



Nationaal plan energiesysteem

CONCEPT



Toelichting cijferbasis

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	3
1.1.	Status en doel cijfers concept-NPE	3
1.2.	Leeswijzer	4
2.	Aanpak op hoofdlijnen	5
2.1.	Kwantificering van ontwikkelbeeld in drie stappen	5
2.2.	Wijze van verantwoording cijfers	6
3.	Toelichting elektriciteitsketen	8
3.1.	Energiebronnen voor elektriciteit	9
3.2.	Inzet van elektriciteit als eindgebruik	11
3.3.	Inzet van elektriciteit in andere ketens en verliezen	12
4.	Toelichting waterstofketen	13
4.1.	Energiebronnen voor waterstof	14
4.2.	Inzet van waterstof als eindgebruik	15
4.3.	Inzet van waterstof in andere ketens en verliezen	16
5.	Toelichting koolstofketen	17
5.1.	Energiebronnen voor koolstofdragers	18
5.2.	Inzet van koolstof als eindgebruik	19
5.3.	Inzet van koolstof in andere ketens en verliezen	21
6.	Toelichting warmteketen	23
6.1.	Energiebronnen voor warmte	24
6.2.	Inzet van warmte als eindgebruik	25
6.3.	Inzet van warmte in andere ketens en verliezen	25

1. Inleiding

Het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) biedt een duidelijke ontwikkelrichting voor het energiesysteem tot 2050. Met het NPE maakt het kabinet richtinggevende keuzes die de basis leggen voor de ontwikkeling van het energiesysteem. Op weg naar het definitieve NPE heeft het kabinet het concept-NPE opgesteld. Het concept-NPE is gevoed door verschillende ambtelijke werkdocumenten. Op basis van het concept-NPE en de werkdocumenten gaat het kabinet de komende tijd in gesprek met allerlei belanghebbenden in verschillende sectoren.

Een dergelijke gesprek is gebaat bij een aanknopingspunt dat kwantitatief gevoel geeft van de ontwikkelingen in het energiesysteem die aansluiten bij de ontwerpprincipes en richtinggevende keuzes die het kabinet hanteert. Daarom is in het concept-NPE per keten een figuur opgenomen die een indicatie geeft van de ontwikkeling van de keten: de bronnen die kunnen worden ingezet voor het produceren van de verschillende typen energiedragers, de mogelijke inzet van deze energiedragers in het eindgebruik en de inzet ten behoeve van omzettingen in andere energiedragers. Ook in de ambtelijke werkdocumenten zijn op verschillende plekken cijfers opgenomen die de geschetste richtingen voeden.

Dit document biedt een toelichting bij de grafieken en richtinggevende cijfers uit het hoofddocument en de ambtelijke werkdocumenten. Het beschrijft de onderliggende cijfers, de gevolgde aanpak en de gehanteerde bronnen en aannames.

1.1. Status en doel cijfers concept-NPE

De cijfers die gepresenteerd worden geven richting aan het gesprek dat komende tijd gevoerd wordt en zijn indicatief.

Met deze concept versie van het NPE wil het kabinet de dialoog aangaan met alle belanghebbende partijen. Tegelijkertijd is elk toekomstbeeld inherent onzeker en afhankelijk van tal van aannames. Het kabinet wil met de keuzes in het NPE bovendien vooral sturen op richting in plaats van precieze invulling. De in het concept-NPE gepresenteerde cijfers zijn dan ook indicatief en hebben tot doel om als startpunt te dienen voor het gesprek over de voorgestelde richting en ordegroottes. De ontwikkelingen dienen bovenal als samenhangend totaalbeeld te worden beschouwd; individuele getallen daarbinnen zijn slechts beperkt betekenisvol en moeten geïnterpreteerd worden als onderdeel van een ruime bandbreedte. Deze status wordt bij de getoonde cijfertabellen benadrukt door toevoeging van (indicatief*) en in begeleidende teksten nader geduid.



De cijfers zijn (nog) niet integraal doorgerekend

Bij het samenstellen van de cijferbeelden zijn op onderdelen kwantitatieve vertalingen gemaakt die passen bij de geschetste ontwikkelrichtingen. Daarbij is gebruik gemaakt van bestaande scenario's en rapporten, met name van de inzichten voortkomend uit de recente energiesysteem scenariostudies van de netbedrijven. In deel B van het ambtelijk werkdocument is per energieketen een toelichting gegeven op de herkomst van de verschillende cijfers. De cijferbeelden in dit concept-NPE zijn niet integraal doorgerekend; dit gaat gebeuren richting het definitieve NPE.

Dit document is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Mochten er onverhoopt afwijkingen of onduidelijkheden in de cijfers of toelichting daarop zijn gesloten, dan wordt feedback op prijs gesteld via energiesysteem@minezk.nl.

1.2. Leeswijzer

Dit document geeft toelichting op de geschetste ontwikkelrichtingen van de vier energieketens tot 2050 en geeft een overzicht van belangrijkste aannames daarbij. Het document bestaat uit twee onderdelen:

1. **Aanpak op hoofdlijnen:** In dit hoofdstuk wordt een beknopt overzicht gegeven van de algehele aanpak, toegepaste methodiek en voornamelijk aannames om te komen tot de cijferbeelden in het NPE.
2. **Toelichting per energieketen:** Daarna wordt systematisch voor de vier ketens (elektriciteit, waterstof, koolstof en warmte) ingegaan op de gehanteerde cijfers en aannames. Voor elke keten is eerst de samenvattende ketenfiguur uit het concept NPE opgenomen, met het bijbehorende cijferoverzicht in tabelvorm. Daarna volgt een toelichting, uitgesplitst naar energiebronnen en -inzet, waarbij ook cijfers uit de werkdocumenten worden uitgelicht.

2. Aanpak op hoofdlijnen

Er is de afgelopen tijd veel onderzoek gedaan naar mogelijke scenario's voor het energiesysteem richting 2050. Het concept-NPE maakt waar mogelijk gebruik van deze scenario's en andere onderzoeken. Het kabinet maakt voor verschillende energieketens een keuze over de ontwikkelrichting die nu wordt ingezet en adaptief wordt geactualiseerd. Daarmee geeft het richting binnen en verkleint het de bandbreedte van mogelijke ontwikkelingen die wordt omspannen door verschillende scenario's. Tegelijk blijft er ten aanzien van het langetermijnbeeld sprake van grote onzekerheden, waarover nu nog geen keuzes gemaakt (kunnen of hoeven) worden.

2.1. Kwantificering van ontwikkelbeeld in drie stappen

In deze paragraaf volgt een beschrijving van de gevolgde aanpak en aannames in drie stappen:

Stap 1: De visie van het kabinet weerspiegelen in cijfers.

De visie van het kabinet die is beschreven in het concept-NPE vormt de basis voor de cijferbeelden. Deze visie wordt samengevat in vijf hoofdkeuzes: 1) maximaal aanbod, 2) energiebesparing, 3) verdelen bij schaarste, 4) internationale samenwerking en 5) samen sturen. Dat betekent in het algemeen dat maximaal wordt ingezet op enerzijds het beschikbaar maken van energiedragers en bijbehorende infrastructuur en anderzijds energiebesparing en verdelen van schaarste.

Voor het opstellen van het cijferbeeld ten behoeve van de dialoog is steeds bezien op welke wijze de visie van het kabinet voor een bepaalde keten of gebruikerssector in cijferreeksen weerspiegeld kon worden. Het oogmerk daarbij was het gesprek te kunnen voeren over richting en ordegrottes, ondanks de grote onzekerheden. Daarbij is gebruik gemaakt van verschillende bronnen, berekeningen en inschattingen, die in dit document en/of de ambtelijke werkdocumenten A t/m D worden toegelicht. Voor verschillende onderdelen vormen de scenario's van de netbedrijven een belangrijke cijferbron (zie Box 2.1).

Stap 2: Aanvulling tot dekkend cijferbeeld

De verschillende uitgediepte onderwerpen in het concept-NPE zijn weliswaar breed verspreid over het energiesysteem, maar bieden niet op alle onderdelen van de energiebalans en voor elk zichtjaar een kwantitatieve invulling. In stap 2 zijn de ontbrekende cijfers aangevuld, zodat wel een dekkend cijferbeeld gepresenteerd kon worden. In deze stap is gebruik gemaakt van de recent gepubliceerde energiesysteemsscenario's van de gezamenlijke netbedrijven, die kwantitatieve doorrekeningen bieden voor een *klimaatneutraal energiesysteem* in 2050. De resultaten tonen wat de mogelijke vraag- en aanbodontwikkeling is (in een bandbreedte), rekening houdend met (tussentijdse) klimaatdoelen. Deze scenario's geven reële uithoeken (in petajoule beschikbare energie en gigawatt opgesteld vermogen) weer. Om de aanvulling goed aan te laten sluiten op de cijfers uit stap 1 is hierbij geput uit de data van verschillende scenario's. In Box 2.1 wordt meer informatie gegeven over de scenario's van de netbedrijven.

Stap 3: Doorwerkingen in het energiesysteem

De aanpak met combinatie van verschillende bronnen leidt niet automatisch tot een sluitende, integraal consistente energiebalans. In het energiesysteem houden vraag en aanbod immers verband met elkaar, zodat aanpassingen in de vraag van bepaalde energiedragers normaalgesproken ook zijn weerslag hebben op het aanbod, en vice versa. Voor het opstellen van de cijferbeelden is in het concept-NPE geen gebruik gemaakt van een energiesysteemmodel dat de balans automatisch sluitend maakt. Het getoonde beeld is zodoende niet geheel in balans, maar laat daarmee op onderdelen wel zien waar keuzes mogelijk schuren of nadere invulling vergen.

Bij het sluitend maken van de nationale energiebalans spelen import en export bovendien een belangrijke rol. De mogelijkheden voor import en vraag naar export van duurzame energiedragers in het toekomstige energiesysteem vormt vooralsnog echter een belangrijke onzekerheid. Waar netto import essentieel onderdeel uitmaakt van de visie is deze als sluitpost zichtbaar gemaakt. Netto export of verwachte volumes aan doorvoer zijn niet als zodanig in beeld gebracht.

Verschiedende belangrijke doorwerkingen zijn wel in de cijfers meegenomen. Waar relevant is gebruikt gemaakt van conversiefactoren om zo een goede inschatting te kunnen maken van de omzetting van benodigde (primaire) bronnen ten behoeve van de gevraagde (finale) inzet

en/of de integratie van koolstofatomen in duurzame moleculen. Ten behoeve van het definitieve NPE beoogt het kabinet wel een integraal sluitend cijferbeeld op te stellen.

Box 2.1: De II3050 -en IP2024-scenario's

De netbedrijven (en TNO) hebben voor diverse zichtjaren een integrale energiesysteemdoorrekening uitgevoerd. In deze doorrekening is voor elk aspect van het energiesysteem (bijv. wind op zee) inzichtelijk gemaakt hoeveel opgesteld vermogen (in GW) er is aangenomen en hoeveel finaal aanbod (in PJ) er beschikbaar is (elektriciteit of waterstof). Het systeem is vanwege een uitgebreide flexibiliteitsanalyse tevens in balans voor een bepaald windjaar en kent een sluitende 'energieboekhouding'.

Voor 2030 en 2035 zijn er door de netbedrijven drie scenario's ontwikkeld (IP2024), namelijk: het Klimaatakkoord (KA), Nationale Drijfveren (ND) en Internationale Ambitie (IA) scenario. Voor 2040 en 2050 zijn er vier scenario's (II3050), die logisch voortbouwen op de eerdere scenario's, namelijk: Decentrale Initiatieven (DEC), Nationaal Leiderschap (NAT), Europese Integratie (EUR) en Internationale Handel (INT). Voor nadere toelichting van de uitgangspunten zie www.netbeheernederland.nl/toekomstscenario's.

2.2. Wijze van verantwoording cijfers

De hoofdstukken 3 tot en met 6 tonen per keten op basis waarvan keuzes zijn gemaakt. Elke keten is onderverdeeld in drie subparagrafen:

1. Bronnen (primair aanbod of aanbod vanuit andere ketens)
2. Inzet als eindgebruik
3. Inzet in andere ketens en verliezen

Elke subparagraaf gaat vervolgens per onderdeel horende bij deze keten middels een tabel in op de waarde (in PJ) en de bron die gebruikt wordt in het concept-NPE. De volgende afkortingen worden gehanteerd voor de bronvermelding:

- **Basis:** Waarde (2019) overgenomen uit het Energy Transition Model (ETM)
- **IP-XX/II-XXX:** Een scenario uit de 2019-2050 doorrekeningen van de netbedrijven voor het jaar 2023. De twee of drie laatste letters worden ingevuld met één van de volgende scenario's:
 - **KA:** Klimaatakkoord
 - **ND:** Nationale Drijfveren
 - **IA:** Internationale Ambitie
 - **DEC:** Decentrale Initiatieven
 - **NAT:** Nationaal Leiderschap
 - **EUR:** Europese Integratie
 - **INT:** Internationale Handel
- **AWX.X:** De onderbouwing hiervoor is opgenomen in een van de ambtelijke werkdocumenten van het concept-NPE. De X'en vormen de letter van het werkdocument (en het cijfer van de paragraaf waarin de onderbouwing hiervoor staat genoemd). Hieronder staan de werkdocumenten opgesomd:
 - **A:** Uitgangspunten en afbakening energiesysteem
 - **B:** Ontwikkelpaden ketens van het energiesysteem
 - **C:** Transitiepaden gebruiksectoren
 - **D:** Voorwaarden voor ontwikkeling van het energiesysteem
- **Interp.:** Deze waarde is berekend op basis van interpolatie. Dat betekent dat er geen schatting volgt uit bronvermelding voor dit jaar, maar wel voor omliggende jaren. Deze waarde wordt hierdoor rekenkundig als tussenwaarde berekend.
- **Berek.:** Deze waarde is berekend op basis van vaste conversiewaarden of verschil tussen vraag en aanbod van energie.
- **Overig:** Dit betekent dat van een aanvullende bron wordt gebruik gemaakt of een rekenkundige aanpassing is gedaan vanwege energetische balancerings. Nogmaals: er is geen integrale systeemanalyse uitgevoerd; dit volgt in het definitieve NPE eind dit jaar.

Voor elke keten wordt ten eerste een samenvatting gegeven met daarin de toelichting op de totaalcijfers. Deze cijfers kunnen nog worden bijgesteld in het definitieve NPE. Na elke tabel waar wordt verwezen naar bepaalde bronvermelding en/of volgt een toelichting indien er overige bronvermelding of aannames zijn gehanteerd.

De getoonde waarden zijn niet afgerond, maar zijn niet bedoeld als precies: er bestaan grote onzekerheden richting 2050. Het NPE wordt periodiek herijkt, waardoor de onzekerheden steeds kleiner worden.

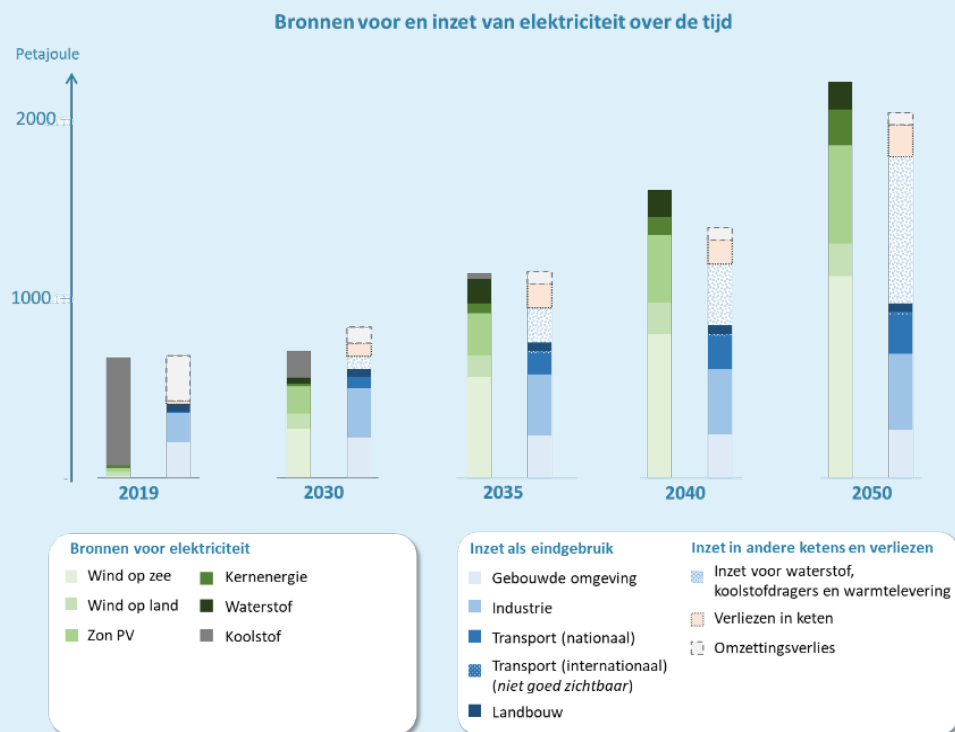
De getoonde waarden zijn exclusief de eventuele energievraag vanuit het buitenland die door Nederland lopen (export of doorvoer). Hierover is momenteel nog te weinig informatie. Productie voor export en doorvoer van energie kan aanvullende behoefte aan energiebronnen betekenen, en heeft daarboven aanvullende consequenties voor benodigde infrastructuur.

3. Toelichting elektriciteitsketen

De ontwikkelingen binnen en tussen de energieketens vormen de basis van het NPE. In dit hoofdstuk wordt de kwantitatieve basis van de elektriciteitsketen nader toegelicht.

Elektrificatie is voor veel toepassingen de preferente verduurzamingsroute. Het kabinet zet er op in dat in 2050 de binnenlandse productie van elektriciteit zowel de (dan veel grotere) directe elektriciteitsvraag in de verschillende eindgebruikerssectoren kan bedienen, als ook beschikbaar is voor het produceren van andere energiedragers zoals waterstof en koolstofdragers of export naar onze buurlanden. Dat vraagt naar schatting ruim vier keer zoveel elektriciteit als nu. Om deze omvang van productie in 2050 binnen bereik te houden

Figuur 1 – Bronnen voor en inzet van elektriciteit, periode 2019 – 2050



en om reeds in 2035 netto nul emissies in de elektriciteitsketen te kunnen bereiken zet het kabinet nu in op snelle opschaling van wind-, zon- en kernenergie. Met name de inzet van elektriciteit in andere ketens (waterstof, brandstoffenproductie) en eventuele export is nog erg onzeker en bepaalt hoeveel elektriciteit er uiteindelijk in totaal geproduceerd moet worden. We bereiden ons voor op mogelijke ontwikkeling en inpassing van rond 70 GW wind op zee, 3,5 - 7 GW kernenergie en significante doorgroei van hernieuwbare energie op land. Ontwikkeling van flexibiliteit aan zowel vraag als aanbodzijde is cruciaal en bepaalt mede de hoeveelheid verliezen (o.a. curtailment) en het benodigde volume flexibel regelbare waterstofcentrales.

Tabel 1 - Overzichtstabel elektriciteitsketen, periode 2019 - 2050 (indicatief*)

Jaar	2019	2030	2035	2040	2050
Bronnen voor en inzet van elektriciteit (PJ)					
Bronnen voor elektriciteit	672	736	1.148	1.626	2.222
Wind op zee	13	275	567	810	1.134
Wind op land	26	86	122	174	180
Zon PV	19	154	234	378	551
Kernenergie	14	14	58	101	202
Waterstof	0	34	138	155	155
Koolstof	600	173	29	8	0
Inzet als eindgebruik	415	612	762	857	980
Gebouwde omgeving	202	226	240	248	268
Industrie	163	279	342	364	429
Transport (nationaal)	9	60	120	180	216
Transport (internationaal)	0	0	10	15	17
Landbouw	41	46	50	50	50
Inzet in andere ketens en verliezen	272	234	395	546	1.068
Inzet voor waterstof, koolstofdragers en warmtelevering	0	70	190	341	824
Verliezen in keten	17	75	134	136	179
Omzettingsverlies	255	89	71	69	65

Figuur 1 en Tabel 1 schetsen hoe de ontwikkeling van de keten er op hoofdlijn uitziet. Zoals benoemd gaat het hier om indicatieve getallen die niet exact en integraal zijn doorgerekend. In de volgende paragrafen worden de drie onderdelen van deze tabel en figuur nader toegelicht in energiebronnen voor elektriciteit, inzet van elektriciteit als eindgebruik en de inzet van elektriciteit in andere ketens en verliezen.

3.1. Energiebronnen voor elektriciteit

Energiebronnen voor elektriciteit zijn zowel primaire bronnen als afkomstig vanuit andere ketens (koolstof en waterstof). Primair aanbod van elektriciteit verwijst naar de initiële productie van elektriciteit door middel van natuurlijke hulpbronnen, zoals zonne-energie, windkracht of kernenergie. De waarde voor kernenergie betreft uitsluitend de opgewekte elektriciteit; het conversieverlies is niet in de cijferplaat opgenomen. Daarnaast wordt elektriciteit opgewekt door verbranding van fossiele brandstoffen en/of duurzame gassen. In tabel 2 en 3 worden de cijfers uit tabel 1 voor de bronkant nader uitgesplitst, tabel 4 en 5 geven de bronvermelding daarbij.

Tabel 2 - Primaire bronnen elektriciteitsproductie (indicatief*)

Jaar Bronnen (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Wind op zee	13	275	567	810	1.134
Wind op land	26	90	122	174	180
Zon PV (op land en zee)	2	54	69	125	151
Zon PV (op woningen)	8	50	87	122	200
Zon PV (op overige gebouwen)	9	50	78	131	200
Overig hernieuwbaar (niet zichtbaar in figuur 1)	14	7	7	3	2
Kernenergie	14	14	58	101	202
Som	87	538	988	1.467	2.069

Tabel 3 - Bronnen voor elektriciteitsproductie uit andere ketens (indicatief*)

Jaar Afkomstig uit andere ketens (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Koolstof (kolencentrale)	138	-	-	-	-
Koolstof (aardgascentrale)	435	146	17	0	0
Koolstof (biomassa)	27	26	11	8	-
Waterstof (waterstofcentrale)	-	34	138	155	155
Som (finale productie)	600	206	166	163	155

Tabel 4 - Bronvermelding primaire bronnen elektriciteitsproductie

Jaar Bronvermelding	2019	2030	2035	2040	2050
Wind op zee	Basis	AWB1.2	AWB1.2	AWB1.2	AWB1.2
Wind op land	Basis	AWB1.2	IP-KA	II-NAT	AWB1.2
Zon PV (op land en zee)	Basis	AWB1.2	IP-ND	II-NAT	AWB1.2
Zon PV (op woningen)	Basis	AWB1.2	IP-KA	II-NAT	AWB1.2
Zon PV (op overige gebouwen)	Basis	AWB1.2	IP-KA	II-NAT	AWB1.2
Overig hernieuwbaar	Basis	IP-KA	IP-KA	II-NAT/EUR	II-NAT/EUR
Kernenergie	Basis	AWB1.2	AWB1.2	AWB1.2	II-EUR-S

Tabel 5 - Bronvermelding elektriciteitsproductie uit andere ketens

Jaar Bronvermelding	2019	2030	2035	2040	2050
Koolstof (kolencentrale)	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	II-gem.
Koolstof (methaan centrale)	Basis	IP-KA -H2	Overig	AWB1.2	AWB1.2
Koolstof (biomassa)	Basis	AWB1.2	IP-KA	II-gem.	II-gem.
Waterstof (waterstofcentrale)	Basis	AWB1.2	AWB1.2	AWB1.2	AWB1.2

Toelichting op bronvermelding:

2030

- Voor het primaire aanbod komen vrijwel alle getallen voor 2030 uit de TNO-analyse *Extra opgave elektriciteitsvoorziening 2030*. De getallen voor wind en zon op land komen uit de *RES-monitor 2022*. De kabinetsinzet is daarnaast dat in 2031 21 GW aan wind op zee gerealiseerd is, in de tabel in het ambtelijk werkdocument is dit weergegeven in het getal voor 2030.
- De opschaling van wind en zon op land volgt uit het Klimaatakkoordscenario dat gehanteerd wordt in de investeringsplannen van de netbeheerders.
- Opwek kernenergie blijft tot 2030 gelijk.
- Elektriciteitscentrales op kolen zijn verboden in 2030 en de verlaagde inzet van centrales op aardgas is in lijn met de klimaatdoelstelling.

2035

- Na 2035 is de benodigde ontwikkeling van de elektriciteitsketen veel onzekerder. Tussen 2035 en 2040 zal er vooral een uitbouw zijn voor verdere elektrificatie in alle sectoren. Zo moet de grote industrie vanuit het ETS ook naar 0 emissies gaan voor 2040. Vanaf 2035 en met name tussen 2040 en 2050 kan er nog een zeer grote vraag ontstaan naar elektriciteit, als de huidige vraag naar brandstoffen voor de zeevaart en luchtvaart in grote mate in Nederland duurzaam geproduceerd wordt.
- Voor 2035 geldt de kabinetsdoelstelling voor een emissieloze elektriciteitsketen. Dit betekent dat de productie van elektriciteit uit kolen en aardgas (zonder CCS) dan niet meer mogelijk is. De kabinetsdoelstelling is zeer recent vastgesteld; er zijn nog geen doorrekeningen opgesteld voor wat dit qua ophoging van het CO₂-vrije productievermogen betekent. Ook niet omdat de vraagontwikkeling vanuit de sectoren nog onbekend is. In de cijfers is aangehouden dat de circa 25 TWh regelbare opwek uit aardgascentrales (volgens IP-KA) grotendeels vervangen wordt door opwek uit waterstofcentrales. De inzet van flexibel vermogen in latere jaren is gelijk gehouden bij gebrek aan integrale doorrekening van het hier getoonde beeld. Het kabinet onderzoekt nog verder hoe het emissieloze beeld in 2035 er uit kan zien en welke omvang van flexibele productie in het toekomstbeeld benodigd is.
- Vanaf 2032 zal een deel van de elektriciteitsproductie op zee in toenemende mate (direct) omgezet worden naar waterstof (ambitie 8 GW elektrolyzers). Een deel van deze waterstof

wordt gebruikt voor de productie van elektriciteit (regelbaar vermogen) conform inschattingen in de Adequacy Outlook van TenneT.

- Het kabinet zet in op de bouw van twee nieuwe kerncentrales. De eerste wordt rond 2035 verwacht, waarmee in 2035 2 GW (15,8 TWh) aan kernenergie beschikbaar zal zijn (incl. de bestaande BDV Borssele centrale).
- Zon op land is inclusief inschatting zon op zee. Zon op land volgt IP-KA.

2040

- De tweede kerncentrale zal na de eerste in bedrijf komen en brengt het totale vermogen in 2040 op 3,5 GW (27,8 TWh).
- Totale opwek wind op land wordt in 2040 gerealiseerd, na 2040 is er alleen vervanging oude molens waardoor groei in PJ optreedt.

2050

- Het primaire aanbod in 2050 is gebaseerd op de hoogste I13050 scenario's aangevuld met doorontwikkeling van kernenergie.
- Streefdoel wind op zee is 70 GW.
- Voor de aanbodkant is het wind op zee-getal de huidige kabinetsdoelstelling. Deze is gebaseerd op wat maximaal inpasbaar is in het energiesysteem, met oog voor andere functies op de Noordzee. Het getal voor wind op land komt overeen met het gemiddelde van het scenario Nationaal Leiderschap (NAT) en het scenario Decentrale Initiatieven (DEC) van I13050, wat past bij de meer decentrale/lokale rol van wind op land in het elektriciteitssysteem.
- Doorontwikkeling naar circa 7 GW in 2050 van kernenergie wordt nu voorzien, dit zijn meer grote centrales en/of kleine, modulaire reactoren.

Flexibiliteit

- Uit de vergelijking van scenariostudies in Flexibiliteit in het elektriciteitssysteem van TNO (en overeenkomstig met de Adequacy Outlook van TenneT) blijkt dat er voor 2030 een relatief grote onzekerheid is over flexibiliteitstoepassingen. Daarbij verschillen de scenario's deels in veronderstelde beleidskaders, maar ook in de projectie vanuit de huidige trend van groeiende interesse in opslag. De scenario's schetsen een vergelijkbaar beeld van het beschikbare regelbaar opwekvermogen (16 – 18 GW) en interconnectie (11 GW), maar sterk uiteenlopende beelden voor power-to-heat (0 – 7 GW), power-to-hydrogen (0 – 11 GW) en batterijen (0 – 15 GW). Het kabinet streeft ernaar om in het

definitieve NPE richtwaarden voor de verschillende flexibiliteitstoepassingen op te nemen om zo richting te geven aan de verdere beleidsontwikkeling en marktinvesteringen.

3.2. Inzet van elektriciteit als eindgebruik

Inzet van elektriciteit als eindgebruik betreft de uiteindelijke consumptie en toepassing van elektrische energie door gebruikerssectoren. Het omvat het directe gebruik van elektriciteit voor verlichting, apparaten, verwarming, koeling en industriële processen minus omzettings- en transportverliezen, en vertegenwoordigt het laatste stadium in de elektriciteitsketen. In tabel 6 en 7 volgen de cijfers en verantwoording voor de inzet van elektriciteit als eindgebruik.

Tabel 6 - Inzet van elektriciteit als eindgebruik (indicatief*)

Jaar Inzet als eindgebruik (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Gebouwde omgeving	202	227	240	248	268
Industrie	149	244	399	315	370
Industrie (datacenters)	14	35	42	49	59
Transport (nationaal)	9	60	120	180	216
Transport (internationaal)	-	-	10	15	17
Landbouw	41	46	50	50	50
Som	415	612	762	857	980

Tabel 7 - Bronvermelding inzet van elektriciteit als eindgebruik

Jaar Bronvermelding	2019	2030	2035	2040	2050
Gebouwde omgeving	Basis	AWB1.3	Interpol.	AWB1.3	AWB1.3
Industrie	Basis	AWB1.3	IP-ND	II-NAT	II-gem.
Industrie (datacenters)	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	II-gem.
Transport (nationaal)	Basis	AWB1.3	IP-KA	II-NAT	AWB1.3
Transport (internationaal)	Basis	AWB1.3	AWB1.3	AWB1.3	AWB1.3
Landbouw	Basis	IP-ND	IP-ND	II-gem.	II-gem.

Toelichting op bronvermelding:

Voor 2030 komen de getallen voor de finale elektriciteitsvraag uit de sectorale transitiepaden. Per gebruikerssector volgt hieronder een toelichting:

Gebouwde omgeving

- Elektriciteitsgebruik in de gebouwde omgeving betreft het gebruik van apparaten, elektrische (hybride) warmtepompen voor verwarming en koeling.
- Het elektriciteitsgebruik voor apparaten was in 2021 ca 200 PJ/jaar. Aangenomen is dat dit richting 2050 gelijk blijft door een combinatie van zuiniger apparaten met meer gebruik tgv meer huishoudens en meer apparaten.
- Richting 2050 gaat met name de elektriciteitsvraag voor warmte en koude sterk veranderen. Volgens de scenario's voor de gebouwde omgeving zal de totale finale elektriciteitsvraag voor verwarmen en koelen in 2050 rond de 19-25 TWh (70-90 PJ) liggen. Hiervan is circa 17 tot 22 TWh (60 tot 80 PJ) voor individuele warmteoplossingen en ongeveer 3 TWh (10 PJ) voor warmtekoeling. Naar de toekomstige vraag naar koeling wordt nog extra onderzoek gedaan. De benodigde elektriciteit voor warmtelevering komt bij inzet in de warmteketen aan de orde.

Industrie

- Het kabinet zet zich voor de industrie in om een vraagontwikkeling na te streven die past bij de uitrol van duurzame opwek (met name wind op zee) in het Nationaal Programma Verduurzaming Industrie en specifiek in de maatwerkafspraken met de twintig grootste industriële uitstoters.
- De ontwikkeling vraag elektriciteit datacenters volgt II-3050 gemiddeld.

Transport

- De verwachting en inzet van dit kabinet is dat er vanuit deze sector een aanzienlijke elektriciteitsvraag zal ontstaan, zoals ook opgenomen in het transitiepad voor mobiliteit.
- Voor de zeevaart en de luchtvaart geldt dat deze sectoren naar verwachting in ieder geval nog tot en met 2050 voor het merendeel op (duurzame) brandstoffen zijn gebaseerd vanwege de benodigde energiedichtheid. Daarnaast wordt voor het ov, zwaar wegtransport en binnenvaart rekening gehouden met een beperkte hoeveelheid waterstof. Het is nog erg onzeker in hoeverre de waterstof of de waterstofderivaten die

hiervoor nodig zijn ook binnen Nederland geproduceerd gaan worden. Het kabinet verwacht richting 2030 beter zicht te hebben op de reële verwachtingen hierbij en daarmee het te verwachten effect op de elektriciteitsketen.

Landbouw

- Richting 2040 neemt het totale gebruik naar verwachting iets toe naar 14 TWh. De vraag door apparatuur daalt naar verwachting door besparing, terwijl de elektriciteitsvraag voor verwarming stijgt naar circa 4 TWh met name door de inzet van warmtepompen.

3.3. Inzet van elektriciteit in andere ketens en verliezen

Via omzetting kan men duurzame gassen produceren ter verduurzaming van processen waar verbranding noodzakelijk is, ook kan het als doel hebben om elektriciteit voor langere tijd op te slaan. Verliezen ontstaan doordat er conversie plaatsvindt tussen ketens, in opslagcycli, en bij transport en distributie van elektriciteit. In tabel 8 en 9 volgen de cijfers en verantwoording voor de inzet van elektriciteit in andere ketens en verliezen.

Tabel 8 - Inzet van elektriciteit in andere ketens en verliezen (indicatief*)

Jaar	2019	2030	2035	2040	2050
Inzet in andere ketens en verliezen (PJ)					
Inzet voor waterstof (power-to-gas)	-	58	162	288	720
Inzet voor synfuel (power-to-X)	-	2	8	23	68
Inzet voor warmte (power-to-heat voor warmtenet)	-	10	20	30	36
Verliezen in keten	17	75	134	136	179
Som	30	167	350	497	1.022

Tabel 9 - Bronvermelding inzet van elektriciteit in andere ketens en verliezen

Jaar	2019	2030	2035	2040	2050
Bronvermelding					
Inzet voor waterstof (power-to-gas)	Basis	AWB1.3	AWB1.3	AWB1.3	AWB1.3
Inzet voor synfuel (power-to-X)	Basis	AWB1.3	AWB1.3	AWB1.3	AWB1.3
Inzet voor warmte (power-to-heat met warmtenet)	Basis	IP-KA	AWB1.3	II-EUR	II-EUR-S
Verliezen in keten	Basis	Berek.	Berek.	Berek.	Berek.

Toelichting op bronvermelding:

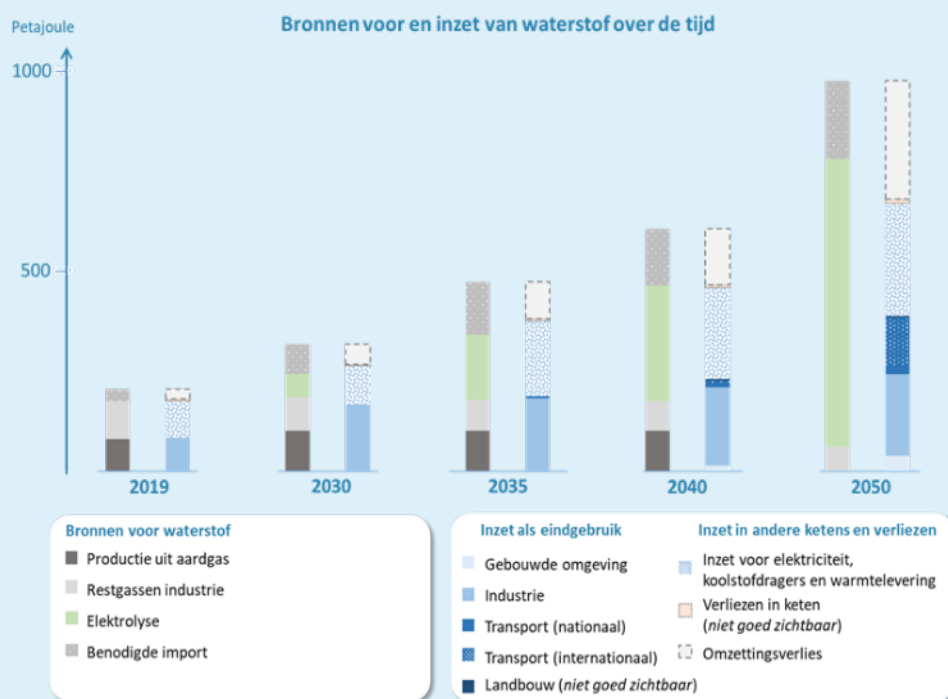
- Voor waterstofproductie is een groeppad aangehouden zoals beschreven in hoofdstuk 4 van dit document. De uiteindelijke omvang van binnenlandse waterstofproductie zal sterk afhangen van zijn competitiviteit ten opzichte van import. Naarmate meer CO2-vrije elektriciteit beschikbaar komt, ontstaat meer ruimte voor opschaling van waterstofproductie en inzet van elektriciteit voor brandstoffenproductie. Doordat het aantal momenten waarop elektriciteit ‘overvloedig’ beschikbaar is ook toeneemt, is bovendien aangenomen dat het aantal vollasturen voor elektrolyzers toeneemt.
- Voor synfuelproductie is een waterstof- en elektriciteitsbehoefte aangenomen op basis van de gehanteerde verhouding in de iij3050 scenario’s.
- Voor verliezen in de keten is gerekend met een vaste factor voor netverliezen en eigen verbruik (4%) obv totale omvang van de elektriciteitsketen, en is rekening gehouden met curtailment door de waarde hiervoor uit iij3050 te schalen in verhouding met de gehanteerde productie wind op zee. Conversieverliezen betreffen het verlies op basis van het rendement van respectievelijke kolen-, aardgas-, en/of waterstofcentrales.

4. Toelichting waterstofketen

De ontwikkelingen binnen en tussen de energieketens vormen de basis van het NPE. In dit hoofdstuk wordt de kwantitatieve basis van de waterstofketen nader toegelicht.

Waterstof vervult in 2050 een systeemrol voor het energiesysteem en wordt daarnaast vooral ingezet in de industrie en voor (internationale) mobiliteit. Hernieuwbare (“groene”) waterstof zal binnenlands grootschalig worden geproduceerd op momenten van overvloedig aanbod van CO₂-vrije elektriciteit. Daarnaast vindt import plaats vanuit een gediversifieerd importportfolio. Waterstof wordt ingezet voor flexibele elektriciteitsproductie op momenten dat het minder waait en de zon niet schijnt en in de (internationale) scheep- en luchtvaart. Daarnaast zal groene waterstof met name in de

Figuur 2 – Bronnen voor en inzet van waterstof, periode 2019 - 2050



energie-intensieve industrie worden ingezet; voor hoge-temperatuurwarmte, als grondstof en voor het produceren van duurzame brandstoffen. Waterstof wordt in andere sectoren alleen ingezet op plekken waar geen redelijk alternatief is. Om fluctuaties van productie en vraag te balanceren, en ten behoeve van een strategische voorraad zal voldoende opslagcapaciteit moeten bestaan.

Het beeld voor ontwikkeling van de waterstofketen is zowel aan de aanbod als de vraagkant nog erg onzeker. Welke balans in de loop der tijd kan ontstaan tussen de drie alternatieve ‘groepen’ bronnen (elektrolyse, productie uit fossiele brandstof, en import), is zowel afhankelijk van de ontwikkeling aanbodmogelijkheden als van vraagfactoren. Bovendien zal ook export en doorvoer van waterstof een

Tabel 10 - Overzichtstabel waterstofketen, periode 2019 – 2050 (indicatief*)

Jaar	2019	2030	2035	2040	2050
Bronnen voor en inzet van waterstof (PJ)					
Bronnen voor waterstof	204	316	471	605	974
Productie uit aardgas	80	100	100	100	0
Restgassen industrie	95	84	78	75	60
Elektrolyse	0	58	162	288	720
Benodigde import	29	74	131	142	194
Inzet als eindgebruik	82	165	186	229	387
Gebouwde omgeving	0	0	0	13	37
Industrie	82	165	181	196	205
Transport (nationaal)	0	0	5	10	23
Transport (internationaal)	0	0	0	8	119
Landbouw	0	0	0	3	3
Inzet in andere ketens en verliezen	122	151	285	375	587
Inzet voor elektriciteit, koolstofdragers en warmtelevering	93	97	189	227	282
Verliezen in keten	4	4	5	7	10
Omzettingsverlies	25	50	91	141	295

belangrijke factor zijn voor de ontwikkeling van de keten. Belangrijke keuzerichting is dat groene waterstof richting 2050 de dominante vorm wordt en dat een significante binnenlandse productie in de ogen van het kabinet strategisch gewenst is. De precieze verhouding binnenlandse productie vs. import en de mate waarin grijze en blauwe waterstof binnen de grenzen van de klimaatdoelstellingen zal mede bepaald worden door de mate waarin deze in de markt concurreren.

Figuur 2 en Tabel 10 schetsen hoe de ontwikkeling van de keten er op hoofdlijn uitziet. Zoals benoemd gaat het hier om indicatieve getallen die niet exact en integraal zijn doorgerekend. In de volgende paragrafen worden de drie onderdelen van deze tabel en figuur nader toegelicht in energiebronnen voor waterstof, inzet van waterstof als eindgebruik en de inzet van waterstof in andere ketens en verliezen. Het overzicht brengt ook waterstofproductie en –gebruik ‘achter de meter’ in beeld, en kijkt daarmee op onderdelen af van definities in de energiestatistiek.

4.1. Energiebronnen voor waterstof

Waterstof wordt geproduceerd uit hernieuwbare bronnen, zoals elektrolyse van water met behulp van hernieuwbare energiebronnen zoals zonne-energie of windenergie. Waterstof kan ook uit fossiele bronnen worden geproduceerd. Indien daarbij de CO₂-uitstoot wordt afgevangen, betreft dit blauwe waterstof. In tabel 11 en 12 volgen de cijfers en verantwoording voor de energiebronnen voor waterstof.

Tabel 11 – Bronnen voor waterstof uit andere ketens (indicatief*)

Jaar Bronnen (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Productie uit aardgas	80***	100	100	100	0
Restgassen industrie	95***	84	78	75	60
Elektriciteit (elektrolyse)	0	58	162	288	720
Import**	29*	74	131	142	194
Totaal bronnen	204	316	471	605	974
Som (finale productie)	175	298	411	497	694

** Import geeft hier slechts weer wat benodigd zou zijn om vraag en aanbod in balans te brengen. De getoonde importwaarde voor 2019 is niet conform de reële situatie; dit is een uiting van onvolkomen integraliteit in het cijferbeeld.

***Een groot deel van het huidige waterstofgebruik wordt achter de meter geproduceerd uit fossiele brandstoffen en direct ingezet in industriële productieprocessen.

Tabel 12 - Bronvermelding bronnen voor waterstof uit andere ketens

Jaar Bronvermelding, excl. omzettingsverliezen	2019	2030	2035	2040	2050
Productie uit aardgas	Basis	AWB2.3-2.4	IP-KA	II-EUR	AWB2.3-2.4
Restgassen industrie	Basis	Berek.	Berek.	Berek.	Berek.
Vergassing biomassa	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	II-gem.
Elektrolyse	Basis	AWB2.3-2.4	AWB2.3-2.4	AWB2.3-2.4	AWB2.3-2.4

Toelichting op bronvermelding:

2030

- In de periode tot 2030 groeit de waterstofbehoefte vanuit de industrie. De hernieuwbare energie richtlijn vereist in het gebruik een aandeel hernieuwbare waterstof. Desondanks zal het grootste deel van de waterstofinzet nog een fossiele basis hebben, waarbij mogelijk CCS wordt toegepast.
- Het kabinet zet in op innovatie en opschaling van elektrolyse tot 4 GW in 2030 en sterke opschaling van CO₂-vrije elektriciteit, zodat steeds vaker momenten voorkomen met overvloedige elektriciteitsproductie die kan worden omgezet in groene waterstof.
- De groeiende waterstofbehoefte wordt aangevuld met import, zodat voldaan wordt aan de eisen uit de hernieuwbare energie richtlijn. Er wordt een landelijk transportnet aangelegd om vraag- en aanbod te verbinden.
- Het kabinet heeft een streefdoel gesteld van opschaling naar 8 GW in 2032.

2035-2040

- Waterstofproductie gebeurt richting 2035 deels direct op zee. Richting 2040 zet het kabinet in op een elektrolysecapaciteit van 15 - 20GW en ontstaat vraag naar en ruimte voor toepassing ten behoeve van internationaal transport, brandstoffenproductie en overige toepassingen. Grijze en/of met name blauwe waterstof kunnen nog steeds een rol spelen, maar worden indien mogelijk steeds vaker vervangen door groen.

2050

- Richting 2050 neemt de behoefte naar groene waterstof verder toe, mede vanwege een toegenomen vraag vanuit internationaal transport. In de cijferplaat wordt uitgegaan van 40 GW aan opgesteld vermogen. Het toekomstig vermogen in Nederland heeft met veel factoren te maken en zal met de tijd nader duidelijk worden. Bij gelijke vraag is de tegenhanger van productie middels elektrolyse in Nederland een andere mate van import. In dat geval beweegt ook de benodigde elektriciteitsproductie mee.
- Aangenomen is dat de hoeveelheid restgassen die in waterstof wordt omgezet schaalbaar met de inzet van motorbrandstoffen en koolstofhoudende grondstoffen. Deze inschatting is vanwege veel bewegende panelen erg onzeker en kent een bandbreedte.

4.2. Inzet van waterstof als eindgebruik

Inzet van waterstof als eindgebruik betreft de uiteindelijke consumptie en toepassing van waterstofgas door gebruikerssectoren. Het omvat het directe gebruik van waterstofgas voor verbrandingsprocessen en als grondstof voor niet-energetische producten, en vertegenwoordigt het laatste stadium in de waterstofketen. In tabel 13 en 14 volgen de cijfers en bronvermelding voor de inzet van waterstof als eindgebruik. Hier wordt bijvoorbeeld de industrie nader uitgesplitst in energetisch gebruik en inzet als grondstof.

Tabel 13 - Inzet van waterstof als eindgebruik (indicatief*)

Jaar Inzet als eindgebruik (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Gebouwde omgeving	-	-	-	13	37***
Industrie (energetisch)	2	85	105	123	140
Industrie (grondstof)	80	80	76	73	65
Transport (nationaal)	-	-	5	10	23
Transport (internationaal)	-	-	-	8	119
Landbouw	-	-	-	3	3
Som	82	165	186	229	387

Tabel 14 - Bronvermelding inzet van waterstof als eindgebruik

Jaar Bronvermelding	2019	2030	2035	2040	2050
Gebouwde omgeving	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	AWB1,3***
Industrie (energetisch)	AW	Overig*	Overig	Overig	AW
Industrie (grondstof)	Overig**	Overig	Interpol.	Interpol.	II-NAT
Transport (nationaal)	Basis	IP-KA	AWC2,3	AWC2,3	AWC2,3
Transport (internationaal)	Basis	IP-KA	IP-KA	AW	AW
Landbouw	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	II-gem.

* *Systeemintegratie Wind op Zee 2040 betreft een gemiddelde waarde voor 2040 maar is vanwege versnelling toepasbaar voor 2030. Waarde is 145 PJ, minus waarde voor industrie (raffinage); dit raffinagedeel is weergegeven bij inzet in andere keten.*

** *Dit betreft on-site productie waterstof uit aardgas t.b.v. kunstmest.*

*** *tbv cijferplaat indicatief gesteld op 50% van totale duurzame gassen*

Toelichting op bronvermelding:

Gebouwde omgeving

- Inzet van waterstof in de gebouwde omgeving zal voorlopig vooral in pilots of of kleinschalige regionale initiatieven plaatsvinden.
- Vanaf 2040 is waterstof mogelijk breder beschikbaar en kan het mogelijk een alternatief vormen voor het gebruik van groen gas woningen en gebouwen waar all-electric en warmtenetten geen praktisch haalbare oplossingen bieden. Het centrale beeld in het NPE gaat uit van circa 75 PJ aan duurzame gassen in 2050. In de cijferplaat is dit 50-50 verdeeld over waterstof en groen gas. Welke vorm of verhouding uiteindelijk de voorkeur geniet zal pas op later moment bepaald kunnen worden, wanneer meer duidelijkheid bestaat over prijsvorming, beschikbaarheid, en toepassingsmogelijkheden.

Industrie

- Het kabinet zet zich ervoor in de randvoorwaarden te scheppen waarbinnen de industrie in Nederland kan verduurzamen. De energetische vraag naar waterstof zal toenemen als een van de alternatieven voor de inzet van fossiele bronnen, die vanwege EU-ETS steeds

duurder zullen worden. Waterstof kan daarbij worden ingezet waar elektriciteit geen redelijk alternatief kan bieden. Nadere uitwerking van industriële verduurzamingsplannen is cruciaal voor het scherper in beeld krijgen van de toekomstige industriële waterstofvraag.

- De vraag naar waterstof als grondstof is geïnterpoleerd naar het II-NAT scenario.

Transport

- Op termijn zal een deel van met name het lange afstand en zware transport en scheepvaart (deels) overstappen op waterstof of waterstofdragers als ammoniak.
- Na 2040 neemt de verduurzaming van lucht- en scheepvaart brandstof een 'vlucht', de vraag naar waterstof neemt hierdoor aanzienlijk toe.

Landbouw

- De vraag naar waterstof in de landbouw kent een bandbreedte en hangt af van de prijs. In drie van de vier II3050 scenario's is geen inzet van waterstof, in het INT scenario is de vraag 13 PJ gedreven door een lage prijs.

4.3. Inzet van waterstof in andere ketens en verliezen

Uit waterstof kan men elektriciteit en synthetische brandstoffen produceren. Verliezen ontstaan doordat er conversie plaatsvindt tussen ketens of door transport, compressie en omzetting van waterstof(dragers). In tabel 15 en 16 volgen de cijfers en verantwoording voor de inzet van waterstof in andere ketens en verliezen.

Tabel 15 - Inzet van waterstof in andere ketens en verliezen (indicatief*)

Jaar	2019	2030	2035	2040	2050
Inzet in andere ketens en verliezen (PJ)					
Elektriciteit (gas-to-power)	13	34	138	155	155
Koolstofdragers (gas-to-x)	-	3	11	33	96
Warmte	-	-	-	4	6
Industrie (raffinage)	80	60	40	35	25
Verliezen in keten	4	4	5	7	10
Som	97	102	195	284	292

Tabel 16 - Bronvermelding inzet van waterstof in andere ketens en verliezen

Jaar	2019	2030	2035	2040	2050
Bronvermelding					
Waterstofcentrale (gas-to-power)	AW	Berek.	Berek.	Berek.	Berek.
Inzet voor synfuel (gas-to-x)	Basis	Berek.	Berek.	Berek.	Berek.
Inzet voor warmte (gas-to-heat)	Basis	Berek.	Berek.	Berek.	Berek.
Industrie (raffinage)	Overig	AW	AW	AW	AW
Verliezen in keten	Basis	Berek.	Berek.	Berek.	Berek.

Toelichting op bronvermelding:

- Het kabinet streeft naar netto nul emissie in de elektriciteitssector in 2035 en gaandeweg nemen waterstofcentrales daarom de rol van regelbaar vermogen over van gas(-en kolen)centrales. Cijfers volgen Adequacy Outlook van TenneT. In 2019 worden in de Velsers centrale restgassen ingezet.
- De vraag naar synfuel neemt in de tijd toe. Over de toekomstige binnenlandse vraag en productie van synfuel is nog veel onzekerheid. Dit komt met name voort uit de onzekerheid hoe de brandstoffenvraag van lucht en scheepvaart zich zal ontwikkelen, én over de vraag in welke mate binnenlandse brandstoffenproductie kan concurreren met brandstoffenproductie elders.
- De totale waterstofvraag in 2019 bedraagt zo'n 180 PJ, iets minder dan de helft hiervan is op de conto van de raffinage sector. De toekomstige vraag naar waterstof in raffinageprocessen is geschat, uitgaande van een sterk dalende behoefte aan koolstofbrandstoffen richting 2050. Een onzekerheid daarbij is de vraag in hoeverre duurzame brandstofproductie een vergelijkbare waterstofvraag heeft als olieraffinage.

5. Toelichting koolstofketen

De ontwikkelingen binnen en tussen de energieketens vormen de basis van het NPE. In dit hoofdstuk wordt de kwantitatieve basis van de koolstofketen nader toegelicht.

Koolstofdragers blijven belangrijk in het energiesysteem. Het vermijden van koolstofuitstoot is het kerndoel van de transitie. Het mondiale koolstofbudget wordt steeds krappere. Het gebruiken en uitstoten van koolstof zal in lijn daarmee steeds hogere kosten met zich meebrengen. Voor veel toepassingen wordt in de transitie daarom overgestapt naar koolstofvrije energiedragers, zoals elektriciteit, duurzame warmte en waterstof. Alleen waar alternatieven technisch moeilijk toepasbaar of onvoldoende betaalbaar zijn worden in 2050 nog koolstofdragers als sluitstuk ingezet. Voor bepaalde toepassingen blijft koolstof ook in

Figuur 3 – Bronnen voor en inzet van koolstofdragers, periode 2019 - 2050



2050 nog essentieel, zoals als grondstof in de (chemische) industrie en als brandstof in de internationale lucht- en scheepvaart. De hoeveelheid gebruikte koolstofdragers is daarom in 2050 weliswaar veel kleiner dan nu, maar nog altijd substantieel.

Tabel 17 - Overzichtstabel koolstofketen, periode 2019 - 2050 (indicatief*)

Jaar	2019	2030	2035	2040	2050
Bronnen voor en inzet van koolstof (PJ)					
Bronnen voor koolstof	3.522	2.404	1.944	1.617	1.276
Olie	1.725	1.216	1.023	672	0
Aardgas	1.360	802	467	199	0
Kolen	270	46	0	0	0
Biograndstoffen (binnenlands)	100	100	100	100	100
Biograndstoffen (import)	67	210	285	490	832
Recycklaat en inputs synthetische koolstof-dragers	0	30	69	156	344
Inzet als eindgebruik	2.456	1.913	1.634	1.464	1.041
Gebouwde omgeving	416	290	193	128	37*
Industrie	840	626	562	502	430
Mobiliteit (nationaal)	498	366	240	181	20
Mobiliteit (internationaal)	659	610	627	639	549
Landbouw	43	21	12	14	5
Inzet andere ketens en verliezen	1.097	578	420	372	271
Elektriciteitsproductie	593	146	17	0	0
Waterstofproductie	175	184	178	175	60
Warmtelevering	14	16	17	14	14
Omzettingsverlies	315	232	208	183	197

* tbv cijferplaat indicatief gesteld op 50% van totale duurzame gassen

Het gebruik van fossiele koolstofdragers in 2050 wordt tot een minimum beperkt en indien mogelijk helemaal uitgefaseerd, in lijn met het doel van een volledig circulaire economie. De resterende koolstofvraag wordt hernieuwbaar ingevuld: met biograndstoffen, recycklaat en synthetische koolstofdragers. Het kabinet zet in op maximaal ontsluiten van aanbod van hernieuwbare koolstofdragers. Ook bij gebruik alleen in essentiële toepassingen is het

binnenlands aanbod aan hernieuwbare koolstof ontoereikend om in de vraag te voorzien en is substantiële import nodig. Naast maximale inzet op binnenlands aanbod komt er daarom ook een importstrategie voor hernieuwbare koolstof. Vermijden van ongewenste afhankelijkheden, het borgen van verantwoorde winning van duurzame biograndstoffen vanuit een mondiaal perspectief, het nog prille ontwikkelstadium van produceren van synthetische koolstofdragers in combinatie met de grote energiebehoefte daarvan impliceren een blijvende druk op het waar mogelijk beperken van de vraag naar koolstofdragers. Figuur 3 en Tabel 17 schetsen hoe de ontwikkeling van de keten er op hoofdlijn uitziet. Zoals benoemd gaat het hier om indicatieve getallen die niet exact en integraal zijn doorgerekend. In de volgende paragrafen worden de drie onderdelen van deze tabel en figuur nader toegelicht in energiebronnen voor koolstof, inzet van koolstof als eindgebruik en de inzet van koolstof in andere ketens en verliezen.

5.1. Energiebronnen voor koolstofdragers

In de koolstofketen wordt gekeken naar koolstofdragers, dit zijn koolstofhoudende energiedragers en CO₂. Koolstofdragers worden enerzijds ingezet als energiedrager, maar ook als grondstof in de (chemische) industrie. Koolstofdragers verwijst naar de beschikbaarheid en levering van verschillende bronnen die koolstof bevatten, zoals fossiele brandstoffen (aardolie, steenkool, aardgas) en hernieuwbare koolstofdragers, waaronder biograndstoffen, recyclelaat en synthetische koolstofdragers. In tabel 18 en 19 volgen de cijfers voor de bronnen (primair en uit andere ketens) voor koolstof en tabel 20 en 21 de bronvermelding hiervoor. In het beeld is aangenomen dat import vooral zal bestaan uit biogene koolstofdragers. Indien ontwikkeling van synthetische koolstofdragers mondiaal een vlucht neemt kan import van synthetische koolstofdragers de druk op biogene bronnen verlichten.

Tabel 18 - Primaire bronnen voor koolstof (indicatief*)

Jaar Bronnen (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Aardgas	1.360	802	468	199	-
Biograndstoffen (binnenlands)	100	100	100	100	100
Biograndstoffen (import)	66	210	285	489	833
Kolen	270	46	-	-	-
Recyclelaat	-	25	50	100	180
Olie (fossiel)	1.725	1.216	1.023	672	-
Som	3.521	2.403	1.946	1.616	1.277

Tabel 19 – Bronnen voor koolstof uit andere ketens (indicatief*)

Jaar Afkomstig uit andere ketens (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Raffinaderijgas (H ₂)	80	60	40	35	25
Elektriciteit en waterstof tbv productie synthetische brandstoffen	-	5	19	56	166
Som	80	65	59	81	191

Tabel 20 - Bronvermelding primaire bronnen voor koolstof

Jaar Bronvermelding	2019	2030	2035	2040	2050
Aardgas	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	AWB3.3-3.5
Biograndstoffen (binnenlands)	Basis	AWB3.3-3.5	AWB3.3-3.5	AWB3.3-3.5	AWB3.3-3.5
Biograndstoffen (import)	Basis	Berek.	Berek.	Berek.	Berek.
Kolen	Basis	IP-KA	AWB3.3-3.5	AWB3.3-3.5	AWB3.3-3.5
Recyclelaat en inputs synthetische koolstof	Basis	AWB3.3-3.5	AWB3.3-3.5	AWB3.3-3.5	AWB3.3-3.5
Olie (fossiel)*	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	AW

*Incl. vraag internationaal transport (o.b.v. getallen 2019)

Tabel 21 - Bronvermelding bronnen voor koolstof uit andere ketens

Jaar Bronvermelding	2019	2030	2035	2040	2050
Raffinaderijgas (H ₂)	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	II-gem.
Productie synthetische brandstoffen	Basis	Berek.	Berek.	Berek.	Berek.

Toelichting op bronvermelding:

Nu-2035

- Waar nu nog 60% van de elektriciteitsopwekking plaatsvindt op basis van (veelal fossiele) koolstofdragers zal koolstof in 2035 nog slechts minimaal worden ingezet voor elektriciteitsopwekking. In 2030 gaat het verbod op inzet kolen in bestaande centrales voor opwek van elektriciteit in. Na die tijd zal, door de toename van opwek uit zon en wind en met instrumentering van het streefdoel van een klimaatneutrale elektriciteitssector in 2035 ook de inzet van gascentrales afnemen.
- Tegelijkertijd wordt er ook gewerkt aan de verduurzaming van het aanbod van koolstofdragers en wordt gewerkt aan de opbouw van de daarvoor benodigde productie (en import). In de lucht- en scheepvaart groeit het aandeel hernieuwbare brandstoffen van een zeer gering aandeel vandaag de dag naar rond de 15% in 2035.

2035-2050

- De totale resterende finale koolstofvraag binnen Nederland (dus exclusief doorvoer van koolstofdragers naar buurlanden) wordt op basis van de verschillende sectorale transitiepaden geschat tussen 1000-1400 PJ in 2050. Het grootste deel van de vraag is afkomstig van de internationale mobiliteit en de chemische sector (grondstoffentoepassing). Deze vraag is aanzienlijk groter dan het geschatte binnenlandse aanbod aan hernieuwbare koolstofdragers (maximaal 330 PJ) waarbij ook nog sprake is van niet meegenomen conversieverliezen. Al met al betekent dit een grote importbehoefte. In de cijfers is bovendien geen rekening gehouden met productie ten behoeve van export en doorvoer. De toekomstige import kan derhalve nog beduidend hoger liggen dan geschatst.
- De cijferplaat schetst het beeld dat het merendeel van de koolstofbehoefte wordt gedekt door middel van (veelal) geïmporteerde biograndstoffen. Als aanname is gehanteerd dat van de biogene producten – voor zover op basis van import - 20% in Nederland wordt

geproduceerd obv geïmporteerde ruwe biograndstoffen, 60% in Nederland wordt geproduceerd obv geïmporteerde halffabricaten zoals pyrolyseolie, en 20% geïmporteed wordt als finaal eindproduct. Indien productie van synthetische brand- en grondstoffen elders een vlucht neemt, kan dit mogelijk de benodigde import van biograndstoffen en biogene producten beperken. De ontwikkelingen op dit vlak zijn evenwel nog zeer onzeker.

- Het kabinet werkt toe naar een klimaatneutraal, circulair en fossielvrij Nederland. Het kabinet ziet een fossielvrije koolstofketen in 2050 als de gewenste ontwikkelrichting. Omdat er onvoldoende zicht is op de haalbaarheid en consequenties van een volledig fossielvrije samenleving in 2050 – en de consequenties daarvan voor internationale sectoren – is het op dit moment niet wenselijk om van een fossielvrije koolstofketen een hard beleidsdoel te maken. Het kabinet zet daarom in op handhaving van “klimaatneutraal” als centraal beleidsdoel voor 2050 (ontwikkelrichting 2; zie ambtelijk werkdocument B), maar hecht er wel aan om in de vormgeving van de beleidsinstrumenten zoveel mogelijk te sturen richting “fossielvrij” (ontwikkelrichting 3; zie ambtelijk werkdocument B). Vooralsnog betekent dit dat er in 2050 indien nodig beperkt ruimte is voor het gebruik van fossiele grondstoffen. Het aandeel fossiel moet wel zoveel mogelijk worden geminimaliseerd. De komende jaren wordt verder onderzocht wat ervoor nodig is om 2050 als jaartal voor fossielvrij binnen bereik te houden en of daar een concrete doelstelling aan kan worden verbonden.
- Het binnenlandse productiepotentieel voor biograndstoffen wordt ingeschat op maximaal 250 PJ. Onduidelijk is welk deel daarvan beschikbaar kan worden gemaakt voor centrale benutting in de koolstofketen. In het cijferbeeld is conservatief uitgegaan van een benutting van circa 100 PJ. Naar mate een groter deel van dit potentieel daadwerkelijk kan worden ontsloten, kan de getoonde importbehoefte lager uitvallen.
- Het productiepotentieel voor recycleert uit binnenlands koolstofhoudend afval is in de orde grootte van 40-80 PJ. Aangenomen wordt dat tevens recycleert zal worden geïmporteed.

5.2. Inzet van koolstof als eindgebruik

Inzet van koolstof als eindgebruik verwijst naar het gebruik van koolstofdragers in diverse toepassingen (zoals de productie van plastics, chemicaliën, het gebruik van (duurzame) brandstoffen) en voorziening van warmte van hoge en lage temperatuur in industrie,

gebouwde omgeving en landbouw (met uitzondering van de inzet tbv collectieve warmte zoals beschouwd in de warmteketen). Richting 2050 wordt de koolstofketen meer circulair. In tabel 22 en 23 volgen de cijfers en bronvermelding voor de inzet van koolstof als eindgebruik. Hier wordt bijvoorbeeld de industrie nader uitgesplitst in energetisch en non-energetisch gebruik.

Tabel 22 - Inzet van koolstof als eindgebruik (indicatief*)

Jaar Inzet als eindgebruik (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Gebouwde omgeving	415	290	193	127	37
Industrie (energetisch)	410	196	132	72	-
Industrie (non-energetisch)	430	430	430	430	430
Transport (nationaal)	498	366	240	181	20
Transport (internationaal)	659	610	627	639	549
Landbouw	43	21	12	14	5
Som	2.456	1.912	1.634	1.463	1.041

Tabel 23 - Bronvermelding inzet van koolstof als eindgebruik

Jaar Bronvermelding	2019	2030	2035	2040	2050
Gebouwde omgeving	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	AWB3.3-3.5
Industrie (energetisch)*	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	AWB3.3-3.5
Industrie (non-energetisch)	Basis	AWB3.3-3.5	AWB3.3-3.5	AWB3.3-3.5	AWB3.3-3.5
Transport (nationaal)	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	AWB3.3-3.5
Transport (internationaal)**	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	II-gem.
Landbouw	Basis	IP-KA	IP-KA	II-gem.	II-INT

* Bij deze waarden zijn de restgassen industrie (H₂) in mindering gebracht.

** De totale inzet van koolstof excl. directe inzet elektriciteit en waterstof.

Toelichting op bronvermelding:

Gebouwde omgeving

- De vraag naar fossiel aardgas neemt de komende decennia af door stimuleren duurzame(re) alternatieven en energiebesparing.
- Het programma groen gas richt zich tot 2030 primair op opschaling van de productie, waarbij groen gas tot 2030 voornamelijk wordt ingezet in de gebouwde omgeving. De inzet van groen gas na 2030 is mogelijk in meerdere sectoren en is mede afhankelijk van de vraag vanuit de sectoren en de totale beschikbaarheid van groen gas. Richting 2050 wordt de inzet van groen gas in de gebouwde omgeving als sluitstuk beschouwd voor toepassingen waarbij alternatieven niet realistisch zijn. De II3050 scenario's (2023) gaan voor 2050 uit van een totale resterende behoefte aan groen gas in de gebouwde omgeving van 30-80 PJ op een totale behoefte van 35-120 PJ aan hernieuwbare gassen. Ten behoeve van het NPE zijn voor de gebouwde omgeving verschillende scenario's opgesteld (zie hoofdstuk 1 van AWC). Binnen het concept-NPE wordt in het eindbeeld uitgegaan van 75 PJ aan hernieuwbare gassen conform het GO-scenario NPE-SC1, wat in andere scenario's kan oplopen tot circa 140 PJ. Ten behoeve van de cijferplaat is voor duurzame gassen een 50-50 verhouding tussen groen gas en waterstof als aanname gehanteerd.

Industrie

- Het EU ETS mechanisme is recent aangescherpt. Dit betekent dat omtrent het jaar 2040 er geen nieuwe emissierechten meer worden uitgegeven. Door dit mechanisme neemt de inzet van fossiele energie in de industrie af.
- De Cluster Energiestrategieën (CES) zetten erop in om de huidige koolstofvraag zoveel mogelijk te vervangen door elektriciteit en waterstof en dus geen biograndstoffen in te zetten voor hoge-temperatuur proceswarmte in de industrie. Het kabinet doet er alles aan om de hiervoor benodigde infrastructuur voldoende op te schalen. Dit betekent dat er in het hier geschetste gewenste eindbeeld geen koolstofdragers worden gebruikt voor (finaal) energiegebruik in de industrie.
- In een deel van de chemische sector, bijvoorbeeld in de kunstmestsector kan huidig gebruik van de koolstofdrager aardgas in de toekomst door waterstof(dragers) vervangen worden. De organische chemiesector zal daarentegen altijd koolstof nodig hebben.

Hiervoor geldt dus dat de koolstofbehoefte niet afhangt van de toename aan alternatieven, maar van de grootte van de sector als geheel.

Transport

- Ook voor de binnenlandse mobiliteit (personenvervoer, zwaar wegtransport, binnenvaart) geldt dat het kabinet zoveel mogelijk inzet op de verduurzaming met koolstofvrije energiedragers, met name elektriciteit
- In het eindbeeld voorziet het kabinet een beperkte rol voor biobrandstoffen (ordegrootte 30-40 PJ) voor zwaar wegtransport en de binnenlandse scheepvaart.
- Voor de zeevaart en de luchtvaart geldt dat deze sectoren naar verwachting in ieder geval nog tot en met 2050 voor het merendeel op koolstofhoudende hernieuwbare brandstoffen zijn gebaseerd vanwege de benodigde energiedichtheid. Voor het gedeelte hiervan dat ingevuld zal worden met synthetische koolstofdragers is het nog erg onzeker in hoeverre de waterstof of de waterstofderivaten die hiervoor nodig zijn ook binnen Nederland geproduceerd gaan worden. Het kabinet verwacht richting 2030 beter zicht te hebben op de reële verwachtingen hierbij en daarmee het te verwachten effect op de elektriciteitsketen.
- De verwachte beperkte beschikbaarheid van koolstofvrije alternatieven in 2050 betekent dat er voor de lucht- en scheepvaart tussen nu en 2050 vooral een opbouw qua inzet van hernieuwbare koolstofdragers zichtbaar is. Het aandeel brandstoffen in de scheepvaart loopt in de Refuel EU-doelstellingen op van 14,5% in 2035 naar 31% in 2040, 62% in 2045 en 80% in 2050. Ook in de luchtvaart zal het aandeel hernieuwbare brandstoffen flink toenemen. De Refuel EU-doelstellingen lopen in deze sector op van 20% in 2035 naar 34% in 2040, 42% in 2045 en 70% in 2050. Het kabinet streeft richting hogere percentages om in 2050 een 100% fossielvrije luchtvaart te bereiken. Tot aan 2040 zal het grootste deel hernieuwbare brandstoffen voor de lucht- en scheepvaart naar verwachting worden ingevuld met biobrandstoffen. Na 2040 neemt ook het aandeel synthetische koolstofdragers en mogelijk ook het aandeel koolstofvrije dragers toe. In het verwachte eindbeeld voor 2050 zal ongeveer 80 tot 95% van de energiemix voor de lucht- en scheepvaart worden ingevuld met hernieuwbare koolstofdragers. De eindvraag naar koolstof in 2050 hangt hierdoor met name af van de grootte van de totale bunkervraag.
- Hoewel de hoeveelheid bunkerbrandstoffen voor de internationale scheepvaart dus moeilijk in te schatten is voor 2050, gaat het kabinet er vooralsnog vanuit dat de vraag

naar bunkerbrandstoffen in deze sector stabiliseert en daarmee rond de 480 PJ ligt. Dit resulteert in een totale koolstofvraag van zo'n 375 PJ. De totale energievraag in de luchtvaart is ook onzeker. De totale energievraag in de luchtvaart is geschat op 205 PJ, waarvan 175 PJ wordt ingevuld met koolstofhoudende brandstoffen, namelijk Sustainable Aviation Fuels (SAFs); biogene of synthetische kerosine.

Landbouw

- In de glastuinbouw wordt het aardgasgebruik volledig afgebouwd en resteert een verwachte vraag van 8 PJ aan groen gas en biograndstoffen

5.3. Inzet van koolstof in andere ketens en verliezen

Met koolstofdragers kunnen elektriciteit, warmte of waterstof geproduceerd worden. Verliezen binnen de keten ontstaan o.a. door omzettingen tussen koolstofdragers en door het eigen gebruik van de energiesector.

Tabel 24 - Inzet van koolstof in andere ketens en verliezen (indicatief*)

Jaar Inzet in andere ketens en verliezen (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Elektriciteitsproductie	593	146	17	-	-
Waterstofproductie	175	184	178	175	60
Warmtelevering	14	16	17	14	14
Verliezen in keten	315	232	208	183	197
Som	1.097	578	420	372	271

Tabel 25 - Bronvermelding inzet van koolstof in andere ketens en verliezen

Jaar Bronvermelding	2019	2030	2035	2040	2050
Elektriciteitsproductie	Basis	Berek.	Berek.	Berek.	Berek.
Waterstofproductie	Basis	Berek.	Berek.	Berek.	Berek.
Warmtelevering*	Basis	Overig	Overig	Overig	Overig
Verliezen in keten	Basis	Berek.	Berek.	Berek.	Berek.

* Deze bronnen komen overeen met warmte uit biomassa en (groen) gas, zie ook hoofdstuk 6.

Toelichting op bronvermelding:

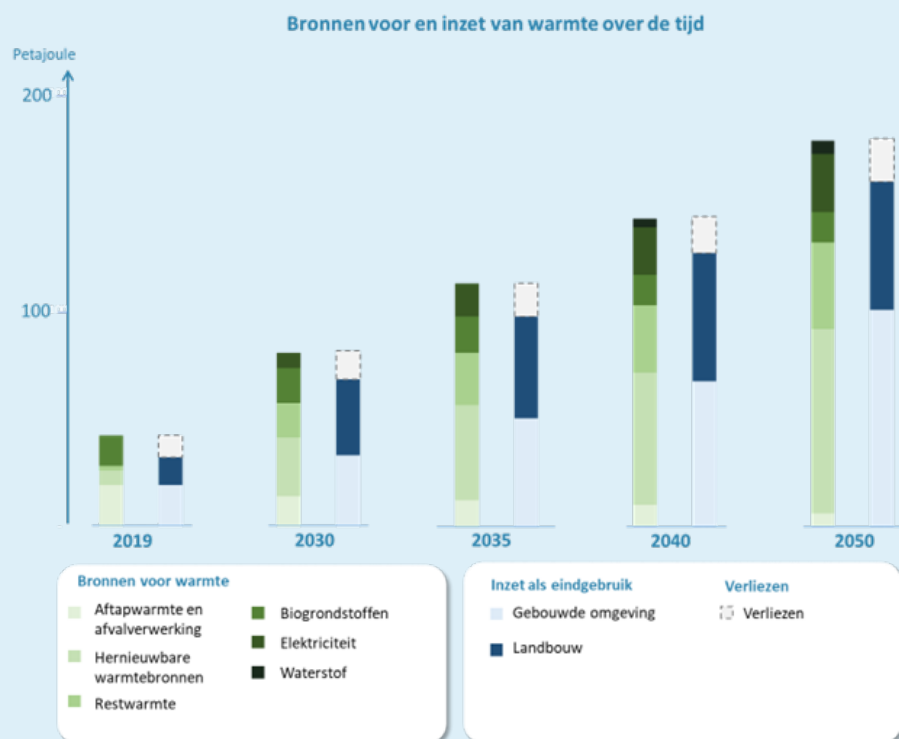
- In de cijferplaat is aangenomen dat de hoeveelheid restgassen uit de koolstofketen die in waterstof wordt omgezet schaalbaar met de inzet van motorbrandstoffen en koolstofhoudende grondstoffen. Deze bron is erg onzeker. Gegeven schaarste aan koolstofdragers ligt het actief omzetten van koolstofhoudende gassen naar waterstof richting 2050 immers niet langer voor de hand.
- In 2019 werd nog significante hoeveelheid koolstof ingezet ten behoeve van elektriciteitsproductie. Met de verder ingroei van hernieuwbare elektriciteit neemt deze hoeveelheid richting 2030 en verder sterk af. Het kabinet streeft naar netto nul emissies in de elektriciteitssector vanaf 2035. Dit betekent dat de inzet van koolstofdragers vanaf dat moment vermoedelijk nagenoeg zal verdwijnen.

6. Toelichting warmteketen

De ontwikkelingen binnen en tussen de energieketens vormen de basis van het NPE. In dit hoofdstuk wordt de kwantitatieve basis van de warmteketen nader toegelicht. De warmteketen betreft in het NPE de voorziening van duurzame warmte via collectieve warmtenetten in de gebouwde omgeving en de voorziening van duurzame warmte ten behoeve van de glastuinbouw.

Warmtenetten met duurzame warmtebronnen vervullen in 2050 een significant deel van de warmtebehoefte van de gebouwde omgeving en glastuinbouw. In Nederland is een aanzienlijk potentieel aan duurzame lokale warmtebronnen beschikbaar die kunnen worden ingezet voor de verwarming van de gebouwde omgeving en glastuinbouw. Door deze

Figuur 4 – Bronnen voor en inzet van warmte, periode 2019 - 2050



bronnen te ontsluiten en efficiënt te gebruiken wordt de vraag naar andere energiedragers (o.a. groen gas, waterstof, elektriciteit) beperkt en wordt het energiesysteem ontlast. De slimme inzet van lokale warmtebronnen zorgt verder voor een grotere autonomie en stabielere energieprijzen.

Het kabinet zet in op de opschaling van (collectieve) warmtelevering aan de gebouwde omgeving en landbouw, richting ordegrrootte 150 PJ in 2050. Specifiek voor de warmteketen geldt dat ontwikkeling van het aanbod van duurzame bronnen sterk gekoppeld is aan ontwikkeling van de vraag. Gegeven de beperkte transportmogelijkheden van warmte en beperkte mogelijkheden om laagtemperatuurwarmte in andere energiedragers om te zetten moeten vraag en aanbod in samenhang worden ontwikkeld. De totale omvang van de keten is dus sterk afhankelijk van de ontwikkeling van alternatieve manieren van warmtevoorziening in de gebouwde omgeving en landbouw. Het NPE zet in op opschaling van warmtebenutting, vanuit de optiek dat benutting van lokale warmtebronnen de druk op systemische energiedragers als elektriciteit en groene gassen zal verminderen. De invulling (bronnen) van de warmtebehoefte hangt daarbij sterk af van de mogelijkheden op lokale en regionale schaal. Het geschetste beeld toont dat duurzame warmtebronnen en restwarmtebronnen het merendeel van de (collectieve) duurzame warmtevraag zullen

Tabel 26 - Overzichtstabel warmteketen, periode 2019 – 2050 (indicatief*)

Jaar	2019	2030	2035	2040	2050
Bronnen voor en inzet van warmte (PJ)					
Bronnen voor warmte	42	80	112	142	178
Aftapwarmte en afvalverwerking	19	14	12	10	6
Hernieuwbare warmtebronnen	7	27	44	61	85
Restwarmte	2	16	24	31	40
Biograndstoffen	14	16	17	14	14
Elektriciteit	0	7	15	22	27
Waterstof	0	0	0	4	6
Inzet als eindgebruik	42	81	112	143	179
Gebouwde omgeving	19	33	50	67	100
Landbouw	13	35	47	59	59
Verliezen	10	13	15	17	20

dekken, in beperktere mate aangevuld met elektriciteit en duurzame gassen. Vanwege verwachte terugloop van elektriciteitsopwekking in elektriciteitscentrales en van afvalverbranding loopt ook de mogelijkheid om in deze installaties warmte af te tappen terug. Het geschetste aandeel van elk van de bronnen is echter nadrukkelijk indicatief; binnen grenzen zijn ook andere verhoudingen van bronnen goed voorstelbaar. Figuur 4 en tabel 26 schetsen hoe de ontwikkeling van de keten er op hoofdlijn uitziet. Zoals benoemd gaat het hier om indicatieve getallen die niet exact en integraal zijn doorgerekend. In de volgende paragrafen worden de drie onderdelen van deze tabel en figuur nader toegelicht in energiebronnen voor warmte, inzet van warmte als eindgebruik en warmteverliezen.

6.1. Energiebronnen voor warmte

Energiebronnen voor warmte binnen de scope van de warmteken omvatten diverse bronnen zoals aardwarmte, aquathermie en restwarmte uit industriële processen. Vaak zijn aanvullende piekbronnen nodig, bijvoorbeeld bediend via duurzame gassen of elektriciteit. Deze bronnen worden gebruikt om warmte te genereren voor warmtenetten en glastuinbouw.

Tabel 27 - Energiebronnen voor warmte (indicatief*)

Jaar Bronnen (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Aftapwarmte en afvalverwerking	19	14	12	10	6
Hernieuwbare warmtebronnen	7	27	44	61	85
Restwarmte	2	16	24	31	40
Biograndstoffen	14	16	17	14	14
Elektriciteit	-	7	15	22	27
Waterstof	-	-	-	4	6
Som	41	81	112	142	179

Tabel 28 - Bronvermelding energiebronnen voor warmte

Jaar Bronvermelding	2019	2030	2035	2040	2050
Aftapwarmte en afvalverwerking	Basis	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3
Hernieuwbare warmtebronnen	Basis	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3
Restwarmte	Basis	II-2035-gem.	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3	II-DEC
Biograndstoffen	Basis	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3
Elektriciteit	Basis	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3
Waterstof	Basis	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3	AWB4.2-4.3

Toelichting op bronvermelding:

- Voor het transitiepad van de gebouwde omgeving is een viertal scenario's gemaakt, die uitkomen op een groei van de collectieve warmtelevering naar 66-172 PJ (enkel lage- en middentemperatuur warmtenetten) in de periode tot 2050 (huidig volume: +/- 20 PJ). Voor de glastuinbouw is er een verwachte vraag naar warmte van 60 PJ in 2040 die volledig duurzaam ingevuld moet worden (huidig volume duurzame warmte: 13 PJ). Deze groei is in lijn met de doelen die het kabinet nastreeft voor het doorontwikkelen van collectieve warmte. Hierbij wordt gestreefd naar het duurzaam invullen van de warmtevraag voor collectieve warmte. Die wordt vooralsnog ingeschat op ongeveer 50 PJ in 2030 en rond de 100 PJ in 2050 (enkel voor de gebouwde omgeving). Hiernaast wordt in 2030 voor de glastuinbouwsector een doel van 30 PJ 'duurzame alternatieven' nagestreefd, wat vrijwel allemaal in de vorm van warmte zal zijn.
- Het huidige beleid is erop gericht dat de wenselijkheid en haalbaarheid van een warmtenet lokaal wordt onderzocht. Ook het initiatief om een warmtenet te ontwikkelen wordt lokaal genomen. Vanuit het Rijk wordt gezorgd voor de juiste condities om duurzame warmtebronnen en warmte-infrastructuur op te schalen. Hierbij zijn de volgende indicatieve doelstellingen geformuleerd
 - 50 PJ collectieve warmtelevering in 2030 (enkel voor de gebouwde omgeving).
 - 30 PJ 'duurzame alternatieven' in 2030 voor de glastuinbouwsector. Vrijwel allemaal warmte, maar niet allemaal collectief.

- 100 PJ (bandbreedte 66-172 PJ) collectieve warmtelevering in 2050 (enkel voor de gebouwde omgeving).

6.2. Inzet van warmte als eindgebruik

Inzet van warmte als eindgebruik verwijst naar het gebruik van warmte-energie voor diverse toepassingen, zoals ruimteverwarming en waterverwarming.

Tabel 29 - Inzet van warmte als eindgebruik (indicatief*)

Jaar Inzet als eindgebruik (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Gebouwde omgeving	19	33	50	67	100
Landbouw	13	35	47	59	59
Som	32	68	97	125	159

Tabel 30 - Bronvermelding inzet van warmte als eindgebruik

Jaar Bronvermelding	2019	2030	2035	2040	2050
Gebouwde omgeving	Basis	AWB4.2-4.3	AW	AW	AWB4.2-4.3
Landbouw	Basis	IP-ND/IP-IA	AW	AW	AW

Toelichting op bronvermelding:

- Voor het transitiepad voor de gebouwde omgeving zijn vier scenario's gemaakt (werkdocument C, hoofdstuk 1). Voor deze scenario's is een inschatting gemaakt van de totale finale energievraag voor functionele warmte in 2050. De verwachting is dat de netto warmtevraag ongeveer 370 PJ zal zijn. Afhankelijk van het scenario zal daarvan 66 tot 172 PJ als finale energie in de vorm van warmte via collectieve warmtenetten worden geleverd. De mate waarin warmtenetten op verschillende temperatuurniveaus worden ontwikkeld, hangt ook af van factoren en keuzes in de scenario's. De warmtelevering per temperatuurniveau ligt in die scenario's binnen de volgende bandbreedtes:
 - MT-warmtelevering: tussen 52 en 134 PJ
 - LT-warmtelevering: tussen 0 en 15 PJ

- ZLT-warmtelevering: tussen 12 en 23 PJ

- Uit het sectorale transitiepad van de gebouwde omgeving volgt een totale vraag naar collectieve warmte van 66-172 PJ. Afgezet tegen de huidige collectieve warmtevoorziening van +/- 20 PJ is dit een aanzienlijke toename. Hiernaast wordt vanuit de glastuinbouw een sterke groei van duurzame warmtevoorziening voorzien, van 13 PJ naar 60 PJ. Om deze ambities waar te maken zal de benutting van (collectieve) duurzame warmtebronnen met 100-200 PJ moeten groeien. Voor de collectieve warmtenetten is nog 6-21 PJ elektriciteit nodig, voor collectieve warmtepompen, pompenergie en elektrische pieketels.

6.3. Inzet van warmte in andere ketens en verliezen

De levering van warmte leidt tot energetische verliezen. Warm(water) wordt via een buisleiding over een afstand getransporteerd, afkoeling tijdens transport is zelfs bij zeer goede isolatie onvermijdelijk. Warmte kan ook uit een warmtebuffer 'ontsnappen', dit is ook opgenomen onder het onderdeel verliezen in de keten.

Tabel 31 - Verliezen in warmteketen (indicatief*)

Jaar Inzet in andere ketens en verliezen (PJ)	2019	2030	2035	2040	2050
Verliezen in keten	10	13	15	17	20
Som	10	13	15	17	20

Tabel 32 - Bronvermelding verliezen warmteketen

Jaar Bronvermelding	2019	2030	2035	2040	2050
Verliezen in keten	Basis	AW	AW	II-gem.	II-DEC

Toelichting op bronvermelding:

- De warmteverliezen in het concept-NPE betreffen een ruwe inschatting. Aangenomen zijn verliezen van circa 15% in collectie warmtenetten gebouwde omgeving, en circa 5% voor de glastuinbouw.