

2. Nitraat in het bovenste grondwater van ‘De Marke’ en van andere bedrijven

L.J.M. Boumans, B. Fraters & G. van Drecht (RIVM, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu)

2.1 Inleiding

2.1.1 Algemeen

Het mestbeleid heeft onder andere tot doel de stikstofoverschotten in de landbouw te verminderen zodat de stikstofverliezen naar het grond- en oppervlaktewater zullen afnemen (Henkens, 2001). Het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) is eind jaren tachtig gestart om de effecten van het mestbeleid te kunnen evalueren. Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en het Landbouweconomisch Instituut (LEI) voeren dit meetnet uit in opdracht van de ministeries van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV). Het LMM maakt deel uit van een verzameling meetnetten voor bodem- en grondwaterkwaliteit die door het RIVM worden gebruikt voor haar Milieu Planbureau taak. Tabel 2.1 geeft een overzicht van landelijke meetnetten voor bodem- en grondwaterkwaliteit

Het LMM heeft twee functies: evalueren en verkennen. Geëvalueerd wordt of de nutriëntenoverschotten afnemen en daardoor de grondwaterkwaliteit op landbouwbedrijven verbetert. Verkend wordt welke grondwaterkwaliteit (nitraatconcentratie) gerealiseerd kan worden op bedrijven met geringere mineralenoverschotten (stikstof)¹ dan gemiddeld.

De evaluatie geschiedt op basis van gegevens van representatieve landbouwbedrijven, die zijn geselecteerd uit het Bedrijfsinformatienetwerk (BIN) van het LEI. Een voorwaarde bij de selectie was dat de bedrijven representatief zijn voor het landbouwareaal in de zandgebieden. Onder de groep representatieve bedrijven komen bedrijven voor met een laag stikstofoverschot.

De verkenning wordt, in tegenstelling tot de evaluatie, uitgevoerd op:

- landbouwbedrijven, die uit het BIN zijn geselecteerd op een laag stikstofoverschot,
- landbouwbedrijven die meedoen aan projecten die als doel hebben een zo laag mogelijk stikstofoverschot te bereiken; dit zijn het project Management Duurzame Melkveehouderij (MDM; 1993-1998), het project Biologische Veehouderij en Management (BioVeeM; vanaf 1997) en het project ‘Koeien & Kansen’ (K & K; vanaf 1999),
- proefbedrijven die als doel hebben om zo laag mogelijk stikstofoverschot te bereiken; dit zijn ‘De Marke’ in de Achterhoek en de Lovinkhoeve in de Noordoostpolder.

Het LMM is van start gegaan in de zandgebieden. Het grondwater in zandgebieden bevat van nature minder nutriënten dan dat in klei- en veengebieden en de kwaliteit wordt bedreigd door de hoge bodembelasting met nutriënten in de afgelopen decennia. Momenteel omvat LMM ook meetpunten in de klei- en veengebieden.

Het LMM onderzoek op ‘De Marke’ heeft tot doel te achterhalen:

- wat in een kwetsbare situatie, bij een normale melkproductie en een zo laag mogelijk stikstofoverschot, de stikstofuitspoeling is,
- hoelang het duurt voordat deze uitspoeling is bereikt,
- of ‘De Marke’ in het bovenste grondwater onder de EU-drinkwaternitraatnorm van 50 mg l⁻¹ komt. Dit doel is door ‘De Marke’ zelf gesteld (Aarts *et al.*, 1992).

¹ Hoewel stikstof geen mineraal is in de strikte zin van het woord, wordt deze terminologie hier gebruikt om aan te sluiten bij de sector en het beleid.

Tabel 2.1. *Overzicht van de meetnetten voor bodem- en grondwateronderzoek.*

Meetnet	Ontwikkeling volgen van	Schaalniveau	Meetfrequentie	Eerste meetjaar en aantal locaties			
				zand	klei	veen	löss
LMB (Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit)	Accumulerende stoffen (fosfor, zware metalen, organische mi- cro's) in relatie tot bedrijfsvoe- ring en atmosferische depositie	Landbouwbedrijf Bosopstand	Eén keer in de zes jaar, vaste groep	1993 (100)	1996 (60)	1995 (20)	-
LMM (Landelijke Meetnet effecten Mestbeleid)	Nutriëntconcentraties in boven- ste meter van het grondwater in relatie tot bedrijfsvoering en atmosferische depositie	Landbouwbedrijf Bos en heideveld (1-25 ha)	Variabel Wisselende groep	1989 (250)	1992 (50)	1995 (20)	-
LMG (Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit)	Kwaliteit diepere grondwater (10 en 25 meter beneden maaiveld)	Put	Variabel (om de 1- 4 jaar) Vaste locaties	1984 (221)	1984 (100)	1984 (37)	1984 (9)
ISDIV (Informatiesysteem Drink- en Industrierwatervoor- ziening)	Kwaliteit ruw- en reinwater	Pompstation	Meerdere keren per jaar Vaste locaties	1992 ca. 192	1992 ca. 42	1992	1992 ca. 15

De LMM-metingen op representatieve landbouwbedrijven in de zandgebieden uit 1992-1995 worden gebruikt als referentie voor 'De Marke'. Deze groep van 94 bedrijven is representatief voor 62% van het agrarisch oppervlak in de zandgebieden (Fraters *et al.*, 1997). Ook wordt 'De Marke' vergeleken met MDM-bedrijven.

2.1.2 Stikstofuitspoeling, nitraatuitspoeling en nitraatconcentratie

Het stikstofverlies naar het grondwater, de stikstofuitspoeling, vindt hoofdzakelijk plaats in de vorm van nitraat dat is opgelost in water dat de wortelzone aan de onderzijde verlaat. Ammonium en organische stikstof zijn andere vormen van stikstof die kunnen uitspoelen. Gemiddeld genomen bestaat 5% van de stikstof in een grondwatermonster van de bovenste meter grondwater in de zandgebieden uit ammonium, 13% uit organische stikstof en 82% uit nitraat (Fraters, 1998). Het is onduidelijk in hoeverre ammonium en organische stikstof van nature in opgeloste vorm aanwezig zijn of door de monsternamen uit de bodem zijn vrijgemaakt (zie Sectie 2.1.3).

De nitraatconcentratie in het bovenste grondwater wordt hoofdzakelijk door drie factoren bepaald:

1. de grondwaterstand,
2. variaties in neerslag en verdamping,
3. het stikstofoverschot.

ad 1 Grondwaterstand

Bij ondiepere grondwaterspiegels is er meer kans op anaërobie en daardoor op denitrificatie. De nitraatconcentratie blijkt daarom afhankelijk van de grondwaterstandshoogte (Gt), (Werkgroep, 1985; Boumans *et al.*, 1989)

ad 2 Variaties in neerslag en verdamping

Variaties in neerslag en verdamping leiden tot variaties in grondwateraanvulling. De gemiddelde grondwateraanvulling in Nederland bedraagt ongeveer 300 mm per jaar. Als de bodemporositeit 0,33 bedraagt, dan bevindt het water van de jaarlijkse aanvulling zich in de bovenste meter onder de grondwaterspiegel. Bodemvocht, boven de grondwaterspiegel, stroomt nagenoeg alleen in verticale richting maar grondwater kan ook horizontaal stromen. De doorlatendheid van dieper gelegen dekzandlagen bedraagt ongeveer 2 km per jaar (Meinardi *et al.*, 1978). Dekzand dat aan het oppervlak is gelegen zal meer leem en klei bevatten, waardoor de doorlatendheid minder is. De gradiënt van grondwaterstijghoogten is gemiddeld ongeveer 1 m/km in Nederland. Hieruit kan worden afgeleid dat de horizontale stroomsnelheid van het grondwater niet meer dan enkele meters per jaar bedraagt. Het bovenste grondwater is dus regenwater dat meestal ter plekke is geïnfilteerd. Variaties in de grondwateraanvulling leiden er onder andere toe dat het uitspoelend nitraat wordt opgelost in een variabele hoeveelheid water, waardoor de nitraatconcentratie van het grondwater varieert (Boumans *et al.*, 1997). Door natte en droge jaren kan de nitraatconcentratie met meer dan een factor twee verschillen (Fraters *et al.*, 1997).

Er kan worden verwacht dat in het voorjaar systematisch andere nitraatconcentraties voorkomen dan in het najaar, door zogenaamde seizoenseffecten. Bijvoorbeeld, in het najaar is meestal de grondwaterstand dieper en daardoor is de bovenste meter van het grondwater ouder. Door meer denitrificatie kan dan meer nitraat uit het grondwater zijn verdwenen. Hiervan is tot nu toe in het LMM niets gebleken (Fraters *et al.*, 1997).

ad 3 Stikstofoverschot

Door een groter stikstofoverschot spoelt meer nitraat uit onder overigens gelijke omstandigheden.

2.1.3 Voorafgaand onderzoek op 'De Marke'

In 1995 is voor de eerste keer een vergelijking gemaakt tussen 'De Marke' en representatieve bedrijven (Boumans & Fraters, 1995). De conclusie was dat de gemiddelde nitraatconcentratie op 'De Marke' was gedaald van 193 mg l⁻¹ in 1990 naar 60 mg l⁻¹ in 1994, maar dat reeds in 1992, na drie jaar maatregelen, de nieuwe 'evenwichtssituatie' bereikt was. Voor de gemiddelde nitraatconcentratie in de nieuwe evenwichtssituatie is een ruwe schatting gemaakt van ongeveer 100 mg l⁻¹, rekening houdend met de weersomstandigheden in de periode 1992-1994, die droger waren dan het meerjarig gemiddelde. In het maandverslag van 'De Marke', september 1998, is een uitgebreidere analyse gemaakt van de gevonden nitraatconcentraties in het bovenste grondwater en de invloed van het weer. Er werd geconstateerd dat er in de periode 1992-1997 geen duidelijke toe- of afname was waar te nemen van de nitraatconcentraties, indien rekening werd gehouden met de weersinvloeden. De gemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater van 'De Marke' bij gemiddelde waarden voor neerslag en verdamping (deze waarden zijn berekend voor de periode 1978-1997) werd geschat op ongeveer 74 mg l⁻¹. Er werd geconstateerd dat 'De Marke' stikstof efficiënter benut dan representatieve bedrijven en dat eenzelfde pakket maatregelen als geïmplementeerd op 'De Marke', op de meeste representatieve bedrijven met ondiepere grondwaterstanden, waarschijnlijk wel zal leiden tot een gemiddelde nitraatconcentratie onder de EU-nitraatnorm. Deze constatering was mede gebaseerd op mondelinge mededelingen over de resultaten van een recente Gt-opname van het bedrijf.

Door Hack-ten Broeke & De Groot (1995) werd eveneens geconstateerd dat verschillen in neerslagoverschot en grondwaterregime een grotere invloed hebben op de nitraatconcentratie dan de verschillende perceelsbehandelingen. Conijn (2000) vond, gemiddeld over de periode 1993-1998, nauwelijks verschillen in de nitraatconcentratie tussen 'blijvend grasland', 'huiskavel' en 'veldkavel' (Hilhorst & Oenema, 2001).

De verschillen tussen de jaren in gemiddelde nitraatconcentraties van het bedrijf, in de periode na 1992, lijken dus eerder te zijn bepaald door het weer dan door het bedrijfsmanagement.

2.1.4 Doel van het LMM-grondwateronderzoek op 'De Marke'

In Sub-sectie 2.1.1 is gemeld dat het doel van het LMM-grondwateronderzoek op 'De Marke' is om de stikstofuitspoeling in de zandgebieden, bij een normaal melkproductieniveau en een zo laag mogelijk stikstofoverschot, te achterhalen en vast te stellen hoe lang het duurt voordat deze minimale uitspoeling wordt bereikt. In Sub-sectie 2.1.2 is aangegeven dat de stikstofuitspoeling voornamelijk plaats heeft in de vorm van nitraat en dat nitraatconcentraties in de bovenste meter grondwater indicatief zijn voor de stikstofuitspoeling. De gemiddelde nitraatconcentratie op 'De Marke' wordt jaarlijks gemeten om, met behulp van weersgegevens, na te gaan of de stikstofuitspoeling op 'De Marke' duidelijk lager is dan op andere bedrijven. Vervolgens wordt op dezelfde wijze nagegaan of de stikstofuitspoeling op 'De Marke' daalt.

2.2 Meten en rekenen

2.2.1 Meten

2.2.1.1 Bemonstering van een bedrijf; variabiliteit en systematische fout

Het grondwater van een bedrijf kan vanwege technische redenen niet in zijn geheel worden bemonsterd. Er kunnen alleen puntmetingen van de grondwaterkwaliteit worden gedaan. Op een bedrijf kunnen tussen puntmetingen grote verschillen voorkomen. Om betrouwbaar de gemiddelde nitraatconcentratie van een bedrijf vast te stellen zijn veel puntmetingen nodig. Veel 'quick and dirty'

puntmetingen, mits deze niet gepaard gaan met systematische fouten, geven in de praktijk een nauwkeuriger beeld voor een bedrijf dan een beperkt aantal nauwkeurige puntmetingen (Ramsey, 1993). Indien een verandering op een bedrijf of een verschil tussen twee bedrijven wordt berekend als het verschil van twee metingen, dan mag een meting ook een systematische fout hebben, als deze fout op beide meetmomenten of op beide bedrijven dezelfde is. Met andere woorden de systematische fout verdwijnt als verschillen worden berekend.

2.2.1.2 Bemonstering van de bovenste meter grondwater

De bemonstering van grondwater is minder arbeidsintensief dan de bemonstering van bodemvocht onder de wortelzone. Vaak is dit laatste zelfs niet mogelijk omdat, vooral in de zomer, niet genoeg vocht aanwezig is.

Door de bovenste meter van het grondwater te bemonsteren krijgt men, gemiddeld genomen, een indruk van de nitraatuitspoeling van een voorafgaand jaar (Sub-sectie 2.1.2). Een bemonsteringsfrequentie van eenmaal per jaar is optimaal om zo snel mogelijk kwaliteitsveranderingen vast te stellen, omdat na 1 jaar, gemiddeld genomen, de bovenste meter ververs is. Als een minder dikke waterlaag wordt bemonsterd, kunnen seizoensinvloeden een grotere spreiding van de gevonden nitraatconcentraties veroorzaken, terwijl we geïnteresseerd zijn in de jaarlijkse gemiddelde concentratie. De bovenste meter grondwater wordt bemonsterd, omdat wordt verwacht dat dit grondwater afkomstig is van regenwater dat binnen enkele meters afstand van het monsterpunt is gevallen (Sub-sectie 2.1.2).

In het algemeen geldt dat de hoogste nitraatconcentraties in het bovenste grondwater worden gevonden. Naarmate dieper onder de grondwaterspiegel wordt bemonsterd, neemt de kans toe dat nitraat door denitrificatie uit het grondwater is verdwenen. Bovendien reageert de nitraatconcentratie in dieper grondwater trager op afnemende stikstofverliezen uit de wortelzone dan het bovenste grondwater. Herkomst en ouderdom van dieper grondwater zijn minder duidelijk dan die van het bovenste grondwater.

2.2.1.3 Uitvoering puntmeting

Plaatsing bemonsteringslans

In Nederland komt de grondwaterspiegel meestal binnen 5 m vanaf het maaiveld voor. Dit grondwater kan op elk punt van een perceel of bedrijf worden bemonsterd via een met de hand gemaakt boorgat tot onder de grondwaterspiegel. Voor het LMM wordt in de zandgebieden een boorgat gemaakt tot 80 cm onder de grondwaterspiegel. Hierbij wordt een kraag van 50 cm in het gat geplaatst om te verhinderen dat materiaal uit de wortelzone onderin het gat valt. In dit boorgat wordt een holle buis geplaatst, de bemonsteringslans, die aan de onderzijde over een zekere lengte is geperforeerd (in het LMM 50 cm voor zandgebieden). Indien het geperforeerde deel volledig onder de grondwaterspiegel wordt geplaatst, dan kan via onderdruk het grondwater naar het maaiveld worden gebracht. Het grondwater wordt vooral aangezogen via beter doorlatende lagen, zodat ongeveer de bovenste meter grondwater wordt bemonsterd.

In principe kan grondwater worden bemonsterd met behulp van onderdruk, als de grondwaterspiegel minder dan 10 m diep is. In de praktijk is de gerealiseerde onderdruk onvoldoende als de grondwaterspiegel dieper is dan 5 m onder het maaiveld. Daarom hebben alle grondwatergegevens van het LMM betrekking op situaties met het grondwater binnen 5 m onder het maaiveld.

Voor elke bemonstering wordt een nieuw boorgat gemaakt waarin een bemonsteringslans wordt geplaatst. Hierdoor wordt elk jaar op dezelfde manier bemonsterd, in tegenstelling tot de situatie waar

gebruik wordt gemaakt van putten die permanent blijven bestaan. Voordelen van eenmalige putten ten opzichte van permanente putten zijn:

- geen effect van de leeftijd van een eenmalige put op de grondwaterkwaliteit mogelijk (denk hierbij o.a. aan frequent betreden van de onmiddellijke omgeving van een put),
- afwerking, terugvinden, opgraven en tenslotte verwijderen van een permanente put kost meer tijd,
- een eenmalige put kan preciezer worden geplaatst om de bovenste meter grondwater te bemonsteren, vanwege grondwaterstandsfluctuaties,
- er is kans op beschadiging van permanente putten, bijvoorbeeld door ploegen.

Spoelen

Door het plaatsen van een bemonsteringslans wordt de bodem verstoord en kan materiaal van de bovengrond naar beneden worden verplaatst. De bovengrond bevat naar verwachting meer nutriënten, zoals nitraat, waardoor de nitraatconcentratie in het bemonsterde grondwater kan worden beïnvloed. Tevens is het mogelijk dat door de verstoring stoffen uit de vaste fase worden vrijgemaakt en in oplossing gaan. In de praktijk wordt eerst een liter grondwater onttrokken alvorens een monster wordt genomen (spoelen). Door veel spoelen kunnen versturende invloeden beperkt worden. Meer spoelen heeft echter als nadelen dat mogelijk grondwater uit diepere lagen wordt onttrokken en dat de bemonsteringstijd toeneemt. Het zou kunnen dat monsters meer nitraat en andere nutriënten bevatten indien minder gespoeld wordt.

Indien het grondwater moeilijk toestroomt wordt minimaal een halve liter gespoeld. Er is onderzocht in hoeverre de hoeveelheid spoelwater invloed heeft op de te meten concentraties. Op 48 landbouwbedrijven in de zandgebieden is een monster grondwater genomen nadat met een liter is voorgespoeld (standaard) en uit hetzelfde boorgat is een monster genomen na 10 maal zoveel (10 l) voorspoelen. De gemiddelde nitraat- en ammoniumconcentratie bedroeg respectievelijk 84 en 0,7 mg l⁻¹. Het gemiddelde verschil (concentratie 2e monster – concentratie 1e monster) was respectievelijk +4% en -17%. Het voor nitraat gevonden verschil van gemiddeld 4% meer nitraat in het tweede monster is niet significant. Er zijn dus geen aanwijzingen dat we door te weinig spoelen te veel nitraat vinden. Voor ammonium is mogelijk sprake van een significante afname door meer spoelen.

Filtreren en aanzuren

Het opgepompte water wordt in het veld gefiltreerd over een membraam-filter van 0,45 µm en aangezuurd met zwavelzuur (3 N H₂SO₄, pro analyse) tot circa pH 2. De monsters worden gekoeld bewaard tot verwerking.

De bemonstering op 'De Marke' wijkt af van de bemonstering op representatieve en voorloperbedrijven doordat niet direct in het veld wordt gefiltreerd en aangezuurd. Gezien het grote aantal monsters op 'De Marke' zou dat teveel tijd kosten. Er is onderzocht of deze afwijking invloed heeft op de gemeten nitraatconcentraties.

Op 18 landbouwbedrijven in de zandgebieden is uit een put een grondwatermonster genomen dat direct werd gefiltreerd en aangezuurd, een volgend monster werd direct bij aankomst in het laboratorium gefiltreerd en aangezuurd en tenslotte werd een monster na een week gefiltreerd en aangezuurd. Gemiddeld bedroeg de nitraatconcentratie in het eerste monster 138 mg l⁻¹ en in het tweede en derde monster 136 mg l⁻¹. Er zijn geen duidelijke verschillen gevonden.

2.2.1.4 Bemonsterde bedrijven

Representatieve bedrijven

Gedurende de periode 1992-1995 zijn binnen het LMM 94 representatieve bedrijven bemonsterd die deelnamen aan het LEI-Bedrijveninformatienet, LEI-BIN (Fraters *et al.*, 1997). In 1996 zijn geen representatieve bedrijven bezocht. De resultaten van representatieve bedrijven vanaf 1997 worden nog geanalyseerd en zijn daarom niet gebruikt als referentie voor 'De Marke'. Van de 94 representatieve bedrijven zijn er 31 gedurende alle vier de jaren bezocht, 55 zijn drie jaren bezocht en 9 twee jaar. De bemonstering van een bedrijf duurt maximaal 4 dagen. In 1992, 1993 en 1994 zijn 48 individuele monsters per bedrijf genomen. In 1995 zijn 16 monsters genomen, omdat de bedrijfsbemonstering in 1995 is geoptimaliseerd (Fraters *et al.*, 1997). De meetpunten op de representatieve bedrijven zijn evenredig met het perceelsoppervlak verdeeld over de percelen. Per perceel is de locatie van het meetpunt willekeurig geselecteerd. De bedrijfsbemonsteringen verschillen onderling, omdat het meetnet is geoptimaliseerd en omdat sommige bedrijven het LEI-BIN hebben verlaten. Elk jaar wordt, indien mogelijk, op ongeveer dezelfde locatie op een perceel een monster genomen.

MDM-bedrijven (project Management Duurzame Melkveehouderij, Beldman, 1997)

RIVM heeft van 1992 tot en met 1997 op 5 MDM-bedrijven, en in 1998 op 4 MDM-bedrijven in het zandgebied de nitraatconcentratie gemeten. Voor 1998 is de ontbrekende gemiddelde nitraatconcentratie geschat door interpolatie en vervolgens is weer een gemiddelde berekend met 5 afzonderlijke waarden. De uitgebreide gegevensverzameling op de MDM-bedrijven door het LEI heeft in de periode 1992 tot mei 1997 plaatsgevonden.

'De Marke'

'De Marke' is bemonsterd gedurende de periode 1990-1999. Er is gestreefd naar een bemonsteringsdichtheid van 3 monsters per hectare. Afhankelijk van de grootte van het perceel werden minimaal 4 en maximaal 13 monsters per perceel genomen. Elk jaar werd op ongeveer dezelfde locatie op een perceel een monster genomen.

2.2.1.5 Bepaling van bedrijfskenmerken

Grondwatertrap (Gt)

Het oppervlak van de representatieve bedrijven, MDM-bedrijven en 'De Marke' is afgelezen van de bodemkaart 1:50.000, waarop grondwatertrappen staan vermeld (De Vries & Denneboom, 1992). Het percentage oppervlak van Gt V, Gt V* en Gt VI is bepaald en als 'neutraal' geclassificeerd, dat van Gt VII, Gt VII* en Gt VIII als 'droog'. Het overig deel werd als 'nat' geclassificeerd. Deze Gt-classificatie wijkt af van de algemene definitie van droge gronden zoals die gebruikt wordt bij het mestbeleid. Dan wordt ook Gt VI gerekend tot de droge gronden. De gemiddelde nitraatconcentraties per bedrijf van de 94 representatieve bedrijven bleken beter gerelateerd te kunnen worden aan de eerstgenoemde classificatie (Boumans & Van Drecht, 1998). Om verwarring te voorkomen met een Gt die in het veld is bepaald, wordt de afgeleide Gt, 'kaart-Gt' genoemd. In het verleden is naast de Gt, indexconcentratie, grondwaterstand en stikstofaanvoer, geen invloed van het bodemtype op de nitraatconcentraties gevonden voor bedrijven in de zandgebieden (Boumans & Van Drecht, 1998).

Weersinvloeden op de nitraatconcentratie

Weersinvloeden op de nitraatconcentratie worden onderzocht met behulp van de zogenaamde indexconcentratie. De indexconcentratie wordt berekend met onder andere neerslag- en verdampings-

gegevens. De leeftijd van grondwater wordt gerelateerd aan het tijdstip dat het water via neerslag op de bodem is gekomen. De indexconcentratie neemt toe met het leeftijdsverschil tussen het oudste en jongste grondwater in de bovenste meter. De indexconcentratie geeft daardoor een idee van de mate van verdunning in de bovenste meter grondwater.

De indexconcentratie wordt berekend met de computercode ONZAT (Van Drecht, 1983) en tien-daagse gegevens over neerslag en verdamping. Een inerte stof wordt bij de computerberekeningen elke decade toegediend in een hoeveelheid van 10 mg m^{-2} . Indien de grondwateraanvulling 365 mm a^{-1} bedraagt, is de indexconcentratie in het bovenste grondwater 1 mg l^{-1} . Naarmate de bovenste meter de grondwateraanvulling van een kortere tijd bevat, neemt de indexconcentratie evenredig af. De indexconcentratie varieert in de tijd en naar plaats, omdat ontwateringsbases, neerslag en verdamping variëren. Zie voor een uitgebreidere beschrijving, Bijlage A in Boumans *et al.* (1997).

De indexconcentratie wordt berekend voor één bodemtype (bovengrond nummer 1 en ondergrond nummer 1 van Tabel 3 in Wösten *et al.*, 1987) en één vegetatietype (gras). De indexconcentratie is berekend voor 10 ontwateringsbases, variërend van 50 tot 500 cm min maaiveld, en voor de 9 weerdistricten in de zandgebieden (KNMI, maandoverzichten van het weer). Door verschil in ontwateringsbasis varieert de grondwaterstand bij identieke neerslag en verdamping.

Voor elk monsterpunt is de indexconcentratie opgezocht in de rekenresultaten, via het weerdistrict, tijd van monsternamen en de grondwaterstand in het boorgat. Op dezelfde manier als voor de gemeten nitraatconcentratie is ook de indexconcentratie gemiddeld voor berekening van een gemiddelde indexconcentratie per bedrijf.

2.2.2 Rekenen

2.2.2.1 Nitraatconcentratie en stikstofoverschot

De nitraatconcentratie van 'De Marke' kan vergeleken worden met de nitraatconcentraties van de representatieve bedrijven. Een lagere of hogere nitraatconcentratie gaat echter niet altijd samen met een lager of hoger stikstofoverschot.

Het stikstofoverschot van een perceel is het verschil tussen de hoeveelheid stikstof die op het maaiveld komt als kunstmest, dierlijke mest en ammoniakdepositie, en de hoeveelheid die het maaiveld aan de bovenkant weer verlaat in de vorm van plantaardige producten en ammoniakemissie. De stikstofuitspoeling is de hoeveelheid stikstof die via de wortelzone naar het grondwater verdwijnt. Het overschot kan niet in zijn geheel in het grondwater worden teruggevonden want:

- stikstof kan in de bodem worden vastgelegd of kan eruit vrijkomen; deze uitwisseling wordt niet gemeten,
- naast nitraat kunnen ook andere stikstofverbindingen uitspoelen; het is onbekend in hoeverre de gemeten verbindingen zijn uitgespoeld of uit de bodem zijn vrijgemaakt tijdens de monsternamen,
- nitraat kan worden gedenitrificeerd en verdwijnt dan uit het grondwater; dit proces wordt ook niet gemeten.

Het is desalniettemin toch mogelijk om verschillen in nitraatconcentraties tussen verschillende bedrijven toe te schrijven aan verschillen in stikstofoverschot.

Stel, voor twee bedrijven zijn weersomstandigheden, grondwaterstand, bodemtype, etc., identiek, en ook de overige bedrijfskenmerken, met uitzondering van het stikstofoverschot. Een hogere nitraatconcentratie in het bovenste grondwater kan direct geïnterpreteerd worden als een grotere nitraatuitspoeling, een gevolg van een groter stikstofoverschot, zonder dat de absolute grootte van de uitspoeling bekend is. In werkelijkheid zijn identieke bedrijven moeilijk te vinden. Om toch nitraatconcentraties te

kunnen vergelijken, is een gemiddelde relatie afgeleid tussen de nitraatconcentratie in het grondwater enerzijds, en indexconcentratie, grondwaterstand of Gt anderzijds, met uitzondering van het stikstofoverschot. De gemeten gemiddelde nitraatconcentraties per bedrijf zullen in meer of mindere mate afwijken van deze gemiddelde relatie. Behalve door een verschil in stikstofoverschot, kan dit veroorzaakt zijn door onbekende kenmerken en eventuele meetfouten. Behalve de gemiddelde relatie is ook de mate waarin afwijkingen voorkomen berekend. Heeft een bedrijf, met een geringer stikstofoverschot, een lagere nitraatconcentratie dan waarschijnlijk is volgens de berekende gemiddelde relatie en de optredende afwijkingen, dan wordt geconcludeerd dat dit is veroorzaakt door het geringere stikstofoverschot.

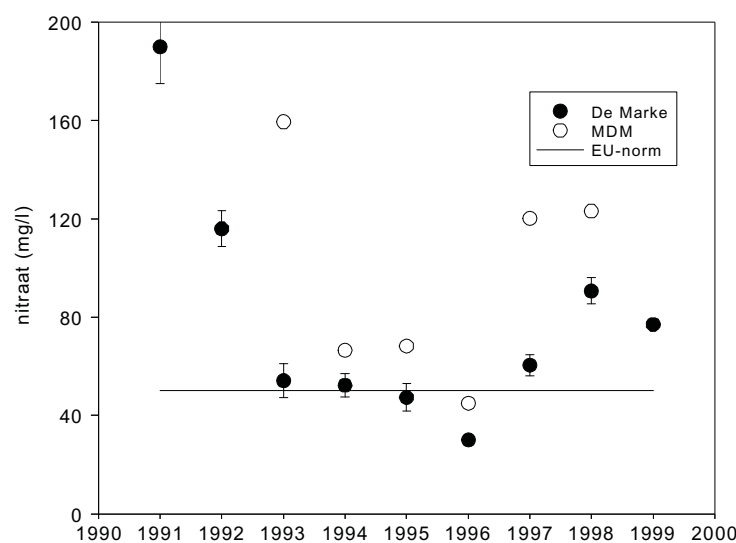
2.2.2.2 Vergelijking van nitraatconcentraties

De volgende nitraatconcentraties worden vergeleken:

1. de jaarlijks gemeten gemiddelde nitraatconcentraties van 'De Marke' en van vijf MDM-bedrijven, die zijn berekend door middelen van afzonderlijke metingen (Figuur 2.1),
2. de gemiddelde concentraties van 'De Marke' en 94 representatieve bedrijven die zijn berekend door middelen van de jaarlijks gemeten gemiddelde nitraatconcentraties (Figuur 2.2),
3. de concentraties uit Figuur 2.2 die zijn aangepast voor de indexconcentratie en de kaart-Gt (Figuur 2.3),
4. de concentraties uit Figuur 2.2 die zijn aangepast voor de indexconcentratie en de grondwaterstand tijdens de bemonstering (Figuur 2.4),
5. de jaarlijkse gemiddelde concentraties van 'De Marke' die zijn aangepast voor de indexconcentratie en de grondwaterstand (Figuur 2.5).

Ad 3, 4 en 5

De nitraatconcentraties zijn met regressie-analyse gerelateerd aan de Gt of grondwaterstand en de indexconcentratie. Dit resulteert in een regressiemodel. Voor elke concentratie is de afwijking tot de verwachtingswaarde volgens het model berekend. Het model is vervolgens gebruikt om voor de gemiddelde indexconcentratie, gemiddelde grondwaterstand of Gt van 'De Marke', de bijbehorende gemiddelde nitraatconcentratie te berekenen. Dit is de gemiddelde waarde van 'De Marke'. Een aangepaste nitraatconcentratie is de som van de afwijking en deze gemiddelde waarde.



Figuur 2.1. Het gemiddelde van de gemeten nitraatconcentratie van 5 MDM bedrijven gedurende de periode 1993-1998 en het gemiddelde en de standaardafwijking van de gemeten nitraatconcentratie op 'De Marke' gedurende de periode 1991-1999.

2.3 Resultaten

2.3.1 'De Marke' en vijf MDM-bedrijven

In Figuur 2.1 staan de jaarlijkse gemiddelden van de gemeten nitraatconcentraties van 'De Marke' en 5 MDM-bedrijven. Op de MDM-bedrijven werden jaarlijks slechts 48 monsters genomen, op 'De Marke' 176. Daarom is het gemiddelde van 5 MDM-bedrijven weergegeven.

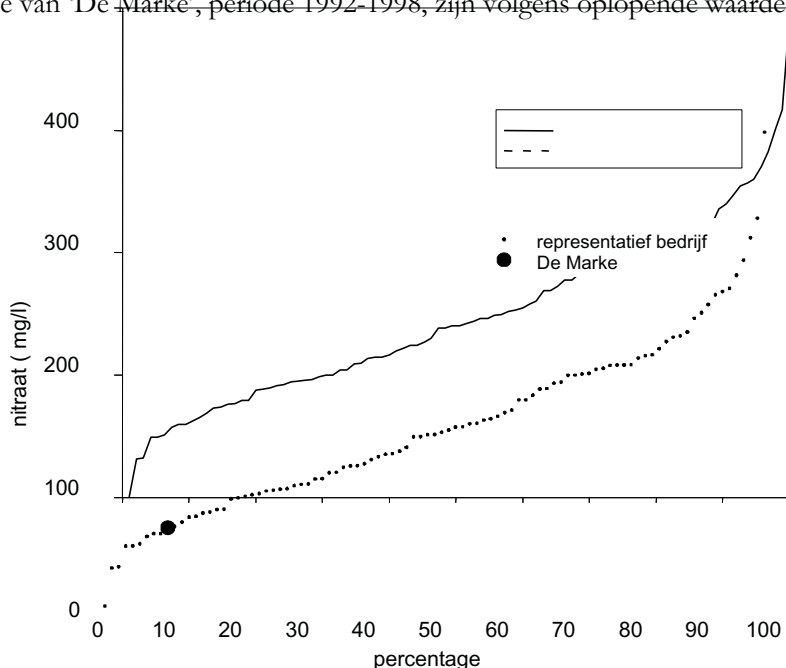
De gemeten nitraatconcentratie van de MDM-bedrijven in 1993 kan nog zijn beïnvloed door de periode voordat speciale maatregelen waren genomen om het stikstofoverschot te beperken, omdat het enige tijd kan duren voordat er een evenwicht is ingetreden met de nieuwe situatie.

Figuur 2.1 laat zien dat de gemiddelde nitraatconcentratie van 'De Marke' in de periode 1993-1998 elk jaar lager is dan het gemiddelde van de MDM-bedrijven. De gemiddelden van de MDM-bedrijven en van 'De Marke' vertonen eenzelfde soort verloop in de tijd. Dit is een aanwijzing voor mogelijke weerseffecten.

De jaarlijks gemiddelde nitraatconcentratie van 'De Marke' daalt van 193 mg l⁻¹ in 1991 tot minder dan 40 mg l⁻¹ in 1996. In eerder onderzoek is geconstateerd dat de nitraatconcentratie van 'De Marke' in 1991 nog niet volledig in evenwicht was met de nieuwe bedrijfsvoering, wat in 1992 wel het geval was. De concentratieverandering tussen 1992 en 1993 werd toegeschreven aan verschillen in weersomstandigheden (Boumans & Fraters, 1995). De gemiddelde nitraatconcentratie van 1999 is mogelijk beïnvloed doordat nieuw land bij 'De Marke' is gekomen, dat in voorafgaande jaren een andere eigenaar had, en dat ander land is afgestoten en daardoor niet meer is bemonsterd. De gemiddelde nitraatconcentratie van het 'nieuwe land' bedraagt 230 mg l⁻¹. Wordt het nieuwe land niet meegenomen dan is de gemiddelde concentratie van 'De Marke' 66 mg l⁻¹. in plaats van 80 mg l⁻¹. Ook voor andere jaren geldt dat het bedrijfsoppervlak is veranderd. Daarmee is geen rekening gehouden.

2.3.2 'De Marke' en representatieve bedrijven

De gemiddelde gemeten nitraatconcentraties van 94 representatieve bedrijven en de gemiddelde nitraatconcentratie van 'De Marke', periode 1992-1998, zijn volgens oplopende waarden weergegeven in Figuur 2.2.



Figuur 2.2. Gemiddelde gemeten nitraatconcentratie van 'De Marke' voor de periode 1992-1998 en de gemiddelde gemeten nitraatconcentraties van 94 representatieve bedrijven op zandgrond, gemeten in de periode 1992-1995.

Het rangnummer voor 'De Marke' in de reeks van Figuur 2.2 bedraagt 10 van de 95. 'De Marke' is een 11%-bedrijf, ofwel 89% van de bedrijven heeft een hogere gemiddelde nitraatconcentratie. Indien de 94 representatieve bedrijven aselect of representatief zijn gekozen en bemonsterd, dan heeft met grote zekerheid (97,5%), 81% van de bedrijven in de zandgebieden van Nederland een hogere nitraatconcentratie.

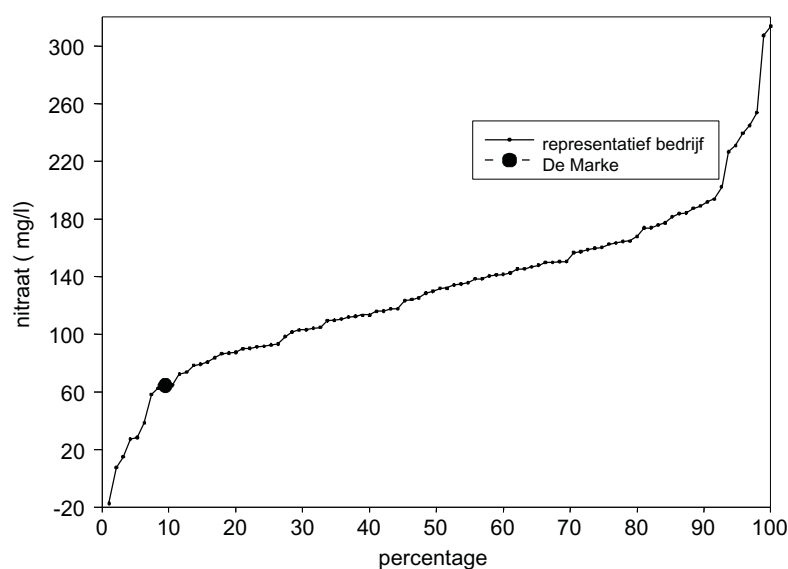
Figuur 2.2 geeft onbewerkte gegevens uit verschillende periodes. In de volgende sectie wordt onderzocht in hoeverre het weer, de grondwaterstand en de Gt invloed hebben gehad op de gevonden gemiddelde nitraatconcentraties

2.4 Discussie

2.4.1 Invloed indexconcentratie en kaart-Gt

De locatie van 'De Marke' zal extra nitraatuitspoeling geven vanwege de droogtegevoeligheid van de bodem (Hilhorst & Oenema, 2001). Daarom is naast de indexconcentratie ook de kaart-Gt gebruikt om de nitraatconcentraties van de representatieve bedrijven aan te passen. Ten opzichte van de representatieve bedrijven heeft 'De Marke' weinig 'natte gronden' (representatief 39% en 'De Marke' 7%), maar hier staat tegenover dat er volgens de kaart-Gt ook weinig 'droge gronden' zijn (representatief 13% en 'De Marke' 7%). Vooral het percentage droge grond van de representatieve bedrijven blijkt van invloed op de nitraatconcentratie.

De gemiddelde indexconcentratie van 'De Marke' is 0,98. De gemiddelde indexconcentratie van de representatieve bedrijven is 1,17 en varieert tussen de 0,3 en 2,5. Voor elk van de representatieve bedrijven is de gemeten concentratie omgerekend naar een aangepaste nitraatconcentratie, door voor deze bedrijven dezelfde indexconcentratie en Gt-verdeling aan te nemen als voor 'De Marke'. Deze aangepaste nitraatconcentraties zijn weergegeven in Figuur 2.3.



Figuur 2.3. Aangepaste concentraties van 94 representatieve bedrijven voor de indexconcentratie en kaart-Gt op 'De Marke' (periode 1992-1995) en de gemiddelde concentratie van 'De Marke' (periode 1992-1998).

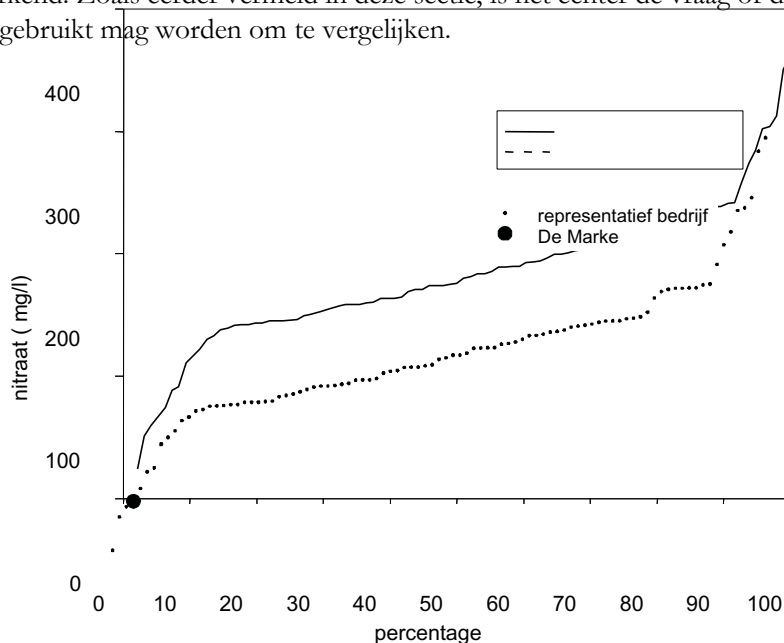
Er is weinig verschil tussen Figuren 2.2 en 2.3. De kaart-Gt en de gemiddelde indexconcentratie van 'De Marke' zijn niet zo bijzonder dat dit, volgens het model, zou leiden tot een hogere nitraatuitspoeling. Ook Hack-ten Broeke (2001) vindt dat 'De Marke' niet uitzonderlijk uitspoelingsgevoelig is.

2.4.2 Invloed indexconcentratie en grondwaterstand

De beschikbare Gt-kaarten zijn inmiddels verouderd (Van het Loo, 1997) en minder nauwkeurig dan metingen ter plekke. De gemeten grondwaterstand tijdens de bemonstering geeft mogelijk een betere indicatie voor het droger of natter zijn van 'De Marke'. Een mogelijk bezwaar is dat 'De Marke' meestal eind september of begin oktober wordt bemonsterd, terwijl de representatieve bedrijven in de periode maart-juli worden bemonsterd. In oktober is de grondwaterstand meestal dieper dan in het voorjaar of vroege zomer. Daar staat tegenover dat de representatieve bedrijven grotendeels in 1992 en 1993 zijn bemonsterd, toen de grondwaterstand laag was door voorafgaande droge jaren. Een groter gedeelte van de grondwatermonsters op 'De Marke' is genomen na voorafgaande nattere jaren.

De gemiddelde gemeten grondwaterstand en indexconcentratie van 'De Marke' zijn gekozen als referentieomstandigheden. De gemeten nitraatconcentraties van de representatieve bedrijven zijn aangepast voor de gemiddelde grondwaterstand en indexconcentratie van 'De Marke' (Figuur 2.4). De gemiddelde grondwaterstand op 'De Marke' is 2,15 m en op de representatieve bedrijven 1,30 m en varieert tussen de 0,3 en 3,5 m.

'De Marke' komt nu als vierde in de (oplopende) volgorde, met duidelijk een afwijkend lagere concentratie. Van de representatieve bedrijven heeft 95% een hogere aangepaste nitraatconcentratie. Met grote zekerheid (97,5%) heeft 90% van de bedrijven in de zandgebieden van Nederland een hogere aangepaste nitraatconcentratie dan 'De Marke'. In de regressie-analyse wordt 'De Marke' als significant afwijkend laag herkend. Zoals eerder vermeld in deze sectie, is het echter de vraag of de gemeten grondwaterstand gebruikt mag worden om te vergelijken.



Figuur 2.4. Aangepaste concentraties van 94 representatieve bedrijven (periode 1992-1995) voor de indexconcentratie en grondwaterstand op 'De Marke' en de gemiddelde concentratie van 'De Marke' (periode 1992-1997).

2.4.3 Verschillen tussen jaren op 'De Marke'

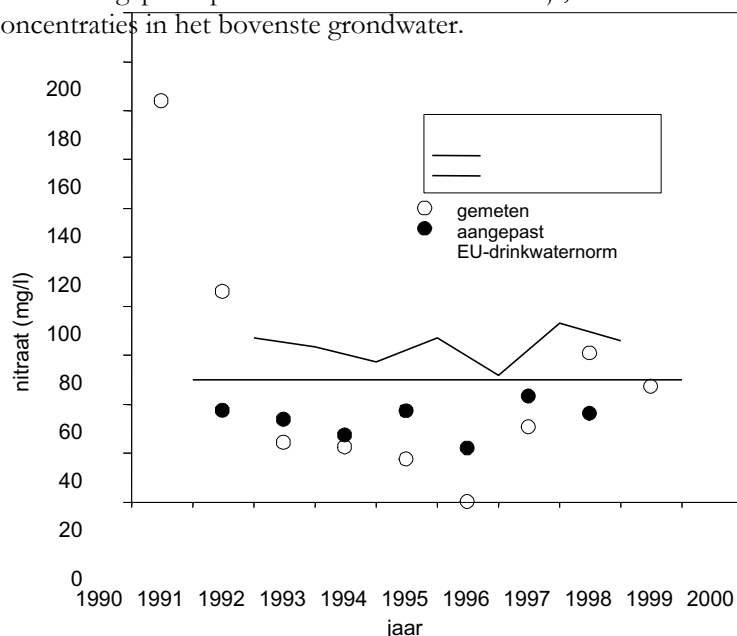
Naast de vergelijking met representatieve bedrijven, is het interessant om te onderzoeken of de fluctuaties in de nitraatconcentratie van 'De Marke' zijn toe te schrijven aan het weer. In een eerder onderzoek (Boumans & Fraters, 1995) is geconcludeerd dat de daling van de nitraatconcentratie tussen 1992 en 1993 (Figuur 2.1), is toe te schrijven aan een toegenomen neerslaghoeveelheid. Op representatieve bedrijven werd immers een soortgelijke daling van de nitraatconcentratie gevonden, terwijl er geen aanwijzingen waren voor een afname van het stikstofoverschot. Er werd verondersteld

dat in 1992 de evenwichtssituatie voor de nitraatconcentratie in het grondwater op 'De Marke' bereikt was, behorend bij de genomen maatregelen in voorafgaande jaren. De jaarlijkse gemiddelden van de gemeten concentraties staan in Figuur 2.5. De nitraatconcentraties van 'De Marke' blijken samen te hangen met de indexconcentratie en de grondwaterstand op het tijdstip van monsternamen. De jaarlijkse gemiddelden van de gemeten nitraatconcentraties kunnen hiervoor aangepast worden zodat mogelijk beter een trend valt waar te nemen (Figuur 2.5).

Het gemiddelde van de nitraatconcentraties in de bovenste meter grondwater in de periode 1992-1998 bedraagt 63 mg l^{-1} . De gemeten gemiddelde en de aangepaste nitraatconcentraties gedurende de periode 1992-1998 (Figuur 2.5) fluctueren rondom dit gemiddelde en vertonen geen duidelijke trend.

2.5 Conclusies

De gemiddelde nitraatconcentratie in de bovenste meter van het grondwater van 'De Marke' komt, in een vergelijking met 94 representatieve bedrijven die verspreid zijn gelegen in de zandgebieden van Nederland, op de 10e plaats in de volgorde van oplopende concentraties. Vanwege droogtegevoelige omstandigheden is 'De Marke' extra kwetsbaar voor nitraatuitspoeling. Indien de bedrijfsvoering van 'De Marke' zou worden toegepast op een minder kwetsbaar bedrijf, dan zou dat waarschijnlijk leiden tot lagere nitraatconcentraties in het bovenste grondwater.



Figuur 2.5. Jaarlijks gemiddelde gemeten nitraatconcentraties en aangepaste nitraatconcentraties voor de gemiddelde indexconcentratie en gemiddelde grondwaterstand op 'De Marke'.

De jaarlijks gemiddelde nitraatconcentratie van 'De Marke' vanaf 1992 schommelt tussen de 115 en 30 mg l^{-1} . Deze schommelingen kunnen grotendeels worden toegeschreven aan natuurlijke variatie in neerslag en verdamping. In de periode 1992-1998 vindt geen duidelijke daling of stijging van de nitraatconcentratie plaats. Drie jaar na het invoeren van een bedrijfsvoering gericht op vermindering van de stikstofuitspoeling is de nieuwe evenwichtstoestand in het grondwater bereikt.

De gemiddelde gemeten nitraatconcentratie in de bovenste meter grondwater van 'De Marke' in de periode 1992-1998 bedraagt 63 mg l^{-1} . De periode 1991-1998 is natter geweest dan de periode 1975-1998. Indien het in de toekomst droger wordt, kan verwacht worden dat de gemiddelde nitraatconcentratie hoger wordt en verder boven de EU-drinkwaternorm zal liggen.