



## **Water- en stoffenbalans voor drie 3 beken in het grensgebied van de Vlaamse en Nederlandse Kempen Deelrapport: Balans- en modelberekening**

# Water- en stoffenbalans voor drie beken in het grensgebied van de Vlaamse en Nederlandse Kempen

## Deelrapport: Balans- en modelberekening

### Opdrachtgever



### Opdrachthouder



ALTERRA  
WAGENINGEN UR

© Soresma 2006

Zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van Soresma mag geen enkel onderdeel of uittreksel uit deze tekst worden weergegeven of in een elektronische databank worden gevoegd, noch gefotokopieerd of op een andere manier vermenigvuldigd.

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Bouwstenen .....</b>	<b>9</b>
2.1	Beschrijving bouwstenen .....	9
2.2	Beschrijving en afbakening van de bouwstenen.....	10
<b>3</b>	<b>Waterbalans .....</b>	<b>11</b>
3.1	Literatuurstudie .....	11
3.2	Beschikbare gegevens.....	13
3.3	Waterbalans .....	21
<b>4</b>	<b>Waterkwantiteitsmodel .....</b>	<b>29</b>
4.1	Werkwijze .....	29
4.2	Opbouw .....	30
4.3	Analyse.....	34
<b>5</b>	<b>Waterkwaliteitsmodel.....</b>	<b>40</b>
5.1	Werkwijze .....	40
5.2	Opbouw .....	40
5.3	Analyse.....	42
<b>6</b>	<b>Kwantificeren van de bouwstenen .....</b>	<b>53</b>
6.1	Subsystemen .....	53
6.2	Berekening bouwstenen .....	55
<b>7</b>	<b>Stoffenbalans .....</b>	<b>61</b>
7.1	Werkwijze .....	61
7.2	Stoffenbalans Zink .....	64
7.3	Stoffenbalans Cadmium.....	66
7.4	Bespreking .....	69

## Bijlagen

- Bijlage 1 Factsheets van de bouwstenen  
Bijlage 2 Cadmium- en zinkvrachten per bouwsteen

## Lijst van Figuren

Figuur 1: Algemene situering (Pieterse et al., 1998, gewijzigd).....	7
Figuur 2: Neerslag (bron: VMM en Waterschap De Dommel) .....	14
Figuur 3: Debietreeksen .....	15
Figuur 4: Watervang op het kanaal Bocholt-Herentals (nr 29, kanaalzijde) .....	18
Figuur 5: Overlaat van het kanaal Bocholt-Herentals naar de Warmbeek .....	20
Figuur 6: Lekdebiet van het kanaal Bocholt-Herentals naar de Dommel .....	21
Figuur 7: Splitsing in deelstromen .....	23
Figuur 8: Grondplan gemodelleerde waterlopen.....	31
Figuur 9: Lengteprofiel Dommel (van Kleine Brogel tot verdeelwerk Eindhoven).....	34
Figuur 10: Lengteprofiel Tongelreep-Warmbeek (van Grote Brogel tot monding in Dommel) .....	35
Figuur 11: Lengteprofiel Beekloop-Keersop (van Bergeijk tot monding in Dommel).....	36
Figuur 12: Hjulström-diagram .....	37
Figuur 13: Stroomsnelheden (jaargemiddelde afvoer) .....	
Figuur 14: Stroomsnelheden (maatgevende afvoer, stuwen gedeeltelijk gestreken).....	38
Figuur 15: Stroomsnelheden (maatgevende afvoer, stuwen volledig gestreken) .....	
Figuur 16: Stroomsnelheden (zomerafvoer) .....	39
Figuur 17: Schuifspanning (N/m <sup>2</sup> ) (jaargemiddelde afvoer) .....	
Figuur 18: Schuifspanning (N/m <sup>2</sup> ) (maatgevende afvoer, stuwen gedeeltelijk gestreken) .....	43
Figuur 19: Schuifspanning (N/m <sup>2</sup> ) (maatgevende afvoer, stuwen volledig gestreken) .....	
Figuur 20: Schuifspanning (N/m <sup>2</sup> ) (zomerafvoer) .....	44
Figuur 21: Bezinking slib (jaargemiddelde afvoer) .....	
Figuur 22: Bezinking slib (maatgevende afvoer, stuwen gedeeltelijk gestreken) .....	46
Figuur 23: Bezinking slib (maatgevende afvoer, stuwen volledig gestreken) .....	
Figuur 24: Bezinking slib (zomerafvoer) .....	47
Figuur 25: Opwoeling slib (jaargemiddelde afvoer) .....	
Figuur 26: Opwoeling slib (maatgevende afvoer, stuwen gedeeltelijk gestreken).....	48
Figuur 27: Opwoeling slib (maatgevende afvoer, stuwen volledig gestreken) .....	
Figuur 28: Opwoeling slib (zomerafvoer) .....	49
Figuur 29: Aanzanding (jaargemiddelde afvoer) .....	
Figuur 30: Aanzanding (maatgevende afvoer, stuwen gedeeltelijk gestreken) .....	51
Figuur 31: Aanzanding (maatgevende afvoer, stuwen volledig gestreken) .....	
Figuur 32: Aanzanding (zomerafvoer) .....	52
Figuur 33: zinklozing directe bronnen per type watergangen .....	59
Figuur 34: zinklozing indirecte bronnen per type watergang .....	60
Figuur 35: cadmiumlozing directe bronnen per type watergangen .....	60
Figuur 36: cadmiumlozing indirecte bronnen per type watergang .....	60

## Lijst van Tabellen

Tabel 1: Bouwstenen .....	9
Tabel 2: Waterbalans Dommel opwaarts Overpelt .....	12
Tabel 3: Waterbalans Warmbeek opwaarts Achel .....	12
Tabel 4: Waterbalans voor het stroomgebied opwaarts Sint-Michielsgestel .....	13
Tabel 5: Waterbalans voor de Dommel opwaarts Sint-Michielsgestel .....	13
Tabel 6: Gemiddelde afvoeren (bron: VMM en waterschap De Dommel) .....	16
Tabel 7: Gemiddeld effluentvolume Vlaamse RWZI's (bron: Aquafin) .....	17
Tabel 8: Capaciteit watervangen (bron: Waterbouwkundig Laboratorium) .....	18
Tabel 9: Toevoer kanaalwater via watervangen .....	20
Tabel 10: Oppervlakte subsystemen .....	22
Tabel 11: Landgebruik subsystemen .....	22
Tabel 12: Waterbalans Tongelreep-Warmbeek (m <sup>3</sup> /s) .....	24
Tabel 13: Waterbalans Tongelreep-Warmbeek (mm) .....	24
Tabel 14: Waterbalans Tongelreep-Warmbeek (%) .....	24
Tabel 15: Waterbalans Beekloop-Keersop (m <sup>3</sup> /s) .....	25
Tabel 16: Waterbalans Beekloop-Keersop (mm) .....	25
Tabel 17: Waterbalans Beekloop-Keersop (%) .....	25
Tabel 18: Waterbalans Dommel (m <sup>3</sup> /s) .....	27
Tabel 19: Waterbalans Dommel (mm) .....	27
Tabel 20: Waterbalans Dommel (%) .....	27
Tabel 21: Oppervlakte subsystemen .....	53
Tabel 22: Landgebruik subsystemen Dommel .....	54
Tabel 23: Landgebruik subsystemen Tongelreep-Warmbeek .....	54
Tabel 24: Landgebruik subsystemen Beekloop-Keersop .....	55
Tabel 25: Berekende jaarlijkse vracht (in kg/j) voor cadmium per beekstelsysteem .....	56
Tabel 26: Berekende jaarlijkse vracht (in kg/j) voor zink per beekstelsysteem .....	57
Tabel 27: Kwantificering bouwstenen .....	58
Tabel 28: Bouwstenen .....	62
Tabel 29: Zinkbalans Tongelreep-Warmbeek (kg/jaar) .....	64
Tabel 30: Zinkbalans Beekloop-Keersop .....	65
Tabel 31: Zinkbalans Dommel (zonder Beekloop-Keersop)(kg/jaar) .....	66
Tabel 32: Cadmiumbalans Tongelreep-Warmbeek (kg/jaar) .....	67
Tabel 33: Cadmiumbalans Beekloop-Keersop (kg/jaar) .....	68
Tabel 34: Cadmiumbalans Dommel (zonder Beekloop-Keersop)(kg/jaar) .....	69

## Lijst van kaarten

Kaart 1	Meetnet – kwantiteit
Kaart 2	Waterzuivering en lozingspunten
Kaart 3	Hydrografisch stelsel
Kaart 4	Subsystemen waterbalans
Kaart 5	Subsystemen stoffenbalans

## Symbolen en afkortingen

ABdK	Projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen
AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
DHM	Digitaal Hoogte Model
IE	Inwoner equivalent
KMI	Koninklijk Meteorologisch Instituut
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LGN	Landgebruikkaart Nederland
NAP	Normaal Amsterdams Peil
OVAM	Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij
OWKM	Oppervlaktewaterkwantiteitsmodellering
ROG	Recent Overstroomde Gebieden
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
TAW	Tweede Algemene Waterpassing
VHA	Vlaamse Hydrografische Atlas
VMM	Vlaamse Milieu Maatschappij



## 1 Inleiding

Het voorliggende rapport werd opgemaakt in het kader van de studie “Water- en stoffenbalans voor drie beken in het grensgebied van de Vlaamse en Nederlandse Kempen”. Deze studie wordt uitgevoerd door het consortium Soresma-Oranjewoud-Alterra, in opdracht van het projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen (ABdK). Ze vormt een onderdeel van het Europese Interreg project “BeNeKempen”, zoals dit wordt uitgevoerd door het projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen in samenwerking met de Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM).

Het deelrapport ‘Balans- en modelberekeningen’ omvat de gedetailleerde omschrijving van de gebruikte bouwstenen, de rekenmethodiek, de resultaten van de uitgevoerde balans- en modelberekeningen.

### Doelstelling

De studie heeft tot doel een inzicht te verwerven in de omvang en herkomst van zware metaalverontreiniging, zink en cadmium, in een drietal grensoverschrijdende beeksystemen in de Kempen. Met de resultaten van het onderzoek dienen beheersmaatregelen benoemd te worden om de verontreiniging te verminderen.

### Studiegebied

Het studiegebied is gelegen in het grensgebied van de Vlaamse en Nederlandse Kempen, net ten zuiden van Eindhoven. Het omvat de stroomgebieden van de Dommel (opwaarts Eindhoven), de Tongelreep-Warmbeek en de Beekloop-Keersop. De algemene ligging is weergegeven in Figuur 1.



*Figuur 1: Algemene situering (Pieterse et al., 1998, gewijzigd)*

### Leeswijzer

Het deelrapport 'Balans- en modelberekeningen' is één van de 4 rapporten die deze studie heeft opgeleverd. Naast dit rapport zijn er nog een hoofdrapport en 2 andere deelrapporten; 'meetcampagne' en 'oeverinventarisatie'. De meetcampagne en de oeverinventarisatie geven de basisgegevens voor de hier gepresenteerde analyses. De vier rapporten vormen gezamenlijk het eindproduct waarbij de gegevens en analyses op een logische manier uit elkaar voortvloeien. Voor de leesbaarheid en het gemak van de lezer is ieder rapport zodanig opgesteld dat deze zelfstandig leesbaar zijn.

Dit rapport geeft de getalsmatige onderbouwing voor de conclusies die in het hoofdrapport zijn opgenomen. In hoofdstuk 2 worden de bouwstenen kort besproken. In de hoofdstukken 3, 4 en 5 worden de resultaten van de verschillende werkstappen in de aanpak gepresenteerd. In hoofdstuk 3 zijn de resultaten van de waterbalans opgenomen. In hoofdstuk 4 de resultaten van het rekenmodel voor de waterkwantiteit en in hoofdstuk 5 de resultaten van de waterkwaliteitsberekeningen. Na deze berekeningen kunnen de bouwstenen voor de stoffenbalans worden gekwantificeerd. De resultaten van de berekeningen en een korte bespreking hiervan zijn opgenomen in hoofdstuk 6. Met de berekening van de bouwstenen kan uiteindelijk de stoffenbalans voor de beeksystemen worden opgesteld, hoofdstuk 7.

## 2 Bouwstenen

### 2.1 Beschrijving bouwstenen

Om inzicht te krijgen in de factoren die voor de water- en stoffenbalans van belang zijn, zijn de mogelijke bronnen en processen in beeld gebracht. Tijdens een werkatelier zijn in totaal 25 zogenoemde 'bouwstenen' geïdentificeerd (zie Tabel 1). Om voortijdige uitsluiting van bronnen of processen te voorkomen is geen selectie gemaakt. Alle bronnen en processen, belangrijk en onbelangrijk, zijn opgenomen. Bij de indeling van de bouwstenen is rekening gehouden met de kwantificeerbaarheid van de bouwsteen.

Tabel 1: Bouwstenen

Nr.	Beschrijving	Type
<b>Directe bronnen</b>		
1.	Zinkassen uitspoeling	bron
2.	Directe lozingen Umicore	bron
3.	Overige directe lozingen (RWZI)	bron
4.	Landbouw (verwaaiing e.d.)	bron
5.	Afzet stoffen op verhard oppervlak	bron
6.	Atmosferische depositie	bron
<b>Indirecte bronnen</b>		
7.	Afspoeling hemelwater landbouw / onverhard	bron
8.	Afspoeling bevoeiing en beregening landbouw	bron
9.	Afstroming hemelwater verhard oppervlak	bron
10,	Sedimentatie en resuspensie op inundatievlakken	afhankelijk van situatie bron, put of berging
11,	Lokale grondwaterstroming	bron
12,	Intermediaire grondwaterstroming	bron
13.	Vegetatie boven waterpeil (T=1), invloed op afspoeling	put of berging
14.	Fytoremediatie - vegetatie wateroever	put
15.	Slibinvang wateroever	put
16.	Aanrijking en uitloging waterbodems	afhankelijk van situatie bron, put of berging
17.	Sedimentatie en resuspensie waterbodems	afhankelijk van situatie bron, put of berging
18.	Bioturbatie waterbodems	afhankelijk van situatie bron, put of berging
19.	Kunstwerken	put of berging
<b>Transport</b>		
20-21	Opgeloste stoffen aanvoer en afvoer	transport
22-23	Fijn zwevende stof aanvoer en afvoer	transport
24-25	Grof zwevend/salterend stof aanvoer en afvoer	transport

Bij de bouwstenen is onderscheid gemaakt in drie groepen: 'directe verontreinigingsbronnen', 'indirecte verontreinigingsbronnen' en 'transport'. De directe verontreinigingsbronnen zijn punten of processen waar nog niet eerder in het beekstelsysteem aanwezige verontreinigingen het beekstelsysteem inkomen. De groep indirecte bronnen omvat, grof weg, alle processen van aanvoer, berging en vastlegging van verontreinigingen die zich in of rond de watergangen afspelen. Bij deze processen worden verontreinigingen aangevoerd (bron; vanuit b.v. haarvaten<sup>1</sup>, secundaire watergangen of oevers), wordt verontreiniging (tijdelijk) geborgen (berging; in b.v. de waterbodem, op inundatievlakken of in kunstwerken) of wordt verontreiniging vastgelegd en afgevoerd (put; b.v. in kunstwerken of vegetatie). De groep met 'transport' bouwstenen omvat de aanvoer- en afvoerprocessen in de hoofdwaterloop. De bouwstenen vormen de basis voor het opstellen van de stoffenbalans in deze studie.

## 2.2 Beschrijving en afbakening van de bouwstenen

Om de bouwstenen af te bakenen en duidelijk te maken hoe deze zijn gekwantificeerd zijn factsheets opgesteld. De factsheets bevatten de volgende aspecten:

- beschrijving van de relevante componenten en factoren
- beschrijving proces en rol van de componenten en factoren
- toelichting op de methode van kwantificering
- relatie met andere bouwstenen
- eventuele referenties

De factsheets zijn opgenomen in bijlage 1,

---

<sup>1</sup> De haarvaten zijn alle kleinere watergangen buiten de (hoofd- en zij)waterlopen die zijn weergegeven in Kaart 4 en 5.

## 3 Waterbalans

Om de waterbalans op te stellen is eerst gekeken welke studies voor het gebied al beschikbaar zijn. Vervolgens zijn de beschikbare gegevens geanalyseerd en is de waterbalans opgesteld. In dit hoofdstuk zijn deze stappen uitgewerkt.

### 3.1 Literatuurstudie

#### 3.1.1 Beschikbare studies

De waterbalans van (delen van) het studiegebied zijn in het verleden reeds meerdere malen onderzocht. Tot de beschikbare studies behoren:

- Analyse van hoogwaterafvoeren, deel 2: de stroomgebieden van de Kempen (Voet et al., 2000)
- Oppervlaktewaterkwantiteitsmodelleringen 2001, perceel 5: stroomgebied van de Dommel, boekdeel 3: hydrologie (IMDC, 2005)
- Oppervlaktewaterkwantiteitsmodelleringen 2003, perceel 5: stroomgebied van de Warmbeek, boekdeel 3: hydrologie (Haskoning, 2005, voorlopige versie)
- Simulatie van de regionale hydrologie in het stroomgebied van de Dommel (Pieterse et al. 1998)

De in de tekst genoemde meetlocaties zijn opgenomen in kaart 1,

#### 3.1.2 Hoogwaterafvoeren in de stroomgebieden van de Kempen

Voet et al. (2000) onderzochten de hoogwaterafvoeren voor een aantal stroomgebieden in de Vlaamse Kempen, waaronder ook die van de Dommel en de Warmbeek. De studie is voornamelijk gericht op de extreme afvoergebeurtenissen. De analyses zijn gebaseerd op lange tijdreeksen van het debiet gemeten door een limnigraaf gekoppeld aan de gebiedsneerslag van het stroomgebied opwaarts van de limnigraaf.

De Dommel werd bestudeerd aan de hand van de meetreeks van limnigraaf 022 te Overpelt voor de periode 1971-1996. De runoff-coëfficiënt voor de 30 grootste wassen uit deze periode varieerde tussen 0,07 en 0,26, met een gemiddelde van 0,11,

De Warmbeek werd bestudeerd aan de hand van de meetreeks van limnigraaf 024 te Achel voor de periode 1978-1996. De runoff-coëfficiënt voor de 30 grootste wassen uit deze periode varieerde tussen 0,05 en 0,12, met een gemiddelde van 0,08.

Bij de studie van de Warmbeek lijkt de grootte van het stroomgebied met ongeveer 20% overschat te zijn. De berekende runoff coëfficiënt is dus waarschijnlijk met ongeveer 20% onderschat.

#### 3.1.3 OWKM<sup>2</sup> Dommel

IMDC (2005) analyseerde de meetreeks van limnigraaf 022 te Overpelt voor de periode 1970-2003. In deze periode bedroeg de gemiddelde afvoer 1,02 m<sup>3</sup>/s en de maximale afvoer 9,29 m<sup>3</sup>/s. Uit de statistische analyse van de meetreeks blijkt dat er zich opwaarts van de limnigraaf overstromingen voordoen zodra het gemeten debiet meer dan 7 m<sup>3</sup>/s bedraagt. De runoff coëfficiënt van 48 onderzochte extreme gebeurtenissen varieerde tussen 0,03 en 0,23.

Voor de periode 1971-1999 werd een waterbalans opgesteld. De actuele evapotranspiratie werd geschat op 80% van de potentiële evapotranspiratie voor een vrij oppervlak. De resultaten worden samengevat in Tabel 2.

---

<sup>2</sup> OWKM = Oppervlaktewaterkwantiteitsmodellering

Tabel 2: Waterbalans Dommel opwaarts Overpelt

Component	Hoeveelheid (mm)	Hoeveelheid (%)
Neerslag	817	100
Actuele evapotranspiratie	569	70
Afvoer	215	26
Grondwateronttrekking	0	0
Grondwaterberging	0	0
Rest/verlies	33	4

### 3.1.4 OWKM Warmbeek

Haskoning (2005) analyseerde de meetreeks van limnigraaf 024 te Achel voor de periode 1982-2002. In deze periode bedroeg de gemiddelde afvoer 0,66 m<sup>3</sup>/s en de maximale afvoer 3,49 m<sup>3</sup>/s. Uit de statistische analyse van de meetreeks blijkt dat er zich opwaarts van de limnigraaf overstromingen voordoen van zodra het gemeten debiet meer dan 2,1 m<sup>3</sup>/s bedraagt. De runoff coëfficiënt van 47 onderzochte extreme gebeurtenissen varieerde tussen 0,03 en 0,55.

Voor de periode 1982-2002 is een waterbalans opgesteld. De actuele evapotranspiratie werd berekend op basis van de potentiële evapotranspiratie voor een vrij wateroppervlak en bijgestuurde gewasfactoren van Makkink. De oppervlakkige afvoer en de grondwaterafvoer werden berekend met het programma WETSPRO. De resultaten worden samengevat in Tabel 3.

Tabel 3: Waterbalans Warmbeek opwaarts Achel

Component	Hoeveelheid (mm)	Hoeveelheid (%)
Neerslag	856	100
Actuele evapotranspiratie	397	46
Oppervlakkige afvoer	224	26
Grondwater afvoer	39	5
Rest/verlies	154	18

Opmerking: de som van de berekende oppervlakkige afvoer en grondwater afvoer bedraagt slechts 80% van de gemeten afvoer en de totale som van de verschillende componenten is niet gelijk aan de neerslag. Het beschikbare rapport (voorlopige versie) biedt hier geen verklaring voor.

### 3.1.5 Regionale hydrologie Dommel

Pieterse et al. (1998) stelden een gedetailleerde waterbalans op van het stroomgebied van de Dommel opwaarts Sint-Michielsgestel. Zij maakten hierbij gebruik van het ruimtelijk verdeeld hydrologisch model Streamflow. Dit model werd afgeijkt door op basis van negen meetreeksen van het waterschap De Dommel (P01, P03, P06, P09, S02, S03, S07, S08 en S11) voor de periode 1990-1996. Met het afgeijkte model werden twee waterbalansen opgesteld: een balans voor het stroomgebied (Tabel 4) en een balans voor de Dommel (Tabel 5).

Tabel 4: Waterbalans voor het stroomgebied opwaarts Sint-Michielsgestel

Component	Hoeveelheid (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Hoeveelheid (%)
Neerslag	990,93	100
Actuele evapotranspiratie	-693,81	65
Snelle afvoer	-70,73	7
Langzame afvoer	-185,23	19
Afvoer naar rioolsysteem	-46,63	4
Diepe kwel en infiltratie (*)	-49,39	5
Verskil berging bodemvocht	0,00	0
Verskil berging grondwater	0,86	0

\*: negatief = infiltratie

Tabel 5: Waterbalans voor de Dommel opwaarts Sint-Michielsgestel

Component	Hoeveelheid (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Hoeveelheid (%)
Totale afvoer	261,45	100
Snelle afvoer	70,73	27
Langzame afvoer	185,23	71
Neerslagoverschot rioelstelsel	37,31	14
Effluent huish. en industrie	51,79	20
Transfers	-83,59	32

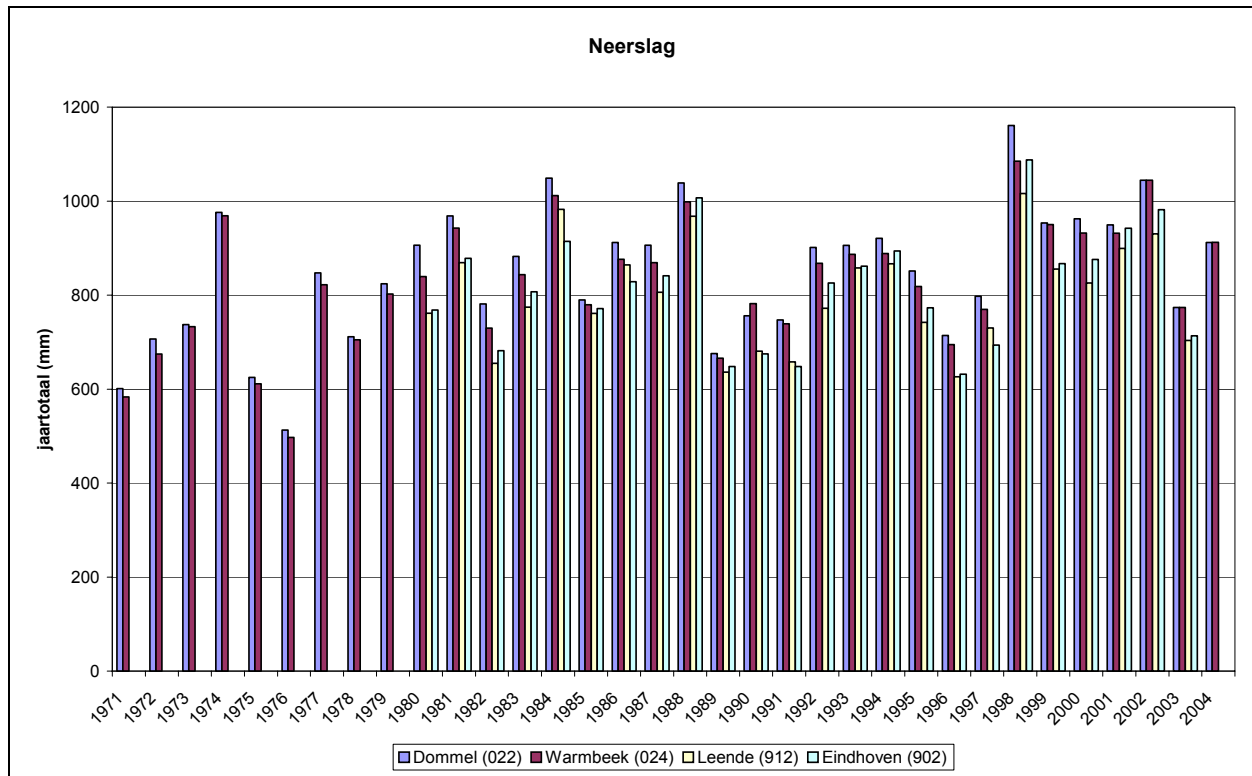
## 3.2 Beschikbare gegevens

### 3.2.1 Neerslag

Voor het opstellen van de waterbalans waren 4 neerslagreeksen beschikbaar:

- de gebiedsneerslag voor het stroomgebied van limnigraaf 022 (1971-2004)
- de gebiedsneerslag voor het stroomgebied van limnigraaf 024 (1971-2004)
- de puntneerslag voor KNMI station 902 te Eindhoven (1980-2003)
- de puntneerslag voor KNMI station 912 te Leende (1980-2003)

De gebiedsneerslag voor de stroomgebieden van de limnigrafen 022 (Dommel te Overpelt) en 024 (Warmbeek te Achel) zijn ter beschikking gesteld door de afdeling Water van VMM. Deze gebiedsneerslag werd berekend als een gewogen gemiddelde (Thiessen polygonen) van de puntneerslag van een aantal neerslagstations van het KMI. De puntneerslag voor de neerslagstations van het KNMI te Eindhoven en Leende werd ter beschikking gesteld door het waterschap De Dommel.



Figuur 2: Neerslag (bron: VMM en Waterschap De Dommel)

De verschillende neerslagreeksen worden met elkaar vergeleken in Figuur 2. Uit deze figuur blijkt dat er geen opvallende verschillen zijn tussen de reeksen. De figuur toont ook duidelijk de zeer sterke variatie van jaar tot jaar.

De aangeleverde neerslagreeksen werden niet gewijzigd of gecorrigeerd.

### 3.2.2 Debiet

Volgende debietreeksen waren beschikbaar voor deze studie:

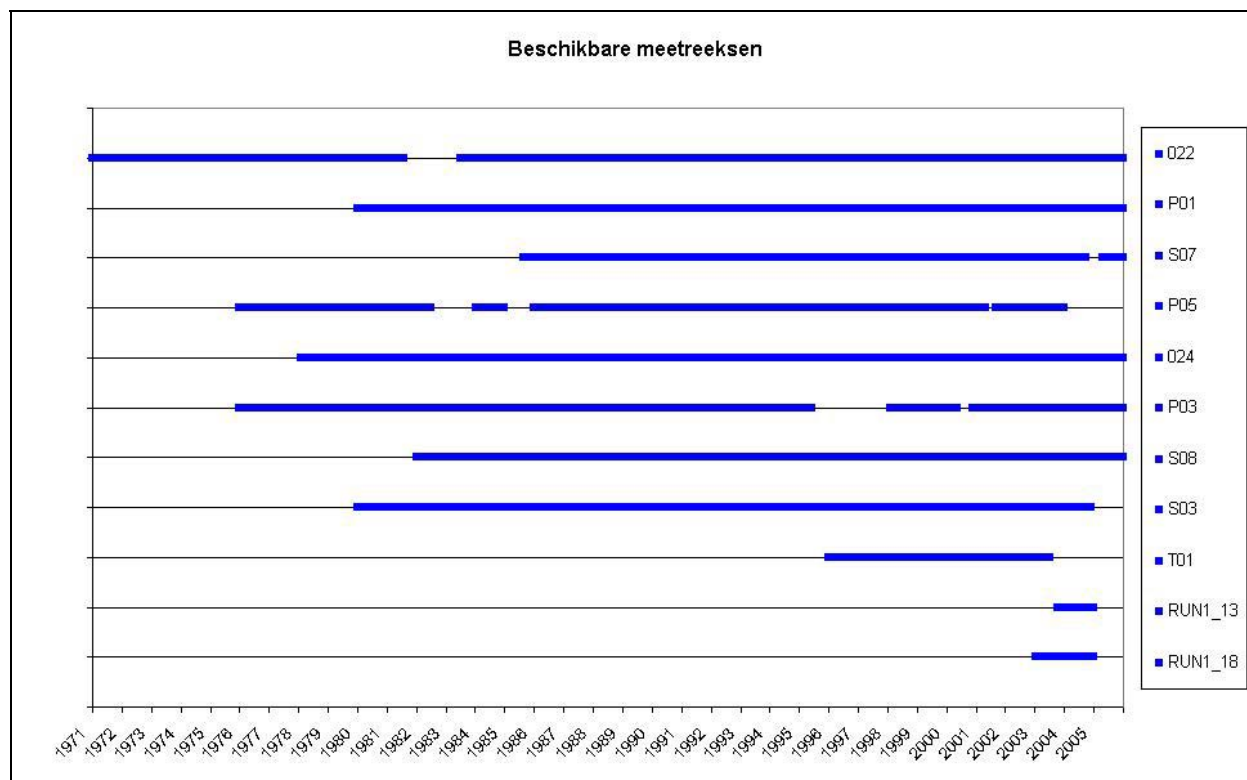
- 022, Dommel te Overpelt
- P01, Dommel te Borkel-Schaft
- S07, Dommel te Eindhoven
- P05, Beatrixkanaal te Eindhoven
- 024, Warmbeek te Achel
- P03, Tongelreep-Warmbeek nabij Achelse Kluis
- S08, Tongelreep-Warmbeek te Aalst
- S03, Beekloop-Keersop te Westerhoven
- T01, Beekloop-Keersop nabij Keersoppermolen
- Run1-13, Run te Riethoven (grootgoor)
- Run1-18, Run te Veldhoven (visvijver)

Voor een situering van deze meetpunten wordt verwezen naar Kaart 1,



De reeksen 022 en 024 werden ter beschikking gesteld door de afdeling Water van VMM. Alle andere reeksen werden geleverd door het waterschap De Dommel.

De verschillende meetreeksen beslaan verschillende periodes. Voor een overzicht wordt verwezen naar Figuur 3.



Figuur 3: Debietreeksen

De beschikbare debietreeksen werden in grafiek gebracht en visueel geïnspecteerd. De reeksen behorende bij eenzelfde waterloop werden ook gecontroleerd op onderlinge consistentie. Bij deze controle kwamen een aantal afwijkingen aan het licht die in de mate van het mogelijke gecorrigeerd werden:

- 022: licht afwijkende debieten voor 1971 werden met  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  verminderd
- 024: sterk afwijkende debieten voor 1981 werden met  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  verminderd
- S07: sterk afwijkende debieten voor 1982-1985 werden verwijderd
- Run1-13: vermoedelijk foutieve tijdsaanduiding, reeks niet gebruikt.

Ontbrekende perioden werden niet ingevuld.

De verschillende meetreeksen beslaan verschillende periodes en de neerslag verschilt sterk van jaar tot jaar. De gemiddelde afvoeren van de verschillende stations kunnen dus niet zomaar met elkaar vergeleken worden aangezien sommige afkomstig zijn uit natte periodes en andere uit droge periodes. Om deze verschillen enigszins te compenseren, werden de gemiddelde afvoeren bijgestuurd door middel van een proportionele weging op basis van de neerslag gedurende de meetperiode en de neerslag in de periode 1971-2005. Hoe langer de meetperiode, hoe kleiner de invloed van deze correctie. De weging gebeurde op basis van het gemiddelde van de gebiedsneerslagen van limnigrafen 022 en 024. Voor het jaar 2005 werd gebruik gemaakt van de puntneerslag van het KNMI-station 307 te Eindhoven (afgehaald van de KNMI-website).

Tabel 6: Gemiddelde afvoeren (bron: VMM en waterschap De Dommel)

Station	Gemiddelde afvoer meetperiode (m <sup>3</sup> /s)	Gemiddelde afvoer na weging (m <sup>3</sup> /s)
022, Dommel te Overpelt	0,985	0,987
P01, Dommel te Borkel-Schaft	1,858	1,772
S07, Dommel te Eindhoven	1,059	1,017
P05, Beatrixkanaal te Eindhoven	2,389	2,324
024, Warmbeek te Achel	0,635	0,610
P03, Tongelreep-Warmbeek nabij Achelse Kluis	0,855	0,834
S08, Tongelreep-Warmbeek te Aalst	1,082	1,038
S03, Beekloop-Keersop te Westerhoven	0,426	0,405
T01, Beekloop-Keersop nabij Keersoppermolen	0,981	0,896
Run1-18, Run te Veldhoven	0,301	0,296

### 3.2.3 Lozingen

#### Huishoudelijk

Volgens gegevens van het waterschap De Dommel (geciteerd in Pieterse et al. 1998) wordt al het industriële afvalwater en 95% van het huishoudelijke afvalwater in het Nederlandse deel van het stroomgebied van de Dommel opwaarts Sint-Michielsgestel afgevoerd naar een RWZI.

Volgens gegevens van VMM (jaarrapport "Water- en waterbodempkwaliteit – Lozingen in het water - Evaluatie saneringsinfrastructuur" 2004, deelrapport Maasbekken, niet gepubliceerd) bedraagt de rioleringsgraad in het deelbekken van de Dommel 91% en de zuiveringsgraad 90% (in de toekomst te verhogen tot 95%). In het deelbekken van de Warmbeek bedraagt de rioleringsgraad momenteel 88% en de zuiveringsgraad 87% (in de toekomst te verhogen tot 93%).

Aangezien de rioleringsgraad en de zuiveringsgraad in het volledige studiegebied zeer hoog zijn, werden de resterende huishoudelijke lozingen niet afzonderlijk in de waterbalans opgenomen.

#### Industrieel

De belangrijkste industriële lozing in het studiegebied is deze van Umicore op de Eindergatloop te Overpelt. Volgens gegevens van VMM (jaarrapport "Water- en waterbodempkwaliteit – Lozingen in het water - Evaluatie saneringsinfrastructuur" 2004, deelrapport Maasbekken, niet gepubliceerd) neemt het geloosde volume momenteel ieder jaar af. In 2003 bedroeg het nog gemiddeld 2433 m<sup>3</sup>/dag en in 2004 was dit reeds gedaald tot 2053 m<sup>3</sup>/dag. Voor 2005 waren nog geen cijfers beschikbaar.

#### RWZI's

Het afvalwater van het Nederlandse deel van het studiegebied wordt via transportleidingen afgevoerd naar de RWZI van Eindhoven. Het effluent van deze RWZI wordt geloosd in de Dommel, afwaarts van het studiegebied en werd dan ook niet verder bestudeerd. Het afvalwater van het Vlaamse gedeelte van het studiegebied wordt via collectoren afgevoerd naar een vijftal verspreid gelegen RWZI's. Het effluent van deze RWZI's wordt geloosd in de Dommel, de Warmbeek of een van hun zijlopen. Voor een situering van de RWZI's en de transportleidingen of collectoren wordt verwezen naar Kaart 2,

De effluentvolumes van de Vlaamse RWZI's werden ter beschikking gesteld door Aquafin (persoonlijke mededeling). Voor elke RWZI werd het gemiddelde en het minimale dagvolume voor de voorbije 5 jaar aangeleverd. Het gemiddelde dagvolume omvat bijdragen van zowel afvalwater als regenwater. Het minimale dagvolume kan beschouwd worden als een indicatie voor het aandeel afvalwater. Hierbij dient opgemerkt dat de meeste RWZI's in het studiegebied te kampen hebben met een sterk verdund influent ten gevolge van de aansluiting van oppervlaktewater op het rioleringsstelsel. Ook het minimale dagvolume bevat dus mogelijk nog een bijdrage van oppervlaktewater. De jaarlijkse variatie is het gevolg van verschillen in neerslag, maar ook van aanpassingen aan het rioleringsstelsel (Eksel, Overpelt) of de renovatie van de RWZI (Overpelt, Lommel).

Op basis van de beschikbare gegevens werd het gemiddelde en het minimale effluentvolume van elke RWZI geraamd. Voor de meeste waarden werd het gemiddelde van de voorbij 5 jaren gebruikt. Duidelijk afwijkende waarden en waarden afkomstig uit perioden voor belangrijke ingrepen werden hierbij buiten beschouwing gelaten. De resultaten worden samengevat in Tabel 7. Het aantal IE (inwoner equivalent) verwijst naar de ontwerpcapaciteit van de RWZI en kan verschillen van het werkelijk gezuiverde aantal IE.

Tabel 7: Gemiddeld effluentvolume Vlaamse RWZI's (bron: Aquafin)

RWZI	IE	Gemiddeld debiet (m <sup>3</sup> /s)	Minimum debiet (m <sup>3</sup> /s)
Lommel	29700	0,171	0,088
Overpelt	17100	0,098	0,028
Eksel	9900	0,078	0,026
Peer	9450	0,062	0,022
Achel	12600	0,091	0,028

### 3.2.4 Kanaalwater

#### Watervangen

Langsheen het kanaal van Bocholt naar Herentals bevinden zich een aantal constructies, "watervangen" genaamd, die toelaten een deel van het kanaalwater af te tappen voor bevoeiing van nabijgelegen percelen. Voor de ligging van deze watervangen wordt verwezen naar Kaart 3. De nummering verloopt van oost (18) naar west (29). Figuur 4 toont één van deze watervangen.



Figuur 4: Watervang op het kanaal Bocholt-Herentals (nr 29, kanaalzijde)

Het afgetapte debiet kan geregeld worden door het aanpassen van de doorlaatopening door middel van een regelbare schuif. In het verleden gebeurde de regeling door de dijkwachters van het kanaal. Momenteel gebeurt ze door de gebruikers zelf, in functie van de waterbehoefte. De beheerder van het kanaal (NV De Scheepvaart) beschikt dan ook niet langer over gegevens met betrekking tot de onttrokken volumes of de tijdstippen waarop deze onttrekkingen gebeuren.

In het kader van de inventarisatie voor de opmaak van zoetwaterstrategieën voor het systeem van het Albertkanaal en de Kempense kanalen voerde het Waterbouwkundig Laboratorium een beperkte meetcampagne uit, waarbij voor elke watervang het maximale debiet bij volledige opening opgemeten werd. Voor een aantal watervangen werd ook het normale debiet gemeten. De resultaten worden getoond in Tabel 8.

Tabel 8: Capaciteit watervangen (bron: Waterbouwkundig Laboratorium)

Nummer watervang	Maximaal debiet (m <sup>3</sup> /s)	Normaal debiet (m <sup>3</sup> /s)
18	0,010	-
19	0,166	-
19b	0,200	-
20	0,105	-
21	0,135	-
22	0,037	-
26	0,204	0,167
27	0,154	0,133
29	0,150	0,100

Een deel van het afgetapte kanaalwater zal infiltreren of verdampen, terwijl een ander deel via een netwerk van grachten in de Dommel, de Tongelreep-Warmbeek of Beekloop-Keersop terecht komt. Om de toevoer naar de waterlopen te kunnen inschatten, werd telefonisch contact opgenomen met de beheerder van het kanaal en de bedieners van de watervangen:

- Watervang 18 wordt gebruikt voor de bevoeiing van het plantgoed van een groenbedrijf. Omwille van de zeer beperkte capaciteit van de watervang wordt de toevoer naar de Warmbeek verwaarloosbaar geacht.
- Watervang 19 wordt gebruikt voor de irrigatie van populieren (enkele maanden per jaar) en het op peil houden van enkele vijvers. Volgens de bediener van de watervang zou er zeer weinig water naar de Warmbeek afgevoerd worden.
- Watervang 19b wordt gebruikt voor de voeding van een visvijver. Gedurende een tweetal weken per jaar wordt er extra water afgetapt voor het bevoeien van enkele percelen die deel uitmaken van het natuurgebied Warmbeekvallei. Volgens de bediener van de watervang staat de watervang altijd open (4 cm in de winter en 8 cm in de zomer) en komt een deel van het afgetapte water (“ongeveer de helft”) via de overloop van de vijver in de Warmbeek terecht.
- Watervang 20 creëert een artificieel brondebiet voor het afwaartse deel van de Prinsenloop, waarvan de bovenloop ten zuiden van het kanaal omgeleid werd. De watervang staat altijd open en het volledige debiet komt via de Prinsenloop in de Warmbeek terecht.
- Watervang 21 wordt niet meer gebruikt en staat reeds geruime tijd permanent dicht.
- Watervang 22 wordt gebruikt voor het op peil houden van enkele visvijvers. De bediener kon niet gecontacteerd worden, maar omwille van de beperkte capaciteit van de watervang wordt de toevoer naar de Dommel verwaarloosbaar geacht.
- Watervang 26 wordt gebruikt voor de watervoorziening van het natuurgebied “Hageven”: irrigatie van ruig grasland en op peil houden van vijvers en rietvelden. Het overtollige water wordt via de overloop van de vijvers afgevoerd naar de Dommel (provincievijver) of een gracht parallel aan de Dommel (gemeentevijver). De afvoer is afhankelijk van het seizoen, maar de grootte is niet bekend.
- Watervang 27 wordt gebruikt voor de watervoorziening van het natuurgebied “De Plateaux”: irrigatie van de vloeiveiden “Pelterheggen” en op peil houden van het klotven. Het overtollige water gaat via een overloop naar de aanpalende landbouwgebieden, waar het bijdraagt tot het waterpeilbeheer maar niet gebruikt wordt voor irrigatie. De toevoer vanuit het kanaal bedraagt ongeveer 150 l/s en de afvoer naar de landbouwgebieden 25-45 l/s.
- Watervang 29 wordt gebruikt voor de irrigatie van de vloeiveiden en de populieren in de Watering van Lommel en de Koloniewatering. De watervang staat permanent open, maar de irrigatie gebeurt slechts enkele malen per jaar. Het ongebruikte water wordt doorgevoerd naar Nederland en komt in de Keunensloop en de Beekloop terecht. In Nederland wordt het kanaalwater aangewend voor het op peil houden van de waterpartijen in de natuurgebieden “Liskes” en “Pastoorsweijer” en voor de irrigatie van een aantal landbouwpercelen ten zuiden van Westerhoven. Het restdebiet komt via de Beekloop in de Keersop terecht.

Op basis van de verzamelde informatie, werd voor elk van de watervangen een schatting gemaakt van het debiet dat via deze watervangen naar de waterlopen afgevoerd wordt.

Tabel 9: Toevoer kanaalwater via watervangen

Nummer watervang	Waterloop	Debiet (m <sup>3</sup> /s)
18	Warmbeek	0,000
19	Warmbeek	0,000
19b	Warmbeek	0,050
20	Warmbeek	0,075
21	Warmbeek	0,000
22	Dommel	0,000
26	Dommel	0,050
27	Dommel	0,000
29	Beekloop-Keersop	0,100

Overlaten



Figuur 5: Overlaat van het kanaal Bocholt-Herentals naar de Warmbeek



*Figuur 6: Lekdebiet van het kanaal Bocholt-Herentals naar de Dommel*

Ter hoogte van de duikers van de Dommel en de Warmbeek onder het kanaal van Bocholt naar Herentals (zie Kaart 3) bevinden zich overlaten vanuit het kanaal naar de Dommel en de Warmbeek. Deze overlaten zijn afgesloten met een dubbele rij schotbalken, maar er treedt een niet verwaarloosbare lekkage op. Figuur 5 en Figuur 6 tonen een overlaat en het bijhorende lekdebiet.

Over de grootte van het lekdebiet zijn geen gegevens beschikbaar. Door visuele vergelijking met het debiet aan de landzijde van de watervangen, werd het lekdebiet ruwweg begroot op ongeveer 50 l/s voor zowel Dommel als Warmbeek.

### 3.2.5 Grondwater

De beschikbare gegevens laten wel toe vermoedelijke kwel- en infiltratiezones af te bakenen, maar volstaan niet om de grondwaterfluxen te kwantificeren.

## 3.3 Waterbalans

### 3.3.1 Balanstype

Er kunnen twee types waterbalansen onderscheiden worden:

- waterbalans voor het stroomgebied
- waterbalans voor de waterloop

In het kader van een hydrologische studie wordt meestal een waterbalans voor het stroomgebied opgesteld. In een dergelijke balans worden de waterstromen in het volledige stroomgebied in kaart gebracht, met inbegrip van deze die buiten de waterloop plaatsvinden. Frequent gebruikte componenten zijn neerslag, evapotranspiratie, oppervlakkige afvoer, kwel/infiltratie en berging. Voorbeelden van dergelijke balansen worden gegeven in Tabel 2, Tabel 3 en Tabel 4.

Voor sommige doeleinden is het nuttiger om een waterbalans voor de waterloop zelf op te stellen. In een balans van dit type worden enkel de interacties tussen de waterloop en zijn directe omgeving in rekening gebracht en wordt de totale afvoer over meerdere componenten verdeeld op basis van afvoermechanisme (snelle of trage afvoer), of herkomst (oppervlaktewater, grondwater of afvalwater). Een voorbeeld van een dergelijke balans wordt gegeven in Tabel 5.

Voor de huidige studie werd geopteerd voor een balans van het tweede type. Dit type sluit immers het best aan op de behoeften van de later op te stellen stoffenbalans.

### 3.3.2 Subsystemen

De waterbalans werd opgebouwd op basis van de meetreeksen vermeld in Figuur 3. Voor elk meetpunt werd de toevoerende oppervlakte bepaald. Dit gebeurde door de 3 beeksystemen verder onder te verdelen op basis van de locatie van de debietmeetpunten, de hydrografie en de topografie. De subsystemen zijn weergegeven op kaart 4. De toevoerende oppervlakte (zowel incrementeel als cumulatief) wordt samengevat in Tabel 10 en het landgebruik in Tabel 11.

Tabel 10: Oppervlakte subsystemen

Station	Toevoerende opp. incrementeel (km <sup>2</sup> )	Toevoerende opp. cumulatief (km <sup>2</sup> )
022, Dommel te Overpelt	107	107
P01, Dommel te Borkel-Schaft	45	152
S07, Dommel te Eindhoven	37	322
024, Warmbeek te Achel	68	68
P03, Tongelreep-Warmbeek nabij Achelse Kluis	15	83
S08, Tongelreep-Warmbeek te Aalst	47	130
S03, Beekloop-Keersop te Westerhoven	45	45
T01, Beekloop-Keersop nabij Keersoppermolen	43	88
Run1-18, Run te Veldhoven	45	45

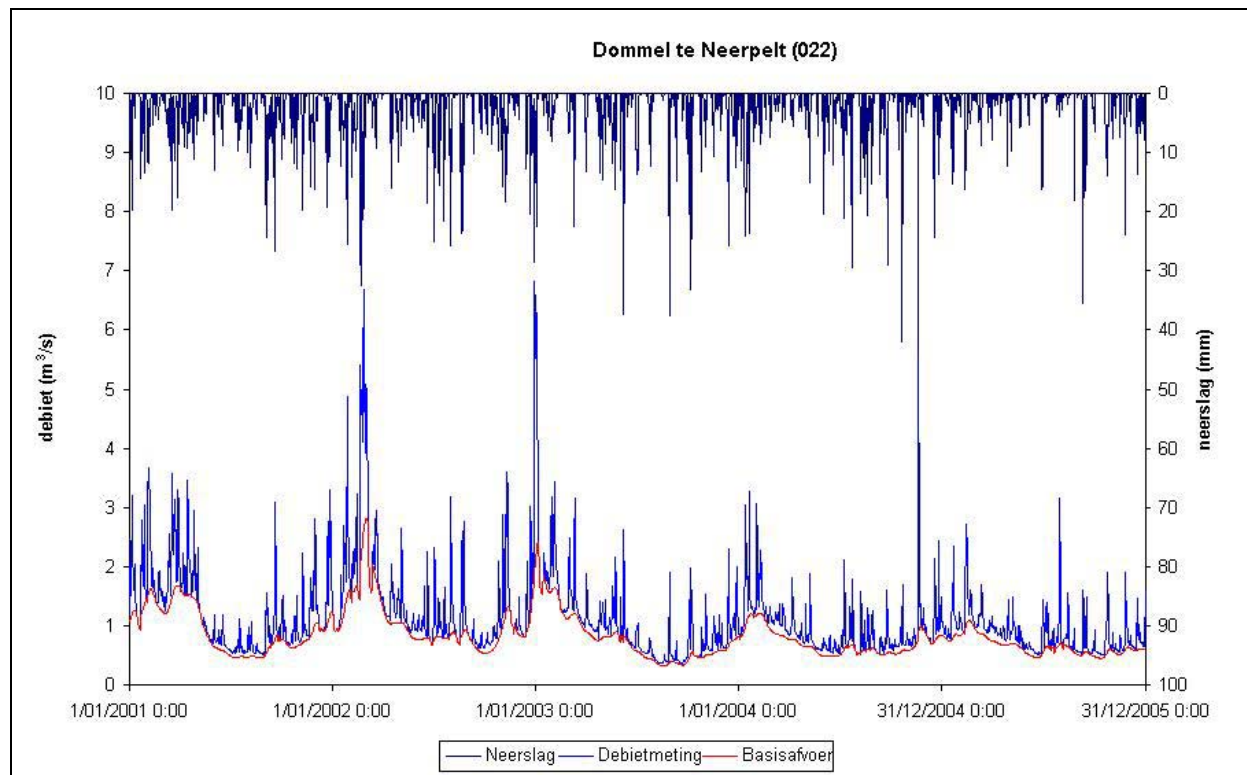
Tabel 11: Landgebruik subsystemen

Gebruik	022 (%)	P01 (%)	S07 (%)	024 (%)	P03 (%)	S08 (%)	S03 (%)	T01 (%)	Run (%)
Wegen	0,5	1,0	2,2	0,2	0,4	2,1	0,8	0,2	0,9
Bebouwing	13,9	25,2	18,2	12,0	10,2	12,8	7,5	14,5	10,7
Akkerbouw	34,0	29,2	21,0	34,8	31,7	9,7	38,3	30,5	31,2
Weiland	28,1	19,6	28,7	25,8	23,0	12,1	23,2	33,2	27,8
Boomgaard	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
Naaldbos	14,2	13,7	20,0	14,1	21,4	42,9	20,5	16,0	23,3
Loofbos	6,6	4,4	4,9	7,3	9,5	5,0	5,6	2,0	4,1
Gemengd bos	1,2	0,3	0,0	4,4	2,4	0,1	0,0	0,0	0,0
Heide	0,9	3,3	1,7	0,8	0,9	5,4	0,6	0,9	0,0
Natuur	0,0	0,6	1,3	0,0	0,3	5,1	0,7	1,9	1,2
Braak	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1
Water	0,5	2,7	1,9	0,4	0,0	4,7	2,6	0,8	0,7



### 3.3.3 Werkwijze

De waterbalansen werden opgesteld aan de hand van de informatie besproken in § 3.2, De berekening vertrekt van de gemeten totaaldebieten, die geleidelijk opgesplitst worden in deelcomponenten.



Figuur 7: Splitsing in deelstromen

In een eerste stap werd de totale afvoer gesplitst in een snelle component (runoff) en een trage component (basisafvoer). Hiervoor werden de dagdebietreeksen geanalyseerd met een filter (Nathan en McMahon, 1990). Deze filter laat toe een vooraf bepaalde fractie van de totale afvoer af te splitsen en te visualiseren. Na visuele controle kan de geselecteerde fractie dan verhoogd of verlaagd worden tot een realistisch seizoenaal verloop van de basisafvoer verkregen wordt. Na enkele iteraties kan de basisafvoer tot op 5 à 10 % nauwkeurig bepaald worden. Het resultaat van een dergelijke splitsing wordt getoond in Figuur 7.

In een tweede stap werd de basisafvoer verminderd met industriële lozingen, droogweerafvoer van RWZI's en instroom via watervangen of overlaten. De resterende basisafvoer kan dan beschouwd worden als het saldo van kwel en infiltratie.

Om de interpretatie te vergemakkelijken werden de balansen opgesteld aan de hand van jaargemiddelde debieten in plaats van jaarvolumes. Om een vergelijking met andere balansen uit de literatuur mogelijk te maken werden de waarden eveneens omgerekend naar mm en %. Op basis van de oppervlakte van elk subsysteem en de jaargemiddelde neerslag over de periode 1971-2005 (835 mm) werd ter controle ook nog een benaderende runoff coëfficiënt berekend.

### 3.3.4 Tongelreep-Warmbeek

De waterbalans voor de Tongelreep-Warmbeek wordt weergegeven in Tabel 12 (m<sup>3</sup>/s) en Tabel 13 (mm) en Tabel 14 (%). De kolommen geven de verschillende componenten weer en de rijen vertegenwoordigen de incrementele bijdrage van het subsysteem gelegen tussen twee opeenvolgende meetstations. De laatste rij geeft de gemiddelde waarden voor het volledige beekstelsel weer.

Tabel 12: Waterbalans Tongelreep-Warmbeek (m<sup>3</sup>/s)

Subsysteem	Totale Afvoer (m <sup>3</sup> /s)	Runoff (m <sup>3</sup> /s)	Basis-afvoer (m <sup>3</sup> /s)	Lozing industrie (m <sup>3</sup> /s)	Effluent RWZI (m <sup>3</sup> /s)	Instroom kanaal (m <sup>3</sup> /s)	Kwel-infiltratie (m <sup>3</sup> /s)
024	0,610	0,183	0,427	0,000	0,000	0,100	0,327
P03	0,224	0,067	0,157	0,000	0,028	0,075	0,054
S08	0,204	0,061	0,143	0,000	0,000	0,000	0,143
Totaal	1,038	0,311	0,727	0,000	0,028	0,175	0,524

Tabel 13: Waterbalans Tongelreep-Warmbeek (mm)

Subsysteem	Totale Afvoer (mm)	Runoff (mm)	Basis-afvoer (mm)	Lozing industrie (mm)	Effluent RWZI (mm)	Instroom kanaal (mm)	Kwel-infiltratie (mm)
024	283	85	198	0	0	46	152
P03	471	141	330	0	59	158	113
S08	137	41	96	0	0	0	96
Totaal	252	76	176	0	7	42	127

Tabel 14: Waterbalans Tongelreep-Warmbeek (%)

Subsysteem	Totale Afvoer (%)	Runoff (%)	Basis-afvoer (%)	Lozing industrie (%)	Effluent RWZI (%)	Instroom kanaal (%)	Kwel-infiltratie (%)
024	100	30	70	0	0	16	54
P03	100	30	70	0	13	33	24
S08	100	30	70	0	0	0	70
Totaal	100	30	70	0	3	17	50

De runoff coëfficiënten voor de deelsystemen 024, P03 en S08 bedragen respectievelijk 10, 17 en 5%. De gemiddelde runoff coëfficiënt voor het volledige systeem bedraagt 9 %. Deze waarden stemmen goed overeen met de literatuurwaarden. De hoge coëfficiënt voor het subsysteem P03 valt te verklaren door het feit dat een deel van het regenwater afkomstig van de verharde oppervlakken opwaarts limnigraaf 024 via de afvalwatercollectoren en de RWZI van Achel afwaarts van limnigraaf 024 en net opwaarts van limnigraaf P03 geloosd wordt. De lage coëfficiënt voor subsysteem S08 is waarschijnlijk het gevolg van het grote aandeel bos in het landgebruik.

De resultaten blijken zeer gevoelig te zijn aan de basisafvoerfractie die gebruikt werd voor het splitsen van de totale afvoer in runoff en basisafvoer. Deze splitsing vertoont een foutenmarge van ongeveer 5 à 10 %, maar wijzigingen van slechts enkele % blijken reeds belangrijke verschuivingen in de berekende deelstromen teweeg te kunnen brengen.

### 3.3.5 Beekloop-Keersop

De waterbalans voor de Beekloop-Keersop wordt weergegeven in Tabel 15 (m<sup>3</sup>/s), Tabel 16 (mm) en Tabel 17 (%). De kolommen geven de verschillende componenten weer en de rijen vertegenwoordigen de incrementele bijdrage van het subsysteem gelegen tussen twee opeenvolgende meetstations. De laatste rij geeft de gemiddelde waarden voor het volledige beekstelsel weer.

Tabel 15: Waterbalans Beekloop-Keersop (m<sup>3</sup>/s)

Subsysteem	Totale Afvoer (m <sup>3</sup> /s)	Runoff (m <sup>3</sup> /s)	Basis-afvoer (m <sup>3</sup> /s)	Lozing industrie (m <sup>3</sup> /s)	Effluent RWZI (m <sup>3</sup> /s)	Instroom kanaal (m <sup>3</sup> /s)	Kwel-infiltratie (m <sup>3</sup> /s)
S03	0,405	0,122	0,284	0,000	0,000	0,000	0,284
T01	0,491	0,103	0,389	0,000	0,000	0,100	0,289
Totaal	0,896	0,224	0,672	0,000	0,000	0,100	0,572

Tabel 16: Waterbalans Beekloop-Keersop (mm)

Subsysteem	Totale Afvoer (mm)	Runoff (mm)	Basis-afvoer (mm)	Lozing industrie (mm)	Effluent RWZI (mm)	Instroom kanaal (mm)	Kwel-infiltratie (mm)
S03	284	85	199	0	0	0	199
T01	360	75	285	0	0	73	212
Totaal	321	80	241	0	0	36	205

Tabel 17: Waterbalans Beekloop-Keersop (%)

Subsysteem	Totale Afvoer (%)	Runoff (%)	Basis-afvoer (%)	Lozing industrie (%)	Effluent RWZI (%)	Instroom kanaal (%)	Kwel-infiltratie (%)
S03	100	30	70	0	0	0	70
T01	100	21	79	0	0	20	59
Totaal	100	25	75	0	0	11	64

De runoff coëfficiënten voor de deelsystemen S03 en T01 bedragen respectievelijk 10 en 9%. De gemiddelde runoff coëfficiënt voor het volledige systeem bedraagt 10 %. Deze waarden stemmen goed overeen met de literatuurwaarden.

### 3.3.6 Dommel

De waterbalans voor de Dommel wordt weergegeven in

Tabel 18 (m<sup>3</sup>/s), Tabel 19 (mm) en Tabel 20 (%). De kolommen geven de verschillende componenten weer en de rijen vertegenwoordigen de incrementele bijdrage van het subsysteem gelegen tussen twee opeenvolgende meetstations. Er werden twee totalen berekend: het eerste omvat enkel de Dommel en de Run en het tweede de Dommel, de Run en de Beekloop-Keersop (het debiet ter hoogte van de Klotputten).

Tabel 18: Waterbalans Dommel (m<sup>3</sup>/s)

Subsysteem	Totale Afvoer (m <sup>3</sup> /s)	Runoff (m <sup>3</sup> /s)	Basis-afvoer (m <sup>3</sup> /s)	Lozing industrie (m <sup>3</sup> /s)	Effluent RWZI (m <sup>3</sup> /s)	Instroom kanaal (m <sup>3</sup> /s)	Kwel-infiltratie (m <sup>3</sup> /s)
022	0,987	0,247	0,740	0,000	0,238	0,000	0,502
P01	0,785	0,196	0,589	0,024	0,171	0,100	0,294
S07	0,377	0,079	0,298	0,000	0,000	0,000	0,298
Run1-18	0,296	0,089	0,207	0,000	0,000	0,000	0,207
Totaal (excl. BK)	2,445	0,611	1,834	0,024	0,409	0,100	1,301
Totaal (incl. BK)	2,936	0,714	2,222	0,024	0,409	0,200	1,589

Tabel 19: Waterbalans Dommel (mm)

Subsysteem	Totale Afvoer (mm)	Runoff (mm)	Basis-afvoer (mm)	Lozing industrie (mm)	Effluent RWZI (mm)	Instroom kanaal (mm)	Kwel-infiltratie (mm)
022	291	73	218	0	70	0	148
P01	550	138	413	17	120	70	206
S07	321	68	254	0	0	0	254
Run1-18	207	62	145	0	0	0	145
Totaal	330	82	247	3	55	13	176
Totaal	334	81	253	3	47	23	180

Tabel 20: Waterbalans Dommel (%)

Subsysteem	Totale Afvoer (%)	Runoff (%)	Basis-afvoer (%)	Lozing industrie (%)	Effluent RWZI (%)	Instroom kanaal (%)	Kwel-infiltratie (%)
022	100	25	75	0	24	0	51
P01	100	25	75	3	22	13	37
S07	100	21	79	0	0	0	79
Run1-18	100	30	70	0	0	0	70
Totaal	100	25	75	1	17	4	53
Totaal	100	24	76	1	14	7	54

De runoff coëfficiënten voor de deelsystemen 022, P01, S07 en Run1-18 bedragen respectievelijk 9 %, 16 %, 8 % en 9%. De gemiddelde runoff coëfficiënt voor het volledige systeem bedraagt 10 % (met en zonder Beekloop-Keersop). Deze waarden stemmen goed overeen met de literatuurwaarden. De hoge coëfficiënt voor het subsysteem P01 valt te verklaren door het feit dat een deel van het regenwater afkomstig van de verharde oppervlakken in de omgeving van Lommel via de afvalwatercollectoren en de RWZI van Lommel opwaarts van limnigraaf P01 geloosd wordt.



## 4 Waterkwantiteitsmodel

Dit hoofdstuk beschrijft de waterkwantiteitsmodellering van het studiegebied. De waterkwantiteitsmodellering geeft inzicht in het gedrag van het watersysteem en de stroomsnelheden in de watergangen. Het behandelt achtereenvolgens de algemene werkwijze, de opbouw van het model en de analyse van de modelresultaten.

### 4.1 Werkwijze

#### 4.1.1 Beschikbare modellen

In het kader van eerdere studies werden meerdere numerieke modellen van (delen van) de waterlopen in het studiegebied opgesteld:

- Boven-Dommel van de grens België-Nederland tot Eindhoven (Grontmij, 2002)
- Tongelreep van de grens België-Nederland tot Eindhoven (Oranjewoud, 2005)
- Keersop van de monding van de Beekloop tot de monding in de Dommel (onbekend)
- Hoofdwatergangen: Dommel, Tongelreep-Warmbeek en delen van Beekloop-Keersop en Run (DHV, 2005)
- Dommel van Kleine Brogel tot aan de grens België-Nederland (IMDC, 2005)
- Warmbeek van Grote Brogel tot aan de grens België-Nederland (Haskoning, 2006)

De Nederlandse modellen zijn opgesteld met het softwarepakket "Sobek" en werden allen ter beschikking gesteld door het waterschap De Dommel.

De Vlaamse modellen zijn opgesteld met het softwarepakket "InfoWorks-RS". De modellen werden niet ter beschikking gesteld, maar de topografische gegevens die gebruikt werden om de modellen op te bouwen wel.

#### 4.1.2 Software

Aangezien alle beschikbare modellen opgebouwd werden met het softwarepakket Sobek, werd voor de huidige studie eveneens gebruik gemaakt van Sobek (versie 2.09.003).

#### 4.1.3 Opbouw

Ten behoeve van deze studie werd een nieuw Sobek model opgebouwd, uitgaande van een deel van het bestaande model van de Nederlandse hoofdwatergangen (DHV, 2005). Het netwerk van waterlopen werd uitgebreid met de delen op Vlaams grondgebied, de kunstwerken werden aangepast en aangevuld en de randvoorwaarden werden vervangen. Om zowel gemiddelde als maatgevende afvoeren te kunnen modelleren, werden meerdere modelversies opgebouwd. De modelopbouw wordt in meer detail beschreven in hoofdstuk 4.2.

#### 4.1.4 Analyse

Het waterkwantiteitsmodel werd gebruikt om de waterpeilen en stroomsnelheden in de waterlopen te berekenen. Op basis van de berekende stroomsnelheden kan reeds een eerste indicatie met betrekking tot het vermoedelijke sedimenttransport in het studiegebied bekomen worden. De analyse van de modelresultaten wordt besproken in hoofdstuk 4.3.

## 4.2 Opbouw

### 4.2.1 Waterlopen

De ligging van de waterlopen in Nederland werd overgenomen uit het bestaande model van de hoofdwatgangen. De ligging van de waterlopen in Vlaanderen werd bepaald door de (x,y)- coördinaten uit de topografische opmetingen te transformeren van het Belgische Lambert-72 stelsel naar het Nederlandse Rijksdriehoeksstelsel.

Het uitgebreide model omvat de Dommel van Kleine Brogel tot aan de RWZI van Eindhoven, de Tongelreep-Warmbeek van Grote Brogel tot aan de monding in de Dommel, de Beekloop-Keersop van Bergeijk tot aan de monding in de Dommel, de afwaartse delen van de Beekloop en de Run en het opwaartse deel van het Beatrixkanaal (tot aan de monding van de Gender). De ligging van de gemodelleerde waterlopen wordt weergegeven op Figuur 8.

De dwarsprofielen van de Nederlandse waterlopen werden ongewijzigd behouden. Twee vermoedelijk foutieve dwarsprofielen werden hersteld op basis van topografische gegevens van het waterschap De Dommel (Husky-lijsten).

De dwarsprofielen van de Vlaamse waterlopen waren in twee versies beschikbaar: met en zonder “slib”- laag. Voor de modelopbouw werd gebruik gemaakt van de versie met sliblaag. Op plaatsen waar dijken of oeverwallen aanwezig zijn, werden de uiteinden van de gemeten dwarsprofielen weggeknipt ter hoogte van de kruin van de dijk of oeverwal. De z-coördinaten werden getransformeerd van TAW naar NAP.

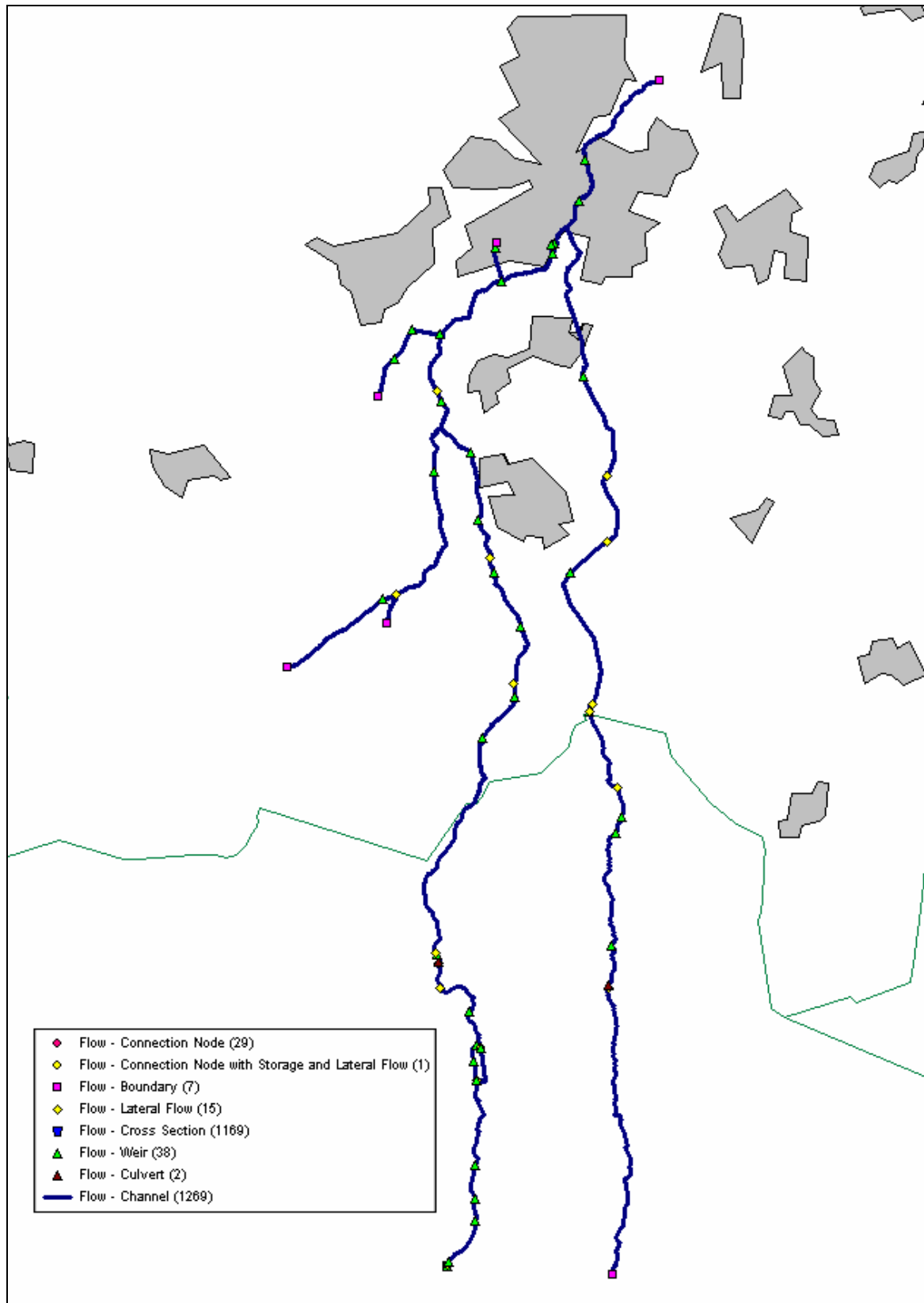
Om de werking van het wachtbekken Heesakker, net opwaarts van Overpelt, in rekening te kunnen brengen, werd ook de Oude Dommel aan het model toegevoegd. Aangezien deze zijarm niet topografisch opgemeten werd, werden de bodempelen en dwarsprofielen ruw geschat.

In de beschikbare versie van het Nederlandse hoofdwatgangenmodel was de ruwheid van de waterlopen gedefinieerd aan de hand van een zeer lage equivalente zandkorrel diameter (Nikuradse) van slechts 3 mm. Literatuurwaarden variëren echter van 60 tot 600 mm en de default-waarde van Sobek bedraagt 200 mm. In de andere Nederlandse modellen werd de ruwheid bepaald door middel van een hoogte-afhankelijke coëfficiënt van Chézy. Deze formulering is echter niet van toepassing op de samengestelde dwarsprofielen uit het hoofdwatgangenmodel, die bestaan uit de waterloop en de aanpalende overstromingsvlakte. In de Vlaamse modellen werd gebruik gemaakt van de coëfficiënt van Manning. Voor de Dommel varieerde deze van 0,04 (afwaarts) tot 0,045 (opwaarts). Voor de Warmbeek werden waarden tussen 0,04 en 0,055 gebruikt, naargelang de situatie (bodem/oever, zomer/winter). Aangezien de ruwheid van een waterloop meestal geleidelijk afneemt van opwaarts naar afwaarts, bedraagt de Manning-coëfficiënt voor de Nederlandse delen van Dommel en Tongelreep-Warmbeek vermoedelijk minder dan 0,04. Bij gebrek aan gedetailleerde informatie met betrekking tot het precieze verloop van de ruwheid, werd een gebiedsgemiddelde waarde van 0,04 toegepast op alle waterlopen.

### 4.2.2 Kunstwerken

In het Nederlandse hoofdwatgangenmodel werden alle kunstwerken weergegeven door middel van vaste drempels (“weir”), ongeacht de werkelijke configuratie (bijv. regelbare stuw, molen met hefschuiven, kanogoot, vistrap). Het model werd bovendien opgebouwd met het oog op hoogwateranalyses. Daarbij werd uitgegaan van de veronderstelling dat tijdens extreme hoogwaterafvoergolven alle kunstwerken op het laagst mogelijke peil ingesteld staan. In de loop van de huidige studie werd de verregaande schematisatie van de soms zeer ingewikkelde kunstwerken behouden, maar werden de drempelpelen aangepast in functie van de modelversie (zie verder). Hierbij werd gebruik gemaakt van de streefpeilen die door het waterschap De Dommel ter beschikking gesteld werden (uittreksels uit het stuwenboek). Van





Figuur 8: Grondplan gemodelleerde waterlopen

een aantal stuwen werd ook de breedte aangepast op basis van de informatie uit het stuwenboek. De meest afwaartse stuw op de Run (Rn1-18) was niet in het model aanwezig (reden onbekend) en werd er aan toegevoegd. De stuw op de Dommel te Eindhoven (DL1-11) werd inmiddels omgebouwd tot een vistrap. Deze werd op benaderende wijze in het model ingevoerd.

De stuwen en bodemvallen in Vlaanderen werden ingevoerd als drempels. De kenmerken van deze drempels werden afgeleid uit de beschikbare topografische opmetingen. Naar analogie met de Nederlandse watermolens, werden ook de Vlaamse watermolens op vereenvoudigde wijze (d.m.v. een drempel) ingevoerd. Ook de overloop rondom de Wedelse molen werd op vereenvoudigde wijze ingebracht. De duikers van Dommel en Warmbeek onder het kanaal van Bocholt naar Herentals werden als duikers ("culvert") aan het model toegevoegd.

De ligging van de kunstwerken wordt weergegeven op Figuur 8.

### 4.2.3 Overstromingsgebieden

In het Nederlandse hoofdwatgangenmodel werden de overstromingsgebieden in rekening gebracht door de dwarsprofielen van de waterlopen aan beide zijden uit te breiden met de hoogte van het maaiveld in het aanpalende valleigebied. Deze werkwijze is enkel correct indien de valleigebieden hoger gelegen zijn dan de oevers van de waterloop. Wanneer de valleigebieden laag gelegen zijn en van de waterloop gescheiden worden door dijken of oeverwallen, dan is een complexere aanpak nodig. De huidige schematisatie laat toe dat sommige valleigebieden watervoerend worden, nog voor de waterloop buiten zijn oevers treedt. Dit probleem lijkt zich slechts op een beperkt aantal plaatsen voor te doen. De beschikbare dwarsprofielen werden dan ook niet aangepast.

De dwarsprofielen van de Vlaamse waterlopen bevatten slechts een zeer kort gedeelte van de aanpalende valleigebieden, dat in een aantal gevallen terug weggeknipt werd (zie 4.2.1). Het Vlaamse deel van het model is dus enkel geschikt voor het modelleren van afvoeren met een beperkte terugkeerperiode waarbij geen overstromingen optreden. Het wachtbekken Heesakker werd aan het model toegevoegd als een bergingsknoop ("connection node with storage"). De hoogte-oppervlakte relatie werd overgenomen uit het rapport van de modelstudie van de Dommel (IMDC, 2005).

### 4.2.4 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden uit het hoofdwatgangenmodel werden verwijderd en vervangen door een nieuwe set.

De jaargemiddelde afvoer van elk subsysteem (zie kaart 13) werd geraamd door de jaargemiddelde afvoer van een bemeten zone (zie kaart 12) te verdelen over de subsystemen die tot die bemeten zone behoren. Deze verdeling gebeurde evenredig met de oppervlakte van de subsystemen. De resulterende debieten werden aan het model opgelegd als opwaartse ("boundary") of zijdelingse ("lateral flow") randvoorwaarde.

Het model bevat twee afwaartse randen waaraan een waterpeil opgelegd werd: de Dommel nabij de RWZI van Eindhoven en het Beatrixkanaal nabij de monding van de Gender. De jaargemiddelde waterpeilen op deze locaties werden overgenomen uit de frequentieoverzichten van het waterschap De Dommel.

De verschillende randvoorwaarden worden eveneens weergegeven op Figuur 8.

### 4.2.5 Modelversies

Er werden drie modelversies opgesteld: een voor gemiddelde afvoeren, een voor hoge maatgevende afvoeren en een voor lage zomerafvoeren

### Gemiddelde afvoer

De basisversie van het model geeft de jaargemiddelde situatie weer. De opwaartse randvoorwaarden zijn jaargemiddelde afvoeren en de afwaartse randvoorwaarden jaargemiddelde waterpeilen. De drempelpeilen van de regelbare kunstwerken werden bekomen door de jaargemiddelde streefpeilen te verminderen met een geschatte dikte van de overstortende laag bij jaargemiddelde afvoeren. Het drempelpeil van de stuw op het Beatrixkanaal werd bijgestuurd totdat de debietverdeling ter hoogte van het verdeelwerk Dommel/Beatrixkanaal overeenstemde met de jaargemiddelde afvoeren van Dommel en Beatrixkanaal (30% Dommel en 70% Beatrixkanaal).

### Hoogwater

De hoogwatersversie van het model is een benadering van de situatie bij maatgevende afvoeren. Er werden twee varianten opgesteld. Deze varianten verschillen van elkaar door de drempelpeilen van sommige kunstwerken.

De maatgevende afvoer van de Dommel opwaarts Eindhoven werd overgenomen uit de frequentieoverzichten van het waterschap De Dommel en stemt overeen met het debiet dat éénmaal per jaar waargenomen wordt. Vervolgens werd de verhouding tussen de maatgevende en de gemiddelde afvoer bepaald. Deze factor bedraagt bijna 5. De maatgevende afvoer van de verschillende subsystemen werd benaderd door de gemiddelde afvoer van elk subsysteem met deze factor te vermenigvuldigen. De waterpeilen aan de afwaartse modelranden werden overgenomen uit de frequentieoverzichten van het waterschap De Dommel (peilen die éénmaal per jaar waargenomen worden).

De drempelpeilen van de regelbare kunstwerken bij hoogwater zijn niet bekend. Indien een hoogwatergolf verwacht wordt, dan worden de drempelpeilen voorafgaandelijk verlaagd, maar wanneer de hoogwatergolf plotseling optreedt, is dit niet het geval en worden de streefpeilen overschreden. Dit blijkt ook uit de frequentieoverzichten van de peilschalen: de waterpeilen die éénmaal per jaar waargenomen worden opwaarts van kunstwerken liggen beduidend hoger dan het jaargemiddelde streefpeil. Omwille van deze onzekerheid werden twee modelvarianten gebouwd die de uiterste drempelpeilen moeten weergeven. De eerste variant gaat er vanuit dat enkel de automatisch gestuurde kunstwerken (verdeelwerk Dommel/Beatrixkanaal) en de kunstwerken nabij watermolens in bedrijf in beperkte mate verlaagd worden, zodat het streefpeil nabij deze kunstwerken niet overschreden wordt. Het verlaagde drempelpeil werd berekend door het jaargemiddelde streefpeil te verlagen met de geschatte dikte van de overstortende laag bij maatgevende afvoeren. De tweede variant gaat er vanuit dat alle regelbare kunstwerken voorafgaandelijk op hun minimale stand geplaatst werden. In beide varianten werd het drempelpeil van de stuw op het Beatrixkanaal bijgestuurd totdat de debietverdeling ter hoogte van het verdeelwerk Dommel/Beatrixkanaal overeenstemde met de maatgevende afvoeren van Dommel en Beatrixkanaal (20% Dommel en 80% Beatrixkanaal).

### Laagwater

De laagwatersversie van het model is bedoeld om de toestand bij zeer lage afvoeren op het einde van de zomer te evalueren.

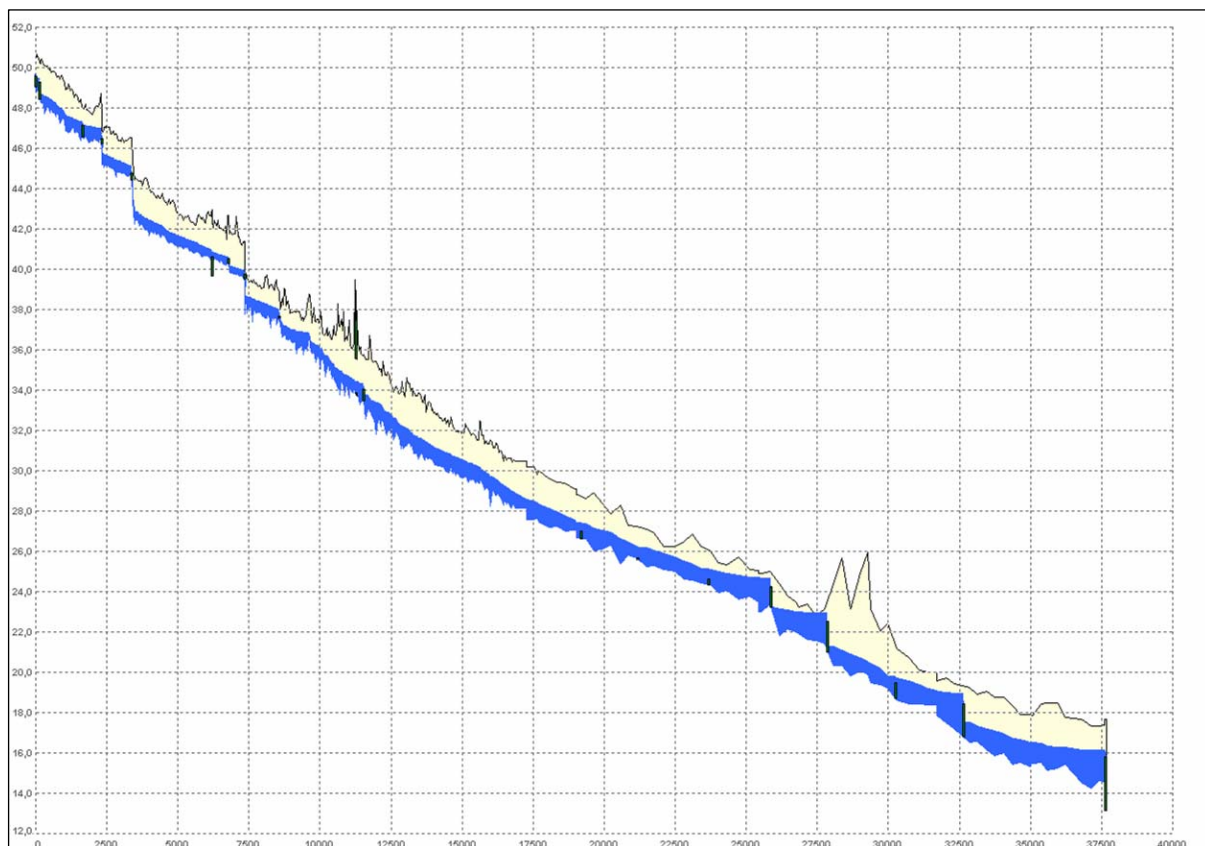
De laagwaterafvoer van de Dommel opwaarts Eindhoven werd visueel ingeschat op basis van de meetreeksen, die ter beschikking gesteld werden door het waterschap De Dommel. Vervolgens werd de verhouding tussen de zomerafvoer en de gemiddelde afvoer bepaald. Deze factor bedraagt ongeveer 0,3. De zomerafvoer van de verschillende subsystemen werd benaderd door de gemiddelde afvoer van elk subsysteem met deze factor te vermenigvuldigen. Aan de afwaartse modelranden werden de jaargemiddelde peilen opgelegd. Bij deze peilen is er een reeds een vrije uitstroming over de meest afwaartse stuwen, zodat een verdere verlaging geen invloed heeft op de waterlopen opwaartse van deze stuwen.

De drempelpeilen van de kunstwerken werden op het jaargemiddelde niveau behouden. Door de vermindering van het debiet en de dikte van de overstortende laag liggen de waterpeilen opwaarts van de kunstwerken dan iets lager dan de jaargemiddelde streefpeilen. Aangezien voor vele kunstwerken de zomerstreefpeilen lager liggen dan de jaargemiddelde streefpeilen, is deze situatie toch vrij realistisch. De debietverdeling tussen Dommel en Beatrixkanaal bij zomerafvoeren is niet precies gekend. Het drempelpeil van de stuw op het Beatrixkanaal werd bijgestuurd totdat de debieten in beide afvoerwegen ongeveer gelijk waren (50% Dommel en 50% Beatrixkanaal).

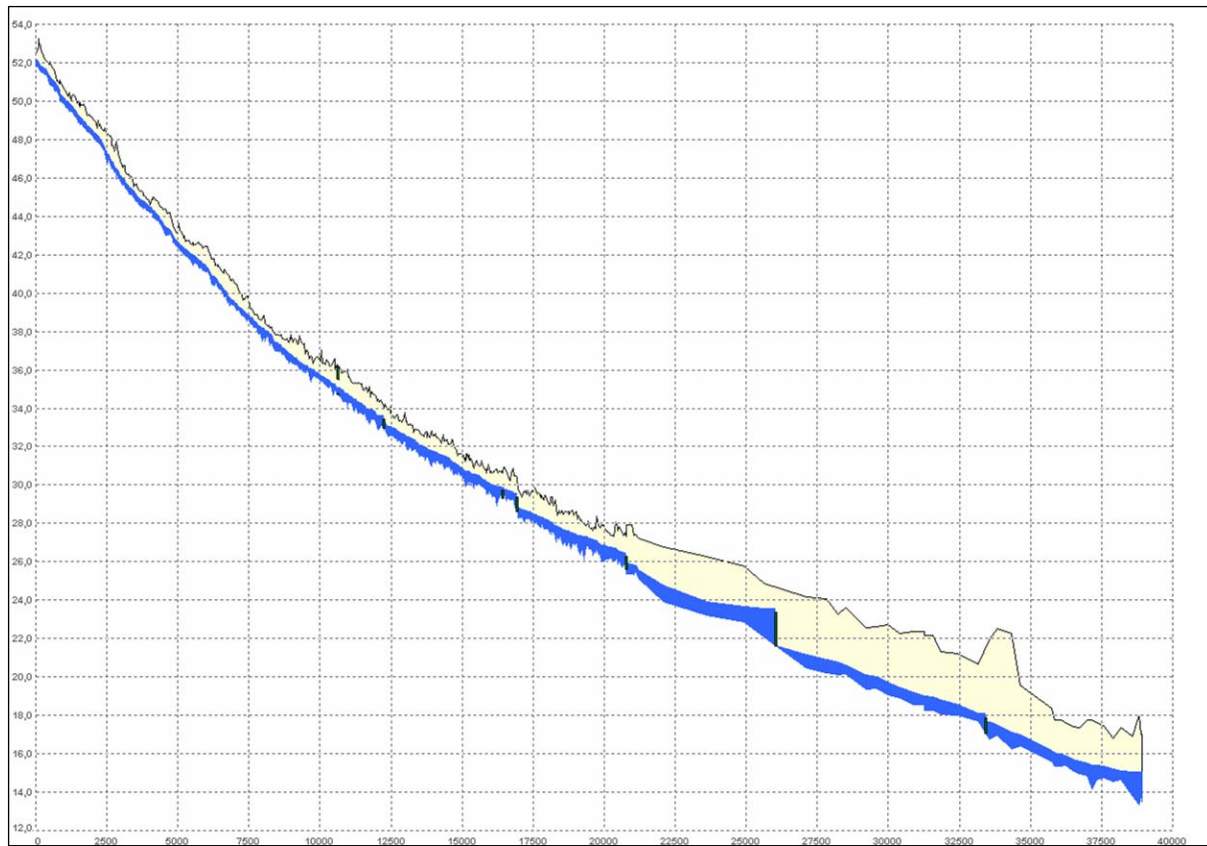
## 4.3 Analyse

### 4.3.1 Waterstanden

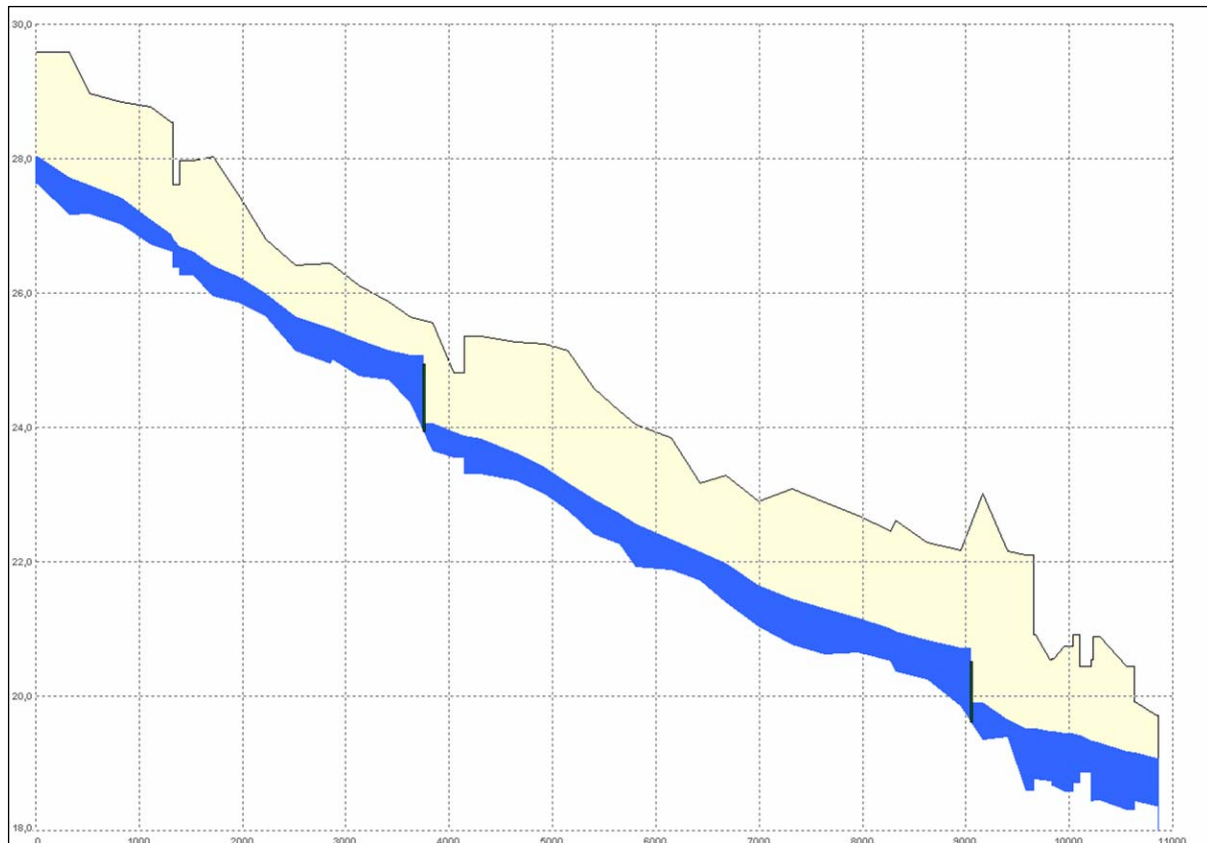
De berekende waterstanden bij jaargemiddelde afvoeren voor Dommel, Tongelreep-Warmbeek en Beekloop-Keersop worden getoond op de lengteprofielen in Figuur 9 tot en met Figuur 11. Uit deze figuren blijkt duidelijk dat bodemvallen, stuwen en molens een belangrijke invloed hebben op het verloop van het waterpeil langsheen deze waterlopen.



*Figuur 9: Lengteprofiel Dommel (van Kleine Brogel tot verdeelwerk Eindhoven)*



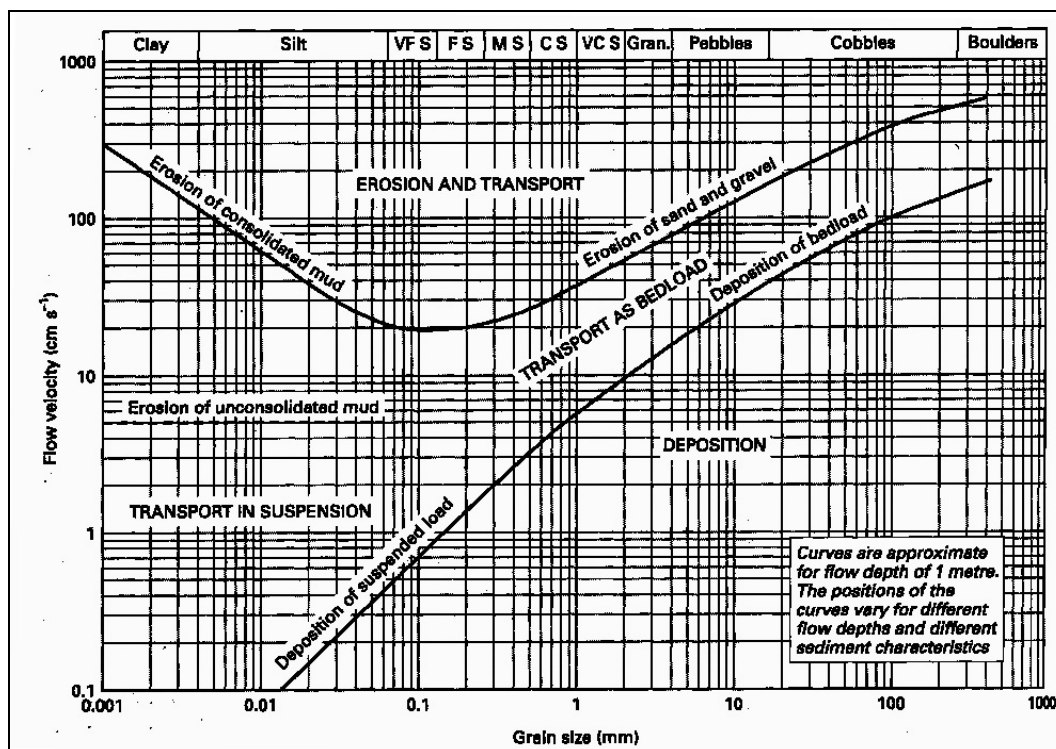
Figuur 10: Lengteprofiel Tongelreep-Warmbeek (van Grote Brogel tot monding in Dommel)



Figuur 11: Lengteprofiel Beekloop-Keersop (van Bergeijk tot monding in Dommel)

### Stroomsnelheden

Het gedrag van het sediment in een waterloop kan bij benadering voorspeld worden aan de hand van het Hjulström-diagram. Dit diagram is weergegeven in Figuur 12. Het legt een verband tussen de korreldiameter van het sediment en de stroomsnelheid van het water. Onder een bepaalde snelheid zal het sediment bezinken ("deposition") en boven een bepaalde snelheid zal het eroderen ("erosion and transport"). Wanneer de snelheid zich tussen beide grenswaarden bevindt, zal enkel transport optreden. Voor fijne deeltjes gebeurt dit zwevend in de waterkolom ("transport in suspension") en voor grovere deeltjes rollend en springend over de bodem ("transport as bedload").



Figuur 12: Hjulström-diagram

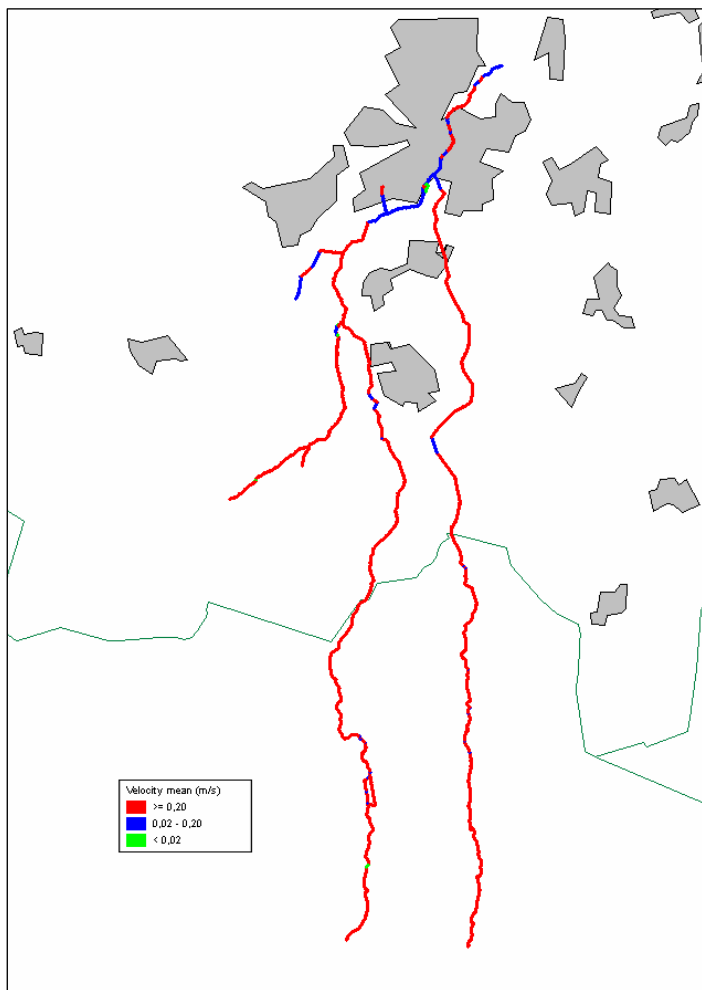
De mediane korrel diameter ( $d_{50}$ ) van het bodemmateriaal van de waterlopen in het studiegebied bedraagt ongeveer 0,250 mm. Uit het Hjulström diagram blijkt dat dergelijke deeltjes eroderen bij snelheden vanaf 0,2 m/s en bezinken bij snelheden kleiner dan 0,02 m/s. Tussen beide snelheden in zal transport optreden, zowel zwevend als rollend en springend.

Figuur 13 tot en met Figuur 15 tonen de berekende stroomsnelheden bij verschillende afvoeren. Uit Figuur 13 blijkt dat bij jaargemiddelde afvoeren de stroomsnelheid haast overal hoog genoeg is om erosie van het bodemmateriaal mogelijk te maken. Nabij grote kunstwerken en net opwaarts Eindhoven treedt enkel transport op. Op de figuur zijn ook enkele kleine zones zichtbaar waar de snelheden onder de bezinkingsgrens liggen. Het gaat hier telkens om kleine zijarmen of omleidingen rond molens waar het debiet door de vereenvoudigde modellering onderschat is. De afvoer afkomstig van de stad Eindhoven is niet in het model opgenomen. De debieten op de Dommel tussen het verdeelwerk Dommel/Beatrixkanaal en de afwaartse rand (RWZI Eindhoven) zijn dus eveneens onderschat.

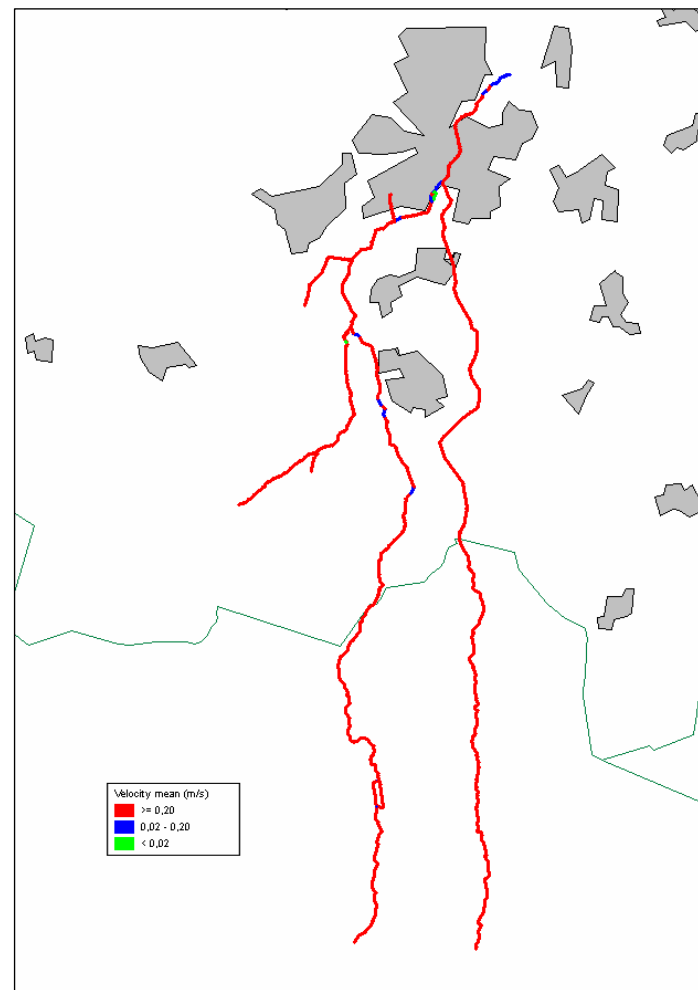
Figuur 13 en Figuur 15 tonen de stroomsnelheden bij maatgevende afvoeren. In vergelijking met de jaargemiddelde afvoeren zijn de zones met erosie uitgebreid ten koste van de zones met transport. Er blijven ook nu nog enkele zones nabij kunstwerken waar enkel transport optreedt.

Figuur 15 geeft de situatie bij lage zomerafvoeren weer. Het aantal zones met erosie is afgenomen ten voordele van de zones met transport. Ondanks de lage afvoeren zijn er nog steeds geen uitgestrekte zones met bezinking.

Tenslotte dient benadrukt te worden dat het gebruik van stroomsnelheden in combinatie met het Hjulström-diagram slechts een benadering van de werkelijke situatie toelaat. Het diagram is immers gebaseerd op een aantal veronderstellingen (bv waterdiepte van 1 m) die niet altijd vervuld zijn. Voor een meer gedetailleerde analyse wordt verwezen naar het rapport waterkwaliteitsmodellering.

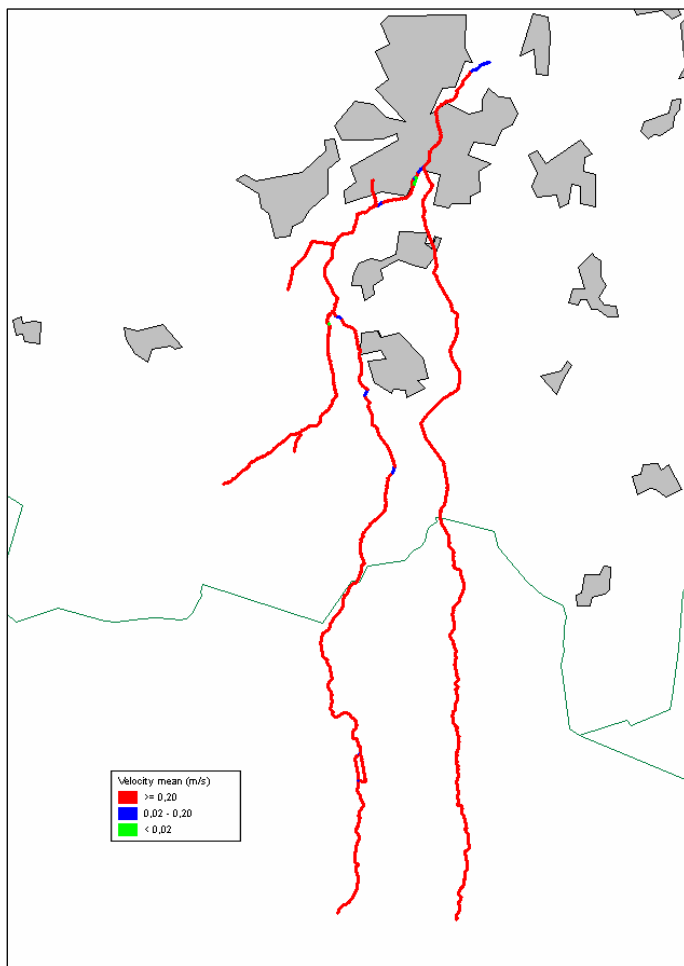


Figuur 13: Stroomsnelheden (jaargemiddelde afvoer)

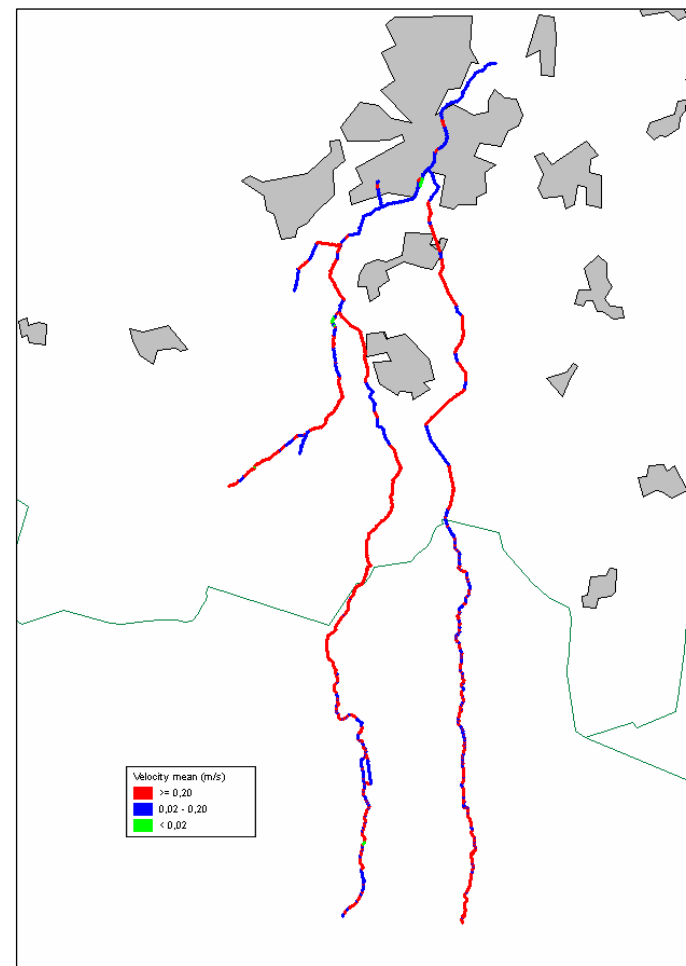


Figuur 14: Stroomsnelheden (maatgevende afvoer, stuwen gedeeltelijk gestreken)





*Figuur 15: Stroomsnelheden (maatgevende afvoer, stuwen volledig gestreken)*



*Figuur 16: Stroomsnelheden (zomerafvoer)*

## 5 Waterkwaliteitsmodel

Dit hoofdstuk beschrijft de waterkwaliteitsmodellering van het studiegebied. Het behandelt achtereenvolgens de algemene werkwijze, de opbouw van het model en de analyse van de modelresultaten.

### 5.1 Werkwijze

#### 5.1.1 Beschikbare modellen

In het kader van de optimalisatie van de RWZI Eindhoven werd een waterkwaliteitsmodel van de Dommel tussen de grens België-Nederland en Den Bosch opgesteld (Haskoning, 2001). Het model werd opgesteld met het softwarepakket "DufLOW". De gemodelleerde parameters waren  $O_2$ , BZV,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ , Norg, tN en tP. Omwille van de gebruikte software en de gemodelleerde parameters heeft dit model geen directe gebruikswaarde voor de huidige studie.

#### 5.1.2 Software

Voor de waterkwaliteitsmodellering werd gebruik gemaakt van de waterkwaliteitsmodule van Sobek (versie 2,09.003).

#### 5.1.3 Opbouw

Het bestaande waterkwantiteitsmodel (zie deelrapport waterkwantiteitsmodellering) werd uitgebreid tot een waterkwaliteitsmodel, met de klemtoon op sedimenttransport. Dit gebeurde door het activeren van een aantal processen uit de waterkwaliteitsmodule die het transport van sediment beschrijven. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen fijne deeltjes (slib) en grove deeltjes (zand). De modelopbouw is in meer detail beschreven in hoofdstuk 4.2.

#### 5.1.4 Analyse

Het waterkwaliteitsmodel werd gebruikt om het transport van slib en zand in de waterlopen te bestuderen. Omwille van de sterk verschillende mechanismen, werden beide processen afzonderlijk bestudeerd. In werkelijkheid kunnen ze ook gelijktijdig optreden en elkaar beïnvloeden. Deze onderlinge beïnvloeding werd niet in rekening gebracht. Net zoals bij de waterkwantiteitsmodellering werden bij de analyse verschillende stromingsregimes onderscheiden: gemiddelde afvoeren, hoge maatgevende afvoeren en lage zomerafvoeren. De analyse van de modelresultaten wordt besproken in hoofdstuk 4.3.

### 5.2 Opbouw

#### 5.2.1 Slibtransport

In het kader van deze studie wordt de term "slib" gebruikt als verzamelnaam voor fijne, cohesieve deeltjes met een diameter kleiner dan  $63 \mu m$  (klei en silt). Dergelijke deeltjes worden zwevend in de waterkolom getransporteerd, maar kunnen ook bezinken of opwoelen.

Het transport van slib wordt in Sobek beschreven door middel van de 1-dimensionale advectie-dispersie vergelijking, aangevuld met een bron/put term voor bezinking (sedimentatie) en opwoeling (resuspensie).

De dispersiecoëfficiënt van een waterloop kan variëren van minder dan 1 m<sup>2</sup>/s voor rechte, traagstromende sloten tot meer dan 100 m<sup>2</sup>/s voor brede, meanderende rivieren met sterke 2-dimensionale stromingspatronen. Een typische waarde voor middelgrote, natuurlijke waterlopen ligt rond de 10 m<sup>2</sup>/s. Als eerste benadering werd een dispersiecoëfficiënt van 1 m<sup>2</sup>/s gebruikt. Deze eerder lage waarde houdt rekening met het feit dat de waterlopen in het studiegebied in het verleden rechtgetrokken werden en dat het gebruikte rekenschema ook numerieke dispersie veroorzaakt.

Bezinking en opwoeling worden weergegeven door middel van de vergelijkingen van Krone en Partheniades. De toepassing van deze vergelijkingen vergt de kennis van de valsnelheid van de zwevende deeltjes, de kritische schuifspanningen voor bezinking en opwoeling en de erosieconstante.

Tijdens de meetcampagne werd de mediane diameter ( $d_{50}$ ) van de zwevende deeltjes bepaald: deze bedroeg ongeveer 30  $\mu\text{m}$ . Toepassing van de formule van Stokes levert een valsnelheid van 70 m/d. Deze waarde is representatief voor bolvormige, minerale deeltjes.

Literatuurwaarden voor de kritische schuifspanning voor bezinking variëren van 0,02 tot 0,3 N/m<sup>2</sup>. De kritische schuifspanning voor opwoeling varieert van 0,03 tot 0,5 N/m<sup>2</sup> voor vers afgezet zacht slib en van 0,08 tot 1 N/m<sup>2</sup> voor oud geconsolideerd slib. Vele literatuurwaarden hebben betrekking op mariene of estuariene sedimenten. Als eerste benadering werden literatuurwaarden voor het nabijgelegen Mark-Vliet systeem gebruikt: een kritische schuifspanning voor bezinking van 0,3 N/m<sup>2</sup> en een kritische schuifspanning voor opwoeling van 0,6 N/m<sup>2</sup>.

De literatuurwaarden voor de erosieconstante variëren van 860 tot 43200 g/m<sup>2</sup>,d. Als eerste benadering werd opnieuw de waarde voor het nabijgelegen Mark-Vliet systeem gebruikt, namelijk 4300 g/m<sup>2</sup>,d.

## 5.2.2 Zandtransport

In het kader van deze studie wordt de term “zand” gebruikt als verzamelnaam voor grove, niet-cohesieve deeltjes met een diameter groter dan 63  $\mu\text{m}$  (zeer fijn tot zeer grof zand). Dergelijke deeltjes worden op twee wijzen getransporteerd: zwevend in de waterkolom (suspended load) of rollend en springend over de bodem (bed load).

Het transport van zand wordt in de waterkwaliteitsmodule van Sobek beschreven door middel van de formule van Engelund en Hansen. Deze geeft het totale transport (rollend + springend + zwevend) weer. Voor elk waterloopsegment wordt de transportcapaciteit berekend. Deze wordt vervolgens vergeleken met de transportcapaciteit van de naburige segmenten. Wanneer de instroom van zand de uitstroom overtreft, dan zal aanzanding optreden. In het omgekeerde geval zal de waterbodem eroderen.

De toepassing van de formule van Engelund en Hansen vergt enkel de kennis van de mediane korrel diameter ( $d_{50}$ ) van het bodemmateriaal. Tijdens de meetcampagne werd vastgesteld dat deze ongeveer 250  $\mu\text{m}$  bedraagt. Gegevens uit vroegere meetcampagnes (Arcadis, 1998) bevestigen deze waarde.

Voor de berekening van de diepte van aanzanding of erosie is ook een schatting van de porositeit van de waterbodem nodig. Hiervoor werd een waarde van 0,4 gebruikt.

Opmerking: De waterkwaliteitsmodule van Sobek laat een beschrijving van het zandtransport toe, maar is geen volwaardig zandtransportmodel. Aangezien er geen terugkoppeling is tussen de waterkwaliteitsmodule en de waterkwantiteitsmodule, kan de waterkwaliteitsmodule enkel gebruikt worden voor het identificeren van beperkte veranderingen op korte termijn. Voor een beschrijving van de morfologische ontwikkelingen op lange termijn moet gebruik gemaakt worden van de sedimenttransportmodule.

## 5.2.3 Modelversies

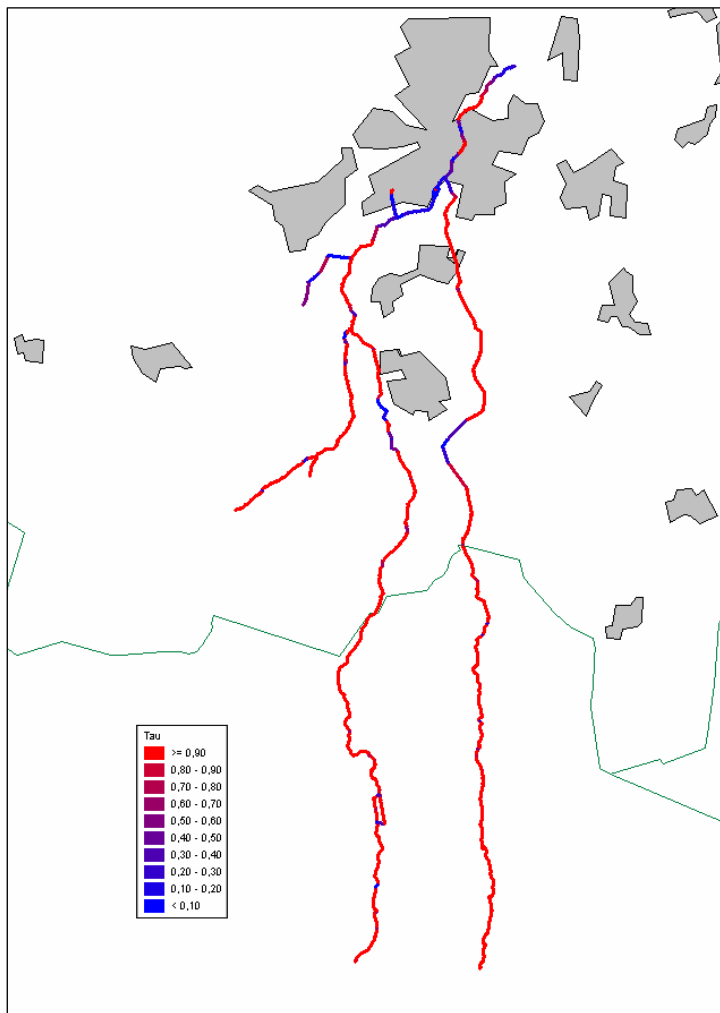
Er werden drie modelversies opgesteld: een voor gemiddelde afvoeren, een voor hoge maatgevende afvoeren en een voor lage zomerafvoeren. Voor een beschrijving van de verschillende versies wordt verwezen naar het deelrapport waterkwantiteitsmodellering. De transportprocessen zijn identiek in alle modelversies.

## 5.3 Analyse

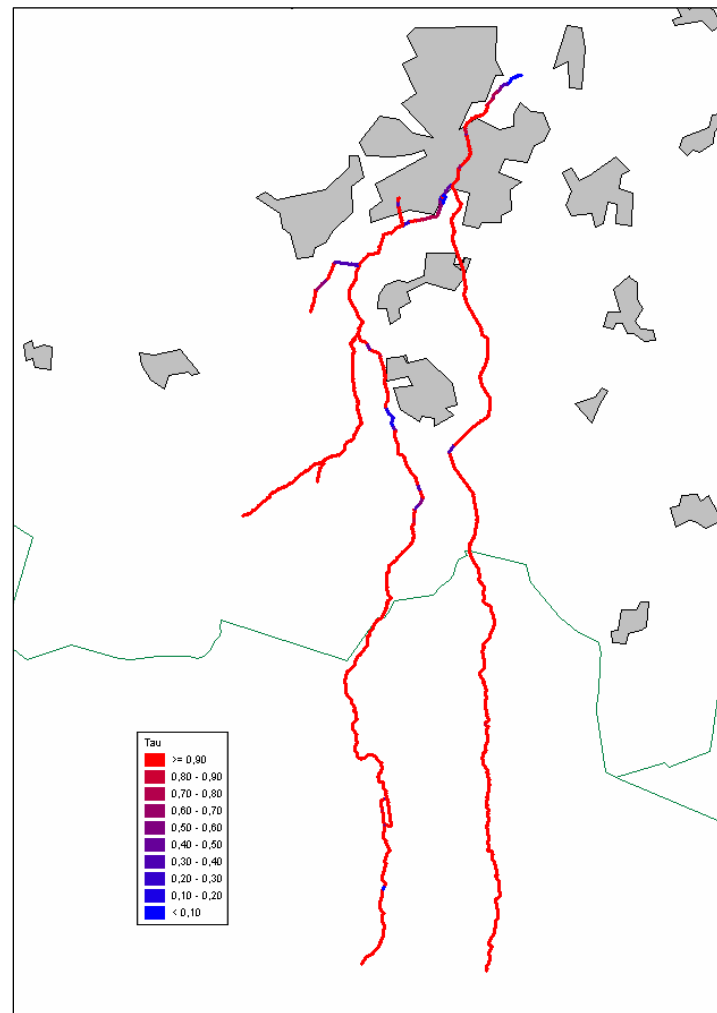
### 5.3.1 Slibtransport

De modelresultaten zijn zeer gevoelig aan de aannames voor een aantal modelparameters (zie 5.2.1) en randvoorwaarden (slibconcentratie aan de opwaartse randen) die niet nauwkeurig te bepalen zijn. Door het ontbreken van turbiditeitsmetingen (zie deelrapport meetcampagne) is ook een beperkte kalibratie onmogelijk. Het waterkwaliteitsmodel kan dus niet gebruikt worden om het slibtransport nauwkeurig te kwantificeren. Het laat wel toe om een inzicht te verwerven in de werking van het bestudeerde systeem en na te gaan welke processen op welke plaatsen zouden kunnen optreden.

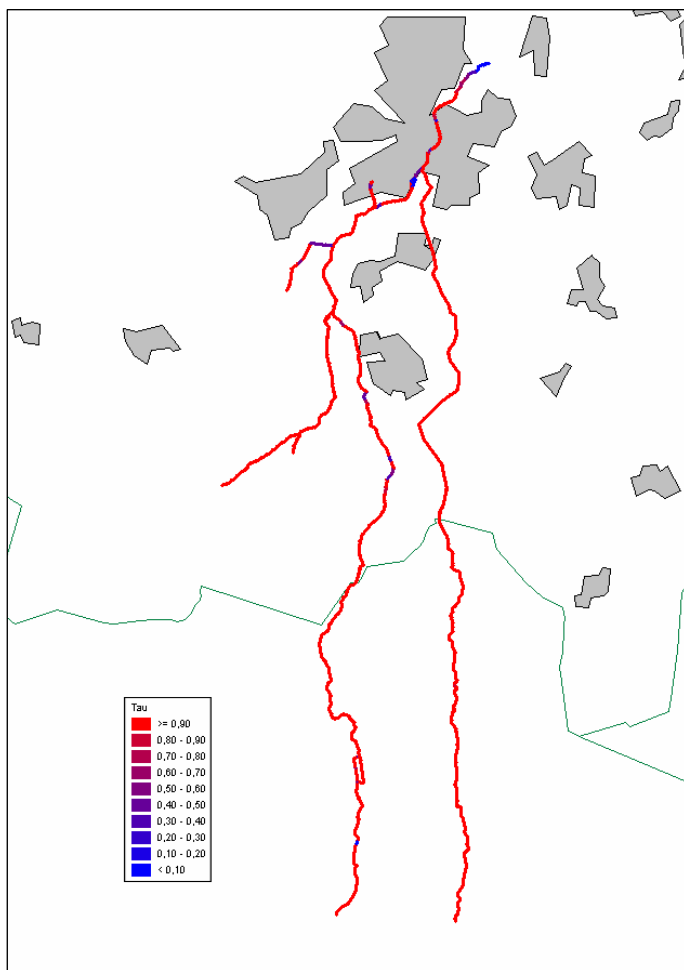
De schuifspanningen bij verschillende stromingsregimes worden getoond in Figuur 17 tot en met Figuur 19. Deze figuren laten toe de zones met kans op bezinking of opwoeling te identificeren, wanneer de kritische schuifspanningen voor beide processen bekend zijn.



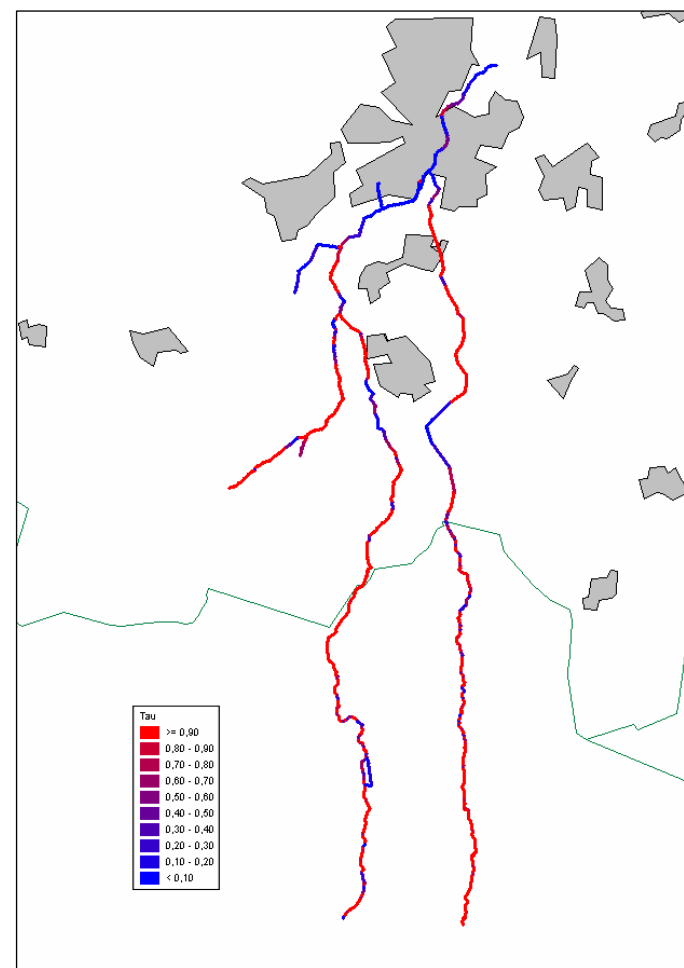
*Figuur 17: Schuifspanning (N/m<sup>2</sup>) (jaargemiddelde afvoer)*



*Figuur 18: Schuifspanning (N/m<sup>2</sup>) (maatgevende afvoer, stuwen gedeeltelijk gestreken)*



Figuur 19: Schuifspanning (N/m<sup>2</sup>) (maatgevende afvoer, stuwen volledig gestreken)

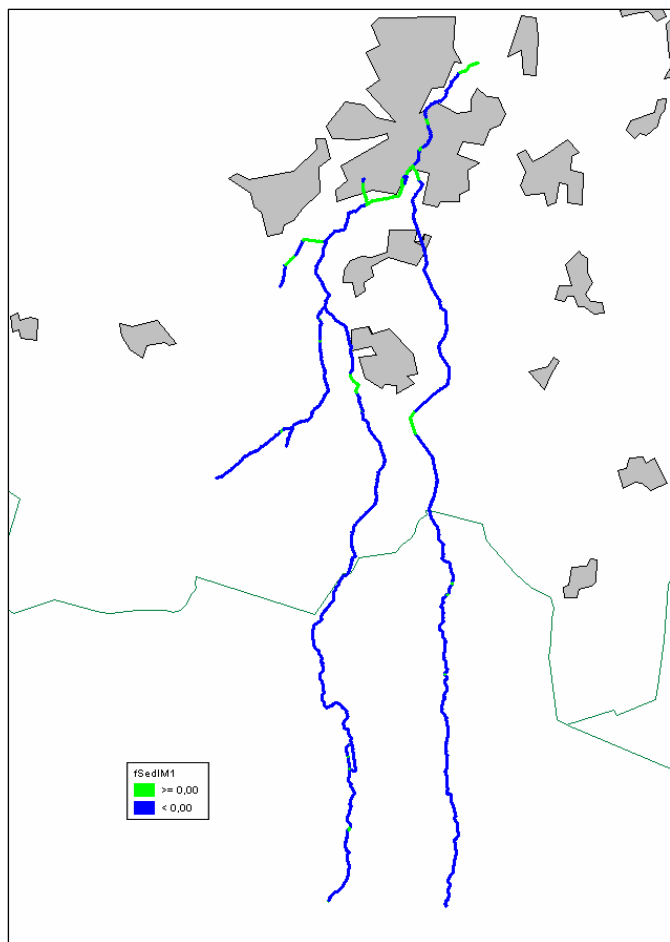


Figuur 20: Schuifspanning (N/m<sup>2</sup>) (zomerafvoer)

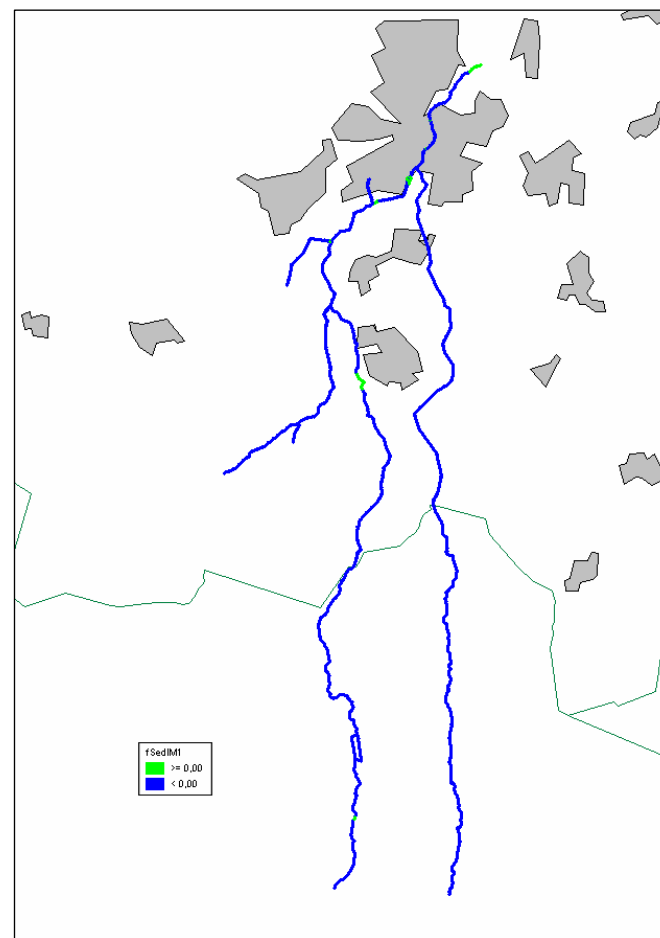
Om de interpretatie te vergemakkelijken, werden twee bijkomende sets figuren aangemaakt. De eerste set ( Figuur 21 tot en met Figuur 23) geeft weer waar bezinking (sedimentatieflux > 0) zou kunnen optreden, wanneer de kritische schuifspanning voor bezinking dezelfde is als in het Mark-Vliet systeem ( $0,3 \text{ N/m}^2$ ). De tweede set (Figuur 25 tot en met Figuur 27) geeft weer waar opwoeling (resuspensieflux > 0) zou kunnen optreden wanneer de kritische schuifspanning voor opwoeling dezelfde is als in het Mark-Vliet systeem ( $0,6 \text{ N/m}^2$ ) en er bovendien op die plaats een slibvoorraad op de bodem aanwezig is.

Bij jaargemiddelde afvoeren (Figuur 21 en Figuur 25) is er enkel kans op bezinking van slib in de afwaartse delen van de Dommel en in de onmiddellijke omgeving van kunstwerken. In haast alle andere zones is er kans op opwoeling. Bij maatgevende afvoeren (Figuur 22 en Figuur 26) worden de potentiële bezinkingszones kleiner en de potentiële opwoelingszones groter. Wanneer de stuwen volledig gestreken verondersteld worden (Figuur 23 en Figuur 27), verdwijnen de bezinkingszones zelfs volledig (met uitzondering van de omleidingen rond enkele molens) en treedt haast overal opwoeling op (met uitzondering van de onmiddellijke omgeving van enkele kunstwerken). Bij zomerafvoeren nemen de zones waar bezinking zou kunnen optreden toe en nemen de zones waar opwoeling zou kunnen optreden af. De zones met opwoeling blijven ook bij zomerafvoeren domineren ten opzichte van de zones met bezinking.

Uit het voorgaande kunnen we besluiten dat er binnen het studiegebied geen grootschalige slibafzettingen te verwachten zijn. In de omgeving van sommige kunstwerken zou er bij jaargemiddelde afvoeren wel bezinking kunnen optreden, maar het bezonken slib zal hoogstwaarschijnlijk weer opgewoeld worden tijdens grote afvoergolven (terugkeerperiode van 1 jaar of meer).

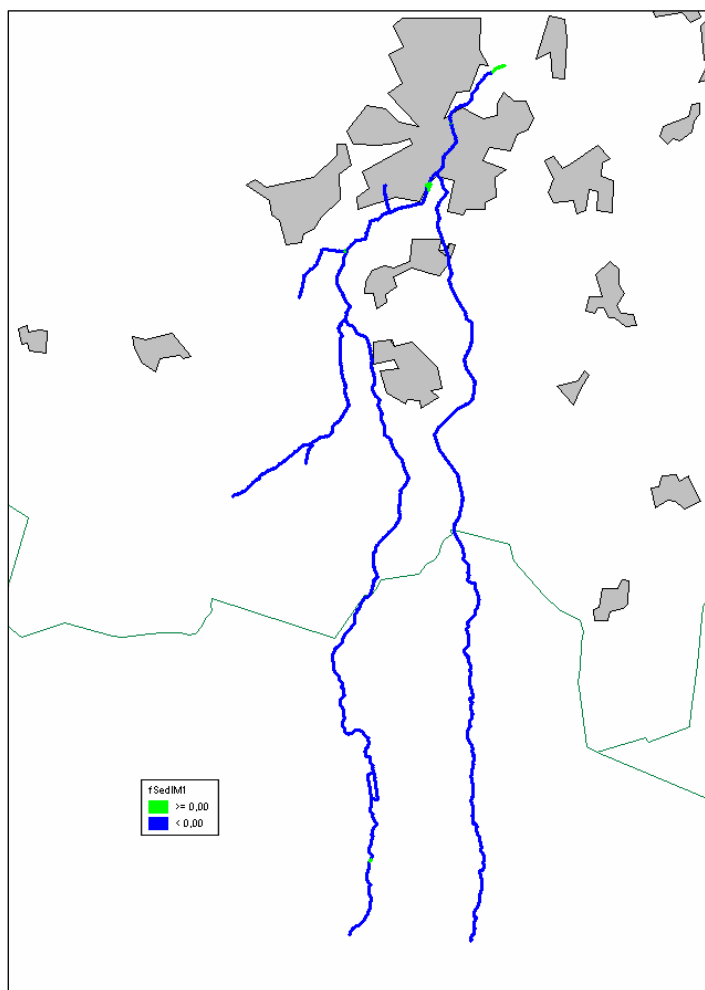


Figuur 21: Bezinking slib (jaargemiddelde afvoer)

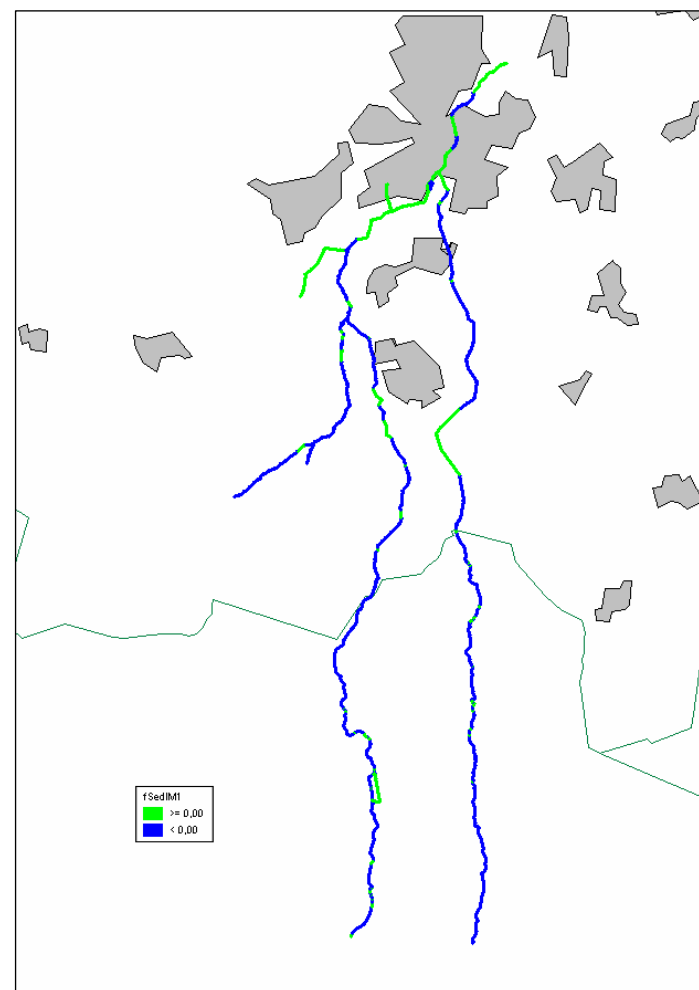


Figuur 22: Bezinking slib (maatgevende afvoer, stuwen gedeeltelijk gestreken)

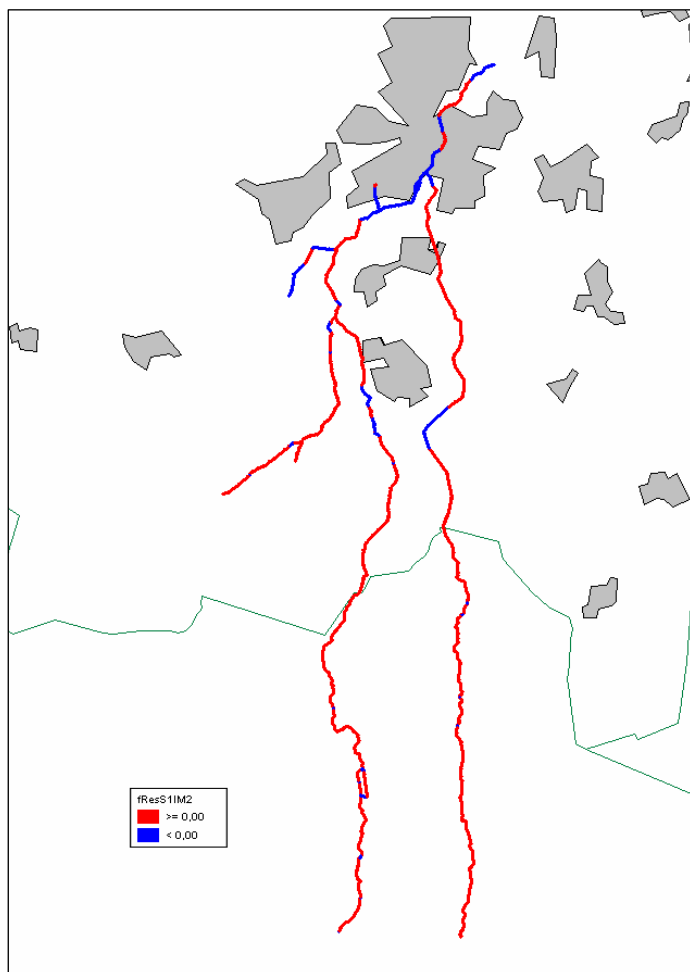




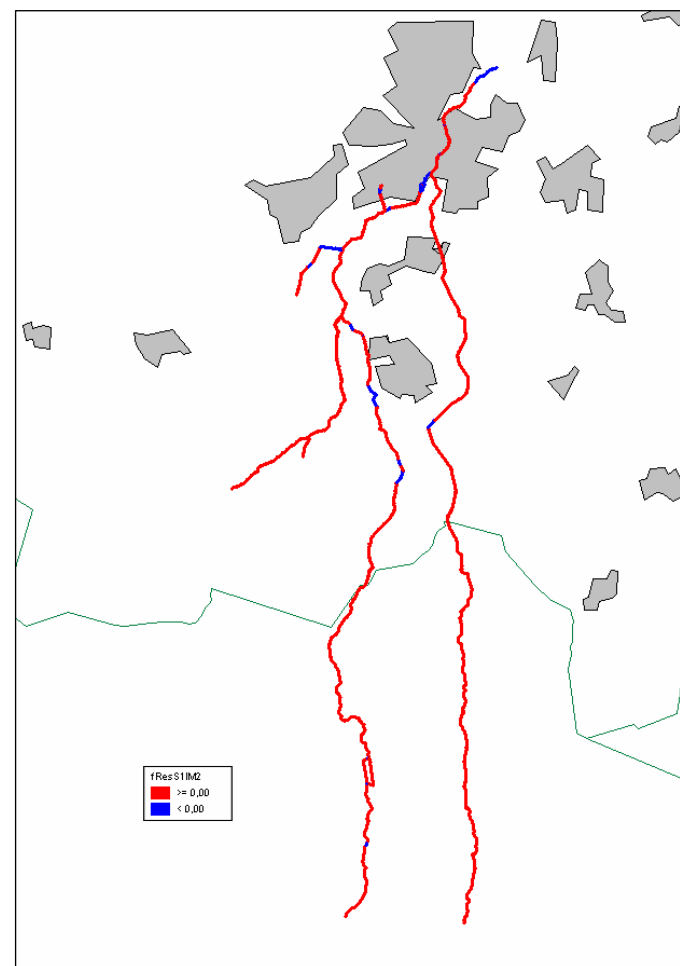
Figuur 23: Bezinking slib (maatgevende afvoer, stuwen volledig gestreken)



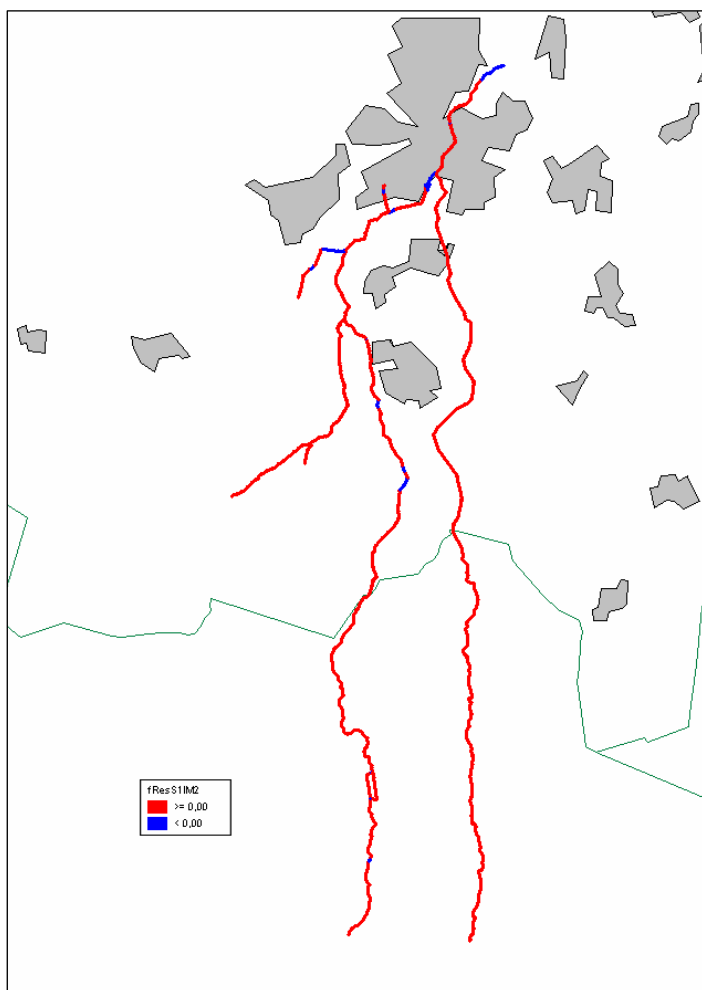
Figuur 24: Bezinking slib (zomerafvoer)



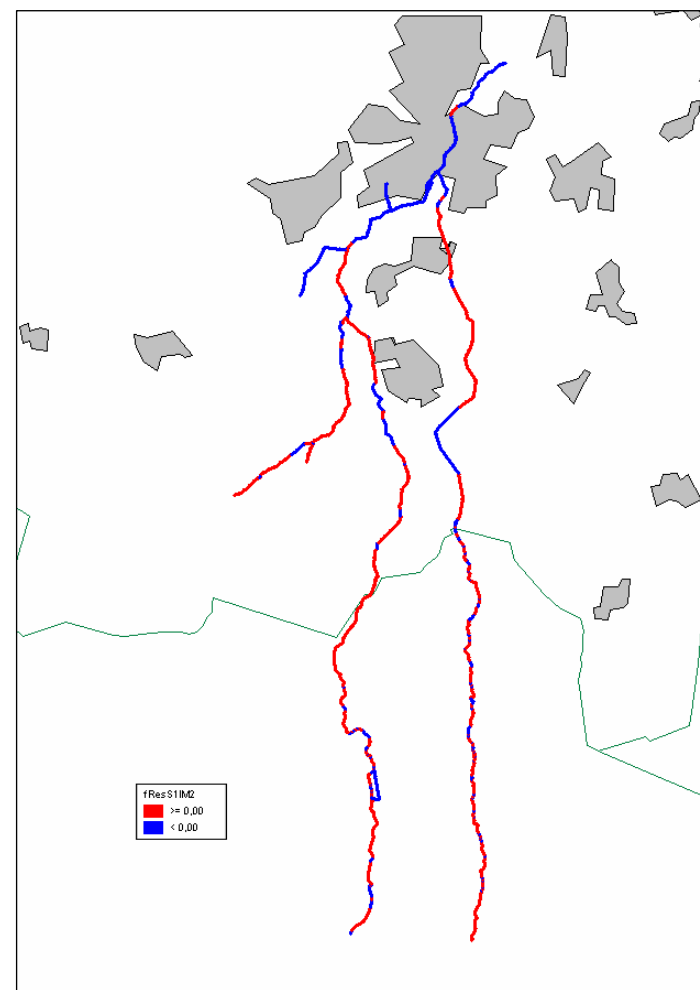
*Figuur 25: Opwoeling slib (jaargemiddelde afvoer)*



*Figuur 26: Opwoeling slib (maatgevende afvoer, stuwen gedeeltelijk gestreken)*



*Figuur 27: Opwoeling slib (maatgevende afvoer, stuwen volledig gestreken)*



*Figuur 28: Opwoeling slib (zomerafvoer)*

### 5.3.2 Zandtransport

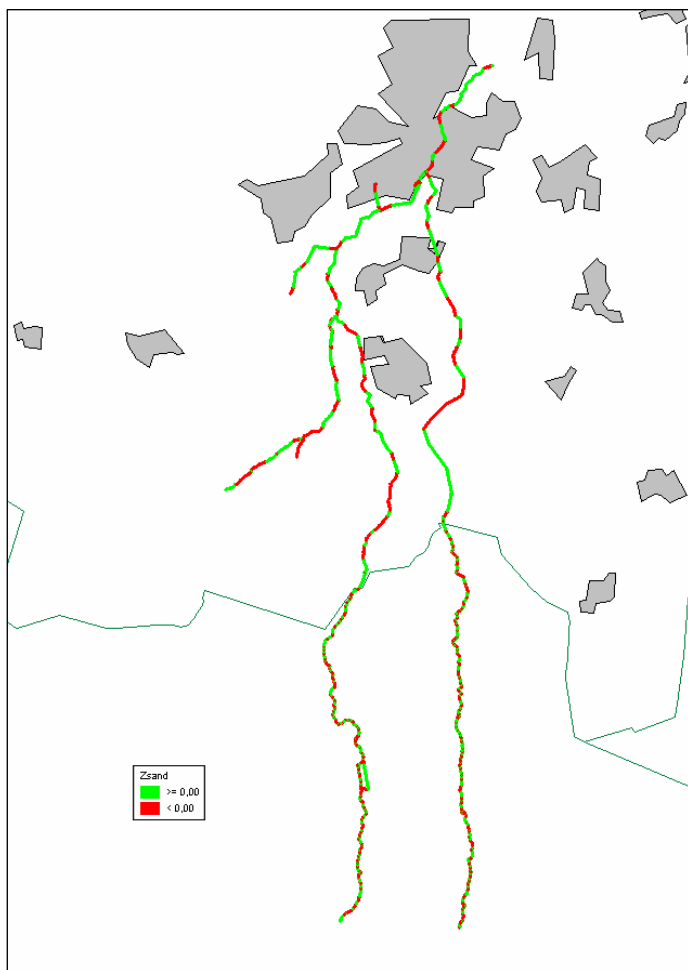
Alhoewel Sobek de zandtransportcapaciteit intern berekent, is deze niet beschikbaar als uitvoervariabele. Enkel de resulterende dikte van de aanzanding of erosie kan weergegeven worden. Bij het bestuderen van de modelresultaten is evenwel twijfel gerezen omtrent de precieze eenheden waarin deze aanzanding of erosie weergegeven worden. Overleg met de softwareleverancier kon deze twijfel niet wegnemen. Het model houdt ook geen rekening met de aanwezigheid van zandvangen op de Dommel (Heesakker), Tongelreep-Warmbeek (Achelse Kluis) en Beekloop-Keersop (Gagelvelden). De resultaten in de omgeving van deze zandvangen zijn dan ook niet betrouwbaar. Het waterkwaliteitsmodel kan bijgevolg niet gebruikt worden om het zandtransport te kwantificeren, maar enkel om de zones met aanzanding of erosie te identificeren.

De evolutie van de dikte van de zandlaag op de bodem van een waterloop wordt getoond in Figuur 29 tot en met Figuur 32, Positieve waarden wijzen op aanzanding, negatieve op erosie.

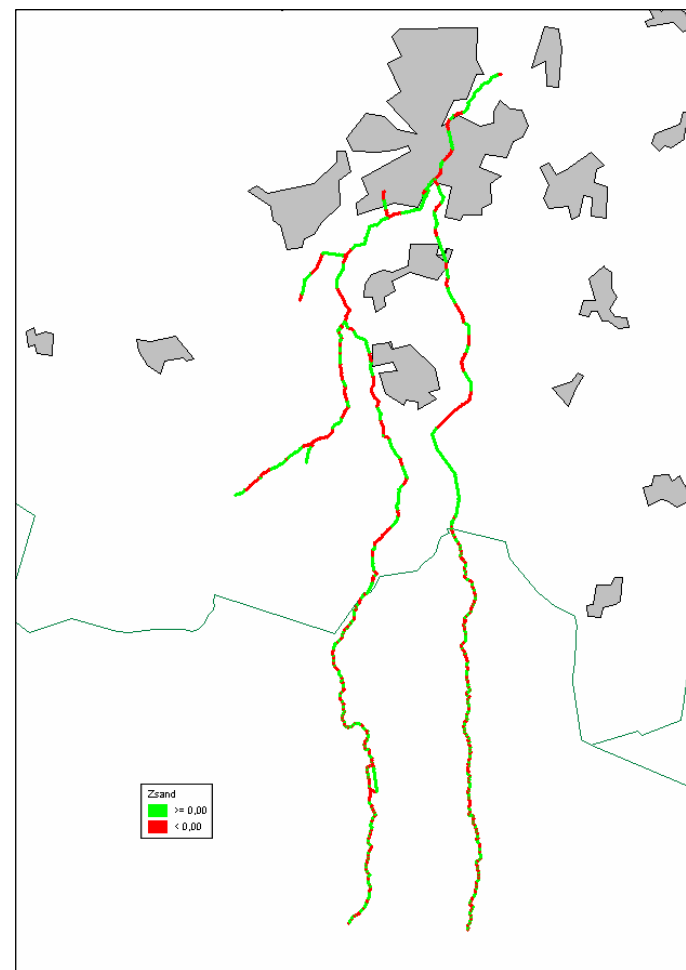
Bij jaargemiddelde afvoeren is er in alle waterlopen een sterke afwisseling van zones met aanzanding en zones met erosie. De afwisseling tussen de zones lijkt meer uitgesproken in Vlaanderen dan in Nederland, maar dit is enkel het gevolg van verschillen in modelresolutie: in Vlaanderen bedraagt de afstand tussen de dwarsprofielen gemiddeld een 50-tal meter, terwijl dit in Nederland kan oplopen tot enkele honderden meters.

Zowel bij hogere als bij lagere afvoeren kunnen individuele waterloopsegmenten een ander morfologisch regime aannemen (erosie in plaats van aanzanding of omgekeerd), maar het afwisselende patroon blijft behouden. Dit is logisch aangezien een toename of afname van het debiet zowel de instroom als de uitstroom van zand zullen beïnvloeden. Kleine verschillen in de onderlinge verhouding kunnen dan het verschil maken tussen netto erosie of netto aanzanding.

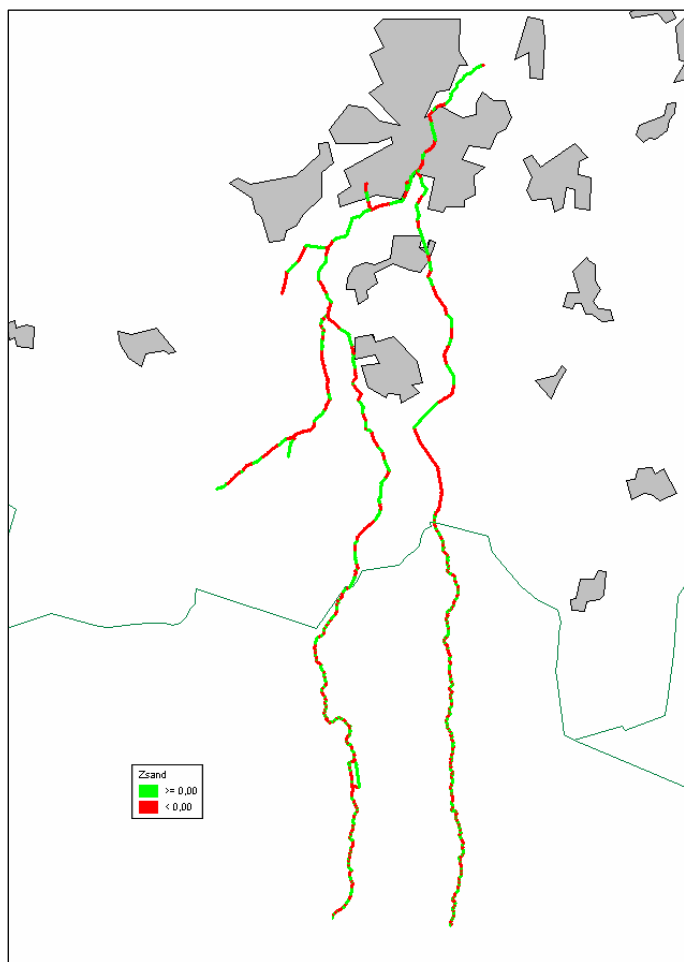
Uit het voorgaande kunnen we besluiten dat er binnen het studiegebied in alle waterlopen zandtransport optreedt. Naargelang de afvoer resulteert dit in lokale erosie of lokale aanzanding. De beschikbare resultaten laten niet toe grote regionale verschillen te detecteren.



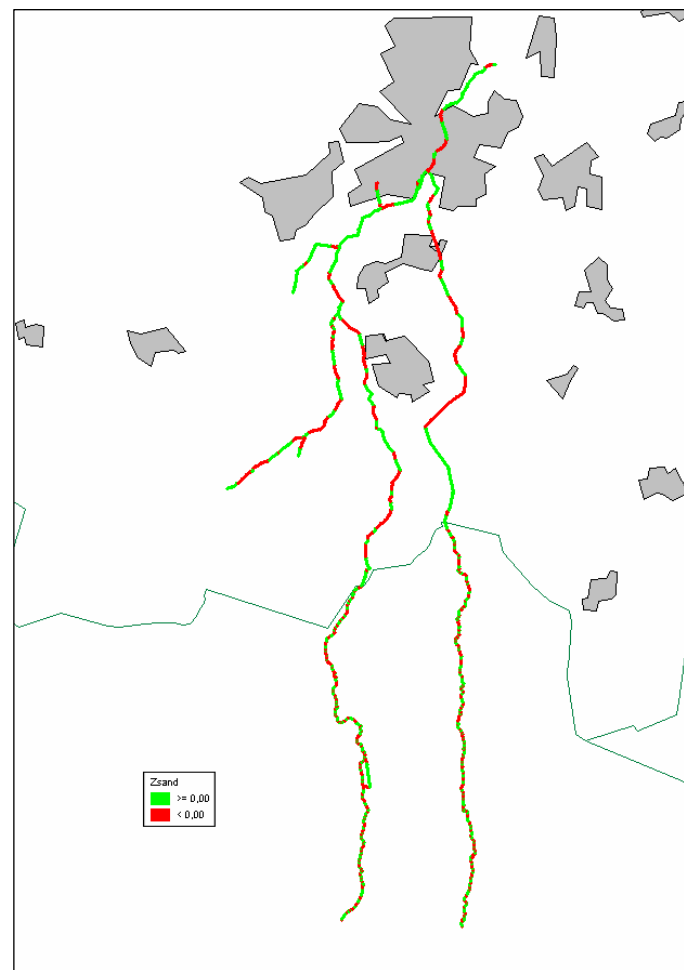
*Figuur 29: Aanzanding (jaargemiddelde afvoer)*



*Figuur 30: Aanzanding (maatgevende afvoer, stuwen gedeeltelijk gestreken)*



*Figuur 31: Aanzanding (maatgevende afvoer, stuwen volledig gestreken)*



*Figuur 32: Aanzanding (zomer afvoer)*

## 6 Kwantificeren van de bouwstenen

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de kwantificering van de bouwstenen. Hierbij wordt het belang van de verschillende bouwstenen kort beschreven. Aan de hand van het belang van de bouwsteen wordt deze geselecteerd voor opname in de stoffenbalans.

### 6.1 Subsystemen

Het studiegebied bestaat uit 3 beeksystemen: Dommel, Tongelreep-Warmbeek en Beekloop-Keersop. Deze 3 systemen zijn voor het opstellen van de stoffenbalans onderverdeeld in 22 subsystemen: 10 voor de Dommel, 7 voor de Tongelreep-Warmbeek en 5 voor de Beekloop-Keersop. De subsystemen worden weergegeven op kaart 5 en vormen een verdere onderverdeling van de bemeten deelgebieden die reeds afgebakend werden in het kader van de waterbalans. De toevoerende oppervlakte van deze subsystemen (zowel individueel als cumulatief) wordt samengevat in Tabel 21 en het landgebruik in Tabel 22, Tabel 23 en Tabel 24.

Tabel 21: Oppervlakte subsystemen

Subsysteem	Toevoerende oppervlakte individueel (km <sup>2</sup> )	Toevoerende oppervlakte cumulatief (km <sup>2</sup> )
D1	14	323
D2	45	45
D3	11	175
D4	12	164
D5	27	152
D6	18	18
D7	6	76
D8	31	31
D9	20	70
D10	50	50
T1	25	135
T2	16	110
T3	11	94
T4	15	83
T5	20	68
T6	26	48
T7	22	22
K1	18	89
K2	11	28
K3	17	17
K4	24	43
K5	19	19

Tabel 22: Landgebruik subsystemen Dommel

Gebruik	D1 (%)	D2 (%)	D3 (%)	D4 (%)	D5 (%)	D6 (%)	D7 (%)	D8 (%)	D9 (%)	D10 (%)
Wegen	1,5	0,9	3,0	2,2	1,1	0,8	1,7	0,9	0,2	0,2
Bebouwing	12,8	10,7	40,6	3,4	12,6	43,7	43,6	17,2	12,9	8,5
Akkerbouw	24,1	31,2	11,9	25,8	35,4	20,1	29,7	26,3	35,1	39,1
Weiland	35,2	27,8	26,6	23,0	25,1	11,5	18,3	16,0	30,4	36,1
Boomgaard	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Naaldbos	17,1	23,3	13,5	29,8	10,6	18,3	2,7	30,4	10,7	6,7
Loofbos	5,0	4,1	3,5	6,0	6,3	1,6	3,2	5,6	9,4	6,5
Gemengd bos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,2	1,8	0,8	1,2
Heide	0,3	0,0	0,0	4,9	4,4	1,7	0,3	1,0	0,4	1,2
Natuur	1,4	1,2	0,4	1,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Braak	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Water	2,6	0,7	0,0	2,9	3,0	2,3	0,2	0,6	0,2	0,5

Tabel 23: Landgebruik subsystemen Tongelreep-Warmbeek

Gebruik	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)	T5 (%)	T6 (%)	T7 (%)
Wegen	4,1	1,9	0,4	0,4	0,3	0,0	0,2
Bebouwing	21,8	14,8	3,4	10,2	12,4	12,5	11,1
Akkerbouw	7,4	5,2	19,0	31,7	32,5	35,6	35,9
Weiland	14,5	11,1	15,0	23,0	20,6	23,5	33,2
Boomgaard	0,0	0,1	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
Naaldbos	36,9	49,6	30,9	21,4	16,3	17,3	8,6
Loofbos	4,6	7,2	3,5	9,5	10,4	5,1	7,2
Gemengd bos	0,0	0,0	0,5	2,4	6,3	4,3	2,8
Heide	2,1	3,1	14,3	0,9	0,9	0,7	0,9
Natuur	3,2	2,6	11,2	0,3	0,0	0,0	0,0
Braak	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Water	5,5	4,4	1,5	0,0	0,3	0,8	0,0



Tabel 24: Landgebruik subsystemen Beekloop-Keersop

Gebruik	K1 (%)	K2 (%)	K3 (%)	K4 (%)	K5 (%)
Wegen	1,7	0,4	0,2	0,4	0,0
Bebouwing	12,3	2,6	5,4	18,9	8,8
Akkerbouw	35,5	45,7	36,7	32,3	28,2
Weiland	21,2	28,7	21,6	36,9	28,7
Boomgaard	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
Naaldbos	21,8	18,1	20,6	7,9	26,1
Loofbos	3,8	3,5	8,9	1,7	2,4
Gemengd bos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Heide	0,0	0,0	1,7	0,2	1,7
Natuur	1,3	0,4	0,3	1,5	2,4
Braak	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0
Water	1,8	0,7	4,6	0,1	1,7

## 6.2 Berekening bouwstenen

De wijze waarop de bouwstenen gekwantificeerd zijn, is toegelicht in de factsheets. Gestreefd is om een kwantificering voor zink, cadmium, koper en lood op te nemen. Gebleken is echter dat niet voor alle bouwstenen informatie over koper en lood eenvoudig beschikbaar is. Omdat de aandacht van de studie toch uitgaat naar zink en cadmium, is geen verdere inspanning verricht om voor koper en lood gegevens te verzamelen.

Voor kwantificering zijn de drie beken ieder onderverdeeld in enkele subsystemen. Binnen een subsysteem wordt onderscheid gemaakt in hoofdwaterloop, zijwaterloop en haarvaten.

Voor Nederland werd het bestaande onderscheid tussen hoofdwatergangen en zijwatergangen (afkomstig van het waterschap) aangehouden. Voor Vlaanderen werden de bevaarbare waterlopen (cat. 0) en de onbevaarbare waterlopen van 1e en 2e categorie weergegeven als hoofdwaterlopen en al de andere als zijwaterlopen. Op deze wijze zijn de waterlopen ook op de kaarten weergegeven. Voor de berekeningen in deze studie is een onderscheid gemaakt tussen "hoofdwaterloop" en "zijwaterloop" in functie van het belang van een waterloop. De 'haarvaten' omvatten alle niet op de kaart weergegeven watergangen.

De berekening van de jaarlijkse vracht is uitgevoerd per subsysteem, per type watergang, voor zowel cadmium als zink. In Tabel 25 en Tabel 26 is de berekende vracht per beeksysteem weergegeven. In bijlage 2 is een volledig overzicht van de berekende vrachten opgenomen.

Tabel 25: Berekende jaarlijkse vrucht (in kg/j) voor cadmium per beekstroom

Bouwsteen	Dommel	Keersop	Tongelreep
<b>Directe bronnen</b>			
1 Zinkassen uitspoeling	0,0	0,0	0,0
2 Directe lozingen Umicore	132,0	0,0	0,0
3 Overige directe lozingen (RWZI)	1,9	0,0	0,0
4 Landbouw (verwaaiing e.d.)	0,0	0,0	0,0
5 Afzet stoffen op verhard oppervlak landelijk gebied	0,0	0,0	0,0
6 Atmosferische depositie	0,0	0,0	0,0
<b>Indirecte bronnen / berging</b>			
7 Afspoeling neerslag van onverhard oppervlak	0,5	0,1	0,1
8 Afspoeling bevoeiing en beregening landbouw	0,0	0,0	0,0
9 Afstroming hemelwater stedelijk verhard oppervlak+overstort	0,3	0,1	0,2
10 Sedimentatie en resuspensie op inundatievlakken	-25,2	-0,4	-1,3
11 Lokale grondwaterstroming*	25,3	13,2	9,9
Grondwater vanuit Umicore	98,0	0,0	0,0
13 Vegetatie boven waterpeil (T=1), invloed op afspoeling	0,0	0,0	0,0
14 Fytoremediatie - vegetatie wateroever	-0,3	0,0	-0,1
15 Slibinvang wateroever	0,0	0,0	0,0
16 Aanrijking en uitloging waterbodems	0,0	0,0	0,0
17 Sedimentatie en resuspensie waterbodems	73,9	4,2	8,4
18 Bioturbatie waterbodems	0,0	0,0	0,0
19 Kunstwerken**	0,0	0,0	0,0
<b>Totaal bronnen</b>	<b>306,3</b>	<b>17,2</b>	<b>17,2</b>
<b>Transport</b>			
21 Opgeloste stoffen afvoer	-268,0	-8,5	-8,7
23 Fijn zwevende stof afvoer	-134,0	-4,3	-4,4
25 Grof zwevend/salterend stof afvoer	-216,9	-3,3	-3,3
<b>Totaal transport</b>	<b>-618,9</b>	<b>-16,1</b>	<b>-16,4</b>

\* De intermediaire grondwaterstroom (bouwsteen 12) is opgenomen in bouwsteen 11.

\*\* De huidige vrucht bij de kunstwerken zijn nihil genomen.

Tabel 26: Berekende jaarlijkse vrucht (in kg/j) voor zink per beekstelsysteem

Bouwsteen	Dommel	Keersop	Tongelreep
<b>Directe bronnen</b>			
1 Zinkassen uitspoeling	0	0	0
2 Directe lozingen Umicore	1771	0	0
3 Overige directe lozingen (RWZI)	2666	0	505
4 Landbouw (verwaaiing e.d.)	0	0	0
5 Afzet stoffen op verhard oppervlak landelijk gebied	61	14	48
6 Atmosferische depositie	6	3	4
<b>Indirecte bronnen / berging</b>			
7 Afspoeling neerslag van onverhard oppervlak	27	8	4
8 Afspoeling bevoeiing en beregening landbouw	0	0	0
9 Afstroming hemelwater stedelijk verhard oppervlak+overstort	491	141	282
10 Sedimentatie en resuspensie op inundatievlakken	-1000	-21	-40
11 Lokale grondwaterstroming*	3217	1685	1542
Grondwater vanuit Umicore	4530	0	0
13 Vegetatie boven waterpeil (T=1), invloed op afspoeling	0	0	0
14 Fytoremediatie - vegetatie wateroever	-14	-6	-29
15 Slibinvang wateroever	0	0	0
16 Aanrijking en uitloging waterbodems	0	0	0
17 Sedimentatie en resuspensie waterbodems	2542	212	565
18 Bioturbatie waterbodems	0	0	0
19 Kunstwerken**	0	0	0
<b>Totaal bronnen</b>	<b>14296</b>	<b>2034</b>	<b>2881</b>
<b>Transport</b>			
21 Opgeloste stoffen afvoer	-12244	-1677	-1069
23 Fijn zwevende stof afvoer	-6122	-838	-535
25 Grof zwevend/salterend stof afvoer	-3062	-166	-219
<b>Totaal transport</b>	<b>-21428</b>	<b>-2681</b>	<b>-1823</b>

\* De intermediaire grondwaterstroom (bouwsteen 12) is opgenomen in bouwsteen 11.

\*\* de huidige vrucht bij de kunstwerken zijn nihil genomen.

De metaalvruchten zijn positief weergegeven als de bouwsteen een bron is en negatief indien het metaal uit het systeem verdwijnt. De totalen kunnen vergeleken worden en vormen de stoffenbalans op het uitstroompunt van het beekstelsysteem. Aan de hand van de tabellen kunnen verscheidene belangrijke opmerkingen gemaakt worden:

Voor cadmium:

- Umicore is de grootste bron voor cadmiumverontreiniging in de drie beeksystemen.
- De vruchten in de Dommel zijn ten gevolge van de lozing door Umicore een factor 20 groter dan in de andere twee beeksystemen.
- In de beeksystemen van de Beekloop-Keersop en de Tongelreep-Warmbeek is de aanvoer vanuit het grondwater de grootste bron van de cadmiumverontreiniging, gevolgd door de resuspensie van de waterbodem.
- De afspoeling en afstroming van hemelwater, de lozing van de RWZI's alsook de opname door planten (fyto-remediatie) is van zeer geringe invloed op de cadmiumvrucht van de drie beeksystemen.

- De sedimentatie op inundatievlakken is groot. Dit lijkt realistisch maar hierbij moet worden opgemerkt dat deze sedimentatie niet regulier voorkomt en afhankelijk is van de extreme afvoeren. De onzekerheden hierin zijn dus groot.

Voor zink:

- De aanvoer van zink via het grondwater vormt de grootste bron van de zinkvracht in de drie beeksystemen.
- De RWZI's in de Dommel en de Tongelreep-Warmbeek zijn de één na grootste bron voor de zinkverontreiniging.
- De hoeveelheid zink die vrijkomt ten gevolge van erosie van de waterbodems is groot. De aanvoer is vergelijkbaar met de lozing door de RWZI's in de Dommel en Tongelreep-Warmbeek en vormt in de Beekloop-Keersop de één na grootste bron na de aanvoer via het grondwater.
- De directe lozing door Umicore is (slechts) 2/3 van de totale lozing van de RWZI's in de Dommel.
- De diffuse verontreiniging vanaf het harde oppervlak is belangrijk en vormt voor de Beekloop-Keersop de twee na grootste verontreinigingsbron met ca 10 % van de totale jaarvracht.
- Sedimentatie op inundatievlaktes is een belangrijke afzet van zink.
- De afvoeren van de zinkvracht in de Beekloop-Keersop en Tongelreep-Warmbeek zijn van dezelfde grootte orde. De afvoer in de Dommel is een factor 10 hoger dan in de andere twee beeksystemen.

Bij bespreking in een expertoverleg zijn de getallen besproken en is gekeken naar de invloed van mogelijke dubbeltelling en gevoeligheden in de berekening. Vervolgens is met de opdrachtgever besproken welke bouwstenen van belang zijn in de stoffenbalans. In tabel Tabel 27 zijn de belangrijkste conclusies opgenomen. Op basis van de kwantificering is besloten de bouwstenen 1, 4, 8, 12, 13, 15, 16 en 18 niet mee te nemen bij de stoffenbalans.

Tabel 27: Kwantificering bouwstenen

Nr.	Beschrijving	Kwantificering
<b>Directe bronnen</b>		
1.	Zinkassen uitspoeling	Zeer beperkt (klein invloedsgebied)
2.	Directe lozingen Umicore	Omvangrijk, historisch mogelijk nog groter
3.	Overige directe lozingen (RWZI)	Omvangrijk
4.	Landbouw (verwaaing e.d.)	Historisch wel van belang, huidig nul
5.	Afzet stoffen op verhard oppervlak	Beperkt
6.	Atmosferische depositie	Historisch wel van belang, huidig beperkt
<b>Indirecte bronnen, putten, berging</b>		
7.	Afspoeling hemelwater landbouw / onverhard	Beperkt
8.	Afspoeling bevoeiing en beregening landbouw	Nul
9.	Afstroming hemelwater verhard oppervlak	Van belang
10.	Sedimentatie en resuspensie op inundatievlakken	Omvangrijk
11.	Lokale grondwaterstroming	Overwegend beperkt, bij Umicore van belang
12.	Intermediaire grondwaterstroming	Zeer beperkt
13.	Vegetatie boven waterpeil (T=1), invloed op afspoeling	Nul

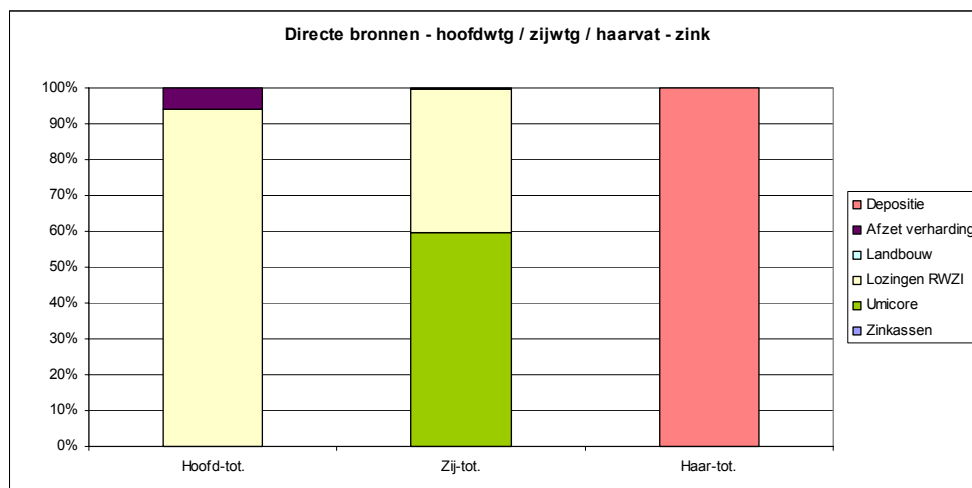
Nr.	Beschrijving	Kwantificering
14.	Fytoremediatie - vegetatie wateroever	Beperkt
15.	Slibinvang wateroever	Nul
16.	Aanrijking en uitloging waterbodems	Nul
17.	Sedimentatie en resuspensie waterbodems	Omvangrijk
18.	Bioturbatie waterbodems	Nul
19.	Kunstwerken	Omvangrijk
<b>Transport</b>		
20-21	Opgeloste stoffen aanvoer en afvoer	Omvangrijk
22-23	Fijn zwevende stof aanvoer en afvoer	Omvangrijk
24-25	Grof zwevend/salterend stof aanvoer en afvoer	Omvangrijk

Tevens bleek in de analyses van de waterkwaliteit de lozing van Umicore te laag te zijn om de metingen te kunnen verklaren. De directe lozing vanuit de waterzuivering, bouwsteen 2, is door Umicore gegeven. Aan de hand van de metaalvrachten bovenstrooms en benedenstrooms van het fabrieksterrein blijkt de invloed veel hoger te zijn. De extra aanvoer geschiedt via het grondwater vanuit het fabrieksterrein. De via het grondwater inkomende vracht is berekend, zie bijlage 3 in het hoofdrapport, en opgenomen in de tabellen 25 en 26. Met deze indirecte bron wordt het belang van Umicore op de waterkwaliteit vergroot. Voor cadmium is Umicore verantwoordelijk voor een jaarlijkse vracht van 230 kg, 70 % van de totale vracht, en voor zink van 6301 kg, 42 % van de totale zinkvracht.

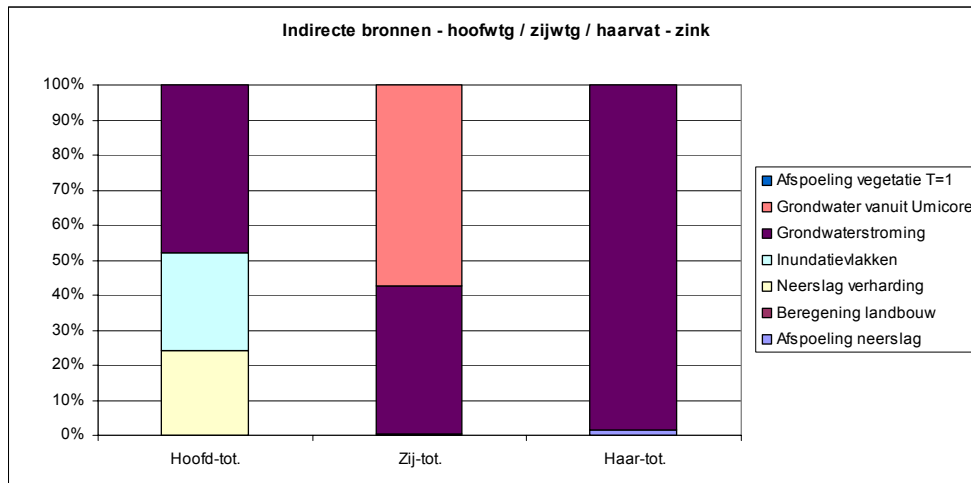
*Om goed inzicht te krijgen in de verontreinigingsbronnen is ook bepaald hoe de directe bronnen het beekstelsel binnen komen per type watergang. In Figuur 33 tot en met*

Figuur 36 is aangegeven hoe de lozingen plaatsvinden voor de hoofdwatergangen, zijwatergangen en de haarvaten. Vanwege de grote verschillen in jaarvrachten is de weergave in procenten gegeven.

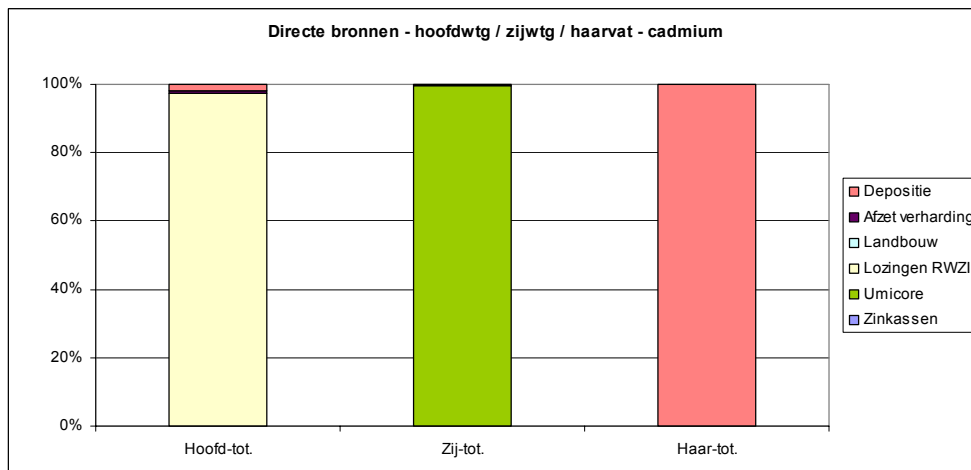
*Figuur 33: zinklozing directe bronnen per type watergangen*



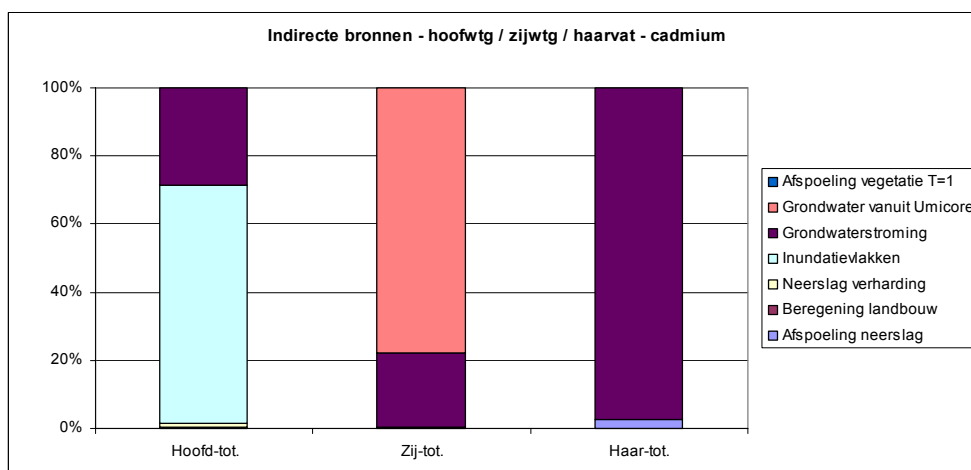
*Figuur 34: zinklozing indirecte bronnen per type watergang*



*Figuur 35: cadmiumlozing directe bronnen per type watergangen*



*Figuur 36: cadmiumlozing indirecte bronnen per type watergang*



## 7 Stoffenbalans

Dit hoofdstuk beschrijft de stoffenbalans van het studiegebied. Het behandelt achtereenvolgens de algemene werkwijze, de balans voor Zink en de balans voor Cadmium.

### 7.1 Werkwijze

#### 7.1.1 Balanstype

Net zoals bij een waterbalans, kunnen er ook bij een stoffenbalans meerdere types onderscheiden worden:

- stoffenbalans voor het stroomgebied
- stoffenbalans voor de waterloop

Het onderscheid tussen beide types werd reeds besproken in hoofdstuk 3 (Waterbalans). Aangezien de waterbalans opgesteld werd voor de waterloop, zal ook de stoffenbalans opgesteld worden voor de waterloop.

Bij een stoffenbalans voor een waterloop kan nog een onderscheid gemaakt worden tussen twee subtypes:

- stoffenbalans voor de waterkolom
- stoffenbalans voor de waterkolom en de waterbodem

Wanneer een stoffenbalans opgesteld wordt voor de waterkolom en de vervuiling van deze waterkolom constant verondersteld wordt op jaarbasis, dan heeft de waterloop geen stoffenbergende functie. Bezinking of opwoeling van fijne deeltjes kan dan beschouwd worden als put (sink) of een bron (source). Het bodemtransport van grove deeltjes dient dan niet in de balans opgenomen te worden aangezien de aangehechte vervuiling nooit deel uitmaakt van de waterkolom en als een parallele stroom beschouwd kan worden.

Wanneer een stoffenbalans opgesteld wordt voor de waterkolom en de waterbodem, dan heeft de waterloop wel een stoffenbergende functie: bezinking en opwoeling van fijne deeltjes moet dan beschouwd worden als een bergingsterm. Het bodemtransport van grove deeltjes moet dan ook in de balans opgenomen worden: het verschil tussen de afvoer en de aanvoer van grove deeltjes vormt dan immers een bijkomende bergingsterm.

In deze studie werd de “waterloop” gedefinieerd als het geheel van de waterkolom en de waterbodem en werd een balans van het tweede subtype opgesteld.

Opmerking: In sommige studies gebruikt men de term “slib” als verzamelnaam voor al het materiaal dat op de bodem van een waterloop gelegen is en qua eigenschappen (afmetingen, samenstelling, kleur, ...) afwijkt van het dieper gelegen materiaal. De term “waterbodem” wordt dan voorbehouden voor de diepere lagen. In deze studie wordt de term “slib” gebruikt als verzamelnaam voor fijne deeltjes (klei en silt) en “zand” als verzamelnaam voor de grove deeltjes (zeer fijn tot zeer grof zand). De term “waterbodem” wordt gebruikt als verzamelnaam voor al het mobiele materiaal dat op de bodem van de waterloop gelegen is. Dit materiaal bestaat uit een mengsel van fijne en grove deeltjes (slib en zand).

### 7.1.2 Bouwstenen

Bij de aanvang van deze studie werden vijftientig potentiële bouwstenen onderscheiden (zie hoofdstuk 3). Deze worden in detail beschreven in de bijhorende factsheets (bijlage 1). Na een eerste literatuurstudie en een ruwe kwantificering werden alle potentiële bouwstenen geëvalueerd en werden de belangrijkste weerhouden voor verdere analyse. De geselecteerde bouwstenen vormen de basis voor de opmaak van de stoffenbalans. Tabel 28 geeft een overzicht van de bouwstenen die in de stoffenbalans opgenomen werden. Van elke bouwsteen wordt ook aangegeven of het gaat om een bron (source), een put (sink) of berging (storage).

Tabel 28: Bouwstenen

Nummer	Beschrijving	Type
2	Directe lozingen Umicore	Bron
3	Directe lozingen RWZI	Bron
5	Afzet stoffen op verhard oppervlak	Bron
6	Atmosferische depositie	Bron
7	Afspoeling neerslag	Bron
9	Afstroming hemelwater verhard oppervlak	Bron
10	Sedimentatie en resuspensie inundatievlakken	Put
11	Lokale grondwaterstroming	Bron
	Grondwater vanuit Umicore	Bron
14	Fytoremediatie – vegetatie wateroever	Put
17	Sedimentatie en resuspensie waterbodems	Berging
19	Kunstwerken	Put
20	Aanvoer opgeloste stoffen	Bron
21	Afvoer opgeloste stoffen	Put
22	Aanvoer fijne zwevende stoffen	Bron
23	Afvoer fijne zwevende stoffen	Put
24	Aanvoer grove zwevende / salterende stoffen	Bron
25	Afvoer grove zwevende /salterende stoffen	Put

Bij de kwantificering van bouwsteen 10 werd enkel rekening gehouden met sedimentatie. Vanuit het standpunt van de waterloop vormt deze sedimentatie een put. Indien ook resuspensie in rekening gebracht zou worden, dan zou deze bouwsteen beter als berging behandeld worden.

Een gelijkaardige redenering werd toegepast op bouwsteen 19. Bij de kwantificering werd enkel rekening gehouden met de bezinking in zand- en slibvangen. Als we veronderstellen dat het bezonken materiaal nooit meer opgewoeld wordt, dan vormen deze kunstwerken een put. Indien er toch opwoeling mogelijk is, dan is er eerder sprake van berging.

De afvoer van opgeloste, fijne of grove stoffen (bouwstenen 21, 23 en 25) vanuit een subsysteem werd berekend op basis van de gemiddelde eigenschappen van de waterlopen in het subsysteem en de totale cumulatieve waterafvoer vanuit het subsysteem.

De aanvoer van opgeloste, fijne of grove stoffen (bouwstenen 20, 22 en 24) naar een subsysteem werd gelijkgesteld aan de som van de afvoer vanuit één of meerdere verder opwaarts gelegen subsystemen.

De afwaartse randen van het studiegebied worden gevormd door de slibvang “De Klotputten” op de Dommel en de slibvang “De Vleut” op de Tongelreep-Warmbeek. De impact van beide slibvangen werd mee begroot in bouwsteen 19.



### 7.1.3 Balansen

Op basis van de geselecteerde bouwstenen werd voor elk subsysteem een balans voor zink en een balans voor cadmium opgesteld. Deze balansen zijn vervolgens gesommeerd tot totaalbalansen voor de volgende systemen:

- Tongelreep-Warmbeek (T1 t.e.m. T7)
- Beekloop-Keersop (K1 t.e.m. K5)
- Dommel zonder Keersop (D1 t.e.m. D10)
- Dommel met Beekloop-Keersop (D1 t.e.m. D10 en K1 t.e.m. K5).

Voor de opwaarts en zijdelings gelegen subsystemen (D2, D6, D8, D10, T7, K3 en K5) is er geen aanvoer van opgeloste stoffen, fijne of grove deeltjes. De bouwstenen 20, 22 en 24 zijn dan ook niet van toepassing op deze subsystemen.

De afvoer van grove deeltjes (bouwsteen 25) werd voor de meeste subsystemen berekend aan de hand van de eigenschappen van de hoofdwaterloop in het subsysteem. De opwaarts en zijdelings gelegen subsystemen (D2, D6, D8, D10, T7, K3 en K5) bevatten evenwel geen hoofdwaterlopen, zodat een dergelijke berekening niet mogelijk was. Voor deze subsystemen werd de afvoer van grove deeltjes gelijkgesteld aan het netto verlies van waterbodem (bouwsteen 17).

De berekende afvoer van opgeloste stoffen, fijne en grove deeltjes vanuit de meest afwaartse subsystemen (D1 en T1) is gebaseerd op de eigenschappen van Dommel en Tongelreep-Warmbeek opwaarts van de slibvangen "De Klotputten" en "De Vleut". Na heraanleg van deze slibvangen is het vangstrendement voor grove en fijne deeltjes zeer hoog. De netto afvoer afwaarts van de slibvangen bestaat dus bijna uitsluitend uit de afvoer van opgeloste stoffen (bouwsteen 21).

### 7.1.4 Sluitfout

Indien alle bronnen, putten en bergingstermen volledig gekend en perfect gekwantificeerd zijn, dan kan voor elk (sub)systeem en voor elke stof een sluitende balans opgesteld worden. Daarbij geldt dat de som ( $\Sigma$ ) van alle bronnen verminderd met de som van alle putten gelijk is aan de verandering ( $\Delta$ ) van de berging:

$$\Sigma \text{ bronnen} - \Sigma \text{ putten} = \Delta \text{ berging}$$

In werkelijkheid zijn niet alle bronnen, putten en bergingstermen in rekening gebracht en gebeurde de kwantificering op substeemniveau waardoor veel lokale invloeden verwaarloosd zijn. Het gevolg hiervan is dat de balansen niet meer volledig sluitend zijn. De ernst van de afwijkingen kan geëvalueerd worden door de sluitfout te berekenen:

$$\text{Sluitfout} = \Sigma \text{ bronnen} - \Sigma \text{ putten} - \Delta \text{ berging}$$

Alle beeksystemen zijn erosief van karakter en de  $\Delta$  berging kan derhalve voor een meerjarige stoffenbalans gelijk aan nul worden verondersteld. Zonder aanvoer van stoffen van buitenaf en een volledig correcte berekening van de bronnen en putten zou de sluitfout gelijk aan nul moeten zijn. Hiermee kan de balansvergelijking geschreven kan worden als:

$$\Sigma \text{ bronnen} = \Sigma \text{ putten} \quad \Rightarrow \text{bij sluitfout} = 0$$

Bij het maken van onderscheid tussen de putten ten gevolge van berging en het transport ontstaat dan de volgende vergelijking:

$$\Sigma \text{ bronnen} - \Sigma \text{ putten} = \Sigma \text{ transport} \quad \Rightarrow \text{bij sluitfout} = 0$$

Indien een sluitfout aanwezig is, dan wijst dit er op dat een belangrijke bron, put of bergingsterm over het hoofd gezien werd of dat de kwantificering van een (aantal) bouwstenen onvoldoende nauwkeurig is.

## 7.2 Stoffenbalans Zink

### 7.2.1 Tongelreep-Warmbeek

De zinkbalans voor het volledige bekken van Tongelreep-Warmbeek wordt getoond in Tabel 29. Voor de vrachten per subsysteem wordt verwezen naar de gedetailleerde tabel in bijlage 2.

Tabel 29: Zinkbalans Tongelreep-Warmbeek (kg/jaar)

Bouwsteen	Tongelreep
Directe bronnen	
2 Directe lozingen Umicore	0
3 Overige directe lozingen (RWZI)	505
5 Afzet stoffen op verhard oppervlak landelijk gebied	48
6 Atmosferische depositie	4
Indirecte bronnen / berging	
7 Afspoeling neerslag van onverhard oppervlak	4
9 Afstroming hemelwater stedelijk verhard oppervlak+overstort	282
10 Sedimentatie en resuspensie op inundatievlakken	-40
11 Lokale grondwaterstroming	1542
Grondwater vanuit Umicore	0
14 Fytoremediatie - vegetatie wateroever	-29
17 Sedimentatie en resuspensie waterbodems	565
Totaal bronnen	2881
Transport	
21 Opgeloste stoffen afvoer	-1069
23 Fijn zwevende stof afvoer	-535
25 Grof zwevend/salterend stof afvoer	-219
Totaal transport	-1823

De sluitfout in de stoffenbalans voor de Tongelreep-Warmbeek bedraagt 1048 kg per jaar.

De aanvoer van opgeloste stoffen, fijne en grove stoffen bedraagt nul voor het volledige stroombekken van de Tongelreep-Warmbeek. Dit is het gevolg van de veronderstelling dat er geen toevoer is van oppervlaktewater vanuit naburige bekkens. In werkelijkheid is er wel een beperkte instroom vanuit het kanaal Bocholt-Herentals.

### 7.2.2 Beekloop-Keersop

De zinkbalans voor het volledige bekken van de Beekloop-Keersop wordt getoond in Tabel 30. Voor de vrachten per subsysteem wordt verwezen naar de gedetailleerde tabel in bijlage 2.

Tabel 30: Zinkbalans Beekloop-Keersop

Bouwsteen	Keersop
Directe bronnen	
2 Directe lozingen Umicore	0
3 Overige directe lozingen (RWZI)	0
5 Afzet stoffen op verhard oppervlak landelijk gebied	14
6 Atmosferische depositie	3
Indirecte bronnen / berging	
7 Afspoeling neerslag van onverhard oppervlak	8
9 Afstroming hemelwater stedelijk verhard oppervlak+overstort	141
10 Sedimentatie en resuspensie op inundatievlakken	-21
11 Lokale grondwaterstroming	1685
Grondwater vanuit Umicore	0
14 Fytoremediatie - vegetatie wateroever	-6
17 Sedimentatie en resuspensie waterbodems	212
Totaal bronnen	2034
Transport	
21 Opgeloste stoffen afvoer	-1677
23 Fijn zwevende stof afvoer	-838
25 Grof zwevend/salterend stof afvoer	-166
Totaal transport	-2681

De sluitfout in de zinkbalans voor de Beekloop-Keersop is 647 kg per jaar.

De aanvoer van opgeloste stoffen, fijne en grove stoffen bedraagt nul voor het volledige stroombekken van de Beekloop-Keersop. Dit is het gevolg van de veronderstelling dat er geen toevoer is van oppervlaktewater vanuit naburige bekkens. In werkelijkheid is er wel een beperkte instroom vanuit het kanaal Bocholt-Herentals.

De afvoer van opgeloste, fijne en grove stoffen stemt overeen met de doorvoer naar de Dommel.

### 7.2.3 Dommel

De zinkbalans voor het bekken van de Dommel (exclusief Beekloop-Keersop) wordt getoond in tabel 31. Voor de vrachten per subsysteem wordt verwezen naar de gedetailleerde tabel in bijlage 2.

Tabel 31: Zinkbalans Dommel (zonder Beekloop-Keersop)(kg/jaar)

Bouwsteen	Dommel
Directe bronnen	
2 Directe lozingen Umicore	1771
3 Overige directe lozingen (RWZI)	2666
5 Afzet stoffen op verhard oppervlak landelijk gebied	61
6 Atmosferische depositie	6
Indirecte bronnen / berging	
7 Afspoeling neerslag van onverhard oppervlak	27
9 Afstroming hemelwater stedelijk verhard oppervlak+overstort	491
10 Sedimentatie en resuspensie op inundatievlakken	-1000
11 Lokale grondwaterstroming	3217
Grondwater vanuit Umicore	4530
14 Fytoremediatie - vegetatie wateroever	-14
17 Sedimentatie en resuspensie waterbodems	2542
Totaal bronnen	14296
Transport	
21 Opgeloste stoffen afvoer	-12244
23 Fijn zwevende stof afvoer	-6122
25 Grof zwevend/salterend stof afvoer	-3062
Totaal transport	-21428

De sluitfout in de zinkbalans voor de Dommel is 7132 kg per jaar.

Voor het bekken van de Dommel, zonder de Beekloop-Keersop, is de aanvoer van opgeloste stoffen, fijne en grove stoffen gelijk aan de afvoer uit het stroombekken van de Beekloop-Keersop. Voor het volledige stroombekken van de Dommel, inclusief Beekloop-Keersop bedraagt de aanvoer nul. Dit is opnieuw het gevolg van de veronderstelling dat er geen toevoer is van oppervlaktewater vanuit naburige bekkens. In werkelijkheid is er wel een beperkte instroom vanuit het kanaal Bocholt-Herentals.

## 7.3 Stoffenbalans Cadmium

### 7.3.1 Tongelreep-Warmbeek

De cadmiumbalans voor het volledige bekken van Tongelreep-Warmbeek wordt getoond in tabel 32. Voor de vrachten per subsysteem wordt verwezen naar de gedetailleerde tabel in bijlage 2.

Tabel 32: Cadmiumbalans Tongelreep-Warmbeek (kg/jaar)

Bouwsteen	Tongelreep
Directe bronnen	
2 Directe lozingen Umicore	0,0
3 Overige directe lozingen (RWZI)	0,0
5 Afzet stoffen op verhard oppervlak landelijk gebied	0,0
6 Atmosferische depositie	0,0
Indirecte bronnen / berging	
7 Afspoeling neerslag van onverhard oppervlak	0,1
9 Afstroming hemelwater stedelijk verhard oppervlak+overstort	0,2
10 Sedimentatie en resuspensie op inundatievlakken	-1,3
11 Lokale grondwaterstroming	9,9
Grondwater vanuit Umicore	0,0
14 Fytoremediatie - vegetatie wateroever	-0,1
17 Sedimentatie en resuspensie waterbodems	8,4
Totaal bronnen	17,2
Transport	
21 Opgeloste stoffen afvoer	-8,7
23 Fijn zwevende stof afvoer	-4,4
25 Grof zwevend/salterend stof afvoer	-3,3
Totaal transport	-16,4

De sluitfout van de cadmiumbalans voor de Tongelreep-Warmbeek bedraagt 0,8 kg per jaar. Hiermee lijkt een goed sluitende balans beschikbaar te zijn.

De veronderstellingen met betrekking tot de aan- en afvoer van opgeloste, fijne en grove stoffen zijn dezelfde als voor Zink (zie 7.2.1)

### 7.3.2 Beekloop-Keersop

De cadmiumbalans voor het volledige bekken van de Beekloop-Keersop wordt getoond in tabel 33. Voor de vrachten per subsysteem wordt verwezen naar de gedetailleerde tabel in bijlage 2.

Tabel 33: Cadmiumbalans Beekloop-Keersop (kg/jaar)

Bouwsteen	Keersop
Directe bronnen	
2 Directe lozingen Umicore	0,0
3 Overige directe lozingen (RWZI)	0,0
5 Afzet stoffen op verhard oppervlak landelijk gebied	0,0
6 Atmosferische depositie	0,0
Indirecte bronnen / berging	
7 Afspoeling neerslag van onverhard oppervlak	0,1
9 Afstroming hemelwater stedelijk verhard oppervlak+overstort	0,1
10 Sedimentatie en resuspensie op inundatievlakken	-0,4
11 Lokale grondwaterstroming	13,2
Grondwater vanuit Umicore	0,0
14 Fytoremediatie - vegetatie wateroever	0,0
17 Sedimentatie en resuspensie waterbodems	4,2
Totaal bronnen	17,2
Transport	
21 Opgeloste stoffen afvoer	-8,5
23 Fijn zwevende stof afvoer	-4,3
25 Grof zwevend/salterend stof afvoer	-3,3
Totaal transport	-16,1

De luitfout in de cadmiumbalans voor de Beekloop-Keersop is 1,1 kg per jaar, waarmee deze goed lijkt te sluiten.

De veronderstellingen met betrekking tot de aan- en afvoer van opgeloste, fijne en grove stoffen zijn dezelfde als voor Zink (zie 7.2.1).

### 7.3.3 Dommel

De cadmiumbalans voor het bekken van de Dommel (exclusief Beekloop-Keersop) wordt getoond in tabel 34. Voor de vrachten per subsysteem wordt verwezen naar de gedetailleerde tabel in bijlage 2.

Tabel 34: Cadmiumbalans Dommel (zonder Beekloop-Keersop)(kg/jaar)

Bouwsteen	Dommel
Directe bronnen	
2 Directe lozingen Umicore	132,0
3 Overige directe lozingen (RWZI)	1,9
5 Afzet stoffen op verhard oppervlak landelijk gebied	0,0
6 Atmosferische depositie	0,0
Indirecte bronnen / berging	
7 Afspoeling neerslag van onverhard oppervlak	0,5
9 Afstroming hemelwater stedelijk verhard oppervlak+overstort	0,3
10 Sedimentatie en resuspensie op inundatievlakken	-25,2
11 Lokale grondwaterstroming	25,3
Grondwater vanuit Umicore	98,0
14 Fytoremediatie - vegetatie wateroever	-0,3
17 Sedimentatie en resuspensie waterbodems	73,9
Totaal bronnen	306,3
Transport	
21 Opgeloste stoffen afvoer	-268,0
23 Fijn zwevende stof afvoer	-134,0
25 Grof zwevend/salterend stof afvoer	-216,9
Totaal transport	-618,9

De sluitfout in de stoffenbalans voor cadmium in de Dommel is 312 kg per jaar.

De veronderstellingen met betrekking tot de aan- en afvoer van opgeloste, fijne en grove stoffen zijn dezelfde als voor Zink (zie 7.2.3).

## 7.4 Bespreking

Voor de drie beeksystemen zijn de sluitfouten voor de zinkbalans en de cadmiumbalans klein tot aanzienlijk. Een korte bespreking wordt hieronder gegeven.

- De cadmium balans voor de Keersop en de Tongelreep hebben een sluitfout van 5 respectievelijk 7 %. Hiermee sluiten de stoffenbalansen goed en lijken de in de balans opgenomen bouwstenen de processen en bronnen goed af te dekken.
- De zinkbalans voor de Tongelreep-Warmbeek geeft een sluitingsfout van 1058 kg of 37 % ten opzichte van de bronnen. Deze fout is groot en wordt verklaard vanuit een overschatting van de lokale grondwaterstromen de bodemerose in de beek. Voor de grondwaterkwaliteit si een gemiddelde waarde voor de zomer en de winter opgenomen voor de 3 beeksystemen. Ten noorden van Achel lijkt er nog maar weinig ondiep grondwater in de beek te stromen. Hierdoor lijkt de instroming van zink via het grondwater sterk overschat (ca. 50 – 60 % van de sluitfout). De rest van de sluitfout kan verklaard worden door overschatting van bouwsteen 17 door een betere kwaliteit van de waterbodem dan hier aangenomen.
- De Dommel, voor zink en cadmium, en de Keersop, voor zink, laten een grote sluitfout zien van 30% tot 50%. In alledrie de gevallen zijn de bronnen lager geschat dan het uitgaande transport. Dit kan het gevolg zijn van de gebruikte gegevens die beperkt zijn en het niet kunnen inschatten van de historische effecten. In de Dommel is waarschijnlijk sprake van onderschatting van de erosie, bouwsteen 17.

- Bij alle beeksystemen is het gedrag tijdens piekafvoeren onbekend. Niet duidelijk is of tijdens neerslag sprake is van een extra resuspensie van deeltjes waardoor een onderschatting van het stoftransport plaats vindt of juist een verdunning, dat leidt tot overschatting van het stoftransport. Gezien de stoffenbalansen voor de Dommel lijkt in de Dommel het laatste op te treden. Dit lijkt ook waarschijnlijk omdat Umicore een groot deel van de verontreiniging veroorzaakt. Deze bron neemt niet toe met neerslag zodat verdunning optreedt.

Een meer uitgebreide analyse van de water(bodem)kwaliteitsgegevens is opgenomen in het hoofdrapport.





## Bijlage 1

# Factsheets van de bouwstenen

## Bijlage 2

# Cadmium- en zinkvrachten per bouwsteen