aandeel van de woonfunctie. Dit betekent dat de bodem niet in balans zal zijn als deze niet wordt geregenereerd met warmte. Uit de potentiëstudie is gebleken dat het aanbod laagwaardige warmte in het gebied zeer groot is. De bodem kan dus in balans gebracht worden door deze te regenereren met bijvoorbeeld warmte uit PVT panelen of warmteterugwinning van het riool. Voor deze variant is uitgegaan van regeneratie met PVT en er is berekend dat hiervoor in totaal ca 12.000 m² PVT nodig is. Op woningniveau is uitgegaan van 3 m² PVT per woning. Tenslotte wordt op gebiedsniveau het GFT en zwart water benut door dit via vergisting in een Bio WKK om te zetten in elektriciteit en warmte.

In tabel 5-7 is een overzicht gegeven van de gebouw en gebiedsmaatregelen voor variant 2.

Tabel 5-7 overzicht maatregelen voor energie voorziening nieuwbouw variant 2: All electric met warmtepomp en WKO.

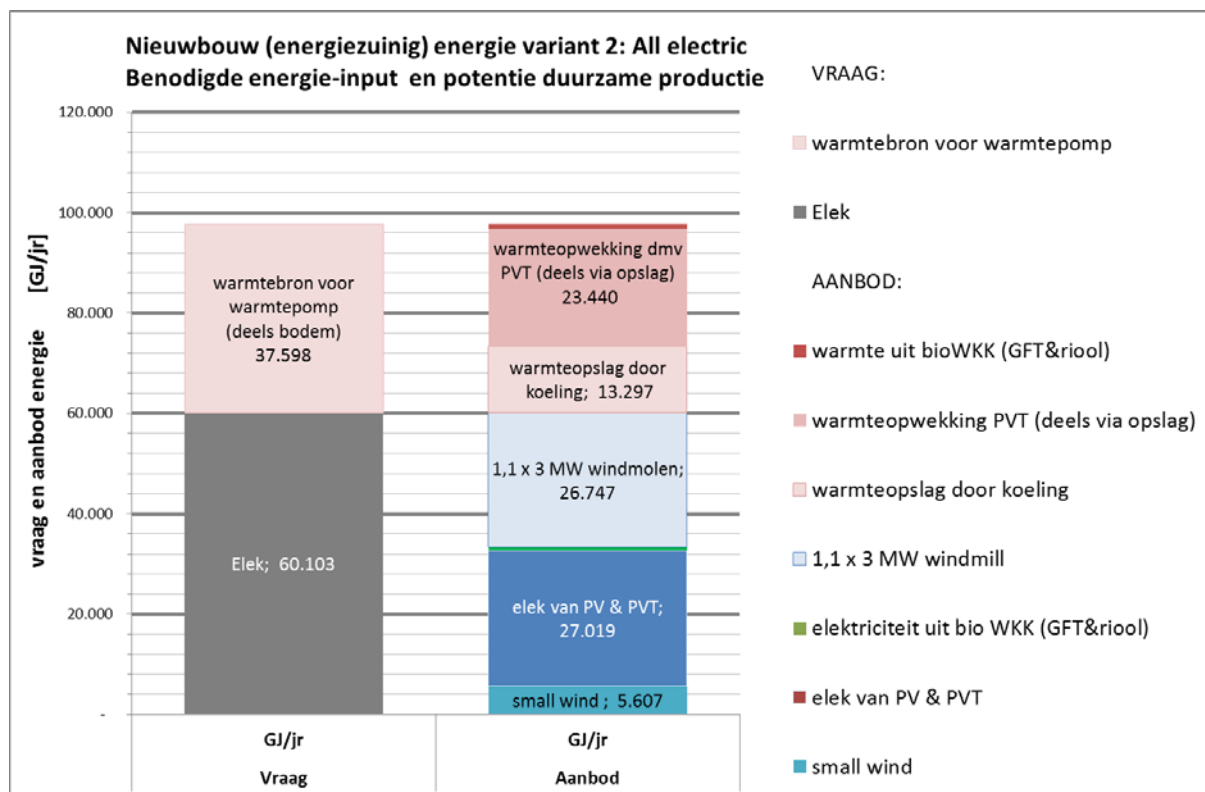
Maatregelen op woningniveau (type: appartement)	Infrastructuur & opwek op gebiedsniveau
Gebouwinstallaties - Aansluiting Elektriciteit (Collectieve) Warmtepomp met WKO als bron, COP ruimteverwarming: 5,1; COP tapwater = 2,4 - Koeling: directe koeling uit de bodem; COP = 12 3 m² PVT voor herstellen warmtebalans bodem Bruto finaal energiegebruik: Elektriciteit: 13,8 GJ/jr	Infrastructuur - Elektriciteitsnet (transportverliezen 4%) Opwek op gebiedsniveau - Totaal van alle PV op gebouwen: 34.374 m² PV - Totaal van alle PVT op gebouwen: 12.363 m² PVT - Totaal van alle kleine schaal wind: 4.346 GJ/jr - Biogas WKK met het GFT afval en zwart water van alle nieuwbouw.
Opwek op gebouwniveau 7 m² PV, optimaal georiënteerd → 4GJ elek. per jaar 3 m² PVT, optimaal georiënteerd → 1,8 GJ elek. per jaar 6 GJ warmte per jaar Netto finaal energiegebruik (o.b.v. salderen): Elektriciteit: 13,8 – 5,8 = 8 GJ/jr	Opslag WKO (en daarmee pompenergie) 0,036 GJe/GJth (RVO, 2015a) (Regeneratie WKO dmv koeling en PVT panelen.)

¹¹ http://maps.amsterdam.nl/energie_bodemwater/



5.3.2 Beoordeling energie variant 2

De resulterende energiebalans op gebiedsniveau voor variant 2 is weergegeven in figuur 22. De energievraag van deze variant bestaat voornamelijk uit elektriciteit, maar ook de benodigde warmte als bron voor de warmtepompen is in de grafiek weergegeven. Bij variant 2 is het mogelijk met de grote inzet van zon en windenergie ruim de helft van de totale elektriciteitsvraag te dekken. Er is geen opslag van elektriciteit in de variant opgenomen, wat betekent dat er een hoog piekaanbod aan elektriciteit zal ontstaan in de zomer. Om (regionaal) netto energieneutraliteit te bereiken is de capaciteit nodig van iets meer dan 1 grote (3 MW) windmolen.



Figuur 23: Energiebalans gebied voor energievoorziening nieuwbouw variant 2: All-Electric met warmtepompen en WKO

De benodigde warmte voor regeneratie van de WKO (die wordt gebruikt als bron voor de warmtepompen) is voor ongeveer een derde afkomstig van de koeling van de gebouwen in de zomer, voor het resterende deel van de in PVT opgewekte warmte.

In onderstaande tabel zijn de KPI's voor energie weergegeven. Voor toelichting op de begrippen en de gebruikte CO₂ emissiefactoren wordt verwezen paragraaf 3.1.

Tabel 5-8 Overzicht KPI's energie voor energievoorziening nieuwbouw variant 1.

Onderdeel	Beoordeling				Score:
	Eenheid		Elektriciteit	Totaal	
1.1 Finaal energiegebruik nieuwbouw	GJ/jr		56.803	56.803	nvt
1.2 Energie-input gebied tbv nieuwbouw	GJ/jr		60.103	60.103	nvt
1.3 Lokaal hernieuwbaar opgewekt	GJ/jr		33.355	33.355	nvt
1.4 Regionaal hernieuwbaar opgewekt	GJ/j		26.747	26.747	nvt
1.5 Netto energie-input gebied	GJ/jr		-	-	nvt
1.6 % lokaal hernieuwbaar	%		55%	55%	55%
1.6 % totaal hernieuwbaar (lokaal + regionaal)	%		100%	100%	100%
1.7 CO ₂ uitstoot	ton CO ₂ /jr		-	-	-
1.8 Mate van energie zelfvoorzienendheid	kwalitatief	In deze variant wordt alle lokaal opgewekte warmte ook lokaal benut. Dit is mogelijk door de grootschalige toepassing van opslag. Voor elektriciteit is er echter nog geen opslag, wat betekent dat er een groot piekaanbod zal ontstaan in de zomer en, ondanks de hoge prestatie van de warmtepomp door gebruik van de WKO, toch ook een piekvraag aan elektriciteit in de winter.			geel

5.3.3 Beoordeling economie variant 2

In tabel 5-9 is een overzicht van de kosten voor de eindgebruiker gegeven en een samenvatting van de beoordeling van de maatschappelijke kosten. Deze worden vervolgens nader toegelicht.

Tabel 5-9 Overzicht KPI's economie voor variant 2.

Onderdeel:	Beoordeling	Score
2.1 Kosten voor de eindgebruiker	- CAPEX: € 12.683,- - OPEX (15 jr) : € 4.799,-	TOTAAL € 17.482,-
2.2 Maatschappelijke kosten	Benutting bestaande gasnet	Gemiddeld
	Benutting bestaande elektriciteits net	neutraal
	Piekvermogen/vraag nieuw elektriciteitsnet (MWp)	7,65
	Benutting stadswarmte backbone (zie toelichting bij variant 1)	neutraal

Toelichting extra kosten eindgebruiker

In de all-electric variant wordt een warmtepomp benut voor zowel ruimteverwarming als tapwater en wordt de bodem gebruikt voor directe koeling. Voor de kosten is uitgegaan van het multi warmtepomp concept van Klimaatgarant. Het is een combinatie van een individueel en een collectief systeem. Eén warmtepomp voorziet 3 appartementen van warmte, koude en warm tapwater. De indicatieve kosten per appartement zijn € 9.075,- (inclusief BTW), inclusief bronsysteem, bronleiding, warmtepompen, voorraadvaten en het monitoringssysteem. De eindgebruiker investeert € 1.316,- extra voor 7 m² zonnepanelen en € 1.500,- voor 3 m² PVT-collectoren. De eenmalige aansluitkosten voor elektra bedragen € 792,- (incl. BTW). De totale extra¹² eenmalige investering is € 12.683,-.

De tarieven elektriciteit zijn marktgemiddelde prijzen, namelijk 0,20 €/kWh. De periodieke kosten voor elektriciteitsaansluiting (het 'capaciteitstarief') zijn verkregen middels de tarievenlijst 2016 die netbeheerder Liander op haar website heeft staan. Er is sprake van teruggave van energiebelasting van € 376,- per jaar.

De jaarlijkse variabele kosten bedragen € 320,-. Over een periode van 15 jaar is dit bedrag (zonder indexering) € 4.799,-.

Toelichting maatschappelijke kosten.

Het energiesysteem bestaat in 2024 volledig uit een elektriciteitsinfrastructuur. Op de nieuwbouw komt 34.374 m² zonnepanelen en 12.363 m² PVT-collectoren. De eenheden maken gebruik van een bodemwarmtepomp. In deze variant zal geen gebruik worden gemaakt van de stadswarmte backbone noch van het bestaande gasnet.

De nieuwe woningen en bedrijven worden aangesloten op het laagspanningsnet. De woningen leveren met de zonnepanelen en de PVT-panelen een piekvermogen van 7,65 MWp. De dimensionering van het laagspanningsnet heeft dus rekening te houden met een gemiddeld piekvermogen van ongeveer 2.000 W per woon/werk eenheid. De piekvraag voor een bodemwarmtepomp in een goed geïsoleerde woning is 1.000 W (Melle van et al., 2015). De gelijktijdigheid voor de ruimteverwarming is ongeveer 50%. Dit komt overeen met een extra piekvraag van 500 W per woning, die samen valt met de piekvraag van huishoudelijke apparatuur zonder warmtepomp (rekening houdend met gelijktijdigheid). Deze is 1.200 W voor een gemiddelde Nederlandse woning. Deze twee piekvragen zijn opgeteld en vermenigvuldigd met het aantal nieuwe woon/werk eenheden. Dit levert een piekvraag van 6,79 MWp op. Dit is lager dan het verwachte piekvermogen t.g.v. de elektriciteitsopwekking met PV.

De maatschappelijke kosten voor deze variant bestaan uit de investering in een laagspanningsnet dat een piekvermogen aankan van 7,65 MWp. De vervanging van het elektriciteitsnetwerk vindt plaats na 65 jaar.

5.3.4 Beoordeling circulariteit variant 2

In tabel 5-10 is per impact categorie aangegeven hoe variant 2 per fase scoort. In tabel 5-11 is een totaalscore beschreven, volgens de kwalitatieve criteria die beschreven staan in hoofdstuk 3. De achtergrond van de beoordeling staat beschreven in bijlage D3.

¹² Extra kosten, d.w.z. ten opzichte van de maatregelen die voor alle varianten gelden, zoals isolatie.

Tabel 5-10 Overzicht impact van de verschillende indicatoren per fase van de levenscyclus.

Onderdeel:	Productiefase	Gebruiksfase	Ontmantelingsfase
3.1 Materialen			
3.2 Water			
3.3 Energie, cumulatief			
3.4 Biodiversiteit en ecosystemen			
3.5 Gezondheid en welzijn			
3.6 Adaptiviteit en Veerkracht			
TOTAAL			

Tabel 5-11 Samenvattend overzicht KPI's circulariteit voor variant 2.

Onderdeel:	Kwalitatieve beoordeling variant 2	Score:
3.1 Materialen	De all-electric variant vraagt om het grootste aantal complexe installaties (PV panelen, WKO systemen) op gebouwniveau. Deze productie van deze complexe installaties zorgen voor een uitputting van abiotische grondstoffen die in theorie wel hoogwaardige gerecycled kunnen worden.	geel
3.2 Water	Water wordt alleen gebruikt bij productie, onderhoud en ontmanteling van de installaties.	geel
3.3 Energie, cumulatief	De energie die nodig is voor productie, onderhoud en uiteindelijke ontmanteling is hoger dan in variant 1 door het gebruik van complexere installaties.	oranje
3.4 Biodiversiteit en ecosystemen	Buiten de grotere verzuring door de productie van het grote aantal installaties is de schade aan biodiversiteit en ecosystemen lager dan in variant 1.	geel
3.5 Gezondheid en welzijn	De lokale uitstoot van schadelijke stoffen is lager dan in variant 1. Wel worden er meer producten en materialen gebruikt die geassocieerd worden met slechte werkomstandigheden en mensenrechtenschending.	geel
3.6 Adaptiviteit en Veerkracht	Door de grote mate van energetische zelfvoorziening heeft deze variant de grootste adaptiviteit en veerkracht.	groen

De all-electric variant vergt van alle varianten het grootste aantal installaties op gebouwniveau. Een deel van deze installaties zijn complexe systemen die impact hebben op verschillende circulaire indicatoren. Daarmee scoort deze variant met name in de productiefase laag op circulariteit van materialen. De aanleg van het all-electric systeem vergt een grote consumptie van materialen en een groot beslag op kritieke materialen zoals zeldzame aardmetalen. PV panelen en windmolens bevatten veelal indium, gallium, tellurium, dysprosium, praseodymium, samarium en neodymium: metalen die momenteel steeds schaarser worden (Bauer et al., 2010, p. 14; Diederiksen, 2009). Verder zijn ook voor de WKO-systemen en bijbehorende warmtepompen en regel-elektronica veel metalen, metaaloxiden en kunststoffen nodig, zeker gezien het grote aantal van dit soort systemen binnen variant twee. Van de drie varianten gaat de all-electric variant dan ook gepaard met de grootste bijdrage aan de uitputting van abiotische grondstoffen.

Doordat deze variant in de gebruiksfase volledig op hernieuwbare energie draait scoort zij gunstig in de gebruiksfase. Een groot deel van de technische systemen kan ontmanteld worden; zonnepanelen en warmtepompen zouden in theorie hoogwaardig gerecycled kunnen worden. Er is echter onduidelijkheid over de recyclebaarheid en verwijderbaarheid van eventuele bodemwarmte systemen (dit vraagt lokale afspraken met een verantwoordelijke autoriteit - zoals het Stadsdeel Noord -).

Verder kan gesteld worden dat in de all-electric variant de lokale uitstoot van NOx en fijnstof in de regio Amsterdam lager zal zijn dan de uitstoot van de andere varianten en deze variant dus minder schadelijk is voor de stedelijke luchtkwaliteit. Een nadeel van de all-electric variant op het gebied van welzijn is dat meer

producten worden toegepast die materialen bevatten die geassocieerd worden met slechte werkomstandigheden en mensenrechtenschending (GRANTA Design, 2014; Polinares Consortium, 2012a, 2012b).

5.3.5 Beoordeling implementatie variant 2

Tabel 5-12 Overzicht KPI's Implementatie (PSTLG) voor variant 2.

Onderdeel:	Kwalitatieve beoordeling van variant 2	Score:
4.1. Politiek	De concessie voor stadswarmte maakt de ruimte voor politieke support voor een all-electric scenario minimaal. De heersende politieke wind leidt tot een afwachtende houding van de gemeente. Onduidelijk is daardoor vooralsnog of mengvormen van aansluiting op stadswarmte en bijvoorbeeld WKO op de goedkeuring van de lokale overheid kunnen rekenen.	rood
4.2. Sociaal	Aan de bestaande bewoners van Buiksloterham kan niet een enkele mening worden toegedicht over een all electric scenario. In het algemeen is de teneur in het gebied dat men enthousiaster wordt naarmate de variant op langere termijn duurzamer is, men meer onafhankelijk in eigen beheer kan doen en de kosten in de hand te houden zijn. Wat elektriciteit betreft is sprake van een positieve houding ten opzichte van zo duurzaam mogelijke opwek. Waar het de eigen woning betreft, wordt deze ook gestimuleerd door hoge EPC in de kavelpaspoorten (0,15 – passiefhuis standaard).	geel
4.3. Technologie	Technologie is geen belemmerende noch een bevorderende factor in deze variant. Er leven wel vragen ten aanzien van de schaal waarop WKO wordt geïmplementeerd, in combinatie met de samenstelling van de ondergrond.	geel
4.4. Juridisch	De bestaande concessie voor stadswarmte in Buiksloterham maakt een all electric variant vooralsnog ingewikkeld. 85 % van het gebied is of wordt uitgegeven in erfpacht. In 90 % van die gevallen is een vorm van aansluiting op stadswarmte verplicht. De particulier gehouden terreinen mogen vooralsnog een eigen keuze maken. Voor elektriciteit spelen juridische factoren geen stimulerende rol, soms is sprake van enkele belemmeringen (collectieve PV op daken bijvoorbeeld).	oranje
4.5. Governance	Een all-electric variant vergt organisatie en sturing die nog geen gesneden koek zijn. De installatie van WKO's op de meest rendabele schaal, vergt samenwerking tussen bouwers die nog geen precedents heeft. Het ontbreekt daardoor aan bewezen business cases die kunnen overtuigen. Hier kan het bevorderend werken inderdaad, gemeente, netbeheerder, coöperatie, de rol van coördinator op zich kunnen nemen. Sommige arrangementen voor duurzame elektriciteitsopwekking vergen nog nadere organisatie en sturing.	oranje

5.4 Nieuwbouw variant 3: Stadswarmte + Elektriciteit

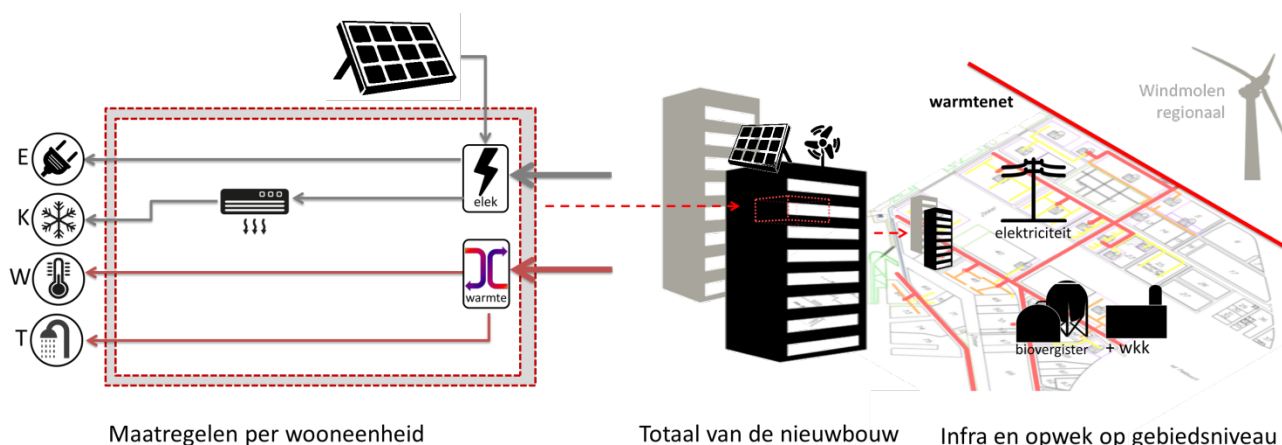
5.4.1 Beschrijving variant 3

Ook voor variant 3 is het finale energiegebruik zoals bepaald in paragraaf 4.3 is als uitgangspunt genomen. In principe is de het finale warmtegebruik bij een optie externe warmtelevering op meerdere manieren in te vullen. In deze variant is de optie van levering door het stadswarmtenet van Westpoort Warmte bekeken, zie ook tabel 5-13. Hierbij is uitgegaan van levering van zowel ruimteverwarming als tapwaterverwarming. Het bestaande stadswarmte netwerk moet hiervoor uitgebreid worden. Er is een inschatting gemaakt van de te verwachten lengtes voor stadsverwarmingsnetten op basis waarvan de impact op de indicatoren is bepaald; zie hiervoor bijlage A.

De elektriciteitsvraag vraag wordt zoveel mogelijk ingevuld met lokale hernieuwbare opwekking, zoals gegeven in paragraaf 4.4. Dit betekent dat is uitgegaan van maximale benutting van het dakoppervlak voor PV en kleinschalige wind. Tenslotte is voor deze variant bekeken wat de bijdrage van het eigen restafval op de totale levering van warmte en elektriciteit ongeveer zal zijn. Een overzicht van de maatregelen op gebouw en gebiedsniveau is gegeven in tabel 5-13.

Tabel 5-13 overzicht maatregelen voor energie voorziening nieuwbouw variant 2.

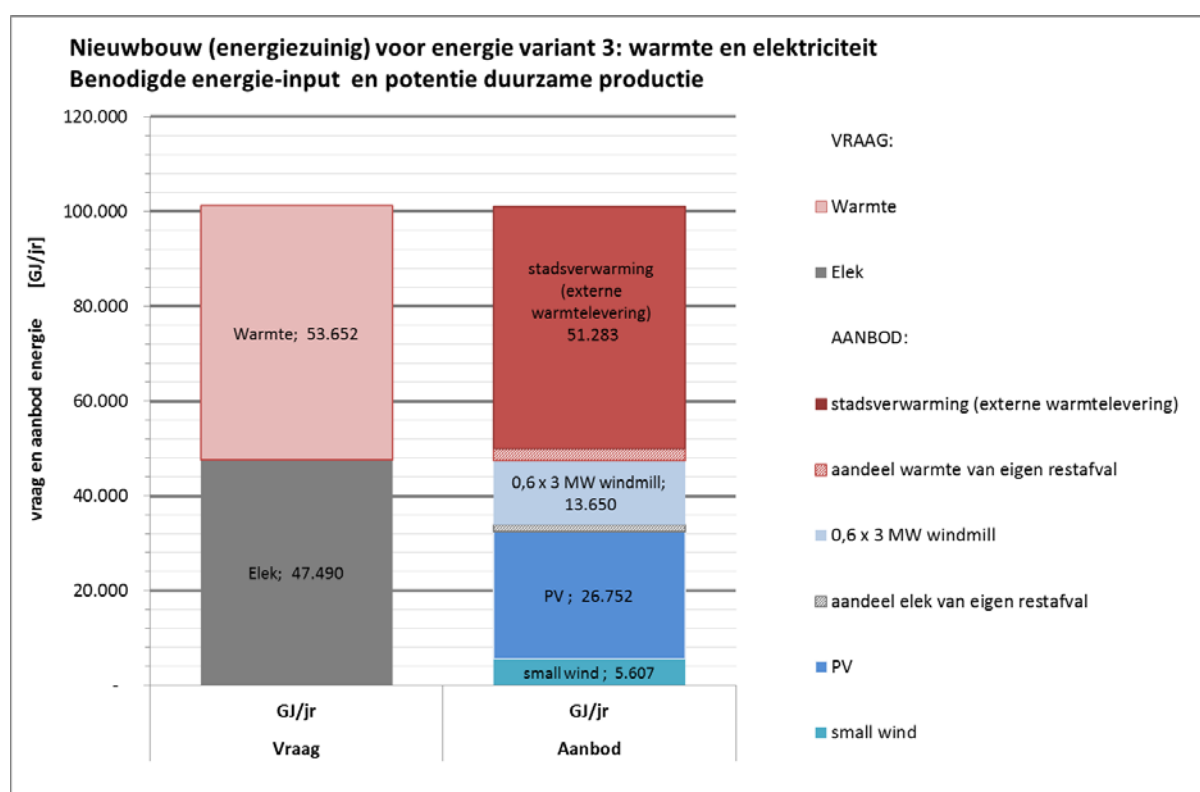
Maatregelen op woningniveau (type: appartement)	Infrastructuur & opwek op gebiedsniveau
Gebouwinstallaties - Aansluiting Elektriciteit en Warmte - Stadswarmte en afleverset, voor ruimteverwarming (V) en tapwater (T) - Koeling (K) d.m.v. warmtepomp op buitenlucht. COP 3,1 <i>Bruto finaal energiegebruik:</i> Warmte: 10,7 GJ/jr Elektriciteit: 10,6 GJ/jr Opwek op gebouwniveau 10 m² PV, optimaal georiënteerd → 5,7 GJ elek. per jaar <i>Netto finaal energiegebruik (o.b.v. salderen):</i> Elektriciteit: 10,6 – 5,7 = 4,9 GJ/jr	Infrastructuur - Elektriciteitsnet (Transportverliezen 4%) - Stadswarmte: gemiddeld 4 GJ/jr warmteverlies per huishouden + hulpenergie 0,0072 GJe/GJth Opwek op gebiedsniveau - Totaal van alle PV op gebouwniveau: 46.737 m² PV - Totaal van alle kleine schaal wind: 4.346 GJ/jr Overig - Het restafval van de wijk wordt aan de AVI geleverd en in deze variant gezien als lokale bijdrage aan het warmtenet en de elektriciteitsvoorziening



5.4.2 Beoordeling energie variant 3

Voor de warmtelevering zijn op gebiedsniveau warmteverliezen berekend. Deze komen neer op 4 GJ per wooneenheid per jaar. De resulterende energiebalans op gebiedsniveau voor variant 3 is weergegeven in figuur 23. De lokale opwek van hernieuwbare elektriciteit op basis van de uitgangspunten kan ruim tweederde van het totale gebruik leveren. Voor de overige 13 TJ is de capaciteit van ruim een halve windmolen nodig.

De bijdrage van het lokale restafval voor de warmte en elektriciteitsvoorziening is zeer gering. Het overgrote deel van de warmtelevering is dus afkomstig van afval uit de AVI.



Figuur 24: energiebalans gebied voor energievoorziening nieuwbouw variant 3: stadswarmte en elektriciteit

In onderstaande tabel zijn de KPI's voor energie weergegeven. Voor toelichting op de begrippen wordt verwezen naar figuur 11 in paragraaf 3.2.

Tabel 5-14 Overzicht KPI's energie voor energievoorziening nieuwbouw variant 3.

Onderdeel	Beoordeling				Score:
	Eenheid	Warmte	Elektriciteit	Totaal	
1.1 Finaal energiegebruik nieuwbouw	GJ/jr	41.312	45.377	86.689	n.v.t.
1.2 Energie-input gebied tbv nieuwbouw	GJ/jr	53.652	47.490	101.141	n.v.t.
1.3 Lokaal hernieuwbaar opgewekt	GJ/jr	2.369	33.840	36.209	n.v.t.
1.4 Regionaal hernieuwbaar opgewekt	GJ/j		13.650	13.650	n.v.t.

1.5 Netto energie-input gebied	GJ/jr	51.283	-	51.283	n.v.t.
1.6 % lokaal hernieuwbaar	%	4%	71%	36%	36%
1.6 % totaal hernieuwbaar (lokaal + regionaal)	%	4%	100%	49%	49%
1.7 CO ₂ uitstoot	ton CO ₂ /jr	787	-	787	787
1.8 Mate van energie zelfvoorzienendheid	kwalitatief	In deze variant wordt het overgrote deel van de warmte van buiten het gebied en buiten de regio gehaald. Aangetoond is ook dat het eigen afval lang niet voldoende is voor het voorzien in de eigen warmtebehoefte. In principe is het mogelijk op termijn het warmtenet zoveel mogelijk duurzaam te voeden, maar dat is bij een relatief hoge temperatuur warmtenet minder goed mogelijk. Voor elektriciteit is het gebied wel grotendeel energieneutraal, maar er is nog geen opslag, wat betekent dat er een groot piekaanbod zal ontstaan in de zomer.			oranje

5.4.3 Beoordeling economie variant 3

In tabel 5-15 is een overzicht van de kosten voor de eindgebruiker gegeven en een samenvatting van de beoordeling maatschappelijke kosten. Deze worden vervolgens nader toegelicht.

Tabel 5-15 Overzicht KPI's economie voor variant 3.

Onderdeel:	Beoordeling	Score
2.1 Kosten voor de eindgebruiker	- CAPEX: € 7.869,- - OPEX (15 jr) : € 12.654,-	TOTAAL € 20.522,-
2.2 Maatschappelijke kosten	Benutting bestaande gasnet	gemiddeld
	Benutting bestaande elektriciteits net	neutraal
	Piekvermogen/vraag nieuw elektriciteitsnet (MWp)	7,65
	Benutting stadswarmte backbone en aanleg warmtenetten in de wijk.	gemiddeld

Toelichting kosten eindgebruiker

De eindgebruiker investeert extra voor een airco split unit voor de koeling en 10 m² zonnepanelen en die bedragen respectievelijk € 600,00 en € 1.880,00 (inclusief BTW). De eenmalige aansluitkosten voor warmte en elektra bedragen € 5.562,00 en € 792,00 (incl. BTW). De totale extra eenmalige investering is € 8.831,00.

De tarieven voor warmte en elektriciteit zijn 21,57 €/GJ en 0,20 €/m³ gas. De periodieke kosten voor de elektriciteitsaansluiting (het 'capaciteitstarief') is verkregen middels de tarievenlijst 2016 die netbeheerder Liander op haar website heeft staan. De periodieke kosten voor de warmte aansluiting zijn afhankelijk van het jaarlijks warmteverbruik en staan op de website van NUON. Er is sprake van energiebelasting teruggave van € 376,00 per jaar.

De jaarlijkse variabele kosten bedragen € 882,00. Over een periode van 15 jaar is dit bedrag (zonder indexering) € 13.326,00.

Toelichting maatschappelijke kosten

Het nieuwe energiesysteem bestaat uit een warmte en elektriciteit infrastructuur. Op de nieuwbouw komt 46.737 m² zonnepanelen. In deze variant zal geen gebruik worden gemaakt van het reeds aangelegde gasnet.

De woningen worden aangesloten op de stadswarmte backbone. Er dienen echter nog primaire netten en secundaire netten aangelegd te worden in de wijk.

De nieuwe woningen en bedrijven worden aangesloten op het laagspanningsnet. De woningen kunnen met de zonnepanelen een piekvermogen creëren van 7,65 MWp. Tijdens de dimensionering van het laagspanningsnet heeft men dus rekening te houden met een gemiddeld piekvermogen van 2.000 W per woon/werk eenheid. De piekvraag voor elektriciteit per gemiddeld huishouden (rekening houdend met gelijktijdigheid) ligt op ongeveer 1.200 W (Melle van et al., 2015). Dit komt overeen met een piekvraag van 4,79 MWp.

De maatschappelijke kosten voor deze variant bestaan uit investeringen voor het nieuwe stadsnet (400 €/m) ten behoeve van aansluiting van de nieuwbouw en de investeringen in laagspanningsnet met een vermogen van 7,65 MWp. De vervanging van de elektriciteitskabel vindt plaats na 65 jaar. De vervanging van de stadswarmte infrastructuur is over 43 jaar.

5.4.4 Beoordeling Circulariteit variant 3

In tabel 5-16 is per impact categorie aangegeven hoe variant 3 per fase scoort. In tabel 5-17 is een totaalscore beschreven, volgens de kwalitatieve criteria die beschreven staan in paragraaf 3.1. De achtergrond van de beoordeling staat beschreven in bijlage C.5.

Tabel 5-16 Overzicht impact van de verschillende indicatoren per fase van de levenscyclus.

Onderdeel:	Productiefase	Gebruiksfase	Ontmantelingsfase
3.1 Materialen			
3.2 Water			
3.3 Energie, cumulatief			
3.4 Biodiversiteit en ecosystemen			
3.5 Gezondheid en welzijn			
3.6 Adaptiviteit en Veerkracht			
TOTAAL			

Tabel 5-17 Samenvattend overzicht KPI's circulariteit voor variant 3.

Onderdeel:	Kwalitatieve beoordeling van variant 3	Score:
3.1 Materialen	De aanleg van variant 3 vergt het grootste materiaalgebruik waarbij de metalen van het warmtenet makkelijk teruggewonnen kunnen worden. De verbranding van afval gaat gepaard met vernietiging van zowel materialen als materiaal complexiteit.	oranje
3.2 Water	Het watergebruik is het grootst in variant 3 door het grote gebruik van water in de gebruiksfase.	oranje
3.3 Energie, cumulatief	Het energiegebruik voor de productie van variant 1 is hoger dan voor variant 2 en 3.	oranje
3.4 Biodiversiteit en ecosystemen	De maritieme aquatische ecotoxiciteit is groot door de uitstoot van schadelijke rookgassen afkomstig van het warmtekracht proces en door de lozing van proceswater in het oppervlaktewater.	oranje
3.5 Gezondheid en welzijn	Het verschil met variant 2 is klein, en de grotere belasting wordt vooral veroorzaakt door de verbranding van afval.	geel
3.6 Adaptiviteit en Veerkracht	Variant 3 heeft een lage lokale zelfvoorziening, maar wel een grote regionale zelfvoorziening. Door de grote infrastructurele investering is variant 3 flexibel in de energievoorziening.	oranje

De aanleg van het systeem in de variant 3 (stadswarmte en elektriciteit) vergt, in absolute zin, het grootste materiaalgebruik. Er is echter wel sprake van een kleiner gebruik van schaarse materialen zoals zeldzame aardmetalen.

In deze variant wordt er gebruik gemaakt van warmte uit de verbranding van afval en rioolslib bij het AEB. De opwekking van deze warmte heeft een lagere CO₂-uitstoot dan de verbranding van gas maar gaat ook gepaard met de vernietiging van materialen en van materiaal complexiteit. Bij de eventuele ontmanteling van het warmtenetwerk is het, in vergelijking met de andere varianten, minder waarschijnlijk dat er veel producten hergebruikt of gerecycled zullen worden. Het waterverbruik van variant 3 over de gehele levenscyclus is het grootst, met name in de gebruiksfase waar grote hoeveelheden water en stoom ingezet worden. De energievoetafdruk van variant 3 voor de productie van het systeem is het hoogst in vergelijking tot de andere twee varianten.

Over de gehele levensloop gezien levert variant 3 een grotere belasting van ecosystemen op dan variant 2 maar minder dan variant 1. Vooral op het gebied van ecotoxiciteit presteert het stadswarmte concept slechter dan de all-electric variant. Hierin is maritieme aquatische ecotoxiciteit de grootste uitschieter. Ondanks het feit dat de emissies van de AVI ruim onder de gestelde normen blijven, zijn de slechtere prestaties van variant drie vooral te wijten aan de uitstoot van schadelijke rookgassen afkomstig van het verbrandings-proces. Een ander negatief aspect van de stadswarmte variant is dat de warmtekracht centrale gebruik maakt van koelwater dat wordt geloosd in het oppervlaktewater.

Tot slot scoort de variant met stadswarmte slecht op de thema's adaptiviteit en veerkracht. De stadswarmte variant heeft in vergelijking met variant 2 een lagere mate van lokale zelfvoorziening. Wel is er sprake van regionale zelfvoorziening. Variant 3 vergt grote infrastructurele investeringen en is daardoor minder flexibiliteit voor de rendabele ontplooiing van duurzamere warmte systemen. Ook sluit variant 3 sluit minder goed aan bij de huidige situatie in Buiksloterham vanwege de gefaseerde ontwikkeling van Buiksloterham.

5.4.5 Beoordeling implementatie variant 3

Tabel 5-18 Overzicht KPI's Implementatie (PSTLG) voor variant 3.

Onderdeel:	Kwalitatieve beoordeling van variant 3	Score:
4.6. Politiek	De aansluiting op het stadswarmtenet is een belangrijk uitgangspunt voor de gemeente bij de ontwikkeling van Buiksloterham. In 90 % van de gevallen waarin kavels in erfpacht worden uitgegeven, geldt de verplichting. In 10 % van de gevallen worden uitzonderingen toegestaan. Bij de uitgifte van sommige kavels, wordt aansluiting verplicht gesteld, de mogelijkheid om van de uitzondering gebruik te maken wordt dan uitgesloten. Waar terreinen particuliere eigendom zijn, kan de gemeente de aansluiting niet afdwingen. wanneer bijvoorbeeld afwijking van het bestemmingsplan aan de orde is, kan de gemeente wel aanvullende eisen stellen, mogelijk ook ten aanzien van de aansluiting op het stadswarmtenet. Dit zal in onderhandelingen tussen de gemeente en de ontwikkelaar worden geregeld. Optimalisering van het PV potentieel wordt beleidsmatig ondersteund. Stedenbouwkundige concepten zijn niet altijd in lijn met dit uitgangspunt. De installatie van grootschalig windpotentieel kan op Amsterdams enthousiasme rekenen. Het provinciaal beleid is hiermee vooralsnog niet in lijn.	groen
4.7. Sociaal	Bewoners en andere gebruikers van de nieuwbouw hebben geen uitgesproken voorkeur voor aansluiting op het stadswarmtenet. Er is een bewuste groep die aansluiting waar mogelijk afwijst of probeert te omzeilen. In de stadswarmte variant is er weinig ruimte voor inspraak	oranje

	van de eindgebruiker wat slecht past binnen de bottom-up ontwikkeling van Buiksloterham. Een – tot nu toe kleinere – groep kiest voor aansluiting op het warmtenet. Het is een ontzorgende oplossing die weinig eigen initiatief en betrokkenheid vraagt. Wat elektriciteit betreft is sprake van een positieve houding ten opzichte van zo duurzaam en lokaal mogelijke opwek. Waar het de eigen woning betreft, wordt opwekking ook gestimuleerd door hoge EPC-eis in de kavelpaspoorten (0,15 – passiefhuis standaard).	
4.8. Technologie	Technologie is geen belemmerende noch een bevorderende factor in deze variant.	geel
4.9. Juridisch	De eerder genoemde warmteconcessie voor Amsterdam Noord schrijft grosso modo aansluiting op het stadsverwarmingsnet verplichtend voor. De nuance zit in de niet in erfpacht uit te geven kavels (waar de gemeente de aansluiting niet in de erfpachtvoorwaarden kan opnemen) en in de uitzonderingen die in 10 % uitzonderingen op de aansluitplicht zitten. Al met al is sprake van een stimulans van aansluiting op stadswarmte als gevolg van de vigerende concessie. Voor elektriciteit spelen juridische factoren geen stimulerende rol, soms is er sprake van enkele belemmeringen (collectieve PV op daken bijvoorbeeld).	groen
4.10. Governance	Aansluiting op het stadswarmtenet tout-court levert geen behoefte aan bijzondere, nieuwe samenwerking of beheersarrangementen op. Sommige arrangementen voor duurzame elektriciteitsopwekking vergen nog nadere organisatie en sturing.	geel

5.5 Bespreking basisvarianten nieuwbouw

5.5.1 Overzicht

In onderstaande tabel zijn de kwalitatieve beoordelingen voor de nieuwbouw overgenomen zoals die in de voorgaande paragrafen beschreven zijn. Daarnaast hebben de kwantitatieve gegevens ook een beoordeling gekregen, die is gebaseerd op de onderlinge verschillen tussen de varianten. Per beoordelingsthema is in de volgende pagina's een toelichting gegeven.

Tabel 5-19: overzicht beoordeling van de varianten energievoorziening nieuwbouw

	Criterium	Basisvariant 1	Basisvariant 2	Basisvariant 3
1	ENERGIE			
	% lokaal hernieuwbaar	38%	55%	36%
	% Totaal (lokaal + regionaal) hernieuwbaar	54%	100%	49%
	CO2 uitstoot [ton CO ₂ /jr]	2.443	-	787
	zelfvoorzienendheid	Gehele warmtevraag niet zelfvoorzienend	Lokale warmte benut, elektriciteit nog niet	Warmtevraag niet zelfvoorzienend
2	ECONOMIE			
Kosten eindgebruiker		TOTAAL € 12.919,-	TOTAAL € 17.482,-	TOTAAL € 20.522,-
Maatschappelijke kosten (benutting bestaande infra en noodzaak nieuwe infra)	Infra gas	neutraal	gemiddeld	gemiddeld
	Infra elektriciteit & piekvermogen(MWp)	gemiddeld(7,65)	gemiddeld (7,65)	gemiddeld (7,65)
	Infra stadswarmte	neutraal	neutraal	gemiddeld
3	CIRCULARITEIT			
	Grondstoffengebruik	niet circulair mogelijk	enkele knelpunten	veel knelpunten
	Water	veel knelpunten	enkele knelpunten	veel knelpunten
	Energie cumulatief	enkele knelpunten	veel knelpunten	veel knelpunten
	Biodiv. & ecosystemen	veel knelpunten	enkele knelpunten	veel knelpunten
	Gezondheid & welzijn	veel knelpunten	enkele knelpunten	enkele knelpunten
	Adaptiviteit & veerkracht	niet circulair mogelijk	geen belemmeringen	veel knelpunten
4	IMPLEMENTATIE (PSTLG)			
	Politiek	niet mogelijk	niet mogelijk	wordt bevorderd
	Sociale implicaties	knelpunten	neutraal	knelpunten
	Technologisch	neutraal	neutraal	neutraal
	Juridisch	niet mogelijk	knelpunten	wordt bevorderd
	Governance	neutraal	knelpunten	neutraal

5.5.2 Energie

Op basis van de gehanteerde uitgangspunten is het in geen van de varianten mogelijk om de jaarlijkse elektriciteitsbehoefte geheel lokaal op te wekken, ondanks ambitieuze uitgangspunten ten aanzien van het beschikbaar dakoppervlak. In alle gevallen kan energieneutraliteit voor de elektriciteitsvraag op regionale schaal worden bereikt door het plaatsen van een windmolen. Voor variant 1 (gas en elektriciteit) en variant 3 (stadswarmte en elektriciteit) is het plaatsen van 0,6 grote (3 MW) windmolen hiervoor voldoende. Voor variant 2 (all-electric met warmtepompen) is extra elektriciteit nodig omdat voor de warmtevraag een elektrische warmtepomp nodig is. Hiervoor is 1,1 grote windmolen nodig, ofwel een extra hoeveelheid elektriciteit t.o.v. variant 1 en 3 van 13.097 GJ/jr.¹³ Hiermee is dan meteen ook de totale warmtevraag gedekt.

Het grootste verschil tussen de varianten ligt in de wijze waarop in de warmtevraag voorzien wordt. In variant 1 is dat met gas, in variant 2 met warmtepompen en lokale laagwaardige energie, en in variant 3 met stadsverwarming.

Voor variant 1 is een grote hoeveelheid aardgas nodig. Dit is een eindige, niet lokale en niet regionale grondstof terwijl groen gas niet in de benodigde hoeveelheden lokaal of regionaal valt te produceren. Deze variant valt daarom vanzelfsprekend af als oplossing voor een duurzame energievoorziening met ambitie voor circulariteit.

In variant 2 wordt de volledige warmtevraag gedekt met een combinatie van lokaal opgewekte en opgeslagen warmte en de bovengenoemde hoeveelheid extra elektriciteit t.o.v. variant 1 en 3. Variant 2 is daarmee de enige variant die regionaal energieneutraal kan worden. Variant 2 is daarmee ook CO₂ neutraal. Er is nog geen sprake van zelfvoorzienendheid; d.w.z. het huidige net zal nog als opslag gebruikt worden om de ongelijktijdigheid van vraag en aanbod op te lossen. Door meer mogelijkheden voor opslag kan dit worden verbeterd.

In variant 3 wordt de warmte met name geleverd uit de Amsterdamse afvalverbrandingsinstallatie. Omdat dit afval slechts voor ca 50 % uit fossiele onderdelen bestaat en omdat het deels restwarmte betreft, leidt dit tot een veel lagere CO₂ uitstoot dan variant 1. Deze is echter nog steeds hoger dan de uitstoot van variant 2. Daarnaast scoort variant 3 lager op lokale en regionale energieneutraliteit.

5.5.3 Economie

De extra investeringen voor de eindgebruiker in variant 1 zijn het laagst, gevolgd door variant 2 en variant 3. Met name de eenmalige kosten voor aansluiting op het warmtenet zijn hoger dan die voor gas en elektriciteit. De gesommeerde investeringen plus jaarlijkse kosten over 15 jaar zijn ook het laagst voor variant 1, gevolgd door variant 2 en daarna 3.

Wat betreft maatschappelijke kosten en benutting van de infrastructuur benut variant 1 het beste de bestaande gas infrastructuur. De overige varianten maken geen gebruik van deze gas infrastructuur. Een

¹³ Variant 2 heeft meer elektriciteit nodig dan variant 1 en 3, vanwege het gebruik van warmtepompen. Echter, de geleverde 53.650 GJ/jr aan stadswarmte leidt tot een gedeelde elektriciteitsproductie. Gerekend met een gedeelde elektriciteitsproductie van 0,18 GJe/GJth (de Beer et.al, 2014) komt dit op een totaal van van 9.657 GJ (namelijk: 53.600 GJth x 0,18 GJe/GJth). Netto moet voor variant 2 daarom in feite 3.440 GJe/jr (namelijk: 13.097 GJ – 9.657 GJ) extra elektriciteit opgewekt worden t.o.v. variant 3. Dit komt neer op ca 1,7 m² PV paneel per woon- of werkeenheid.

mogelijkheid is om de gasleidingen te verwijderen, wat extra kosten met zich meebrengt. Anderzijds is het mogelijk de gasleidingen onbenut in de grond te laten. In beide varianten (2+3) is de investering in 2009 voor een gebruiksperiode van 8 jaar gedaan. Een geopperde mogelijkheid, die genoemd is tijdens de workshops met stakeholders uit het gebied, is het mogelijk maken van een gasaansluiting als backup voor experimentele duurzame oplossingen. Dit kan kosten schelen aangezien het gasnetwerk er al ligt. Deze mogelijkheid zou dan wel per geval bekeken moeten worden.

In alle varianten is de bestaande elektrische infrastructuur volledig benut. De zonnepanelen zijn de belangrijkste parameters voor de dimensionering van het nieuwe laagspanningsnet, ook voor de variant met warmtepompen is dit de maatgevende parameter. Hierbij is geen rekening gehouden met eventueel elektrisch vervoer (toename piekvraag) en slim management en opslag (verlaging piek).

In varianten 1 en 2 is geen gebruik gemaakt van de backbone en de benutting van het bestaande stadswarmte net is niet van toepassingneutraal. In variant 3 is de backbone wel benut.

De investeringen voor het aanleggen van stadsverwarming leidingen liggen bijna een factor 6 hoger dan het aanleggen van gasleidingen en elektriciteitskabels. Daarnaast is de levensduur van warmte/koude leidingen 12 jaar lager dan die van gasleidingen en elektriciteitskabels. Economisch gezien is het investeren in een toekomstig all-electric netwerk het meest interessant waarbij een uitfasering van het gasnet kan worden overwogen.

5.5.4 Circulariteit

Voor alle varianten geldt dat is uitgegaan van grote hoeveelheden PV en PVT, en kleine windturbines. Het grote aantal PV en PVT panelen op dit moment leidt tot uitputting van schaarse grondstoffen, waaronder zeldzame aardmetalen. Ook worden voor PV productie materialen gebruikt die worden geassocieerd met slechte werkomstandigheden en mensenrechtenschending. Zeker gezien de grote schaal waarop naar verwachting PV zal worden toegepast, zal aandacht moeten worden besteed aan deze aspecten. Er zal gezocht moeten worden naar PV panelen van een fabrikant die werkt volgens MVO principes. Tevens moet een levenscyclus die daadwerkelijk circulair is gegarandeerd worden en verdient het de voorkeur als de producent zijn product aan het eind van de gebruiksfase terugneemt. Dit is echter op dit moment nog geen standaard werkwijze. Ook voor windmolens dient hier aandacht aan te worden besteed; Zo hebben kleine windmolens een relatief grotere milieubelasting dan grotere windmolens (Greening & Azapagic, 2013).

Voor de levering van warmte zijn er de grootste verschillen tussen de varianten. Op basis van de uitgevoerde analyse kan worden gesteld dat van de drie varianten de tweede variant (all-electric) het meest in overeenstemming is met de grondbeginselen van een circulaire economie. In deze variant wordt er het minst gebruik gemaakt van fossiele brandstoffen en worden er de minste organische materialen en kunststoffen gebruikt voor de productie van energie. Deze variant levert ook een kleinere bijdrage aan de klimaatverandering dan variant 1. Ook biedt de modulaire opbouw van het systeem, waarin vooral ingrepen op gebouwniveau worden gedaan, veel mogelijkheden voor de herwinning van grondstoffen aan het einde van de levensduur. Verder verbruikt het systeem minder water en brengt het minder schade toe aan ecosystemen, biodiversiteit en de menselijke gezondheid. Ook treedt deze schade in mindere mate op in de lokale context van Amsterdam. Tot slot biedt de all-electric variant ook de grootste mate van aanpasbaarheid en is het beter in staat om maatregelen voor verdere verduurzaming te nemen.

Opvallend genoeg presteert variant 2 slechter dan variant 1 op het gebied van verzuring. Dit verschil kan toegeschreven worden aan de grotere hoeveelheid apparatuur en de WKO systemen die in variant twee nodig zijn. Desalniettemin heeft variant 2 over de gehele levensloop bekeken op de meeste vlakken een lagere milieubelasting dan de andere concepten.

5.5.5 Implementatie

Variant 1 is op juridische en met name politieke gronden geen haalbare variant (meer). De politieke doelstelling is in Amsterdam, en daarbuiten, dat gas als brandstof moet worden uitgefaseerd.

Warmteplannen in het algemeen en de concessieovereenkomst in Amsterdam Noord in dit geval, bieden de juridische basis om deze overgang af te dwingen. Technologisch en wat betreft governance kent deze variant slechts enkele belemmeringen die niet onoverkomelijk zijn, sociaal zijn er ook geen overwegende bezwaren. Op politieke en juridische gronden echter is deze variant geen serieuze optie. Gesteld kan worden dat dit wat betreft het gebruik van gas als – voorlopig – back-up systeem voor bijvoorbeeld WKO's te betreuren is.

Variant 2 wordt politiek in overwegende mate afgewezen. De doelstelling van een circulair Buiksloterham met een zo lokaal mogelijke hernieuwbare energievoorziening wordt weliswaar politiek gedragen, praktische uitwerking daarvan in de zin van het afwijken van de regel op stadswarmte aan te sluiten, wordt (nog) niet toegestaan. De eerder gemaakte afspraken, vastgelegd in de Concessieovereenkomst uit 2008 gaan boven de ambities van het Manifest Circulair Buiksloterham uit 2015. De mogelijkheid in 10 % van het verwachte aantal aansluitingen af te wijken van de aansluitplicht, is in sommige gevallen uitdrukkelijk uitgesloten. Dit zijn juridische obstakels, die alleen met politieke wil kunnen worden geslecht.

Wat betreft governance is variant 2 niet de meest eenvoudige, doch niet onhaalbaar. Een uitwerking die zowel qua energie als qua economie efficiënt is, kan alleen gevonden worden indien nieuwe vormen van samenwerking ontstaan. Er zijn in het gebied voorbeelden te vinden van samenwerking tussen verschillende bouwende partijen. Deze zou verder vorm moeten krijgen. Daarnaast is er ruimte voor een actieve rol voor een nieuwe partij die aanwijzingen voor de schaal waarop bijvoorbeeld WKO's worden gerealiseerd zou kunnen geven. Dit zou de efficiëntie verder bevorderen. Sociaal en technologisch is de variant neutraal. Wat de betrokkenheid van sommige bouwers betreft kan gesteld worden dat deze bevorderend is, al geldt dat niet voor allen. Omgekeerd kan gesteld worden dat de noodzaak van samenwerking op energiegebied het verstevigen van het sociaal weefsel in het gebied waarschijnlijk zou bevorderen.

Variant 3 kan zowel juridisch als politiek wel op steun rekenen, in tegenstelling tot de beide andere varianten. Deze variant wordt actief bevorderd, zelfs afgedwongen. Sociaal zijn er bezwaren. Een aanzienlijk deel van de thans bouwende partijen heeft bezwaren tegen de minder duurzame warmtevoorziening en de hoge kosten. Daarnaast ervaren sommigen het als dwang van overheidswege die niet van deze tijd is en die niet past in dit gebied. Technologisch en wat betreft governance is het een neutrale variant.

5.6 '0-alternatief' energievoorziening Buiksloterham

Zoals te lezen valt in hoofdstuk 2 'inventarisatie' is Buiksloterham geen greenfield. Er gelden specifieke randvoorwaarden en er is bestaande bouw. In deze paragraaf wordt het '0-alternatief' voor Buiksloterham beschreven; de situatie die er is en zal ontstaan indien er geen nieuwe ingrepen of interventies plaatsvinden. Ten eerste wordt een beschrijving gegeven van het 'systemisch 0-alternatief'; de manier waarop het gebied op dit moment gestuurd wordt m.b.t. de energievoorziening. Vervolgens wordt beschreven hoe naar verwachting de energievoorziening in de bestaande bouw en de nieuwbouw er uit zal komen te zien.

5.6.1 Systemisch 0-alternatief

Het systemisch 0-alternatief is gebaseerd op het bestemmingsplan en de daarmee beoogde ontwikkeling (zie §2.1.), de bestaande politieke constellatie in Amsterdam zonder noemenswaardige beïnvloeding door de Energietafel, lokale coöperaties, (zelf)bouwers, kwartiermakers of andere typische fenomenen die voortvloeien uit het manifest Circulair Buiksloterham, waaronder de ambitie van Buiksloterham als 'Living Lab' voor circulaire stedelijke ontwikkelingen.

In het bestemmingsplan voor Buiksloterham liggen de grote lijnen vast voor de ontwikkeling van het gebied in de komende 20 jaar. Het globale aantal woningen, te realiseren werkgelegenheid, dichtheden voor de nieuwbouw en dergelijke zijn daar gegeven. Daarnaast is het energiebeleid voor Buiksloterham redelijk kenbaar: verplichte aansluiting op stadsverwarming met een uitzonderingsmogelijkheid voor een beperkt aantal gevallen, een EPC voor nieuwbouw van 0,15, door verdichting en stedenbouwkundig plan enigszins beperkte mogelijkheid voor PV/PVT, afwijzing van nieuwe gasaansluitingen door gemeente.

Het toepassen van nieuwe technieken (zoals bio-raffinage voor nieuwe sanitatie) wordt niet actief bevorderd. Er wordt nauwelijks georganiseerd gezocht naar efficiënte gezamenlijke energievoorzieningen (warmteopslag, WKO, collectieve zonprojecten etc). Er is geen duidelijkheid over het te voeren mobiliteitsbeleid.

De gemeente treedt op als bewaker van het bestemmingsplan, zij is de belangrijkste grondeigenaar en aldus gronduitgevende/gunnende partij en daarmee ook maker van de kavelpaspoorten. Zij handhaaft de verplichting tot aansluiting op het warmtenet, de netbeheerder volgt indien nodig op termijn met het aanleggen van infrastructuur voor elektriciteit. Ontwikkeling vindt kavelgewijs plaats, samenwerking wordt niet actief gestimuleerd; wel is er een welwillend afwachende houding ten aanzien van maatschappelijke initiatieven.

5.6.2 0-alternatief bestaande bouw

De bestaande bouw beslaat ongeveer de helft van het gebied en bestaat grotendeels uit kleinschalige industrie en bedrijvigheid. Er is geen speciale incentive voor gebouweigenaren om aan energiebesparing te werken. Wel zijn er initiatieven om de daken van de bestaande bouw te benutten. Een voorbeeld is het gebruik van het dak van bouwmaterialenhandel Bouwmaat aan de Asterweg. PEK Ecoström is initiatiefnemer van het project, waardoor 276 zonnepanelen zijn geplaatst, en maakt hierbij gebruik van de 'Postcoderoosregeling'.

5.6.3 0-alternatief nieuwbouw

Gegeven de huidige ontwikkelingen in Buiksloterham zal de nieuwbouw in het gebied energiezuinig tot zeer energiezuinig zijn (EPC 0,15 of beter). Dit komt overeen met de aannames voor het finale energiegebruik zoals bepaald in hoofdstuk 4.

Vanaf 2020 zal alle bebouwing moeten voldoen aan de 'Bijna Energie Neutraal' eisen, wat betekent dat op jaarbasis 'bijna' even veel energie opgewekt dient te worden als er op jaarbasis gebruikt wordt (zie ook paragraaf 3.1 en 4.2). Dit is alleen mogelijk met voldoende zonne-energie (meestal PV) op de daken. In Buiksloterham is gekozen voor bouwen in hoge dichtheden met projecten tot 11 bouwlagen hoog. Ook is er in de meeste gevallen voor gekozen om de hoogbouw het beste uitzicht te gunnen, in Buiksloterham vaak aan de zuidkant van de kavel waardoor het grootste gedeelte van het dakvlak van de laagbouw minder geschikt voor het plaatsen van PV. Er zal desondanks een grote hoeveelheid PV-panelen worden geplaatst, waardoor gemiddelde verzwaring van het laagspanningsnet voor elektriciteit noodzakelijk zal zijn als verder geen maatregelen worden getroffen. Ook de groei van elektrische mobiliteit kan dit effect versterken.



Docklands (<http://www.wonenindocklands.nl/>)



Noord4us (<http://noord4us.nl/>)

Figuur 25: Voorbeelden nieuwbouwprojecten Buiksloterham

Gegeven het juridisch kader zal naar alle waarschijnlijkheid ongeveer 85-90 % van de nieuwbouw aansluiten op stadswarmte, en zal de overige 10-15% een eigen duurzame oplossing kiezen. Samenwerken aan collectieve oplossingen blijkt moeilijk van de grond te komen, omdat de bouwperiode van de verschillende kavels en sub-kavels niet voldoende gelijk loopt en er nog onvoldoende investeringspotentieel is voor grootschalige gemeenschappelijke energievoorzieningen, zoals bijvoorbeeld WKO.

5.6.4 Samenvattend:

Volgens het 0-alternatief is er voor de bestaande bouw geen structurele aanpak voor energiebesparing en verdere verduurzaming, maar zal naar verwachting wel steeds meer gebruik worden gemaakt van de daken voor collectieve zonnedaken zoals dat al op de Bouwmaat gebeurt. Voor de nieuwbouw zal het overgrote deel van de bebouwing volgens de aansluitplicht aan de stadsverwarming aangesloten worden op stadswarmte, en dus qua energievoorziening lijken op nieuwbouwvariant 3. Ca 10% van de gebouwen zal een eigen duurzame oplossing kiezen, bijvoorbeeld met WKO en warmtepompen zoals variant 2, maar ook andere oplossingen zijn denkbaar, zoals bijvoorbeeld de pelletkachel van Patch 22. Energievoorziening volgens variant 1 zal gezien het juridisch kader niet voorkomen voor de nieuwbouw. Naar verwachting zal alle nieuwbouw een hoge energieprestatie hebben en zeer energiezuinig zijn en valt veel elektriciteitsopwekking met PV te verwachten.

6 Maximaal duurzame en haalbare oplossingen

In het voorgaande hoofdstuk is een aantal basisoplossingen voor de energievoorziening besproken. Voor de bestaande bouw is uitgegaan van met name verhogen van de opwekking van duurzame energie met zonne- en windenergie. Voor de nieuwbouwopgave zijn drie basisvarianten voor de energievoorziening besproken, die geen van alle de best mogelijke oplossing blijken te zijn. Tot slot is een beeld geschetst van het 0-alternatief voor Buiksloterham; de situatie die er is en zal ontstaan indien er geen nieuwe ingrepen of interventies plaatsvinden.

In dit hoofdstuk worden verbetermogelijkheden t.o.v. de basisvarianten voor de nieuwbouw en t.o.v. het '0-alternatief Buiksloterham' verkend. Het streven is een energiesysteem dat aan de volgende wensen voldoet:

- 1) Verbeteren energieprestatie:
 - a. Maximaal benutten lokaal opgewekte energie (warmte en elektriciteit)
 - b. Voorkomen van CO₂ uitstoot.
- 2) Verbeteren systeemintegratie en bijdragen aan het energiesysteem op grotere schaal:
 - a. Voorkomen van noodzakelijke verzwaring van elektriciteitsnetten
 - b. Bijdragen aan meer flexibiliteit in het energiesysteem
 - c. Bijdragen aan oplossingen voor het vraagstuk 'seizoensopslag voor warmte'
- 3) 'Future fit' zijn: voorbereid op volledig hernieuwbare energie
- 4) Aandacht voor overige indicatoren circulariteit: circulair grondstoffengebruik mogelijk maken en schadelijke emissies uiteindelijk geheel voorkomen.
- 5) Economisch haalbaar zijn (investerings en gebruik)

In paragraaf 6.1 worden verschillende verbeteringen per thema geanalyseerd, tevens in relatie tot de energie analyse van hoofdstuk 4 en de beoordeling van de basisvarianten in Hoofdstuk 5.

In paragraaf 6.2 wordt een vierde variant voor de energievoorziening van de nieuwbouw beschreven, gebaseerd op de verschillende mogelijkheden uit § 6.1. Deze variant heeft een innovatiever karakter dan de basisvarianten van hoofdstuk 5.

In paragraaf 6.3 wordt ingegaan op de specifieke situatie van BSH en mogelijke verbeteringen t.o.v. het '0-alternatief' zoals dat is beschreven in paragraaf 5.6. Hier komt ook de relatie met tussen bestaande bouw en nieuwbouw aan de orde.

Belangrijke benodigde innovaties (technisch en procesmatig) worden beschreven in paragraaf 6.4.

6.1 Verbetermogelijkheden per thema

6.1.1 Maximaal lokaal opwekken van warmte

Uit de energiepotentie studie (paragraaf 4.4) is gebleken dat er ruim voldoende warmte lokaal kan worden opgewekt. Met name 'laagwaardige warmte' (~15-25°C) is ruim voldoende beschikbaar, zowel van zonne-energie als uit het riool. Het opwekken van warmte op een hogere temperatuur gaat bij zonne-energiesystemen ten koste van de elektriciteitsproductie. Per vierkante meter beschikbaar oppervlak voor zonne-energie, is het energetisch het meest interessant om PVT panelen (opwekking elektriciteit en warmte uit één paneel) te gebruiken in combinatie met WKO (Van Helden et al. 2013). Aan de andere kant kost het opwaarderen van laagwaardige warmte weer elektriciteit, omdat een warmtepomp nodig is om een hogere temperatuur te krijgen. Een eenvoudige berekening¹⁴ toont aan dat het desondanks energetisch meer oplevert om 10 m² PVT toe te passen i.c.m. een warmtepomp, dan PVT op hogere temperatuur of een combinatie van PV (alleen elektriciteit) en zonnecollectoren (alleen warmte). Een financieel optimum kan mogelijk een ander plaatje opleveren.

In principe is het qua energieopbrengst per beschikbare vierkante meter derhalve voordeliger om warmte op lage temperaturen op te wekken en op te waarden met een warmtepomp, dan direct warmte van hogere temperaturen op te wekken. Een nadeel is echter dat door het gebruik van de warmtepomp in de winter een piekvraag aan elektriciteit zal ontstaan. Om dit te voorkomen zou warmte-opslag op hogere temperaturen moeten worden toegepast. Daardoor kan de warmtepomp ingezet worden als er een aanbod van elektriciteit is. Zowel aan balans op korte als op lange termijn, kan opslag van thermische energie aldus een bijdrage leveren; de termijn hangt tevens af van de capaciteit en het warmteverlies van de opslag.

6.1.2 Maximaal lokaal opwekken van elektriciteit

Gezien het beschikbare dakoppervlak is de hoeveelheid lokaal op te wekken elektriciteit beperkt. Zeker als ook de elektriciteitsvraag van de bestaande bouw wordt meegenomen is het niet mogelijk lokaal voldoende op te wekken. Mogelijkheden om de lokale elektriciteitsopwekking te vergroten zijn het (tijdelijk) gebruik maken van braakliggende (vervuilde) kavels voor zonneparken en het benutten van andere mogelijkheden in de openbare ruimte. Ook zonder dat, kan een aanzienlijke hoeveelheid PV en daarmee piekvermogen worden verwacht. De integratie van grote hoeveelheden PV in het net wordt besproken in de volgende paragraaf.

6.1.3 Verbeteren systeemintegratie en bijdragen aan het energiesysteem op grotere schaal

De energievoorziening voor de gebouwde omgeving is in transitie. Bij een steeds groter aandeel duurzame opwekking is het van steeds groter belang dat het energiesysteem flexibel en geïntegreerd is. Ten eerste leiden grote hoeveelheden zonne-energie tot grote pieken in het aanbod van elektriciteit terwijl het gebruik van warmtepompen en elektrisch vervoer tot grote pieken in de vraag leiden. Daarnaast is er sprake van een

¹⁴ Volgens de volgende eenvoudige berekening levert PVT i.c.m. een warmtepomp de meeste energie per m²:

- 5 m² PVT i.c.m. WKO levert circa 10 GJ laagwaardige warmte + 3 GJ elektriciteit per jaar. Het opwaarderen van de warmte kost ca 2,5 GJ bij een COP van 5: In totaal is dan 12,5 GJ warmte verkregen en resteert nog een opbrengst van 0,5 GJ elektriciteit per jaar.
- 5 m² PVT in combinatie met een boiler (dus warmtelevering op hogere temperaturen) levert 1,5 GJ elektriciteit en 3 GJ warmte per jaar.
- 5 m² zonnecollector i.c.m. een boiler levert circa 6 GJ warmte per jaar.

mismatch tussen vraag en aanbod, zowel op etmaal-schaal als tussen de seizoenen. Idealiter zal een flexibel en geïntegreerd energiesysteem voor Buiksloterham dus een bijdrage leveren aan:

- a. voorkomen van de noodzaak tot verzwaring van elektriciteitsnetten
- b. meer flexibiliteit in het energiesysteem
- c. oplossingen voor het vraagstuk 'seizoensopslag voor warmte'

6.1.4 Integratie en flexibiliteit met energieopslag

Voor het oplossen van de mismatch in tijd tussen vraag en aanbod van elektriciteit zijn er verschillende mogelijkheden, zoals demand-side management ('het aanzetten van de wasmachine wanneer er een overschot aan elektriciteit is' of het flexibel inzetten van een warmtepomp) en opslag. Opslag van elektriciteit in batterijen is echter niet geschikt voor de lange termijn; dit zou teveel batterijen kosten en te duur worden. Andere mogelijkheden zijn de elektriciteit in de zomer om te zetten in warmte (power to heat) of in waterstof (power to gas) en zo een deel van de mismatch op te lossen. Op dit moment lopen er vele ontwikkelingen op het gebied van energieopslag, ook voor seizoenen. De meeste van deze innovaties zijn nog in de onderzoeks- of pilot fase.

6.1.5 Smart grids, DC-netten en mobiliteit

Smart grids worden volgens het Europese Technologie Platform Smart Grids gedefinieerd als 'elektriciteitsnetwerken die op een slimme wijze het gedrag en de acties van alle aangesloten gebruikers (producenten, consumenten en die beide doen) kan integreren met het oog op een duurzame, economische en veilige levering van energie'. Smart grids leveren niet alleen aanbod, maar ook informatie en inlichtingen. Voor een gebied met een hoge mate van duurzame opwekking heeft een slim net een grote toegevoegde waarde.

Daarnaast is toepassing van DC (gelijkstroom) netten een mogelijkheid tot verdere besparing. Warmtepompen, ledverlichting (inclusief led straatverlichting), elektrische auto's en andere apparatuur werken al op gelijkstroom en PV panelen leveren ook gelijkstroom. Het huidige elektriciteitsnet werkt echter op wisselstroom (AC), waardoor twee keer een converter nodig is. Door het gebruik van deze converters te vermijden, kan energie bespaard worden. Verschillende partijen, waaronder Liander, werken al aan diverse proefprojecten (zie o.a. Energie+, jrg 36 nr 3, september 2016). Ook voor het slimmer omgaan met elektriciteit in Buiksloterham is dit een relevante ontwikkeling.

6.2 Nieuwbouw variant 4: maximaal lokale warmte + systeemintegratie

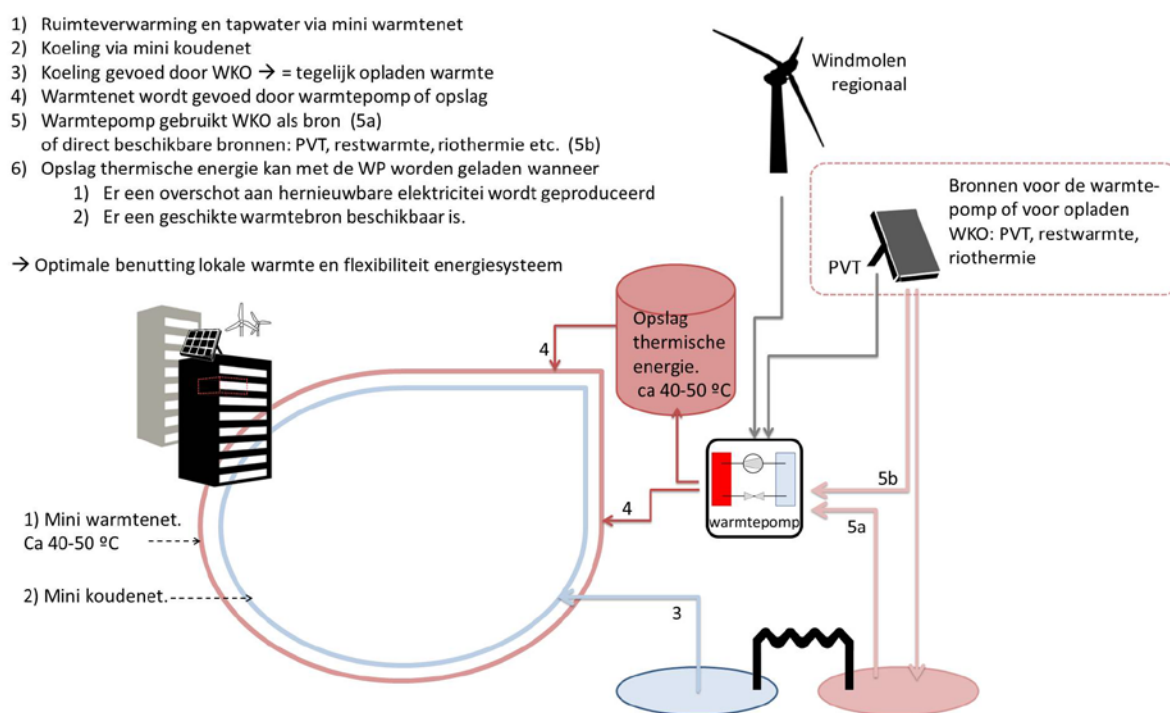
In deze paragraaf wordt een alternatieve variant voor de energievoorziening van de nieuwbouw voorgesteld, op basis van de in de vorige paragraaf genoemde verbetermogelijkheden. Deze variante gaat uit van maximale benutting lokaal opgewekte warmte, waarbij hoge piekvraag en –aanbod van elektriciteit worden voorkomen door opslag. Dit geeft tegelijkertijd flexibiliteit in het de energievoorziening.

6.2.1 Beschrijving van variant 4

Het systeem voor energievoorziening in deze variant bestaat uit de volgende onderdelen:

- Een mini-warmtenet op een temperatuur die direct voor ruimteverwarming kan worden benut, tussen 40 en 50 °C.
- Voor tapwater zijn er verschillende mogelijkheden.
- Een mini-koudenet voor koeling.
- Een collectieve warmtepomp voor het opwaarderen van de laagwaarde warmte (van PVT, restwarmte van riool e.d.) tot op het niveau van het mini-warmtenet.
- Dubbele warmteopslag: Er wordt uitgegaan van een combinatie van WKO in de bodem (vanwege de grote capaciteit en de mogelijkheid ook koude te leveren) en een opslagvat op iets hogere temperaturen (ca 45-50°C). Het opslagvat op hogere temperatuur wordt gevoed door de warmtepomp. Dit geeft tegelijk flexibiliteit ten aanzien van het elektriciteitsgebruik van de warmtepomp op relatief grote schaal.

In figuur 25 is een schematisch principe van een oplossing met mini-warmtenet getoond. De verschillende mogelijke configuraties en optimalisatie hiervan dienen nog verder onderzocht te worden. Ook de optimale schaal van een dergelijk mini-warmte en -koudenet behoeft nog verder onderzoek.¹⁵



Figuur 26: Schematische weergave van variant 4 voor energievoorziening nieuwbouw.

¹⁵ Dit is onder andere onderwerp van het recent gestarte Europese onderzoeksproject “Smart Urban Isle”, waarin ook de casus Buiksloterham verder wordt onderzocht. <http://jpi-urbaneurope.eu/project/smart-urban-isle/>

Het mini-warmtenet dient in de winter voor ruimteverwarming en tapwaterbereiding. Een eerste voordeel t.o.v. variant 2 is dat in dit geval een collectieve warmtepomp kan worden gebruikt voor het opwaarderen van de laagwaardige warmte tot het juiste temperatuurniveau. Een grotere warmtepomp kan in principe betere prestaties leveren. Het tweede voordeel - meer flexibiliteit ten aanzien van het energiesysteem - geldt alleen door de combinatie met de thermische opslag op het temperatuurniveau van het warmtenet. Door deze opslag kan de warmtepomp optimaal functioneren: zowel wanneer er aanbod is van restwarmte als wanneer er een overschot is aan elektriciteit.

Het mini-warmtenet is met de voorgestelde temperatuur van 40-50°C direct geschikt voor ruimteverwarming. Voor tapwater wordt in Nederland echter vaak aangehouden dat de temperatuur boven de 65°C moet zijn vanwege legionella. Internationaal gezien, met name in Duitsland en Denemarken, wordt ook met innovatieve tapwatersystemen gewerkt die samen gaan met warmtelevering op deze temperaturen (ca 45°C).¹⁶ De mogelijkheden voor warmtapwatervoorziening bij een lage temperatuur levering dienen voor de Nederlandse situatie nog verder onderzocht te worden.

Naast benutting van zonnewarmte kan warmte uit afvoerwater benut worden. Dit kan op verschillende punten in de afvoer : bij de gebruiker (bijvoorbeeld douche warmteterugwinning), in het riool of bij de rioolwaterzuivering. Op gebouwniveau is ook warmteterugwinning mogelijk. Dit heeft als voordeel dat de relatief hoge temperaturen (bijvoorbeeld van vaatwasser en wasmachine) niet altijd volledig gemixt worden met lagere temperatuur afvalwater, waardoor warmte efficiënter teruggewonnen kan worden. Ook deze techniek is nog relatief nieuw en dient verder onderzocht te worden.

6.2.2 Beoordeling van variant 4

Energie

Opslag en distributie van warmte op direct benutbare temperaturen heeft ten eerste als voordeel dat zich bij een grote behoefte aan warmte geen hoge piekvraag voordoet: de warmte kan immers wanneer deze eenmaal is geproduceerd zonder verdere inzet van een warmtepomp geleverd worden. Een tweede voordeel is dat dit flexibiliteit oplevert ten aanzien van het opvangen van een piekaanbod van elektriciteit: bij hoge PV opbrengsten kan de warmtepomp worden ingeschakeld om hogere temperaturen warmte op te wekken. Ook andere overschotten aan elektriciteit kunnen zo nuttig worden ingezet.

Door de maximale benutting van laagwaardige warmte maakt dit invoeden van vele duurzame (rest)warmte mogelijk. Op jaarbasis is de prestatie van deze variant wat energie betreft vergelijkbaar of enigszins beter dan variant 2 (all-electric), omdat verwacht mag worden dat een collectieve warmtepomp die flexibel opereert nog beter presteert dan een warmtepomp in variant 2. Dit betekent concreet minder elektriciteitsverbruik. Wat betreft de indicator 'zelfvoorzienendheid' presteert deze variant vele mate beter. Bovendien heeft deze, zoals eerder beschreven, zelfs voordelen voor het totale energiesysteem door de mogelijkheid van netbalancing.

¹⁶ In Denemarken zijn er verschillende oplossingen voor het combineren van lage temperatuur warmtenetten met tapwater bereiding. In verschillende rapporten (Lund et.al., 2014 en Christiansen et.al. 2013) worden twee opties voor beschreven: een 'Instantaneous Heat Exchanger Unit' (IHEU) en een 'low temperature District Heating Storage Unit' (DHSU). In beide gevallen wordt het tapwater nooit zelf opgeslagen en na opwarming direct gebruikt, waardoor er geen risico op legionella is. Bij de tweede opties (DHSU) is er wel sprake van opslag, maar dit is van het warmtenet (om een constante flow mogelijk te maken) en niet van het tapwater zelf.

Economie

Deze variant kan qua kosten voor de eindgebruiker nog niet voldoende worden beoordeeld, omdat deze afhankelijk is van meerdere innovatieve oplossingen, waaronder opslag en de gekozen oplossing voor tapwater voorziening. Wat maatschappelijke kosten betreft is wel sprake van grote voordelen in deze variant door het bieden van systeemintegratie en van flexibiliteit aan het net.

Circulariteit

Variant 4 is in grote lijnen vergelijkbaar met variant 2, met mogelijk nog minder elektriciteitsgebruik vanwege een hogere brontemperatuur voor de warmtepomp. Door de flexibele inzet van elektriciteit is er geen noodzaak voor netverzwaring, wat tot een besparing van materialen leidt.

Variant 4 is adaptief en toekomstgericht vanwege de mogelijkheid tot maximaal duurzame invoeding. Een ander mogelijk positief aspect is dat minder sprake is van het heat island effect door het 's zomers maximaal opslaan en zo afvoeren van beschikbare warmte die wordt geproduceerd in de zonne-energiesystemen (ook PV). Een aandachtspunt blijft het materiaalgebruik van de grote hoeveelheden PVT en PV die worden gebruikt. Voor circulair grondstoffengebruik dient mogelijk ook een geschikt businessmodel (leasen etc) beschikbaar te zijn.

Implementatie aspecten

In hoeverre deze variant politiek en juridisch haalbaar is, is thans niet duidelijk. Hierop wordt verder ingegaan in paragraaf 6.3. Sociaal kent deze variant niet de nadelen die de basis met centrale warmtevoorziening van een hoge temperatuur wel kent. Technologisch is deze variant complexer en behoeft deze enige innovatieve technieken die nog niet volledig getest zijn in de Nederlandse situatie. De balancerings van warmte- en koude-bronnen vergt goede afstemming. Dit geldt ook voor variant 2.

Wat betreft governance vraagt deze variant samenwerking in optima forma bijvoorbeeld bij het aanleggen van WKO-installaties, onderlinge verbinding van de netten per kavel en andersoortige afspraken ten aanzien van de back-up. Het gebied lijkt hier door de ambitie te experimenteren en de aanwezigheid van partijen die hiertoe bereid zijn, relatief geschikt voor te zijn.

6.3 Toepassing verbeteringen op de casus Buiksloterham

In deze paragraaf worden mogelijkheden voor verduurzaming van het 0-alternatief verkend, binnen de huidige kaders en randvoorwaarden zoals beschreven in paragraaf 5.6. Dit betekent dat verbeteringen kunnen worden gezocht in de volgende richtingen:

- 1) Elektriciteit: naar verwachting zal er met name een piekaanbod ontstaan, en bij groei van het elektrische mobiliteit kan tevens een piekvraag ontstaan. Verduurzaming van de elektriciteitsvoorziening vergt daarom tegelijk maximalisatie van de elektriciteit opbrengst en voorkoming van de pieken. Daarnaast moet de opgewekte elektriciteit zo efficiënt mogelijk worden ingezet.
- 2) Warmte: uitgangspunt is de concessieovereenkomst voor aansluiting op stadswarmte voor het gebied. Op dit moment wordt verkend hoe deze in de toekomst zo duurzaam mogelijk kan worden ingevuld.
- 3) Gebouwen: in hoeverre kan het energiegebruik van de nieuwbouw en bestaande bouw nog verder gereduceerd worden?
- 4) Bestaande bouw versus nieuwbouw: Welke oplossingen houden rekening met de combinatie van deze twee in het gebied?

Onderstaand wordt verder ingegaan op elk van deze oplossingsrichtingen.

6.3.1 Elektriciteit

Bij een hoge integratiegraad van PV zal er een groot piekaanbod aan elektriciteit ontstaan. Zoals ook besproken in paragraaf 6.1 zijn intelligente elektriciteitsnetten ('smart grids') beter in staat deze pieken te voorkomen. Voorwaarde is wel dat er enige flexibiliteit is in het systeem: d.w.z. er moet wel een afnemer zijn voor de opgewekte elektriciteit op het moment dat deze wordt opgewekt. Warmtepompen in combinatie met opslag zijn hier bij uitstek geschikt voor, maar deze zullen in het 0-alternatief relatief weinig voorkomen. Een andere mogelijkheid is het slim laden en ontladen van elektrisch vervoer (EV). Verschillende onderzoeken en pilots lopen al op dit gebied en het zou een gemiste kans zijn de laatste stand van zaken niet mee te nemen in de ontwikkeling van Buiksloterham. Ook de mogelijkheden voor DC (gelijkstroom) netten kan worden onderzocht. Voor de waterkavels is dit niet (financieel) haalbaar gebleken. Voor het gebied als geheel dienen echter ook andere mogelijkheden te worden onderzocht, wederom in combinatie met elektrisch vervoer, maar ook de combinatie met LED straatverlichting is veelbelovend.

6.3.2 Warmte

Het huidige warmtenet levert hoge temperaturen (80-90 °C). Voor de nieuwbouw is dit niet nodig vanwege de hoge isolatiewaarde en daarmee de mogelijkheid lage temperatuur verwarming toe te passen. Ook voor tapwater zijn er nieuwe ontwikkelingen die op lagere temperatuur kunnen werken (zie paragraaf 6.1 en 6.2). Door nu uit te gaan van systemen die alleen functioneren op hoge temperatuur wordt de mogelijkheid voor duurzame invoeding nu en in de toekomst beperkt.

Ook nu al kan lage temperatuur warmte efficiënter geproduceerd worden dan hoge temperatuur warmte: Bij de huidige stadsverwarming wordt indirect nog aanzienlijk wat gas verbruikt in hulpwarmteketels en bij de elektriciteitscentrales (die de gedeelde elektriciteit t.g.v. de aftapping van heet water of stoom moeten compenseren) (Buiting, 2016). Daarnaast is de toekomstbestendigheid van de huidige (rest)warmtebronnen onduidelijk. Uitgaan van afvalverbranding is op lange termijn niet vol te houden en dus ook niet duurzaam; lokaal afval kan überhaupt slechts circa 5 % van de 'eigen' warmtevraag voorzien. In de warmtevisie van de MRA (MRA, 2016) zijn scenario's ontwikkeld waarbij over 10 jaar de beschikbare restwarmte en het

beschikbare afval zullen afnemen. In de meeste scenario's speelt (ultra) diepe geothermie een aanzienlijke rol. Naast het feit dat ultra diepe geothermie nog in de onderzoekssfeer zit speelt ook hier dat aftappen van hoge temperatuur warmte ten koste gaat van de elektriciteitsproductie. Lage temperatuur warmtenetten maken het mogelijk laagwaardige duurzame warmte in te voeren. Ook werkelijke restwarmte (d.w.z. zonder derving van elektriciteitsopbrengst), zoals van bijvoorbeeld rioolwaterzuiveringsinstallaties of datacenters kan wel worden ingevoerd in lage temperatuur warmtenetten maar niet in hoge temperatuur warmtenetten.

Al met al kan gesteld worden dat het voor nieuwbouw een gemiste kans is als niet wordt uitgegaan van lage temperatuur warmte en daarmee maximale benutting van de lokale warmtepotentie. Voor Buiksloterham betekent dit dat de lokale warmtenetten op relatief lage temperatuur moeten worden ingericht (ca 45-50°C aanvoer en ca 25°C retour), mogelijk met een back-up vanuit de backbone van de huidige stadsverwarming. Zo kan het lokale net op termijn volledig duurzaam worden gevoed en kan de beschikbare hoge temperatuur warmte worden gebruikt voor bestaande bouw die moeilijk te renoveren is.

6.3.3 Verder reduceren van de energiegebruik van gebouwen

Binnen de huidige en toekomstige eisen is de nieuwbouw al erg energiezuinig wat betreft warmtevraag en tapwater. Koeling is een aandachtspunt in goed geïsoleerde woningen. Zeker bij aansluiting op het huidige stadswarmtenet betekent een koelvraag een relatief hoog extra energiegebruik, en dient dus in het architectonisch ontwerp onnodige verhitting te worden voorkomen. Dit kan o.a. door overstekken, goede zonwering en de mogelijkheid tot zomer(nacht) ventilatie e.d. Naast aandacht voor het bouwkundig ontwerp kunnen maatregelen zoals douche-wtw, hot-fill was- en vaatmachines, en led-verlichting bijdragen aan een lager energiegebruik, met name van elektriciteit.

In de stedenbouwkundige plannen en in de bouwveloppen/kavelpaspoorten, kan in een vroeg stadium meer rekening gehouden worden met energetische aspecten. Het tegengaan van urban heat island effect kan een onnodige koelvraag voorkomen. M.b.t. de nieuwbouw kan ook hier worden opgemerkt dat stadsverwarming een nadelig effect kan hebben op de energie efficiëntie van een woning. Deze zal immers bij aansluiting, ondanks minder energiebesparende maatregelen, al eerder aan de EPC eis voldoen. Feitelijk kan dus van aansluiting op stadsverwarming een perverse prikkel uitgaan op het energiezuinig ontwerpen en bouwen (Buiting, 2016).

Ongeveer de helft van het gebied van Buiksloterham bestaat uit bestaande bouw. Hoewel dit veelal laagbouw betreft is het energiegebruik van de bestaande bouw groter dan het verwachte energiegebruik van de nieuwbouw. Voor een duurzaam Buiksloterham zijn energiebesparende ingrepen en in de bestaande bouw dus van groot belang. Het is echter niet mogelijk een eenduidige uitspraak over de bestaande bouw te doen, gezien de diversiteit van het soort gebouwen en het soort gebruik. Voor de bestaande bouw zal per geval moeten worden beoordeeld of energiebesparing zinvol is en hoe dit kan worden gerealiseerd.

6.3.4 Nieuwbouw versus bestaande bouw

Voor de nieuwbouw is geconcludeerd dat een lage temperatuur warmtenet meer mogelijkheden voor verduurzaming geeft dan een hoge temperatuur warmtenet. Omdat niet duidelijk is welk deel van het gasgebruik van de bestaande bouw wordt benut voor warmte en welk deel voor industriële processen, kan geen uitspraak worden gedaan in hoeverre het gasgebruik zou kunnen worden vervangen door

warmtelevering. Over het algemeen kan worden gesteld dat aansluiting op het warmtenet duurzamer is dan de huidige gasaansluiting. Voor bestaande bouw is warmte op hogere temperaturen (vaak circa 90°C) nodig. Zoals echter eerder is opgemerkt is het zonde om in dit gebied met zoveel nieuwbouw warmtenetten aan te leggen op hoge temperatuur indien er slechts enkele bestaande gebouwen worden aangesloten; in dat geval kan voor de enkele aansluiting met een hoge temperatuur energievraag beter lokaal de temperatuur worden opgehoogd met een warmtepomp.

Gezien het diverse en industriële karakter van de bestaande bouw (zie hoofdstuk 2) moet veel van de bestaande gebouwvoorraad apart beoordeeld worden: is energiebesparing zinvol, is aansluiting op warmte zinvol, of kan verwacht worden dat op termijn sloop zal plaatsvinden en nieuwbouw er voor in de plaats zal komen. Een meer objectgerichte aanpak van de bestaande bouw is aan te raden, waarbij wel de relatie met het gehele gebied

6.3.5 Conclusies en Aanbevelingen 'BEST BSH'

Voor Buiksloterham, waar zoveel energiezuinige nieuwbouw wordt gebouwd is het een gemiste kans om een warmtenet 'oude stijl' aan te leggen voordat de haalbaarheid van een lage temperatuur net voldoende is onderzocht. De hoge temperatuur is in de nieuwbouw niet nodig, door de hoge temperatuur kan de potentie aan lokale warmte (LT) niet benut worden en tenslotte is een hoge temperatuur warmtenet ongeschikt voor toekomstige duurzame invoeding. Op langere termijn kan zelfs een tekort aan hoge temperatuur warmte op stedelijk niveau ontstaan. Voor verdere verduurzaming en maximalisatie van lokaal op te wekken energie dienen lage temperatuur warmtenetten verder worden onderzocht. Lokaal invoeden moet mogelijk zijn; eventueel met back-up op het huidige stadswarmtenet. Bestaande bouw binnen het gebied kan desgewenst ook op dit lage temperatuurnet worden aangesloten; de temperatuur kan naar behoefte worden opgehoogd met een warmtepomp. Een belangrijke aanbeveling is geen lock-in te creëren door het aanleggen van een hoge temperatuur energiesysteem voor de nieuwbouw.

Verder dient rekening gehouden te worden met een te verwachten piekaanbod aan elektriciteit t.g.v. de vele PV panelen. Een piekvraag aan elektriciteit kan ontstaan bij stevige groei van het elektrisch vervoer. Een piekvraag kan worden voorkomen door smart grids in combinatie met opslag. Pilots met DC netten en een combinatie met EV kunnen verder worden onderzocht.

Tot slot kan de 'living lab' status van Buiksloterham meer experimentele oplossingen mogelijk maken, zoals tapwaterlevering i.c.m. lage temperatuur warmtenetten en gebruik van warmte uit de bio-raffinaderij.

6.4 Benodigde innovaties (technisch en systemisch)

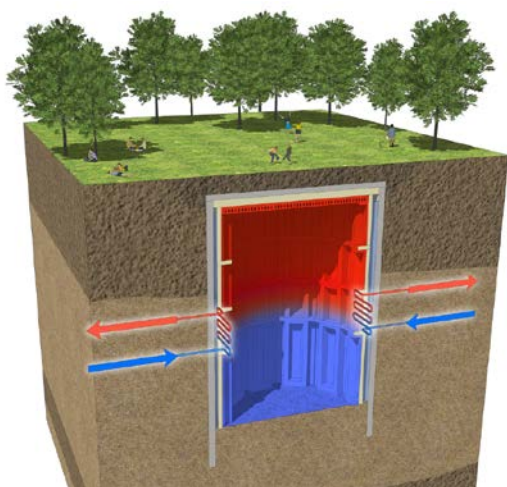
Uit de voorgaande paragrafen kan worden geconcludeerd dat de haalbaarheid van een flexibele en geïntegreerde energievoorziening met maximale lokale hernieuwbare opwekking gebaat is bij nieuwe of vernieuwde producten of diensten. Zowel verduurzaming van de warmtelevering als het verder verduurzamen van de elektriciteitsvoorziening vergen productinnovaties en pilots. De volgende vernieuwingen kunnen een belangrijke bijdrage leveren:

- Mogelijkheden voor lange termijn opslag van thermische energie.
- Verder onderzoek naar toepassing van lage temperatuur warmtenetten
- Boosters en andere oplossingen die de levering van warm tapwater in combinatie met lage temperatuur netten mogelijk maken.
- Warmteterugwinning uit afvalwater (ook decentraal)
- PVT en energiezuinige warmtepompen die een hoge prestatie hebben bij kleine temperatuursprongen. (d.w.z. die slechts een klein temperatuurverschil hoeven te overbruggen tussen de beschikbare warmtebron en de te leveren warmte)
- Slimme elektriciteit: smart grids, DC netten en de combinatie van duurzame opwekking en elektrisch vervoer

Tot slot zijn ook minder technische innovaties essentieel om nieuwe energieconcepten te kunnen realiseren. Te denken valt met name aan partijen die voorfinanciering in collectieve energievoorziening kunnen verzorgen, en die een transparant en concurrerend aanbod voor beheer van collectieve installaties (o.a. voor WKO, maar ook anderszins) kunnen aanbieden.

6.4.1 Energieopslag

Er wordt momenteel veel onderzoek gedaan naar opslag. Voorbeelden van mogelijk relevante producten zijn bijvoorbeeld Ecovat, een 'slim vat' voor het opslaan van thermische energie (zie afbeelding 28). Op dit moment wordt een eerste full-scale pilot gebouwd. Ook wordt er onderzoek gedaan naar 'compacte thermische opslag'. TNO doet, in samenwerking met vele andere partijen, onderzoek naar thermo-chemische opslag (zie figuur 29). Deze technologie is echter nog in ontwikkeling en nog niet marktrijp.



Figuur 27: Ecovat thermische opslag
(www.ecovat.nl)



Figuur 28: Testopstelling van de thermo-chemische opslag
ontwikkeld in het MERITS project (www.merits.eu)

Voor Buiksloterham zal dus mogelijk naar eenvoudiger, bestaande technieken gekeken moeten worden. Ook gewone thermische opslag in geïsoleerde buffervaten kan hiervoor geschikt zijn.

6.4.2 Lage temperatuur warmtenetten

Lage temperatuur warmtenetten kunnen een grote rol spelen bij het integreren van duurzaam opgewekte warmte. Ook internationaal, met name in Denemarken en Duitsland, is er veel aandacht voor lage temperatuur warmtenetten. In Lund et al. (2014) wordt verschillende 'generaties' warmtelevering besproken, en de voordelen van alge temperatuur warmtenetten (de 4^e generatie) benoemd. Zie ook figuur 27. In Denemarken zijn er meerdere warmteleveranciers die de afnemer van warmte een korting geven op de prijs voor warmte voor elke graad lagere retourtemperatuur die de klant teruglevert aan het warmtenet.¹⁷

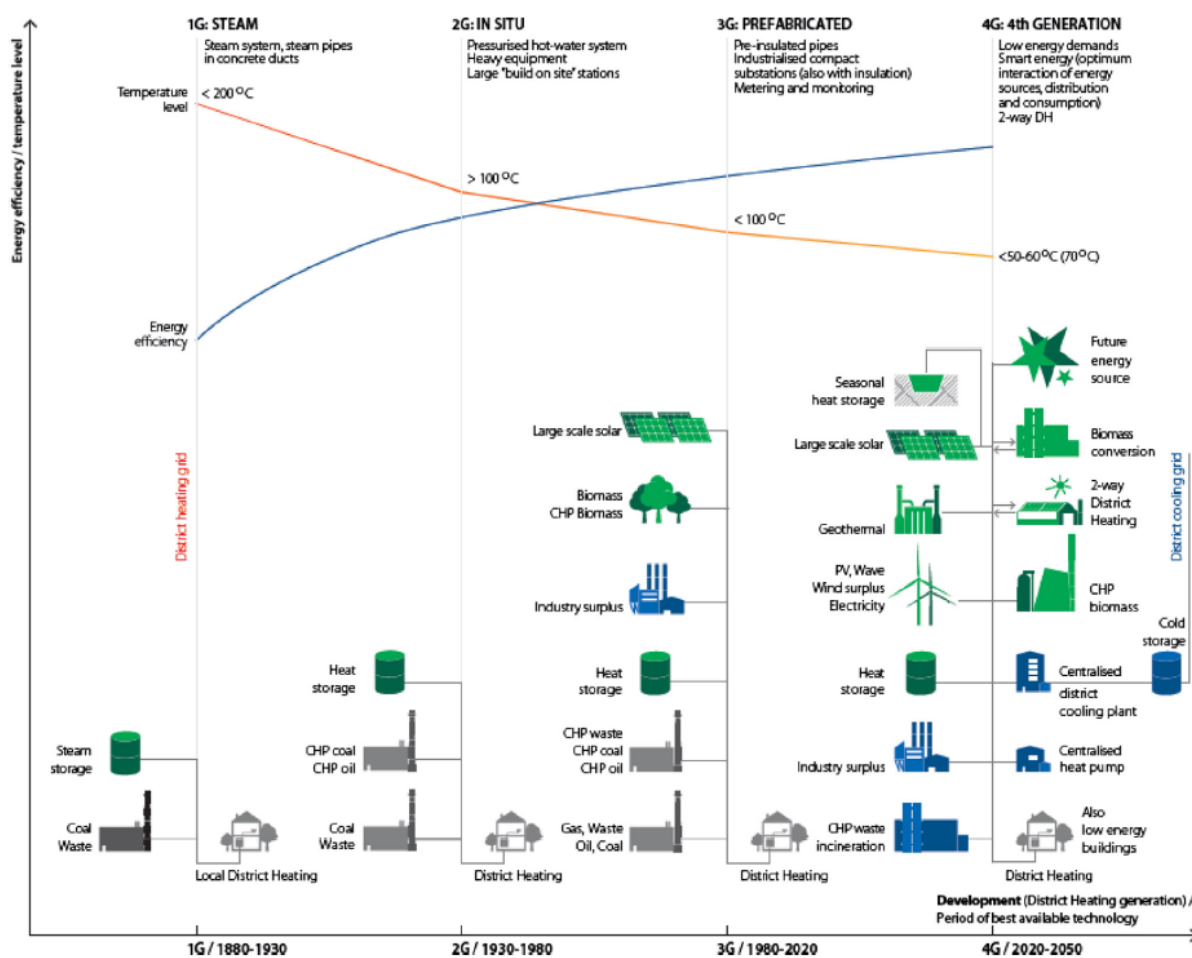


Fig. 2. Illustration of the concept of 4th Generation District Heating in comparison to the previous three generations.

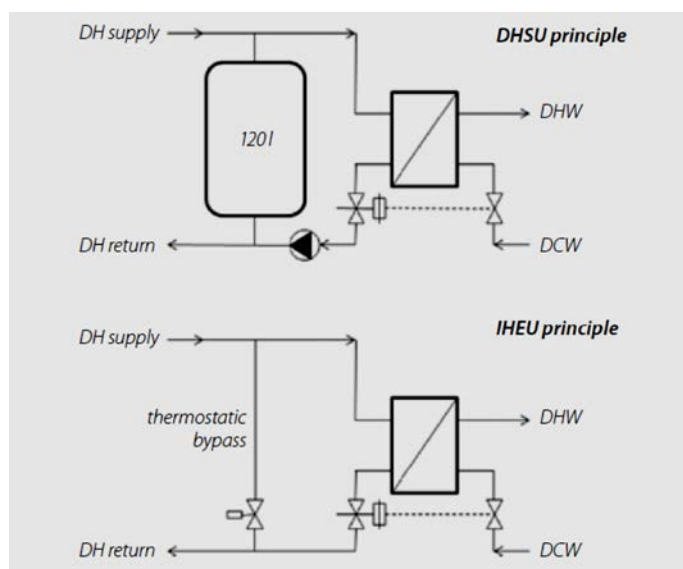
Figuur 29: Illustratie van het concept van lage temperatuur warmtenetten (bron: Lund et al, 2014 en Danfoss A/S)

¹⁷ In Denemarken "Many district heating companies have introduced rebate on energy price for lower return temperatures – (in DK: motivationstarif, incitamentstarif)." Informatie verkregen via deelnemers aan de internationale werkgroep Annex TS1 van het IEA (interational Energy Agency) District Heating and Cooling programma (www.iea-dhc.org/).

6.4.3 Tapwatervoorziening i.c.m. lage temperatuur warmte

Voor het optimaal benutten van lage temperatuur warmtenetten zullen deze idealiter ook in de tapwaterbehoefte moeten kunnen voorzien. In verband met legionella wordt er in Nederland altijd van uitgegaan dat minimaal 65°C water geleverd moet kunnen worden. Onderstaande oplossingen evenwel kunnen bijvoorbeeld met een lage temperatuur warmtenet veilig warm tapwater te leveren:

- Booster warmtepompen, die de kleine 'temperatuurlift' vanaf het warmtenet naar de tapwatervoorziening op een efficiënte manier (d.w.z. met een hoge COP) kunnen realiseren.
- Een 'instantaneous heat exchanger unit (IHEU)' of een 'District Heating Storage Tank Unit (DHSU)'. Bij beide oplossingen wordt het warmte tapwater 'instantaan' geproduceerd en is dus geen sprake van stilstaand warm water (zie figuur 29).



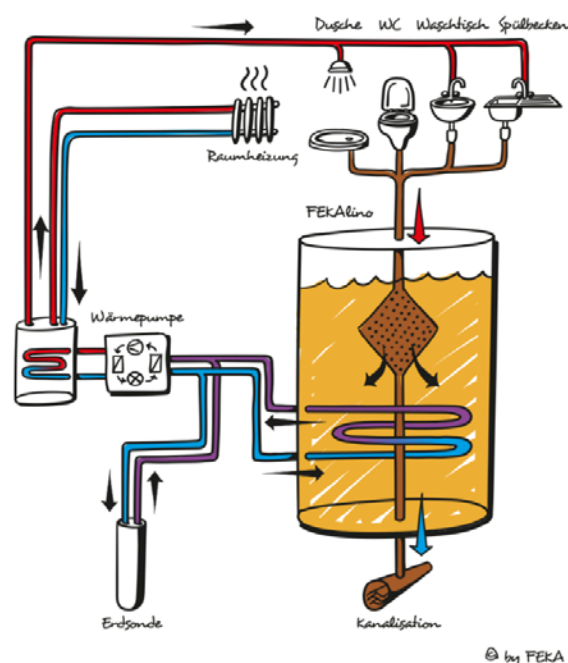
Bovengenoemde oplossingen zijn nog niet algemeen gangbaar in Nederland en zouden in Buiksloterham verder kunnen worden onderzocht.

Figuur 30: Schematische weergave van een 'District Heating Storage Tank Unit (DHSU)' en een 'instantaneous heat exchanger unit (IHEU)'. Bron: Christiansen et al., 2013

6.4.4 Warmteterugwinning uit afvalwater

In paragraaf 4.3 is getoond hoe groot de hoeveelheid beschikbare warmte uit afvalwater is. Een voordeel van afvalwater is dat dit het gehele jaar beschikbaar is en niet alleen in de zomer.

Om deze warmte te kunnen benutten dient de warmte teruggewonnen te worden. Dit kan centraal of in het riool maar een decentrale oplossing is ook mogelijk. Dat laatste heeft als voordeel dat de warmte al vroeg, 'ongemengd' met kouder water, kan worden teruggewonnen. Figuur 30 biedt een voorbeeld van een decentrale voorziening voor warmteterugwinning uit afvalwater.



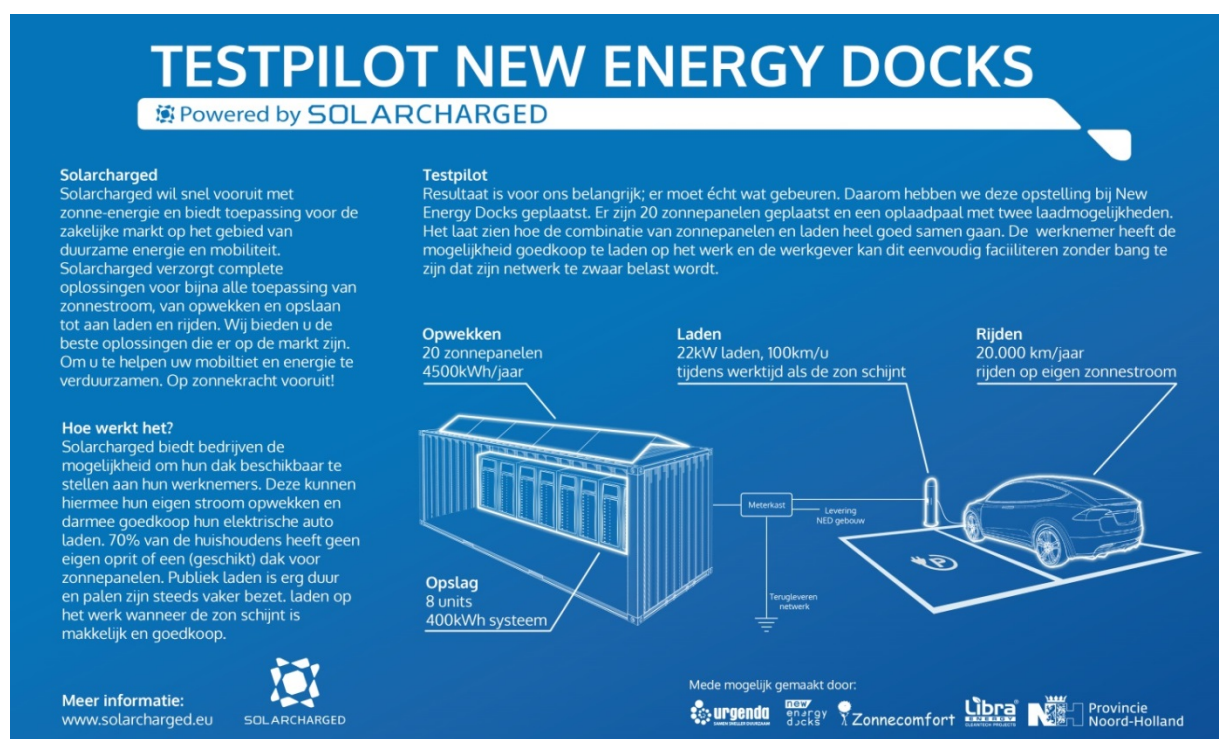
Figuur 31: Schematische weergave van een kleinschalige 'waste water Heat recovery unit'. (bron: <http://fekalino.ch/produkt/>)

6.4.5 Photo Voltaisch Thermisch en warmtepompen

Photo Voltaisch Thermisch (PVT) is een potentieel zeer geschikte techniek voor maximale energie-opbrengst per vierkante meter. PVT en warmtepompen zijn geen nieuwe technieken maar grootschalige toepassing en praktijkervaring met PVT zijn nog beperkt. Dit geldt ook de ervaring met de organisatorische aspecten van collectieve energievoorziening met PVT. De haalbaarheid en concrete uitwerking van deze techniek verdienen verder onderzoek. Ook is meer inzicht nodig in de werking van warmtepompen met een hoge prestatie bij een kleine temperatuursprong tussen warmtebron en warmtelevering. Of zijn meer warmtepompen nodig die efficiënt werken bij die kleine temperatuursprong?

6.4.6 Slimme elektriciteit: smart grids, DC netten en elektrisch vervoer

Er zijn in Nederland al verschillende pilots op het gebied van smart grids, DC-netten en de combinatie van duurzame opwekking en elektrisch vervoer (zie ook figuur 31). Het is zaak op dergelijke pilots in Buiksloterham voort te bouwen. Met name de combinatie van elektrisch vervoer en autodeel concepten lijkt van toegevoegde waarde in deze hoogstedelijke omgeving. Hiermee kunnen immers zowel de piekvraag als het piekaanbod van elektriciteit worden gereduceerd. Bovendien draagt dit bij aan een betere benutting van de schaarse ruimte.



Figuur 32: Testpilot van solarcharged (www.solarcharged.eu) voor het laden van elektrisch vervoer met zonne-energie

6.4.7 Governance en ESCO's

Tot slot zijn ook minder technische innovaties essentieel om innovatieve energieconcepten te kunnen realiseren. Er zijn behoeften en leemten op het gebied van financiering, voorfinanciering en beheer van collectieve voorzieningen. Financieringsbehoeften komen voort uit de soms lange terugverdientijden van nieuwe, kleinschaliger oplossingen. Business cases die op langere (> 5 jaar) termijn haalbaar zijn, brengen vaak een financieringsbehoefte met zich mee waarin de banken veelal niet willen voorzien. Het kan zijn dat de benodigde lening te klein is, ook kan de positie van de kredietnemer op bezwaren stuiten (samenwerking van particulieren bijvoorbeeld) en tot een gebrek aan geaccepteerde zekerheden leiden.

Voorfinanciering kan noodzakelijk zijn als voorzieningen tot stand komen in samenwerking tussen verschillende bouwende partijen met uiteenlopende start- en opleverdata. Juist in stedelijk gebied waar veelal gefaseerd, kavelgewijs ontwikkeld wordt, is samenwerking voor de efficiëntie van de energievoorziening op gebiedsniveau noodzakelijk. Tegelijk brengt juist deze kavelgewijze aanpak veel ongelijktijdigheid in de bouwactiviteiten met zich mee. Op voorhand te moeten investeren in energievoorziening, is doorgaans een reden de samenwerking af te houden.

Eenmaal gerealiseerd, is het goed beheer van installaties nodig om optimale werking en rendement te verkrijgen. Het kunnen beheren van een collectieve installaties is essentieel voor de haalbaarheid ervan. Een uitgebreider, transparant en concurrerend aanbod voor beheer van decentrale, collectieve installaties (zoals WKO met alle bijkomende apparatuur) is daarom nodig.

Energiecoöperaties kunnen deze rol gaan vervullen maar ook Energy Service Companies (ESCO's).

7 Algemene resultaten en conclusies

7.1 Doel en resultaten

Het doel van deze studie is kansrijke scenario's voor een flexibel en geïntegreerd energiesysteem voor een gebied, in casu Buiksloterham, te ontwikkelen. Deze scenario's zijn beoordeeld op een aantal key performance indicators (KPI's), te weten:

- energetische prestaties,
- economische kenmerken,
- gevolgen voor circulariteit en
- politieke, juridische, sociale, technologische en governmental voorwaarden.

De te behalen resultaten waren taakstellend geformuleerd als:

1. Inzicht in haalbaarheid en de meerwaarde van integrale energie scenario's op wijkniveau, (met Buiksloterham als voorbeeld), bekeken op een aantal KPI's.
2. Aanbevelingen voor verder uit te werken producten / diensten die hier aan kunnen bijdragen
3. Beschrijving van de aanpak die is gevolgd, met het oog op navolging.

7.2 Inzicht in de haalbaarheid en meerwaarde van integrale energiescenario's op wijkniveau

Het bestudeerde gebied bestaat uit bestaande bouw en nieuwbouw. Gezien het diverse karakter van de bestaande bouw is met name ingegaan op energievoorziening van de nieuwbouw, en zijn enkele aanbevelingen gedaan voor de bestaande bouw en de integratie tussen beide.

Voor de nieuwbouw zijn 3 basisvarianten voor de energievoorziening onderzocht en beoordeeld op een set KPI's. De basisvarianten waren:

Variant 1: Gas en elektriciteit

Variant 2: All-electric (met warmtepomp en WKO)

Variant 3: Stadswarmte met elektriciteit

Uit de beoordeling is gebleken dat variant 1 verreweg de meest gunstige is qua kosten, gevolgd door variant 2 en daarna 3. Variant 2 is de meest gunstige variant voor energie prestatie en algemene duurzaamheid. Deze conclusies kunnen ook in grote lijnen gelden voor andere nieuwbouwlocaties. Gezien de politieke haalbaarheid is voor Buiksloterham in feite alleen variant 3 van toepassing.

Echter, bij geen van de varianten is er echt sprake van een integraal energiescenario, waarbij synergiën worden gezocht en flexibiliteit in het energienet wordt bevorderd. Vanwege de hoge energieambitie valt een grote hoeveelheid geïnstalleerd PV vermogen te verwachten, wat zelfs tot noodzakelijke verzwaring van het elektriciteitsnet kan leiden. Naar aanleiding van de beoordeling en de ambitie is daarom een vierde variant verkend, gebaseerd op maximale benutting van lokale warmte, gebruik van een collectieve warmtepomp en een mini-warmtenet. Opslag van energie is hier een essentieel onderdeel, omdat op die manier meer lokale warmte kan worden benut en omdat dit flexibiliteit in het net bevordert door het flexibel kunnen inzetten van de warmtepomp. De ideale schaal voor een dergelijke collectieve

energievoorziening dient nog verder onderzocht te worden. Het project 'Smart Urban Isle'¹⁸, dat ook Buiksloterham als case study gebied zal bekijken, gaat in dit opzicht verder waar BIES gebleven is.

Uit de beoordeling van deze vierde, alternatieve variant blijkt dat het integraal benaderen van een oplossing voor de energievoorziening tot meer voordelen kan leiden dan een benadering op basis van meer traditionele en bestaande varianten. Met name de duurzame opwek en de voordelen voor het energiesysteem in bredere zin kunnen hierdoor worden vergroot. Ook qua efficiëntie heeft dit echter voordelen: collectieve installaties zoals WKO, een collectieve warmtepomp en grootschalige opslag hebben een hogere efficiëntie dan toepassingen op appartement-niveau en zijn bovendien goedkoper. Het knelpunt bij dit soort ontwikkelingen ligt met name in de governance: er zijn weinig partijen die grote investeringen kunnen doen en dergelijke systemen kunnen beheren. In Buiksloterham geldt daar bovenop dat de ontwikkelingen gefaseerd plaatsvinden, waardoor samenwerking nog extra wordt bemoeilijkt.

7.3 Aanbevelingen voor verder uit te werken producten / diensten die hier aan kunnen bijdragen

De haalbaarheid en de aantrekkelijkheid van de beoordeelde varianten en met name van variant 4 kan verder toenemen met nieuwe of vernieuwde producten of diensten. Zowel op het gebied van verduurzaming van de warmtelevering als voor het verduurzamen van de elektriciteitsvoorziening zijn innovaties en pilots van bestaande innovatieve producten nodig. Deze aspecten zijn nader beschreven in paragraaf 6.4 en worden hier kort samengevat:

De energetische en economische prestaties van lage temperatuur warmtenetten en collectieve voorzieningen voor verwarming, kunnen baat hebben van vernieuwing en verbetering van:

- Mogelijkheden voor lange termijn opslag van thermische energie.
- Verder onderzoek naar toepassing van lage temperatuur warmtenetten
- Boosters en andere oplossingen die de levering van warm tapwater in combinatie met lage temperatuur netten mogelijk maken.
- Warmteterugwinning uit afvalwater (ook decentraal)
- PVT en energiezuinige warmtepompen die een hoge prestatie hebben bij kleine temperatuursprongen. (d.w.z. die slechts een klein temperatuurverschil hoeven te overbruggen tussen de beschikbare warmtebron en de te leveren warmte)
- Slimme elektriciteit: smart grids, DC netten en de combinatie van duurzame opwekking en elektrisch vervoer

Tot slot zijn ook minder technische innovaties essentieel om innovatieve energieconcepten te kunnen realiseren. Dit betreft met name partijen die voorfinanciering in collectieve energievoorziening kunnen verzorgen, en die een transparant en concurrerend aanbod voor beheer van collectieve installaties (o.a. voor WKO, maar ook anderszins) kunnen aanbieden.

¹⁸ <http://jpi-urbaneurope.eu/project/smart-urban-isle/>

7.4 Beschrijving van de aanpak die is gevolgd, met het oog op navolging.

De aanpak die met dit project BIES is gekozen, is in beginsel goed toepasbaar in andere stedelijke ontwikkelingsgebieden in Nederland. In hoofdstuk 1 is deze aanpak reeds beschreven en deze wordt hier kort samengevat:

- Stap 1: Inventarisatie
van de huidige situatie in het gebied, de stakeholders en de te verwachten ontwikkelingen.
- Stap 2 Bepalen en definiëren KPI's
Er zijn KPI's gedefinieerd binnen de categorieën energie, economie, circulariteit en implementatie-aspecten. Voor de laatste categorie is gekozen voor PSTLG: Political, Social, Technological, Legal and Governance.
- Stap 3: Bepalen van de te verwachten energievraag en het potentiële aanbod duurzame energie
een inschatting van de te verwachten behoefte aan warmte, koeling en elektriciteit van de gebouwen in het gebied in 2025. Ook is de energiepotentie van het gebied in kaart gebracht.
- Stap 4: Vaststellen en beoordelen basisvarianten voor de energievoorziening
op basis van bestaande en bewezen technieken, bruikbaar in het gebied.
- Stap 5: Stakeholder bijeenkomst 1
De basisvarianten zijn toegelicht en informatie is uitgewisseld met de stakeholders in de vorm van brainstorm sessies
- Stap 6: ontwikkelen alternatieve varianten en verbetermogelijkheden
Naar aanleiding van de beoordeling van de basisvarianten en de stakeholderbijeenkomst zijn alternatieven en verbeteringen ontwikkeld
- Stap 7: Stakeholder bijeenkomst 2
Verdere bespreking verbetermogelijkheden
- Stap 8: Uitwerken
van de bevinden in een rapportage.

De volgende positieve ervaringen met de gevolgde aanpak zijn gevonden:

- De bepaling van KPI's geeft een breed inzicht in de wenselijkheid van de varianten. De KPI's die binnen dit project zijn ontwikkeld kunnen ook voor andere projecten worden benut;
- De stakeholder bijeenkomsten waren noodzakelijk, er waren veel geïnteresseerden, velen waren bereid mee te denken en informatie te verschaffen;
- De geplande workshop voor product/ diensten leveranciers is in principe nuttig. Vanwege de complexiteit aan randvoorwaarden en stakeholders van de casus Buiksloterham bleek het niet mogelijk al in een vroeg stadium tot aanbeveling van een variant te komen. In andere gebieden kan dit anders zijn; goede kennis van het speelveld op voorhand is van belang.
- Onmisbaar voor veel van de oplossingen zijn partijen die collectieve voorzieningen deskundig kunnen exploiteren en (voor)financieren.

Er zijn ook zijn aandachts- en verbeterpunten bij de gevolgde aanpak:

- Om tot betrouwbare, zinvolle en haalbare conclusies ten aanzien van systeemintegratie voor een gebied te komen, is de beschikbaarheid van betrouwbare en eenduidige data voorwaarde.
- De beschikbaarheid van betrouwbare en eenduidige data bleek lang niet altijd een vanzelfsprekendheid. In het bijzonder gegevens over de bestaande energie infrastructuur en bestaand gebruik waren niet

zonder meer beschikbaar. Het zoeken en vinden van geschikte informatie heeft langer geduurd dan gedacht (en heeft zich ook nog afgespeeld gedurende volgende fasen van het onderzoek).

- Medewerking van alle bij de energievoorziening betrokken partijen is noodzakelijk. Aan deze voorwaarde is het eenvoudigst te voldoen door de studie tot een gezamenlijke verantwoordelijkheid van de belangrijkste betrokkenen te maken.

Gezien het belang van de inventarisatiefase is een het stappenplan engszins aangepast. Het aanbevolen stappenplan voor navolging ('bis') is weergegeven in onderstaande tabel:

Tabel 7-1: aanbevolen stappenplan voor navolging ('bis')

Stap	Actie	Toelichting
1	Inventarisatie	Inventarisatie van de huidige situatie in het gebied, de stakeholders en de te verwachten ontwikkelingen
2	Stakeholderbijeenkomst 1	Hierbij wordt de inventarisatie geverifieerd en gecombineerd samen met de stakeholders.
3	Bepaling verwachte energievraag en potentieel aanbod duurzame energie	Een inschatting van de te verwachten behoefte aan warmte, koeling en elektriciteit van de gebouwen in het gebied. Ook wordt de energiepotentie van het gebied in kaart gebracht.
4	Vaststellen basisvarianten energievoorziening	Vaststelling op basis van bestaande en bewezen technieken, bruikbaar in het gebied.
5	Bepaling KPI's basisvarianten	Hierbij worden de KPI's van de basisvarianten bepaald. Het BIES onderzoek heeft KPI's gedefinieerd binnen de categorieën energie, economie, circulariteit en implementatie-aspecten. Voor de laatste categorie is gekozen voor PSTLG: Political, Social, Technological, Legal and Governance.
6	Stakeholderbijeenkomst 2	De basisvarianten worden toegelicht en informatie is uitgewisseld met de stakeholders in de vorm van brainstorm sessies.
7	Ontwikkeling alternatieve varianten en verbetermogelijkheden	Naar aanleiding van de beoordeling van de basisvarianten en de stakeholderbijeenkomst zijn alternatieven en verbeteringen ontwikkeld.
8	Stakeholderbijeenkomst 3	Verdere bespreking verbetermogelijkheden.
9	Uitwerken	Uitwerking van de bevindingen in een rapportage.

7.5 Tot slot

Het onderzoek heeft zowel technische als systemische aanbevelingen gedaan opgeleverd voor het ontwikkelen van duurzamer energiesystemen. Hieronder worden nog enkele conclusies uit het onderzoek genoemd die verder gaan dan de vooraf gestelde doelen.

Technisch

Binnen de bredere verkenning naar een integraal energiesysteem binnen de circulaire ambities, bleek een belangrijke vraag in dit onderzoek de vraag in hoeverre de huidige stadsverwarming de meest duurzame optie is voor de nieuwbouwpoging in Buiksloterham. Uit het onderzoek is gebleken dat er voor de nieuwbouw in principe voldoende laagwaardige warmte lokaal kan worden opgewekt. Aansluiten op het traditionele stadswarmtenet is daarom niet nodig, zeker als er goede oplossingen voor opslag van thermische energie worden toegepast. Aangezien Buiksloterham een stedelijk gebied is met zeer hoge dichtheden zal de conclusie voor veel andere nieuwbouw vergelijkbaar zijn, hoewel de aanwezigheid van

bestaande infrastructuur in Buiksloterham een specifiek beeld geeft t.a.v. kosten en circulariteit. Het verdient aandacht om nieuwe aansluitingen van nieuwbouw aan stadswarmte op zijn minst geschikt te maken voor huidige en toekomstige invoeding van duurzame – en laagwaardige - warmte.

De volgende uitgangspunten ondersteunen deze aanbeveling:

- Er zal in de toekomst vanwege de omschakeling naar een circulaire economie onvoldoende afval zijn om te verbranden. De potentiëstudie in dit onderzoek laat zien dat de verbranding van het eigen afval slechts 4% van de eigen warmtebehoefte kan dekken.
- Er is onvoldoende geothermie om de huidige vraag naar warmte op duurzame (langdurige) wijze in te vullen.
- Er zijn vele lokale duurzame bronnen voor laagwaardige warmte. Het zou zonde zijn als nieuwe netten worden aangelegd waardoor de benutting van deze bronnen onrendabel wordt.
- De hoogwaardige (lees: hoge temperatuur, ca 90°C) warmte dient benut te worden voor de gebouwvoorraad die lastig kan worden gerenoveerd.

Systemisch

Het ontbreekt aan een basis voor het voeren van regie op het gebied van moderne energieopwekking. Niet bedoeld wordt het beheer van collectieve installaties doch het aansturen van de totstandkoming van nieuwe, vaak collectieve arrangementen voor de energievoorziening. In het geval van een gefaseerde, kavelgewijze ontwikkeling, kavels met zeer uiteenlopende groottes, met vele verschillende bouwers wordt ook in Buiksloterham in beginsel naar kavelgewijze oplossingen gezocht. Collectieve oplossingen zijn deels wel bekend maar de belemmeringen die worden ervaren voor toepassing zijn nog groot. Stimulansen om tot meer samenwerking te komen zijn er niet. Ondersteuning van de organisatie en bijstand in de voorfinanciering van collectieve initiatieven kunnen groot verschil maken. In open werkgroepen met alle mogelijke betrokkenen, is gepoogd (potentiele) leveranciers over de schutting te laten kijken met het doel ook aan de aanbodkant tot een gezamenlijk en daardoor vernieuwend product te komen. Dit is ten dele gelukt.

Aanbevelingen voor living labs:

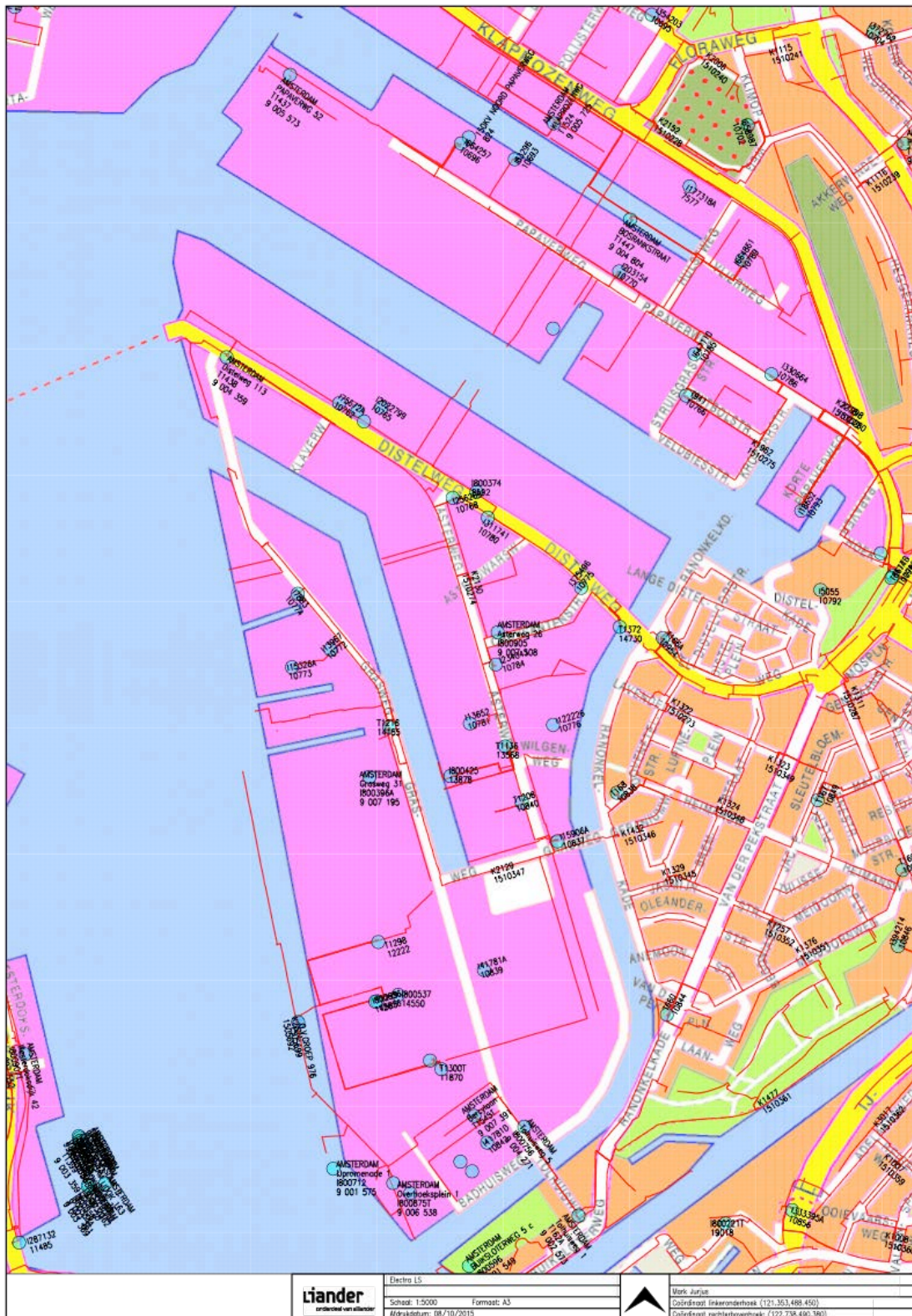
In een living lab wordt vernieuwing, ook van de energievoorziening, actief nagestreefd. Het experiment vergt wettelijke en politieke kaders die dat stimuleren of toestaan, en anders tenminste niet tegenwerken. Daarnaast is een overkoepelende governance structuur nodig die:

- goed op de hoogte is van hetgeen plaatsvindt;
- partijen en ideeën verbindt;
- de geleerde lessen inventariseert en weer verspreidt;
- de geleerde lessen in een breder kader kan plaatsen en verschillende projecten/ experimenten in relatie tot elkaar kan bekijken.

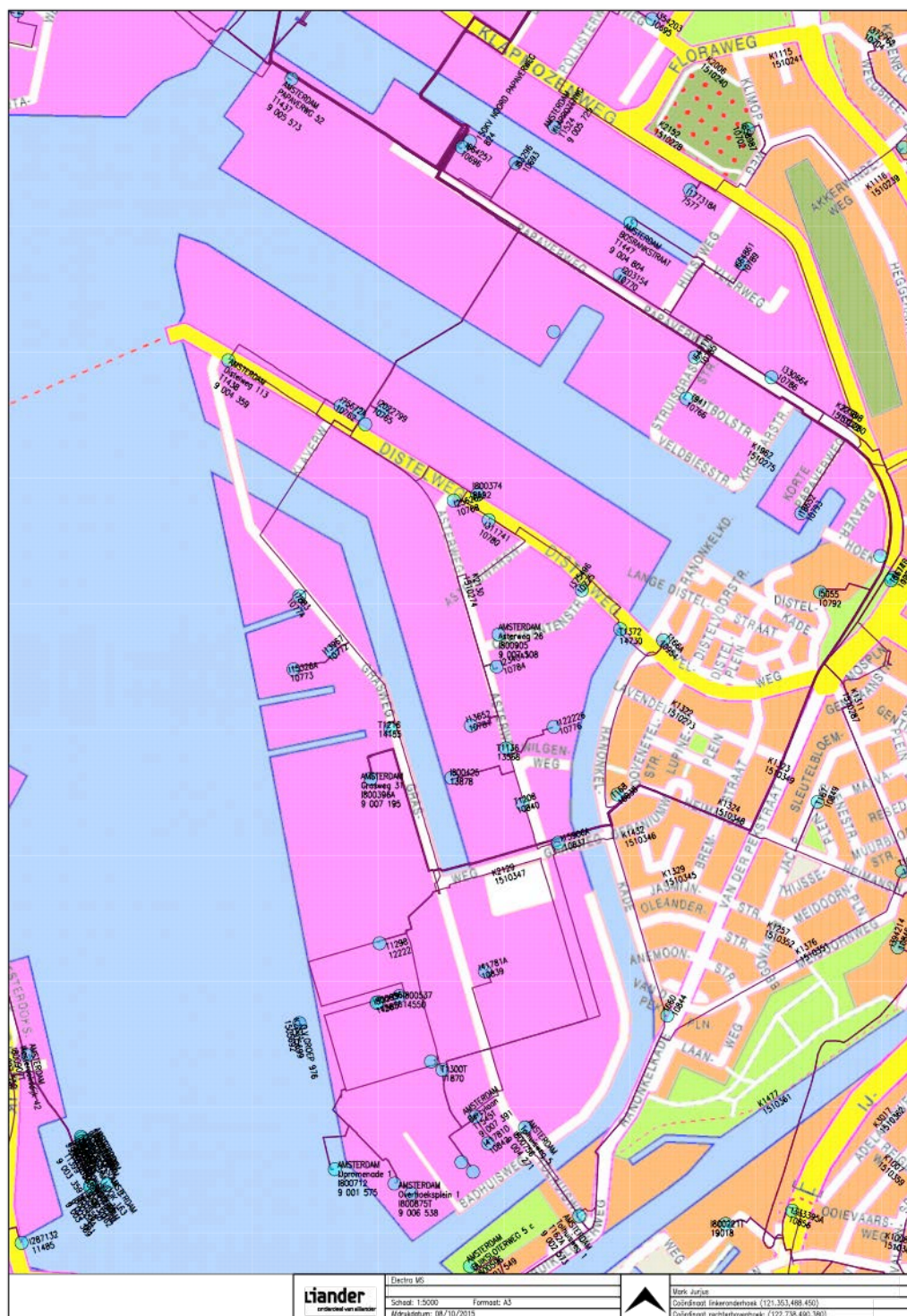
In Buiksloterham is inmiddels een groep bouwers tezamen met een bestaande energiecoöperatie, Alliander DGO en NUON/Westpoort Warmte, doende het concept van een mini-warmtenet uit te werken. De vorm waarin dit initiatief kan worden verwerkelijkt is nog niet onthuld.

Het begin is gemaakt.

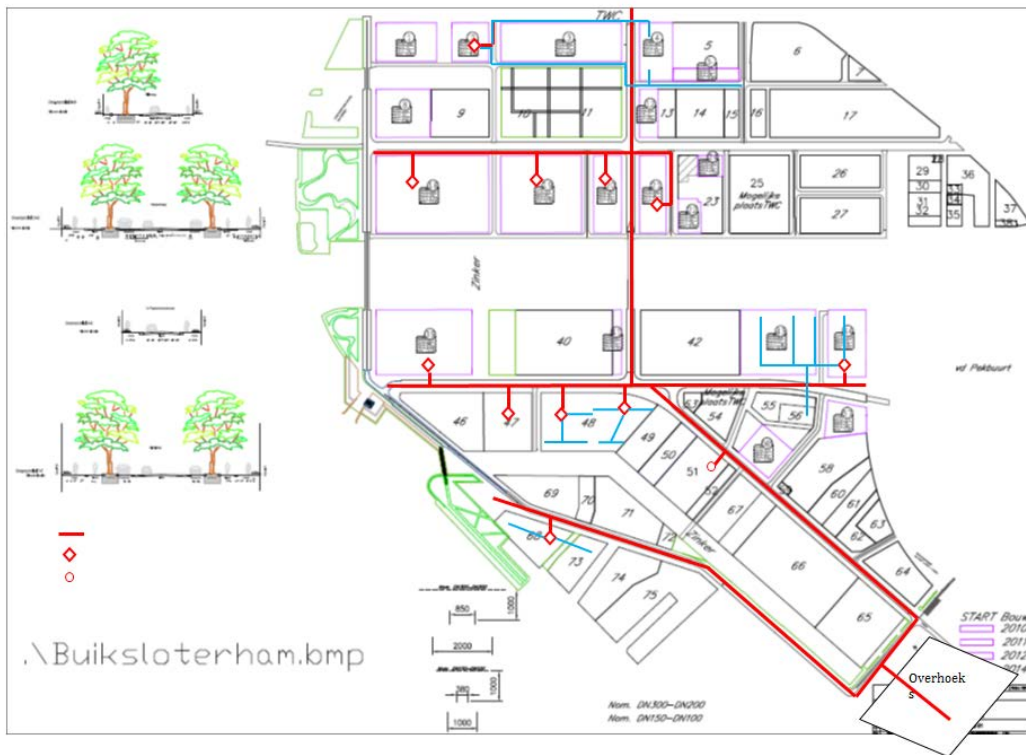
Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.



Figuur A3: Electra middenspanningspanningsnet Liander



Figuur A4: Gasnet



Figuur A5: geplande primaire netten voor warmte (bron: WPW)

Voor variant 3 moet een warmtenet in de wijk worden aangelegd vanaf de backbone. Er moeten ca. twaalf nieuwe warmteoverslagstations aangelegd worden en een secundair stadswarmte netwerk moet worden aangelegd tussen de overslagstations en de aangesloten gebouwen. In onderstaande figuur is de gemaakte inschatting van de warmtenetten in geel weergegeven.



Figuur A6: Ingeschatte vertakkingen warmtenet in de wijk. Op basis van figuur A5

Bijlage B: Inventarisatie nieuwbouwprojecten

Tabel B-1: Reeds gerealiseerde en geplande nieuwbouwprojecten.

kavel	naam	aantal woonunits	gebruik	bouwlagen	Stadsverwarming
water	Schoonschip	46 (water)	-	1	Nee
5a	Houtlofts	4	Woonwerk	4	nee
12	Docklands	44	13 bedrijfsunits	9 hoogbouw 2 laagbouw	nee
21a	Blackjack	30	-	11 hoogbouw 2 laagbouw	
21	Nova Zembla Lofts	22		8 hoogbouw 3 laagbouw	
21	PUUUR_BSH	30	-	7	
21d	Noord4us	14	Woonwerk	9 hoogbouw 2 laagbouw	Nee
21	Superlofts	19	-	5 hoogbouw 2 laagbouw	
22	ELTA	17	Woonwerk	8	
21	Patch-22	30	Woonwerk	7 hoogbouw 2 laagbouw	Nee
48/49	CityPlot	550	woonwerk horeca	tussen de 2 en 8	tbd
48	Buiksloterham & Co	samen met Cityplot			tbd
69/70	Waterfront /Kop Grasweg	350	3800 m2 commercieel	tussen de 2 en 10	tbd
44	De Vrije kade	46	46 woningen 180 bedrijf	Ong. 24 laagbouw + 22 hogerbouw...	ja
20	Div bouw groepen				tbd

Bijlage C: energievraag en finaal energiegebruik nieuwbouw per bouwtype

In onderstaande tabellen is de finale energie voor de verschillende nieuwbouwvarianten en de verschillende mate van isolatie (gebouw opties A en B) weergegeven, zowel in de gebruikelijk eenheden (m³ voor gas, kWh voor elektriciteit en GJ voor warmte), als omgerekend in GJ voor alle energiedragers.

Tabel C-1 Finale Energie variant 1 (gas + elek) optie A (energiezuinige gebouwen) - *in gebruikelijke eenheden*

Finale Energie OPTIE A Variant 1 (gas + elek)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ gas	Σ elek
<i>in gebruikelijke eenheden</i>	m ³ /jr	m ³ /jr	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr	m ³ /jr	kWh/jr
Appartementen	107	251	208	704	2.031	358	2.943
grondgebonden woning	169	276	177	814	2.474	445	3.465
Kantoor (per unit van 100 m ²)	160	20	410	2.160	1.500	180	4.070

Tabel C-2 Finale Energie variant 1 (gas + elek) optie B (bouwbesluit nieuwbouw) - *in gebruikelijke eenheden*

Finale Energie OPTIE B Variant 1 (gas + elek)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ gas	Σ elek
<i>in gebruikelijke eenheden</i>	m ³ /jr	m ³ /jr	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr	m ³ /jr	kWh/jr
Appartementen	212	251	167	1.176	2.031	463	3.374
grondgebonden woning	287	276	100	1.322	2.474	563	3.895
Kantoor (per unit van 100 m ²)	160	20	410	2.160	1.500	180	4.070

Tabel C-3 Finale Energie variant 1 (gas + elek) voor energiezuinige gebouwen (optie A) - *in GJ/jr*

Finale Energie OPTIE A Variant 1 (gas + elek)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ gas	Σ elek
<i>in GJ/jr</i>	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr
Appartementen	3,4	7,9	0,7	2,5	7,3	11,3	10,6
grondgebonden woning	5,3	8,7	0,6	2,9	8,9	14,1	12,5
Kantoor (per unit van 100 m ²)	5,1	0,6	1,5	7,8	5,4	5,7	14,7

Tabel C-4 Finale Energie variant 1 (gas + elek) optie B (bouwbesluit nieuwbouw) - *in GJ/jr*

Finale Energie OPTIE B Variant 1 (gas + elek)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ gas	Σ elek
<i>in GJ/jr</i>	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr
Appartementen	6,7	7,9	0,6	4,2	7,3	14,7	12,1
grondgebonden woning	9,1	8,7	0,4	4,8	8,9	17,8	14,0
Kantoor (per unit van 100 m ²)	5,1	0,6	1,5	7,8	5,4	5,7	14,7

Tabel C-5 Finale Energie variant 2 (all electric) optie A (energiezuinige gebouwen) - *in gebruikelijke eenheden*

Finale Energie OPTIE A Variant 2 (all electric)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ elek
<i>in gebruikelijke eenheden</i>	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr
Appartementen	196	822	69	704	2.031	3.822
grondgebonden woning	308	903	59	814	2.474	4.558
kantoor	290	60	140	2.160	1.500	4.150

Tabel C-6 Finale Energie variant 2 (all electric) optie B (bouwbesluit nieuwbouw) - *in gebruikelijke eenheden*

Finale Energie OPTIE B Variant 2 (all electric)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ elek
<i>in gebruikelijke eenheden</i>	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr
Appartementen	387	822	56	1.176	2.031	4.472
grondgebonden woning	525	903	33	1.322	2.474	5.257
kantoor	290	60	140	2.160	1.500	4.150

Tabel C-7 Finale Energie variant 2 (all electric) optie A (energiezuinige gebouwen) - in GJ/jr

Finale Energie OPTIE A Variant 2 (all electric)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ elek
in GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr
Appartementen	0,7	3,0	0,2	2,5	7,3	13,8
grondgebonden woning	1,1	3,3	0,2	2,9	8,9	16,4
kantoor	1,0	0,2	0,5	7,8	5,4	14,9

Tabel C-8 Finale Energie variant 2 (all electric) optie B (energiezuinige gebouwen) - in GJ/jr

Finale Energie OPTIE B Variant 2 (all electric)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ elek
in GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr
Appartementen	1,4	3,0	0,2	4,2	7,3	16,1
grondgebonden woning	1,9	3,3	0,1	4,8	8,9	18,9
kantoor	1,0	0,2	0,5	7,8	5,4	14,9

Tabel C-9 Finale Energie variant 3 (warmte + elek) optie A (energiezuinige gebouwen) - in gebruikelijke eenheden

Finale Energie OPTIE A Variant 3 (warmte + elek)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ warmte	Σ elek
in gebruikelijke eenheden	GJ/jr	GJ/jr	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr	GJ/jr	kWh/jr
Appartementen	3,6	7,1	208,0	704,0	2.031,0	10,7	2.943,0
grondgebonden woning	5,7	7,8	176,8	814,0	2.474,0	13,5	3.464,8
kantoor	5,2	0,6	410,0	2.160,0	1.500,0	5,8	4.070,0

Tabel C-10 Finale Energie variant 3 (warmte + elek) optie B - in gebruikelijke eenheden

Finale Energie OPTIE B Variant 3 (warmte + elek)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ warmte	Σ elek
in gebruikelijke eenheden	GJ/jr	GJ/jr	kWh/jr	kWh/jr	kWh/jr	GJ/jr	kWh/jr
Appartementen	7,1	7,1	167	1.176	2.031	14	3.374
grondgebonden woning	9,6	7,8	100	1.322	2.474	17	3.895
kantoor	5,2	0,6	410	2.160	1.500	6	4.070

Tabel C-11 Finale Energie variant 3 (warmte + elek) optie A (energiezuinige gebouwen) - in GJ/jr

Finale Energie OPTIE A Variant 3 (warmte + elek)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ warmte	Σ elek
in GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr
Appartementen	3,6	7,1	0,7	2,5	7,3	10,7	10,6
grondgebonden woning	5,7	7,8	0,6	2,9	8,9	13,5	12,5
kantoor	5,2	0,6	1,5	7,8	5,4	5,8	14,7

Tabel C-12 Finale Energie variant 3 (warmte + elek) optie B - in GJ/jr

Finale Energie OPTIE B Variant 3 (warmte + elek)	verwarming	tapwater	koeling	hulp	overig	Σ warmte	Σ elek
in GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr
Appartementen	7,1	7,1	0,6	4,2	7,3	14,2	12,1
grondgebonden woning	9,6	7,8	0,4	4,8	8,9	17,4	14,0
kantoor	5,2	0,6	1,5	7,8	5,4	5,8	14,7

Voor de referentiekosten in het rapport wordt gebruikgemaakt van het type appartement, omdat dit het meest voorkomende type woning/ gebouw zal zijn.

Bijlage D: Beoordeling Circulariteit

D.1 Bepaling van de circulariteitsindicatoren.

Enkele indicatoren zijn op kwantitatieve wijze bepaald en de rest is op kwalitatieve wijze bepaald, zie tabel A.14. Bij een kwalitatieve rangschikking van de varianten was in veel gevallen niet voldoende data en/of tijd voorhanden. Deze rangschikking is bepaald door middel van expert workshops binnen Metabolic, waar aan de hand van systeem schema's de varianten geanalyseerd zijn.

De kwantificeerbare circulariteitsindicatoren zijn bepaald door gebruik te maken van data uit levenscyclus analyses van wieg tot graf, dit wil zeggen dat de systeemgrenzen van deze analyses de milieubelasting tijdens de levensloop van de beschouwde producten omvat vanaf de extractie van grondstoffen tot de ontmanteling en verwerking van de restproducten en afvalstromen. Hierbij wordt ook gebruik gemaakt van de term GER, de energie-inhoud van de gebruikte grondstoffen vermeerderd met de (primaire) energie voor productie en transport).

In de kwantitatieve analyse worden de varianten vergeleken op hun milieubelasting veroorzaakt over een levensloop van 70 jaar. Onderhoud en vervanging van elementen met een kleinere levensduur is in deze analyse inbegrepen. De 70 jaar heeft een zekere willekeur. NEN 8006 geeft voorschriften voor bepaalde gebouwtypen (75 jaar voor woningen en 50 voor utiliteit bijvoorbeeld) maar niet voor stedelijke energie systemen. Omdat er niet genoeg empirische data voor handen is, is een wat willekeurige keuze van 70 jaar gemaakt die wel in overeenstemming is met de tijdsspannen die in LCA's voor de bouw veelal toegepast worden. Voor de milieubelasting wordt rekening gehouden met de tijdspanne van de milieubelasting. De klimaatverandering wordt bijvoorbeeld uitgedrukt in een kg CO₂-equivalent gezien over 100 jaar. Men doet dit omdat gassen als methaan krachtigere broeikasgassen zijn maar over de loop van de tijd ontbinden in CO₂.

In dit rapport zijn uitsluitend aspecten gekwantificeerd waarin de drie varianten noemenswaardig verschillen. Zo zijn bijvoorbeeld riothermie en de productie van biogas buiten beschouwing gelaten. Er is dus geen sprake van een volledige levenscyclus analyse van de verschillende varianten en de analyse is dus niet een precieze en absolute voorspelling van de milieubelastingen die (kunnen) optreden.

Data uit verschillende bronnen is gecombineerd, maar de uitgangspunten van de verschillende databases die als bron gebruikt zijn komen niet volledig overeen. Dit doet afbreuk aan de nauwkeurigheid van deze kwantificering.

In de kwalitatieve analyse is ernaar gestreefd de systemen te analyseren vanuit een systeemgrens van wieg tot graf. Hierbij is getracht om de hiaten in de kwantitatieve afweging expliciet te adresseren.

Samenvattend kan de kwantitatieve en kwalitatieve analyse dus wel gebruikt worden om de grootste verschillen tussen de milieubelastingen van de varianten bloot te leggen en geven de kwantitatieve en kwalitatieve analyse inzicht in de invloed die bepaalde ingrepen op deze milieubelastingen hebben.

Tot slot is het van belang om op te merken dat de analyse uitsluitend betrekking heeft op de situatie in Buiksloterham waar reeds een bestaande infrastructuur ligt. De adviezen over circulariteit zijn dus niet zonder meer te extrapoleren naar ontwikkelingsprojecten waar dit niet het geval is.

Tabel D-1: Circulariteitsindicatoren

Categorie	subcategorie	sub-sub categorie	Kwantitatieve inschatting	Kwalitatieve inschatting (goed, matig/redelijk, slecht) a.h.v.
MATERIALEN	Totaal grondstoffenverbruik	Totaal materiaalverbruik voor geraamde levensduur (70 jaar) [in kg]	1, 2	
	Herwinning van componenten en grondstoffen	Mogelijkheden tot behoud materialencomplexiteit aan het einde van de levensduur		3
		Herbruikbaarheid van componenten		2
		Ontwerp voor hergebruik aan het einde van de levensduur		2
		Gebruik van gerecyclede materialen		2
	Milieubelasting van grondstoffen	Multicriteria/LCA analyse van effecten van grondstoffenproductie (LCA categorieën) [in €'s schaduwkosten]	1, 4, 5	
WATER	Waterverbruik	Waterverbruik tijdens gebruiksfase		6
	Watervoetafdruk	Watervoetafdruk van materialen [in m ³]	1, 4	
ENERGIE (CUMULATIEF)	Totaal energieverbruik	De energie voor productie, onderhoud en uiteindelijke ontmanteling van benodigde materialen en producten die afkomstig is van eindige, fossiele bronnen [in MJ]	1, 4	
	Duurzaam of hernieuwbaar energieverbruik	Aandeel hernieuwbare energie	7	
BIODIVERSITEIT EN ECOSYSTEMEN		Geluidsoverlast		8
		Verwijdering van bestaande planten en dieren soorten		8
		Verstoring of bijdrage aan natuurlijke habitat van plaatselijke diersoorten		9
	Klimaatverandering	Netto bijdrage aan het broeikas effect over de gehele levenscyclus (gezien over 100 jaar) [in kg CO ₂ eq.]	1, 4	
	Chemische verontreiniging	Zoetwater aquatische ecotoxiciteit [kg1,4-DCBeq]	1, 4	
		Maritieme aquatische ecotoxiciteit [kg1,4-DCBeq]	1, 4	
		Terresrsche aquatische ecotoxiciteit[kg1,4-DCBeq]	1, 4	
	Verzuring	Bijdrage aan verzuring van grond en water kg SO ₂ eq.	1, 4	
	Biogeochemische cycli	Bijdrage aan biogeochemische storingen [Eutrofiering in g PO ₄ eq]	1, 4	
GEZONDHEID EN WELZIJN	Gezondheid	Gevaarlijke en giftige emissies [Humane ecotoxiciteit in kg 1.4-DCBeq.]	1, 4	
		Fotochemische oxidant (smog) vorming en fijnstof [in kg C ₂ H ₄ equivalent]	1, 4	
	Mensenrechten en gelijkheid	Gebruik van materialen/metalen geassocieerd met mensenrechtenschending		10

ADAPTIVITEIT EN VEERKRACHT	Economische adaptiviteit en veerkracht	Kwetsbaarheid voor prijs volatiliteit en schaarste van materialen (aandeel hernieuwbare materialen in het totale materialenverbruik)		10
		Kwetsbaarheid voor prijs volatiliteit van olie en gas. Geopolitieke kwetsbaarheid (aandeel hernieuwbare energie tijdens gebruiksfase)	7	
		Kwetsbaarheid voor prijs volatiliteit van olie en gas. Geopolitieke kwetsbaarheid (mate van energie zelfvoorzienendheid)	7	
		Terugverdientijd investering	11	
		Verhouding kosten bouw en sloop		9
	Institutionele adaptiviteit en veerkracht	Integratie systemen in ruimtelijke planning		10
		Toekomstige onderhoudsplanning en functie herziening		12
	Socioculturele adaptiviteit en veerkracht	Betrokkenheid toekomstige gebruikers		13

¹ LCA data van wieg tot graf.

² De consumptie van brandstoffen tijdens de gebruiksfase is hier weg gelaten gezien deze al beoordeeld wordt in de, in paragraaf 3.1 genoemde, energie-indicatoren.

³ lijst met toegepaste producten en productiemethoden

⁴ Hierbij zijn uitsluitend de elementen opgenomen waarin de drie varianten verschillen. Posten die in de drie varianten gelijk blijven, of slechts in kleine mate variëren zijn weggelaten.

⁵ Zo zijn de biogas en riothermie fracties bijvoorbeeld niet meegenomen.

⁶ systeem schema's

⁷ zie paragraaf 3.2

⁸ toegepaste productie methoden

⁹ toegepaste productiemethoden en systeem schema's

¹⁰ lijst met toegepaste materialen en producten.

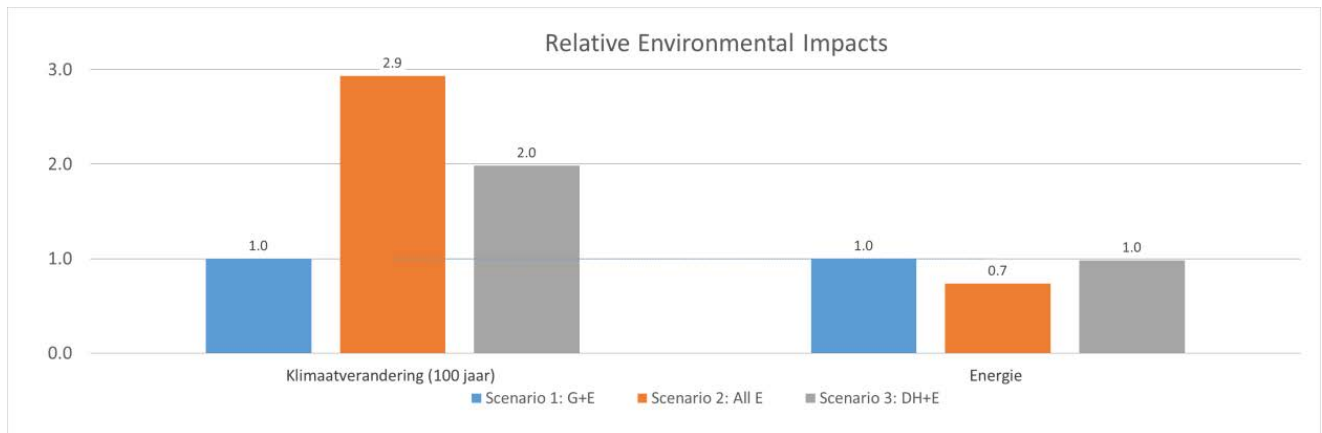
¹¹ zie paragraaf 3.3

¹² lijst met toegepaste producten, systeem schema's, en governance aspecten

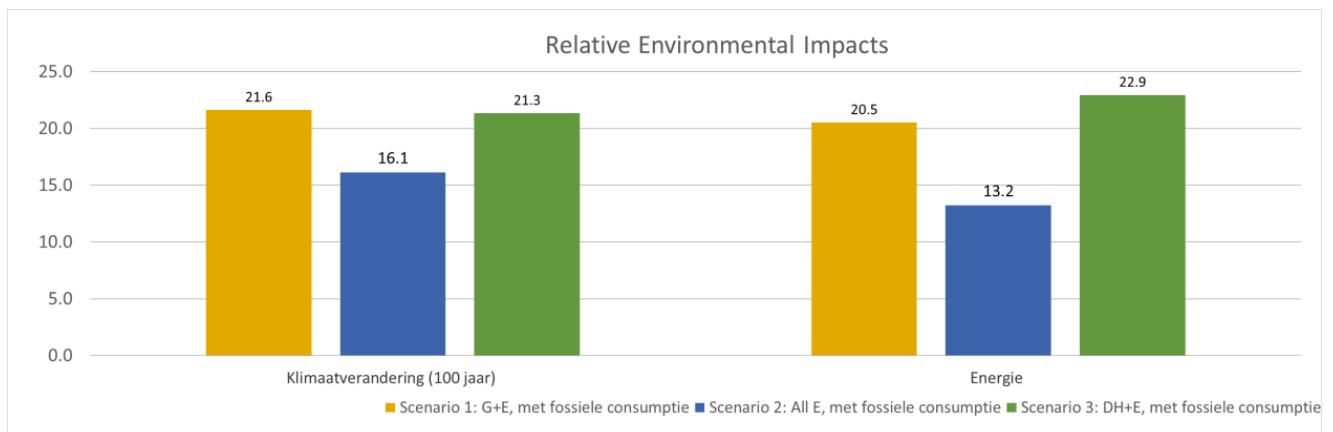
¹³ governance aspecten

D.2 Circulariteitsbeoordeling Variant 1.

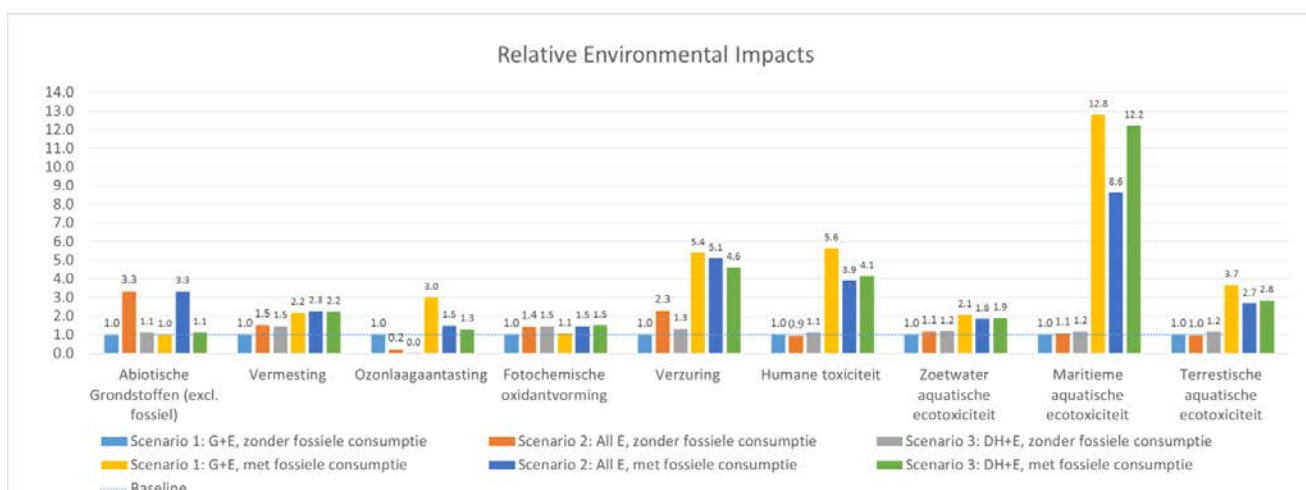
In het traditionele gas en elektrische variant zijn er de minste fysieke ingrepen nodig. De benodigde stedelijke gasinfrastructuur is reeds in het gebied aangelegd. In deze variant zijn er enige vertakkingen van dit stedelijke gasnet noodzakelijk en dient er een in pandige gas infrastructuur met bijbehorende ketels geïnstalleerd te worden. De ingrepen die nodig zijn in deze variant zijn niet erg intensief wat betreft de hoeveelheid en de complexiteit van de toegepaste materialen en producten. Ook zal er relatief weinig energie en arbeid nodig zijn voor aanleg van deze systeem variant. Verder zijn er geen warmtepompen nodig voor verwarming in deze variant. Dit betekent echter dat er voor koeling alsnog compressiekoelmachines nodig zijn en dat er dus meer van dit soort koelapparatuur in Buiksloterham verwacht kan worden in deze variant.



Figuur D1: Relatieve bijdrage aan klimaatverandering en consumptie van primaire energie in de drie varianten voor Klimaatverandering (100 jaar) en Energie. Zonder inachtneming van de milieubelasting door de verbranding van fossiele brandstoffen. Milieubelastingen zijn uitgedrukt als fractie van variant 1 zonder fossiele consumptie.



Figuur D2: Relatieve bijdrage aan klimaatverandering en consumptie van primaire energie in de drie varianten voor Klimaatverandering (100 jaar) en Energie. Met inachtneming van de milieubelasting door de verbranding van fossiele brandstoffen. Milieubelastingen zijn uitgedrukt als fractie van variant 1 zonder fossiele consumptie.



Figuur D3: Relatieve bijdrage aan milieubelastingindicatoren in de drie varianten. Met inachtneming van de milieubelasting zonder (blauw, oranje, grijs) de verbranding van fossiele brandstoffen en met (geel, donkerblauw, groen) de verbranding van fossiele brandstoffen. Milieubelastingen zijn uitgedrukt als fractie van variant 1 zonder fossiele consumptie.

Tabel D-2: Samenvatting van de circulariteitsbeoordeling van de Gas en Elektriciteit variant.

	Productie fase				Gebruiks fase				Ontmantelings fase			
Materialen				X	X					X		
Water				X	X							X
Totaal Energie				X				X				X
Biodiversiteit en Ecosysteem				X	X						X	
Gezondheid en Welzijn				X	X						X	
Adaptiviteit en Veerkracht	X				X					X		
Totaal			X		X					X		

Materialen

Vanuit een circulariteitsperspectief is een voordeel van deze variant dat er weinig eindige grondstoffen nodig zijn voor de aanleg van het energiesysteem. Verder zijn de toe te passen, nieuwe, producten goed recyclebaar. Er is voor de uitbreiding van het stedelijke gasnet en het in pandige net vooral veel koper nodig. Gezien de hoge restwaarde van het materiaal is aangenomen dat aan het einde van de levensduur het koper dat zich onder het wegdek bevindt herwonnen kan worden tijdens onderhoud aan of de riolering, of het wegdek. Ook wordt koper uit gebouwen reeds in hoge mate teruggewonnen, zowel uit zowel gescheiden fracties als uit bodem as van afvalverbrandingsinstallaties (AEB, 2007; Mulders, 2013; SBK, 2016). De benodigde gasketels bestaan uit relatief simpele producten en bevatten metalen met een hoge restwaarde (staal, aluminium, koper). Gezien de simpliciteit van het product is het zeer waarschijnlijk dat ook deze metalen in grote mate herwonnen zullen worden. De milieubelasting die verbonden is aan de uitbreiding van het huidige systeem is dan ook gering.

Wanneer wij de gebruiksfase in ogenschouw nemen en ook de additionele milieubelasting door de consumptie van gas tijdens de beschouwde periode dan is het waarschijnlijk dat er in deze variant sprake is van een lage uitputting van abiotische, niet fossiele, grondstoffen.

Tijdens de gebruiksfase wordt er in deze variant gebruik gemaakt van aardgas, een eindige fossiele brandstof. In vergelijking met de all-electric variant draagt deze variant dan ook in veel grotere mate bij aan de uitputting van fossiele grondstoffen.

Water

Voor de aanleg van het systeem in variant één is relatief weinig water nodig. Het aan te leggen systeem in variant één heeft dan ook de kleinste watervoetafdruk van de drie varianten. Tijdens de gebruiksfase is er echter wel sprake van een grote water consumptie in variant één. Voor de winning van gas wordt gebruik gemaakt van grote hoeveelheden proceswater. Dit proceswater is na het gebruik zeer vervuild en wordt op verschillende wijze verwerkt. Gaswinning, en met name de winning van schaliegas, gaan dan ook gepaard met een risico op de vervuiling van oppervlakte water, verzilting en lokale verdroging. (Eijsink, 2016; Verdonschot et al., 2013) Ook wordt er door drinkwaterbedrijven gewezen op de risico's voor drinkwaterveiligheid (Eijsink, 2016).

Energie, cumulatief

De Gross Energy Requirement (GER, de energie-inhoud van de gebruikte grondstoffen vermeerderd met de (primaire) energie voor productie en transport) voor het aanleggen, het onderhoud en de ontmanteling van

de benodigde infrastructuur is lager voor variant één dan voor andere varianten. De gebruiksenergie is in deze circulariteitsbeoordeling niet meegenomen omdat Energie als apart onderdeel in dit rapport wordt behandeld.

Biodiversiteit en ecosysteem

Over de gehele levenscyclus zorgt variant één voor de grootste belasting van ecosystemen. De schadelijke emissies die vrijkomen bij de verbranding van gas tijdens de gebruiksfase van het netwerk en de winning van aardgas zorgen voor de grootste bijdrage aan zoetwater-, maritieme- en terrestrische aquatische ecotoxiciteit. Ook draagt variant één in de sterkste mate bij aan de verzuring van grond en oppervlaktewater en aantasting van de ozonlaag.

De uitbreiding van het gasnetwerk zal gepaard gaan met enige geluidsoverlast en de verstoring van plaatselijke diersoorten. De schade aan het lokale stedelijke ecosysteem zal echter kleiner zijn dan in de andere varianten gezien de uitbreiding qua formaat zeer beperkt is.

Gezondheid en welzijn

Van de drie varianten draagt het gas en elektrisch concept het meeste bij aan humane eco-toxiciteit. Dit wil zeggen dat er in deze variant de meeste stoffen in het milieu terecht zullen komen die schadelijk zijn voor de menselijke gezondheid. Ook draagt variant één in de sterkste mate bij aan klimaatverandering en aantasting van de ozonlaag, mechanismen die gepaard gaan met grotere gezondheidsrisico's. Alleen op het gebied van fotochemische oxidantvorming (smog vorming), wat leidt tot ademhalingsproblemen, lijkt de gas en elektrisch variant beter te presteren dan de andere varianten. Smogvorming is gekoppeld aan de uitstoot van fijnstof en NO_x, stoffen die in variant 1 (het gas en elektriciteit) wel degelijk uitgestoten worden. De productie van PV- panelen draagt namelijk bij aan fotochemische oxidantvorming door de vervuilende wijze waarop deze panelen geproduceerd worden op plekken die gevoelig zijn voor smog vorming. Alhoewel er in variant één nauwelijks een bijdrage is aan smogvorming in de Amsterdamse context kan er wel gesteld worden dat er sprake is van meer schadelijke uitstoot in de lokale Amsterdamse context.

Adaptiviteit en veerkracht

Variant een biedt de laagste mate van lokale- en regionale zelfvoorziening. Ook is deze variant het kwetsbaarst voor fluctuaties in de gas- en olieprijs. Verder is deze variant ook het gevoeligst voor geopolitieke ontwikkelingen.

De gas en elektriciteit variant betekent dat het huidige systeem van energievoorziening in grote mate doorgezet wordt. Indien er een gasnet wordt aangelegd voor de nieuwe woningen en bedrijven zal dit niet gepaard gaan met een afnameplicht van gas en het zal dus voor individuele kavels mogelijk zijn om voor een alternatief systeem te kiezen. Het gas en elektriciteitsysteem vraagt om een zeer lage infrastructurele investering van de gemeente. Gemaakte investeringen door de gemeente zullen dan ook geen belemmering vormen voor een eventuele latere transitie naar een duurzamer energiesysteem. Variant één vergt echter wel private investeringen in een gasnetwerk en ketels in de gebouwen. Het toepassen van variant één zal een transitie naar een duurzamere warmtevoorziening dan ook langer in de weg staan als men eerst de economische levensduur van deze apparatuur zal willen uitzitten. Ook is er ten tijde van nieuwe ontwikkelingen veelal meer geld beschikbaar voor een eventuele transitie. Alhoewel er reeds geëxperimenteerd wordt met menging van groengas in het gasnetwerk lijkt het niet waarschijnlijk dat het netwerk van gasleidingen in Buiksloterham toegepast zal worden binnen een volledig duurzaam energie netwerk. Samenvattend zou een keuze voor variant één dan ook een zekere technologische lock-in met zich mee brengen.

D.3 Circulariteitsbeoordeling Variant 2.

De all-electric variant vergt de meeste apparaten op gebouwniveau, zie figuren A8-A10. Zo vereist deze variant de meeste PV-panelen en windmolens. Ook zijn er voor de WKO systemen warmtepompen en warmtewisselaars in de bodem nodig. De all-electric variant vraagt echter geen nieuwe energie-infrastructuur op stedelijk niveau. Ook zijn er in deze variant geen compressiekoelmachines nodig omdat een WKO systeem ook voor koeling gebruikt kan worden.

Tabel D-3: Samenvatting van de circulariteitsbeoordeling van de All-Electric variant.

	Productie fase				Gebruiks fase				Ontmantelings fase			
Materialen		X					X				X	
Water	X							X				X
Totaal Energie		X						X				X
Biodiversiteit en Ecosysteem	X						X				X	
Gezondheid en Welzijn		X						X			X	
Adaptiviteit en Veerkracht			X					X				X
Totaal		X						X			X	

Materialen

De aanleg van het all-electric systeem vergt een grote consumptie van materialen en legt een groot beslag op kritieke materialen¹⁹ zoals zeldzame aardmetalen. PV panelen en windmolens bevatten veelal indium, gallium, tellurium, dysprosium, praseodymium, samarium en neodymium; metalen die momenteel steeds schaarser worden (Bauer et al., 2010, p. 14; Diederer, 2009). Verder zijn ook voor de WKO-systemen en bijbehorende warmtepompen en regelelektronica veel metalen, metaaloxiden en kunststoffen nodig, zeker gezien het grote aantal van dit soort systemen binnen variant twee. Van de drie varianten gaat de all-electric variant dan ook gepaard met de grootste bijdrage aan de uitputting van abiotische grondstoffen. In variant twee is tijdens de gebruiksfase het minste sprake van de vernietiging van materialen en materiaal complexiteit. In deze variant worden namelijk maar zeer weinig fossiele en organische grondstoffen verbrand.

Ook in de ontmantelingsfase scoort variant twee goed op circulariteit. De modulaire aard van het systeem waarbij elementen gemakkelijk ontkoppeld en vervangen kunnen worden, sluit goed aan bij de beginselen van een circulaire economie. Zo wordt zo'n 70% (gewicht) van zonnecellen gerecycled en zijn recyclingpercentages van 95% momenteel technisch mogelijk. Verder is te verwachten dat zo'n 95% van het koper en 90% van het gebruikte messing uit de benodigde water/water warmtepompen gerecycled worden (Mulders, 2013; SBK, 2016). Theoretisch kunnen deze warmtepompen, maar ook de losse compressoren, condensoren en pompen waar deze uit bestaan, gerepareerd en hergebruikt worden, hoewel dit tegenwoordig nog maar mondjesmaat gebeurt. Slecht in overeenstemming met het circulariteitsbeginsel zijn de bodemwarmtewisselaars. Hoewel hoge dichtheid polyethyleen theoretisch goed recyclebaar is, lijkt het,

¹⁹ Een kritiek materiaal is een materiaal waarvan er a. een leveringszekerheids risico bestaat en b. een materiaal dat essentieel is voor de economie (<http://eduweb.eeni.tbm.tudelft.nl/TB141E/?kritieke-materialen>, <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2014/05/19/materialen-in-de-nederlandse-economie-een-beoordeling-van-de-kwetsbaarheid/materialen-in-de-nederlandse-economie-een-beoordeling-van-de-kwetsbaarheid.pdf>)

gezien de lage restwaarde van het materiaal, niet zeker dat het materiaal weer uit de grond herwonnen wordt. Momenteel eindigt het overgrote deel van dit soort warmtewisselaars dan ook in afvalverbrandingsovens.

Water

De productie, het onderhoud en de ontmanteling van de producten die nodig zijn voor variant twee vergen een grotere consumptie van water dan in de andere alternatieven. De totale water voetafdruk van deze variant is echter vele malen lager omdat er in deze variant het minst gebruik gemaakt wordt van energie uit afvalverbranding en gaswinning welke gebruik maken van grote hoeveelheden proceswater.

Energie, cumulatief

De totale GER-waarde van het all electric alternatief (zonder de verbranding van fossiele brandstoffen) is hoger dan in variant één maar lager dan in variant drie. De CO₂ uitstoot die gekoppeld is aan deze GER-waarde is echter het hoogst in concept twee. Dit wil zeggen dat er in de all-electric variant minder energie verbruikt wordt voor de productie van de benodigde apparaten maar dat dit toch meer CO₂ uitstoot als gevolg heeft. Dit is te verklaren doordat de productie methoden in variant twee relatief vervuilerder zijn dan die in variant 3.

Biodiversiteit en ecosysteem

Gezien over de gehele levensloop van de verschillende systemen heeft de all-electric variant, op de meeste vlakken, een lagere milieubelasting dan de andere concepten. Zoals eerder genoemd werd, heeft deze variant een kleinere bijdrage aan de klimaatverandering dan variant één. Ook levert variant twee een kleinere bijdrage aan aquatische ecotoxiciteit dan de andere energieconcepten wat te wijten is aan de lagere consumptie van fossiele brandstoffen.

Tijdens de bouw zullen alle drie de varianten gepaard gaan met geluidsoverlast en verstoring van plaatselijke diersoorten. De boringen die voor de WKO's nodig zijn zullen tot meer geluidsoverlast van de bouwplaats leiden. Deze geluidsoverlast zal echter van een meer lokale aard zijn dan de werkzaamheden voor uitbreiding van het gas- of het stadswarmtenetwerk. Ook zal het voor deze uitbreidingen nodig zijn om op enkele plekken de lokale groenstructuur tijdelijk open te breken wat tot verstoring van plaatselijke soorten kan leiden.

Gezondheid en welzijn

De all-electric variant draagt in mindere mate bij aan humane eco-toxiciteit. Dit is onder andere te verklaren door de grotere verbranding van gas in variant 1 en de verbranding van afval bij het AEB in variant 3. De verschillen tussen variant 2 en 3 zijn echter klein vergeleken met variant 1. De all-electric variant draagt door het toepassen van zonnepanelen en de WKO's bij tot fotochemische oxidantvorming (smogvorming) wat negatieve gevolgen heeft voor de menselijke gezondheid. Dit zal is vooral gerelateerd aan de plekken waar de panelen geproduceerd worden, en komt door de milieuonvriendelijke wijze waarop sommige onderdelen geproduceerd worden in onder meer China en Amerika. Het is echter te verwachten dat de productiemethoden in de komende decennia schoner zullen worden (Frischknecht et al., 2015). Verder kan gesteld worden dat er in de all-electric variant de lokale uitstoot van NO_x en fijnstof in de regio Amsterdam lager zullen zijn dan de andere varianten en deze variant dus minder schadelijk is voor de stedelijke luchtkwaliteit.

Op het gebied van welzijn worden er producten worden toegepast die materialen bevatten die geassocieerd worden met slechte werkomstandigheden en mensenrechtenschending , voornamelijk zonnepanelen, kleine windmolens en de WKO's (GRANTA Design, 2014; Polinares Consortium, 2012a, 2012b).

Adaptiviteit en veerkracht

Het all electric systeem biedt de grootste mate van adaptiviteit en veerkracht. Door de grotere mate van energetische zelfvoorziening is men in deze variant minder kwetsbaar voor variabele olie en gasprijzen alsook geopolitieke ontwikkelingen. Verder is deze variant door zijn modulaire opbouw flexibel en kan het systeem aangepast worden op nieuwe technologische ontwikkelingen. Het systeem vereist geen grote infrastructurele investeringen door de gemeente en dergelijke investeringen zullen daarom nieuwe ontwikkelingen later niet in de weg liggen. Ook sluit het all-electric concept het meeste aan bij de te verwachten, toekomstige ambities wat betreft CO₂-uitstoot. De all-electric variant past tevens goed bij de gefaseerde ontwikkeling van Buiksloterham en biedt ook de meeste ruimte voor betrokkenheid van toekomstige gebruikers.

D.4 Circulariteitsbeoordeling Variant 3.

Voor variant drie, zie ook de figuren A8-A10, warmtenet met elektriciteit, moet het bestaande stadswarmte netwerk uitgebreid worden. Dit wil zeggen dat er een vertakking moet worden aangelegd van het primaire netwerk. Er moeten tien nieuwe warmteoverslagstations aangelegd worden en een secundair stadswarmte netwerk moet worden aangelegd tussen de overslagstations en de aangesloten gebouwen. Mogelijk zijn er ook regelkamers nodig voor de centrale opwekking van warm tapwater hoewel dit ook vanuit de individuele stadswarmtesets²⁰ kan gebeuren. In deze analyse zijn wij uitgegaan van centrale opwekking. Verder worden ook in deze variant PV panelen, grote 3MW windmolens en enkele kleine windmolens toegepast. Door de afwezigheid van WKO's moet er in deze variant additionele apparatuur voor koeling opgenomen worden.

Tabel D-4: Samenvatting van de circulariteitsbeoordeling van het stadswarmte en de elektriciteit variant.

	Productie fase				Gebruiks fase				Ontmantelings fase			
Materialen		X				X				X		
Water			X		X						X	
Totaal Energie	X				X				X			
Biodiversiteit en Ecosysteem	X				X				X			
Gezondheid en Welzijn	X				X				X			
Adaptiviteit en Veerkracht			X		X				X			
Totaal		X			X				X			

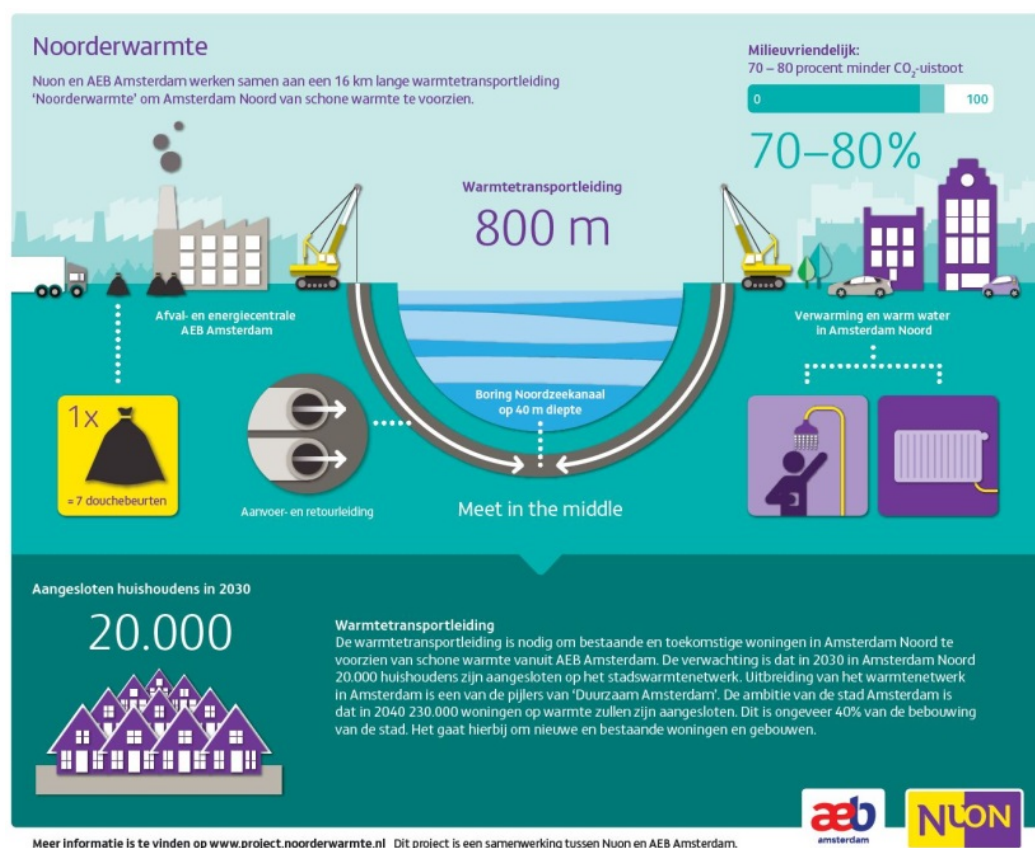
²⁰ In een stadswarmtenetwerk kan warm tapwater centraal verwarmd worden (CTW) of individueel (ITW). In het eerste geval ontvangt de woning twee aparte warmwater stromen (één voor ruimteverwarming en één voor tapwater). In het laatste geval ontvangt de woning een enkele warmwater toevoer uit het stadswarmte netwerk waarmee, binnen de woning, zowel tap- als ruimteverwarmingswater wordt verwarmd (<https://www.nuon.nl/Images/meterkast-boekje-nuon-20098-5754.pdf>). In onze analyse zijn wij uitgegaan van het eerste. Het verschil in milieubelasting is echter niet noemenswaardig.

Materialen

De aanleg van het systeem in variant 3 (stadswarmte en elektriciteit) vergt, in absolute zin, het grootste gewicht aan materiaalgebruik. Er is echter wel sprake van een kleiner gebruik van kritieke materialen zoals zeldzame aardmetalen.



Figuur D4: Uitbreiding stadswarmte voor Amsterdam (<https://www.nuon.com/nieuws/nieuws/2016/spektakelstuk-verricht-voor-amsterdamse-stadswarmte/>)



Figuur D5: Uitbreidingsplannen stadswarmte voor Amsterdam (<https://www.nuon.com/nieuws/nieuws/2016/spektakelstuk-verricht-voor-amsterdamse-stadswarmte/>)

In deze variant wordt er gebruik gemaakt van warmte uit de verbranding van afval en rioolslib bij het AEB. De opwekking van deze warmte heeft een lagere CO₂-uitstoot dan de verbranding van gas maar gaat ook gepaard met de vernietiging van materialen en van materiaal complexiteit. Zo gaan door de verbranding van organisch materiaal vruchtbare grondstoffen verloren welke binnen een circulaire economie opnieuw in de landbouw toegepast hadden kunnen worden. Ook zouden de verbrande plastics bij voorkeur hergebruikt of gerecycled moeten worden om zo meer van de materiaal complexiteit te behouden.

Bij de eventuele ontmanteling van het netwerk is het, in vergelijking met de andere varianten, minder waarschijnlijk dat er veel producten hergebruikt of gerecycled zullen worden. De leidingen van een stadswarmtenetwerk hebben, afhankelijk van het type, een levensduur van zo'n 30-50 jaar. (Meenen, 2010). Bij de vervanging of ontmanteling van het systeem zullen waarschijnlijk alleen het staal en de koperen draden teruggewonnen worden. Economische terugwinning van het toegepaste PUR-schuim en het hoge dichtheid PE lijken niet waarschijnlijk gezien de lage economische waarde van deze producten.

Water

De watervoetafdruk van de aanleg van het systeem in variant drie is groter dan in variant één maar kleiner dan in variant twee. In de gebruiksfase zal variant drie echter veel meer water verbruiken dan de andere varianten omdat er voor het warmtekracht opwekkingsproces koelwater nodig is. Het water in het warmtenetwerk wordt steeds opnieuw gebruikt en levert daarom geen zeer grote bijdrage aan het watergebruik in variant 3.

Energie, cumulatief

In variant drie is er (iets) meer energie nodig voor de vervaardiging van de benodigde producten dan in varianten één en twee.

Biodiversiteit en ecosysteem

Over de gehele levensloop gezien heeft variant drie een grotere belasting op ecosystemen dan variant twee maar minder dan in variant één. Vooral op het gebied van ecotoxiciteit presteert de stadswarmte variant slechter dan de all-electric variant. Hierin is maritieme aquatische ecotoxiciteit de grootste uitschieter. De slechtere prestaties van variant drie zijn vooral te wijten aan de schadelijke uitstoot van het warmtekracht proces²¹. Een ander negatief aspect van de stadswarmte variant is dat de warmtekracht centrale veel gebruik gemaakt wordt van proces water voor koeling dat wordt geloosd in het oppervlaktewater in de Aziëhaven. Hoewel er beperkingen gesteld zijn aan de temperatuur van dit water zal dit alsnog een ongunstig effect hebben op de kwaliteit van het water in het Noordzeekanaal. De andere varianten dragen hier in veel mindere mate aan bij (slechts door het proceswater dat gebruikt is bij het opwekken van de elektriciteit voor het elektriciteitsnet).

Op enkele vlakken, zoals vermessing lijkt in onze analyse de stadswarmte variant wat beter te presteren dan de andere varianten. De verschillen zijn hierin echter, gezien de precisie van de gebruikte data, niet noemenswaardig groot. Wel kan gesteld worden dat variant drie op het gebied van ecotoxiciteit, verzuring, aantasting van de ozonlaag en klimaatverandering beter presteert dan variant één.

De aanleg van, en het onderhoud aan, het stadswarmtenetwerk zal gepaard gaan met geluidsoverlast en verstoring van plaatselijke diersoorten. Voor de uitbreiding van het netwerk zal het nodig zijn om op enkele plekken de lokale groenstructuur tijdelijk open te breken wat tot verstoring en/of verdwijning van plaatselijke soorten kan leiden.

²¹ Om precies te zijn: fijnstof C₂H₄, C₂H₂, HCl, HF, CO, CO₂, SO₂, NO_x, Hg, Cd+Tl, ZM, PCDD/PCDF, zie jaarverslag AEB 2015.

Gezondheid en welzijn

Variant drie draagt in mindere mate bij aan humane eco-toxiciteit dan variant één maar in grotere mate dan variant twee. Op het gebied van ozonlaagaantasting presteert variant drie beter dan de andere varianten. Uit onze analyse blijkt echter dat de verschillen met de all-electric variant op deze gebieden klein zijn en dat het vooral duidelijk is dat variant drie en twee beter presteren dan variant één. Doordat er in variant 3 het meest een beroep gedaan zal worden op de warmtekracht centrale van het AEB zal deze variant gepaard gaan met een grotere lokale uitstoot van NOx en fijnstof dan in de all-electric variant. Deze lokale uitstoot zal echter lager zijn dan die in variant één.

In variant drie zal er waarschijnlijk in minder grote mate een beroep gedaan worden op materialen die geassocieerd worden met slechte werkomstandigheden en de schending van mensenrechten, gezien er in deze variant minder gebruik gemaakt wordt van een windmolen dan in variant twee.

Adaptiviteit en veerkracht

De variant met stadswarmte is slecht uitgerust op adaptiviteit en veerkracht. Deze variant heeft in vergelijking met variant twee een lagere mate van lokale zelfvoorziening. Wel is er sprake van regionale zelfvoorziening. Op regionaal niveau is er wel sprake van een hoge mate van zelfvoorziening en variant 3 is dus minder kwetsbaar voor variabele olie en gasprijzen, en geopolitieke ontwikkelingen dan variant 1. In variant drie is men echter wel in grote mate afhankelijk van de verbranding van afval wat op gespannen voet staat met een transitie naar een circulaire economie. Ook vergt variant drie grote infrastructurele investeringen van de gemeente en de keuze voor variant drie zal daarom toekomstige ontwikkelingen in een sterkere mate sturen dan bij de keuze voor variant twee. Zo zou een keuze voor deze variant er toe kunnen leiden dat men innovaties vooral zal zoeken in de hoek van het AEB waardoor verbrandingstechnologieën de voorkeur zullen blijven genieten. Hoewel de integratie van duurzame lokale bronnen in het stadswarmtenet technisch mogelijk zijn, worden deze nog maar zelden toegepast, mede vanwege de hoge kosten. De CO₂-reducties binnen variant drie zijn in overeenstemming met de huidige klimaatdoelstellingen op korte termijn maar het is niet zeker of variant drie ook in staat is om op een duurzame wijze op te schalen naar hogere duurzaamheidsambities in de verdere toekomst. Er kan dus gesteld worden dat er in variant drie groter risico bestaat op een technologische lock-in dan in variant twee.

Literatuurlijst

- AEB (2007). Value from Waste - Waste Fired Power Plant. In A. E. B. (AEB) (Ed.). Amsterdam.
- AEB (2015). AEB Jaarverslag 2014
- Alexandros, M. (2014). Life Cycle Assessment of an Aquifer Thermal Energy Storage system.
- Allen, S. R., Hammond, G. P., & McManus, M. C. (2008). Energy analysis and environmental life cycle assessment of a micro-wind turbine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 222(7), 669-684.
- Alsbjær, M., & Lindahl, M. (2011). The potential for increased primary energy efficiency and reduced CO₂ emissions by district heating and cooling. Technical Research Institute of Sweden. Toronto.
- Anderson, J., & Shiers, D. (2009). *The Green Guide to Specification* (4th Editio ed.): Wiley-Blackwell.
- Blom, M., Schep, N., Ahdour, S. en Roos, J. MKBA Warmte MRA. Delft, CE Delft, november 2015
- Bauer, D., Diamond, D., Li, J., Sandalow, D., Telleen, P., & Wanner, B. (2010). US Department of Energy Critical Materials Strategy.
- Beer, J. de, Slingerland, E. en Meindertsma, W. (2014). Warmteladder. Afwegingskader warmtebronnen voor warmtenetten. Ecofys, 2014.
- Buiting, T. (2016). De rol van stadsverwarming bij verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving (concept). (to be published in 2016).
- Catalina, G., & Vega, C. (2012). Environmental Impacts of Alternative co-substrates for Biogas Production.
- Cellura, M., Grippaldi, V., Brano, V. L., Longo, S., & Mistretta, M. (2011). Life cycle assessment of a solar PV/T concentrator system. Paper presented at the Fifth International Conference on Life Cycle Management, Berlin.
- Christiansen, C.H., Dalla Rosa, A., Brand, M., Olsen, P.K. and Thorsen, J.E. (2013). Results and experiences from a 2 - year study with measurements on a low - temperature DH system for low energy buildings. Danfoss Technical Paper, 2013.
- Chow, T.-T., & Ji, J. (2012). Environmental Life-Cycle Analysis of Hybrid Solar Photovoltaic/Thermal Systems for Use in Hong Kong. *International Journal of Photoenergy*, 2012, 1-9. doi: 10.1155/2012/101968
- Diederer, A. M. (2009). Metal minerals scarcity: A call for managed austerity and the elements of hope. Rijswijk, The Netherlands.
- Dones, R., Heck, T., & Hirschberg, S. (2004). Greenhouse Gas Emissions from Energy Systems: Comparison and Overview. (November 2015), 27-40. doi: 10.1016/B0-12-176480-X/00397-1
- D'Souza, N., Gbgbaje-Das, E., & Shonfield, P. (2011). Life cycle assessment of electricity production from a V112 turbine wind plant. Vestas Wind Systems A/S: Copenhagen, Denmark.
- Ecoinvent. (2007). Life cycle inventory database. Retrieved 9 september 2016, from Ecoinvent
- Eijsink, R. (2016). Position paper vereniging van waterbedrijven in Nederland: Afvalwaterinjectie olie- en gaswinning. Den Haag: Vewin.
- European Committee for standardisation (2009). BS EN 253: District heating pipes - Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks - Steel valve assembly for steel service pipes, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene.
- European environment agency (2005). Energy-related emissions of ozone precursors.
- Frischknecht, R., Itten, R., Wyss, F., Blanc, I., Heath, G. M., Raugei, M., . . . Wade, A. (2015). *Life Cycle Assessment of Future Photovoltaic Electricity Production from Residential - scale Systems Operated in Europe Life Cycle Assessment of Future Photovoltaic*.
- Fruergaard, T. (2010a). Environmentally sustainable utilization of waste resources for energy production. Technical University of Denmark-PhD Thesis, Kongens Lyngby.
- Fruergaard, T., & Astrup, T. (2011). Optimal utilization of waste-to-energy in an LCA perspective. *Waste Management*, 31(3), 572-582.
- Gemeente Amsterdam - Afval Energie, B. (2007). Value from Waste - Waste Fired Power Plant. Society (february).
- Gemeente Amsterdam (2009). Bestemmingsplan "Buiksloterham". Vastgesteld 16 december 2009. Besluitnummer 276/881
- Good, C. (2016a). Environmental impact assessments of hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) systems - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 234-239.
- GRANTA Design. (2014). CES. Cambridge GRANTA
- Greening, B., & Azapagic, A. (2013). Environmental impacts of micro-wind turbines and their potential to contribute to UK climate change targets. *Energy*, 59, 454-466. doi: 10.1016/j.energy.2013.06.037

- Greening, B., & Azapagic, A. (2012). Domestic heat pumps: Life cycle environmental impacts and potential implications for the UK. *Energy*, 39(1), 205-217. doi: 10.1016/j.energy.2012.01.028
- Greening, B., & Azapagic, A. (2013). Environmental impacts of micro-wind turbines and their potential to contribute to UK climate change targets. *Energy*, 59, 454-466. doi: 10.1016/j.energy.2013.06.037
- Harmelen, v. A. K., Korenromp, R. H. J., Ligthart, d. T. N., Leeuwen, v. m. i. S. M. H., & Gijlswijk, v. R. N. (2004). Toxiciteit heeft z'n prijs, Schaduwprijzen voor (eco-) toxiciteit en uitputting van abiotische grondstoffen binnen DuboCalc, , Apeldoorn. Apeldoorn: TNO-MEP.
- Jeswani, H. K., & Azapagic, A. (2016). Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK. *Waste management (New York, N.Y.)*, 50, 346-363. doi: 10.1016/j.wasman.2016.02.010
- Lund, H., Werner, S. et al. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH) - Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy* 68 (2014) 1-11.
- Majcen, D., Itard L., Visscher, H.J. 2013. Energielabels en werkelijk energiegebruik. TVVL Magazine, januari 2013.
- Marinussen, M., & Kool, A. (2010). Environmental impacts of synthetic amino acid production. The Netherlands: Blonk Milieu Advies BV.
- McManus, M. C., Hammond, G. P., & Allen, S. R. (2008). Energy analysis and environmental life cycle assessment of a micro-wind turbine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 222(7), 669-684. doi: 10.1243/09576509jpe538
- Meenen, v. R. (2010). Performance of piping systems used in district heating distribution networks in the Netherlands during the last 40 years. Uden.
- Melle v T. (Ecofys), Menkveld M (ECN), e.a. (2015) De systeemkosten van warmte voor woningen, Eindrapport
- Metabolic, Studioninedots & DELVA Landscape Architects (2014). Circulair Buiksloterham. Een Living Lab voor circulaire gebiedsontwikkeling. Creative Commons licentie (CC-BY-NC-ND 2014).
- Moulopoulos, A. (2014). Life Cycle Assessment of an Aquifer Thermal Energy Storage system: University of Utrecht and Deltares.
- MRA (2016). Grand Design Warmte Metropoolregio Amsterdam. In opdracht van Datum Programma Warmte Koude Metropoolregio Amsterdam (www.warmteiscool.nl). Auteurs: Theo Voskuilen (Alliander DGO) en Rob Bremer (Alliander Liandon). Versie 1.1. Datum: 10-06-2016
- Mulders, L. (2013). *High quality recycling of construction and demolition waste in the Netherlands*. (Master of science in Sustainable Development), Utrecht University, Utrecht.
- Persson, C. (2015). Predicting the Long-Term Insulation Performance of District Heating Pipes. Goteborg: Chalmers University of Technology.
- Polinares Consortium. (2012a). Fact sheet: indium: POLINARES working paper. POLINARES Consortium.
- Polinares Consortium. (2012b). Factsheet: Rare Earths Oxides (REO). *Polinares EU Polity on Natural Resources*.
- RVO (2015). Handreiking BENG. Voorlopig stappenplan berekening indicatoren Bijna Energie Neutrale Gebouwen op basis van de huidige methode NEN 7120. Referentie: Wn150298aaA0. akr. Datum: 15 september 2015
- RVO (2015a). Uniforme maatlat gebouwede omgeving, rekenmodel versie 3.5. Online verkrijgbaar via www.agentschapnl.nl/new --> instrumenten.
- RVO Infoblad RVO Bio-energie – Input Groente-, fruit- en tuinafval (gft).
- SBK. (2016). Nationale milieudatabase. Retrieved 5 september 2016, from Stichting bouwkwiteit (SBK)
- Stuckl, M., Jungbluth, N., & Leuenberger, M. (2011). Life Cycle Assessment of Biogas Production from Different Substrates. *ESU-services Ltd.*, 84-84.
- Thijssen, T. W. M. (2011). Equivalent opwekkingsrendement externe warmtelevering Amsterdam door Nuon met warmteopwekking door AEB. Apeldoorn: TNO.
- Tripagnagnostopoulos, Y., Souliotis, M., Battisti, R., & Corrado, A. (2005). Energy, cost and LCA results of PV and hybrid PV/T solar systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 13(3), 235-250. doi: 10.1002/pip.590
- Vanhoudt, D., Desmedt, J., Van Bael, J., Robeyn, N., & Hoes, H. (2011). An aquifer thermal storage system in a Belgian hospital: Long-term experimental evaluation of energy and cost savings. *Energy and Buildings*, 43(12), 3657-3665. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.09.040
- Vega, C. (2012). Environmental Impacts of Alternative co-substrates for Biogas Production. Uppsala: Swedish University of Agricultural Science.
- US Energy Agency (2005). Energy-related emissions of ozone precursors.
- Verdonschot, R., Keizer - Vlek, H., & Verdonschot, P. (2013). De effecten van schaliegaswinning op aquatische systemen. *H2O-Online*.