
Recycling van lokale verdamping in Europa

Berny Bisselink¹

Inleiding

Sinds november 2005 werk ik als promovendus bij de afdeling Hydrologie en GeoMilieuwetenschappen aan de Vrije Universiteit te Amsterdam. Mijn promotieonderzoek is een onderdeel van het project 'Developing Adaptive Capacity to Extreme events in the Rhine basin (ACER)'. Een belangrijke vraag in het project is hoe te anticiperen op toekomstige klimaatverandering en in het bijzonder hoe men het huidige beleid klimaatbestendig kan maken. In ACER zullen adaptatiestrategieën voor overstromingspreventie en extreme droogte in het stroomgebied van de Rijn onder verschillende klimaat- en managementscenario's worden beschreven en geëvalueerd. Om de effectiviteit van adaptatiestrategieën voor het opvangen van te verwachten klimaatveranderingen te kunnen evalueren, is een realistische simulatie van de hydrologische kringloop noodzakelijk.

Verandering in het landgebruik is een van de mogelijkheden voor adaptatie. Verandering van het landgebruik heeft effect op de afvoer door onder andere de verandering van de verdampings- en neerslagpatronen. De verwachting is dat de hydrologische kringloop zal veranderen in een toekomstig klimaat, met meer extreme neerslaggebeurtenissen tot gevolg. Positieve en negatieve terugkoppelingsmechanismen in de atmosferische vochtbalans spelen hierbij een belangrijke rol. In mijn promotieonderzoek verricht ik onderzoek naar de interactie van bodemvocht en landgebruik op extreme gebeurtenissen in de neerslag. In de analyse richt ik mij in eerste instantie op perioden van extreme droogte.

Projecties met mondiale klimaatmodellen voor de 21^e eeuw laten vaak zien dat droge periodes in Europa vaker voor zullen komen dan nu (IPCC, 2001). Studies van de droge zomer van 2003 suggereren dat uitdroging van grote delen van het landoppervlak de intensiteit en lengte van de droge periode heeft versterkt door een positieve hydrologische land-atmosfeer terugkoppeling. Hierbij kan de verdamping sterk afnemen en neerslag uitblijven, terwijl atmosferische circulaties voorkomen dat nieuw vocht wordt aangevoerd. De samenhang van deze processen is nog onduidelijk. Atmosferische drukpatronen zorgen voor condities waarin zo'n droge situatie kan ontstaan. Daarnaast speelt de grootschalige terugkoppeling tussen bodemvocht, verdamping en atmosferische vocht-huishouding waarschijnlijk ook een rol bij het in stand houden van de droogte.

¹ Hydrologie en GeoMilieuwetenschappen, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1085, kamer O-426, 1081 HV Amsterdam. Tel: +31 (0)20-5987307, email: berny.bisselink@falw.vu.nl

Aanpak onderzoek

De oorsprong van neerslag in een gebied kan worden verdeeld in twee bronnen: neerslag afkomstig van niet-lokale bronnen, advection, en neerslag afkomstig van lokale verdamping. De verhouding tussen neerslag afkomstig van lokale verdamping en de totale neerslag is gedefinieerd als 'precipitation recycling' en is bepaald met een recycling ratio. Met de recycling ratio kan worden vastgesteld welke componenten van het land-atmosfeer systeem van belang zijn voor de hydrologische koppeling tussen verdamping en atmosferische vochtthuishouding. Gebieden met een hoge recycling ratio zijn mogelijk gevoelig voor veranderingen in de hydrologische kringloop door een veranderend klimaat en/of verandering van landgebruik.

De lokale recycling ratio is bepaald met een dynamisch recycling model (Dominguez e.a., 2006) en is afgeleid van de vergelijking die de atmosferische tak van de hydrologische cyclus beschrijft:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \nabla \cdot [\mathbf{Q}_\lambda, \mathbf{Q}_\phi] = E - P \quad (1)$$

Hierbij is P de neerslag en E de verdamping. De eerste term aan de linkerzijde is de opslagterm van precipitabel water (w). Deze term is verwaarloosbaar op grote tijdschalen. De tweede term van het linkerlid is de geïntegreerde van het horizontale watertransport door de atmosfeer, waarbij Q verdeeld is in een oost-west (zonale) component en een noord-zuid (meridionale) component. Het bijzondere aan het dynamische recycling model is dat een vochtdeeltje terugwaarts in de tijd wordt gevolgd. De lokale recycling ratio (R) wordt berekend door de trajectorie te integreren vanaf het moment het deeltje het gebied inkomt tot het vochtdeeltje uitregent:

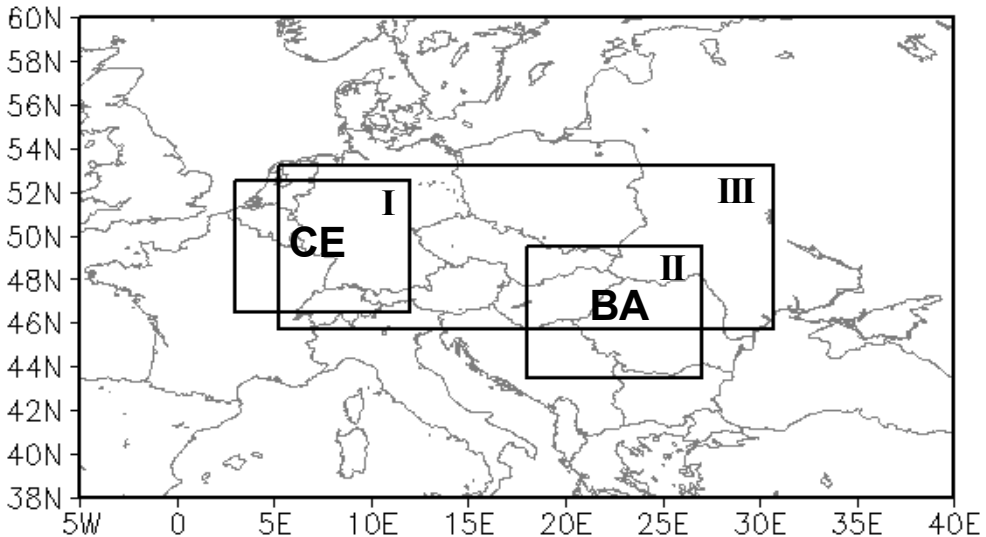
$$R = 1 - \exp \left[- \int_0^\tau \frac{E}{w} \partial \tau \right] \quad (2)$$

Een nadeel van deze methode is dat de berekende recycling ratio afhankelijk is van de gebiedsgrootte. Hoe groter het gekozen gebied is, des te meer kans er voor het verdampde vochtdeeltje is om weer neer te slaan in hetzelfde gebied. Het gehele aardoppervlak zal per definitie een recycling ratio hebben van 1. Het voordeel van het dynamische recycling model is dat de opslagterm ($\partial w/\partial t$) is inbegrepen in de vergelijking en we in principe tot op een tijdschaal van een dag de recycling kunnen berekenen. Dit in tegenstelling tot de meeste andere recycling studies die de opslagterm verwaarlozen en zich beperken tot een maandelijks tijdschaal.

Resultaten

Als invoer voor het dynamische recycling model gebruik ik de 'ERA-40 heranalyse' (Upala e.a., 2005). De beschrijving van atmosferische processen in weermodellen verbetert steeds, waardoor de resultaten van de afgelopen jaren niet homogeen zijn. Bij zogenaamde heranalyses worden met de hedendaagse modellen nieuwe analyses van de atmosfeer gemaakt. Bij het ERA-40 project werd de periode 1957-2002 opnieuw geanalyseerd tot een homogene dataset. Uit de ERA-40 dataset gebruik ik de periode 1979-2001 met een

resolutie van $1.5^0 \times 1.5^0$ per gridcel. De regionale recycling ratio's zijn in eerste instantie berekend op een maandelijkse tijdschaal en zijn gegeven voor twee gebieden binnen Europa: I. Centraal Europa (CE) en II. de Balkan (Ba). De gebieden hebben een grootte van 6×4 gridcellen. Een voorbeeld dat de lokale terugkoppeling in gebied III laat zien volgt verderop in dit artikel. In figuur 1 zijn de locaties van de gebieden weergegeven.

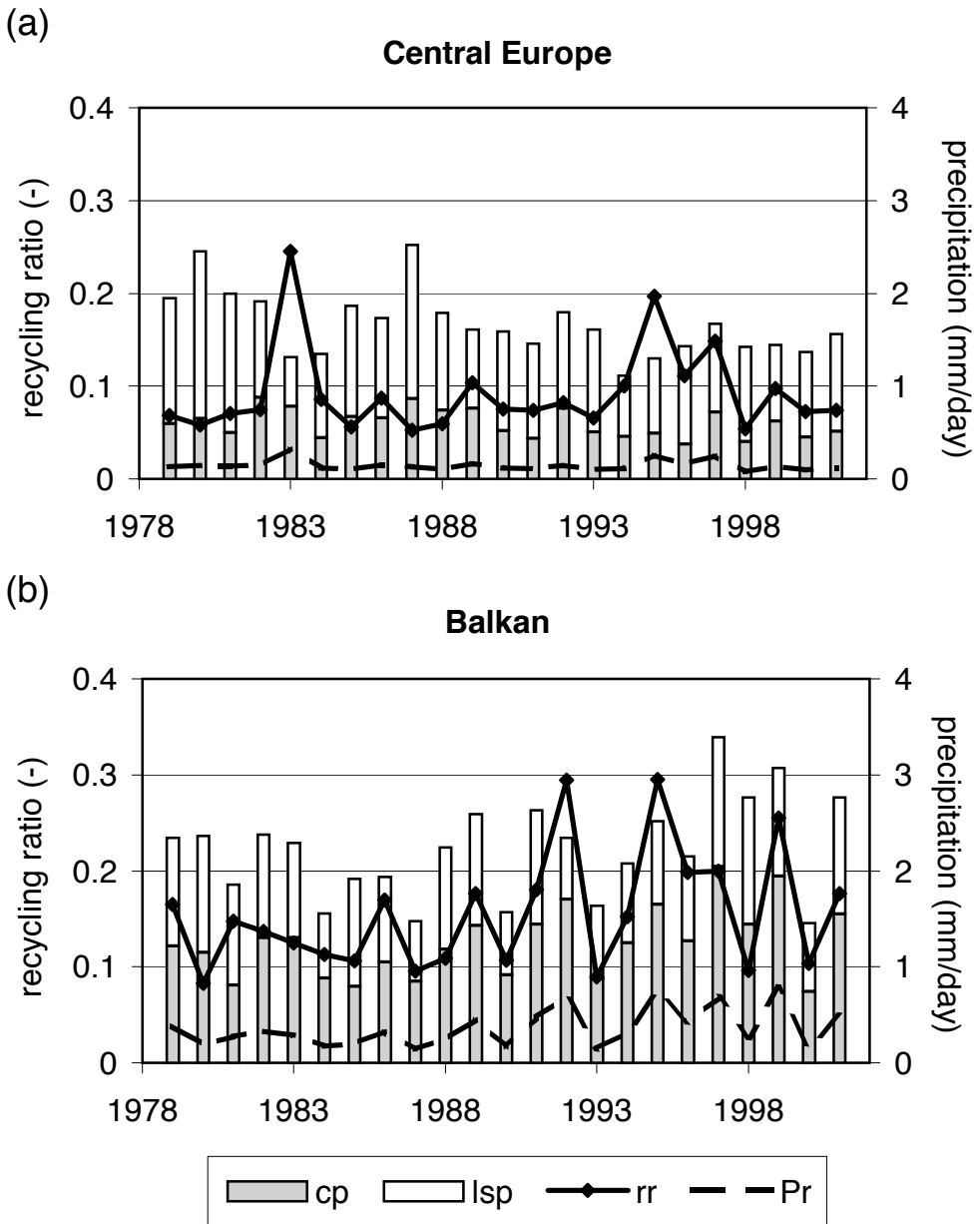


Figuur 1: De drie gebieden waarvoor recycling ratio's zijn berekend. Voor de gebieden I (Centraal Europa) en II (Balkan) zijn regionale recycling ratio's berekend en voor gebied III zijn lokale recycling ratio's berekend.

Regionale terugkoppeling

Met het gewogen gemiddelde van de neerslag in een gebied en de berekende lokale recycling ratio (vergelijking 1) per gridcel wordt de regionale recycling ratio verkregen. De regionale recycling ratio is dus één waarde per maand en per gebied. Figuur 2 laat de gemiddelde regionale recycling ratio's zien voor de zomermaanden juni tot en met augustus. De gemiddelde neerslag is verdeeld in neerslag afkomstig van grootschalige weersystemen en convectieve neerslag. De neerslag afkomstig van grootschalige weersystemen, zoals een lagedrukgebied bestaat vaak uit langdurig, regelmatig verspreide neerslag. Convectieve neerslag kan daarentegen erg hevig zijn met een lokaal karakter. Praktisch gezien hoeft deze vorm van neerslag niet afkomstig te zijn van de verdamping uit het gebied zelf, maar kan ook zijn oorsprong hebben buiten deze gebieden. Tenslotte zien we ook de neerslag afkomstig van de lokale verdamping. Deze vorm van neerslag is uitsluitend afkomstig van de verdamping uit het beschouwde gebied zelf.

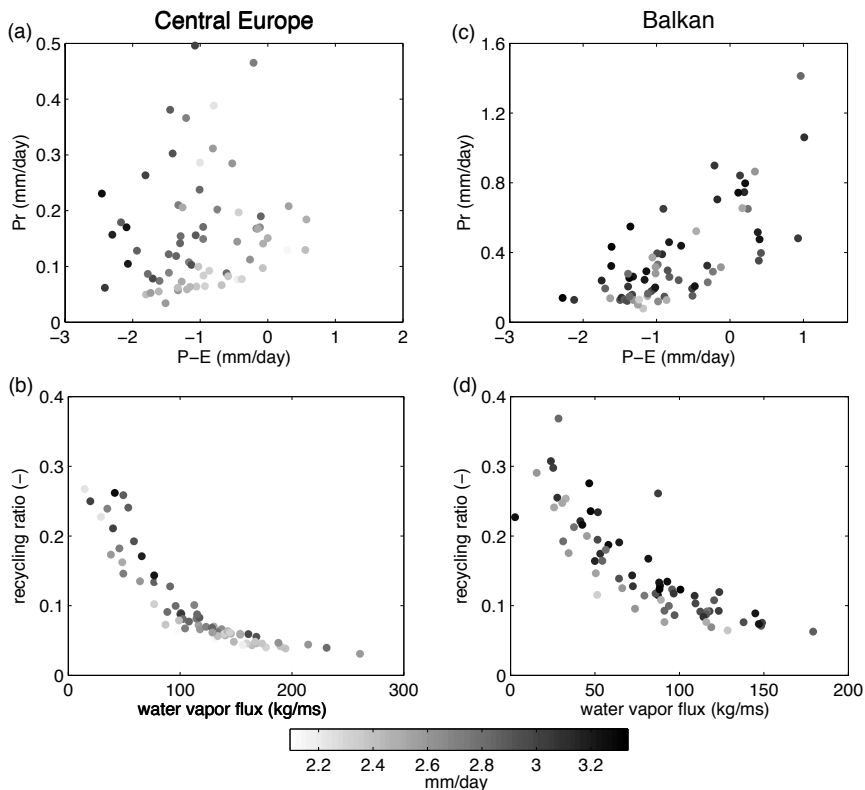
In figuur 2 valt als eerste het verschil tussen de verschillende neerslagbronnen in de twee gebieden op. In Centraal Europa is de neerslag voornamelijk afkomstig uit grootschalige weersystemen die hun oorsprong op de oceaan hebben. Voor de Balkan is de neerslag voornamelijk afkomstig van convectieve systemen. In het algemeen variëren



Figuur 2: Tijdreeksen van de gemiddelde recycling ratio (rr) en de gemiddelde neerslag, verdeeld in neerslag afkomstig van grootschalige systemen (lsp), convectieve neerslag (cp) en neerslag afkomstig van lokale verdamping (Pr), voor twee gebieden: (a) Central Europe en de (b) Balkan. Berekend voor de maanden juni tot en met augustus over de periode 1979-2001.

de regionale recycling ratio's van 0,05 tot 0,3. In Centraal Europa zijn de meeste ratio's lager dan 0,1 op een paar uitzonderingen na. De regionale recycling ratio's zijn hoog in de zomers van 1983 en 1995, waarin de neerslag afkomstig van grootschalige systemen laag is. Daarentegen is de neerslag afkomstig van verdamping uit het gebied ook laag, doordat de totale neerslag laag is in droge zomers. Voor de Balkan gelden andere wetten. Pieken van de regionale recycling ratio zijn te zien in de jaren 1992, 1995 en 1999. Dit zijn ook de jaren met pieken in de convectieve neerslag. Terugkoppeling van verdamping kan dus belangrijk zijn in natte zomers met veel convectieve neerslag.

Om te kunnen vaststellen welke mechanismen belangrijk zijn voor hoge recycling ratio's zijn in figuur 3 scatterplots afgebeeld van de neerslag afkomstig van lokale verdamping tegen de convergentie en van de recycling ratio tegen het horizontale watertransport. Elk punt in de scatter komt overeen met een maandelijks gemiddelde voor juni, juli en augustus. De grijs tinten van de punten stellen hoge (donker) en lage (licht) verdampingswaarden voor.



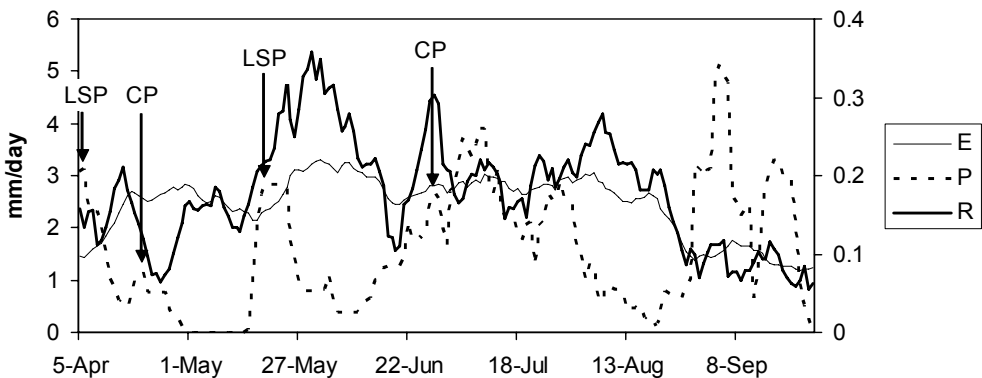
Figuur 3: Vergelijking van de neerslag afkomstig van lokale verdamping (Pr) tegen de convergentie (P-E) en de recycling ratio tegen het horizontale watertransport voor Centraal Europa (a en b) en de Balkan (c en d). Elk punt in de scatter komt overeen met een maandelijks gemiddelde voor juni, juli of augustus. De grijs tinten van de punten stellen hoge (donker) en lage (licht) verdampingswaarden voor.

In Centraal Europa lijkt er geen verband te zijn tussen de convergentie en de neerslag afkomstig uit lokale verdamping (figuur 3a). De recycling ratio neemt af bij een toenemend horizontaal watertransport en is hoger bij hogere verdampingwaarden (figuur 3b). Voor de Balkan neemt de neerslag afkomstig uit lokale verdamping toe bij toenemende convergentie (figuur 3c). Ook hier neemt de recycling ratio af bij een toenemend horizontaal watertransport en lijkt de recycling ratio toe te nemen bij hogere verdampingwaarden. (figuur 3d).

Uit de figuren 2 en 3 blijkt dat het horizontaal watertransport een belangrijk mechanisme is voor terugkoppelingsprocessen. Bij een hoge recycling is er nauwelijks horizontaal watertransport, oftewel het weer wordt niet gedomineerd door grootschalige weersystemen. Voor Centraal Europa komt dit voornamelijk overeen met droge zomers, waarbij lagedrukgebieden het continent niet bereiken en hogedrukgebieden het weertype bepalen. Voor de Balkan komt dit overeen met natte zomers waarin vooral convectieve neerslag valt waarbij hoge verdampingwaarden en convergentie voor een positieve hydrologische land-atmosfeer terugkoppeling zorgen.

Lokale terugkoppeling

Tot nu toe hebben we alleen gekeken naar de regionale recycling ratio en naar een maandelijkse tijdschaal. Met het dynamische recycling model kan ook op een dagelijkse tijdschaal gekeken worden om te kunnen analyseren in hoeverre de hoeveelheid water die in de bodem kan worden opgeslagen een rol speelt. De opslagcapaciteit van de bodem kan de tijdschaal waarmee bodem en atmosfeer onderling op elkaar reageren reguleren. Het is echter slecht bekend hoe die interactie precies in het werk gaat, en in welke mate de opslagcapaciteit daadwerkelijk verantwoordelijk is voor de sterkte van de land-atmosfeer terugkoppeling.



Figuur 4: Tijdreeksen voor een gridcel van het 9 daags voortschrijdend gemiddelde van de verdamping (E), neerslag (P) en de lokale recycling ratio (rr) voor het jaar 2000. De pijlen geven de neerslagbron aan: neerslag afkomstig van grootschalige systemen (lsp) of convectieve neerslag (cp).

De dataset is uitgebreid en loopt nu van april tot en met september 2000. Lokale recycling ratio's, R in vergelijking 2, zijn berekend voor elke gridcel in gebied III (figuur 1). Het is mogelijk per gridcel tijdreeksen te berekenen. Een voorbeeld van een dergelijke

tijdreeks voor één gridcel in het uiterste noordoosten van gebied III is weergegeven in figuur 4. Het voorjaar van 2000 begint erg nat in delen van Europa en in de gridcel die als voorbeeld is gekozen zien we dit terug rond 5 april. Daaropvolgend begint de verdamping toe te nemen, waarna ook een piek volgt in de recycling ratio. De volgende neerslagpiek rond half april wordt vooral veroorzaakt door convectieve neerslag. Dit scenario lijkt zich te herhalen later in het seizoen. Rond 21 mei brengt een systeem neerslag, waarna de verdamping toeneemt en de recycling ratio de hoogste piek van het jaar bereikt.

Bij de daaropvolgende neerslaggebeurtenissen valt voornamelijk neerslag van convectieve oorsprong. Aan het einde van de zomer dalen de verdamping en de recycling ratio en wordt de oorsprong van de neerslag gedomineerd door grootschalige weersystemen. Dit is weliswaar een voorbeeld van één jaar en één gridcel, maar het geeft wel aan dat er grote dagelijkse variatie in de recycling ratio zit. Op het moment van schrijven worden er meerdere jaren geanalyseerd om ook te kijken naar het effect van een droog voorjaar voor het verdere verloop van het seizoen. Daarbij kunnen ook andere grootheden belangrijk zijn voor de recycling, zoals warmtestroom, hoogte van de wolkenbasis, temperatuur en natuurlijk horizontaal watertransport.

Met dit artikel over mijn promotieonderzoek hoop ik de relevantie van recycling van neerslag als proces binnen de hydrologische kringloop aangetoond te hebben. De voorlopige resultaten laten zien dat horizontaal watertransport een belangrijke factor is voor neerslag afkomstig uit lokale verdamping en dat er binnen Europa verschillen zijn in de herkomst van neerslag. In het algemeen lijken verdamping en bodemvochtdynamiek van invloed te zijn op de neerslag in de zomer op het Europese continent, vooral meer landinwaarts. Op de Balkan lijkt recycling de hydrologische kringloop te intensiveren door een positieve terugkoppelingsproces dat het ontstaan van convectieve neerslag beïnvloedt. Dit gebied kan dan ook gevoelig zijn voor klimaatverandering en/of veranderingen in landgebruik. Terugkoppelingen in Centraal Europa zijn vooral belangrijk in droge zomers waarin nauwelijks horizontaal watertransport optreedt. Dit proces zou belangrijk kunnen zijn in het ontstaan en het in stand houden van een hogedruksysteem, zoals bij de hittegolf in 2003. Dit proces zal ik in mijn verdere onderzoek nader bestuderen. Daarna is het de bedoeling de invloed van veranderingen in landgebruik te modelleren met een regionaal klimaatmodel. Hierbij is het belangrijk dat het model de gevonden hydrologische terugkoppelingsprocessen accuraat beschrijft.

Referenties

Dominguez, F., P. Kumar, X. Liang en M. Ting (2006) *Impact of atmospheric moisture storage on precipitation recycling; in: Journal of Climate, vol 19, pag 1513-1530.*

IPCC (2001) *Climate Change 2001 Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press, Cambridge.*

Uppala S. M., e.a. (2005) *The ERA-40 reanalysis; in: Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. vol 131, pag 2961-3012.*

