

# IJs kan waterstand op rivieren flink beïnvloeden

IJs op rivieren heeft in het verleden geleid tot overstromingen en zoutindringing. Nu zijn er nog veel onduidelijkheden over de invloed van bijvoorbeeld Ruimte voor de Riviermaatregelen op ijsafvoer. Een recent ontwikkeld model is een eerste stap in het voorstellen van waterstanden onder een ijsdek.

Y.M. DIJKSTRA BSC. / IR. S.J. OUWERKERK / DR.IR. P.C. ROOS

Afgelopen winter heeft laten zien dat strenge winters zeker niet tot het verleden behoren. Op de Nederrijn en in de benedenloop van de IJssel trad zware ijsgang op. Deze ijsgang belemmert de scheepvaart en kan bovendien leiden tot schade aan dijken en kunstwerken. Minder bekend is echter dat ijs ook kan resulteren in grote veranderingen van de waterstand. Hoe is dit mogelijk? En kunnen we de waterstanden onder het ijs voorspellen voor de toekomst?

In het verleden zijn deze veranderingen van de waterstand regelmatig waargenomen: in 1940, 1942 en 1963 gemiddeld 1,5 tot 2,5 meter waterstandstijging op de Waal. In 1940 was er, op het moment dat het ijs zich vastzette, eerst een sterke stijging van de waterstand van ruim 2 meter. Toen de dooi intrad, was er nogmaals een stijging, gevolgd door een daling van het water naar het normale niveau. In 1963 veroorzaakte ijs een waterstanddaling en een waterstekort in de Lek bij Rotterdam.

## Effecten van ijs

Vóór 1850 kwamen regelmatig overstromingen voor in Nederland door ijs op rivieren. Na 1850 zijn veel normalisatiemaatregelen en dijkver-

### IN 'T KORT - ONDERZOEK

- Onderzoek uitgevoerd naar effecten van ijs op waterstanden van rivieren
- Ijs kan op rivieren leiden tot hoog- en laagwaterproblemen
- Effecten: ijsdikte, ijsruwheid, 'bergings-effect' en afvoerdeling bij splitsingen
- Dynamisch model berekent waterstroming onder zich ontwikkelend ijsdek



IJs in Nederland in februari 2012.

teringen uitgevoerd en werden steeds vaker ijsbrekers ingezet. Dit heeft ervoor gezorgd dat er sinds 1890 geen grote overstromingen meer hebben plaatsgevonden door ijsvorming. Onderzoekers hebben in het verleden al gewaarschuwd voor het effect van de Deltawerken op

ijsafvoer. Bovendien brengt het programma Ruimte voor de Rivier meer dynamiek terug in de rivier, onder andere door de aanleg van nevengeulen. Hierdoor kunnen problemen door ijs toenemen. Op dit moment is hier echter nog weinig over bekend. Daarom heeft Rijkswater-

staat de opdracht gegeven onderzoek te doen naar de effecten van ijs op waterstanden.

Ijs beïnvloedt de waterstand op vier manieren. Ten eerste bevindt 90 procent van het ijs zich onder de waterspiegel, vanwege het geringe dichtheidsverschil tussen water en ijs. Dit deel van de ijsdikte neemt de plaats van het water in en moet bij de waterstand worden opgeteld.

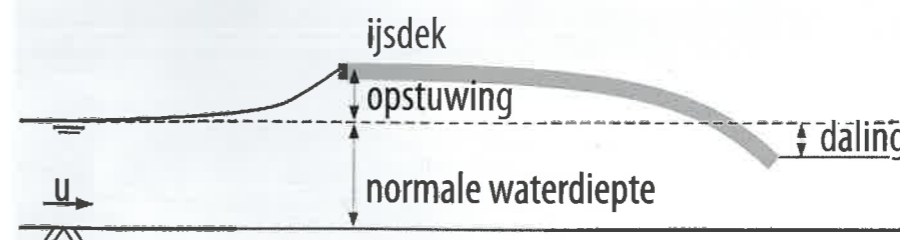
Ten tweede heeft het vaste ijsdek wrijving met het wateroppervlak en zorgt daardoor voor een lagere stroomsnelheid en een grotere waterdiepte. Als het ijs even ruw is als de bodem, betekent dit een waterdieptestijging van circa 25 procent. Ijs is echter vaak ruwer, waardoor de waterstand nog verder toeneemt. Historische metingen op de Waal laten zelfs een verdubbeling van de waterdiepte onder het ijs zien.

Het derde effect is het zogenaamde 'bergings-effect'. Zolang het ijsdek langer wordt, zorgt dit 'bergings-effect' ervoor dat de waterstand lager blijft dan verwacht op basis van de ijsdikte en ruwheid. Het water wordt namelijk tijdelijk geborgen in de waterstandstijging en wordt voorsnog niet afgevoerd. Het debiet en dus ook de waterstand nemen hierdoor af. Bij een aangroeiend ijsdek blijft de waterstand op een stroomopwaarts verschuivend deel van de rivier stijgen, waardoor het bergingseffect vele dagen kan aanhouden. Als het ijsdek smelt, komt het geborgen water weer vrij en stijgt de waterstand.

Tot slot beïnvloedt ijs de afvoerdeling bij riviersplitsingen, waardoor de waterstand verder daalt onder een ijsdek en stijgt op andere, ijsvrije riviertakken. Een voorbeeld hiervan is de winter van 1963, toen op de Waal een ijsdek lag en de waterstand werd opgestuwd, terwijl de Nederrijn ijsvrij was. Er stroomde daardoor meer water richting de Nederrijn, zodat de waterstand bij het splitsingspunt weer gelijk was voor beide rivieren. Op de Waal werd het debiet en dus ook de waterstand daardoor lager.

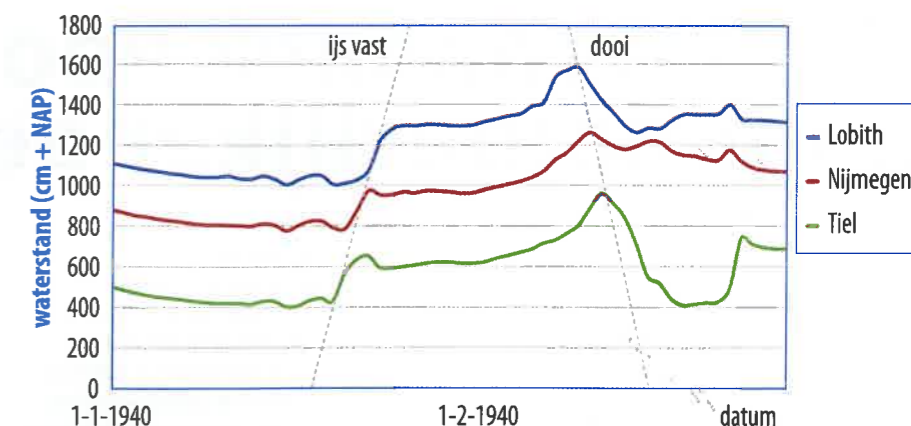
## Modelleren van ijs

Deze vier effecten verklaren waarom de waterstand door ijsvorming zowel kan stijgen als dalen. In 1963 zorgde een veranderde afvoerdeling samen met het bergingseffect voor een afvoer bij Rotterdam equivalent aan 450 m<sup>3</sup>/s bij Lobith, terwijl dit onder normale omstandigheden 800 tot 900 m<sup>3</sup>/s zou zijn. Dit lage debiet leidde tot zoutindringing op de Lek. Hetzelfde ijsdek zorgde bovenstrooms bij Arnhem en Nijmegen voor een opstuwung van circa 2 meter.



## IJSDEK

Schematisch zijaanzicht van een riviersectie waarop een ijsdek aanwezig is. Onder het ijs is er opstuwung van het water, door de ruwheid en dikte van het ijs, benedenstrooms is er een daling van het water door het bergingseffect en de veranderde afvoerdeling.



## WATERSTANDEN

Waterstanden in januari en februari 1940 op drie plaatsen langs de Rijntakken: Lobith, Nijmegen en Tiel. De linker stippellijn volgt de opstuwung op plaatsen waar het ijs vastraakt. Aan het eind van de hoogwaterperiode (links van de rechter stippellijn) is een sterke stijging van het water te zien door smeltwater. De helling van de stippellijnen geeft aan dat het ijsdek zich voortplante met een snelheid van circa 1 km/uur.

Om voorspellingen te kunnen doen van het effect van ijs op de waterstand is – voor het eerst in Nederland – een dynamisch model gebouwd dat waterstroming onder een zich ontwikkelend ijsdek berekent. Het model bestaat uit twee onderdelen. Het eerste onderdeel beschrijft de waterbeweging met als uitgangspunt de een-dimensionale ondiep-watervergelijkingen, rekening houdend met de extra druk en wrijving door het ijsdek. De aanname hierbij is dat het ijs vrij op en neer kan bewegen met de waterstand.

Het tweede onderdeel van het model beschrijft de ijsontwikkeling. Transport- en empirische vergelijkingen voor het aanvriezen van ijs beschrijven hierbij de snelheid waarmee een ijsdek aangroeit. Het startpunt van het model is het tijdstip waarop ijs zich net heeft vastgezet.

In het verleden gebeurde dit vastzetten vaak in scherpe bochten en in het gebied waar de getijde-invloed nog net merkbaar is. Bij stroomsnelheden van typisch 0,8 m/s of hoger kunnen zich ijsdammen vormen. Hierbij worden ijschotsen onder een bestaand ijsdek getrokken, zodat het ijs dikker en ruwer wordt. In 1940 zijn op deze manier ijsdiktes van 0,5 tot 0,8 meter gemiddeld bereikt, met lokaal zelfs ijsdiktes van 4 meter.

## Modelresultaten

Het model laat realistische opstuwungen in de orde van 2 meter zien bij parameterwaarden die

overeenkomen met waarden in de literatuur. De eerste twee effecten van ijs, ijsvolume en ruwheid van het ijs, zijn in het model opgenomen als parameters, waarbij ijsruwheid de meeste invloed heeft op de waterstand. Uit Amerikaanse experimenten blijkt dat deze parameters gekoppeld zijn, omdat de ijsruwheid toeneemt met de ijsdikte; ijsdammen zijn ruwer dan de dünnere ijsdekken. Het correct bepalen van de kritische snelheid waarbij ijsdammen ontstaan, is daardoor dus belangrijk voor het voorspellen van de opstuwung.

Door de koppeling van ijsontwikkeling en waterstandberekeningen is het model ook in staat het derde effect, het bergingseffect, te reproduceren. Het vierde effect, de veranderende afvoerdeling, is niet opgenomen in het model, omdat het model nog niet werkt met riviernetwerken.

Bovendien laat het model zien dat de stroomsnelheden onder realistische omstandigheden zowel dünnere ijsdekken als dikkere ijsdammen kunnen doen ontstaan, zodat een deel van de natuurlijke variatie in ijsdiktes is te verklaren.

Het ontwikkelde model in deze studie is een eerste stap in het voorspellen van waterstanden onder een ijsdek. Om een verdere verfijningsschik te kunnen maken in het model, is het zaak dat ook meer gedetailleerde metingen van waterstanden en ijsdiktes bekend zijn. Dit vereist historisch onderzoek. Het verdient aanbeveling om hierin meer inzicht te krijgen, temeer omdat afgelopen winters hebben laten zien dat strenge vorstperiodes niet tot het verleden behoren.

Youri Dijkstra is student Civiele Techniek en Technische Wiskunde aan de Universiteit Twente. Sonja Ouwerkerk is werkzaam bij HKV Lijn in Water. Pieter Roos is verbonden aan de Universiteit Twente, afdeling Water Engineering & Management. Met dank aan onderzoeksbegeleider dr. R.M.J. Schielen (Rijkswaterstaat en Universiteit Twente).