

Fecale belasting van oppervlaktewater door af- en uitspoeling van mest (tweede, herziene versie)

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van het RIZA.

Fecale belasting van oppervlaktewater door af- en uitspoeling van mest (tweede, herziene versie)

Richtgetallen voor fecale contaminatie van zwemwater door uit- en afspoeling van mest uit landbouwpercelen

**G. Mol
H.S.D. Naeff
L.T.C. Bonten
C.L. van Beek**

Alterra-Rapport 1215

Alterra, Wageningen, 2005

REFERAAT

Mol, G., Naeff, H.S.D., Bonten, L.T.C., Beek C.L. van, 2005. *Fecale belasting van oppervlaktewater door af- en uitspoeling van mest (tweede, herziene versie). Richtgetallen voor fecale contaminatie van zwemwater door uit- en afspoeling van mest uit landbouwpercelen*. Wageningen, Alterra-rapport 1215, 45 blz.

Ten behoeve van de herziening van de Europese zwemwaterrichtlijn is de bijdrage aan de bacteriologische verontreiniging van zwemwater door af- en uitspoeling van mest uit landbouwpercelen gekwantificeerd. Bacteriologische verontreiniging wordt aangeduid met de zgn. indicator-organismen *E. coli* (EC) en intestinale enterokokken (IE). Middels een eenvoudige rekenregel is de af- en uitspoeling van EC en IE uit landbouwpercelen voor 24 bodem-diertype combinaties bepaald. EC en IE vrachten naar het zwemwater gedurende het zwemseizoen varieerden van nagenoeg nul op de meeste zandgronden tot vrachten ter grootte van ongeveer 10^{13} kve/ha op klei en veengronden. Voor de meeste mestsoorten op klei- en veengronden tenderen de gemiddelde belastingen naar ongeveer 10^{10} kve per ha per zwemseizoen. Er zijn in deze studie geen aanwijzingen gevonden voor seizoensinvloeden. Verder bleken de belangrijkste bronnen van variatie, te weten de aangevoerde hoeveelheid bacteriën in de mest, de verblijftijd (transportsnelheid) in de bodem, en de afbraaksnelheid, allen een significante bijdrage te leveren aan de uiteindelijke variaties in de belasting van het zwemwater.

Trefwoorden: zwemwater, landbouw, indicator-organismen, bacteriologische verontreiniging, *E.coli*, intestinale enterokokken.

Colofon

Wageningen, 2005

Opdrachtgever: Hans Ruiter (RIZA)

Auteurs: Gerben Mol, Han Naeff, Luc Bonten, Christy van Beek (Alterra)

Uitgave: RIZA, Lelystad

Inhoud

1	Inleiding.....	11
1.1	Onderzoeksbenadering en probleemaafbakening.....	11
1.2	Leeswijzer.....	13
1.3	Terminologie.....	13
2	Werkwijze.....	15
2.1	De selectie van de diercategorieën.....	15
2.2	De bemonstering en analyse van de mestmonsters.....	16
2.3	De rekenregel.....	18
3	Resultaten en invulling van de rekenregel	19
3.1	Aanvoer.....	19
3.1.1	Concentraties van indicator-organismen in mest.....	19
3.1.2	Seizoensinvloeden.....	21
3.1.3	Toediening van dierlijke mest gedurende het zwemwater-uitspoelingsseizoen.....	23
3.2	Afbraak.....	24
3.3	Transport.....	26
3.3.1	Berekeningsmethode voor de uitspoelingsfractie.....	26
3.3.2	Ruimtelijke schematisatie	28
3.3.3	De uitspoelingsfracties	29
4	Af- en uitspoeling van EC en IE uit mest naar het oppervlaktewater	31
4.1	De belasting met EC en IE van het open zwemwater.....	31
4.2	Een voorbeeldberekening voor een zwemwaterlocatie.....	32
4.3	Ruimtelijke spreiding in de uitspoelingsgevoeligheid.....	32
5	Piekbelastingen.....	36
6	Interpretatie van resultaten.....	38
6.1	Gevoeligheidsanalyse.....	39
7	Discussie en aanbevelingen	40

Woord vooraf

In het kader van de herziening van de Europese zwemwaterrichtlijn dienen belangrijke bronnen van bacteriologische verontreiniging van zwemwater te worden gekwantificeerd door de beheerder van een zwemwaterlocatie. Een mogelijke bron is uit- en afspoeling van mest uit landbouwpercelen. Maar hoe schat men deze bijdrage in? In de korte tijd waarbinnen deze studie uitgevoerd moest worden was het niet mogelijk een heel gedetailleerde studie uit te voeren. Gelukkig waren veel mensen bereid hun (specifieke) kennis te delen in een workshop naar aanleiding van deze studie. Hun namen staan in Bijlage 1 en nogmaals wil ik een ieder hartelijke danken voor de plezierige en interessante bijeenkomst. Een speciaal woord van dank gaat naar Imke Leenen van de Grontmij die mij in een recordtijd de geheimen van de zwemwaterwereld onthulde. De figuren in deze rapportage werden veelal beschikbaar gesteld door Harry Massop van Alterra en Popko Bolhuis, eveneens van Alterra, verzorgde de bemonstering van verschillende soorten mest. Jennie van der Kolk en Kor Zwart (beiden Alterra) hebben eerdere versies van deze rapportage van commentaar voorzien, waarvoor dank. Deze studie werd uitgevoerd in opdracht van Hans Ruiter van het RIZA.

Christy van Beek
Wageningen, december 2004

Woord vooraf bij de tweede, herziene versie

De uitkomsten van de eerste studie naar de microbiële belasting van zwemwater door het uit- en afspoelen van dierlijke mest van landbouwpercelen waren aanleiding om een vervolgonderzoek uit te voeren. In dit vervolgonderzoek is op twee manieren gewerkt aan een nadere onderbouwing van de richtgetallen. Ten eerste zijn er meer metingen uitgevoerd aan mestmonsters van de (voor dit probleem) belangrijkste diercategorieën, te weten schapen, varkens en koeien. Ten tweede is de rekenregel om de uitspoelingsfracties te bepalen herzien. Ten derde is indicatief gekeken of er verschil is tussen bacteriegehaltes in mest uit het voorjaar en mest uit het najaar.

De resultaten van dit vervolgonderzoek zijn verwerkt als herziening van het eerste rapport. Dit betekent dat het eerste rapport als basis is gebruikt, en dat alle verouderde onderdelen en berekeningen eruit zijn gehaald en vervangen door de verbeterde versies. De voornaamste wijzigingen ten opzichte van het eerste rapport zijn te vinden in de tabellen en figuren met resultaten en in het gedeelte van hoofdstuk 3 waar het transport en de uitspoeling wordt uitgewerkt.

Gerben Mol, Han Naeff, Luc Bonten, Christy van Beek
Wageningen, juli 2005

Samenvatting

In de herziene Europese zwemwaterrichtlijn worden de concentraties *Escherichia coli* (EC) en intestinale enterokokken (IE) als indicatoren voor fecale verontreiniging van zwemwater gebruikt. Overschrijding van de normen voor EC en IE concentraties in het zwemwater duidt op contaminatie van het zwemwater met feces (uitwerpselen) en wijst op risico's voor de volksgezondheid. Het zwemwater kan op verschillende manier worden belast met fecale bacteriën, bijv. door zwemmers, door de binnenvaart, via overstorten, door watervogels en door de uit- en afspoeling van mest van agrarische percelen. Dit rapport gaat over de laatstgenoemde bron, de uit- en afspoeling van mest uit landbouwpercelen.

De belasting van het oppervlaktewater met indicator-organismen via deze bron is afhankelijk van het mesttype, de bemestingsintensiteit, het bodemtype, de transportafstand en de hydrologische en meteorologische omstandigheden. In deze studie is met een eenvoudige rekenregel de uit- en afspoeling van mest uit landbouwpercelen berekend. Belangrijke factoren in deze rekenregel zijn de aangevoerde hoeveelheden EC en IE in de mest en de fracties die hiervan uitspoelen op de verschillende grondsoorten. De aangevoerde hoeveelheden zijn gekwantificeerd door op in totaal 32 bedrijven 92 mestmonsters te nemen voor de in de onderstaande tabel vermelde mestsoorten. De uitspoelingsfracties voor de drie grondsoorten zijn gekwantificeerd m.b.v. eerste-orde afbraakconstanten uit de literatuur in combinatie met de hydrologische informatie van de 6405 STONE-plots die in Nederland worden gebruikt voor onderzoek aan nutriëntenuitspoeling. Op basis van de aldus gekwantificeerde rekenregel zijn seizoensvrachten voor 3 grondsoorten en 8 diercategorieën gekwantificeerd, zoals samengevat in onderstaande tabellen.

Uit deze tabellen blijkt dat op klei- en veengronden de belastingen van het zwemwater tijdens het zwemseizoen voor de meeste mestsoorten gemiddeld tendeert naar ongeveer 10^{10} kve per ha. De grootste uitzonderingen hierop zijn kippen, paarden en geiten (voor IE), maar daarbij dient opgemerkt te worden dat voor deze diercategorieën de berekeningen ook slechts gebaseerd zijn op metingen aan 5 mestmonsters afkomstig van 1 bedrijf. Voor bijvoorbeeld varkens en koeien zijn de berekeningen gebaseerd op resp. 17 monsters van 5 bedrijven en 23 monsters van 7 bedrijven. Op zandgronden is de belasting van het oppervlaktewater met EC en IE relatief gering (ongeveer een factor 10^7 lager dan op klei- en veengronden), omdat op zandgronden slechts een klein deel van het neerslagoverschot uitspoelt naar het oppervlaktewater.

Onderstaande tabellen geven een schatting van de belasting met EC en IE over een heel zwemseizoen. Echter, voor blootstellingsrisico's van zwemmers zijn piekbelastingen na bijvoorbeeld een hevige regenbui of direct na bemesting waarschijnlijk van veel groter belang. Het kwantificeren van piekbelastingen viel buiten deze studie, maar algemeen kan worden aangenomen dat het risico op piekbelastingen toeneemt na hevige regenval bij een ondiepe grondwaterstand en

intensieve bemesting. Verder kunnen locatiespecifieke verschillen zoals bijv. in perceelsinrichting (bijvoorbeeld wel of niet omheind) of incidentele directe contactstromen tussen mest en zwemwater zoals bijv. via veebruggen of via het drainagesysteem grote verschillen veroorzaken in de fecale belasting van het zwemwater.

Escherichia coli (EC) belasting van het oppervlaktewater gedurende het zwemseizoen (EC ha⁻¹) voor verschillende grondsoorten en diergroepen. (5% is het 5-percentiel, Gem is het geometrisch gemiddelde, 95% is het 95-percentiel)

Diercategorie	Klei			Veen			Zand		
	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%
Geiten	5.6*10 ⁸	9.3*10¹⁰	5.3*10 ¹²	2.1*10 ⁸	4.5*10¹⁰	2.1*10 ¹²	8.8*10 ⁻¹⁰	5.9*10²	6.5*10 ¹⁰
Kippen	2.7*10 ¹²	4.2*10¹³	1.0*10 ¹⁵	9.2*10 ¹¹	3.0*10¹³	8.8*10 ¹⁴	2.4*10 ⁻¹	9.5*10⁷	3.7*10 ¹³
Melkkoeien	2.7*10 ⁸	6.9*10¹⁰	4.6*10 ¹²	7.5*10 ⁷	2.3*10¹⁰	1.4*10 ¹²	2.9*10 ⁻¹⁷	3.3*10⁻¹	2.8*10 ¹⁰
Paarden	1.5*10 ⁷	3.9*10⁸	1.7*10 ¹⁰	3.8*10 ⁶	1.9*10⁸	1.1*10 ¹⁰	2.6*10 ⁻¹²	2.5	2.2*10 ⁸
Schappen	2.0*10 ⁸	2.2*10¹¹	2.0*10 ¹⁴	6.7*10 ⁷	7.2*10¹⁰	9.4*10 ¹³	7.1*10 ⁻¹⁷	1.0	8.6*10 ¹¹
Varkens	3.7*10 ⁶	1.1*10¹¹	4.6*10 ¹³	2.5*10 ⁶	5.2*10¹⁰	3.6*10 ¹³	5.3*10 ⁻¹⁰	6.8*10²	5.8*10 ¹¹
Runderdrijfmest	3.8*10 ⁷	8.0*10⁹	5.9*10 ¹¹	1.4*10 ⁷	3.9*10⁹	3.1*10 ¹¹	6.4*10 ⁻¹¹	5.1*10¹	8.4*10 ⁹
Varkensdrijfmest	8.0*10 ⁸	1.1*10¹⁰	2.3*10 ¹¹	2.6*10 ⁸	6.6*10⁹	1.1*10 ¹¹	9.0*10 ⁻⁸	1.7*10³	4.4*10 ⁹

Intestinale enterokokken (IE) belasting van het oppervlaktewater gedurende het zwemseizoen (IE ha⁻¹) voor verschillende grondsoorten en diergroepen. (5% is het 5-percentiel, Gem is het geometrisch gemiddelde, 95% is het 95-percentiel)

Diercategorie	Klei			Veen			Zand		
	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%
Geiten	2.4*10 ¹⁰	2.1*10¹²	5.8*10 ¹⁴	9.0*10 ⁹	1.3*10¹²	6.0*10 ¹⁴	2.5*10 ⁻⁴	9.6*10⁵	1.1*10 ¹³
Kippen	8.6*10 ¹¹	1.0*10¹³	1.2*10 ¹⁴	3.9*10 ¹¹	1.1*10¹³	1.6*10 ¹⁴	1.3*10 ³	1.8*10⁹	1.0*10 ¹³
Melkkoeien	2.9*10 ⁷	1.4*10¹⁰	1.2*10 ¹²	1.5*10 ⁷	6.2*10⁹	6.6*10 ¹¹	8.8*10 ⁻¹²	3.1*10¹	1.4*10 ¹⁰
Paarden	1.6*10 ⁶	2.0*10⁷	4.2*10 ⁸	5.4*10 ⁵	1.3*10⁷	3.2*10 ⁸	2.2*10 ⁻⁹	9.3	1.1*10 ⁷
Schappen	8.6*10 ⁸	5.7*10¹⁰	7.8*10 ¹²	2.3*10 ⁸	2.6*10¹⁰	3.3*10 ¹²	4.4*10 ⁻¹¹	1.3*10²	5.0*10 ¹⁰
Varkens	1.1*10 ⁸	5.6*10¹⁰	1.2*10 ¹³	6.2*10 ⁷	3.6*10¹⁰	1.1*10 ¹³	7.9*10 ⁻⁶	2.6*10⁴	2.5*10 ¹¹
Runderdrijfmest	4.8*10 ⁸	1.2*10¹⁰	3.1*10 ¹¹	1.4*10 ⁸	5.6*10⁹	8.8*10 ¹⁰	5.7*10 ⁻¹²	2.8*10¹	3.4*10 ⁹
Varkensdrijfmest	8.3*10 ⁸	1.1*10¹⁰	2.9*10 ¹¹	3.2*10 ⁸	8.5*10⁹	3.6*10 ¹¹	6.9*10 ⁻⁴	7.5*10⁴	7.4*10 ⁹

1 Inleiding

Fecale verontreiniging van het oppervlaktewater brengt gezondheidsrisico's met zich mee wanneer dit water gebruikt wordt als zwemwater. Om het zwemwater te kunnen controleren op risico's voor de volksgezondheid zijn kwaliteitscriteria voor de microbiële parameters vastgesteld. Op dit moment liggen die kwaliteitscriteria op 2.000 thermotolerante bacteriën van de coligroep (FC) en 10.000 totaal bacteriën van de coligroep (TC) per 100 ml zwemwater. Echter, de EU werkt aan een herziening van de zwemwaterrichtlijn om tot betere beheersing van (microbiologische) zwemwater-kwaliteit te komen. Volgens deze nieuwe zwemwaterrichtlijn moet de zwemwater-beheerder (bijv. waterschap) aan kunnen geven welke bronnen van fecale verontreiniging de zwemwaterkwaliteit negatief beïnvloeden. Voorbeelden van bronnen van fecale verontreiniging zijn riooloverstorten, zwemmers, binnenvaart, watervogels en uit- en afspoeling van mest. Hiermee kan een betere inschatting van de fecale belasting worden gemaakt.

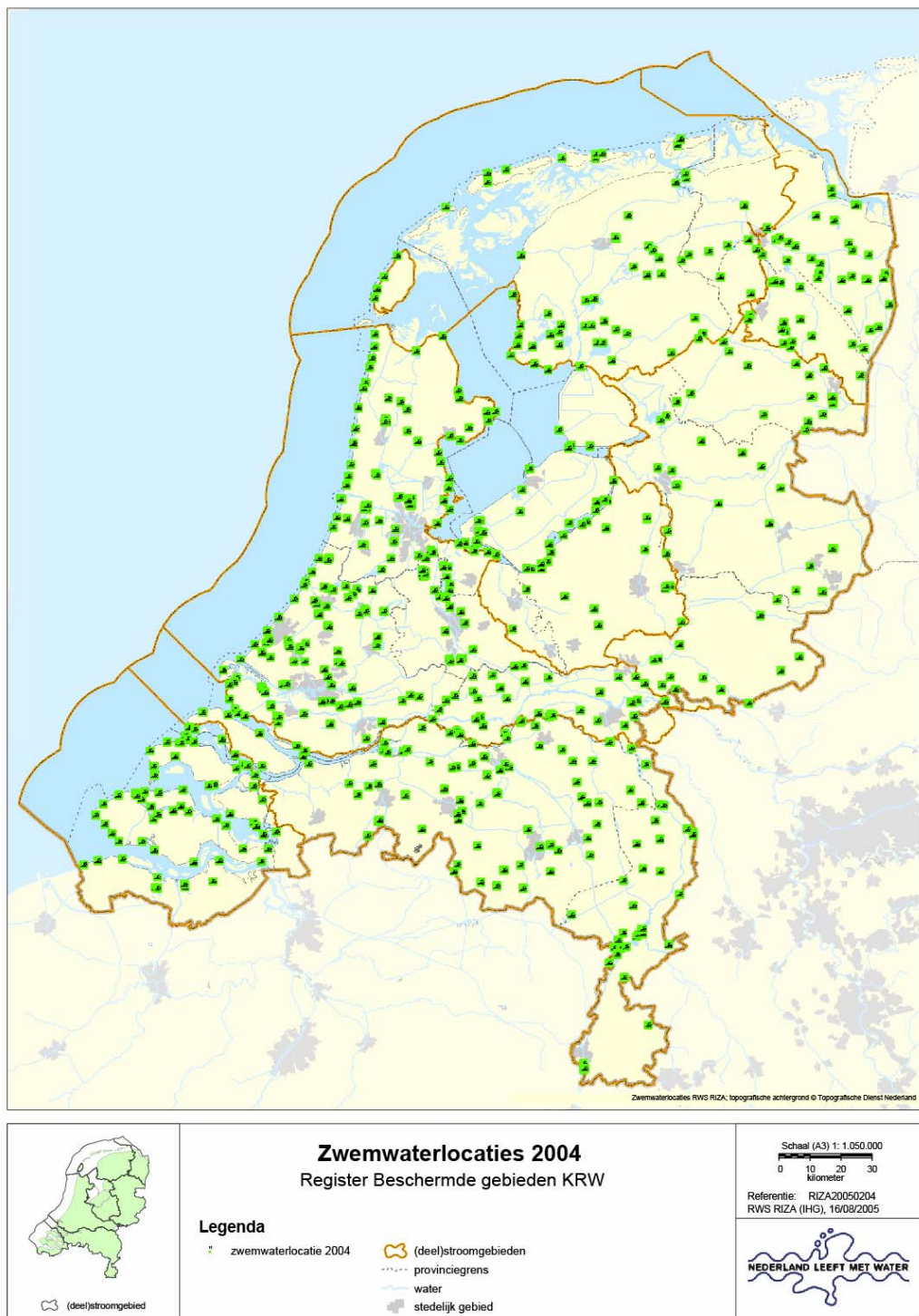
De nieuwe en oude zwemwaterrichtlijn zijn gericht op concentraties van zgn. indicator-organismen die een maat zijn voor concentraties pathogene micro-organismen uit feces. Deze indicator-organismen zijn *E.coli* (EC) en intestinale enterokokken (IE), waarbij de aanwezigheid van EC duidt op 'verse' verontreiniging en de aanwezigheid van IE op oudere verontreinigingen (Leenen, 2004).

In verkennende onderzoeken naar mogelijke emissiebronnen voor zwemwater-profielen van Brouwer & van Pelt (2002) en Leenen (2004) kwam uit- en afspoeling van mest uit landbouwpercelen als een mogelijk belangrijke bron van fecale verontreiniging van zwemwater naar voren. In Nederland zijn 650 zwemwater-locaties aangewezen waarvan de meesten zich in het buitengebied bevinden (Figuur 1). In veel gevallen grenzen agrarische percelen direct aan de zwemwaterlocatie en kan verse mest (weide mest) of drijfmest door af- en uitspoeling in het oppervlaktewater komen. In dit rapport wordt een eenvoudige inschatting gemaakt van de belasting van het oppervlaktewater met EC en IE vanuit de landbouw.

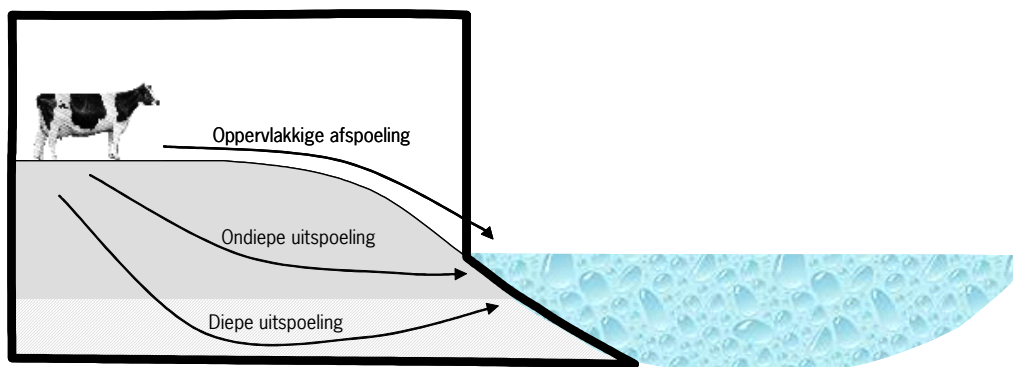
1.1 Onderzoeksbenadering en probleemafbakening

Een zwemwaterlocatie wordt aangewezen door de Provincie en is gedefinieerd als een locatie waar gezwommen wordt tussen 1 mei en 1 oktober. Deze studie is afgebakend bij het grensvlak bodem-water. Het gedrag van indicator-organismen in het oppervlaktewater valt buiten deze studie (Figuur 2). Tevens is geen rekening gehouden met ruimtelijke en temporele variabiliteit van mestdepositie

Uit- en afspoeling van mest uit landbouwpercelen gebeurt grofweg via 3 routes; oppervlakkige afspoeling (run-off en greppelafvoer), ondiepe uitspoeling en diepe uitspoeling. Bij diepe uitspoeling vindt horizontaal transport (ook) plaats via een watervoerend pakket, terwijl ondiepe uitspoeling via het bovenste grondwater en/of via drains vervoerd wordt (Figuur 2).



Figuur 1. Officiële zwemwaterlocaties in Nederland.



Figuur 2. Schematische weergave van af- en uitspoeling van mest uit een landbouwperceel naar een zwemwaterlocatie. De dikke zwarte lijn geeft de probleemafbakening van deze studie aan.

In Figuur 2 is ter illustratie een koe weergegeven, maar dit had net zo goed een ander landbouwhuisdier kunnen zijn, of een tractor die drijfmest uitrijdt over een perceel maïs, of aanwending van dierlijke mest in groenteteelt. Alle landbouwactiviteiten waarbij dierlijke mest wordt gebruikt kunnen in principe bijdragen aan de fecale belasting van zwemwater.

1.2 Leeswijzer

In dit rapport wordt in eerste instantie een eenvoudige rekenregel gepresenteerd om een gebiedsbelasting af te kunnen leiden (gebiedskarakterisering). Het resultaat van deze rekenregel is een schatting van de seizoensvrucht van indicator-organismen naar het oppervlaktewater (hoofdstuk 4). In hoofdstuk 5 wordt op kwalitatieve wijze aandacht besteed aan het verhoogde risico voor zwemmers als gevolg van piekbelastingen. In hoofdstuk 6 wordt aandacht besteed aan de interpretatie van de resultaten middels een stroomschema en een gevoeligheidsanalyse. De discussies en aanbevelingen in hoofdstuk 7 sluiten de rapportage af.

1.3 Terminologie

In dit rapport worden de volgende termen en afkortingen gebruikt:

Grootvee-eenheid (gve)

Eén grootvee-eenheid is gelijk aan één melkkoe van 600 kg. Andere diercategorieën worden uitgedrukt in deze groot-vee eenheden.

Indicator-organismen

Indicator-organismen voor fecale verontreiniging van oppervlaktewater zijn

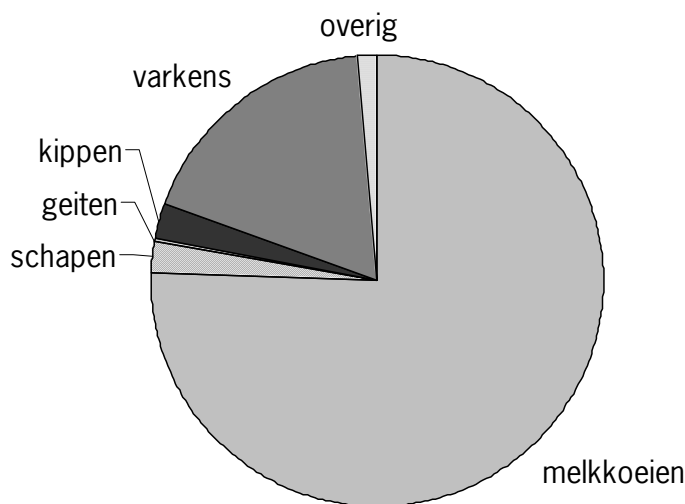
	<i>Escherichia coli</i> (EC) en intestinale enterokokken (IE).
Kolonie-vormende eenheid (kve)	Aantallen micro-organismen worden doorgaans uitgedrukt in kolonie-vormende eenheden, waarbij 1 micro-organisme gelijk staat aan 1 kolonie-vormende eenheid.
STONE	STONE (Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel) is een model dat is ontwikkeld om de uitspoeling van nutriënten (N en P) vanuit landbouw en natuur naar het oppervlaktewater te berekenen.
SWAP	SWAP (Soil Water Atmosphere Plant) is een pseudo 2-dimensionaal hydrologisch model.
Uitspoelingsfractie	Overlevingsfractie van micro-organismen na afbraak en transport door bodem van mestdepositie naar oppervlaktewater.
Zwemseizoen (zws)	Het zwemseizoen loopt van 1 mei tot 1 oktober.
Zwemwateruitspoelingsseizoen (zwus)	Dierlijke mest die voor het zwemwaterseizoen is toegediend kan ook uitspoelen tijdens het zwemseizoen. Om hiervoor te corrigeren wordt in deze studie met een zwemwateruitspoelingsseizoen gewerkt. Het zwemwateruitspoelingsseizoen is gedefinieerd als de periode waarbinnen uitspoeling van EC en IE uit mest het oppervlaktewater bereikt gedurende het zwemseizoen.

2 Werkwijze

2.1 De selectie van de diercategorieën

Niet iedere mestsoort bevat evenveel indicator-organismen. Mest van herkauwers bevat bijvoorbeeld, als gevolg van een langere darmassage, over het algemeen minder indicator-organismen dan van niet-herkauwers. Daarnaast kan een grote variatie optreden onder invloed van de gezondheid van de dieren en het voer dat ze krijgen en door eventuele medicatie (bijv. antibiotica).

De belangrijkste diergroepen in Nederland wat betreft mestproductie staan weergegeven in Figuur 3. Uit deze figuur blijkt dat melkkoeien verreweg de meeste mest produceren in Nederland.



Figuur 3. Bijdragen aan totale jaarlijkse mestproductie (vaste en dunne mest) per diercategorie in Nederland in 2002 (bron: CBS).

Onder overige diersoorten vallen vleeskoeien, konijnen, eenden en pelsdieren. Voor schapen en geiten geldt dat vooral weide-mest op het land wordt gebracht. Bij melkkoeien wordt gemiddeld 28% van de mest direct in de wei gedeponneerd, terwijl het restant in de stal wordt geproduceerd. Het merendeel van de stalmest wordt over het land uitgereden als drijfmest. In de akkerbouw wordt met name varkensdrijfmest en kippenmest gebruikt. Paarden worden doorgaans niet in de landbouwstatistieken meegenomen, omdat de meeste paarden als hobbydieren worden gehouden. Omdat

het areaal paarden de laatste jaren toeneemt, is deze diercategorie wel opgenomen in deze studie.

In tabel 1 is weergegeven hoeveel monsters per diercategorie zijn genomen onderverdeeld naar de voorjaars- en de najaarsstudie.

Tabel 1. Totale aantallen monster per mestsoort in de najaars- en de voorjaarsstudie (tussen haakjes het aantal bedrijven waar deze monsters zijn genomen).

Mestsoort	Najaar 2004	Voorjaar 2005
Geiten	5 (1)	-
Kippen	5 (1)	-
Melkkoeien	5 (1)	18 (6)
Paarden	5 (1)	-
Schapen	5 (1)	12 (4)
Varkens	5 (1)	12 (4)
Koeiendrijfmest	5 (1)	6 (6)
Varkensdrijfmest	5 (1)	4 (4)

Voor de tweede studie is nader gekeken naar de belangrijkste diercategorieën voor de belasting van open zwemwater, te weten koeien, varkens, en schapen. Koeien en varkens leveren de grootste hoeveelheden mest die ook nog eens voornamelijk in de vorm van drijfmest overal op het land terecht komt. Voor schapen is gekozen omdat die vaak worden geweid op dijken waarbij de mogelijkheid van belasting van oppervlaktewater groot is. In de voorjaarsmeting 2005 zijn andere bedrijven bemonsterd dan in de najaarsmeting 2004.

De nieuwe bemonstering heeft om drie redenen plaats gevonden. Ten eerste om een betere onderbouwing te krijgen van de richtgetallen voor de fecale belasting van zwemwater vanuit de veehouderij. Dit gebeurt enerzijds door meer metingen uit te voeren aan de bovengenoemde diercategorieën, en anderzijds door het verbeteren van de rekenregel om de uitspoelingsfracties mee te berekenen. Ten tweede om voor de belangrijkste diercategorieën een indruk te krijgen van de variatie in de bacteriële samenstelling van de mest tussen bedrijven. En ten derde om een indruk te krijgen van eventuele verschillen in het seizoen; de eerste bemonstering was in het najaar en de tweede was in het voorjaar.

2.2 De bemonstering en analyse van de mestmonsters

De mestmonsters zijn op twee manieren verzameld. De monsters van de verse mest (mest geproduceerd op de dag van monsternamen) zijn genomen door in de stal of in de wei met een kunststof (PP) potje van 100 ml direct wat mest op te scheppen. De potjes waren tot het moment van monsternamen voorzien van een deksel dat er reeds bij de productie van deze laboratoriumpotjes wordt opgeschroefd. Ze waren nooit eerder gebruikt.

De drijfmestmonsters zijn genomen uit de mestkelders van koeien- en varkensstallen. Om hieruit een representatief monster te kunnen nemen is het nodig om de gehele diepte van de mestkelder te kunnen meenemen, er treedt namelijk stratificatie op in de mest door uitzakken van zware delen. Hiervoor werd gebruik gemaakt van een steekbuis die, nadat hij tot op de bodem van de mestkelder was gestoken, aan de onderkant kon worden afgesloten. Vervolgens werd de buis uit de mestkelder getrokken en geleegd in een emmer. Na menging van de mest werd uit deze emmer een submonster genomen in een kunststof (PP) potje van 100 ml.

De analyses van de mestmonsters op *E. coli* en enterococci zijn door het Laboratorium voor Microbiologie van het KIWA als volgt uitgevoerd. Een bekende hoeveelheid submonster van de mest uit het 100 ml potje wordt in 100 ml steriel leidingwater gesuspenderd en vervolgens 2 minuten ultrasoon (op lage frequentie) getrild om een homogene oplossing te krijgen. Deze mestoplossing wordt over een steriel verbandgaas gefiltreerd om onverteerde mestdelen af te scheiden. Het filtraat (of een daarvan gemaakte verdunning) wordt gebruikt om onderstaande analyses op uit te voeren. De beschrijvingen van deze analyses komen uit de brochure van het KIWA.

Escherichia coli (gelijkwaardig aan NEN-EN-ISO 9308-1)

Na filtratie van 100 ml door een membraanfilter wordt het filter op een selectieve voedingsbodem gedurende 5 uur bij 25°C geïncubeerd, gevolgd door een incubatie van 14 uur bij 44°C. Vervolgens worden de karakteristieke kolonies geteld. Deze karakteristieke kolonies worden vervolgens bevestigd door te beoordelen op oxidase in indolvorming. Worden er in het te onderzoeken monster grote(re) aantallen verwacht, dan wordt een kleinere hoeveelheid van het monster gefiltreerd of wordt er 0,1 ml van het monster in drievoud over de voedingsbodem uitgespateld. Het aantal *E. coli* bacteriën wordt opgegeven in kolonievormende eenheden (kve) per 1 ml filtermateriaal. De aantoonbaarheidsgrens is 33 kve per 1 ml filtermateriaal.

Intestinale Enterokokken (conform NEN-EN-ISO 7899)

Na filtratie van 100 ml door een membraanfilter wordt het filter op een selectieve voedingsbodem gedurende 44 uur bij 37°C geïncubeerd. Vervolgens worden de karakteristieke kolonies geteld. Karakteristieke kolonies worden bevestigd door het filter over te leggen op een bevestigingsmedium en worden na incubatie gedurende 2 uur bij 44°C beoordeeld op voorkomen van karakteristieke kolonies die vervolgens geteld worden. Worden er in het te onderzoeken monster grote(re) aantallen faecale streptokokken verwacht, dan wordt een kleinere hoeveelheid van het monster gefiltreerd of wordt er 0,05 ml van het monster in drievoud over de voedingsbodem uitgespateld. Bevestiging vindt dan plaats door de kolonies over te enten op het bevestigingsmedium. Het koloniegetal wordt opgegeven in kolonievormende eenheden (kve) per ml filtermateriaal. De aantoonbaarheidsgrens is 67 kve per ml filtermateriaal.

2.3 De rekenregel

De mate van EC en/of IE belasting van open zwemwater door uit- en afspoeling van mest gedurende het zwemseizoen is een functie van de aanvoer van mest, het transport van water naar het oppervlaktewater en van de afbraak van EC en IE gedurende dit transport. In formule-vorm is dit:

$$Q_i = a_i \cdot A_i \cdot \varepsilon \cdot f_u \quad (1)$$

Q	<i>EC en/of IE vracht naar het zwemwater (keve zwus^{-1})</i>
a	<i>Aanvoer van EC en IE door depositie van mest (keve $\text{ha}^{-1}\text{j}^{-1}$)</i>
A	<i>Vanggebied van het zwemwater (ha)</i>
ε	<i>Fractie toegediende mest tijdens het zwemwateruitspoelingsseizoen (j zwus^{-1})</i>
f_u	<i>Fractie van aangevoerde indicatororganismen die uitspoelt (-)</i>
i	<i>Specifieke zwemwaterlocatie</i>

Na depositie van EC en IE tijdens beweiding of bemesting vindt reductie plaats doordat niet alle EC en IE naar het oppervlaktewater getransporteerd wordt en doordat een deel afsterft gedurende het transport. Het deel dat uitspoelt, de uitspoelingsfractie (f_u), is in deze herziene versie van het rapport bepaald m.b.v. informatie over in Nederland voorkomende bodemprofielen en hun hydrologie. De profielinformatie is afkomstig uit de STONE-database die is ontwikkeld t.b.v. (scenario)studies over naar de uitspoeling van stikstof en fosfaat (Kroes et al., 2001). In deze database is de ondergrond van Nederland tot 13 meter diepte geschematiseerd tot 6405 eenheden waarvoor de belangrijkste bodem- en hydrologische kenmerken bekend zijn.

Het verdwijnen door afbraak wordt beschreven m.b.v. eerste-orde afbraakvergelijkingen. Voor de eerste-orde afbraak wordt van dezelfde informatie uit de wetenschappelijke literatuur (Kress and Gifford, 1984; Stoddard et al., 1998) uitgegaan als in de eerste studie.

Met de combinatie van de hydrologische gegevens uit de STONE-database en de afbraakcoëfficiënten per mestsoort is per profieltype uitgerekend wat de uitspoelingsfractie van de indicatororganismen is. De uitwerking van deze aanpak staat beschreven in paragraaf 3.3.

3 Resultaten en invulling van de rekenregel

In dit hoofdstuk worden de parameters uit vergelijking 1 vastgesteld. Ten eerst wordt de aanvoer gekwantificeerd aan de hand van de metingen en enkele aannames over de mesttoediening. Daarnaast wordt de methode om de uitspoelingsfracties te schatten uitgewerkt.

3.1 Aanvoer

3.1.1 Concentraties van indicator-organismen in mest

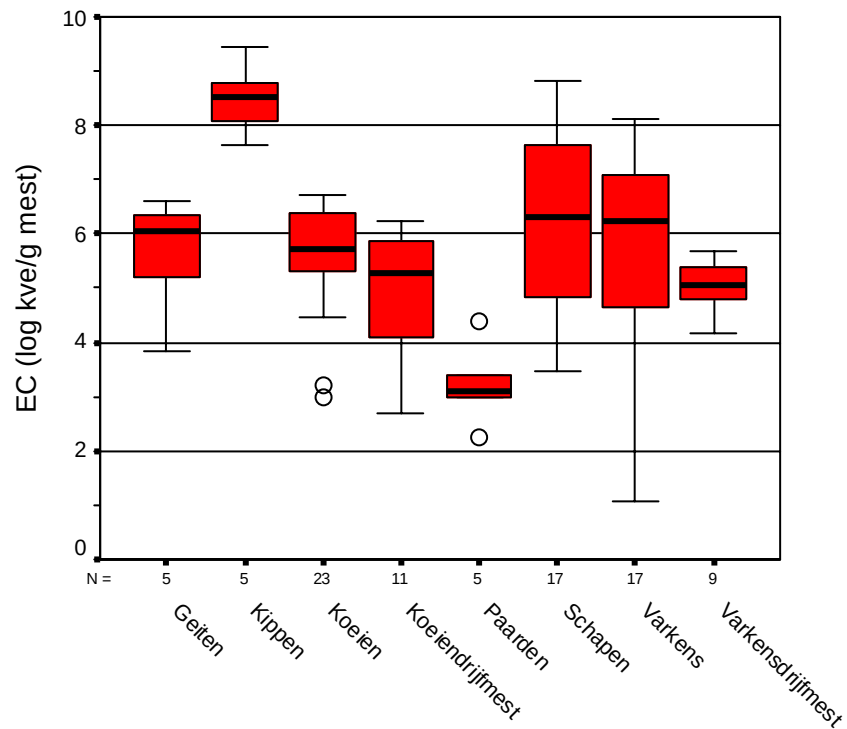
De resultaten van de metingen uit beide studies zijn samengevat in boxplots in de Figuren 4 (EC) en 5 (IE) en in tabel 2. Boxplots geven een grafische indruk van de variatie in de metingen. In de boxplots geeft de horizontale lijn het gemiddelde weer, de box geeft aan waar de centrale helft van de uitkomsten zich bevindt, en de foutenbalken geven de standaarddeviaties aan.

In deze figuren valt een aantal zaken op. Ten eerste dat de diercategorieën waar weinig gemeten is, namelijk geiten, kippen en paarden (5 monsters van slechts 1 bedrijf, zie tabel 1) afwijken van de tendens die te zien is bij de andere diercategorieën. De boxen van koeienmest, koeiendrijfmest, schapenmest, varkensmest en varkensdrijfmest bevinden zich voor IE allemaal grofweg tussen 4 en 6 terwijl die van geitenmest, kippenmest, en paardenmest (grotendeels) buiten dit interval vallen (fig. 5). Een vergelijkbaar beeld is te zien voor EC, zij het dat de geitenmest hier wel binnen de bandbreedte van de koeien-, schapen, en varkensmest valt (fig 4).

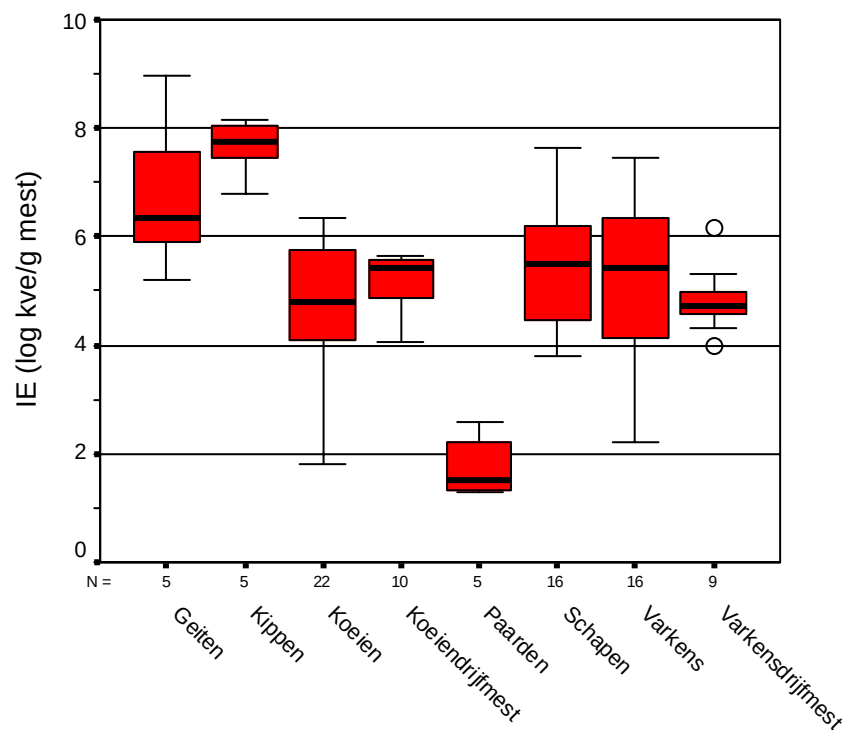
Ten tweede valt op dat de bandbreedte van de metingen over het algemeen groter is voor de diercategorieën waar op meerdere locaties is gemeten (categorieën waarvoor geldt $N > 5$). De bandbreedtes van de diercategorieën waar nu extra metingen zijn verricht, zijn duidelijk groter geworden t.o.v. de metingen in het najaar van 2004 (zie figuren 6 en 7). Dit duidt erop dat de variatie tussen monsters die genomen zijn binnen een bedrijf waarschijnlijk kleiner is dan die tussen monsters van verschillende bedrijven. Een uitzondering hierop lijken de drijfmestmonsters. De boxen van IE en die van EC in varkensdrijfmest vertonen een beduidend kleinere bandbreedte dan die van de verse mestmonsters ook al zijn de monsters afkomstig van 7 rundveebedrijven en 5 varkensbedrijven. Alleen voor EC in koeiendrijfmest geldt dat de variatie hierin vergelijkbaar is met die in de verse mest.

Bij deze observaties moet nadrukkelijk worden opgemerkt dat voor de diercategorieën geiten, kippen en paarden slechts op 1 bedrijf is gemeten. Dit kan zowel de relatief geringe spreiding bij met name kippen en paarden verklaren als de relatief extreme waarden voor kippen (hoog) en paarden (laag). Verder moet worden opgemerkt dat de EC en IE gehalten in paardenmest vaak onder de (variabele)

detectielimiet lagen. In deze gevallen is als waarde de helft van de detectielimiet aangenomen.



Figuur 4. Boxplots van de EC concentraties in verse mest en drijfmest van verschillende diercategorieën. Rondjes (○) geven extremen (>3 keer de boxlengte) aan, en N is het aantal monsters.



Figuur 5. Boxplots van de IE concentraties in verse mest en drijfmest van verschillende diercategorieën. Rondjes (○) geven extremen (>3 keer de boxlengte) aan, en N is het aantal monsters.

Tabel 2. Geometrisch gemiddelde EC en IE gehalten in diverse mesttypen (kg g⁻¹).

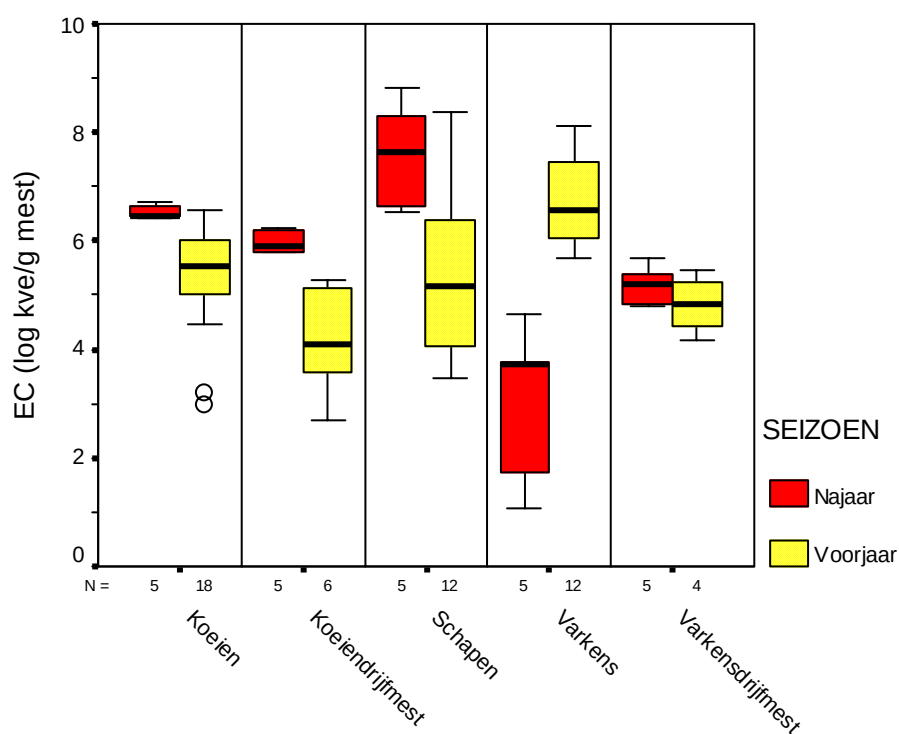
<i>Mest</i>	<i>EC</i>	<i>IE</i>
Geiten	$3.98 \cdot 10^5$	$6.31 \cdot 10^6$
Kippen	$3.12 \cdot 10^8$	$4.39 \cdot 10^7$
Melkkoeien	$3.97 \cdot 10^5$	$6.12 \cdot 10^4$
Paarden	$1.68 \cdot 10^3$	61
Schapen	$1.25 \cdot 10^6$	$2.59 \cdot 10^5$
Varkens	$4.57 \cdot 10^5$	$1.73 \cdot 10^5$
Runderdrijfmest	$9.67 \cdot 10^4$	$1.56 \cdot 10^5$
Varkensdrijfmest	$1.06 \cdot 10^5$	$6.97 \cdot 10^4$

3.1.2 Seizoensinvloeden

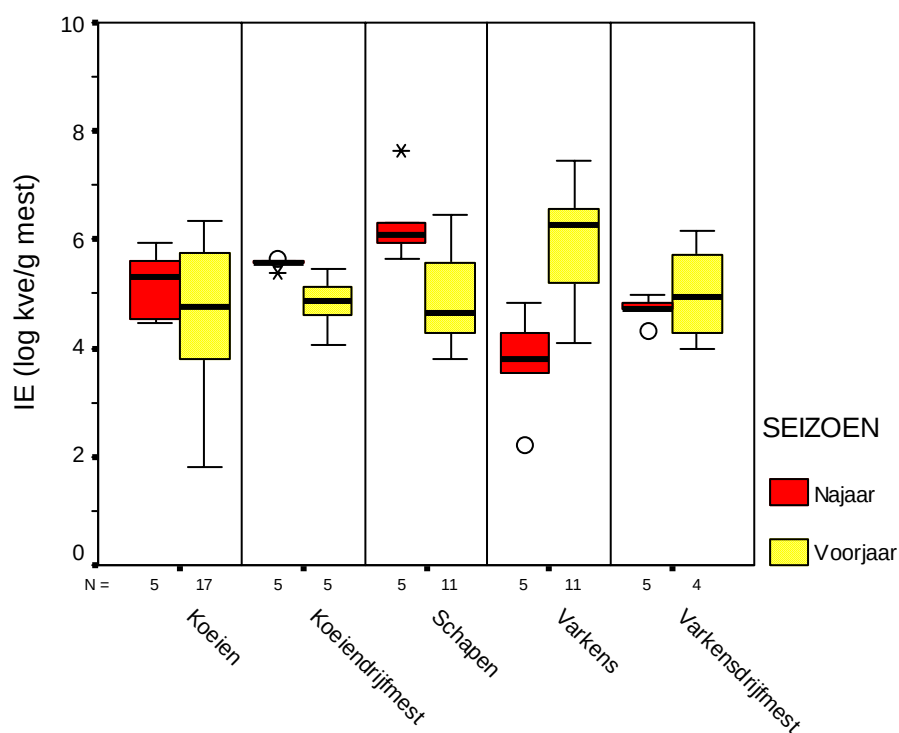
Een van de redenen om een aanvullende serie metingen aan mestmonsters te doen was de verwachting dat de tijd van het jaar van invloed zou zijn op de hoeveelheid indicator-organismen in de mest, bijv. door een ander samenstelling van de voeding, of door drachtigheid. Om hier een eerste indruk van te krijgen zijn de resultaten voor de diercategorieën waarvan zowel in het najaar als in het voorjaar mestmonsters zijn verzameld, uitgezet in geclusterde boxplots voor EC (fig. 6) en IE (fig. 7). In de geclusterde boxplots worden de resultaten weergegeven m.b.v. twee boxplots per mestsoort, namelijk één voor het najaar en één voor het voorjaar. Doordat deze twee direct naast elkaar worden afgebeeld is goed te zien wat de verschillen of overeenkomsten zijn.

Voor IE lijkt er geen verschil te bestaan tussen het voorjaar en het najaar aangezien voor alle mestsoorten de bandbreedtes elkaar overlappen (fig 7). De enige diercategorie waarbij hierover evt. twijfel zou kunnen ontstaan is de varkens, hier lijkt het najaar iets lager te zijn. Dit wordt versterkt door het feit dat voor EC de najaarsmetingen duidelijk lager uitvallen dan de voorjaarsmetingen (fig 6). In figuur 6 is ook zichtbaar dat voor EC in koeiendrijfmest de najaarsmeting juist hoger is dan de voorjaarsmeting. Dit patroon is voor IE ook te herkennen in figuur 7. Met klem dient te worden benadrukt dat het hier bij de najaarsmetingen telkens handelt om 1 bedrijf waar de monsters zijn verzameld. Er zijn dus geen conclusies te trekken over of het hier om een seizoenseffect in de bacteriologische samenstelling van de mest gaat of over een toevallig afwijkend bedrijf. Het feit dat de varkensmest lager is en de koeiendrijfmest juist hoger in het najaar lijkt er eerder op te wijzen dat er sprake is van toevallig afwijkende bedrijven dan van een seizoenseffect.

Twee fenomenen die ook al in de vorige paragraaf zijn gesignaleerd worden in de figuren 6 en 7 andermaal duidelijk. Ten eerste dat de spreiding over het algemeen toeneemt als er meer bedrijven worden bemonsterd. Ten tweede dat de spreiding in de beide soorten drijfmest over het algemeen kleiner is dan die in verse mest.



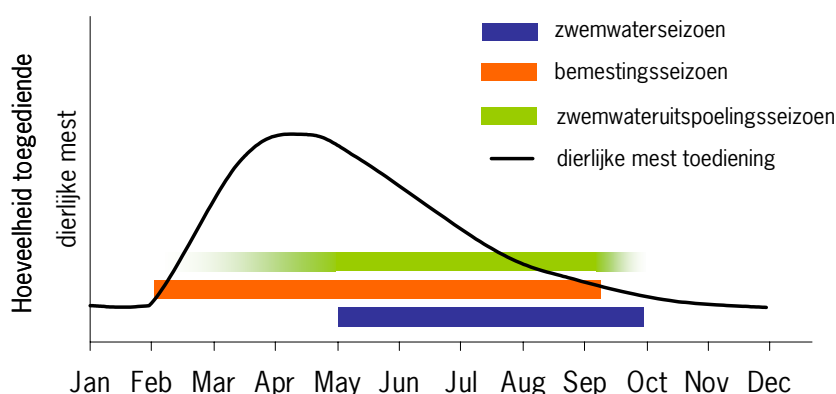
Figuur 6. Geclusterde boxplots van de EC concentraties in verse mest en drijfmest van verschillende diercategorieën in het najaar (studie1, okt-nov 2004) en het voorjaar (studie 2, mei 2005). Rondjes (○) geven extremen (>3 keer de boxlengte) aan, sterretjes (*) geven uitbijters aan, en N is het aantal monsters.



Figuur 7. Geclusterde boxplots van de IE concentraties in verse mest en drijfmest van verschillende diercategorieën in het najaar (studie1, okt-nov 2004) en het voorjaar (studie 2, mei 2005). Rondjes (○) geven extremen (>3 keer de boxlengte) aan, sterretjes (*) geven uitbijters aan, en N is het aantal monsters.

3.1.3 Toediening van dierlijke mest gedurende het zwemwater-uitspoelingsseizoen

Het zwemseizoen loopt van 1 mei tot 1 oktober (153 dagen), terwijl het bemestingsseizoen van 1 februari tot 15 september loopt (227 dagen). Mest, toegediend in de periode voor het zwemseizoen, kan uitspoelen gedurende het zwemseizoen en evenzo kan er mest na 15 september uitspoelen. Dit verschil tussen bemestingsseizoen en zwemseizoen is schematisch afgebeeld in Figuur 6. De meeste dierlijke mest wordt aan het begin van het groeiseizoen toegediend (maart en april), en vlakt daarna af.



Figuur 8. Toediening van dierlijke mest (zwarte lijn) en het bemestingsseizoen en zwemseizoen. Het zwemwateruitspoelingsseizoen is de periode waarbinnen mest uit kan spoelen en bij kan dragen aan de fecale contaminatie van zwemwater gedurende het zwemseizoen.

De correctiefactor ϵ om voor het verschil tussen zwemwateruitspoelingsseizoen en zwemseizoen te corrigeren, is gedefinieerd als:

$$\epsilon = \frac{\text{hoeveelheid toegediende mest tijdens zwemwater uitspoelings seizoen (kg/zwus)}}{\text{totale hoeveelheid toegediende mest (kg/j)}} \quad (2)$$

Hoewel de variatie van ϵ naar verwachting groot is, zal voor de meeste typen landbouw ϵ rond de 80% liggen (pers.comm. O. Oenema, 2004). De factor ϵ is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Bij een nat voorjaar zal ϵ groter zijn. Tevens is ϵ sterk afhankelijk van het type landbouw; in april wordt voornamelijk op grasland uitgereden en veel minder op maïsland en akkerbouw.

Vanaf 2006 gaat naar alle waarschijnlijkheid een gebruiksnorm gelden van 170 kg N/ha dierlijke mest voor alle landbouwgronden¹. Bij een N gehalte van verse mest van 0.6% (Praktijkids Bemesting, 2000)², komt dit overeen met 28333 kg verse mest/ha. De EC en IE aanvoer door weidevee kan aldus berekend worden:

¹ In deze rapportage is geen rekening gehouden met eventuele derogaties op het voorgenomen beleid.

² Het N-gehalte in verse mest kan sterk fluctueren afhankelijk van diermanagement en diertype.

$$EC \text{ en IE aanvoer weidevee} = EC \text{ en IE concentratie in mest (kg/g verse mest)} * 1000 \text{ (g/kg)} * 28333 \text{ (kg verse mest/ha/j)} * 0.80 \text{ (j/zwms)} \quad (3)$$

Op akkerbouwbedrijven wordt jaarlijks zo'n 10 ton varkensdrijfmest per ha uitgereden (pers. comm. P. Dekker, PPO-AGV). Ook voor kippenmest is een bemesting van 10 ton/ha aangehouden. De aanvoer van drijfmest is vervolgens geschat met vergelijking 4.

$$EC \text{ en IE aanvoer drijfmest} = EC \text{ en IE concentratie in mest (kg/g verse mest)} * 1000 \text{ (g/kg)} * 10000 \text{ (kg verse mest/ha/j)} * 0.80 \text{ (j/zwms)} \quad (4)$$

Met de vergelijkingen 3 en 4 zijn de EC en IE gehalten uit Tabel 2 omgerekend tot aanvoervrachten gedurende het zwemwateruitspoelingsseizoen.

Tabel 3. Geschatte geometrisch gemiddelde aanvoer van EC en IE uit mest per diergroep gedurende het zwemseizoen (kg/ha/zwms).

Mest	EC	IE
Geiten	$9.0 \cdot 10^{12}$	$1.4 \cdot 10^{14}$
Kippen	$2.5 \cdot 10^{15}$	$3.5 \cdot 10^{14}$
Melkkoeien	$9.0 \cdot 10^{12}$	$1.4 \cdot 10^{12}$
Paarden	$3.8 \cdot 10^{10}$	$1.4 \cdot 10^9$
Schapen	$2.8 \cdot 10^{13}$	$5.9 \cdot 10^{12}$
Varkens	$1.0 \cdot 10^{13}$	$3.9 \cdot 10^{12}$
Runderdrijfmest	$7.7 \cdot 10^{11}$	$1.3 \cdot 10^{12}$
Varkensdrijfmest	$8.5 \cdot 10^{11}$	$5.6 \cdot 10^{11}$

In andere vormen van landbouw (bijv. glastuinbouw) is het gebruik van dierlijke mest doorgaans gering en is de kans op fecale contaminatie van het oppervlaktewater klein.

3.2 Afbraak

De EC en IE concentraties nemen af gedurende het transport door het bodemmilieu als gevolg van adsorptie aan bodemdeeltjes, predatie en/of afsterving. “Lumped” afbraakcoëfficiënten zoals vermeld in Tabel 4 integreren deze 3 processen. De meeste onderzoeken naar afbraak van micro-organismen in mest laten een duidelijke eerste-orde afbraak zien (Kress and Gifford, 1984; Stoddard et al., 1998), wat aangehouden is in deze studie (verg. 2).

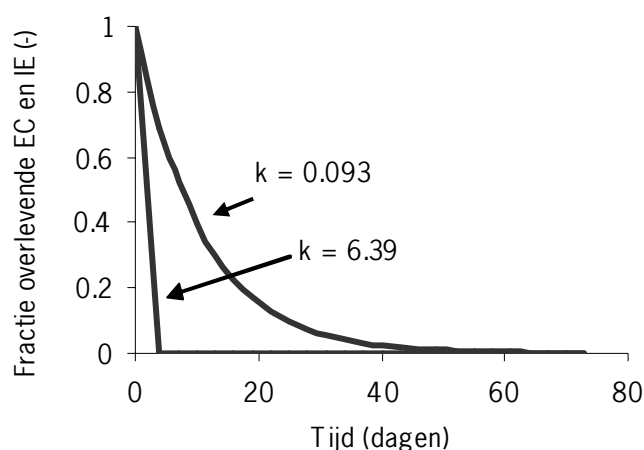
$$f_m = e^{-kt} \quad (5)$$

f_m	Reductiefactor als gevolg van afbraak van EC en IE in de bodem
k	Afbraakcoëfficiënt (d^{-1}) (zie Tabel 4)
t	Tijd na mest toediening (d)

Tabel 4. Eerste-orde afbraakcoëfficiënten van EC en IE in het bodemmilieu (d^1). Gegevens afkomstig uit Crane & Moore (1986), Reddy et al. (1981) en Stoddard et al. (1998). Voor de diergroepen geiten, paarden en varkens zijn de gemiddelde afbraakcoëfficiënten gebruikt voor EC en IE in bodem-water-plant milieus (Reddy et al., 1981).

	EC	IE
Geiten	0.92	0.37
Kippen	0.26-0.34	0.09
Melkkoeien	0.15-6.39	0.05-3.87
Paarden	0.92	0.37
Schapen	0.15-6.39	0.05-3.87
Varkens	0.92	0.37
Runderdrijfmest	0.66-1.13	0.05-3.87
Varkensdrijfmest	0.47	0.20

In Tabel 4 is de grote spreiding van afbraakconstanten opvallend. De genoemde afbraakconstanten zijn afkomstig uit de internationale literatuur en zeker de hogere afbraakconstanten lijken een overschatting voor de Nederlandse, vaak koudere, omstandigheden. Bij lagere temperaturen ligt o.a. de predatordruk op EC en IE lager, waardoor de overlevingskansen toenemen. De spreiding kan veroorzaakt worden door verschillen in het bodemmilieu bijv. pH, organische stof gehalte, nutriënten beschikbaarheid, temperatuur, vochtgehalte, UV straling (Crane & Moore, 1986), zoutgehalte (Rijnaarts, 1994) en aanwezigheid van Fe-hydroxiden (Schijven, 2001). Uit Tabel 4 blijkt dat IE doorgaans lagere afbraakcoëfficiënten heeft. Deze bevinding is in overeenstemming met het gebruik van IE als indicator voor 'oudere' fecale verontreinigingen (Leenen, 2004). Uit een recente Nederlandse studie is echter gebleken dat de afbraakcoëfficiënten voor EC en IE ook nagenoeg gelijk kunnen zijn (pers. comm. Leenen, 2005).



Figuur 9. Minimum en maximum fracties overlevende micro-organismen volgens eerste-orde afbraak (vergelijking 5).

Figuur 9 laat de minimale en maximale overlevingsfractie van EC en IE in de bodem zien als functie van de tijd. Uit deze Figuur blijkt een zeer sterke afsterving direct na

mesttoediening. Zelfs voor de kleinste afbraakcoëfficiënt resteert na 60 dagen minder dan 0.2% van de hoeveelheid aangevoerde EC. Deze constatering is in overeenstemming met eerdere onderzoeken waarin werd geconcludeerd dat 1-3 maanden na bemesting de fecale belasting niet meer detecteerbaar is (Culley and Phillips, 1982; Rosen, 2000; Stoddard et al., 1998). Tevens wordt bij grondwaterwinning ten behoeve van drinkwater een 60 dagen grenswaarde aangehouden. Bij de berekening van de uitspoelingsfracties die wordt beschreven in paragraaf 3.3 wordt uitgegaan van de eerste-orde afbraak zoals hier beschreven, en van de k-waarden uit tabel 4.

3.3 Transport

Indicator-organismen uit mest bereiken het oppervlaktewater door transport van water door en/of over de bodem naar het oppervlaktewater. Het neerslagoverschot, de hoeveelheid water die overblijft voor drainage na correctie voor verdamping en transpiratie, wordt afgevoerd naar grondwater en/of oppervlaktewater. Niet al het water wordt met dezelfde snelheid afgevoerd. Deze snelheid is sterk afhankelijk van de grondsoort en hydrologische omstandigheden. Omdat dit een belangrijk aspect is van de belasting van open zwemwater met fecale indicator-organismen is in deze herziene versie van het rapport een betere onderbouwing uitgewerkt van de fractie indicator-organismen die uitspoelt.

3.3.1 Berekeningsmethode voor de uitspoelingsfractie

Voor de berekening van de uitspoelingsfractie is gebruik gemaakt van een gedetailleerdere hydrologie van het bodemprofiel die is berekend met behulp van het pseudo 2-dimensionaal hydrologisch model SWAP (van Dam, 2000). De bodem wordt hierbij weergegeven als een kolom bestaande uit verschillende lagen met per laag bijbehorende bodemkenmerken. Door combinatie van neerslaggegevens en bodemkenmerken kunnen de waterstromen per bodemlaag worden berekend (fig 10).

De fractie microorganismen die uitspoelt naar het oppervlaktewater wordt berekend per bodemlaag met behulp van een massabalans. Voor laag n is dit schematisch weergegeven in figuur 11.

De concentratie microorganismen in laag n kan dan worden berekend volgens:

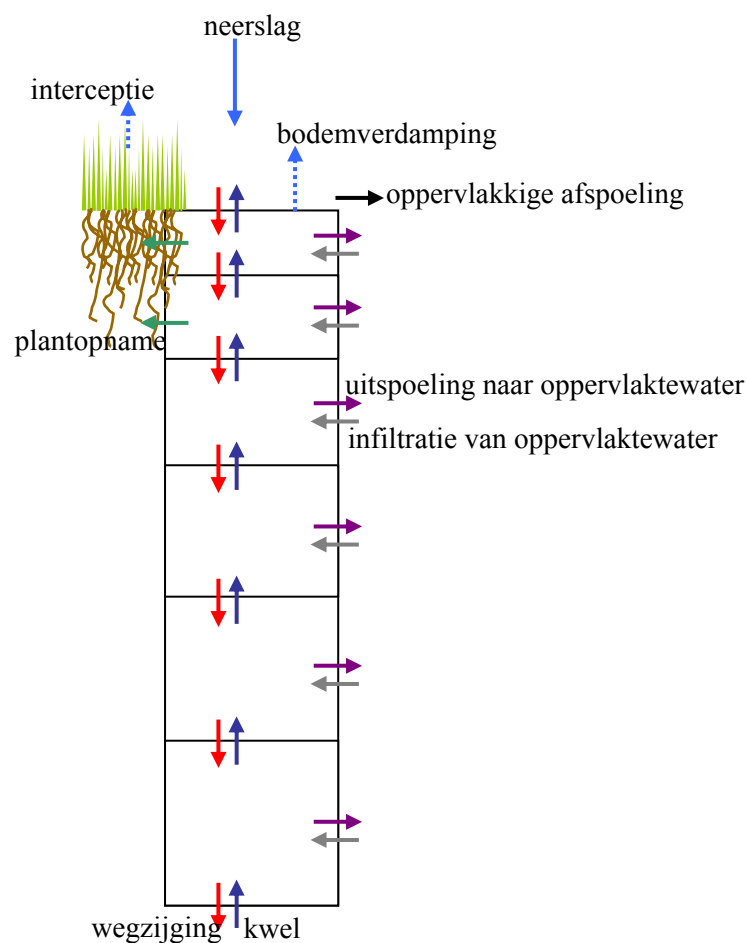
$$MO_{in} - MO_{uit} - afbraak = 0 \quad (5)$$

$$\Phi_1 * [MO]_{n-1} - (\Phi_3 + \Phi_6) * [MO]_n - k * Vol_n * [MO]_n = 0 \quad (6)$$

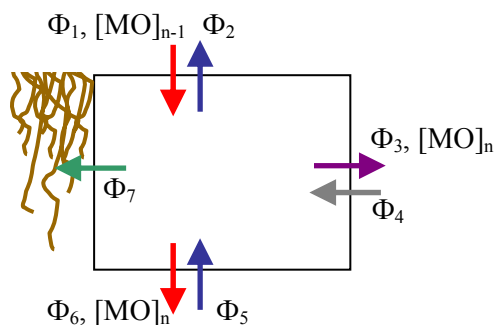
$$[MO]_n / [MO]_{n-1} = \Phi_1 / (\Phi_3 + \Phi_6 + k * Vol_n) \quad (7)$$

waarbij Φ_x is een hydrologische flux (m/d), $[MO]_n$ is de concentratie microorganismen in laag n (kve/m³), k is afbraakconstante van microorganismen (d⁻¹) en Vol_n is het watervolume van bodemlaag n (m³/m²).

Voor deze berekening is aangenomen dat er door kwel en infiltratie geen microorganismen het bodemprofiel instromen. Van de concentraties in het uitspoelende water van alle bodemlagen wordt tenslotte het fluxgewogen gemiddelde genomen. Indien voor de concentratie aan het bodemoppervlak een waarde van 1 wordt aangenomen is dit fluxgewogen gemiddelde gelijk aan de uitspoelingsfractie f_u (zie vergelijking 1).



Figuur 10: Schematische weergave van de hydrologische stromen in een bodemkolom.



Figuur 11. Hydrologische fluxen en concentraties van microorganismen voor een willekeurige bodemlaag (laag n).

3.3.2 Ruimtelijke schematisatie

Voor de ruimtelijke schematisatie van de bodemprofielen voor Nederland is gebruik gemaakt van de landsdekkende schematisatie van het model STONE (Kroes et al, 2001). STONE is een model dat is ontwikkeld om de uitspoeling van nutriënten (N en P) vanuit landbouw en natuur naar het oppervlaktewater te berekenen. Verder is dit model ook toegepast om de uitspoeling van zware metalen vanuit de bodem naar het oppervlaktewater te berekenen (Bonten et al., 2005). In dit model is Nederland verdeeld in 6405 eenheden, waarbij elke eenheid een unieke combinatie is van bodemopbouw, hydrologie van de ondergrond (kwel/wegzijging) en landgebruik. Voor elk van deze 6405 eenheden zijn per bodemlaag de belangrijkste chemische bodemeigenschappen (o.a. organische stofgehalte, kleigehalte, pH) en fysische bodemeigenschappen (hydrologische weerstanden) gegeven tot een diepte van 13m – mv. Met behulp van het hydrologische model SWAP is voor alle eenheden de hydrologie berekend op basis van de bodemeigenschappen en de meteorologische gegevens.

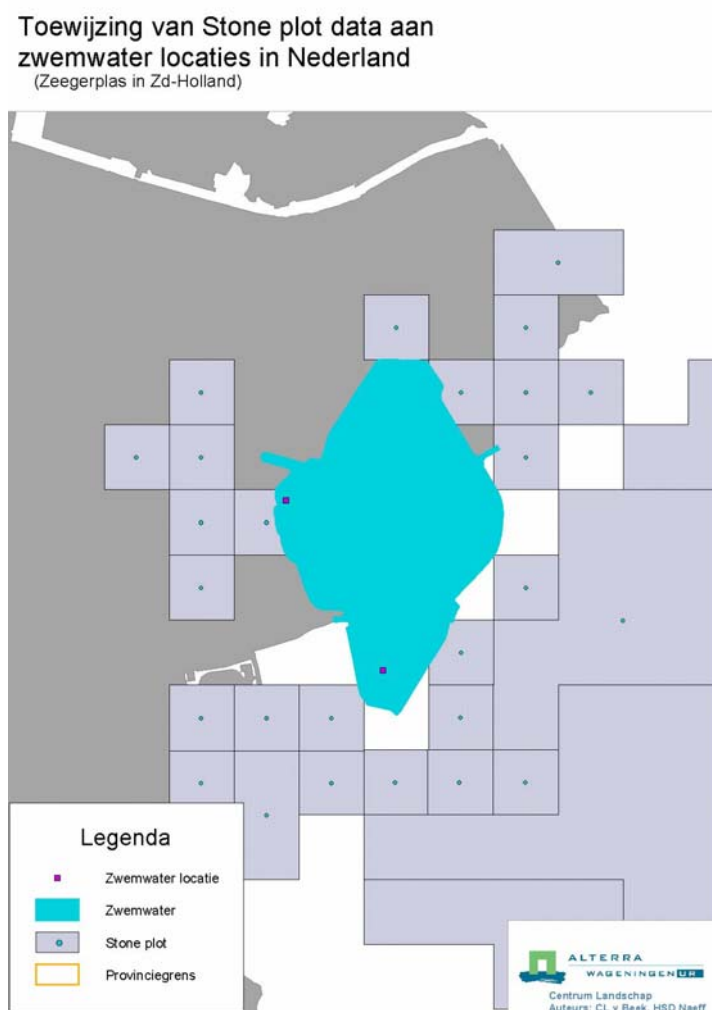
Voor de berekening van de uitspoeling van microorganismen is uitgegaan van de gemiddelde waterbalans voor de periode 1971-2000 gedurende het zwemseizoen (1 mei tot 1 oktober). Hiervoor zijn per STONE-eenheid de hydrologische gegevens voor de periode 1 mei tot 1 oktober voor de jaren 1971-2000 omgerekend naar een gemiddelde dagelijkse waterbalans. Met behulp van deze waterbalansen is voor alle 6405 STONE-eenheden voor iedere k-waarde uit tabel 4 een uitspoelingsfractie (f_u) uitgerekend. Vervolgens is van alle open zwemwaterlocaties in Nederland (fig 1) bepaald op wat voor grondsoort ze liggen en wat de dichtstbijzijnde STONE-plot is. In figuur 12 is hiervan een voorbeeld te zien. In het centraal gelegen open water zijn door de betreffende Provincie twee zwemwaterlocaties aangewezen (de rode punten in het water) en in deze studie zijn bij deze locaties de dichtstbijzijnde STONE-plots geselecteerd (STONE-plots zijn de blokjes met een puntje erin). Hiermee is voor alle officiële open zwemwaterlocaties in Nederland bekend wat de bodemkundige en hydrologische kenmerken zijn. Voor deze studie is deze locatiespecifieke informatie gegeneraliseerd naar de grondsoorten zand, veen en klei. Per grondsoort is een verdeling van de uitspoelingsfracties berekend voor iedere k-waarde uit tabel 4. Met

deze verdelingen is voor iedere mestsoort te bepalen wat de belasting is voor een open zwemwaterlocatie op elk van de drie grondsoorten.

3.3.3 De uitspoelingsfracties

Van de resultaten van de bovenstaande benadering worden in deze paragraaf de uitspoelingsfracties getoond, en in hoofdstuk 4 de daarmee berekende belastingen per ha per zwemseizoen. In tabel 5 en 6 zijn voor resp. EC en IE per grondsoort en per diercategorie de 5-percentiel, het geometrisch gemiddelde en de 95 percentiel weergegeven.

Uit deze tabellen wordt duidelijk dat gemiddeld slechts zelden meer dan 1% (0.010) van de aangevoerde vracht indicator-organismen uitspoelt naar het oppervlaktewater.



Figuur 12. Voorbeeld van een open water met twee zwemwaterlocaties en de omliggende STONE-plots.

Alleen voor kippenmest en voor varkens(drijf)mest worden hogere fracties gevonden, en die blijven dan ook nog onder de 5%.

Een tweede fenomeen dat met deze beter onderbouwde benadering duidelijk wordt is dat de uitspoeling van fecale bacteriën naar zwemwater in zandgebieden nagenoeg afwezig is. Niet alleen de 5-percentiel is zeer laag ($< 10^{-11}$) ook de gemiddelden zijn zeer laag ($< 10^{-5}$). Uit de 95-percentiel blijkt dat slechts in een klein deel van de gevallen op zandgronden de uitspoeling zal oplopen tot zo'n 3%.

Tot slot is te zien dat de hoogste uitspoelingsfracties voorkomen op de kleigronden. Hier ligt de 95-percentiel rond de 25% uitspoeling. Veen neemt een tussenpositie in met gemiddelden die vergelijkbaar zijn met die van de kleigronden, en 95-percentielen die veelal niet boven de 10% uitspoeling uitkomen.

Tabel 5. Uitspoelingsfracties van EC naar het oppervlaktewater per diercategorie voor klei, veen en zand (5% is het 5 percentiel, Gem is het geometrisch gemiddelde, en 95% is het (statistische) 95 percentiel).

Diercategorie	Klei			Veen			Zand		
	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%
Geiten	0.001	0.010	0.229	0.000	0.005	0.053	0.000	0.000	0.002
Kippen	0.002	0.015	0.249	0.001	0.011	0.085	0.000	0.000	0.006
Melkkoeien	0.003	0.008	0.250	0.001	0.003	0.135	0.000	0.000	0.010
Paarden	0.001	0.010	0.229	0.000	0.005	0.053	0.000	0.000	0.002
Schapen	0.003	0.008	0.250	0.001	0.003	0.135	0.000	0.000	0.010
Varkens	0.001	0.010	0.229	0.000	0.005	0.053	0.000	0.000	0.002
Runderdrijfmest	0.001	0.010	0.231	0.000	0.005	0.066	0.000	0.000	0.002
Varkensdrijfmest	0.002	0.013	0.237	0.001	0.008	0.071	0.000	0.000	0.003

Tabel 6. Uitspoelingsfracties van IE naar het oppervlaktewater per diercategorie voor klei, veen en zand (5% is het 5 percentiel, Gem is het geometrisch gemiddelde, en 95% is het (statistische) 95 percentiel).

Diercategorie	Klei			Veen			Zand		
	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%
Geiten	0.002	0.014	0.242	0.001	0.009	0.074	0.000	0.000	0.004
Kippen	0.004	0.030	0.277	0.004	0.031	0.208	0.000	0.000	0.019
Melkkoeien	0.003	0.010	0.250	0.005	0.004	0.047	0.000	0.000	0.030
Paarden	0.002	0.014	0.242	0.001	0.009	0.074	0.000	0.000	0.004
Schapen	0.003	0.010	0.250	0.005	0.004	0.047	0.000	0.000	0.030
Varkens	0.002	0.014	0.242	0.001	0.009	0.074	0.000	0.000	0.004
Runderdrijfmest	0.005	0.010	0.250	0.005	0.004	0.047	0.000	0.000	0.030
Varkensdrijfmest	0.003	0.019	0.255	0.001	0.015	0.106	0.000	0.000	0.008

4 Af- en uitspoeling van EC en IE uit mest naar het oppervlaktewater

4.1 De belasting met EC en IE van het open zwemwater

Met behulp van de EC en IE metingen aan de mestmonsters en de vergelijkingen op pag 24 zijn per diercategorie verdelingen van de EC- en IE-aanvoer berekend. Door deze te vermenigvuldigen met de verdelingen van de uitspoelingsfracties voor klei, veen, en zand behorend bij de juiste k-waarde voor de mestsoort, wordt een verdeling uitgerekend van de belasting van het oppervlaktewater per diercategorie per grondsoort. Van deze verdelingen voor EC en IE staan de 5-percentiel, het geometrisch gemiddelde en de 95-percentiel weergegeven in resp. de tabellen 7 en 8.

Tabel 7. EC belasting van het oppervlaktewater gedurende het zwemseizoen (kve ha⁻¹zwus⁻¹) voor verschillende grondsoorten en verschillende diergroepen (verse mest) en drijfmesttypen.

Diercategorie	Klei			Veen			Zand		
	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%
Geiten	5.6*10 ⁸	9.3*10¹⁰	5.3*10 ¹²	2.1*10 ⁸	4.5*10¹⁰	2.1*10 ¹²	8.8*10 ⁻¹⁰	5.9*10²	6.5*10 ¹⁰
Kippen	2.7*10 ¹²	4.2*10¹³	1.0*10 ¹⁵	9.2*10 ¹¹	3.0*10¹³	8.8*10 ¹⁴	2.4*10 ⁻¹	9.5*10⁷	3.7*10 ¹³
Melkkoeien	2.7*10 ⁸	6.9*10¹⁰	4.6*10 ¹²	7.5*10 ⁷	2.3*10¹⁰	1.4*10 ¹²	2.9*10 ⁻¹⁷	3.3*10⁻¹	2.8*10 ¹⁰
Paarden	1.5*10 ⁷	3.9*10⁸	1.7*10 ¹⁰	3.8*10 ⁶	1.9*10⁸	1.1*10 ¹⁰	2.6*10 ⁻¹²	2.5	2.2*10 ⁸
Schapen	2.0*10 ⁸	2.2*10¹¹	2.0*10 ¹⁴	6.7*10 ⁷	7.2*10¹⁰	9.4*10 ¹³	7.1*10 ⁻¹⁷	1.0	8.6*10 ¹¹
Varkens	3.7*10 ⁶	1.1*10¹¹	4.6*10 ¹³	2.5*10 ⁶	5.2*10¹⁰	3.6*10 ¹³	5.3*10 ⁻¹⁰	6.8*10²	5.8*10 ¹¹
Runderdrijfmest	3.8*10 ⁷	8.0*10⁹	5.9*10 ¹¹	1.4*10 ⁷	3.9*10⁹	3.1*10 ¹¹	6.4*10 ⁻¹¹	5.1*10¹	8.4*10 ⁹
Varkensdrijfmest	8.0*10 ⁸	1.1*10¹⁰	2.3*10 ¹¹	2.6*10 ⁸	6.6*10⁹	1.1*10 ¹¹	9.0*10 ⁻⁸	1.7*10³	4.4*10 ⁹

Tabel 8. IE belasting van het oppervlaktewater gedurende het zwemseizoen (kve ha⁻¹zwus⁻¹) voor verschillende grondsoorten en verschillende diergroepen (verse mest) en drijfmesttypen.

Diercategorie	Klei			Veen			Zand		
	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%	5%	Gem	95%
Geiten	2.4*10 ¹⁰	2.1*10¹²	5.8*10 ¹⁴	9.0*10 ⁹	1.3*10¹²	6.0*10 ¹⁴	2.5*10 ⁻⁴	9.6*10⁵	1.1*10 ¹³
Kippen	8.6*10 ¹¹	1.0*10¹³	1.2*10 ¹⁴	3.9*10 ¹¹	1.1*10¹³	1.6*10 ¹⁴	1.3*10 ³	1.8*10⁹	1.0*10 ¹³
Melkkoeien	2.9*10 ⁷	1.4*10¹⁰	1.2*10 ¹²	1.5*10 ⁷	6.2*10⁹	6.6*10 ¹¹	8.8*10 ⁻¹²	3.1*10¹	1.4*10 ¹⁰
Paarden	1.6*10 ⁶	2.0*10⁷	4.2*10 ⁸	5.4*10 ⁵	1.3*10⁷	3.2*10 ⁸	2.2*10 ⁻⁹	9.3	1.1*10 ⁷
Schapen	8.6*10 ⁸	5.7*10¹⁰	7.8*10 ¹²	2.3*10 ⁸	2.6*10¹⁰	3.3*10 ¹²	4.4*10 ⁻¹¹	1.3*10²	5.0*10 ¹⁰
Varkens	1.1*10 ⁸	5.6*10¹⁰	1.2*10 ¹³	6.2*10 ⁷	3.6*10¹⁰	1.1*10 ¹³	7.9*10 ⁻⁶	2.6*10⁴	2.5*10 ¹¹
Runderdrijfmest	4.8*10 ⁸	1.2*10¹⁰	3.1*10 ¹¹	1.4*10 ⁸	5.6*10⁹	8.8*10 ¹⁰	5.7*10 ⁻¹²	2.8*10¹	3.4*10 ⁹
Varkensdrijfmest	8.3*10 ⁸	1.1*10¹⁰	2.9*10 ¹¹	3.2*10 ⁸	8.5*10⁹	3.6*10 ¹¹	6.9*10 ⁻⁴	7.5*10⁴	7.4*10 ⁹

Twee zaken vallen op aan de resultaten in deze tabellen. Ten eerste de gemiddeld zeer lage belasting van het oppervlaktewater door uitspoeling vanuit zandgronden vergeleken met de klei- en veengronden (en met de inschatting voor zandgronden in de eerste studie). Er spoelt op zandgronden gemiddeld niet meer dan een paar honderd tot een paar duizend kve per ha per zwemseizoen uit. Dit is grofweg een factor 10⁷ lager dan de gemiddelde uitspoeling op klei en veen. Een dergelijke hoge

uitspoeling kan in een aantal gevallen wel voorkomen op zandgronden gezien de waarden van het 95-percentiel. De enige duidelijke uitzondering op dit beeld is kippenmest, maar daarvoor moet nogmaals worden opgemerkt dat slechts 5 metingen aan de mest van 1 bedrijf zijn gedaan. Deze hoog uitgevallen metingen (of dit toeval is, is dus niet duidelijk) gecombineerd met de vrij lage k-waarden (langzame afbraak, hoge uitspoelingsfractie) leidt tot de hogere waarde voor de belasting via kippenmest. Dit patroon is overigens ook te zien voor klei en veengronden.

Ten tweede valt op dat voor de mestsoorten waarvoor meer metingen beschikbaar zijn de belastingswaarden voor het zwemwater in klei- en veengronden zich gemiddeld concentreren rond 10^{10} kve per ha.

4.2 Een voorbeeldberekening voor een zwemwaterlocatie

De EC en IE belastingen uit de tabellen 7 en 8 kunnen vervolgens vermenigvuldigd worden met het oppervlak landbouwgrond direct grenzend aan, of in directe verbinding staand met, de zwemwaterlocatie (het vanggebied). In het geval dat er sprake is van sterk gemengde landbouw, bijv. akkerbouw en melkveehouderij kan er voor gekozen worden om de bijdragen uit de akkerbouw en de melkveehouderij apart te berekenen en vervolgens op te tellen.

Voorbeeldberekening EC belasting zwemwaterlocatie gras op klei.

Een zwemwaterlocatie ligt in een gras op klei gebied en het directe vanggebied is 20 ha. Het landgebruik is overwegend beweiding met melkvee.

De aanvoer met EC in dit gebied gedurende het zwemseizoen is geschat op gemiddeld $6.9 \cdot 10^{10}$ kve/ha (Tabel 7). Voor het hele vanggebied komt dit overeen met $20 \text{ ha} \cdot 6.9 \cdot 10^{10} \text{ kve/ha} = 1.4 \cdot 10^{12}$ kve EC.

Er is 5% kans dat het minder is dan $20 \text{ ha} \cdot 2.7 \cdot 10^8 \text{ kve/ha} = 5.4 \cdot 10^9$ kve EC.

Er is 5% kans dat het meer is dan $20 \text{ ha} \cdot 4.6 \cdot 10^{12} \text{ kve/ha} = 9.2 \cdot 10^{13}$ kve EC.

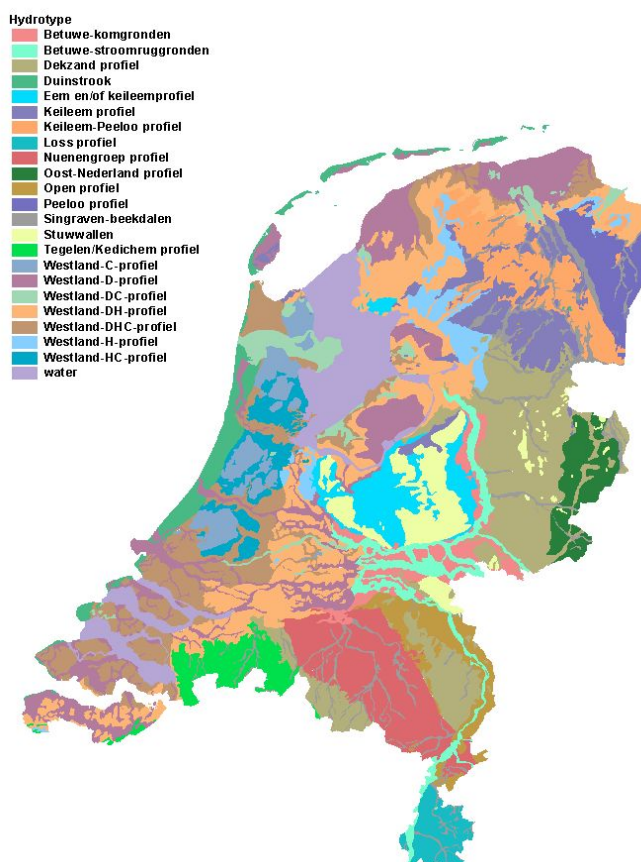
4.3 Ruimtelijke spreiding in de uitspoelingsgevoeligheid

De EC en IE belastingen uit Tabellen 7 en 8 hebben een grote spreiding. Dit heeft enerzijds te maken met de grote spreiding in de metingen aan de mestmonsters (zie figuren 4 en 5), en anderzijds met de grote variatie in de uitspoelingsfracties (zie tabellen 5 en 6). De uitspoelingsfracties worden sterk beïnvloed door de inrichting en geohydrologische eigenschappen van een gebied. Een aflopend perceel zal bijvoorbeeld meer en sneller water afvoeren dan een hol of vlak perceel. Ook de aanwezigheid van veel oppervlaktewater (slootdichtheid) zal zorgen voor een snellere afvoer naar het oppervlaktewater. In Tabel 9 zijn een aantal factoren genoemd die de grootte van de indicator-vrachten positief dan wel negatief beïnvloeden.

Tabel 9. Factoren die EC en IE af- en uitspoeling van mest naar zwemwater verhogen danwel verlagen.

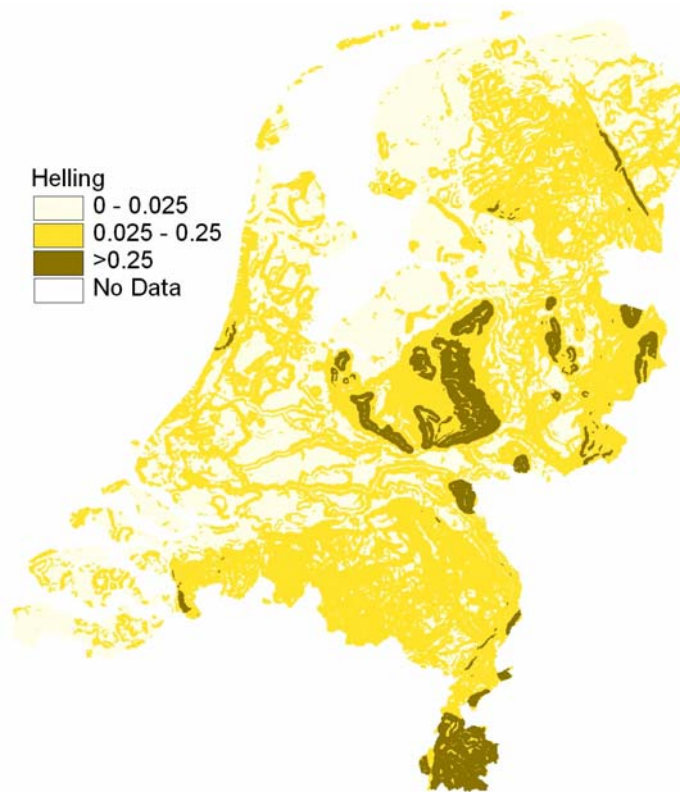
Factoren die af- en uitspoeling naar zwemwater verlagen	Factoren die af- en uitspoeling naar zwemwater verhogen
Afwezigheid van drains en/of greppels. Diepe grondwaterstanden en vrije drainage.	Aanwezigheid van drains en/of greppels. Ondiepe grondwaterstanden en aanwezigheid van ondiepe scheidende lagen.
Vlakke of holle ligging van percelen. Grote percelen gescheiden door hekwerk. Het vee kan niet direct bij het oppervlaktewater (bijv. door afrastering) en/of aanwezigheid van bufferstroken.	Bolle of hellende percelen. Kleine percelen omsloten door sloten. Het vee heeft direct toegang tot het oppervlaktewater.

Snel transport van perceel naar oppervlaktewater is één van de sterkst sturende factoren van EC en IE belasting van oppervlaktewater met mest (Crowther et al., 2003; Wyer et al., 1998). Snel transport naar het oppervlaktewater wordt bevorderd door de aanwezigheid van drains, greppels en/of ondiepe grondwaterstanden. Oppervlakkig en ondiep transport komen relatief vaak voor in gebieden met het Westland-hydrotype (Figuur 12). Hydrotypen worden onderscheiden op basis van de geohydrologische opbouw van de ondiepe ondergrond (Massop et al., 1997).



Figuur 12. Hydrotypen in Nederland.

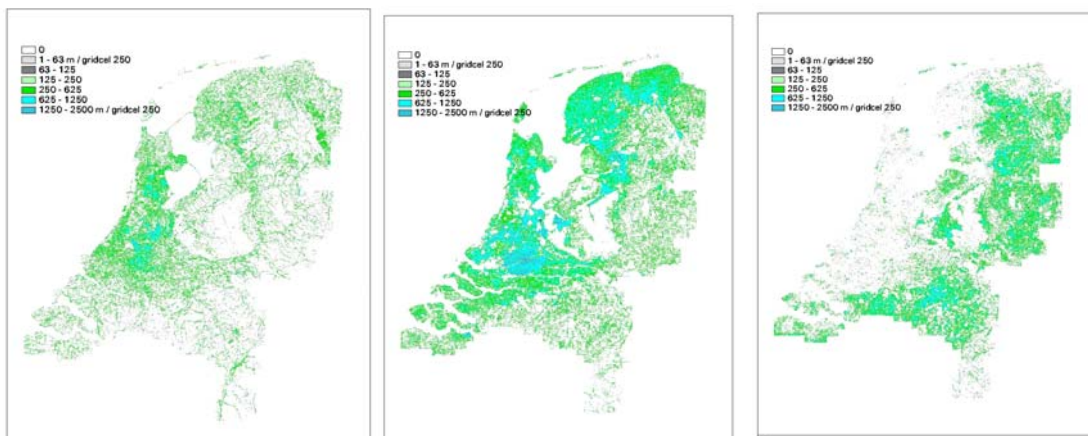
Snel transport wordt tevens bevorderd door een bolle of hellende ligging van percelen richting het oppervlaktewater. Hellende percelen komen met name voor op de stuwwallen en in Zuid-Limburg (Figuur 13).



Figuur 13. Hellingen in Nederland.

De transportafstand van EC en IE naar het oppervlaktewater hangt af van de slootdichtheid. Bij een hogere slootdichtheid zal de trefkans dat mest dichtbij het oppervlaktewater wordt gedeponerd groter zijn dan bij een lagere slootdichtheid. Een hoge dichtheid van continu watervoerende waterlopen (primaire en secundaire waterlopen) wordt vooral gevonden in Noord en West-Nederland (Figuur 14), terwijl een hoge dichtheid van greppels en droogvallende waterlopen (tertiaire waterlopen) vooral in Oost-Nederland wordt gevonden. De hoge dichtheid van continu watervoerende waterlopen in Noord en West-Nederland leidt tot een hoger risico in deze gebieden op fecale contaminatie van zwemwater door uit- en afspoeling van mest dan in de gebieden met lagere slootdichtheid in Oost en Zuid-Nederland.

Indien vee toegang heeft tot de waterloop kan er een 'contactstroom' ontstaan, doordat mest rechtstreeks in het (zwem)water wordt gedeponerd. Doordat het hele transportproces in zo'n situatie wordt overgeslagen kunnen EC en IE concentraties veel hoger worden dan wanneer de organismen eerst de bodem moeten passeren (Nagels et al., 2002).



Figuur 14. Dichtheid van primaire (links), secundaire (midden) en tertiaire (rechts) waterlopen in Nederland.

De factoren uit Tabel 9 geven aanleiding tot het bijstellen van schattingen van indicator-vrachten uit dierlijke mest naar het zwemwater naar de bovenkant van de gepresenteerde marges (Tabellen 7 en 8) voor de volgende gebieden:

West-Nederland	Het Westland hydrotype duidt op relatief grote afvoerfractie naar het oppervlaktewater (Figuur 12). Tevens hoge slootdichtheid (Figuur 14).
Friesland	Door hoge slootdichtheid meer kans op contactstroom en sneller transport (Figuur 14).
Veluwe en Zuid-Limburg	Door aanwezigheid van hellingen grotere kans op oppervlakkige afspoeling (Figuur 13).

In dit rapport volstaan we met deze algemene ruimtelijke conclusies. Het is echter mogelijk om op basis van de analyse van de uitspoelingsfracties m.b.v. de STONE-plots en de ligging van de zwemwaterlocaties (zie paragraaf 3.3) tot een locatiespecifieke analyse van de problematiek te komen.

Naast bovengenoemde factoren spelen ook periodieke omstandigheden een grote rol in de indicator-belasting van het zwemwater. Periodieke omstandigheden zijn bijvoorbeeld het weer en de vee-bezetting. Dit soort factoren kunnen leiden tot een (tijdelijke) stijging van de indicator-belasting van het zwemwater. Deze momenten van piekbelasting worden behandeld in het volgende hoofdstuk.

5 Piekbelastingen

In het voorgaande hoofdstuk zijn gebiedsbeschrijvingen gepresenteerd. Met de gebiedsbeschrijvingen kan aangegeven worden op welke locaties af- en uitspoeling van mest naar oppervlaktewater naar alle waarschijnlijkheid een belangrijke bron van EC en IE in het zwemwater vormen. Echter, acuut risico voor zwemmers ontstaat ten tijden van piekbelastingen, bijvoorbeeld na hevige regenval bij een relatief ondiepe grondwaterstand.

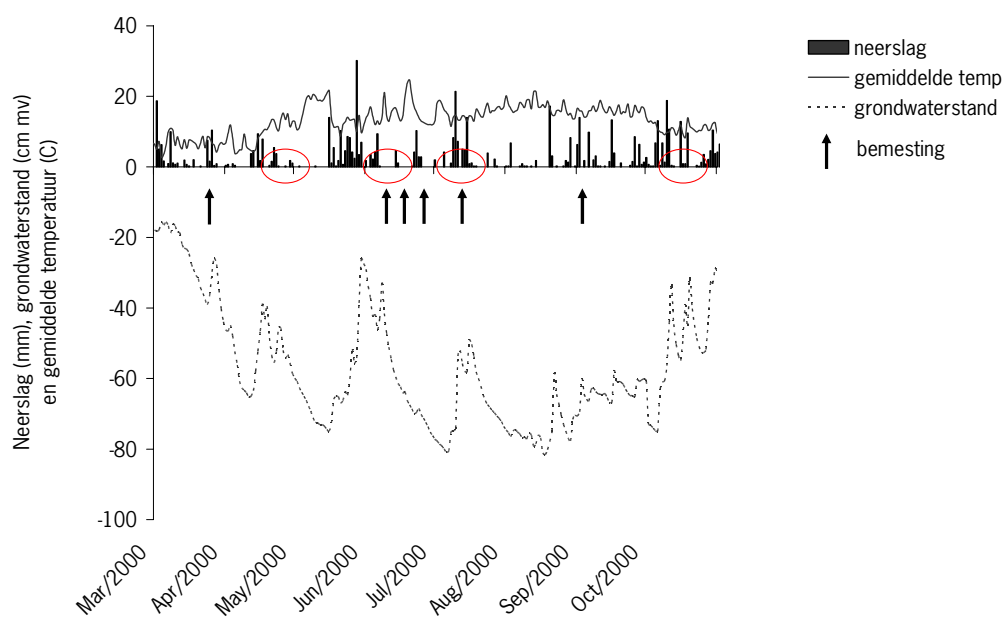
Verschillende onderzoeken geven aan dat momenten met hoge waterafvoer leiden tot sterke stijgingen van de indicatororganisme-belasting afkomstig van de landbouw (Nagels et al., 2002; Saini et al., 2003). Dit is tegengesteld aan het gedrag van puntbronnen zoals RWZIs waar hoge waterafvoer juist leidt tot verdunning van de indicator-concentraties (Wyer et al., 1998).

Met name oppervlakkige afvoer kan leiden tot een (tijdelijk) sterke verhoging van de fecale belasting (Crowther et al., 2002; Nobel, 1999). Veel gebieden kennen een zgn. omslagpunt tussen neerslag-intensiteit en oppervlakkige afvoer. Dit heeft te maken met de doorlatendheid en bergingscapaciteit van de bodem; vanaf een bepaalde intensiteit kan de bodem de wateraanvoer niet meer opnemen en wordt de neerslag oppervlakkig afgevoerd. Echter dit soort omslagpunten zijn zeer locatiespecifiek en gegevens van het ene gebied kunnen niet zomaar vertaald worden naar een algemene vuistregel voor Nederland (of voor een grondsoort). Als voor een bepaalde locatie het omslagpunt voor oppervlakkige afvoer bekend is, kan dit meegenomen worden in de risico-inschatting voor piekbelasting van indicator-organismen in zwemwater.

Een andere mogelijke aanleiding van een piekbelasting is dat de vee-dichtheid op een perceel als gevolg van rotatie-beweiding tijdelijk veel hoger kan zijn dan het landelijke gemiddelde van 2.1 gve/ha. Tevens leidt veel zonneschijn (UV-straling) tot afsterving van EC en IE en is de predatordruk kleiner bij lage temperaturen (Crane & Moore, 1986). Uit bovenstaande overwegingen kan afgeleid worden dat

de kans op piekbelasting door uit- en afspoeling van indicator-organismen uit mest sterk toeneemt bij bemesting van een perceel grenzend aan de zwemwaterlocatie tijdens veel regenval na een natte periode (relatief ondiepe grondwaterstand), weinig zonneschijn en lage temperaturen.

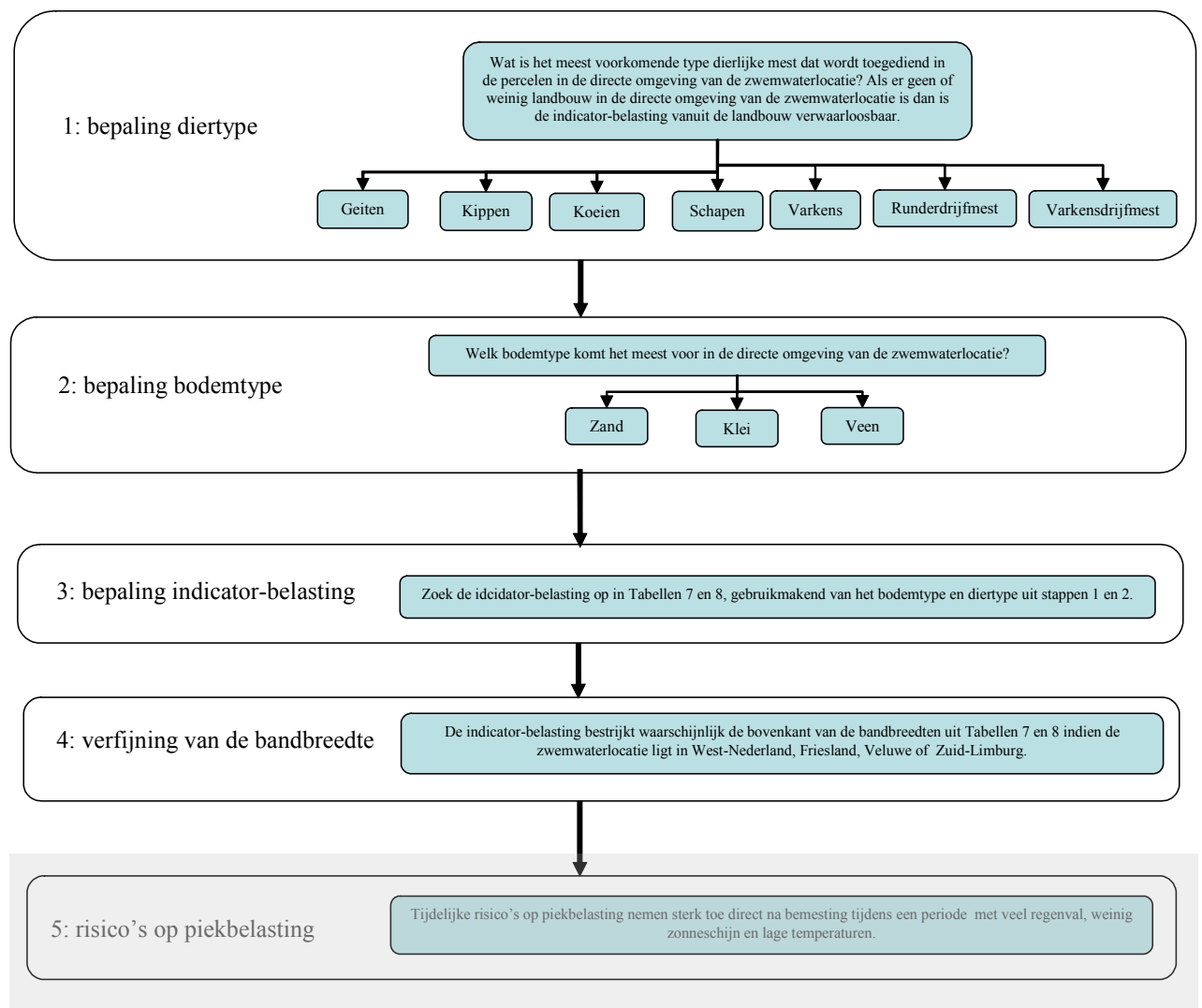
In Figuur 15 is een voorbeeld gepresenteerd hoe momenten van piekbelasting ingeschat kunnen worden. Het betreft hier een grasland (melkkoeien) op veengebied. Momenten met een verhoogde kans op uit- en afspoeling van indicator-organismen zijn omcirkeld. Het zijn momenten met een relatief ondiepe grondwaterstand, veel neerslag en vrij lage temperaturen.



Figuur 15. Momenten met verhoogd risico op uit- en afspoeling van EC en IE uit mest (omcirkeld) voor melkkoeien op veen. Pijlen geven momenten van dierlijke mest toediening (drijfmest en weidemest) aan.

6 Interpretatie van resultaten

Indien het dominante bodemtype en landgebruik bekend zijn voor een bepaalde zwemlocatie kan de jaarlijkse EC en IE vracht naar het oppervlaktewater geschat worden met de Tabellen 7 en 8. De schatting uit deze tabellen kan ruimtelijk iets worden verfijnd door rekening te houden met gebiedsspecifieke kenmerken (Hoofdstuk 4). De stappen die voor deze schatting doorlopen moeten worden zijn samengevat in de stroomschema in Figuur 16.



Figuur 16. Stroomschema ter bepaling EC en IE belasting van het zwemwater als gevolg van af- en uitspoeling van mest van landbouwpercelen. Het inschatten van risico's op piekbelasting valt buiten deze studie, maar is ter volledigheid opgenomen in grijs (stap 5).

De fecale belastingen in de tabellen 7 en 8 vertonen een grote spreiding. Vergelijking van deze resultaten met data in de literatuur is lastig, omdat in de literatuur meestal puntmetingen worden verricht aan EC en IE concentraties in het oppervlaktewater en niet aan seizoensvrachten zoals berekend in deze studie. Echter, in de studie van Reddy et al. (1981) werd op een perceel van 1.3 ha in de VS varkensdrijfmest toegediend. De grondsoort wordt helaas niet vermeld. De waterafvoer naar het oppervlaktewater en de EC concentraties in het run-off water werden maandelijks gemeten gedurende het zwemseizoen. Daaruit blijkt dat de EC afspoeling gedurende het zwemseizoen ongeveer $1 \cdot 10^{10}$ EC ha⁻¹ is. Dit komt sterk overeen met de waarde van 10^{10} kve per ha voor EC (en trouwens ook IE) waarnaar de fecale belastingen in dit rapport gemiddeld tenderen voor klei en veengronden.

6.1 Gevoeligheidsanalyse

De EC en IE vrachten uit de Tabellen 7 en 8 zijn het resultaat van een aantal aannamen, schattingen en vereenvoudigingen. De voornaamste bronnen van variatie zijn de aangevoerde hoeveelheid bacteriën in de mest, de verblijftijd in de bodem (transportsnelheid), en de afbraaksnelheid. Uit een eerste, oriënterende beschouwing van de invloed van deze variabelen op de uiteindelijke variatie in de belasting van het zwemwater bleek dat alle drie genoemde factoren een significante bijdrage leveren bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 0.05. Verder bleek ook dat de invloed van de verblijftijd vooral een rol speelde bij de verschillen tussen de drie grondsoorten en dat binnen elk van de grondsoorten het aandeel van zowel de aanvoer als de afbraak in de totale variatie groter was dan het aandeel van de transportsnelheid. Om over de invloed van de verschillende bronnen van variatie meer kwantitatieve uitspraken te doen is een uitgebreidere analyse nodig die niet binnen het kader van deze studie kon worden uitgevoerd.

7 Discussie en aanbevelingen

Het doel van deze studie was om middels een eenvoudige rekenregel de fecale belasting van open zwemwater te berekenen. In de literatuur was onvoldoende informatie beschikbaar om alle genoemde factoren kwantitatief inzichtelijk te maken. Er is dus in deze tweeledige studie gewerkt aan het verwerven van een kwantitatieve basis voor de invulling van deze rekenregel. Uit de resultaten van de eerste studie bleek dat er twee belangrijke (onzekere) factoren in de rekenregel waren opgenomen, namelijk de gehalten aan EC en IE in de mest en de uitspoelingsfracties van indicator-organismen die met mest op het land zijn gebracht. Deze twee factoren zijn in het tweede deel van de studie nader uitgewerkt. Ten eerste door voor de belangrijkste diercategorieën extra bemonsteringen uit te voeren, en ten tweede door de uitspoelingsfracties van perceel naar open zwemwater beter te onderbouwen.

Voor de overige factoren was het, binnen dit onderzoek, enkel mogelijk om kwalitatieve effecten aan te geven. Tevens had deze focus van het onderzoek tot gevolg dat een heel aantal factoren die de EC en IE concentraties in mest en bodem beïnvloeden niet expliciet, maar geïntegreerd in een *lumped* factor (bijvoorbeeld in de afbraakcoëfficiënten) zijn meegenomen. Het betreft hier bijvoorbeeld: zoutgehalte, pH, zonlicht en organisch stofgehalte.

Gedurende het transport van EC en IE naar het zwemwater vindt een reductie plaats van > 98% (Tabellen 5 en 6). Tijdens dit transport van en door de bodem zijn twee factoren van invloed op de reductie. Ten eerste de afbraaksnelheid (tabel 4) en ten tweede de transportsnelheid. Hoe hoger de afbraaksnelheid en hoe lager de transportsnelheid (hogere verblijftijden in de bodem), hoe hoger de reductie van het aantal indicator-organismen. Deze verblijftijd is enerzijds afhankelijk van de grondsoort en anderzijds van incidenten zoals bijvoorbeeld hevige regenval. Het effect van grondsoort is in het tweede deel van de studie ondervangen door gebruik te maken van de STONE-eenheden. Hiermee is in principe voor iedere zwemwaterlocatie uit te rekenen wat de locatie-specifieke uitspoelingsfracties zijn (waarbij dan aangenomen wordt dat de afbraakcoëfficiënt correct is). Voor deze studie is deze informatie gegeneraliseerd naar drie grondsoorten, namelijk klei, veen en zand.

Verdere vereenvoudigingen in deze studie behelzen het landgebruik en de bijbehorende bemesting. Dit is gereduceerd tot een weidesysteem met een dierlijke mestaanvoer van 28333 kg verse mest/ha/j en een akkerbouwsysteem met een dierlijke mestaanvoer van 10000 kg verse mest/ha/j.

Naast deze vereenvoudigingen zullen er altijd (incidentele) factoren blijven die niet opgenomen kunnen worden in een rekenregel, maar die door veldwaarnemingen boven tafel moeten komen. In een case-study bleek bijvoorbeeld een veebrug (een bruggetje waarover het vee van de stal naar het perceel loopt) de grootste bron van

EC en IE in het oppervlaktewater te zijn (pers. comm. Leenen). Dit leidt tot de volgende twee aanbevelingen.

Aanbeveling 1. Locatiespecifieke bepaling belasting door lokale waterbeheerders

De onzekerheid in de bepaling van EC en IE belasting van een zwemwaterlocatie kan sterk gereduceerd worden door het vaststellen van locatiespecifieke aanvoer en uitspoeling. De locatiespecifieke uitspoelingsfactoren zijn in deze studie al bepaald. Met een inventarisatie van de lokale bemestingssituatie is een grote verbetering van de bepaling van de belasting vrij eenvoudig te realiseren.

Aanbeveling 2. Veldwaarnemingen

Incidentele factoren die plaatselijk de belasting kunnen beïnvloeden kunnen alleen worden achterhaald m.b.v. veldwaarnemingen. Bij een eventuele nadere bepaling van de locatiespecifieke belasting dient hiervoor nadrukkelijk aandacht te zijn. De aandacht dient hierbij uit te gaan naar contactstromen waardoor mest direct het oppervlaktewater kan bereiken, zoals bijv. als het vee verkoeling zoekt in het water en via de reeds genoemde veebruggetjes.

Aan het effect van piekmomenten van uit- en afspoeling van EC en IE, is in deze studie niet verder gewerkt. Voor de risico's die zwemmers lopen blijft gelden dat ze wellicht het grootst zijn kort na dergelijke piekbelastingen op het zwemwater. Dit leidt tot de volgende aanbeveling.

Aanbeveling 3. Kwantificering van piekbelasting

Piekbelastingen met regenwater kunnen leiden tot verhoogde risico's op EC en IE uitspoeling naar het zwemwater. Er is echter geen kwantitatieve informatie voorhanden over de omvang en dynamiek van deze piekbelastingen. Hiervoor is aanvullend onderzoek gewenst.

De indicatorvrachten uit Tabellen 7 en 8 zijn afgeleid van aanvoervrachten en reductie tijdens transport naar het zwemwater. Deze methode resulteerde in vrachten EC en IE naar het oppervlaktewater tijdens het zwemseizoen. De variatie in deze door het model voorspelde vrachten bleek significant te worden beïnvloed door zowel de aanvoer als door de verblijftijd in de bodem (transportsnelheid) als door de afbraaksnelheid. In de literatuur zijn echter nauwelijks gegevens beschikbaar over seizoensvrachten van indicator-organismen. Er zijn wel data beschikbaar over incidenten, bijvoorbeeld na (gesimuleerde) overstroming of na mesttoediening. Ter validatie van het model wordt tot slot de volgende aanbeveling gedaan.

Aanbeveling 4. Toetsing van de rekenregel

Om de vrachten van indicator-organismen uit deze studie te toetsen zijn metingen nodig aan de daadwerkelijke uitgespoelde hoeveelheden indicator-organismen.

Literatuur

- Bonten, L.T.C, P.F.A.M. Römkens & G.B.M. Heuvelink, Uitspoeling van zware metalen in het landelijk gebied. Modelleren van uitspoeling op regionale schaal: modelaanpak, resultaten modelberekeningen en modelvalidatie. Wageningen, Alterra-rapport 1044.
- Brouwer, R. and van Pelt, I., 2002. Revision of the European bathing water quality directive. 2002.026, RIZA, Lelystad.
- Crane, S.R. and Moore, J.A., 1986. Modeling enteric bacterial die-off: a review. *Water, Air and Soil Pollution* 27, 411-439.
- Crowther, J., Kay, D. and Wyer, M.D., 2002. Faecal-indicator concentrations in waters draining lowland pastoral catchments in the UK: relationships with land use and farming practices. *Water Research* 36, 1725-1734.
- Crowther, J., Wyer, M.D., Bradford, M., Kay, D. and Francis, C.A., 2003. Modelling faecal indicator concentrations in large rural catchments using land use and topographic data. *Journal of Applied Microbiology* 94, 962-973.
- Culley, J.L.B. and Phillips, P.A., 1982. Bacteriological quality of surface and subsurface runoff from manured sandy clay loam soil. *Journal of Environmental Quality* 11(1), 155-158.
- Kress, M. and Gifford, G.F., 1984. Faecal coliform release from cattle faecal deposits. *Water Resources Bulletin* 20(1), 61-66.
- Kroes, J.G., P.J.T. van Bakel, J. Huygen & T. Kroon, 2001, Actualisatie van de hydrologie voor STONE 2.0. Wageningen, Alterra, Rapport 298.
- Leenen, E.J.T.M., 2004. Richtgetallen voor emissiebronnen voor zwemwaterprofiel, Grontmij.
- Massop H.Th. L. , LCPM Stuyt, P.J.T van Bakel, JMM Boumans & H Prak. 1997 Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Staring Centrum rapport 527.1.
- Nagels, J.W., Davies-Colley, R.J., Donnison, A.M. and Muirhead, R.W., 2002. Faecal contamination over flood events in a pastoral agricultural stream in New Zealand. *Water Science and Technology* 45(12), 45-52.
- Nobel, e.a., 1999. Effecten van begrazing op waterkwaliteit. KOA 98.204, KIWA, Nieuwegein.
- Praktijkids Bemesting, 2000. NMI, Wageningen.
- Reddy, K.R., Khaleel, R. and Overcash, M.R., 1981. Behavior and transport of microbial pathogens and indicator organisms in soils treated with organic wastes. *Journal of Environmental Quality* 10(3), 255-266.
- Rosen, B.H., 2000. Waterborne pathogen in agricultural watersheds, NRCS, Watershed Science Institute, Burlington, USA.
- Rijnaarts, H., 1994. Interactions between bacteria and solid surfaces in relation to bacterial transport in porous media. PhD thesis Thesis, Wageningen Universiteit, 166 pp.

- Saini, R., Halverson, L.J. and Lorimor, J.C., 2003. Rainfall timing and frequency influence on leaching of *Escheria coli* RS2G through soil following manure application. *Journal of Environmental Quality* 32, 1865-1872.
- Schijven, J.F., 2001. Virus removal from groundwater by soil passage. PhD thesis Thesis, Technische Universiteit Delft, 263 pp.
- Stoddard, C.S., Coyne, M.S. and Grove, J.H., 1998. Fecal bacteria and infiltration through a shallow agricultural soil: timing and tillage effects. *Journal of Environmental Quality* 27, 1516-1523.
- Van Dam, J.C., 2000. Field-scale water flow and solute transport. SWAP model concepts, parameter estimation, and case studies. PhD-thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 167 p.
- Wyer, M.D., Kay, D., Crowther, J., Whittle, J., Spence, A., Huen, V., Wilson, C., Carbo, P. and Newsome, J., 1998. Faecal-indicator budgets for recreational coastal waters: a catchment approach. *J chartered inst water environ mangt* 12, 414-424.

Bijlage 1

Bij de expert-workshop op 5 oktober 2004 waren aanwezig:

Hans Ruiters	RIZA
Imke Leenen	Grontmij
Paul van der Wielen	Kiwa N.V. Water Research
Joeke Postma	PRI
Harry Massop	Alterra
Jennie van der Kolk	Alterra
Christy van Beek	Alterra