

Overzicht van het EQUATOR-project

De troposferische chemie wordt sterk beïnvloed door interacties tussen het landoppervlak en de atmosfeer. Door hun hoge reactiviteit en wijdverspreide aanwezigheid hebben vluchtige organische stoffen (VOS) een aanzienlijke impact op oxidatie in de atmosfeer, de productie van ozon en fijn stof. VOS reageren gemakkelijk met hydroxylradicalen (OH), het belangrijkste "zuiveringsmiddel" van de atmosfeer, die een centrale rol spelen in de atmosferische chemie. Isopreen (C_5H_8) is de meest overvloedig uitgestoten biogene VOS (BVOS) door vegetatie op de aarde. Het globale BVOS-budget wordt gedomineerd door uitstoot in de tropen, voornamelijk dankzij de hoge productiviteit van loofbossen en gunstige klimaatomstandigheden daar. Ondanks de omvang van de isopreenuitstoot blijft haar precieze grootte sterk onzeker - vooral in tropische gebieden - door complexe biosfeer-atmosfeer interacties, beperkte waarnemingen en slecht gekende NO_x -niveaus (de stikstofoxiden NO en NO_2). Tropische regio's behoren immers tot de minst gemonitorde en begrepen ecosystemen ter wereld. In de meeste tropische regio's heerst een laag NO_x -niveau, wat leidt tot oxidatieprocessen van VOS die verschillen van die in beter bestudeerde gebieden op middelbare breedtegraden. Natuurlijke NO_x -uitstoot uit de bodem en door bliksem speelt een cruciale rol in de tropen, maar de schattingen ervan zijn erg onzeker. Het begrijpen en kwantificeren van de omvang en trends van BVOS uitstoot en haar impact op de atmosfeer vormt een belangrijke wetenschappelijke uitdaging die een geïntegreerd gebruik vereist van satellietwaarnemingen over de hele aardbol, aangevuld met metingen uit veldwerk en geavanceerde atmosferische modellen. Kennis van de wereldwijde concentraties van de stof formaldehyde (HCHO), een belangrijk oxidatieproduct van isopreen dat via satelliet kan worden gemeten, maakt het mogelijk om de emissies van een breed scala aan VOS te schatten wanneer deze kennis wordt gecombineerd met chemie-transportmodellen en inverse modelleringstechnieken.

Het EQUATOR-project (*Emission Quantification of Atmospheric tracers in the Tropics using ObseRvations from satellites*) richt zich op het bepalen van de uitstoot van spoor-elementen in de tropen, met name van isopreen afkomstig van vegetatie en NO_x afkomstig van bodem en bliksem. Het werk omvat: (i) het bestuderen van de invloed van de bodembedekking op de wereldwijde isopreenuitstoot en -trends, inclusief de identificatie van factoren die leiden tot onzekerheid in de emissieschatting; (ii) de karakterisering van vertekeningen in satellietmetingen van HCHO gemeten door de OMI satelliet, aan de hand van onafhankelijke metingen vanop de grond en met vliegtuigen; (iii) de satellietgebaseerde schatting van isopreen- en natuurlijke NO_x -emissies via een dubbele inversie met HCHO en NO_2 concentraties over Afrika en Zuid-Amerika gemeten door de TROPOMI satelliet. Het project combineert zowel bottom-up- als top-down benaderingen. De bottom-up methode is gebaseerd op het BVOS-emissiemodel MEGAN-MOHYCAN, terwijl de top-down benadering gebruikmaakt van een chemie-transportmodel (CTM) en inverse modelleringstechnieken. We maken gebruik van het

intern ontwikkeld CTM voor de troposfeer, MAGRITTEv1.1, en een bijbehorend optimalisatiealgoritme gebaseerd op adjointmethodes.

In de eerste studie werden de ruimtelijke en temporele patronen van de bedekking van de grond door bomen vastgelegd aan de hand van verschillende datasets over bodembedekking. Er werden aanzienlijke verschillen vastgesteld tussen deze datasets: schattingen van de wereldwijde boomoppervlakte varieerden van 30 tot 50 miljoen km², terwijl de trends varieerden van een jaarlijkse daling met 0,26% tot een stijging van 0,03% voor de periode 2001–2016. Op basis hiervan varieerde de geschatte jaarlijks uitgestoten isopreen van 350 tot 520 Tg. Deze veranderingen in bodembedekking bleken de stijgende hoeveelheid uitgestoten isopreen, dat grotendeels werd aangedreven door stijgende temperaturen en zonnestraling, te temperen met 0,04% tot 0,33% per jaar. Dit temperend effect wordt hoofdzakelijk toegeschreven aan het verlies van boomoppervlak in tropische gebieden. Deze studie leidde tot de ontwikkeling van de ALBERI-dataset: een langetermijn bottom-upinventaris van maandelijkse wereldwijde isopreenemissies aan een ruimtelijke resolutie van 0,5°×0,5° voor de periode 2001–2018, gebaseerd op satellietwaarnemingen van vegetatie. De bijhorende landbedekkingsdataset GFWMOD geeft jaarlijkse boomdistributie weer van 2001 tot 2018, gebaseerd op de MODIS-dataset maar aangepast aan de schattingen van Global Forest Watch met een zeer hoge resolutie (30 meter).

De tweede studie, de vergelijking van OMI HCHO-data met FTIR- en vliegtuigmetingen, toont een systematische bias: OMI onderschat hoge HCHO-kolommen en overschat lage waarden. Om deze kolommen te corrigeren, hebben we correcties op basis van lineaire regressie afgeleid.. Toepassing van deze correcties verhoogt de wereldwijde top-downbenadering van isopreenuitstoot met ongeveer 25% ten opzichte van de ongecorrigeerde data, wat het grote effect van deze aanpassing benadrukt. Het effect is vooral uitgesproken in Zuid-Azië (+43%) en Afrika (bijna +30%). De aangepaste schattingen komen goed overeen met recente waarden afgeleid van CrIS-satellietmetingen van isopreenkolommen. Deze bevindingen ondersteunen het gebruik van bias-gecorrigeerde HCHO-satellietdata binnen inverse modellering om de nauwkeurigheid van VOS-emissieschattingen te verbeteren.

Voor de derde studie werd een nieuwe “dubbele” inversiemethode ontwikkeld op basis van het CTM MAGRITTEv1.1, waarmee een gelijktijdige inversie van twee groepen gassen – VOS en NO_x – mogelijk is, gebruikmakend van TROPOMI-waarnemingen van niet alleen HCHO maar ook NO₂. Boven Afrika geven de resultaten aan dat bottom-upinventarissen de uitstoot sterk onderschatten: biogeen isopreen met ongeveer 30%, NO_x uit de bodem met 25%, en NO_x uit bliksem zelfs met 300%. De geschatte hoeveelheid NO_x uitstoot uit de bodem en bliksem vergroot nog verder na een vergelijking met NO₂-concentraties gemeten, respectievelijk, op het platteland, en in de bovenste laag van de troposfeer. De nauwkeurigheid van de uitstoot afgeleid van deze “dubbele” inversie werd bevestigd door de gemodelleerde isopreenkolommen die de werkelijkheid duidelijk beter benaderen - zowel in grootte als ruimtelijke verdeling - wanneer ze worden vergeleken met onafhankelijke CrIS-observaties over Afrika. Opvallend is

dat de CrIS-data een niet eerder geziene uitstootspot heeft onthuld boven Angola. In het bottom-upinventaris ontbrak die geheel. De verbeterde prestatie van de gecombineerde NO₂-HCHO-inversie ten opzichte van de versie die enkel HCHO inleest toont de toegevoegde waarde van satellietwaarnemingen van NO₂ aan. Deze studie leverde maandelijkse top-downbenaderingen van de uitstoot van isopreen, bodem-NO_x en bliksem-NO_x in Afrika op, aan een resolutie van 0,5°×0,5° voor het volledige jaar 2019.

We pasten dit inversieprincipe ook toe voor Zuid-Amerika, opnieuw met behulp van satellietwaarnemingen van HCHO- en NO₂-kolommen. De optimalisatie resulteerde in een stijging van 60% in de emissies van NO_x van bliksem en een lichte toename van NO_x vanuit de bodem in vergelijking met de bottom-upinventarissen. Net als in Afrika blijken ook hier de inventarissen bodem- en bliksemissies te onderschatten. Voor isopreen zijn de top-downramingen ongeveer 20% lager dan de bottom-upwaarden. De inversie resulteert in aanzienlijke verminderingen (tot 80%) in gebieden met hoge emissies in het westen en zuiden van het Amazonegebied, wat leidt tot een betere overeenkomst met CrIS-gegevens, zowel in waarde als ruimtelijke verdeling. Lokale FTIR-metingen van isopreenkolommen in Porto Velho corroboreren de sterke reducties tijdens het droogseizoen echter niet. Aanvullend onderzoek is dus noodzakelijk.

Trefwoorden: isopreen, veranderingen in bodembedekking, NO_x, bodem, bliksem, inversie, bias, TROPOMI.