

De Braziliaanse elektriciteitsmatrix en toekomstplannen

Brazilië heeft een snel groeiende populatie en economie, met als gevolg dat de energievraag per inwoner tussen 1993 en 2011 bijna is verdubbeld. Ter vergelijking: het energiegebruik per hoofd is in Nederland in die periode met 6% toegenomen. Indien deze trend zich voortzet, kan dit verregaande gevolgen hebben voor mens en milieu. Daarom is het belangrijk om te analyseren hoe de huidige stand van zaken is in Brazilië en hoe men zal moeten inspelen op de toekomst.

R. (Riccardo) Capperucci, BSc; S.J.M. (Stefan) Koenders, BSc; L.C. (Lara) Quaas, BSc; M.J.J. (Michiel) Willems, BSc; Studievereniging Mollier

De energieproductie van Brazilië is de afgelopen jaren weliswaar flink toegenomen, maar de betrouwbaarheid van het elektriciteitsnet niet. Ondanks de relatief grote hoeveelheden opgewekte hernieuwbare elektriciteit zijn er nog genoeg punten van aandacht. Iedere opwekkingsbron heeft zo zijn specifieke problemen (uitdagingen) en functioneert momenteel niet op volle kracht noch met hoge efficiëntie. Voorbeeld: de aanhoudende droogte heeft waterreservoirs doen dalen naar het laagste punt sinds 2001 waardoor de dammen hun potentiële capaciteit niet behaalden, maar ook niet de capaciteit die nodig was om aan de vraag vanuit Brazilië te voldoen. De afhankelijkheid van waterkrachtcentrales in combinatie met het uitzonderlijke grote elektriciteitsnetwerk heeft geleid tot grote kans op stroomuitval. Met de verwachting dat de elektriciteitsvraag per persoon in

Brazilië zal stijgen tot Nederlandse waarden, zal er veel moeten veranderen aan het Braziliaanse elektriciteitssysteem.

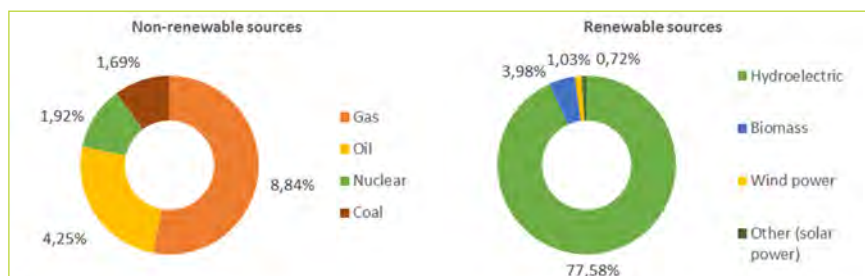
ENERGIEBRONNEN

Brazilië wakte in 2013 in totaal 105 GW aan elektriciteit op, wat bijna vier keer zo veel is als Nederland in 2012. In totaal werd 83,3% duurzaam opgewekt, waarvan 77,6% hydro-elektrisch. De exacte verdeling van de elektriciteitsopwekking van Brazilië is weergegeven in figuur 1. Van de fossiele brandstoffen heeft aardgas het grootste het grootste aandeel, gevolgd door olie.

Hoewel het percentage hernieuwbare energie hoog is, zijn er problemen die een remmende werking hebben. De eerder genoemde droogte die heerst in de regio is geen eenmalig verschijnsel meer. De invloed van de klimaatverandering is terug te zien in de verminderde

regenval en verhoogde temperaturen, ook in de Amazone. Dit in combinatie met de ontbossing resulteert in het verder en frequenter opdrogen van de waterreservoirs. Dit probleem zal leiden tot een vermindering in productiviteit van maximaal 36% [10]. Naast de droogte is ook het verbinden van windkracht- en zonsystemen met het elektriciteitsnet niet optimaal. Dit komt door de vertraging in de bouw van de verbindingen als gevolg van het veiligingsysteem dat wordt gebruikt voor hernieuwbare bronnen. De transmissie-aanname wacht met de bouw tot de bouw van het opweksysteem is voltooid, wat betekent dat er vaak jarenlang elektriciteit opgewekt wordt die vervolgens niet aan het elektriciteitsnetwerk wordt geleverd.

Desalniettemin presteert Brazilië over het algemeen beter dan bijvoorbeeld China, maar ook zeer zeker Nederland. Waar China nog een veel grotere capaciteit heeft, 1.260 GW waarvan 30% uit hernieuwbare bronnen, blijft Nederland toch echt ver achter met een percentage van ongeveer 10% op 28 GW. Net als Brazilië haalt China het overgrote deel van de hernieuwbare energie uit waterkracht (22%). Nederland daarentegen haalt juist een groot deel uit windkracht, zowel onshore als offshore.



-Figuur 1- Verdeling van elektriciteitsopwekking in Brazilië

ELEKTRICITEITSNETWERK

Per land kan het elektriciteitsnetwerk variëren, maar blijft de structuur hetzelfde: het landelijk niveau, het regionaal niveau en vervolgens de aansluiting naar de consument. Grote landen, zoals China maar ook Brazilië, hebben vele malen hogere voltages op landelijk niveau dan bijvoorbeeld Nederland. De capaciteit van Nederland op landelijke niveau komt overeen met de capaciteit van Brazilië en China op regionaal niveau. Dit komt simpelweg door de extreme afstanden die moeten worden afgelegd; van de locatie van opwekking naar de locatie van afname, de consument. In tabel 1 is dit weergegeven.

De Rio Madeira transmissielijn in Brazilië is maar liefst 2.385 km lang en daarmee 's werelds langste elektriciteitslijn. De 600 kV hoge voltagelij is geclassificeerd als transmissielijn, aangezien het een lijn betreft met een voltage hoger dan 350 kV; alles onder 350 kV wordt aangeduid met distributielijnen. In figuur 2 is het landelijke netwerk van Brazilië weergegeven, waarnaast het op Europa is geprojecteerd om te illustreren dat het elektriciteitsnet groter is dan dat van alle Europese landen bij elkaar.

Uiteraard hebben deze grote afstanden geen positief effect op de transportverliezen. De elektriciteitsverliezen over deze transmissielijnen is ca. 17% van de totale opgewekte capaciteit [11]. China blijkt, ook mede door haar grote en centrale energieopwekking, dezelfde consequenties te ervaren. In Nederland daarentegen is de dichtheid van lijnen groter en de afstanden tussen aanbod en vraag veel kleiner, waardoor de verliezen minder groot zijn en ook de betrouwbaarheid van het elektriciteitsnetwerk toeneemt. Naast de verliezen over het elektriciteitsnetwerk is ook de betrouwbaarheid een groot probleem in Brazilië: jaarlijks ervaren consumenten 948 minuten stroomuitval in 2004 [2]. Dit is bijna veertig keer meer dan de 25 minuten in Nederland en nog steeds ruim 75% meer dan de stroomuitval in China met 546 minuten [5][6].

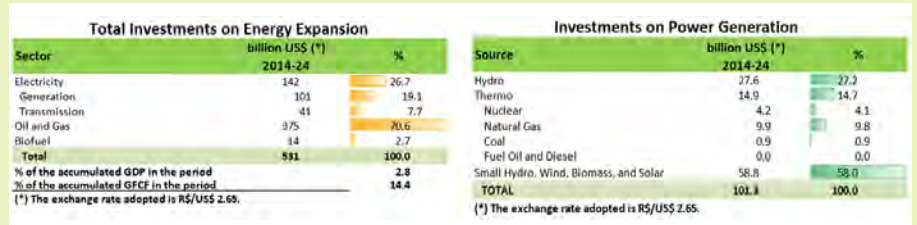
TOEKOMSTPLANNEN

Ieder jaar publiceert het Ministerie van Mijnbouw en Energie (MME) van Brazilië een meerjarenplan (Brazilian Energy Expansion Plan) waarin zij de investeringsplannen voor de komende 10 jaar kenbaar maken, gebaseerd op voorspellende studies en gerelateerde projecten. In de PDE van 2014-2024 wordt een jaarlijkse groei van 4,3% verwacht voor het Bruto Nationaal Product en 4,2% voor de vraag naar elektriciteit. Dit zou betekenen dat er nog eens voor 79 GW aan capaciteit, 70.000 km aan transmissielijnen en 163 GVA aan tussencentrales moet worden voorzien.

	Capaciteit Brazilië	Capaciteit China	Capaciteit Netherlands
Landelijk niveau (extreem hoge voltages)	750 – 230kV	1000-800kV ²	380 en 220kV
Regionaal niveau (hoge voltages)	230kV ¹	500kV ³	150, 110 en 50kV
Aansluiting naar de consument (lage voltages)	127V en 220V ¹	220V en 380V	230 en 400V

¹ (ABB AB, n.d.), ² ("Worldstandards - Brazil," 2004), ³ (Li, 2009), ⁴ (Z. Liu, 2013)

-Tabel 1- Capaciteit van het elektriciteitsnetwerk per niveau



-Figuur 3- Geplande investeringen van de Braziliaanse overheid binnen de energie en mijnbouw sector in de periode 2014-2024

Dat zal gepaard gaan met een investering van US\$ 142.3 miljard, waarvan US\$ 101.3 miljard voor elektriciteitsopwekking en US\$ 40.8 miljard voor de transmissie. In figuur 3 zijn alle geplande energi- investeringen van de Braziliaanse overheid weergegeven. Het blijkt dat binnen de hernieuwbare energie het meest wordt geïnvesteerd in decentrale opwekking aan de hand van biomassa, water, wind en zon (US\$ 58.8 miljard, 58.0%). Daarnaast wordt meer dan een kwart van het budget gependend aan grote waterkrachtcentrales (US\$ 27.6 miljard, 27.2%). Tussen 2021 en 2024 worden 10 nieuwe waterkrachtcentrales geopend, met een capaciteit van 13 GW [8]. Momenteel zijn de markten voor waterkracht en ethanol geconsolideerd, maar de kleinschalige zonne-, wind-, water- en biomassa-energie zijn nog in hun startfase. Brazilië heeft een enorm potentieel voor de productie van windenergie in het Noordoosten en zonne-energie in geïsoleerde locaties van de Amazone. De technologische kosten van deze bronnen zijn hoog, maar zullen dalen in de toekomst waardoor hernieuwbare energie bronnen in de nabije toekomst wellicht competitief kunnen zijn.

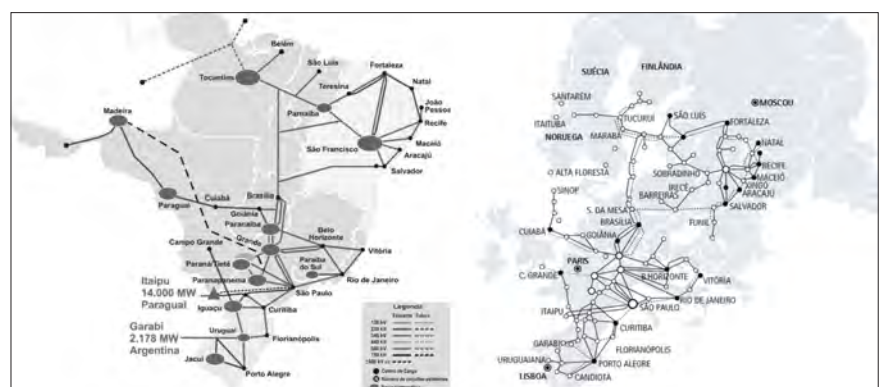
DISCUSSIE

Ontwikkeling van het elektriciteitsnetwerk In zowel Brazilië als in China en Nederland

vindt een verandering plaats van centrale opwekking naar lokale decentrale opwekking. Deze manier van opwekken ligt zowel fysiek als emotioneel dicht bij de gebruiker en wordt gezien als een mogelijkheid om de elektriciteitsmarkt te liberaliseren. Het huidige idee is dat het rechtvaardigheidsprincipe 'level playing field' tussen centrale en decentrale opwekking bestaat, zodat gebruikers de manier van opwekking zelf kunnen kiezen [3]. Als resultaat op deze verandering zal het elektriciteitsnetwerk ook veranderen: de klant wordt naast afnemer ook leverancier van elektriciteit, meerdere decentrale energieopwekkers vormen virtuele energiecentrales en het elektriciteitsnetwerk wordt een marktplaats waar elektrische energie van verschillende bronnen wordt aangeboden, gekocht en verkocht.

Het Nederlandse elektriciteitsnet is voor een groot deel al aangepast, zodat decentrale opwekking en teruglevering mogelijk is, hoewel ook in Nederland bij een sterke toename van PV-capaciteit op woningen de teruglevering in een aantal jaren een technisch knelpunt kan worden. Decentrale opwekking is dan ook een voordeligere optie als de mogelijkheid gegeven is om elektriciteit terug te leveren aan het net. Zowel China als Brazilië hebben op dit moment een éénrichtingsnet, terug leveren is niet mogelijk. Brazilië heeft op

-Figuur 2- Elektriciteitsnetwerk in Brazilië op landelijk niveau (links) en, ter illustratie van grootte, t.o.v. Europa (rechts)



dit moment nog een concrete plannen liggen om hier verandering in te brengen. Hoewel het dus wel veel geld steekt in de ontwikkeling van decentrale opwekking wordt het elektriciteitsnet hier niet op aangepast. Wanneer dit tegelijkertijd wordt aangepakt zal het ontwikkelen van decentrale opwekkingssystemen veel voordeliger zijn. Decentrale opwekking kan bovendien de transmissieverliezen die over het netwerk ontstaan drastisch reduceren. Op dit moment ontstaat er in Brazilië, zoals eerder vermeld, een verlies van 17% bij het transporteren van de elektrische energie van bron naar gebruiker. Kortere transmissielijnen leiden gegarandeerd tot minder verliezen, waardoor ook de efficiëntie van opwekkingssystemen omhoog zal gaan.

Diversifiëren van de elektriciteitsmatrix

Op dit moment domineert waterkracht de elektriciteitsmatrix in Brazilië. Echter, perioden van langdurige droogte kunnen en hebben er al voor gezorgd dat de opwekking door middel van waterkracht niet kon worden gegarandeerd voor vier maanden. Het grootste deel van de stroomuitval komt dan ook voort uit de het onderpresteren van de waterkrachtcentrales [11].

Het streven naar diversifiëren van de elektriciteitsmatrix leidt ertoe dat Brazilië minder afhankelijk van waterkracht is. Desalniettemin investeert Brazilië toch nog meer dan een kwart van het budget voor ontwikkeling in grootschalige waterkrachtcentrales. Zowel Nederland als China zijn bezig om een divers palet aan opwekkingsmogelijkheden te creëren door te investeren in wind- en zonnekracht. Brazilië heeft hier een start mee gemaakt door ongeveer 60% van het budget voor ontwikkeling te investeren in kleinschalige waterkrachtcentrales, windkracht, zonnekracht en biomassa-installaties. Met een gigantisch hoog windpotentieel en een misschien nog wel hoger zonnepotentieel liggen hier voor Brazilië veel mogelijkheden. Zowel windkracht als zonnekracht zou een goede aanvulling zijn op de Braziliaanse elektriciteitsmatrix, gezien het verloop van de dagelijkse energiebehoefte. Beide systemen produceren het grootste deel van hun energie op het moment dat er een piekvraag is [1]. Doordat is gebleken dat het proces van aanbesteden en installeren van deze systemen een remmende werking heeft op de ontwikkeling van nieuwe installaties, zal deze procesvorm herzien moeten worden.

Onderhoud van het elektriciteitsnetwerk

In alle drie de onderzochte landen zal de energievraag de komende jaren blijven doorgroeien [4][7][9]. De focus van de ontwikkelingsplannen van Brazilië liggen voornamelijk op het

ontwikkelen van nieuwe energiecentrales en het ontwikkelen van het elektriciteitsnetwerk. Maar er wordt weinig tot niet gerept over onderhoud van het huidige netwerk. Met de continu groeiende energievraag en de nu al hoge stroomuitval is het noodzaak dat Brazilië ook gaat investeren in het elektriciteitsnetwerk dat er al ligt. Dit onderhoud en de ontwikkeling wordt echter ook nog eens tegengegaan door de enorme grootte van het Braziliaanse elektriciteitsnetwerk en dus de evenredig enorme investeringen die ermee gepaard gaan. Daarnaast heeft Brazilië ook nog zeer grote, laag bevolkte, afgelegen gebieden waar het netwerk niet tot nauwelijks is ontwikkeld.

Open markt creëren voor energiebedrijven

Momenteel zijn alle Braziliaanse elektriciteitsbedrijven eigendom van de overheid en daarvoor wordt veel gereguleerd door de overheid. Er is geen open markt waardoor concurrentie niet of nauwelijks aanwezig is. Zowel China als Nederland hebben wel een open elektriciteitsmarkt waarbij bedrijven niet door de overheid worden gereguleerd. Hierdoor is er meer concurrentie tussen bedrijven, wat uiteindelijk gunstig is voor de daadwerkelijke gebruiker van de energie. Mensen kunnen zelf kiezen waar ze hun elektriciteit vandaan hebben en de prijzen zijn vaak lager dan bij een door de overheid gereguleerde markt. Met meer en eventueel kleinere geliberaliseerde elektriciteitsbedrijven is de kans groot dat de ontwikkeling van decentrale opwekking realistischer is.

CONCLUSIE

Brazilië zou meer moeten investeren in decentrale opwekking de komende jaren om zo minder afhankelijk te worden van de centraal opgewekte elektriciteit uit waterkracht. Zeker omdat de droogte een negatieve uitwerking heeft op de efficiëntie van deze centrales en aangezien dit meer dan driekwart van de totale opwekking betreft, zijn de gevolgen van de waterkrachtpolicy niet gering. Ondanks dat de huidige staat van Brazilië niet strookt met de Smart Cities opvatting biedt de voorgenomen diversifiëring veel perspectief en dat lijkt men zich te realiseren. Brazilië heeft wat hernieuwbare energie betreft een groot potentieel aan energie van zon en wind, naast de gevestigde waterkracht. Uiteraard zal dit niet van de ene

op de andere dag worden gerealiseerd, aangezien niet alleen de infrastructuur zal moeten worden aangepakt maar ook de bevolking de juiste denkwijze voor het gebruik van energie zal moeten omarmen.

REFERENTIES

1. De Andrade, J. B. S. O., Dutra, L., Schwinden, N. B. C., & de Andrade, S. F. (2015). Future scenarios and trends in energy generation in Brazil: supply and demand and mitigation forecasts. *Journal of Cleaner Production*, 103, 197-210.
2. Arbelaez Jorge Perez; Natacha C. Marzolf. (2011). *Power Possibility & The Energy Sector in Jamaica*. IDB.
3. Gaardstrup, C., & Nielsen, J. E. (n.d.). *SUSTELNET, Policy and Regulatory Roadmap for the Integration of Distributed Generation and the Development of Sustainable Electricity Networks*.
4. Groothuizen, T. (2012). *Smart grids: Brazilië koploper van Latijns-Amerika*. IA Special.
5. Hesseling, D., & Sari, M. (2007). The introduction of quality regulation for electricity distribution in the Netherlands. *European Energy Law Report III (EELR III-Paer)*, hoofdstuk, blz. 127 t/m 145 Netherlands.
6. Kahl, F., Williams, J., Jianhua, D., & Junfeng, H. (2011). Challenges to China's transition to a low carbon electricity system. *Energy Policy*, 39(7), 4032-4041.
7. Ongkiehong, O. (2006). *Electricity grids*, 31(0).
8. Office of Strategic Energy studies (2015). *Energy Expansion in Brazil – 2024 Investment Opportunities*.
9. Pica, C. Q., Vieira, D., & Dettogni, G. (2013). *An Overview of Smart Grids in Brazil Opportunities, Needs and Pilot Initiatives*, (c), 93-97.
10. Prado, F. A., Athayde, S., Mossa, J., Bohlman, S., Leite, F., & Oliver-Smith, A. (2016). How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1132-1136.
11. Prefeitura, R. (2012). *Energy toolkit for buildings Rio de Janeiro*. Retrieved from <http://riorenewables.com/why-renewables>

DANKBETUIGING

Dit artikel is mede mogelijk gemaakt door de Bouwkundewinkel van de Technische Universiteit Eindhoven. De Bouwkundewinkel helpt groeperingen en individuen die niet over de financiële middelen beschikken om een regulier advies- of architectenbureau in te schakelen met problemen of vragen op bouwkundig gebied. Mocht u een bouwkundig vraagstuk hebben, kijk dan voor meer informatie op www.bouwkundewinkel.nl.

