



Universiteit
Leiden

The Netherlands

The impacts and challenges of water use of electric power production in China

Jin, Y.

Citation

Jin, Y. (2022, June 21). *The impacts and challenges of water use of electric power production in China*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3309976>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3309976>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting

De productie van elektrische energie is een belangrijke oorzaak van waterstress op globale schaal. Door de snelle toename het gebruik van energie in China en de opbouw van een voor een belangrijk deel op elektriciteit gebaseerd energiesysteem is het land nu de grootste elektriciteitsproducent ter wereld. Hierdoor neemt de waterstress als gevolg van energiegebruik toe. De elektriciteitssector is na irrigatie de grootste gebruiker van water in China geworden. Deze dissertatie onderzoekt het watergebruik voor elektriciteitsproductie en de gevolgen daarvan voor de waterstress in China. Aangezien elektriciteit vaak via transmissie tussen regio's wordt getransporteerd, vinden de effecten van de productie van elektriciteit vaak op andere locaties plaats dan waar elektriciteit wordt gebruikt. Daarom analyseert deze dissertatie ook welke rol China's elektriciteitstransmissiesysteem speelt in het 'virtueel transport' van waterstress tussen provincies. De beschikbaarheid van water voor energieopwekking zal in de toekomst worden beperkt door het toenemende watergebruik van alle sectoren, maar ook door veranderingen in het klimaat, wat diverse onderzoeks- en beleidsvragen oproept. Daarom wordt in dit proefschrift de volgende overkoepelende onderzoeksvraag gesteld:

Wat zijn de problemen en milieugevolgen gerelateerd aan watergebruik voor de productie van elektrische energie in China?

Daartoe worden in dit proefschrift in vier hoofdstukken vier deelvragen beantwoord.

Ten eerste wordt in een globale meta-analyse ingegaan op de vraag: wat is de waterbehoefte van verschillende technologieën voor het opwekken van elektriciteit, en zijn er specifiek per regio gegevens beschikbaar over die behoefte?

Om de nexus tussen water en elektriciteit verder te begrijpen, richt dit proefschrift zich hiernaast op nog een aantal vragen rond de effecten van elektriciteitsproductie op watergebruik en de effecten van waterstress op de elektriciteitsproductie. Deze vragen zijn:

Hoeveel water is er nodig voor de elektriciteitsproductie in China, en hoeveel 'virtueel' transport van water vindt plaats via de transmissie van elektriciteit? (deelvraag 2)

Wat zijn de effecten van energieproductie op de zoetwaterbiodiversiteit in China?

(deelvraag 3)

Wat zijn de veranderingen in de waterstress en de daaruit voortvloeiende gevolgen voor de elektriciteitsproductie in de toekomst en welke invloed heeft de toekomstige behoefte aan koolstofafvang en opslag ('Carbon Capture and Storage', CCS) op waterstress in China? (deelvraag 4)

Om de eerste deelvraag te beantwoorden, is in hoofdstuk 2 een literatuuranalyse verricht ten aanzien van watergebruik bij elektriciteitsproductie. De analyse ging ook in op de kenmerken van het watergebruik en onzekerheden in de omvang daarvan. Er zijn grote verschillen in watergebruik over de hele levenscyclus per kWh elektriciteitsproductie tussen verschillende productietechnieken. Fotovoltaïsche energie, windenergie en waterkracht uit doorstroomwaterkrachtcentrales gebruiken relatief weinig water; geconcentreerde zonne-energie en geothermische energie gebruiken een gemiddelde hoeveelheid water; terwijl het opwekken van elektriciteit met biomassa en waterkrachtcentrales gevoed door stuwmeren een hoog gebruik van water kent. Ook het opwekken van elektriciteit met fossiele brandstoffen kent een aanzienlijk watergebruik. Het watergebruik kan echter sterk variëren tussen elektriciteitscentrales van hetzelfde type. Factoren als het gebruik van het type water, de operationele efficiëntie, de locatie van de centrale, enz. spelen daarbij een belangrijke rol. Het patroon van watergebruik zal in de toekomst drastisch veranderen. Dit hangt samen met de ambitie om elektriciteitsproductie koolstofneutraal te maken. Klimaatmitigatie door de inzet van zonne- en windenergie kan waterstress door elektriciteitsproductie sterk verminderen. Maar het achteraf inbouwen van CCS in centrales die fossiele energie gebruiken leidt juist tot een toename van de waterstress. Het operationele waterverbruik van thermische centrales kan bijvoorbeeld tot 81% toenemen als CCS wordt toegepast. Onzekerheden in data over watergebruik zijn vaak het gevolg van inconsistente methodologische keuzes en verschillen in definitie in systeemgrenzen tussen verschillende studies. In het hoofdstuk worden dan ook de belangrijkste punten belicht die in analyses moeten worden verbeterd. Voor toekomstig onderzoek is het van belang specifiek te zijn ten aanzien van bijvoorbeeld het type water (bv. zeewater vs. zoet water) en het type watergebruik (onttrekking: hoeveelheid water die b.v. voor koeling uit een rivier wordt onttrokken, maar grotendeels weer kan worden teruggevoerd; versus consumptie of verbruik: de hoeveelheid water die echt

verbruikt wordt en niet meer kan worden teruggevoerd, b.v. door verdamping in koeltorens). Het review leverde methodologische inzichten en gegevens op die behulpzaam waren bij de resterende deelvragen.

In hoofdstuk 3 wordt de tweede deelvraag beantwoord. Het hoofdstuk analyseert op het niveau van individuele elektriciteitscentrales in China zowel de wateronttrekking als het waterverbruik. De elektriciteitsproductie in China onttrok in 2017 62,7 miljard m³ zoet water, waarvan 13 miljard m³ werd verbruikt. In totaal werd 6,2 miljard m³ onttrokken zoet water en 2,1 miljard m³ verbruikt zoet water via het transmissiesysteem voor elektriciteit virtueel tussen provincies getransporteerd, met grote schommelingen gedurende het jaar. Een fictief scenario waarin elke regio zelf stroom voor eigen behoefte produceert en waarin geen import of export van stroom plaatsvindt, liet zien dat de totale onttrekking van zoet water zou toenemen maar de consumptie zou afnemen. Dit komt omdat het westen van China, in vergelijking met het oosten van het land, over het algemeen een grotere waterverbruiksfactor had, maar een lagere onttrekkingsfactor. De waterstress, die samenhangt met verbruik, was dankzij import en export van elektriciteit via het transmissienet gelijkmatiger verdeeld over de provincies. De analysemethode kan ook op andere landen worden toegepast als er voldoende gegevens over het elektriciteitssysteem en het watergebruik beschikbaar zijn. De resultaten voor China, als een van de grootste energiegebruikers ter wereld, kunnen een basis vormen voor een globale database ten aanzien van energieregelend watergebruik.

In hoofdstuk 4 zijn met het oog op de derde deelvraag de effecten van watergebruik voor de elektriciteitsproductie in China op de zoetwaterbiodiversiteit beoordeeld. Hierbij werden het verbruik van zoet water en de thermische emissies naar zoet water meegenomen. Het totale biodiversiteitsverlies door waterverbruik en thermische verontreiniging van de elektriciteitsproductie in China is in de periode 2008-2017 met 45% toegenomen, terwijl het biodiversiteitsverlies per eenheid elektriciteitsproductie met 23% is afgenomen. Het biodiversiteitsverlies door thermische vervuiling was 60% groter dan dat door het verbruik van zoet water. Elektriciteitstransmissie resulteerde in een verschuiving van de biodiversiteitseffecten tussen de regio's. Uit de resultaten bleek dat 15% van het totale biodiversiteitsverlies virtueel via transmissie van elektriciteit was verplaatst. De groei van het verlies aan biodiversiteit tussen 2008 en 2017 werd vooral

veroorzaakt door een verhoging van de totale opwekking van elektriciteit. Verschuivingen tussen het type opwekking had veel minder invloed. Kort gezegd biedt dit hoofdstuk een kader om de gevolgen van elektriciteitsopwekking voor de biodiversiteit in zoet water door te rekenen, dat gebruikt kan worden om bij het opstellen van plannen voor toekomstige elektriciteitsopwekking de gevolgen voor ecosystemen te beperken.

Hoofdstuk 5 beantwoordde de vierde deelvraag. Het hoofdstuk onderzocht de kwetsbaarheid van de thermische elektriciteitsopwekking in China wanneer klimaatverandering plaatsvindt. Voor dit doel werd een hydrologisch-elektriciteitsmodel ontwikkeld met een ruimtelijke resolutie van het rivierennetwerk van 5 boogminuten en dat per maand de waterbeschikbaarheid analyseerde. De resultaten toonden aan dat 120-176 GW aan capaciteit zal worden blootgesteld aan waterschaarste gedurende ten minste één extra maand per jaar na 2030. Indien geen koolstofafvang en -opslag (CCS) wordt geïnstalleerd, zal de nationale bruikbare capaciteit van thermo-elektrische centrales licht toenemen. De toevoeging van CCS - waarvoor meer water nodig is - zou de kwetsbaarheid voor waterstress echter aanzienlijk vergroten, wat zou leiden tot een verdere vermindering van de bruikbare capaciteit met 7,4-7,7%. Deze kwetsbaarheid kan worden verminderd door een aantal maatregelen. Hiervan is vervroegde uitdienstneming van fossiele elektriciteitscentrales het doeltreffendst, aangezien dit de behoefte aan (koel)water aanzienlijk vermindert. Interregionaal elektriciteitstransport speelt ook een belangrijke mitigerende rol, omdat dit het mogelijk maakt de elektriciteitsproductie te verschuiven van regio's met waterschaarste naar regio's die over voldoende water beschikken. Uit de resultaten blijkt dat het belangrijk is om bij de elektriciteitsplanning rekening te houden met klimaatverandering en de invloed hiervan op waterschaarste. Het is ook belangrijk rekening te houden met de groeiende vraag naar water van zowel de elektriciteitssector als andere gebruikers, en oplossingen ten aanzien van waterschaarste te zoeken vanuit zowel het perspectief van individuele centrales als het elektriciteitssysteem als geheel.

Op basis van de bovenstaande analyses zijn in deze dissertatie de volgende antwoorden gevonden op de overkoepelende onderzoeksvraag. Ten eerste bleken er grote verschillen te bestaan in het watergebruik van technologieën voor elektriciteitsopwekking en was er inconsistentie in de methoden en gegevens die in

eerdere studies werden gebruikt. Dit kan leiden tot grote onzekerheden in analyses van watergebruik. In China zijn grote hoeveelheden water nodig in het energiesysteem omdat veel elektriciteit wordt opgewekt met fossiele energie en met waterkracht. De virtuele wateroverdracht via het transmissiesysteem voor elektriciteit bleek te leiden tot een gelijkmatiger verdeling van de waterstress over het land. Bovendien bleek in China een toenemend verlies aan zoetwaterbiodiversiteit op te treden als gevolg van het zoetwaterverbruik en de thermische emissies van de elektriciteitsproductie. De elektriciteitsproductie staat voor grote uitdagingen wanneer niet aan de vraag naar water kan worden voldaan. In de toekomst zou de bruikbare capaciteit van thermische centrales in China aanzienlijk afnemen indien zij met CCS worden uitgerust.

Er zijn veel gebieden waarop toekomstig onderzoek zich kan toespitsen. Met name de beschikbaarheid van gegevens kan worden verbeterd. Op dit moment zijn veel gegevens voor de twee systemen - energie en water – niet altijd makkelijk toegankelijk, wat de mogelijkheden voor onderzoek en de transparantie daarvan beperkt. Voorts kunnen modellen die zijn gericht op het onderzoeken van de water-elektriciteitsnexus op verschillende punten worden verbeterd, onder meer voor wat betreft het gebruik van water, de opwekking van elektriciteit en klimaatsimulaties. Bovendien moet de vraag naar water van overheden, industrieën en huishoudens verder worden gekwantificeerd om de implicaties hiervan voor de water-elektriciteitsnexus beter te begrijpen.

Concluderend kan worden gesteld dat de kennis die in dit proefschrift bijeen is gebracht, leidt tot een beter begrip van: 1) de waterbehoefte van verschillende technologieën voor elektriciteitsopwekking; 2) de effecten van elektriciteitsproductie op watervoorraden en de daarmee samenhangende effecten op biodiversiteit; en, 3) de effecten van waterstress op elektriciteitsproductie. Samenvattend geeft deze dissertatie inzicht in de gevolgen van watergebruik bij elektriciteitsopwekking en omgekeerd, biedt het ondersteuning ten aanzien van data en methoden voor het analyseren van de relatie tussen water- en elektriciteitssystemen, en biedt het suggesties voor beleidsmakers over hoe problemen in de energie-waternexus op te lossen en dit met verder onderzoek te ondersteunen.