
Water- en stofbalansen: betrouwbaar of drijfzand?

Koen van der Hauw¹

In watersysteemanalyses en effectbepalingen zijn water- en stofbalansen een belangrijk onderdeel. De ervaring van veel waterschappen is echter dat het moeilijk is om stofbalansen voldoende sluitend te krijgen. Mogelijk worden daardoor niet de meest effectieve maatregelen gekozen. Inzicht in de onzekerheden van de diverse balansposten is van belang om dit te verbeteren. De STOWA heeft daarom het initiatief genomen een tool te laten ontwikkelen om onzekerheidsanalyses van stofbalansen uit te voeren. Met deze tool kan de foutenvoortplanting in een balans analytisch worden door-gerekend, ook voor ontbrekende waarden. De tool is eind 2012 gereed gekomen en wordt beschikbaar gesteld door de STOWA via www.modelwalhalla.nl

Inleiding

Waterbalansen en stofbalansen zijn eenvoudige en robuuste overzichten om de relatieve en absolute verhoudingen van de verschillende water- of stofstromen binnen een bepaald gebied en binnen een bepaalde periode weer te geven. Meestal gaat het om debieten voor de waterbalans en vrachten voor de stofbalans. Vaak wordt onderscheid gemaakt tussen ingaande en uitgaande stromen. Een algemene formule hiervoor is:

$$I - U - \Delta B = S \quad (1)$$

Waarbij:

I : De som van alle ingaande water- of stofstromen gedurende de balansperiode.

U : De som van alle uitgaande water- of stofstromen gedurende de balansperiode.

ΔB : De bergingsverandering, de hoeveelheid water of stof die gedurende de balansperiode in het balansgebied geborgen wordt.

S : De sluitpost, het verschil tussen in- en uitstromen en bergingsverandering.

Er zijn vele mogelijke bronnen of balanstermen voor de diverse water- of stofstromen. Om de balans overzichtelijk te houden worden de balanstermen gegroepeerd in balansposten, bijvoorbeeld neerslag, inlaat, drainage, kwel, onttrekking, retentie, etc. Iedere balanspost kan één of meerdere bronnen bevatten. Balansen geven per balanspost de stroomrichting en hoeveelheid water of stof per balansperiode. Het resultaat van een

¹ Grontmij B.V. (koen.vanderhauw@grontmij.nl)

balans zijn de berekende balanstotalen per balanspost en de berekende sluitpost over een bepaalde periode. In een foutloze balans is de sluitpost 0. Balansen zijn van groot belang om (eventueel ontbrekende) water- of stroomstromen goed in beeld te krijgen.

Bij het opstellen van balansen worden in de praktijk debieten, concentraties en vrachten op verschillende manieren geschat. Vooral geschatte concentraties bevatten een onzekerheid in de tijd en ruimte. Maar ook vrachten gebaseerd op literatuuronderzoek of op jaarvrachten uit de database van de Emissieregistratie kennen grote onzekerheden. De ervaring van veel waterschappen is dan ook dat het moeilijk is om stofbalansen sluitend te krijgen. Voor een juiste analyse is het daarom gewenst een indicatie te hebben van de mate waarin de berekende waarden afwijken van de werkelijke waarden. Met een onzekerheidsanalyse van water- en stofbalansen kan in beeld worden gebracht welke posten de hoogste onzekerheid vertonen en voor een grote onzekerheid van de gehele stofbalansen zorgen. Door gericht aanvullend onderzoek te doen naar deze posten, kunnen de balansen worden verbeterd en kan bijvoorbeeld de effectiviteit van emissie-beperkende maatregelen beter worden geschat.

De tool

Door een consortium van Grontmij, KWR en ECOSTAT is in opdracht van de STOWA een tool, genaamd SigmaB (Van der Hauw e.a., 2012), ontwikkeld voor Excel (zie afbeelding 1). Daarmee kan een dergelijke onzekerheidsanalyse worden uitgevoerd, zowel op regionaal als lokaal schaalniveau. De tool is geschikt voor willekeurige stoffen, willekeurige balansposten en kan balansen voor willekeurige perioden maken. De invoer van de balans is op dagbasis en voor iedere dag en balansterm wordt een waarde en een onzekerheid vastgelegd. Als waarde kan een debiet, concentratie, hoeveelheid (bijvoorbeeld aantal boten), vracht per hoeveelheid of (jaar)vracht worden ingevoerd.

Balansgegevens

Balansnaam: Guarles van Ufford koper
 Projectdirectory: \balansen\Tool\SigmaB\Excel\Test\Balansen\Qv\JA

Balansmetadata

Balansperiode start: 01-04-2005
 Balansperiode eind: 31-03-2006
 Balansoppervlak: 5560000,00 m²

Reeksen beheren

Balanpost	Balansterm	Type	In/Ut
Neerslag	Radaren\NMI\water	debiet	In
Neerslag	Radaren\NMI\water	concentratie	In
Verdamping	Water	debiet	Ut
Verdamping	Water	concentratie	Ut
Inlaat	rijkse sluis	debiet	In
Inlaat	blauwe sluis	debiet	In
Inlaat	de aspert	debiet	In
Inlaat	betenlaan	debiet	In
Inlaat	betenlaan_A	debiet	In
Inlaat	gemaal 1 haasje	debiet	In
Inlaat	stuw 1 haasje	debiet	In
Inlaat	betenlaan_A	concentratie	In
Inlaat	betenlaan	concentratie	In
Inlaat	blauwe sluis	concentratie	In
Inlaat	de aspert	concentratie	In
Inlaat	gemaal 1 haasje	concentratie	In
Inlaat	rijkse sluis	concentratie	In
Inlaat	stuw 1 haasje	concentratie	In
Uitlaat	Gemaal Guarles van Ufford	debiet	Ut

Voorbewerking

Interval per: hydr. halfjaar

Afbeelding 1: Screenshot van SigmaB.

Vanwege de diversiteit van alle soorten metingen, berekeningen en schattingen die aan een balans ten grondslag liggen, zijn beperkingen gesteld aan de functionaliteit van de tool. In de huidige versie dient de gebruiker zelf de verwachte (meet)fouten in te voeren. Deze kunnen gebaseerd worden op specificaties van leveranciers van meet-apparatuur, op literatuur, eigen foutenanalyses of schattingen. De tool zal onvolledige reeksen opvullen (zie verderop dit artikel), de onderliggende reeksen van balansposten combineren tot vrachten (in geval van stofbalansen) en sommeren per balanspost. Vervolgens zullen de balanspostreeksen gesommeerd worden over perioden die de gebruiker aangeeft. De opgegeven instromen blijven daarbij gescheiden van de uitstromen. Tijdens de stappen wordt steeds berekend hoe de onzekerheden in de invoergegevens zich voortplanten in de balansberekening. Vervolgens wordt de sluitpost per periode berekend en worden sluitposten, totalen per balanspost en alle bijbehorende onzekerheden gepresenteerd in tabelvorm.

Methode voor foutenvoortplanting

Bij het bepalen van statistische kengetallen van een bepaalde variabele is het altijd van belang een beeld te hebben van de onderliggende statistische verdeling die de variabele heeft. Wanneer onterecht bepaalde eigenschappen van een variabele worden aangenomen, kunnen de resultaten van de statistische analyse invalide zijn. Het blijkt dat veel gegevens uit het waterbeheer onder andere de volgende eigenschappen hebben:

- Een ondergrens van nul: negatieve waarden zijn niet mogelijk.
- De aanwezigheid van uitbijters voor de hoge waarden.
- Rechts-scheef verdeeld (de verdeling heeft aan de rechterkant een langere staart dan links).

Dit soort gegevens is niet-normaal verdeeld, in tegenstelling tot wat vaak wordt aangenomen. In dit project is daarom uitgegaan van lognormaal verdeelde gegevens, een aanname die over het algemeen veel beter past bij de aard van de gegevens in het waterbeheer. Er is gekozen om de foutenvoortplanting analytisch te berekenen vanwege de korte rekentijd. Het statistische deel van de methode is hiervoor analytisch uitgewerkt (Van der Hoeven, 2012a en 2012b en Bierkens, 2011), gebaseerd op de methode van Bierkens (1996).

De methode is grofweg in staat de volgende soorten reeksen te verwerken:

- Volledige reeksen (waarin voor iedere dag van de balansperiode een waarde beschikbaar is).
- Onvolledige reeksen zonder autocorrelatie.
- Onvolledige reeksen met sterke autocorrelatie.
- Reeksen van één meting die verdeeld moet worden over de dagen van het jaar.

In alle gevallen kan rekening worden gehouden met eventuele correlatie tussen reeksen.

Fout en onzekerheid

De (*meet*)fout is het verschil tussen de werkelijke en veronderstelde (gemeten, berekende of geschatte) waarde van een variabele. De onzekerheid van een veronderstelde waarde

geeft een interval waarbinnen deze waarde in werkelijkheid waarschijnlijk valt. Als een veronderstelde waarde wordt opgevat als een continue stochastische variabele dan is een veel gebruikte maat voor de onzekerheid de standaardafwijking van die variabele. In SigmaB is iedere (som)waarde van een balanspost een stochastische variabele B^* , als schatter voor de werkelijke (som)waarde b . SigmaB berekent hiervan de verwachte waarde $\mu_b = E[B^*]$ en de standaardafwijking $\sigma_b = SD(B^*)$.

In SigmaB wordt aangenomen dat alle individuele variabelen van de balans lognormaal verdeeld zijn. De centrale limietstelling is echter een belangrijke regel in de statistiek die stelt dat de som van een groot aantal onafhankelijke stochastische variabelen met een willekeurige, maar identieke kansdichtheidfunctie bij benadering normaal verdeeld is. De schatter B^* voldoet waarschijnlijk niet aan deze eis omdat de gesommeerde variabelen niet dezelfde kansdichtheidfunctie hebben. Daarnaast zijn de individuele termen in de sommaties niet onafhankelijk. Maar uit de statistiek is eveneens bekend dat als het aantal variabelen dat gesommeerd wordt maar groot genoeg is, de kansdichtheidfunctie bij benadering normaal verdeeld is.

Er geldt nu dat, gegeven de gebruikte berekeningsmethoden en de kwaliteit van de meetwaarden, de werkelijke waarde b van de balanspost met een kans van 95% ligt tussen de grenzen $\mu_b - 2 \cdot \sigma_b$ en $\mu_b + 2 \cdot \sigma_b$. Het interval $[\mu_b - 2 \cdot \sigma_b, \mu_b + 2 \cdot \sigma_b]$ wordt ook wel het *95%-betrouwbaarheidsinterval* van de balanspost genoemd. Gesteld kan worden dat, gegeven de kwaliteit van de invoer, het berekende interval in 95% van de gevallen de werkelijke waarde b van de balanspost zal bevatten. De onzekerheid van de balanspost wordt in dit geval daarom gedefinieerd als $2 \cdot \sigma_b$. SigmaB berekent tevens de standaardafwijking van de sluitpost σ_s . Als de bergingsverandering expliciet in de balans wordt meegenomen en de sluitpost als resultaat van de balans wordt gezien zoals in de balansformule (1), kan op analoge wijze de onzekerheid van de balans gedefinieerd worden als $2 \cdot \sigma_s$.

Toevallige en systematische fouten

Bij de invoer van fouten in SigmaB worden de toevallige fouten gescheiden van de systematische fouten. Het is essentieel dat de beide typen onzekerheden worden opgegeven, anders kan de foutenvoortplanting niet correct worden berekend. Systematische fouten zullen namelijk door de hele reeks hetzelfde doorwerken, terwijl de toevallige fouten in een reeks elkaar uiteindelijk min of meer uitmiddelen. De tool dwingt de gebruiker zo tot nadenken over de kwaliteit van de ingevoerde gegevens.

De *toevallige fout* is aanwezig als volledige willekeurige ruis rondom de werkelijke waarde. De oorzaak is bijvoorbeeld fysische ruis of een afleeson nauwkeurigheid. Deze fout is zichtbaar wanneer meerdere metingen van de dezelfde variabele op hetzelfde moment worden uitgevoerd. De werkelijke waarde van de variabele zal steeds hetzelfde zijn, maar door de toevallige fout zullen de gemeten waarden toch verschillen. De toevallige fout wordt meestal gegeven als standaardafwijking van de individuele meetwaarde. In SigmaB kan de toevallige fout als gemiddelde absolute of relatieve standaardafwijking worden opgegeven.

Een *systematische fout* is van toepassing op alle meet- of afgeleide waarden en is steeds hetzelfde. Systematische fouten komen vooral voor wanneer iedere keer op dezelfde wijze een waarde wordt bepaald. Een voorbeeld is een fout in het gebiedsoppervlak waarmee het neerslagdebiet wordt bepaald of in de ijkfout van een meetapparaat. De exacte systematische fout is niet bekend, want anders zou met een ijkprocedure voor die fout gecorrigeerd kunnen worden. De systematische fout wordt in SigmaB opgegeven als de vermoedelijke procentuele afwijking (met een kans van bijvoorbeeld 90%) tussen de in SigmaB gebruikte en de werkelijke waarde.

Ik geef een voorbeeld van het onderscheid tussen toevallige en systematische fouten. Er is neerslag gemeten (in millimeters) op een locatie in de buurt van water. Vervolgens is berekend welk volume neerslag in het water terecht komt. Mogelijke foutenbronnen zijn nu (niet volledig):

- Een meetfout in een regenmeter door meetruis. Dit geeft een toevallige fout, de afwijking rond de werkelijke waarde is immers willekeurig.
- Een meetfout in een regenmeter door een ijkfout. Dit geeft een systematische fout, de ijkfout zal immers bij iedere meting voor de zelfde afwijking zorgen.
- Een meetfout in het aflezen van de regenmeter. Dit geeft een toevallige fout omdat de ene keer te hoog en de andere keer te laag wordt afgelezen. Er zal ook een systematische fout zijn wanneer de aflezer door bijvoorbeeld een consequente slordigheid altijd te laag afleest.
- Een fout bij het opvullen van ontbrekende meetwaarden. Dit geeft een toevallige fout omdat de werkelijke neerslag waarschijnlijk zal schommelen rondom de geïnterpoleerde neerslag. Wanneer de regenmeter echter vooral slecht functioneert tijdens bijvoorbeeld zeer natte perioden, zal de geïnterpoleerde neerslag een systematische onderschatting geven.
- Een fout bij de omrekening van neerslag op plaats A (de locatie van de regenmeter) naar locatie B (het water) door ruimtelijke interpolatie. Dit geeft een toevallige fout omdat de werkelijke neerslag waarschijnlijk zal schommelen rondom de berekende neerslag. Wanneer de neerslag op locatie B echter systematisch groter of kleiner is dan op locatie A, is ook een systematische fout aanwezig.
- Een fout bij de omrekening van het aantal millimeters neerslag naar kubieke meters. Hierbij wordt uitgegaan van een bepaald oppervlak waarop de neerslag valt. Het werkelijke oppervlak zal daar waarschijnlijk iets van afwijken. Omdat in de berekening steeds hetzelfde oppervlak wordt gebruikt, resulteert een systematische fout.

Correlatie tussen reeksen

Als een meetreeks in verschillende balanstermen wordt gebruikt, dient voorkomen te worden dat onzekerheden dubbel worden geteld. SigmaB neemt daarom een eventuele correlatie, of (lineair) verband, tussen de fouten van verschillende variabelen mee in de bepaling van de foutenvoortplanting. Het gaat hierbij om de correlatie tussen (*meet*)fouten en niet tussen (*meet*)waarden. De waarden van twee reeksen kunnen namelijk wel een bepaald verband in de tijd hebben, maar de fout in de waarneming hoeft dat niet te hebben. Ik geef twee voorbeelden om dit te verduidelijken:

- a. Stel de volgende reeks is gemeten {1; 2; 3; 4; 5; 5; 4; 3; 2; 1}. Dan zit er weliswaar een duidelijk verband in de waarden van deze reeks, maar de meetfouten kunnen

onafhankelijk van elkaar zijn. Dan hebben de bijbehorende meetfouten toch een correlatie van nul.

- b. Stel de concentratie is gemeten in een beek bovenstrooms van een vertakking. Het debiet is benedenstrooms gemeten in beide zijstromen. Voor de vrachtberekening van beide zijstromen wordt dezelfde gemeten concentratie gebruikt. Stel dat de gemeten concentratie door een ijkfout bijvoorbeeld systematisch 30% van de werkelijke waarde afwijkt. Die fout van 30% maak je op alle dagen en voor beide vrachtreksen. Daardoor is de fout van dag 1 en dag 365 binnen iedere reeks afzonderlijk en van beide reeksen onderling gecorreleerd.

De gebruiker dient in de huidige versie de correlatie tussen reeksen zelf op te geven. Als vuistregel kan gebruikt worden dat er tussen verschillende reeksen vaak geen correlatie is, behalve als de reeksen (deels) op vergelijkbare wijze tot stand zijn gekomen. Binnen één reeks is er meestal wel autocorrelatie. Een uitzondering hierop vormen reeksen waarbij het meetinterval groter is dan de periode waarbinnen autocorrelatie optreedt (meetinterval > correlatielengte). Dit controleert SigmaB zelf.

Ruimtelijke interpolatie

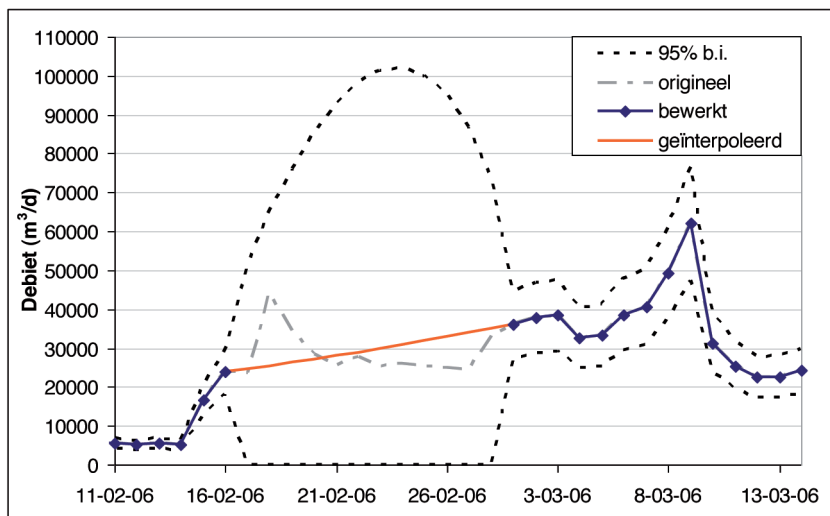
De belangrijkste beperking van de huidige versie van de tool is dat de onzekerheid van ruimtelijke interpolatie of aggregatie niet wordt bepaald. Als balansposten geconcentreerde fluxen zijn, zoals bij inlaat- en uitlaatpunten of bij punten waar het effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties wordt geloosd is dat geen probleem. Maar vele stoffluxen zijn diffuus, zoals de uitspoeling van stikstof of aanvoer van chloride door kwel. De fluxen zijn dan meestal slechts op een beperkt aantal punten in het gebied bekend en dienen geaggregeerd te worden om iets over het totale balansgebied te zeggen. De fout die hierbij gemaakt wordt valt niet te verwaarlozen. Dit onderdeel is niet in de eerste versie van de tool opgenomen en de gebruiker dient deze fout vooralsnog buiten de tool om zelf te schatten. De resulterende reeks inclusief fout kan vervolgens worden ingevoerd in SigmaB. Relevant is overigens dat de fout bij ruimtelijke interpolatie toeneemt, maar dat ruimtelijke aggregatie de fout juist verkleint doordat het toevallige deel van de fout deels wordt uitgemiddeld.

Enkele voordelen

Onvolledige reeksen

Een belangrijk voordeel van SigmaB is dat reeksen met ontbrekende waarden automatisch kunnen worden opgevuld en de fout van de opgevulde waarden wordt geschat (Van der Hoeven, 2012a). Eén van de grootste onzekerheden bij stofbalansen ontstaat immers door de beperkte meetfrequentie van chemische parameters en de schatting van de waarde voor de tussenliggende perioden. Het opvullen van ontbrekende waarden door SigmaB gebeurt met lineaire interpolatie of met een reeksgemiddelde. Wanneer er zeer weinig (meet)waarden zijn of als de correlatie in de reeks zeer klein is, wordt het reeksgemiddelde gebruikt. De onzekerheid van de opgevulde waarden wordt onder andere gebaseerd op de variatie van de beschikbare (meet)waarden binnen de reeks.

Een reeks met weinig variatie in de gemeten waarden, zal vermoedelijk ook weinig variatie kennen gedurende de periode met ontbrekende waarden. De lineair geïnterpoleerde waarden zullen dan ook een relatief kleine onzekerheid hebben. De onzekerheid van opgevulde waarden wordt meestal onterecht buiten beschouwing gelaten. In afbeelding 2 is bijvoorbeeld zichtbaar hoe de met SigmaB berekende onzekerheid al zeer groot wordt middenin een periode met slechts tien ontbrekende waarden en relatief beperkte meetfouten.



Afbeelding 2: Lineaire interpolatie door SigmaB van een inlaatdebiet en het berekende corresponderende 95%-betrouwbaarheidsinterval. De bewerkte meetreeks is verkregen door uit de originele meetreeks ter illustratie 10 meetwaarden te verwijderen. De toevallige fout is in dit voorbeeld geschat als 10% en is hier gegeven als de absolute waarde van de variatiecoëfficiënt (de standaarddeviatie gedeeld door de gemiddelde meetwaarde). De systematische fout is in dit voorbeeld ook 10% en geeft de vermoedelijke procentuele afwijking (met een kans van 90%) tussen de geschatte en de werkelijke waarde. Het betrouwbaarheidsinterval is berekend op basis van de in SigmaB per dag berekende standaarddeviatie.

Gevoeligheidsanalyse

Meestal zijn de meetfouten van meetreeksen niet exact bekend. De tool werkt echter ook wanneer schattingen van de meetfouten worden ingevoerd. Vanwege de relatief korte rekentijd is het praktisch goed mogelijk diverse scenario's met verschillende schattingen van de meetfouten door te rekenen en de verschillen in beeld te brengen en op deze wijze een gevoeligheidsanalyse van de (meet)fout van een bepaalde parameter uit te voeren.

Sluitpostanalyse

Als de bergingsverandering expliciet in de balans wordt meegenomen zoals in balansformule (1), kan de sluitpost als maat voor de kwaliteit van de waterbalans worden opgevat. Er kan dan worden getoetst of de berekende sluitpost S^* , als schatter van de

werkelijke sluitpost s (dus zonder toevallige schattingsfouten), het gevolg is van toevallige schattingsfouten of dat er een systematische fout wordt gemaakt in de balans. Dit komt neer op het toetsen of s significant afwijkt van 0. In statistische termen:

H_0 : nulhypothese: $s=0$, d.w.z. er is géén systematische afwijking in de balans.

H_1 : alternatieve hypothese: $s\neq 0$, d.w.z. er is een systematische afwijking in de balans.

De nulhypothese wordt verworpen als geldt dat $S^* \notin [-2\sigma_s, 2\sigma_s]$, dus als de waarde van de schatter verder dan twee standaardafwijkingen van 0 af ligt. De alternatieve hypothese, namelijk dat er een systematische afwijking in de de balans is, wordt nu geaccepteerd. De kans dat ten onrechte wordt geconcludeerd dat de berekende sluitpost een systematische afwijking heeft, is nu kleiner dan 5%.

Als de nulhypothese wordt verworpen, is er een aanzienlijke systematische fout in één of meer geschatte termen of zijn niet alle balanstermen opgenomen in de waterbalans. Dit kan een reden zijn om de berekening van de balanstermen nader te bekijken of te herhalen. Eventueel moet worden uitgekeken naar betere meet- of berekeningsmethoden. De resultaten voor de sluitpost kunnen dus worden gebruikt als een soort waarschuwingsinstrument voor de berekende balans. Een andere mogelijkheid is om de sluitpost te gebruiken als schatter voor een onbekende balansterm, zoals de kwel. In de handleiding van SigmaB (Van der Hauw e.a., 2012) zijn de mogelijkheden van een sluitpostanalyse nader toegelicht.

Cases

Als test zijn drie concrete cases uitgewerkt (Pomarius e.a., 2012):

- De Hupselse Beek, een stroomgebied in het beheersgebied van Waterschap Rijn en IJssel en één van de best bemeten stroomgebieden van Nederland;
- Zuidpolder Delfgauw, een polder in Delfland, een relatief klein en geïsoleerd gebied;
- Quarles van Ufford, een groot stroomgebied in het beheersgebied van Waterschap Rivierenland, dat goed is bemeten en waarvoor al meerdere stofbalansen zijn opgesteld.

SigmaB bleek een nuttig hulpmiddel om de belangrijkste balansposten te identificeren en de onzekerheid te bepalen. Voor de Hupselse Beek bleek de onzekerheid in de water- en chloridebalans vooral het gevolg van fouten in de schatting van kwel en buisdrainage en veel minder als gevolg van fouten in de geschatte aanvoer van oppervlaktewater. Voor Zuidpolder Delfgauw bleek de sluitpost van de gekalibreerde stofbalans vrij klein, maar de onzekerheid groot. Het sluiten van de balans laat in dit geval een hoge mate van schijnzekerheid zien, die zonder onzekerheidsanalyse niet zichtbaar wordt gemaakt. De tool maakte inzichtelijk dat de onzekerheid van de sluitpost vooral wordt veroorzaakt door de balanspost drainage. Door deze balanspost nader te onderzoeken kan de stofbalans mogelijk worden verbeterd.

hydr. halfjaarbals	hydr. zomer			hydr. winter		
	Verwachte vrucht (kg)	SD (kg)	SD (%)	Verwachte vrucht (kg)	SD (kg)	SD (%)
Neerslag	4,9	0,6	12	3,0	0,4	13
Inlaat	63,7	4,4	7	33,7	2,7	8
Kwel	0,4	0,0	10	0,3	0,0	10
Drainage	0,0	0,0	#N/B	0,0	0,0	#N/B
Overstort	0,5	0,1	18	0,2	0,0	19
Lozing	1,1	0,1	5	2,8	0,1	4
RWZI	3,8	0,1	3	3,7	0,1	3
Verkeer	1,8	0,1	4	1,7	0,1	4
Landbouw	27,8	2,4	9	78,5	7,4	9
Subtotaal IN	104,0			123,9		
Verdamping	0,0	0,0	#N/B	0,0	0,0	#N/B
Uitlaat	-81,9	9,3	11	-97,8	10,9	11
Wegzijing	-0,6	0,0	8	-0,9	0,1	8
Infiltratie	-14,4	1,3	9	-2,4	0,2	9
Subtotaal UIT	-96,9			-101,1		
Sluitpost	7,1	10,6		22,8	13,4	
Relatieve sluitpost	7%			18%		

Afbeelding 3: De koperbalans voor de case Quarles van Ufford als uitvoer van SigmaB. De onzekerheid is gegeven als standaarddeviatie in de vorm van een absolute vrucht (kg) en als variatiecoëfficiënt (%)

Afbeelding 3 toont voor Quarles van Ufford de resulterende stofbalans. De grootste onzekerheid is hier gevonden voor de balanspost overstort. Gezien de zeer kleine bijdrage aan de totale inpost (0,5 kg op een totaal van 104 kg) lijkt het echter niet nuttig energie te steken in het verkleinen van de onzekerheid van deze balanspost.

De bergingsverandering en retentie zijn in de balans van Quarles van Ufford niet opgenomen als balanspost en zullen dus onderdeel van de sluitpost zijn. De inposten zijn hier groter dan de uitposten. Het ligt dan voor de hand te concluderen dat er een uitpost, bijvoorbeeld retentie, opgenomen moet worden om de balans sluitend te krijgen. Op basis van de huidige onzekerheidsanalyse is dit echter niet te concluderen. Een sluitpostanalyse laat hier namelijk zien dat de sluitpost niet significant afwijkt van nul. In de balanstabel is te zien dat in de winterperiode de relatief grote onzekerheden van de balansposten landbouw en uitlaat hier een belangrijke rol in spelen. Slechts als deze balansposten nauwkeuriger worden bepaald (dus met een kleinere onzekerheid), kunnen uitspraken over het al dan niet ontbreken van retentie of andere balansposten worden onderbouwd. Eenzelfde redenering geldt voor de zomerbalans.

Discussie

Water- en stofbalansen zijn van groot belang om water- of stofstromen goed in beeld te krijgen. Het is duidelijk dat het voor een goede beoordeling van balansen cruciaal is de onzekerheden mee te nemen in de analyse. SigmaB biedt hier ondersteuning voor. Van gebruikers van de tool wordt echter nog steeds gevraagd zich te verdiepen in de relatief complexe, statistische foutenanalyse om zowel de verdeling van de invoergegevens als de fout bij ruimtelijke interpolatie te bepalen. Dit kan zowel als een bezwaar als een

voordeel worden gezien. Meer kennis van de meetfouten vereist meer kennis van meet- en afgeleide processen en daarmee ongemerkt vaak ook van het onderzochte systeem in kwestie.

Er wordt dan ook gesteld dat met de huidige versie van SigmaB een belangrijk deel wordt verzorgd van de onzekerheidsanalyse van balansen. Het is namelijk niet triviaal hoe onzekerheden in de invoer doorwerken naar het balansresultaat. In dit artikel zijn de diverse aspecten daarvan besproken en zijn voorbeelden gegeven van de mogelijkheden van de tool. Door de functionaliteit van SigmaB kan de energie nu gericht worden op het bepalen van systematische en toevallige fouten voor de invoerreeksen van een balans.

Het blijkt overigens dat niet iedereen tot dezelfde fouten komt bij vergelijkbare invoerreeksen. Zo wordt in de waterbalans de fout voor de balanspost verdamping bij de Hupselse Beek geschat als 10% systematisch en 20% toevallig. Voor Zuidpolder Delfgauw is dit 20% respectievelijk 5% en voor Quarles van Ufford 55% respectievelijk 15%. Dit kan grotendeels verklaard worden door verschillen in schaalgrootte van het balansgebied, verschillen in onzekerheden rondom het oppervlak open water en verschillen in afstanden tot meetlocaties. De geïntroduceerde fouten door omrekening van millimeters naar kubieke meters en door ruimtelijke interpolatie zullen daardoor verschillend zijn per case. Al deze verschillen maken het echter lastig om de resultaten van de onzekerheidsanalyse te beoordelen. Het verdient daarom aanbeveling aanvullend onderzoek uit te voeren naar fouten van (meet)waarden voor water- en stofbalansen en hier richtlijnen voor op te stellen. Een goede aanvulling voor de tool zou daarom een module voor ruimtelijke interpolatie zijn in combinatie met een preprocessing wizard voor het bepalen van de toevallige en systematische fouten van de meest voorkomende balansposten.

Conclusies

Voor een goede beoordeling van water- en stofbalansen is het van groot belang onzekerheden mee te nemen in de analyse. Op verzoek van de STOWA is daarom de tool SigmaB ontwikkeld. Deze tool verzorgt onder andere de foutenvoortplanting bij het maken van een balans en het daarvoor noodzakelijke opvullen van onvolledige reeksen. Daarmee is een stap gezet naar het analyseren en kwantificeren van de onzekerheid in balansstudies. Uit de cases die zijn uitgevoerd blijkt dat het een nuttig hulpmiddel is bij het bepalen van de grootte van de fout van balansposten. De tool geeft onder andere inzicht in de balansposten die de grootste onzekerheid vertonen en waarvoor gericht aanvullend onderzoek nodig is. Daarnaast wordt de gebruiker genoodzaakt na te denken over de gebruikte gegevens en corresponderende onzekerheden, wat op zich al grote winst is. De tool SigmaB is door de STOWA ter beschikking gesteld via www.modelwalhalla.nl

Dankwoord

Het project is uitgevoerd in opdracht van de STOWA en begeleid door een commissie bestaande uit Hella Pomarius (Waterschap Rivierenland), Durk Klopstra (STOWA), Ronald

Bakkum (Hoogheemraadschap van Delfland), Joost Heijkers (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden), Frans de Bles (Waterschap Veluwe), Arnoud Soetens (Waterschap Peel en Maasvallei) en Annemarie Kramer (Waterschap Rijn en IJssel). Ik wil Nelly van der Hoeven bedanken die veel energie heeft gestoken in de statistische uitwerking van de methode. Marc Bierkens wil ik bedanken voor de toestemming om delen van zijn artikel (Bierkens, 1996) te mogen gebruiken. Verder wil ik mijn collega's van Grontmij en de redactie van Stromingen bedanken voor de waardevolle suggesties voor dit artikel.

Literatuur

Bierkens, M.F.P. (1996) Foutenanalyse in waterbalansstudies; DLO-Staring Centrum, Wageningen, Rapport 460.

Bierkens, M.F.P. (2011) Evaluatie van methode SigmaB, Onzekerheden in stofbalansen; Universiteit Utrecht, bij SigmaB 1.0 op www.modelwalhalla.nl.

Pomarius, H., M. Maessen, A. van Loon en K. van der Hauw (2012) SigmaB Uitwerking Cases, beschrijving van drie balansgebieden; Grontmij B.V., bij SigmaB 1.0 op www.modelwalhalla.nl.

Van der Hauw, K., N. van der Hoeven en M. Hehenkamp, (2012) Handleiding SigmaB: onzekerheden in stofbalansen; Grontmij B.V., GM-0068049, bij SigmaB 1.0 op www.modelwalhalla.nl.

Van der Hoeven, N. (2012a) Aanpak preprocessing SigmaB; ECOSTAT, versie 4, bij SigmaB 1.0 op www.modelwalhalla.nl.

Van der Hoeven, N. (2012b) Aanpak centrale gedeelte SigmaB; ECOSTAT, versie 3, bij SigmaB 1.0 op www.modelwalhalla.nl.