

Weerbaarheid van het energiesysteem tegen een energiecrisis

Effect van een prijsschok van fossiele energie op energie- en
systeemkosten voor het huidige en toekomstige energiesysteem



TNO 2025 R11805 – 21 oktober 2025

Weerbaarheid van het energiesysteem tegen een energiecrisis

Effect van een prijsschok van fossiele energie op
energie- en systeemkosten voor het huidig en
toekomstig energiesysteem

Auteurs	Martin Scheepers Mobi van der Linden
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Aantal pagina's	20 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	0

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2025 TNO

Samenvatting

Verduurzaming maakt ons energiesysteem minder kwetsbaar voor prijsschokken fossiele brandstoffen

In 2022 leidde een plotselinge stijging van de prijzen van fossiele brandstoffen tot een aanzienlijke toename van de energiekosten voor zowel huishoudens als bedrijven. Door de energietransitie zal in de toekomst echter minder worden uitgegeven aan fossiele energie. De kosten verschuiven richting investeringen in duurzame technologieën zoals windturbines, zonnepanelen en mogelijk kernenergie. Hierdoor hebben onverwachte prijsstijgingen van fossiele brandstoffen een beperkter effect op de energiekosten en de Nederlandse economie.

Op verzoek van de Nederlandse Vereniging voor Duurzame Energie (NVDE) heeft TNO onderzocht wat de impact kan zijn van een prijsschok in fossiele energie. Dit is gedaan voor een historisch jaar en drie toekomstscenario's. Twee scenario's gaan uit van het behalen van klimaatneutraliteit in 2050, terwijl het derde scenario geen aanvullend energie- en klimaatbeleid veronderstelt en het klimaatdoel niet haalt. Het onderzoek richt zich op het eerste-orde effect, waarbij reacties van gebruikers of beleidsmaatregelen buiten beschouwing zijn gelaten. Er is uitgegaan van een plotselinge prijsstijging van 70% voor olie, kolen en aardgas.

Naast fossiele energiebronnen worden in het energiesysteem ook hernieuwbare bronnen ingezet, zoals wind, zon, biomassa, kernenergie, geothermie en omgevingswarmte. De energiekosten van wind, zon, geothermie en omgevingswarmte zijn nul, waardoor vooral het gebruik van olie, kolen, aardgas en biomassa invloed heeft op de veranderingen van de energiekosten.

Dempende werking van verduurzaming bij prijsschokken

De resultaten tonen aan dat verduurzaming van het energiesysteem een dempend effect heeft op de energiekosten bij prijsschokken van fossiele energie. Dit dempend effect is het sterkst in het scenario waarin het klimaatdoel in 2050 wordt gehaald en het gebruik van fossiele energie sterk is teruggebracht. De stijging van de energiekosten is ruim 80% lager dan in 2023. In scenario's waarin fossiele energie een grotere rol blijft spelen of waarin het klimaatdoel niet wordt gerealiseerd, blijft de impact van een prijsschok aanzienlijk en zijn de energiekosten hoger. De energiekosten zijn in dat geval tussen de 30% en 40% lager dan in 2023.

Effect systeemkosten neemt af door verduurzaming

Ook is het effect van de prijsschok berekend op de totale kosten van het energiesysteem, bestaande uit energie-, kapitaals- en operationele kosten. Bij de veronderstelde prijsstijging van 70% voor fossiele brandstoffen nemen in alle scenario's de systeemkosten in 2030 als gevolg van de prijsschok toe met ongeveer 22%. Daarna wordt het effect op de systeemkosten kleiner. In 2050 is het effect in 2050 nog maar 3% in het scenario met een minimaal gebruik aan fossiele energie tegenover 12% in de scenario's waarin fossiele energie nog een substantiële rol speelt.

Prijsschok kost met verduurzaming 60 tot 90% minder economische groei dan zonder

De impact op de Nederlandse economie is gemeten door de stijging van de kosten voor primaire energie af te zetten tegen het bruto binnenlands product (BBP). Bij het energiegebruik van 2023 is de economische impact van een prijsschok vergelijkbaar met 2,9% van het BBP. Dit effect neemt af doordat in de toekomst minder fossiele brandstoffen worden gebruikt. Voor de toekomstscenario's met een economische groei van 1,5% per jaar en veronderstelde stijgende fossiele prijzen daalt de impact in 2030 naar 2,1% tot 2,5% van het BBP. In 2050 blijft in het scenario met een minimaal gebruik aan fossiele energie de impact beperkt tot 0,3% van het BBP tegenover 1,1–1,2% in scenario's met nog een substantieel aandeel fossiele energie.

Transportbrandstoffen blijven het meest gevoelig voor prijsschokken

De prijsschok werkt direct door in de energiekosten van eindgebruikers. In het onderzoek is ook gekeken naar de impact op energiekosten voor eindgebruikers, zoals die van aardgas in de gebouwde omgeving, olieproducten voor binnenlands en internationaal transport, en fossiele brandstoffen in de industrie. Impact op de elektriciteitskosten is buiten beschouwing gelaten. Fossiele brandstoffen worden in een duurzaam energiesysteem nauwelijks nog gebruikt voor elektriciteitsproductie.

De grootste relatieve impact van de prijsschok doet zich voor in sectoren die sterk afhankelijk zijn van transportbrandstoffen, zoals internationaal en binnenlands vervoer, met name in de scenario's waarin fossiele energie gebruikt blijft worden. In 2030 zijn ook de gebouwde omgeving en de agrarische sector nog deels afhankelijk van aardgas, waardoor een prijsschok daar tot hogere energiekosten leidt. Dit effect neemt af naarmate het aardgasgebruik daalt. In de industrie verandert de impact na 2030 nauwelijks. In 2050 is het prijsschokeffect in het scenario met vergaande verduurzaming 40% tot 60% kleiner dan in de scenario's waarin fossiele brandstoffen gebruikt blijven worden gecombineerd met CO₂-afvang en -opslag.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	6
2 Aanpak	8
3 Resultaten	11
3.1 Effecten voor hele energiesysteem	11
3.2 Effecten voor eindgebruikers	13
4 Discussie en conclusies	16
4.1 Discussie over de resultaten	16
4.2 Conclusies	17
Referenties	20

1 Inleiding

Een prijsschok op de fossiele energiemarkten kan grote gevolgen hebben voor de betaalbaarheid van energie, zowel voor huishoudens als bedrijven. Dit werd duidelijk toen Rusland Oekraïne binnenviel: Europese landen, waaronder Nederland, kregen te maken met sterk stijgende energieprijzen. De Europese Unie reageerde met sancties op de import van olie en gas uit Rusland. Ook werd een nieuwe gastransportleiding gesaboteerd. Deze gebeurtenissen leidden tot forse prijsstijgingen op de energiemarkten. Dankzij het groeiende aandeel hernieuwbare energie in de energiemix kon het effect van deze prijsschok enigszins worden beperkt.

Dit roept de vraag op in hoeverre verduurzaming van het energiesysteem kan bijdragen aan het verminderen van de kwetsbaarheid voor prijsschokken van fossiele energie. Om hier inzicht in te krijgen, heeft de NVDE TNO gevraagd een analyse uit te voeren op basis van twee door TNO ontwikkelde energiescenario's: ADAPT en TRANSFORM (Scheepers, et al., 2024). Het ADAPT-scenario gaat uit van een minder ambitieuze energietransitie, waarbij fossiele brandstoffen nog lange tijd een rol blijven spelen, gecombineerd met grootschalige inzet van CO₂-opslag. Het TRANSFORM-scenario daarentegen veronderstelt een vergaande verduurzaming van het energiesysteem, inclusief gedragsverandering.

Daarnaast heeft TNO een derde scenario opgesteld waarin het huidige energie- en klimaatbeleid wordt bevroren (Scheepers, Smekens, Stralen, & Giraldo Chavarriaga, 2025). In dit scenario worden de klimaatdoelen niet gehaald en blijft fossiele energie een substantieel onderdeel van de energiemix.

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te bieden in de impact van prijsschokken van fossiele energie op de energie- en systeemkosten¹ binnen verschillende scenario's met uiteenlopend aandelen fossiele energie. De systeemkosten worden per jaar berekend en omvatten energiekosten, kapitaalkosten, operationele en onderhoudskosten, kosten voor energietransport, en kosten voor geïmporteerde energie, minus de inkomsten uit geëxporteerde energie.

Een prijsschok wordt gedefinieerd als een plotselinge, vaak tijdelijke stijging van energiekosten waarop energieverbruikers niet reageren met nieuwe investeringen; het systeem blijft in deze analyse statisch. Wel kunnen gebruikers operationeel reageren, bijvoorbeeld door het energieverbruik te verminderen, maar deze respons wordt in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. De focus ligt op de directe verandering in energiekosten als gevolg van prijsschokken, en hoe deze zich verhouden tot de totale systeemkosten. Daarbij wordt ook aangegeven welke eindgebruikerssectoren het meest kwetsbaar zijn voor dergelijke prijsschokken.

¹ Systeemkosten worden in het kader van deze studie gedefinieerd als de nationale kosten van het energiesysteem. Hierbij worden een aantal elementen buiten beschouwing gelaten, zoals indirecte effecten, niet-financiële aspecten, buitenlandse effecten, subsidies en belastingen, de verdeling van kosten of opbrengsten onder gebruikers of het ontstaan van nieuwe marktevenwichten.

Hoofdstuk 2 beschrijft de gehanteerde onderzoeksmethode. Hoofdstuk 3 presenteert de resultaten van de analyses. Het rapport sluit af met een discussie van de resultaten en conclusies in Hoofdstuk 4.

2 Aanpak

Scenario's

Het effect van een prijsschok in fossiele energie op het Nederlandse energiesysteem wordt geanalyseerd aan de hand van drie scenario's die mogelijke ontwikkelpaden voor het energiesysteem beschrijven: ADAPT, TRANSFORM en een Referentiescenario (zie tekstbox). De omvang en samenstelling van de energiemix in de drie scenario's zijn met het OPERA-model² berekend voor de jaren 2030, 2040 en 2050. Ter vergelijking is ook het effect van een prijsschok in fossiele energie doorgerekend voor het jaar 2023.

Scenario's

Zowel in het ADAPT- als het TRANSFORM-scenario worden de broeikasgasdoelstellingen voor 2030 en 2050 door Nederland en de EU gehaald. De wijze waarop deze doelen worden bereikt verschilt echter per scenario. In het **ADAPT**-scenario blijft de huidige leefstijl en economische structuur grotendeels behouden. Fossiele brandstoffen blijven een rol spelen in het energiesysteem, in combinatie met grootschalige inzet van CO₂-afvang en -opslag (CCS).

Het **TRANSFORM**-scenario daarentegen zet sterk in op verduurzaming en de toepassing van innovatieve technologieën. Consumenten passen hun gedrag en leefstijl aan, er vindt een verschuiving plaats van industrie naar dienstensectoren, en het gebruik van CCS is beperkt.

Het **Referentiescenario** beschrijft de ontwikkeling van het Nederlandse energiesysteem op basis van het overheidsbeleid zoals vastgesteld in 2024. Dit scenario volgt de emissiedaling zoals geprojecteerd in de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 2024), en extrapoleert deze lijn door naar de toekomst. Kenmerkend voor dit scenario is een blijvend aanzienlijk aandeel fossiele energie, waardoor de klimaatdoelstellingen voor 2030 en 2050 niet worden gehaald.

Berekening prijsschokeffect

In deze analyse wordt gekeken naar de eerste-orde effecten van een prijsschok in fossiele energie op de kosten van het energiesysteem. Daarbij wordt uitgegaan van een statisch systeem: er is geen ruimte voor aanpassingen in investeringen of in het gebruik van verschillende energieopties als reactie op de prijsschok. Ook secundaire effecten, zoals veranderingen in de energievraag door prijselasticiteit of beleidsmaatregelen, blijven buiten beschouwing. De analyse richt zich uitsluitend op de directe toename van de kosten van primaire energie als gevolg van een prijsschok in fossiele brandstoffen. Tot de primaire energiebronnen behoren fossiele brandstoffen (olie, kolen, aardgas) en hernieuwbare

² OPERA is een energiesysteemmodel dat specifiek is ontwikkeld voor Nederland. Het model berekent voor een bepaald jaar een energiesysteem dat voldoet aan de energievraag en tegelijkertijd de uitstoot van broeikasgassen beperkt. Binnen deze randvoorwaarden selecteert het optimalisatie-algoritme van OPERA de combinatie van technologieën en energiebronnen die leidt tot de laagst mogelijke systeemkosten.

bronnen zoals wind, zon, biomassa, kernenergie, geothermie en omgevingswarmte. De energiekosten van wind, zon, geothermie en omgevingswarmte zijn nul, waardoor prijsschokken in fossiele energie zich beperken tot hogere kosten voor olie, kolen en aardgas.

Voor het berekenen van het effect van een prijsschok wordt per scenario eerst een basissituatie (baseline) opgesteld. Deze baseline is gebaseerd op het primaire energieverbruik, uitgesplitst naar energiedrager, zoals geschetst in de drie toekomstscenario's (ADAPT, TRANSFORM, Referentiescenario) of op basis van de realisaties in 2023 (Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 2024). De analyse richt zich op vier primaire energiebronnen: ruwe olie, aardgas, steenkool en biomassa.

Het verbruik van de geselecteerde primaire energiebronnen wordt vermenigvuldigd met een baselineprijs. Om een consistente vergelijking mogelijk te maken zijn deze prijzen voor de drie toekomstscenario's en het historische jaar 2023 gelijk gehouden. Er zijn twee prijspaden doorgerekend (zie Tabel 2.1): één met constante prijzen en één met stijgende prijzen. De baseline geeft het niveau van de energiekosten weer vóórdat een prijsschok optreedt.

Tabel 2.1: Baselineprijzen in €₂₀₂₄ per GJ. Aannames voor het constante prijspad zijn gebaseerd op de gemiddelde prijzen van 2024 (Investing.com, 2025a) (Eurostat, 2024) (Investing.com, 2025b) (Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 2024). Het stijgende prijspad is overgenomen uit de TNO-scenariostudie van 2024 (Scheepers, et al., 2024).

	Prijspad: constant	Prijspad: stijgend		
	Alle jaren	2030	2040	2050
Olie	€ 11,37	€ 19,03	€ 20,07	€ 24,24
Aardgas	€ 12,70	€ 13,94	€ 13,94	€ 14,59
Kolen	€ 4,67	€ 3,78	€ 4,04	€ 4,56
Biomassa	€ 5,46	€ 12,64	€ 12,64	€ 12,64

Om een prijsschok te simuleren, worden de prijzen van de primaire energiebronnen verhoogd met een vastgesteld percentage. Voor de drie fossiele energiedragers (olie, aardgas en steenkool) bedraagt deze stijging 70%. Dit percentage is vergelijkbaar met de piek in olie- en gasprijzen die Europa kende gedurende een periode van zes maanden in 2021–2022. Daarnaast wordt aangenomen dat deze prijsschok een beperkt effect heeft op de prijs van biomassa, met een stijging van 7%. De achterliggende gedachte is dat biomassa in beperkte mate als vervanger van fossiele brandstoffen kan fungeren, waardoor ook deze energiedrager gevoelig is voor prijsbewegingen op de fossiele markten. Er wordt uitgegaan van een gelimiteerde doorwerking van een fossiele prijsschok op biomassaprijzen met een factor van 0.1. Een log-log regressie van de gemiddelde fossiele prijzen en biomassa prijzen tussen 2014 en 2025 toont aan dat deze elasticiteit inderdaad rond de 0.1 ligt.

Toename energiekosten in perspectief plaatsen

De toename van de kosten van primaire energie als gevolg van een prijsschok wordt op drie manieren uitgedrukt om de impact van de schok beter te duiden:

1. Als percentage van de baseline voor primaire energiekosten.
2. Als percentage van de totale systeemkosten, waaronder investerings-, operationele en energiekosten binnen het energiesysteem.
3. Als percentage van het bruto binnenlands product (BBP) van Nederland.

Voor het jaar 2023 wordt geen vergelijking gemaakt met de systeemkosten, omdat voor dat jaar onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om de totale systeemkosten betrouwbaar te bepalen.

Voor het BBP wordt uitgegaan van het gerealiseerde BBP van 2024 met een jaarlijkse economische groei van 1,5% die voor de scenario's is aangenomen.

Effect eindgebruikers

Na het berekenen van het effect van een prijsschok op het energiesysteem als geheel, wordt een kwantitatieve en kwalitatieve analyse uitgevoerd om te onderzoeken hoe deze effecten doorwerken naar verschillende eindgebruikers. De analyse richt zich op de volgende sectoren: de gebouwde omgeving, de agrarische sector, de industrie, binnenlandse mobiliteit, en bunkerbrandstoffen voor internationale lucht- en scheepvaart.

Voor de kwantitatieve analyse wordt per sector gekeken naar het verbruik van olie, aardgas, kolen en biomassa, zowel in ruwe vorm als in verwerkte vorm (zoals diesel of biobrandstoffen). De berekening volgt dezelfde methode als bij het primaire energieverbruik. Daarbij wordt aangenomen dat een prijsschok in de primaire brandstoffen door energieleveranciers volledig wordt doorberekend aan eindgebruikers.

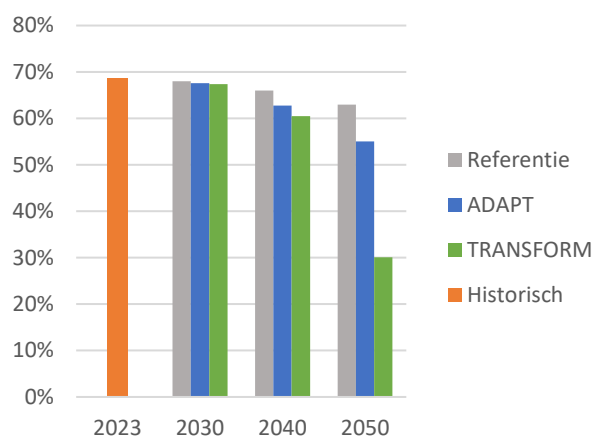
Omdat sommige secundaire energiedragers, zoals elektriciteit of synthetische brandstoffen, niet direct aan één specifieke primaire brandstof kunnen worden gekoppeld, is de kwantitatieve analyse niet volledig dekkend. Daarom wordt deze aangevuld met een kwalitatieve analyse van de mogelijke effecten van een prijsschok van fossiel brandstoffen op secundaire energiedragers en de doorwerking daarvan op de betreffende sectoren.

3 Resultaten

3.1 Effecten voor hele energiesysteem

Toename totale kosten primaire energie

Als gevolg van het toepassen van meer duurzame energie en minder fossiele energie dalen de totale energiekosten in alle drie de scenario's omdat wind- en zonne-energie geen energiekosten kennen. Tussen 2030 en 2050 dalen de totale primaire energiekosten met zo'n 20% voor ADAPT, 25% voor het Referentiescenario en ruim 60% voor TRANSFORM. Door de prijsschok van fossiele brandstoffen nemen de primaire energiekosten toe. De omvang van het effect hangt sterk samen met het aandeel fossiele brandstoffen in het totale energieaanbod. Figuur 3.1 toont de relatieve stijging van de totale kosten van primaire energie als gevolg van de prijsschok voor het jaar 2023 en voor de drie scenario's voor drie toekomstige jaren. Hoewel de absolute energiekosten bij het scenario met stijgende prijzen aanzienlijk hoger liggen dan bij het scenario met constante prijzen, is de relatieve toename ten opzichte van de baseline in beide gevallen vergelijkbaar. Daarom wordt alleen het figuur voor constante prijzen getoond. Het figuur laat zien dat het effect van een prijsschok op de kosten voor primaire energie in de toekomst afneemt, met de sterkste afname in het TRANSFORM-scenario. In 2023 bestond het aandeel fossiele energie nog uit ruim 75%. In 2030 blijft dit aandeel in het Referentiescenario ongeveer gelijk en daalt door voortschrijdende verduurzaming naar ongeveer 70% voor ADAPT en 65% voor TRANSFORM³. In de jaren daarna zet deze daling vooral in het TRANSFORM-scenario sterk door, als gevolg van ambitieuze verduurzamingsmaatregelen. In het Referentiescenario en ADAPT blijft fossiele energie daarentegen een substantieel onderdeel van de energiemix.



Figuur 3.1: Effect prijsschok fossiele energie op kosten van primaire energie. Relatieve stijging ten opzichte van de baseline (prijspad: constant)

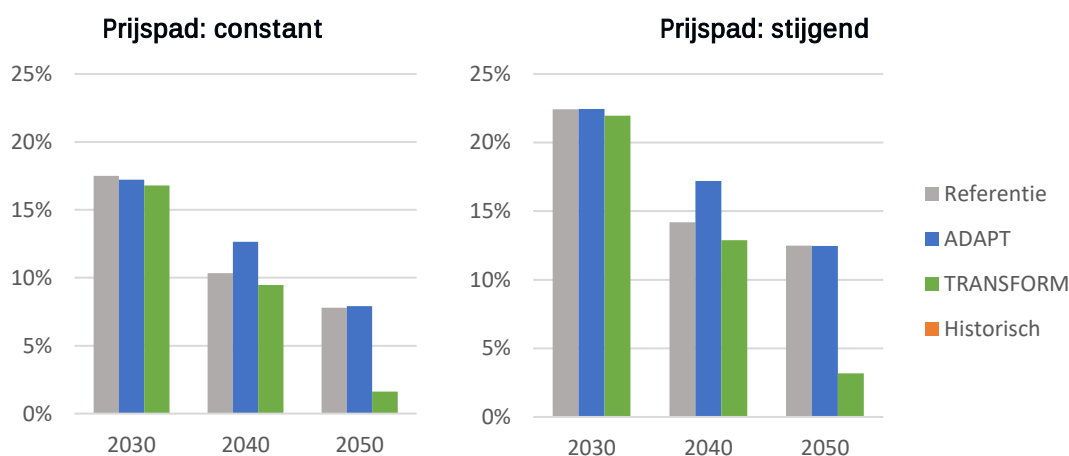
³ Hierbij gaat het om het totale primaire energieverbruik, inclusief bunkerbrandstoffen. Deze percentages wijken af van het aandeel hernieuwbaar energie volgens de Renewable Energy Directive (RED). De Klimaat en Energieverkenning 2025 raamt het aandeel hernieuwbare energie in 2030 30% tot 37%.

Toename systeemkosten

Door de stijging van de energiekosten als gevolg van een prijsschok nemen ook de systeemkosten toe. Figuur 3.2 toont de relatieve toename van de systeemkosten ten opzichte van de baseline, voor beide prijspaden: een pad met constante prijzen en een pad met stijgende prijzen. Voor het jaar 2023 is deze toename niet weergegeven, omdat betrouwbare gegevens voor het bepalen van de systeemkosten van het huidige energiesysteem ontbreken. Het effect op de systeemkosten is groter bij het stijgende prijspad, doordat in dat scenario het aandeel van energiekosten binnen de totale systeemkosten aanzienlijk hoger is dan bij het constante prijspad.

In alle drie scenario's neemt het effect van een prijsschok op de systeemkosten in de loop der jaren af. Deze afname is vergelijkbaar voor beide prijspaden. De daling is het sterkst in het TRANSFORM-scenario, als gevolg van de vergaande verduurzaming van het energiesysteem. In het Referentiescenario en ADAPT is de afname minder uitgesproken, doordat fossiele brandstoffen daar een groter aandeel blijven houden in de energiemix.

Een opvallend verschil doet zich voor in het jaar 2040: hoewel de energiekosten in ADAPT en het Referentiescenario vergelijkbaar zijn, zijn de totale systeemkosten in het Referentiescenario aanzienlijk hoger. Hierdoor is het relatieve effect van de prijsschok op de systeemkosten in dat scenario kleiner. Ook in 2050 blijven de systeemkosten in het Referentiescenario hoger dan in ADAPT, maar in dat jaar is het effect van de prijsschok op de systeemkosten in beide scenario's nagenoeg gelijk.



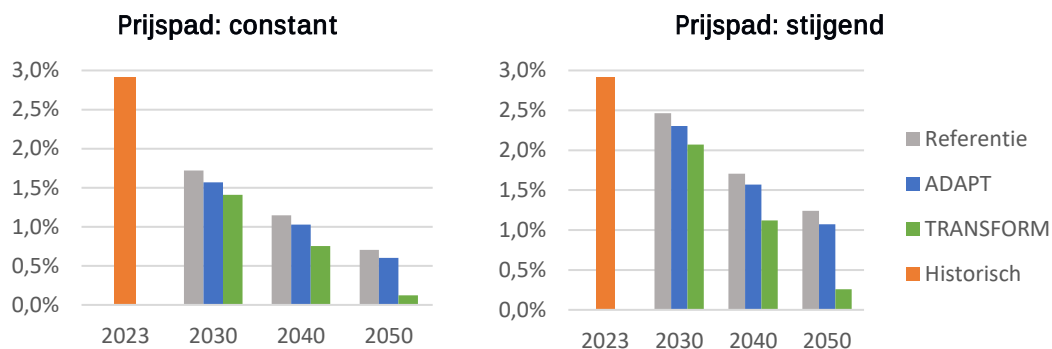
Figuur 3.2: Effect prijsschok fossiele energie op systeemkosten: relatieve stijging ten opzichte van de baseline

Vergelijking met BBP

Figuur 3.3 vergelijkt de toename van de energiekosten als gevolg van een prijsschok met het bruto binnenlands product (BBP) van Nederland⁴. Voor het fossiele energieverbruik in 2023, gecombineerd met de aangenomen energieprijzen, komt de impact van de prijsschok uit op 2,9% van het BBP van dat jaar (31 miljard euro). Bij het prijspad met stijgende prijzen is het effect van de prijsschok voor het Referentiescenario in 2030 vergelijkbaar met 2,5% van het BBP van dat jaar (30 miljard euro). In de daaropvolgende jaren neemt het effect af door een geleidelijke daling van het fossiele energieverbruik. Dit patroon geldt ook voor de scenario's ADAPT en TRANSFORM: bij TRANSFORM is het effect in 2050 nog maar 0,3% van het BBP (4 miljard euro) terwijl dit voor ADAPT daalt naar 1,1% (18 miljard euro). Uit de figuur blijkt

⁴ Een jaarlijkse economische groei van 1,5% wordt verondersteld. Dit komt overeen met de groei-aanname uit de ADAPT en TRANSFORM scenario's.

bovendien dat het effect van de prijsschok, uitgedrukt als percentage van het BBP, lager is bij constante prijzen dan bij stijgende prijzen. Dit komt omdat de energieprijzen bij het stijgende prijspad hoger liggen dan bij het constante prijspad.



Figuur 3.3: Effect prijsschok fossiele energie vergeleken met BBP.

3.2 Effecten voor eindgebruikers

Een prijsschok in fossiele brandstoffen heeft directe gevolgen voor eindgebruikers. Deze paragraaf biedt een inschatting van dat effect voor eindgebruikers in vijf sectoren: de gebouwde omgeving, de agrarische sector, de industrie, binnenlandse mobiliteit, en bunkerbrandstoffen voor internationale lucht- en scheepvaart. De analyse is alleen uitgevoerd voor het scenario met stijgende prijzen.

Stijging energiekosten

Bij deze analyse gelden twee belangrijke kanttekeningen:

- › *Doorwerking van prijsverhogingen:* De energiekosten voor eindgebruikers worden bepaald door de energie die zij geleverd krijgen. In deze analyse is aangenomen dat prijsstijgingen voor aardgas volledig worden doorgegeven aan eindgebruikers in de gebouwde omgeving, de agrarische sector en de industrie. Voor olieproducten – zoals benzine, diesel en stookolie – geldt dezelfde veronderstelling voor binnenlandse mobiliteit en bunkerbrandstoffen. In de industrie worden olie, kolen en biomassa vaak in hun primaire vorm gebruikt, waarvoor de geldende marktprijs wordt betaald.
- › *Geen doorrekening van secundaire energiedragers:* Eindgebruikers verbruiken niet alleen primaire energie, maar ook energie die daaruit is geproduceerd, zoals elektriciteit. Het OPERA-model biedt echter onvoldoende detail om het effect van hogere fossiele brandstofprijzen op de kosten van elektriciteit nauwkeurig te bepalen. Daarom zijn prijseffecten op elektriciteit, waterstof en synthetische brandstoffen op basis van waterstof niet meegenomen in de analyse van de eindgebruikerskosten. Dit leidt tot een beperkte onderschatting van het totale prijseffect. Nu wordt de elektriciteitsprijs voor een deel van de tijd nog bepaald door centrales die fossiele brandstoffen gebruiken, met name aardgas. Een prijsschok in de aardgasprijs betekent dat de elektriciteitsprijs meestijgt in uren dat gascentrales worden ingezet voor elektriciteitsproductie. Het aandeel fossiele energie in de elektriciteitsproductie neemt in alle scenario's echter snel af. In 2030 wordt in het ADAPT-scenario minder dan een kwart van de elektriciteit opgewekt met aardgas en biomassa; in TRANSFORM is dat nog slechts circa 10%. In 2040 daalt dit verder tot respectievelijk 4% en 2%. De gasprijs heeft dan

nog maar een beperkte invloed op de elektriciteitsprijs. Dat maakt dat deze benadering in latere jaren nauwelijks nog tot een onderschatting van de prijseffecten leidt.

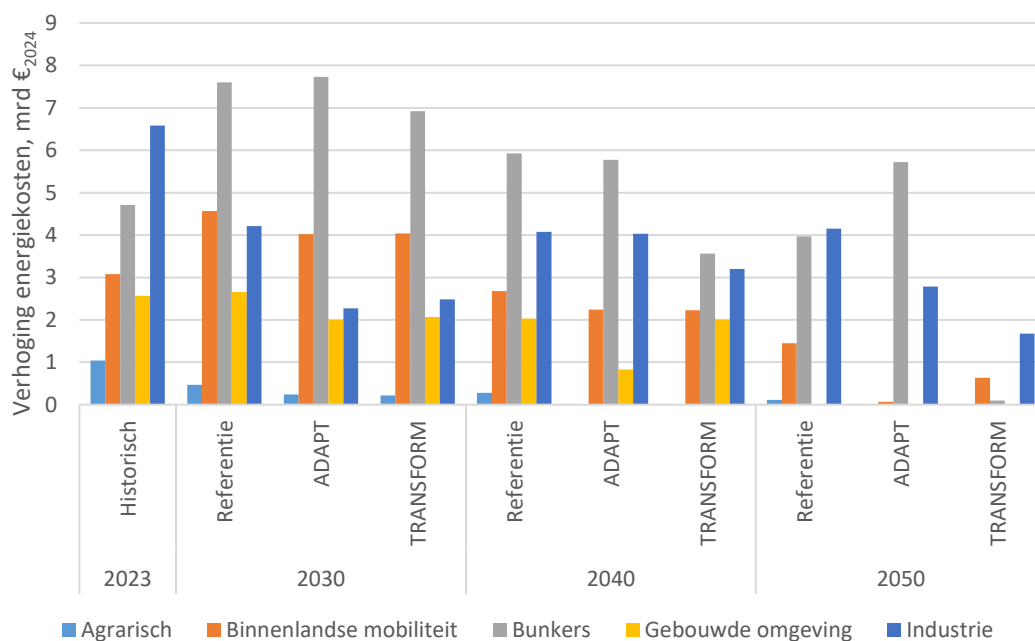
Ook voor waterstof en de daaruit geproduceerde synthetische brandstoffen is de impact van fossiele prijsschokken beperkt, aangezien waterstof in de scenario's voornamelijk wordt geproduceerd uit groene stroom.

Impact op eindgebruikers in verschillende sectoren

Figuur 3.4 **toont**, voor het scenario met stijgende prijzen, de toename van de energiekosten als gevolg van een prijsschok in fossiele brandstoffen, uitgedrukt in miljarden euro's en uitgesplitst naar sector. Door de afname van het gebruik van fossiele brandstoffen neemt de extra kostenlast voor alle sectoren geleidelijk af. Hieronder wordt de impact per sector toegelicht⁵:

-) ***Agrarische sector:*** Het gebruik van fossiele brandstoffen (met name in de glastuinbouw) neemt af en is in ADAPT en TRANSFORM in 2040 vervangen door elektriciteit en andere vormen van duurzame energie. Toch is de impact behoorlijk: de stijging varieert in 2030 van ruim 30% (TRANSFORM) tot ongeveer 50% (Referentiescenario). In het Referentiescenario blijft aardgas ook in 2050 nog een rol spelen hetgeen leidt tot een stijging van de energiekosten van 20%. In de ADAPT en TRANSFORM scenario's is deze sector in 2050 nauwelijks gevoelig meer voor een prijsschok.
-) ***Gebouwde omgeving:*** Door de inzet van duurzame technieken zoals warmtepompen neemt het verbruik van fossiel brandstoffen (vooral aardgas) af en wordt de impact van de prijsschok kleiner. Als gevolg van de prijsschok stijgen de energiekosten in 2030 nog met ca. 35% tot 40%. Doordat in 2050 aardgas vrijwel is uitgefaseerd is er in dat jaar geen sprake meer van een impact.
-) ***Binnenlandse mobiliteit:*** De prijsschok heeft hier vooral effect via olieproducten zoals benzine en diesel. Door elektrificatie en het gebruik van biobrandstoffen neemt het oliegebruik in latere jaren af, waardoor ook de impact van de prijsschok afneemt. Door de prijsschok stijgen de energieprijzen in 2030 nog met ruim 50%. Daarna neemt het relatieve effect af van onder de 30% (Referentiescenario) tot onder de 10% (ADAPT).
-) ***Industrie:*** In alle scenario's blijven fossiele brandstoffen een rol spelen. In het Referentiescenario schakelt de industrie geleidelijk over op duurzame technieken door een stijgende CO₂-prijs, waardoor de energiekosten dalen. In ADAPT blijven fossiele brandstoffen ingezet worden gecombineerd met CO₂-afvang en -opslag. Als gevolg van de prijsschok stijgen in 2030 de energiekosten met 10% (ADAPT) tot ca. 25% (Referentiescenario). In de jaren na 2030 heeft de impact ongeveer dezelfde omvang, met de grootste impact voor het Referentiescenario en de kleinste voor ADAPT en TRANSFORM. In 2050 is de impact voor TRANSFORM 40% lager dan ADAPT en 60% lager dan het Referentiescenario.
-) ***Bunkerbrandstoffen (internationale lucht- en scheepvaart):*** In het Referentiescenario en in ADAPT vindt maar een gedeeltelijke verduurzaming van de bunkerbrandstoffen plaats. Alleen in TRANSFORM worden fossiele brandstoffen in deze sector volledig uitgefaseerd. De impact van de prijsschok op korte termijn relatief groot: in 2030 stijgen de kosten met meer dan 50% in alle scenario's. In latere jaren is de kostenstijging in het Referentiescenario minder groot, neemt in ADAPT nog iets toe en is in TRANSFORM het laagst.

⁵ Voor ADAPT en TRANSFORM is een kostenoptimaal energiesysteem berekend. Bij de optimalisatie wordt daarbij verschillend omgegaan met ruimte voor resterende emissies (die ook ontstaan door negatieve emissies). Hierdoor kan het fossiele energieverbruik van sommige sectoren in ADAPT lager zijn dan in TRANSFORM, terwijl het overall verbruik van fossiele energie in ADAPT hoger is dan in TRANSFORM.



Figuur 3.4: Toename energiekosten als gevolg van de prijsschok in miljard €₂₀₂₄ met een onderverdeling naar eindgebruiksector (Prijspad: stijgend)

4 Discussie en conclusies

4.1 Discussie over de resultaten

In dit onderzoek is een analyse uitgevoerd naar de mogelijke impact van een prijsschok in fossiele brandstoffen op de energie- en systeemkosten van het Nederlandse energiesysteem. De analyse is toegepast op zowel een historisch jaar (2023) als op toekomstige jaren, waarbij gebruik is gemaakt van drie scenario's. De focus ligt op het eerste-orde effect: reacties van energiegebruikers of beleidsmaatregelen zijn buiten beschouwing gelaten. In werkelijkheid kan de impact kleiner uitvallen wanneer gebruikers hun energieverbruik aanpassen (prijselasticiteit) of wanneer beleid wordt ingezet om bepaalde groepen te compenseren voor hogere energiekosten.

Daarnaast is de impact van de prijsschok ook per sector onderzocht. Daarbij is aangenomen dat prijsverhogingen van fossiele brandstoffen direct worden doorgegeven aan eindgebruikers. De doorwerking van deze prijsstijgingen op secundaire energiedragers, zoals elektriciteit, waterstof en synthetische brandstoffen, is niet meegenomen in de analyse. Dit leidt enerzijds tot een (lichte) onderschatting van de totale impact, maar anderzijds is dit effect beperkt, omdat het aandeel fossiele brandstoffen in de elektriciteitsproductie na 2030 snel afneemt.

De resultaten geven een indicatie van de mate waarin een prijsschok in fossiele brandstoffen doorwerkt in de energiekosten en de totale systeemkosten van het Nederlandse energiesysteem. De toekomstige ontwikkeling van dit systeem is echter onzeker en afhankelijk van beleidskeuzes en marktontwikkelingen. Door drie scenario's te hanteren, is geprobeerd deze onzekerheid te verkennen. Toch kunnen toekomstige ontwikkelingen afwijken van de geschetste scenario's, wat kan leiden tot een andere impact van prijsschokken.

Ook de toekomstige prijsontwikkeling van fossiele brandstoffen en biomassa is onzeker. In dit onderzoek is gebruikgemaakt van twee prijspaden om het verschil in mogelijke prijsontwikkelingen te illustreren. Afwijkingen van deze prijspaden kunnen leiden tot een andere uitkomst van de prijsschokanalyse.

Tot slot is een veronderstelling gemaakt over de omvang van de prijsschok, gebaseerd op de prijsstijgingen tijdens een recente energiecrisis. Een toekomstige prijsschok kan echter een andere omvang hebben, wat eveneens invloed heeft op de uiteindelijke impact op de energiekosten.

4.2 Conclusies

Als door verduurzaming van het energiesysteem het aandeel fossiele energie afneemt heeft dit een dempend effect op de toename van de kosten van primaire energie en daarmee op de totale systeemkosten van het Nederlandse energiesysteem. Ook de impact op de Nederlandse economie is kleiner. Het effect van de prijsschok van fossiele energie wordt het meest gedempt in een scenario waarin het klimaatdoel in 2050 wordt gerealiseerd en het gebruik van fossiele energie sterk wordt beperkt. In scenario's waarin fossiele energie een rol blijft houden of waarbij het klimaatdoel niet wordt gerealiseerd zal de prijsschok nog een aanzienlijk effect kunnen hebben op de energie- en systeemkosten.

Tot de primaire energiebronnen behoren fossiele brandstoffen (olie, kolen, aardgas) en hernieuwbare bronnen zoals wind, zon, biomassa, kernenergie, geothermie en omgevingswarmte. De energiekosten van wind, zon, geothermie en omgevingswarmte zijn nul, waardoor de kosten voor primaire energie alleen gevoelig zijn voor prijsveranderingen van olie, kolen, aardgas en biomassa.

Effect totale kosten primaire energie

Een plotselinge stijging van fossiele energieprijzen met 70%, vergelijkbaar met de situatie tijdens de energiecrisis van 2021–2022, leidt in 2030 tot een toename van de totale kosten voor primaire energie van ongeveer 68%.

Door de verdere verduurzaming van het energiesysteem na 2030 waarbij duurzame energiebronnen een steeds grotere rol spelen neemt deze impact in de toekomst af. De mate van afname hangt samen met de reductie van het gebruik van fossiele energie in het toekomstige energiesysteem:

- › In scenario's waarin Nederland in 2050 klimaatneutraal is, dalen de totale kosten van primaire energie ten opzichte van 2030 met 20% in een scenario waarin fossiele energie nog een substantiële rol heeft en tot 60% in een scenario waarin het gebruik van fossiele energie sterk is beperkt. De veronderstelde prijsschok leidt tot een stijging van de totale kosten voor primaire energie in 2050 met 30% tot 55% ten opzichte van die baseline
- › In een scenario zonder aanvullend beleid, waarin Nederland de klimaatdoelen voor 2050 niet haalt, dalen de totale kosten van primaire energie met ongeveer 25%, en leidt de veronderstelde prijsschok tot een stijging van de totale kosten van primaire energie met ruim 60%.

Het dempend effect van de verduurzaming van het energiesysteem op de prijsschok kan worden afgemeten aan de beperking van de stijging van de totale primaire energiekosten:

- › De stijging van de primaire energiekosten is in het scenario zonder aanvullend beleid in 2050 ruim 30% lager dan in 2023. In de scenario's waarin Nederland in 2050 klimaatneutraal is, zal de stijging ongeveer 40% tot ruim 80% lager zijn dan in 2023.
- › Ten opzichte van het scenario zonder aanvullend beleid is de stijging in 2050 ongeveer 15% tot 80% lager voor de scenario's waarin Nederland klimaatneutraal wordt.

Effect op de systeemkosten

Door de verduurzaming van het energiesysteem verschuiven de kosten binnen het systeem: er wordt minder uitgegeven aan primaire energie, terwijl de kapitaalskosten toenemen door relatief hogere investeringen in duurzame technologieën zoals windturbines, zonnepanelen en kernenergie. Hoe de totale systeemkosten zich in de toekomst ontwikkelen, is afhankelijk van het scenario.

De impact van een plotselinge stijging van fossiele energieprijzen met 70% op de systeemkosten is bepaald voor twee prijspaden:

- › *Constante fossiele prijzen:* Bij een prijspad met gelijkblijvende fossiele prijzen stijgen de systeemkosten in 2030 met ongeveer 17%. Door de afnemende rol van fossiele brandstoffen in latere jaren neemt deze stijging af. Afhankelijk van het scenario bedraagt de toename in 2050 nog slechts 2% tot 8%.
- › *Stijgende fossiele prijzen:* Bij een prijspad met oplopende fossiele prijzen zijn de kosten voor primaire energie hoger. De prijsschok leidt in 2030 tot een toename van de systeemkosten van circa 22%. Door verdere verduurzaming neemt dit effect in latere jaren af. In 2050 ligt de toename van de systeemkosten dan tussen de 3% en 12%, afhankelijk van het scenario.

Stijging energiekosten vergeleken met omvang Nederlandse economie

De impact van de veronderstelde prijsschok in fossiele brandstoffen kan worden afgezet tegen de omvang van de Nederlandse economie. Dit is gedaan door de toename van de kosten voor primaire energie te vergelijken met het bruto binnenlands product (BBP). Voor 2023 is vergeleken met het gerealiseerde BBP en voor toekomstige jaren op basis van een economische groei van 1,5% per jaar vanaf het gerealiseerde BBP in 2024:

- › Voor 2023, op basis van het fossiele energieverbruik en de gehanteerde energieprijzen, komt de impact van de prijsschok uit op 2,9% van het BBP.
- › Bij constante fossiele prijzen bedraagt de stijging van de kosten voor primaire energie in 2030, afhankelijk van het scenario, 1,4% tot 1,7% van het BBP. In 2050 daalt dit percentage verder naar 0,1% tot 0,7%.
- › Bij stijgende fossiele prijzen liggen de kosten voor primaire energie hoger. De stijging van de energiekosten door de veronderstelde prijsschok is in 2030 gelijk aan 2,1% tot 2,5% van het BBP, maar neemt af naar 0,3% tot 1,2% in 2050, afhankelijk van het scenario.

Impact op de energiekosten van eindgebruikers

De veronderstelde prijsschok in fossiele brandstoffen werkt direct door in de energiekosten van eindgebruikers. Deze analyse richt zich op de rechtstreekse doorwerking van fossiele brandstofprijzen op de brandstoffen die eindgebruikers daadwerkelijk gebruiken, zoals aardgas in de gebouwde omgeving, olieproducten voor binnenlands transport en internationale lucht- en scheepvaart, en aardgas, olie en kolen in de industrie. De doorwerking op de kosten van elektriciteit is niet meegenomen in deze analyse. Hoewel dit leidt tot een onderschatting van de totale impact, is deze onderschatting beperkt, omdat elektriciteitskosten in de toekomst nog maar ten dele – of zelfs helemaal niet – afhankelijk zijn van fossiele brandstofprijzen.

- › *Transportsectoren (binnenlands en internationaal):* De grootste relatieve impact van de prijsschok doet zich voor in sectoren die afhankelijk zijn van transportbrandstoffen, met name in de scenario's waarin fossiel energie een substantiële rol blijven spelen. In 2030 stijgen de kosten voor binnenlands transport en bunkerbrandstoffen met 50% of meer. Door verduurzaming van brandstoffen en elektrificatie neemt deze impact in latere jaren af tot ca. 25%–50% voor binnenlands transport en ca. 20%–50% voor bunkerbrandstoffen, afhankelijk van het scenario. In 2050 kan de impact voor bunkerbrandstoffen echter nog steeds aanzienlijk zijn (circa 50%) als deze niet volledig zijn verduurzaamd.
- › *Gebouwde omgeving en agrarische sector:* In 2030 zijn deze twee sectoren nog afhankelijk van aardgas, wat leidt tot een stijging van de energiekosten met 35% tot ca. 50%, afhankelijk van het scenario. In scenario's die leiden tot klimaatneutraliteit wordt aardgas volledig uitgefaseerd, waardoor de prijsschok geen effect meer heeft op de energiekosten. In het scenario waarin alleen bestaand beleid wordt voortgezet en het

klimaatdoel niet wordt gehaald, blijft er een beperkte impact bestaan voor de agrarische sector, met een stijging van de energiekosten van ongeveer 20%.

-) *Industrie*. In 2030 stijgen de energiekosten met 10% tot ca. 25%, afhankelijk van het scenario. In de jaren daarna blijft de impact ongeveer gelijk. In scenario's waarin fossiele brandstoffen ingezet blijven worden, in combinatie met CO₂-afvang en -opslag, blijven de energiekosten relatief hoog en zal de prijsschok merkbaar blijven. In het scenario met vergaande verduurzaming, waarin het gebruik van fossiele brandstoffen sterk wordt beperkt, is het effect op de toename van de energiekosten 40-60% kleiner vergeleken met de scenario's waarin fossiel brandstoffen nog wel rol blijven spelen.

Referenties

- Eurostat. (2024). *Gas prices for non-household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)*. Opgehaald van https://doi.org/10.2908/NRG_PC_203
- Investing.com. (2025a). *Brent Crude Oil Futures Prices*. Opgehaald van <https://www.investing.com/commodities/brent-oil>
- Investing.com. (2025b). *Newcastle Coal Futures Prices*. Opgehaald van <https://www.investing.com/commodities/newcastle-coal-futures-historical-data>
- Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). (2024). *Klimaat- en Energieverkenning 2024*. Opgehaald van <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2024>
- Scheepers, M., Smekens, K., Stralen, J. v., & Giraldo Chavarriaga, J. (2025). *Referentiescenario broeikasgasemissies 2045-2055 ten behoeve van de INKE-rapportage 2025*.
- Scheepers, M., Stralen, J. v., Giraldo Chavarriaga, J., Elberry, A., Uslu, A., & Oliveira Machado dos Santos, C. (2024). *Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050 - Scenario update and scenario variants for industry*. TNO. Opgehaald van <https://publications.tno.nl/publication/34642478/U1ZsmY/TNO-2024-P10607.pdf>

Energy & Materials Transition

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam
www.tno.nl