



Interpolatie, aggregatie en desaggregatie van ruimtelijke bodemgegevens in de Basisregistratie Ondergrond (BRO)

D.J.J. Walvoort, M. Knotters & F.M. van Egmond

| WOt-technical report 167



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Interpolatie, aggregatie en desaggregatie van ruimtelijke bodemgegevens in de Basisregistratie Ondergrond (BRO)

Dit Technical report is gemaakt conform het Kwaliteitsmanagementsysteem (KMS) van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen University & Research.

De WOT Natuur & Milieu voert wettelijke onderzoekstaken uit op het beleidsterrein natuur en milieu. Deze taken worden uitgevoerd om een wettelijke verantwoordelijkheid van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) te ondersteunen. We zorgen voor rapportages en data voor (inter)nationale verplichtingen op het gebied van agromilieu, biodiversiteit en bodeminformatie, en werken mee aan producten van het Planbureau voor de Leefomgeving zoals de Balans van de Leefomgeving.

Disclaimer WOt-publicaties

De reeks 'WOt-technical reports' bevat onderzoeksresultaten van projecten die kennisorganisaties voor de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu hebben uitgevoerd.

WOt-technical report 167 is het resultaat van een onderzoeksopdracht van en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

Interpolatie, aggregatie en desaggregatie van ruimtelijke bodemgegevens in de Basisregistratie Ondergrond (BRO)

D.J.J. Walvoort¹, M. Knotters¹, F.M. van Egmond¹

¹ Wageningen Environmental Research

Projectnummer WOT-04-013-008

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, december 2019

WOT-technical report 167

ISSN 2352-2739

DOI [10.18174/514483](https://doi.org/10.18174/514483)

Referaat

D.J.J. Walvoort, M. Knotters, F.M. van Egmond (2019). Interpolatie, aggregatie en desaggregatie van ruimtelijke bodemgegevens in de Basisregistratie Ondergrond (BRO). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt technical report 167. 48 blz.; 23 fig.; 1 tab.; 35 ref.; 1 Bijlage.

De bodemgegevens in de Basisregistratie Ondergrond zullen niet altijd goed aansluiten bij de beoogde toepassingen. Dit geldt voor alle sectoren en toepassingen waarvoor bodeminformatie relevant is, zoals landbouw, natuur, ruimtelijke ordening, waterbeheer, infrastructuur, en klimaatmitigatie. Dit rapport geeft een aantal methoden waarmee bodemgegevens kunnen worden geconverteerd naar een ruimtelijke resolutie en nauwkeurigheid die beter aansluiten bij de beoogde toepassingen.

Trefwoorden: interpolatie, aggregatie, desaggregatie, bodem

Abstract

D.J.J. Walvoort, M. Knotters, F.M. van Egmond (2019). Interpolation, aggregation and disaggregation of spatial soil data in the Key Register of the Subsurface (BRO). Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment, WOt Technical Report 167. 48 p.; 23 fig.; 1 tab.; 35 ref.; 1 Appendix.

Soil data in the Key Register of the Subsurface (Basisregistratie Ondergrond – BRO) are not always in a form appropriate for specific uses. This is true for all sectors and uses for which soil information is relevant, such as agriculture, nature conservation, land use planning, water management, infrastructure and climate mitigation. This report sets out a number of methods for converting soil data to spatial resolutions and levels of accuracy more appropriate for the uses in question.

Keywords: interpolation, aggregation, disaggregation, soil

Foto omslag: Shutterstock

©2019 **Wageningen Environmental Research**
Postbus 9101, 6700 HB Wageningen
Tel: (0317) 486 439; e-mail: dennis.walvoort@wur.nl

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (unit binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 54 71, info.wnm@wur.nl, www.wur.nl/wotnatuurenmilieu. WOT Natuur & Milieu is onderdeel van Wageningen University & Research.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/514483> of op www.wur.nl/wotnatuurenmilieu. De WOT Natuur & Milieu verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Woord vooraf

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het Wettelijke Onderzoekstaken programma Natuur & Milieu, thema Basisregistratie Ondergrond (WOT-04-013-008, Sensoren en satellieten). In dit rapport beschrijven we een aantal methoden waarmee gegevens in de Basisregistratie Ondergrond kunnen worden geconverteerd zodat ze beter aansluiten bij beoogde toepassingen. Wij willen Joop Okx (Wageningen Environmental Research) en Frans Lips (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit) bedanken voor hun commentaar op een eerdere versie van dit rapport. Mies van Aar en Jolanda van Silfhout-Eimers (Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu) willen wij bedanken voor de eindredactie van dit rapport.

D.J.J. Walvoort, M. Knotters, F.M. van Egmond

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	9
	Summary	11
1	Inleiding	13
	1.1 Aanleiding	13
	1.2 Doelstelling	13
	1.3 Afbakening	13
	1.4 Leeswijzer	14
2	Begrippenkader	15
3	Conversiemethoden	17
	3.1 Methoden bij ongewijzigd support	17
	3.1.1 Van punt naar punt	19
	3.1.2 Van vlak naar vlak	23
	3.2 Methoden bij gewijzigd support	23
	3.2.1 Van punt naar vlak	26
	3.2.2 Van vlak naar punt	27
	3.2.3 Van vlak naar vlak	27
4	Software	31
5	Aanbevelingen	33
	Literatuur	35
	Verantwoording	37
A	Gebruikte broncode	39
	A.1 Initialisatie	39
	A.2 Hulpfuncties	40
	A.3 Studiegebied	40
	A.4 Weegfunctie	41
	A.5 <i>Inverse squared distance weighting</i>	41
	A.6 <i>Nearest neighbor</i> -interpolatie	41
	A.7 <i>Ordinary</i> kriging	42
	A.8 <i>Universal</i> kriging	42
	A.9 Naïeve wijze van aggregatie	42
	A.10 Aggregatie met <i>ordinary block</i> kriging	43
	A.11 <i>Area-to-point</i> door <i>overlay</i> -operatie	43
	A.12 <i>Area-to-point</i> -kriging	43
	A.13 <i>Area-to-area</i> -kriging	44
	A.14 Versiebeheer	45

Samenvatting

De Basisregistratie Ondergrond (BRO) bevat een groot aantal kaarten. Deze kaarten zullen niet altijd goed aansluiten bij beoogde toepassingen. Toepassingen kunnen bijvoorbeeld vragen om meer gedetailleerde informatie (bijvoorbeeld veldschaal) of juist om grovere informatie (provinciale schaal). Dit geldt voor alle sectoren en toepassingen waarvoor bodeminformatie relevant is, zoals landbouw, natuur, ruimtelijke ordening, waterbeheer, infrastructuur, en klimaatmitigatie. Voor dergelijke potentiële toepassingen zullen de gegevens in de BRO geconverteerd moeten worden naar de geschikte resolutie en zal deze al dan niet aangevuld moeten worden met aanvullende gegevens om aan de vereiste nauwkeurigheid te voldoen. Dit maakt de gegevens in de BRO breder toepasbaar. In dit rapport beschrijven we een aantal conversiemethoden die kunnen worden gebruikt om bestaande kaarten in de BRO om te zetten naar formaten die beter aansluiten bij beoogde toepassingen. We verwijzen daarvoor naar recente literatuur zoals BRO-rapportages. Ook geven we aan welke software beschikbaar is om deze conversies uit te voeren. We maken een onderscheid tussen methoden waarbij de ruimtelijke *support* van de gegevens verandert en waarbij deze niet verandert. Onder *support* verstaan we de afmeting (lengte, oppervlakte en volume), vorm en oriëntatie van ruimtelijke elementen (zoals punten, polygonen, rastercellen, voxels) waaraan waarden (zoals metingen, waarnemingen, en voorspellingen) kunnen worden toegekend. Bij bodemgegevens gaat het dan bijvoorbeeld om het zinkgehalte op een diepte van 5 cm op een boorlocatie (bij benadering een 'punt'), het gemiddelde gehalte aan organische stof op een locatie in de bovenste bodemlaag (bij benadering een verticaal georiënteerd lijnstuk), de omvang van een gebied dat verontreinigd is (een oppervlakte of een volume), of een pixel van een remote-sensingbeeld (oppervlakte). De *support* verandert als er bij de interpolatie aggregatie of desaggregatie plaatsvindt. Bij aggregatie worden gebiedsdelen samengevoegd tot grotere eenheden. Denk bijvoorbeeld aan het berekenen van gemiddelde zware-metaalgehalten op basis van boorgegevens (puntmetingen). Bij desaggregatie worden grotere eenheden juist opgesplitst in kleinere eenheden. Denk bijvoorbeeld aan het voorspellen van perceelsgemiddelden op basis van gemiddelden per postcodegebied. De conversiemethoden worden toegelicht aan de hand van een enkele dataset. Zo kunnen we de verschillen tussen de verschillende methoden duidelijk illustreren. Ook geven we in een apart hoofdstuk de computercode (broncode) waarmee de conversies kunnen worden uitgevoerd. Geïnteresseerden kunnen dan direct aan de slag. Tevens geven we een tabel met software die kan worden gebruikt om de diverse conversies mee uit te voeren. We richten ons hier op open-source software omdat die voor iedereen toegankelijk is. We besluiten met twee aanbevelingen om de gegevens in de BRO en de conversiemethoden in dit rapport beter te ontsluiten, zodat de BRO-gegevens (nog) beter benut kunnen worden.

Summary

The Key Register of the Subsurface (Basisregistratie Ondergrond – BRO) contains a large number of maps. However, the information contained in these maps is not always in an appropriate form for specific uses, which may require more detailed information (e.g. field scale) or more aggregated information (e.g. regional scale). This is true for all sectors and uses for which soil information is relevant, such as agriculture, nature conservation, land use planning, water management, infrastructure and climate mitigation. To make the data in the BRO suitable for such uses, they will have to be converted to an appropriate resolution; additional data may also be needed in order to generate the required accuracy. The BRO data will then be suitable for a much wider range of applications. In this report we describe several methods that can be used to convert existing maps in the BRO to formats better suited for specified uses, referring to recent literature, such as BRO reports. We also provide information on the software that is available for performing these conversions. We make a distinction between methods that change the spatial ‘support’ and methods that do not. By ‘support’ we mean the dimensions (length, area and volume) and the form and orientation (such as points, polygons, grid cells, voxels) of spatial elements to which values can be attached (such as measurements, observations and predictions). For soil data, this support may include things like zinc content at a depth of 5 cm at a bore location (in effect a ‘point’), the average organic matter content in the top soil horizon at a specific location (in effect a section of a vertical line), the size of a contaminated area (surface area or volume), or a pixel in a remote sensing image (surface area). The support changes when data are aggregated or disaggregated during an interpolation. Data are aggregated when areas are combined into larger units, such as calculating average heavy metal contents from borehole data (point measurements). Data are disaggregated when larger units are broken down into smaller units, such as predicting land parcel averages based on averages by postal code area. The conversion methods are explained using a single dataset so that the differences between the various methods are clear to see. In a separate chapter, we provide the computer code (source code) for making the conversions in a form ready for use. In addition, we provide a table showing the software that can be used to perform the different conversions. We limit this to open-source software because this is universally available. We conclude with two recommendations for making the data in the BRO and the conversion methods in this report more accessible, so that even better use can be made of the BRO data.

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

De Basisregistratie Ondergrond (BRO) bevat een groot aantal kaarten. Binnen de BRO worden kaarten modellen genoemd. Deze verschillen niet alleen thematisch van elkaar, maar ook wat betreft resolutie en nauwkeurigheid. Wageningen Environmental Research (WENR) heeft onder meer de bodemkaart en de geomorfologische kaart ondergebracht in de BRO. Ook zijn bodemkundige boorbeschrijvingen opgenomen in de BRO, en wordt de komende jaren onderzoek verricht naar 3D-modellen van bodemeigenschappen. Dit bouwt voort op het werk van (Vernes et al., 2013). Dit zijn puntgegevens over de bodemkundige opbouw en samenstelling tot een paar meter diep. De beschikbare bodemgegevens zijn niet zonder meer geschikt voor elke toepassing. Toepassingen kunnen bijvoorbeeld vragen om meer gedetailleerde informatie (bijvoorbeeld op gemeentelijke of perceelschaal) of juist om grovere informatie om een overzicht te verkrijgen of grootschalige trends waar te nemen (bijvoorbeeld op provinciale of nationale schaal). Dit geldt voor alle sectoren en toepassingen waarvoor bodeminformatie relevant is, zoals landbouw, natuur, ruimtelijke ordening, waterbeheer, infrastructuur, en klimaatmitigatie. Voor dergelijke potentiële toepassingen zullen de gegevens in de BRO geconverteerd moeten worden naar de geschikte resolutie en zal deze al dan niet aangevuld moeten worden met nieuwe gegevens om aan de vereiste nauwkeurigheid te voldoen (Knotters and Egmond, 2018). Dit maakt de gegevens in de BRO breder toepasbaar. Dat geldt niet alleen voor bodemkundige gegevens, maar ook voor bijvoorbeeld geologische gegevens in de BRO.

1.2. Doelstelling

In dit rapport beschrijven we een aantal conversiemethoden die kunnen worden gebruikt om bestaande kaarten in de BRO om te zetten naar formaten die beter aansluiten bij beoogde toepassingen. We zullen de methoden zoveel mogelijk illustreren aan de hand van recente BRO-studies. Tevens geven we aan welke software daarvoor beschikbaar is.

Een deel van deze methoden is eerder beschreven in Knotters et al. (2010). Walvoort and Knotters (2010) en Walvoort and Knotters (2013) hebben op basis van dit onderzoek een interactieve internetapplicatie ('beslisboom') ontwikkeld, die op basis van een probleemanalyse methoden voorstelt waarmee het interpolatie-, aggregatie- of desaggregatieprobleem van de gebruiker kan worden opgelost. Dit rapport bouwt hierop voort en zal, waar relevant, verwijzen naar deze rapporten.

1.3. Afbakening

- We richten ons in het bijzonder op conversiemethoden waarbij ook de nauwkeurigheid wordt gekwantificeerd.
- We beperken ons tot interpolatie. Extrapolatie, zowel in de geografische ruimte als in de attributenruimte, valt buiten ons doel. Voorbeelden van attributen zijn bijvoorbeeld het gehalte aan organische stof in een bodemlaag, de horizontcode, de geomorfologische klasse, e.d.
- We beperken ons tot gratis open source software. Deze software is namelijk voor iedereen toegankelijk en de gehanteerde methodes zijn in principe herleidbaar en gedocumenteerd.
- Kaarten waarop objecten worden weergegeven, zoals [kadastrale kaarten](#) en [topografische kaarten](#), vallen buiten het onderzoekskader.
- We pretenderen niet uitputtend te zijn in ons overzicht. *Machine learning* and *deep learning*-methoden (bijvoorbeeld Hastie et al., 2009; Goodfellow et al., 2016) vallen buiten dit onderzoek. Niet omdat deze methoden ongeschikt zouden zijn, maar omdat de ontwikkelingen nog

volop gaande zijn. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de kwantificering van de betrouwbaarheid van de resultaten (Wikle et al., 2019, p. 304).

1.4. Leeswijzer

We beginnen met een korte beschrijving van een aantal kernbegrippen. Vervolgens behandelen we een aantal methoden waarmee we kaartconversies kunnen uitvoeren. Deze methoden zullen we illustreren aan de hand van [R-code](#) (R Core Team, 2019). Tot slot geven we een lijst met software die hiervoor kan worden gebruikt.

2. Begrippenkader

In dit rapport beschrijven we kort een aantal methoden die kunnen worden gebruikt om een kaartformaat zoals dat *beschikbaar is* in de BRO om te zetten naar een formaat dat *gewenst is*. We beperken ons tot de volgende vier kaartformaten:

puntenkaart: een kaart waarop de locaties van gegevens worden weergegeven als punten.

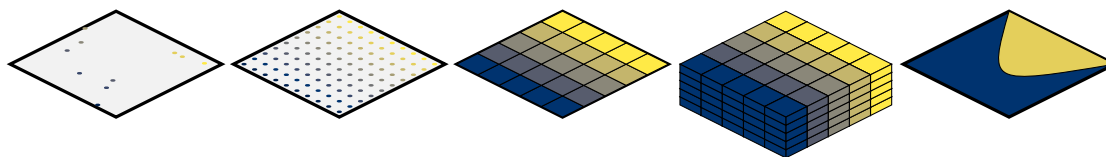
Voorbeelden zijn een hoogtepuntenkaart, LIDAR (LAS/LAZ)-beelden, of een kaart met boorlocaties t.b.v. bodemkundig onderzoek.

roosterkaart: een kaart waarop de locaties van de gegevens worden weergegeven als een regelmatig grid van punten. Een roosterkaart is een speciaal geval van een puntenkaart.

rasterkaart: een kaart waarop de locaties van de gegevens worden weergegeven als een regelmatig grid van aaneengesloten rechthoeken (meestal vierkanten). In drie dimensies wordt dit een voxelkaart of voxelmodel genoemd. Vernes et al. (2013) hebben bijvoorbeeld een voxelmodel van bodemeigenschappen ontwikkeld in het kader van het 'proefproject Mariapeel en Deurnsche Peel'. Berg et al. (2017) ontwikkelden een voxelmodel van het gehalte aan organische stof in de bodem voor heel Nederland.

polygonenkaart: een kaart waarop vlakken staan weergegeven. Binnen elk vlak wordt aangenomen dat de attribuutwaarde constant is. Voorbeelden zijn de bodemkaart en de geomorfologische kaart van Nederland.

Figuur 2.1 geeft een overzicht van bovenstaande kaarten.



Figuur 2.1 Overzicht van verschillende digitale kaarten. Van links naar rechts: puntenkaart, roosterkaart, rasterkaart, voxelkaart en polygonenkaart.

We maken een onderscheid tussen methoden waarbij de ruimtelijke *support* verandert, en methoden waarbij de *support* niet verandert. Onder *support* verstaan we de afmeting (lengte, oppervlakte en volume), vorm en oriëntatie van ruimtelijke elementen (zoals punten, polygoon, rastercellen, voxels) waaraan waarden (zoals metingen, waarnemingen, en voorspellingen) kunnen worden toegekend (Goovaerts, 2016). Bij bodemgegevens gaat het dan bijvoorbeeld om het zinkgehalte op een diepte van 5 cm op een boorlocatie (bij benadering een punt), het gemiddelde gehalte aan organische stof op een boorlocatie in de bovenste bodemlaag (bij benadering een verticaal georiënteerd lijnstuk), de omvang van een gebied dat verontreinigd is (een oppervlakte of een volume), een *pixel* van een remote-sensingbeeld (oppervlakte), of een volume verkregen met bijvoorbeeld gamma-ray spectrometrie (Egmond et al., 2018, p. 19). De *support* verandert als er bij de interpolatie aggregatie of desaggregatie van de attribuutwaarden (lutumgehalte, pH, e.d.) plaatsvindt.

Ruimtelijke aggregatie is het samenvoegen van gebiedsdelen tot grotere eenheden. Dit wordt ook wel 'opschaling' (*upsampling*) genoemd. Wij geven de voorkeur aan de term aggregatie omdat die expliciet aangeeft wat er gebeurt en bovendien eenduidig is. De term 'opschaling' wordt namelijk ook wel in andere betekenissen gebruikt (zoals uitbreiden, vermeerderen, opschroeven, e.d.).

Ruimtelijke desaggregatie (*spatial disaggregation*) is het opsplitsen van gebiedsdelen in kleinere eenheden. Desaggregatie wordt ook wel neerschaling (*downsampling*) genoemd. Wij geven de voorkeur aan de term desaggregatie omdat die expliciet aangeeft wat er gebeurt. Neerschaling suggereert dat de kaartschaal ook verandert, maar dat is niet noodzakelijk. De schaal kan immers gelijk blijven, terwijl het detailniveau door desaggregatie is toegenomen. Bovendien, blijkt 'schaal', als intrinsieke maat, steeds

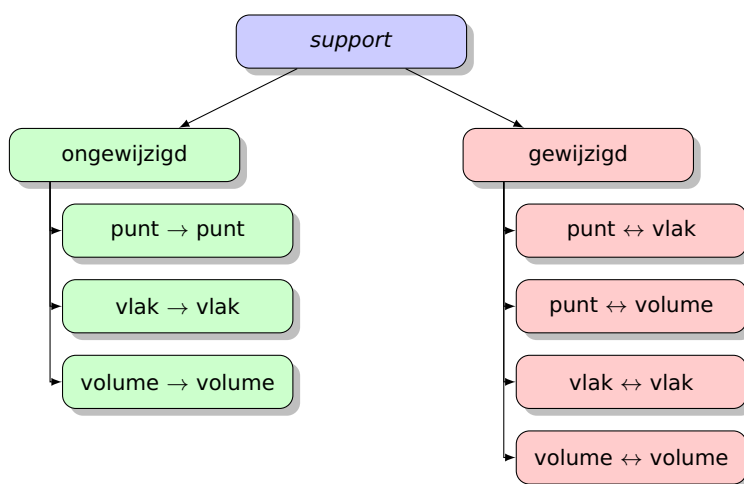
meer een achterhaald begrip te zijn in het tijdperk van de digitale kaarten.

De term *support* zullen we verduidelijken aan de hand van een voorbeeld. Stel dat men de veendikte in een aantal boringen heeft bepaald, en dat men die ook wil voorspellen op locaties waar niet geboord is. De *support* van de veendiktebepalingen zijn de boorkernen. Die kunnen bij benadering worden beschouwd als puntgegevens. Als de voorspellingen ook betrekking hebben op boorkernen is de *support* niet veranderd. Dat is wel het geval als we de *gemiddelde* veendikte voor een perceel willen voorspellen. Dan verandert de *support* van een boorkern met een verwaarloosbare oppervlakte naar de oppervlakte van het perceel.

3. Conversiemethoden

In dit hoofdstuk behandelen we een aantal methoden waarmee we kaarten kunnen converteren van het beschikbare formaat in de BRO naar een formaat dat beter aansluit bij de beoogde toepassing. We maken daarbij onderscheid tussen methoden waarbij de *support* ongewijzigd blijft en methoden waarbij de *support* verandert.

Figuur 3.1 geeft een overzicht van de verschillende conversiemethodes. De methode hangt af van het al dan niet wijzigen van de *support*.



Figuur 3.1 Overzicht van conversiemethoden. Verklaring: ‘vlak → vlak’ staat voor de conversie van een vlak naar een ander vlak met gelijke afmetingen; ‘vlak ↔ vlak’ staat voor conversie van een vlak naar een ander vlak met andere afmetingen, enz.

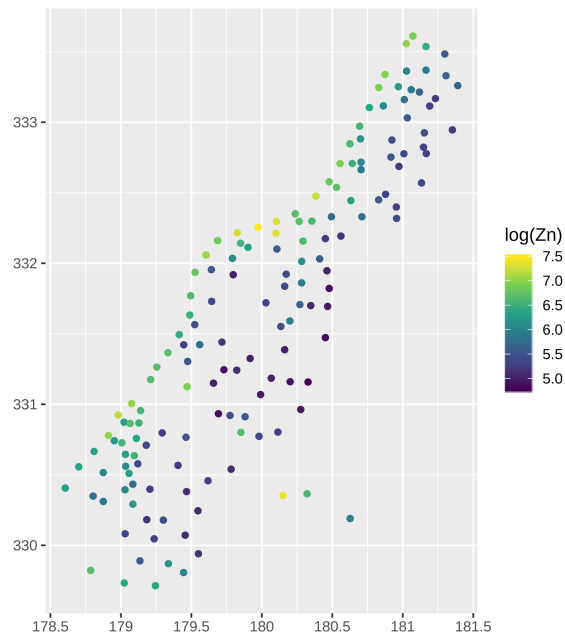
We zullen de conversiemethoden illustreren aan de hand van de ‘Maas’-dataset. Deze dataset maakt deel uit van de *sp*-package van R (Pebesma and Bivand, 2005) en bestaat uit bepalingen van zware-metaalgehalten in de bovengrond langs de Maas ten westen van Stein (Limburg). Voor meer informatie zie de documentatie van de *sp*-package. Figuur 3.2 geeft de boorlocaties waar monsters zijn genomen om zware-metaalgehalten te bepalen. Wij zullen alleen zinkgehalten analyseren.

3.1. Methoden bij ongewijzigd support

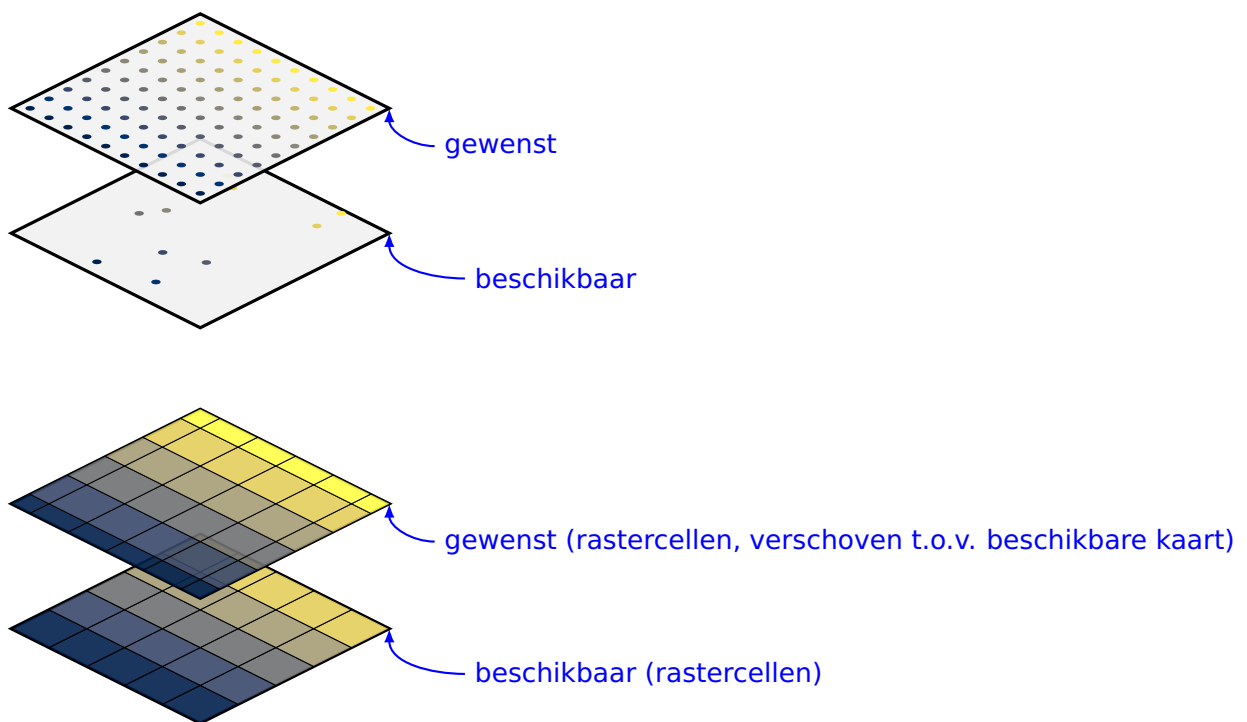
Als de *support* niet verandert, vindt er geen ruimtelijke aggregatie of desaggregatie plaats. Figuur 3.3 geeft een voorbeeld van twee situaties waarbij de *support* niet verandert. In het eerste geval blijven punten punten. In het tweede geval blijven vlakken vlakken van dezelfde grootte en vorm, en met dezelfde oriëntatie en oorsprong.

Hieronder staan voorbeelden van toepassingen waarbij de *support* niet verandert:

- Je wilt de attribuutwaarden op locaties voorspellen die niet samenvallen met de puntlocaties op de kaart (bovenste situatie van figuur 3.3). Denk bijvoorbeeld aan de grondwaterstand of het bodemtype;
- Je heb een kaart waarop de attribuutwaarden bekend zijn op een beperkt aantal puntlocaties. Deze wil je verdichten tot een dicht regelmatig rooster (bovenste situatie van figuur 3.3; Brouwer et al., 2018). Denk bijvoorbeeld aan de pH van de bovengrond die op een aantal locaties is gemeten binnen een studiegebied en die je voor elke locatie in dat gebied wilt weten;
- Je wilt de cellen van een rasterbestand verschuiven (translatie) zodat ze exact samenvallen met een ander rasterbestand dat dezelfde celgrootte, oriëntatie, en oorsprong heeft (onderste situatie



Figuur 3.2 Boorlocaties langs de Maas ten westen van Stein (Limburg)



Figuur 3.3 Voorbeelden van kaartconversies waarbij de support niet verandert. Bovenste figuur: de conversie van een puntenkaart naar een roosterkaart. Onderste figuur: de verschuiving van rastercellen.

van figuur 3.3; Walvoort et al., 2012). Dit vereenvoudigt berekeningen in een geografisch informatiesysteem (GIS).

3.1.1. Van punt naar punt

Inverse distance weighting

De methoden die we in dit rapport beschrijven maken gebruik van Toblers 'Eerste Wet van de Geografie'. Deze luidt (letterlijk) (Tobler, 1970, p. 236):

'Alles hangt met alles samen, maar dingen dicht bij elkaar lijken meer op elkaar dan dingen verder weg.'

Ofwel, waarnemingen die op korte afstand van elkaar worden gedaan lijken over het algemeen meer op elkaar dan waarnemingen die verder uiteen liggen (Wikle et al., 2019).

Bij inverse distance weighting geldt dat de voorspelling $\hat{y}(s_0)$ op locatie s_0 een afstandsgewogen gemiddelde is van de n waarden y_i op omgevingspunten s_i :

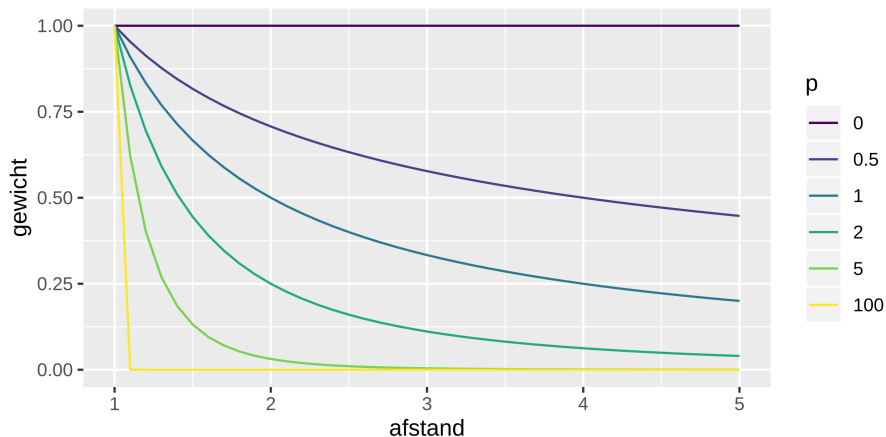
$$\hat{y}(s_0) = \frac{\sum_{i=1}^n w(s_i)y(s_i)}{\sum_{i=1}^n w(s_i)}$$

waarin het gewicht voor omgevingspunt s_i gelijk is aan

$$w(s_i) = \frac{1}{d^p(s_0, s_i)}$$

waarin $d(s_0, s_i)$ de afstand tussen het voorspelpunt s_0 en omgevingspunt s_i is, en p een exponent groter dan of gelijk aan nul. Exponent p is bijvoorbeeld gelijk aan 2 voor *inverse-squared-distance*-interpolatie.

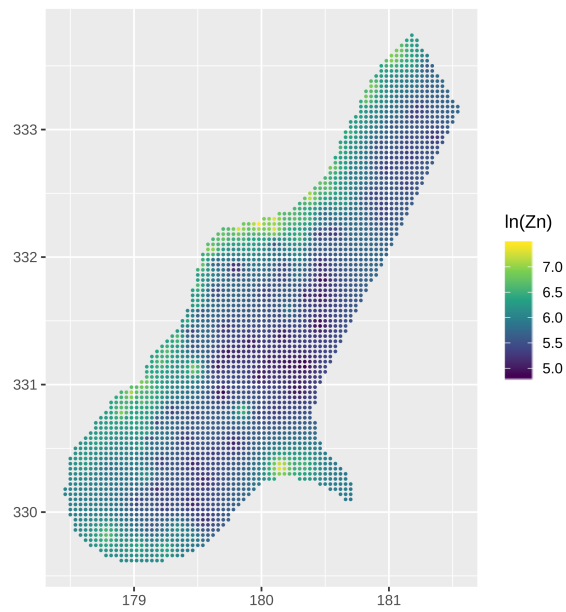
Figuur 3.4 geeft het gewicht $w(s_i)$ als functie van de afstand $d(s_0, s_i)$ voor een aantal waarden van p . De broncode waarmee deze figuur is berekend is gegeven in paragraaf A.4. Bij $p = 0$ krijgen alle omgevingspunten hetzelfde gewicht. De voorspelling is dan het rekenkundig gemiddelde van de n omgevingspunten. Als p heel groot wordt ($p \rightarrow \infty$) krijgt het dichtstbijzijnde omgevingspunt al het gewicht toebedeeld. *Inverse-distance*-interpolatie is dan gelijk aan *nearest-neighbor*-interpolatie (paragraaf 3.1.1).



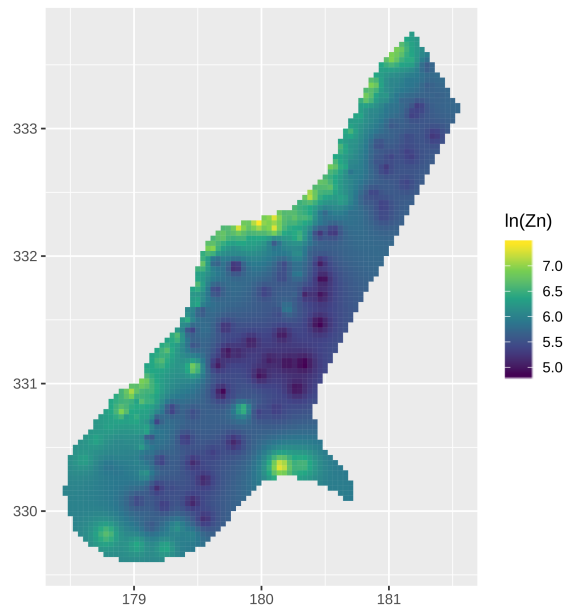
Figuur 3.4 Inverse-distance-gewichten als functie van afstand en exponent.

De broncode in paragraaf A.5 laat zien hoe je *inverse-squared-distance*-interpolatie kunt uitvoeren in R.

Figuur 3.5 geeft een kaart van de natuurlijke logaritme van het zinkgehalte op basis van *inverse squared distance* interpolatie. Het gebied ligt even ten westen van Stein (Limburg). Aan de westkant wordt het gebied begrensd door de Maas die hier grensrivier is met België. De kaart is een roosterkaart (bestaande uit een regelmatig grid van punten). Hoewel dit een correcte weergave is van het interpolatieresultaat worden in de praktijk dergelijke resultaten meestal weergegeven als een rasterkaart zoals in figuur 3.6. We moeten ons er dan wel bewust van zijn dat de kleuren op de kaart in werkelijkheid betrekking hebben op de *rastercelmiddens* en niet op de *rastercellen als geheel*.



Figuur 3.5 Inverse-distance-voorspellingen weergegeven als roosterkaart.

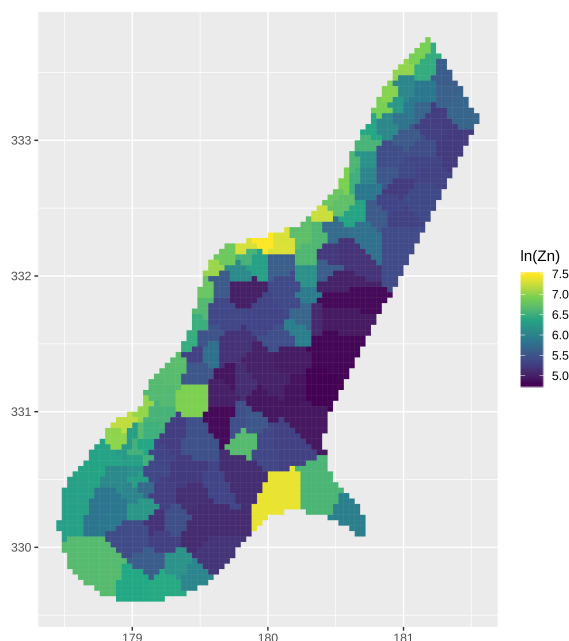


Figuur 3.6 Inverse-distance-voorspellingen weergegeven als rasterkaart.

Nearest neighbor

Bij *nearest-neighbor*-interpolatie is de voorspelde waarde op een willekeurige locatie gelijk aan de waarde op het dichtstbijzijnde waarnemingspunt. De geïnterpoleerde kaart heeft hierdoor een patroon dat bestaat uit vlakken. Dit wordt ook wel een [Voronoi-betegeling](#) genoemd. Omdat dit patroon vaak niet overeenstemt met de werkelijkheid wordt deze methode niet vaak gebruikt. Dit wordt bevestigd door validatiestudies (Brus et al., 1996; Walvoort and Knotters, 2013).

We zagen al dat *nearest-neighbor*-interpolatie een speciaal geval is van *inverse distance weighting*, namelijk wanneer de exponent p oneindig groot is. Paragraaf A.6 geeft een alternatieve (eenvoudiger) parameterisering van *inverse distance weighting* zodat je *nearest-neighbor*-interpolatie krijgt, namelijk door het aantal omgevingspunten te beperken tot 1. Figuur 3.7 geeft het resultaat.



Figuur 3.7 Nearest-neighbor-voorspellingen.

Kriging

Net als *inverse distance weighting* and *nearest-neighbor*-interpolatie maakt ook kriging gebruik van Toblers 'Eerste Wet van de Geografie' (paragraaf 3.1.1). Ook bij kriging is de voorspelling een afstandsgewogen gemiddelde van de omgevingspunten, alleen worden de gewichten bepaald door een model van de ruimtelijke samenhang. De gewichten zijn daardoor niet alleen afhankelijk van de afstand tot het voorspelpunt, maar ook van de configuratie van omgevingspunten. Kriging zal hierdoor clusters van omgevingspunten minder gewicht geven. Tevens kan kriging rekening houden met meetfouten zodat nauwkeurige metingen meer bijdragen aan de kaart dan onnauwkeurige metingen. Kriging geeft niet alleen een voorspelling, maar tevens de bijbehorende voorspelnaauwkeurigheid op basis van het eerder genoemde model van ruimtelijke samenhang (Brouwer et al., 2018; Vernes et al., 2013).

Er zijn veel verschillende varianten van kriging. De meest bekende zijn *simple* kriging, *ordinary* kriging en *universal* kriging (Wikle et al., 2019). Andere veel gebruikte varianten zijn indicator kriging (Goovaerts, 1997; Journel, 1983) en regression kriging (Knotters et al., 1995; Odeh et al., 1995). Ook zijn er krigingversies voor speciale gegevenstypen (model-based geostatistics, Diggle and Ribeiro (2007)) en krigingalgoritmes die op Bayesiaanse leest zijn geschoeid en/of gebruik maken van proceskennis (Banerjee et al., 2014; Cressie and Wikle, 2011; Wikle et al., 2019).

Bij kriging wordt de waarde $Y(s)$ die we willen voorspellen opgedeeld in een trend $\mu(s)$ en een (mogelijk) ruimtelijk gecorreleerd residu $\eta(s)$:

$$Y(s) = \mu(s) + \eta(s)$$

Bij *simple* kriging wordt $\mu(s)$ bekend verondersteld, bij *ordinary* kriging wordt $\mu(s)$ berekend als een gewogen gemiddelde van de meetgegevens, en bij *universal* kriging wordt $\mu(s)$ berekend op basis van hulpggegevens, dat wil zeggen, gegevens die gecorreleerd zijn met $Y(s)$.

Het probleem met bovenstaande formulering is dat we $Y(s)$ willen voorspellen aan de hand van meetgegevens, maar dat deze meetgegevens niet foutloos zijn. Er immers altijd sprake van een meetfout.

We krijgen dan het volgende aanvullende model:

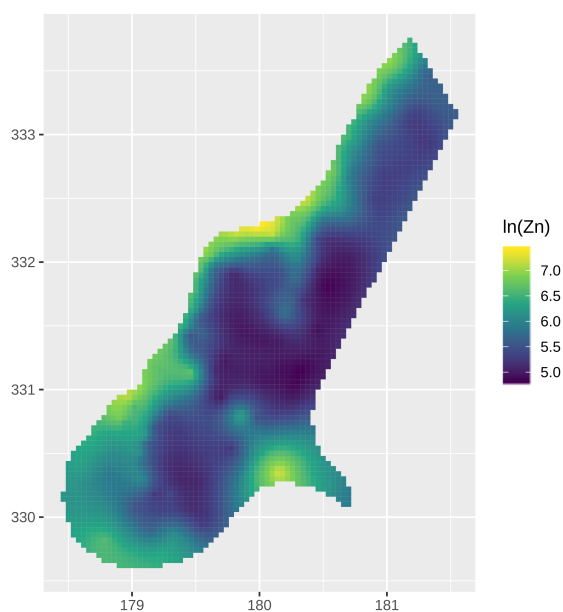
$$Z(s) = Y(s) + \varepsilon(s)$$

waarin $\varepsilon(s)$ de mogelijk ruimtelijk gecorreleerde meetfout is.

Cressie and Wikle (2011) en Wikle et al. (2019) laten zien hoe je $Y(s)$ kunt voorspellen als je $Z(s)$ hebt bepaald.

In de praktijk, en ook in veel studieboeken (Isaaks and Srivastava (1989), Goovaerts (1997)), wordt vaak impliciet aangenomen dat de meetfout verwaarloosbaar klein is en wordt $Z(s)$ gelijk gesteld aan $Y(s)$.

Figuur 3.8 geeft wederom de natuurlijke logaritme van het zinkgehalte maar nu voorspeld met *ordinary* kriging. De bijbehorende broncode is gegeven in paragraaf A.7. Hierbij wordt $\mu(x)$ impliciet voorspeld als gewogen gemiddelde van de beschikbare gegevens.

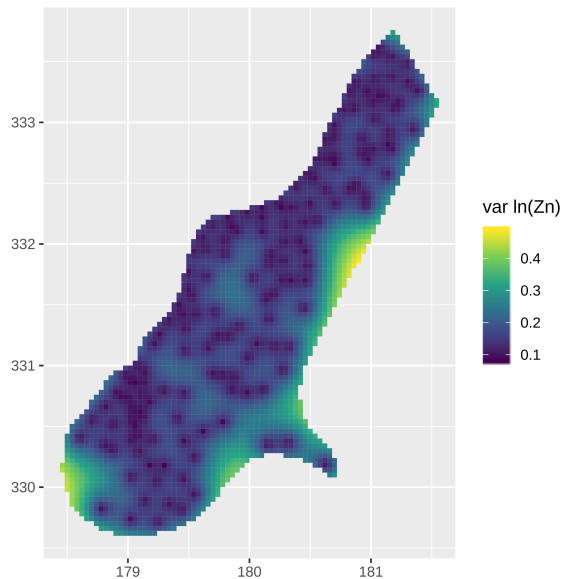


Figuur 3.8 Ordinary-kriging-voorspellingen.

Naast voorspellingen levert kriging ook een maat voor de nauwkeurigheid van de voorspellingen. Deze kan worden uitgedrukt als variantie van de voorspelfout. Deze is weergegeven in Figuur 3.9. De variantie is het kleinst nabij waarnemingslocaties en zal toenemen naarmate de afstand tot waarnemingslocaties groter is (vergelijk met figuur 3.2).

Zoals gemeld in paragraaf 3.1.1, stroomt langs de westkant van het gebied de Maas. Het zink dat we aantreffen langs de oevers van de Maas is afgezet na overstromingen van deze regenrivier (Walvoort and Knotters, 2013). Het is daarom te verwachten dat er een verband is tussen het zinkgehalte en de afstand tot de rivier.

Deze proceskennis kunnen we inbrengen door de afstand tot de rivier mee te nemen als verklarende variabele. Deze vorm van kriging wordt *universal* kriging genoemd (Cressie, 1993). *Ordinary* en *simple* kriging zijn speciale gevallen van *universal* kriging. De voorspellingen die met *universal* kriging zijn



Figuur 3.9 Ordinary-krigingvariantie.

gedaan zijn gegeven in figuur 3.10. Naast voorspellingen geeft ook *universal* kriging de nauwkeurigheid van de interpolatie (figuur 3.11). Die is hier hoger dan die van *ordinary* kriging (de variantie van de voorspelfout is lager) omdat van meer informatie (afstand tot de Maas) gebruik wordt gemaakt.

3.1.2. Van vlak naar vlak

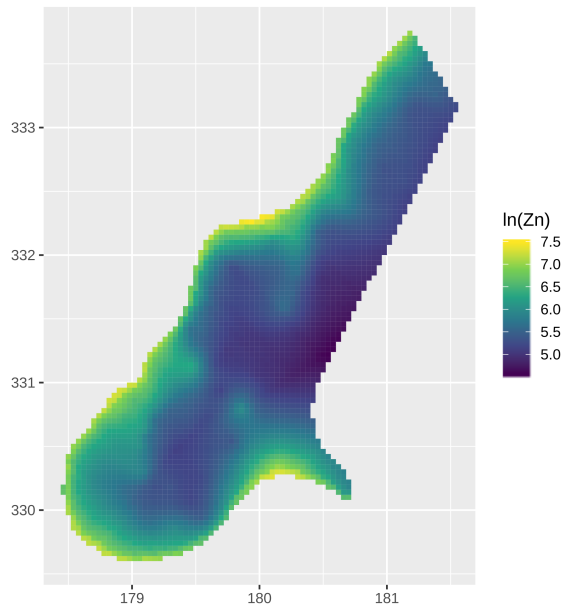
De support zal ook niet wijzigen als de rastercellen van een kaart alleen worden verschoven (zie figuur 3.12). Hiervoor kunnen we de interpolatietechnieken uit vorige paragrafen gebruiken.

3.2. Methoden bij gewijzigd support

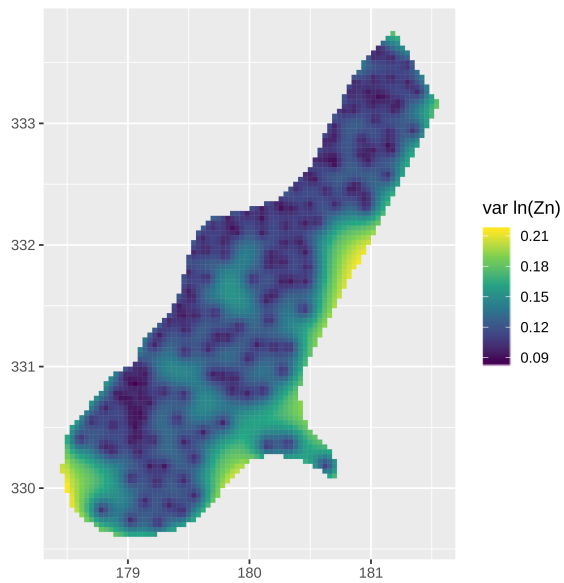
In de vorige paragrafen werden punten geïnterpoleerd naar een raster van punten. De *support* (punten in dit geval) bleef hierdoor ongewijzigd. Vaak wil men echter punten omzetten naar vlakken (aggregeren, figuur 3.13), of omgekeerd, vlakken naar punten (desaggregeren, figuur 3.13 in omgekeerde richting). Of van grote vlakken naar kleinere vlakken (desaggregeren, figuur 3.14 en figuur 3.15) of omgekeerd (aggregatie). In al deze gevallen verandert de *support* (zie figuur 3.1).

Voorbeelden waarbij de *support* verandert:

- Je wilt een puntenbestand met zware-metaalgehalten ruimtelijk aggregeren per provincie (Mol et al., 2012);
- Je wilt de voorraad organische koolstof in de bodem op basis van puntmetingen aggregeren naar bodemtype (Tol-Leenders et al., 2019);
- Waarden zijn alleen beschikbaar als gemiddelden per postcodegebied, terwijl een veel hogere ruimtelijke resolutie gewenst is, en we daarom willen desaggregeren (Brus et al., 2014).
- We beschikken over een rasterkaart met een resolutie van 250×250 meter en willen die laten aansluiten bij het [eindige-differentie-netwerk](#) van een hydrologisch rekenmodel. Denk bijvoorbeeld aan dat van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) dat een resolutie heeft van 100×100 meter. Ook hier is dus desaggregatie nodig. Hoogland and Runhaar (2006) geven een methode waarmee de resultaten van een grondwatermodel kunnen worden gedesaggregeerd.
- We beschikken over een rasterkaart met een resolutie van 250×250 meter met als attribuut het gehalte aan organische stof in de bouwvoor, maar willen die omzetten naar een grovere kaart met een resolutie van 1000×1000 meter om aansluiting te vinden bij de [Global Soil Organic Carbon](#)



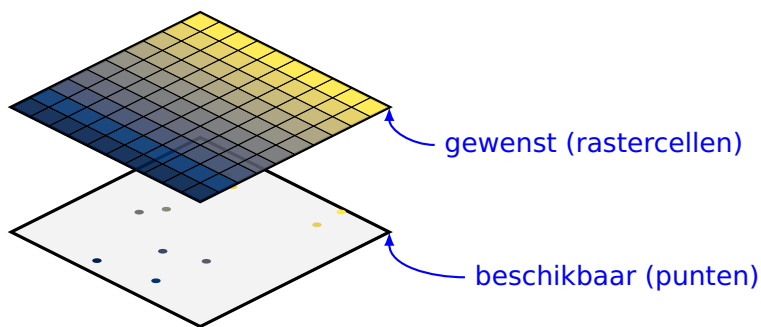
Figuur 3.10 Universal-kriging-voorspellingen



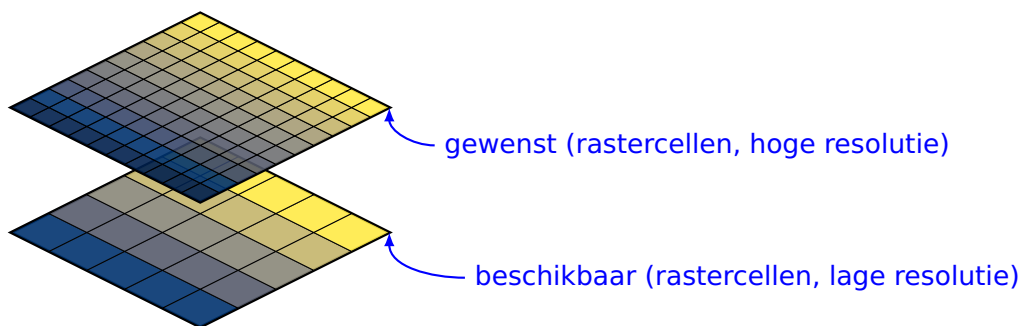
Figuur 3.11 Universal-kriging-variantie



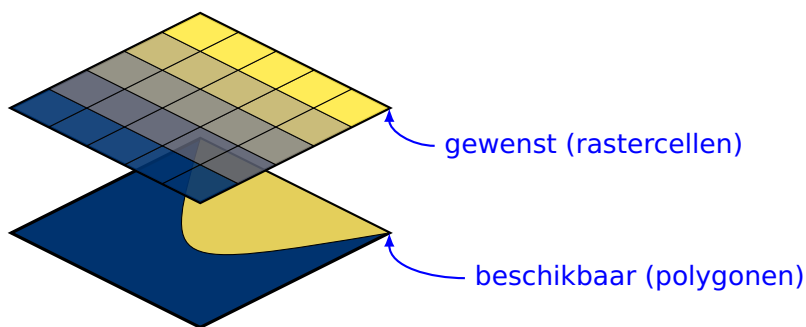
Figuur 3.12 Gewenste kaart is verschoven t.o.v. beschikbare kaart. Grootte en oriëntatie van rastercellen zijn gelijk.



Figuur 3.13 Aggregatie van punten naar vlakken (rastercelgemiddelden)



Figuur 3.14 Desaggregatie van vlakken naar vlakken



Figuur 3.15 Conversie van polygonen naar rastercelgemiddelden

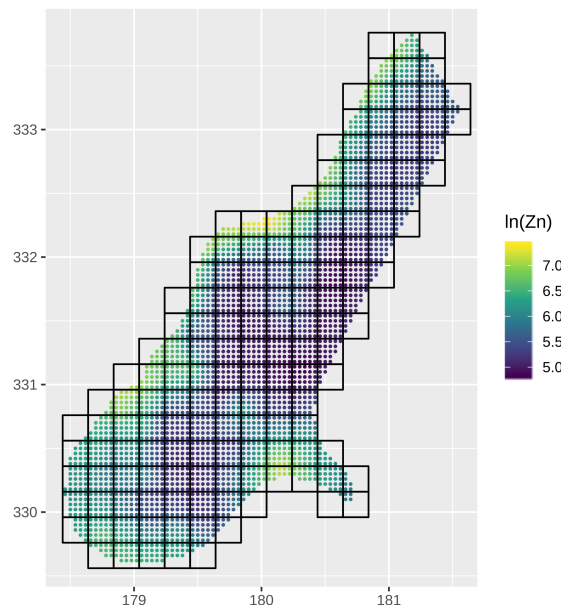
(GSOC) map en Walvoort and Hoogland (2018) .

- We willen een groot aantal kaarten met verschillende resoluties combineren tot een *raster stack*, dat wil zeggen, een stapeling van rasterkaarten van hetzelfde gebied en met dezelfde resolutie. Deze *raster stack* is dan eenvoudig te bewerken met een Geografisch informatiesysteem (GIS).
- We willen metingen met bodemsensoren (bijvoorbeeld voor het meten van gammastraling) met een lateraal support van 6 m² (Egmond et al., 2018) omzetten naar een kaart van het lutumgehalte van een perceel dat geschikt is voor gebruik in een aardappelplanter met een werkbreedte van 4 of 8 meter.
- We willen satellietbeelden (bijvoorbeeld MODIS) desaggregeren of [laseraltimetriegegevens](#) aggregeren zodat deze kaartlagen beter aansluiten bij de benodigde invoer van een procesmodel.

3.2.1. Van punt naar vlak

Naief middelen

Een eenvoudige methode is het uitmiddelen van een bestaande rooster- of rasterkaart. Onderstaande figuur is berekend door de *ordinary* kriging-voorspellingen op het 40 m rooster in figuur 3.8 uit te middelen naar een 200 × 200 m² raster. Dit doen we door op de roosterkaart een 200 × 200 m² raster te superponeren (figuur 3.16) en voor elke rastercel de waarden van de 25 voorspellingen die daar binnen vallen rekenkundig te middelen (figuur 3.17). De broncode hiervoor is gegeven in paragraaf A.7.

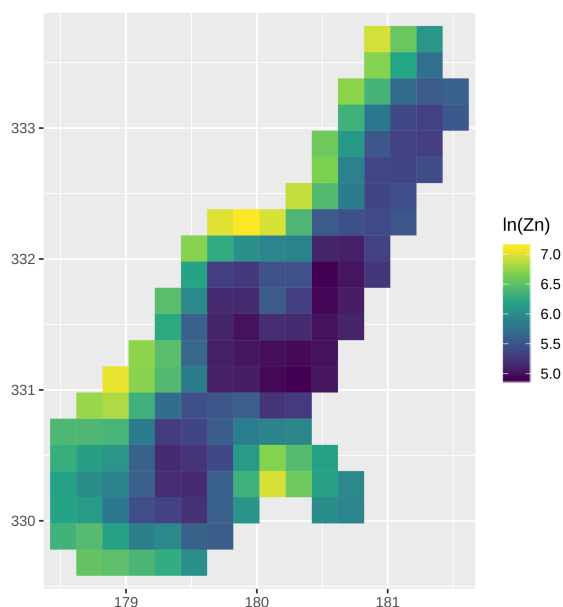


Figuur 3.16 Kaart met ordinary-kriging-voorspellingen op punten waarop een 200 × 200 m² raster is gesuperponeerd.

Block kriging

Hoewel de aggregatiemethode in paragraaf 3.2.1 eenvoudig is, kleven er ook nadelen aan. De methode is immers reken- en geheugenintensief omdat je binnen elke rastercel eerst een groot aantal voorspellingen moet doen, en je die vervolgens moet aggregeren tot een enkele waarde per rastercel. Daarnaast verlies je informatie over de voorspelnauwkeurigheid.

In tegenstelling tot andere interpolatiemethoden maakt kriging het mogelijk om direct een blokgemiddelde te berekenen inclusief bijbehorende variantie van de voorspelfout (Isaaks and Srivastava, 1989). Deze methode heet *block* kriging. Hoewel deze 'blocks' vaak bestaan uit vierkante rastercellen, is dat niet noodzakelijk. Een 'block' kan namelijk elke vorm hebben. In figuur 3.18 is uitgegaan van hetzelfde voorspelraster als in het voorbeeld van paragraaf 3.2.1. Dat levert dan ook ruwweg dezelfde resultaten op (verschillen ontstaan door verschillen in discretisatie binnen een



Figuur 3.17 Ordinary kriging voorspelling van figuur 3.16 geaggregeerd door rekenkundig middelen van de punten binnen elke rastercel.

rastercel). Daarnaast wordt ook de variantie van de voorspel nauwkeurigheid berekend. Deze is kleiner dan de variantie van de puntvoorspellingen. *Block* kriging levert dus nauwkeuriger resultaten op dan puntkriging, maar wel meer uitgevlakt. Dat is ook te verwachten omdat de voorspellingen betrekking hebben op rastercelgemiddelden en niet meer op afzonderlijke punten binnen rastercellen.

3.2.2. Van vlak naar punt

In het vorige hoofdstuk lieten we zien hoe je van punten naar vlakken kunt interpoleren. In dit hoofdstuk behandelen we het omgekeerde: interpoleren van vlakken naar punten. Kyriakidis (2004) presenteert een raamwerk voor ruimtelijke interpolatie van vlak naar punt (*area-to-point*-kriging, ATP). Orton et al. (2012) en Brus et al. (2014) bouwen dit verder uit door ook de betrouwbaarheid van de vlakinformatie mee te nemen. Brus et al. (2014) demonstreren dit aan de hand van een studie waarbij het gemiddelde gehalte aan organische stof per postcodegebied wordt gedesaggregeerd naar een fijn raster.

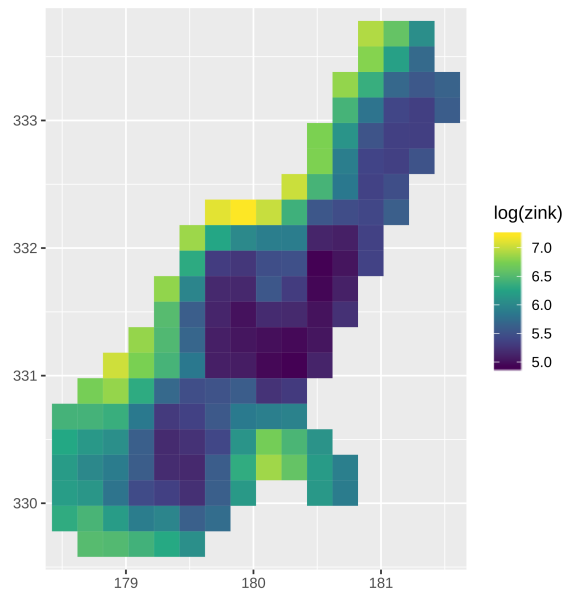
Ter illustratie nemen we de rastercelgemiddelden van figuur 3.18 als uitgangspunt. Elke rastercel geeft het *gemiddelde* zinkgehalte (op logaritmische schaal) weer binnen cellen van 200 bij 200 m². Het zijn dus *cel-gemiddelden* en niet het zinkgehalte op het middelpunt van de cel. Deze celgemiddelden gaan we met *area-to-point*-kriging (Kyriakidis, 2004) desaggregeren naar puntwaarden. Figuur 3.20 geeft het resultaat. De kleuren op deze kaart hebben betrekking op de *celmiddens* en niet op *celgemiddelden*. Paragraaf A.12 geeft de broncode waarmee deze desaggregatie is uitgevoerd.

Als alternatief voor deze methode wordt vaak gebruik gemaakt van een *overlay*-operatie in een geografisch informatiesysteem (GIS). Daarbij wordt de gewenste puntenkaart op de vlakkenkaart gesuperponeerd, en vervolgens de waarde van de rastercel waarbinnen een punt valt toegekend aan dat punt. De broncode hiervoor is opgenomen in paragraaf A.11. Het resultaat is te zien in figuur 3.21 waar net als in figuur 3.20 de puntvoorspellingen zijn weergegeven als een raster.

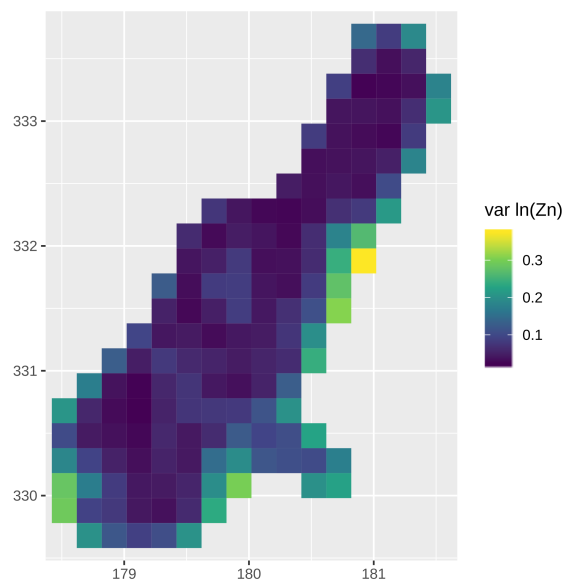
Hoewel deze methode eenvoudig is, wordt de ruimtelijke samenhang verwaarloosd en is de kwaliteit van de resulterende kaart onbekend. Dit in tegenstelling tot *area-to-point*-kriging.

3.2.3. Van vlak naar vlak

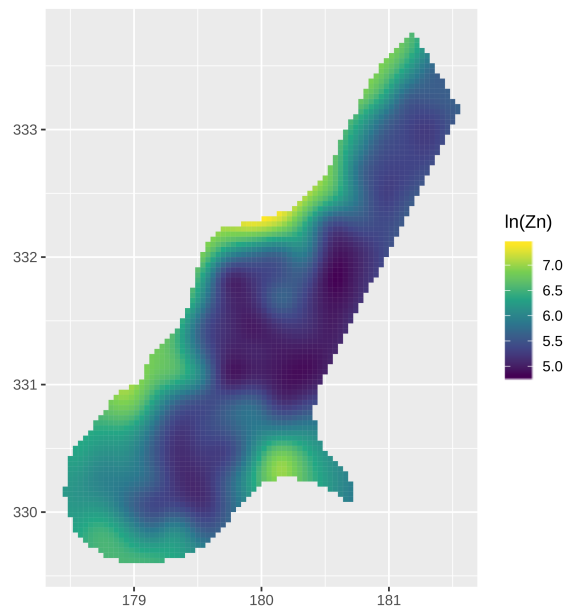
Gotway and Young (2002), Gotway and Young (2007), en Walvoort et al. (2012) beschrijven *area-to-area* kriging. Dit is een generalisatie van het kriging algoritme in de zin dat van punt naar punt, van punt naar



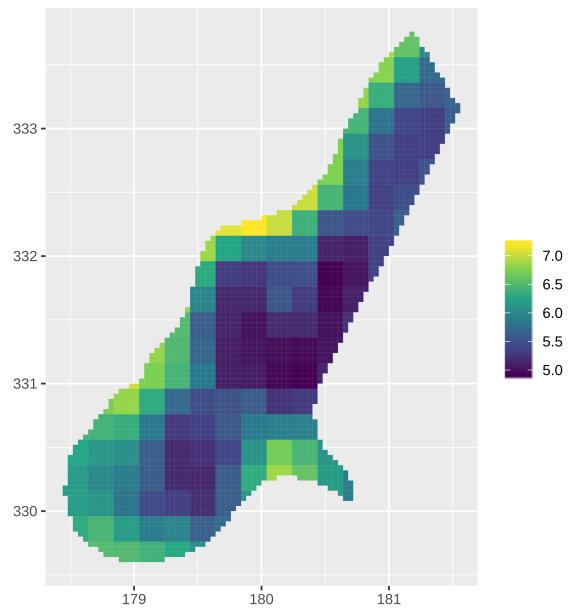
Figuur 3.18 Ordinary-block-kriging-voorspelling.



Figuur 3.19 Variantie van de ordinary-block-kriging-voorspelling.



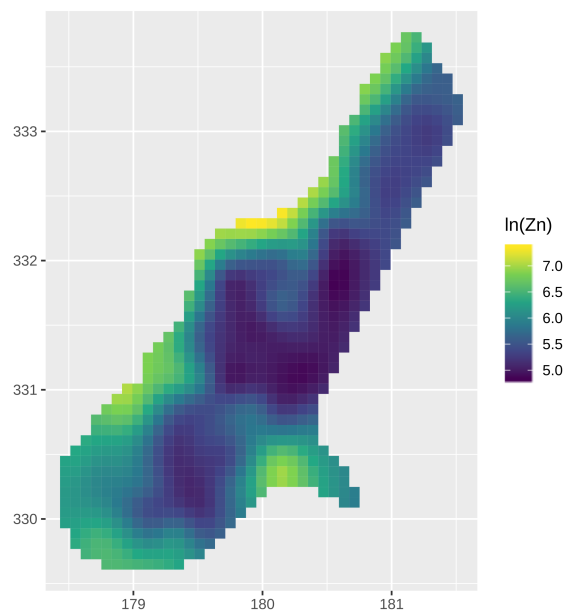
Figuur 3.20 Voorspelling op basis van area-to-point kriging.



Figuur 3.21 Voorspelling op basis van een overlay-bewerking (rasterrepresentatie).

vlak, van vlak naar punt en van vlak naar vlak kan worden geïnterpoleerd. Net als bij *area-to-point* kriging is het niet noodzakelijk dat de vlakken even groot of gelijkvormig zijn. Een interessante eigenschap van zowel *area-to-point*-kriging als *area-to-area*-kriging is dat de methode coherent is, dat wil zeggen, dat desaggregeren van een geaggregeerde kaart naar de oorspronkelijke *support*, de oorspronkelijke kaart zal opleveren. Net als de andere krigingalgoritmes geeft deze methode niet alleen voorspellingen, maar ook een indicatie van de betrouwbaarheid daarvan. Voor meer achtergronden en toepassingen wordt verwezen naar Walvoort et al. (2012).

Ter illustratie nemen we wederom de rastercelgemiddelden van figuur 3.18 als uitgangspunt. Deze kaart heeft een support van 200 bij 200 m². We willen echter rastercellen van 100 bij 100 m². Deze celgemiddelden gaan we met *area-to-area*-kriging (Walvoort et al., 2012) desaggregeren naar kleinere rastercellen. Figuur 3.22 geeft het resultaat. Paragraaf A.13 geeft de broncode waarmee deze desaggregatie is uitgevoerd.



Figuur 3.22 Voorspelling op basis van *area-to-area*-kriging.

4. Software

In het vorige hoofdstuk is een aantal conversiemethoden beschreven. Tabel 4.1 geeft een overzicht van gratis open source software die voor de conversies kan worden gebruikt. Deze tabel is niet uitputtend. De focus is voornamelijk op R en geografische informatiesystemen als QGIS, SAGA en GRASS. Ook andere programmeertalen zoals Python en Julia bieden functionaliteit voor interpolatie, aggregatie en desaggregatie van kaarten. De relevante packages (modules) kunnen worden gevonden op de projectwebsites van deze programmeertalen.

Tabel 4.1 Overzicht van software voor interpolatie, aggregatie en desaggregatie.

Support	Methode	software	package	functie
ongewijzigd	nearest neighbor	R	gstat	idw met nmin=1 nmax=1
ongewijzigd	nearest neighbor	QGIS/SAGA/GRASS		
ongewijzigd	inverse distance	R	gstat	idw
ongewijzigd	inverse distance	QGIS/SAGA/GRASS		
ongewijzigd	kriging	R	gstat	krige
ongewijzigd	kriging	QGIS/SAGA/GRASS		
gewijzigd	naïef	R	raster	aggregate
gewijzigd	naïef	QGIS/SAGA/GRASS		
gewijzigd	block kriging	R	gstat	krige
gewijzigd	area-to-point	R	gstat	krige0 vgmArea
gewijzigd	area-to-area	R	gstat	krige0 vgmArea

5. Aanbevelingen

In de bijlage staan een aantal voorbeelden van stukjes broncode waarmee conversies kunnen worden uitgevoerd. Deze broncode dient slechts ter illustratie. Er is geen garantie dat deze code werkt voor alle toepassingen. Voor eenvoudige toepassingen zou de gebruiker, al dan niet met kleine aanpassingen, de broncode kunnen hergebruiken. Voor complexere problemen zou het nuttig zijn om een aantal veel voorkomende conversiemethoden te implementeren in een *package* en als open source code ter beschikking te stellen aan gebruikers.

De gegevens van de Basisregistratie Ondergrond zijn momenteel toegankelijk via verschillende websites ([PDOK](#), [BROloket](#), [DINOloket](#)). Voor het importeren van deze gegevens binnen een programmeeromgeving zoals R is technische kennis nodig die veelal niet beschikbaar is bij gebruikers. Het is daarom nuttig om deze functionaliteit onder te brengen in een *R-package* waarmee dit mogelijk kan worden gemaakt.

Literatuur

- Banerjee, S., Carlin, B.P., Gelfand, A.E., 2014. Hierarchical Modeling and Analysis for Spatial Data, 2nd ed, Chapman & Hall/CRC Monographs on Statistics and Applied Probability. Chapman and Hall/CRC, New York. <https://doi.org/10.1201/b17115>
- Berg, F. van den, Tiktak, A., Hoogland, T., Poot, A., Boesten, J.J.T.I., Linden, A.M.A. van der, Pol, J.W., 2017. An improved soil organic matter map for geoparl.nl: Model description of version 4.4.4 and consequence for the dutch decision tree on leaching to groundwater (No. 2816). Wageningen Environmental Research rapport, Wageningen. <https://doi.org/10.18174/424920>
- Brouwer, F., Vries, F. de, Walvoort, D.J.J., 2018. Basisregistratie Ondergrond (BRO) actualisatie bodemkaart: Herkartering van de bodem in Flevoland (No. 143). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen. <https://doi.org/10.18174/468672>
- Brus, D.J., Gruijter, J.J.D., Marsman, B.A., Visschers, R., Bregt, A.K., Breeuwsma, A., Bouma, J., 1996. The performance of spatial interpolation methods and choropleth maps to estimate properties at points: A soil survey case study. *Environmetrics* 7, 1-16. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-095X\(199601\)7:1%3C1::AID-ENV157%3E3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-095X(199601)7:1%3C1::AID-ENV157%3E3.0.CO;2-Y)
- Brus, D.J., Orton, T.G., Walvoort, D.J.J., Reijneveld, J.A., Oenema, O., 2014. Disaggregation of soil testing data on organic matter by the summary statistics approach to area-to-point kriging. *Geoderma* 226-227, 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.02.011>
- Cressie, N.A.C., 1993. *Statistics for spatial data*. J. Wiley, New York.
- Cressie, N., Wikle, C.K., 2011. *Statistics for Spatio-Temporal Data*. Hoboken, New Jersey.
- Diggle, P., Ribeiro, P.J., 2007. *Model-based Geostatistics*, Springer Series in Statistics. Springer-Verlag, New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-48536-2>
- Egmond, F.M. van, Veeke, S. van der, Knotters, M., Koomans, R.L., Walvoort, D.J.J., Limburg, J., 2018. Mapping soil texture with a gamma-ray spectrometer: Comparison between uav and proximal measurements and traditional sampling; validation study (No. 137). Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment. <https://doi.org/10.18174/466037>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., 2016. *Deep learning*. MIT Press.
- Goovaerts, P., 2016. Sample support. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online* 1-8. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07754.pub2>
- Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press.
- Gotway, C.A., Young, L.J., 2007. A geostatistical approach to linking geographically aggregated data from different sources. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 16, 115-135. <https://doi.org/10.1198/106186007X179257>
- Gotway, C.A., Young, L.J., 2002. Combining incompatible spatial data. *Journal of the American Statistical Association* 97, 632-648. <https://doi.org/10.1198/016214502760047140>
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J., 2009. *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction*, 2nd ed, Springer series in statistics. Springer-Verlag New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>
- Hoogland, T., Runhaar, J., 2006. Neerschaling van de freatische grondwaterstand uit modelresultaten en de Gt-kaart; methodiek en eerste resultaten (WOT Natuur & Milieu (WOT-rapport 26) No. 26).
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., 1989. *Applied Geostatistics*. Oxford University Press.

- Journel, A.G., 1983. Nonparametric estimation of spatial distributions. *Mathematical Geology* 15, 445–468. <https://doi.org/10.1007/BF01031292>
- Knotters, M., Brus, D.J., Oude Voshaar, J.H., 1995. A comparison of kriging, co-kriging and kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations. *Geoderma* 67, 227–246. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(95\)00011-C](https://doi.org/10.1016/0016-7061(95)00011-C)
- Knotters, M., Egmond, F.M. van, 2018. Selectie van inwinningstechnieken voor bodemdata: Selecteren vanuit de (onderzoeks)vraag (WOt-technical report No. 144). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. <https://doi.org/10.18174/469160>
- Knotters, M., Heuvelink, G.B.M., Hoogland, T., Walvoort, D.J.J., 2010. A disposition of interpolation techniques (WOt working document No. 190). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen.
- Kyriakidis, P.C., 2004. A geostatistical framework for area-to-point spatial interpolation. *Geographical Analysis* 36, 259–289. <https://doi.org/10.1353/geo.2004.0009>
- Mol, G., Spijker, J., Gaans, P. van, Römkens, P., 2012. *Geochemische bodematlas van Nederland*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-743-1>
- Odeh, I.O.A., McBratney, A.B., Chittleborough, D.J., 1995. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: Heterotopic cokriging and regression-kriging. *Geoderma* 67, 215–226. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(95\)00007-B](https://doi.org/10.1016/0016-7061(95)00007-B)
- Orton, T.G., Saby, N.P.A., Arrouays, D., Walter, C., Lemercier, B., Schvartz, C., Lark, R.M., 2012. Spatial prediction of soil organic carbon from data on large and variable spatial supports. I. Inventory and mapping. *Environmetrics* 23, 129–147. <https://doi.org/10.1002/env.2136>
- Pebesma, E.J., Bivand, R.S., 2005. Classes and methods for spatial data in R. *R News* 5, 9–13.
- R Core Team, 2019. *R: A language and environment for statistical computing*. [object Object], Vienna, Austria.
- Tobler, W., 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography* 46, 234–240.
- Tol-Leenders, D. van, Knotters, M., Groot, W. de, Gerritsen, P., Reijneveld, A., Egmond, F. van, Wösten, H., Kuikman, P., 2019. *Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018): CC-nl (No. 2974)*. Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/509781>
- Vernes, R.W., Walvoort, D.J.J., Bakker, M.A.J., Brus, D.J., Gunnink, J.L., Maljers, D., Menkovic, A., Stafleu, J., Vries, F. de, Wirdum, G. van, 2013. *Proefproject Mariapeel en Deurnsche Peel. Gedetailleerde 3D-modellering van de bodem en ondiepe ondergrond (No. r100532)*. TNO, Utrecht.
- Walvoort, D., Hoogland, T., 2018. Country data in the gsocmap. A.122 netherlands, in: *FAO, ITPS (Eds.), Global Soil Organic Carbon Map (Gsocmap)*. (<http://www.fao.org/3/I8891EN/i8891en.pdf>). Rome, pp. 100–101.
- Walvoort, D.J.J., Knotters, M., 2013. *Interpoleren kun je leren : Een beslissingsondersteunend systeem voor interpolatie, aggregatie en desaggregatie in ruimte en tijd*. WOt-paper.
- Walvoort, D.J.J., Knotters, M., 2010. *Map Maker's Guide [WWW Document]*. URL <https://www.mapmakersguide.org>
- Walvoort, D.J.J., Knotters, M., Heuvelink, G.B.M., 2012. *Rescaling of Model Inputs and Outputs. Report NMDC project Model- and Data Quality working package 2 (No. C.1.3.002)*.
- Wikle, C.K., Zammit-Mangion, A., Cressie, N., 2019. *Spatio-Temporal Statistics with R*. Chapman & Hall/CRC.

Verantwoording

WOT-technical report: 167

Projectnummer: WOT-04-013-008

Dit project werd begeleid door Joop Okx (Wageningen Environmental Research) en Frans Lips (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit). De auteurs willen hen bedanken voor hun commentaar op een eerdere versie van dit rapport. Dit commentaar is verwerkt in de definitieve versie van dit rapport.

Akkoord Referent / Extern contactpersoon

functie: sr. beleidsmedewerker landbouw en digitalisering

naam: F. Lips

datum: 2020-04-06

Akkoord Intern contactpersoon

naam: J.P. Okx

datum: 2019-12-14

Annex A. Gebruikte broncode

Deze bijlage geeft de broncode op basis waarvan alle figuren in dit rapport zijn vervaardigd. De broncode is geschreven in de taal R. Onderstaande paragrafen met broncode moeten in onderlinge samenhang worden gezien. De broncode moet altijd in de volgorde van de paragrafen worden uitgevoerd.

A.1. Initialisatie

We beginnen altijd met de initialisatie. Eerst laden we de benodigde R-pakages.

```
# attach packages
library(raster) # raster analysis
library(tidyverse) # grammar of data manipulation
library(gstat) # geostatistics
library(sp) # spatial classes
library(svglite) # SVG-files
```

Ook maken we een aantal gegevensbestanden aan. Aan de hand van deze bestanden illustreren we de verschillende conversiemethoden.

```
# read data (Meuse dataset shipped with the sp-package)
data(meuse) # observations
data(meuse.grid) # prediction grid

# field data (point support)
d <- meuse %>%
  mutate(lnZn = log(zinc), h = dist) %>%
  select(x, y, lnZn, h = dist)
p_fld <- SpatialPointsDataFrame(d[, c("x", "y")], d[, c("lnZn", "h")])

# prediction points (points, regular 40 m by 40 m grid)
p_40 <- meuse.grid %>%
  select(x, y, h = dist)
coordinates(p_40) <- ~ x + y

# prediction areas (polygons, 80 by 80 m2 squares)
a_80 <- p_40 %>%
  "gridded<-(TRUE) %>%
  raster %>%
  aggregate(2) %>%
  rasterToPolygons

# prediction areas (polygons, 200 by 200 m2 squares)
a_200 <- p_40 %>%
  "gridded<-(TRUE) %>%
  raster %>%
  aggregate(5) %>%
  rasterToPolygons
```

A.2. Hulpfuncties

Nadat we de *packages* en databestanden hebben geladen definiëren we een aantal hulpfuncties om het plotten van kaarten te vereenvoudigen.

```
to_ggplot <- function(x) {
  v_names <- names(x)
  stopifnot(length(v_names) == 1L)
  if (inherits(x, "SpatialPolygonsDataFrame")) {
    # assuming that all polygons are squares!
    x <- x %>%
      fortify(region = v_names) %>%
      group_by(group) %>%
      summarise(x = mean(long), y = mean(lat), v = mean(parse_double(id))) %>%
      select(-group)
  }
  if (inherits(x, "SpatialPointsDataFrame")) {
    x <- x %>%
      as.data.frame %>%
      set_names(c("v", "x", "y")) %>%
      arrange(x, y)
  }
  x
}

plot_map <- function(x, title = "",
  as_raster = inherits(x, "SpatialPolygonsDataFrame"), size = 1) {
  d <- to_ggplot(x)
  g <- ggplot(data = d) +
    scale_x_continuous(name = "", labels = function(x) {x * 1.0e-3}) +
    scale_y_continuous(name = "", labels = function(x) {x * 1.0e-3}) +
    coord_equal(xlim = range(d$x), ylim = range(d$y))
  if (as_raster) {
    g <- g +
      geom_tile(mapping = aes(x = x, y = y, fill = v)) +
      scale_fill_viridis_c(name = title)
  } else {
    g <- g +
      geom_point(mapping = aes(x = x, y = y, colour = v), size = size) +
      scale_colour_viridis_c(name = title)
  }
  g
}

# function to store map as SVG-file
save_svg <- function(x = last_plot(), file, width = 5, height = 6) {
  svglite(file = file, width = width, height = height)
  print(x)
  dev.off()
}
```

A.3. Studiegebied

Onderstaande broncode maakt een puntenkaart (figuur 3.2) van de locaties waar bodemmonsters van de bovengrond zijn genomen om zware-metaalgehalten te analyseren.

```
plot_map(p_fld["lnZn"], "log(Zn)")
save_svg(file = "./fig/obs-point.svg")
```

A.4. Weegfunctie

Onderstaande broncode berekent het *inverse distance weighting* gewicht als functie van afstand d en exponent p . Figuur 3.4 geeft het resultaat.

```
# distances from 1 to 5 units
d <- seq(from = 1, to = 5, by = 0.1)

# exponents
p <- c(0, 0.5, 1, 2, 5, 100)

# compute weights given d and p
d <- cross2(d, p) %>%
  map_df(function(x) {
    d <- x[[1]]
    p <- x[[2]]
    w <- d^(-p)
    tibble(d, p, w = w)})

# create and store plot
ggplot(data = d) +
  geom_path(mapping = aes(x = d, y = w, colour = factor(p, ordered = TRUE))) +
  scale_colour_viridis_d(name = "p") +
  scale_x_continuous(name = "afstand") +
  scale_y_continuous(name = "gewicht")

save_svg(file = "./fig/distance-function.svg", width = 6, height = 3)
```

A.5. Inverse squared distance weighting

Onderstaande broncode demonstreert hoe *inverse-squared-distance*-interpolatie kan worden uitgevoerd. Figuur 3.5 en figuur 3.6 geven de resultaten.

```
# inverse squared distance interpolation
p_idw <- idw(lnZn ~ 1, p_fld, p_40, idp = 2.0)

# point map
plot_map(p_idw["var1.pred"], "ln(Zn)", as_raster = FALSE, size = 0.2)
save_svg(file = "./fig/idw-point.svg")

# raster map
plot_map(p_idw["var1.pred"], "ln(Zn)", as_raster = TRUE)
save_svg(file = "./fig/idw-raster.svg")
```

A.6. Nearest neighbor-interpolatie

Onderstaande broncode geeft aan hoe je de *inverse-distance*-functie `idw` kunt gebruiken om *nearest neighbor*-interpolatie uit te voeren. Figuur 3.7 geeft het resultaat.

```
# nearest neighbor interpolation (only one observation point)
p_nn <- idw(lnZn ~ 1, p_fld, p_40, nmin = 1, nmax = 1)

# raster map
```

```
plot_map(p_nn["var1.pred"], "ln(Zn)", as_raster = TRUE)
save_svg(file = "./fig/nn-raster.svg", width = 6, height = 7)
```

A.7. Ordinary kriging

Onderstaande broncode laat zien hoe je *ordinary* kriging kunt uitvoeren. Figuur 3.8 en figuur 3.9 geven de resultaten.

```
# model of spatial dependance
m <- vgm(psill = 0.59, model = "Sph", range = 874, nugget = 0.04)

# ordinary kriging
p_ok <- krige(lnZn ~ 1, p_fld, p_40, model = m)

# plot predictions
plot_map(p_ok["var1.pred"], "ln(Zn)", as_raster = TRUE)
save_svg(file = "./fig/ok-prd.svg")

# plot variance of prediction error
plot_map(p_ok["var1.var"], "var ln(Zn)", as_raster = TRUE)
save_svg(file = "./fig/ok-var.svg")
```

A.8. Universal kriging

Onderstaande broncode laat zien hoe je *universal* kriging kunt toepassen door de afstand tot de Maas als hulpinformatie te gebruiken. Figuur 3.10 en figuur 3.11 geven de resultaten.

```
# model of spatial dependance
m <- vgm(psill = 0.176, model = "Exp", range = 340, nugget = 0.057)

# universal kriging
p_uk <- krige(lnZn ~ sqrt(h), p_fld, p_40, model = m)

# plot predictions
plot_map(p_uk["var1.pred"], "ln(Zn)", as_raster = TRUE)
save_svg(file = "./fig/uk-prd.svg")

# plot variance of prediction error
plot_map(p_uk["var1.var"], "var ln(Zn)", as_raster = TRUE)
save_svg(file = "./fig/uk-var.svg")
```

A.9. Naïeve wijze van aggregatie

In onderstaande broncode worden voorspelling op puntlocaties (rooster) geaggregeerd naar rastercelgemiddelden door het rekenkundig gemiddelde te nemen van de punten binnen elke rastercel. Figuur 3.16 en figuur 3.17 geven de resultaten.

```
# plot of ordinary kriging map with coarse raster superimposed
plot_map(p_ok["var1.pred"], "ln(Zn)", size = 0.2) +
  geom_polygon(
    data = fortify(a_200),
    mapping = aes(x = long, y = lat, group = group),
    fill = NA, colour = "black")

# plot map with point predictions
save_svg(file = "./fig/ok-prd-pnt.svg")
```

```

# spatial aggregation
a_na <- p_ok["var1.pred"] %>%
  "gridded<-(TRUE) %>%
  raster %>%
  aggregate(fact = 5, fun = mean, na.rm = TRUE) %>%
  rasterToPolygons

# plot map with raster cell averages
plot_map(a_na["var1.pred"], "ln(Zn)", as_raster = TRUE)
save_svg(file = "./fig/ok-prd-agg.svg")

```

A.10. Aggregatie met *ordinary block* kriging

Onderstaande broncode geeft aan hoe de aggregatie in paragraaf A.9 efficiënter kan worden uitgevoerd met *ordinary block* kriging. Bovendien wordt dan tevens de voorspelnauwkeurigheid gekwantificeerd. Figuur 3.18 en figuur 3.19 geven de resultaten.

```

# model of spatial dependance
m <- vgm(psill = 0.59, model = "Sph", range = 874, nugget = 0.04)

# ordinary block kriging
a_obk <- krige(lnZn ~ 1, p_fld, a_200, model = m)

# predictions
plot_map(a_obk["var1.pred"], "log(zink)")
save_svg(file = "./fig/obk-prd.svg")

# variance of prediction error
plot_map(a_obk["var1.var"], "var ln(Zn)")
save_svg(file = "./fig/obk-var.svg")

```

A.11. Area-to-point door *overlay*-operatie

Onderstaande broncode laat zien hoe je met een *overlay*-operatie vlakken kunt omzetten naar punten. Dergelijke bewerkingen kunnen ook efficiënt worden uitgevoerd in een geografisch informatiesysteem (GIS). Vergelijk het resultaat met dat van paragraaf A.12. Figuur 3.21 geeft het resultaat.

```

p_overlay <- SpatialPointsDataFrame(p_40, p_40 %over% a_obk["var1.pred"])

plot_map(p_overlay["var1.pred"], as_raster = TRUE)
save_svg(file = "./fig/overlay-prd-raster.svg")

```

A.12. Area-to-point-kriging

Onderstaande broncode laat zien hoe je vlakken kunt omzetten naar punten met *area-to-point*-kriging. Vergelijk het resultaat met dat van paragraaf A.11. Figuur 3.20 geeft het resultaat.

```

# model of spatial dependance (point support)
m <- vgm(psill = 0.59, model = "Sph", range = 874, nugget = 0.04)

# area-to-point kriging:
# see also : https://github.com/r-spatial/gstat/blob/master/demo/a2p.R
d <- krige0(var1.pred ~ 1, a_obk, p_40, vgmArea, vgm = m)
a_a2p <- SpatialPointsDataFrame(p_40, data.frame(var1.pred = d[, 1]))

```

```
# plot result
plot_map(a_a2p["var1.pred"], title = "ln(Zn)", as_raster = TRUE)
save_svg(file = "./fig/a2p-prd.svg")
```

A.13. Area-to-area-kriging

Onderstaande broncode geeft een voorbeeld van *area-to-area*-kriging in R. Hier wordt een raster van 200 bij 200 m² gededageerd naar een raster van 80 bij 80 m². Figuur 3.22 geeft het resultaat.

```
# model of spatial dependance (point support)
m <- vgm(psil1 = 0.59, model = "Sph", range = 874, nugget = 0.04)

# area-to-area kriging:
d <- krige0(var1.pred ~ 1, a_obk, a_80, vgmArea, vgm = m)
a_a2a <- a_80
a_a2a$var1.pred <- d[, 1]

# plot result
plot_map(a_a2a["var1.pred"], title = "ln(Zn)")
save_svg(file = "./fig/a2a-prd.svg")
```

A.14. Versiebeheer

Onderstaande informatie geeft aan welke versies van welke *packages* zijn gebruikt bij het draaien van de broncode in dit hoofdstuk. Deze informatie kan worden gebruikt om de resultaten in dit rapport te reproduceren.

Session info

```
setting value
version R version 3.6.2 (2019-12-12)
os      Arch Linux
system  x86_64, linux-gnu
ui      RStudio
language (EN)
collate en_US.UTF-8
ctype   en_US.UTF-8
tz      Europe/Amsterdam
date    2020-01-30
```

Packages

```
package * version date lib source
assertthat 0.2.1 2019-03-21 [1] CRAN (R 3.6.0)
backports 1.1.5 2019-10-02 [1] CRAN (R 3.6.1)
broom 0.5.3 2019-12-14 [1] CRAN (R 3.6.2)
callr 3.4.0 2019-12-09 [1] CRAN (R 3.6.1)
cellranger 1.1.0 2016-07-27 [1] CRAN (R 3.6.0)
cli 2.0.1 2020-01-08 [1] CRAN (R 3.6.2)
codetools 0.2-16 2018-12-24 [2] CRAN (R 3.6.2)
colorspace 1.4-1 2019-03-18 [1] CRAN (R 3.6.0)
crayon 1.3.4 2017-09-16 [1] CRAN (R 3.6.0)
DBI 1.1.0 2019-12-15 [1] CRAN (R 3.6.2)
dbplyr 1.4.2 2019-06-17 [1] CRAN (R 3.6.1)
desc 1.2.0 2018-05-01 [1] CRAN (R 3.6.0)
devtools 2.2.1 2019-09-24 [1] CRAN (R 3.6.1)
digest 0.6.23 2019-11-23 [1] CRAN (R 3.6.1)
dplyr * 0.8.3 2019-07-04 [1] CRAN (R 3.6.1)
ellipsis 0.3.0 2019-09-20 [1] CRAN (R 3.6.1)
fansib 0.4.1 2020-01-08 [1] CRAN (R 3.6.2)
FNN 1.1.3 2019-02-15 [1] CRAN (R 3.6.1)
forcats * 0.4.0 2019-02-17 [1] CRAN (R 3.6.0)
fs 1.3.1 2019-05-06 [1] CRAN (R 3.6.0)
gdtools 0.2.1 2019-10-14 [1] CRAN (R 3.6.1)
generics 0.0.2 2018-11-29 [1] CRAN (R 3.6.0)
ggplot2 * 3.2.1 2019-08-10 [1] CRAN (R 3.6.1)
glue 1.3.1 2019-03-12 [1] CRAN (R 3.6.0)
gstat * 2.0-4 2020-01-21 [1] CRAN (R 3.6.2)
gtable 0.3.0 2019-03-25 [1] CRAN (R 3.6.0)
haven 2.2.0 2019-11-08 [1] CRAN (R 3.6.1)
hms 0.5.3 2020-01-08 [1] CRAN (R 3.6.2)
httr 1.4.1 2019-08-05 [1] CRAN (R 3.6.1)
intervals 0.15.1 2015-08-27 [1] CRAN (R 3.6.1)
jsonlite 1.6 2018-12-07 [1] CRAN (R 3.6.0)
lattice 0.20-38 2018-11-04 [2] CRAN (R 3.6.2)
lazyeval 0.2.2 2019-03-15 [1] CRAN (R 3.6.0)
lifecycle 0.1.0 2019-08-01 [1] CRAN (R 3.6.1)
lubridate 1.7.4 2018-04-11 [1] CRAN (R 3.6.0)
magrittr 1.5 2014-11-22 [1] CRAN (R 3.6.0)
```

memoise	1.1.0	2017-04-21	[1]	CRAN (R 3.6.0)
modelr	0.1.5	2019-08-08	[1]	CRAN (R 3.6.1)
munsell	0.5.0	2018-06-12	[1]	CRAN (R 3.6.0)
nlme	3.1-142	2019-11-07	[2]	CRAN (R 3.6.2)
pillar	1.4.3	2019-12-20	[1]	CRAN (R 3.6.2)
pkgbuild	1.0.6	2019-10-09	[1]	CRAN (R 3.6.1)
pkgconfig	2.0.3	2019-09-22	[1]	CRAN (R 3.6.1)
pkgload	1.0.2	2018-10-29	[1]	CRAN (R 3.6.0)
prettyunits	1.1.0	2020-01-09	[1]	CRAN (R 3.6.2)
processx	3.4.1	2019-07-18	[1]	CRAN (R 3.6.1)
ps	1.3.0	2018-12-21	[1]	CRAN (R 3.6.0)
purrr	* 0.3.3	2019-10-18	[1]	CRAN (R 3.6.1)
R6	2.4.1	2019-11-12	[1]	CRAN (R 3.6.1)
raster	* 3.0-7	2019-09-24	[1]	CRAN (R 3.6.1)
Rcpp	1.0.3	2019-11-08	[1]	CRAN (R 3.6.1)
readr	* 1.3.1	2018-12-21	[1]	CRAN (R 3.6.0)
readxl	1.3.1	2019-03-13	[1]	CRAN (R 3.6.0)
remotes	2.1.0	2019-06-24	[1]	CRAN (R 3.6.1)
reprex	0.3.0	2019-05-16	[1]	CRAN (R 3.6.0)
rlang	0.4.2	2019-11-23	[1]	CRAN (R 3.6.1)
rprojroot	1.3-2	2018-01-03	[1]	CRAN (R 3.6.0)
rstudioapi	0.10	2019-03-19	[1]	CRAN (R 3.6.0)
rvest	0.3.5	2019-11-08	[1]	CRAN (R 3.6.1)
scales	1.1.0	2019-11-18	[1]	CRAN (R 3.6.1)
sessioninfo	1.1.1	2018-11-05	[1]	CRAN (R 3.6.0)
sp	* 1.3-2	2019-11-07	[1]	CRAN (R 3.6.1)
spacetime	1.2-3	2020-01-21	[1]	CRAN (R 3.6.2)
stringi	1.4.5	2020-01-11	[1]	CRAN (R 3.6.2)
stringr	* 1.4.0	2019-02-10	[1]	CRAN (R 3.6.0)
svglite	* 1.2.2	2019-05-17	[1]	CRAN (R 3.6.1)
systemfonts	0.1.1	2019-07-01	[1]	CRAN (R 3.6.1)
testthat	2.3.1	2019-12-01	[1]	CRAN (R 3.6.1)
tibble	* 2.1.3	2019-06-06	[1]	CRAN (R 3.6.1)
tidyr	* 1.0.0	2019-09-11	[1]	CRAN (R 3.6.1)
tidyselect	0.2.5	2018-10-11	[1]	CRAN (R 3.6.0)
tidyverse	* 1.3.0	2019-11-21	[1]	CRAN (R 3.6.1)
usethis	1.5.1	2019-07-04	[1]	CRAN (R 3.6.1)
vctrs	0.2.1	2019-12-17	[1]	CRAN (R 3.6.2)
withr	2.1.2	2018-03-15	[1]	CRAN (R 3.6.0)
xml2	1.2.2	2019-08-09	[1]	CRAN (R 3.6.1)
xts	0.12-0	2020-01-19	[1]	CRAN (R 3.6.2)
yaml	2.2.0	2018-07-25	[1]	CRAN (R 3.6.0)
zeallot	0.1.0	2018-01-28	[1]	CRAN (R 3.6.0)
zoo	1.8-7	2020-01-10	[1]	CRAN (R 3.6.2)

Verschenen documenten in de reeks Technical reports van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

113	Arets, E.J.M.M., J.W.H van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2018). <i>Greenhouse gas reporting for the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2018</i>		<i>stelselvernieuwing agrarisch natuurbeheer; Uitgangspunten en opties voor een beleidsevaluatie</i>
114	Bos-Groenendijk, G.I. en C.A.M. van Swaay (2018). <i>Standaard Data Formulieren Natura 2000-gebieden; Aanvullingen vanwege wijzigingen in Natura 2000-aanwijzingsbesluiten</i>	125	Vullings, L.A.E., A.E. Buijs, J.L.M. Donders & D.A. Kamphorst (2018). <i>Monitoring van groene burgerinitiatieven; Methodiek, indicatoren en ervaring met pilot en nulmeting.</i>
115	Vonk, J. , S.M. van der Sluis, A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J.W.H. van der Kolk, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar & G.L. Velthof (2018.) <i>Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands – update 2018. Calculations of CH4, NH3, N2O, NOx, PM10, PM2.5 and CO2 with the National Emission Model for Agriculture (NEMA)</i>	126	Beltman, W.H.J., M.M.S. ter Horst, P.I. Adriaanse & A. de Jong (2018). <i>Manual for FOCUS_TOXSWA v5.5.3 and for expert use of TOXSWA kernel v3.3; User's Guide version 5</i>
116	IJsseldijk, L.L., M.J.L. Kik, & A. Gröne (2018). <i>Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2017. Biologische gegevens, gezondheidsstatus en doodsoorzaken.</i>	127	Van der Heide, C.M. & M.M.M. Overbeek (2018). <i>Natuurinclusief handelen en ondernemen. Scopingstudie 'Bedrijven, economie en natuur'</i>
117	Mattijssen, T.J.M. & I.J. Terluin (2018). <i>Ecologische citizen science; een weg naar grotere maatschappelijke betrokkenheid bij de natuur?</i>	128	Langers, F. (2018). <i>Recreatie in groenblauwe gebieden; Actualisatie van CLO-indicator 1258 (Bezoek aan groenblauwe gebieden) op basis van data van het Continu Vrijtijdsonderzoek uit 2015</i>
118	Aalbers, C.B.E.M., D. A. Kamphorst & F. Langers (2018). <i>Bedrijfs- en burgerinitiatieven in stedelijke natuur. Hun succesfactoren en knelpunten en hoe de lokale overheid ze kan helpen slagen.</i>	129	Glorius, S.T., I.Y.M. Tulp, A. Meijboom, L.J. Bolle and C. Chen (2018). <i>Developments in benthos and fish in gullies in an area closed for human use in the Wadden Sea; 2002-2016</i>
119	Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2018). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw in 2016. Berekeningen met het model NEMA</i>	130	Kamphorst, D.A & T.J.M. Mattijssen (2018). <i>Scopingstudie Vermaatschappelijking van natuur. Een overzicht van onderzoek bij Wageningen Universiteit & Research voor het Planbureau voor de Leefomgeving en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit</i>
120	Sanders, M.E., F. Langers, R.J.H.G. Henkens, J.L.M. Donders, R.I. van Dam, T.J.M. Mattijssen & A.E. Buijs (2018). <i>Maatschappelijke initiatieven voor natuur en biodiversiteit; Een schets van de reikwijdte en ecologische effecten en potenties van maatschappelijke initiatieven voor natuur in feiten en cijfers</i>	131	Breman, B.C., T.J.M. Mattijssen & T.M. Stevens (2018). <i>Natuur 2.0. Het natuurdebat op social media.</i>
121	Farjon, J.M.J., A.L. Gerritsen, J.L.M. Donders, F. Langers & W. Nieuwenhuizen (2018). <i>Conditie voor natuurinclusief handelen. Analyse van vier praktijken van natuurinclusief ondernemen</i>	132	Vries, S. de & W. Nieuwenhuizen (2018) <i>HappyHier: hoe gelukkig is men waar?; Gegevensverzameling en bepaling van de invloed van het type grondgebruik, deel II</i>
122	Gerritsen, A.L., D.A. Kamphorst & W. Nieuwenhuizen (2018). <i>Instrumenten voor maatschappelijke betrokkenheid. Overzicht en analyse van vier cases</i>	133	Kistenkas, F.H., W. Nieuwenhuizen, D.A. Kamphorst & M.E.A. Broekmeyer (2018). <i>Natuur- en landschap in de Omgevingswet.</i>
123	Vullings, L.A.E., A.E. Buijs, J.L.M. Donders, D.A. Kamphorst, H. Kramer & S. de Vries (2018). <i>Monitoring van groene burgerinitiatieven; Analyse van de resultaten van een pilot en nulmeting in vier gemeenten</i>	134	Michels, R, V. Diogo, W.H.G.J. Hennen, L.F. Puister (2018). <i>Instrumentarium Kosten Natuurbeleid 2018 - Status A; IKN versie 3.0</i>
124	Boonstra, F.G., Th.C.P. Melman, W. Nieuwenhuizen & A. Gerritsen (2018). <i>Aanpak evaluatie</i>	135	Sanders, M.E. (2018). <i>Voortgang realisatie natuurnetwerk. Technische achtergronden bij de digitale Balans van de Leefomgeving 2018</i>
		136	Koffijberg K., J.S.M. Cremer, P. de Boer, J. Nienhuis, K. Oosterbeek & J. Postma (2018). <i>Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee in 2017</i>
		137	Egmond, F.M. van, S. van der Veeke, M. Knotters, R.L. Koomans, D. Walvoort, J. Limburg (2018). <i>Mapping soil texture with a gamma-ray spectrometer: comparison between UAV and proximal measurements and traditional sampling; Validation study</i>
		138	Glorius, S.T., A. Meijboom, J.T. Wal van der, J.S.M. Cremer (2018). <i>Ontwikkeling van enkele droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee; situatie 2017.</i>

139	Berg, F. van den, A. Tiktak, D.W.G. van Kraalingen, J.G. Groenwold & J.J.T.I. Boesten (2018). <i>User manual for GeoPEARL version 4.4.4.</i>	151	Daamen, W.P., A.P.P.M. Clerkx & M.J. Schelhaas (2019). <i>Veldinstructie Zevende Nederlandse Bosinventarisatie (2017-2021); Versie 2.0.</i>
140	Kuiters, A.T., G.A. de Groot, D.R. Lammertsma, H.A.H. Jansman & J. Bovenschen (2018). <i>Genetische monitoring van de Nederlandse otterpopulatie; Ontwikkeling van populatieomvang en genetische status 2017/2018</i>	152	Bikker, P., L.B. Šebek, C. van Bruggen & O. Oenema (2019). <i>Stikstof- en fosfaatexcretie van gangbaar en biologisch gehouden landbouwhuisdieren. Herziening excretieforfaits Meststoffenwet 2019.</i>
141	Müskens G.J.D.M., M.J.J. La Haye, R.J.M. van Kats & A.T. Kuiters (2018). <i>Ontwikkeling van de hamsterpopulatie in Limburg. Stand van zaken voorjaar 2018</i>	153	Berg, F. van den, H. Baveco & E.L. Wipfler (2019). <i>User manual for SAFE (Select Application date For Evaluation) to support the use of the GEM scenarios for cultivations in glasshouses; Version 1.1</i>
142	Glorius, S.T. (2018). <i>Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum; Tussenrapportage twaalf jaar na sluiting (najaar 2017).</i>	154	Os, J. van, L.J.J. Jeurissen en H.H. Ellen (2019). <i>Rekenregels pluimvee voor de Landbouwtelling; Verantwoording van het gebruik van het Identificatie- & Registratiesysteem.</i>
143	Brouwer, F., F. de Vries en D.J.J. Walvoort (2018). <i>Basisregistratie Ondergrond (BRO); Actualisatie bodemkaart: herkartering van de bodem in Flevoland</i>	155	Brouwer, F. & D.J.J. Walvoort (2019). <i>Basisregistratie Ondergrond (BRO) - Actualisatie bodemkaart; Herkartering van de veengebieden in Eemland</i>
144	Knotters, M. en F.M. van Egmond (2018). <i>Selectie van inwinningstechnieken voor bodemdata; Selecteren vanuit de (onderzoeks)vraag</i>	156	Sanders, M.E., R.J.H.G. Henkens & D.M.E. Slijkerman (2019). <i>Convention on Biological Diversity; Sixth National Report of the Kingdom of the Netherlands.</i>
145	Stuyt, L.C.P.M., M. Knotters, D.J.J. Walvoort, F. Brouwer & H.T.L. Massop (2018). <i>Basisregistratie Ondergrond - Gd-kartering Laag-Nederland 2018; Provincie Flevoland</i>	157	Kuiters, A.T., G.A. de Groot, D.R. Lammertsma, H.A.H. Jansman, J. Bovenschen, M.C. Boerwinkel & M. Laar (2019). <i>Genetische monitoring van de Nederlandse otterpopulatie; Ontwikkeling van populatieomvang en genetische status 2018/2019.</i>
146	Arets, E.J.M.M., J.W.H van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2019). <i>Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2019</i>	158	Sanders, M.E. & H.A.M. Meeuwssen (2019). <i>Basisbestand Natuur en Landschap</i>
147	Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2019). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw in 2017. Berekeningen met het model NEMA.</i>	159	Visser, T., H.A.M Meeuwssen & Th.C.P. Melman (2019). <i>MNP-(Model for Nature Policy) Agrarisch; Uitwerking voor scenario's uit de Natuurverkenning 2020.</i>
148	Lagerwerf, L.A., A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J.W.H. van der Kolk, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2019). <i>Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations of CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ with the National Emission Model for Agriculture (NEMA) – update 2019.</i>	160	Jong, A. de, A. Poot & P.I. Adriaanse (2019). <i>Impact analysis for the purpose of the introduction of DROPLET version 1.3.2.</i>
149	Bakker, G., M. Heinen, H.P.A. Gooren, W.J.M. de Groot, F.B.T. Assinck & E.W.J. Hummelink (2019). <i>Hydrofysische gegevens van de bodem in de Basisregistratie Ondergrond (BRO) en het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS); Update 2018.</i>	161	Westerink, J., T.A. de Boer, M. Pleijte & R.A.M. Schrijver (2019). <i>Kan een goede boer natuurinclusief zijn?; De rol van culturele normen in een beweging richting natuurinclusieve landbouw.</i>
150	IJsseldijk, L.L., M.J.L. Kik, & A. Gröne (2019). <i>Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2018. Biologische gegevens, gezondheidsstatus en doodsoorzaken.</i>	163	Haas, W. de, J.L.M. Donders, T.J.M. Mattijssen (2019). <i>Natuur in conflict; Botsende waarden, waarheden en belangen in het natuurbeheer.</i>
		165	Glorius, S.T., A. Meijboom, J. Schop & J.T. van der Wal (2019). <i>Ontwikkeling van enkele droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee; situatie 2018.</i>
		166	Pedroli, B, During, R. (2019). <i>De paradox van een maakbare natuur – ingebakken en omstreden; Betekenis culturele identiteit voor draagvlak natuurbeleid en -beheer.</i>
		167	Walvoort, D.J.J., M. Knotters, F.M. van Egmond (2019). <i>Interpolatie, aggregatie en desaggregatie van ruimtelijke bodemgegevens in de Basisregistratie Ondergrond</i>



Thema Basisregistratie Ondergrond

Wettelijke Onderzoekstaken

Natuur & Milieu

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T (0317) 48 54 71

E info.wnm@wur.nl

ISSN 2352-2739

www.wur.nl/wotnatuurenmilieu

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

