

# Ontsluiting van LWKM-gegevens voor gebruik in de water- en stoffenbalanstool voor regio's

Piet Groenendijk, Leo Renaud

31 januari 2024

## Inhoud

1	Inleiding .....	2
2	Gebiedschematisering.....	2
3	Hydrologische karakterisering .....	4
4	Keuze voor een gemiddeld, droog en nat jaar.....	5
5	Bemesting .....	6
6	Gebruik van de gegevens .....	8
7	Emissieconcentraties en oppervlaktewaterconcentraties.....	9
8	Aanbevelingen.....	10
Bijlage 1 Kaart van kweklassen in de fysisch geografische eenheden laagveengebied, zeekleigebied en rivierengebied .....		11
Bijlage 2 Achtergrondinformatie over retentie in het oppervlaktewater		

## 1 Inleiding

Voor verschillende aan water gerelateerde beleidsthema's is een hydrologische systeemanalyse van gebieden noodzakelijk. De mogelijkheden om met maatregelen het doelbereik voor de Kaderrichtlijn Water te realiseren hangen vaak samen met het functioneren van het hydrologisch systeem. Analyses van dit doelbereik en hydrologische systeemanalyses worden door verschillende partijen met verschillende methodes en op verschillende schaalniveaus uitgevoerd. De methoden variëren van eenvoudige spreadsheets tot gedetailleerde simulatiemodellen waarin tal van processen zijn beschreven.

Met ondersteuning van de STOWA is voor het opstellen van water- en stoffenbalansen een eenvoudige tool ontwikkeld in de vorm van een spreadsheet<sup>1</sup>. Tot op heden worden voor de nutriëntenconcentraties van het instromende water in oppervlaktewater-compartimenten grove schattingen gemaakt. Soms gebeurt dit op basis van meetgegevens en soms op basis van expert judgement.

Resultaten van regio-analyses hoeven niet altijd overeen te stemmen met landelijke analyses. Dit kan aantal oorzaken hebben, waarbij verschillen in de aannames voor de af- en uitspoeling vanuit landbouw- en natuurgronden naar het oppervlaktewater, de uitwisseling en verdeling van oppervlaktewater, waterinlaat, kwel (en/of wellen) die direct uittreedt in oppervlaktewater, en de retentie van nutriënten in het oppervlaktewater belangrijke invloed kunnen hebben op de balansen. Door zoveel mogelijk gebruik te maken van dezelfde gegevensbronnen wordt het aantal mogelijke oorzaken van verschillen kleiner. Met een dergelijk gezamenlijk gebruik van dezelfde gegevensbronnen wordt een stap gezet in de afstemming tussen landelijke en regionale analyses.

Door STOWA is gevraagd om resultaten van de uit- en afspoeling berekend met het Landelijke Waterkwaliteitsmodel te ontsluiten voor gebruik in regio-analyses. In deze fase van het onderzoek zijn alleen gegevens ontsloten die betrekking hebben op het (recente) verleden, en nog niet op de voorspelde effecten van maatregelen.

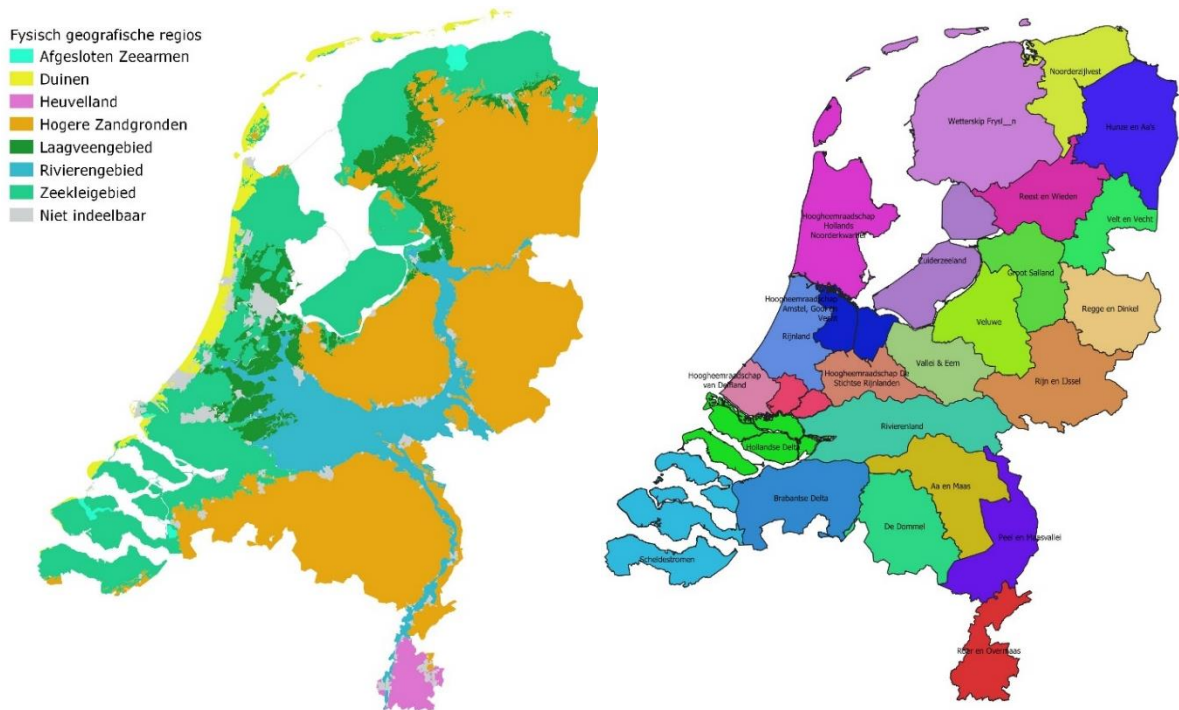
## 2 Gebiedsschematisering

Voor de gebiedsschematisering is uitgegaan van de Fysisch Geografische kaart van Nederland<sup>2</sup> en van de kaart van de 25 waterschappen die er waren voor de fusies vanaf 2010. Gekozen is voor de oudere kaart van de waterschappen omdat de landschappelijke verschillen beter tot uitdrukking komen in deze versie. De indeling in Fysisch Geografische regio's wordt ook gebruikt in de viewer van Grondwaterkwaliteit in Beeld (<https://www.grondwatertools.nl/gwatlas/>).

---

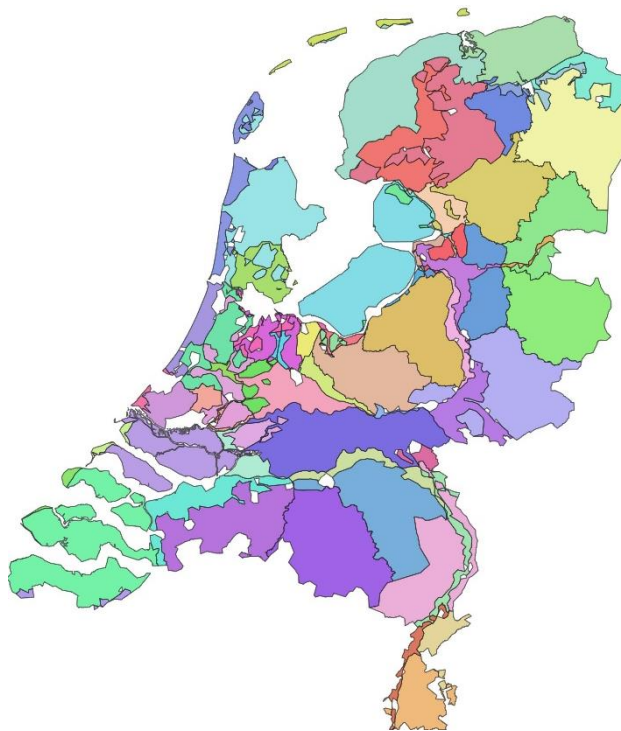
<sup>1</sup> <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202023/STOWA%202023-XX%20Rekentool%20waterbalans%201996%20-%202021.xlsx>

<sup>2</sup> <https://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/fysisch-geografische-regios>



Figuur 1 Fysisch Geografische Kaart van Nederland (links) en de indeling in 25 waterschappen voor de fusies vanaf 2010.

De combinatie van deze kaarten resulteert in een kaart met 69 ruimtelijke eenheden (Figuur 2).



Figuur 2 Combinatiekaart van 25 waterschapsgebieden en fysisch geografische eenheden.

### 3 Hydrologische karakterisering

Ruimtelijke eenheden van het Landelijk Waterkwaliteitsmoel (HRU's) zijn hydrologisch gekarakteriseerd aan de hand van of de grondwatertrap of de langjarig gemiddelde kwel.

De grondwaterdiepte is gekarakteriseerd met vier klassen:

- Nat (Gt I t/m III\*)
- Mati gnat (Gt IV t/m v\*)
- Matig droog (Gt VI)
- Droog (Gt VII t/m Gt VIII)

Deze karakterisering is toegepast op de fysisch geografische eenheden "Hoge Zandgronden", "Heuvelland" en "Duinen". Voor enkele combinaties van waterbeheergebieden en fysisch geografische eenheden waren er voor sommige grondwaterdiepteklassen weinig rekeneenheden in het LWKM voorhanden. Dan komt het nadere onderscheid in grondwaterdiepte te vervallen en krijgt de ruimtelijke eenheid het label "all".

De andere fysisch geografische eenheden (Rivierengebied, Zeekleigebied en Laagveengebied) zijn gekarakteriseerd aan de hand van de langjarige kwel, zoals deze bekend is in LWKM1.2. Hiertoe is per gebied een frequentierelatie opgesteld en zijn de naar oppervlakte gewogen 33-percentielwaarde en 67-percentielwaarde afgeleid. De rekeneenheden (HRU's) met kwelwaarden onder het 33-percentiel krijgen het label "laag", de HRU's met kwelwaarden tussen het 33 percentiel en het 67 percentiel krijgen het label "gemiddeld" en de HRU's met kwelwaarden hoger dan het 67 percentiel krijgen het label "hoog". De grenzen van de klassen in mm zijn per ruimtelijke eenheid gegeven in tabel 1.

*Tabel 1. Indeling in kwelklassen (mm/jaar) per ruimtelijke eenheid van waterbeheersgebied en fysisch geografische eenheid.*

Waterbeheersgebied	Fysisch Geografisch gebied	laag	gemiddeld	hoog
Aa en Maas	Rivierengebied	<11	11-79	>79
Brabantse Delta	Zeekleigebied	<45	45-126	>126
Groot Salland	Laagveengebied	<60	60-148	>148
Groot Salland	Rivierengebied	<20	20-80	>80
Groot Salland	Zeekleigebied	<0	0-13	>13
Hollandse Delta	Zeekleigebied	<44	44-146	>146
Amstel, Gooi en Vecht	Laagveengebied		0-166	>166
Amstel, Gooi en Vecht	Rivierengebied	<1	1-49	>49
Amstel, Gooi en Vecht	Zeekleigebied	<64	64-154	>154
De Stichtse Rijnlanden	Laagveengebied	<0	0-30	>30
De Stichtse Rijnlanden	Rivierengebied	<1	1-41	>41
Hollands Noorderkwartier	Laagveengebied	<7	7-109	>109
Hollands Noorderkwartier	Zeekleigebied	<40	40-132	>132
Delfland	Zeekleigebied	<28	28-102	>102
Schieland en de Krimpenerwaard	Laagveengebied	<0	0-43	>43
Schieland en de Krimpenerwaard	Zeekleigebied		-180-123	>123
Hunze en Aa's	Laagveengebied	<26	26-63	>63
Hunze en Aa's	Zeekleigebied	<8	8-51	>51
Noorderzijlvest	Laagveengebied	<37	37-197	>197
Noorderzijlvest	Zeekleigebied	<4	4-34	>34
Peel en Maasvallei	Rivierengebied	<5	5-26	>26
Reest en Wieden	Laagveengebied		-16-123	>123
Reest en Wieden	Zeekleigebied	<0	0-2	>2
Rijn en IJssel	Rivierengebied	<26	26-103	>103
Rijnland	Laagveengebied	<0	0-75	>75
Rijnland	Rivierengebied	<0	0-7	>7

Waterbeheersgebied	Fysisch Geografisch gebied	laag	gemiddeld	hoog
Rijnland	Zeekleigebied	<96	96-201	>201
Rivierenland	Laagveengebied	<21	21-91	>91
Rivierenland	Rivierengebied	<12	12-56	>56
Rivierenland	Zeekleigebied	<29	29-104	>104
Roer en Overmaas	Rivierengebied	<6	6-60	>60
Scheldestromen	Zeekleigebied	<12	12-117	>117
Vallei & Eem	Laagveengebied	<41	41-140	>140
Vallei & Eem	Rivierengebied	<30	30-176	>176
Vallei & Eem	Zeekleigebied	<12	12-195	>195
Velt en Vecht	Rivierengebied	<14	14-106	>106
Veluwe	Rivierengebied	<20	20-102	>102
Veluwe	Zeekleigebied	<55	55-288	>288
Wetterskip Fryslan	Laagveengebied	<14	14-153	>153
Wetterskip Fryslan	Zeekleigebied	<17	17-60	>60
Zuiderzeeland	Zeekleigebied	<27	27-139	>139

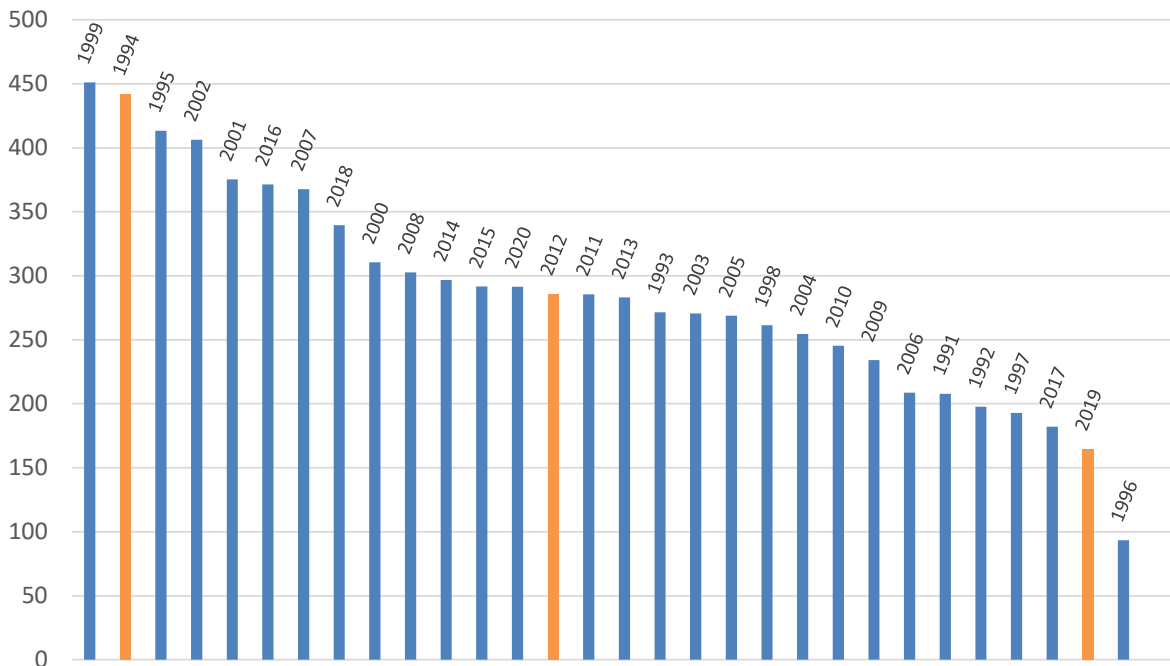
## 4 Keuze voor een gemiddeld, droog en nat jaar

De ontsloten getallen hebben betrekking op het winterseizoen, het zomerseizoen en op een volledig jaar. De winter loopt van 1 oktober in een jaar tot en met 31 maart in het volgende jaar. De zomer loopt van 1 april tot en met 30 september in een jaar en een volledig jaar loopt van 1 oktober in een jaar tot en met 30 september in het volgende jaar.

In de ontsluiting van getallen is rekening gehouden met het weertype. Het weertype is gekarakteriseerd door uit de simulatieresultaten van 1991 tot en met 2020 een gemiddeld, een droog jaar en een nat jaar te selecteren. Om te bepalen welke weerjaren het beste de gemiddelde, de droge en de natte situatie weergeven is de oppervlaktewaterafvoer van alle rekeneenheden in het LWKM-model gebiedsgewogen gemiddeld en uitgezet in een staafdiagram (Figuur 1). Hierbij is rekening gehouden met de definitie van de jaren binnen de context van deze gegevensontsluiting (1 oktober in voorgaande jaar tot en met 30 september in het zichtjaar).

Voor de gemiddelde situatie wordt de afvoer van 2012 (1 okt 2011 – 30 sep 2012) representatief geacht, voor de droge situatie wordt de afvoer van 2019 (1 okt 2018 – 30 sep 2019) als representatief gezien en voor de natte situatie de afvoer van 1994 (1 okt 1993 – 30 sep 1994). Bij deze aannames is geen rekening gehouden met het wel of niet droog zijn van de afzonderlijke winters en afzonderlijke zomers. Binnen een gemiddeld jaar zou het in principe kunnen voorkomen dat de zomer droog is en de winter nat, of juist andersom. Evenzo hoeft bij een nat jaar (hoog jaar totaal van oppervlaktewaterafvoer) de zomer of de winter niet nat te zijn. Er is echter gekozen voor een beoordeling op basis van het jaartotaal van de oppervlaktewaterafvoer om te voorkomen dat losse winters en losse zomers geselecteerd zouden worden. Vanuit het oogpunt van waterkwaliteit is dat niet wenselijk. De winteruitspoeling en de waterkwaliteit in de daaropvolgende zomer zijn vaak aan elkaar gerelateerd.

Afvoer van Q4 voorgaande jaar en Q1 t/m Q3 weergegeven jaar (mm)



*Figuur 3 Berekende landelijk gemiddelde waterafvoer in het LWKM-model voor periode die lopen van 1 oktober in een voorgaand jaar tot 30 september in een zichtjaar.*

## 5 Bemesting

In tabel 2 wordt de berekende stikstofbemesting in kilogram per hectare in 2020 weergegeven voor de combinaties van waterbeheergebieden en fysisch geografische eenheden. Het gaat hierbij niet om de werkzame stikstofbemesting maar om de totale bemesting met dierlijke mest en kunstmest verminderd met de hoeveelheid ammoniak die bij het uitrijden vervluchtigt. Voor deze cijfers zijn de resultaten gebruikt van de berekeningen met het model INITIATOR die zijn toegepast voor de uitlevering aan de landelijke Emissieregistratie 2023. In deze berekening is uitgegaan dat alle geproduceerde dierlijke mest, na aftrek van export, transport en verwerking, wordt geplaatst op Nederlandse landbouwgronden. Voor enkele situaties zijn (te) hoge mestgiftten berekend voor bouwland. Deze te hoog berekende mestgiftten hangen samen met de omvang van de ruimtelijke eenheden en de wijze waarop bedrijfsgegevens worden omgerekend naar de ruimtelijke schematisering van het LWKM-model. In het model wordt aangenomen dat een mestoverschot binnen een zogenaamd LandbouwDeelGebied wordt geplaatst op snijmais. Als het areaal snijmais heel klein is, kan de mate van overbemesting groot zijn. Gebiedsgemiddeld heeft een klein oppervlak met een (te) hoge mestgift weinig invloed op de uit- en afspoeling. Bij de verdere ontwikkeling van LWKM zal hieraan aandacht worden gegeven.

Tabel 2. Oppervlakten (ha) van rekeneenheden in de ruimtelijke eenheden en de totale stikstofbemesting in 2020 (kgN/ha) verminderd met de ammoniakvervluchtiging bij het uitrijden van mest.

Waterbeheersgebied	Fysisch Geografisch gebied	Oppervlak Bouwland (ha)	Oppervlak Grasland (ha)	Stikstof Bemesting Bouwland	Stikstof Bemesting Grasland
Aa en Maas	Hogere Zandgronden	41210	35093	>350	354
Aa en Maas	Rivierengebied	6984	10843	336	418
Brabantse Delta	Hogere Zandgronden	27754	28963	211	357
Brabantse Delta	Zeekleigebied	28497	9168	205	403
De Dommel	Hogere Zandgronden	33822	33946	317	354
Groot Salland	Hogere Zandgronden	12547	36705	>350	364
Groot Salland	Laagveengebied	194	11032	>350	379
Groot Salland	Rivierengebied	2213	13043	>350	408
Groot Salland	Zeekleigebied	438	3485	>350	432
Hollandse Delta	Duinen	268	711	215	410
Hollandse Delta	Zeekleigebied	39453	13793	219	431
Amstel, Gooi en Vecht	Hogere Zandgronden	259	1445	185	383
Amstel, Gooi en Vecht	Laagveengebied	460	12503	>350	391
Amstel, Gooi en Vecht	Rivierengebied	219	3194	>350	438
Amstel, Gooi en Vecht	Zeekleigebied	1116	5560	335	424
De Stichtse Rijnlanden	Hogere Zandgronden	863	2148	323	380
De Stichtse Rijnlanden	Laagveengebied	426	12735	>350	392
De Stichtse Rijnlanden	Rivierengebied	5375	23383	329	440
Hollands Noorderkwartier	Duinen	10590	5164	193	402
Hollands Noorderkwartier	Hogere Zandgronden	421	842	187	403
Hollands Noorderkwartier	Laagveengebied	447	17678	243	392
Hollands Noorderkwartier	Zeekleigebied	40155	46138	211	428
Delfland	Duinen	8	381	186	409
Delfland	Zeekleigebied	431	7861	339	440
Schieland en de Krimpenerwaard	Laagveengebied	132	9012	>350	393
Schieland en de Krimpenerwaard	Zeekleigebied	2433	3518	247	433
Hunze en Aa's	Hogere Zandgronden	77480	28209	204	361
Hunze en Aa's	Laagveengebied	2100	3128	214	389
Hunze en Aa's	Zeekleigebied	18802	9404	233	422
Noorderzijlvest	Hogere Zandgronden	8276	17676	220	369
Noorderzijlvest	Laagveengebied	30	1778	340	380
Noorderzijlvest	Zeekleigebied	36877	36564	203	441
Peel en Maasvallei	Hogere Zandgronden	35415	20318	224	360
Peel en Maasvallei	Rivierengebied	6683	5238	205	389
Reest en Wieden	Hogere Zandgronden	27329	42353	206	365
Reest en Wieden	Laagveengebied	1899	7493	231	371
Reest en Wieden	Zeekleigebied	455	1754	243	404
Regge en Dinkel	Hogere Zandgronden	23913	56563	328	362
Rijn en IJssel	Hogere Zandgronden	29098	66319	281	368
Rijn en IJssel	Rivierengebied	9436	19534	236	417
Rijnland	Duinen	2726	2405	200	391
Rijnland	Laagveengebied	1383	10833	289	403
Rijnland	Rivierengebied	222	1957	>350	437
Rijnland	Zeekleigebied	11229	12641	227	432
Rivierenland	Hogere Zandgronden	856	1636	194	385
Rivierenland	Laagveengebied	304	14131	>350	389
Rivierenland	Rivierengebied	32639	65352	227	438
Rivierenland	Zeekleigebied	4653	2788	212	426
Roer en Overmaas	Heuvelland	17199	10219	192	376
Roer en Overmaas	Hogere Zandgronden	6866	3026	181	381
Roer en Overmaas	Rivierengebied	3072	2488	197	401
Scheldestromen	Duinen	42	133	197	391
Scheldestromen	Hogere Zandgronden	2353	959	194	357
Scheldestromen	Zeekleigebied	104425	22147	203	395
Vallei & Eem	Hogere Zandgronden	9095	25904	>350	368
Vallei & Eem	Laagveengebied	38	3989	286	382
Vallei & Eem	Rivierengebied	250	1018	324	426
Vallei & Eem	Zeekleigebied	231	2922	>350	407
Velt en Vecht	Hogere Zandgronden	31573	27522	217	357
Velt en Vecht	Rivierengebied	573	1449	251	367
Veluwe	Hogere Zandgronden	7678	29256	292	377
Veluwe	Rivierengebied	2962	9111	271	423
Veluwe	Zeekleigebied	143	2296	345	394



Waterbeheersgebied	Fysisch Geografisch gebied	Oppervlak Bouwland (ha)	Oppervlak Grasland (ha)	Stikstof Bemesting Bouwland	Stikstof Bemesting Grasland
Wetterskip Fryslan	Duinen	91	1842	204	372
Wetterskip Fryslan	Hogere Zandgronden	15179	65158	288	375
Wetterskip Fryslan	Laagveengebied	3746	42136	322	379
Wetterskip Fryslan	Zeekleigebied	26603	89730	236	442
Zuiderzeeland	Hogere Zandgronden	2546	729	186	388
Zuiderzeeland	Zeekleigebied	77516	15588	203	396

## 6 Gebruik van de gegevens

Voor de verschillende combinaties van waterschapsgebieden en Fysisch Geografische eenheden zijn de 10-, 25-, 50-, 75- en 90-percentielwaarden afgeleid voor de waterafvoer uitgedrukt in millimeters (i.e. het uit de bodem uit- en afspoelende water), de uit- en afspoeling van stikstof (Nflux in kg/ha), de uit- en afspoeling van fosfor (Pflux in kg/ha) en de concentraties van stikstof en fosfor in het uit- en afspoelende water (mg/L) voor de winterperiode, de zomerperiode en het gehele jaar.

De gegevens in de database (spreadsheet) zijn als een indicatie te gebruiken in regionale of lokale studies waarin met geringe informatie een water- en stofbalans wordt opgesteld. De gegevens zijn in eerste instantie afgeleid voor gebruik in de voor STOWA ontwikkelde rekentool voor het opstellen van water- en stofbalansen<sup>3</sup>. In deze tool dient een gebruiker informatie over de concentraties in uitspoelend water te specificeren. Op basis van de locatie van een studiegebied kan met behulp van de kaarten in Hoofdstuk 3 (bijgevoegd als GIS-bestanden) de kenmerken "Waterschap" en "Fysisch Geografische eenheid" worden vastgesteld. De informatie over of we wel of niet te maken hebben met een "droge", "gemiddelde" of "natte" situatie kan voor de hoge zandgronden, het heuvelland en de duinen worden afgeleid aan de hand van een grondwatertrappenkaart ([Basis Registratie Ondergrond](#)). Voor de overige landschapstypen gebeurt dat aan de hand van het karakteriseren van de mate van kwel. Bijlage 1 bevat een kaart van de kwelinformatie die ten grondslag lag aan de indeling in kwelklassen zoals beschreven in Hoofdstuk 3. Het bijbehorende GIS-bestand wordt afzonderlijk ter beschikking gesteld.

Met een zoekfunctie kan een tabel worden gepresenteerd met daarin percentielwaarden voor afvoer naar het oppervlaktewater, Nflux (uit- en afspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater), Pflux (uit- en afspoeling van fosfor naar het oppervlaktewater), en de emissieconcentratie van stikstof en fosfor. Deze emissieconcentraties zijn afgeleid door de Nflux en Pflux te delen op de waterafvoer en zijn daarmee volume gewogen waarden.

Gekozen is een presentatie in de vorm van percentielwaarden per waterschapsgebied en per fysisch geografische eenheid. Doorgaans zal een gebruiker de mediane waarden gebruiken. De 10-, 25-, 75 en 90-percentiel waarden geven een indruk van de variatie binnen een ruimtelijke eenheid. Deze waarden zijn te gebruiken in een gevoeligheidsanalyse van de uitkomsten van een stoffenbalans voor de opgelegde randconcentraties.

Aangezien de percentielwaarden zijn berekend uit de populatie van rekenresultaten in een combinatie van waterbeheersgebied, fysisch geografische eenheid en landgebruik zijn de percentielwaarden niet

<sup>3</sup> <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202023/STOWA%202023-XX%20Rekentool%20waterbalans%201996%20-%202021.xlsx>



optelbaar/aftektbaar of te vermenigvuldigen/delen om een ander kentel af te leiden. Bijvoorbeeld, uit de Nflux en de waterafvoer zou een concentratie te berekenen zijn:

$$\text{Concentratie} = 100 \times \text{Nflux (kg/ha)} / \text{Waterafvoer (mm)}$$

Echter deze rekenregel kan niet worden toegepast op de percentielwaarden in de database, omdat de waarden van een bepaalde HRU in de verschillende frequentieverdelingen een andere positie kunnen hebben.

De database is opgeleverd in de vorm van een Excelspreadsheet waaruit de getallen zijn te extraheren. Aan de spreadsheet is een tabblad toegevoegd om de getallen voor een enkele combinatie van waterbeheersgebied, fysische geografische eenheid, landgebruik, hydrologische karakterisering en weertype snel op te kunnen zoeken. Zie het voorbeeld hieronder.

Waterbeheersgebied	Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht						
FysischGeogr_gebied	Laagveengebied						
Landgebruik	Landbouw+Natuur						
Kwelklasse of Gtklasse	Kwel: gemiddeld						
Weertype	nat jaar						
Aantal	266						
		Waterafvoer [mm]			Nflux [kg/ha/jr]		
		Jaar	Winter	Zomer	Jaar	Winter	Zom
	10 percentiel	227	183	30	6.4	4.8	1
	25 percentiel	371	292	70	11.9	9.3	2
	50 percentiel	525	407	119	21.1	15.9	5
	75 percentiel	600	460	140	36.5	26.6	8
	90 percentiel	654	498	169	47.2	37.6	11

*Figuur 4 Voorbeeld van het resultaat van een zoekactie in de Excel-spreadsheet*

De cellen in de range B2 – B7 definiëren de uit te voeren zoekactie en zijn door de gebruiker in te stellen. Als men op bijvoorbeeld **B2** klikt verschijnt een lijst met mogelijkheden waaruit een keuze gemaakt kan worden. Dit geldt eveneens voor de andere cellen in de range B2 – B7. Tevens wordt het aantal rekeneenheden (HRU's) van het LWKM getoond waarvan de resultaten gebruikt zijn voor de percentielwaarden van de ingestelde combinatie. NB. Wanneer een niet bestaande combinatie wordt ingevoerd in B2 – B7 (bijvoorbeeld 'Duinen' in 'Veluwe') dan verschijnen er geen resultaten en wordt de niet bestaande keuze in het rood gemarkeerd.

## 7 Emissieconcentraties en oppervlaktewaterconcentraties

De gepresenteerde concentraties zijn te beschouwen als emissieconcentraties, op de grens van een perceel en het oppervlaktewater. Ze zijn daarmee nog niet goed te vergelijken met concentraties in oppervlaktewaterlichamen, ook niet in wateren in het landelijk gebied waar geen andere belangrijke punt- of diffuse bronnen aanwezig zijn. In het oppervlaktewater vinden namelijk verdunnings-, omzettings- en opnameprocessen plaats die de concentraties in het oppervlaktewater sterk beïnvloeden. Vaak leiden deze processen tot lagere concentraties in het oppervlaktewater dan bij het grensvlak tussen perceel en sloot. De mate waarin deze processen plaatsvinden hangt af van het seizoen. Bijlage 2 geeft informatie over de achtergronden van retentie.

In een aantal gebieden bevat het bovenste grondwater veel ijzer. Bij het uittreden van dit ijzerrijke water in greppels en sloten komt het water in contact met zuurstof en slaat het ijzer neer als geoxideerd ijzer.

Met dit proces wordt tegelijkertijd fosfaat vastgelegd, waardoor de P-concentratie in het oppervlaktewater veel lager is dan in de grondwaterzone nabij de sloot of greppel. Daarnaast kan P in west Nederlandse veengebieden in de zomer heel sterk worden nageleverd waardoor de concentraties pieken van P in sloten / vaarten veel hoger kunnen zijn dan in drainwater. In bijlage 2 wordt het begrip retentie nader uitgelegd.

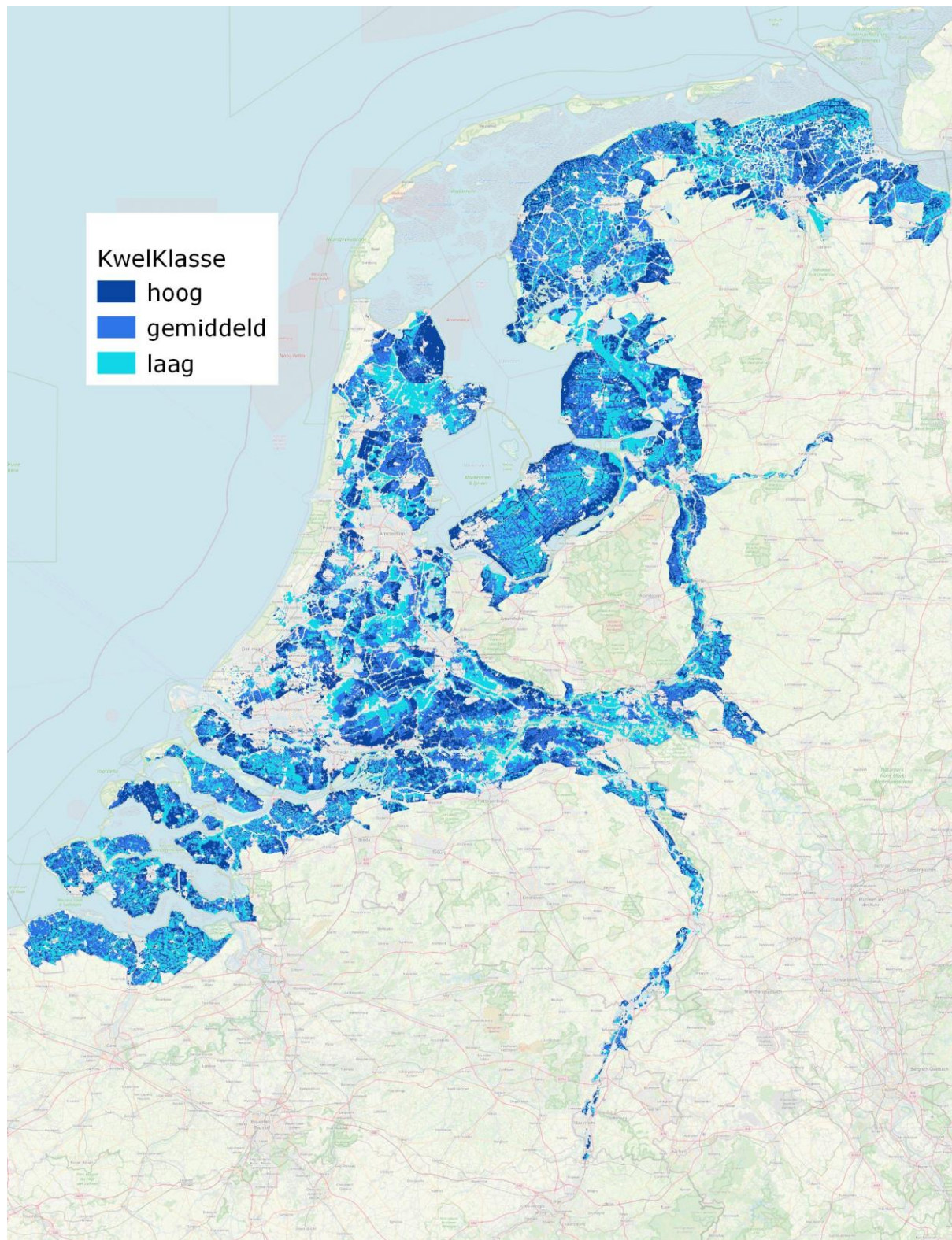
In de resultaten komen soms combinaties voor waarin de emissieconcentratie in het uitspoelende water uit natuurgronden hoger is dan de emissieconcentratie uit landbouwgronden. Binnen de combinatie van Fysisch Geografische eenheden en waterschapsgebieden komen verschillende grondsoorten voor en bestaat er een variatie in kwel-/wegzijingssituaties. Natuurgebieden bevinden zich vaak op plaatsen die vroeger niet aantrekkelijk waren om in cultuur te brengen vanwege een minder vruchtbare bodem of de natte situatie vanwege een stagnerende ontwatering. In deze gebieden komen in de ondergrond regelmatig veenlagen voor. In natuurgebieden kan gemiddeld voor een gebied zich soms per oppervlakte-eenheid een vergelijkbare uit- en afspoeling voordoen als uit landbouwgronden. Echter, voor exact dezelfde bodemkundige en hydrologische situatie is de uitspoeling uit landbouwgronden hoger dan uit natuurgronden. Ook is in de meeste gevallen is het areaal natuur binnen een combinatie van Fysisch Geografische eenheid en waterschapsgebied veel kleiner dan het landbouwareaal.

## 8 Aanbevelingen

Uit besprekingen van de opzet van de database en de beknopte rapportage volgen enkele aanbevelingen. Aanbevolen wordt:

1. De gegevens in één of enkele pilotstudies toe te passen en te beoordelen of correcte resultaten worden verkregen
2. Een nieuwe versie van de database af te leiden en beschikbaar te stellen zodra een nieuwe versie van het Landelijk Waterkwaliteitsmodel is vastgesteld
3. Gerichtte metingen te verrichten aan stikstof en fosforconcentraties in de zone tussen de grondwaterstand en 3 meter onder de grondwaterstand. Vanuit deze zone stroomt het meeste water af naar het oppervlaktewater en deze zone is in belangrijke mate bepalend voor de N-flux en de P-flux naar het oppervlaktewater. Zo mogelijk wordt aangesloten bij onderzoeksprojecten waarin de relatie tussen landgebruik, bemesting en de uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater wordt onderzocht
4. Bij een nieuwe versie het effect van de hoogte van het bemestingsniveau expliciet tot uitdrukking te brengen. Voor een aantal gebieden wordt in het landelijke model met de aanname van bemesting tot aan de gebruiksnorm een hogere mestgift aangenomen dan in de praktijk plaatsvindt
5. In de toekomst het effect van enkele maatregelen op de uit- en afspoeling aan de database toe te voegen
6. In de toekomst per combinatie van Fysisch Geografische eenheid en waterschapsgebied een indicatie te geven van de retentie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater, gebaseerd op karakteristieken van de natte infrastructuur, de grondsoort, het type waterbodem en de aanwezigheid van ijzer in het bovenste grondwater
7. Bij de oplevering van een nieuwe versie van het LWKM, waarmee ook bronnenanalyses ondersteund kunnen worden, de bronverdeling van de uitspoelende nutriënten aan de database toe te voegen.

## Bijlage 1 Kaart van kweklassen in de fysisch geografische eenheden laagveengebied, zeekleigebied en rivierengebied



# BIJLAGE 2

## Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveaus

L.P.A. van Gerven  
A.A.M.F.R. Smit  
P. Groenendijk  
F.J.E. van der Bolt  
J.J.M. de Klein

Alterra-rapport 1848

Alterra, Wageningen, 2009



## 2 Definitie, bepaling en schaaleigenschappen van retentie

### 2.1 Definitie retentie

Een oppervlaktewatersysteem kan op verschillende manieren worden belast met nutriënten, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen diffuse bronnen (uitspoeling vanuit het landsysteem, atmosferische depositie, etc.) en puntbronnen (bijvoorbeeld RWZI's). De som van emissies binnen een stroomgebied kan behoorlijk afwijken van de vrachten die het stroomgebied verlaten bij het uitstroompunt. Reden hiervoor zijn fysische en biochemische processen in het oppervlaktewater waardoor nutriënten kunnen worden omgezet, verwijderd, toegevoegd of tijdelijk opgeslagen. Het verschil tussen de inkomende vrachten en de uitgaande vrachten wordt in het algemeen aangeduid als retentie. Retentie kan het gevolg zijn van tijdelijke opslag van nutriënten in waterplanten en het sediment of van definitieve verwijdering, zoals door denitrificatie, irreversibele sedimentatie en baggeren.

Er is geen eenduidige definitie voor retentie (Kronvang et al., 2004). Sommige auteurs doelen met retentie puur op de definitieve verwijdering van nutriënten. Tevens kan retentie gedefinieerd zijn voor verschillende tijdframes en ruimtelijke niveaus (geheel stroomgebied, meer, sloot, greppel, etc.). In dit rapport werken we met de volgende definitie van retentie:

*Het absolute of relatieve verschil tussen inkomende en uitgaande vrachten binnen bepaalde ruimtelijke grenzen voor een bepaalde tijdsperiode*

Uitgedrukt in formulevorm levert dit vervolgens op:

$$R_{a,i,\Delta t} = L_{in,i,\Delta t} - L_{out,i,\Delta t} \quad (2-1)$$

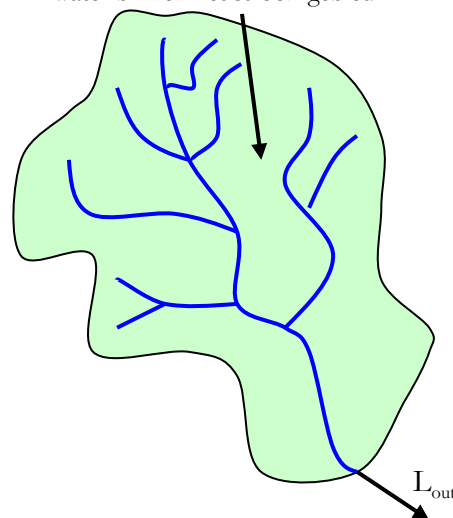
of

$$R_{f,i,\Delta t} = 1 - \frac{L_{out,i,\Delta t}}{L_{in,i,\Delta t}} \quad (2-2)$$

Waarin:

term	omschrijving	dimensie
$R_{a,i,\Delta t}$	Absolute retentie voor gebied i per tijdseenheid	massa
$R_{f,i,\Delta t}$	Retentiefraction voor gebied i per tijdseenheid	(-)
$L_{in}$	Inkomende vrachten	massa
$L_{out}$	Uitgaande vrachten	massa

$L_{in}$  = totale vracht van diffuse bronnen + puntbronnen op het oppervlaktewater binnen het stroomgebied



*Figuur 2-1: Inkomende en uitgaande vrachten voor een stroomgebied*

In de meeste situaties is de inkomende vracht groter dan de uitgaande vracht wat resulteert in een positieve retentie. In sommige gevallen kan de retentie echter negatieve waarden aannemen wat betekent dat er netto nutriënten worden ‘gecreëerd’ in het oppervlaktewatersysteem. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen in perioden met grote afvoeren waardoor gesedimenteerde nutriënten via opwerveling weer in oplossing komen of gedurende het najaar wanneer plantsterfte de overhand heeft.

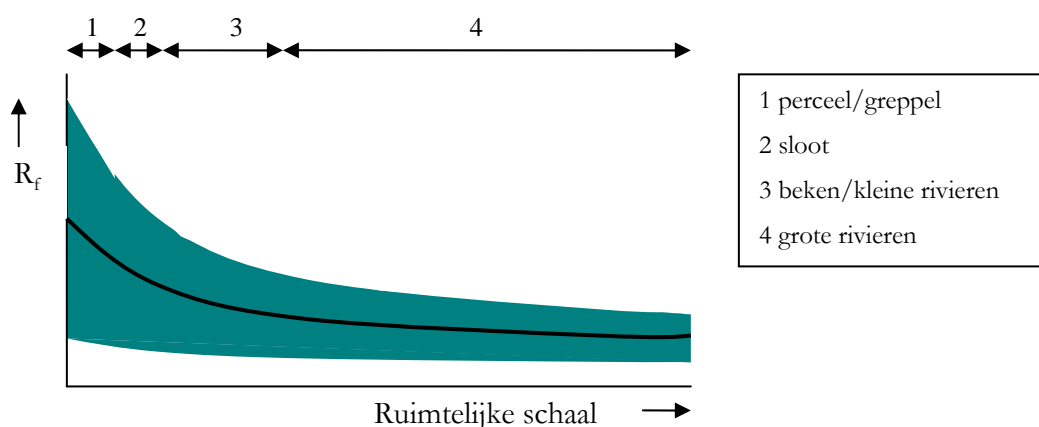
## 2.2 Retentie in de ruimte en tijd

De opslag en verwijdering van nutriënten varieert in ruimte en tijd als gevolg van veranderende biotische of abiotische (bijv. hydrologische) omstandigheden. In deze sectie wordt dieper ingegaan op de tijd- en ruimteafhankelijkheid van de retentie om zo een denkkader te vormen dat helpt bij het interpreteren van de retentiestudies die in hoofdstuk 3 worden besproken. Tevens gaan we in op het effect van retentieverhogende maatregelen in relatie tot de ruimtelijke schaal waarop ze worden toegepast.

### Ruimtelijke schaal

Figuur 2-2 illustreert kwalitatief hoe de retentiefractione verandert met de ruimtelijke schaal. Dit verloop is in overeenstemming met bevindingen uit verschillende studies op verschillende schaalniveaus (o.a. De Klein, 2008a). De kleine waterlopen hebben in het algemeen een groot zuiverend vermogen wat zich uit in een grote retentiefractione.

De twee hoofdoorzaken hiervoor zijn de grote hydraulische verblijftijden in combinatie met het grote totale openwateroppervlak van de kleine waterlopen in vlakke gebieden. Door de grote verblijftijden heeft het watersysteem veel tijd om het water te zuiveren. Zeker in zeer dichte netwerken van sloten en greppels, zoals we die in Nederland kennen, kan de verwijdering van N en P erg groot zijn. Volgens De Klein (2008a) kan de retentie oplopen tot 60 à 70% van de inkomende N vrachten en tot 50% voor de inkomende P vrachten.



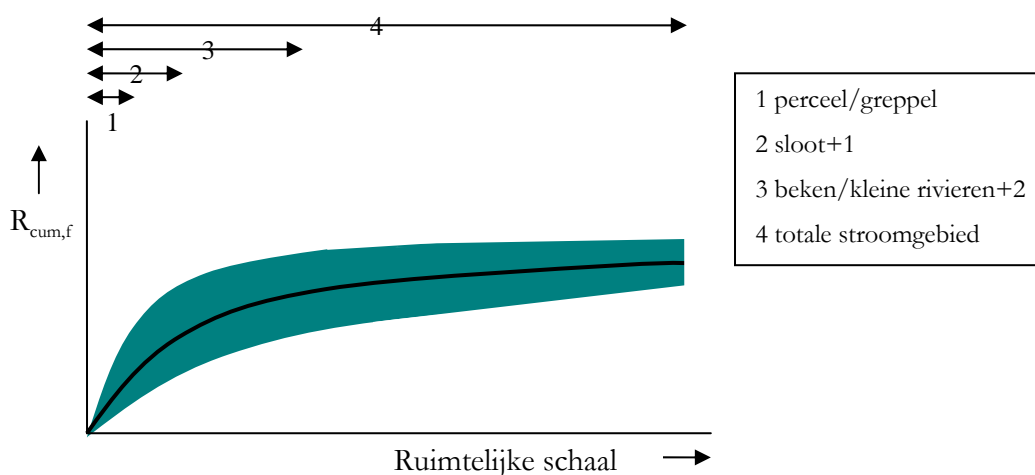
Figuur 2-2: Retentiefractione ( $R_f$ ) als functie van de ruimtelijke schaal. De groene band geeft de bandbreedte rondom de algemene trend (zwarte lijn) weer.

Daarbij groeien er vaak veel waterplanten in de kleine waterlopen. Waterplanten vergroten de retentie op meerdere manieren. Ze bevorderen de denitrificatie doordat ze worden omgeven door biofilms met denitrificerende bacteriën, ze bevorderen sedimentatie omdat ze de stroomsnelheden (plaatselijk) verlagen en ze nemen nutriënten op voor hun groei die bij sterfte weer aan het water worden teruggegeven.

De zuiverende werking in grote waterlopen, zoals de grote rivieren, is een stuk kleiner. Naar schatting wordt ongeveer 5% van de inkomende N vrachten en 10% van de inkomende P vrachten vastgelegd of verwijderd (Alexander et al., 2000 & Van der Lee et al., 2004). De grote stroomsnelheden zorgen voor kleine hydraulische verblijftijden waardoor de processen die de opslag en verwijdering van nutriënten sturen weinig tijd hebben om hun werk te doen. Ook zijn in dergelijke systemen minder waterplanten aanwezig.

Verder zien we in Figuur 2-2 door de kleiner wordende bandbreedte dat de variatie in de retentiefraction afneemt met toenemende schaal. Dit komt door de grote ruimtelijke variabiliteit in de retentiesturende factoren op kleine schaal. Niet alle kleine waterlopen worden gekenmerkt door een grote greppel- en slootdichtheid. Tevens is er op kleine schaal een grote ruimtelijke variatie mogelijk in verblijftijden en andere sturende factoren zoals de aanwezigheid van waterplanten.

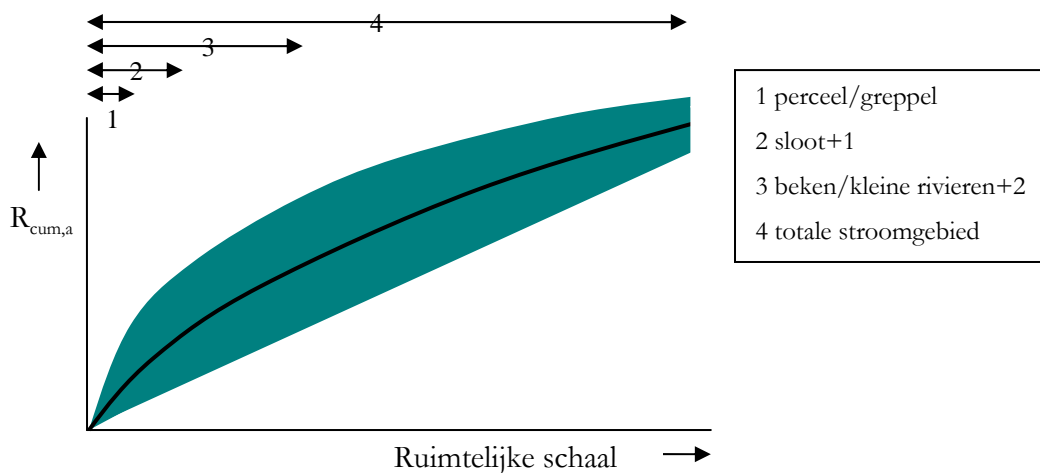
Figuur 2-3 illustreert hoe een bepaalde nutriëntenbelasting op de haarvaten van het watersysteem wordt afgebroken en (tijdelijk) opgeslagen gedurende het af te leggen traject binnen een stroomgebied. Deze figuur is sterk gekoppeld aan Figuur 2-2. Door de afnemende zuiverende werking van het watersysteem met toenemende schaal neemt de groei in de cumulatieve retentiefraction af met toenemende schaal. De meeste retentie vindt plaats in de kleine waterlopen binnen het stroomgebied. De bandbreedte in de cumulatieve retentiefraction wordt met name bepaald door de variaties in retentie op kleine schaal die op grote schaal deels uitmiddelen.



Figuur 2-3: Cumulatieve retentiefraction ( $R_{cum,f}$ ) als functie van de ruimtelijke schaal. De groene band geeft de bandbreedte rondom de trend (zwarte lijn) weer.

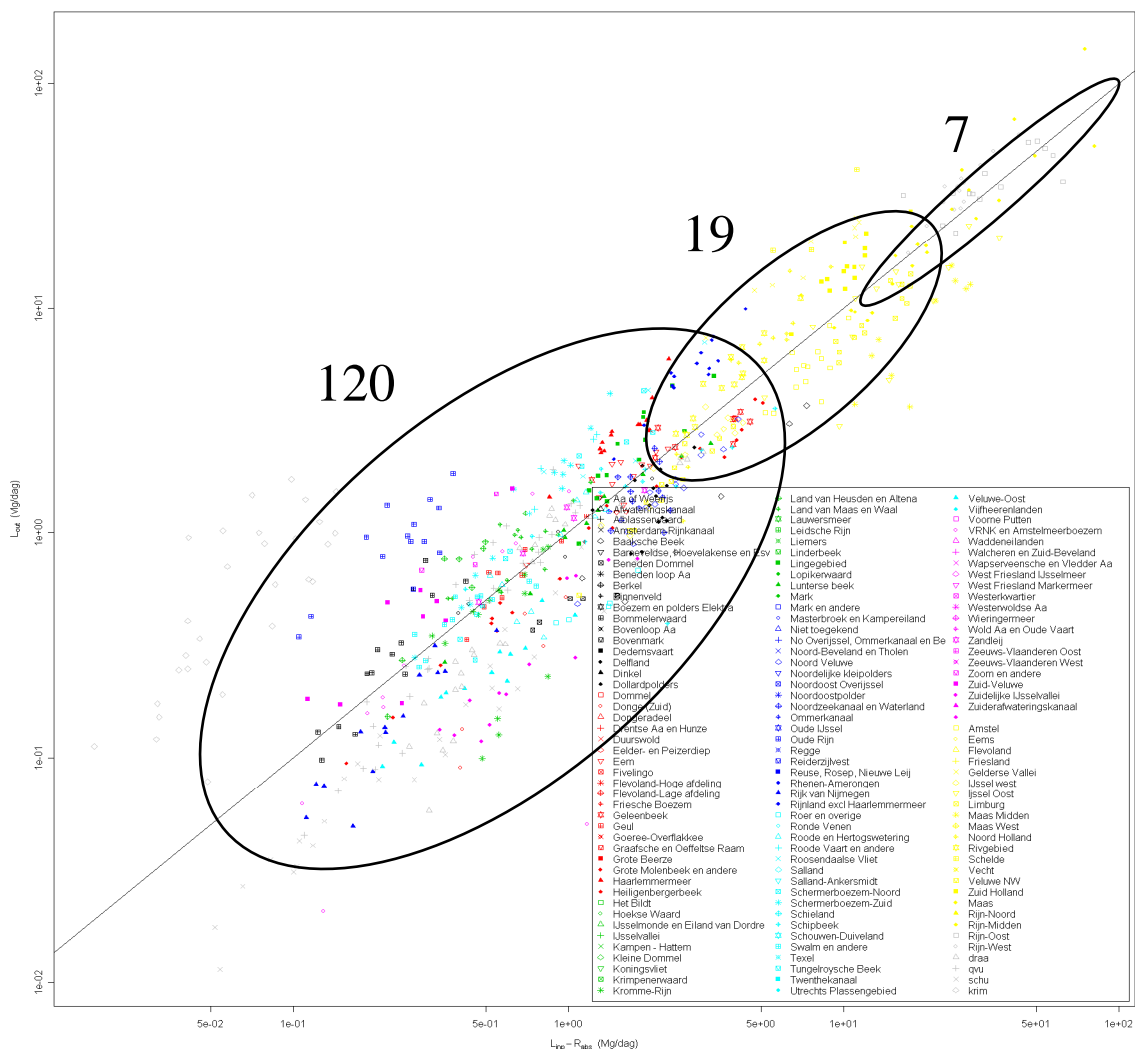


Figuur 2-4 laat de absolute cumulatieve retentie binnen een stroomgebied zien en hoe deze wordt opgebouwd van kleine naar grote schaal. In de kleine waterlopen, met hun grote areaal en groot zuiverend vermogen in combinatie met de grote diffuse nutriëntenbelasting op deze lopen, vindt een groot deel van de totale absolute retentie binnen een stroomgebied plaats. De grotere waterlopen mogen dan een kleine zuiverende werking hebben, maar door de grote geaccumuleerde nutriëntenvrachten die met name benedenstrooms de grote rivieren doorstromen is de absolute retentie toch nog behoorlijk groot. Resultierend zal er een kleine afname in de groei van de cumulatieve absolute retentie zijn naarmate de ruimtelijke schaal toeneemt, tevens afhankelijk van de puntbelastingen op de grote waterlopen.



Figuur 2-4: Cumulatieve absolute retentie ( $R_{cum,a}$ ) als functie van de ruimtelijke schaal. De groene band geeft de bandbreedte rondom de trend (zwarte lijn) weer.

In deze paragraaf is geïllustreerd dat verschillen in retentie op kleine schaal uitmiddelen op grote schaal. Dit schaalgedrag gaat ook op voor de nutriëntenbelasting. Dit wordt bevestigd door bevindingen in de 'Ex-ante KRW' studie, die wordt besproken in paragraaf 3.3. Gemeten nutriëntenconcentraties op de uitstroompunten van verschillende deelstroomgebieden zijn vergeleken met berekende waarden (zie Figuur 2-5). De concentraties zijn berekend door een vaste retentiefraction te laten aangrijpen op de nutriëntenbelasting (berekend met o.a. STONE, Wolf et al., 2003) en deze met behulp van de STONE hydrologie om te zetten naar nutriëntenconcentraties bij het uitstroompunt. Door de constante retentiefraction zijn de berekende nutriëntenconcentraties een vertaling van de nutriëntenbelasting. Het vergelijkt met gemeten concentraties wordt gemaakt op drie verschillende schaalniveaus: Nederland is opgedeeld in 7 KRW deelstroomgebieden, 19 WB21 deelstroomgebieden en 120 deelstroomgebieden. Figuur 2-5 toont het resulterende schaalgedrag. Aangezien de nutriëntenbelasting van grote invloed is op de absolute retentie gaat dit schaalgedrag deels op voor de retentie.

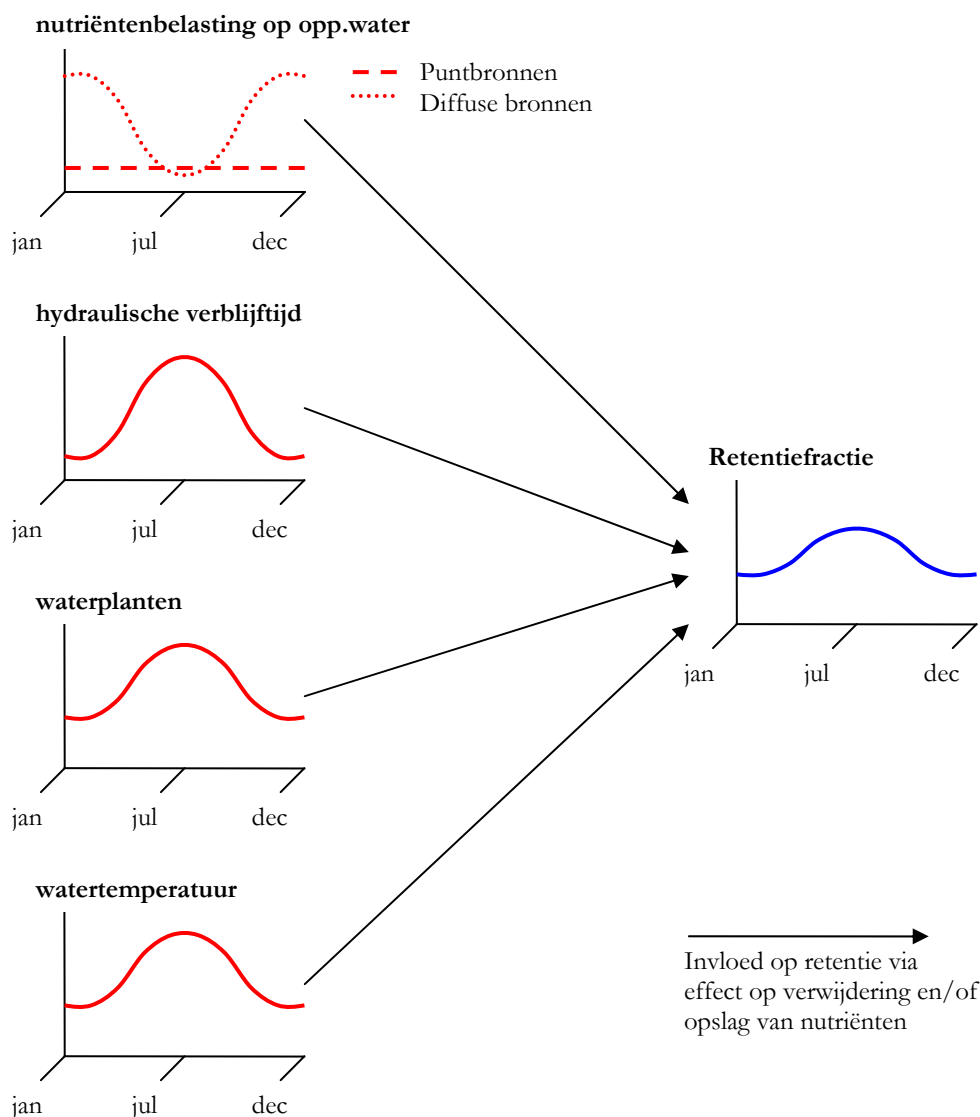


Figuur 2-5: Gemeten versus berekende uitgaande stikstofirachten volgens de 'Ex-ante KRW' studie op drie verschillende schalen. De x- en y-as zijn logaritmisch.

## Temporele schaal

Figuur 2-6 geeft kwalitatief weer waarom en hoe de retentie over het jaar heen varieert. De linkerhelft van de figuur geeft het tijdsverloop van een aantal belangrijke sturende factoren wiens variatie in de tijd de opslag en verwijdering van nutriënten beïnvloedt. Dit maakt de retentie tijdsafhankelijk.

De hydraulische verblijftijd zal, afgezien van periodes met hevige zomerse buien, groter zijn in de zomer dan in de winter. Hierdoor krijgen biochemische processen zoals denitrificatie in de zomer meer tijd om hun werk te doen terwijl in de winter het watersysteem als een doorspoelbak werkt. Tevens is er een sterk verband tussen verblijftijd en de stroomsnelheid die de sedimentatie en resuspensie van P beïnvloedt.



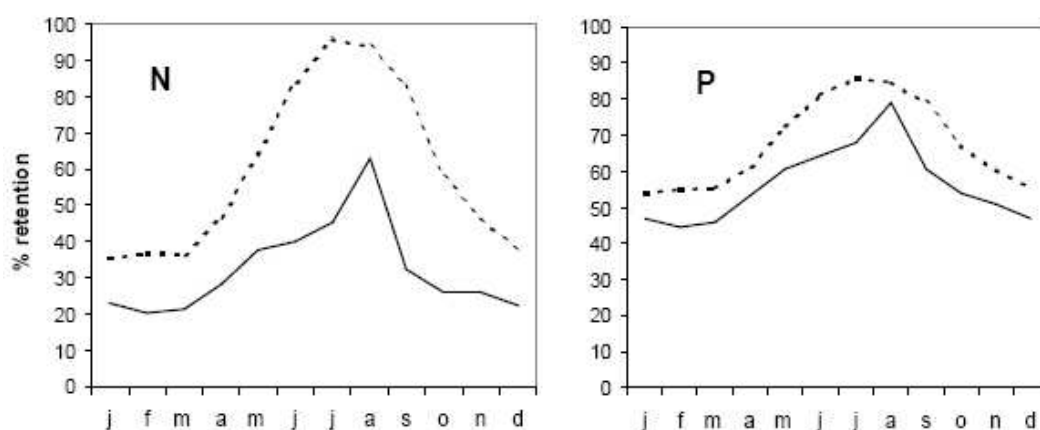
Figuur 2-6: Illustratie van de temporele afhankelijkheid van de retentie, als gevolg van de sturende factoren (linkerhelft) die door het jaar heen variëren.

De jaarlijkse groeicyclus van waterplanten beïnvloedt de retentie op meerdere manieren. Enerzijds omdat waterplanten worden omgeven door biofilms met denitrificerende bacteriën, anderzijds omdat waterplanten de stroomsnelheid verlagen en daarmee sedimentatie bevorderen. Tevens nemen waterplanten voor hun groei N en P op uit het water wat later in het najaar en de winter door sterfte, opgevolgd door mineralisatie, weer in opgeloste vorm aan het water wordt teruggegeven.

De uitspoeling van nutriënten uit het landsysteem, die in veel stroomgebieden verantwoordelijk is voor het leeuwendeel van de totale nutriëntenbelasting, vertoont tevens een seizoensfluctuatie. In het zomerhalfjaar is er minder uitspoeling als gevolg van grote nutriëntopname door gewasgroei en verhoogde denitrificatie in het landsysteem door de hogere temperaturen, in combinatie met gemiddeld lagere waterafvoeren naar het oppervlaktewater. Er zijn echter ook factoren die de nutriëntenuitspoeling in de zomer stimuleren. Zuurstofrijkere bodemcondities in de zomer als gevolg van lage grondwaterstanden remmen de denitrificatie. Daarbij zijn de mestgiften in het zomerhalfjaar groter dan in het winterhalfjaar. Hevige zomerse buien kunnen daardoor leiden tot een grote nutriëntenuitspoeling.

Figuur 2-6 toont niet alle sturende factoren. De seizoensvariatie bijvoorbeeld in de zuurstoftoestand in het water en sediment beïnvloedt de retentie via het effect op de denitrificatie en op het bindend vermogen van P aan het sediment.

In werkelijkheid zal het jaarverloop van de sturende factoren een stuk grilliger zijn wat resulteert in een grilliger retentiepatroon dan weergegeven in Figuur 2-6. Tevens vertoont de N retentie een ander patroon dan de P retentie, aangezien er andere processen aan ten grondslag liggen. Onderzoek toont aan dat de P retentie niet zo'n duidelijke seizoensvariatie vertoont als de N retentie. Zo heeft De Klein (2008a) maandelijkse retentiefractionen afgeleid voor 13 Europese stroomgebieden, variërend in grootte van 21 tot 486 km<sup>2</sup>. Figuur 2-7 toont de berekende retentiefractionen voor 2 stroomgebieden. De temporele variatie in deze studie is ingebracht door de watertemperatuur in combinatie met de variatie in de maandelijkse nutriëntenbelasting en de hydraulische verblijftijd (afgeleid uit het openwateroppervlak in combinatie met maandelijkse waterafvoeren).



Figuur 2-7: Berekend seizoenspatroon van relatieve N en P retentie uit De Klein (2008a). De gestippelde lijn representeert het Odense stroomgebied (2% openwateroppervlak), de doorgetrokken lijn geeft de retentiefractionen voor de Groenlose Slinge (1% openwateroppervlak).

De N retentie in Figuur 2-7 vertoont een sterkere seizoensfluctuatie dan de P retentie waaruit kan worden afgeleid dat de sturende factoren op de N retentie meer seizoensvariatie hebben. Zo heeft de gedurende het jaar sterk variërende watertemperatuur een grote invloed op biochemische processen zoals denitrificatie die de N retentie sturen (Kadlec en Reddy, 2001). De sturende factoren op de P retentie zijn meer abiotisch van aard, zoals de stroomsnelheid die de resuspensie en sedimentatie beïnvloedt en de samenstelling van het sediment die van invloed is op de tijdelijke binding van P deeltjes.

Figuur 2-7 toont tevens de invloed van het openwateroppervlak op de retentiefractie. Een groot openwateroppervlak staat in het algemeen in relatie tot hogere hydraulische verblijftijden wat de retentie van zowel stikstof als fosfor bevordert.

### **Retentieverhogende maatregelen**

Het verbeteren van de waterkwaliteit t.a.v. nutriënten kan op twee manieren worden aangepakt, namelijk het verminderen van de nutriëntenbelasting of het vergroten van de retentie in het oppervlaktewater. Met name sinds de introductie van de KRW, zijn tal van maatregelen bedacht en toegepast om het zelfreinigend vermogen van het watersysteem te vergroten of optimaler te benutten. De gedachte hierachter is dat maatregelen in het watersysteem eenvoudiger en goedkoper zijn te realiseren en op kortere termijn effect hebben dan maatregelen ter vermindering van de nutriëntenbelasting. Daarbij is het moeilijk de nutriëntenbelasting te verminderen gegeven de intensieve landgebruiksvormen.

Aangezien de kleine waterlopen een grote zuiverende potentie hebben zijn retentieverhogende maatregelen effectief in de kleine waterlopen. Ze moeten wel grootschalig worden toegepast willen ze significant effect hebben op de waterkwaliteit in de grote waterlopen waarop de kleine waterlopen afwateren. Zo zal de aanleg van rietvelden op lokale schaal de waterkwaliteit sterk verbeteren terwijl deze helofytenfilters alleen een significant effect op de waterkwaliteit in de grote wateren hebben als ze op grote schaal worden aangelegd.

Retentieverhogende maatregelen in de grote rivieren kunnen ook effectief zijn. De zuiverende potentie van deze waterlopen mag dan niet zo groot zijn, maar een kleine verandering hierin kan groot effect hebben op de absolute retentie gegeven de grote nutriëntenvrachten die door de rivieren worden getransporteerd. De waterkwaliteit in de kleinere waterlopen wordt door deze maatregelen niet beïnvloed, tenzij er sprake is van inlaat van rivierwater in bijvoorbeeld poldergebieden.

## 2.3 Kwantificeren van retentie

### Meetbaarheid

Het is vrijwel onmogelijk om retentie te meten, zeker op grote ruimtelijke en temporele schaal. Zowel het direct meten van verwijder- en opslagprocessen in het oppervlaktewater als het bepalen van de retentie als afgeleide van gemeten inkomende en uitgaande nutriëntvrachten is moeilijk gezien de grote ruimtelijke en temporele variabiliteit in de verwijder- en opslagprocessen en de nutriëntenbelasting. Vandaar dat de retentie moet worden geschat. De vier belangrijkste methoden om retentie te schatten zijn gebaseerd op een analyse van de massabalans, geschatte processnelheden, empirische relaties en mechanistisch modelleren (De Klein, 2008a).

### Massabalans

Bij het opstellen van een massabalans wordt de retentie bepaald door het verschil tussen inkomende en uitgaande nutriëntenvrachten te bepalen. Met name de inkomende vrachten, die gedurende het stroomtraject aan het watersysteem worden toegevoegd, zijn moeilijk te bepalen. Voorbeelden van inkomende nutriëntbronnen onderverdeeld in diffuse bronnen en puntbronnen zijn:

- Uitspoeling vanuit het landsysteem (diffuus)
- Nutriënteninstroom/-inlaat uit bovenstroomse deelstroomgebieden (punt)
- Grondwaterkwel (diffuus)
- Atmosferische depositie (diffuus)
- Oppervlakkige afvoer van neerslag, waarbij onderweg contact optreedt met nutriënten veelal afkomstig van mest of kunstmest (diffuus)
- Afvalwater van Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) (punt)
- Overstort van rioolwater (punt/diffuus)
- Puntlozingen van industrie, landbouw en stedelijk gebied (punt)
- Erosie en vertrapping van de slootkanten door weidend vee (punt/diffuus)
- Baggeren in veengebieden. In veengebieden vindt langzame oxidatie plaats van het veensediment op de waterbodem waardoor nutriënten aan het water worden toegevoegd. Baggeren versnelt dit proces doordat dieper gelegen mineraalrijke veenlagen op deze manier worden blootgesteld aan het slootwater (diffuus)

Het nauwkeurig meten van het totaal aan diffuse inkomende vrachten, die in de ruimte en tijd flink kunnen verschillen, zou een zeer dicht en uitgebreid meetnet vereisen, zeker wanneer het een groot gebied betreft. Voor puntbronnen ligt het minder gecompliceerd, al kunnen de bijbehorende vrachten in de tijd flink variëren en zijn vele puntbronnen onbekend. Vandaar dat in massabalansmethoden de totale nutriëntenbelasting, en dan met name de diffuse bronnen, vaak wordt geschat op basis van in modellen vastgelegde kennis en data.

Toegevoegde nutriënten kunnen weer worden teruggegeven aan het landsysteem of grondwater door bijvoorbeeld inundatie en infiltratie van oppervlaktewater.

Onttrekking van oppervlaktewater voor drinkwater is tevens een verliesterm. Deze verliestermen dienen meegenomen te worden in de analyse.

Uiteindelijk komen alle onzekerheden in de verschillende nutriëntstromen tot uiting in de gevonden retentiewaarde.

### **Processnelheden**

Retentie kan ook worden bepaald door het meten van de processnelheden behorend bij de verwijdering van nutriënten in het oppervlaktewater. Het belangrijkste verwijderproces voor stikstof is denitrificatie waarbij bacteriën, die organisch materiaal afbreken, onder zuurstofarme omstandigheden nitraat gebruiken in plaats van zuurstof voor hun respiratie. Hierbij wordt nitraat omgezet in gasvorm ( $N_2$  en soms  $N_2O$ ) dat ontsnapt naar de atmosfeer (Gumbricht, 1993). Deze omzetting vindt plaats in de anaerobe sedimentlaag en in biofilms die aanwezig zijn op (ondergedoken) waterplanten. Denitrificatie is groot in de aanwezigheid van veel nitraat en afbreekbaar organisch materiaal.

Voor fosfor is sedimentatie het belangrijkste verwijderproces. Een deel van het gesedimenteerde fosfor kan weer in oplossing komen door bijvoorbeeld bioturbatie, hoge stroomsnelheden of windinvloed. Een ander deel van het gesedimenteerde fosfor wordt definitief begraven in het sediment wat als verwijdering wordt beschouwd (Brenner et al., 2006). Door maaibeheer en baggeren kunnen tevens nutriënten uit het oppervlaktewatersysteem worden verwijderd, aangezien de gemaaide waterplanten en het gebaggerde sediment nutriënten bevatten.

De uit onderzoek afgeleide processnelheden worden meestal uitgedrukt in massa per openwateroppervlak per tijdseenheid. Deze snelheden kunnen worden vertaald naar de retentie binnen een stroomgebied. De verandering in opslag van nutriënten die ook deel uitmaakt van de totale retentie wordt in deze methodiek niet meegenomen. Zo worden nutriënten opgeslagen in waterplanten, waarvan de hoeveelheid en dus ook de nutriëntopslag over het jaar heen flink varieert. Een ander belangrijk tijdelijk opslagmechanisme is de hechting van nutriënten aan het sediment. Deze adsorptie (en bijbehorende desorptie) speelt voor P een belangrijke rol.

### **Mechanistische procesmodellen**

Retentie kan ook worden geschat met modellen die de waterkwaliteitsprocessen in het watersysteem simuleren. Het risico is dat wanneer we alle belangrijke processen met hun afhankelijkheden goed willen modelleren het model al snel complex wordt en veel invoergegevens vereist. Het grote aantal procesparameters zorgt daarbij voor veel vrijheidsgraden waardoor goede resultaten om de verkeerde redenen kunnen worden verkregen. Een simpel model daarentegen heeft als beperking dat belangrijke processen ontbreken of zodanig gesimplificeerd zijn dat de voorspellende werking van het model beperkt is.

Desalniettemin geeft een model inzicht in het functioneren van het systeem, kunnen er predicties worden gemaakt onder veranderende omstandigheden en krijgt men een idee van het onderlinge belang van processen.

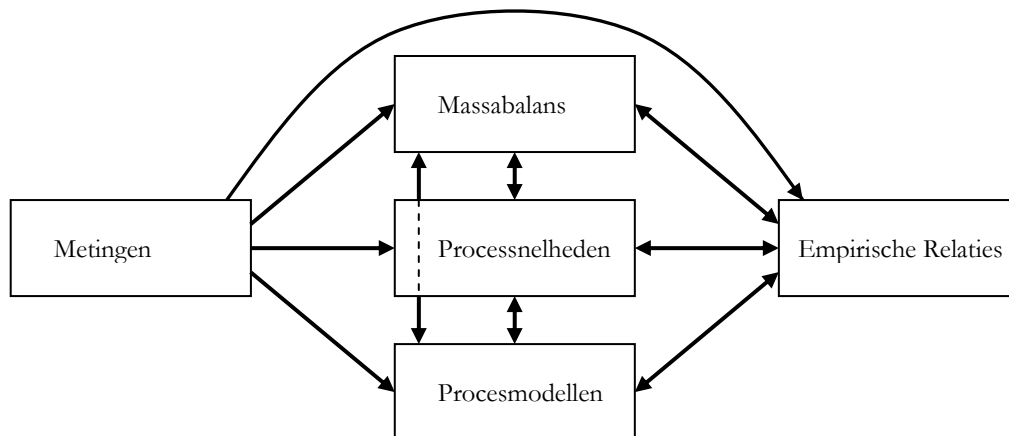


### Empirische relaties

Met behulp van empirische relaties wordt de retentie van nutriënten gekoppeld aan stroomgebiedeigenschappen zoals de hydraulische verblijftijd, de nutriëntenbelasting en het waterbodempoppervlak.

De kunst is om de belangrijkste factoren te vinden die de retentie sturen en hun invloed op de retentie in tijd en ruimte te kwantificeren. Wanneer belangrijke sturende factoren worden vergeten of wanneer de geselecteerde sturende factoren elkaar en/of hun invloed op de retentie beïnvloeden leidt dit beperkte toepasbaarheid op andere gebieden en andere schalen dan waarvoor ze afgeleid zijn.

Empirische relaties worden vaak afgeleid op grond van de eerder besproken methoden (zie Figuur 2-8). De methoden worden direct of indirect gevoed door metingen op verschillende ruimtelijke en temporele schaal. Er zijn kruisverbanden tussen de methoden. Procesmodellen kunnen bijvoorbeeld worden verbeterd met nieuwe informatie over processnelheden. Voor de toepasbaarheid van de empirische relaties is het belangrijk om te weten op welke ruimtelijke en temporele schaal de empirische relaties zijn afgeleid.



*Figuur 2-8: Onderlinge relatie van methoden waarmee de retentie geschat kan worden. De methoden worden direct of indirect gevoed door metingen.*