

Rapport

Onderzoek kwel en waterkwaliteit de Zandmeren

projectnr. 182098
revisie 00
18 mei 2009

Opdrachtgever

Groen-planning Maastricht BV
Markt 10
6231 LS Meerssen

datum vrijgave

18 mei 2009

beschrijving revisie 00

goedkeuring

J. van Roestel

vrijgave

M. Berk

	Inhoud	Blz.
1	Inleiding	2
2	Uitgangspunten en methode van onderzoek	5
2.1	Peilen	5
2.2	Geohydrologische opbouw	6
2.3	Stromingssituatie	7
3	Kwel naar bemalingsgebied Alem	9
3.1	Huidige kwel naar het bemalingsgebied Alem	9
3.2	Kweltoename bij de aanleg van een nevengeul	9
3.3	Kweltoename bij weerdverlaging	11
4	Kwel Zandmeren naar bemalingsgebied Baanbreker	12
4.1	Huidige kwel naar bemalingsgebied Baanbreker	12
4.2	Huidige kwel vanuit de Zandmeren	12
4.3	Kweltoename in de aanlegfase	13
4.4	Kwelafname in de eindsituatie	14
5	Waterkwaliteit	16
6	Conclusies en aanbevelingen	20

1 Inleiding

Namens Niba Projecten bv is door het adviesbureau Groen-planning Maastricht BV opdracht verleend aan Ingenieursbureau Oranjewoud B.V. voor het verrichten van een hydrologisch onderzoek. Het onderzoek vindt plaats in het kader van het MER voor het planconcept 'Ruimte voor Maasdriel, de Zandmeren'. Het voorliggende rapport heeft betrekking op het plangebied de Zandmeren, dat onderstaand wordt beschreven.

Het plangebied de Zandmeren grenst aan de oost- en zuidzijde aan de Maas. Westelijk grenst het plangebied, van noord naar zuid, aan het schiereiland Alem (de primaire waterkering en de uiterwaarden van Middelwaard), Kerkdriel en de Boven-Drielsche Uiterwaard. Het schiereiland Alem wordt bijna geheel door de oude Maasarm in figuur 1.1 omgeven. De Boven-Drielsche Uiterwaard ligt ter hoogte van de meest zuidelijke plas van de Zandmeren.

Figuur 1.1 Ligging van het plangebied de Zandmeren



Het onderzoek richt zich op twee aspecten van het planconcept, namelijk de gevolgen voor de kwel naar de bemalingsgebieden bij hoge Maaswaterstanden en de waterkwaliteit in de Zandmeren.

Met betrekking tot de kwel kan onderscheid worden gemaakt in de effecten van de aanleg van een hoogwatergeul op het schiereiland Alem en de effecten van de herprofilering van de westoever van de Zandmeren. In het eerste geval betreft het de kwel naar het bemalingsgebied van het schiereiland Alem, in het tweede geval naar de polders westelijk van de Zandmeren. Overige maatregelen, gericht op de verbetering van de doorstroming vanaf de nevengeul door de Zandmeren naar de zuidkant van het plangebied waar weer een verbinding met de Maas wordt gemaakt, hebben geen invloed op deze kwelstroom.

Bij het onderzoek gaat het om de vaststelling van de wijziging in kwel bij hoge waterstanden van de Maas. De wijziging in kwel wordt berekend bij een $T=10$ hoogwatersituatie in de Maas, wat overeenkomt met een peil van NAP +4,80 m. Daarnaast wordt de te verwachten waterkwaliteit in de Zandmeren onderzocht.

Ten behoeve van de opstelling van het MER wordt inzicht gegeven in de effecten van de werken en mogelijke consequenties ten aanzien van te treffen mitigerende en compenserende maatregelen. De startnotitie (Groen-planning Maastricht bv, 26 april 2007) en het 'Advies voor richtlijnen voor het milieueffectrapport' (Commissie voor de milieueffectrapportage, 7 september 2007) worden als uitgangspunt voor dit onderzoek gehanteerd.

Het onderzoek naar de kwel is gebaseerd op eerder verricht kwelonderzoek in het aangrenzende gebied de Marensche Waard (Grontmij, 2 juli 2007). In dit onderzoek is een grondwatermodel opgezet waarmee de kwel ter plaatse van het schiereiland Alem en het effect van de zandwinning is berekend. De uitgangspunten van dit onderzoek zijn mede gebruikt als basis voor het huidige onderzoek. Daarnaast is gebruik gemaakt van de gegevens van peilbuizen en boringen in het gebied (gegevens opdrachtgever en Dinoloket). De in dit rapport genoemde peilbuizen zijn vermeld in figuur 1.2.



Figuur 1.2 Locatie van de in dit rapport genoemde peilbuizen

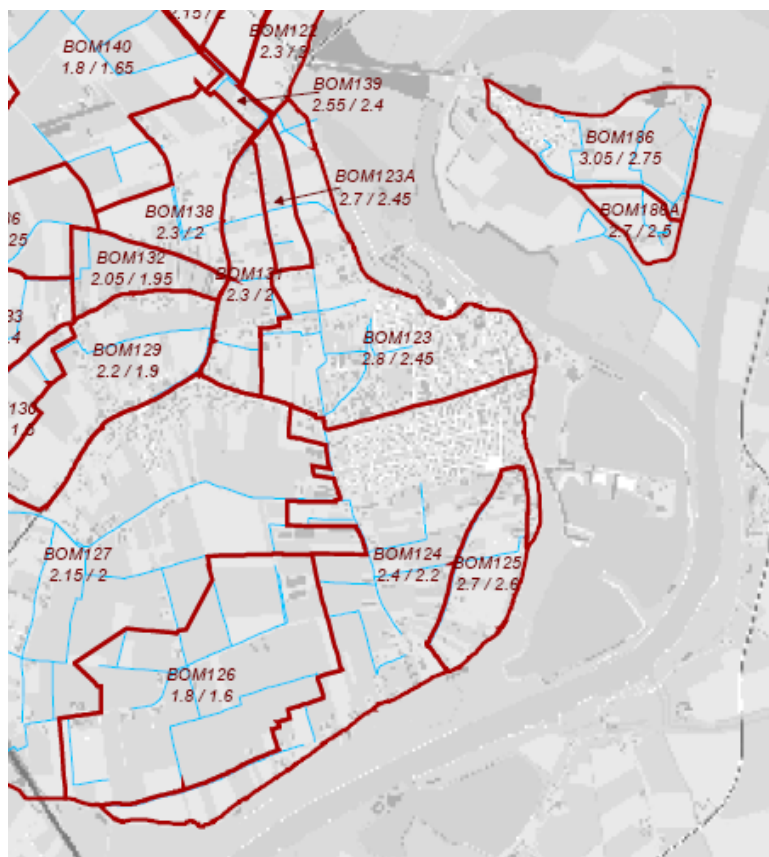
In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd. In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten en methode van onderzoek beschreven. In hoofdstuk 3 komt de kwel naar het bemalingsgebied Alem aan de orde. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de kwel van de zandmeren naar het bemalingsgebied Baanbreker. Hoofdstuk 5 heeft betrekking op de waterkwaliteit ter plaatse van de Zandmeren. Tot slot volgen in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen.

2 Uitgangspunten en methode van onderzoek

2.1 Peilen

De kwel van het plangebied naar de aangrenzende polders wordt berekend bij een $T = 10$ hoogwatersituatie, dat is een peil van NAP +4,80 m. Het waterschap geeft aan dat bij de inrichting van het plangebied de toename van kwel in de polders zoveel mogelijk beperkt dient te blijven. Gestreefd dient te worden naar bovengrens van de kweltoename in het bemalingsgebied van 1 %.

Voor de berekening van de kwel zijn de peilen in de aangrenzende polders van belang. Deze zijn in figuur 2.1 aangegeven.



Figuur 2.1: Peilenkaart aangrenzende polders plangebied (bron: Waterschap Rivierenland)

Voor het schiereiland met de plaats Alem (BOM 186 en BOM 186A) wordt voor de berekeningen uitgegaan van het winterpeil van NAP +2,50 m. Voor het gebied westelijk van de Zandmeren wordt uitgegaan van het winterpeil van NAP +2,2 m van BOM 124.

Voor de berekening is van belang dat het gaat om de berekening van de procentuele toename (of afname) van de kwel in de plansituatie ten opzichte van de huidige situatie, door het verwijderen of aan brengen van bodemlagen. De peilen en de peilverschillen in de huidige situatie en de plansituatie worden daarbij gelijk gehouden. Door het grote

peilverschil tussen Maas en polders heeft een kleine wijziging hierin weinig invloed op de kwelberekening.

2.2 Geohydrologische opbouw

De geohydrologische opbouw is ontleend aan de Grondwaterkaart van Nederland (DGV-TNO kaartblad 45 west, 1985) en boringen in het gebied (opdrachtgever en Dinoloket). Daarbij is tevens de informatie in het eerder genoemde onderzoek van de Marensche Waarden geraadpleegd. De geohydrologische schematisatie is in onderstaande figuur 2.2 weergegeven.



Figuur 2.2. Schematisatie van de geohydrologische opbouw bij het schiereiland Alem

In de uiterwaarden en de aangrenzende polders is het algemene beeld als volgt:

- aan maaiveld komt een deklaag van klei voor met een laagdikte die overwegend 3 tot 4 meter bedraagt. Plaatselijk wordt in boringen ook een dunnere kleilaag aangetroffen (zoals in de Middelwaard van minimaal 1,4 m) maar ook een dikkere kleilaag komt plaatselijk voor (zoals bij de zuiveringsinstallatie op het schiereiland van Alem, laagdikte 5,2 m).
- onder de deklaag ligt een watervoerend pakket, veelal bestaande uit grof zand, waarvan de laagdikte ongeveer 70 m bedraagt.

Op basis van deze gegevens kan worden gesteld dat de weerstand voor toestroming van grondwater naar de sloten vrij groot is. De sloten liggen namelijk met de bodem in de slecht doorlatende klei. In het onderzoek van de Marensche Waarden is de weerstand voor toestroming van grondwater naar de sloten op 250 dagen gesteld, wat realistisch is. Daarnaast heeft de deklaag van klei onder de sloten een verticale weerstand die in het onderzoek van de Marensche Waarden tot 100 à 110 dagen bedraagt. Een totale weerstand van de deklaag van (250+100=) 350 dagen is derhalve realistisch.

Het watervoerende vermogen of de transmissiviteit van het eerste watervoerende pakket (kD-waarde) mag gezien de samenstelling groot worden geacht. Bij een k-waarde van 50 m/dag en laagdikte of D-waarde van 70 m bedraagt de transmissiviteit (k*D=) 3.500 m²/dag, overeenkomstig het gehanteerde uitgangspunt bij het onderzoek voor de Marensche Waarden.

2.3 Stromingssituatie

De stijghoogten van het grondwater in het watervoerende pakket worden in belangrijke mate beïnvloed door de Maaspeilen. De gemiddelde peilen van de Maas ter plaatse van het plangebied kunnen worden bepaald op basis van de meetpunten Lith Dorp (ongeveer 8 km bovenstrooms) en Hedel (ruim 7 km benedenstrooms). De waterstand bij gemiddelde afvoer bedraagt in Lith Dorp NAP +1,05 m. In Hedel bedraagt de waterstand bij gemiddelde afvoer NAP +0,77 m. De gemiddelde waterstand ter plaatse van het plangebied bedraagt derhalve ongeveer NAP +0,91 m.

Deze rivierwaterstand ligt (aanzienlijk) dieper dan de polderpeilen in de aangrenzende gebieden. In de gemiddelde situatie is dan ook sprake van infiltratie van grondwater in de polders via het watervoerende pakket naar de Maas. Dit komt overeen met het eerder verrichte modelonderzoek van de Marensche Waarden, waarbij de stijghoogten van het grondwater gemiddeld genomen ca. 0,20 m hoger waren dan het rivierpeil. Er stroomt dus geïnfiltreerd water in de polder richting de Maas.

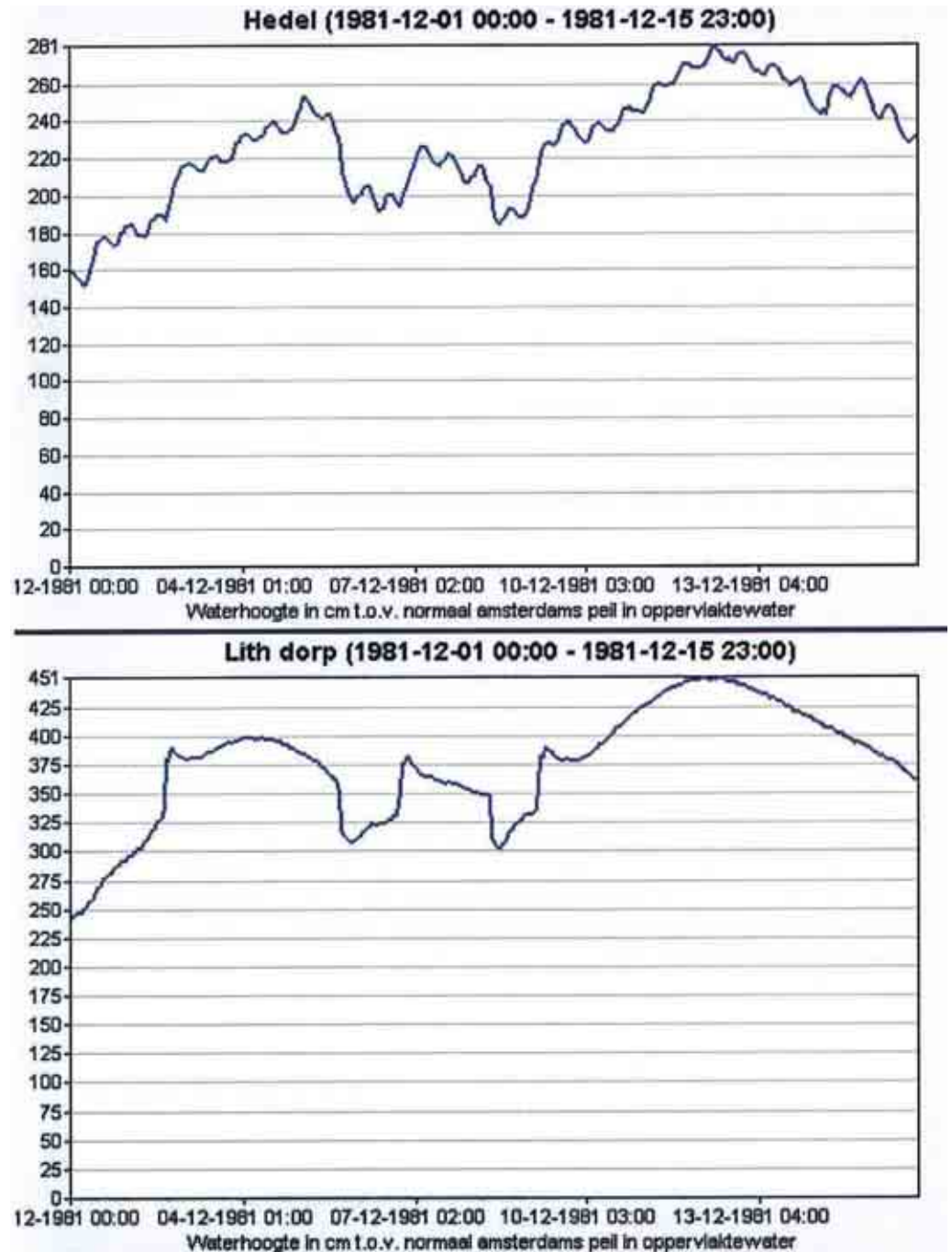
Bij hoge rivierwaterstanden is de situatie anders. In figuur 2.3 zijn voor een afvoergolf in de Maas (1 december 1981 tot en met 15 december 1981) de gemeten rivierpeilen aangegeven.

Voor 14 december 1981 is het mogelijk om voor het schiereiland Alem een vergelijking te maken tussen het rivierpeil en de grondwaterstijghoogten in een aantal peilbuizen op verschillende afstand van de Maas. In tabel 2.1 zijn de gegevens vermeld. Peilbuizen P 102 staat met de filter in het watervoerende pakket bij de zuiveringsinstallatie aan de oostkant, nabij de primaire waterkering langs de Maas. Peilbuis P101 (eveneens met diep filter) staat aan de oostkant van de plaats Alem. Peilbuis L101 staat met het filter in de deklaag, bij peilbuis P101.

Meetpunt	Maas	Peilbuis P102	Peilbuis P101	Peilbuis L101
Afstand tot de Maas	-	350 m	1.200 m	1.200 m
Waterstand m NAP	3.15-3.40	3.31	3.13	2.15

Tabel 2.1. Waterstand van de Maas en grondwaterstijghoogten op verschillende afstanden van de Maas

Het peil van de Maas fluctueerde op 14 december 2001 in het plangebied tussen NAP +3,15 m en NAP +3,40 m (interpolatie gegevens Lith Dorp en Hedel). De waargenomen stijghoogte van het grondwater in peilbuis P102 (het dichtst bij de Maas) komt hiermee overeen. De stromingsrichting van het grondwater is richting centrum polder gezien de afname in grondwaterstijghoogte met toenemende afstand tot de Maas (vergelijk P102 en P101). Daar de grondwaterstand in de deklaag (L101) lager is dan de stijghoogte in het watervoerende pakket is sprake van een opwaartse grondwaterstroming (kwel).



Figuur 2.3 Periode met hoogwater in december 1981, meetpunten Lith Dorp en Hedel

Het grondwatersysteem reageert vertraagd op peilwijzigingen in de Maas. De snelheid van de voortplanting van drukhoogten van de Maas naar peilbuis P101 bedraagt in de orde van grootte tot maximaal een halve dag. De onderlinge verhouding van het Maaspeil en de grondwater stijghoogten in tabel 2.1 is dan ook afhankelijk van het tijdstip van opname op 14 december 1981. Omdat de stijghoogten vertraagd maar wel vrij snel reageren op het Maaspeil kan voor de berekening van de kwelstroom een stationaire benadering worden gehanteerd.

3 Kwel naar bemalingsgebied Alem

3.1 Huidige kwel naar het bemalingsgebied Alem

De kwel naar het bemalingsgebied Alem bij hoog Maaspeil is in eerste instantie berekend middels een driedimensionale analytische modelbenadering, waarbij de polder van Alem wordt geschematiseerd tot een cirkelvormig gebied waarnaar het water van de Maas bij hoge waterstanden naar toe stroomt. De oppervlakte van de polder is daarbij gelijk gesteld aan de oppervlakte van het cirkelvormige gebied in het model. De analytische modelopzet is geijkt aan het bestaande grondwatermodel, opgezet in Microfem, van de Marensche Waarden.

In ons model en het bestaande grondwatermodel wordt onderscheid gemaakt in de deklaag met sloten en in het watervoerende pakket. De deklaag heeft een weerstand van 350 dagen en het watervoerende pakket heeft een kD -waarde van $3500 \text{ m}^2/\text{dag}$ (zie hoofdstuk 2). De kwel naar het schiereiland van Alem is berekend bij een peilverschil tussen de rivier de Maas en de polder van 2,0 meter. De berekende kwel van $4500 \text{ m}^3/\text{dag}$ naar de peilgebieden bij Alem komt overeen met de kwel die eerder met Microfem in het kader van het project Marensche Waarden is bepaald. Dit houdt in dat gemiddeld genomen $1 \text{ m}^3/\text{dag}$ kwelwater per meter randlengte van de dijk onder de dijk doorstroomt.

Het debiet onder de dijken door is echter niet overal gelijk. Bij de plaats Alem aan de westkant, waar de dijken aan weerszijden dicht bij elkaar liggen, zorgt de interferentie van kwelstromen onder de polder voor een lager debiet per meter randlengte onder de dijk. Daarnaast kan slib op de bodem van de Maasarmen hier zorgen voor een lager debiet naar de polder. Voor de oostkant van de polder Alem, bij de geplande nevengeul, is een debiet van $1,54 \text{ m}^3/\text{dag}$ per meter randlengte van de dijk bepaald als een 'worst-case' cijfer voor de kwelstroom onder de dijk. Hierbij is rekening gehouden met een peilverschil van 2,3 m omdat nu de kwel naar het laagste peilgebied wordt beschouwd. Dit cijfer wordt gebruikt als uitgangspunt voor de tweedimensionale analytische berekening in de volgende paragraaf.

3.2 Kweltoename bij de aanleg van een nevengeul

Aanlegfase

Om de situatie bij aanleg van de nevengeul nauwkeuriger in beeld te brengen is de kweltoename berekend met een tweedimensionaal analytisch model. De berekening heeft plaatsgevonden in een raai van de rivier, over de uiterwaarden en de dijk de polder in. Het peilverschil tussen de rivier en de polder bedraagt 2,3 meter. De volgende modelparameters zijn ingevoerd:

- Bodemweerstand van de Maas 0,1 dag
- Weerstand deklaag in de uiterwaarden 350 dagen
- De dijk is ondoorlatend (onder de dijk blijft het debiet gelijk)
- Weerstand van de deklaag in de polder 350 dagen
- De kD -waarde van het watervoerende pakket bedraagt $3500 \text{ m}^2/\text{dag}$

Het model is daarbij voor de huidige situatie geijkt aan het debiet van $1,54 \text{ m}^3/\text{dag}$ per meter randlengte dat in het vorige hoofdstuk is berekend.

Figuur 3.1 Ligging van de hoogwatergeul



De situering van de nevengeul of hoogwatergeul is aangegeven op figuur 3.1. De maximale diepte van de ontgraving bedraagt ca. 15 m beneden stuwpeil. Op de groene ondergrond sluit de pijl aan op de insteek van de geul. Na ontgraving wordt de nevengeul aangevuld met slecht doorlatende grond. Onderaan de geul is een plas (blauw) met een eilandje (groen) getekend waar geen aanvulling plaatsvindt. Voor meer informatie wordt verwezen naar het hoofdrapport van de MER.

De uiterwaard heeft in de huidige situatie een breedte van ongeveer 260 m. De nevengeul nadert de primaire waterkering tot op ongeveer 60 m waardoor de breedte van de uiterwaard met 200 m afneemt. In de tijdelijke situatie is de deklaag ter plaatse van de nevengeul weggehaald en kan het Maaswater bij hoge waterstanden volop infiltreren in het watervoerende pakket. Met het grondwatermodel is een kweltoename van 1,54 tot 1,79 m³/dag per meter randlengte van de dijk berekend. Dat is een toename met 0,25 m³/dag per meter randlengte. Bij een effectieve lengte van de nevengeul van 1.000 m (de plas in de zuidelijke punt op 500 m afstand van het bemalingsgebied draagt niet noemenswaardig bij aan de kwel) bedraagt de toename van de kwel 250 m³/dag.

Overeenkomstig het eerder verrichte onderzoek ten behoeve van de ontgraving Marense Waarden wordt hier en in het vervolg de toename van de kwel ten opzichte van de kwel naar het bemalingsgebied berekend. Ten opzichte van de huidige kwel van 4500 m³/dag naar het bemalingsgebied bedraagt de toename 5,6 %. Het betreft hier een tijdelijke situatie, die om die reden wellicht is toegestaan. De toename van de kwel, berekend over alleen de lengte van de nevengeul van 1.000 m, is 16 %.

De kwel kan in de tijdelijke situatie worden gereduceerd door het deel van de nevengeul dat op diepte is gebracht aan te vullen waarbij de bodem van het deel waar wordt ontgraven open ligt. Stel dat de bodem over een lengte van 200 m open lengte ligt, dan wordt hierdoor 1 % toename van kwel bij het maatgevende hoge Maaspeil veroorzaakt. In hoeverre het aangevulde deel zorgt voor een toename van de kwel is afhankelijk van de aangebrachte weerstand. Bij het terugbrengen van de oorspronkelijke weerstand van 350 dagen is van een toename van kwel bij deze aanvulling geen sprake.

Als aan het eind van de ontgraving een lengte van de geul van 100 m open ligt bedraagt de toename van de kwel bij benadering 0,7 %. Om de kwel tot maximaal 1 % te beperken dient in het resterende deel van de geul een weerstand van 100 dagen te zijn

aangebracht. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op de relatie tussen de weerstand en de laagdikte van het aan te brengen slecht doorlatende materiaal.

Eindsituatie

Zoals hiervoor vermeld bedraagt de huidige kwel naar het bemalingsgebied $4500 \text{ m}^3/\text{dag}$. De toename van de kwel over de lengte van een open nevengeul van 1.000 m bedraagt $250 \text{ m}^3/\text{dag}$. Dat is een toename van $5,6 \%$ ten opzichte van de huidige kwel naar het bemalingsgebied. Om te voldoen aan de 1% norm dient in de eindsituatie de toename van de kwel te worden terug gebracht tot $(0,01 \times 4500 =) 45 \text{ m}^3/\text{dag}$ of $0,045 \text{ m}^3/\text{dag}$ per m randlengte onder de dijk. Navolgend is met het tweedimensionale model berekend welke weerstand in de nevengeul aangebracht dient te worden om de kweltoename tot deze hoeveelheid terug te brengen. Per m dijk lengte mag de kwel dan $1,585 \text{ m}^3$ per m dijk lengte bedragen.

Om de kwel te beperken tot $1,585 \text{ m}^3$ per m dijk lengte dient slecht doorlatend materiaal met een weerstand van $c=60$ dagen aangebracht te worden. De laagdikte van de aan te brengen laag varieert met de doorlatendheid. Bij een minimale doorlatendheid van klei of zavel van $k=0,01 \text{ m}/\text{dag}$ dient een laagdikte van $d=0,6 \text{ m}$ te worden aangebracht ($d/k=0,6/0,01=60$ dagen). Bij een maximale doorlatendheid van $0,05 \text{ m}/\text{dag}$ dient $3,0 \text{ m}$ klei of zavel te worden aangebracht.

In aansluiting op paragraaf 3.2 (de tijdelijke situatie) kan het van belang zijn om de kweltoename te beperken tot $0,5 \%$. Dat betekent dat de kwel $1,548 \text{ m}^3$ per dag per m dijk lengte bedraagt. Om dit te bereiken dient een weerstand van 100 dagen in de nevengeul aangebracht te worden. Afhankelijk van de doorlatendheid van het materiaal (zie de vorige alinea) bedraagt de aan te brengen laagdikte slecht doorlatend materiaal $1,0 \text{ m}$ tot 5 m .

Afhankelijk van het beschikbare materiaal en de doorlatendheid kan de aangebrachte weerstand in de nevengeul worden bepaald. Omdat in de nevengeul veel slecht doorlatend materiaal wordt aangebracht vormt de beperking van de toename van de kwel naar verwachting geen probleem.

3.3 Kweltoename bij weerdverlaging

Bij de aanleg van een nevengeul wordt de deklaag ter plaatse geheel verwijderd en daarna (gedeeltelijk) teruggebracht. Een alternatief hiervoor is weerdverlaging. Bij weerdverlaging wordt slechts de bovenlaag van de deklaag in de uiterwaarden verwijderd. Het resterende deel van de deklaag beperkt de toename van de kwel in de polder.

In de huidige situatie is de weerstand van de deklaag geijkt op 350 dagen. In paragraaf 3.2 is berekend dat de weerstand van de deklaag minimaal 60 dagen dient te bedragen. Dat is ruim $1/6$ deel van de huidige weerstand. Als de weerstand gelijkmatig over de diepte is verdeeld mag bijna $5/6$ van de huidige laagdikte worden verwijderd.

De laagdikte van de deklaag bedraagt volgens drie boringen verspreid over het gebied tenminste 4 meter. Bij deze laagdikte zou ca. 70 m deklaag achter moeten blijven. Daar de weerstanden niet evenredig verdeeld hoeven te zijn is 1 meter laagdikte die minimaal achter dient te blijven een redelijke waarde.

4 Kwel Zandmeren naar bemalingsgebied Baanbreker

4.1 Huidige kwel naar bemalingsgebied Baanbreker

Overeenkomstig de ontgroning Marensche Waarden wordt de mogelijke toename van de kwel bij de Zandmeren vergeleken met de huidige kwel naar het bemalingsgebied, in dit geval De Baanbreker. De randlengte van het bemalingsgebied De Baanbreker met de rivieren bedraagt ca. 22 km. Bij een T = 10 hoogwatersituatie bedraagt het peil aan de oostkant bij Kerkdriel NAP +4,80 m. Naar het westen wordt het peil lager. Zo is het hoogwaterpeil T = 10 bij Hedel NAP +3,70 m en nog meer westelijk bij het gemaal de Baanbreker zelf ca. NAP +2,70 m.

De kwel wordt ook bepaald door het peilverschil met de polders binnen het bemalingsgebied Baanbreker. Deze polderpeilen variëren in grote lijnen tussen NAP +2,50 m en NAP +1,00 m. Aan de oostkant van het bemalingsgebied komen de hoogste polderpeilen voor. Gemiddeld genomen bedraagt het peilverschil tussen de rivieren en de aangrenzende polders bij T = 10 ca. 2,1 m. Deze waarde wordt als uitgangspunt genomen voor de berekening van de kwel. Overige uitgangspunten zijn:

- Bodemweerstand van de rivier is 1 dag
- kD-waarde watervoerende pakket bedraagt 3500 m²/dag
- De breedte van de uiterwaarden varieert sterk en is gemiddeld ca. 300 m
- Bodemweerstand van de uiterwaarden bedraagt gemiddeld 200 dagen
- Weerstand van de toplaag in de polders bedraagt gemiddeld 200 dagen

De bodemweerstand van de uiterwaarden en de weerstand van de toplaag in de polders is bepaald door een vergelijking met de bodem en geijkte weerstanden bij de polder Alem en bij de Zandmeren (zie ook paragraaf 4.2). Zowel bij Alem als bij de Zandmeren is de laagdikte van de deklaag met klei en/of veen relatief groot en de geijkte weerstand van de toplaag dus ook. Elders komen plaatselijk ondieper bijvoorbeeld zandbanen voor. Op basis van deze uitgangspunten en de modelijkingen bij Alem en de Zandmeren kan de kwel naar het bemalingsgebied Baanbreker met een tweedimensionaal model worden berekend op gemiddeld 6,1 m³ per dag per meter randlengte van de dijk. De randlengte van het bemalingsgebied De Baanbreker met de rivieren bedraagt ca. 22 km. Bij een kwel van 6,1 m³ per meter randlengte bedraagt de totale kwel naar het bemalingsgebied bij een hoogwaterpeil T = 10 dus ca. 134*10³ m³ per dag.

4.2 Huidige kwel vanuit de Zandmeren

Voor de Zandmeren is de kwel eveneens met een tweedimensionaal model berekend. Het model is geijkt aan peilbuis BP0103 op ca. 700 m van de primaire waterkering. Op 14 februari 1984 werd in deze peilbuis een waterstand NAP +3,13 m gemeten terwijl het Maaspeil op ca. NAP +4,60 m stond en het polderpeil ca. NAP +2,20 bedroeg. Het peilverschil was derhalve 2,40 m. De volgende modelparameters zijn bekend:

- Weerstand deklaag in de uiterwaarden 350 dagen (vergelijkbaar met Alem)
- De breedte van de uiterwaarden is gemiddeld 220 m
- De kD-waarde van het watervoerende pakket bedraagt 3500 m²/dag

Vervolgens is de bodemweerstand van de Zandmeren geijkt op 10 dagen en de bodemweerstand van de polder (weerstand van de slecht doorlatende deklaag met de

watergangen) op 260 dagen. Daarmee is ter plaatse van peilbuis BP0103 een stijghoogte van het grondwater berekend die 0,93 m hoger is dan het polderpeil van NAP +2,20 m, of NAP +3,13 m bedraagt. Het debiet onder de dijk door bedraagt daarmee $6,11 \text{ m}^3$ per dag per meter randlengte van de dijk. De bodemweerstand van de Zandmeren is groter dan van de rivier. Dit kan worden verklaard uit de situatie bij de Zandmeren waarbij het water vrijwel stil staat en zich een weerstandbiedende laag tegen infiltratie op de bodem kan vormen.

De maatgevende situatie bij de Zandmeren is een peilverschil van 2,60 m tussen de rivier en het polderpeil (NAP -4,80 m – NAP -2,20 m). De kwel bij deze maatgevende situatie bedraagt volgens de berekening met het geijkte model $6,62 \text{ m}^3$ per meter randlengte van de dijk.

4.3 Kweltoename in de aanlegfase

In de tijdelijke situatie is de kwel vanuit de Zandmeren landinwaarts het grootst omdat de breedte van de uiterwaard vermindert en de bodemweerstand van de Zandmeren sterk wordt terug gebracht.

In de noordelijke plas bij Kerkdriel, met de jachthaven, bedraagt de totale breedte van de uiterwaarden 220 m aan de zuidkant tot 340 m aan de noordkant. Aan de zuidkant wordt de uiterwaard tot 30 m van de dijk afgegraven. Aan de noordkant tot 80 m van de dijk. De breedte waarover wordt ontgraven varieert dus tussen 190 m en 260 m. De wijziging in kwel is in dit geval als volgt:

- bij het terugbrengen van de breedte van de uiterwaarden van 220 m tot 80 m en het verwijderen van de intreeweerstand wordt de kwel vergroot van $6,62 \text{ m}^3$ tot $8,41 \text{ m}^3$ per meter randlengte
- bij het terugbrengen van de breedte van de uiterwaarden van 340 m tot 80 m en het verwijderen van de intreeweerstand wordt de kwel vergroot van $6,16 \text{ m}^3$ tot $8,41 \text{ m}^3$ per meter randlengte

De gemiddelde toename van de kwel over een lengte van 700 m langs het Maasfront ligt dus tussen $(8,41-6,62=) 1,79 \text{ m}^3$ en $(8,41-6,16=) 2,25 \text{ m}^3$ per meter randlengte. Gemiddeld is dit ca. $2,02 \text{ m}^3$ per meter randlengte toename van kwel of 1414 m^3 over de totale lengte van 700 meter.

Over de resterende lengte van 1.500 m langs de Zandmeren (de zuidwestelijke oeverzone) wordt de oever geherprofileerd waarbij gemiddeld genomen in de tijdelijke situatie over een lengte van 1 km de breedte van de uiterwaard wordt terug gebracht van gemiddeld 200 m tot 100 m. De intreeweerstand wordt hierbij tijdelijk sterk terug gebracht. Over de resterende lengte van 500 meter blijft de breedte van de uiterwaard hetzelfde (ongeveer 150 m) waarbij het wel mogelijk is dat de intreeweerstand door de werken aan de oever tijdelijk wordt verlaagd. De wijziging van de kwel wordt derhalve als volgt:

- over 1 km lengte wordt de kwel verhoogd van $6,71 \text{ m}^3$ tot $8,25 \text{ m}^3$ per meter randlengte
- over 500 meter wordt de kwel verhoogd van $6,93 \text{ m}^3$ tot $7,91 \text{ m}^3$ per meter randlengte

In de tijdelijke situatie is de toename van de kwel langs de zuidelijke plassen derhalve over 1000 meter $(1000*1,54=) 1.540 \text{ m}^3$ en over 500 meter $(500*0,98=) 490 \text{ m}^3$.

De toename van de kwel in de tijdelijke situatie is dus in totaal $(1414+1540+490=)$ 3444 m³. Ten opzichte van de berekende totale kwel van $134 \cdot 10^3$ m³ per dag naar het bemalingsgebied is dat ca. 2,6 % toename.

De huidige kwel over de totale lengte van de Zandmeren zelf (ca. 2200 meter) bedraagt $(350 \cdot 6,16 + 350 \cdot 6,62 + 1000 \cdot 6,71 + 500 \cdot 6,93=)$ ca. 14.648 m³ per dag. De toename van de kwel berekend over deze randlengte bedraagt derhalve ca. 23,5 %.

Figuur 4.1 Het gedeelte van de zuidwestelijke oeverzone waarvan de uiterwaard (grotendeels) in breedte wordt terug gebracht



In figuur 4.1 zijn de verschillende werken langs de Zandmeren aangegeven. In donkerblauw is aangegeven waar de oevers aan de westkant worden geherprofileerd en aangevuld. De zuidwestelijke oeverzone is daarbij omcirkeld. Noordelijk hiervan ligt bij Kerkdriel het Maasfront. De tot ondiepe plas te ontgronden uiterwaard (waterdiepte ca. 3 meter) is eveneens in donkerblauw aangegeven. Voor meer informatie wordt verwezen naar het hoofdrapport van de MER.

De extra kwel die bij de werken optreedt kan worden terug gebracht door een gefaseerde aanpak, waarbij tijdens de herprofilatie van oevers van de zuidelijke plassen de delen die klaar zijn alvast (gedeeltelijk) worden ingericht, met slecht doorlatend materiaal op de oevers waardoor veel minder kwel dan in de huidige situatie optreedt. Bij het aanbrengen van een weerstand van 100 dagen (die gezien de breedte van de aan te brengen deklaag eenvoudig wordt gehaald) neemt de kwel ten opzichte van de huidige situatie 1.69 m³ per meter randlengte af. Dat is meer dan de kwel toeneemt in de tijdelijke situatie gedurende de herprofilatie. De toename van de kwelstroom naar het bemalingsgebied blijft daarmee in de tijdelijke situatie eenvoudig beperkt tot minder dan 1%.

4.4 Kwelafname in de eindsituatie

In de eindsituatie zijn de oevers van de zuidelijke plas afgedekt met materiaal waarvan de weerstand tenminste 100 dagen bedraagt. De kwel neemt daarmee 1.69 m³ per meter randlengte af ten opzichte van de huidige situatie. Over 1500 m is dat 2535 m³.

De oevers bij het Maasfront Kerkdriel worden onbedekt gelaten. Stel dat hier de tijdelijke situatie blijft bestaan waarin de kwel bij een hoge Maaswaterstand van NAP +4,80 m met 1302 m³ over de totale randlengte van 700 m toeneemt. Netto neemt de kwel naar het bemalingsgebied dan af met $(2535-1302=)$ 1233 m³.

Concluderend kan worden gesteld dat de eindsituatie gunstiger wordt. De kwel naar het bemalingsgebied neemt 1233 m³ af. Dat is bijna 1 % van de kwel naar het bemalingsgebied.

5 Waterkwaliteit

Blauwalgen en factoren die de aanwezigheid beïnvloeden

Blauwalgen of cyanobacteriën horen bij de natuurlijke soortensamenstelling van algen in het water. In nutriëntenrijk water met een hoge temperatuur kan echter een overmatige groei van cyanobacteriën of algenbloei ontstaan. Deze treedt met name op tussen een watertemperatuur van 20 en 30 graden Celsius, waarbij veel cyanobacteriën een optimale groei vertonen. Vandaar dat deze algenbloei vaak optreedt in augustus, als de watertemperaturen het hoogst zijn opgelopen. Daarbij kunnen drijfslagen ontstaan die cyanotoxines vormen. De drijfslag kan zo dik worden dat de bacteriën op het water liggen en de cellen gaan rotten. Dit bezorgt stankoverlast. Sommige soorten produceren bij het afsterven giftige stoffen die schadelijk kunnen zijn voor mens en dier als ze via de mond binnenkomen. Dit risico is een reden om een zwemverbod uit te vaardigen.

Huidige voorkomen blauwalgen in de Zandmeren en oorzaken

In de huidige situatie is de waterkwaliteit in de Zandmeren goed en geschikt als zwemwater. Alleen aan het einde van langdurige warme droge perioden in het zomerhalfjaar is periodiek sprake van overlast van blauwalgen.

In het verleden bleken de kritische perioden in augustus te liggen:

- Op 6 augustus 2003 werd een kleine hoeveelheid blauwalg aangetroffen
- Van 19 tot 26 augustus 2004 werd een zwemverbod ingesteld
- Op 4 augustus 2005 werd blauwalg ontdekt
- Van 3 tot 11 augustus 2006 werd een zwemverbod ingesteld

De perioden met een zwemverbod vielen aan het einde van warme zomers waarbij de afvoeren van de Maas laag waren en de hoogste watertemperaturen werden bereikt.

De oorzaken van het voorkomen van de blauwalgen ligt in een combinatie van factoren. De temperatuur van het rivierwater en het water in de Zandmeren loopt in de voornoemde perioden op tot boven 20 graden Celsius. Het water in de Zandmeren is vrij voedselrijk (wat niet wil zeggen dat de waterkwaliteit slecht is) en de Zandmeren vormt in de huidige situatie in de zomer een vrijwel geïsoleerde plas met nauwelijks stroming. Van blauwalgen is bekend dat ze hoofdzakelijk voorkomen in redelijk voedselrijk water met weinig of geen stroming.

Maatregelen ter voorkoming van algenbloei en de vorming van drijfslagen

Vanwege de open verbinding met de Maas en de periodieke vrijwel complete menging van de plas met Maaswater bij hoge Maaswaterstanden is aan de voedselrijkdom van de plas weinig te doen. Gebruikelijke maatregelen bij geïsoleerde plassen die gericht zijn op vermindering van de nutriëntenbelasting zijn dan ook weinig effectief. Maatregelen die gericht zijn op Actief Biologisch Beheer zijn beperkt toepasbaar. Zo is visstandbeheer gezien de open verbinding met de Maas weinig zinvol. De inrichting van natuurvriendelijke natte oeverzones heeft wat betreft de waterkwaliteit alleen significant effect in plaatselijke beschut gelegen zones met stagnant water. Een groter belang van deze oeverzones ligt in de bijdrage aan de ecologische diversiteit van de plas.

In aansluiting op de huidige geplande maatregelen is het bevorderen van de doorstroming van de plas de effectiefste maatregel om bloei van blauwalgen en de vorming van drijfslagen te voorkomen. De doorstroming heeft als effect dat er minder kans is op ophoping van drijfslagen. Daarnaast heeft dit gunstige invloed op de watertemperatuur (er is meer menging met kouder water in de diepte) waardoor de temperatuur minder gunstig wordt voor de ontwikkeling van blauwalgen.

De doorstroming wordt op verschillende wijzen bevorderd.

- op de schaal van de Zandmeren als totaal wordt de doorstroming sterk bevorderd door de instroomopening aan de noordoostzijde (bij het schiereiland Alem) sterk te vergroten. Aan de zuidzijde van de Zandmeren wordt een uitstroomopening aangebracht (nu niet aanwezig) waardoor ook bij lage Maaspeilen een permanente doorstroming van de plas plaatsvindt. De doorstroming wordt aangedreven door de waterafvoer van de Maas zelf en de getijdenbeweging die zorgdraagt voor een dagelijkse fluctuatie van het waterpeil van ca. 30 cm.
- binnen de Zandmeren wordt de doorstroming bevorderd door de doorstroom opening oostelijk van het schiereiland met de Zandstraat te vergroten. Daarnaast wordt een meer zuidelijk gelegen geleidedam (gepositioneerd in de richting zuidoost-noordwest) verwijderd.
- het kleine meer dat onderdeel vormt van het waterfront Kerkdriel wordt aan drie zuiden verbonden met naastliggende wateren. Aan de noordkant middels een gracht van ca. 8 m breed met de oude maasarm aldaar. De oostkant krijgt een aanzienlijk bredere verbinding (ca. 20 m) met het grote meer. Aan de zuidkant wordt eveneens een doorstroom opening door het voornoemde schiereiland (met de Zandstraat) in zuidelijke richting aangebracht.

Uit hydraulische berekeningen (Achtergronddocument Rivierkunde, figuur 6.1) blijkt dat bij lage rivierafvoeren in de huidige situatie de stroomsnelheid bij getij (vrijwel) overal in de Zandmeren beneden $0,01 \text{ m}^3/\text{seconde}$ blijft. In de toekomst ligt de stroomsnelheid in vrijwel de gehele oostelijke helft van de plas boven $0,01 \text{ m}^3/\text{seconde}$. Ten opzichte van de huidige situatie nemen de stroomsnelheden in de Zandmeren aanzienlijk toe, waarvan door de aangebrachte waterverbindingen ook het kleine meer profiteert.

Het effect van doorstroming kan bij het Maasfront Kerkdriel worden bevorderd door een zodanige plaatsing van de (drijvende) woningen dat zo weinig mogelijk 'dode' hoeken ontstaan en de doorstroming van het kleine meer zo goed mogelijk wordt bevorderd. Door de objecten met de stroming mee te plaatsen kan vuil en blauwalg makkelijker wegstromen.

Vanwege de verbeterde doorstroming wordt verwacht dat de periodieke overlast van blauwalgen in een droog zomerhalfjaar grotendeels verdwijnt, waarbij het woord grotendeels verband houdt met de complexiteit van de betrokken aquatisch-ecologische processen. Er is op basis van de huidige kennis op dit gebied geen precieze voorspelling te doen.

Aanvullende maatregelen tegen blauwalgen

Aanvullende maatregelen komen alleen in aanmerking als na de herinrichting toch een ongewenste situatie van overlast van blauwalgen optreedt. Toe te passen maatregelen worden daarbij afgestemd op de locatie van voorkomen en de mate van overlast. In de huidige situatie zijn veel maatregelen nog experimenteel. Gezien de huidige belangstelling en het onderzoek naar deze problematiek mag worden verwacht dat bij het

gereed komen van de inrichtingsplannen voor de Zandmeren aanzienlijk meer bekend is over de toepasbaarheid van verschillende maatregelen onder verschillende omstandigheden.

Bij het plaatselijk in ongewenste mate voorkomen van blauwalgen kunnen maatregelen worden genomen als:

- Driehoeksmosselen die het water filteren en de blauwalg eruit halen
- Schermen om de stroming te geleiden, eventueel de blauwalg weg te houden
- Bevorderen van de lokale doorstroming met pompen
- Oppervlakkige menging zodat algen niet kunnen gaan drijven

Grootschalige maatregelen komen gezien de huidige problematiek en de verbetering bij de toekomstige inrichting minder in aanmerking. Een voorbeeld van een grootschalige maatregel is bijvoorbeeld de beluchting van diepe plasdelen waardoor de algenbloei onderdrukt wordt.

Concluderend kan worden gesteld dat met de verbetering van de doorstroming al een belangrijke maatregel wordt getroffen om overlast van blauwalgen te bestrijden. Daarnaast zijn momenteel verschillende maatregelen in onderzoek die voor toepassing in aanmerking komen als toch overlast mocht optreden. De afstemming van deze maatregelen op het voorkomen van de blauwalg is maatwerk.

Oeverafwerking plas

Nijburg en Verhoeven (Effecten van stratificatie in ontgrondingsplassen op de waterkwaliteit, Adviesburo De Meent b.v. 1999) noemen als een kenmerk van een plas met het hoogste ecologische niveau dat de oevers gevarieerd zijn. Flauwere taludhellingen worden afgewisseld met steilere hellingen waardoor het aantal microhabitats groot is. Door de afwerking van de oevers buiten de strandzone met een moeraszone in de zuidelijke plas wordt aan dit kenmerk voldoen. De oevervegetatie werkt als een z.g. helofytenfilter. Dit heeft bijvoorbeeld een gunstige invloed als water aan de oevers van de plas minder snel mocht doorstromen.

Stratificatie

In de eindsituatie heeft de plas een diepte van maximaal 30 m. In plassen met een diepte van méér dan 8 tot 10 meter wordt in de zomer stratificatie verwacht. In de Zandmeren zou deze situatie bij lage Maasafvoeren kunnen ontstaan, als de bovenste laag water opwarmt. Warm water is lichter dan koud water, waardoor het aan de oppervlakte blijft. De wind mengt alleen de bovenste laag die daardoor een homogene temperatuur krijgt. Deze laag mengt dan niet meer met het koudere diepe water. Tussen de warme en de koude laag bevindt zich in de zomer een spronglaag waarin de temperatuur sterk met de diepte afneemt. In het najaar koelt de bovenste laag geleidelijk weer af zodat de dichtheidsverschillen tussen de lagen afnemen. Bij een gering dichtheidsverschil kan het water in de hele plas weer mengen.

Stratificatie wordt dus veroorzaakt door verschillen in temperatuur, maar het heeft gevolgen voor de chemische en de biologische kwaliteit van het water. In de zomer vindt uitwisseling van zuurstof met de atmosfeer alleen nog in de bovenste warme laag plaats. De zuurstof in de onderste laag wordt opgebruikt in biologische afbraakprocessen. Wat resteert, is een onderste laag waar door zuurstofgebrek geen hogere levensvormen kunnen gedijen. Stratificatie heeft ook gevolgen voor de beschikbaarheid van nutriënten.

In de zomerperiode nemen in de bovenste waterlaag de concentraties van de belangrijkste nutriënten af. Hierdoor wordt de kans op vertroebeling door algen kleiner dan in een plas waar geen stratificatie optreedt.

In streken met grotere temperatuurverschillen tussen de seizoenen, kan het voorkomen dat de bovenste waterlaag in het najaar zo snel afkoelt dat deze zonder te mengen een hogere dichtheid krijgt dan het water in de onderste laag. De stratificatie kan zich dan plotseling omkeren, waardoor het zuurstofarme snel aan de oppervlakte komt. Dit is nadelig voor vissen en hogere planten. In Nederland is deze omkering echter nooit waargenomen (Nijburg en Verhoeven, 1999). In het Nederlandse klimaat neemt de dichtheid van de bovenlaag geleidelijk toe, waardoor ontmenging geleidelijk verloopt zonder negatieve gevolgen voor vissen en planten. Dit is zeker het geval in de Zandmeren waar de doorstroming met Maaswater een geleidelijke menging bevordert.

Waterkwaliteit haven Hedel

Aan de waterkwaliteit van de haven Hedel worden uit het oogpunt van de functies ter plaatse en in de directe omgeving geen bijzondere eisen gesteld. Wel verdient het aanbeveling om ook hier (evenals bij de Zandmeren) overlast door blauwalgen zoveel mogelijk te beperken door de watercirculatie te bevorderen. Dit is mogelijk door aan de westzijde en de noordzijde een verbinding te maken met bestaande watergangen in de uiterwaarden.

6 Conclusies en aanbevelingen

- Bij de berekening van de kwel bij hoogwaterstanden van de Maas ($T=10$) ter plaatse van het deelproject de Zandmeren kan onderscheid worden gemaakt in de bemalingsgebieden Alem en Baanbreker. Bij het bemalingsgebied Alem wordt een hoogwatergeul gegraven of er vindt weerdverlaging plaats. Bij het bemalingsgebied Baanbreker worden de oevers van de Zandmeren geherprofileerd.
- Bij een hoogwatergeul neemt in de tijdelijke situatie zonder maatregelen de kwel naar het bemalingsgebied Alem toe met ca. 5,6 %. Deze toename kan worden terug gebracht tot minder dan 1 % door in fasen te ontgraven waarbij de delen die op diepte zijn worden afgewerkt met slecht doorlatend materiaal op de bodem en de taluds. In de eindsituatie is de hoogwatergeul aangevuld met slecht doorlatend materiaal waardoor de kweltoename beperkt blijft tot minder dan 1%.
- Een alternatief voor een hoogwatergeul is weerdverlaging. Daarbij wordt het bovenste deel van de deklaag verwijderd. Als minimaal 1 meter van de slecht doorlatende deklaag achterblijft, blijft de toename van de kwel naar het bemalingsgebied Alem beperkt tot minder dan 1 %. Dit is in alle varianten van weerdverlaging het geval.
- Voor de oevers van de Zandmeren is de kweltoename naar het bemalingsgebied Baanbreker eveneens berekend voor de tijdelijke situatie. Deze kweltoename bedraagt zonder maatregelen ca. 2,6 % van de kwel naar het bemalingsgebied Baanbreker. De toename van de kwel per meter oeverlengte varieert (zie paragraaf 4.2) en ligt tussen 0,98 en 2,25 m³. Door tijdens de herprofilatie afgewerkte oeverdelen aan te vullen met slecht doorlatend materiaal wordt de kwel ter plaatse verminderd ten opzichte van de huidige situatie met 1,69 m³ per meter randlengte. De kweltoename in de tijdelijke situatie kan daarmee beperkt blijven tot minder dan 1 % van de kwel naar het bemalingsgebied Baanbreker. In de eindsituatie neemt de kwel naar het bemalingsgebied Baanbreker af met bijna 1 % ten opzichte van de huidige situatie.
- In de huidige situatie is in de Zandmeren af en toe sprake van overlast van blauwalgen. In augustus 2004 en 2006 is in dat verband gedurende een korte periode een zwemverbod uitgevaardigd. De geplande inrichting van de plas draagt bij aan een verbetering van de waterkwaliteit en een vermindering van de kans op blauwalgen. De doorspoeling van de plassen wordt vergroot. Daardoor vermindert de kans op blauwalgen en wordt de temperatuur van het oppervlaktewater enigszins gedrukt, waardoor de omstandigheden voor groei van blauwalgen minder gunstig worden. Momenteel wordt in ons land veel onderzoek gedaan naar de meest effectieve maatregelen mocht toch overlast mocht optreden. Hiervan kan bij het gereedkomen van het project gebruik worden gemaakt, mocht dit nodig zijn.
- De herinrichting van de westelijke oevers met gevarieerde oevers en moeraszones draagt bij aan de ecologische diversiteit van de plas. Een eventueel optreden van stratificatie van de diepe plasdelen bij lage Maasafvoeren is niet ongunstig voor de waterkwaliteit.