

Voorblad: Zicht op de Maashaven te Rotterdam.

Bron: www.bing.com/maps (augustus 2011)

Colofon

WALSTROOM VERSUS GENERATORSTROOM - Een studie naar de kosten.

Datum: 15 augustus 2011

Auteurs: Ir. P. de Vos en R. van Gils (Technische Universiteit Delft)

Contact: p.devos@tudelft.nl

Revisie: Ir. P. de Vos (27 oktober 2011)

Alle rechten voorbehouden.

Alle gegevens in dit rapport zijn auteursrechtelijk beschermd en mogen niet zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt. Neem contact op als u met toestemming gegevens uit dit rapport wilt gebruiken.

Inhoud

1	Aanleiding.....	4
2	Uitgangspunt	4
2.1	Verwachting.....	5
3	Onderzoeksopzet.....	5
3.1	Belangrijke variabelen	5
3.1.1	Walstroomprijs	5
3.1.2	Brandstofprijs	5
3.1.3	Motorrendement	5
3.1.4	Onderhoudskosten	6
3.1.5	Afschrijvingskosten.....	6
3.2	Methode	6
4	Resultaten	7
4.1	Brandstofkosten	7
4.1.1	Brandstofprijs	7
4.1.2	Relatie tussen motorbelasting, rendement en specifiek brandstofverbruik	7
4.1.3	Enquêteresultaten m.b.t. walstroomgebruik en deelbelasting	8
4.1.4	Conclusie brandstofkosten	10
4.2	Onderhoudskosten	10
4.3	Enquêteresultaten (overig)	10
4.4	Onderzoeksresultaten uit rekenmodel	11
4.4.1	Beschrijving rekenmodel en introductie voorbeeldschepen	11
4.4.2	Resultaten voorbeeldschip A.....	11
4.4.3	Resultaten voorbeeldschip B.....	12
4.4.4	Eindresultaat	13
5	Conclusie	14
6	Discussie	15
	Bijlage 1: Enquête resultaten onderhoudskosten	16
	Bijlage 2: Walstroom vs. Generatorstroom grafieken.....	17

1 Aanleiding

In de Rotterdamse haven geldt tegenwoordig op enkele locaties een zogenoemd generatorverbod (of walstroomplicht) voor binnenvaartschepen¹. Dit betekent dat binnenvaartschepen aan de kade in Rotterdam voor hun elektriciteitsvoorziening zijn aangewezen op walstroom. Aansluitpunten voor walstroom verschijnen op steeds meer plaatsen (bijvoorbeeld ook in Amsterdam en in de Drechtsteden). Op deze plekken kunnen schepen wel gebruik maken van walstroom, maar zijn hier niet toe verplicht. De gedachtegang achter een generatorverbod is een beperking van uitstoot van (schadelijke) uitlaatgassen om de luchtkwaliteit lokaal te verbeteren. Ook neemt het gebruik van walstroom geluidsoverlast door generatorsets² weg.

Onder de leden van het Centraal Bureau voor de Rijn- en Binnenvaart (CBRB) bestaat de zorg dat walstroom duurder is dan elektriciteit die wordt opgewekt door de eigen generatorset. Het CBRB heeft daarom de TU Delft (faculteit 3Me, afdeling "Marine and Transport Technology", sectie "Ship Design, Production and Operation") verzocht een vergelijkend onderzoek uit te voeren naar de kosten van walstroom versus elektriciteitsopwekking middels een generatorset aan boord (generatorstroom). In dit verslag zijn de bevindingen van dit onderzoek beschreven.

2 Uitgangspunt

In een eerder onderzoek³ dat een antwoord zocht op de vraag: "Wat is goedkoper? Walstroom of generatorstroom." is geconcludeerd dat gebruik van walstroom voor alle binnenvaartschepen goedkoper zou zijn dan elektriciteitsopwekking middels de eigen generatorset. De methode om dit te bepalen in dit onderzoek was fundamenteel niet onjuist, echter bleek wel dat een aantal zaken niet voldoende uitgezocht waren. Zo werd bijvoorbeeld de motorbelasting (van de motor die de generator aandrijft) niet op een realistische manier meegenomen in de overweging, terwijl men kan verwachten dat deze variabele wel degelijk van grote invloed is op het resultaat omdat het brandstofverbruik hiervan afhangt. Daarnaast is tijdens het huidige onderzoek gebleken dat de brandstofprijs waar men van uit ging in het voorgaande onderzoek niet langer realistisch is (de brandstof is tegenwoordig goedkoper dan tijdens de piek in de brandstofprijs in 2008, echter is men in het voorgaande onderzoek wel uitgegaan van deze hoge brandstofprijs).

Ook dient vermeldt te worden dat niet alle binnenvaartschepen met elkaar te vergelijken zijn qua elektriciteitsverbruik. Dit geldt niet alleen omdat het verbruik afhangt van het aantal personen aan boord en de manier waarop zij omgaan met elektrische energie, maar ook omdat er verschillen zijn in de opzet van het elektrisch systeem. Sommige binnenvaartschepen hebben bijvoorbeeld een groot accupakket aan boord, wat het tijdelijk uitschakelen van de generatorset mogelijk maakt. De kosten aan een generatorset die slechts een aantal uur per dag draait zijn heel anders als de kosten van een generatorset die permanent moet draaien. Ook de duur dat een schip gebruik kan maken van walstroom verschilt per schip. Schepen in de 24-uurs vaart zullen over het algemeen minder aan de wal liggen om gebruik te maken van walstroom dan schepen met een ander vaarschema.

Er is dus voldoende reden voor een uitgebreider onderzoek met als doel meer inzicht te verkrijgen in realistische waarden van de invloedrijke variabelen die bepalen welk alternatief goedkoper is: walstroom of generatorstroom.

¹ <http://www.schuttevaer.nl/nieuws/havens-en-vaarwegen/nid15897-rotterdam-wijst-gebieden-aan-met-walstroomplicht.html> (geraadpleegd op 25 juli 2011)

² In dit document wordt generatorset gebruikt om de combinatie van dieselmotor en generator aan te duiden die aan boord van een schip verantwoordelijk is voor het leveren van elektrische energie. Deze combinatie is ook bekend als dieselaggregaat.

³ Kostenvergelijking Elektriciteitsvoorziening uit dieselaggregaat ten opzichte van openbaar net (Royal Haskoning, reference 9S3315.A0/N001/ARUIJ/Rott, 2008)

2.1 Verwachting

Het rendement van de motor, en daarmee de brandstofkosten, hangt af van de motorbelasting, waarbij geldt dat het rendement van de motor erg slecht is in lage deellast (onder $\pm 20\%$ van het nominale vermogen), dit wordt verder uitgelegd in paragraaf 4.1.2. Juist de generatorsets aan boord van binnenvaartschepen opereren vaak in lage deellast. Voor elk binnenvaartschip wordt namelijk in de ontwerpfase een balans opgemaakt van elektrische gebruikers. Vaak zijn er een aantal grote verbruikers aanwezig die slechts af en toe elektrische energie vereisen (deze verbruikers staan zelden aan). De elektriciteitsopwekking moet als gevolg van deze grote verbruikers wel zo ontworpen worden dat deze om kan gaan met de tijdelijke grote pieken in elektriciteitsbehoefte van het schip. Dit betekent dat er voor een generatorset gekozen moet worden met een relatief groot vermogen ten opzichte van het gemiddelde elektriciteitsverbruik van het schip. Dit leidt er in de praktijk toe dat de generatorset vaak in lage deellast staat te draaien (bijvoorbeeld maar 10% van het nominale vermogen) en er dus sprake is van een laag motorrendement en hoge brandstofkosten.

De verwachting bij aanvang van het project was dan ook dat walstroom inderdaad goedkoper zou zijn dan generatorstroom, zoals geconcludeerd in eerder genoemd onderzoek. Desalniettemin bestond er behoefte beter uit te zoeken welke variabelen van invloed zijn, hoe zeer daarbij de motorbelasting van invloed is en of walstroom daadwerkelijk in elke situatie goedkoper is.

3 Onderzoekopzet

3.1 Belangrijke variabelen

Om te bepalen wat goedkoper is, walstroom of generatorstroom, zal gekeken worden naar de prijs per kWh elektrische energie. De prijs van walstroom is bekend in deze eenheid. Om generatorstroom hiermee te vergelijken moet dus uitgezocht worden welke prijs een schipper betaalt voor een kWh met de generator opgewekte elektrische energie. Variabelen die hier grote invloed op hebben zijn de brandstofprijs, het motorrendement en de onderhoudskosten. Afschrijvingskosten worden buiten beschouwing gelaten. Hieronder volgt een uitleg per variabele.

3.1.1 Walstroomprijs

In Rotterdam en de Drechtsteden is de prijs van walstroom vastgesteld op 0,27 €/kWh. In Amsterdam is deze prijs 0,34 €/kWh. Deze prijzen zijn inclusief BTW. BTW is echter een gelduitgave die niet tot kosten leidt voor binnenvaartschippers, aangezien zij deze als MKB-onderneming terug krijgen van de fiscus. De walstroomprijs wordt aangepast naar de prijs exclusief BTW.

3.1.2 Brandstofprijs

De brandstofprijs is duidelijk van invloed op de kosten van generatorstroom aangezien de generator brandstof zal verbruiken voor het leveren van elektrische energie. Voor de generatorset wordt dezelfde brandstof gebruikt als voor de hoofdmotor aan boord van binnenvaartschepen. Dit betreft een lichte, laagzwavelige brandstof bekend als gasolie. Gasolie wordt gebunkerd bij bunkerstations. Binnenvaartschippers kunnen vaak een korting krijgen afhankelijk van de hoeveelheid gasolie die zij bunkeren. Deze korting wordt niet meegenomen in dit rapport.

3.1.3 Motorrendement

Hoeveel brandstof de generatorset verbruikt terwijl het schip aan de kade ligt wordt zelden tot nooit bijgehouden. Daarom is het belangrijk een realistische inschatting te maken van het motorrendement, welke afhankelijk is van de motorbelasting. Met het rendement van de generatorset is het verbruik uit te rekenen en samen met de brandstofprijs zijn dan de brandstofkosten te bepalen.

3.1.4 Onderhoudskosten

Ook onderhoudskosten dienen meegenomen te worden in de overweging. Als de generator veel gebruikt wordt voor het opwekken van elektrische energie zal de schipper meer en vaker onderhoudskosten hebben aan de generatorset als wanneer deze minder staat te draaien als gevolg van het gebruik van walstroom.

3.1.5 Afschrijvingskosten

Afschrijvingskosten worden niet meegenomen in de overweging. Bij afschrijvingskosten gaat het om de economische levensduur van de generatorset, deze is niet direct gekoppeld aan het daadwerkelijke gebruik van de machine. De economische levensduur wordt gekozen als zijnde een of meerdere jaren en in dat aantal jaren worden de aanschaffingskosten afgeschreven. Hierbij wordt rekening gehouden met de restwaarde. Om deze reden zal er geen verschil zijn tussen de afschrijvingskosten over de aanwezige generatorset(s), ongeacht of er wel of geen gebruik wordt gemaakt walstroom. De technische levensduur is wel afhankelijk van het aantal draaiuren en de mate van onderhoud, maar de technische levensduur is niet 1-op-1 gekoppeld aan de economische levensduur. Men zal de economische levensduur ook altijd lager inschatten dan de verwachte technische levensduur⁴.

3.2 Methode

Om inzicht te krijgen in realistische waarden voor bovengenoemde variabelen is een online enquête uitgezet onder binnenvaartschippers. Deze enquête richtte zich op het achterhalen van het eventuele gebruik van walstroom, het verzamelen van gegevens over de generatorsets en de elektrische verbruikers aan boord en het verzamelen van algemene informatie over het schip.

Vervolgens is er een rekenmodel opgezet, waarin de verschillende variabelen systematisch gevarieerd kunnen worden, zodat er een totaal overzicht ontstaat van wanneer welk alternatief goedkoper is. In dit rekenmodel zijn gegevens van de enquête verwerkt zodat de huidige situatie van een aantal binnenvaartschepen te zien is. Ook kunnen de gevolgen van eventuele veranderingen in brandstofprijzen, elektriciteitsverbruik, onderhoudskosten of walstroomprijzen direct inzichtelijk gemaakt worden.

Binnen de kaders van dit onderzoek is het niet mogelijk gebleken om over een langere periode metingen te verrichten (loggen) van het elektriciteitsverbruik van een binnenvaartschip aan de kade. Daarom is een constant, gemiddeld verbruik verondersteld. Ook dan blijkt dat de generatoren in lage deellast draaien en als gevolg hiervan een laag rendement hebben. Het ontbreken van een meting van elektriciteitsverbruik zal dan ook geen effect hebben op de conclusie van dit rapport.

⁴ Paragraaf 2.6.4 van “Bedrijfseconomische analyses” van Blommaert en Blommaert.

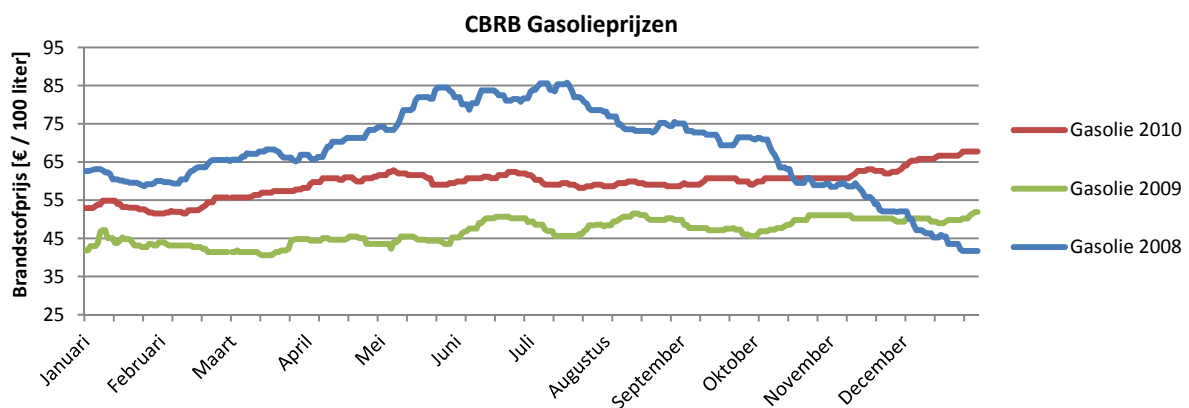
4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd. Allereerst wordt gepresenteerd hoe zeer deelbelasting van een motor invloed heeft op het brandstofverbruik. Een gedeelte van de enquêteresultaten laat vervolgens zien hoe relevant deze deelbelasting is voor de onderzoeksvraag. Vervolgens wordt de ontwikkeling van de brandstofprijs in de laatste jaren getoond. Hierna worden de overige enquêteresultaten beschreven. Al deze resultaten komen samen in het opgezette rekenmodel, waarvan de uitkomsten de basis vormen van de onderzoeksresultaten. Deze komen als laatste aan bod.

4.1 Brandstofkosten

4.1.1 Brandstofprijs

Uit gegevens van het CBRB blijkt dat de gasolieprijs exclusief BTW in de periode 2008-2010 tussen de €40 en €90 per 100 liter lag, zie onderstaande grafiek. In 2008 werd een piek gevolgd door een flinke afname van de gasolieprijs. Sindsdien is een min of meer stabiele stijging te zien.



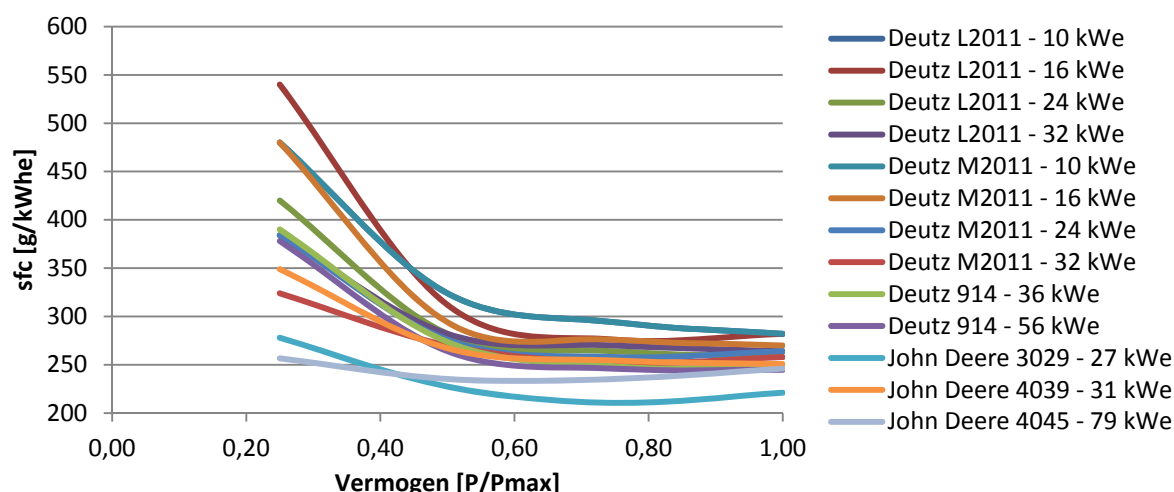
Figuur 1 Gasolieprijzen in 2008, 2009 en 2010.

4.1.2 Relatie tussen motorbelasting, rendement en specifiek brandstofverbruik

Het rendement van een motor, groot of klein, is afhankelijk van de belasting. Bij een lage deelbelasting (als de motor veel minder vermogen levert dan deze kan leveren) is het rendement erg laag⁵. Dit betekent dat veel van de energie van de toegevoerde brandstof op gaat aan verliezen en niet vrijkomt als nuttige energie. In het geval van een generatorset betekent dit dus dat er relatief weinig elektrische energie wordt opgewekt voor de hoeveelheid verbruikte brandstof. Het rendement en specifiek brandstofverbruik (s.f.c. = Specific Fuel Consumption uitgedrukt in gram brandstof per kWh) zijn omgekeerd evenredig met elkaar gerelateerd. Als het rendement laag is, is het specifiek brandstofverbruik hoog en andersom.

Als gevolg van de opbouw van elektrische systemen aan boord van binnenvaartschepen wordt verwacht dat generatorsets vaak in lage deelbelasting staan te draaien, zie paragraaf 2.1. Dit zou betekenen dat de brandstofkosten relatief hoog zijn als gevolg van het hoge specifieke brandstofverbruik bij lage deelbelasting. Om dit vast te stellen dient eerst het specifieke brandstofverbruik van generatorsets bepaald te worden. In Figuur 2 zijn daarom de fabrikantsgegevens van 13 generatorsets verwerkt om het verloop van het specifiek brandstofverbruik als functie van motorbelasting weer te geven. Er is, zoals verwacht, te zien dat het specifiek brandstofverbruik bij lage belastingen toeneemt, als gevolg waarvan de brandstofkosten per kWh ook toe zullen nemen. Er zijn geen gegevens beschikbaar van belastingen onder de 25%.

⁵ Klein Woud en Stapersma: "Design of Propulsion and Electric Power Generation Systems", hoofdstuk 7 en 12.



Figuur 2 Specifiek brandstofverbruik (gram per elektrische kWh) van generatorsets als functie van belasting⁶.

4.1.3 Enquêteresultaten m.b.t. walstroomgebruik en deelbelasting

In de enquête zijn vragen opgenomen met betrekking tot het gebruik van walstroom. Het doel hiervan was te achterhalen hoeveel kosten een schipper heeft gehad aan walstroom, hoeveel elektrische energie daarvoor verbruikt is en over welke periode dit verbruik heeft plaats gevonden. Achttien geënquêteerden hebben wat dit aangaat bruikbare gegevens opgeleverd, zie Tabel 1.

id	Kosten [€]	Verbruik [kWh]	Periode [h]	Gem. [kWh/h]	P_gen [kW]	P_gen [kVA]	P_gen [kWe]	Deelbelasting
83	20	74.07	840	0.09		17	13.6	0.006
50	61.83	229.00	720	0.32		27	21.6	0.015
90	4	14.81	24	0.62		27	21.6	0.029
18	3	11.11	24	0.46		17	13.6	0.034
94	29.37	108.78	134	0.81		27	21.6	0.038
45	45	166.67	168	0.99		26	20.8	0.048
26	100	370.37	217	1.71		40	32	0.053
70	5	18.52	24	0.77		18	14.4	0.054
24	159.3	562.00	216	2.60		60	48	0.054
95	16.75	62.04	72	0.86		17.5	14	0.062
19	30	111.11	24	4.63		60	48	0.096
68	82.62	306.00	96	3.19		40	32	0.100
51	27	100.00	19	5.26		62	49.6	0.106
57	10	40.00	24	1.67		17	13.6	0.123
11	122	453.00	64	7.08	61	64	51.2	0.138
29		236.00	45	5.24		32	25.6	0.205
6	1	4.00	1	4.00		17	13.6	0.294
41	741.12	3900.63	264	14.78	62	60	48	0.308

Tabel 1 Walstroomgebruik in relatie tot boordapparatuur.

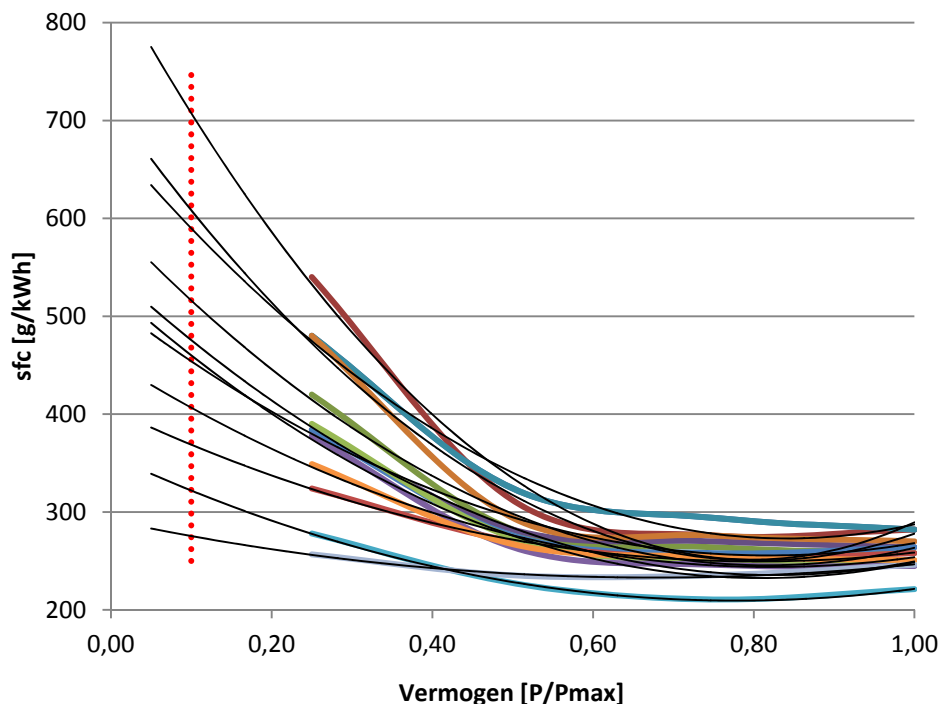
In de kolommen 2, 3 en 4 staan gegevens over walstroomgebruik. In de vijfde kolom is het gemiddelde verbruik te zien. Hier valt op dat het verbruik zelden groot is. Dit komt goed overeen met het gegeven dat een schip aan de kade weinig meer verbruikt dan de energie benodigd voor de huishouding. Grote gebruikers voor het bedienen van het schip en alles dat hierbij komt kijken staan uitgeschakeld aan de kade. In de kolommen 6, 7 en 8 hebben de schippers het maximale vermogen van de generatorset(s) aan boord ingevuld. In de laatste kolom is het gemiddelde verbruik gedeeld door het maximale vermogen om uit te rekenen hoe zeer de generatorset in deelbelasting zou

⁶ Bron: www.deutz.com en www.deere.com (geraadpleegd op 16 juli 2011)

hebben gedraaid, wanneer de generatorset de elektrische energie had geleverd in plaats van de walstroomaansluiting.

Het schip in de zevende rij bijvoorbeeld, met id = 26 (in kolom 1), heeft 100 € betaald voor een verbruik van 370,37 kWh elektrische energie over een periode van 217 uur (9 dagen). Dit levert een gemiddeld verbruik op van 1,71 kW. Als de generator, welke maximaal 32 kW elektrisch vermogen kan leveren (een-na-laatste kolom), dit op had moeten wekken had deze gemiddeld op 5,3% van zijn maximale vermogen gedraaid (zie laatste kolom). Deze 5,3% is dus nog veel lager dan de minimum belasting waarbij fabrikanten het specifiek brandstofverbruik nog opgeven (25%, zie Figuur 2).

Het gemiddelde van deze deelbelastingen waarbij de laagste en hoogste 10% van de resultaten niet zijn meegenomen is 0.081, oftewel 8.1%. Aangezien er van belastingen lager dan 25% geen gegevens beschikbaar zijn, zijn de s.f.c. krommes uit Figuur 2 benaderd door tweedegraads polynomen en geëxtrapoleerd tot 5% belasting, zie onderstaande grafiek. Dat de grafieken door zullen stijgen bij nog lagere belasting is algemeen bekend, immers komt er een punt waarbij de generatorset geen nuttige energie meer levert, maar er wel brandstof benodigd is om de motor te laten draaien. Deze situatie is vergelijkbaar met het vrij draaien van een automotor bij een stoplicht. In deze situatie is het specifiek brandstofverbruik oneindig geworden, immers wordt er brandstof verbruikt zonder dat dit iets oplevert (behalve een draaiende motor).



Figuur 3 Specifiek brandstofverbruik van generatorsets als functie van belasting (benadering in lage deelbelasting).

De rode stippellijn in Figuur 3 is weergegevens ter indicatie, dit is de eerder berekende gemiddelde deelbelasting van 8.1%. Hieruit valt op te maken dat het specifieke brandstofverbruik bij lage belasting van een generator uiteenloopt van 250-700 [g/kWh] (gerekend in elektrisch vermogen van de generator). Een specifiek brandstofverbruik van 250 g/kWh komt overeen met een rendement van de generatorset van 33,7%. 700 g/kWh komt overeen met 12,0%.

4.1.4 Conclusie brandstofkosten

Uit dit alles blijkt dat generatorsets van binnenvaartschepen aan de kade normaal gesproken in zeer lage deelbelasting draaien en als gevolg relatief veel brandstof verbruiken voor de hoeveelheid opgewekte elektrische energie. De brandstofkosten kunnen nu berekend worden met behulp van onderstaande formule:

$$\text{brandstofkosten [€/kWh]} = \frac{\text{brandstofprijs [€/l]}}{\text{dichtheid [g/l]}} \times \text{sfc [g/kWh]}$$

Stel bijvoorbeeld dat de brandstofprijs 55 € per 100 liter bedraagt en een generatorset 350 gram brandstof per elektrische kWh verbruikt, dan zijn de brandstofkosten 0,23 €/kWh (uitgaande van een dichtheid van 845 gram/liter). De aannamen voor brandstofprijs, dichtheid en specifiek brandstofverbruik zijn representatief voor een generator in lage deelbelasting draaiende op gasolie die in 2010 is gekocht.

4.2 Onderhoudskosten

In de enquête waren ook vragen opgenomen met betrekking tot de onderhoudskosten van de generator, 84 geënquêteerde hebben hiervoor bruikbare gegevens opgegeven. De onderhoudskosten zijn omgerekend naar kosten per jaar en ook het aantal draaiuren van de generator is omgerekend naar het aantal draaiuren per jaar. Door deze twee gegevens te delen zijn de onderhoudskosten per draaiuur berekend. Deze resultaten zijn opgenomen in Bijlage 1: Enquête resultaten onderhoudskosten. Er is in dit onderzoek aangenomen dat onderhoudskosten onafhankelijk zijn van de belasting van de generatorset.

Er blijkt veel spreiding in de resultaten te zitten. De onderhoudskosten lopen uiteen van 0,03 €/draaiuur tot 3,00 €/draaiuur. Met de gegevens zijn de gemiddelde onderhoudskosten per draaiuur bepaald, hierbij zijn de laagste en hoogste 10% van de gegevens buiten beschouwing gelaten vanwege de grote spreiding. Het resultaat voor de gemiddelde onderhoudskosten is dan 0,202 € per draaiuur. De hoogste prijzen staan echter ver buiten de realiteit en hebben een te grote invloed op het gemiddelde; de onderhoudskosten worden daarom bijgesteld naar 0,17 €/draaiuur.

4.3 Enquête resultaten (overig)

De enquête is ingevuld door 98 schippers. Veruit de meeste schepen vervoeren droge lading. De lengte van de schepen varieert van 38 meter tot 135 meter. Een aantal schepen vaart ook in koppverband, waardoor ze nog langer kunnen zijn.

Uit de vragen die betrekking hebben op de elektriciteitsvoorziening aan boord blijken aanzienlijke verschillen tussen de schepen. Het vermogen van de generatorsets varieert van een enkele generator van 15 kVA aan boord van de kleinste schepen tot combinaties van meerdere generatorsets van bijvoorbeeld 40 en 80 kVA aan boord van de grotere schepen. Combinaties maken aan/uit schakelen van een generatorset mogelijk; dit heeft een groot effect op het brandstofverbruik en het aantal draaiuren van een generatorset en dus ook op brandstofkosten en onderhoudskosten. Daarnaast zitten er grote verschillen tussen de elektrische gebruikers aan boord van de schepen; zo hebben sommige schepen elektrische verwarming van de verblijven. Dit is een grote, permanente verbruiker in de winter en zorgt dan mogelijk voor een betere belasting van de motor. Dan wordt er in absolute zin meer brandstof verbruikt maar door een beter rendement wordt er relatief minder verbruikt en is het specifiek brandstofverbruik dus laag. Aan de andere kant zou dit vergeleken moeten worden met het brandstofverbruik van een eventuele olie-gestookte ketel aan boord van de schepen waarbij de verwarming niet elektrisch geschiedt. Dergelijke verschillen in systeemopbouw bemoeilijken het vergelijken van schepen.

De grootste variatie blijkt nog in het aantal draaiuren te zitten. Sommige generatorsets draaien maar 3 a 4 uur per dag, het is zeer waarschijnlijk dat deze schepen een accupakket aan boord hebben

waaruit normaal gesproken elektrische energie wordt geleverd voor het schip. Pas wanneer de accu leeg raakt wordt de generatorset gestart. Deze generatorset wordt dan meteen goed belast, want een groot gedeelte van de opgewekte energie wordt opgeslagen in het accupakket. Dit heeft grote gevolgen voor de brandstofkosten en het is lastig een dergelijk systeem te vergelijken met een elektrisch systeem waarin de generator 24 uur per dag bij staat en de enige bron van elektrische energie is. Als de kosten van deze systemen vergeleken dienen te worden, dient men eigenlijk ook de onderhoudskosten (of vervangingskosten) van het accupakket mee te nemen in de overweging.

Een eenduidig antwoord op de onderzoeksvraag blijkt moeilijk te vormen vanwege bovenstaande grote verschillen tussen de schepen en hun systemen. Om toch een beeld te krijgen wanneer welk alternatief goedkoper is, walstroom of generatorstroom, moet een rekenmodel opgezet worden waarin de belangrijke variabelen systematisch gevarieerd kunnen worden. In dit rekenmodel worden twee “voorbeeldschepen” geïntroduceerd op basis van de enquêteresultaten om toch tot een concreet resultaat te komen.

4.4 Onderzoeksresultaten uit rekenmodel

4.4.1 Beschrijving rekenmodel en introductie voorbeeldschepen

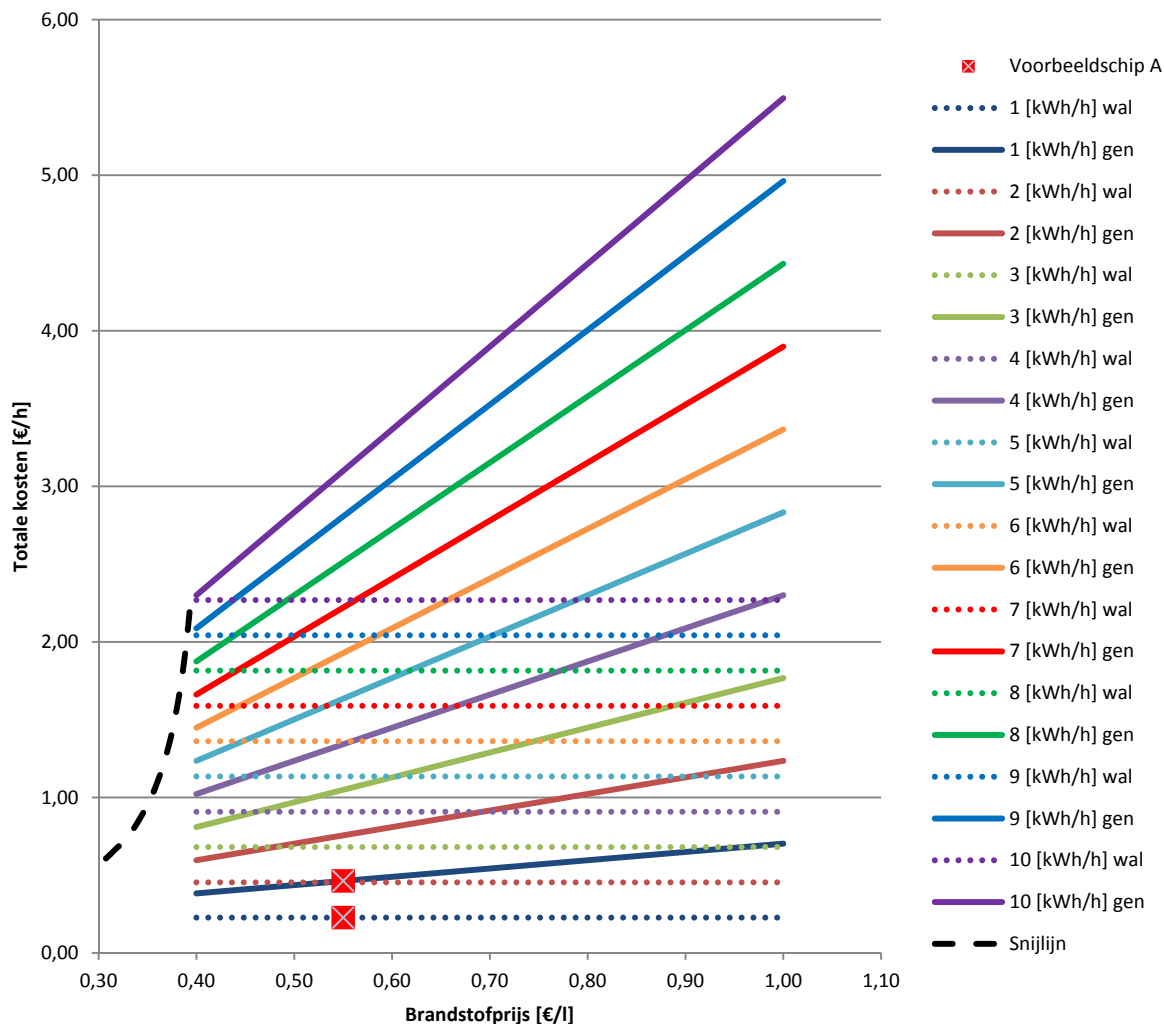
In het opgezette rekenmodel zijn de belangrijke variabelen systematisch gevarieerd om voor elke generator, elke brandstofprijs en elk verbruik in kaart te brengen welk alternatief goedkoper is. Het specifiek brandstofverbruik (hoog bij lage deelbelasting, laag bij hogere deelbelasting) is gevarieerd van 250 g/kWh tot 500 g/kWh met een stapgrootte van 50 g/kWh. De brandstofprijs is gevarieerd van 40 €/per 100 liter tot 100 €/per 100 liter met een stapgrootte van 5 €/per 100 liter. Het verbruik is gevarieerd van 1 kW tot 20 kW met een stapgrootte van 1 kW. Verder kunnen de walstroomprijs, de brandstofdichtheid en de onderhoudskosten ingevuld worden om eventuele variatie hierin ook mogelijk te maken. De hier gepresenteerde resultaten gelden voor een walstroomprijs van 0,27 €/kWh, een brandstofdichtheid van 845 gram/liter en onderhoudskosten van 0,17 €/draaiuur.

Er zijn twee voorbeeldschepen opgenomen in de resultaten. Deze voorbeeldschepen zijn “verzonnen” op basis van de verschillen tussen de schepen in de enquêteresultaten. Voorbeeldschip A is uitgerust met vrij forse generator, heeft een laag energieverbruik aan de kade (alleen huishoudelijk) en heeft geen accupakket aan boord. Men zou zich hierbij een relatief groot binnenvaartschip (grote generator) voor kunnen stellen dat in de zomer (verwarming uit) aan de kade ligt met weinig bemanning aan boord (laag energieverbruik). Het specifiek brandstofverbruik van de generator van dit schip is hoog als gevolg van de zeer lage deelbelasting en afwezigheid van een accupakket. Voorbeeldschip B heeft een kleinere generator, hoger energieverbruik en is uitgerust met een accupakket. Men zou zich hier een kleiner schip bij voor kunnen stellen (kleinere generator) dat in de winter (elektrische verwarming aan) aan de kade ligt met de totale bemanning aan boord (hoger energieverbruik). Het specifiek brandstofverbruik van de generator aan boord van dit schip is relatief laag, omdat deze goed belast wordt. De elektrische energie van de generator wordt gebruikt voor de elektrische verwarming, opladen van het accupakket, huishoudelijk verbruik en grote verbruikers die de eigenaar aan zet op het moment dat de generatorset draait (bijvoorbeeld wasmachine, dekwaspomp, etc.).

4.4.2 Resultaten voorbeeldschip A

Het specifiek brandstofverbruik wordt ingeschat op 450 g/kWh als gevolg van de lage belasting (1 kW = kWh/uur) van de generator. In dit geval zijn de kosten voor walstroom 0,23 €/uur en de kosten voor generatorstroom 0,46 €/uur, uitgaande van een brandstofprijs van 55 €/per 100 liter. Beide punten zijn uitgezet in Figuur 4. In Figuur 4 is voor verschillende brandstofprijzen en verschillende verbruiken de prijs per uur uitgezet voor zowel walstroom als generatorstroom. Links van de snijlijn is generatorstroom goedkoper, rechts walstroom. Het is belangrijk te realiseren dat de volgende waarden ten grondslag liggen aan Figuur 4:

s.f.c. gen.	450	[g/kWh]
walstroom	0,23	[€/kWh]
Dichtheid	845	[g/l]
Onderhoud	0,17	[€/h]

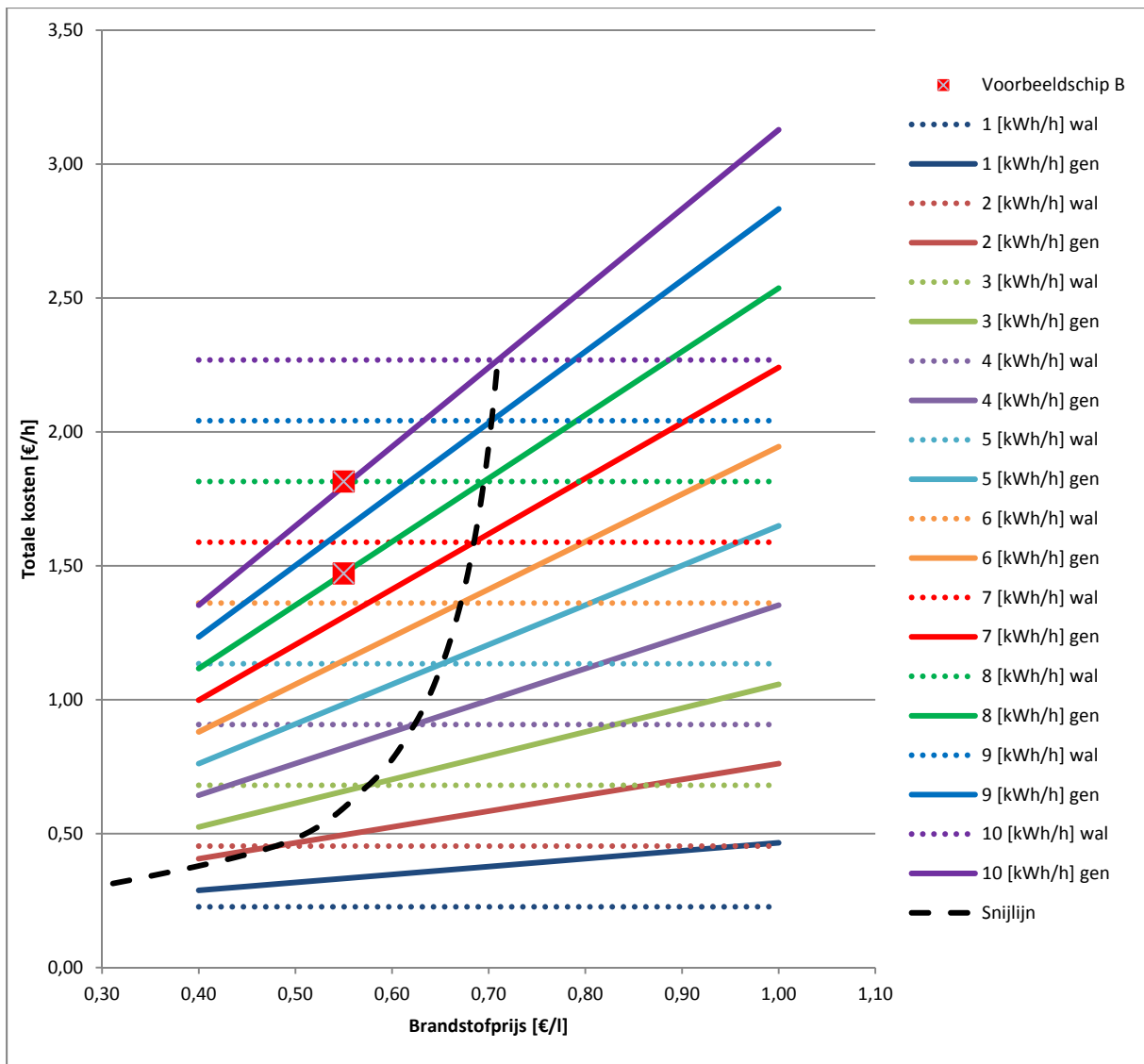


Figuur 4 Walstroom versus generatorstroom (s.f.c. = 450 g/kWh).

4.4.3 Resultaten voorbeeldschip B

Het specifiek brandstofverbruik wordt ingeschat op 250 g/kWh als gevolg van de goede belasting (8 kW = kWh/uur) van de generator. In dit geval zijn de kosten voor walstroom 1,82 €/uur en de kosten voor generatorstroom 1,47 €/uur, uitgaande van een brandstofprijs van 55 € per 100 liter. Beide punten zijn uitgezet in Figuur 5. In Figuur 5 is voor verschillende brandstofprijzen en verschillende verbruiken de prijs per uur uitgezet voor zowel walstroom als generatorstroom. Links van de snijlijn is generatorstroom goedkoper, rechts walstroom. Het is belangrijk te realiseren dat de volgende waarden ten grondslag liggen aan Figuur 5:

s.f.c. gen.	250	[g/kWh]
walstroom	0,23	[€/kWh]
Dichtheid	845	[g/l]
Onderhoud	0,17	[€/h]



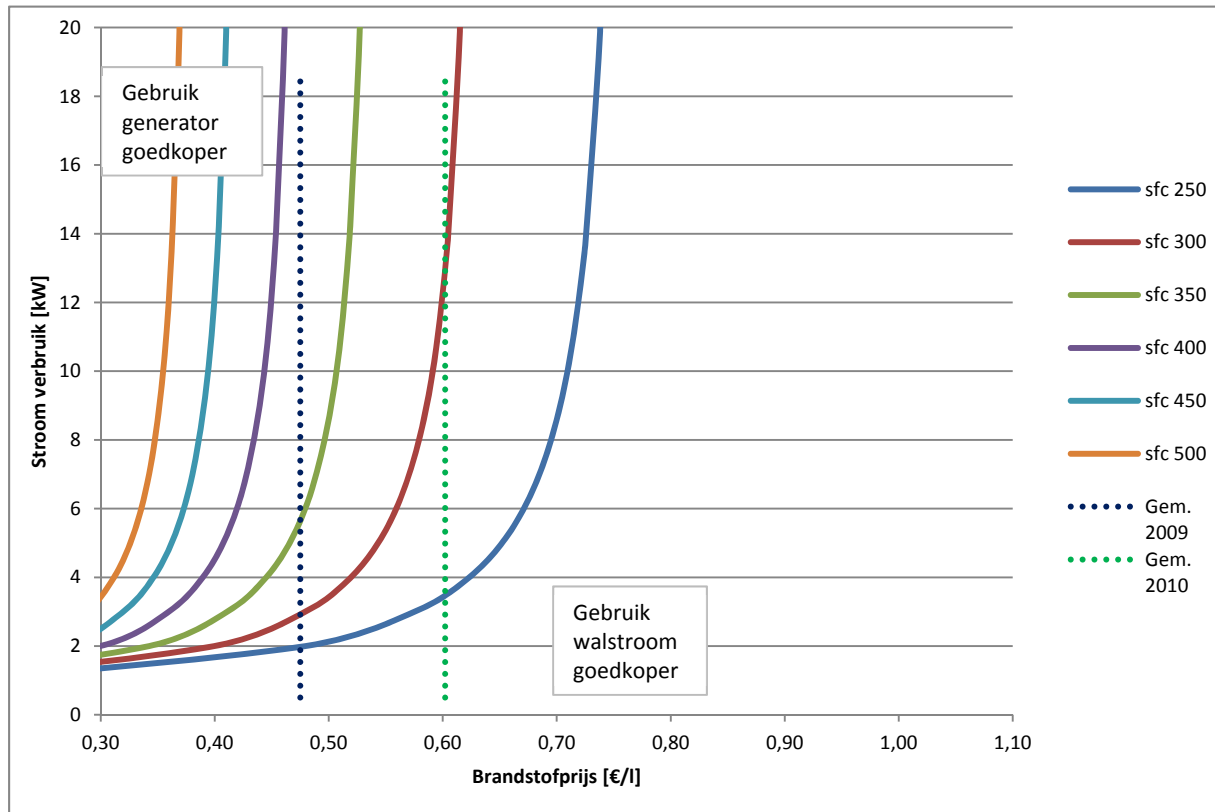
Figuur 5 Walstroom versus generatorstroom (s.f.c. = 250 g/kWh).

4.4.4 Eindresultaat

De verschillende grafieken per specifiek brandstofverbruik, zoals die in Figuur 4 en Figuur 5, zijn opgenomen in Bijlage 2. In deze grafieken kan elke schipper opzoeken wat goedkoper is, walstroom of generatorstroom. Hiervoor moet een inschatting gemaakt worden van het specifiek brandstofverbruik (dit kan op basis van de belasting) om de juiste grafiek uit te kiezen. Vervolgens dient de lijn van het verwachte gemiddelde verbruik opgezocht te worden. Hieruit kunnen de kosten per uur voor walstroom en generatorstroom (y-as) bij de dan actuele brandstofprijs (x-as) gevonden worden. Bevinden deze twee punten, die de kosten per uur voor wal- en generatorstroom weergeven, zich links van de snijlijn dan is walstroom goedkoper. Bevinden zij zich rechts van de snijlijn dan is generatorstroom goedkoper. De afstand tussen de twee punten geeft het verschil in kosten per uur aan.

De snijlijnen bij ieder specifiek brandstofverbruik zijn voor een eindoverzicht bij elkaar in een grafiek geplaatst. Hierin zijn ook de gemiddelde brandstofprijs in 2009 en 2010 opgenomen. Deze grafiek is te zien in Figuur 6. Laag belaste, dus in zeer lage deelbelasting draaiende generatorsets als gevolg van weinig elektriciteitsverbruik, komen helemaal onderin de grafiek uit. Gezien de huidige brandstofprijs, kan dan gesteld worden dat bij een gemiddeld stroomverbruik onder de 3 kWh per uur walstroom vrijwel altijd goedkoper zal zijn. In hogere deelbelasting draaiende generatorsets, bij

een hoger elektriciteitsverbruik, komen hoger in de grafiek uit en zullen een beter rendement hebben (door de hogere deelbelasting). Dan zal vaak gelden dat de brandstofprijs erg hoog moet zijn ($> \pm 80$ €/per 100 liter) wil walstroom nog goedkoper zijn dan generatorstroom. In het geval van een zuinige, goed belaste generator is het daarom aannemelijk dat generatorstroom goedkoper is dan walstroom.



Figuur 6 Walstroom versus generatorstroom als functie van brandstofprijs, specifiek brandstofverbruik en stroomverbruik.

5 Conclusie

Er is geen eenduidig antwoord te vinden op de vraag: “Wat is goedkoper: walstroom of generatorstroom?”. Dit hangt van verschillende factoren af waarbij voor de ene combinatie van factoren geldt dat generatorstroom goedkoper is en voor de andere combinatie walstroom. Dit is in deze studie aangetoond door een enquête uit te zetten onder binnenvaartschippers om te achterhalen met welke elektriciteitsvoorziening schepen uitgerust zijn. Op basis van deze resultaten zijn twee voorbeeldschepen gedefinieerd welke geïntroduceerd zijn in een rekenmodel waarin systematische variatie van de verschillende invloedrijke factoren plaats vindt.

In zijn algemeenheid zou gesteld kunnen worden dat een groter verbruik leidt tot een hogere deelbelasting van de generatorset en bijhorend een beter rendement, waardoor er een redelijke kans bestaat dat generatorstroom goedkoper is dan walstroom. Omgekeerd geldt dat weinig elektriciteitsverbruik (onder de 3 kWh per uur) leidt tot een slecht rendement van de generatorset met als gevolg dat generatorstroom duurder is dan walstroom. Aan de hand van deze vuistregel kan iedere schipper een inschatting maken wat goedkoper is afhankelijk van zijn/haar specifieke geval.

6 Discussie

In deze studie is alleen gekeken naar de kosten van walstroom en generatorstroom. Overige overwegingen, zoals gemak, veiligheid en politieke overwegingen, die bepalen of een schipper wel of niet er voor zal kiezen om gebruik te maken van walstroom zijn geen onderdeel van deze studie. Dit rapport presenteert alleen de resultaten en conclusies van een technische studie naar het goedkopere alternatief.

In de nasleep van de eerste versie van dit rapport zijn een aantal kritische opmerkingen geplaatst. Als gevolg zijn, waar noodzakelijk, waarden van variabelen in het model aangepast. Conform deze aanpassingen is ook het rapport aangepast, zodat uitkomsten van het rapport nog beter aansluiten bij de werkelijkheid. Het is echter, door de grote onzekerheid in de onderhoudskosten en de grote variatie in sloopstypen, opbouw van elektrische systemen en brandstofkosten, onmogelijk om voor iedere situatie een sluitend beeld van de werkelijkheid weer te geven.

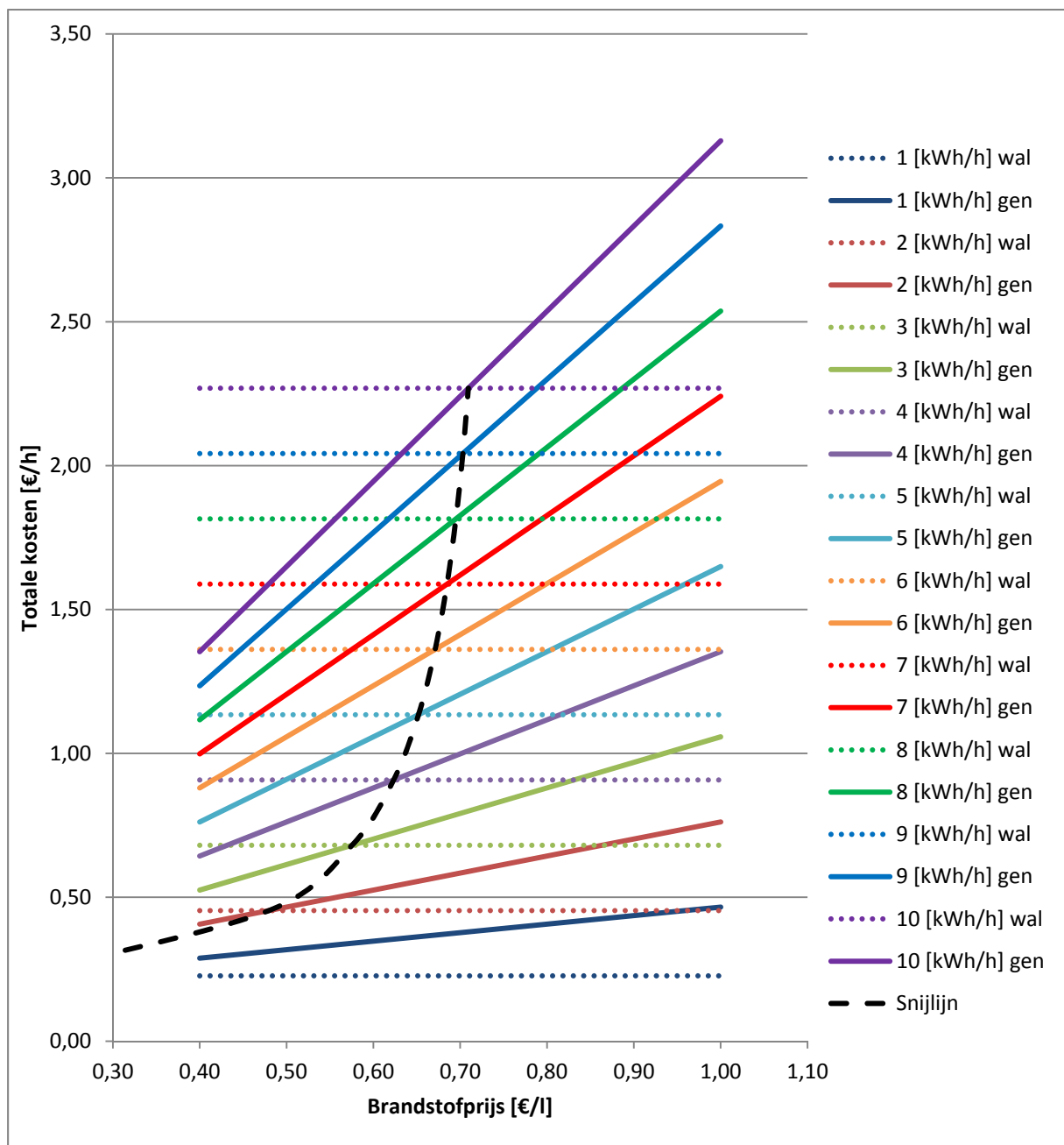
Bijlage 1: Enquête resultaten onderhoudskosten

id	Draaiuren per jaar	€ per jaar	€ per draaiuur	id	Draaiuren per jaar	€ per jaar	€ per draaiuur
56	1560	52	0.03	27	1500	250	0.17
91	8736	300	0.03	90	5200	875	0.17
92	7280	300	0.04	79	1170	200	0.17
46	1692	75	0.04	52	8760	1500	0.17
37	5460	250	0.05	75	1456	250	0.17
23	5200	250	0.05	50	2600	450	0.17
43	2080	100	0.05	73	2000	364	0.18
93	8760	500	0.06	2	1040	200	0.19
41	8736	500	0.06	84	6500	1300	0.20
22	8736	500	0.06	86	8760	1800	0.21
76	3640	240	0.07	71	7280	1500	0.21
29	3640	250	0.07	64	8760	1850	0.21
53	8736	600	0.07	4	7000	1500	0.21
36	7280	520	0.07	9	8760	2000	0.23
54	6916	520	0.08	74	8736	2000	0.23
66	1300	100	0.08	72	8736	2000	0.23
63	2600	200	0.08	77	3744	1000	0.27
58	8736	700	0.08	85	8640	2400	0.28
20	5000	420	0.08	96	8580	2400	0.28
11	5676	500	0.09	40	1250	350	0.28
55	8760	850	0.10	82	8736	2500	0.29
34	2300	250	0.11	45	500	150	0.30
26	4320	480	0.11	14	1560	500	0.32
19	8760	1000	0.11	88	8736	2800	0.32
24	8760	1000	0.11	32	3000	1000	0.33
7	8760	1000	0.11	61	1500	500	0.33
68	8736	1000	0.11	5	8736	3000	0.34
8	8736	1000	0.11	70	2880	1000	0.35
42	8736	1000	0.11	38	4000	1750	0.44
3	8736	1000	0.11	6	5000	2350	0.47
30	8700	1000	0.11	69	3640	2000	0.55
60	5460	636	0.12	83	1040	600	0.58
31	6240	780	0.13	49	8736	5200	0.60
16	2080	260	0.13	39	6700	4266	0.64
15	8000	1000	0.13	87	728	520	0.71
59	7200	1000	0.14	57	3600	3600	1.00
44	7000	1000	0.14	98	2600	2600	1.00
95	1040	150	0.14	28	6000	7900	1.32
48	6000	950	0.16	80	7800	10400	1.33
62	8760	1440	0.16	18	728	1000	1.37
94	3000	500	0.17	21	6000	10400	1.73
81	1500	250	0.17	89	2600	7800	3.00

Bijlage 2: Walstroom vs. Generatorstroom grafieken

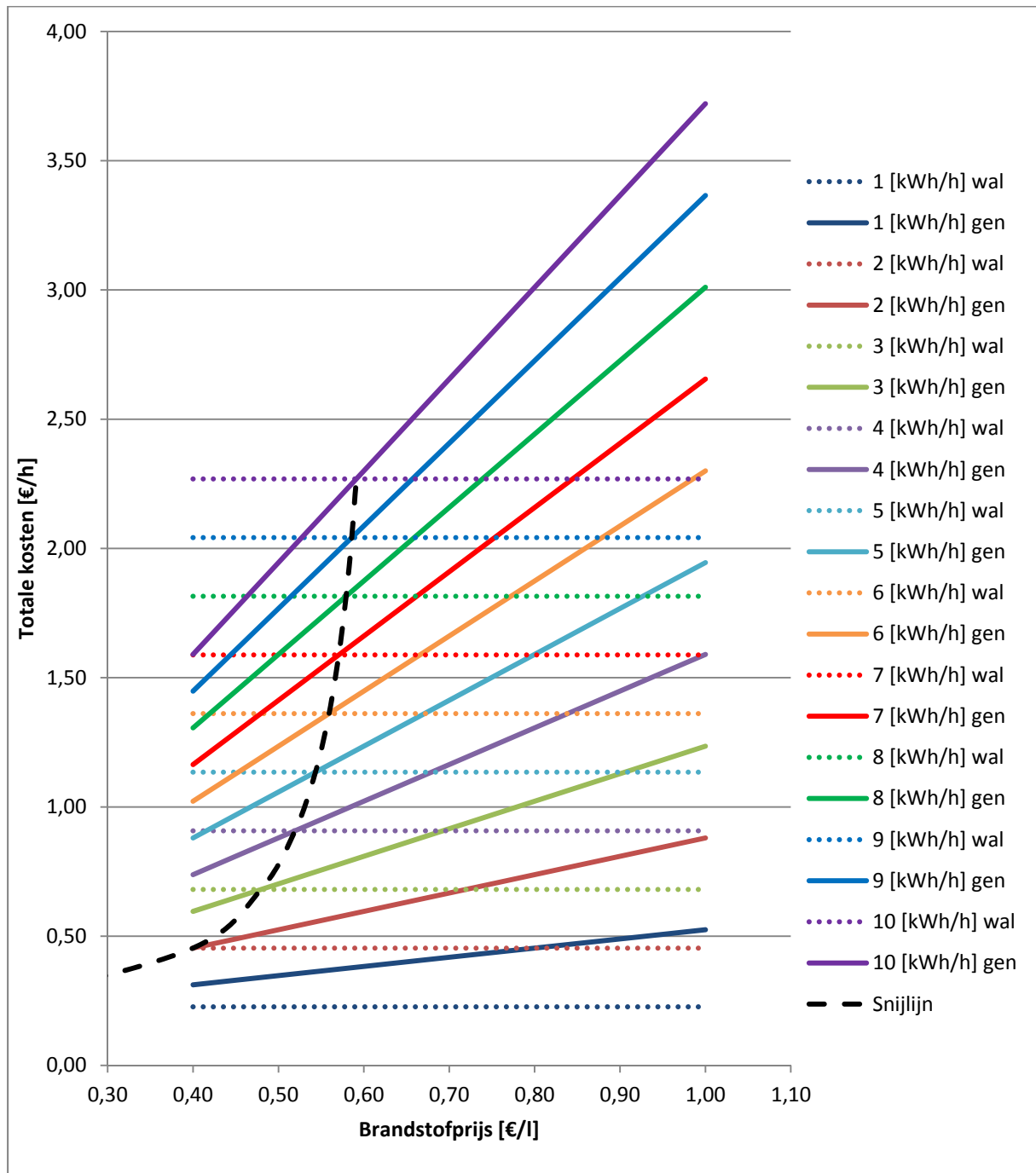
Walstroom versus generatorstroom (s.f.c. = 250 g/kWh).

s.f.c. gen.	250	[g/kWh]
rendement	33,7	%
walstroom	0,23	[€/kWh]
Dichtheid	845	[g/l]
Onderhoud	0,17	[€/h]



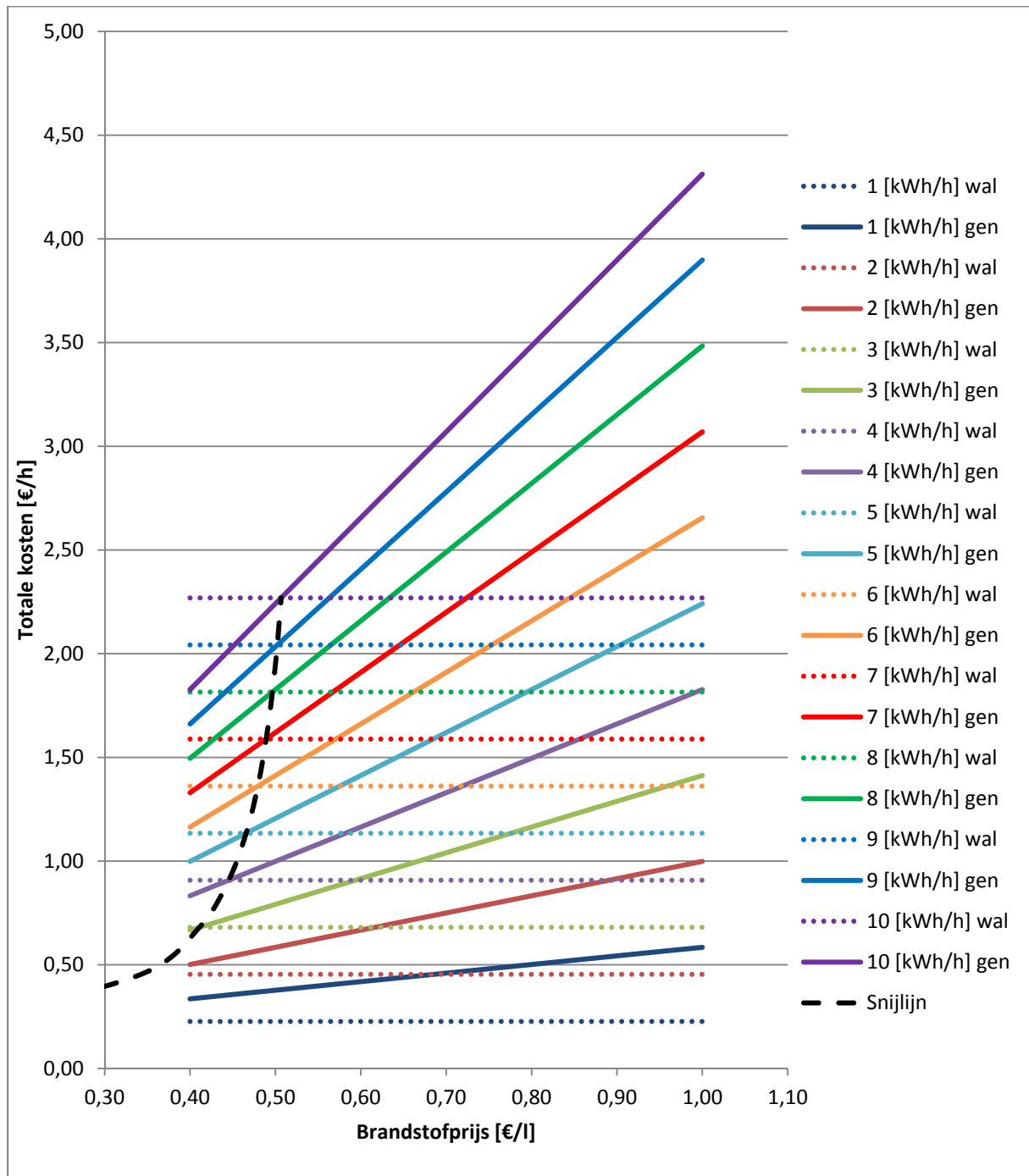
Walstroom versus generatorstroom (s.f.c. = 300 g/kWh).

s.f.c. gen.	300	[g/kWh]
rendement	28,1	%
walstroom	0,23	[€/kWh]
Dichtheid	845	[g/l]
Onderhoud	0,17	[€/h]



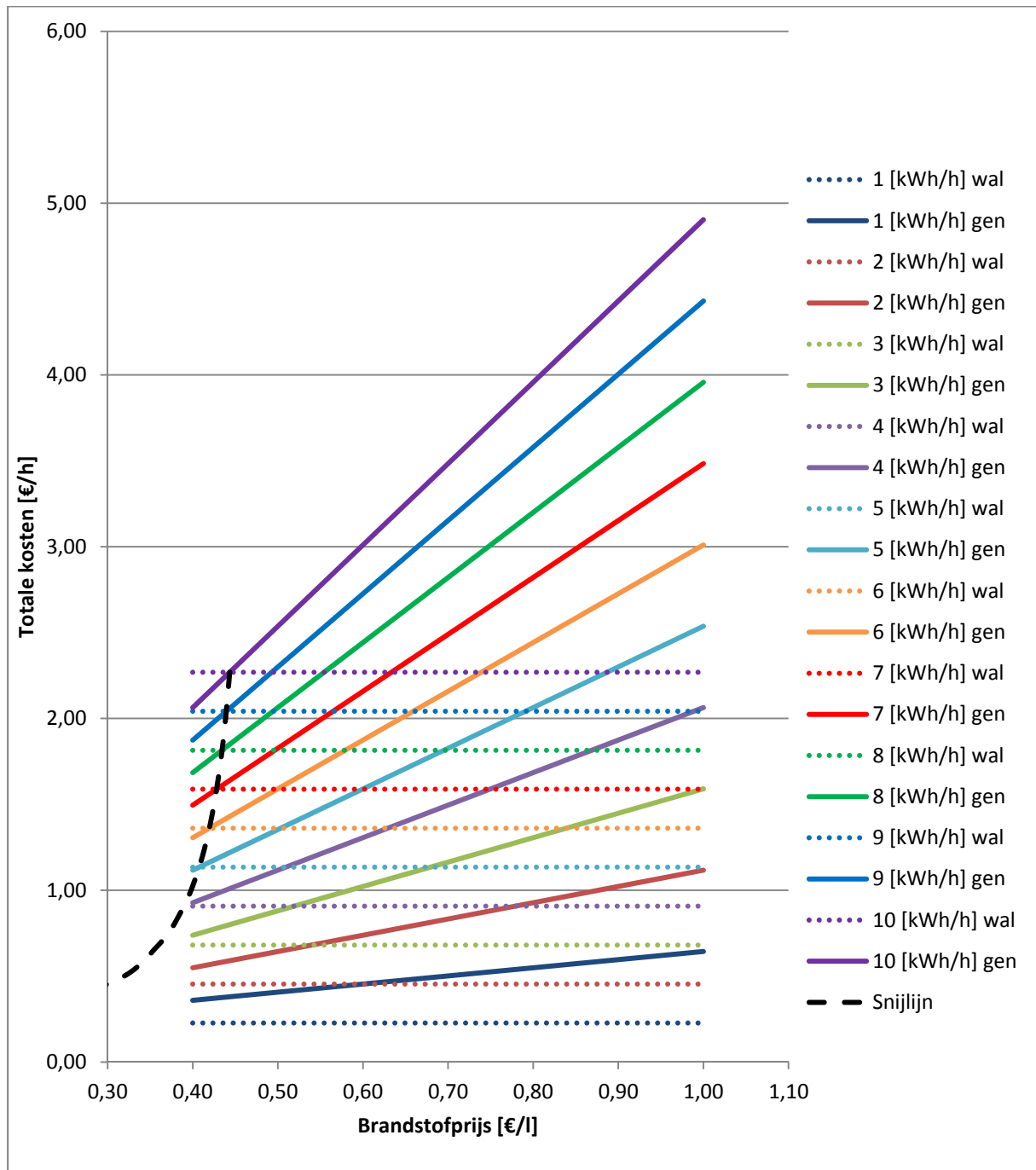
Walstroom versus generatorstroom (s.f.c. = 350 g/kWh).

s.f.c. gen.	350	[g/kWh]
rendement	24,1	%
walstroom	0,23	[€/kWh]
Dichtheid	845	[g/l]
Onderhoud	0,17	[€/h]



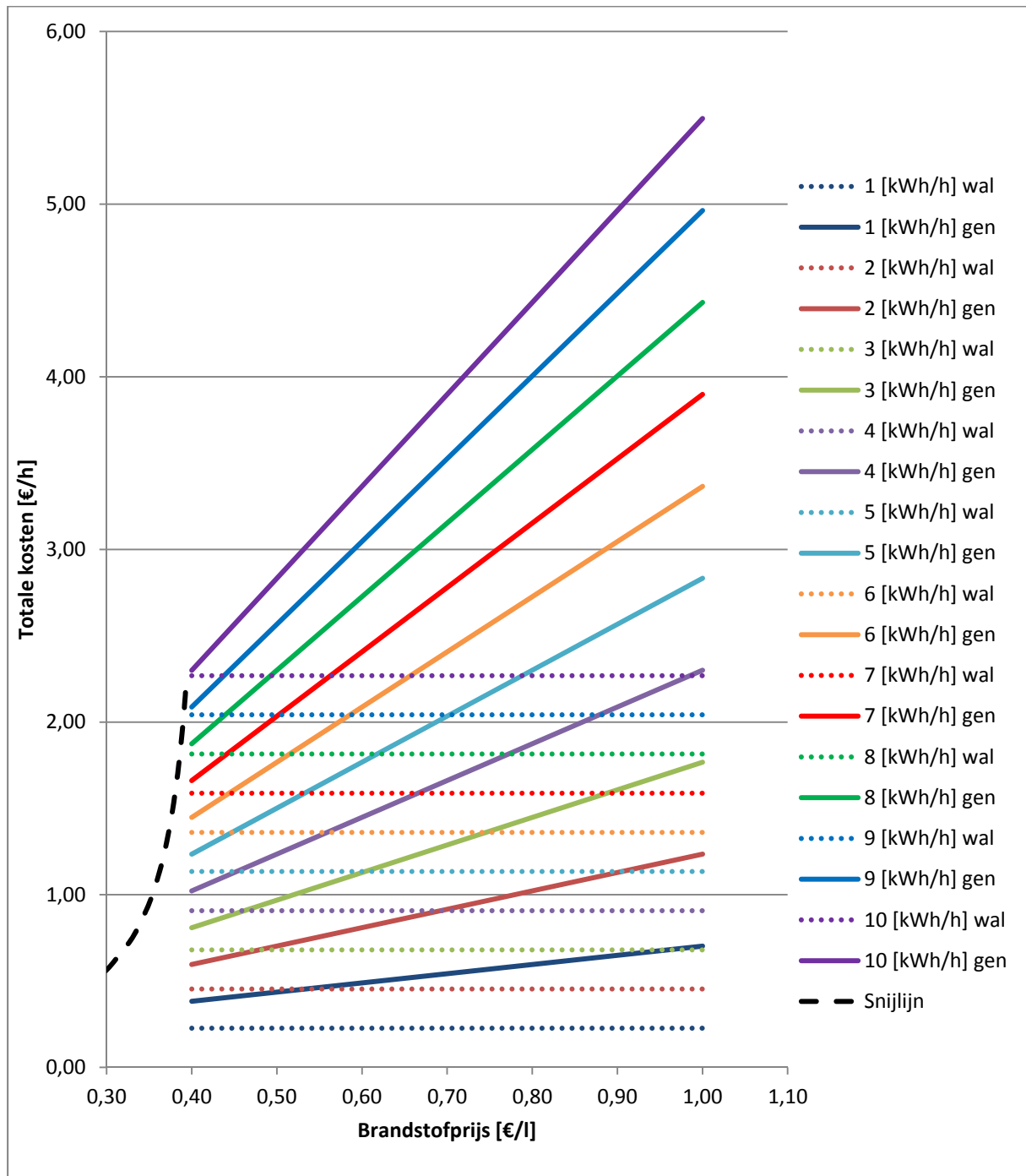
Walstroom versus generatorstroom (s.f.c. = 400 g/kWh).

s.f.c. gen.	400	[g/kWh]
rendement	21,1	%
walstroom	0,23	[€/kWh]
Dichtheid	845	[g/l]
Onderhoud	0,17	[€/h]



Walstroom versus generatorstroom (s.f.c. = 450 g/kWh).

s.f.c. gen.	450	[g/kWh]
rendement	18,7	%
walstroom	0,23	[€/kWh]
Dichtheid	845	[g/l]
Onderhoud	0,17	[€/h]



Walstroom versus generatorstroom (s.f.c. = 500 g/kWh).

s.f.c. gen.	500	[g/kWh]
rendement	16,9	%
walstroom	0,23	[€/kWh]
Dichtheid	845	[g/l]
Onderhoud	0,17	[€/h]

