



De Langtang-gletsjer in het noorden van Nepal voedt de Ganges in India. De laatste decennia is de gletsjer in omvang afgenomen.

Alle rivieren in Azië worden gevoed door de gletsjers en sneeuwvelden van de Himalaya en het Tibetaanse plateau. Deze 'watertorens' worden bedreigd door opwarming, maar het effect op de waterbeschikbaarheid en voedselzekerheid benedenstrooms varieert sterk. Terwijl de landbouwgebieden langs de Indus en Brahmaputra met grote droogten worden bedreigd, zal het langs de Gele rivier juist natter worden.

Smelten gletsjers bedreigt 67 miljoen mensen in Zuidoost-Azië

We weten al langer dat veranderingen in het (af)smelten van gletsjers gevolgen hebben voor de benedenstroomse waterhuishouding, maar de studies die hierover verschenen waren kwalitatief van aard of gingen over kleine gebieden. De werkelijke impact van de klimaatverandering op de watervoorziening en voedselproductie in de Aziatische stroomgebieden bleef tot nu toe onduidelijk.

Wij hebben daarom de rol van de hydrologische processen bestudeerd in gebieden meer dan 2000 meter boven zeeniveau, in de stroomgebieden van de vijf belangrijke rivieren in Zuidoost-Azië: de Indus, Ganges, Brahmaputra, Jangtsekiang en Gele Rivier. Deze rivieren voorzien meer dan 1,4 miljard mensen, een vijfde van de wereldbevolking, van water. Hun stroomgebieden verschillen echter aanzienlijk (figuur 1 op pag. 8). In het stroomgebied van de Jangtsekiang leven de meeste mensen, maar het stroomgebied van de Ganges is veel dichter bevolkt. De Indus en Brahmaputra hebben uitgestrekte bovenstroomse gebieden (boven 2000 meter) met aanzienlijk meer gletsjers dan de Jangtsekiang en de Gele rivier. De stroomgebieden van de Ganges, Brahmaputra en Jangtsekiang zijn natter dan die van de Gele rivier en de Indus. Tot slot maken boeren in de neerslagarme stroomgebieden van de Indus, Ganges en Jangtsekiang gebruik van grootschalige irrigatiesystemen die gevoed worden met smeltwater uit de rivieren. Het meest kwetsbaar is de situatie rond de Indus. Hier is discrepantie tussen neerslaghoeveelheid en de vraag naar irrigatiewater het grootst.

Ons onderzoek in deze vijf stroomgebieden heeft zich op drie componenten gericht: het belang van smeltwater in de hydrologie van de rivieren, de waargenomen veranderingen met betrekking tot de gletsjers en de effecten van klimaatverandering op de hoeveelheid smeltwater in de bovenstroomse gebieden en de voedselzekerheid benedenstrooms.

Smeltwater

Op dit moment speelt smeltwater een belangrijke rol in de stroomgebieden van de Brahmaputra en vooral de Indus. We schatten dat 60% van de totale afvoer in dit stroomgebied

smeltwater is. In het stroomgebied van de Brahmaputra is dit 21%. De bijdrage van sneeuw- en gletsjersmeltwater aan de andere rivieren is veel geringer: bij de Ganges is dit 9%, de Jangtsekiang 7% en de Gele rivier 7% (figuur 2 op pag. 9). Dat valt te verklaren door het relatief grote benedenstroomse gebied, de geringe bovenstroomse neerslag, kleinere gletsjers en/of de door de natte moesson gedomineerde benedenstroomse klimaten.

Sinds het einde van de laatste ijstijd zijn de meeste gletsjers in de Himalaya aan het slinken. Digitale terreinmodellen en satellietbeelden door de tijd heen tonen een gemid-



Het Tibetaans plateau in de buurt van Tingri op 4380 meter hoogte. Dit gebied voedt de Brahmaputra die voor 21% afhankelijk is van smeltwater.

Jongens planten rijst in een veld in Larkana, Pakistan. Het smelten van de gletsjers en sneeuwvelden in de Himalaya brengt de voedselvoorziening van miljoenen mensen in Azië en vooral Pakistan in gevaar.



delde jaarlijkse afname in ijsdikte van 50 tot 90 centimeter per jaar in het Everestgebied in Nepal en de westelijke Himalaya. Ook de hooggelegen gletsjers in Tibet groeien niet meer aan. Terwijl het ijsvolume van de Aziatische stroomgebieden in algemene zin slinkt, kan de situatie regionaal afwijken. Kwantitatieve gegevens ontbreken echter om de ruimtelijke variatie in de afname van gletsjers te kunnen vaststellen. In ons onderzoek hebben we met complexe modellen schattingen gemaakt van de omvang van de gletsjers in de periode 2046-2065 en het effect hiervan op de beschikbare hoeveelheid smeltwater. Vanwege de onzekerheden analyseerden we meerdere scenario's.

De aanvoer van bovenstrooms water is essentieel voor het voortbestaan van bovenstroomse waterbekkens die dienen om water te bergen en gecontroleerd te laten leegstromen in perioden van grote vraag naar

water in de benedenstroomse gebieden. Irrigatiewater langs de Indus, de rivier met 's werelds grootste irrigatiesysteem, wordt bijvoorbeeld gereguleerd door de Tarbela-dam in de Indus en de Mangla-dam in de Jhelum. Beide bevinden zich in de bovenloop van de Indus en worden in hoofdzaak gevoed door smeltwater. Iedere verandering in de wateraanvoer heeft verregaande gevolgen voor de miljoenen mensen die stroomafwaarts van deze dammen wonen.

Wateraanvoer

Ons onderzoek toont een substantiële variatie in de toekomstige veranderingen in de wateraanvoer (figuur 3). De meest waarschijnlijke scenario's resulteren in een afname van 8,4% van de bovenstroomse wateraanvoer voor de Indus, 17,6% voor de Ganges, 19,6% voor de Brahmaputra en 5,2 % voor de Jangtsekiang. Hoewel de afname in waterafvoer tussen

de rivieren sterk varieert, is deze toch steeds minder dan de afname in de hoeveelheid smeltwater suggereert. De verminderde hoeveelheid smeltwater wordt namelijk gedeeltelijk gecompenseerd door toenemende bovenstroomse neerslag. De Indus en Brahmaputra kunnen 25% meer neerslag verwachten, de Gele rivier 14%, de Ganges 8% en de

Jangtsekiang 5%. Bij de Gele rivier neemt door meer neerslag in de winter de bovenstroomse wateraanvoer zelfs toe met 9,5%. Deze rivier is dan ook veel minder afhankelijk van het smelten van gletsjers voor haar wateraanvoer. Bij deze scenario's moeten we aantekenen dat de meeste klimaatmodellen moeite hebben om de neerslagvariatie door het jaar heen en de gemiddelde moesson te simuleren.

Al met al komen we tot de slotsom dat de aanzienlijke veranderingen in de ijsvoorraden van de gletsjers van de Himalaya minder effect zullen hebben op de watertoevoer in benedenstroomse gebieden dan het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) aanneemt. In zijn laatste rapport suggereert het IPCC dat met de huidige trend van het afsmelten van gletsjers en potentiële klimaatverandering de Ganges, Indus, Brahmaputra en andere rivieren in de nabije toekomst kunnen veranderen in seizoensrivieren. Wij zijn van mening dat het allang seizoensrivieren zijn omdat het smeltseizoen en regenseizoen samenvallen en de afname in hoeveelheden smeltwater gedeeltelijk wordt gecompenseerd door een toename van de hoeveelheid neerslag.

Voedselvoorziening

Ondanks de compenserende effecten van toegenomen neerslag in de twee stroomgebieden waar smeltwater het belangrijkste is, de Indus en de Brahmaputra, zal de afvoer hier in de late lente en zomer uiteindelijk verminderen. Na een periode waarin extra veel water beschikbaar is door de versnelde afsmelting van de gletsjers zal de aanvoer tussen 2046 en 2065 fors afnemen. Mochten de gletsjers uiteindelijk geheel verdwijnen, dan zullen de Indus en Brahmaputra daar het sterkst onder lijden.

Dit zal belangrijke gevolgen hebben voor de voedselzekerheid. Zetten we de verandering in de beschikbare hoeveelheid bovenstrooms water af tegen de vraag naar irrigatiewater, de omvang van de oogsten, de voedingswaarde van de gewassen en de benodigde menselijke energieopname, dan is te berekenen hoeveel mensen kunnen worden gevoed. Het resultaat laat opnieuw enorme verschillen tussen de vijf stroomgebieden zien. In het stroomgebied van de Brahmaputra kunnen naar schatting 34,5 miljoen minder mensen gevoed worden, voor de Indus is dat 26,3 miljoen, voor de Jangtsekiang 7,1 miljoen en voor de Ganges 2,4 miljoen. In het stroomgebied van de Gele rivier neemt de productie juist toe en kunnen 3 miljoen extra monden worden gevoed. In totaal worden 67 miljoen mensen in hun voedselvoorziening bedreigd. Er is dus haast geboden met het ontwikkelen van aanpassingsstrategieën en het verhogen van de waterproductiviteit.

We concluderen dat de watertorens in Azië bedreigd worden door klimaatverandering, maar dat de gevolgen voor de beschikbaarheid van water en voedselzekerheid sterk verschillen tussen de stroomgebieden van de Aziatische rivieren en zeker niet gegeneraliseerd kunnen worden.

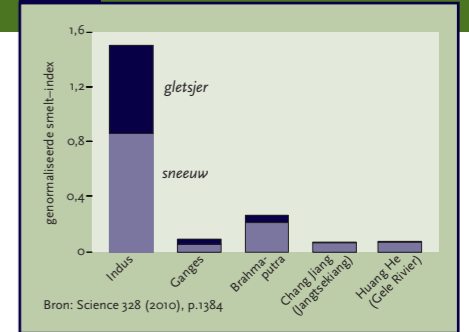
In de stroomgebieden van de Indus en Brahmaputra zullen de gevolgen waarschijnlijk heftig zijn door de omvang de bevolking en de sterke afhankelijkheid van geïrrigeerde voedselverbouw en smeltwater. In de Gele rivier kan klimaatverandering de situatie juist verbeteren. De afhankelijkheid van smeltwater is hier gering en de gemodelleerde toenames van de neerslaghoeveelheden in het bovenstroomse gebied kunnen – wanneer het water wordt vastgehouden in stuwwerken – leiden tot een toename in de hoeveelheid voor irrigatie beschikbaar water. Klimaatverandering leidt hier tot een verbetering van de voedselzekerheid. •

Dit is een verkorte versie van het artikel 'Climate Change Will Affect the Asian Water Towers', verschenen in *Science* 328, 1382 (juni 2010).

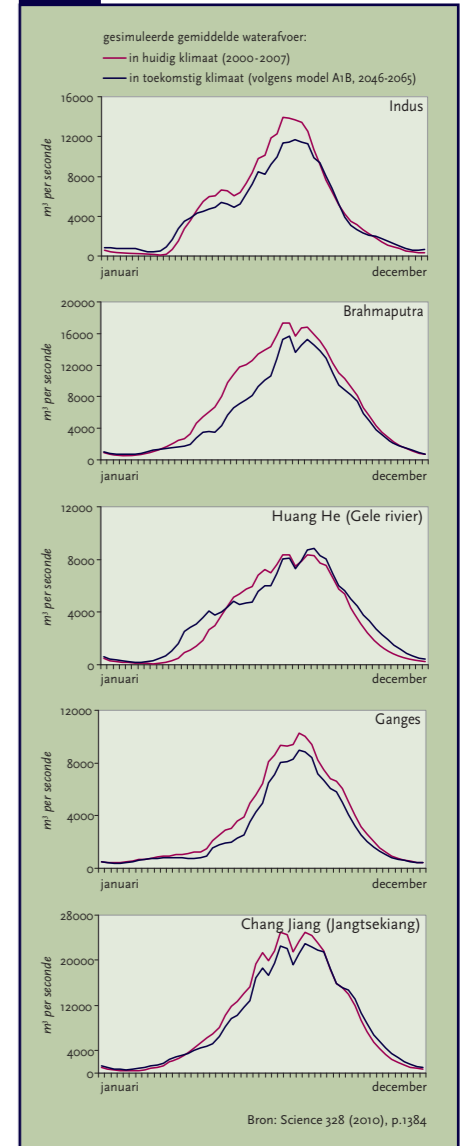
Bron

- www.sciencemag.org/cgi/content/full/328/5984/1382/DC1

Figuur 2: Afhankelijkheid van gletsjersmeltwater



Figuur 3: Veranderende wateraanvoer voor vijf stroomgebieden



Figuur 3 laat zien hoe het hydrografisch patroon in de tijd verschuift. Vooral bij de Gele rivier neemt de afvoer in het begin van de lente alsmaar toe. Dit is goed nieuws voor de bewoners van het stroomgebied omdat de waterreservoirs dan leeg zijn en het groeiseizoen begint. Een vervroegde piek in de afsmelting kan zo het tekort aan irrigatiewater in de voor droogte kwetsbare beginfase van het groeiseizoen opvangen.

Figuur 1: Gletsjers en stroomgebieden in de Himalaya

