

Technische verantwoording

Dit is technische verantwoording bij het artikel van Follow the Money over glyfosaatgebruik op Nederlandse akkers in het voorjaar van 2020.

Brondata

We hebben gebruikgemaakt van de Basisregistratie Gewaspercelen (BRP) van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). Deze database is gebaseerd op de jaarlijkse aangifte die alle Nederlandse boeren moeten doen en vermeldt van elk landbouwperceel in Nederland welk gewas er dat jaar op werd geteeld.

De dataset bevat 773.139 akkers met 322 verschillende gewascategorieën, waarvan er 88 goed zijn voor 97,7 procent van de totale oppervlakte. In eerste instantie hebben we ons tot die percelen beperkt.

Daarna hebben we 30 gewascategorieën uitgesloten waarbij het hoogst onwaarschijnlijk was dat die in het voorjaar worden bespoten, of waarvoor onze methode ongeschikt is om eventueel spuiten te detecteren. Denk daarbij aan wintergranen, tulpen, natuur en meerjarige planten, zoals appelbomen.

De 58 overgebleven gewascategorieën besloegen 1.594.816 hectare, ofwel: 86 procent van het landbouwareaal uit de BRP.

Van die 58 gewassen hebben we (waar mogelijk) per gewas uitgezocht in welke tijd van het jaar die uiterlijk geplant worden. Zie voor een volledig overzicht [deze lijst](#).

Met behulp van satellietbeelden keken we vervolgens hoeveel percelen in 2020 vergeelden door glyfosaatgebruik. De keuze voor 2020 komt voort uit twee overwegingen:

1. We waren gebonden aan gratis beschikbare beelden, in dit geval van Sentinel-2 van het European Space Agency (ESA). Deze satelliet maakt minder vaak foto's van Nederland dan commerciële satellieten als die van Maxar of Planet Labs.
2. In de onderzochte periode (1 februari tot 31 mei) mocht maximaal 20 procent van Nederland bewolkt zijn. 2021, 2023 en 2024 waren helaas te bewolkt voor een goede analyse. 2022 was weliswaar zonnig, maar juist weer te droog. Dit zou te veel onzekerheid opleveren in de resultaten met onze huidige methode.

Hoe bepaal je wat geel is?

Om te bepalen of er sprake was van vergeling door het gebruik van glyfosaat hebben we gebruikgemaakt van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Een manier om (al dan niet zichtbaar) licht te meten, waaronder ook infrarood. Onderzoekers gebruiken die index vaker om de gezondheid van planten te monitoren.

De NDVI is als volgt berekend:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Waarbij we voor NIR (Near-Infrared), Sentinel-2 band 8 hebben gebruikt en voor RED (rood) Sentinel-2 band 4. Meer informatie over de gebruikte satellietdata is te vinden op [Google's Earth Engine Catalog](#). Vervolgens is voor iedere beschikbare datum de gemiddelde NDVI voor elke akker berekend. Ter illustratie: een NDVI-waarde van 0 staat gelijk aan onbegroeide grond of asfalt, en een NDVI-waarde van 1 betekent dat er kerngezonde planten staan.

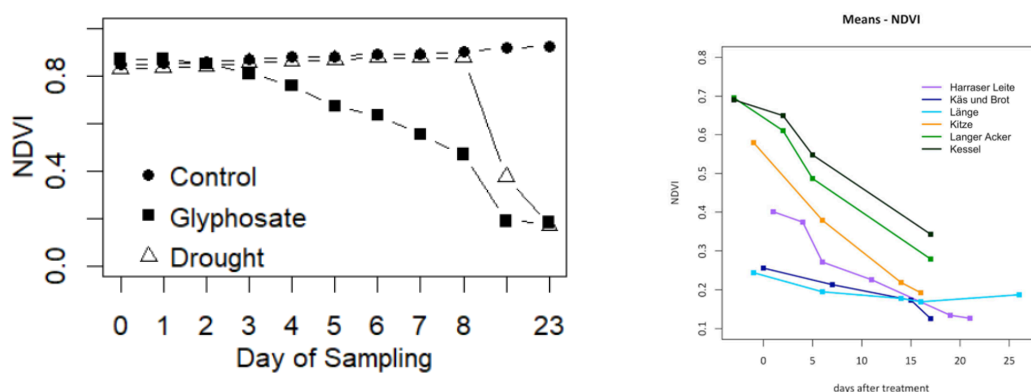
Dat een akker geel is of geel wordt, betekent nog niet dat er daadwerkelijk gespoten is met glyfosaat of een andere herbicide. Plotselinge veranderingen in de NDVI-waarde kunnen ook worden verklaard door droogte of ploegen.

Omgeploegde akkers konden eenvoudig worden uitgesloten omdat die in één dag van kleur vershieten. Vanwege de voorselectie van gewassen kon ook verkleuring door rijping (bijvoorbeeld het bloeien van tulpen) worden uitgesloten.

Met behulp van de wetenschappelijke paper van [Bloem et al. \(2020\)](#) konden we ook de effecten van droogte uitsluiten. Deze onderzoekers schrijven dat er binnen zes dagen een significant verschil is waar te nemen in de NDVI tussen bespoten en onbespoten planten. Bij droogte sterven planten een stuk later en wordt het verschil in NDVI pas later en vooral abrupter zichtbaar.

Een ander onderzoek dat keek naar glyfosaat en NDVI-waarden is dat van [Pause et al. \(2019\)](#). Die gebruikten (net als wij) foto's van Sentinel-2 om de effecten van glyfosaatgebruik te laten zien. Zij zagen dat de NDVI-waarde binnen elf tot twintig dagen met gemiddeld 47,2 procent afnam.

Een geleidelijke afname van de NDVI-waarde gedurende een periode van drie weken wijst volgens de twee onderzoeken dus op het gebruik van glyfosaat. Volgens Pause et al. is de methode daarmee geschikt voor het vanuit de ruimte detecteren van glyfosaatgebruik.



Afbeelding 1; Links: Het verloop van de NDVI-waarden voor een controle-plot, een plot waar glyfosaat is gespoten, en een plot waar droogte is nagebootst. (Bloem et al., 2020).

Rechts: Het verloop van de NDVI-waarden voor verschillende akkers in Duitsland, waar glyfosaat is gespoten. (Pause et al., 2019)

Parameters van het algoritme

Vervolgens hebben we op basis van al deze informatie een algoritme geschreven, dat hier gepubliceerd is. Dat heeft vier input-parameters:

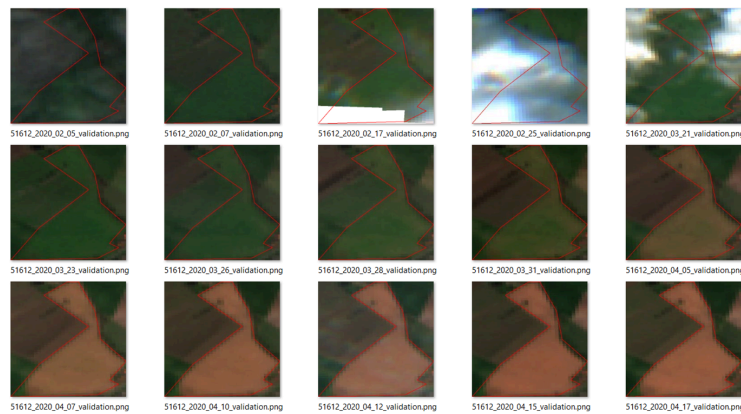
1. De *final_sow*: de **periode in dagen**, waarbinnen we hebben gekeken naar een afname van de NDVI-waarde. Om de *final_sow* voor een bepaalde akker te bepalen, nemen we als startdatum altijd 1 februari. Voor de einddatum kijken we naar de uiterlijke zaaidatum van het gewas dat daar geteeld wordt. Neem bijvoorbeeld suikerbieten, waarvan de uiterlijke zaaidatum 15 april is. De *final_sow* is in dit geval 74 dagen.
2. De *window*: **de periode in dagen binnen de *final_sow*** waarin we gaan kijken of er glyfosaat is gespoten. Er kunnen dus meerdere windows per akker geanalyseerd worden.
3. De *initial_treshold*: **de NDVI-waarde** waarmee we de eerste dag van de *window* bepalen. Stel de *initial_treshold* is 0,6. Dan kijkt het algoritme naar alle andere NDVI-waardes voor deze akker en kijkt of er minstens een luchtfoto is waarop een NDVI-waarde van boven de 0,6 zichtbaar is. Als dat niet het geval is, classificeren we de akker als onbespoten.
4. De *drop_treshold*: een getal dat **het minimale toegestane verschil** aangeeft tussen de NDVI-waarde op een willekeurige dag binnen de *window* (we noemen die dag j) en op de eerst beschikbare dag vóór j (deze dag noemen we $j-1$). Laten we een *drop_treshold* van 0,6 nemen, als voorbeeld. Als de afname in NDVI tussen $j-1$ en j dan meer dan 40 procent is, classificeren we het veld als onbespoten.
5. De *final_treshold*: een getal dat **het minimale vereiste verschil** aangeeft tussen de NDVI-waarde van de eerste dag in de *window* en een willekeurige andere dag in de *window* (j). Laten we als voorbeeld een *final_treshold* nemen van 0,3 en een *window* van 1 februari tot en met 16 februari. Als het verschil in de NDVI-waarde tussen 1 februari en 10 februari meer dan 70 procent is, dan classificeren we het veld als bespoten.

De uiteindelijk gebruikte waarden zijn terug te vinden in de tabel op pagina 8 groen omlijnd. Deze waarden zijn door middel van meerdere steekproeven gevalideerd. De methode van validatie staat onderaan deze technische verantwoording.

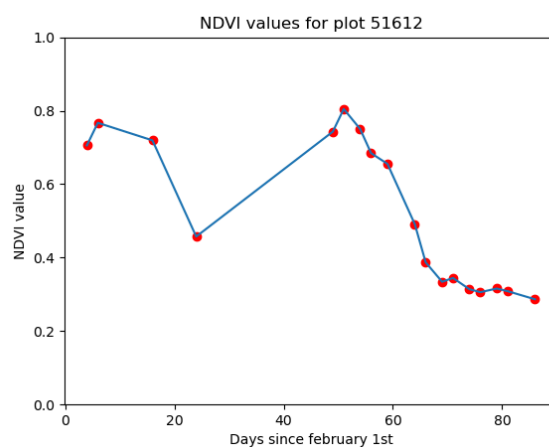
Voorbeeld

Om deze methode te illustreren, nemen we twee voorbeelden: akker 51612 in Gelderland en akker 449636 in Drenthe.

Dit zijn de luchtfoto's van de rood omlijnde akker 51612 (in zichtbaar licht) in de periode 1 februari tot en met 31 mei 2020:



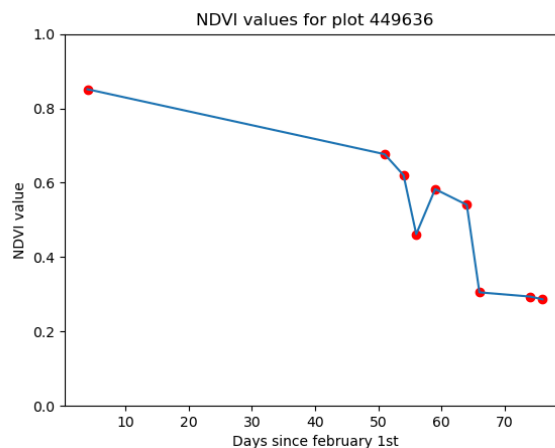
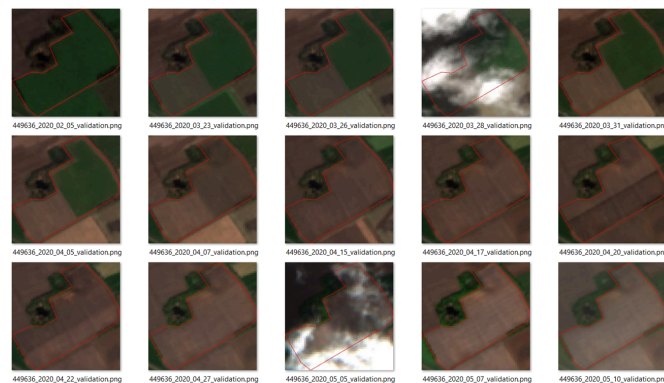
En dit zijn de gemiddelde NDVI-waarden voor deze akker:



Vanwege de bewolking op 25 februari en 21 maart neemt de NDVI aanvankelijk af, waarna die op 23 maart stijgt tot 0,8. In de twee weken daarna volgt een geleidelijke afname van de NDVI-waarde tot ongeveer 0,3.

Binnen een periode van zestien dagen neemt de NDVI af met meer dan 55 procent, waarbij de NDVI op de eerste dag hoger is dan 0,6. Ook is de afname tussen twee op elkaar volgende luchtfoto's nooit meer dan 50 procent. Daarom heeft het algoritme deze akker als bespoten geclassificeerd.

Dan akker 449636. Daaruit komt een ander beeld naar voren.



Met het oog is te zien dat deze akker omgeploegd werd. Maar omdat dat in twee stappen gebeurde, daalt de gemiddelde NDVI niet extreem hard (met minder dan 50 procent). Maar omdat de NDVI vanaf 31 maart niet meer boven de 0,6 komt: concludeert het algoritme toch dat deze akker niet bespoten is.

Wat zit er in de buurt van glyfosaatakkers?

We vonden 42.200 hectare aan bespoten akkers. De kaart met al die akkers hebben we vergeleken met een aantal andere kaarten:

1. De grondwaterbeschermingsgebieden ([viaBIJ12](#))
2. Natura 2000-gebieden ([via PDOK](#))
3. Basisscholen ([via Dienst Uitvoering Onderwijs](#))
4. Alle wateren die onder de Kaderrichtlijn Water vallen (via [PDOK](#))

5. Buitenspeelplekken ([via buitenspeelkaart.nl](http://via.buitenspeelkaart.nl)). Let op: niet alle gemeenten hebben data aangeleverd voor deze kaart.
6. Inwonersaantallen op buurt- en wijkniveau ([via het CBS](http://via.hetCBS))

Deze datasets hebben we ingeladen in Python. Vervolgens hebben we gekeken hoeveel van deze natuurgebieden/scholen/buitenspeelplekken, etc.

1. ... direct overlappen met bespoten velden
2. ... binnen een straal van 250 meter van bespoten velden liggen
3. ... binnen een straal van 500 meter van bespoten velden liggen
4. ... binnen een straal van 1000 meter van bespoten velden liggen

Deze afstanden zijn gebaseerd op de methodologie in het [Onderzoek Bestrijdingsmiddelen en Omwonenden \(OBO\)](#) van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Het RIVM keek daarbij naar de effecten van pesticidegebruik binnen een straal van respectievelijk 250 en meer dan 500 meter. Op advies van experts die Follow the Money sprak, keken we ook naar 1000 meter. Deze experts zeggen dat pesticiden ook nog veel verder dan een kilometer van de akker terechtkomen.

Kalibratie en validatie

Om de gekozen getallen voor onze vier parameters te controleren, hebben we vier verschillende modellen gedraaid met verschillende parameters. De *initial_threshold* hebben we in eerste instantie buiten beschouwing gelaten.

	<i>window</i>	<i>drop_threshold</i>	<i>final_threshold</i>
Model 1	16	0.5	0.5
Model 2	16	0.6	0.5
Model 3	10	0.5	0.5
Model 4	10	0.6	0.5

Uit model 1 bleek dat er zo'n 100 duizend hectare bespoten zou zijn. Om die resultaten te controleren, hebben we een steekproef genomen van 274 akkers en die handmatig beoordeeld.

Omdat verreweg de meeste akkers in Nederland niet bespoten zijn, verwachtten we dat onze steekproef vooral onbespoten akkers zou bevatten. Daarom hebben we de kans dat er ook bespoten akkers in onze steekproef zaten, verhoogd. Daarvoor hebben we data van

Waarneming.nl gebruikt. Op die website kunnen mensen melding maken van een met glyfosaat bespoten akker. De 274 akkers liggen allemaal binnen een straal van 200 meter van een akker in de database van Waarneming.nl.

De 274 akkers zijn allemaal minstens vijf hectare groot. Dat maakte het makkelijker om handmatig te beoordelen of en hoe snel de akker is vergeeld.

Uit deze kalibratie-dataset bleek dat ons algoritme een precisie had van slechts 28 tot 40 procent. Daarom hebben we de waardes nog wat aangepast en een extra parameter toegevoegd: de *initial_treshold*.

Vervolgens hebben we nog negen nieuwe versies van ons algoritme gemaakt en die met elkaar vergeleken:

	<i>window</i>	<i>drop_treshold</i>	<i>final_treshold</i>	<i>initial_treshold</i>
Model 5	16	0.5	0.45	0.6
Model 6	16	0.5	0.5	0.6
Model 7	16	0.5	0.55	0.6
Model 8	16	0.55	0.45	0.6
Model 9	16	0.55	0.5	0.6
Model 10	16	0.55	0.55	0.6
Model 11	16	0.6	0.45	0.6
Model 12	16	0.6	0.5	0.6
Model 13	16	0.6	0.55	0.6

De kwaliteit van al deze negen modellen hebben we gecontroleerd met een nieuwe steekproef, ditmaal met 200 nieuwe akkers. Hieruit bleek dat model 5 het best presteert, deze had de hoogste *precisie* en *recall*.

Dat blijkt uit de volgende *confusion matrix*.

	Geclassificeerd als bespoten	Geclassificeerd als onbespoten
Daadwerkelijk bespoten	6	2
Daadwerkelijk onbespoten	1	191

Omdat deze steekproef niet geheel willekeurig was, hebben we een derde (ditmaal volledig willekeurige) steekproef gedaan van 300 akkers. Alleen de 474 akkers van twee eerdere steekproeven zijn daarin niet meegenomen. Daaruit kwamen de volgende waarden naar voren.

	Geclassificeerd als bespoten	Geclassificeerd als onbespoten
Daadwerkelijk bespoten	3	1
Daadwerkelijk onbespoten	1	295

Geostatisticus prof. dr. Gerard Heuvelink merkte op dat de eerder genoemde 200 akkers strikt genomen geen validatie-, maar kalibratie-data zijn omdat er n.a.v. deze steekproef is besloten welk model uiteindelijk te gebruiken. Hij merkte echter ook op dat de steekproef wel iets zegt over de prestaties van het model. De 300 compleet willekeurig gekozen akkers vormen wel een complete validatieset.

Wij hebben ervoor gekozen om deze twee resultaten toch samen te voegen, zodat we meer bespoten velden konden meenemen om te bepalen hoe goed het model is. Als we deze twee *confusion matrices* samenvoegen, krijgen we de volgende resultaten.

	Geclassificeerd als bespoten	Geclassificeerd als onbespoten
Daadwerkelijk bespoten	9	3
Daadwerkelijk onbespoten	2	486

De precisie van het model berekenen we door het aantal correct geclassificeerde bespoten velden te delen door het aantal correct geclassificeerde bespoten velden, plus het aantal incorrect geclassificeerde bespoten velden ($9/(9+2)$). Dit resulteert in een **precisie van 82 procent**. Oftewel: van alle velden die geclassificeerd zijn als bespoten, is 82 procent daadwerkelijk bespoten.

We verkrijgen de *recall* door het aantal correct geclassificeerde bespoten velden te delen door het aantal correct geclassificeerde bespoten velden plus het aantal incorrect geclassificeerde onbespoten velden ($9/(9+3)$). Dit resulteert in een **recall van 69 procent**. Oftewel: van alle bespoten velden, wordt 69 procent gedetecteerd.

De accuraatheid van het model wordt berekend door het aantal goed geclassificeerde velden te delen door alle velden ($(486+9)/500$). Dit resulteert in een accuraatheid van **99 procent**.