

VERGELIJKING VAN ENKELE SCHATTINGSMETHODEN VOOR DE ACTUELE VERDAMPING



RAPPORT

2014

18

VERGELIJKING VAN ENKELE SCHATTINGSMETHODEN
VOOR DE ACTUELE VERDAMPING

RAPPORT

2014

18

ISBN 978.90.5773.630.8



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS
Ruben Caljé (Artesia)
Frans Schaars (Artesia)
Joost Heijkers (HDSR)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2014-18
ISBN 978.90.5773.630.8

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

TEN GELEIDE

“Te veel en te weinig water”

De waterschappen hebben de opdracht om samen met gemeenten en Rijkswaterstaat, zowel wateroverlast als watertekorten te voorkomen. De waterbalans speelt daarbij een belangrijke rol: hoeveel water komt het gebied binnen, hoeveel water gaat er uit en wat is nodig om overlast of tekorten te voorkomen? Neerslag en verdamping zijn de belangrijkste componenten van de waterbalans.

Het waterbeheer vraagt voor het operationeel beheer en de planvorming in toenemende mate om adequate en actuele gegevens van deze balanstermen. STOWA voert in vervolg op de studie ‘Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer (STOWA 2009)’ een aantal onderzoeken uit om de noodzakelijke kennis te leveren. Het gaat enerzijds om het beschikbaar maken van de meteorologische gegevens via een kennisbank, de zogenaamde Meteobase, en anderzijds om de ruimtelijke vertaling van deze informatie.

Ongeveer tweederde van de jaarlijkse neerslag verdampt. Deze verdamping kent een sterk seizoensverloop en is daarnaast afhankelijk van de vegetatie en de hydrologische conditie van het gebied. De invloed van het verdampingsproces op de waterbalans is daarom zeer groot, maar ook lastig te bepalen. Om een goede inschatting van de verdamping te maken zijn diverse methoden beschikbaar. Het is belangrijk om te weten hoe de resultaten van deze methoden zich tot elkaar verhouden. STOWA en het SAT-WATER-consortium hebben opdracht gegeven verschillende methoden met elkaar te vergelijken. Het gaat om data verkregen uit metingen via eddy-correlatie stations, indirecte meetdata verkregen via satellietbeelden en data die zijn afgeleid uit modelberekeningen. De waarden van de satellietbeelden komen over het algemeen redelijk goed overeen met die van de eddy-correlatie metingen. De verschillen tussen de op metingen gebaseerde methoden en de modellen zijn groter: de modellen lijken in droge perioden de verdamping te onderschatten. Bij het onderzoek is gefocust op het in kaart brengen van de verschillen tussen de methoden. Een vervolg onderzoek de oorzaak van de verschillen moeten achterhalen om tot een eenduidige methodiek te komen.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie. Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

VERGELIJKING VAN ENKELE SCHATTINGS- METHODEN VOOR DE ACTUELE VERDAMPING

CONTENTS

	TEN GELEIDE	
	STOWA IN HERT KORT	
1	INLEIDING	1
2	BESCHIKBARE DATA	2
2.1	eLEAF Datacomponenten	2
2.2	Eddy Correlatie data	4
2.3	NHI	4
2.4	HYDROMEDAH	4
2.5	Brabant model	5
2.6	IBRAHYM	5
2.7	Purmerbos data	5
3	RUIMTELIJKE VERGELIJKING	6
3.1	Aanpak	6
3.2	ETLook versus NHI	7
3.3	Andere modellen	9
4	VERGELIJKING TIJDREEKSEN	10
4.1	Aanpak	10
4.2	Resultaten	13
4.3	Andere modellen	14
4.4	ETLook versus Eddy-Correlatie	15
5	CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	16
5.1	Conclusies	16
5.2	Aanbevelingen	16
5.3	Discussie	18
	BIJLAGEN	
1	LITERATUUR	19
2	RUIMTELIJKE FIGUREN	21
3	TIJDSFIGUREN	39

1

INLEIDING

AANLEIDING

Waterschappen zijn op basis van combinaties van grond- en radarwaarnemingen van de neerslag, alsmede model gebaseerde schattingen en satelliet gebaseerde waarnemingen van de actuele verdamping in staat om de hoeveelheid water die via de atmosfeer hun beheergebieden binnenkomt en weer verlaat gebiedsdekkend in beeld te krijgen. Om op dagbasis gebiedsdekkend inzicht in de actuele verdamping en andere via satelliet gebaseerde remote sensing data te verkrijgen is in het jaar 2011 het SAT-WATER consortium opgericht. De SAT-WATER waterschappen (Stichtse Rijnlanden, Aa en Maas, Brabantse Delta, Rijnland, De Dommel, Delftland, Rivierenland en Groot Salland; zie voor meer informatie www.satwater.nl) krijgen dagelijks satellietbeelden binnen, waarmee niet alleen de actuele verdamping, maar ook de gewasgroei en het neerslagoverschot of -tekort gebiedsdekkend in beeld kan worden gebracht. De vraag die nu primair voorligt, is wat de nauwkeurigheid is van de satelliet gebaseerde schattingen van de actuele verdamping, uitgaande van de beschikbare eddy correlatie metingen (Elbers e.a.,). Omdat thans ook onduidelijk is wat de nauwkeurigheid van de model gebaseerde schattingen, ook in relatie tot de satelliet gebaseerde waarden, zullen ook deze vergelijkingen worden uitgevoerd. Via die weg hopen we ook inzicht te krijgen in de mogelijkheden voor complementaire inzet (middels data-integratie) van de diverse databronnen.

DOELSTELLING

Het beschrijven van ruimtelijke en temporele verschillen tussen metingen, modelberekeningen en satelliet-gebaseerde waarden. Daarnaast zullen er ook vergelijkingen worden uitgevoerd tussen de diverse modelberekeningen onderling en de modelberekeningen en de satelliet gebaseerde waarden. Dit zijn nadrukkelijk GEEN validaties, maar vergelijkingen.

De STOWA (met wie het SAT-WATER consortium intensief samenwerkt) en het SAT-WATER consortium hebben aan Artesia gevraagd om deze analyses, in nauwe samenwerking met tal van onderzoekers binnen Nederland, uit te voeren en gezamenlijk tot conclusies en aanbevelingen te komen. Hopelijk ontstaat zo een verbeterd inzicht in de bruikbaarheid van de beschikbare actuele verdamping data bij het uitvoeren van watersysteemanalyses.

DANKWOORD

We bedanken Ab Veldhuizen (WUR), Eddy Moors (WUR), Bert Holtslag (WUR), Fred Bosveld (KNMI) en eLEAF voor het leveren van data en opmerkingen n.a.v. eerdere versies van dit rapport en we bedanken de NHI Wetenschappelijke Klankbordgroep voor het kritisch meedenken over de geconstateerde verschillen tussen de verschillende methoden.

2

BESCHIKBARE DATA

Het bedrijf eLEAF heeft in opdracht van de STOWA en het SAT-WATER consortium via het zogenaamde ETLook algoritme (Bastiaanssen e.a., 2012) satellietdata omgezet in actuele verdampingswaarden voor elke dag en elke 250x250m pixel binnen Nederland.

Deze data is vergeleken met monitoringdata o.b.v. eddy-correlatie metingen op 17 locaties binnen Nederland.

Daarnaast is er ook model gebaseerde data, berekend met de volgende hydrologische model-instrumenten:

- Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI)
- HYDROlogisch Modelinstrumentarium En Data-Archief HDSR (HYDROMEDAH)
- Brabant modellen Deltaplan Hoge Zandgronden
- Integraal Beheersgebiedsdekkend Regionaal HYdrologisch Model (IBRAHYM)

In de volgende paragrafen staat kort een uitleg over deze verschillende soorten data.

2.1 ELEAF DATACOMPONENTEN

SEBAL

Het SEBAL model (Bastiaanssen, 2005, Allen, 2011 en Teixeira de Castro, 2008) wordt gebruikt voor het kwantificeren van verdamping en biomassa aanwas boven landoppervlakten en is het eerste op aardobservatie gebaseerde energiebalans model dat internationaal operationeel wordt toegepast. Hierdoor staat SEBAL aan de basis van vele andere modellen en toepassingen voor de hydrologie en landbouw.

Het model berekent actuele en potentiële evapotranspiratie en droge stof productie van vegetatie. De hiervoor benodigde gegevens worden verkregen uit satellietbeelden aangevuld met klimaatgegevens ingewonnen met weerstations.

De basis van het SEBAL algoritme is de energiebalans, waarmee de actuele verdamping wordt bepaald als het residu van de balans: de latente warmte flux. Vervolgens wordt de biomassa productie bepaald door de hoeveelheid zonnestraling te berekenen dat is gebruikt door het chlorofyl in de plant voor fotosynthese.

Voor deze bepalingen zijn karakteristieken van het aardoppervlak, zoals de reflectiviteit, de vegetatie-index en de temperatuur, en karakteristieken van de atmosfeer en de zon nodig. Deze worden bepaald met behulp van satellietopnames in het zichtbare, thermische en nabije infrarode spectrum van het zonlicht. Daarnaast wordt er informatie over windsnelheid, luchtvochtigheid, zonnestraling en luchttemperatuur ingewonnen met weerstations. Doordat er veel satellieten beschikbaar zijn, is het mogelijk dagelijks berekeningen uit te voeren. Bedekking door wolken werkt wel beperkend, omdat de gebruikte sensoren hier niet doorheen kunnen kijken. Door gebruik te maken van tijdseries van beelden kan dit overvallen worden.

ETLOOK

Het ETLook model (Bastiaanssen e.a., 2012) wordt gebruikt voor de berekening van evapotranspiratie boven landoppervlakten. Hiervoor wordt een verscheidenheid aan aardobservatie beelden gebruikt: beelden in het zichtbare en nabije infrarode spectrum van de MODIS sensor en beelden in het microgolf spectrum van de passieve AMSRE sensor aan boord van de Terra en Aqua satellieten. Met deze en data van weerstations wordt de Penman-Monteith formule voor de bepaling van evapotranspiratie in twee delen opgelost, namelijk voor transpiratie van vegetatie en de evaporatie van de bodem.

Het verschil met andere energiebalans modellen is dat bij ETLook geen gebruik gemaakt wordt van temperatuurbeelden, maar dat bodemvocht als invoer wordt gebruikt. Bodemvocht wordt bepaald met behulp van aardobservatiedata van een passieve microgolfsensor, welke in tegenstelling tot temperatuur ongevoelig is voor wolken. Weliswaar maakt het model gebruik van satellietopnamen in het zichtbare en nabije infrarode spectrum voor het bepalen van de vegetatie index en de reflectiviteit van het aardoppervlak, maar omdat deze karakteristieken minder gevoelig zijn voor wolken en niet zo variabel zijn als temperatuur, wordt door gebruik te maken van tijdseries dit probleem ondervangen.

Hierdoor kan het ETLook model onder alle klimaatsomstandigheden gebruikt worden en is hierdoor geschikt voor kleine en grote gebieden.

Binnen Nederland wordt gebruik gemaakt van aardobservatie technieken voor de schatting van de actuele verdamping binnen de hydrologie maar ook voor de landbouw.

Sinds 2001 berekent eLEAF (voorheen WaterWatch) de actuele verdamping van Nederland, waarbij een tijdreeks vanaf 1995 is opgebouwd. Op basis van diverse satelliet beelden en meteorologische waarnemingen wordt met het SEBAL algoritme de actuele verdamping bepaald. Tevens wordt de referentiegewasverdamping bepaald volgens de internationale standaard methode van Penman Monteith. Ook wordt het neerslagoverschot bepaald; dit is het verschil tussen de neerslag en de actuele verdamping.

Binnen Nederland hebben een aantal waterschappen zich verenigd in het SAT-WATER initiatief. Hierbinnen gebruiken de waterschappen dagelijks data van verdamping, verdampingstekort, neerslagoverschot/tekort en biomassa productie welke is geproduceerd met het ETLook model. Deze data wordt in de HydroNet omgeving van Hydrologic gebruikt voor een aantal hydrologische applicaties. Zo kan deze data veel inzicht bieden in de mate van watergebruik en watertekort in de diverse fasen van het hydrologische en groeiseizoen. Hiermee kan een goede bijdrage geleverd worden aan de besluitvaardigheid bij peilovergangen, het preventief bergen van water, het opstellen van evaluaties voor het peilbeheer en het verbeteren van de communicatie met grondgebruikers, met het uitgangspunt dat beelden meer zeggen dan woorden. Hiermee kan aardobservatie een goede bijdrage leveren aan het optimaliseren van het peilbeheer.

Voor vergelijking hebben we de gegevens van 2006 opgevraagd. Dat jaar is hydrologisch interessant (zeer droog) en heeft de meeste data-overlap met de andere schattingsmethoden.

2.2 EDDY CORRELATIE DATA

In opdracht van STOWA heeft Alterra (Elbers, Moors, & Jacobs, 2009) jaarreeksen van dagelijkse verdamping gecreëerd voor twaalf meetlocaties in Nederland. Hiervoor is gebruik gemaakt van bestaande (micro)meteorologische meetgegevens o.b.v. de eddy correlatie methode (zie b.v. Burba et al, 2010 en de daarin aangehaalde literatuur voor meer informatie). De meetgegevens zijn gecontroleerd op kwaliteit en continuïteit en ontbrekende dagtotalen zijn aangevuld met door een Artificieel Neuraal Netwerk gesimuleerde gegevens. De gecreëerde reeksen van dagelijkse verdamping zijn beschikbaar via: <http://www.climatexchange.nl/projects/verdamping.htm>. Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden heeft de reeksen verder laten uitbreiden, en op 5 extra locaties metingen laten verrichten.

2.3 NHI

Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) is een geïntegreerd landsdekkend grond- en oppervlaktewatermodel van Nederland (Alterra/DHV, 2008). Het doel van het NHI is om hydrologische ondersteuning te bieden aan beleids- en operationele studies op landelijk (en zoveel mogelijk regionaal) niveau. Dit meerjarige project wordt uitgevoerd door het NHI-projectteam (Alterra, Deltares, PBL, KWR) en een groeiend aantal partners (ingenieursbureaus, regionale waterbeheerders en waterleidingbedrijven). Voor elke pixel in het landelijke gebied van Nederland (m.u.v. de waddeneilanden), binnen de periode 1975-2009 kan de actuele verdamping worden berekend. Dit stelt ons in staat om deze data met alle beschikbare eddy-correlatie metingen te vergelijken. In dit onderzoek is NHI 3.0 gebruikt.

2.4 HYDROMEDAH

HYDROMEDAH (TNO, 2009) is het SIMGRO gebaseerde hydrologisch model-instrumentarium van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR), VITENS en de provincie Utrecht. Qua conceptuele opzet lijkt het sterk op andere regionale modellen als MIPWA, IBRAHYM, MORIA en AMIGO, hoewel er meer aandacht is besteed aan het dynamische mee laten rekenen van het oppervlaktewater, alsmede de waterketen. Dit instrument strekt zich uit tot buiten de grenzen van het beheergebied van HDSR en omvat grote delen van de provincies Gelderland, Utrecht en Zuid-Holland. Het bevat tevens grote delen van de waterschappen AGV, Rivierenland, Rijnland, Vallei&Eem en uiteraard geheel HDSR. Binnen het modelgebied komt zowel klei-, veen-, zand- als stedelijk gebied voor, alsmede kwel- en wegzijgingsgebieden, en tal van typen landgebruik. Als zodanig vormt het een mooie dwarsdoorsnede van Nederland en derhalve leent het zicht uitstekend voor een landelijke studie, in combinatie met het NHI. Tenslotte zijn binnen het HDSR beheergebied bovengemiddeld veel Eddy Correlatie verdampingsmonitoring campagnes uitgevoerd, door de hoge concentratie aan onderzoeksgebieden, zoals de onderzoekssite Cabauw, Langbroekerwetering gebied, polder Zegveld en Proefboerderij Zegveld.

Met het HYDROMEDAH instrument kan op basis van drie verschillende concepten de actuele verdamping worden berekend. De HYDROMEDAH verdampingsdata is berekend met drie concepten:

- Makkink [De Bruin, 1987]
- Penman-Monteith [Allen et al., 1998]
- WOFOST [Van Walsum et al., 2012]

2.5 BRABANT MODEL

Het Noord-Brabant model is door Royal Haskoning ontwikkeld voor de drie Brabantse waterschappen en Brabant Water (Royal Haskoning, 2012). Het geohydrologisch model is opgezet in Triwaco. Het model rekent met eindige elementen. Het model werkt volgens het principe van de hydrologische gereedschapskist. Basisgegevens worden opgeslagen volgens een gestandaardiseerde manier. Veranderingen in inzicht of nieuwe gegevens kunnen zo snel verwerkt worden in een nieuw model. De drie Brabantse modellen voor de waterschappen Brabantse Delta, De Dommel en Aa en Maas zijn ten behoeve van de berekeningen voor Deltaplan Hoge Zandgronden eind 2011 samengevoegd tot één provinciedekkend grondwatermodel. De grondwateraanvulling wordt berekend met de FLUZO module.

2.6 IBRAHYM

Het Integraal Beheersgebiedsdekkend Regionaal HYdrologisch Model (IBRAHYM) beschrijft de complete waterhuishouding van Noord- en Midden Limburg ten Noorden van Sittard, van diepe ondergrond tot en met het oppervlaktewater. Het model is gedurende 2007-2009 ontwikkeld door en in opdracht van waterschap Peel en Maasvallei, waterschap Roer en Overmaas, WML en Provincie Limburg i.s.m. de onderzoeksinstituten Deltares en Alterra.

2.7 PURMERBOS DATA

De Purmerdata set is verkregen door gedurende een periode van 10 jaar de waterbalanscomponenten, exclusief de ETact, te monitoren en de ETact aldus als restpost te bepalen. Zie voor meer informatie over de aanpak: http://www.stowa.nl/Upload/publicaties2/mID_4924_cID_3914_37211663_2002-30_waterhuishouding-loofbosaanplant.pdf

3

RUIMTELIJKE VERGELIJKING

3.1 AANPAK

In Bijlage 2 is de verdamping voor elk van de modellen en de satellietdata ruimtelijk weergegeven voor de verschillende maanden van het jaar 2006. Na de figuren van HYDROMEDAH zijn de verdamping in het NHI en de ETLook-data op de schaal van het modelgebied van HYDROMEDAH getekend. Op deze wijze kunnen de modellen beter worden vergeleken. Hetzelfde is gedaan voor het Brabant model en IBRAHYM.

Voor het HYDROMEDAH model is de verdamping berekend m.b.v. MetaSWAP voor elke SVAT-units. Het is bekend welk deel van de oppervlakte van de SVAT-units bij elke MODFLOW cel hoort. Daarom is in de figuren in Bijlage 2 de gemiddelde verdamping in elke MODFLOW cel getekend, waarbij het gemiddelde gewogen is aan de hand van het percentage van de oppervlakte die elke SVAT-unit in de MODFLOW-cel inneemt.

De modellen hebben verschillende tijdstappen, welke in tabel 1 te zien zijn. Om de modellen toch op dezelfde periode te vergelijken worden de tijdreeksen geresampled tot dezelfde tijdreeks. In figuur 1 is hiervan een voorbeeld weergegeven, waarbij 7-daagse data wordt gesommeerd tot maanddata.

TABEL 1 DE TIJDSTAPGROOTTE VAN DE VERSCHILLENDE GEGEVENS

	ETLook	Eddy-correlatie metingen	NHI	HYDROMEDAH	Brabant model	IBRAHYM
Dagen:	1	1	10	1	5	1

FIGUUR 1 EEN VOORBEELD VAN DE SOMMATIE IN DE TIJD

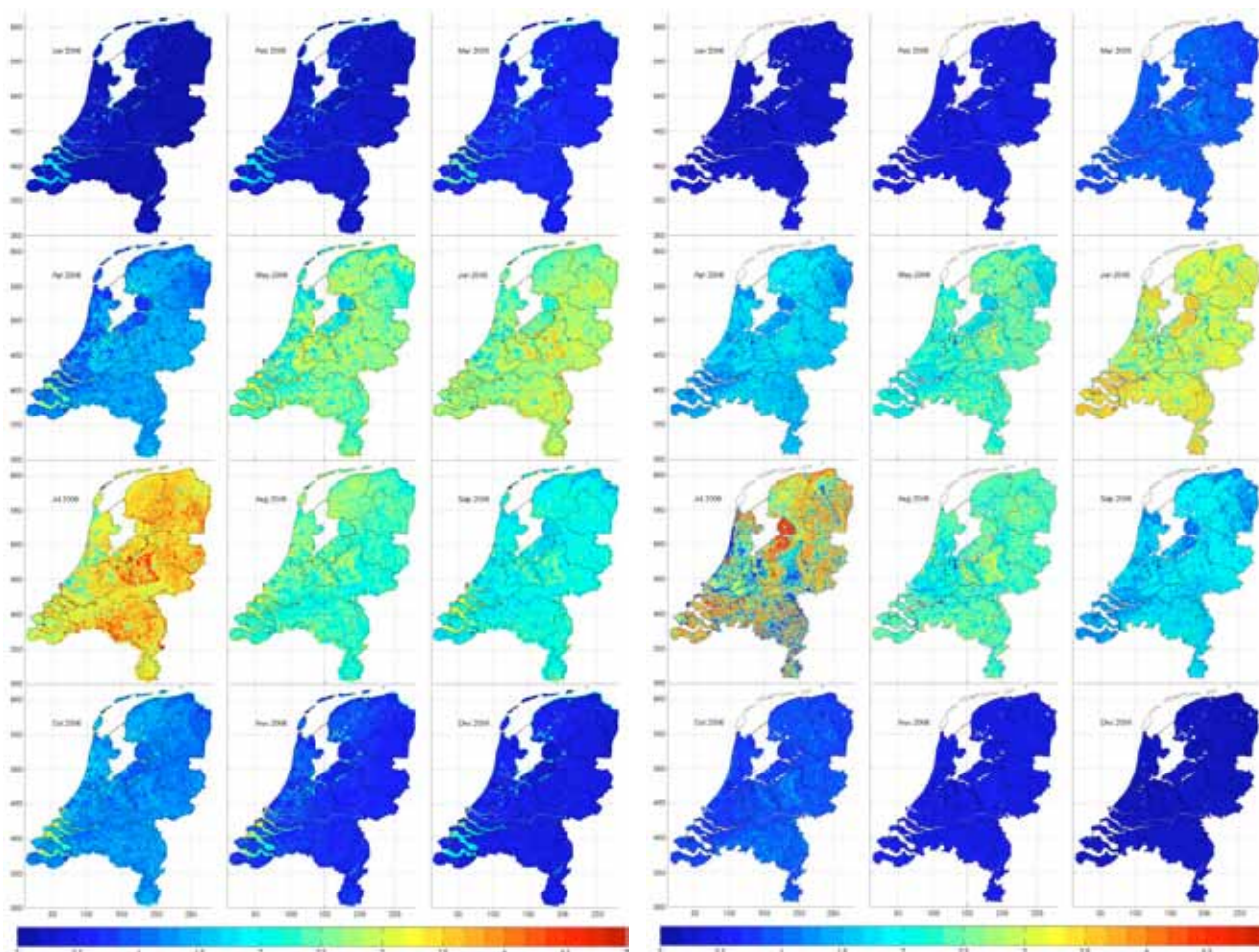


3.2 ETLOOK VERSUS NHI

Bij de ruimtelijke vergelijking is vooral gefocust op de vergelijking van de verdamping van ETLook en het NHI.

In figuur 2 is de verdamping volgens ETLook en die van het NHI, voor de verschillende maanden van 2006, naast elkaar afgebeeld. In Bijlage 2 zijn deze figuren, en die voor de andere modellen, groot afgebeeld. In de verdampings-data uit beide bronnen is de Veluwe goed te zien. De ETLook data geeft wel data voor de wadden-eilanden, terwijl deze niet in het actieve deel van het NHI liggen. In de ETLook data zijn ook de Zeeuwse wateren en ander binnenlands oppervlaktewater meegenomen. De verdamping boven open water geeft een meer geleidelijk beeld dan boven land.

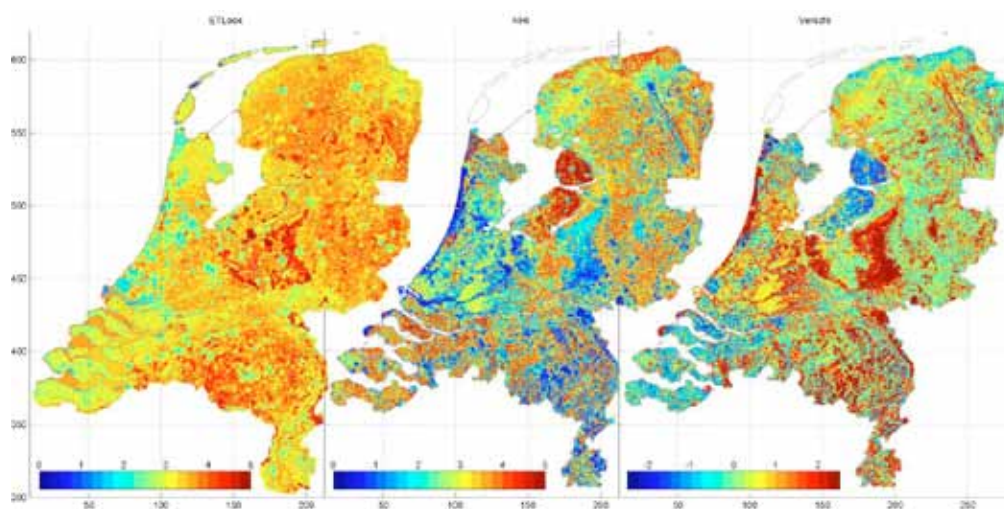
FIGUUR 2 VERGELIJKING VAN DE VERDAMPING IN MM/D VOLGENS ETLOOK (LINKS) EN HET NHI (RECHTS) VOOR DE VERSCHILLENDE MAANDEN VAN 2006



Bij de vergelijking tussen ETLook van 2006 en het NHI valt vooral de maand juli op, een erg droge maand (15 mm neerslag in De Bilt, na 18 mm in juni). Om juli 2006 beter te kunnen vergelijken is de verdamping in deze maand voor beide bepalingmethoden nogmaals in figuur 3 getekend, samen met het verschil. Omdat de ETLook data met een gedraaid grid werkt ten opzichte van het NHI-grid, is, om het verschil te tekenen, de ETLook data naar het NHI-grid omgezet (de waarde van het dichtstbijzijnde beschikbare punt toegekend).

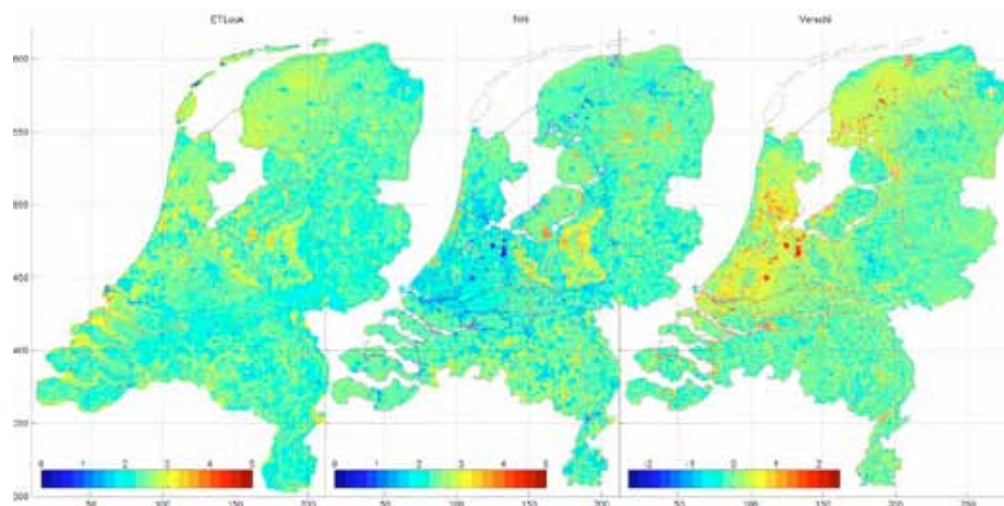
In juli is de verdamping volgens ETLook in heel Nederland hoog (rond 4 mm/d), terwijl in het NHI de verdamping in grote delen van Nederland beperkt is: op de Veluwe, de Utrechtse Heuvelrug, de hoge zandgronden in Noord-Brabant en Hollandse duinen rekent het NHI een lage verdamping, ten opzichte van de ETLook-data. In Flevoland, delen van Zeeland en de noordkust berekent het NHI juist een grote verdamping ten opzichte van de ETLook-data.

FIGUUR 3 VERGELIJKING VAN DE VERDAMPING IN MM/D VOLGENS ETLOOK (LINKS) EN HET NHI (MIDDEN) VOOR JULI 2006, SAMEN MET HET VERSCHIL TUSSEN DEZE TWEE BRONNEN (RECHTS)



Juli 2006 is duidelijk een uitschieter: andere maanden tonen minder grote verschillen. Zo is in figuur 4 de verdamping in beide schattingsmethoden voor de veel nattere maand augustus 2006 (180 mm neerslag in de Bilt) getekend. Buiten een vlek rond de Loosdrechtse plassen, die eigenlijk niet meegenomen mogen worden bij een vergelijking van verdampingsmethoden voor landoppervlak, zijn de verschillen voor deze maand een stuk kleiner.

FIGUUR 4 VERGELIJKING VAN DE VERDAMPING IN MM/D VOLGENS ETLOOK (LINKS) EN HET NHI (MIDDEN) VOOR AUGUSTUS 2006, SAMEN MET HET VERSCHIL TUSSEN DEZE TWEE BRONNEN (RECHTS)



3.3 ANDERE MODELLEN

Over het algemeen lijken HYDROMEDAH en IBRAHYM in opzet en uitgerekende verdamping op het NHI.

De resultaten bij de verschillende verdampings-berekeningsmethoden voor HYDROMEDAH lijken sterk op elkaar. Bij de Wofost en de Penman Monteith berekening zijn de individuele meteorologische stations 'te zien' in de ruimtelijke verdeling, terwijl dit voor de Makkink-berekening veel minder het geval is. Bij het IBRAHYM model is aan de westkant van het model de Nederlandse grens in een aantal maanden van 2006 duidelijk waarneembaar.

Het Brabant model laat eveneens dezelfde patronen zien als het NHI, maar verschilt wat meer met het NHI dan de hiervoor genoemde modellen. Een groot verschil is dat de stedelijke verdamping in het Brabant model een stuk kleiner is. De zones met hoge en lage verdamping zijn voor het Brabant model en het NHI in de droge maand juli 2006 gelijk. ETLook laat in deze periode overal buiten de grote steden een grote verdamping zien (zie onder andere de vorige paragraaf), wat dus duidelijk afwijkt met de modellen.

4

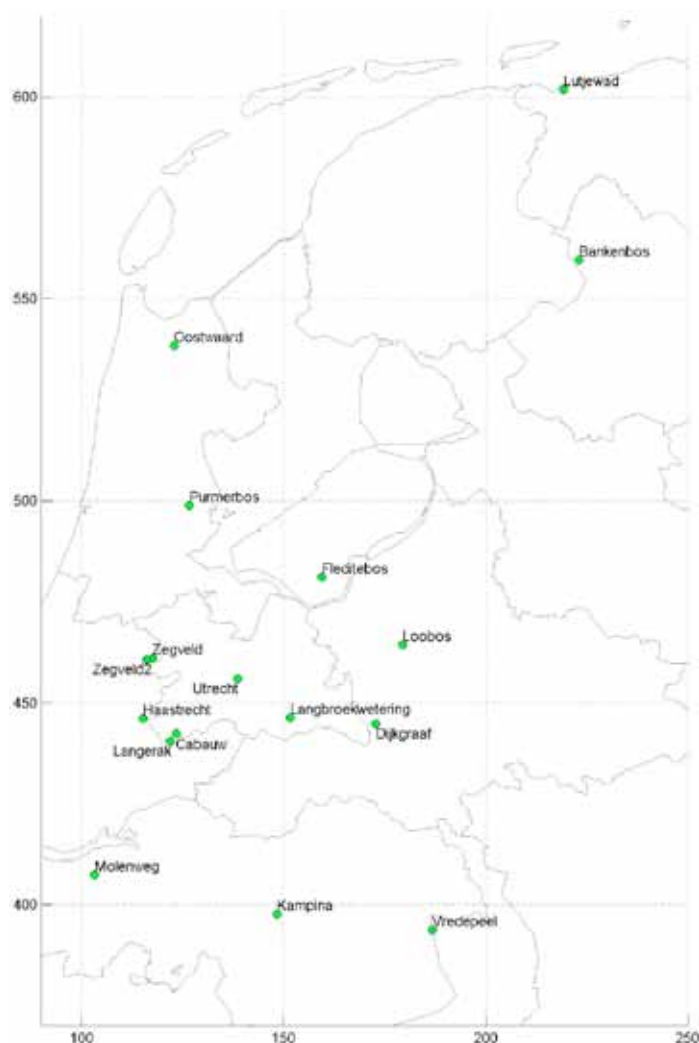
VERGELIJKING TIJDREEKSEN

4.1 AANPAK

Voor 12 meetpunten waar de verdamping wordt gemeten kunnen deze metingen worden vergeleken met de verschillende modellen. De metingen zijn gelezen uit de file 'Actuele_Verdamping_Alterra_A.xls' (<http://www.climatexchange.nl/projects/etact/etact.htm>). De coördinaten van deze 12 locaties zijn te vinden in bijlage 1 van de Alterra rapportage (Elbers, Moors, & Jacobs, 2009). Vervolgens zijn de metingen aangevuld met metingen uit de file 'Actuele_Verdamping_Alterra_B.xls'. De coördinaten van de in deze file aanwezige extra meetlocaties Langbroekwetering, Utrecht, Zegveld en Zegveld2 zijn uit een door HDSR aangedragen shape-file afgeleid. Een nauwkeuriger locatie van het meetpunt Cabauw is ook uit deze shape-file afgeleid. Tenslotte is nog het meetpunt Purmerbos toegevoegd, met data van 1991 tot en met 2000. Alle meetpunten staan afgebeeld in figuur 5.

FIGUUR 5

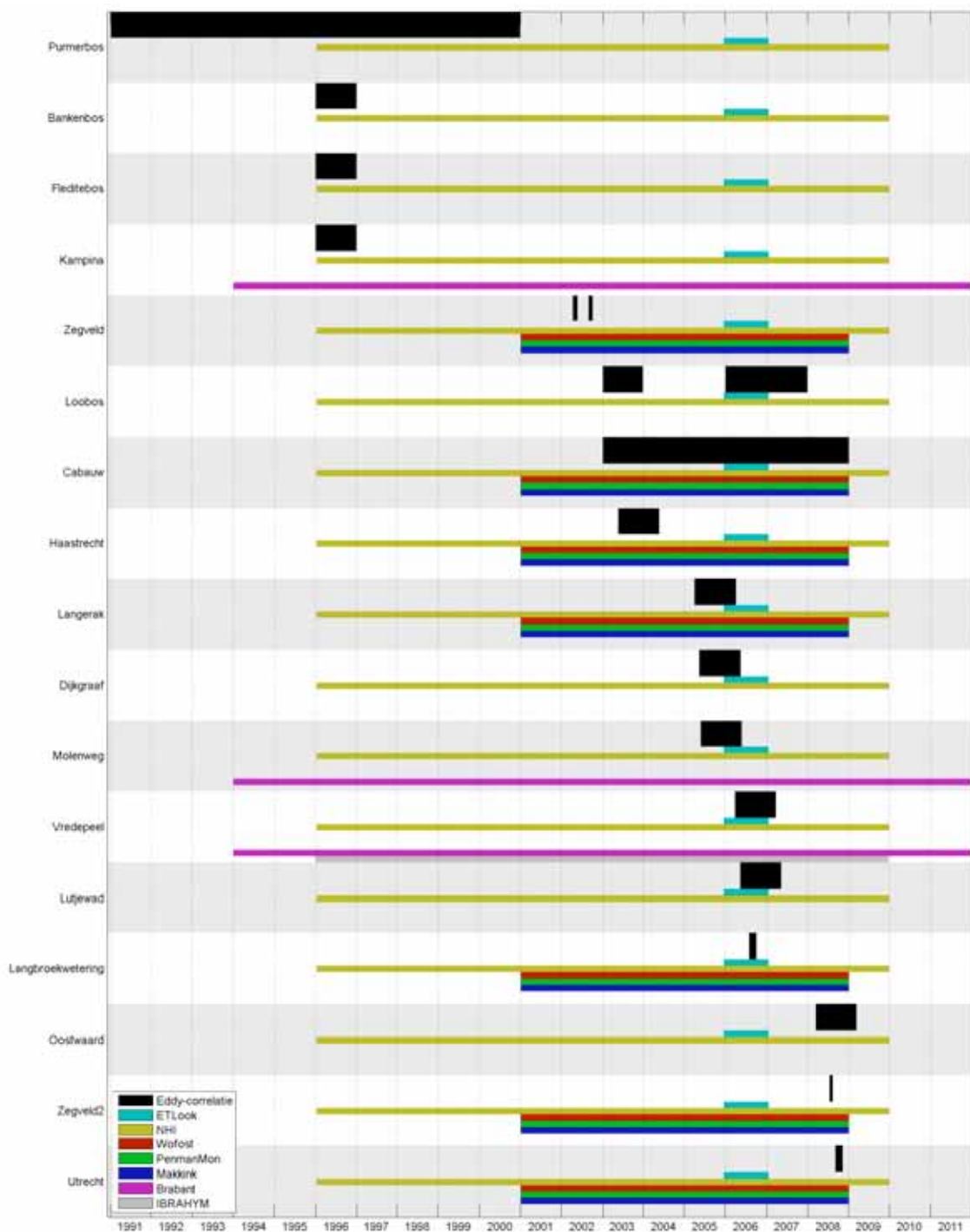
LOCATIES VAN DE EDDY-CORRELATIE MEETPUNTEN



In figuur 6 is de beschikbaarheid van data in de verschillende meetpunten getekend, door middel van gekleurde balkjes. Een balkje is ingekleurd wanneer de betreffende reeks data bevat. In de legenda linksonder is te zien welke kleur bij welke data-bron hoort. De beschikbaarheid van eddy-correlatie metingen is dus met een zwarte kleur aangeduid, HYDRO-MEDAH met verdampingsberekening volgens Wofost met rood, enz. Zo is te zien dat de periode van de eddy-correlatie metingen tussen de meetpunten sterk verschilt. Het is dan ook niet mogelijk om het groeiseizoen van één enkel jaar voor alle meetpunten te vergelijken.

FIGUUR 6

BESCHIKBAARHEID VAN DATA



Voor elk van de meetpunten is een overzichtsfiguur gemaakt, om de voor dit meetpunt beschikbare gegevens te vergelijken. Deze figuren zijn in Bijlage 3 op dezelfde volgorde als in figuur 6, afgebeeld. Deze volgorde is bepaald door de eerste eddy-correlatie meting, zodat meetpunten die dezelfde jaren beschrijven dichtbij elkaar staan. In het kader rechtsboven in elke figuur staat de naam van de meetlocatie, samen met het bij het meetpunt bepaalde landgebruik en het in de verschillende modellen toegepaste landgebruik. Voor het NHI kwam het landgebruik soms niet overeen met het bij de eddy-correlatie bepaalde landgebruik, terwijl in de NHI-cel ernaast wel het overeenkomstige landgebruik aanwezig is. In dat geval zijn de waarden in de cel ernaast genomen voor alle in de figuur afgebeelde grootheden. Voor de HYDROMEDAH-verdampingswaarden is voor elk meetpunt de bijbehorende SVAT-unit geselecteerd. Voor de tijdlijnen wordt dus niet gemiddeld in elke MODFLOW cel, zoals wel nodig was voor de ruimtelijke figuren in het vorige hoofdstuk. Voor alle modellen geldt dat de actuele verdamping is gebruikt. Eventuele verdamping uit andere bronnen (open water) is niet in de vergelijking meegenomen.

In het kader staan ook de fitstatistieken (RMSE en Nash-Sutcliffe) ten opzichte van de Eddy Correlatie metingen, voor de ETLook data en de modellen met dagelijkse tijdstappen. De kleur van de tekst geeft aan voor welke data de statistieken gelden. In de twee kaartjes onder het kader is de locatie van het meetpunt afgebeeld.

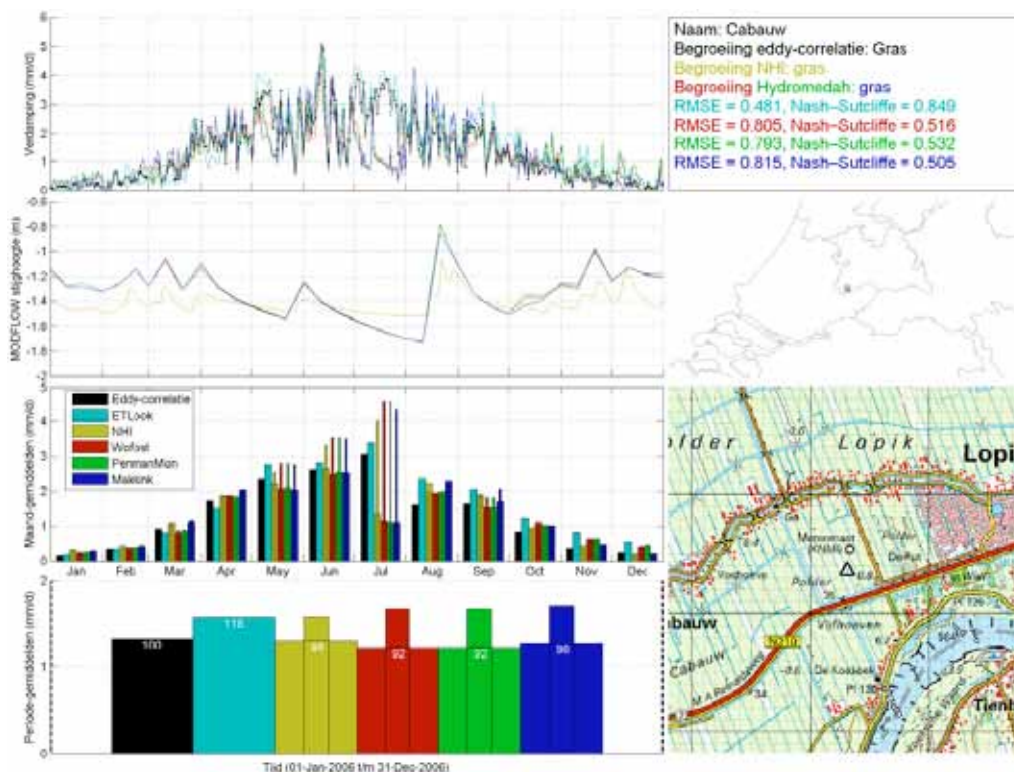
In de grafiek linksboven zijn de Eddy Correlatie metingen als zwarte bolletjes en een zwarte lijn in de tijd getekend. Sommige metingen zijn met behulp van een neuraal netwerk op basis van enkele meteorologische grootheden bepaald, en dus niet door middel van eddy-correlatie. Deze neuraal-netwerk-berekeningen zijn in de figuren wel meegetekend als zwarte lijn, maar hebben geen zwart bolletje gekregen. Ook zijn deze metingen niet meegenomen in de berekening van de fit-statistieken. Voor de berekening van de maand- en andere periode-sommen zijn deze neuraal-netwerk-metingen wel meegenomen, om zo volledig mogelijke waarden te verkrijgen. Deze sommen zijn getekend in de onderste twee grafieken aan de linkerzijde in elke figuur. Indien bekend is de referentieverdamping met een smalle balk weergegeven. Enkel de periode waarin is gemeten staat afgebeeld. Wanneer deze periode langer is dan 2 jaar (Loobos en Cabauw) wordt de data vanwege de overzichtelijkheid gesplitst in de verschillende jaren. Maandgemiddelden worden alleen bepaald voor maanden waarin het overgrote deel van de dagen bemeten zijn.

Naast de eddy-correlatie metingen zijn de verdampingswaarden uit de andere bronnen in de tijd getekend, als het meetpunt zich tenminste binnen het modelgebied bevindt. Bovendien moet de meetperiode ook in de modelperiode liggen. Zo is de ETLook-data bijvoorbeeld alleen in 2006 beschikbaar (althans, binnen de kaders van deze studie), zie figuur 6, en zullen niet alle locaties met deze data vergeleken kunnen worden.

In de grafiek linksonder, met de periode-gemiddelden, is te zien hoe de verdamping zich verhoudt tot de eddy-correlatie metingen, door een getal aan de bovenzijde van elke kolom. In de 2^e grafiek links is voor de hydrologische modellen de freatische stijghoogte getekend. Dit kan als hulplijn gebruikt worden om de logica van de metingen of modellen te testen.

FIGUUR 7

EEN VOORBEELD VAN EEN TIJDREEKSGRAFIEK



4.2 RESULTATEN

In sommige meetpunten is te zien, wat in de ruimtelijke vergelijking ook al ter sprake kwam. De verdamping is voor de modellen laag ten opzichte van de metingen (1 mm/d) in droge maanden, zoals juli 2006. Dit treedt het duidelijkst op in enkele jaren bij het meetpunt Cabauw (gras), waarvan het jaar 2006 is getekend in figuur 7. Uit de figuren is goed op te maken dat de referentie verdamping in de modellen wel groot (>4 mm/d) is. Er treedt hier dus een grote verdampingsreductie op, welke in de eddy-correlatie metingen of de ETLook data veel minder sterk optreedt. Verder valt op dat ETLook in Cabauw tijdens deze droge periode wel dicht bij de eddy-correlatie meting blijft.

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de Eddy-Correlatie (EC) meetpunten, met hierin de periode, het bijbehorende landgebruik, het in het NHI gebruikte landgebruik, de verhouding tussen de verdamping in het NHI en de EC-metingen (gemiddeld over deze periode), en een beschrijving van temporele verschillen of andere opmerkingen.

Hierbij zijn een aantal dingen opmerkelijk, wanneer gekeken wordt naar het landgebruik van de meetpunten:

- in alle meetlocaties met akkerbouw (Langerak, Dijkgraaf, Molenweg, Vredepeel en Lutjewad) is in het voorjaar de NHI-verdamping beduidend kleiner dan de EC-verdamping. In de zomer is de NHI-verdamping juist groter dan de EC-verdamping.
- In de meetpunten met gras met een voldoende lange meetreeks (Cabauw, Haastrecht) is de verdamping in droge zomers in het NHI een stuk lager dan de EC-data.
- In de punten met naaldbos (Bankenbos, Kampina en Loobos) is in het voorjaar de verdamping in het NHI significant groter dan de EC-verdamping. In Loobos treedt dit ook in de rest van het jaar op, maar niet zo sterk als in het voorjaar.
- In de punten met loofbos (Purmerbos en Fleditebos) is de verdamping in het NHI in het voorjaar juist significant lager dan de aldaar verzamelde data.

TABEL 2

	Periode	landgebruik EC	landgebruik NHI	NHI/EC	opmerking
Purmerbos	1991 – 2000	Bos	loofbos	0,85	voorjaar NHI < EC
Bankenbos	1996	Lariks	donker naaldbos	1,13	voorjaar NHI > EC
Fleditebos	1996	Populier	loofbos	0,85	voorjaar NHI < EC
Kampina	1996	Gemengd bos	naaldbos	1,07	voorjaar NHI > EC
Zegveld	mei 2002, sep 2002	Gras	gras		korte reeks
Loobos	2003, 2006 en 2007	Grove den	naaldbos	1,30	NHI > EC, tenzij droge zomer: NHI < EC
Cabauw	2003 – 2008	Gras	gras	1,10	NHI > EC, tenzij droge zomer: NHI < EC
Haastrecht	jun 2003 - mei 2004	Gras	gras	0,92	droge zomer: NHI < EC
Langerak	apr 2005 - maart 2006	Maïs	mais	1,08	voorjaar NHI < EC, zomer NHI > EC
Dijkgraaf	jun 2005 - apr 2006	Maïs	mais	1,01	voorjaar NHI < EC, zomer NHI > EC
Molenweg	jun 2005 - mei 2006	Aardappelen	aardappelen	1,15	voorjaar NHI < EC, zomer NHI > EC
Vredepeel	apr 2006 - maart 2007	Bieten	aardappelen	0,99	voorjaar NHI < EC, zomer NHI > EC
Lutjewad	jun 2006 - apr 2007	Wintertarwe	granen	1,10	voorjaar NHI < EC, zomer NHI > EC
Langbroekwetering	aug 2006 - sep 2006	Gras	gras		korte reeks
Oostwaard	apr 2008 - feb 2009	Wilg	gras	0,96	landgebruik niet overeen
Zegveld2	jul 2008 - aug 2008	Gras	droge natuur		korte reeks
Utrecht	sep 2008 - okt 2008	Bebouwing	stedelijk bebouwd g		korte reeks

4.3 ANDERE MODELLEN

Voor de vergelijking van de andere hydrologische modellen, met elkaar en de Eddy-Correlatie metingen, zijn door de beperkte omvang van de modellen minder locaties met langdurige reeksen beschikbaar. Deze locaties zijn opgesomd in tabel 3.

TABEL 2

	NHI/EC	opmerking	hyd/EC	opmerking	ibra/EC	opmerking	brab/EC	opmerking
Cabauw	1,10	NHI > EC, tenzij droge zomer: NHI < EC	1, 10	= NHI				
Haastrecht	0,92	overreductie NHI	0,85	ongeveer NHI				
Langerak	1,08	voorjaar NHI < EC, zomer NHI > EC	Wofost/Penmanmon: 1,00 Makkink: 1,08	zomer <NHI (ander landgebruik), makkink 1,08 (maar seizoensverschil)				
Molenweg	1,15	voorjaar NHI < EC, zomer NHI > EC					0,98	altijd < NHI
Vredepeel	0,99	voorjaar NHI < EC, zomer NHI > EC			0,93	ongeveer NHI	0,80	altijd < NHI

In het modelgebied van HYDROMEDAH bevinden zich 3 meetlocaties waar langdurig is gemeten. In deze locaties is de verdamping vergelijkbaar met het NHI. Alleen in Langerak is dit niet het geval, maar hier verschilt het landgebruik met het NHI. Bij de twee meetlocaties in het Brabant model wordt altijd een lagere verdamping bepaald dan het NHI (in Vredepeel een factor 0.8). In Vredepeel, de enige meetlocatie in IBRAHYM, volgt de verdamping hetzelfde patroon als het NHI, maar is wel iets lager.

4.4 ETLOOK VERSUS EDDY-CORRELATIE

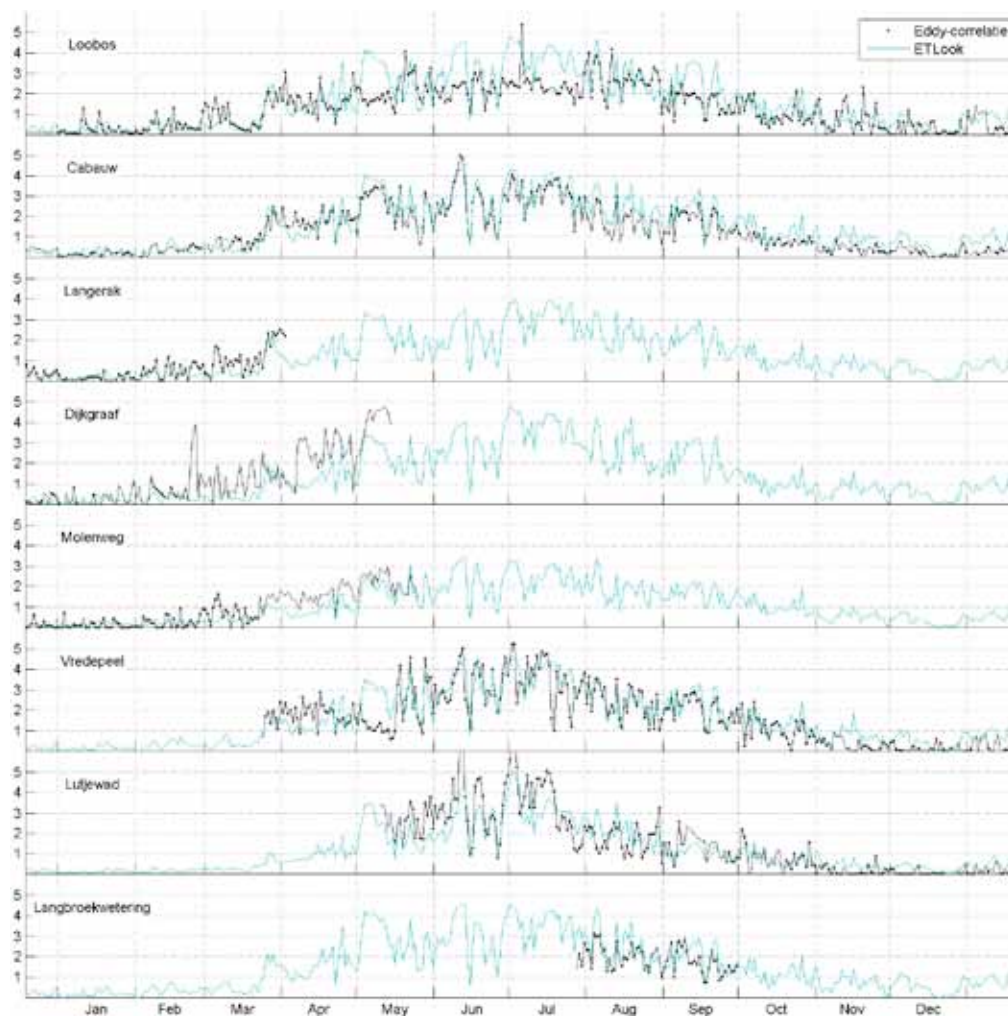
Één van de vragen is hoe de ETLook-data zich verhoudt tot de eddy-correlatie metingen. In figuur 8 zijn deze grootheden afgebeeld, voor de meetpunten en periode waar deze reeksen overlappen.

Over het algemeen komen de eddy-correlatie metingen goed overeen met de ETLook data. Het grootste verschil treedt op in het meetpunt Loobos, waar tijdens de zomer ETLook hogere verdampingswaarden geeft. In meetpunt Lutjewad geeft ETLook juist iets lagere waarden dan de eddy-correlatie metingen. Over het algemeen lijken de eddy-correlatie metingen in de lente meer verdamping te bepalen, terwijl in de herfst ETLook de overhand heeft.

Opvallend is verder de piek begin mei die bij Cabauw zowel in ETLook als in de eddy-correlatie metingen optreedt, maar in een aantal andere meetpunten enkel in de ETLook-data voorkomt. De hoge zwarte lijntjes tijdens deze periode in Dijkgraaf en Molenweg moeten met een korreltje zout worden genomen. Ze zijn het gevolg van een neurale netwerk, zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven. Er zijn dan ook geen zwarte bolletjes bij deze metingen in figuur 8 getekend.

FIGUUR 8

VERGELIJKING ETLOOK DATA EN DE EDDY CORRELATIE-METINGEN, VOOR ALLE MEETPUNTEN MET DATA IN 2006



5

CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

5.1 CONCLUSIES

De uit satellietdata afgeleide actuele verdamping op basis van ETLook is vergeleken met eddy-correlatie metingen en verdampings-data uit verschillende numerieke hydrologische modellen, zowel ruimtelijk als temporeel.

Uit de ruimtelijke vergelijking volgt dat de verschillen tussen de hydrologische modellen onderling beduidend kleiner zijn dan tussen de modellen en de ETLook data.

De verschillen tussen ETLook en de modellen vertonen ruimtelijke samenhang. Er zijn duidelijke verschillende gebieden te onderscheiden die dezelfde afwijkingen vertonen. Het is niet onderzocht welke methode de werkelijkheid het best benadert.

Beleidsmatig gezien is met name de ET-reductie van belang. Uit dit onderzoek blijkt dat juist voor dit aspect de verschillen het grootst zijn. Het verschil treedt vooral op tijdens droge periodes. Zo is aangetoond dat ETLook in juli 2006 in grote delen van Nederland veel meer verdamping bepaalt dan het NHI. Ook in de tijdsgrafieken is dit fenomeen duidelijk waarneembaar. Het eddy-correlatie meetpunt waar dit het duidelijkst optreedt is Cabauw (gras). De eddy-correlatie metingen volgen hier de ETLook-data: de verdamping blijft hoog, ondanks de droogte. De verdampingsreductie zoals die in de modellen wordt bepaald, treedt niet op in de eddy-correlatie metingen.

Over het algemeen komen de eddy-correlatie metingen goed overeen met de ETLook-data. Het meetpunt met de grootste afwijking, Loobos, bevindt zich bij de Veluwe, waar ook de afwijking tussen ETLook en het NHI groot is. Dit kan een aanwijzing zijn dat ETLook in dit gebied niet goed presteert.

Wanneer het NHI wordt vergeleken met de eddy-correlatie meetpunten valt op dat de meetpunten met akkerbouw in het NHI in het voorjaar minder verdampen, en meer in de zomer. In droge periodes is de verdamping bij gras in het NHI een stuk kleiner dan de eddy-correlatie metingen. Bij naaldbos is de verdamping hoger in het voorjaar dan de eddy-correlatie metingen, terwijl bij loofbos de verdamping in het voorjaar juist significant lager wordt geschat.

5.2 AANBEVELINGEN

Op basis van deze conclusies kunnen een aantal aanbevelingen worden gedaan, om de volgende vragen te beantwoorden:

- 1 Waardoor wordt het verschil tussen de verdampingswaarden van de eddy-correlatie metingen, ETLook en hydrologische modellen veroorzaakt?
- 2 Welk van de bronnen benadert de werkelijkheid het best?
- 3 In hoeverre is het verschil met de werkelijkheid een probleem?
- 4 Hoe kunnen we stappen zetten om het modelinstrumentarium te verbeteren?

- 1) Voor één of meer eddy-correlatie meetlocaties zouden de verschillen verder kunnen worden uitgezocht.

Hierbij kan nader worden gekeken naar mogelijke oorzaken van de verschillen: wat is het bodemvochtgehalte de grondwaterstand, de gewasfactor, het groeiseizoen, enz. Wat is de rol van open-waterverdamping in de verschillende metingen en modellen? Deze is nu niet meegenomen, maar zou een deel van Daarnaast kan er ook meer in detail gezocht worden naar de verschillen tussen eddy correlatie en ETLook. Voor de perioden waar grote verschillen zijn, kan gekeken worden naar de energiebalans en de invloed van het weer (o.a. regen, wind en Vapour Pressure Deficit).

Voer een kalibratie van een hydrologisch model op de meetlocaties met EC. Denk dan aan het isoleren van een SWAP-model voor dat punt en dan het model zodanig aanpassen dat de metingen zo goed mogelijk worden benaderd.

Er dient onderscheid gemaakt te worden in oorzaken ten gevolge van verschillen in modelconcepten, schaalproblemen, en afwijkingen in de (model) invoer. Indien mogelijk de bandbreedtes van de modellen weergeven. Zoek uit wat de rol van het invloedsgebied (footprint) van de EC-masten is.

Voor de productie van ETLook worden verschillende algoritmen gebruikt op bewolkte en onbewolkte dagen. Er kan worden nagegaan of dit veel invloed heeft op de nauwkeurigheid van de bepaalde verdampingswaarden. Voor 4 dagen in 2006 hebben we tevens de beschikking over SEBAL en ETLook beelden. Nadat de SEBAL beelden zijn geresampled naar een 250x250m GRID kan er een vergelijking uitgevoerd. Voorgesteld wordt om deze vergelijking in een vervolgonderzoek uit te voeren.

Het is aan te bevelen de vergelijking tussen Eddy Correlatie en ETLook op verschillende tijdstappen uit te voeren. Nu zijn alle analyses uitgevoerd op dagbasis. Echter een waterschap wil ook de wekelijkse, maandelijkse en jaarlijkse waterbalans weten en daarover rapporteren. Een vergelijking van tijdsintegrale waarden van de totale verdamping zou een welkome aanvulling zijn.

Ten slotte zou voor alle schattingsmethoden een gevoeligheidsanalyse gedaan kunnen worden om vast te stellen in hoeverre de geschatte actuele verdamping afhankelijk is van de invoergegevens en parameters.

- 2) Misschien dat uit de analyse van 1) al blijkt dat sommige concepten twijfelachtige onderdelen bevatten. Om te bepalen welke de werkelijkheid het meest benadert, kunnen de resultaten via literatuuronderzoek geverifieerd worden. Hoe deden die lysimeters van Castricum het in de zomer? Wat voor waarden vinden verdampingsdeskundigen aannemelijk?

Een andere optie is om de verdamping in een uitgebreid gemonitord gebied waar alle waterfluxen min of meer bekend zijn te vergelijken met de verschillende in dit rapport besproken methoden. Vergelijking met andere modellen (met andere concepten, bijvoorbeeld Amwadu van Waternet).

Door eLEAF is niet alleen de actuele verdamping aangeleverd, maar ook de voelbare (sensible) en latente warmteflux. Er kan worden nagegaan of hieruit de potentiële verdamping kan wor-

den bepaald, zodat deze vergeleken kan worden met de in de modellen opgelegde of bepaalde potentiële verdamping. Ook kan de voelbare warmte worden vergeleken met de beschikbare scintillometrie metingen. Hierbij worden trillingen van lucht (scintillaties) gemeten in de atmosferische oppervlaktelaag, waaruit de voelbare warmte kan worden bepaald.

Bepaal de actuele verdamping per schattingsmethode ook per (bemeten) afvoergebied. Wellicht dat de verschillen op dit ruimtelijk aggregatieniveau meer inzicht leveren, alsook de verhouding van deze verschillen tot de gemeten afvoer. Een stap verder is het onderzoeken van de meerwaarde is van de complementaire inzet van de diverse schattingsmethoden bij het bepalen van de waterbalans van een aantal deelgebied. Een mogelijkheid daarvoor is het hard 'opdrukken' van de ETLook ETact data aan een SIMGRO7 modelberekening, en via die weg nagaan of er een verbeterde waterbalans en grondwaterdynamiek wordt berekend zie bijvoorbeeld [Schuurmans, 2003] voor een mogelijke aanpak;

- 3) Een te hoge of te lage verdamping in de hydrologische modellen wordt waarschijnlijk gecorrigeerd door een wijziging van één van de andere fluxen. Bepaal wat voor invloed dit heeft op de doelen waarvoor het model wordt gebruikt. Stel vast of er voldoende begrip is van de hydrologische processen, op momenten en in gebieden die belangrijk zijn voor de toepassing van de modellen.

Een mogelijke werkwijze is om de ETLook-verdamping aan het hydrologische model op te leggen, en vervolgens te kijken en kijken hoe grondwaterstanden, kwel, gemaaldebieten en andere voor het doel van het model interessante grootheden veranderen.

- 4) Er dient na te worden gegaan of het afleiden van gewas-/bos-factoren (GF) op basis van ETLook uitvoer (immers, ET_{pot} en ET_{ref} zijn bekend, dus de GF kan worden afgeleid, omdat geldt: $ET_{pot} = ET_{ref} \cdot GF$) leidt tot verbeterde modelvoorspellingen, in termen van berekende ETact, grondwaterdynamiek en waterbalans.

Er dient na te worden gegaan hoe verschillende representaties van de temperatuur in de stad en het stedelijke landgebruik in de stad binnen de hydrologische modellen doorwerkt op de berekende ETact, in relatie tot ETLook uitvoer en de beschikbare EC-metingen. Een stad is qua temperatuur heel anders 'gestructureerd' en juist daarom zal het ETact verloop qua grootte en dynamiek in ruimte en tijd heel anders kunnen zijn. Dit hangt ook samen met het zogenaamde Urban Heat Island effect (Grimmond & Oke, 1991).

5.3 DISCUSSIE

De vraag is of we de uitgevoerde vergelijking geen formele validatie kunnen noemen, omdat we ook twijfels hebben over de eddy correlatie metingen: hoe goed zijn deze? Hier kan tegenin worden gebracht dat er juist veel kennis is over de juistheid van eddy correlatie metingen en dat die een typische nauwkeurigheid van tussen de 10 en 15% hebben, in lijn met de sluitfout van de energiebalans. Zeker voor de landbouwgebieden is er bij zowel het KNMI als de WUR (de organisaties die de EC-metingen hebben uitgevoerd) veel vertrouwen in de uitgevoerde eddy correlatie metingen, dus mogelijk kunnen op zijn minst voor die gebieden de metingen ook als zodanig worden genoemd en dus worden gebruikt voor een validatie. De ET-Look data, die meer overeenkomt met de eddy correlatie metingen dan de modellen zou dan ook een meerwaarde kunnen hebben ten opzichte van deze numerieke hydrologische modellen. In ieder geval zijn de verschillen in de droge periode zodanig groot dat minimaal één methode er behoorlijk naast moet zitten. Er mag worden verondersteld dat we van het bepalen van ETact onder deze omstandigheden mogelijk veel minder verstand hebben dan we denken.

BIJLAGE 1

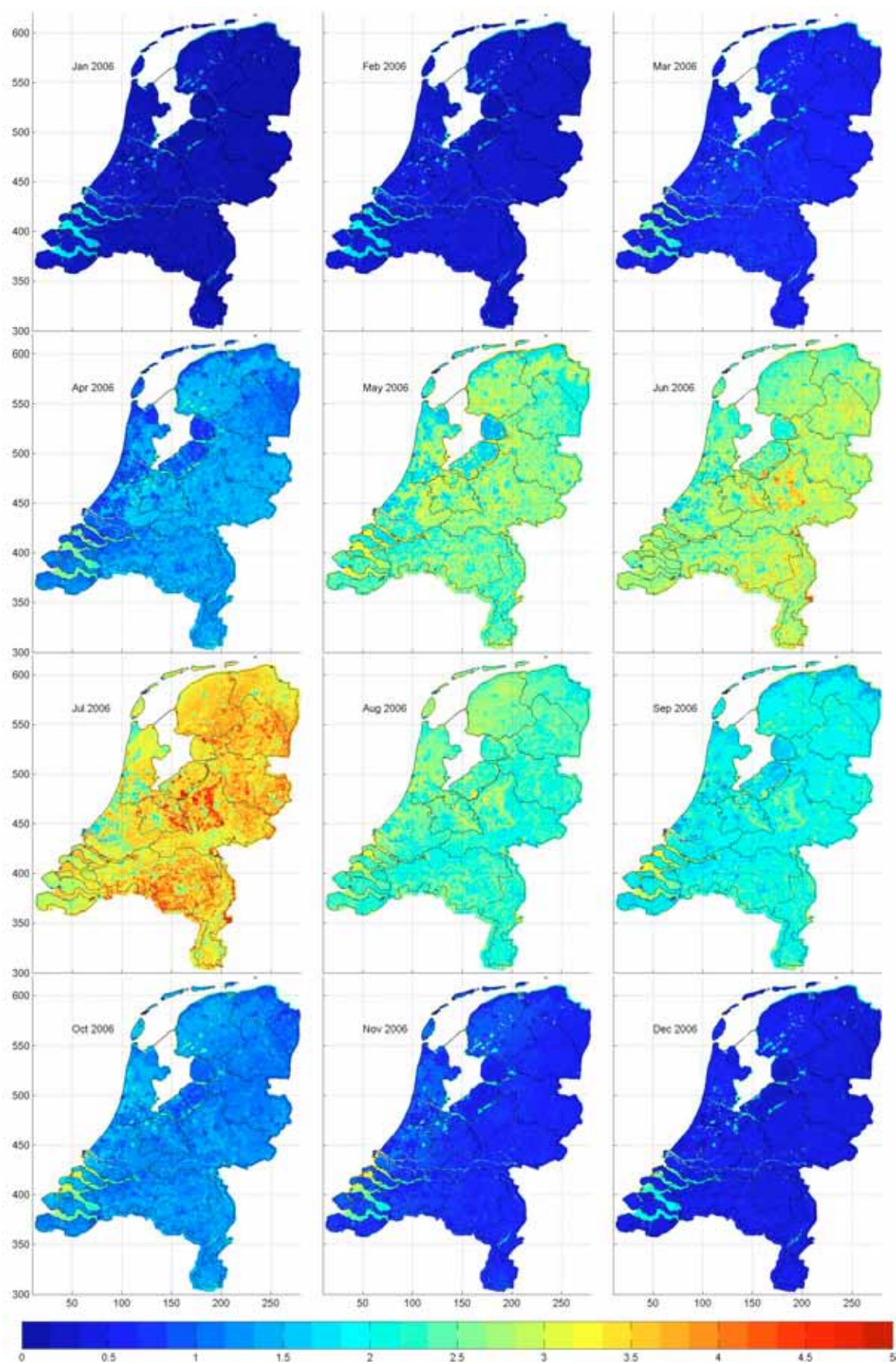
LITERATUUR

- Allen, R.G., A. Irmak, R. Trezza, J.M.H. Hendricks, W.G.M. Bastiaanssen and J. Kjaersgaard, 2011. *Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC*, Hydr. Processes 25(26): 4011-4027
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration—Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy, 300 p.
- Alterra/DHV. (2008). *Nationaal Hydrologisch Instrumentarium - NHI. Modelrapportage*.
- Bastiaanssen, W. G., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslag, A. A. (1998). *A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL)*; 1. formulation. Journal of Hydrology, 198–212.
- Bastiaanssen, W.G.M., E.J.M. Noordman, H. Pelgrum, G. Davids and R.G. Allen, 2005. *SEBAL for spatially distributed ET under actual management and growing conditions*, ASCE J. of Irrigation and Drainage Engineering 131(1): 85-93
- Bastiaanssen W.G, M. J. M. Cheemal, W. W. Immerzeel, I. J. Miltenburg, H. Pelgrum (2012) *Surface energy balance and actual evapotranspiration of the transboundary Indus Basin estimated from satellite measurements and the ETLook model*; In: Water Resources Research, Volume 48, Issue 11.
- De Bruin, H.A.R., (1987) *From Penman to Makkink*. Comm Hydrol. Res. TNO, The Hague. Proc. And Inf. 39:5-31.
- Burba, G.G., and D.J. Anderson, 2010. *A Brief Practical Guide to Eddy Covariance Flux Measurements: Principles and Workflow Examples for Scientific and Industrial Applications*. LI-COR Biosciences, Lincoln, USA, 211 pp.
- Elbers, J., Moors, E., & Jacobs, C. (2009). *Gemeten actuele verdamping voor 12 locaties in Nederland*. Wageningen: Alterra.
- Grimmond, C.S.B. and TR Oke, (1991), *An evaporation-interception model for urban areas*. Water Resources Research, 27, 1739-1755.
- Royal Haskoning. (2012). *Kwaliteitsrapportage grondwatermodellen Noord-Brabant en Limburg*.
- Schuermans, J. M., Troch, P. A., Veldhuizen, A. A., Bastiaanssen, W. G. M. & Bierkens, M. F. P. (2003) *Assimilation of remotely sensed latent heat flux in a distributed hydrological model*. Adv. Water Resour. 26(2), 151–159. doi: 10.1016/S0309-1708(02)00089-1.
- Schuermans, J.M., 2007: *Hydrological now- and forecasting*, Utrecht University
- Teixeira de Castro, A.H., W.G.M. Bastiaanssen, M.D. Ahmad and M.G. Bos, 2008. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the low-middle Sao Francisco river basin, Brazil, part a: calibration and validation, Agriculture and Forest Meteorology, doi:10.1016/j.agriformet.2008.09.016
- TNO. (2009). *Ontwikkeling HDSR hydrologisch modelinstrumentarium - HYDROMEDAH 1.0*. Utrecht: TNO.
- Van Walsum, P.E.V., Supit I., (2012). *Influence of ecohydrologic feedbacks from simulated crop growth on integrated regional hydrologic simulations under climate scenarios*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 1577– 1593

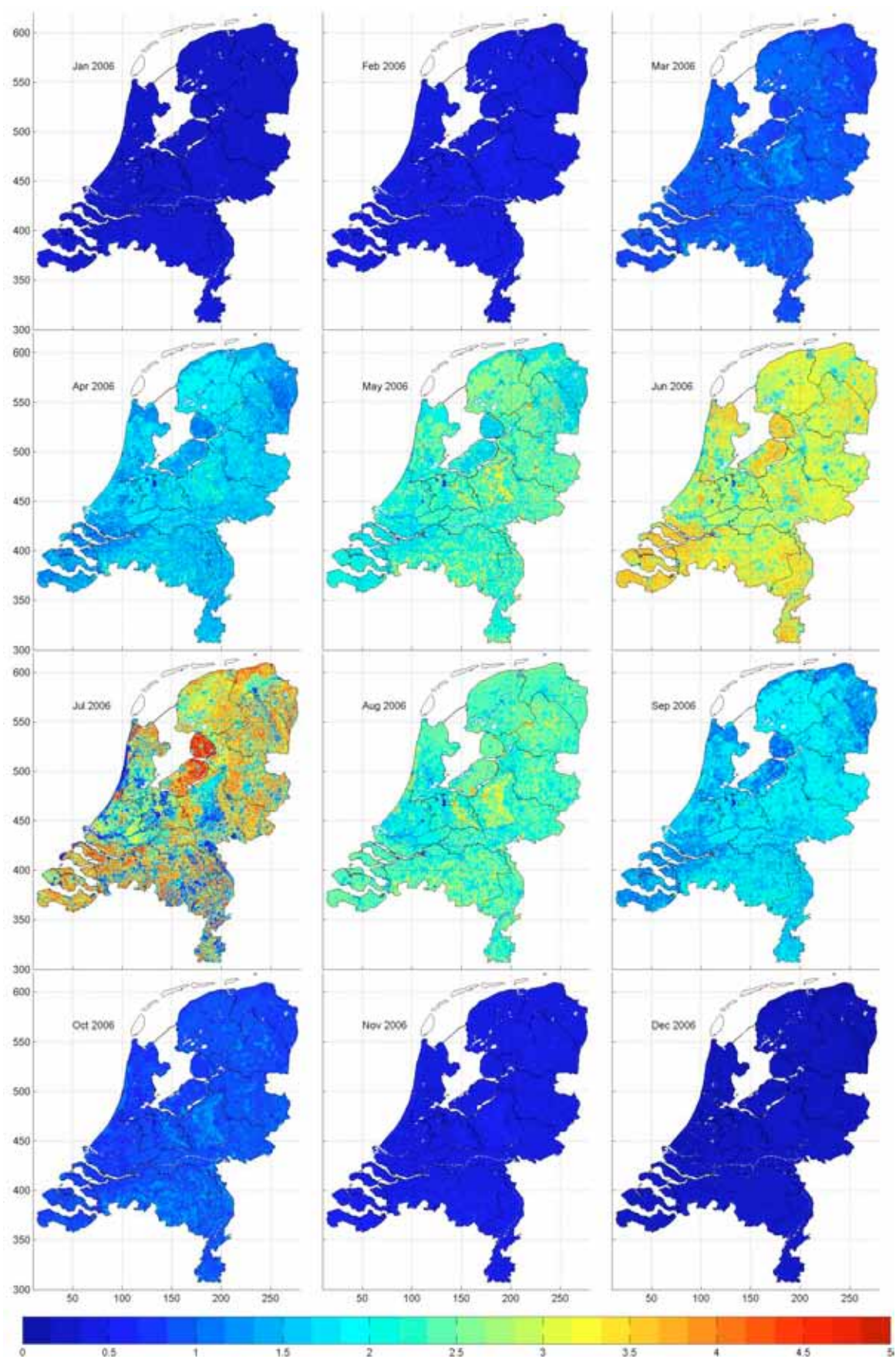
BIJLAGE 2

RUIMTELIJKE FIGUREN

FIGUUR 9 ETL00K

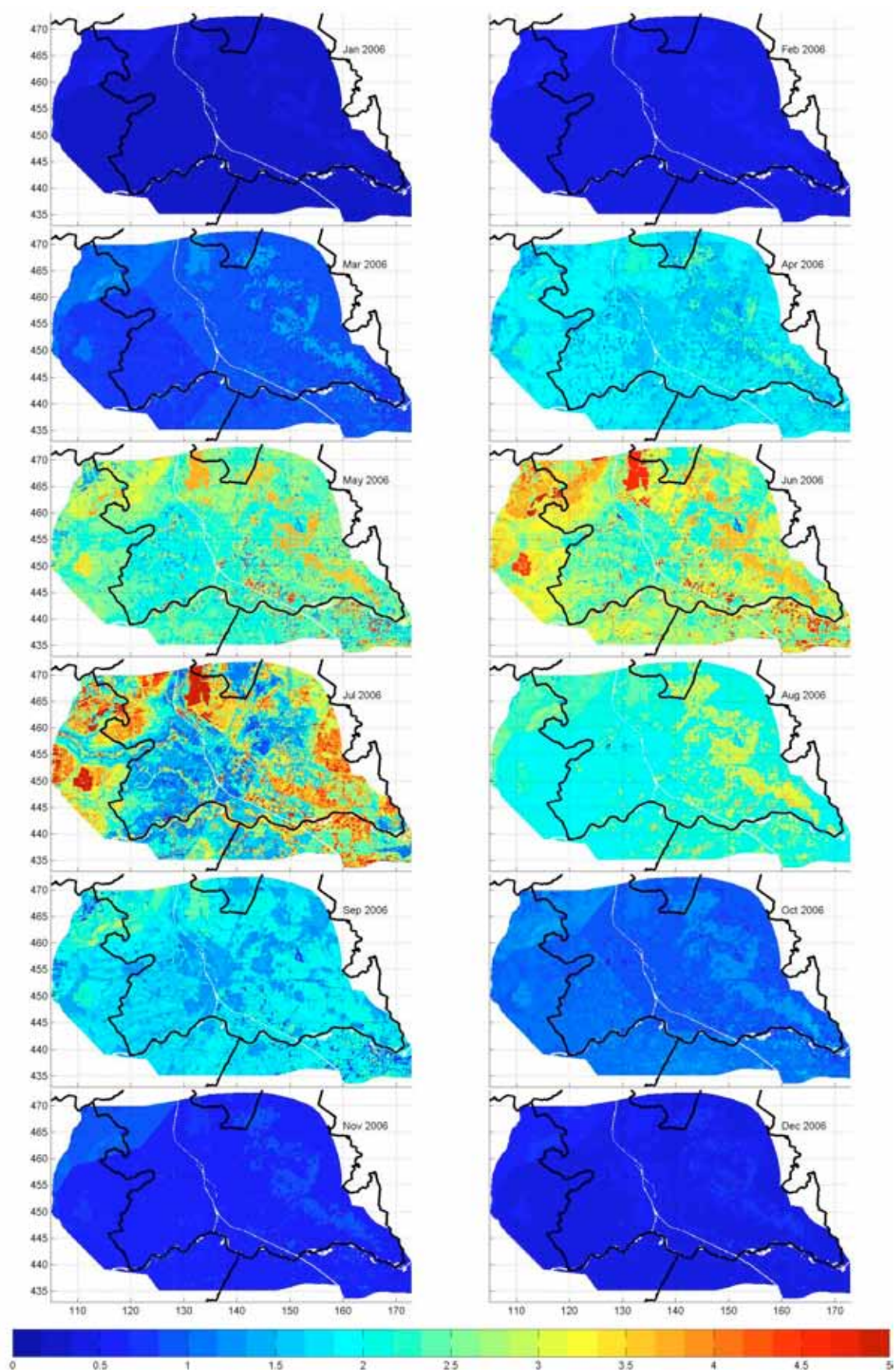


FIGUUR 10 NHI

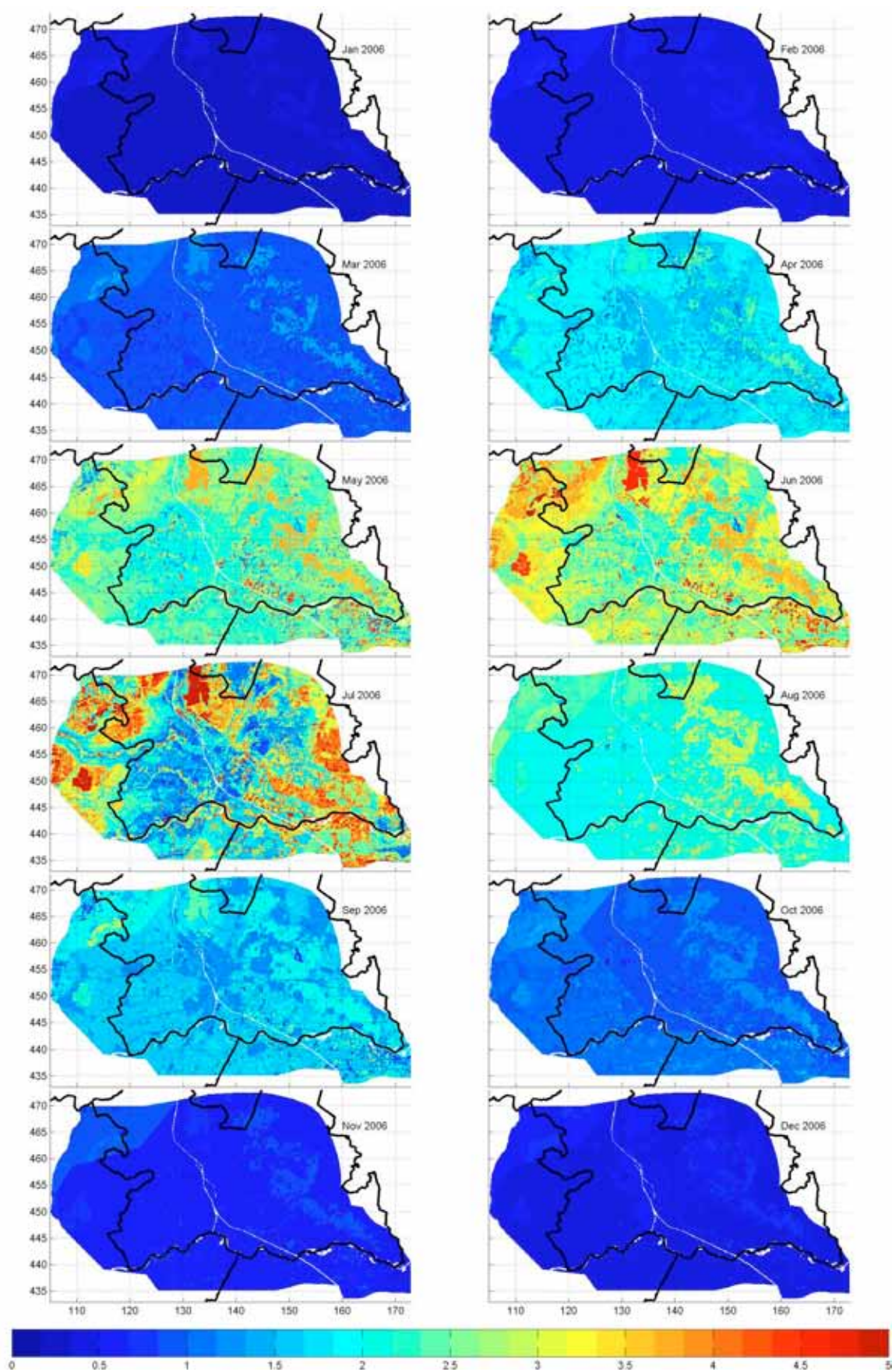


HYDROMEDAH

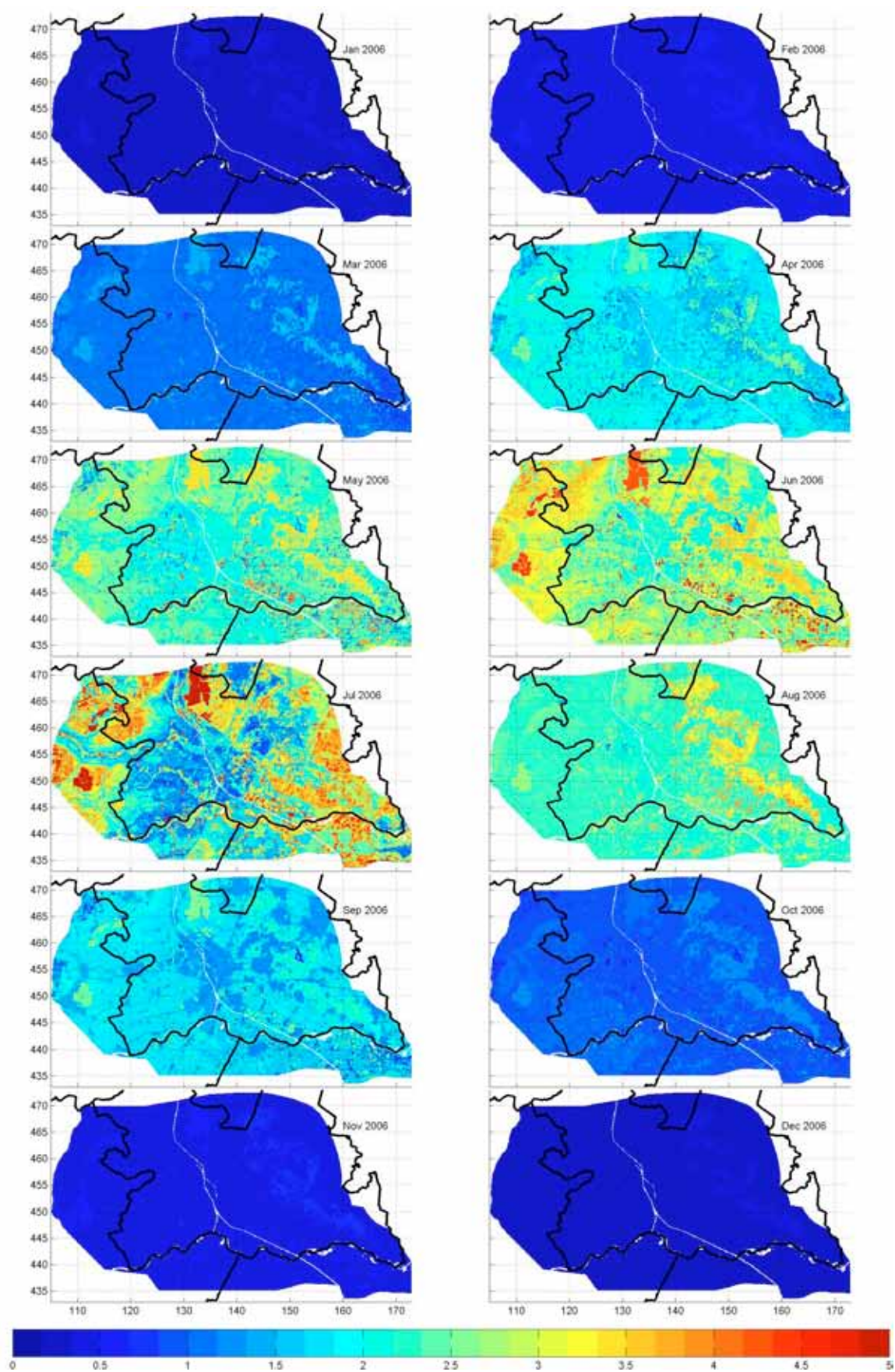
FIGUUR 11 WOFOST



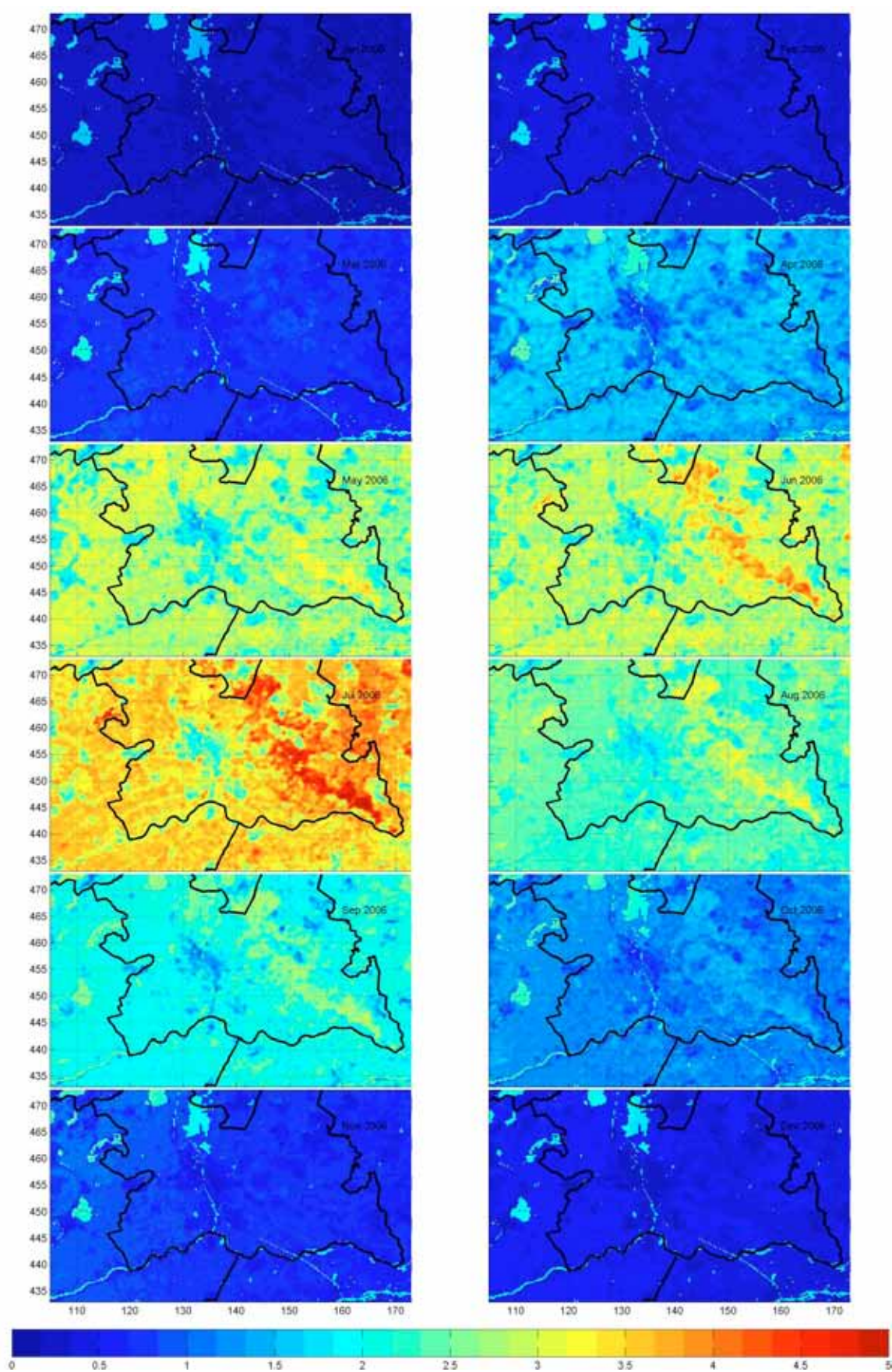
FIGUUR 12 PENMAN MONTEITH



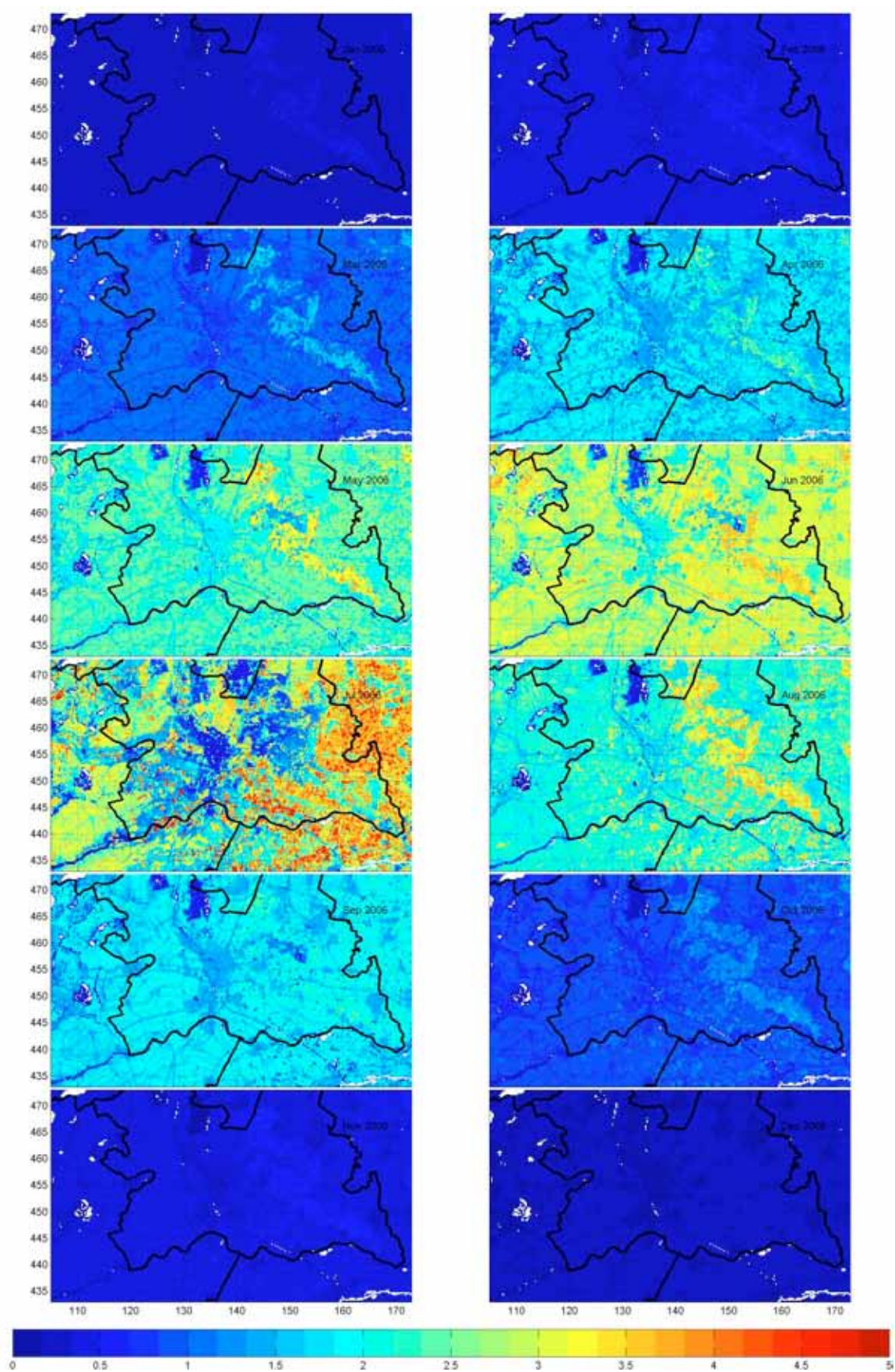
FIGUUR 13 MAKKINK



FIGUUR 14 ETLOOK OP LOCATIE HYDROMEDAH



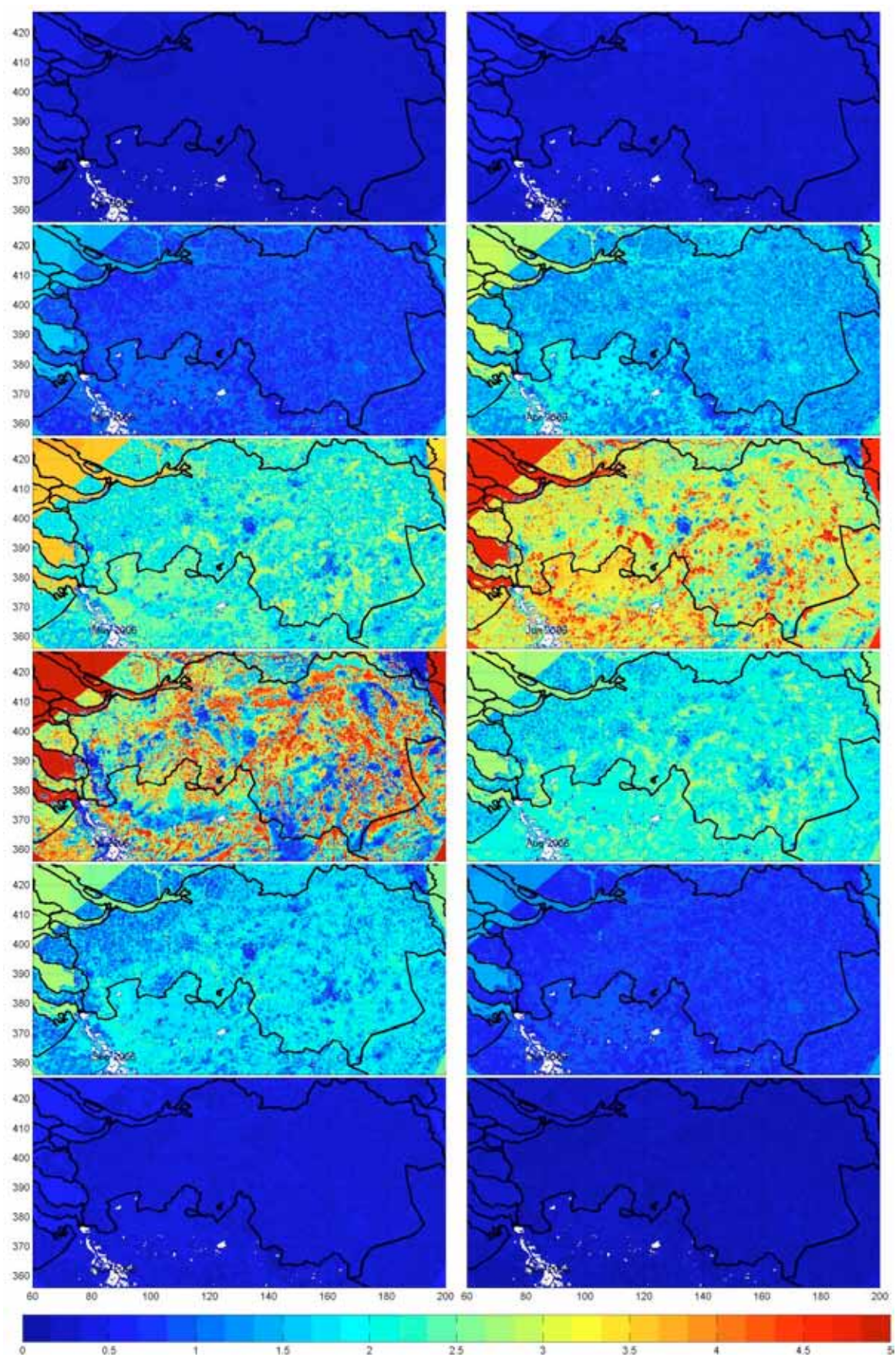
FIGUUR 15 NHI OP LOCATIE HYDROMEDAH



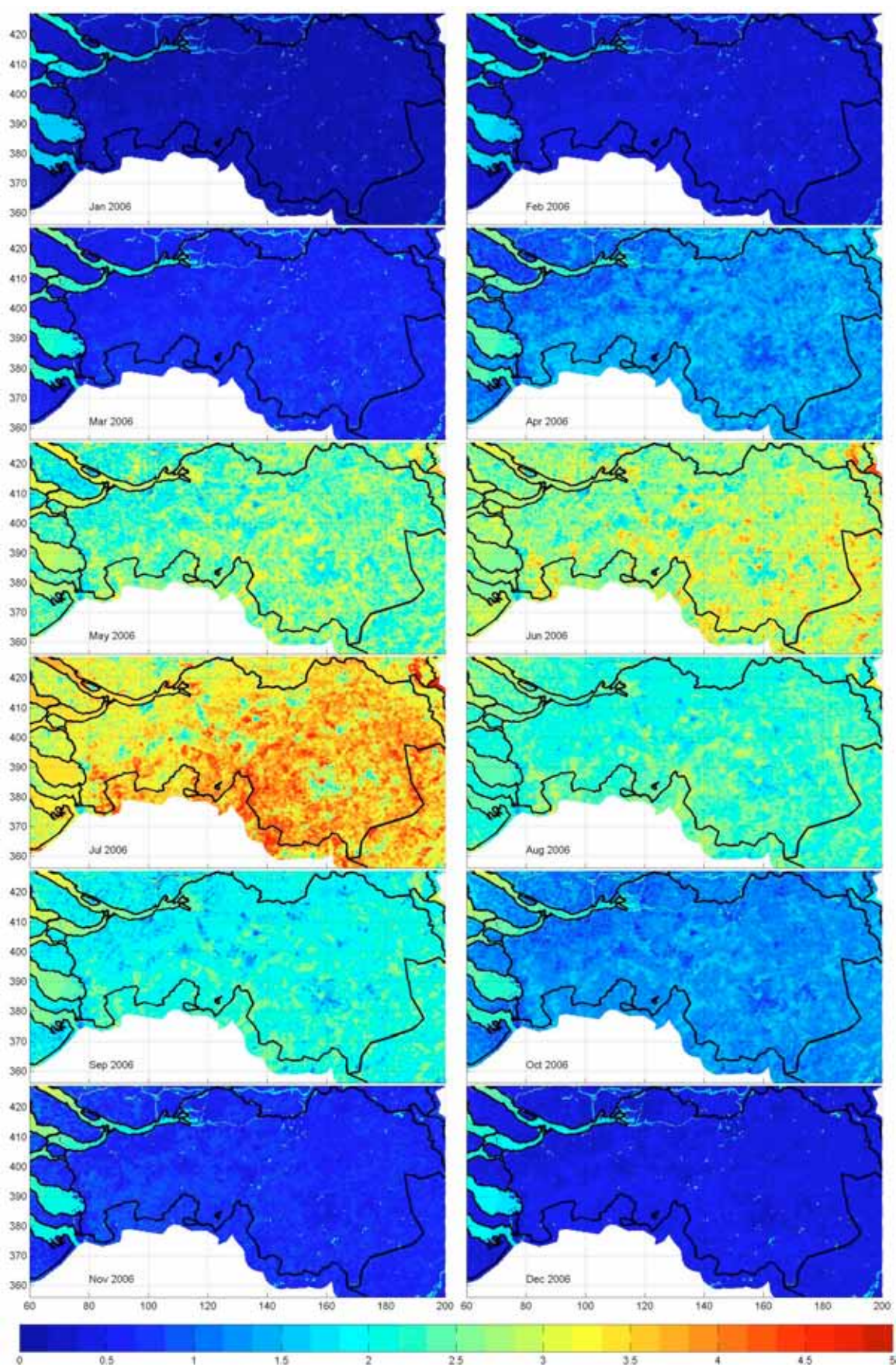
BRABANT

FIGUUR 16

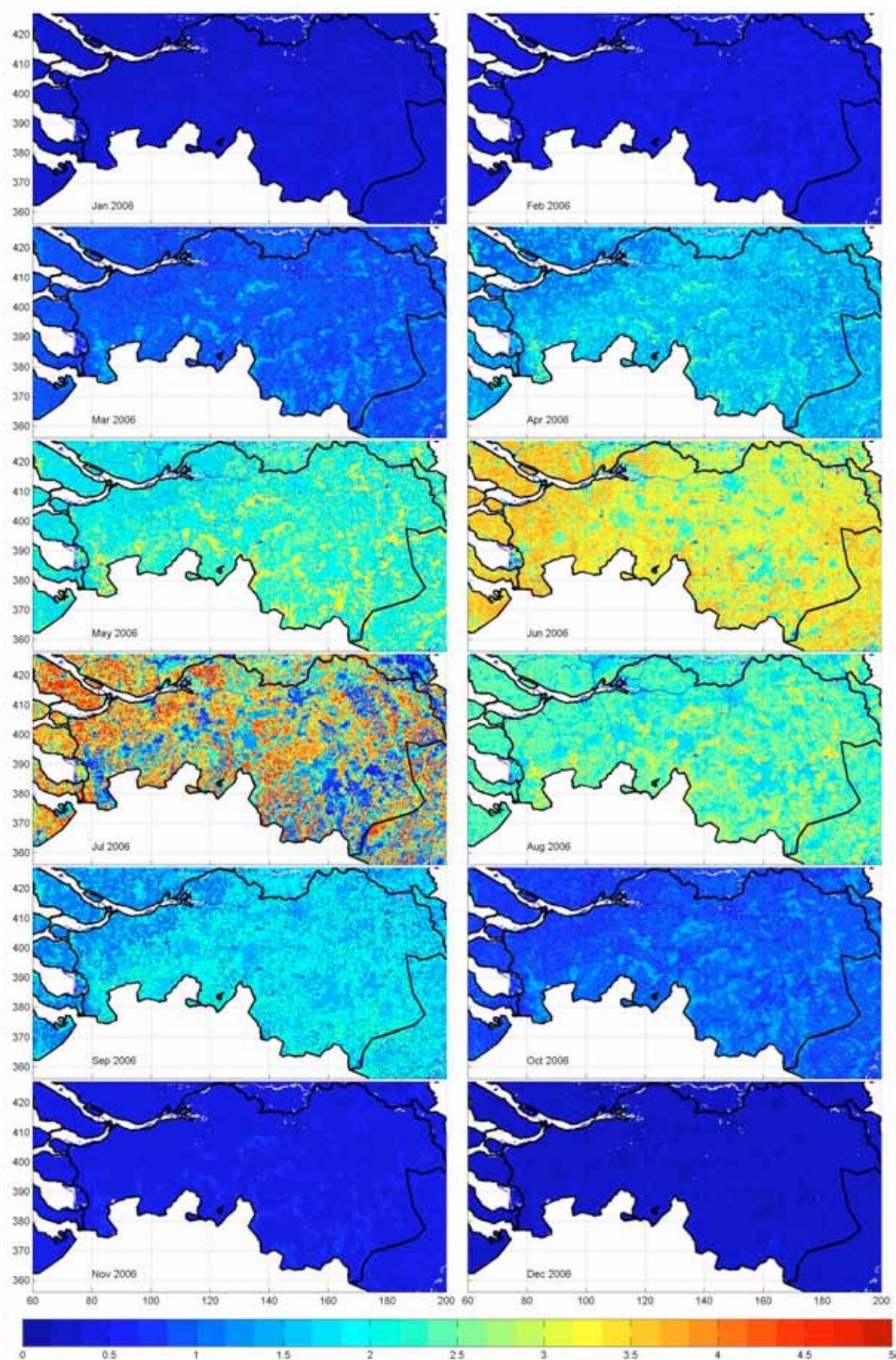
BRABANT



FIGUUR 17 ETLOOK OP LOKATIE BRABANT

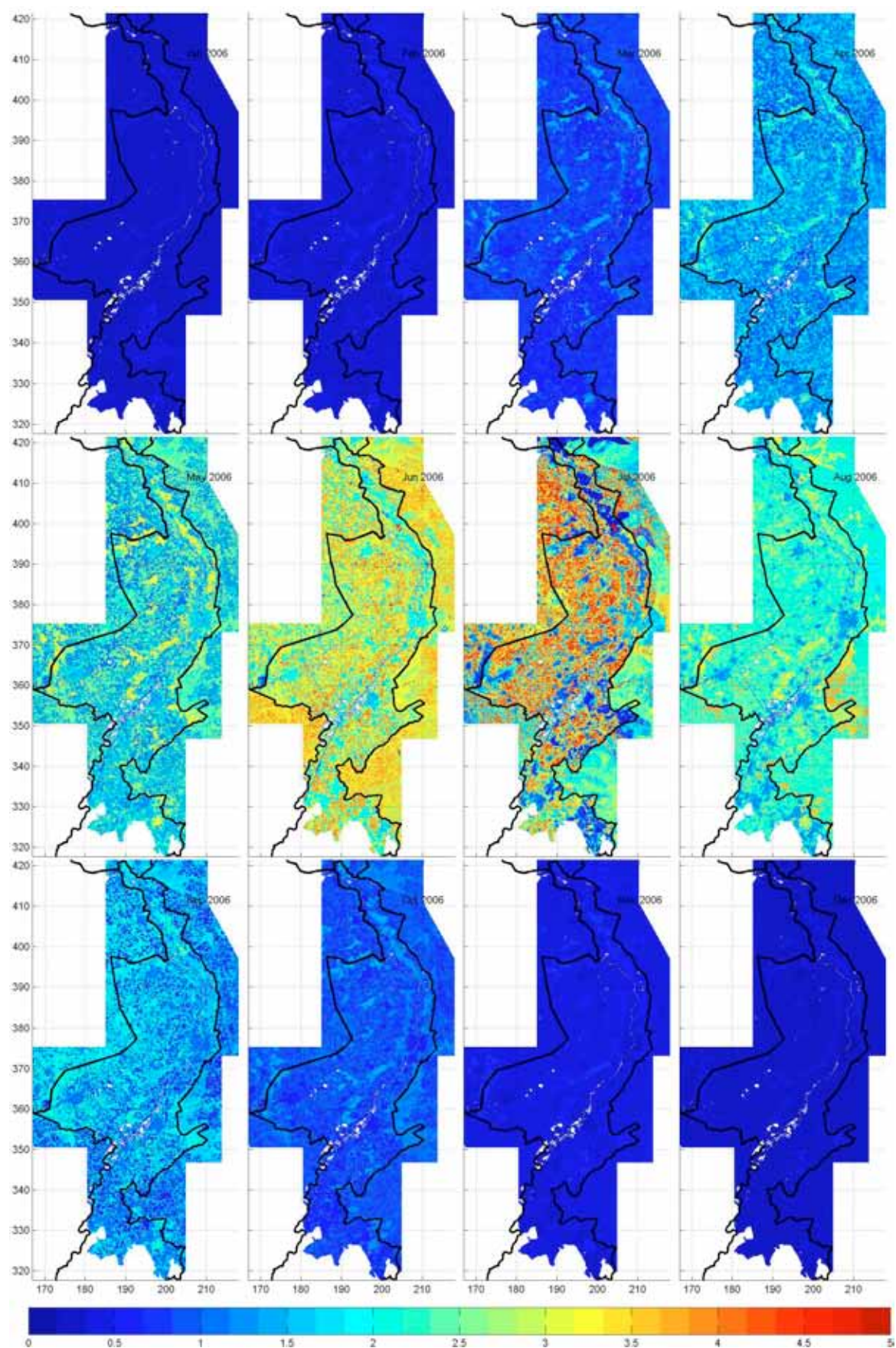


FIGUUR 18 NHI OP LOCATIE BRABANT

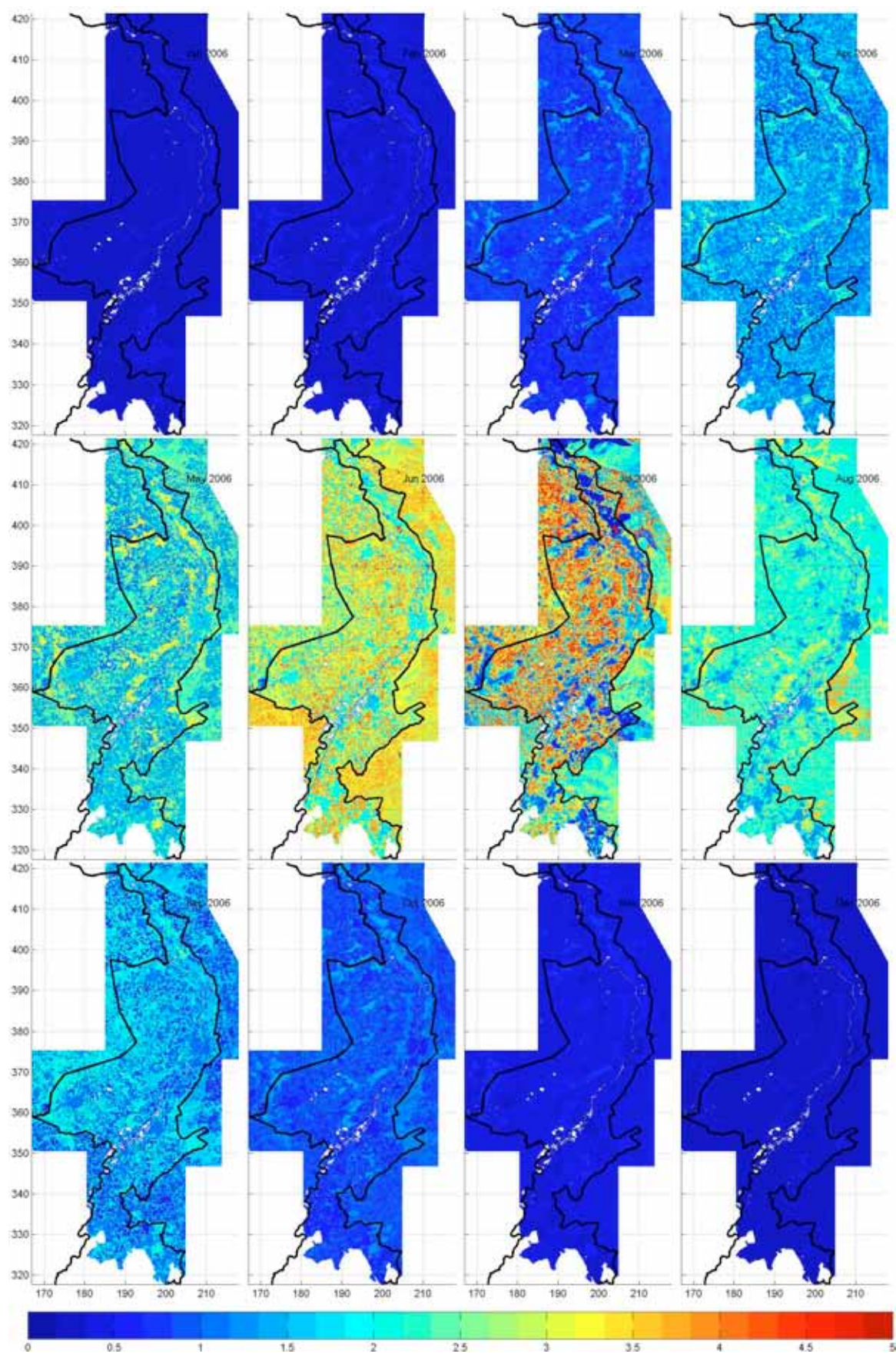


IBRAHYM

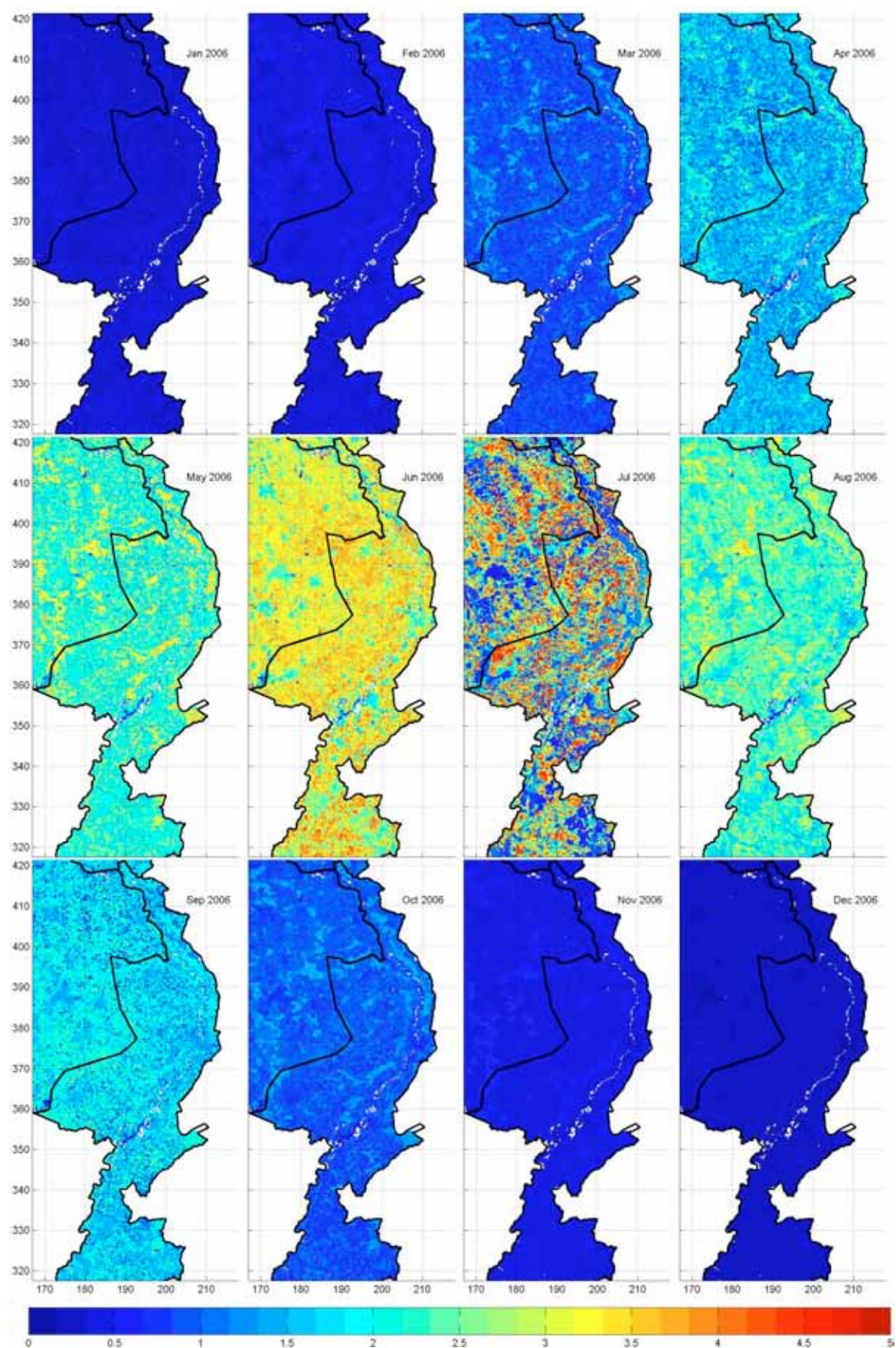
FIGUUR 19 IBRAHYM



FIGUUR 20 ETLOOK OP LOCATIE IBRAHYM



FIGUUR 21 NHI OP LOCATIE IBRAHYM



BIJLAGE 3

TIJDSFIGUREN

Op deze en de volgende bladzijden zijn de figuren afgebeeld van de tijdreeksen met eddy-correlatie-metingen, samen met de ETLook data en hydrologische modellen. De meetpunten staan in volgorde van het eerste meetpunt afgebeeld.

