

De opstuwung van water door vegetatie in de uiterwaarden leidt tot grote onzekerheid over de waterstand tijdens pieken in de Rijn en Maas. Met hoogtemetingen vanuit de lucht kan de opstuwung echter goed berekend worden. Dat helpt het effect van beheersmaatregelen in de uiterwaarden te vertalen naar veiligheid.

Gereedschap voor uiterwaardenbeheer

Bepaling van de vegetatieruwheid met laseraltimetrie

Nederland leeft met water', maar dat water wordt wel geacht netjes buitendijks te blijven en Gods akkers voorbij te stromen. De Nederlandse rivierbeheerder staat dan ook voor een complex probleem. Klimaatverandering leidt tot een stijgende zeespiegel en hogere piekafvoeren in de Rijn en Maas. De verwachte inklinking

van de bodem bedraagt voor 2100 zo'n halve meter in een belangrijk deel van het delta-gebied. Om de veiligheid te garanderen moeten de dijken hoog en sterk genoeg zijn. Vroeger werd de vereiste dijkhoogte bepaald aan de hand van de hoogst gemeten waterstand plus een meter extra voor de zekerheid. Dat blonk uit in eenvoud, maar zei niets over

het effect van nieuwe ingrepen in het rivieren-gebied. Wat nu als we hier een nevengeul graven in de uiterwaarden? Hoe hoog komt het water als we de dijk verplaatsen? Om de dijkhoogten te bepalen wordt de waterbeweging daarom tegenwoordig gemodelleerd met een tweedimensionaal stromingsmodel van de rivieren. Dat vergt gedetailleerde en nauwkeurige informatie over de bodemhoogte en de ruwheid van de rivierbodem en de uiterwaarden. Fouten in de ruwheidsdata kunnen leiden tot een verkeerde voorspelling van de waterstanden tijdens hoogwater en daarmee is direct de veiligheid in het geding. Om veranderingen in de uiterwaarden goed bij te houden wordt in Nederland alle modelinvoer in een vijfjaarlijkse cyclus bijgewerkt.

Vegetatieruwheid en onzekerheid

De wrijving die het water ondervindt wanneer het over een oppervlak stroomt, heet de hydrodynamische ruwheid. Vergelijk het met schuurpapier. Glad schuurpapier geeft weinig wrijving, grof schuurpapier veel. Zo is het ook met de vegetatie in de uiterwaarden. Een weiland is hydrodynamisch gezien glad en heeft dus een lage ruwheid, terwijl een bos of riet een hoge ruwheid geeft. Bij een hoge ruwheid stroomt het water langzamer door de uiterwaarden. Aangezien dezelfde hoeveelheid rivierwater afgevoerd moet

worden kan het niet anders dan dat de waterstand daardoor stijgt. Vanuit veiligheidsoogpunt is het dus het best om alleen weilanden in de uiterwaarden te hebben en al het bos, struweel, ruigte en riet weg te halen. Maar vanwege de biodiversiteit en landschappelijke kwaliteit kiezen we ervoor dat niet doen. We proberen dus twee doelen tegelijk te reali-

seren: veiligheid en ruimtelijke kwaliteit. Voor het bepalen van de veiligheid is modelleren een veelgebruikt gereedschap. Bij ingrepen in het rivierengebied mag de waterstand niet meer dan 2 millimeter stijgen.

De vegetatieruwheid wordt bepaald door de vegetatiehoogte en -dichtheid. Hoe hoger en dichter de vegetatie, des te groter de ruw-

De bomen langs de Waal bij de Bisonbaai in de Ooijpolder zijn gekapt door Rijkswaterstaat. Zo heeft de Waal bij hoge waterstand meer ruimte.

heid en de wateropstuwung. Deze vegetatieparameters worden ruimtelijk in beeld gebracht door aan de ecotopenkaart labels te hangen. Deze werkwijze heeft een aantal nadelen. Het is een dure methode vanwege de handmatige classificatie van ecotopen. Daarbij zijn de labels een versimpeling van de variatie in vegetatiestructuur die je in werkelijkheid ziet. Het effect van fouten in de ecotopenkaart op de voorspelde waterstand kan oplopen tot meer dan 50 centimeter. Rijkswaterstaat is daarom al in 1999 begonnen met een proef om ruwheidsparameters sneller en nauwkeuriger te bepalen.

Laseraltimetrie

In de jaren 70 is een nieuwe techniek ontwikkeld om de hoogtemetingen uit te voeren met een laserafstandsmeter, de zogeheten laseraltimetrie. In de loop van jaren 90 kwamen er commerciële toepassingen op de markt en op dit moment is laseraltimetrie de meest gebruikte methode van hoogtemetingen in Nederland. Tussen 1996 en 2003 is heel Nederland voor het eerst ingevlogen met een punt dichtheid van één punt per 16 vierkante meter voor het Actueel Hoogte-model Nederland (AHN). Op dit moment wordt een veel gedetailleerder landsdekkend bestand ingewonnen met een dichtheid van tien punten per vierkante meter.

Laseraltimetrie werkt met drie instrumenten: een GPS om de positie van het vliegtuig te bepalen, traagheidsnavigatie (INS) voor de oriëntatie van het vliegtuig en een laserafstandsmeter om de afstand te bepalen tussen de scanner en de aarde. De afstandsmeter meet de tijd tussen het wegsturen en opvangen van een laserpuls (figuur 1). Sommige laserpulsen worden gereflecteerd op de bodem en andere op de vegetatie, huizen of andere objecten. Dit geeft een virtuele puntenwolk van laserdata. Figuur 2 toont een deel van de puntenwolk van de Afferden en Deestsche uiterwaard. Op de voorgrond loopt een zomerkade het beeld in. Links zit een gat in de puntenwolk, omdat daar een plas ligt en water laserpulsen niet goed reflecteert. Op de achtergrond staan bos en een hoogspanningsmast.

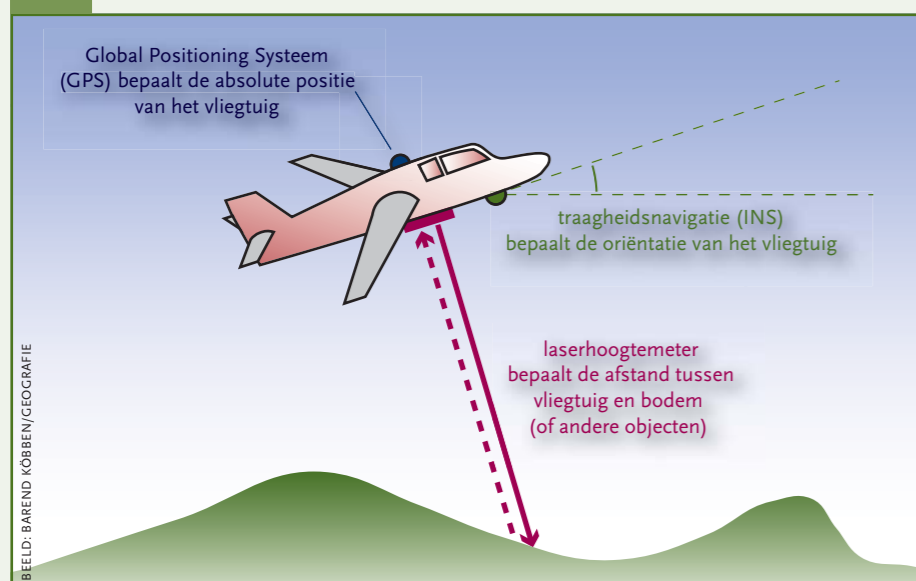
Ruwheidsparameters uit laserdata

De eerste stap om de vegetatiestructuur uit een puntenwolk af te leiden is het bepalen van de bodemhoogte. Dat komt neer op het

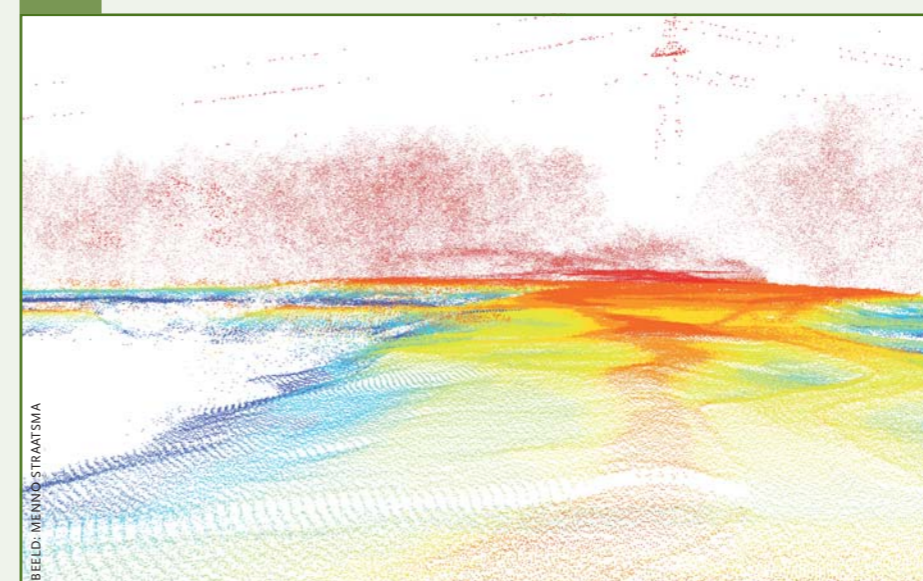


FOTOS: FLIP FRANSEN/HOLLANDE HOOGTE

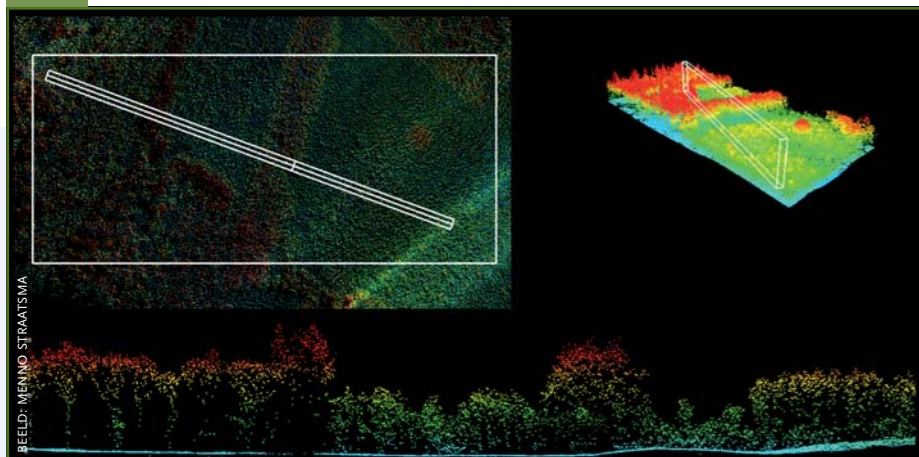
Figuur 1: Het principe van laseraltimetrie



Figuur 2: Puntenwolk van de Afferden en Deestsche Waarden gekleurd met de hoogte.



Figuur 3: Laserdata van het bos van Fortmond in Duursche Waarden bij Olst aan de IJssel



filteren van punten die vanaf de bodem weerkaatsen. In het algemeen vertegenwoordigen de laagste punten de bodem. Het profiel in figuur 3 laat dat goed zien. Het wordt moeilijker de bodem goed te meten als de vegetatie erg dicht is en weinig laserpulsen de bodem halen. Dan kunnen er grote gaten vallen in het bodemmodel en veel filters zijn dan geneigd vegetatiepunten als bodem te classificeren. Ook op weilanden is het lastig te bepalen waar de bodem precies ligt. De ervaring leert dat een bodemmodel op basis van laseraltimetrie een overschatting geeft van de bodemhoogte van ongeveer 5 tot 10 cm voor vlakke landschappen.

Lage vegetatie als weiland, ruigte en stoppels van de maïsoogst is nog steeds te detecteren met laseraltimetrie. Figuur 3 geeft de puntenwolk van ruigte vlakbij Olst aan de IJssel in de vorm van een driedimensionaal beeld en een dwarsdoorsnede. De kleine stengels van de ruigte zijn lastig te detecteren vanwege het kleine oppervlak dat laserenergie terugkaatst. Toch kan de vegetatiehoogte goed worden voorspeld. Daarvoor wordt eerst de bodemhoogte van de punthoogte afgetrokken, waardoor de puntenwolk wordt 'genormaliseerd.' Daarna worden verschillende statistieken van de verticale puntenverdeling gebruikt in eenvoudige regressiemodellen om de vegetatiehoogte en dichtheid te voorspellen. De fout in de voorspelling van vegetatiehoogte bedraagt ongeveer 15 cm; voor dichtheid is de nauwkeurigheid wat lager.

Bij dit onderzoek bedroeg de ruis van de laserdata ongeveer 4 centimeter (standaarddeviatie). Hiermee was het goed mogelijk om riet en ruigte in te meten, maar voor weilanden met een grashoogte van zo'n 6 centimeter in

Ondanks de hoge nauwkeurigheid wordt laseraltimetrie nog niet gebruikt in de vijfjarige monitoringscyclus

de winter is dat nog erg onnauwkeurig. De nieuwste scanners zijn al een stuk preciezer, de ruis is nog maar 1,5 centimeter en dat opent de mogelijkheden om ook voor weilanden een goede voorspelling te doen. Dit is onderdeel van lopend onderzoek aan het ITC.

Bossen

Bossen geven een hoge ruwheid, omdat de hele waterkolom wrijving ondervindt van de stammen. Daarom is maar zo'n 5% van de uiterwaarden bedekt met bos. Het meeste bos bevindt zich op stroomluwe plekken waardoor de opstuwingsbeperkt is, maar dat geldt zeker niet voor al het bos. In de Millingerwaard, stroomopwaarts van Nijmegen, had het wilgenbos zich zo ver ontwikkeld dat de opstuwings onaanvaardbaar werd geacht en gekapt moest worden. Dat onderstreept de noodzaak van goede monitoring.

Laseraltimetrie is goed in staat bomen te detecteren. Voor de ruwheid is ook de ondergroei in het bos van belang, want die veroorzaakt eveneens wrijving. Figuur 3 geeft een bovenaanzicht, een driedimensionale puntenwolk en een dwarsprofiel door een uiterwaardenbos, Fortmond, nabij Olst. Om de dichtheid van het bos te bepalen kijken we naar het aantal bodempunten dat nog te zien is. Deze methode is vergelijkbaar met hoe je op het oog de dichtheid van het bladerdak van een bos schat. Hoe minder je ziet van de lucht, des te hoger de dichtheid moet zijn. Zo kunnen we de dichtheid schatten in alleen het onderste deel van het bos, precies daar waar tijdens piekafvoeren het water stroomt.

Implementatie en beleid

Ondanks de hoge nauwkeurigheid van de voorspelling van de vegetatiestructuur wordt laseraltimetrie nog niet gebruikt in de vijfjarige monitoringcyclus. Dat heeft verschillende oorzaken. Aan de technische kant levert de bewerking van de laserdata voor modelinvoer nog problemen op, want de empirische relaties zijn nog niet stabiel genoeg om toe te passen zonder herhaalde calibratie. Ook geeft laseraltimetrie voor weilanden nog geen be-

troubaar resultaat en is de bepaling van de dichtheid van heggen nog niet onderzocht. Laseraltimetrie geeft daarnaast grote datasets en de verwerking vergt veel van het werkgeheugen en de opslagcapaciteit van computers.

Aan de beleidskant is ook nog veel onduidelijk. De classificatienauwkeurigheid van de ecotopenkaart is nog onderdeel van discussie en dan hebben we het nog niet over hoe precies de vegetatiestructuur ingemeten moet worden. Omdat er geen streefwaarde is voor de nauwkeurigheid, is ook niet duidelijk of de inzet van laseraltimetrie nodig is. De relatie tussen nauwkeurigheid en de onzekerheid in de voorspelling van de waterstanden wordt op dit moment onderzocht door het ITC en ingenieursbureau HKV Lijn in Water.

Wat te doen, nu we dit allemaal kunnen en weten? Verruigen van een weiland leidt tot een verhoging in de waterstand van maximaal 10 centimeter. Laten we de uiterwaarden verruigen ten bate van de biodiversiteit en de ecologische hoofdstructuur en compenseren we de stijging van de waterstanden met de aanleg van nevengeulen? Wat is deze natuur ons waard? Wat mag het kosten om ruimtelijke kwaliteit te waarborgen in een dichtbevolkt en rijk land? Deze appels en peren liggen op het bord van een hele reeks betrokkenen, zoals Rijkswaterstaat, het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, gemeenten, waterschappen, natuurbeheerders, Europese Unie en wetenschappers. Rijkswaterstaat stelt grenzen aan de effecten op de waterstand, maar hoe de uiterwaarden eruit komen te zien bepalen we met z'n allen. Laseraltimetrie kan daarbij een nuttig instrument zijn om snel en nauwkeurig de opstuwings te berekenen. •

Bron

- Straatsma, M. 2007. *Hydrodynamic roughness of floodplain vegetation: Airborne parameterization and field validation*. PhD thesis, Utrecht University. Te vinden op <http://igitur-archive.library.uu.nl/dissertations/2007-1010-203654/index.htm>

Henk Donkers

Sectie geografie, planologie en milieu,
Radboud Universiteit Nijmegen

de rijn



De Duitsers zijn enorm blij met de spectaculaire verbetering van de zalmstand door de gezamenlijke inspanning van overheid, bedrijven, scholen en burgers voor herstel van het ecosysteem in de Rijn. Deze kanjer werd opgevisst uit de Sieg, een zijrivier die door Noord-Rijnland-Westfalen en Rijnland-Palts stroomt.

Internationaal beheer Rijn is succesverhaal

In de jaren 70 was de Rijn 'het grootste riool van Europa'; nu is het een relatief schone rivier. Zelfs de zalm is teruggekeerd en schiet weer kuit in de zijrivieren. Spil in de succesvolle internationale samenwerking was de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR) die dit jaar zestig jaar bestaat.

De Rijn kent een lange geschiedenis van achteruitgang en nog maar korte geschiedenis van vooruitgang en herstel. De neergang begon in de Romeinse tijd, het herstel met het Rijnactieprogramma (RAP) dat in 1987 werd aangenomen na een milieuramp in het jaar ervoor die nagenoeg alle vissen tussen Basel en Hoek van Holland het leven kostte.

Van nature is de Rijn stroomafwaarts van Basel een breed uitwaaiende laaglandrivier (behalve tussen Bingen en Bonn) met een

overvloed aan vissen, vogels en planten. In de top van het ecosysteem van de Rijn zit de zalm waarop de Kelten en Romeinen al visten. Deze roofvis stelt hoge eisen aan het ecosysteem: als hij verdwijnt is er iets grondig mis met dat systeem, als hij terugkeert is dat een teken van herstel. Vandaar dat de zalm een hoge symbolische waarde heeft.

De neergang van het ecosysteem van de Rijn begon met het kappen van de bossen langs de Rijn en zijn zijrivieren. Dat gebeurde al in de Romeinse tijd, en in de middeleeuwen

is dat in versterkte mate en op grote schaal doorgegaan. In die tijd werden in de zijrivieren ook de eerste watermolens gebouwd waarvoor stuwen werden aangelegd. Trekvissen als de zalm konden daardoor moeilijker stroomopwaarts zwemmen naar hun paaiplassen. Veel paaiplassen werden ook verwoest toen men in de 18de eeuw de zijrivieren ging gebruiken voor houttransporten. Hierdoor en ook door de overbevissing liep de zalmstand achteruit. In 1885 werd nog een recordvangst geregistreerd, maar waarschijnlijk werd de achteruitgang gemaskeerd door verbeterde vangstechnieken. Daarna ging het snel bergafwaarts. Na 1935 stelde de eens belangrijke riviervisserij op zalm niets meer voor.

Menselijke ingrepen

Grote invloed op het ecosysteem hadden ook de menselijke ingrepen in de loop van de