

Addendum Nitraatwijzer rapport fase 1

Gert-Jan Noij, Sabine Schnabel en Hein ten Berge

Voorwoord

Dit addendum is een aanvulling op het rapport "Rapportage Project Nitraatwijzer Fase I" (Noij en ten Berge, 2019). In dat rapport waren in Hoofdstuk 6 de resultaten van nitraatresidu (NR) metingen in een pilot op melkveehouderij- en vollegrondsgroentebedrijven in het najaar van 2018 opgenomen. Het doel van die pilot was om relaties vast te stellen tussen NR en de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater van dezelfde percelen in het daaropvolgende uitspoelseizoen 2019. De metingen van de nitraatconcentraties zijn in 2019 uitgevoerd door het RIVM volgens dezelfde methodiek als toegepast in het Landelijk Meetnet Mestbeleid. Wij danken het RIVM voor de prettige samenwerking. Dit addendum doet verslag van de uitkomsten van de nitraatmetingen en van de relaties tussen nitraatconcentratie, NR en andere factoren die van de percelen zijn verzameld. Het RIVM is niet betrokken geweest bij de verwerking en analyse van de gegevens in dit verslag.

De nummering van paragrafen, figuren en tabellen gehanteerd in dit addendum sluit aan bij de nummering in het hoofdrapport.

De auteurs

6.3 Resultaten pilot Nitraatwijzer 2018

In dit addendum wordt het gemeten perceelsgemiddelde nitraatresidu in 0-90 cm afgekort met NR, en de gemeten nitraatconcentratie in het bovenste grondwater met [NO3]. NR is in het najaar van 2018 bepaald in een mengmonster van minimaal 15 steken per perceel. Voor de resultaten daarvan zie paragraaf 6.3.1 van het hoofdrapport. [NO3] is gemeten op 5 meetpunten per perceel met de boorgatmethode zoals in LMM (Landelijk Meetnet Mestbeleid). Op ieder afzonderlijk punt in het veld is nitraat gemeten met een Nitracheck meter, daarnaast is een mengmonster gemaakt dat in het lab is gemeten. Van de Nitracheck metingen zijn alleen de ruwe in het veld gemeten waarden gebruikt, zonder de correctie voor temperatuur en batch. De statistische analyse in paragraaf 6.3.4 is uitgevoerd met de [NO3] van het mengmonster.

6.3.2 Nitraatconcentraties

6.3.2.1 Spreiding nitraatconcentraties

De gemeten nitraatconcentraties variëren zeer sterk, zowel binnen een cluster (combinatie van zelfde gewas, bodem- en vochtklasse) als tussen de clusters (tabel 6.4; figuur 6.20). De gemiddelde lengte van het 95% betrouwbaarheidsinterval rond het aangetroffen clustergemiddelde μ bedraagt 0,9 μ , oftewel 45% boven en onder het gemiddelde. De variatie binnen afzonderlijke percelen is nog groter dan binnen clusters (figuur 6.21), waardoor de gemiddelde lengte van het 95% betrouwbaarheidsinterval 1,314 μ bedraagt (gemiddelde $\pm$ 66%).

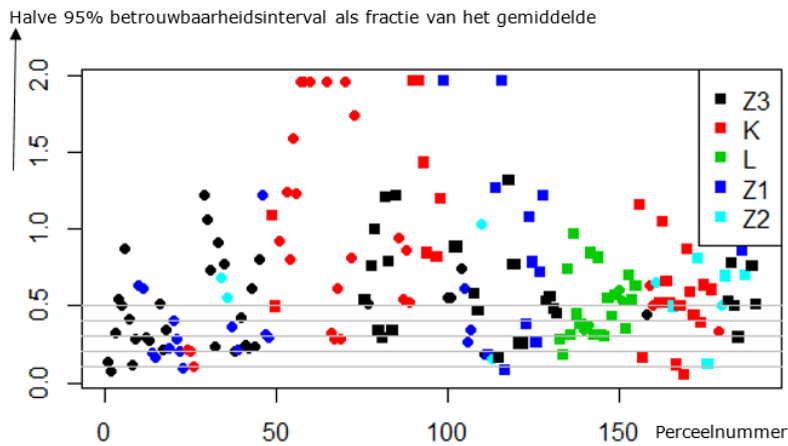
Om een inschatting te maken van het benodigde aantal puntmetingen per perceel en per cluster voor een betrouwbaar gemiddelde is een afzonderlijke statistische analyse uitgevoerd op basis van logtransformatie van de uitgevoerde [NO3] puntmetingen (bijlage 6). Uit deze analyse blijkt dat er bijna 300 puntmetingen per individueel perceel nodig zijn om het perceelsgemiddelde te schatten met een 95% betrouwbaarheidsinterval van $\pm$ 10% van het perceelgemiddelde. Directe puntmetingen van de nitraatconcentratie in het grondwater zijn daarom niet geschikt als indicator voor het bepalen van het risico op nitraatuitspoeling van een perceel. Als er 5 puntmetingen per perceel worden uitgevoerd dan zijn er iets meer dan 900 percelen nodig voor een even betrouwbaar gemiddelde (95%btbhi $\pm$ 10% μ)

over die percelen. Wanneer er echter rekening wordt gehouden met de factoren bodem, gt en gewas (cluster), dan zijn iets meer dan 500 percelen voldoende voor een even betrouwbaar gemiddelde ($95\% \text{btbhi} \pm 10\% \mu$) van deze percelen. Het is echter efficiënter (minder puntmetingen nodig) als meer percelen en minder punten per perceel worden bemonsterd, omdat de variatie tussen percelen groter is dan binnen een perceel.

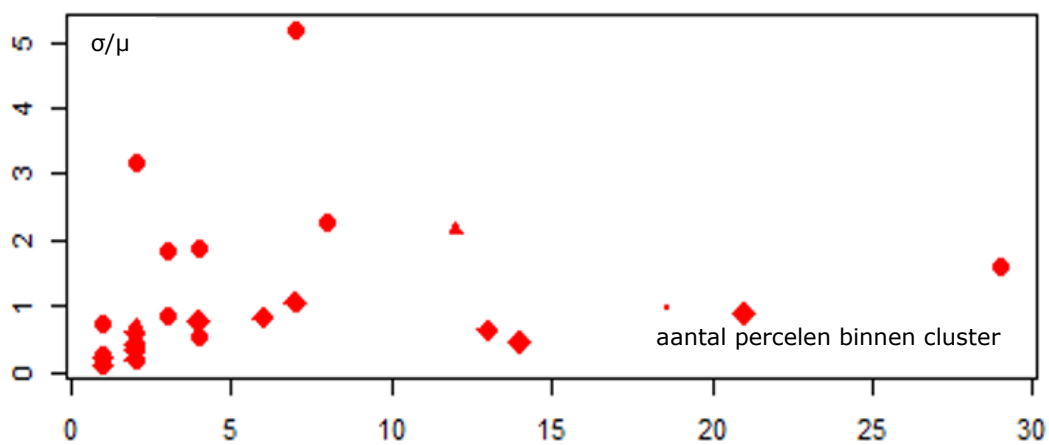
Tabel 6.4. Gemiddelde (μ), spreiding (σ) en variatiecoëfficiënt (σ/μ ; %) van de nitraatconcentratie (mg NO_3/L) per cluster o.b.v. de afzonderlijke puntmetingen (excl. de 4 percelen met meer dan 5 meetpunten).

Cluster	μ	σ	σ/μ	Aantal percelen	Aantal puntmetingen
BODEM_GT_GEWAS					
KLEI_DROOG_MAIS	14.18	26.54	187	4	20
KLEI_DROOG_SNIJMAIS	86.18	15.49	18	2	10
KLEI_DROOG_SPITSKOOL	54.12	29.32	54	4	20
KLEI_DROOG_SPRUITKOOL	76.40	19.12	25	1	5
KLEI_DROOG_WITTEKOOL	0.00	0.00		1	5
KLEI_VOCHTIG_ASPERGES	0.25	0.79	316	2	10
KLEI_VOCHTIG_BLOEMBOLLEN & -KNOLLEN	0.00	0.00		2	10
KLEI_VOCHTIG_BROCCOLI	5.31	12.10	228	8	40
KLEI_VOCHTIG_GERST	21.30	15.90	75	1	5
KLEI_VOCHTIG_GRAS	37.80	60.67	161	29	145
KLEI_VOCHTIG_MAIS	160.90	137.26	85	3	15
KLEI_VOCHTIG_POOTAARDAPPEL	0.87	1.59	183	3	15
KLEI_VOCHTIG_RODE_KOOL	4.80	3.47	72	1	5
KLEI_VOCHTIG_SLA, IJSBERG-	2.37	12.33	520	7	35
LÖSS_DROOG_GRAS	47.30	45.90	97	19	93
LÖSS_DROOG_MAIS	24.65	15.64	63	4	20
MOERIG_VOCHTIG_GRAS	27.91	60.39	216	12	60
MOERIG_VOCHTIG_PERCEEL IS KOMEN TE VERVALLEN	80.05	57.16	71	2	10
ZAND_DROOG_ASPERGES	128.32	77.43	60	2	10
ZAND_DROOG_COURGETTE	274.20	64.75	24	1	5
ZAND_DROOG_GRAS	47.97	50.90	106	7	35
ZAND_DROOG_JAPANESE HAVER	201.15	39.42	20	2	10
ZAND_DROOG_PASTINAAK	177.30	20.12	11	1	5
ZAND_DROOG_PREI	235.38	109.51	47	14	70
ZAND_VOCHTIG_COURGETTE	190.28	63.48	33	2	10
ZAND_VOCHTIG_GRAS	49.35	44.04	89	24	120
ZAND_VOCHTIG_MAIS	98.87	81.96	83	7	35
ZAND_VOCHTIG_PREI	134.41	86.33	64	13	65
ZAND_VOCHTIG_SELDERIJ, BLEEK EN GROENPRODUCTIE GEWASGROEP WORTEL	51.12	39.57	77	4	20
ZAND_VOCHTIG_SUIKERBIETEN	123.08	97.12	79	4	20
ZAND_VOCHTIG_WINTERPEEN	223.30	94.58	42	2	10

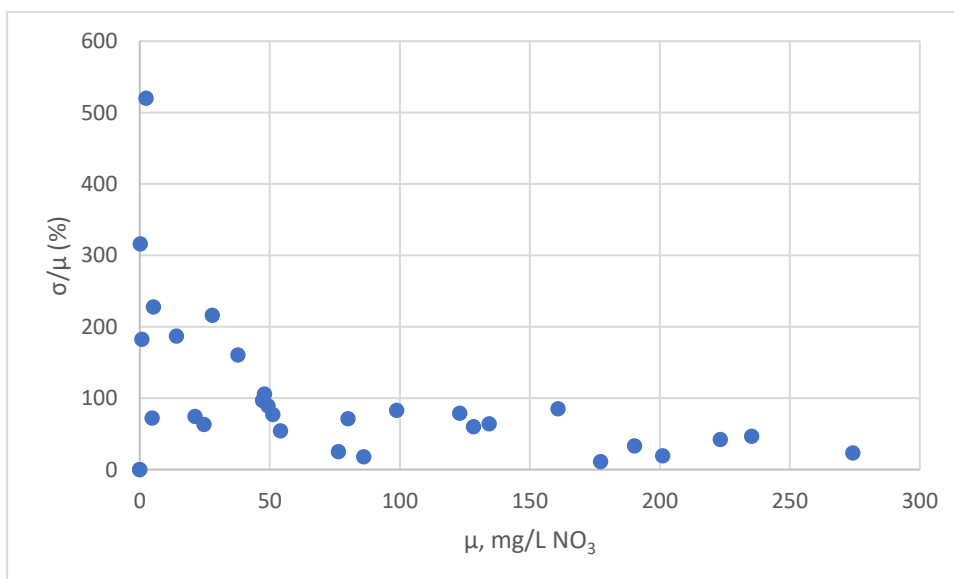
De variatiecoëfficiënt van de nitraatconcentratie binnen clusters neemt af bij meer percelen (c.q. meer meetpunten; Figuur 6.22). Hierdoor is toepassing van puntmetingen van de nitraatconcentratie voor gebiedsgerichte of landelijke monitoring wel mogelijk, zoals in het LMM en in regionale nitraatprojecten. De betrouwbaarheid van nitraatpuntmetingen neemt toe bij hogere nitraatconcentraties (de variatiecoëfficiënt neemt af), vooral vanaf concentraties hoger dan 50 mg/L (figuur 6.23).



Figuur 6.21: Betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde nitraatconcentratie per perceel (5 bodemtypen).



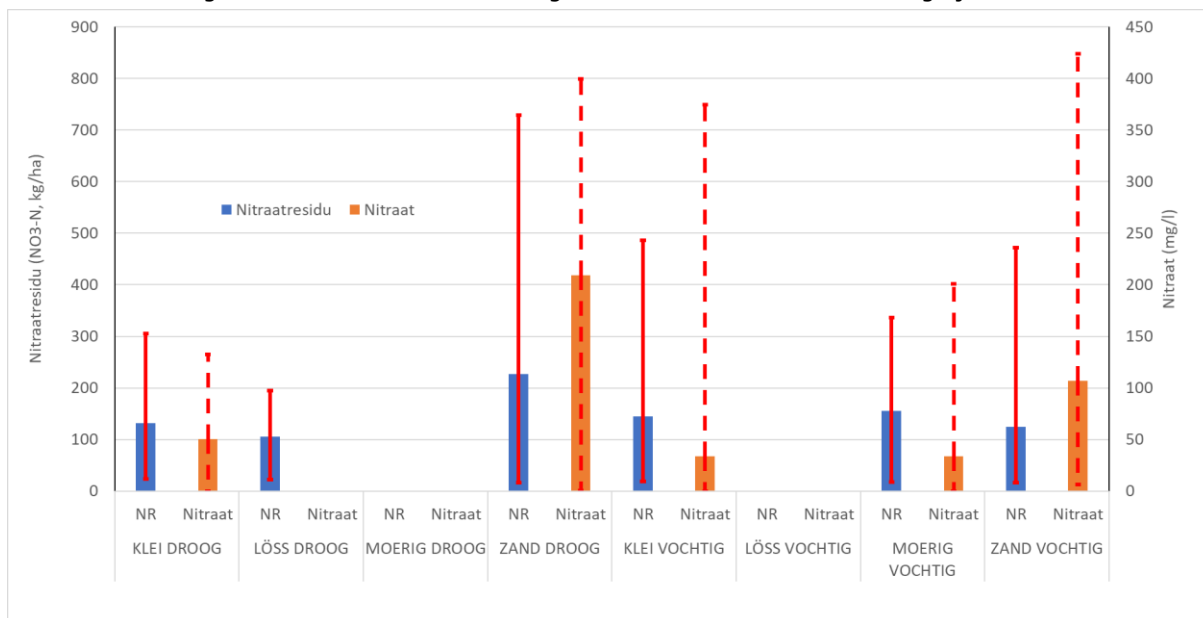
Figuur 6.22: variatiecoëfficiënt (σ/μ) van de nitraatconcentratie (puntmetingen) binnen hetzelfde cluster (excl. 4 percelen met meer dan 5 meetpunten). Verschillende symbolen voor verschillende bodemtypen.



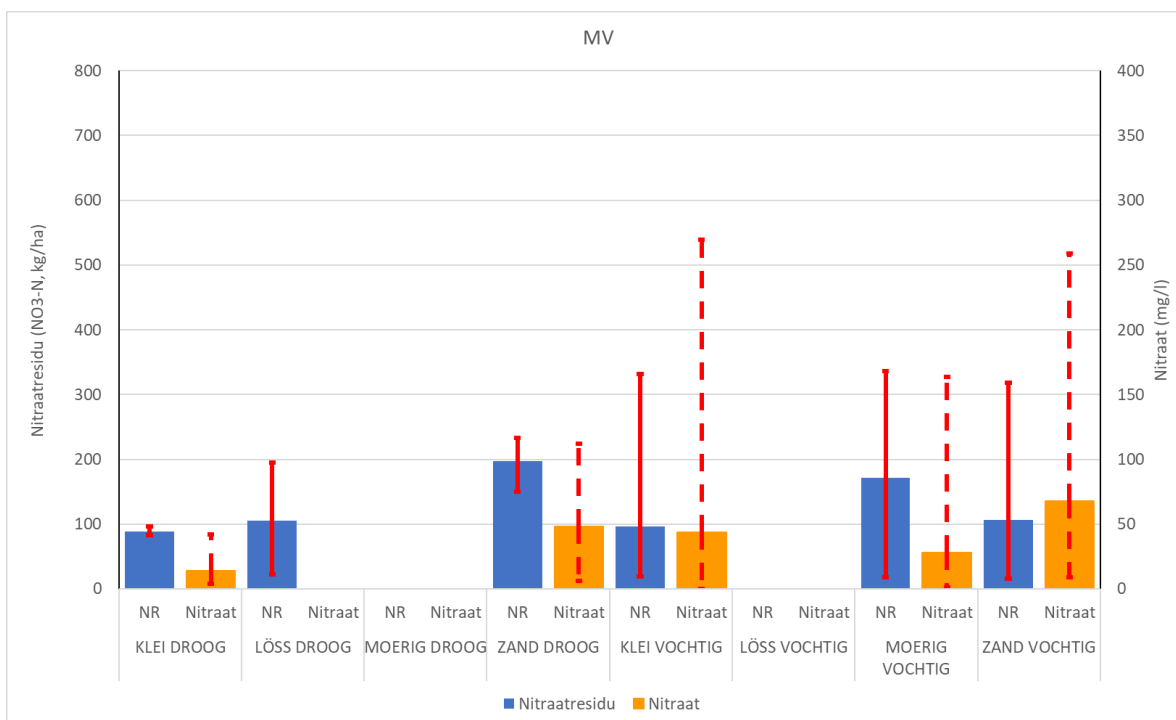
Figuur 6.23: de variatiecoëfficiënt (σ/μ) van de nitraatconcentratie per cluster is afhankelijk van de hoogte van de gemiddelde nitraatconcentratie (μ).

6.3.2.2 Nitraatconcentratie en NR per categorie

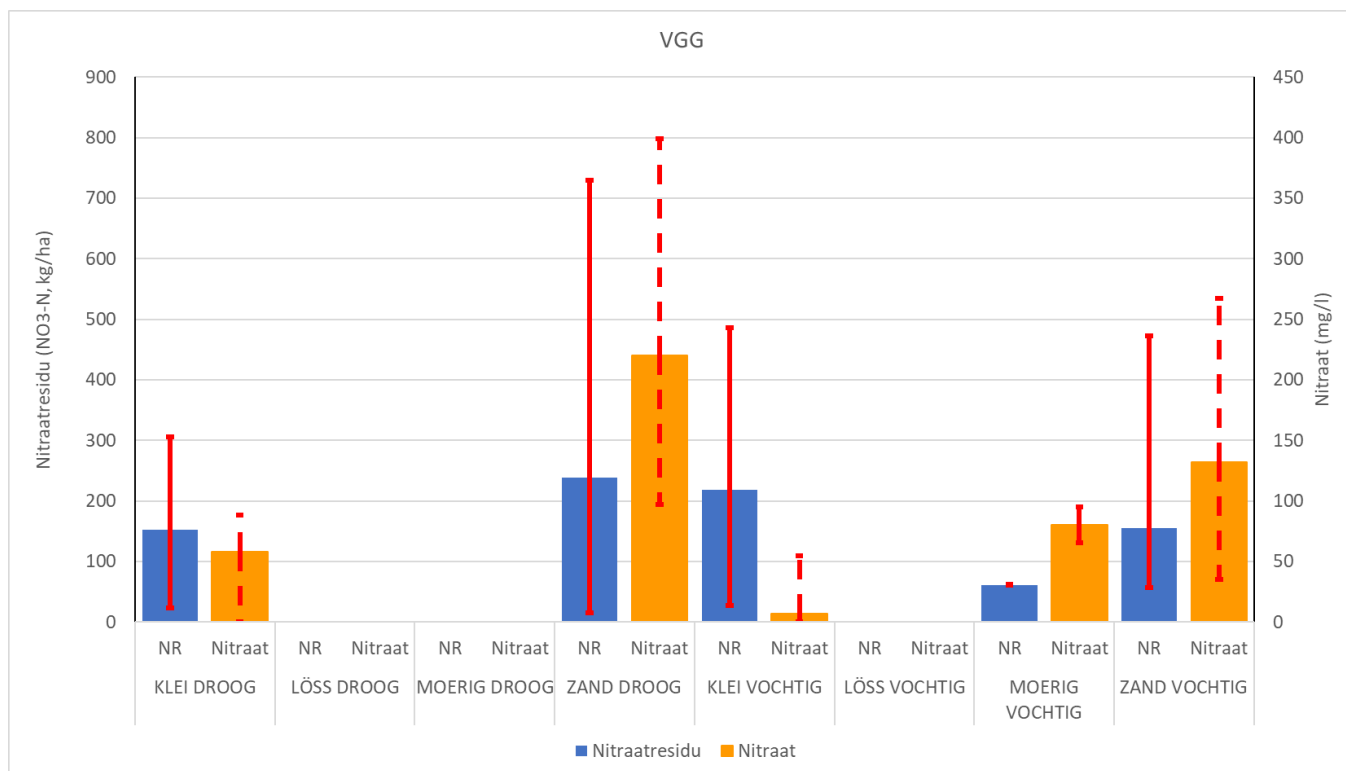
De gemiddelde nitraatconcentraties op zandgrond liggen in 2019 zoals verwacht hoger dan op de andere grondsoorten, en gemiddeld ook ver boven de nitraatnorm van 50 mg/L, vooral op de droge zandgronden (Figuur 6.24). Ook de meeste concentraties op de andere grondsoorten en Gt-klassen liggen hoger dan de norm, behalve de vochtige klei- en moerige zandgronden, waar meer denitrificatie mag worden verwacht. De aangetroffen waarden zijn fors hoger dan de waarden die de laatste jaren in het LMM worden gevonden. Dit kan worden toegeschreven aan het extreem droge jaar 2018.



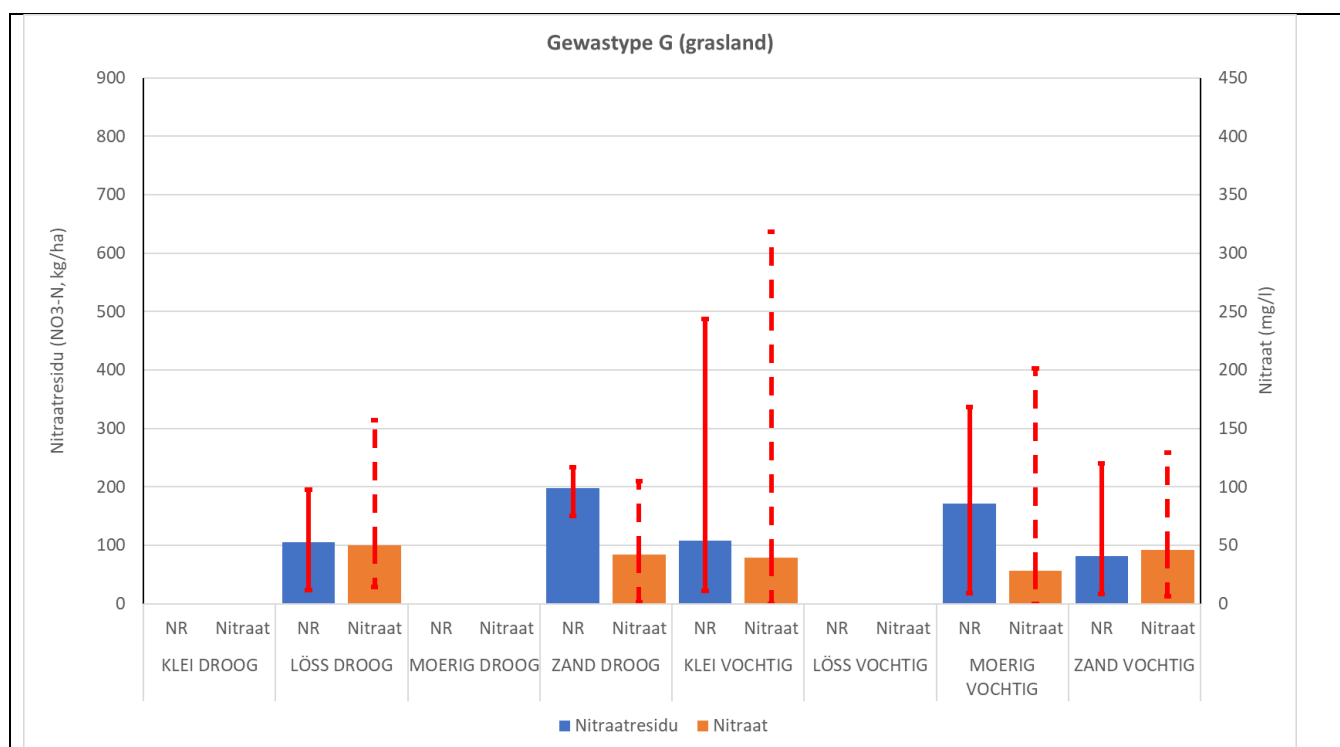
Figuur 6.24: gemiddelde *Nitraatresidu* NR in najaar 2018 (blauwe staaf, linker y-as) en gemiddeld nitraatgehalte (oranje staaf, rechter y-as; mengmonster) in het opvolgende jaar 2019 met het minimum en maximum (rood) over alle bedrijven en percelen voor de aangegeven combinaties van grondwatertrap (droog-vochtig) en grondsoort (zand, moerig zand, klei en löss).



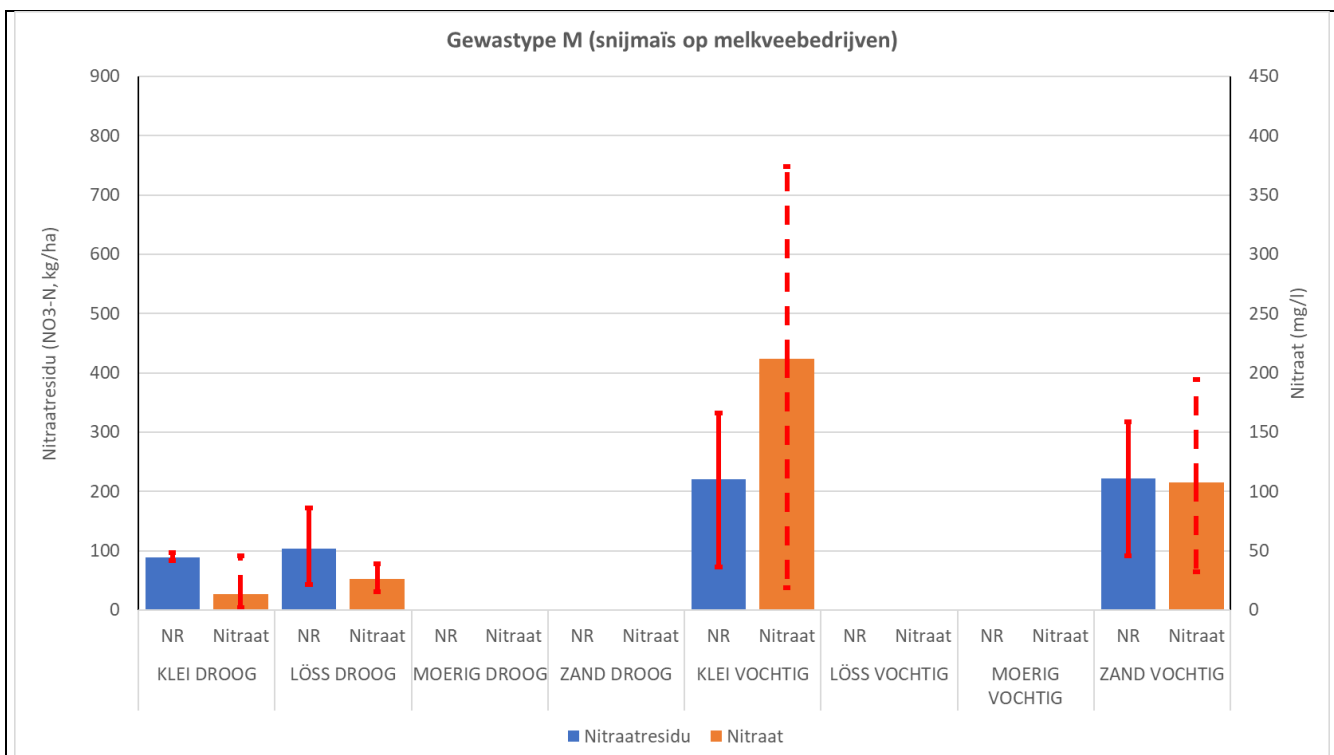
Figuur 6.25 Als figuur 6.24, maar nu voor de melkveebedrijven.



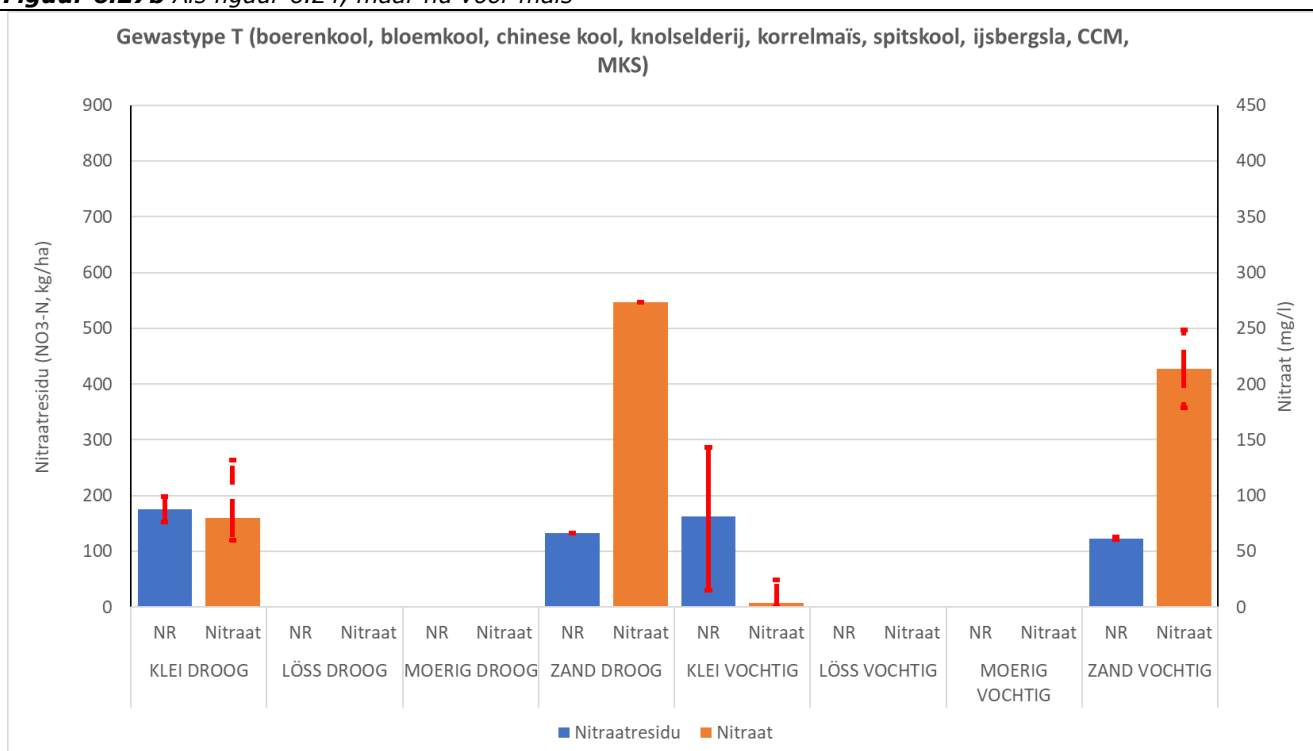
Figuur 6.26 Als figuur 6.24, maar nu voor de Vollegrondsgroentenbedrijven.



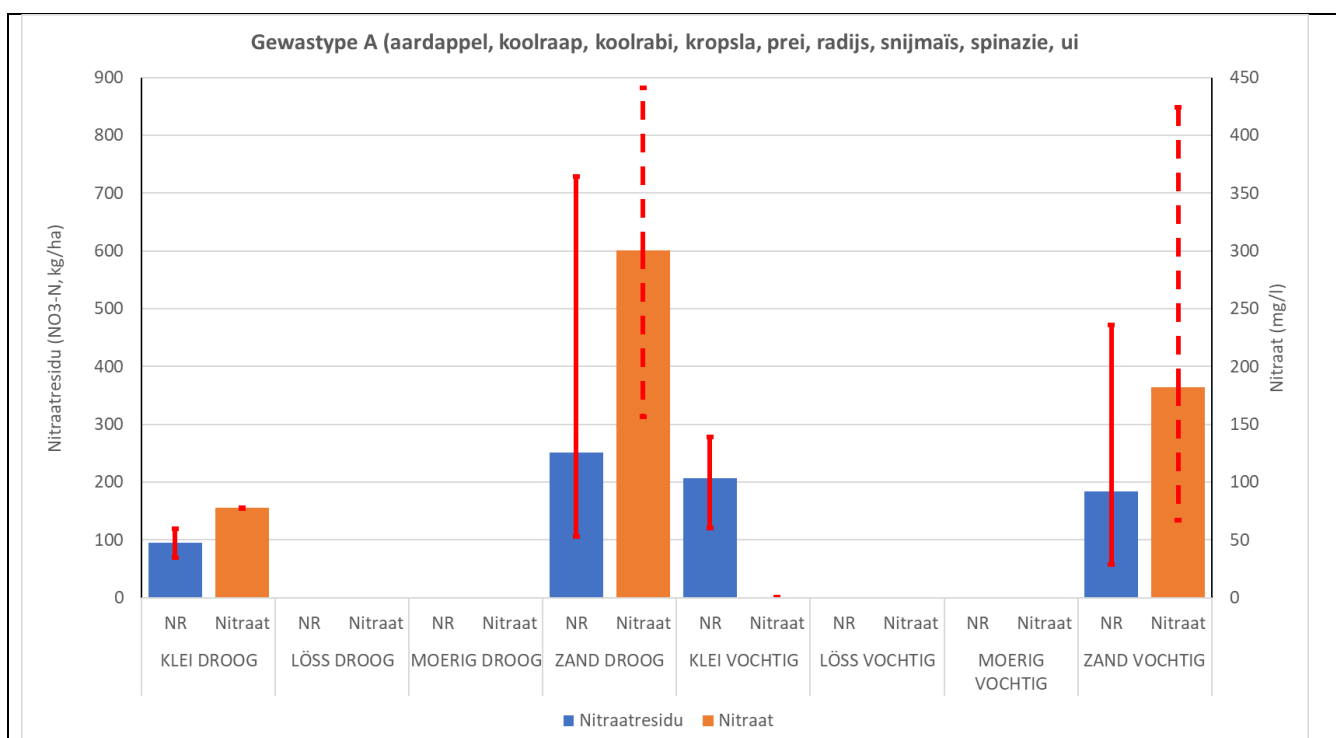
Figuur 6.27a Als figuur 6.24, maar nu voor grasland



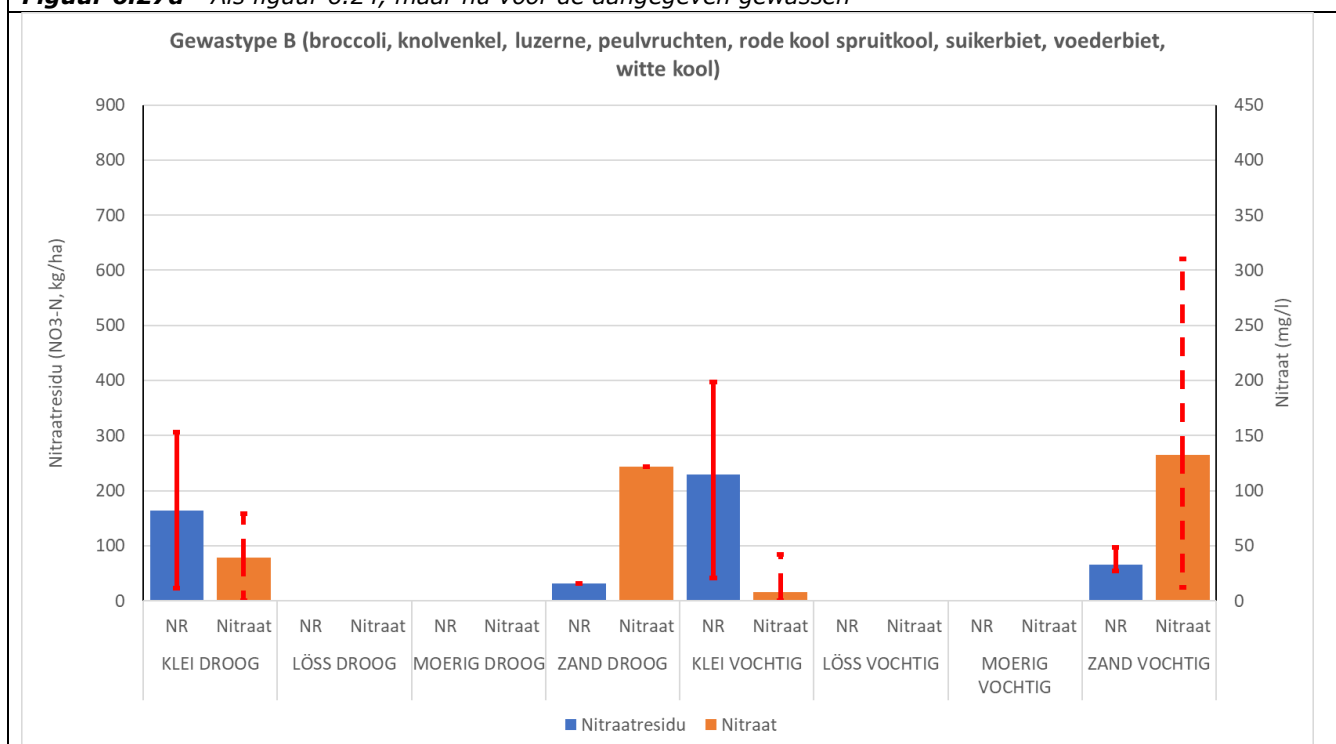
Figuur 6.27b Als figuur 6.24, maar nu voor mais



Figuur 6.27c Als figuur 6.24, maar nu voor aangegeven gewassen



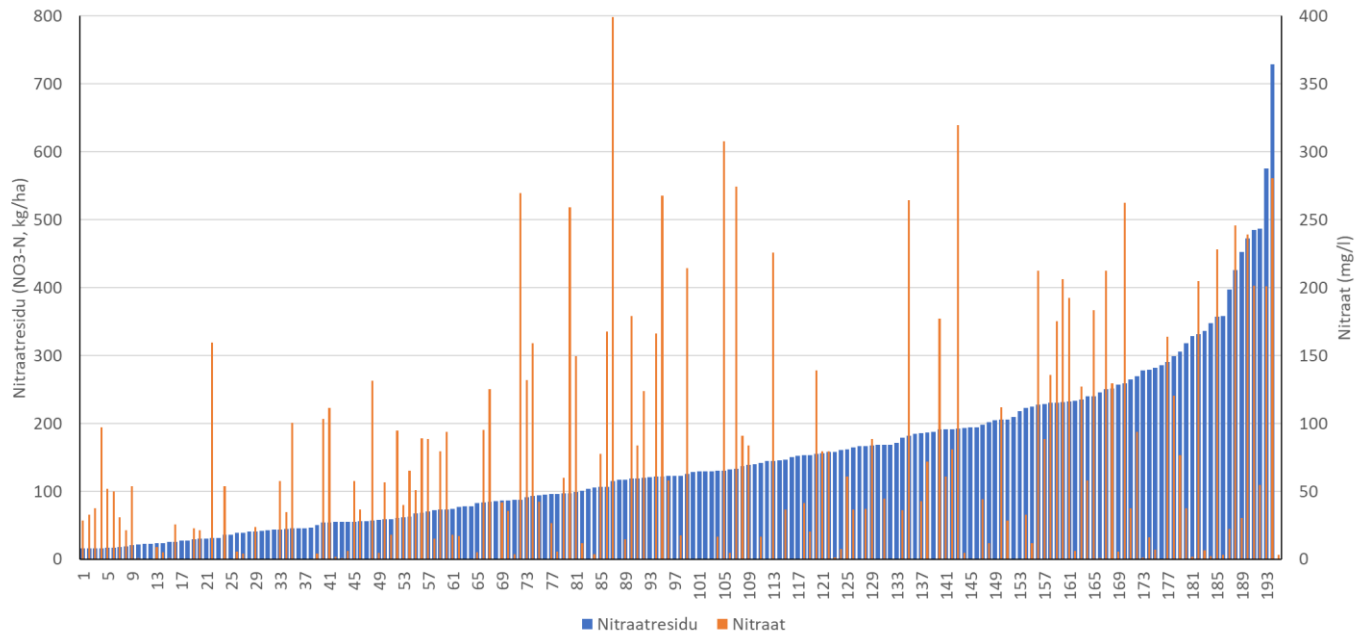
Figuur 6.27d Als figuur 6.24, maar nu voor de aangegeven gewassen



Figuur 6.27e Als figuur 6.24, maar nu voor de aangegeven gewassen

6.3.3 Relatie tussen Nitraatconcentratie en NR

Een belangrijk vraag voor dit onderzoek was de mate waarin verschillen in nitraatconcentratie in het grondwater door NR kunnen worden verklaard. De figuren 6.24 t/m 6.27 uit de vorige paragraaf vertonen geen éénduidige rangordening in de hoogte van NR en nitraat in het grondwater. Figuur 6.28 bevestigt dit beeld. Ook hieruit blijkt geen duidelijke relatie tussen NR en nitraatconcentratie.



Figuur 6.28. Nitraatresiduen NR in het najaar van 2018 (linker y-as; N kg/ha; blauw) van alle bemonsterde percelen in volgorde van grootte met de corresponderende gemiddelde Nitraatconcentraties in het daaropvolgende groeiseizoen in 2019 (NO₃ mg/L; rechter y-as; oranje).

Vervolgens is de enkelvoudige relatie tussen gemiddelde nitraatconcentraties in 2019 met de corresponderende NR in 2018 onderzocht. Het verband tussen nitraat en NR blijkt zonder clusterindeling heel zwak met een verklaarde variantie (r^2) van nauwelijks meer dan 10% en een richtingscoëfficiënt van 0,3 ($cNO_3 = 0,3 \cdot NR$). De hoogste verklaarde variantie door NR (r^2 27%) werd gevonden voor een subset van percelen met alleen bouwland op zand en löss met Gt klasse DROOG. Dit stemt overeen met eerder onderzoek waaruit al bleek dat het nodig is om een indeling in clusters te maken van grondgebruik, grondwaterregime en bodemtype (Hack-tenBroeke et al., 2004).

6.3.4 Statistisch verband tussen Nitraatconcentratie en NR

In aanvulling op de enkelvoudige analyse van het verband tussen nitraatconcentratie en NR in de vorige paragraaf hebben wij een uitgebreidere statistische analyse uitgevoerd. Er is gekozen voor klassieke lineaire regressiemodellen (ordinary least squares) voor verschillende subsets van de gegevens. De selectie van modellen met meerdere variabelen is gebaseerd op de AIC (Akaike Information Criterion) in een stapsgewijze procedure. Verder hebben wij paarsgewijze vergelijkingen tussen verschillende combinaties gedaan (Tukey adjustment voor de p-values; R functies "emmeans" en "multcomp::cld"). Het eindresultaat is het model dat volgens de AIC het beste bij deze dataset past.

Om de resultaten van beide studies met elkaar te kunnen vergelijken, hebben we gekozen voor de indeling in bodem, grondwater en gewas volgens Sturen Op Nitraat (SON; Tabel 6.5). Omdat er in deze studie niet genoeg situaties waren om alle gewasgroepen uit SON te kunnen onderscheiden hebben we daarop een vereenvoudiging toegepast. Daarnaast is de bodemindeling uitgebreid met kleigrond, die kwam in SON niet voor.

Tabel 6.5. Clusterindeling volgens Sturen op nitraat (Hack-tenBroeke et al., 2005)

Z1: Moerige zandgronden en zandgronden met een dikke donkere bovengrond	Bodem	
Z2: Zandgronden met veel organische stof en leem		
Z3: Zandgronden met een dunne donkere bovengrond		
L: Löss		
K: Klei (kwam niet voor in Sturen Op Nitraat)	Gt	
1: NAT, GHG < 40 cm-mv (Gt's I-IIIb, Va,b)		
2: GEMIDDELD, 40 < GHG < 80 cm-mv (Gt's IV,VI)		
3: DROOG, GHG > 80 cm -mv Gt's (VII-VIII)		
Indeling in 6 gewasgroepen: g: grasland m: snijmaïs op melkveehouderijbedrijven, t: boerenkool, bloemkool, chinese kool, knolselderij, korrelmaïs, spitskool, ijsbergsla, CCM en MKS a: aardappel, koolraap, koolrabi, kropsla, prei, radijs, snijmaïs, spinazie en ui b: broccoli, knolvenkel, luzerne, peulvruchten, rode kool, spruitkool, suikerbiet, voederbiet en witte kool r: aardbei, andijvie, asperge, bospeen, gerst, haver, rode biet, rogge, schorseneer, tarwe, witlof en wortel		Gewas
Toegepaste vereenvoudiging in deze studie: GRAS MAIS OVERIG BOUWLAND		

6.3.4.1 Regressiemodel voor bouwland

Voor de 18 percelen mais in de studie zijn geen significante effecten van de onderzochte factoren op de nitraatconcentratie $[\text{NO}_3]$ gevonden. Het lineair regressiemodel voor nitraat op maispercelen met uitsluitend hoofdeffecten ($[\text{NO}_3] = \text{intercept} + \text{bodem} + \text{gt} + c \cdot \text{NR}$) is met p-waarde 0.1126 niet significant beter dan een horizontale rechte lijn. Er is dus geen sprake van een significant lineair verband tussen NO_3 en NR, bodem en gt voor deze maispercelen. Daarom zijn de percelen met mais toegevoegd aan overig bouwland, waardoor in totaal 99 percelen bouwland zijn geanalyseerd. Hiervoor is wel een duidelijk significant model gevonden ($[\text{NO}_3] = \text{Intercept} + c \cdot \text{NR} + \text{bodem} + \text{gt}$; Tabel 6.6). Uit de ANOVA (niet opgenomen) blijken deze factoren significant. Er waren geen significante interacties. Stapsgewijze afleiding van het beste model leverde hetzelfde resultaat. Merk op dat het intercept al een waarde heeft van bijna 200 mg/L. Dit betekent dat bij een lage waarde van NR ca. 200 mg NO_3/L in grondwater mag worden verwacht voor de bodemgroepen Z3 en Z1. Mogelijke oorzaken van zo'n groot intercept zijn na-ijling, uitspoeling gedurende het groeiseizoen, vóór de NR bemonstering, en mineralisatie en vervolgens uitspoeling na de NR bemonstering.

Vervolgens is geanalyseerd welke combinaties van de factoren bodem en gt significant van elkaar verschillen (tabel 6.6b). Daarbij zijn ook de gemiddelde nitraatconcentraties per combinatie aangegeven.

Ten slotte is onderzocht of er een effect is op de nitraatconcentratie van de aanvullende factoren vruchtwisseling en neerslagoverschot. Voor geen van beide factoren is een significant effect gevonden.

Tabel 6.6a Lineair regressiemodel voor nitraatconcentratie op bouwland ($p = 1 \cdot 10^{-14}$; r^2 0.5464). De coëfficiënten van bodem en gt geven het niveauverschil ten opzichte van het intercept, dat dus geldt voor de combinatie bodem_Z3 en GT_DROOG. c Is de geschatte richtingscoëfficiënt van NR.

	coëfficiënt	σ	t value	p-waarde	significantie ¹
Intercept	+196.2	1.64	9.040	2.60e-14	***
c (*NR)	+0.20	0.07	2.732	0.007564	**
Bodem_KLEI	-148	20.4	-7.295	1.08e-10	***
Bodem_LÖSS	-190	46.4	-4.088	9.36e-05	***
Bodem_Z1	+15	26.2	0.559	0.577678	
Bodem_Z2	-61	38.8	-1.576	0.118570	
Gt_NAT	-59	62	-0.945	0.347267	
Gt_GEMIDDELD	-75	19	-3.964	0.000146	***

Tabel 6.6b: combinaties van bodem en gt op bouwland die significant ($p < 0,05$) verschillen voor nitraatconcentratie.

Combinaties	$\Delta \mu$ (mg/L)	σ (mg/L)	p-waarde
LÖSS_DROOG - LÖSS_GEMIDDELD	75	19	0,01155
KLEI_DROOG - KLEI_GEMIDDELD	75	19	0,01155
ZAND3_GEMIDDELD - LÖSS_GEMIDDELD	190	46	0,00763
ZAND3_GEMIDDELD - KLEI_GEMIDDELD	148	20	0,00000
ZAND2_DROOG - KLEI_GEMIDDELD	163	45	0,03854
ZAND2_DROOG - ZAND2_GEMIDDELD	75	19	0,01155
ZAND1_GEMIDDELD - LÖSS_GEMIDDELD	204	49	0,00523
ZAND1_GEMIDDELD - KLEI_GEMIDDELD	163	26	0,00000
ZAND3_NAT - LÖSS_NAT	190	46	0,00763
ZAND3_NAT - KLEI_NAT	148	20	0,00000
ZAND1_NAT - LÖSS_NAT	204	49	0,00523
ZAND1_NAT - KLEI_NAT	163	26	0,00000
ZAND3_DROOG - LÖSS_GEMIDDELD	265	54	0,00038
ZAND3_DROOG - KLEI_GEMIDDELD	224	26	0,00000
ZAND3_DROOG - LÖSS_DROOG	190	46	0,00763
ZAND3_DROOG - KLEI_DROOG	148	20	0,00000
ZAND3_DROOG - ZAND3_GEMIDDELD	75	19	0,01155
ZAND1_DROOG - LÖSS_GEMIDDELD	280	54	0,00015
ZAND1_DROOG - KLEI_GEMIDDELD	238	28	0,00000
ZAND1_DROOG - LÖSS_DROOG	204	49	0,00523
ZAND1_DROOG - KLEI_DROOG	163	26	0,00000
ZAND1_DROOG - ZAND2_GEMIDDELD	151	42	0,03612
ZAND1_DROOG - ZAND1_GEMIDDELD	75	19	0,01155

6.3.4.2 Regressieanalyse voor grasland

Ook voor de 91 graslandpercelen werd een significant lineair regressiemodel met de hoofdfactoren gevonden voor nitraatconcentratie: $[NO_3] = \text{Intercept} + c \cdot NR + \text{bodem} + \text{gt}$. (Tabel 6.7). Bij de ANOVA waren NR ($p < 0,10$), bodem ($p < 0,001$) en Gt ($p < 0,05$) significant.

¹ *** $<0,001$; ** $<0,01$; * $<0,05$; . $<0,10$

Tabel 6.7a Lineair regressiemodel voor nitraatconcentratie op grasland met $p = 0,0020$ en $r^2 = 0.1681$. De coëfficiënten van bodem en gt geven het verschil ten opzichte van het intercept, dat dus geldt voor de combinatie bodem_GT: Z3_DROOG. c Is de richtingscoëfficiënt van NR.

Factor	coëfficiënt	σ	t value	p-waarde	significantie ¹
Intercept)	20.6	17.0	1.215	0.22790	
c(*NR)	0.10	0.053	1.874	0.06445	.
Bodem_KLEI	-18.0	12.3	-1.466	0.14654	
Bodem_LÖSS	18.6	18.0	1.034	0.30406	
Bodem_Z1	-16.4	16.0	-1.027	0.30757	
Bodem_Z2	69.4	20.4	3.399	0.00104	**
Gt_NAT	-47.4	31.9	-1.484	0.14150	
Gt_GEMIDDELD	16.2	16.7	0.971	0.33442	

De coëfficiënt van NR is voor grasland half zo groot als bij bouwland, hetgeen betekent dat een stijging van NR een stijging van de nitraatconcentratie teweeg brengt die op grasland half zo groot is als op bouwland. Deze verhouding stemt overeen met die tussen de uitspoelfactoren 0,44 voor grasland en 0,90 voor bouwland op zandgrond met Gt VIII (p. 48 hoofdrapport). De coëfficiënt van NR (0,2 voor bouwland, 0,1 voor grasland) is echter fors kleiner dan in Sturen op Nitraat (0,6 à 0,7 voor grasland en bouwland, en tot 0.9 voor maïs; zie hoofdrapport pag. 26-27). Hierop komen we terug in de discussie.

Voorts blijkt uit Tabellen 6.6a en 6.7a dat het effect van NR in deze pilot relatief beperkt was ten opzichte van de effecten van bodem en gt, voor zowel bouwland als grasland. Bij een 25%-75% percentielfstand van ca 140 kg/ha voor NR bedraagt dat effect op de nitraatconcentratie respectievelijk ca 28 en 14 mg/l. Voor bouwland is dit effect ook klein ten opzichte van de intercept-waarde van 196 mg/l.

Omdat a priori een effect van beweiding op de nitraatconcentratie werd verwacht, is de analyse nogmaals gedaan, maar nu met opname van een hoofdfactor voor beweidingsintensiteit (koeweide-uren; tabel 6.8). Hierbij is het belangrijk om op te merken dat meer dan 40 van de 91 graslandpercelen onbeweid waren, dus met de waarde 0 voor de factor koeweide-uren, waardoor een heel scheve verdeling ontstaat van beweidingsintensiteit over de graspercelen. Resultaat is een eveneens significant lineair model voor grasland, maar nu met beweidingsintensiteit als significante verklarende factor in plaats van NR (Tabel 6.8). Bij de ANOVA komt daarnaast Gt nog als enigszins significante factor erbij ($p < 0,10$). Het onderzoek naar interacties leverde geen aanvullende informatie op doordat er te weinig combinaties van factoren in de dataset beschikbaar waren.

Tabel 6.8: Lineair regressiemodel voor nitraatconcentratie op grasland met beweiding (koeweide-uren) met $p = 0,0017$ en $r^2 = 0.258$. De coëfficiënten van bodem en gt geven het verschil ten opzichte van Bodem_Z3 en GT_DROOG. c Is de richtingscoëfficiënt van NR.

Factor	coëfficiënt	σ	t value	p-waarde	significantie ¹
Intercept	22.6	18.7	1.207	0.23089	
c(*NR)	0.06	0.07	0.844	0.40141	
bodem_KLEI	-17.5	12.5	-1.395	0.16686	
BODEM_LÖSS	16.7	18.2	0.921	0.35987	
Bodem_Z1	-13.7	16.2	-0.847	0.39945	
Bodem_Z2	67.0	20.3	3.300	0.00145	**
Gt1	-47.2	31.9	-1.481	0.14261	
Gt2	12.6	17.1	0.739	0.46225	
beweiding	0.016	0.009	1.852	0.06768	.

Tot slot volgt hier nog de stapsgewijze afleiding van het beste model voor grasland zonder interacties, waarbij ook nog de factoren vruchtwisseling en neerslagoverschot zijn meegenomen (Tabel 6.9). Bij de variable selection valt NR weg als verklarende factor, alleen Bodem en neerslagoverschot zijn hier significante verklarende factoren, ook volgens de ANOVA.

Tabel 6.9: Stapsgewijs afgeleid lineair regressiemodel voor nitraatconcentratie op grasland met een p-waarde van 0.00105 en r^2 0,2128. De coëfficiënten van bodem en gt geven het verschil ten opzichte van het intercept, dat dus geldt voor de combinatie bodem_ GT: Z3_DROOG. NR is niet geselecteerd en dus geen onderdeel van het model.

Factor	coëfficiënt	σ	t value	p-waarde	significantie ¹
Intercept	49.7	41.8	1.19	0.238	
Bodem_KLEI	26.7	23.0	1.61	0.249	
Bodem_LÖSS	-74.6	59.9	-1.25	0.217	
Bodem_Z1	-10.3	15.8	-0.66	0.515	
Bodem_Z2	92.1	23.0	4.00	0.000	***
Gt_NAT	-28.9	32.5	-0.89	0.376	
Gt_GEMIDDELD	18.7	17.6	1.06	0.291	
Beweiding	0.014	0.009	1.52	0.132	
Neerslag ²	0.188	0.130	1.50	0.151	
Neerslagov. 1 ³	1.11	0.637	1.74	0.083	.
Neerslagov. 2 ⁴	-1.32	0.653	-2.02	0.047	*

² Neerslag (mm) tussen grondbemonstering (NR) en nitraatbemonstering

³ Neerslagoverschot (mm) tussen grondbemonstering (NR) en nitraatbemonstering

⁴ Neerslagoverschot (mm) tussen droogste moment van het groeiseizoen en nitraatbemonstering

Aanvulling op de discussie en de conclusies uit het hoofdrapport

- a) Dit deel van het onderzoek bevestigt dat nitraatpuntmetingen niet geschikt zijn als indicator voor het risico op nitraatuitspoeling op percelen omdat er te veel puntmetingen nodig zijn (orde 300) voor een betrouwbare schatting van de gemiddelde nitraatconcentratie op een perceel (het geschat gemiddelde ligt dan met 95% zekerheid tussen 90% en 110% van het werkelijk gemiddelde). Als wordt uitgegaan van 5 puntmetingen per perceel dan zijn ongeveer 500 percelen nodig voor een even betrouwbare schatting van het clustergemiddelde (gemiddelde van een reeks percelen met hetzelfde gewas, bodemtype en grondwatertrap).
- b) Bij de vorige conclusie moet worden bedacht dat deze is gebaseerd op een enkel seizoen nitraatmetingen op een beperkte ruimtelijke schaal en dat er voor het benodigde aantal puntmetingen per cluster en per perceel voor een betrouwbaar gemiddelde mogelijk ook efficiëntere strategieën te bedenken zijn. Het verdient aanbeveling om het veel groter aantal metingen uit LMM (zowel in de tijd als in de ruimte) te benutten voor het bepalen van de meest efficiënte strategie.
- c) De gemiddelde nitraatconcentraties op zandgrond in deze pilot liggen zoals verwacht hoger dan op de andere grondsoorten, en gemiddeld ook ver boven de nitraatnorm van 50 mg/L, vooral op de droge zandgronden. Ook de gemiddelde concentraties op de andere grondsoorten en Gt-klassen liggen hoger dan de norm, behalve op de vochtige klei- en moerige zandgronden, waar meer denitrificatie mag worden verwacht. De gevonden waarden (gemiddelden van ruim 100 en ruim 200 mg/l voor resp. vochtig en droog zand) zijn fors hoger dan de waarden die de laatste jaren in het LMM worden gevonden en werden gerapporteerd in de Evaluatie Mestbeleid (Van Grinsven en Bleeker, 2017). Hierbij moet bedacht worden dat 1) de selectie van bemonsterde percelen niet representatief is voor de zandgebieden uit LMM, en 2) dat 2018 een uitzonderlijk droog jaar was (e).
- d) In alle regressiemodellen voor nitraatconcentratie domineren de factoren bodem en gt. In deze studie werd de dataset a priori opgesplitst in grasland, bouwland en maïs (maïs werd later toegevoegd aan bouwland), naar aanleiding van de resultaten van Sturen op Nitraat. Ook nu werden duidelijke verschillen in zowel NR als nitraatconcentratie waargenomen tussen verschillend landgebruik (gewas). Bij gebruik van NR als indicator voor nitraatuitspoeling dient daarom steeds onderscheid te worden gemaakt naar cluster (bodem-gt-gewas-combinatie). Ook uitspoelfactoren voor bodem-gt-gewas-combinaties kunnen daarom gezien worden als indicator voor het risico op nitraatuitspoeling voor zover veroorzaakt door gewaskeuze en de condities bodem en gt. Voor risico's gekoppeld aan het management kunnen stikstofbodemoverschot en NR worden ingezet, eventueel aangevuld met andere managementfactoren (als najaarsbeweiding, vanggewas en dynamiek van organische N). Voor een zo betrouwbaar mogelijke schatting van het risico op nitraatuitspoeling is dus een combinatie van deze indicatoren gewenst.
- e) Analyse van de resultaten uit de pilot met behulp van lineaire regressie laten zien dat NR significant bijdraagt aan de verklaarde variantie in nitraatconcentratie. De schatting van de richtingscoëfficiënt voor NR bedroeg op bouwland 0,2 en op grasland 0,1 mg NO₃/L per kg N/ha. Deze waarden zijn aanzienlijk lager dan de waarden gerapporteerd in Sturen op Nitraat (zie hoofdrapport, p. 26). Deels wordt dit toegeschreven aan de na-ijling van nitraatconcentratie in grondwater. Terwijl NR in het droge warme seizoen 2018 waarschijnlijk fors hoger lag dan in een gemiddeld jaar (in Vlaanderen vond men in 2018 gemiddeld een verhoging met ca. 50%), gold dat in mindere mate voor de nitraatconcentratie in grondwater, omdat deze de resultante is van meerdere daaraan voorafgaande uitspoelingsjaren.
- f) Dat het effect van NR op bouwland groter was dan op grasland stemt overeen met hogere uitspoelfactoren voor bouwland zoals afgeleid uit het LMM (zie hoofdrapport, p. 48), maar niet met resultaten uit Sturen op Nitraat (hoofdrapport, p. 26), waar de coëfficiënten voor bouwland en grasland ongeveer gelijk waren (0,6-0,7; en voor maïs hoger tot 0,9 mg NO₃/L per kg N/ha).
- g) We bevelen aan om NR in te zetten in het kader van een breder opgezet monitoringsysteem, waarin de rol van NR is om directe feedback te geven op het management in betreffend seizoen. Andere methoden binnen zo'n geïntegreerde aanpak zijn sturing op het stikstofbodemoverschot

(Kringloopwijzer en NutrientenBalans), gebruik van uitspoelfactoren (risico op basis van gewas, bodem en gt), en monitoring van de nitraatconcentratie in grondwater op gebiedsniveau.

Aanvullende literatuur

Grinsven, Hans van en Albert Bleeker, 2017. Evaluatie Meststoffenwet 2016: Syntheserapport. PBL-publicatienummer 2258, © PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.

Hack-ten Broeke, Mirjam & Burgers, Saskia & Smit, Annemieke & Berge, & ten, & Gruijter, & Hoving, I.E. & Knotters, M. & Radersma, Simone & Velthof, G.L.. (2004). Ontwikkeling van een indicator om te sturen op nitraat; gegevens en regressieanalyse op basis van drie meetseizoenen (2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003).

"Rapportage Project Nitraatwijzer Fase I" (Noij en ten Berge, 2019)

BIJLAGE 6: Benodigd aantal puntmetingen voor een betrouwbaar gemiddelde nitraatconcentratie

Paul Goedhart en Sabine Schnabel

De vraag is hoeveel nitraat puntmetingen zijn nodig om een betrouwbaar gemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater van een perceel vast te stellen. Daarvoor gebruiken we het criterium van een 95% betrouwbaarheidsinterval rond het gemiddelde van 90-110%

Omdat het criterium is uitgedrukt in quotiënten, dat wil zeggen betrouwbaarheidsgrenzen van 110% van het gemiddelde, gaan we uit van een analyse op log-schaal. Dat is ook gebruikelijk voor concentraties. Op log schaal hebben we dan het volgende model met een random component perceel_i die de variatie tussen percelen representeert en een component e_{ij} die de variatie tussen puntmetingen binnen een perceel representeert

$$y_{ij} = \mu + \text{perceel}_i + e_{ij} \text{ met varianties } \sigma_p^2 \text{ en } \sigma^2.$$

We gaan er nu vanuit dat we, na een analyse op log-schaal, schattingen hebben van σ_p^2 en σ^2 . Er zijn twee vragen:

1. Hoeveel metingen N moet ik doen om een nauwkeurig beeld te krijgen van de gemiddelde concentratie μ van een individueel perceel. Een betrouwbaarheidsinterval voor μ wordt gegeven door, nog steeds op log-schaal $\mu + 2\sigma/\sqrt{N}$. Op de oorspronkelijke schaal is de bovengrens van het interval dan een factor $\exp(2\sigma/\sqrt{N})$ groter dan het gemiddelde $\exp(\mu)$. De eis is dat $\exp(2\sigma/\sqrt{N}) = F$ met $F=1.1$. Er volgt $N = \lceil 2\sigma/\log F \rceil^2$.
2. Hoeveel percelen P moet ik bemonsteren om een nauwkeurig beeld te krijgen van het gemiddelde μ van een populatie percelen. De parameter μ heeft nu dus een andere betekenis. Als er N metingen per perceel beschikbaar zijn, dan is de variantie van het geschatte gemiddelde $\tau^2 = \sigma_p^2/P + \sigma^2/(PN)$. Het interval is dan $\mu \pm 2\tau$. De eis is nu $\exp(2\tau) = F$ en daaruit volgt $P = (4\sigma_p^2 + 4\sigma^2/N)/\log F^2$. Merk op dat als $\sigma_p^2 \gg \sigma^2$ (de spreiding tussen percelen is veel groter dan tussen puntmetingen binnen een perceel) het weinig zin heeft om meerdere puntmetingen per perceel te doen. In de analyse zijn we uitgegaan van $N=5$, dus 5 puntmetingen per perceel, om het benodigde aantal percelen te berekenen.

Er zijn nu 2 analyses op logschaal uitgevoerd om schattingen van σ_p^2 , σ^2 , N en P te verkrijgen, waarbij wel of niet gecorrigeerd wordt voor allerlei verklarende factoren zoals bodem, gt en gewas. Als er wel gecorrigeerd wordt dan is het uitgangspunt in de beantwoording van vraag 2, dat het gaat om een populatie percelen met dezelfde kenmerken bodem, gt en gewas (zelfde cluster). Als er niet gecorrigeerd wordt, dan behoort die populatie niet tot hetzelfde cluster.

In de analyses is de waarde 2,5 mg/L gebruikt voor $[\text{NO}_3]$ beneden de detectiegrens van 5 mg/L

Analyse met een linear mixed model (no correction for other terms)

```
summary(my_lmm_1T_c)
```

```
## Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method [
## lmerModLmerTest]
## Formula: log(value_c) ~ (1 | code_rivm)
## Data: my_data_long_c
##
## REML criterion at convergence: 2792.3
##
## Scaled residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -4.0289 -0.3424 -0.0260  0.4617  3.3287
##
```



```
## Random effects:
##   Groups      Name      Variance Std.Dev.
##   code_rivm (Intercept) 1.9737   1.405
##   Residual              0.6658   0.816
## Number of obs: 938, groups:  code_rivm, 184
##
## Fixed effects:
##              Estimate Std. Error      df t value Pr(>|t|)
## (Intercept)    3.283      0.107 182.819   30.68  <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

De schatting voor σ_p^2 is 1.974, de schatting voor σ^2 is 0.666. De variatie tussen percelen is groter dan binnen percelen.

```
sig_p_2 <- round(as.data.frame(summary(my_lmm_lT_c)$varcor)[1,4],3)
sig_2 <- round(as.data.frame(summary(my_lmm_lT_c)$varcor)[2,4],3)

num_met <- (2*sqrt(sig_2)/log(1.1))^2
num_met
```

```
## [1] 293.2619 (N)

num_perc <- (4*sig_p_2 + 4*sig_2/5)/log(1.1)^2
num_perc

## [1] 927.8701 (P)
```

Hier zien wij het antwoord op vraag 1 (num_met; N) en vraag 2 (num_perc; P) met $N = 5$

Analyse met een linear mixed model (WITH correction for other terms: bodem, gt, gewas, geen interacties)

Hier corrigeren wij nu voor bodem (5 levels), gt (3 levels), gewas (3 levels) door deze als fixed main effect mee te nemen (zonder interacties). De referenties zijn: bodem=Z3/gt=3/gewas=gras.

```
summary(my_lmm_lT_corr_c)

## Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method [
## lmerModLmerTest]
## Formula: log(value_c) ~ bodem + gt + gewas + (1 | code_rivm)
## Data: my_data_more_long_c
##
## REML criterion at convergence: 2683.3
##
## Scaled residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -4.0652 -0.3772 -0.0169  0.4715  3.4484
##
## Random effects:
##   Groups      Name      Variance Std.Dev.
##   code_rivm (Intercept) 1.0333   1.017
##   Residual              0.6658   0.816
## Number of obs: 938, groups:  code_rivm, 184
##
```

```
## Fixed effects:
##           Estimate Std. Error      df t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  4.3637     0.2323 174.6788  18.781 < 2e-16 ***
## bodemK       -1.8271     0.2004 174.2941  -9.119 < 2e-16 ***
## bodemL       -1.0882     0.3187 175.3062  -3.414 0.000794 ***
## bodemZ1      -0.1211     0.2480 174.7009  -0.488 0.625833
## bodemZ2       0.1494     0.3514 174.8036   0.425 0.671270
## gt1          -2.2425     0.5272 175.1508  -4.254 3.42e-05 ***
## gt2          -0.8510     0.2043 174.9570  -4.166 4.86e-05 ***
## gewasm        0.4200     0.2879 173.9305   1.459 0.146464
## gewasovb      0.4684     0.1853 174.8740   2.528 0.012351 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Correlation of Fixed Effects:
##           (Intr) bodemK bodemL bodmZ1 bodmZ2 gt1      gt2      gewasm
## bodemK      -0.316
## bodemL      -0.690  0.240
## bodemZ1     -0.354  0.409  0.259
## bodemZ2     -0.124  0.316  0.095  0.250
## gt1         -0.219 -0.084  0.147 -0.189 -0.168
## gt2         -0.687 -0.141  0.485  0.022 -0.188  0.290
## gewasm      -0.247 -0.063  0.023 -0.009 -0.028  0.081  0.097
## gewasovb    -0.578 -0.078  0.378 -0.014 -0.034  0.129  0.303  0.277

car::Anova(my_lmm_lT_corr_c, type=3, test.statistic="F")
```

```
## Analysis of Deviance Table (Type III Wald F tests with Kenward-Roger df)
##
## Response: log(value_c)
##           F Df Df.res      Pr(>F)
## (Intercept) 352.7262  1 174.88 < 2.2e-16 ***
## bodem       27.1585  4 175.20 < 2.2e-16 ***
## gt         13.7451  2 175.26 2.85e-06 ***
## gewas       3.5075  2 174.59  0.0321 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

De schatting voor σ_p^2 is 1.033, de schatting voor σ^2 is 0.666. Er is nu minder verschil tussen de beide varianties.

```
sig_p_2_c <- round(as.data.frame(summary(my_lmm_lT_corr_c)$varcor)[1,4],3)
sig_2_c <- round(as.data.frame(summary(my_lmm_lT_corr_c)$varcor)[2,4],3)

num_met_c <- (2*sqrt(sig_2_c)/log(1.1))^2
num_met_c

## [1] 293.2619 (N)

num_perc_c <- (4*sig_p_2_c + 4*sig_2_c/5)/log(1.1)^2
num_perc_c

## [1] 513.5166 (P)
```

Hier zien wij het antwoord op vraag 1 (num_met_c; N) en vraag 2 (num_perc_c; P) met $N = 5$