



Vlaanderen
is milieu



Opmaak van een indicator voor ozonschade aan vegetatie in Vlaanderen via uitbouw van een ozonfluxmodel

MIRA/2014/08

Opmaak van een indicator voor ozonschade aan vegetatie in Vlaanderen via uitbouw van een ozonfluxmodel

Peter Viaene en Felix Deutsch

VITO, RMA

**Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA,
Milieurapport Vlaanderen**

Onderzoeksrapport MIRA/2014/8

November 2014

DOCUMENTBESCHRIJVING

Titel

Opmaak van een indicator voor ozonschade aan vegetatie in Vlaanderen via uitbouw van een ozonfluxmodel

Dit rapport verschijnt in de reeks MIRA Ondersteunend Onderzoek van de Vlaamse Milieumaatschappij. Deze reeks bevat resultaten van onderzoek gericht op de wetenschappelijke onderbouwing van het Milieurapport Vlaanderen. Dit rapport is ook beschikbaar via www.milieurapport.be.

Samenstellers

Peter Viaene en Felix Deutsch
Unit Ruimtelijke Milieuaspecten, VITO

Inhoud

In deze studie werden op basis van de aanbevelingen van de literatuur- en haalbaarheidsstudie door Deutsch en Vandermeiren (2013) en in overleg met VMM de nodige invoer en een programma genaamd 'O3flux' ontwikkeld waarmee een gebiedsdekkende berekening mogelijk is van de Phytotoxische Ozon Dosis POD_{γ} ($\text{mmol O}_3 \text{ m}^{-2}$ bladoppervlak), dit is de som van het verschil tussen de uurgemiddelde stomataire ozon flux en een drempelwaarde Y ($\text{nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), geaccumuleerd over de relevante tijdsperiode tijdens de daglichturen voor Vlaanderen.

Wijze van refereren

Viaene P. en Deutsch F. (2014) Opmaak van een indicator voor ozonschade aan vegetatie in Vlaanderen via uitbouw van een ozonfluxmodel, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2014/8, VITO.

Verantwoordelijke uitgever

Michiel Van Peteghem, Vlaamse Milieumaatschappij

Vragen in verband met dit rapport

Vlaamse Milieumaatschappij
Milieurapportering (MIRA)
Van Benedenlaan 34
2800 Mechelen
tel. 015 45 14 61
mira@vmm.be

Depotnummer

D/2015/6871/002

ISBN

9789491385384

NUR

973/943

Foto cover

Shutterstock

Inhoudstafel

Samenvatting.....	7
Summary	9
1. Inleiding	10
2. De POD_{γ} berekening	10
3. Invoergegevens	11
3.1. Concentratie.....	11
3.2. Meteorologie	12
3.3. Landgebruik	13
3.4. Bodem.....	18
Bodemvochtfactor	18
Beworteling	20
3.5. Verdere verwerking.....	21
4. Implementatie.....	22
4.1. Programmastructuur	22
4.2. Vegetatie.....	24
4.3. Bodem.....	26
4.4. Meteo	26
4.5. Regio's	27
4.6. Uitvoer.....	27
4.7. O3flux, het hoofdprogramma	28
5. Validatie: vergelijking met EMEP.....	31
6. RESULTATEN.....	34
6.1. Inleiding.....	34
6.2. Resultaten van de standaardberekening zonder waterstress	35
Aardappelen.....	35
Akkerbouw	36
Granen	37
Grasland	38
Loofbos	39
Naaldbos.....	40
Tarwe	41
Bespreking resultaten	42
6.3. Effect van het bodemvocht op de berekende POD_{γ} waarden	44
6.4. Effect van het gebruik van ECMWF PAR invoer	47
6.5. Effect op gewasopbrengst	47
7. Conclusies.....	49

Inhoudstafel figuren

Figuur 1: Voorbeeld van een RIO-bestand met uurlijkse O ₃ -concentraties.....	11
Figuur 2: Het RIO-grid (ingekleurde cellen) en het ECMWF-grid waarop de meteorologische invoer wordt aangeleverd door IRCEL.....	12
Figuur 3: Velden met graan volgens de NARA kaart en tarwe volgens de EPR 2009.....	15
Figuur 4: Het voorkomen van de landgebruiksklassen aardappelen, akkerland, graangewassen, grasland, loofbos en naaldbos op basis van de NARA, CLC2006 en SIGEC	17
Figuur 5: Voorkomen van de klassen graan(links) volgens NARA/SIGEC en tarwe volgens EPR/SIGEC	18
Figuur 6: Bodemtextuurkaart die in ECMWF wordt gebruikt	19
Figuur 7: Cumulatieve bewortelingsfractie voor een aantal gewastypes	20
Figuur 8: Combinatie van aardappelvelden met het RIO grid en de regio's	21
Figuur 9: Programmastructuur voor het nieuwe O ₃ flux programma op basis van de bestaande EMEP code (groen) en de nieuwe EMEP_stubs en nieuwe O ₃ flux modules (blauw)	23
Figuur 10: Voorbeeld van een gewasparameterbestand	25
Figuur 11: Voorbeeld van een bodemparameterbestand.....	26
Figuur 12: Voorbeeld van een bestand dat het RIO-grid koppelt aan het ECMWF-grid.....	27
Figuur 13: Voorbeeld van een bestand dat de relatie tussen de regiocodes en de benamingen voor de regio's geeft.....	27
Figuur 14: Voorbeeld van het hoofdconfiguratieprogramma dat door het hoofdprogramma wordt gelezen	30
Figuur 15: Voorbeeld van een bestand met de combinaties veld ID - RIOgridcel – bodemtype	30
Figuur 16: Punten van het RIO-grid samen met de punten van het EMEP-grid	31
Figuur 17: POD ₁ voor het vegetatietype 'DF' (deciduous forest/ loofbos) berekend door EMEP (boven) en de O ₃ flux applicatie (onderaan) voor het jaar 2009.....	32
Figuur 18: POD ₃ voor het vegetatietype 'TC' (temperate crop/akkerbouw) berekend door EMEP (boven) en de O ₃ flux applicatie (onderaan) voor het jaar 2009.....	33
Figuur 19: Grootschalige jaargemiddelde concentratiekaarten berekend met RIO voor O ₃	42
Figuur 20: POD _γ voor akkerland met de oorspronkelijke parameters voor de temperatuursafhankelijkheid (links) en indien de parameters voor loofbos (rechts) gebruikt worden	43
Figuur 21: Temperatuursfactor bij berekening POD _γ voor akkerland en voor loofbos	43
Figuur 22: Ruimtelijke verdeling van de gemiddelde f _{sw} waarden voor de verschillende gewassen in 2009.....	46

Figuur 23: Scatterplots voor POD_V (mmol/m ²) op basis van PAR(EMEP) en PAR(ECMWF) voor de gewastypes aardappel, graan en tarwe (bovenste figuur) en de gewastypes grasland, akkerbouw, loofhout en naaldhout (onderste figuur)	48
Figuur 24: De bodemvochtfactor voor verschillende bodemvochtgehaltenes voor de vier verschillende bodemtypes die werden onderscheiden	53
Figuur 25: De bodemassociatiekaart van België	54
Figuur 26: Bodemtypekaart gebruikt voor de berekening van f_{sw}	56

Inhoudstafel tabellen

Tabel 1: Herclassificatie van de niveau 2 klassen in NARA voor de generieke landgebruiksklassen	14
Tabel 2: Herclassificatie van de CLC2006 klassen voor de generieke landgebruiksklassen.....	14
Tabel 3: Herclassificatie van de SIGEC klassen voor de landgebruiksklassen aardappelen en graan ...	16
Tabel 4: Uitdovingscoëfficiënt voor een aantal gewastypes.....	20
Tabel 5: Velden in het Inputs_DO3SE.csv bestand De waarden die nodig zijn voor de berekening zijn vetgedrukt.	24
Tabel 6: Velden in het Inputs_LandDefs.csv bestand De waarden die nodig zijn voor de berekening zijn vetgedrukt.....	25
Tabel 7: Gemiddelde bodemvochtfactor (f_{sw}) voor de verschillende bodemtypes en de frequentie waarmee de waarde kleiner is dan 1 gedurende het groeiseizoen	44
Tabel 8: Gemiddelde reductie van de POD_{γ} indien met waterstress wordt rekening gehouden	44
Tabel 9: Conversie van bodemseriecodes naar de bodemtypes voor de f_{sw} berekening (A=leem, E=klei, G=stenig leem, L=zandleem, M=mergel, P=licht zandleem, pE=Mariene afzettingen, S=lemig zand, U=zwarte klei, V=veen, Z=zand en kustduinen).....	51
Tabel 10: Parameters voor de Van Genuchtenvergelijking voor 4 verschillende bodemtypes en de waarden voor het bodemvochtgehalte bij veldcapaciteit (θ_{vc}) en het verwelkingspunt (θ_{vp}) op basis van deze parameters (naar Wösten, 2000).....	52

Samenvatting

Net zoals te hoge troposferische ozonconcentraties nadelig zijn voor de menselijke gezondheid, kunnen ook planten hiervan nadelige gevolgen ondervinden. Het effect op planten wordt momenteel begroot op basis van de blootstellingsindex AOT40 (Accumulated Ozone exposure Over a Threshold of 40 ppb) die in de Europese richtlijn Luchtkwaliteit 2008/50/EG gedefinieerd is als de som van uurgemiddelde O_3 -concentraties boven 40 ppb (en verminderd met 40 ppb) van 8 tot 20u gedurende het groeiseizoen. In Vlaanderen wordt deze indicator opgevolgd in het kader van het MINA-plan 4 (2011-2015). De Europese langetermijndoelstelling is 3000 ppb.h (= 6 000 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$).uren), de grenswaarde ter voorkoming van schade aan gevoelige landbouwgewassen en natuurlijke vegetatie.

Ozoneffecten zijn echter in eerste instantie het gevolg van de O_3 die de plant ook effectief binnendringt en deze vormt slechts een deel van de ozonconcentratie in de omgevingslucht. Deze opname gebeurt via de huidmondjes (stomata) in het blad waarlangs ook de CO_2 - en H_2O -uitwisseling plaatsvindt. De regeling van de openingsgraad van deze huidmondjes (stomataire conductiviteit) laat de plant toe om de transpiratie- en fotosyntheseprocessen aan te passen aan de omgevingscondities. Bijgevolg is ook de O_3 -opname afhankelijk van omgevingsfactoren (temperatuur, lucht- en bodemvocht, lichtintensiteit ...) en specifieke plantkarakteristieken (aantal huidmondjes, ontwikkelingsstadium ...).

Om tot meer realistische inschattingen te komen van ozonschade werden de laatste 10 jaar dan ook belangrijke inspanningen geleverd ter ontwikkeling van methodes om deze O_3 -opname te modelleren en betrouwbare dosis-respons relaties op te bouwen op basis van de ozonflux. Dit resulteerde in een nieuwe indicator voor inschatting van het risico op opbrengstvermindering of afname van biomassa van landbouwgewassen, bomen en grasland: de Phytotoxische Ozon Dosis POD_Y ($\text{mmol } O_3 \text{ m}^{-2} \text{ bladoppervlak}$), dit is de som van het verschil tussen de uurgemiddelde stomataire ozonflux en een drempelwaarde Y ($\text{nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), geaccumuleerd over de relevante tijdsperiode tijdens de daglichturen.

Deze studie is het vervolg op een literatuur- en haalbaarheidsstudie (Deutsch en Vandermeiren, 2013) waarin werd nagegaan hoe de berekening van POD_Y voor Vlaanderen zou kunnen gebeuren. In een eerste deel worden de verwerking beschreven van de verschillende databronnen die nodig zijn voor de berekening. Het gaat hierbij zowel om een aantal meteorologische variabelen, de ozonconcentratie als de karakteristieken van de bodem en de vegetatie waarvoor de POD_Y berekening gewenst is. Voor de meteorologische invoer werd vertrokken van de ECMWF data die met behulp van de pre-processing tool in CHIMERE vertaald worden naar het grid van de RIO ozonconcentratiekaarten. Het RIO-grid werd ook gecombineerd met de bodemtextuurkaart die gebruikt wordt in ECMWF meteorologie, kaarten met de velden waar de verschillende gewassen waarvoor een POD_Y -berekening mogelijk is en een kaart voor de verschillende regio's (gewesten) die we moeten onderscheiden om zo een bestand met de verschillende combinaties van gewas-bodem-meteorologie-regio te bepalen waarvoor de POD_Y -berekening dient te gebeuren.

Het rapport beschrijft verder hoe op basis van de module DO_3SE van het Europese luchtkwaliteitsmodel EMEP waarmee gebieddekkende berekeningen van de POD_Y mogelijk zijn, een nieuwe code werd ontwikkeld die de invoerdata inleest en POD_Y waarden voor een door de gebruiker gekozen gewas berekent voor de velden waar dit gewas voorkomt. De verschillende

configuratie-bestanden die de code inleest, worden beschreven. De code werd getest aan de hand van een vergelijking met EMEP-resultaten. Ook het effect van waterstress en de keuze van de invoer voor de fotosynthetisch actieve straling werden nagegaan. Tenslotte werden de POD_{γ} -waarden voor de verschillende gewastypes berekend voor 2009 en gevisualiseerd in kaarten en gebeurde voor tarwe en aardappelen een inschatting van de opbrengstverliezen voor Vlaanderen op basis van dosis-respons relaties voor POD_{γ} die in de literatuur te vinden zijn.

Summary

Excessive tropospheric ozone concentrations are not only harmful for human health but also have detrimental effects on plants. Current practice is to assess O₃ exposure based on the AOT40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40 ppb) which has been defined in the European Air Quality Directive 2008/50/EG, as the sum of hourly O₃ concentrations above a threshold of 40 ppb, from 8 to 2h during the growing season. This indicator is presently being used in MINA-plan 4 (2011-2015) to monitor the evolution of the risk for O₃ damage to vegetation in Flanders. The European long term objective is 3000 ppb.h (= 6000 (µg/m³).h), the critical level for O₃ damage to sensitive crops and natural vegetation.

Ozone effects are however primarily related to the amount of O₃ effectively entering the plant which is only a fraction of the surrounding atmospheric O₃ concentration. O₃ uptake is controlled by the degree of opening of the leaf stomata (stomatal conductance), that also regulate CO₂ and H₂O exchange. This mechanism allows the plant to adapt the degree of transpiration and photosynthetic activity to changes in environmental conditions. Consequently, also O₃ uptake is dependent upon climatic changes (temperature, air and soil moisture, irradiance ...) and plant-specific characteristics (number of stomata, phenology ...).

To obtain better estimates of O₃ damage, in the last 10 years a lot of effort has gone to the development of methods for the estimation of O₃ uptake by plants and to obtain reliable dose-response relations based on the O₃ flux. This has resulted in a new indicator for estimating the O₃ impact on yield and biomass accumulation of crops, forest trees and grassland: the Phytotoxic Ozone Dose POD_Y (mmol O₃ m⁻² plant leaf area), which is the sum of the hourly stomatal O₃ flux over a threshold of Y nmol O₃ m⁻² s⁻¹ accumulated during daylight hours over the appropriate time-window.

This work is a continuation of the literature and feasibility study (Deutsch and Vandermeiren, 2013) that investigated how POD_Y could be calculated for Flanders. A first part describes the processing of the necessary input data being both meteorological data as well as the ozone concentration and soil and vegetation characteristics. The meteorological input data is based on the ECMWF data which are interpolated to the grid of the RIO concentration maps using the CHIMERE pre-processing tool. The RIO grid was also combined with the soil texture map used in the ECMWF meteorology and maps containing the fields for the different vegetation types considered in the POD_Y calculation as well as the different regions that have to be distinguished in the output resulting in a data set containing the combinations of vegetation-soil-meteorology-region for which a POD_Y calculation is required.

The report furthermore describes how based on the DO₃SE module of the European air quality model EMEP that can be used for an area-wide calculation of POD_Y a new program code was developed that reads these input data sets to calculate POD_Y for a user specified vegetation type for those fields that are covered with the vegetation type. The different user configuration files that are read by the code are described. The new model code was tested by comparing the model results to the results of the EMEP model. Also the effect of water stress and the choice of the input for the photosynthetic active radiation was assessed. Finally for the different vegetation types POD_Y values were calculated and visualised as maps and for wheat and potatoes further processed to estimate the yield loss based on dose response-relations for POD_Y that can be found in literature.

1. Inleiding

Na een korte beschrijving van hoe de POD_Y -berekening gebeurt, beschrijft dit document de verschillende types invoer die gekozen werden voor de berekening en hoe deze verwerkt werden. Vervolgens wordt de ontwikkeling van de programmacode voor het O3flux programma uitgelegd alsook de vorm en de inhoud van de verschillende bestanden die door dit programma gelezen worden. In het laatste deel worden de resultaten bekomen met de code beschreven waarbij we eerst om het model te testen de resultaten vergelijken met deze van de EMEP-code. Omdat waterstress in de EMEP-code niet in rekening wordt gebracht en de PAR-waarden berekend worden in EMEP in plaats van ingelezen uit de resultaten van een meteorologisch model, werd ook onderzocht wat het effect is van de waterstress en de berekeningsmethode voor PAR op de resultaten.

2. De POD_Y berekening

POD_Y ($\text{mmol O}_3 \text{ m}^{-2}$ Plant Leaf Area (PLA)) is de geaccumuleerde stomataire O_3 flux per m^2 bladoppervlak, tijdens daglichturen en boven een fluxdrempelwaarde van $Y \text{ nmol O}_3 \text{ m}^{-2} \text{ PLA s}^{-1}$. Deze O_3 -indicator geeft een berekening van de hoeveelheid O_3 die de stomata binnendringt en houdt daarbij rekening met de invloed van luchttemperatuur, luchtvochtigheid, lichtintensiteit, bodemvocht, O_3 -concentratie en ontwikkelingsstadium van de plant.

Voor de berekening van de totaal geaccumuleerde O_3 flux (opname) POD_Y door (zonbelichte) bladeren dienen volgende stappen ondernomen te worden, rekening houdend met de receptor-specifieke parametrisatie:

1. Bepaling van de relevante accumulatieperiode (groeiperiode van specifiek of generiek gewas).
2. Berekening van uurgemiddelde O_3 -concentratie op gewashoogte (= top van het bladerdek) voor elk daglichtuur van de accumulatieperiode. Het bovenste bladerdek ontvangt de meeste zonnestraling en deze bladeren beschikken over de hoogste gasuitwisselingscapaciteit zowel wat betreft CO_2 als O_3 . Deze bladeren leveren dan ook de grootste bijdrage tot de biomassa-productie, maar ook tot de O_3 -opname.
3. Berekening van uurgemiddelde stomataire conductiviteit voor elk daglichtuur op basis van het stomatair flux algoritme. Hiervoor maken we gebruik van het DO_3SE model (Deposition of Ozone for Stomatal Exchange <http://sei-international.org/do3se>), gebaseerd op Emberson et al. (2000).
4. Berekening van de uurgemiddelde stomataire O_3 flux ($\text{nmol O}_3 \text{ m}^{-2} \text{ PLA s}^{-1}$) = uurgemiddelde stomataire conductiviteit vermenigvuldigd met de uurgemiddelde O_3 -concentratie op gewashoogte.
5. Deze uurgemiddelde stomataire O_3 flux wordt vervolgens verminderd met de fluxdrempelwaarde Y en vermenigvuldigd met 3600 om de O_3 flux/uur boven de drempelwaarde Y te bekomen ($\text{nmol O}_3 \text{ m}^{-2} \text{ PLA u}^{-1}$), $F_{st}Y$. De drempelwaarde (threshold) is de flux waarboven de schadelijke effecten zich beginnen te accumuleren (*cf.* 40 ppb voor AOT40). Deze drempelwaarde is afhankelijk van de receptor in kwestie omdat ze samenhangt met de mate waarin het gewas zich kan verdedigen (anti-oxidatief vermogen) (Pleijel et al., 2007).

6. Berekening van POD_Y ($\text{mmol m}^{-2} \text{ PLA}$) = som van alle $F_{st,Y}$ waarden (u^{-1}) tijdens daglichturen gedurende de receptor-specifieke accumulatieperiode.

De uiteindelijk bekomen POD_Y -waarde kan vervolgens vergeleken worden met de (receptor specifieke) grenswaarden (critical levels) om na te gaan of de limietwaarde voor een bepaald schadelijk effect al dan niet overschreden werd, dan wel als dusdanig geïnterpreteerd worden als een indicator voor het risico op negatieve effecten.

3. Invoergegevens

3.1. Concentratie

Voor de uurlijkse O_3 -concentraties voor België worden de RIO-resultaten met een resolutie van 4×4 km ingelezen. Bij IRCEL worden deze RIO-resultaten bewaard onder de vorm van een tekstbestand per dag waarin voor iedere RIO-gridcel een lijn is opgenomen met een identificatienummer, de ligging in Belgische lambertcoördinaten van de RIO-gridcel en de datum gevolgd door de 24 uurwaarden voor die dag. De waarden op de lijn worden met puntkomma's gescheiden.

Figuur 1: Voorbeeld van een RIO-bestand met uurlijkse O_3 -concentraties

```
ID; XLAMB; YLAMB; DATE; o3_1h;
1; 24000; 174000; 20120211; 27; 57; 25; ... ; 94; 78; 72
2; 24000; 178000; 20120211; ; 24; 56; 23; ... ; 93; 77; 71
```

In het O3flux model hebben we de concentratiewaarde op planthoogte nodig. Om de RIO-waarde die voor een hoogte van 3 m geldt om te rekenen naar de waarde op gewashoogte maken we gebruik van (simpele) conversiefactoren, zoals beschreven in de "Mapping Manual" (Mills et al., 2011). Tabel 3.7 op bladzijde III-16 van de Mapping Manual geeft typische ozongradiënten boven landbouwgewassen, grasland en bossen, in functie van de hoogte boven de grond. Deze gradiënten kunnen gebruikt worden voor de omrekening van de ozonconcentratie op één hoogte naar de concentratie op een andere hoogte. Als voorbeeld hebben we hier de conversiefactoren berekend voor ozon voor de omrekening van O_3 -concentraties op 3 m hoogte (*cfr.* RIO) naar ozonconcentraties op 1 m, 0,1 m en 20 m hoogte:

- voor landbouwgewassen (1 m hoogte): 0,93
- voor grasland (0,1 m hoogte): 0,77
- voor bossen (20 m hoogte): 1,04

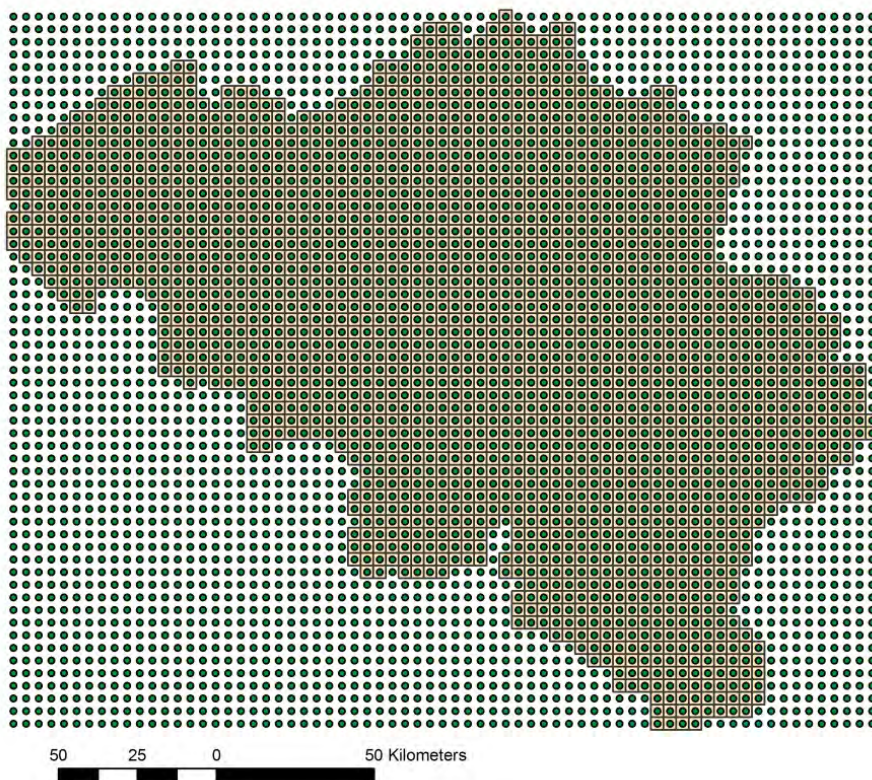
3.2. Meteorologie

De benodigde meteorologische invoer wordt door IRCEL met behulp van de CHIMERE meteopreprocessor aangeleverd op een grid dat samenvalt met het RIO-grid (Figuur 2) in de vorm van 2 netcdf bestanden: exdomout.nc (horizontale en temporele interpolatie) en METEO.nc (verticale interpolatie en parameters voor chimere).

De volgende variabelen worden ingelezen uit deze twee meteobestanden:

- tem2: de luchttemperatuur op 2 m hoogte (K)
- rh2m: de relatieve luchtvochtigheid op 2 m hoogte (-)
- atte: de demping (attenuatie) door bewolking (fractie van de straling) (-)
- smi1: bodemvochtindex (Soil Moisture Index, SMI) voor het diepteinterval 0 – 7 cm (-)
- smi2: bodemvochtindex (Soil Moisture Index, SMI) voor het diepteinterval 7 - 28 cm (-)
- smi3: bodemvochtindex (Soil Moisture Index, SMI) voor het diepteinterval 28 – 100 cm (-)
- smi4: bodemvochtindex (Soil Moisture Index, SMI) voor het diepteinterval 100 – 255 cm (-)

Figuur 2: Het RIO-grid (ingekleurde cellen) en het ECMWF-grid waarop de meteorologische invoer wordt aangeleverd door IRCEL.



In de oorspronkelijke DO3SE code wordt de waarde voor de fotosynthetisch actieve straling (PAR) berekend op basis van de zonneconstante en de ligging/tijd van het jaar en niet uit de meteorologische invoer gelezen. Enkel het effect van de bewolking wordt daarbij wel uit de ECMWF invoer gelezen (atte). De ECMWF-resultaten bevatten echter waarden voor de PAR. De code voorziet daarom in de optie om deze waarden te gebruiken in plaats van de waarden die door DO3SE worden

berekend (zie verder). De ingelezen PAR waarden worden daarbij verdeeld over een directe zonlicht en schaduw waarde op basis van de door DO3SE berekende opdeling tussen deze twee. Voor PAR wordt de volgende variabele ingelezen uit de ECMWF resultaten:

- phar: de fotosynthetisch actieve straling (PAR) (W/m^2)

3.3. Landgebruik

De tool die we ontwikkelen moet voor 4 generische landgebruiksklassen (akkerland, grasland, loofbos en naaldbos) en 2 specifieke gewassen (aardappelen en tarwe) de ozonfluxindicator kunnen berekenen. Om kaarten voor gans België te kunnen aanmaken is landgebruiksinformatie voor deze 6 landgebruiksklassen nodig voor gans België.

Overeenkomstig de aanbevelingen van de literatuur en de haalbaarheidsstudie (Deutsch en Vandermeiren, 2013) wordt als invoer voor het landgebruik geopteerd voor de NARA 2013 landgebruikskartaart (Poelmans en Van Daele, 2014). Deze bevat zowel een zeer hoge mate aan geografische detailinformatie met een resolutie van 10 m alsook een indeling in landgebruiksklassen die voldoende gedetailleerd is om de 6 verschillende landgebruiksklassen te onderscheiden. De geografische informatie die in deze kaart verwerkt is representeert de toestand 2005-2010. Deze kaart kan op 3 detailniveaus gebruikt worden. Voor het onderscheiden van de generische landgebruiksklassen gebruiken we de niveau 2 indeling omdat de niveau 1 indeling geen onderscheid maakt tussen loof- en naaldbos. De omzetting van de niveau 2 indeling van NARA naar de generieke landgebruiksklassen is weergegeven in Tabel 1.

Voor de specifieke klassen aardappelen en tarwe baseren we ons op de overeenkomstige klassen van de niveau 3 classificatie van NARA. De klasse tarwe komt niet voor in NARA maar wel de klasse granen. Als we enkel tarwe willen weerhouden moeten we ons baseren op de data van de eenmalige perceel registratie (EPR). Uit een analyse blijkt echter dat de velden in de EPR 2009 meer niet dan wel samenvallen met de velden die in NARA als graan zijn aangegeven (Figuur 3). De oppervlakte graan in NARA bedraagt 78 km^2 terwijl volgens de EPR 2009 in 2009 74 km^2 tarwe werd aangeplant op een totaal van 117 km^2 graanvelden er is m.a.w. een groot verschil in de oppervlakte granen volgens de twee databronnen. Om de consistentie met de andere landgebruiksklassen te verzekeren werd daarom na overleg met de VMM de voorkeur gegeven om met de klasse graan in NARA verder te werken in plaats van de informatie voor tarwe uit EPR over te nemen.

De NARA 2013 landgebruikskartaart bestaat alleen maar voor Vlaanderen. Om tot een kaart te komen voor het ganse Belgische grondgebied dienen we deze uit te breiden met data voor Wallonië. Voor de generieke landgebruiksklassen in Wallonië wordt voor de landgebruiksinformatie vertrokken van de CORINE (EEA, 2007) landgebruikskartaart versie 2006 (CLC2006). Deze landgebruikskartaart heeft een resolutie van 100 m en het landgebruik wordt beschreven door middel van 44 landgebruiksklassen. Deze kaart wordt veelvuldig gebruikt in verschillende toepassingen in heel Europa en vandaag gebruikt in Vlaanderen voor de berekening van de huidige indicator voor ozonschade aan planten ("Akkergronden met verminderde graanopbrengst door ozonblootstelling") alsook in de RIO-interpolatiemethode. In Tabel 2 geven we aan welke CLC2006 klassen worden gebruikt voor ieder van de generieke landgebruiksklassen. De klasse 'gemengd bos' wordt voor de helft van de oppervlakte gevoegd bij de klasse loofbos en de andere helft van de oppervlakte bij de klasse naaldbos. Dit werd gedaan door de polygonen met 'gemengd bos' te rangschikken volgens hun

oppervlakte en de even rangnummers bij het loofbos en de oneven rangnummers bij het naaldbos te tellen.

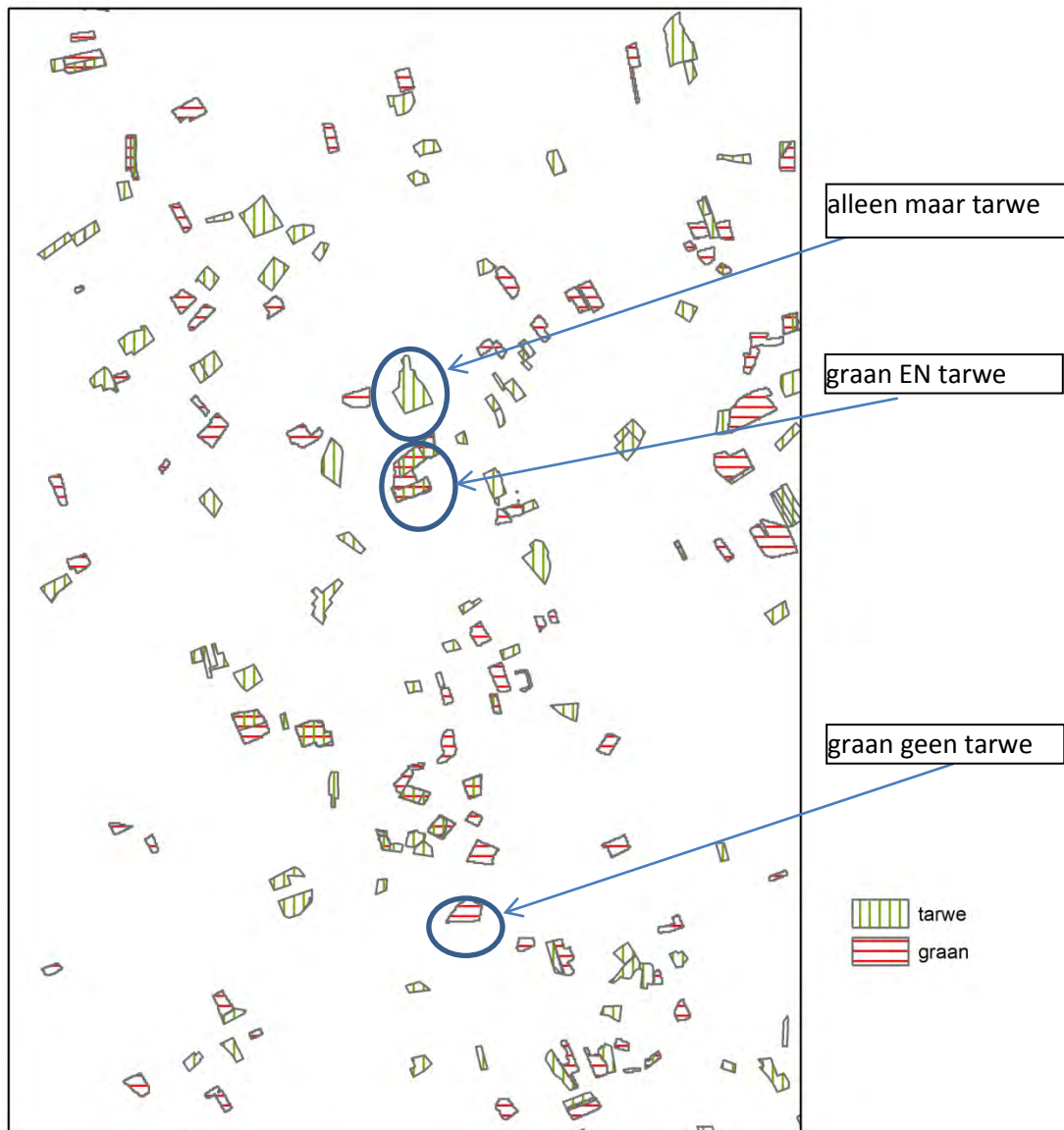
Tabel 1: Herclassificatie van de niveau 2 klassen in NARA voor de generieke landgebruiksklassen

NARA niveau 2	ozonfluxklasse
grasland voedselarm droog	grasland
grasland voedselarm nat	
grasland voedselrijk droog	
grasland voedselrijk nat	
cultuurgrasland permanent	
cultuurgrasland tijdelijk	
boomgaard (hoogstam)	loofhout
boomgaard (laagstam)	
korte omloophout	
loofbos matig productief	
loofbos hoog productief	
naaldbos hoog productief	naaldhout
naaldbos matig productief	
akker	akkerland
groenten, fruit en sierteelt	
maïs	

Tabel 2: Herclassificatie van de CLC2006 klassen voor de generieke landgebruiksklassen

Ozonfluxklasse	CLC2006 beschrijving	CLC2006 Code	Oppervlakte (ha)
Landbouw	Niet geïrrigeerd akkerland	211	1.451.229
Loofhout	Loofbos	311	251.703
Naaldhout	Naaldbos	312	120.304
Loof/Naaldhout (0,5/0,5)	gemengd bos	313	239.770
Gras	Weiden	231	488.029
	Natuurlijke graslanden	321	608

Figuur 3: Velden met graan volgens de NARA kaart en tarwe volgens de EPR 2009



Voor de specifieke gewassen aardappelen en graan voor Wallonië baseren we ons op de data van het *Système Intégré de Gestion et de Contrôle (SIGEC)* voor 2009. De SIGEC data worden door de Waalse administratie aangemaakt en zijn te vergelijken met de Vlaamse EPR landbouwperceelsgegevens van het Agentschap Landbouw en Visserij (ALV) en geven aan welk gewas op een perceel werd geteeld in een bepaald jaar op basis van de meldingen van de landbouwers. In Tabel 3 wordt opgelijst welke SIGEC teelten werden samengenomen voor de klassen aardappelen en granen. Dit zijn dezelfde teelten die ook in NARA worden samengenomen voor deze twee landgebruiksklassen in de EPR data.

Tabel 3: Herclassificatie van de SIGEC klassen voor de landgebruiksklassen aardappelen en graan

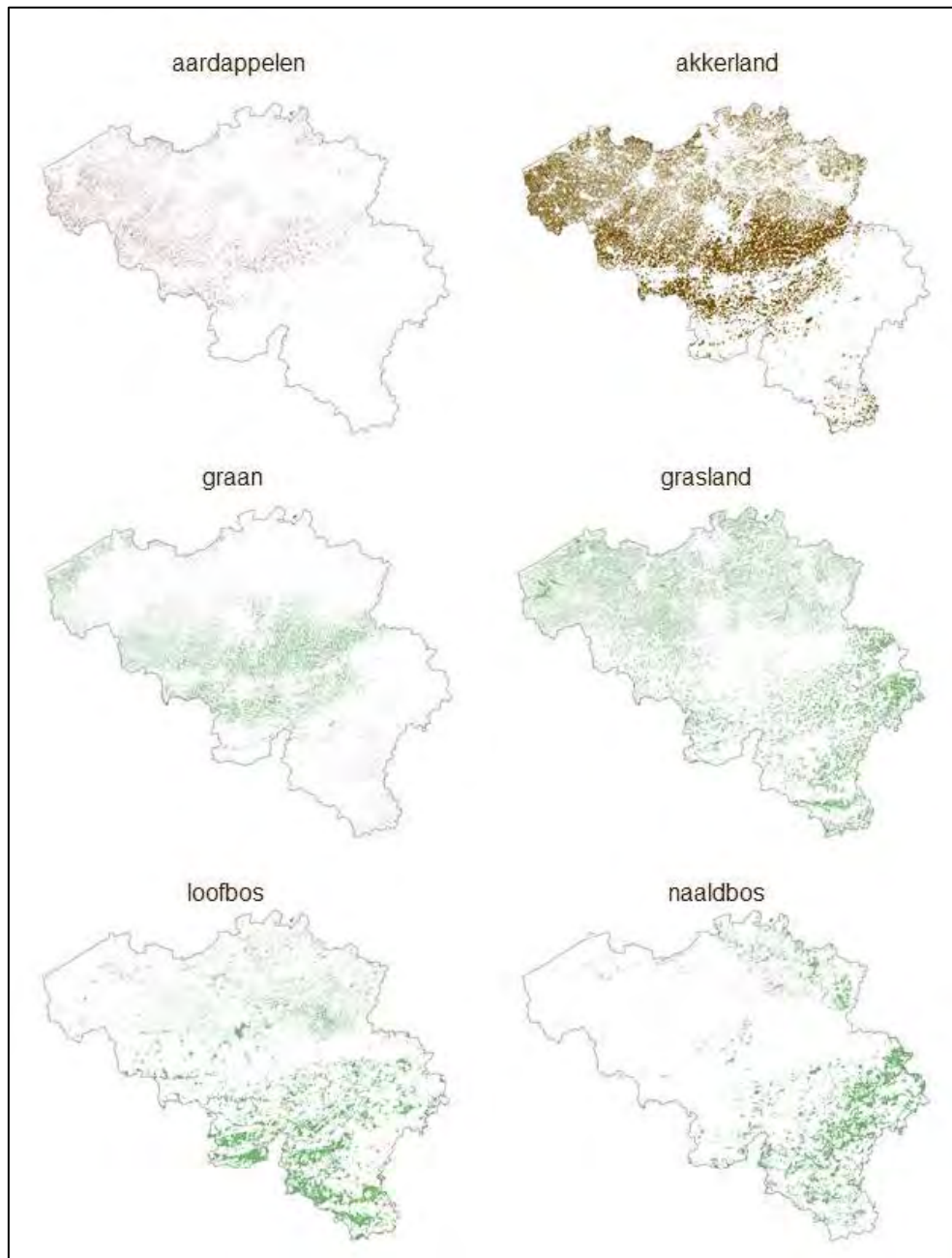
SIGEC code	SIGEC omschrijving	ozonfluxklasse
901	Pomme de terre de consommation	aardappelen
902	Pomme de terre (Plants)	
903	Pomme de terreféculière	
311	Fromentd'hiver	granen
312	Froment de printemps ou froment alternatif	
321	Orged'hiver	
322	Orge de printemps	
331	Seigled'hiver	
332	Seigle de printemps	
34	Avoine	
35	Triticale	
36	Epeautre	
37	Sarrasin	
38	Autrescéréales (Sorgho, millet, alpiste et blé dur)	
39	Mélange de céréales	

Bij de verwerking in ARCMAP doorliepen we de volgende stappen:

- omzetting van de NARA rasterbestanden voor de niveau 2 en 3 classificaties naar polygonenbestanden zonder vereenvoudiging van de polygonen;
- herclassificatie van de gegevens volgens de tabellen hierboven en versmelten polygonen met zelfde attributen (ARCMAP 'dissolve');
- uitknippen (ARCMAP 'clip') van de verschillende datalagen (NARA, CLC2006 en SIGEC) voor de Vlaamse (+ Brussel) en Waalse landsdelen zodat telkens twee niet overlappende datasets ontstaan;
- opsplitsen van de datasets in een data laag per landbedekkingsklasse;
- opdeling van de 'gemengd bos' klasse in CLC2006 in twee datasets met gelijke oppervlakte zodat we nadien het gemengd bos voor telkens de helft bij de klassen naald- en loofbos kunnen voegen;
- samenvoegen (ARCMAP 'union') van de datasets voor Wallonie en Vlaanderen (+Brussel) tot een Belgische dataset per landbedekkingsklasse.

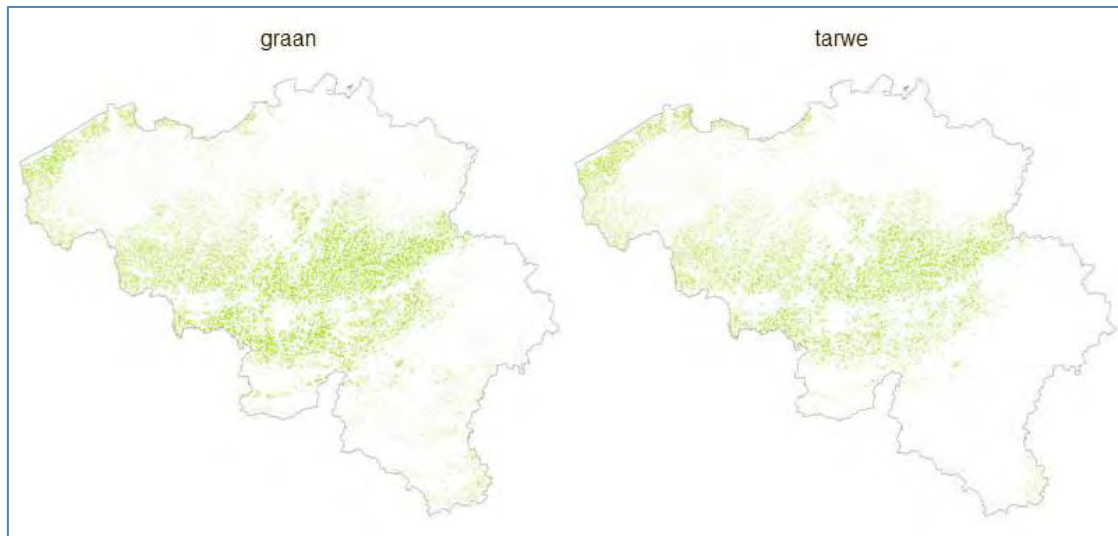
Als resultaat van de verwerking zijn 6 polygonen bestanden aangemaakt, één voor elk van de landgebruikstypes (Figuur 4).

Figuur 4: Het voorkomen van de landgebruiksklassen aardappelen, akkerland, graangewassen, grasland, loofbos en naaldbos op basis van de NARA, CLC2006 en SIGEC



Gezien het grote verschil tussen de klasse granen uit NARA en de gegevens van de EPR werd besloten ook een kaart voor de klasse tarwe alleen aan te maken op basis van de gegevens uit SIGEC en EPR voor 2009. De kaart voor deze alternatieve dataset is weergegeven in Figuur 5.

Figuur 5: Voorkomen van de klassen graan(links) volgens NARA/SIGEC en tarwe volgens EPR/SIGEC



3.4. Bodem

Bodemvochtfactor

De bodemvochtfactor f_{sw} (soil water factor) bij de berekening van de stomataire weerstand wordt bepaald op basis van het voor het gewas beschikbare bodemvocht dat op zijn beurt afhangt van het bodemtype en de bewortelingsdiepte.

De ECMWF meteorologische invoer bevat het volumetrisch bodemvocht, θ (cm³ water/cm³ bodem) voor verschillende bodemlagen. Op zich geeft het volumetrisch vochtgehalte echter niet aan of het bodemwater al dan niet beschikbaar is voor opname door de plant. Zo zal een kleibodem met een fijne textuur veel meer maar ook veel beter water vasthouden dan een grove zandbodem. De maximale hoeveelheid water die een bodem kan vasthouden tegen de zwaartekracht in bij vrije drainage noemt men de veldcapaciteitswaarde. Naarmate de bodem uitdroogt zal de plant steeds moeizamer het water kunnen onttrekken. Het vochtgehalte waarbij de plant geen water meer kan onttrekken wordt het verwelkingspunt genoemd. Het is dus enkel het water tussen de veldcapaciteitswaarde en de waarde bij het verwelkingspunt dat beschikbaar is voor opname door de wortels van de plant. Bij een kleibodem zal de waarde bij veldcapaciteit hoger liggen dan bij een zandbodem maar zal ook de waarde voor het verwelkingspunt merkkelijk hoger liggen waardoor het beschikbare bodemvocht voor opname door planten uiteindelijk zelfs kleiner kan zijn bij de kleibodem dan bij de zandbodem. De relatie tussen bodemvochtgehalte en de energie waarmee de bodem het water vasthoudt (= bodempotentiaal) wordt de bodemvochtretentiekarakteristiek genoemd. De mate waarin de bodem het water kan vasthouden, hangt samen met 1) de capillaire krachten die op hun beurt afhangen van de poriënverdeling in de bodem en 2) van het organisch materiaal in de bodem dat het water kan adsorberen. De bodempotentiaal wordt uitgedrukt als de onderdruk die nodig is om water te onttrekken uit de bodem bij een bepaald vochtgehalte. De bodempotentiaal bedraagt typisch -0,01MPa of 100 cm waterkolom bij veldcapaciteit en -1,5 MPa bij het verwelkingspunt wat overeenkomt met 16.000 cm waterkolom.

In de versie van het DO₃SE model dat in EMEP is geïmplementeerd wordt gerekend met een soil moisture index S_{MI} (zonder eenheid) als maat voor bodemvocht. De SMI komt overeen met de fractie van het maximaal voor de plant beschikbare bodemvochtgehalte en wordt berekend als:

$$S_{MI} = \frac{\theta - \theta_{VP}}{\theta_{VC} - \theta_{VP}} \quad (\text{vergelijking 1})$$

waarbij:

θ : volumetrisch bodemvochtgehalte ($\text{cm}^3_{\text{water}}/\text{cm}^3$)

θ_{VP} : volumetrisch bodemvochtgehalte bij het verwelkingspunt ($\text{cm}^3_{\text{water}}/\text{cm}^3$)

θ_{VC} : volumetrisch bodemvochtgehalte bij veldcapaciteit ($\text{cm}^3_{\text{water}}/\text{cm}^3$)

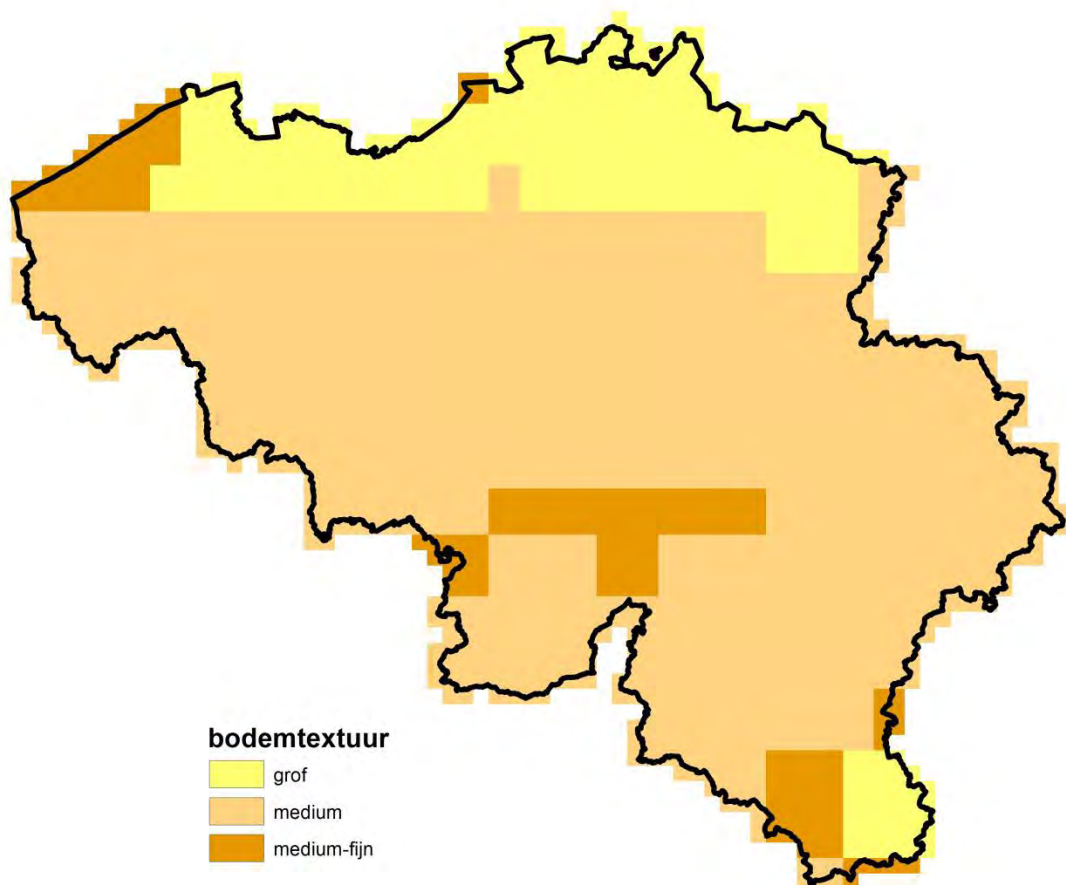
De bodemvochtfactor, f_{SW} wordt dan van de S_{MI} als volgt afgeleid:

$f_{SW} = 1$ indien $S_{MI} \geq 0,5$ (vergelijking 2)

$f_{SW} = 2 S_{MI}$ indien $S_{MI} < 0,5$

Het bodemvocht wordt ingelezen uit de ECMWF invoer en wordt dan met behulp van de bodemkaart die in ECMWF wordt gebruikt (Figuur 6) omgerekend naar de bodemvochtfactor (S_{MI}) door de volumetrisch bodemvochtgehaltes bij veldcapaciteit en het verwelkingspunt die in ECMWF worden gehanteerd voor de verschillende bodemtypes in rekening te brengen.

Figuur 6: Bodemtextuurkaart die in ECMWF wordt gebruikt



Beworteling

Naast het bodemtype zal de bewortelingsdiepte en de verdeling van de wortels in het bodemprofiel bepalen in welke mate de plant water kan opnemen uit de bodem. Om de verdeling van de beworteling - en dus ook de capaciteit om water op te nemen met de diepte - te beschrijven gebruiken we de volgende functie uit Jackson et al. (1996):

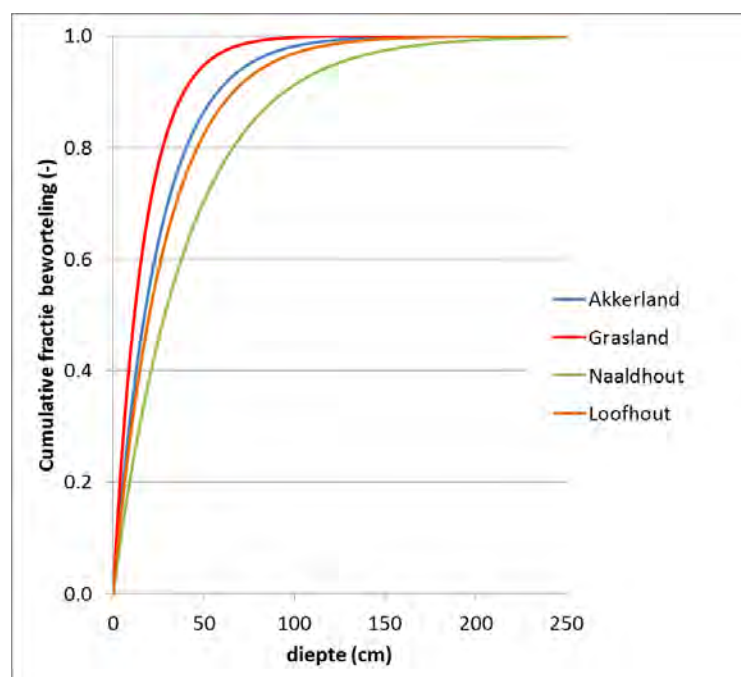
$$Y = 1 - \beta^d \quad \text{vergelijking 3}$$

waarbij Y de cumulatieve bewortelingsfractie, een getal tussen 0 en 1 die de waarde 0 aanneemt aan het oppervlakte; β een uitdovingscoëfficiënt en d, de diepte (cm) onder het oppervlakte. In Tabel 4 zijn voor de verschillende gewastypes de waarden van de uitdovingscoëfficiënt (β) weergegeven en in Figuur 7 is het resulterend verloop van de bewortelingsfractie te zien met de diepte.

Tabel 4: Uitdovingscoëfficiënt voor een aantal gewastypes

Gewastype	β (-)
Grasland	0,943
Naaldhout	0,976
Loofhout	0,966
Akkerland Aardappel	0,961
Graan/tarwe	

Figuur 7: Cumulatieve bewortelingsfractie voor een aantal gewastypes



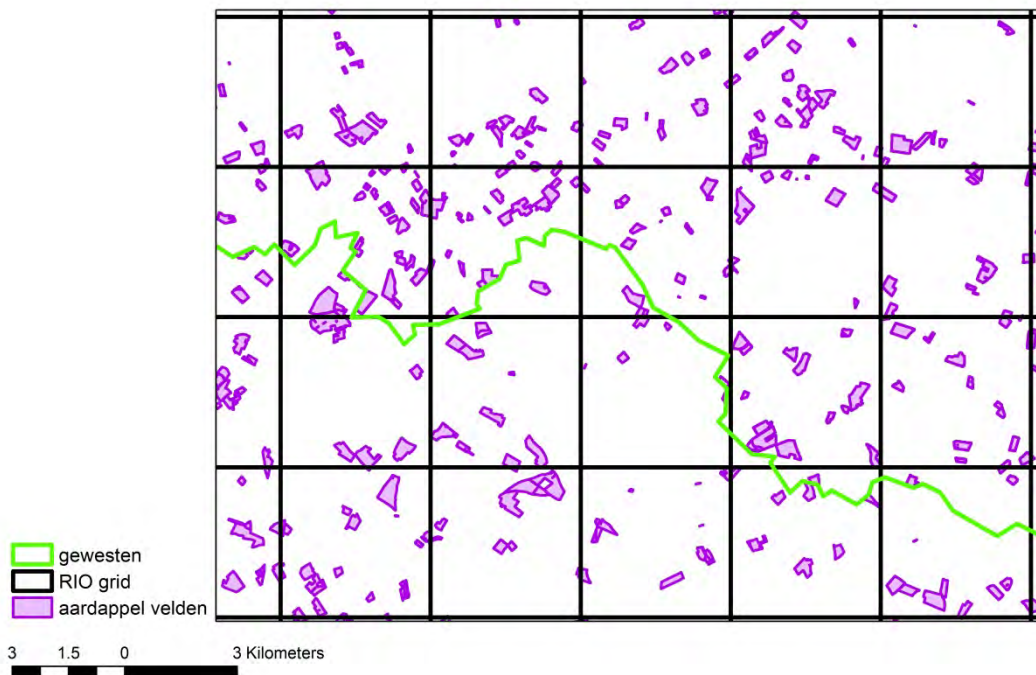
In de ECMWF meteorologische data wordt de bodemvochtindex (SMI) gegeven voor de intervallen tussen 0 – 7 – 28 – 100 en 255 cm diepte. De waarden voor de verschillende intervallen i , worden bij de berekening gecombineerd door ze te wegen met de dikte van de laag (D_i) en de fractie van de totale beworteling voor de laag i , $Y_i - Y_{i-1}$ waarbij $Y_0 = 0.0$ de waarde aan het oppervlakte is:

$$\theta = \frac{\sum_i \theta_i D_i (Y_i - Y_{i-1})}{\sum_i D_i (Y_i - Y_{i-1})} \quad \text{vergelijking 4}$$

3.5. Verdere verwerking

De ozonfluxberekening dient te gebeuren voor iedere voorkomende combinatie van O_3 -concentratie, meteorologische invoer en bodemtype voor de velden bedekt met één van de vegetatietypes die we onderscheiden en dit voor de verschillende regio's i.c. Vlaanderen, Wallonië en Brussel. Het RIO-grid valt samen met het grid voor de meteorologische invoer en de bodeminvoer, we dienen dus enkel het RIO-grid, de regio's en de velden te beschouwen. Voor ieder van de velden moeten we dus bepalen binnen welke RIO-gridcel(len) (= intersectie velden/ RIO-grid) en binnen welke regio('s) (= intersectie velden/ regio) deze valt. Figuur 8 illustreert de mogelijke combinaties. Zo kan een veld zich over meerdere RIO-gridcellen en regio's uitstrekken.

Figuur 8: Combinatie van aardappelvelden met het RIO grid en de regio's



4. Implementatie

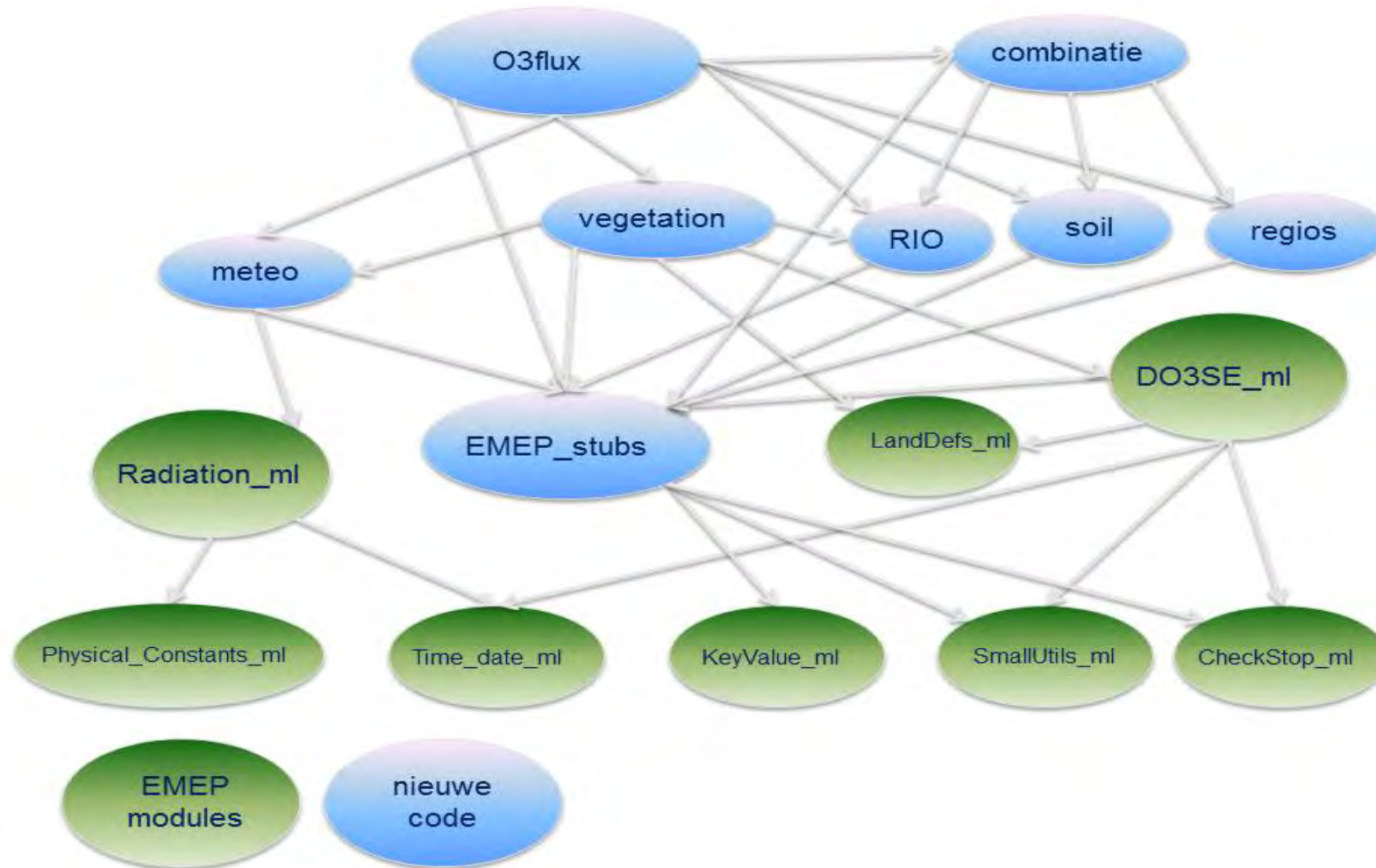
4.1. Programmastructuur

Voor de implementatie vertrekken we van de DO₃SE Fortran code die gebruikt wordt in het EMEP model versie 4.3. Deze broncode is open source en kan van het internet gehaald worden (ftp://ftp.met.no/projects/emep/OpenSource/201304/model_code/). Het doel van de ontwikkeling is om op basis van deze EMEP code een zelfstandig programma te ontwikkelen dat voor België gebruik makende van de beschikbare invoer *i.c.* RIO O₃-concentraties, ECMWF meteorologische data in een formaat dat gegenereerd wordt door de CHIMERE meteopreprocessor en invoer voor het landgebruik en bodemtype, de POD_γ kan berekenen zodat deze nadien tot een kaart kan verwerkt worden en verder kan dienen om het verlies in opbrengst in te schatten.

Om er voor te zorgen dat op een later tijdstip bij het verschijnen van nieuwe EMEP-versies op relatief eenvoudige wijze nieuwere versies van het DO3SE gedeelte kunnen overgenomen worden, werden de bestanden van de DO3SE rekenkern bij de implementatie vrijwel ongewijzigd overgenomen. Enkel de delen die slaan op de parallelisatie (MPI) werden uitcommentarieerd en de datastructuren die uitgewisseld werden tussen DO3SE en andere EMEP-modules werden verzameld in een nieuwe module 'emep_stubs.f90' waarbij de verwijzing naar de oorspronkelijke modules werd vervangen door een verwijzing naar EMEP_stubs in de DO3SE code. De wijzigingen zijn gemakkelijk terug te vinden doordat deze met het label 'VITO' zijn aangegeven. De nieuwe emep_stubs.f90 module bevat ook een selectie van de code uit de invoer/uitvoer (I/O) module van EMEP (Io_Progs_ml.f90). Er werd gekozen om enkel de in het DO3SE gedeelte gebruikte functionaliteit uit de EMEP I/O module te behouden om zo te vermijden dat er ook een aantal bijkomende modules waarvan de EMEP I/O op zijn beurt afhankelijk is, zouden moeten meegenomen worden. De volledige programmastructuur voor de O3flux code is weergegeven in Figuur 9.

Het hoofdprogramma 'O3flux' leest en verwerkt de gegevens voor vegetatie, bodem en meteorologie in respectievelijk de nieuwe modules vegetation.f90, soil.f90 en meteo.f90. Deze modules vullen de datastructuren in EMEP_stubs die nadien dan kunnen gebruikt worden in de O3flux berekeningsfunctionaliteit in DO3SE_ml. De informatie over de combinaties tussen bodem, vegetatie, meteo (RIO) en regio worden afgehandeld in de module combinaties.f90. Deze module bevat ook de functionaliteit om de resultaten weg te schrijven naar de verschillende uitvoerbestanden.

Figuur 9: Programmastructuur voor het nieuwe O3flux programma op basis van de bestaande EMEP code (groen) en de nieuwe EMEP_stubs en nieuwe O3flux modules (blauw)



4.2. Vegetatie

In EMEP wordt de invoer voor landgebruik/vegetatie uit de twee bestanden inputs_DO3SE.csv (Tabel 5) en Inputs_LandDefs.csv (Tabel 6) ingelezen. De nieuwe vegetatiemodule (vegetation.f90) is zo geprogrammeerd dat deze twee EMEP-invoerbestanden worden ingelezen. Dit is weerom zo gedaan om latere aanpassingen aan de EMEP-versie gemakkelijk(er) te kunnen overnemen.

Naast een aantal van de parameters uit de bestaande EMEP-bestanden is ook per gewastype een omrekeningsfactor nodig om de O₃-concentratie op 3 m hoogte uit RIO om te rekenen naar de gewasspecifieke hoogte. Deze waarden worden ingelezen uit een tekstbestand dat naast deze omrekeningsfactor ook het label bevat waarmee de keuze tussen gewassen gebeurt in de O3flux code en de codes die daarmee overeenkomen uit het inputs_DO3SE.csv en Inputs_LandDefs.csv . Een voorbeeld van een dergelijk gewasparameter bestand is weergegeven in Figuur 10. De lijnen die beginnen met het '#' symbool zijn commentaarlijnen die alleen maar bedoeld zijn om de gebruiker te helpen bij het interpreteren van de inhoud van het bestand. Deze worden niet ingelezen door het programma.

*Tabel 5: Velden in het Inputs_DO3SE.csv bestand
De waarden die nodig zijn voor de berekening zijn vetgedrukt.*

Veld	Betekenis
code	code voor het vegetatietype
name	omschrijving
g_max	maximale stomatale conductantie (mmol O₃ m⁻² (PLA)s⁻¹)
f_min	minimale conductantie factor (-)
f_phen_a	parameter berekening fenologie factor(-)
f_phen_b	parameter berekening fenologie factor(-)
f_phen_c	parameter berekening fenologie factor(-)
f_phen_d	parameter berekening fenologie factor(-)
f_phen_Slen	parameter berekening fenologie factor(dag)
f_phen_Elen	parameter berekening fenologie factor(dag)
Astart_rel	parameter berekening fenologie factor(dag)
Aend_rel	parameter berekening fenologie factor(dag)
f_light	licht coëfficiënt
T_min	minimale temperatuur (f_temp = 0) (°C)
T_opt	optimale temperatuur (f_temp = 1) (°C)
T_max	maximale temperatuur (f_temp = 0) (°C)
RgsS	oppervlakteweerstand voor SO ₂
RgsO	oppervlakteweerstand voor O ₃
VPD_max	waterdampdeficiet waarvoor f = f_min (kPa)
VPD_min	waterdampdeficiet waarvoor f = 1 (kPa)
VPDcrit	grenswaarde voor som VPD voor klassen TC/RC/IAM_CR(kPa)
SWP_max	bodempotentiaal waarbij f = 1
PWP	bodempotentiaal waarbij f = 0 (verwelkingspunt)
rootdepth	bewortelingsdiepte (mm)
Lw	bladafmeting loodrecht op windrichting (IAM)

Tabel 6: Velden in het Inputs_LandDefs.csv bestand
De waarden die nodig zijn voor de berekening zijn vetgedrukt.

Veld	Betekenis
name	omschrijving landgebruik
code	code
type	type ecosysteem
LPJtype	vereenvoudigde LPJ classificatie
hveg_max	maximale vegetatie hoogte (m)
Albedo	Albedo
eNH4	NHx emissie
SGS50	begin groeiseizoen bij 50° NB (dag)
DSGS	wijziging SGS per graad (dag)
EGS50	einde groeiseizoen bij 50° NB (dag)
DEGS	wijziging EGS per graad (dag)
LAlmin	minimale LAI (m² m⁻²)
LAlmax	maximale LAI (m² m⁻²)
SLAlen	lengte LAI toename (dag)
ELAlen	lengte LAI afname (dag)
BiomassD	droge biomassa dichtheid (g/m ²)
Eiso	emissiepotentiaal isopreen (µg/g/h)
Emtl	emissiepotentiaal m-terpeen (µg/g/h)
Emtp	emissiepotentiaal m-terpeen (µg/g/h)

Figuur 10: Voorbeeld van een gewasparameterbestand

```
# gewasparameters die niet in Inputs_DO3SE.csv of Inputs_LandDefs.csv
# (de EMEP bestanden)
# staan in dit configuratiebestand
# betekenis van de velden:
# 1: string die het gewas type beschrijft in de VMM code 'O3flux'
# 2: overeenkomstige 'code' in het Inputs_DO3SE.csv bestand
# 3: overeenkomstige 'code' in het Inputs_landDefs.csv bestand
# 4: omrekeningsfactor om de RIO O3 concentratie naar de concentratie
# op gewashoogte om te rekenen
# 5: grenswaarde (Y) in PODy berekening nmol(O3)/m2/s
# 6: is er een dagnummer relatief tov de start van het groeiseizoen
# waarop de POD berekening start (T/F)?
# 7: start dagnummer POD berekening tov de start van het groeiseizoen:
# enkel gebruikt als #6 op TRUE (T) staat!
# 8: eind dagnummer POD berekening tov de start van het groeiseizoen:
# enkel gebruikt als #6 op TRUE (T) staat!
# 9: extinctiecoefficient voor de worteldichtheidsverdelingsfunctie
# (beta, -) (uit Jackson et al. 1996)
grasland GR GR 0.77 1.0 F 0 9999 0.943
akkerbouw TC TC 0.93 1.0 F 0 9999 0.961
loofhout DF DF 1.04 1.0 F 0 9999 0.966
naaldhout CF CF 1.04 1.0 F 0 9999 0.976
aardappel TC TC 0.93 6.0 F 0 9999 0.961
graan TC TC 0.93 6.0 T 30 60 0.961
tarwe TC TC 0.93 6.0 T 30 60 0.961
```

4.3. Bodem

In de huidige versie van het programma waarbij de bodemvochtindex (SMI) gelezen wordt uit de ECMWF-invoer is de bodemkaart gedefinieerd op het RIO-grid. Om het effect van het bodemtype te kunnen nagaan wordt per RIO-gridcel met een code aangegeven welk bodemtype er volgens ECMWF voorkomt. Dit laat toe om nadien de resultaten per bodemtype te bepalen en weg te schrijven. De code komt terug in de bestanden die voor een gewas de veld / bodem / RIO-gridcel / regio combinaties aangeeft. In het bodemparameterbestand staat een beschrijving van elk van de bodemtypecodes. Een voorbeeld van een tekstbestand met de bodemeigenschappen is te vinden in Figuur 11. Opgelet: de waarden voor het vochtgehalte bij veldcapaciteit en het verwelkingspunt worden **niet** gebruikt in het programma en zijn louter ter informatie! Ze moeten wel aanwezig zijn in de invoer omdat de code deze parameters inleest maar worden nadien niet gebruikt bij de bepaling van het effect van het bodemvochtgehalte.

Figuur 11: Voorbeeld van een bodemparameterbestand

```
# bodem type parameters
# code: de code die in de kaarten voor het bodemtype wordt gebruikt
# benaming: tekst 'omschrijving' van het bodemtype
# VG_VC : vochtgehalte bij veldcapaciteit
# VG_VP : vochtgehalte bij het verwelkingspunt
# voor de code 'onbekend' werden de parameters voor het 'medium' type
#      overgenomen
# code benaming VG_VC VG_VP
1 grof          0.242 0.059
2 medium        0.346 0.151
3 medium-fijn  0.382 0.133
```

4.4. Meteo

De module meteo.f90 heeft de volgende functies:

- deze leest het netcdf bestand met meteorologische gegevens in;
- leest een tekstbestand in dat aangeeft welke ECMWF-gridcellen met een RIO-gridcel overeenkomen;
- selecteert/ verzamelt die gegevens die nodig zijn voor het RIO grid dat maar een beperkt deel is van het ECMWF-grid;
- berekent op basis van de invoer indien nodig de gegevens die nadien door DO3SE gebruikt worden. Dit gebeurt o.a. met behulp van de functionaliteit van de radiation_ml. F90 module uit EMEP;
- vult de nodige datastructuren in emep_stubs zodat de data nadien beschikbaar zijn voor de verdere berekening in DO3SE_ml zelf.

Het tekstbestand met de koppeling tussen het ECMWF- en het RIO-grid bevat na de dimensionering-informatie (aantal RIO-gridcellen) lijnen met per RIO-grid cel de overeenkomstige indices in x en y-richting van het ECMWF-grid. Hierbij komt (1,1) overeen met het punt linksonder in het ECMWF-grid. Een voorbeeld van dit RIO_ECMWF koppelingsbestand is te zien in Figuur 12.

Figuur 12: Voorbeeld van een bestand dat het RIO-grid koppelt aan het ECMWF-grid

```
# afbeelding van de RIO gridIDs op ECMWF gridcellen
# aantal RIO_IDS
3
# betekenis van de velden:
# 1: RIO grid ID
# 2: I index (kolom, x richting) van het ECMWF grid
# 3: J index (rij, y richting) van het ECMWF grid
# RIO I_ECMWF J_ECMWF
1 1 23
2 1 24
3 2 16
```

4.5. Regio's

Het programma schrijft ook informatie weg voor een of meerdere regio's. Voor België maken we onderscheid tussen Vlaanderen, het Hoofdstedelijk Gewest Brussel en Wallonië. Om de verschillende regio's aan te geven wordt een identificatiecode gebruikt die ook wordt gebruikt in het bestand dat voor een gewas de veld / bodem / RIO-gridcel / regio combinaties aangeeft. In een afzonderlijk tekstbestand wordt de relatie tussen deze identificatiecodes en de benaming voor de regio's gegeven (Figuur 13).

Figuur 13: Voorbeeld van een bestand dat de relatie tussen de regiocodes en de benamingen voor de regio's geeft

```
# regio codes gevolgd door de naam van de regio
0 Brussel
1 Vlaanderen
2 Wallonie
```

4.6. Uitvoer

Het programma schrijft de resultaten weg naar een aantal tekstbestanden. De resultaten worden weggeschreven voor de volgende kaartenheden waarbij bij de berekening van de gemiddelde met de oppervlakte wordt rekening gehouden (m.a.w. er wordt een oppervlakte gewogen gemiddelde berekend) van de verschillende combinaties die binnen de kaartenheid voorkomen:

- de velden: het oppervlakte gewogen gemiddelde van alle combinaties van bodemtype/ regio en RIO-gridcel binnen hetzelfde veld;
- de RIO-gridcellen: het oppervlakte gewogen gemiddelde van alle combinaties van bodemtype/ regio en velden binnen dezelfde RIO-gridcel. Dit is nuttig om het resultaat nadien te visualiseren voor de RIO-gridcellen. Voor RIO-gridcellen waar een bepaald gewas niet voorkomt, worden negatieve waarden (-999) weggeschreven;
- de regio: het oppervlakte gewogen gemiddelde van alle combinaties van velden/ bodemtype/meteorologie(RIO) binnen eenzelfde regio.

De kaartenheid waarvoor de resultaten worden geaggregeerd, wordt aangegeven door aan de bestandsnaam in de uitvoer respectievelijk de extensies 'veld', 'RIO' en 'regio' te voegen.

De voornaamste uitvoer is uiteraard de POD_Y maar daarnaast schrijft de code indien met waterstress wordt rekening gehouden ook een aantal statistieken weg voor de bodemvochtfactor (f_{sw}). Voor f_{sw} worden de volgende waarden weggeschreven:

- de gemiddelde waarde voor f_{sw} ;
- de minimale waarde voor f_{sw} ;
- de fractie van het groeiseizoen waarvoor $f_{sw} < 1$;
- de fractie van het oppervlakte waarvoor f_{sw} kleiner is dan 1.

Bij de berekening van gemiddelden wordt weerom met oppervlakte gewogen waarden gewerkt.

Als met waterstress wordt gerekend worden niet enkel resultaten voor de velden, RIO-gridcellen en regio's bewaard maar ook voor de verschillende bodemtypes. Hierbij wordt het oppervlakte gewogen gemiddelde berekend op basis van de resultaten voor alle veld/RIO/regio combinaties van een bepaald bodemtype. De bestanden krijgen de extensie 'bodem' mee.

4.7. O3flux, het hoofdprogramma

Het hoofdprogramma wordt opgeroepen met als argument de naam van een tekstbestand ('configuratie bestand'). Het formaat van het configuratiebestand is opgevat als een sleutel (key) – waarde(value) bestand waarbij de sleutel van de waarde gescheiden wordt door een gelijkheidsteken ('='). Zoals voordien kunnen er een willekeurig aantal commentaarlijnen aan het bestand gevoegd worden. Deze commentaarlijnen beginnen met een '#'. In het configuratiebestand staan de volgende waarden:

- Vegetatietype: een label voor het gewastype waarvoor de berekening moet gebeuren. Keuze uit: grasland, akkerbouw, loofhout, naaldhout, graan, aardappel.
- Inputs_DO3SE_bestand: bestandsnaam van het EMEP 'Inputs_DO3SE.csv' bestand.
- Inputs_LandDefs_bestand: bestandsnaam van het EMEP 'Inputs_LandDefs.csv' bestand.
- Gewasparameters_bestand: bestandsnaam van het bestand dat de hoogteconversiefactor en mapping naar de Inputs_DO3SE.csv en Inputs_LandDefs.csv codes bevat.
- Breedtegraad: breedtegraad in graden noorderbreedte (> 0) waarvoor de berekening moet gebeuren.
- Bodemparameters_bestand: naam van het bestand met de codes en namen voor de bodemtextuur types en het volumetrisch bodem vochtgehalte (cm^3/cm^3) bij veldcapaciteit en bij het verwelkingspunt voor de verschillende bodemtypes.
- ECMWF_bestand1 : naam van het netcdf bestand met de meteorologische invoer op het RIO-grid voor de variabelen tem2, rh2m, soim, swvl2, swvl3, swvl4.
- ECMWF_bestand2 : naam van het netcdf bestand met de meteorologische invoer op het RIO-grid voor de variabele(n) atte, (phar).
- RIO_ECMWF_bestand: bestandsnaam van het bestand dat voor iedere RIO-gridcel de coördinaten van de overeenkomstige ECMWF-gridcel bevat.

- Gebruik_PARECMWF: een vlag die aangeeft of bij de berekening de fotosynthetisch actieve straling (PAR) uit de ECMWF-invoer moet gelezen worden. De invoer bestaat uit de waarde T (true) of F (false) waarbij een waarde T aangeeft dat de PAR uit de ECMWF invoer moet gelezen worden als de variabele phar in het ECMWF bestand.
- RIO_namen_bestand: 'sjabloon' voor de RIO-bestandsnamen, het deel van de naam dat de datum bevat wordt aangegeven met het tekstpartikel : JJJMMDD.
- Veldcombinaties_bestand: naam van het bestand dat voor de velden waarop een gewas voorkomt de combinaties bodem, RIO-gridcellen, regio code en oppervlakte in hectare bevat.
- Regios_bestand: bestand met de codes en namen voor de gebieden (regio's, gewesten ...).
- Uitvoer_kaart_naam: naam van het tekstbestand met de veld_ids gevolgd door het POD_v resultaat van de berekening.
- Uitvoer_regio _naam: naam van het tekstbestand dat de resultaten bevat geaggregeerd voor de verschillende regio's.
- Startdatum: datum waarop de berekeningen dienen te beginnen onder de vorm van een geheel getal met als eerste vier cijfers het jaar gevolgd door 2 cijfer voor de maand en 2 cijfers voor de dag. (vb. 20140915).
- Einddatum: datum waarop de berekeningen moeten eindigen, onder de vorm van een geheel getal met als eerste vier cijfers het jaar gevolgd door 2 cijfer voor de maand en 2 cijfers voor de dag. (vb. 20140930).
- Gebruikwaterstress: een vlag die aangeeft of de berekening moet rekening houden met waterstress. De invoer bestaat uit de waarde T (true) of F (false) waarbij een waarde T aangeeft dat de berekening met mogelijke waterstress moet rekening houden.
- Debug_informatie: een vlag die aangeeft of tijdens de berekening extra 'debug' informatie moet worden uitgeschreven. De invoer bestaat uit de waarde T (true) of F (false) waarbij een waarde T aangeeft dat er debug informatie naar het scherm moet geschreven worden.

Tenslotte is er ook een bestand nodig dat de relatie weergeeft tussen een veld, bodemtype, RIO grid cel en regio. Dit bestand heeft de volgende vorm:

- Label met gewasnaam (grasland, akkerbouw, loofhout, naaldhout, aardappel, graan en tarwe). Dit dient ter controle en wordt vergeleken met het gekozen label in het hoofdconfiguratiebestand.
- aantal velden = combinaties veld - RIO-gridcel - bodem-regiocode voor het gekozen gewas(N).
- N lijnen met de identificatiecode van het veld, de RIO-gridcelcode, de code van het bodemtype, een identificatiecode voor de regio/gewest en de oppervlakte (ha) van het veld.

Een voorbeeld van een configuratiebestand is weergegeven in Figuur 14 terwijl een voorbeeld van invoerbestand met de veldcombinaties voor een gewas is weergegeven in Figuur 15.

Figuur 14: Voorbeeld van het hoofdconfiguratieprogramma dat door het hoofdprogramma wordt gelezen

```
# vegetatietypes: naam die voorkomt in Gewasparameters_bestand
# grasland, akkerbouw, loofhout, naaldhout, graan, aardappel, tarwe
Vegetatietype = grasland
Inputs_DO3SE_bestand = D:\O3flux\input_bestanden\Inputs_DO3SE.csv
Inputs_LandDefs_bestand = D:\O3flux\input_bestanden\Inputs_LandDefs.csv
Gewasparameters_bestand = D:\O3flux\input_bestanden\gewasparameters.txt
#breedte graad waarvoor de berekening moet gebeuren
Breedtegraad = 50.0
Bodempparameters_bestand = D:\O3flux\input_bestanden\bodempparameters.txt
ECMWF_bestand1 = D:\O3flux\input_bestanden\exdomout.nc
ECMWF_bestand2 = D:\O3flux\input_bestanden\ECMWF_METEO.nc
Gebruik_PARECMWF = F
RIO_ECMWF_bestand = D:\O3flux\input_bestanden\RIO_ECMWF.txt
#voorbeeld van een RIO bestandsnaam, datum is aangegeven met 'JJJJMMDD'
RIO_bestandsnaam = D:\O3flux\input_bestanden\RIO_map_JJJJMMDD_o3_1h.dat
Veldcombinaties_bestand= D:\O3flux\input_bestanden\velden_grasland.txt
Regios_bestand= D:\O3flux\input_bestanden\regios.txt
Uitvoer_naam = D:\O3flux\uitvoer\PODy_2009_grasland
Startdatum = 20120101
Einddatum = 20121231
Gebruikwaterstress = T
debug_informatie = F
```

Figuur 15: Voorbeeld van een bestand met de combinaties veld ID - RIOgridcel – bodemtype

```
# label gewastype
aardappel
# aantal combinaties
28706
# een lijn per combinatie met op iedere lijn:
# 1: ID_VELD: de code van het veld
# 2: ID_RIO: de code van de RIO grid cel
# 3: ID_BODEM: de code voor het bodemtype
# 4: ID_gewest: de code voor het gewest
# 5: area: de oppervlakte in hectare
# ID BODEM RIO AREA
ID_veld ID_RIO ID_BODEMID_gewest area
1 506 1 1 1.48000000000
2 480 1 1 4.56462381188
3 506 1 1 2.77000000000

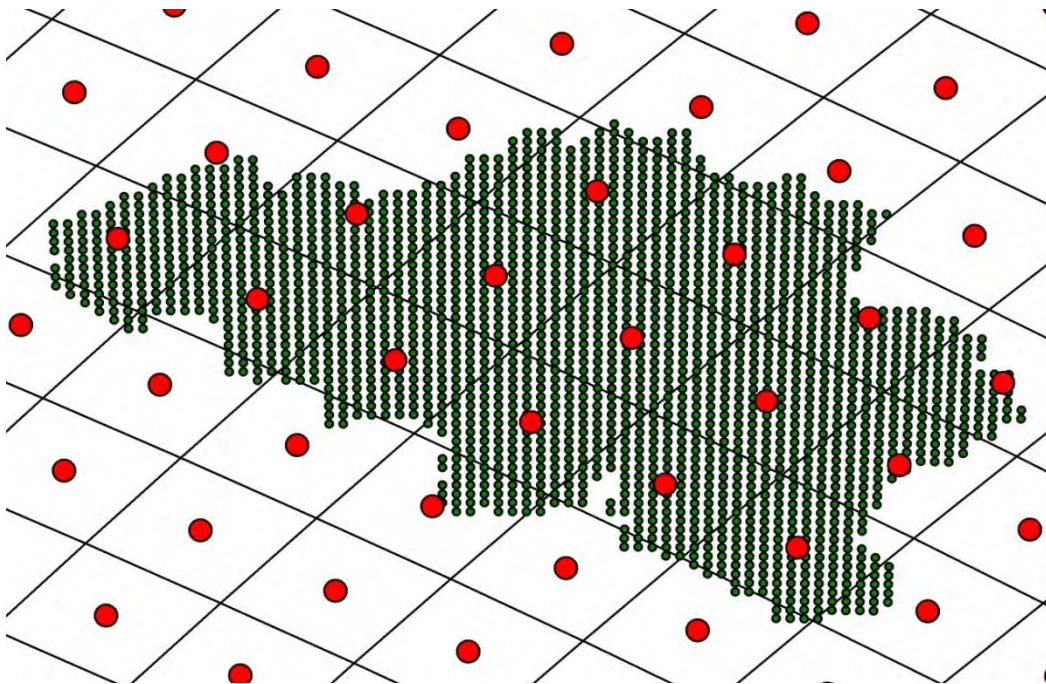
...
24306 1850 1 2 0.24714761392
24306 1803 1 2 0.47088629922
24306 1656 2 2 0.79829058929
```


5. Validatie: vergelijking met EMEP

Om de nieuwe O₃flux code te test werden de resultaten vergeleken met de waarden die EMEP publiceert voor de POD_γ. Op de website van EMEP (http://webdab.emep.int/Unified_Model_Results/) kunnen de resultaten van de POD_γ berekening opgevraagd worden voor België voor 2009 voor de generische vegetatietypes bos ('DF') en akkerbouw ('TC'). Bemerkt dat EMEP voor deze vegetatietypes respectievelijk de POD₁- en POD₃-waarden berekent daar waar in de standaard invoer voor 'TC' met een limietwaarde van 1 nmol(O₃)/m²/s wordt gerekend in plaats van 3 nmol(O₃)/m²/s. EMEP houdt bij de berekening ook geen rekening met het bodemvochtgehalte. Voor de testen werd dan ook met een limietwaarde van 3 nmol(O₃)/m²/s gerekend voor 'TC' en werd geen rekening gehouden met de invloed van het bodemvochtgehalte.

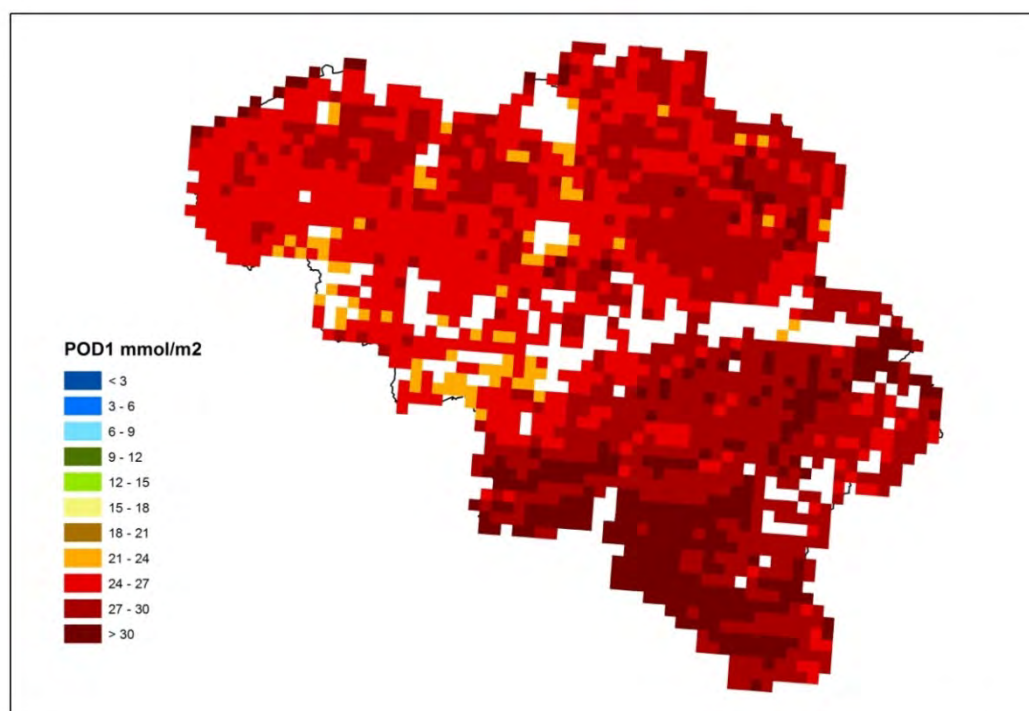
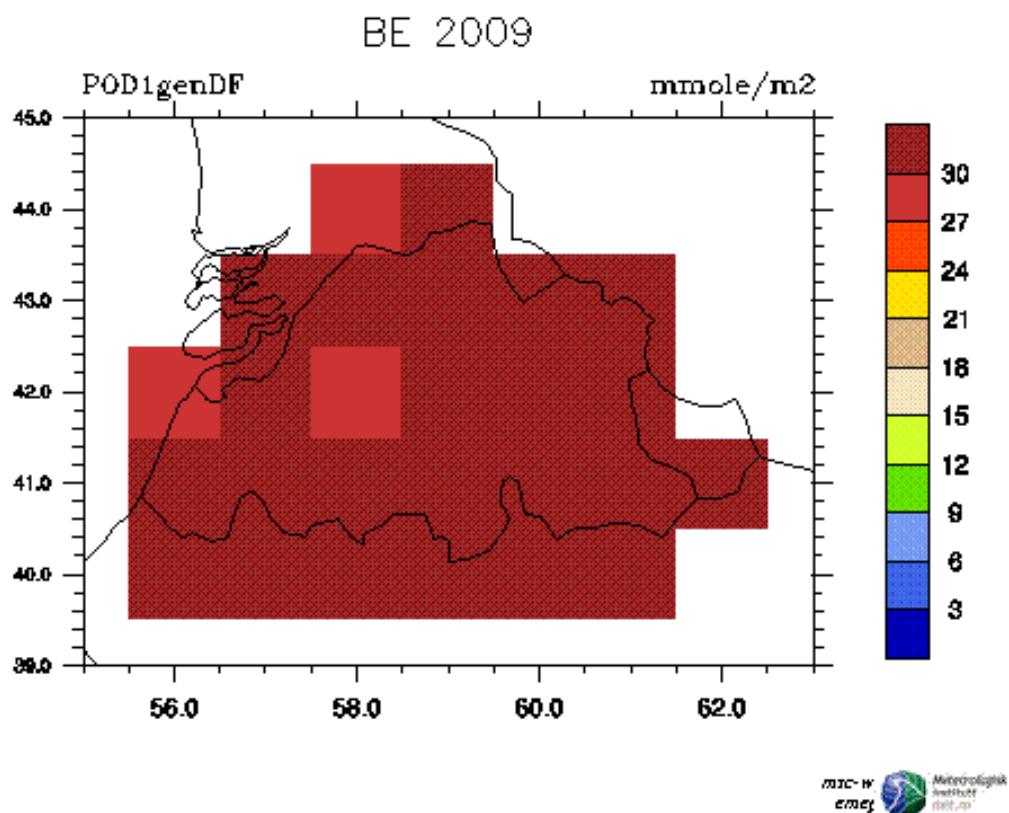
De EMEP resultaten zijn op een veel lagere resolutie van ongeveer 50 km. In Figuur 16 zijn zowel het EMEP-grid als de punten van het RIO-grid te zien.

Figuur 16: Punten van het RIO-grid samen met de punten van het EMEP-grid (●)

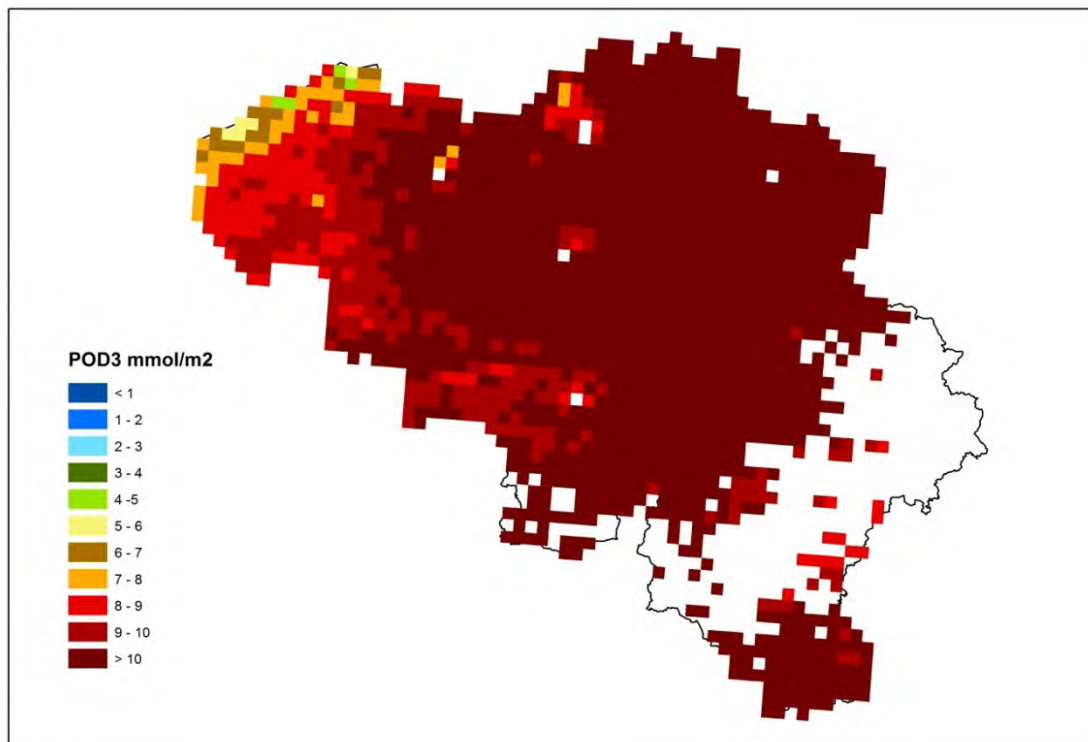
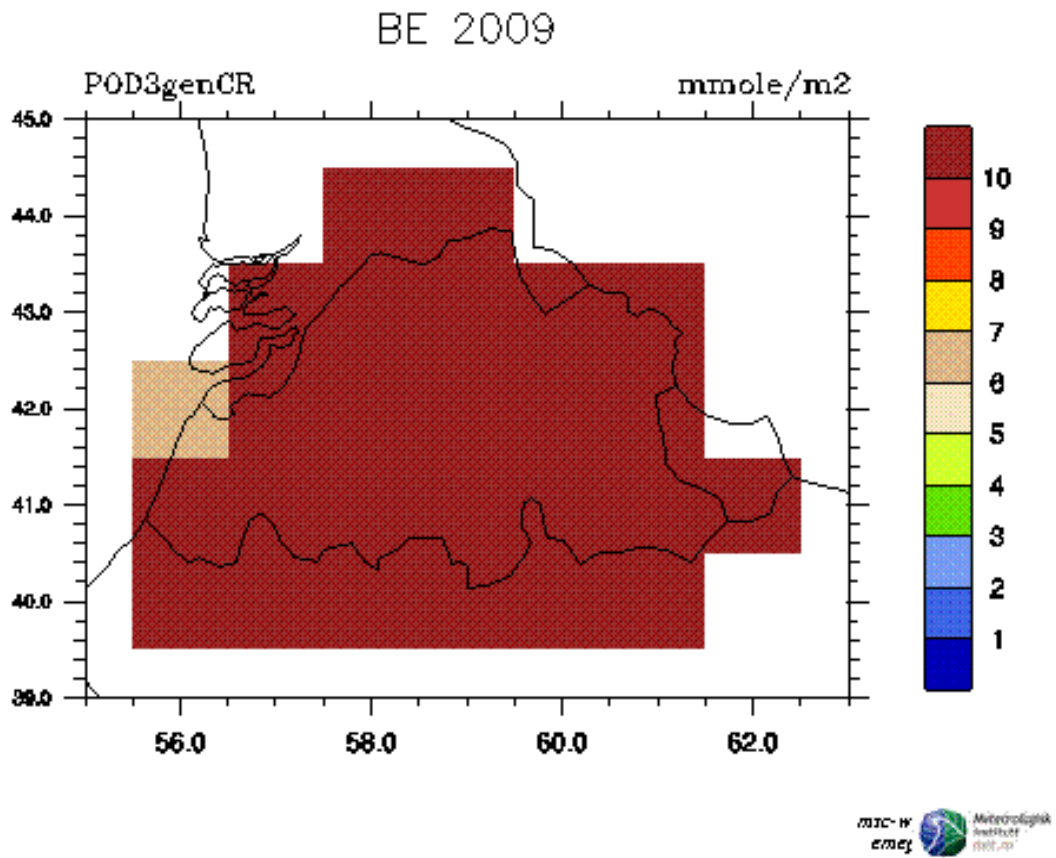


In Figuur 17 en Figuur 18 zijn de resultaten voor respectievelijk 'DF' en 'TC' weergegeven. In het O₃flux model worden de POD_γ-waarden enkel berekend voor velden waar het gewastype voorkomt daar waar de EMEP-resultaten voor het EMEP-grid worden berekend zonder rekening te houden met het al dan niet voorkomen van een bepaald gewastype. Om de vergelijking met de EMEP-resultaten te vereenvoudigen worden de O₃flux resultaten in de figuren getoond door de veldwaarden te aggregeren naar het RIO-grid waarbij we de veldresultaten combineren tot een gemiddelde waarde per RIO-gridcel door ze te wegen met de oppervlakte van de velden. Uit de vergelijking van de resultaten blijkt dat de resultaten tussen het EMEP en het O₃ flux model goed overeenkomen. De gemiddelde waarden zijn vergelijkbaar voor beide modellen: ~30 mmol/m² voor POD1 voor DF en ~10 mmol/m² voor POD3 voor TC. Verder zijn ook de ruimtelijke patronen vergelijkbaar tussen beide modellen met lagere waarden voor de POD1 van loofbossen in Oost-Vlaanderen en voor POD3 van akkers aan de kust.

Figuur 17: POD1 voor het vegetatietype 'DF' (deciduous forest/ loofbos) berekend door EMEP (boven) en de O3 flux applicatie (onderaan) voor het jaar 2009



Figuur 18: POD3 voor het vegetatietype 'TC' (temperate crop/akkerbouw) berekend door EMEP (boven) en de O3 flux applicatie (onderaan) voor het jaar 2009



6. RESULTATEN

6.1. Inleiding

In de volgende paragrafen presenteren we de resultaten van de berekeningen met het nieuwe O3flux model voor het jaar 2009 in België. IRCEL zorgde hierbij voor de meteorologische invoer op basis van ECMWF-data en de ozonconcentraties op het RIO-grid.

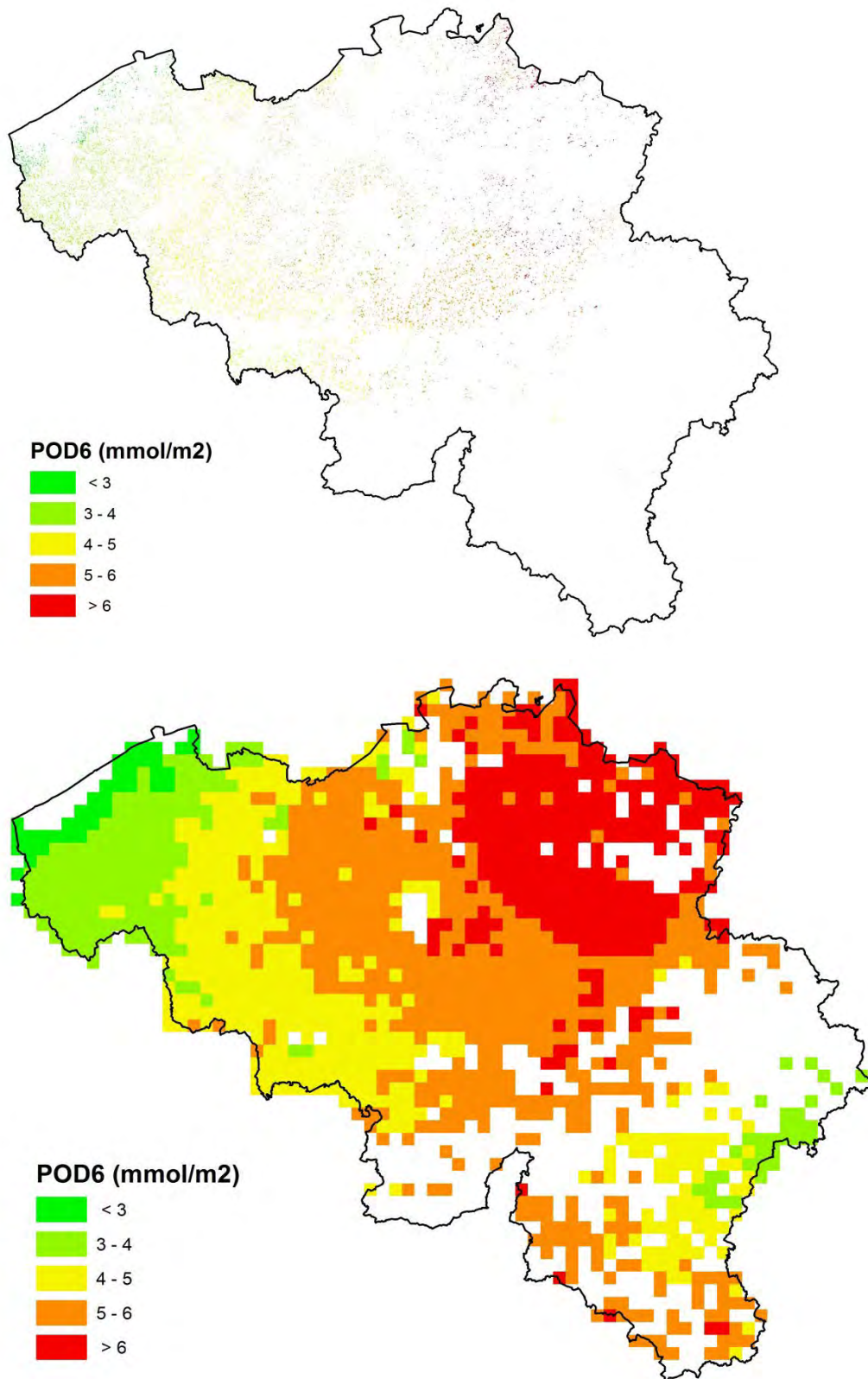
Voor een eerste set van berekeningen gebruikten we het model zonder rekening te houden met de invloed van waterstress en met de standaardberekening voor de fotosynthetisch actieve straling (PAR). Deze rekenwijze sluit aan bij de manier waarop EMEP momenteel de POD_{γ} -waarden berekent. Voor ieder van de gewassen tonen we een kaart met de POD_{γ} zowel voor de oppervlakten (velden) waar het gewas voorkomt als geaggregeerd voor het RIO-grid. Om een gemiddelde waarde te berekenen voor een RIO gridcel wegen we de waarden van de velden binnen de gridcel met de relatieve oppervlakte van de velden.

Vervolgens pasten we het model ook toe voor de verschillende gewassen om de invloed van waterstress en de keuze van de PAR invoer op de berekende POD_{γ} -waarden na te gaan.

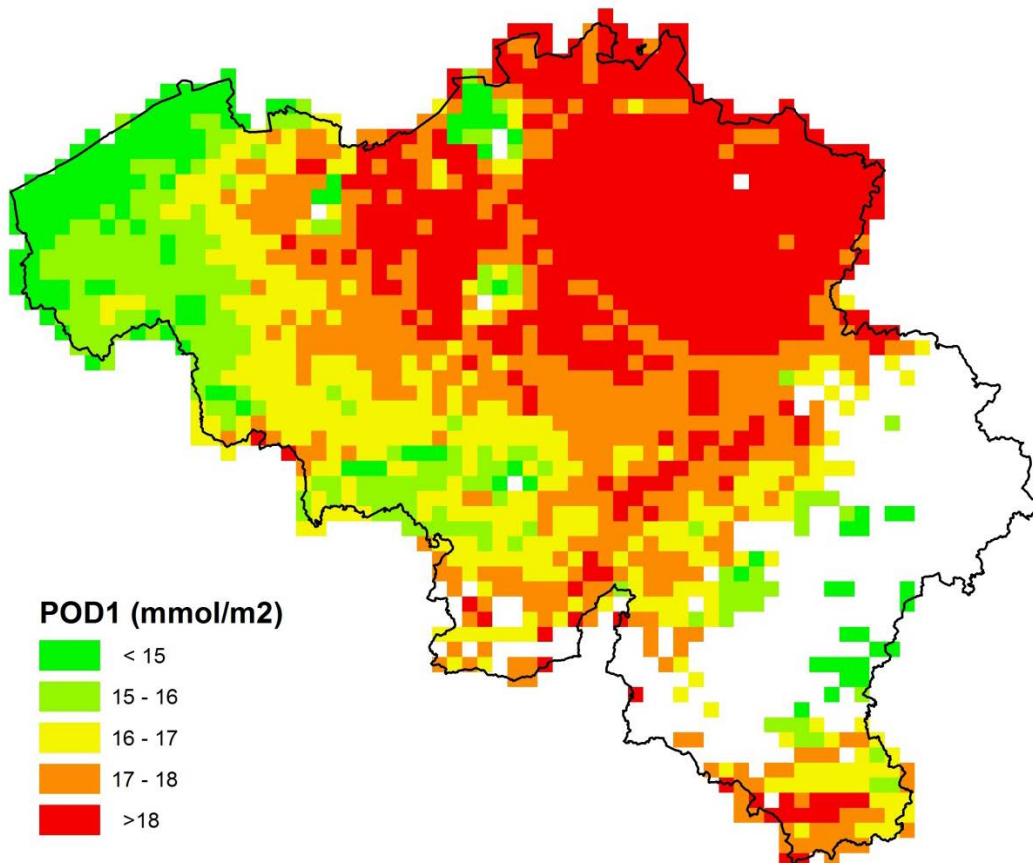
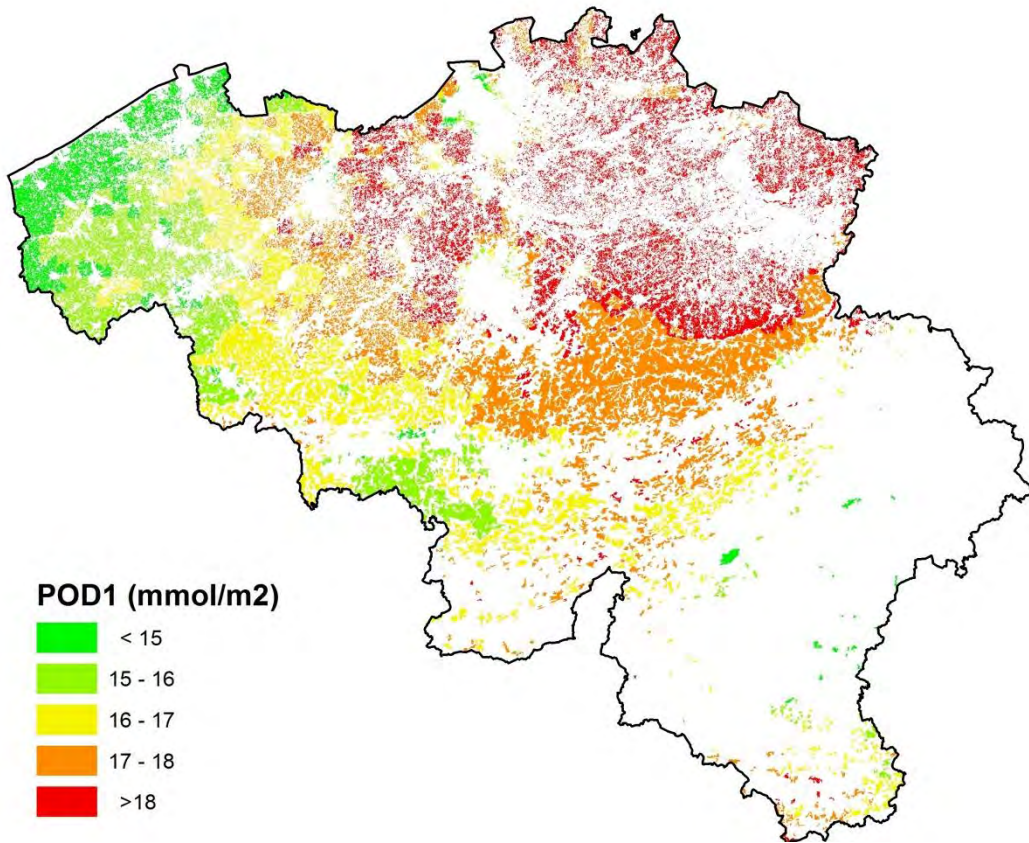
Tenslotte werd op basis van de berekende POD_{γ} -waarde ook een inschatting gemaakt van de oogstderiving en daaraan gekoppelde inkomensverlies voor aardappelen en tarwe.

6.2. Resultaten van de standaardberekening zonder waterstress

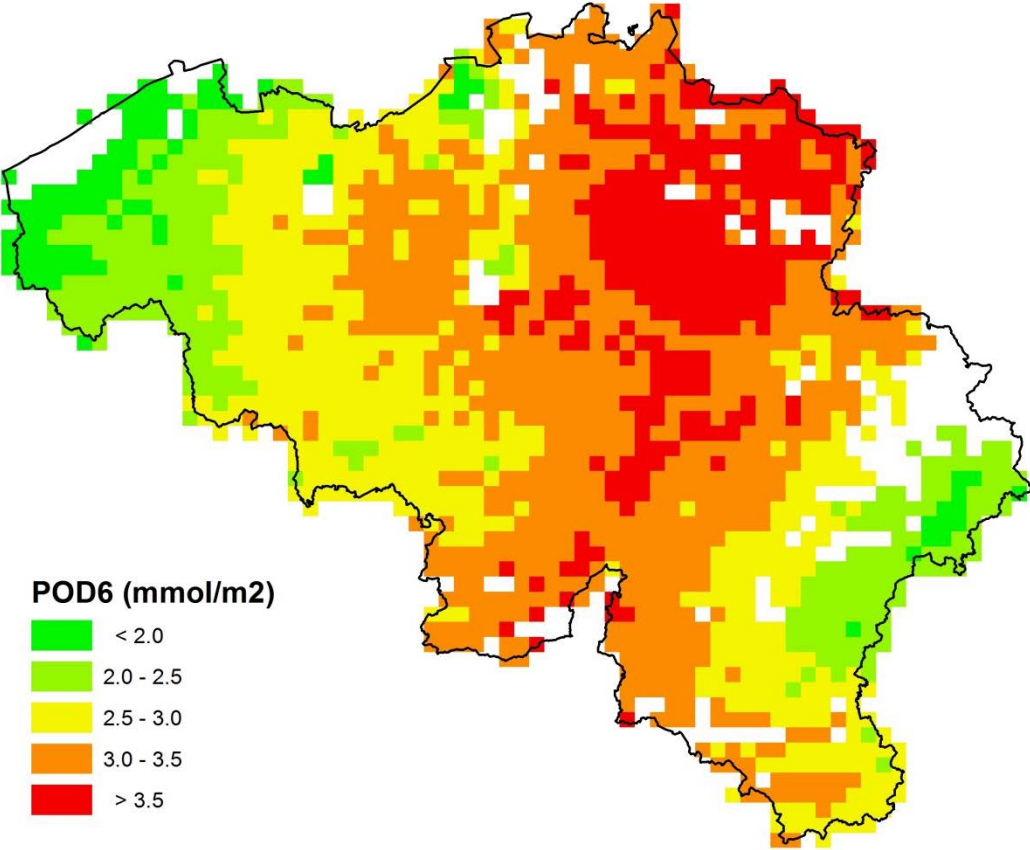
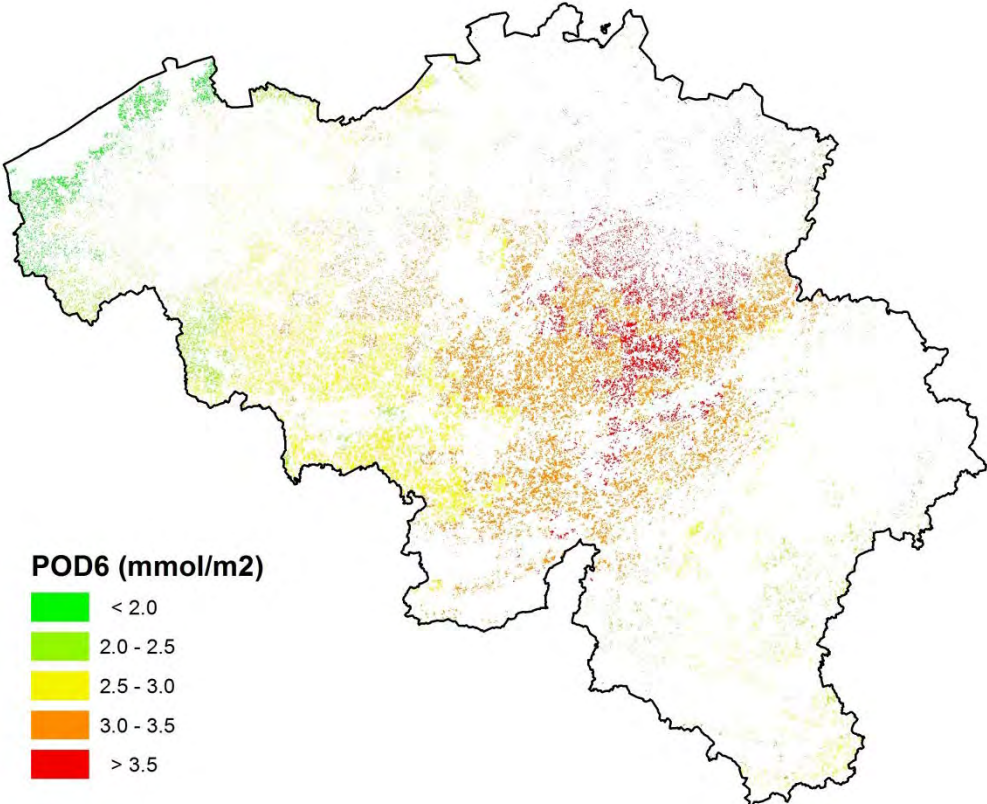
Aardappelen



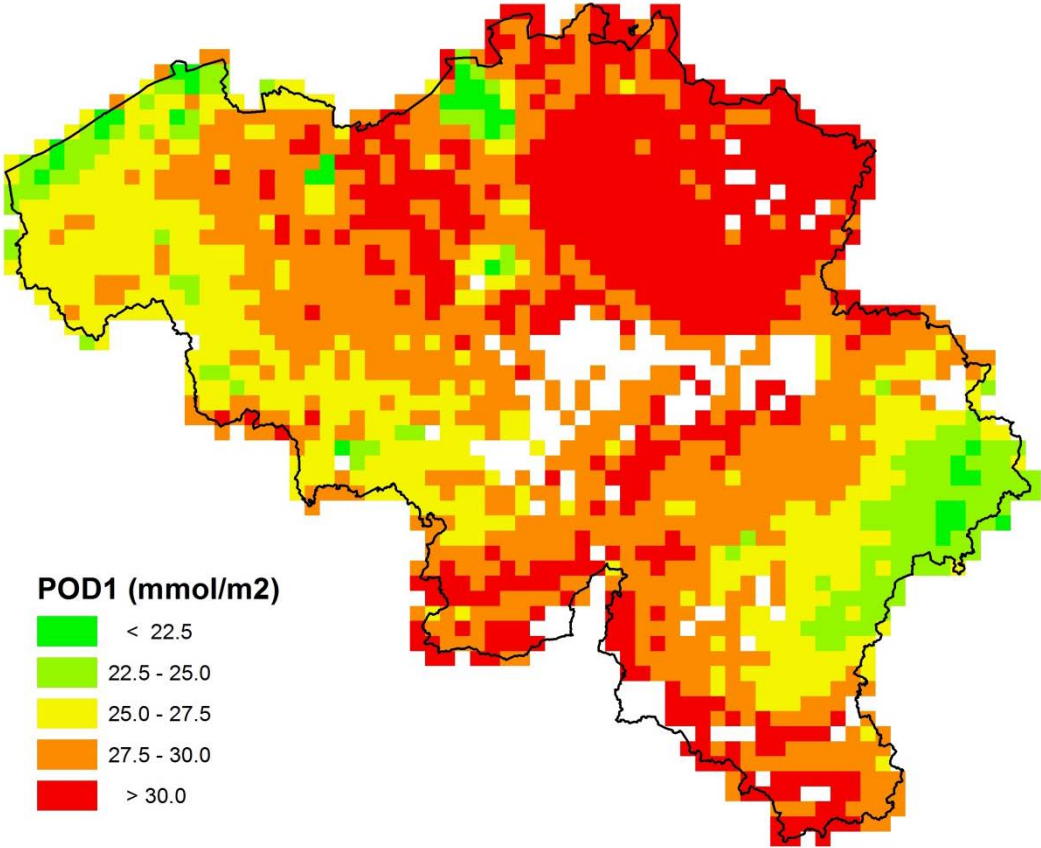
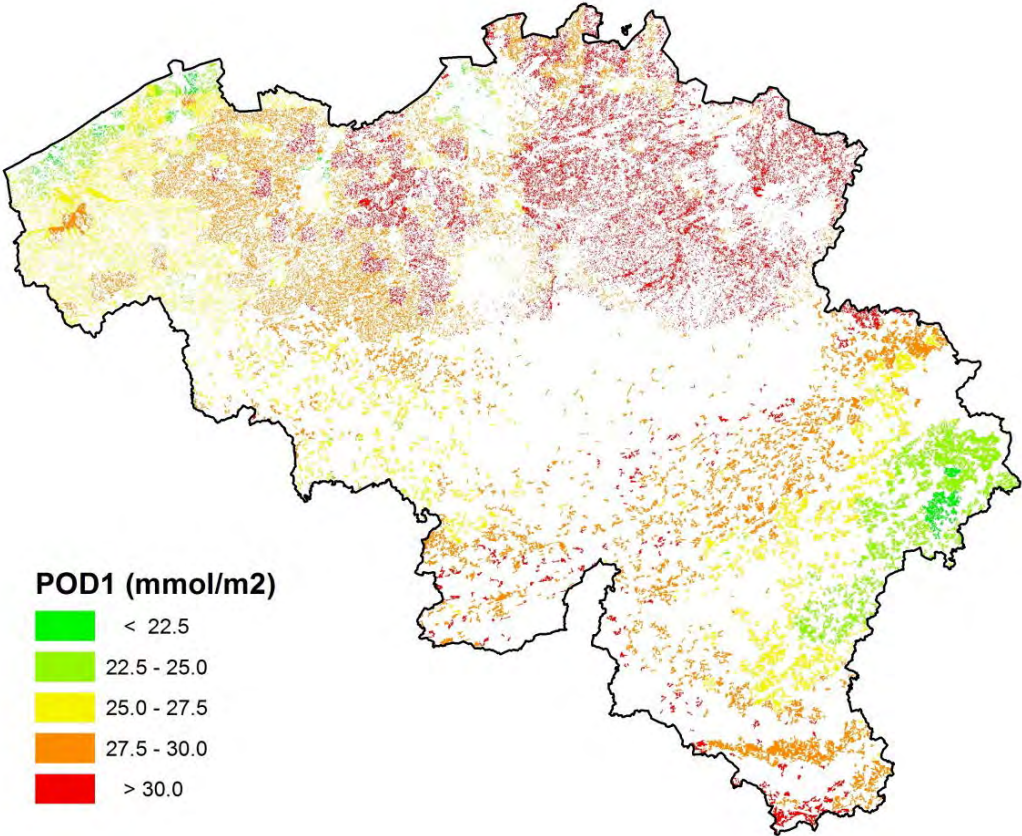
Akkerbouw



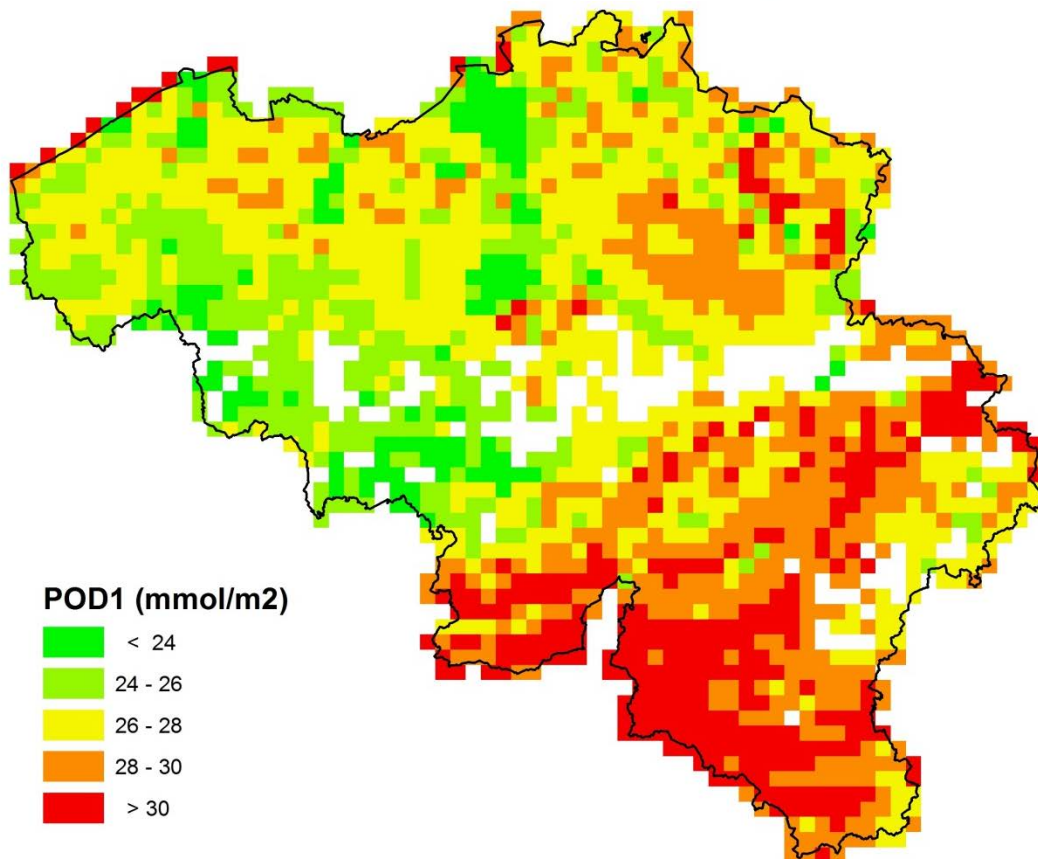
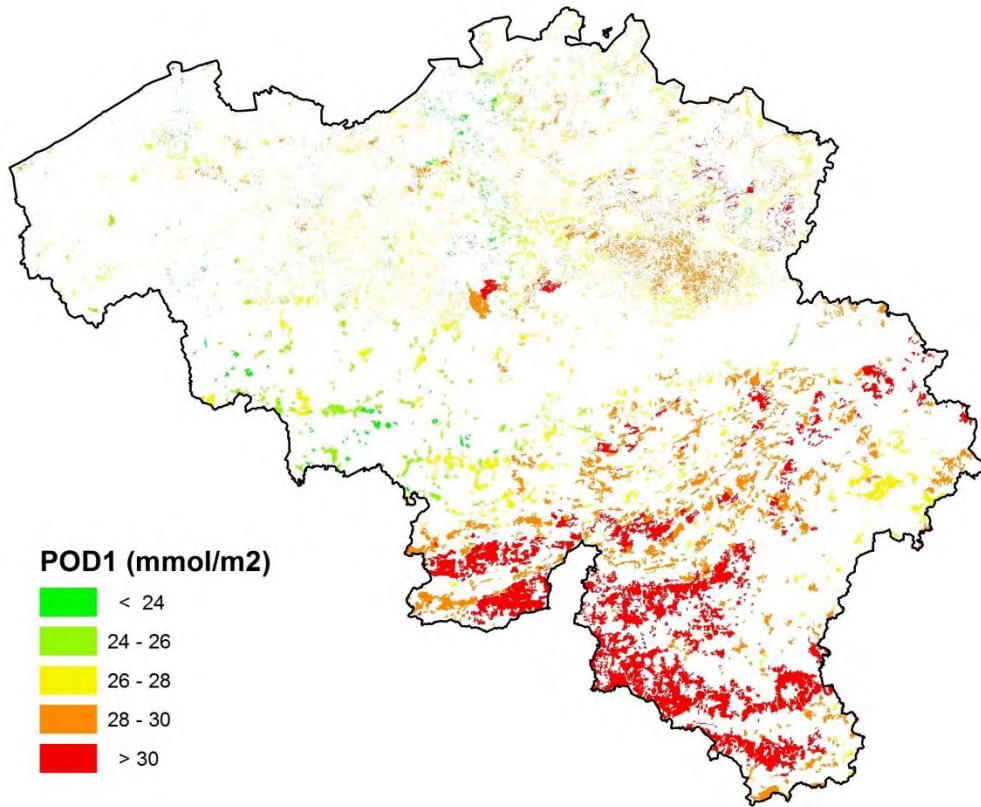
Granen



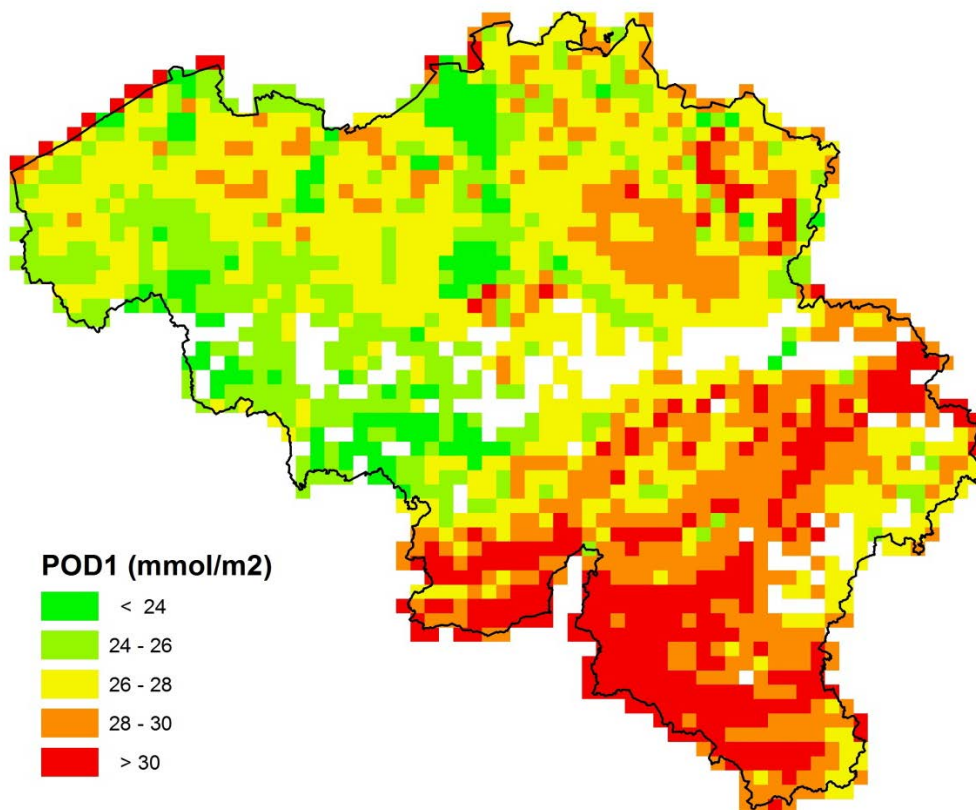
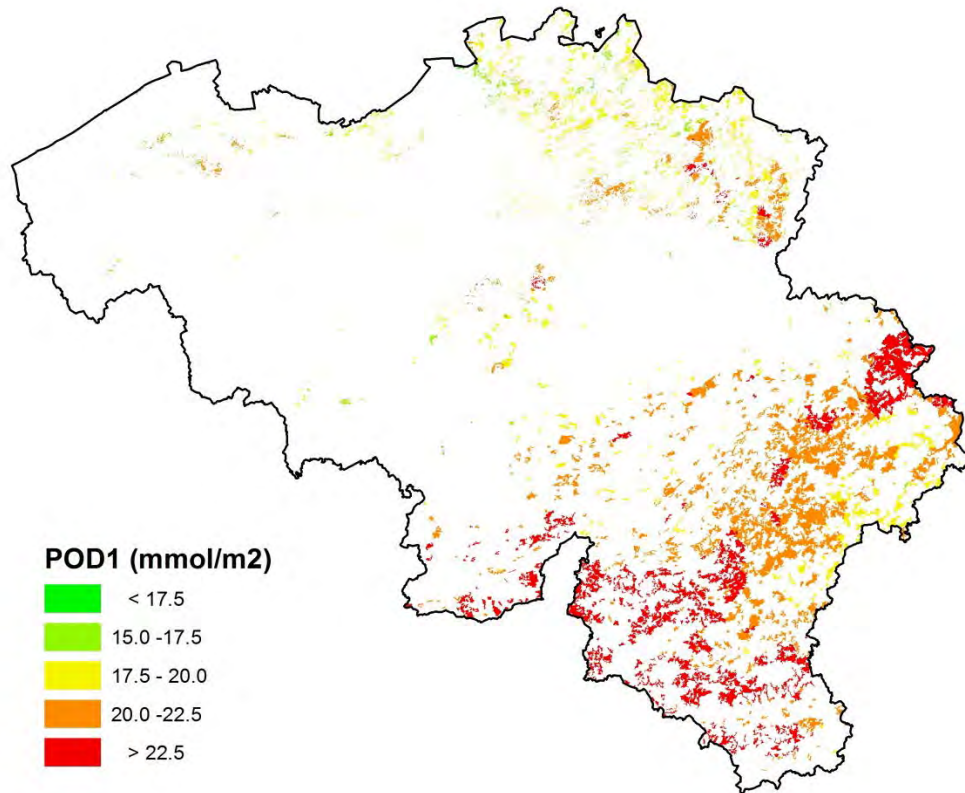
Grasland



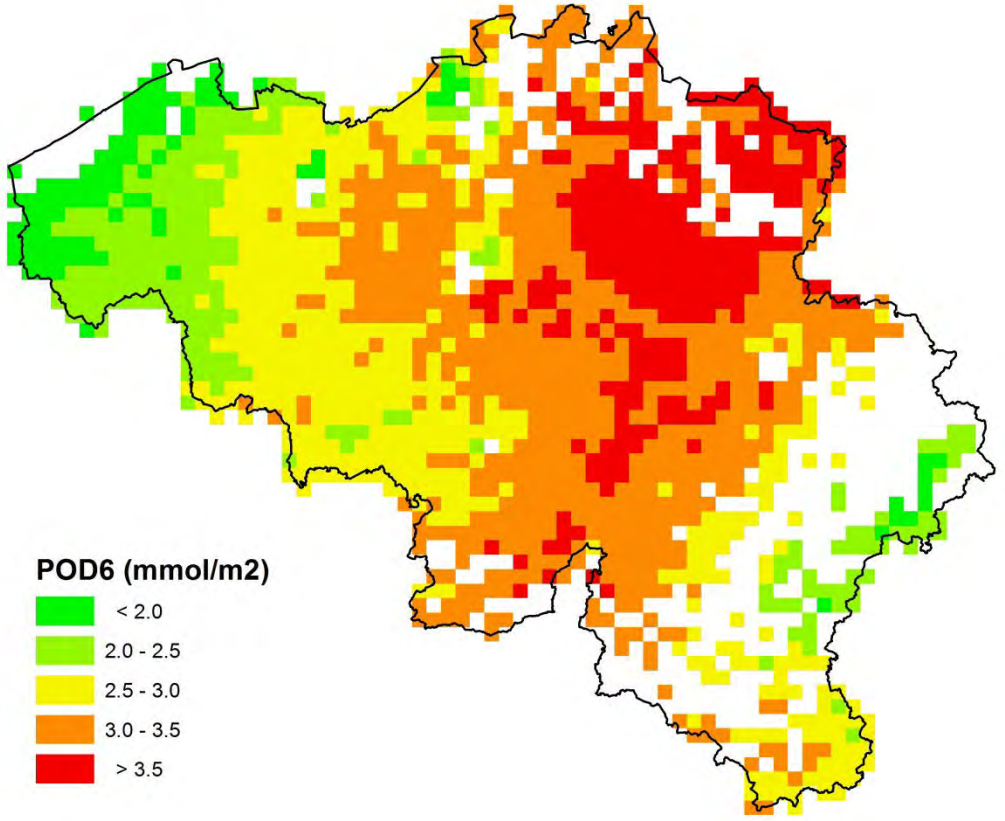
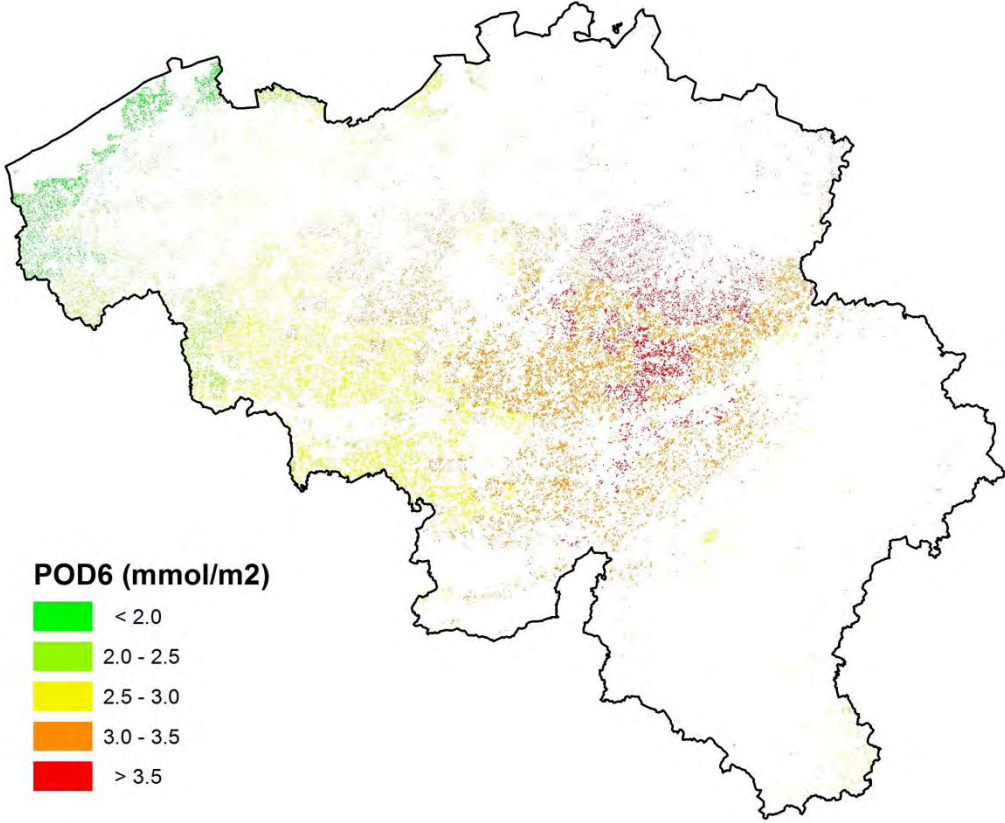
Loofbos



Naaldbos



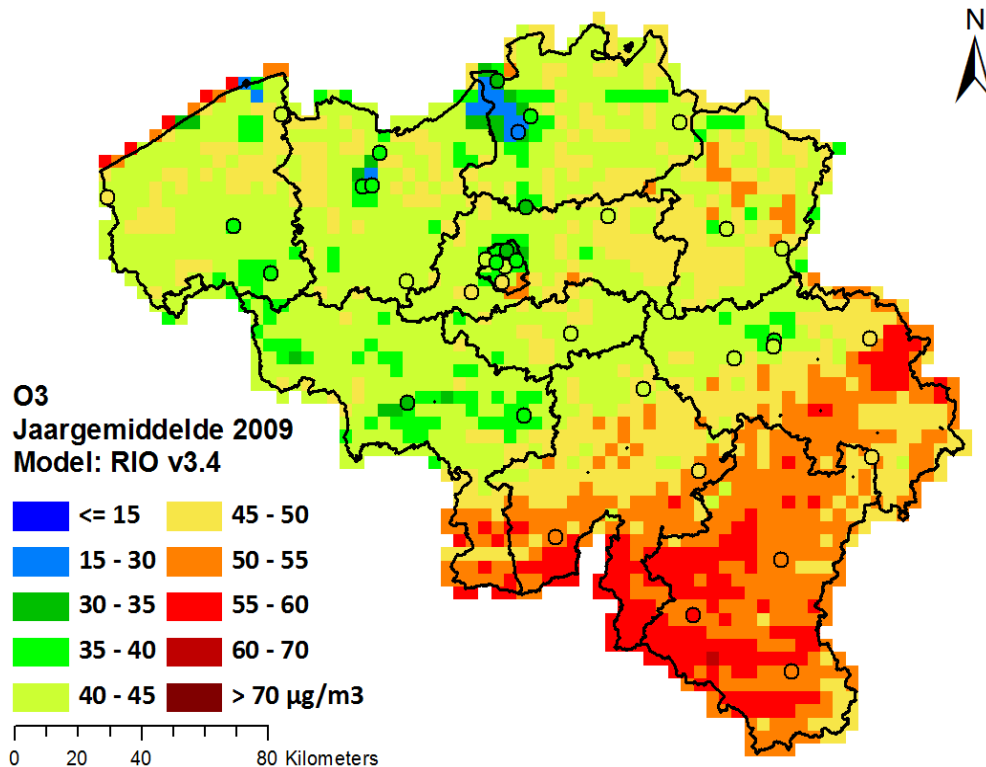
Tarwe



Bespreking resultaten

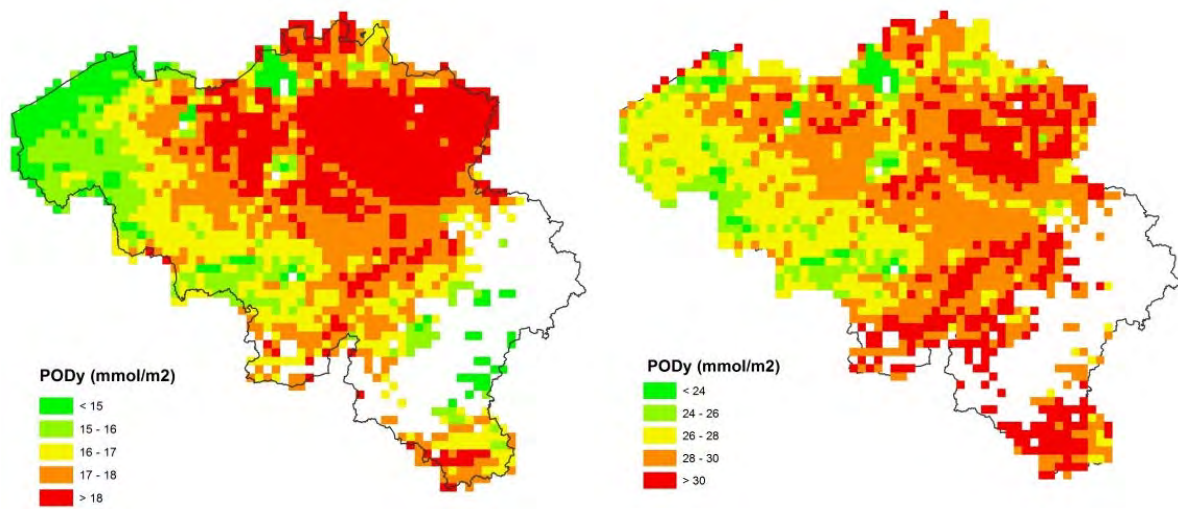
Als we de resultaten voor de verschillende vegetatietypes vergelijken zien we dat deze voor de naald- en loofbossen het beste het ruimtelijk patroon voor de O_3 -concentratie zelf volgen met hoge waarden in het Zuidoosten van België (Figuur 19). Bij de overige gewastypes (akkerland, grasland ...) zien we vooral hogere waarden voor de POD_Y over het midden en het Noordoosten van het land (Brabant, Antwerpen, Limburg).

Figuur 19: Grootchalige jaargemiddelde concentratiekaarten berekend met RIO voor O_3

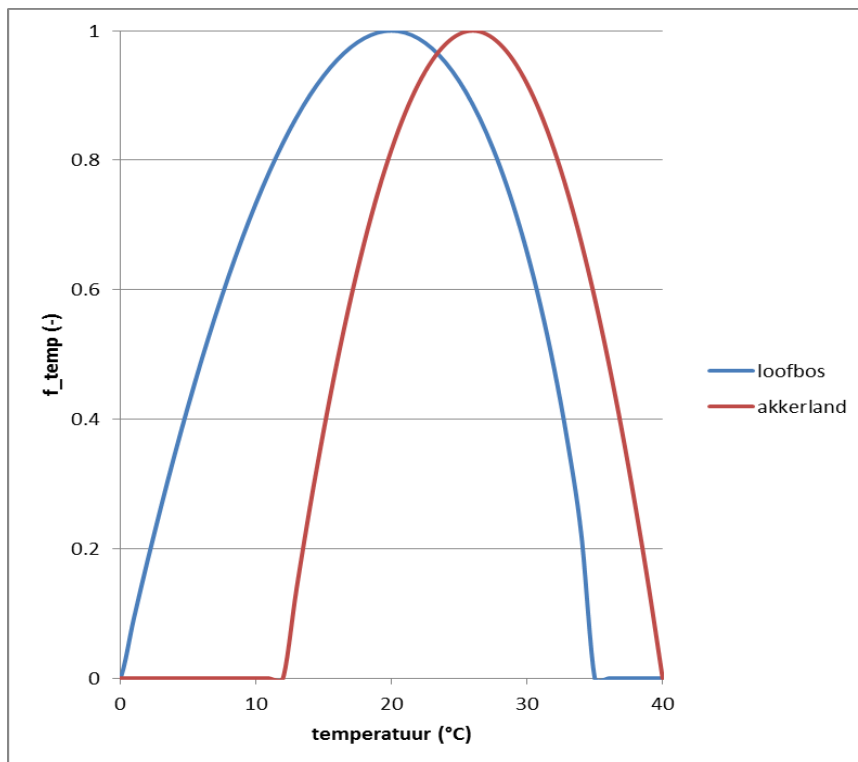


Uit verdere analyse bleek dat dit verschil in ruimtelijk patroon vooral toe te schrijven is aan de verschillen in de invoer die gelezen wordt uit de twee oorspronkelijke bestanden uit EMEP (Inputs_DO3SE.csv en Inputs_LandDefs.csv) en met name de gebruikte parameters voor de temperatuursfactor bij de berekening van POD_Y . Als we de berekeningen voor bijvoorbeeld akkerland herhalen met de waarden van de temperatuursfactor voor loofbossen (Figuur 20), zien we dat de POD_Y -waarden in dat geval ook net als voor de bossen hoger worden naar het Zuidoosten van het land. Het verloop van de temperatuursfactor voor loofbos en akkerland wordt getoond in Figuur 21. De waarden voor de temperatuursfactor voor akkerland zijn ook deze die gebruikt worden voor alle gewastypes die geen bos zijn (grasland, tarwe ...). Daar waar voor bossen de factor groter is dan 0 vanaf het vriespunt is dat pas vanaf 12°C het geval voor alle andere gewastypes. Andere verschillen tussen de parameterwaarden tussen de gewassen zoals voor g_{max} (maximale stomatale flux), fenologieparameters, en de lengte van het groeiseizoen hebben wel een effect op de waarde van de POD_Y maar minder op het ruimtelijke patroon.

Figuur 20: POD_1 rekening houdend met waterstress voor akkerland met de oorspronkelijke parameters voor de temperatuursafhankelijkheid (links) en indien de parameters voor loofbos (rechts) gebruikt worden.



Figuur 21: Temperatuursfactor bij berekening POD_y voor akkerland en voor loofbos



6.3. Effect van het bodemvocht op de berekende POD_Y waarden

Om het effect van de bodemvochtfactor f_{sw} te analyseren, werden een aantal statistieken voor deze factor weggeschreven op basis van de resultaten voor 2009 (Tabel 7).

Tabel 7: Gemiddelde bodemvochtfactor (f_{sw}) voor de verschillende bodemtypes en de frequentie waarmee de waarde kleiner is dan 1 gedurende het groeiseizoen

		Gemiddelde f_{sw} (-)			frequentie $f_{sw} < 1$		
		grof	medium	medium-fijn	grof	medium	medium-fijn
vegetatietype	Bodemtype						
	aardappel	0,99	0,99	0,98	0,12	0,10	0,11
	akkerbouw	0,98	0,98	0,98	0,13	0,11	0,11
	graan	0,98	0,99	0,98	0,14	0,09	0,11
	grasland	0,97	0,98	0,98	0,15	0,11	0,12
	loofhout	0,98	0,99	0,99	0,12	0,07	0,06
	naaldhout	0,99	1,00	1,00	0,10	0,04	0,04
	tarwe	0,98	0,99	0,98	0,14	0,10	0,12

Uit de tabel blijkt dat waterstress waarbij de f_{sw} kleiner is dan 1, zoals te verwachten, iets meer voorkomt op bodems waar de textuur grof is. Op basis van deze resultaten voor f_{sw} zien we ook dat in 2009 de waterstress gemiddeld slechts een beperkte daling van de POD_Y die door het model wordt berekend voor gevolg heeft (Tabel 8).

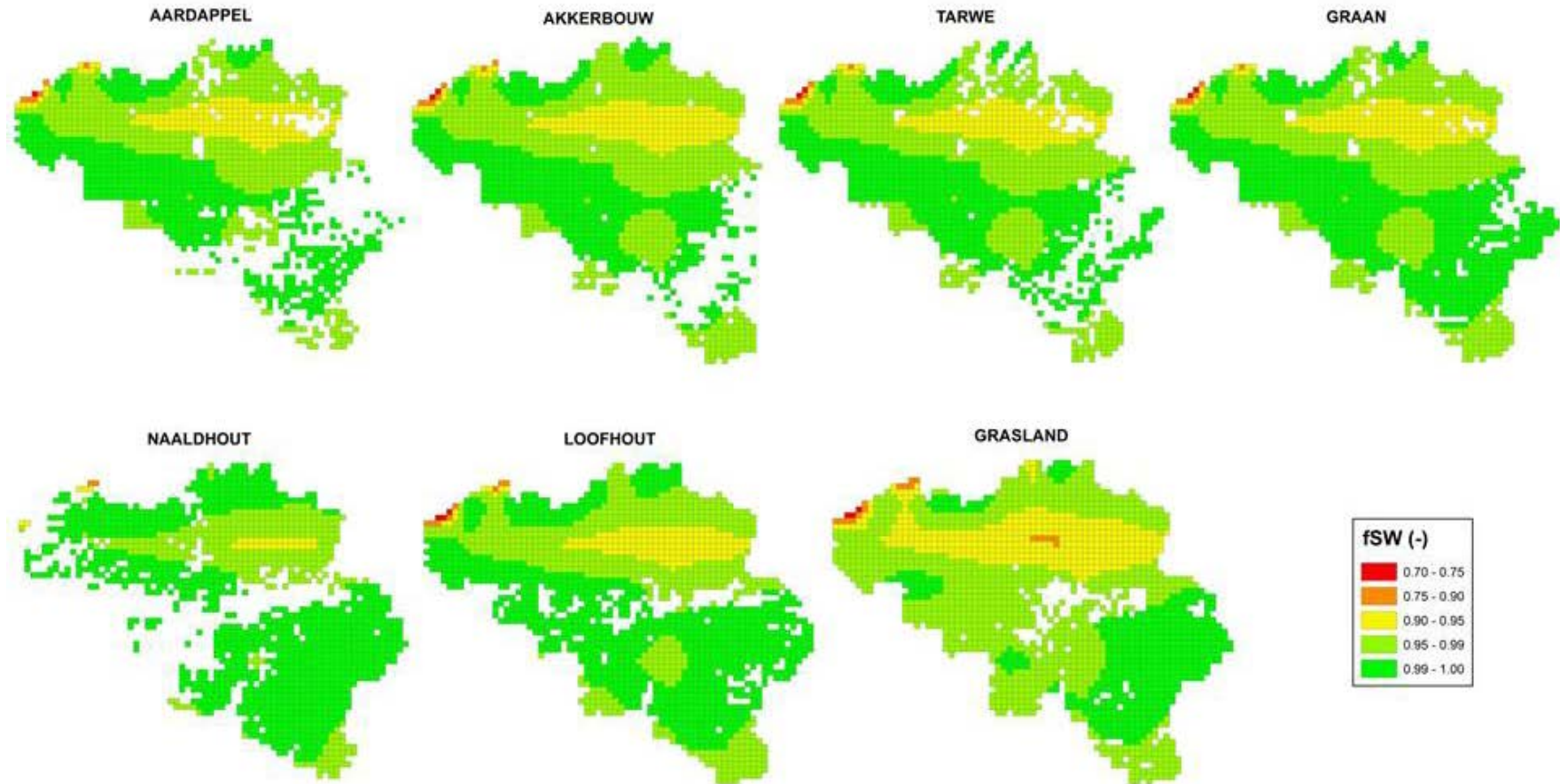
Tabel 8: Gemiddelde reductie van de POD_Y indien met waterstress wordt rekening gehouden

gewas	% reductie POD_Y
aardappel	0,05 %
akkerbouw	0,05 %
graan	0,06 %
grasland	5,66 %
loofhout	2,16 %
naaldhout	0,65 %
tarwe	0,08 %

De POD_Y daalt volgens het model het sterkste bij grasland ten gevolge van waterstress. Dit komt wellicht door de keuze van de parametrisatie voor de bewortelingsdiepte voor grasland in het model waardoor het deel van het bodemprofiel waaruit water kan onttrokken worden voor dit gewastype momenteel het kleinste is. Voor akkerland, aardappel en graan/tarwe is de bewortelingsdiepte volgens de huidige parameterkeuze in het model gelijk. Verschillen tussen deze laatste 4 gewastypes kunnen te wijten zijn aan de keuze van de drempelwaarde (Y) bij de berekening van de POD_Y , de verschillen in de start en duur van het groeiseizoen en verschillen in geografische spreiding voor deze gewassen.

In Figuur 22 tonen we de gemiddelde waarde van de bodemvochtfactor in 2009 voor de verschillende gewassen. Ook hieruit blijkt dat de invloed van de waterstress beperkt is en vooral voor grasland zorgt voor lagere POD_Y -waarden. Opvallend in de figuren zijn de lage f_{SW} -waarden aan de kust. Dit is verwonderlijk gezien de medium-fijne bodemtextuur voor de bodems aan de kust (polderklei) en is mogelijk een artefact in de ECMWF-resultaten.

Figuur 22: Ruimtelijke verdeling van de gemiddelde f_{sw} waarden voor de verschillende gewassen in 2009



6.4. Effect van het gebruik van ECMWF PAR invoer

Een ander verschil tussen de huidige implementatie en de EMEP-implementatie van de POD_Y -berekening is de mogelijkheid om de berekening uit te voeren met de waarden voor de fotosynthetisch actieve straling (PAR) berekend door ECMWF. In de EMEP versie wordt de PAR berekend op basis van de zonneconstante, de zonnehoek die functie is van de ligging en het tijdstip van de berekening en de bewolking. In Figuur 23 worden de resultaten voor POD_Y voor de verschillende gewastypes getoond zowel op basis van de EMEP-berekening als op basis van ECMWF. Voor de meeste gewastypes zijn de POD_Y -waarden berekend op basis van de ECMWF PAR hoger: tarwe/graaan/aardappelen gemiddeld +7 %, akkerbouw gemiddeld +3 % en grasland gemiddeld +2 %. Voor loofbos zijn de waarden echter gemiddeld respectievelijk ongeveer gelijk (-0,04 % waarbij POD_Y (ECMWF) hoger is dan POD_Y (EMEP) bij lage waarden en lager bij hogere POD_Y waarden) en voor naaldhout gemiddeld 5 % lager. Algemeen kan je stellen dat beide methodes gezien de onzekerheid op de POD_Y berekening tot vergelijkbare resultaten leiden.

6.5. Effect op gewasopbrengst

Voor aardappelen wordt door Calvo et al, 2007; Gerosa et al, 2008; Mills et al., 2011 en Pleijel et al., 2007 de volgende dosis-respons relatie voorgesteld die het verband geeft tussen de relatieve gewasopbrengst (RY) en POD_6 :

$$RY = 1.01 - 0.013 POD_6$$

Voor Vlaanderen betekent dit op basis van de modelresultaten een gemiddelde daling van de gewasopbrengst met 4,7 %. In Vlaanderen bedroeg in 2009 de gemiddelde aardappelopbrengst 45 ton/ha (FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2014). Zonder O_3 -effect was de opbrengst 47,2 ton/ha (45/0,953) geweest en het verlies bedraagt dus 2,2 ton/ha of een totaal van 97 kTon. Als we ons baseren op een eindproductiewaarde voor de aardappelteelt in Vlaanderen voor 2009 van 181 MEuro (Landbouw en Visserij, 2014) dan betekent dit een verlies van 8,9 MEuro.

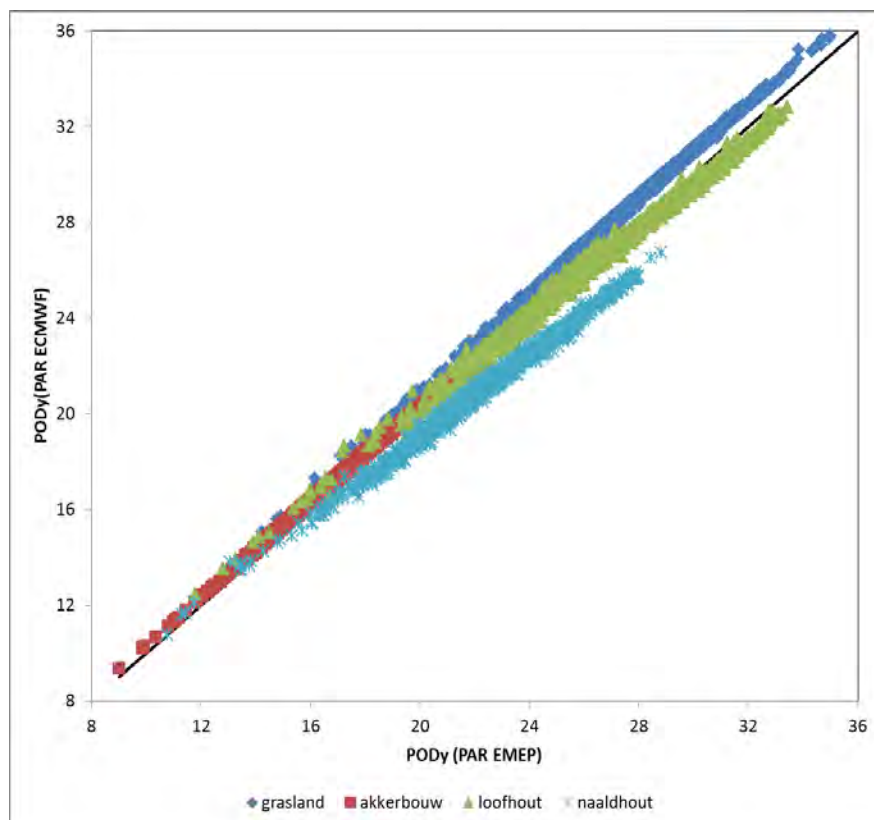
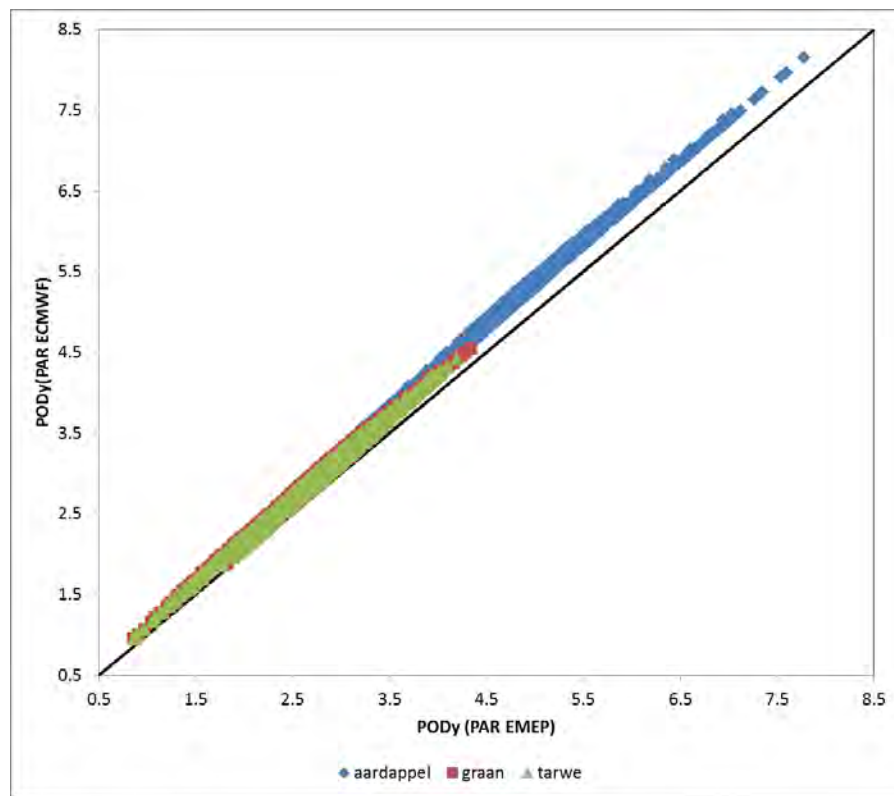
Voor tarwe worden door Mills et al., 2011; Piikki et al. 2008 en Pleijel et al. 2007 de volgende dosis-respons relaties gegeven, voor de relatieve opbrengst (RY):

$$RY = 1.00 - 0.038 POD_6$$

Voor Vlaanderen betekent dit op basis van de O3flux model resultaten een verlies in gewasopbrengst van 10 %. Met een opbrengst van 9,6 T/ha in 2009 (FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2014) komt dit overeen met een verlies van 1,1 Ton per ha of 76 kTon voor gans Vlaanderen.

Voor de generische receptoren is een analoge berekening van de opbrengstderving niet mogelijk.

Figuur 23: Scatterplots voor POD_y ($mmol/m^2$) op basis van $PAR(EMEP)$ en $PAR(ECMWF)$ voor de gewastypes aardappel, graan en tarwe (bovenste figuur) en de gewastypes grasland, akkerbouw, loofhout en naaldhout (onderste figuur)



7. Conclusies

In deze studie werden op basis van de aanbevelingen van de literatuur en de haalbaarheidsstudie door Deutsch en Vandermeiren (2013) en in overleg met VMM de nodige invoer en een programma genaamd 'O3flux' ontwikkeld waarmee een gebiedsdekkende berekening mogelijk is van de Phytotoxische Ozon Dosis POD_Y ($\text{mmol O}_3 \text{ m}^{-2}$ bladoppervlak), dit is de som van het verschil tussen de uurgemiddelde stomataire ozonflux en een drempelwaarde Y ($\text{nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), geaccumuleerd over de relevante tijdsperiode tijdens de daglichturen voor Vlaanderen.

De code voor het O3flux model is gebaseerd op de DO3SE-module uit het Europees luchtkwaliteitsmodel EMEP en de resultaten werden ter controle dan ook vergeleken met resultaten van het EMEP-model. Bij de implementatie werd in de mate van het mogelijke de EMEP-code onveranderd overgenomen enerzijds om zo getrouw mogelijk de resultaten van EMEP te reproduceren en anderzijds om er voor te zorgen dat bij mogelijke wijzigingen aan de EMEP-code zelf deze wijzigingen zo eenvoudig mogelijk zouden kunnen overgenomen worden in het O3flux programma.

Door het O3flux programma toe te passen kunnen voor Vlaanderen op het niveau van de percelen POD_Y -waarden berekend worden voor de gewassen aardappel, akkerland, grasland, graan, tarwe, loofhout en naaldhout. In het rapport worden de resultaten van deze berekening weergegeven onder de vorm van kaarten voor het jaar 2009. We gingen ook na wat het effect is van de bodemvochtfactor die de waterstress beschrijft en de keuze van de invoer voor de fotosynthetisch actieve straling (PAR) op de resultaten. Op basis van de resultaten voor 2009 blijkt het effect van waterstress door het bodemvochtgehalte eerder beperkt. Enkel voor grasland (-6 %) en in mindere mate voor loofhout (-2 %) is er een beperkte afname van de gemiddelde POD_Y te verwachten op basis van het model. Mogelijk is het effect wel groter in andere en meer bepaald drogere jaren. Voor aardappelen en tarwe werd tenslotte op basis van bestaande dosis-respons functies het verlies aan gewasopbrengst ingeschat.

Referenties

- Büker, P., Morrissey, T., Briolat, A., Falk, R., Simpson, D., Tuovinen, J.-P., Alonso, R., Barth, S., Baumgarten, M., Grulke, N., Karlsson, P. E., King, J., Lagergren, F., Matyssek, R., Nunn, A., Ogaya, R., Peñuelas, J., Rhea, L., Schaub, M., Uddling, J., Werner, W., Emberson L. (2012) DO3SE modelling of soil moisture to determine ozone flux to forest trees *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 5537–5562 doi:10.5194/acp-12-5537-2012.
- Calvo, E., Martin, C., Sanz, M. (2007) Ozone Sensitivity Differences in Five Tomato Cultivars: Visible Injury and Effects on Biomass and Fruits. *Water, Air, & Soil Pollution* 186, 167-181.
- Danielsson, H., Karlsson, G. P., Karlsson, P. E., Pleijel, H. (2003) Ozone uptake modelling and flux-response relationships--an assessment of ozone-induced yield loss in spring wheat. *Atmospheric Environment* 37, 475-485.
- Deutsch, F., Vandermeiren K. (2013) Ozonschade aan vegetatie: Literatuurstudie en studie naar de haalbaarheid van een indicator op basis van de ozonflux en naar de implicaties voor de gebiedsdekkende berekening via een luchtkwaliteitsmodel, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2013/12, VITO, CODA-CERVA.
- Dondeyne, S., Van Ranst, E., Deckers J. (in samenwerking met Bouhon, A., Chapelle, J., Vancampenhout, K., Baert, G.) (2012) Converting the legend of the Soil Map of Belgium to World Reference Base for Soil Resources Opdracht van Vlaamse Overheid, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen Bestek nr. BOD/STUD/2009/05, op het internet 15/9/2014: <https://dov.vlaanderen.be/dovweb/html/pedologie.html>.
- EEA (2007) CLC2006 technical guidelines, 66 pp. ISBN 978-92-9167-968-3,ISSN 1725-237,DOI:10.2800/12134.
- FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (2014) website geraadpleegd 7/11/2014: http://statbel.fgov.be/nl/modules/publications/statistiques/economie/downloads/production_des_cultures_a_gricoles.jsp
- Gerosa, G., Marzuoli, R., Finco, A., Ebone, A., Tagliaferro, F. (2008) Ozone effects on fruit productivity and photosynthetic response of two tomato cultivars in relation to stomatal fluxes. *Italian Journal of Agronomy* 3, 61–70.
- Jackson, R.B., Canadell, J., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E., Schulze, E.D. (1996) A global analysis of root distributions for terrestrial biomes *Oecologia* 108:389-411.
- Landbouw en Visserij (2014) website geraadpleegd 7/11/2014: <http://lv.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?fid=316#economisch>
- Mills, G., Pleijel, H., Büker, P., Braun, S., Emberson, L., Harmens, H., Hayes, F., Simpson, D., Grünhage, L., Karlsson, P.-E., Danielsson, H., Bermejo, V., Gonzalez Fernandez, I. (2011) Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends. Chapter 3: Mapping Critical Levels for Vegetation. UNECE, pp. 114.
- Mills, G., Pleijel, H., Braun, S., Büker, P., Bermejo, V., Calvo, E., Danielsson, H., Emberson, L., Gonzalez Fernandez, I., Grünhage, L., Harmens, H., Hayes, F., Karlsson, P.-E., Simpson, D. (2011) New stomatal flux-based critical levels for ozone effects on vegetation. *Atmospheric Environment* 45, 5064-5068.
- Nemes, A., Wösten, J.H.M., Lilly, A., Oude Voshaar, J.H. (1999) Evaluation of different procedures to interpolate particle-size distributions to achieve compatibility within soil databases. *Geoderma* 90 1999 187–202.
- Piikki, K., De Temmerman, L., Ojanpera, K., Danielsson, H., Pleijel, H. (2008) The grain quality of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in relation to elevated ozone uptake and carbon dioxide exposure. *Europ. J. Agronomy* 28, 245-254.
- Pleijel, H., Danielsson, H., Emberson, L., Ashmore, M. R., Mills, G. (2007) Ozone risk assessment for agricultural crops in Europe: Further development of stomatal flux and flux–response relationships for European wheat and potato. *Atmospheric Environment* 41, 3022-3040.
- Tavernier, R., Maréchal, R. (1972). Carte des Associations des Sols 1:500,000. Atlas de la Belgique,
- Van Genuchten, M.T. (1980) A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44, p.891-898.
- Wösten, J. H. M. (2000) The HYPRES database of hydraulic properties of European soils. *Advances in Geoecology* 2000 No. 32 pp. 135-143.

ANNEX I Alternatieve invoer voor de bodemvochtfactor

In de huidige versie van de code wordt de bodemvochtfactor, f_{sw} bepaald op basis van de bodemvochtindex (SMI) invoer uit ECMWF. Gezien de lage resolutie van ECMWF en de heterogeniteit van de bodems in België is deze bodemvochtinvoer echter niet erg representatief voor de werkelijke bodemvochttoestand van de individuele velden. Een alternatief zou dan ook zijn om op basis van een gedetailleerde bodemkaart te werken en deze te koppelen aan een waterbalansmodel voor de bodem. De bodemkaart kan je hierbij baseren op de data van de bodemassociatiekaart van België (Tavernier en Maréchal, 1972) die afgeleid is van de Belgische bodemkaart (schaal: 1:20.000) door bodemseries inhoudelijk en ruimtelijk te groeperen tot 66 bodemassociaties (Figuur 25).

Een associatie is gekarakteriseerd door een vrij constante verhouding tussen de oppervlakte ingenomen door een aantal typische bodemseries. Dikwijls wordt de aard van de associatie aangegeven in termen van een dominante, een geassocieerde en een geïncludeerde serie. Een bodemserie wordt voorgesteld door een formule van drie letters, die betrekking hebben op de drie hoofdkenmerken van het bodemprofiel:

1. de grondsoort (textuur van het bovenste deel van het bodemprofiel), door een hoofdletter (A . . , L . . , enz.);
2. de natuurlijke draineringsklasse, door een kleine letter in eerste positie na de hoofdletter (. a . , . b . , enz.);
3. de horizontenopeenvolging, door een kleine letter in tweede positie na de hoofdletter (a , . . b , . . c , enz.).

Voor de bodemkaart die we nodig hebben voor de berekening van f_{sw} wijzen we de dominante bodemseries van de bodemassociaties toe aan een beperkt aantal klassen in navolging van het werk van Büker et al (2012). We onderscheiden hierbij vier klassen waarvan drie op basis van de textuur (grof, medium en fijn) en één voor de organische bodems. De vertaling van de bodemseries naar deze 4 klassen is weergegeven in Tabel 9. De resulterende bodemkaart voor België is te zien in Figuur 26.

Tabel 9: Conversie van bodemseriecodes naar de bodemtypes voor de f_{sw} berekening (A=leem, E=klei, G=stenig leem, L=zandleem, M=mergel, P=licht zandleem, pE=Mariene afzettingen, S=lemig zand, U=zware klei, V=veen, Z=zand en kustduinen)

textuurcode dominante bodemserie van de bodemassociatie	bodemtype voor f_{sw}
U/E, pE, A, E/L/A, A*, E, E*, U, M	Fijn
E/Z/S, P, P/S, L, P/L, S/Z, G, Z/P/S, P/L*, L*, S	Medium
Z, Z/S	Grof
V*,V	Organisch

Voor de berekeningen van de bodemvochtfactor f_{sw} moeten we voor de verschillende bodemtypes de vochtretentiekarakteristiek kennen om zo het vochtgehalte bij het verwerkingspunt (θ_{vp}) en bij veldcapaciteit (θ_{vc}) te kunnen bepalen. De meest gekende en gebruikte relatie voor de vochtretentiekarakteristiek wordt gegeven door het Van Genuchten model (Van Genuchten, 1980):

$$\theta = \theta_{res} + \frac{(\theta_{sat} - \theta_{res})}{[1 + (\alpha|\psi|)^n]^{1-1/n}}$$

θ : volumetrisch bodemvochtgehalte (cm³ water/cm³)

θ_{res} : residueel volumetrisch bodemvochtgehalte (cm³ water/cm³)

θ_{sat} : verzadigd volumetrisch bodemvochtgehalte (cm³ water/cm³)

ψ : bodempotential (cm waterkolom)

α : inverse van de bodempotential bij luchtintrede (1/cm waterkolom)

n : een empirische (vorm) parameter gerelateerd aan de poriëngrootteverdeling

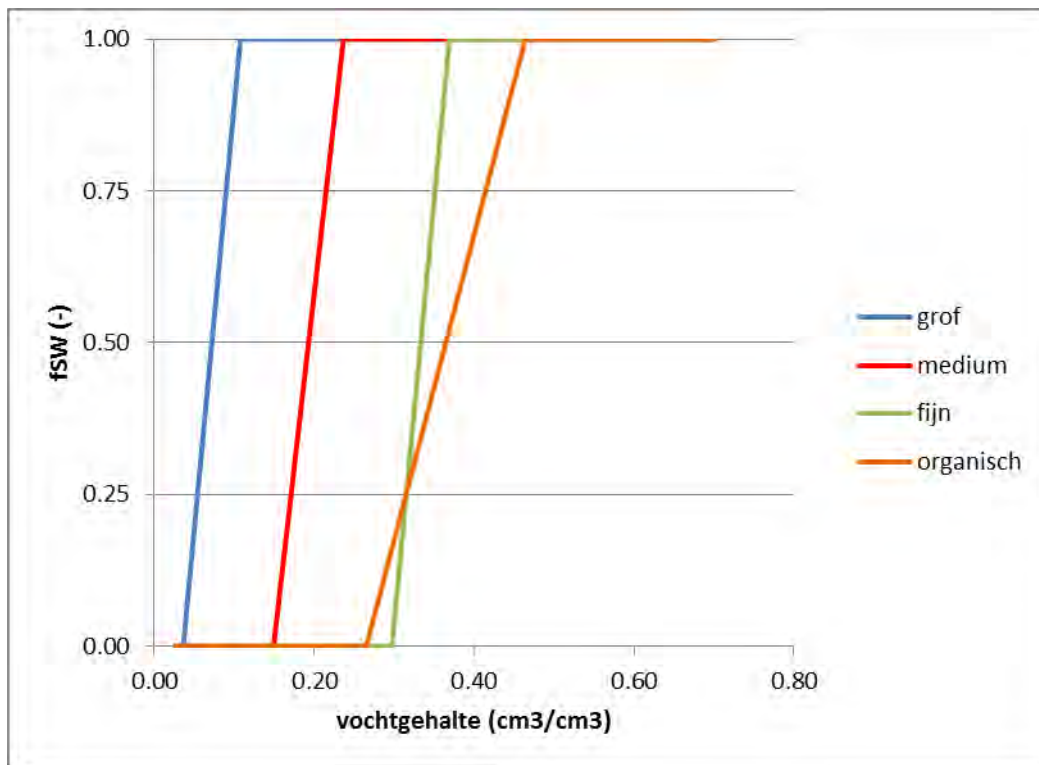
In Tabel 10 geven we de parameters van de Van Genuchten vergelijking voor de 4 bodemtypes alsook de waarden voor het volumetrisch vochtgehalte bij veldcapaciteit en bij het verwelkingspunt. Deze waarden zijn gebaseerd op de HYPRES databank (Nenes et al.,1999, Wösten, 2000).

Tabel 10: Parameters voor de Van Genuchtenvergelijking voor 4 verschillende bodemtypes en de waarden voor het bodemvochtgehalte bij veldcapaciteit (θ_{VC}) en het verwelkingspunt (θ_{VP}) op basis van deze parameters (naar Wösten, 2000)

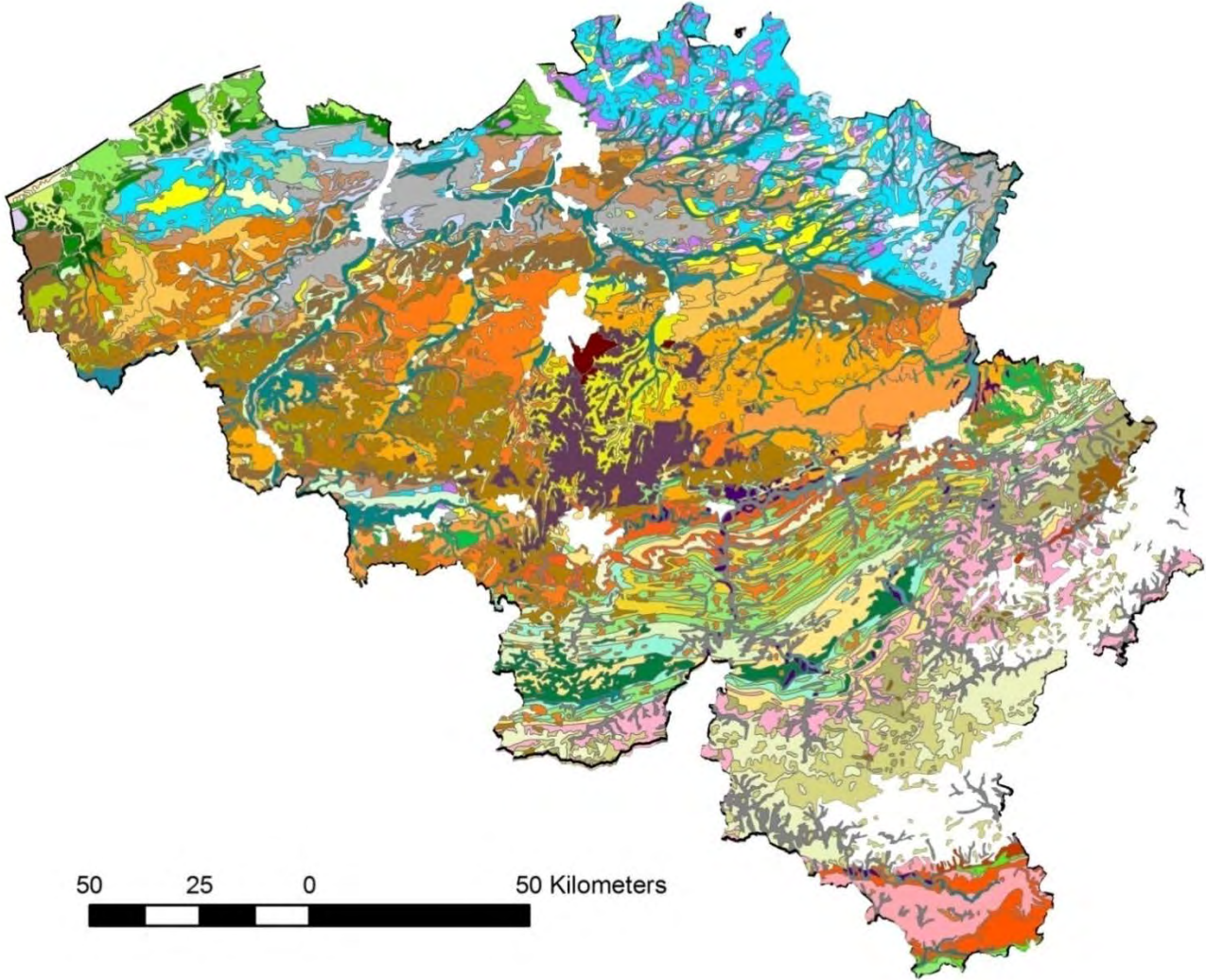
Bodem type	θ_{res}	θ_{sat}	α	n	θ_{VC}	θ_{VP}
Grof	0,025	0,366	0,0430	1,5206	0,179	0,036
Medium	0,010	0,392	0,0249	1,1689	0,324	0,149
Fijn	0,010	0,481	0,0198	1,0861	0,441	0,297
Organisch	0,010	0,766	0,013	1,2039	0,663	0,265

Het verband van f_{sw} met het bodemvochtgehalte wordt voor deze 4 verschillende bodemtypes weergegeven in Figuur 24.

Figuur 24: De bodemvochtfactor voor verschillende bodemvochtgehaltenes voor de vier verschillende bodemtypes die werden onderscheiden



Figuur 25: De bodemassociatiekaart van België



1: duinen: hoge duinen, al dan niet gefixeerd	33: leemgronden met textuur B horizont: matig natte associatie
2: duinen: duingronden en overgangsronden	34: leemgronden met textuur B horizont: natte associatie
3: nieuwwand en historische polders: zand- tot zandleemgronden	35: leemgronden met gevlekte textuur B horizont
4: nieuwwand en historische polders: kleigronden	36: leemgronden met verbrokkelde textuur B horizont
5: polders middelland: dekkleigronden	37: niet gedifferentieerde zandlemige of lemige substraatgronden op zand
6: polders middelland: overdekte poelgronden	38: niet gedifferentieerde zandlemige of lemige substraatgronden op klei-zandcomplex
7: polders middelland: blekgronden	39: niet gedifferentieerde zandlemige of lemige substraatgronden op klei
8: polders oudland: kreekruggronden	40: stenig leemgronden met textuur B horizont of met structuur B horizont met bijmenging van griet
9: polders oudland: poelgronden	41: stenig leemgronden met textuur B horizont of met structuur B horizont met bijmenging van krijt of silixiet
10: polders oudland: oude kleiplaatgronden	42: stenig leemgronden met textuur B horizont of met structuur B horizont met bijmenging van schiefer en zandsteen
11: moeren	43: stenig leemgronden met textuur B horizont of met structuur B horizont met bijmenging van psammiet
12: overdekt pleistocene gronden	44: stenig leemgronden met textuur B horizont of met structuur B horizont met bijmenging van kalksteen
13: zandgronden zonder profielontwikkeling	45: stenig leemgronden met textuur B horizont of met structuur B horizont met bijmenging van conglomeraat
14: droge zand- en lemig-zandgronden met humus of/en ijzer B horizont	46: stenig leemgronden met textuur B horizont of met structuur B horizont met bijmenging van schiefer
15: natte zand- en lemig-zandgronden met humus of/en ijzer B horizont	47: stenig leemgronden met textuur B horizont of met structuur B horizont met bijmenging van schiefer en kalksteen
16: droge zand- tot licht-zandleemgronden met kleur B horizont of met textuur B horizont	48: stenig leemgronden met textuur B horizont of met structuur B horizont met bijmenging van schiefer en psammiet
17: natte zand- tot licht-zandleemgronden met kleur B horizont of met textuur B horizont	49: klei- en stenig-leemgronden met schieferbijmenging
18: complex van de associaties 14 + 16	50: stenig-leemgronden met structuur B horizont, met bijmenging van schiefer en leisteen
19: complex van de associaties 15 + 17	51: stenig-leemgronden met structuur B horizont, met bijmenging van schiefer en zandsteen
20: droge zand- en lemig-zandgronden met diepe antropogene humus A horizont	52: droge weinig-stenig-leemgronden met structuur B horizont
21: natte zand- en lemig-zandgronden met diepe antropogene humus A horizont	53: natte weinig-stenig-leemgronden met structuur B horizont
22: niet gedifferentieerde zandige substraatgronden op zand	54: veengronden
23: niet gedifferentieerde zandige substraatgronden op klei-zandcomplex	55: zand- tot zandleemgronden met textuur B horizont
24: niet gedifferentieerde zandige substraatgronden op klei	56: klei- en stenig-leemgronden met textuur B horizont
25: niet gedifferentieerde zandige substraatgronden op krijt of mergel	57: kleigronden met structuur B horizont
26: droge licht-zandleem- en zandleemgronden met verbrokkelde textuur B horizont	58: kleigronden met textuur B horizont
27: natte licht-zandleem- en zandleemgronden met verbrokkelde textuur B horizont	59: droge alluviale gronden zonder profielontwikkeling
28: droge zandleemgronden met textuur B horizont of met verbrokkelde textuur B horizont	60: natte alluviale gronden zonder profielontwikkeling
29: natte zandleemgronden met textuur B horizont of met verbrokkelde textuur B horizont	61: alluviale gronden met profielontwikkeling
30: leemgronden met textuur B horizont: droge associatie	62: zones met steile hellingen
31: leemgronden met textuur B horizont: normale associatie	0: niet gekarteerde zones
32: leemgronden met textuur B horizont: matig droge associatie	

Deze dataset bevat de begrenzingen en de codering van de bodemassociaties, zoals gepubliceerd in de Atlas van België (uitgave 1972), op de kaartbladen 11A en 11B (schaal 1:500.000)(Tavernier en Maréchal, 1972)

Figuur 26: Bodemtypekaart voor de berekening van f_{sw}

