

Advies zomerbedverdieping



Advies zomerbedverdieping

Erik Mosselman




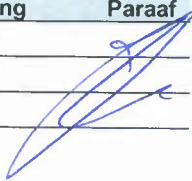
Titel
Advies zomerbedverdieping

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, RIJSWIJK	Project 11203452-002	Kenmerk 11203452-002-ZWS-0009	Pagina's 22
--	--------------------------------	---	-----------------------

Trefwoorden
Zomerbedverdieping, erosie, riviermorfologie, Maas, Rijn

Samenvatting
In actuele planprocessen wordt zomerbedverdieping voorgesteld als maatregel om de Maas ten behoeve van de veiligheid bij hoogwater te verruimen. Zomerbedverdieping kent echter diverse nadelige effecten. Rijkswaterstaat heeft behoefte aan een advies dat feitelijke informatie over zomerbedverdieping ontsluit, inclusief ervaringen binnen en buiten de Maas. Daarom heeft Rijkswaterstaat aan Deltares gevraagd om de gunstige en ongunstige effecten van zomerbedverdieping in beeld te brengen, inclusief langetermijneffecten. Daarvan is het voorliggende rapport het resultaat. Deltares neemt als onafhankelijk kennisinstituut geen stelling voor of tegen zomerbedverdieping, maar levert een advies op basis waarvan Rijkswaterstaat in een besluitvormingsproces tot stellingname kan komen. De in dit rapport beschreven ervaringen rechtvaardigen desalniettemin de conclusie dat zomerbedverdieping zich slecht verhoudt met integraal en vooruitziend rivierbeheer. Dit geldt eens te meer nu het Verhaal van de Rivier als gidsprincipe aanbeveelt om de natuurlijke sedimenthuishouding te herstellen, inclusief doorgaand sedimenttransport en stoppen met het onttrekken van sediment aan het zomerbed.

Referenties
Zaaknummer 31126123, bestelnummer 4500282232, Position paper – Zomerbedverdieping Maas

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	feb. 2019	E. Mosselman		N.E.M. Asselman		J.G. Boon	
1.0	mrt. 2019	E. Mosselman		N.E.M. Asselman		J.G. Boon	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Dit rapport	1
1.3 Leeswijzer	1
2 Principe-effecten van directe en indirecte zomerbedverdieping	3
2.1 Zomerbedverdieping en bodemerosie	3
2.2 Voordelen van directe en indirecte zomerbedverdieping	5
2.3 Nadelen van directe en indirecte zomerbedverdieping	5
2.3.1 Lagere ligging van het zomerbed	5
2.3.2 Lagere waterstanden	7
2.4 Verschil tussen gestuwde en ongestuwde rivieren	9
3 De Maas	11
4 Advies	15
5 Literatuurverwijzingen	17
Bijlage(n)	
A Ervaringen uit de Rijn	A-1
A.1 De Rijn in Duitsland	A-1
A.2 De Rijntakken in Nederland	A-3
A.3 De Rijn-Maasmonding	A-6
B Veranderingen in zomerbedligging van de Maas	B-1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het “Verhaal van de Maas” definiëren deskundigen gidsprincipes voor beheer en inrichting van het riviersysteem (Asselman, 2019). Een belangrijke notie in dat verhaal is dat de balans in de rivier over de laatste 100 jaar verstoord is. Door vele menselijke ingrepen heeft de Maas nu minder ruimte, beweegt er bijna geen sediment meer, heeft de laagwaterafvoer een onnatuurlijk grillig verloop en is veel kenmerkende natuur verloren gegaan. De verstoorde sedimentbalans brengt met zich mee dat het zomerbed van de Maas al sinds een eeuw aan het zakken is. De rivier verliest sediment door het onttrekken van zand en grind, terwijl er nauwelijks meer sediment van bovenstrooms wordt aangevoerd. Een van de gidsprincipes in het “Verhaal van de Maas” is daarom het herstel van de sedimenthuishouding inclusief doorgaand sedimenttransport en stoppen met het onttrekken van sediment aan het zomerbed.

De deskundigen van het “Verhaal van de Maas” vragen in dat licht ook aandacht voor zomerbedverdieping, want die blokkeert het doorgaande sedimenttransport. Het weinige zand en grind dat in beweging is, blijft liggen in de verdiepte delen. Daardoor treedt benedenstrooms erosie op. Zomerbedverdieping wordt in actuele planprocessen echter nog steeds veel voorgesteld als maatregel om de rivier ten behoeve van de veiligheid bij hoogwater te verruimen. Deze voorstellen lijken niet goed te rijmen met de huidige inzichten en stand van de kennis. Rijkswaterstaat heeft daarom behoefte aan een gezaghebbend advies dat feitelijke informatie over zomerbedverdieping ontsluit, inclusief ervaringen binnen en buiten de Maas. Dit advies moet in begrijpelijke taal uitleggen wat de voor- en nadelen van zomerbedverlaging zijn en op welke kennis en ervaringen deze informatie gestoeld is. Op basis van dit advies wil Rijkswaterstaat een standpunt innemen. De directe aanleiding is de lopende verkenning voor het HWBP/MIRT-project Meanderende Maas (Ravenstein-Lith), waarin de initiatiefnemer momenteel onderzoekt of zomerbedverdieping een plek moet krijgen in het voorkeursalternatief. Rijkswaterstaat wil echter een advies vanuit een bredere context die het project Meanderende Maas overstijgt en de rivier als geheel in ogenschouw neemt.

1.2 Dit rapport

Tegen deze achtergrond heeft Rijkswaterstaat Deltares gevraagd om de gunstige en ongunstige effecten van zomerbedverdieping, inclusief langetermijneffecten, in beeld te brengen en daarbij gebruik te maken van de meest actuele kennis. Deltares neemt als onafhankelijk kennisinstituut geen stelling voor of tegen zomerbedverdieping. Het product is een advies op basis waarvan Rijkswaterstaat in een besluitvormingsproces tot stellingname kan komen. Dit advies wordt gerapporteerd in het voorliggende rapport.

1.3 Leeswijzer

Na deze inleiding geeft Hoofdstuk 2 een algemeen overzicht van bekende voor- en nadelen van zomerbedverdieping en –erosie. Hoofdstuk 3 gaat specifiek in op overwegingen voor de Maas in Nederland. Dit leidt tot een advies in Hoofdstuk 4. De nadruk in dit rapport ligt op de Maas, maar Bijlage A presenteert tevens ervaringen uit de Rijn in Duitsland, de Rijntakken in Nederland en de Rijn-Maasmonding.

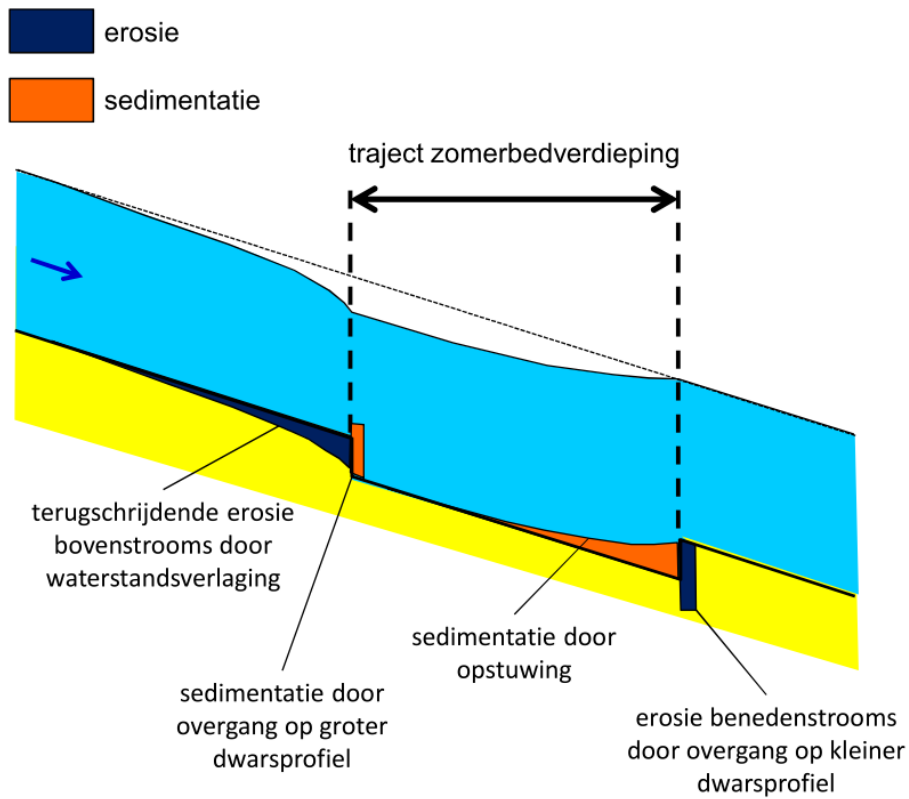
2 Principe-effecten van directe en indirecte zomerbedverdieping

2.1 Zomerbedverdieping en bodemerosie

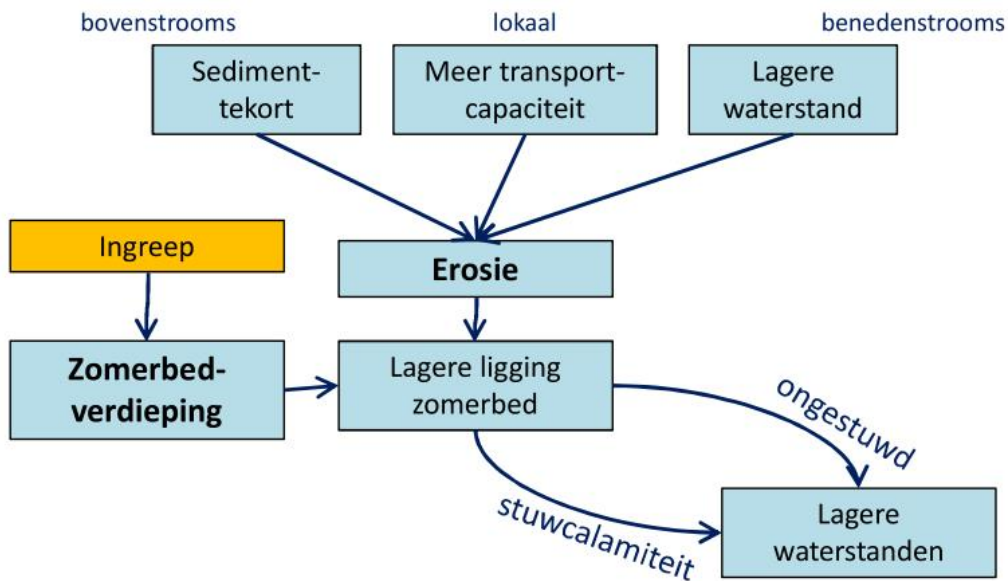
Wereldwijd komen rivierbeddingen steeds dieper te liggen door erosie en verdieping. Het zomerbed komt rechtstreeks dieper te liggen als het mechanisch wordt uitgegraven of gebaggerd voor rivierverruiming of sedimentwinning. Naast deze directe verdieping is er ook de indirecte verdieping als gevolg van erosie. Directe en indirecte verdieping hebben dezelfde effecten en zijn bovendien onderling verknoopt, want directe verdieping leidt ook tot erosie (Figuur 2.1). Daarom zijn ervaringen met de gevolgen van erosie hier evengoed relevant.

Figuur 2.1 laat zien welke morfologische reacties zomerbedverdieping in het lengteprofiel van een rivier teweeg brengt. Het verdiepte traject fungeert als een sedimentvang en ondergaat daarom sedimentatie. Dit maakt onderhoud noodzakelijk om de verdieping in stand te houden. Benedenstrooms komt minder sediment aan dan de stroming van de rivier kan transporteren. Dat wordt aangevuld door sediment uit de bodem in transport te brengen met als gevolg erosie. Bovenstrooms leidt de lagere waterstand tot een kleiner doorstroomprofiel. De stroming versnelt hier en krijgt een grotere capaciteit om sediment te transporteren. Ook dat extra sediment wordt uit de bodem in transport gebracht met erosie als gevolg. De erosie breidt zich op termijn steeds verder stroomopwaarts en stroomafwaarts uit.

De erosieve invloed van zomerbedverdieping in richtingen stroomopwaarts en stroomafwaarts maakt al duidelijk dat oorzaken van zomerbederosie in een bepaald traject bovenstrooms, lokaal of benedenstrooms kunnen liggen. Dit is in Figuur 2.2 aangegeven. Oorzaken bovenstrooms komen neer op een vermindering van de sedimentaanvoer, bijvoorbeeld door de aanleg van dammen (Kondolf, 1997). Lokaal in een traject erodeert de bodem door verhoging van de sedimenttransportcapaciteit. Dat kan door versmalling van de hoofdgeul (Surian & Rinaldi, 2003) of door het aan de stroming blootstellen van fijner sediment na verwijdering van een meer erosiebestendige toplaag. Voorbeelden zijn het opbreken van pleisterlagen in grindrivieren, het mogelijke aansnijden van fijne Miocene zanden onder de Maas (Hoofdstuk 3), en het aansnijden van zand na verwijdering van erosiebestendige klei- en veenlagen in de Rijn-Maasmonding (Bijlage A). Benedenstrooms van een traject leiden maatregelen die de waterstanden verlagen tot terugschrijdende erosie die het traject beïnvloedt. Voorbeelden zijn bochtafsnijdingen zoals die van de Maas (De Vries, 1947) en de vaarwegverdieping voor de zeevaart in het gebied van de Rijn-Maasmonding.



Figuur 2.1 Zomerbedverdieping veroorzaakt erosie boven- en benedenstrooms van het verdiepte traject.



Figuur 2.2 Directe zomerbedverdieping door een ingreep en indirecte verdieping door verschillende oorzaken van erosie.

2.2 Voordelen van directe en indirecte zomerbedverdieping

Erosie of verdieping van het zomerbed leidt tot verlaging van de waterstanden en heeft daardoor voordelen voor de hoogwaterveiligheid. Daarbij past overigens de kanttekening dat hoogwatergolven door een dieper zomerbed minder worden afgevlakt en dat een herverdeling van afvoeren over een splitsing de bereikte verlaging van hoogwaterstanden deels teniet kan doen. Naast verlaging van hoogwaterstanden, vermindert ook de kans op ijssdammen omdat tijdens de vorstperiode minder ijs in nevengeulen en uiterwaarden gevormd wordt (Termes & Boogaard, 1991). Verdieping van het zomerbed biedt verder mogelijkheden voor zand- en grindwinning, en op korte termijn ook voordelen voor de bevaarbaarheid in beperkte trajecten van ongestuwde rivieren, zolang de in Paragraaf 2.3 beschreven nadelige effecten zich nog niet openbaren.

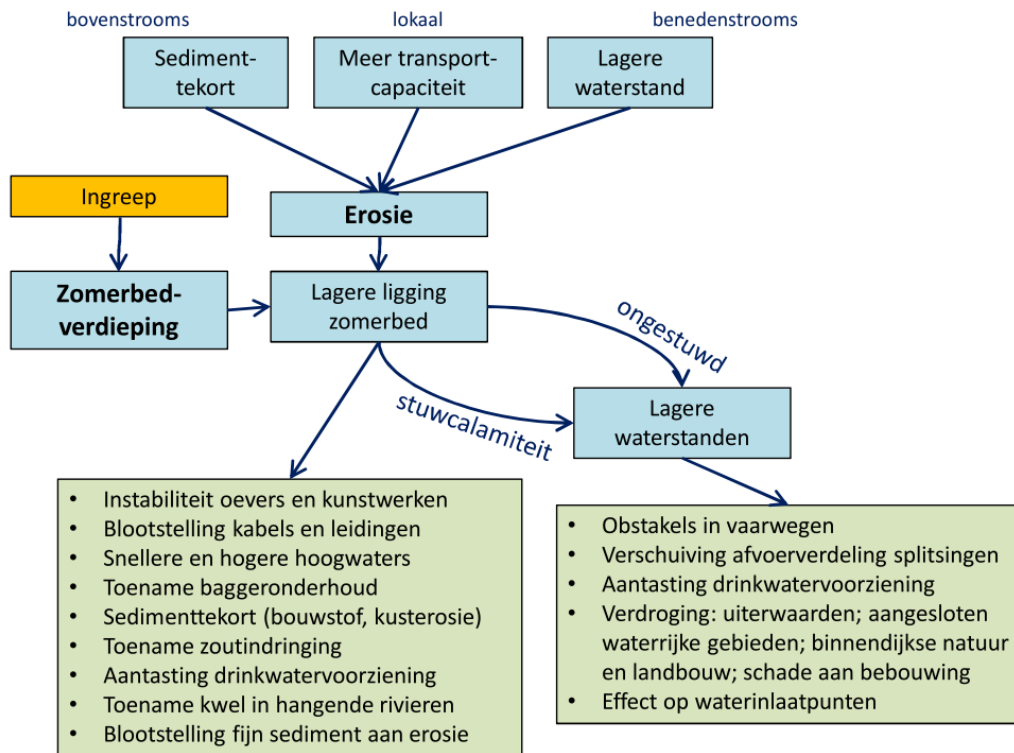
2.3 Nadelen van directe en indirecte zomerbedverdieping

De diepere ligging en het daarmee verbonden tekort aan sediment hebben ook nadelen. Internationaal neemt het bewustzijn van die nadelen toe (Kondolf, 1997; Bravard et al, 1999; Best, 2018). Ze geven zelfs aanleiding tot gewelddadige “sand wars” (GEAS, 2014).

2.3.1 Lagere ligging van het zomerbed

Figuur 2.3 geeft een overzicht van nadelige effecten van een diepere ligging van het zomerbed. De figuur maakt een onderscheid tussen effecten van de bodemligging zelf en effecten van de daaruit volgende lagere waterstanden indien een rivier geen stuwen heeft of indien de stuwen die wel aanwezig zijn door een calamiteit het stuwpeil niet kunnen handhaven. Berkhof et al (2018) noemen de rivierbodem de basis van alle belangen. Allereerst kan een diepere ligging leiden tot instabiliteit van oevers en kunstwerken, zoals de Pont Wilson over de Loire in Frankrijk (Figuur 2.4) en de Spijkenisserbrug over de Oude Maas in Nederland (Rubio, 2018, cf. Bijlage A). Verder kunnen kabels en leidingen die de rivier kruisen bloot komen te liggen. Die kunnen door aanvaringen of ankers beschadigen en vormen obstakels voor de scheepvaart. Een diepere bodemligging concentreert hoogwaters meer in het zomerbed. Dit versnelt de afvoer van hoogwatergolven en veroorzaakt daardoor hogere afvoerpieken benedenstreams. Of een rivier gestuwd is doet er niet toe, want tijdens hoogwaters zijn de stuwen gestreken. Een verdiept traject ondergaat verder sedimentatie en vergt dus onderhoud om een beoogde rivierverruiming in stand te houden.

Zomerbedverdieping en daarmee gepaard gaande erosie houden uiteindelijk een tekort aan sediment in. Dit betreft zand en grind als grondstoffen, maar ook sediment dat in ongestoorde situaties voorkomt dat kusten eroderen en delta's verdrinken (Syvitski & Milliman, 2007; Syvitski et al, 2009). In de benedenloop versterkt een lagere rivierbodem de zoutindringing. Dit kan onder meer negatieve consequenties hebben voor de drinkwatervoorziening. Een ander mogelijk effect van zomerbedverdieping is dat slecht doorlatende lagen in de ondergrond doorsneden worden. Hierdoor kan zout water uit de diepe ondergrond in zoetwaterlagen doordringen en eveneens de drinkwatervoorziening aantasten. Doorsnijding van slecht doorlatende lagen kan ook leiden tot meer kwelstroming naar polders langs “hangende” rivieren, dat wil zeggen rivieren waarvan de bodem hoger ligt dan het omliggende polderland. Deze kwelstroming kan binnendijs wateroverlast veroorzaken en de macrostabiliteit van waterkeringen aantasten (Figuur 2.5).

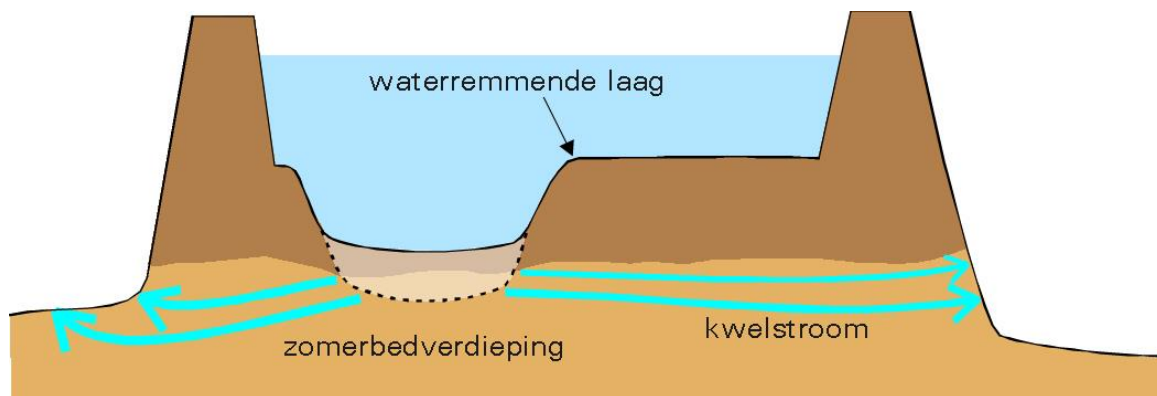


Figuur 2.3 Nadelige effecten van een diepere ligging van het zomerbed en daaruit volgende lagere waterstanden.



Figuur 2.4 Instorten van de Pont Wilson over de Loire op 9 april 1978 als gevolg van een diepere ligging van het zomerbed¹.

¹ <https://www.la-croix.com/Debats/Ce-jour-la/9-avril-1978-spectaculaire-effondrement-pont-Wilson-Tours-2018-04-09-1200930171>



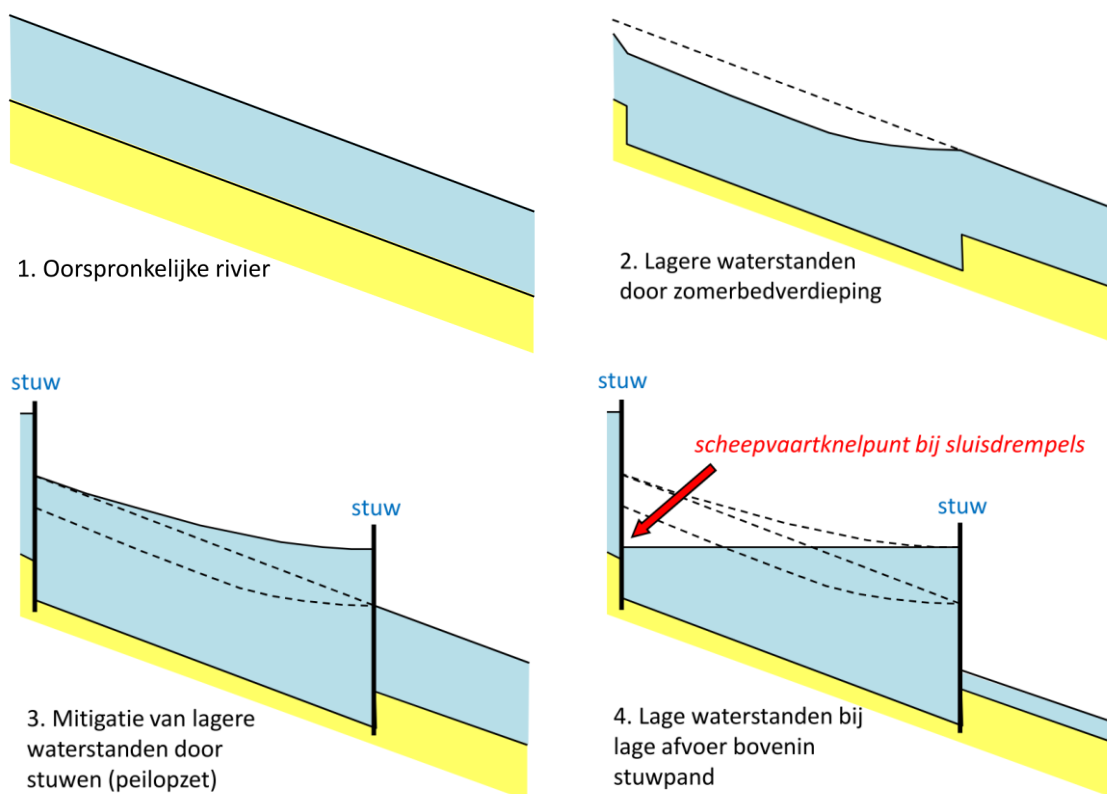
Figuur 2.5 Doorsnijing van een ondoorlatende laag door verdieping of erosie van het zomerbed van een hangende rivier (Vermeer & Mosselman, 2005).

2.3.2 Lagere waterstanden

Figuur 2.3 toont ook de ongunstige effecten van lagere waterstanden. Scheepvaart heeft baat bij de grotere diepgang na zomerbedverdieping als stuwen de waterstand handhaven, maar er ontstaan knelpunten als de waterstanden mee dalen met de bodem. Een rivier is immers vaak onderdeel van een netwerk van vaarwegen en bijbehorende infrastructuur. Daalt de rivier, dan dalen kanalen, sluisen en havenfaciliteiten niet automatisch mee. De onderlinge aansluiting wordt steeds moeilijker. Rivierbedregulering ("river training"), zoals de normalisering in Nederland en de *Rheinkorrektur* in Duitsland, verbetert op korte termijn de bevaarbaarheid omdat het water in de versmalde laagwatergeul dieper wordt. Deze regulering zet echter een erosieproces in gang dat het rivierverslag flauwer maakt. Hoe verder stroomopwaarts langs de rivier, des te dieper de rivier zich uiteindelijk insnijdt. Dat de waterdiepte daarbij toeneemt, lijkt gunstig voor de scheepvaart, maar ongunstig is de steeds slechtere aansluiting op kanalen, sluisen en havenfaciliteiten. Bovendien kunnen delen van de ondergrond slecht erodeerbaar zijn, van nature of door de aanleg van vaste lagen voor de scheepvaart, tunnels en kruisingen van kabels en leidingen. Voortgaande erosie boven- en benedenstrooms leiden ertoe dat dergelijke delen zich ontwikkelen tot obstakels in de bodem. Voorbeelden zijn de vaste laag bij Nijmegen (Bijlage A) en de kruisingen met kabels en leidingen. Een ander mogelijk gevolg van lagere waterstanden is dat de afvoerverdeling op splitsingen verandert. Deze verandering kan tevens morfologische veranderingen in gang zetten. Uiteindelijk heeft dat consequenties voor de hoogwaterveiligheid, bevaarbaarheid en zoetwaterbeschikbaarheid op de verschillende riviertakken beneden splitsingen.

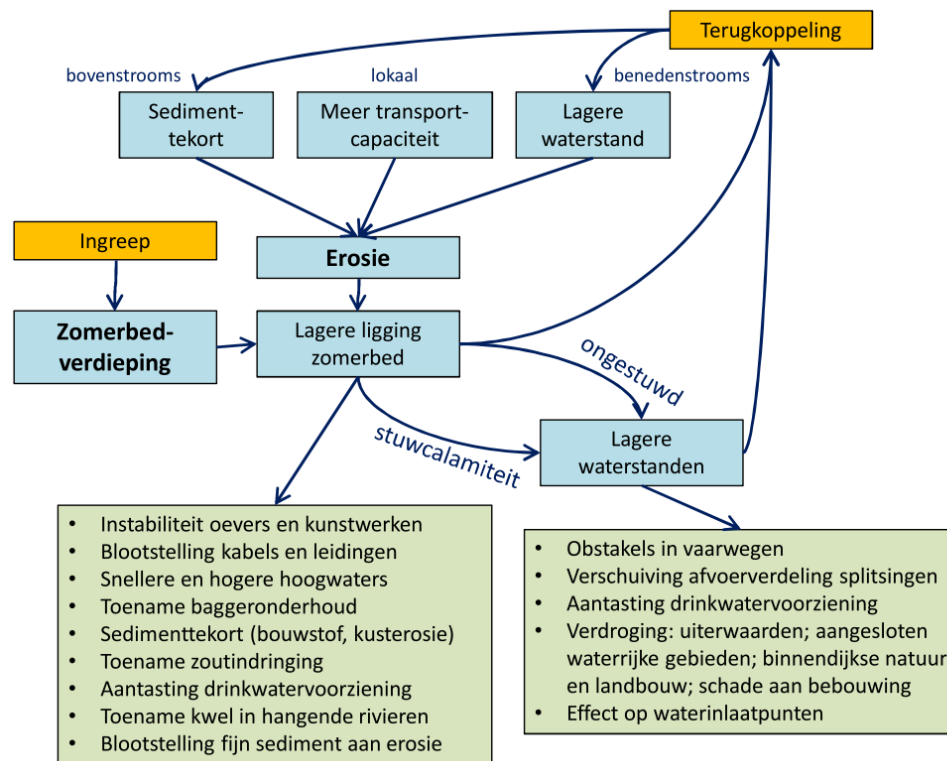
Ten slotte kunnen lagere waterstanden leiden tot verdroging en minder frequente overstrooming van uiterwaarden en aangesloten waterrijke gebieden. Lagere grondwaterstanden als gevolg van lagere waterstanden op de rivier kunnen leiden tot verdroging van binnendijkse natuur en binnendijkse landbouwgronden. Die verdroging is overigens niet alleen een kwestie van lagere waterstanden maar ook van vergroting van het dwarsprofiel van de rivier door zomerbedverdieping. Daardoor nemen de intree weerstanden van grondwaterstroming naar de rivier af, zodat omliggende gebieden sneller ontwateren. Verdroging tast de drinkwatervoorziening aan wanneer infiltratiegebieden in uiterwaarden minder vaak overstroomd worden. Verder kunnen lagere binnendijkse grondwaterstanden schade aan bebouwing veroorzaken. Het inlaten van rivierwater kan worden bemoeilijkt als lagere waterstanden op de rivier leiden tot minder verval of een grotere opvoerhoogte van pompen of gemalen.

Een deel van de nadelen treedt op doordat een diepere ligging van het zomerbed de waterstanden verlaagt. Stuwen in de rivier kunnen de lagere waterstanden mitigeren. Daarbij dient echter beoordeeld te worden in hoeverre dergelijke maatregelen een robuuste oplossing bieden bij calamiteiten zoals het leeglopen van een stuwpand na de aanvaring van de stuw bij Grave in december 2016. Langdurige droogte kan ook tot calamiteiten leiden, omdat het gewenste stuwpeil door schutverliezen en lekkages mogelijk niet over een lange periode te handhaven is. Figuur 2.6 laat zien dat dan vooral bovenin het stuwpand problemen ontstaan met de waterstanden. Schepen worden dan geconfronteerd met te weinig waterdiepte boven de drempels van de sluizen die onderdeel uitmaken van de stuwcomplexen.



Figuur 2.6 Invloed van zomerbedverlaging en stuwen, eventueel inclusief extra peilopzet, op waterstanden.

Het schema van oorzaken en gevolgen in Figuur 2.3 kent in feite allerlei terugkoppelingen die de effecten kunnen versterken. Sedimenttekort en lagere benedenstroomse waterstanden dragen bij aan meer erosie. Dit is weergegeven in Figuur 2.7. Bovendien kan het blootstellen van lagen fijn sediment aan erosie leiden tot een domino-effect waarbij de erosie zich steeds verder uitbreidt, zoals de gevolgen van zomerbedverdieping in de Rijn-Maasmonding laten zien (Bijlage A). Tabel 2.1 vat de verschillende voor- en nadelen samen.



Figuur 2.7 Terugkoppelingen die de effecten van zomerbedverdieping versterken.

2.4 Verschil tussen gestuwde en ongestuwde rivieren

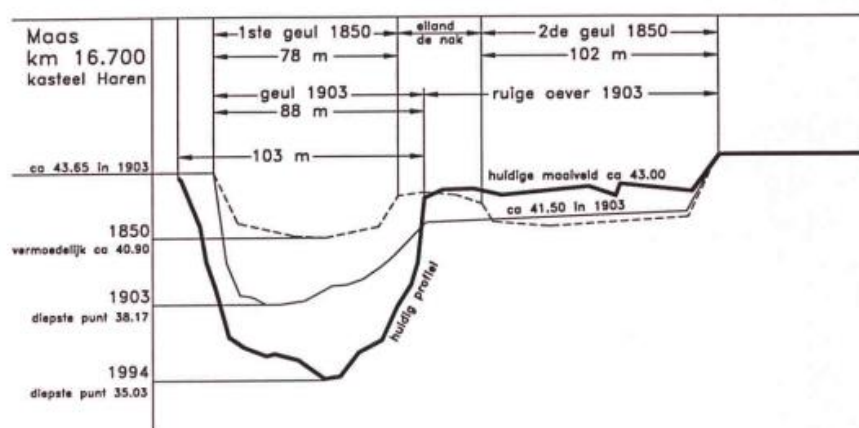
De Figuren 2.3 en 2.7 verdelen de nadelige effecten van zomerbedverdieping in twee groepen: effecten van de resulterende lagere ligging van het zomerbed zelf en effecten van daardoor veroorzaakte lagere waterstanden. De effecten van de lagere zomerbedligging zelf (blok linksonder) gelden voor zowel gestuwde als ongestuwde rivieren, met uitzondering van de mogelijke toename van zoutindringing omdat stuwen deze indringing kunnen blokkeren. De effecten van de lagere waterstanden gelden in principe alleen voor ongestuwde rivieren. Paragraaf 2.3 pleit er echter voor om te beoordelen in hoeverre stuwpeilen te handhaven zijn bij calamiteiten zoals aanvaringen en langdurige droogte.

Tabel 2.1 Samenvatting van mogelijke voor- en nadelen van zomerbedverdieping.

Aspect	Voordelen	Nadelen
<p>Functie hoogwaterveiligheid</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Lagere waterstanden bij gegeven hoogwaterafvoer – Kleinere kans op ijssdammen 	<ul style="list-style-type: none"> – Hogere piekafvoeren benedenstrooms – Toename van maatgevende hoogwaterafvoer in een riviertak door verschuiving in afvoerverdeling op splitsingen
<p>Functie vaarweg</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Grotere vaardiepte bij verdieping van ongestuwde rivieren over korte trajecten – Minder vaarweerstand (brandstofverbruik) in gestuwde en ongestuwde rivieren 	<ul style="list-style-type: none"> – Knelpunten bij: het benedenhoofd van stuwcomplexen; aansluitingen op kanalen, sluisen en havens; kruisingen met tunnels, kabels en leidingen; vaste lagen – Afname van bevaarbaarheid van een riviertak door verschuiving in afvoerverdeling op splitsingen
<p>Functie natuur</p>		<ul style="list-style-type: none"> – Verdroging van uiterwaarden en aangesloten waterrijke gebieden – Afname van overstromingsdynamiek van uiterwaarden
<p>Functie zoetwatervoorziening</p>		<ul style="list-style-type: none"> – Lagere grondwaterstanden voor binnendijkse natuur en landbouw – Meer pompen op waterinlaatpunten – Afname van afvoeren via een riviertak door verschuiving in afvoerverdeling op splitsingen – Aantasting van drinkwatervoorziening
<p>Overige aspecten</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Winning van bouwstoffen 	<ul style="list-style-type: none"> – Instabiliteit van oevers en kunstwerken – Schade aan bebouwing – Blootstelling van kabels en leidingen – Toename van baggeronderhoud – Sedimenttekort (bouwstof, kusterosie) – Toename van zoutindringing – Toename van kwel langs hangende rivieren – Blootstelling van fijn sediment aan (mogelijk onbeheersbare) erosie

3 De Maas

Het zomerbed van de Maas is de afgelopen eeuw steeds dieper komen te liggen door verminderde sedimentaanvoer uit België, rivierbedregulering, bochtafsnijdingen en de winning van zand en grind. Het dwarsprofiel in Figuur 3.1 toont dat het zomerbed bij Borgharen in 150 jaar meer dan 5 m lager is komen te liggen. Bijlage B presenteert lengteprofielen uit de studies van De Vries (1947), Waterloopkundig Laboratorium (1994b) en Van Dongen & Meijer (2008). De morfologische ontwikkeling van de Maas kent daarom overeenkomsten met die van de Rijn (Bijlage A), maar voor de Rijn zijn hiernaar veel meer studies verricht. Een van de verschillen met de Rijn is dat in de Maas nog steeds zomerbedverdieping wordt voorgesteld als maatregel om de rivier met het oog op hoogwaterveiligheid te verruimen. Een argument daarbij is dat stuwen het waterpeil kunnen opzetten, zodat de negatieve effecten op de waterstanden achterwege blijven.



Figuur 3.1 Versmalling en zomerbedverlaging bij Borgharen tussen 1850 en 1994 (Helmer et al, 1991).

De studie voor de Eerste Commissie Boertien beschouwde zomerbedverdieping door het uitbaggeren van lange trajecten nog als een kansrijke maatregel voor de Maas (Wijbenga et al, 1993). De studie voor de Tweede Commissie Boertien plaatste daarbij echter al meer kanttekeningen:

- Het hoofdrapport noemt de kosten-batenverhouding van de strategie met zomerbedverdieping in combinatie met kades aantrekkelijk vanwege de waarde van de grondstoffen die daarbij vrij zouden komen. Daartegenover noemt het hoofdrapport de nadelen van hogere kosten als het zomerbed verontreinigd is, afnemende potenties voor natuurontwikkeling, en grote negatieve effecten op de grondwaterhuishouding (Waterloopkundig Laboratorium, 1994a).
- Het deelrapport over morfologische aspecten geeft aan dat de stabiliteit van afpleisteringslagen en oevers nadere aandacht vraagt bij strategieën met zomerbedverlaging. Bovendien maken dergelijke strategieën in de Gestuwde Maas onderhoudsbaggerwerk noodzakelijk om de verdieping in stand te houden (Waterloopkundig Laboratorium, 1994b).

- Het deelrapport over geohydrologische aspecten legt de nadruk op de effecten rond de vrij afwaterende Grensmaas. De Maasbedding staat in direct contact met het eerste watervoerende pakket. Dit pakket bestaat uit grind en grove zanden, waardoor de intree weerstand tegen drainage en de uittree weerstand tegen infiltratie laag zijn. De effecten van onderzochte varianten variëren van een verlaging van stijghoogtes van meer dan 1 m op grote schaal en circa 2,5 m lokaal (Waterloopkundig Laboratorium, 1994c).

Ogink (2000) beschouwde de mogelijkheden van het afdekken van fijn-zandlagen in een van de alternatieven met zomerbedverdieping in de Zandmaas. Hij gaf aan dat hierbij tussen km 85 en 166 fijn-zandlagen zouden worden aangesneden over een lengte van naar schatting 34 km. Ervaringen uit Proefproject 1 op de Maas en promotieonderzoek van Astrid Blom toonden volgens hem aan dat het niet afdekken van de fijn-zandlagen zeer snel zou leiden tot ernstige ontgrondingen. De haalbaarheid van zomerbedverdieping hangt daarom mede af van de mogelijkheid om deze fijn-zandlagen kosteneffectief af te dekken.

De Nota van Toelichting bij het Tracébesluit van het project Zandmaas/Maasroute (Anonymus, 2000) gaf vervolgens aan dat de staatssecretaris het risico van oncontroleerbare erosie op bepaalde trajecten te groot vond. Zij besloot om het zomerbed slechts op beperkte trajecten te verruimen. Meer specifiek noemt de Nota van Toelichting de volgende negatieve effecten van zomerbedverruiming door verbreding of verdieping:

- Slechts met zeer vergaande verdieping en verbreding wordt de doelstelling voor bescherming tegen hoogwaters gehaald. Dit is vanuit technisch oogpunt niet verantwoord. Waarschijnlijk veroorzaakt verruiming van het zomerbed grote, wellicht onbeheersbare effecten in het rivierbed;
- De door zomerbedverruiming veroorzaakte daling van rivierwaterstanden bij normale afvoeren leidt tot daling van grondwaterstanden in de omgeving. De benodigde peilopzet voor mitigatie van verdroging is hoger dan in de Trajectnota/MER is aangegeven. Deze zou op bepaalde locaties tot aanzienlijke vernatting leiden;
- Zomerbedverruiming vertraagt de uitvoering van maatregelen omdat daarbij archeologische vindplaatsen worden geraakt;
- Zomerbedverruiming leidt tot een verlies aan natuurlijke dynamiek doordat uiterwaarden minder frequent mee stromen en is vanuit milieuoogpunt niet duurzaam en daarom ongewenst;
- De daling van rivierwaterstanden bij normale afvoeren geeft problemen voor de vaardiepte bij sluisen, ondanks de peilopzet bij stuwen (Figuur 2.6). Dat kan nieuwbouw in plaats van aanpassing van bestaande sluiscomplexen noodzakelijk maken.

De Nota van Toelichting memoreert daarom dat de Vierde Nota Waterhuishouding een voorkeur uitspreekt voor rivierverruimende maatregelen in het winterbed.

In de overdracht van de planfase naar de realisatiefase rapporteert Lesschen (2003) dat het zomerbed nog verdiept wordt in drie stuwpanden:

- Stuwpannd Sambeek: Verdieping met 2 en 3 m. De delfstoffen worden vermarkt. Effecten betreffen terugschrijdende erosie stroomopwaarts en lokale blootlegging van fijn zand. Voor het fijne zand wordt een afdeklaag van toutvenant aanbevolen tussen km 109 en 113;
- Stuwpannd Grave: Verdieping met 3 en 1,5 m. De delfstoffen worden vermarkt. Monitoring in Proefproject 1 wijst uit dat slechts 1 m extra erosie optrad waar fijnzandige lagen werden aangesneden;

- Stuwpannd Lith: Verdieping met 3 m. De delfstoffen worden vermarkt of geborgen in de Bovenwaarden. In dit stuwpannd worden geen fijne zanden aangesneden.

Bij de zomerbedverdieping in deze stuwpannden blijven onderwatertaluds intact. Ze worden naar beneden toe onder dezelfde helling verlengd. Stroken van 25 m worden langs de oevers gereserveerd als buffer voor de stabiliteit van deze oevers. Met peilopzet wordt voorkomen dat zomerbedverruimende maatregelen leiden tot verdroging van natte en vochtige natuurgebieden.

Lesschen (2003) rapporteert ook dat de staatssecretaris het risico van erosie van fijne Miocene zanden tussen Linne en Hedel te groot vindt en dat zij daarom heeft besloten om het zomerbed op die trajecten niet te verruimen. Daarnaast gelden beperkingen vanwege archeologische vindplaatsen, zoals onder meer de Romeinse brug bij Cuijk, en de drinkwatervoorziening die mogelijk wordt aangetast als het zoet-zout-grensvlak stijgt na doorsnijding van een kleilaag in het stuwpannd Sambeek.

Na realisatie van de zomerbedverlaging van het project Zandmaas/Maasroute, verkennen Zuiderwijk et al (2018) nu de effecten van nieuwe zomerbedverdieping tussen Ravenstein en Lith. Ze beogen daarmee meer inzicht te krijgen in de mogelijke negatieve effecten op grondwaterhydrologie, in de gevolgen voor het beheer van stuwen in relatie tot aanwezige drempels, en in de gevolgen van lagere overstromingsfrequenties voor de natuur buitendijks. Ze stellen voor dat de gevolgen voor de ecologie misschien gemitigeerd kunnen worden met dynamisch peilbeheer.

Grondwaterexpert Wim de Lange van Deltares adviseert om rekening te houden met de vraag of de peilopzet voor het mitigeren van negatieve effecten wel voldoende gegarandeerd kan worden. De waterstanden zijn mogelijk niet te handhaven tijdens langdurige droogteperioden, die naar verwachting steeds vaker zullen voorkomen en langer zullen aanhouden, en tijdens calamiteiten, zoals de aanvaring van de stuw bij Grave in december 2016.

Samenvattend kan zomerbedverdieping op de Maas leiden tot:

- Blootstelling van fijn-zandlagen aan de stroming waardoor onbeheersbare erosie kan optreden;
- Instabiliteit van oevers;
- Knelpunten in de bevaarbaarheid aan de benedenstroomse kant van stuwcomplexen, die mogelijk aanpassingen of nieuwbouw noodzakelijk maken;
- Versnelde afvoer van hoogwaters met hogere afvoerpieken;
- Lagere waterstanden op de rivier en daarmee samenhangend lagere grondwaterstanden in de omgeving die schade kunnen veroorzaken aan natuur, landbouw en bebouwing. Dit geldt zeker op ongestuwde trajecten, maar tijdens calamiteiten of langdurig droge perioden mogelijk ook op gestuwde trajecten;
- Afname van de natuurlijke overstromingsdynamiek van uiterwaarden met negatieve gevolgen voor de natuur;
- Toename van onderhoudsbaggerwerk omdat sediment in de stuwpannden zal worden afgezet;
- Aantasting van de drinkwatervoorziening als het zoet-zout-grensvlak stijgt na doorsnijding van een kleilaag;
- Toename van de gevolgen van calamiteiten zoals de aanvaring van de stuw bij Grave.

4 Advies

Zomerbedverdieping heeft voordelen voor hoogwaterveiligheid en de mogelijkheden voor zand- en grindwinning. De beschreven ervaringen leren echter dat maatregelen die het zomerbed verlagen, door rechtstreekse verdieping of door het in gang zetten van erosie, nadelige neveneffecten hebben die in de loop van de tijd steeds meer kosten met zich meebrengen. Voor de Maas bestaan deze nadelen uit mogelijk onbeheersbare erosie van fijnzandlagen, instabiliteit van oevers, knelpunten in de bevaarbaarheid aan het benedenhoofd van stuwcomplexen, hogere pieken in de hoogwaterafvoer, schade aan natuur, landbouw en bebouwing in de ruimere omgeving door lagere grondwaterstanden, afname van de overstromingsdynamiek van uiterwaarden, toename van onderhoudsbaggerwerk, mogelijke aantasting van de drinkwatervoorziening, en een grotere kwetsbaarheid bij calamiteiten zoals het plotseling leeglopen van een stuwpand na de aanvaring van de stuw bij Grave in december 2016. Het karakter van maatregelen die het zomerbed verlagen is daarom vooral sectoraal, met weinig mogelijkheden voor synergie (meekoppelkansen, win-winsituaties) die passen in een integrale benadering.

Het is gebruikelijk om voor- en nadelen tegen elkaar af te wegen via kosten-batenanalyses of multi-criteria-analyses. Van belang is daarbij wel dat de afweging voldoende aandacht schenkt aan de volgende punten:

- *Gevolgen op lange termijn:* Deze betreffen de effecten van langzame rivierrespons die zich pas na decennia openbaren, zoals bij de bodemerosie van de Rijn, maar ook maatschappelijke veranderingen bij de afweging van functies en belangen, en de kansen op crises en calamiteiten die toenemen wanneer een langere termijn in ogenschouw wordt genomen. Een beoordeling op duurzaamheid vraagt om een breed scala aan scenario's en is te beperkt als deze alleen gebaseerd wordt op een extrapolatie van kortetermijnontwikkelingen;
- *Gevolgen buiten het plangebied:* Deze betreffen riviertrajecten boven- en benedenstrooms, bijvoorbeeld met het oog op de verminderde demping van hoogwatergolven, maar ook de ruimere omgeving van de rivier waar de grondwaterstanden beïnvloed worden door lagere rivierwaterstanden, als de rivier ongestuwd is, en lagere intreeeustanden van grondwaterstromingen naar de rivier, ongeacht de aanwezigheid van stuwen.
- *Overschrijding van drempelwaarden:* Dit kan onomkeerbare gevolgen in gang zetten, zoals de ontwikkeling van diepe kuilen in de rivieren van de Rijn-Maasmonding. De gevolgen van het blootstellen van fijne Miocene zanden onder de Maas lijken minder extreem, maar vormen desalniettemin een vergelijkbare situatie die aandacht verdient;
- *Afhankelijkheid van beheer, onderhoud en kwetsbare constructies:* Dit trekt een wissel op de toekomst. Een langdurige afhankelijkheid van goed rentmeesterschap van Rijkswaterstaat, ook in tijden van rampspoed, maakt het riviersysteem minder robuust. Idealiter heeft het riviersysteem ook veerkracht waarmee het zich via natuurlijke processen na verstoringen kan herstellen.

Deze aspecten vragen om grondig onderzoek alvorens tot een specifieke verdieping van het zomerbed over te gaan. Hoewel een afweging en definitieve stellingname buiten het bereik van dit advies valt, is de conclusie gerechtvaardigd dat zomerbedverdieping zich slecht verhoudt met integraal en vooruitziend rivierbeheer. Dit geldt eens te meer nu het Verhaal van de Maas als gidsprincipe aanbeveelt om de natuurlijke sedimenthuishouding te herstellen, inclusief doorgaand sedimenttransport en stoppen met het onttrekken van sediment aan het zomerbed.

5 Literatuurverwijzingen

- Anonymus (Rijkswaterstaat?) (2000), Project Zandmaas/Maasroute; Nota van Toelichting Tracébesluit.
- Asselman, N., H. Barneveld, F. Klijn & A. van Winden (2019), Het Verhaal van de Maas; De Maas uit balans? Deltares, HKV Lijn in Water en Bureau Strooming.
- Berkhof, A., J. Kabout, R. Loeve, M. van de Paverd & D. Verhoeven (2018), MIRT onderzoek Duurzame Bodemligging Rijntakken; Eindrapportage, "De Rivierbodem is de basis van alle belangen". Eindrapport MIRT onderzoek inclusief kostenramingen, Bijlage 1. Arcadis, IenW & Rijkswaterstaat Oost-Nederland, versie 9 mei 2018 (in Dutch).
- Best, J. (2018), Anthropogenic stresses on the world's big rivers. *Nature Geoscience*, DOI: 10.1038/s41561-018-0262-x.
- Bravard, J.-P., G.M. Kondolf & H. Piégay (1999), Environmental and societal effects of river incision and remedial strategies. In: A. Simon & S.E. Darby (Eds.), *Incised River Channels*, Wiley, Chichester, pp.303-341.
- De Lange, G., W.H.J. van der Velden, J. Kopinga, R.F. Hanssen, P. Marinkovic, J.T. Buma, N. Goorden & M.A.J. Bakker (2009), Onderzoek naar zettingen in de gemeente Zevenaar. Rapport 2009-U-R79206, Deltares.
- De Persdienst (2013), Dijken dupe van Deltawerken. *Provinciale Zeeuwse Courant*, 26 januari 2013, p.7.
- De Vries, J.W. (1947), De Maasverbetering voltooid. *De Ingenieur*, Vol.59, No.32, pp.B.75-B.80.
- Die Moran, A, K. El Kadi Abderrazzak, E. Mosselman, H. Habersack, F. Lebert, D. Aelbrecht & E. Laperrousaz (2013), Physical model experiments for sediment supply to the old Rhine through induced bank erosion. *International Journal of Sediment Research*, Vol.28, No.4, pp.431-447, DOI: 10.1016/S1001-6279(14)60003-2.
- Friedrichs, S. (2018), 'Drempel in de Waal' brengt schippers met laagwater in problemen. *Algemeen Dagblad*, 31 augustus 2018.
- Frings, R.M. et al (2014), Fluvial sediment budget of a modern, restrained river: The lower reach of the Rhine in Germany. *Catena*, Vol.122, pp.91-102, doi:10.1016/j.catena.2014.06.007.
- Frings, R.M. & W.B.M. Ten Brinke (2017): Ten reasons to set up sediment budgets for river management, *International Journal of River Basin Management*, DOI:10.1080/15715124.2017.1345916.
- GEAS (2014), Sand, rarer than one thinks. UNEP Global Environmental Alert Service, www.unep.org/geas.

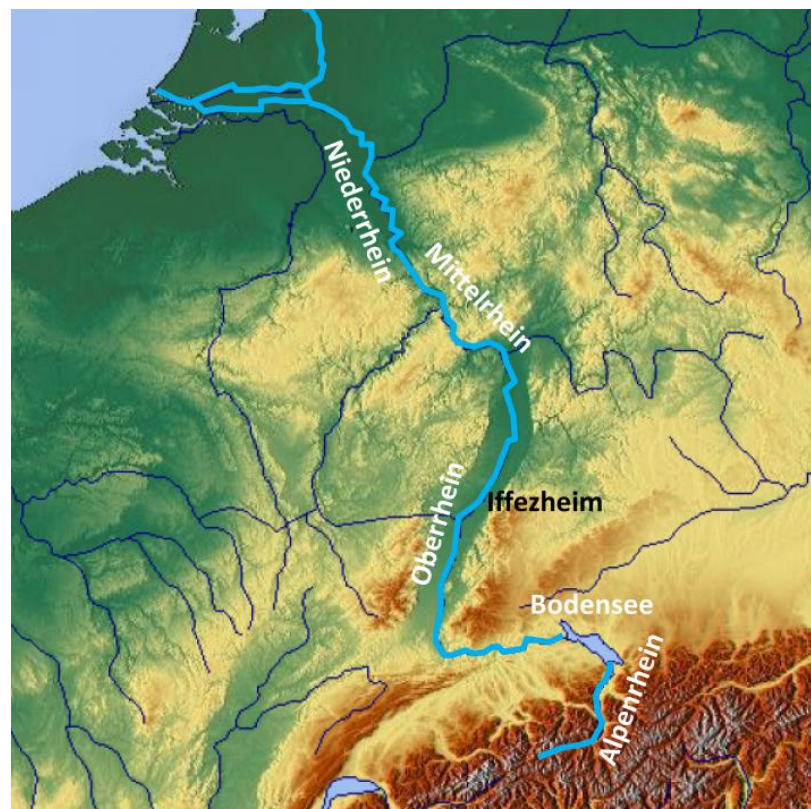
- Helmer, W., G.J. Klaassen & W. Silva (1991), Toekomst voor een grindrivier; Deel 5: Rivierkundige aspecten van natuurontwikkeling. Stroming, Waterloopkundig Laboratorium en Rijkswaterstaat-RIZA, nota nr. 91.007.
- Hillebrand, G. & R.M. Frings (2017), Von der Quelle zur Mündung: Die Sedimentbilanz des Rheins im Zeitraum 1991 – 2010. International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin, report No II-22, ISBN: 978-90-70980-39-9, doi: 10.5675/KHR_22.2017.
- Hoitink, A.J.F., Z.B. Wang, B. Vermeulen, Y. Huismans & K. Kästner (2017), Tidal controls on river delta morphology. Nature Geoscience. DOI: 10.1038/NGEO3000.
- Huismans, Y. & O. van Duin (2016), Advies beheer rivierbodem van de Rijn-Maasmonding. Rapport 1208925-000, Deltares, Delft, juni 2016.
- Kondolf, G.M. (1997), Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels. Environmental Management, Vol.21, No.4, pp.533-551.
- Lesschen, H. (2003), Rivierverruiming; Overdrachtdossier van planfase naar realisatiefase. Rapport Zandmaas/Maasroute, DMW2003/4444, 4 augustus 2003.
- Ogink, H.J.M. (2000), Aandachtspunten hydraulica en morfologie. Rapport Q2606, WL | Delft Hydraulics, Delft, februari 2000.
- Ogink, H.J.M. (2002), Quick scan zomerbedverdieping Merweden. Rapport Q3304, WL | Delft Hydraulics, Delft, september 2002.
- Reeze, B., A. van Winden, J. Postma, R. Pot, J. Hop en W. Liefveld (2017), Watersysteemrapportage Rijnakken 1990-2015; Ontwikkelingen waterkwaliteit en ecologie. Bart Reeze Water & Ecologie, Harderwijk.
- Rubio, A.I. (2018), 'Gat' in Oude Maas kan Spijkenisserbrug doen wankelen. Algemeen Dagblad, 19 september 2018.
- Schreuder, A. (2018), In Zevenaar verzakken de huizen; Straks ook elders in het land. NRC, 26 november 2018.
- Sieben, J. (2009), Sediment management in the Dutch Rhine branches. International Journal of River Basin Management, Vol.17, pp.43-53.
- Sieben, A. (2016), Kort overzicht trends, prognose, maatregelen RT. Rijkswaterstaat, presentatie 3 juni 2016.
- Sloff, C.J., A. van Spyk, E. Stouthamer & A. Sieben (2013), Understanding and managing the morphology of branches incising into sand-clay deposits in the Dutch Rhine Delta. International Journal of Sediment Research, Vol.28., No.2, pp.127-138, [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(13\)60025-6](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(13)60025-6).
- Sloff, K. (2015), Zet Haringvlietsluizen open om dijken te beschermen. Rijnmond TV, 11 februari 2015, <https://www.youtube.com/watch?v=DfTTdR0IJuc>.

- Surian, N. & M. Rinaldi (2003), Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, Vol.50, pp.307-326.
- Syvitski, J.P.M. & J.D. Milliman (2007), Geology, geography and humans battle for dominance over the delivery of fluvial sediments to the coastal ocean. *J. Geol.*, 115(1), pp.1-20.
- Syvitski, J.P.M., A.J. Kettner, I. Overeem, E.W.H. Hutton, M.T. Hannon, G.R. Brakenridge, J. Day, C. Vörösmarty, Y. Saito, L. Giosan & R.J. Nicholls (2009), Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, Vol.2, No.10, October 2009, DOI: 10.1038/NGEO629, pp.681-686.
- Termes, A.P.P. & A. Boogaard (1991), Voorkomen van ijs op de Nederlandse Rijntakken. Rapport Q1064, delen I en II, Waterloopkundig Laboratorium.
- Van Dongen, B. & D. Meijer (2008), Zomerbedveranderingen van de Maas (1889-2007). Meander advies en onderzoek, rapport 10314/4500103893 voor Rijkswaterstaat Dienst Limburg.
- Van Heel, L. (2013), Oude Maas ondergraaft dijk; Noodscenario om overstroming van Hoogvliet te voorkomen. *Algemeen Dagblad*, 24 september 2013, p.8.
- Vermeer, K. & E. Mosselman (2005), Morfologische effecten in de Rijn-Maasmonding; Achtergronddocument bij de PKB Ruimte voor de rivier. Rapport PR1026, HKV Lijn in Water & WL | Delft Hydraulics (WL: Q4041).
- Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Freiburg (2018), Langfristige Sicherung der Geschiebezugabe in Iffezheim (LSG). Website met video's <http://www.wsa-freiburg.de/projekte/lsg/index.html>, voor het laatst gewijzigd op 2 mei 2018, geconsulteerd op 29 november 2018.
- Waterloopkundig Laboratorium (1994a), De Maas Meester. Onderzoek Watersnood Maas (Boertien 2), hoofdrapport, Q1858, ISBN 90-802314-2-8.
- Waterloopkundig Laboratorium (1994b), Morfologische aspecten. Onderzoek Watersnood Maas (Boertien 2), deelrapport 6, Q1858, ISBN 90-802314-2-8.
- Waterloopkundig Laboratorium (1994c), Geohydrologische aspecten. Onderzoek Watersnood Maas (Boertien 2), deelrapport 7, Q1858, ISBN 90-802314-2-8.
- Wijbenga, J.H.A., J.J.P. Lambeek, E. Mosselman, R.L.J. Nieuwkamer & R.H. Passchier (1993), Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen; Deelrapport 2: Maatgevende belastingen. Waterloopkundig Laboratorium en European-American Center for Policy Analysis.
- Zuiderwijk, M., F. Roest & B. Flach (2018), Verkenning Ravenstein-Lith; Effectstudie zomerbedverdieping. Plan van aanpak, Ingenieursteam Meanderende Maas, versie 03, 17 september 2018, kenmerk WP-DO2-23_V01.

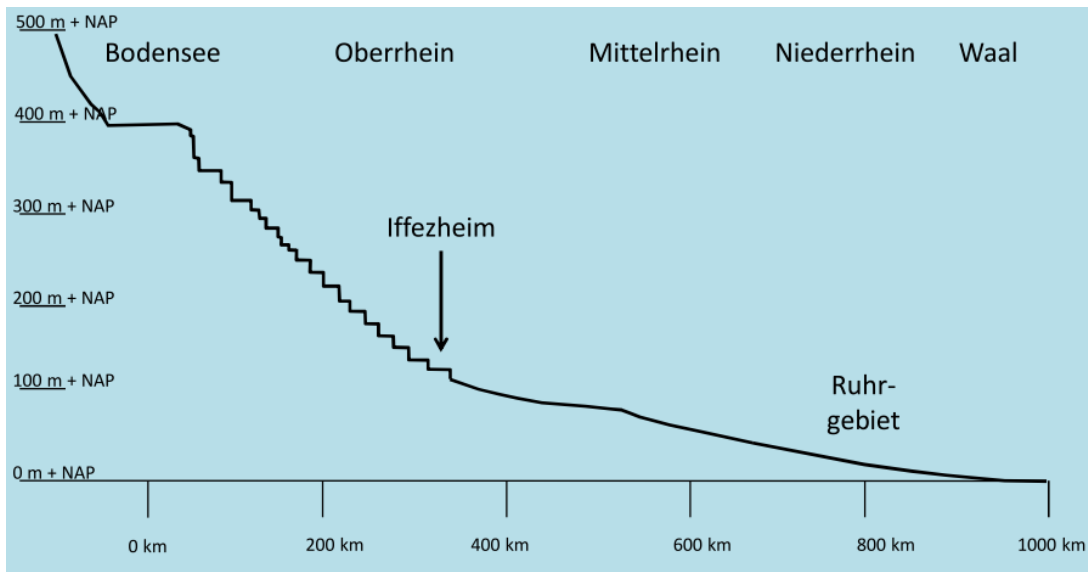
A Ervaringen uit de Rijn

A.1 De Rijn in Duitsland

De Rijn ontspringt in Zwitserland en stroomt via Liechtenstein, Oostenrijk, Frankrijk en Duitsland naar Nederland (Figuren A.1 en A.2). Zijn sedimenthuishouding heeft grote veranderingen ondergaan (Hillebrand & Frings, 2017). In de negentiende eeuw is de Oberrhein gereguleerd onder leiding van Johann Gottfried Tulla, bekend van zijn uitspraak dat geen enkele rivier op de wereld meer dan één bedding nodig heeft. Hoofddoelen waren het verminderen van wateroverlast, het tot ontwikkeling brengen van landbouwgebieden en het uitroeien van malaria. Ook verbetering van de bevaarbaarheid was een overweging. De regulering zette echter erosie in gang waardoor de rivier zich tot 7 m diep insneed (Die Moran et al, 2013). Op sommige plaatsen bereikte de erosie de harde ondergrond waardoor bij laag water obstakels ontstonden voor de scheepvaart (Figuur A.3). Uiteindelijk was de Oberrhein niet meer bevaarbaar en werd parallel een kanaal voor de scheepvaart aangelegd, het Grand Canal d'Alsace. Bovendien werd het sediment op de bodem steeds grover, omdat vooral de fijnste sedimentkorrels bij de erosie werden weggenomen. De bodem is nu zo grof dat er nauwelijks meer enige morfodynamiek optreedt (Figuur A.3). De regulering van de Oberrhein versnelde ook de afvoer van hoogwatergolven, waardoor maatgevende afvoerpieken op de Duitse Niederrhein en de Nederlandse Bovenrijn nu 1000 m³/s hoger zijn dan in het verleden.



Figuur A.1. De loop van de Rijn.



Figuur A.2. Lengteprofiel van de Rijn.



Figuur A.3. De Oberrhein op de grens tussen Duitsland (links) en Frankrijk (rechts). Door erosie van de bedding tot op de harde ondergrond, als gevolg van Tulla's Rheinkorrektur, werd de rivier steeds minder bevaarbaar.

Om de afvoer van hoogwatergolven weer te vertragen legden Duitsland en Frankrijk dijken terug en legden zij retentiepolders aan binnen het Integrale Rijnprogramma (Integrated Rhine Programme, IRP²). Met suppletie van materiaal uit afgegraven retentiepolders en aanpassing van kribben probeert Frankrijk voor ecologische doeleinden ook weer enige morfodynamiek terug te brengen op de rivierbodem (Die Moran et al, 2013).

² https://en.wikipedia.org/wiki/Upper_Rhine

De Oberrhein onderging niet alleen regulering van de bedding, maar ook kanalisatie door de aanleg van dammen. Doordat deze dammen het doorgaande sedimenttransport onderbraken, begon de bodem stroomafwaarts van de laatste dam bij Iffezheim te eroderen. Om verdere daling van het zomerbed te voorkomen wordt daar nu jaarlijks 185.000 m³ aan sediment gesuppleerd. Dit sediment wordt betrokken uit een voorraad van 28 miljoen ton materiaal dat is vrijgekomen bij het afgraven van de retentiepolders. Handhaving van de diepteligging van het zomerbed is daarmee voor een periode van 80 jaar gegarandeerd (Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Freiburg, 2018).

Het zomerbed van de Niederrhein vertoonde eveneens een trend van voortgaande erosie (Frings et al, 2014). De Duitse rivierbeheerders suppleren daarom al jaren grof sediment, in samenspraak met Rijkswaterstaat. Zo hebben zij de bodemligging van de Niederrhein met succes gestabiliseerd. De laatste jaren leeft echter de vraag of de resulterende vergroving van de bodem de erosie benedenstrooms, na de grens met Nederland, niet juist versterkt heeft (cf. Frings & Ten Brinke, 2017). De samenhang tussen bodemerosie, suppletie en vergroving van het sediment wordt geadresseerd door de onderzoeksgroep van Astrid Blom aan de TU Delft.

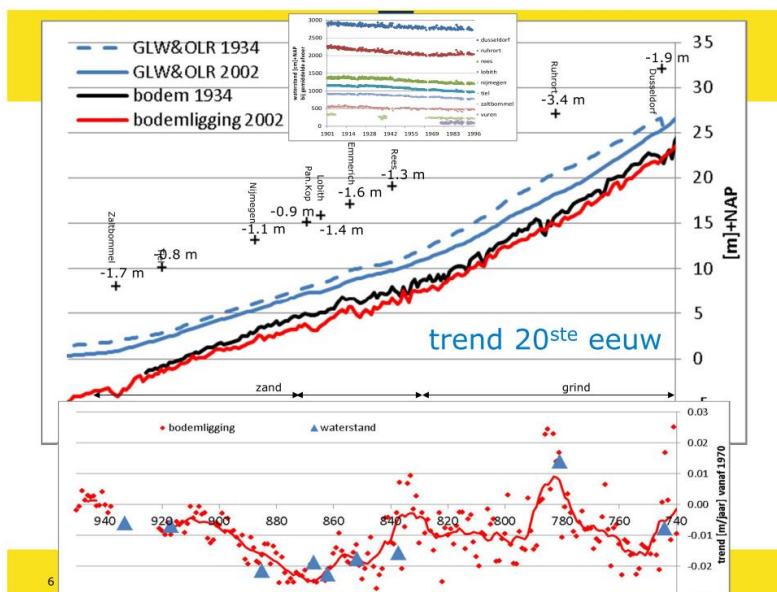
A.2 De Rijntakken in Nederland

Net als in Duitsland erodeerde ook het zomerbed van de Nederlandse Rijntakken gedurende de laatste anderhalve eeuw (cf. Figuren A.4 en A.5). Omdat het einde van deze erosie nog niet in zicht is, voerde Arcadis een MIRT-verkenning uit om het probleem in kaart te brengen en mitigerende maatregelen voor te stellen (Berkhof et al, 2018). Als mogelijke maatregelen onderzocht Arcadis vooral sedimentsuppleties en langsdammen. Het meest nijpende gevolg van de erosie van het zomerbed is dat de vaste laag bij Nijmegen nu bij lage afvoeren een obstakel is voor de scheepvaart. Daarnaast ontstaan problemen bij kabels en leidingen die de rivier kruisen.

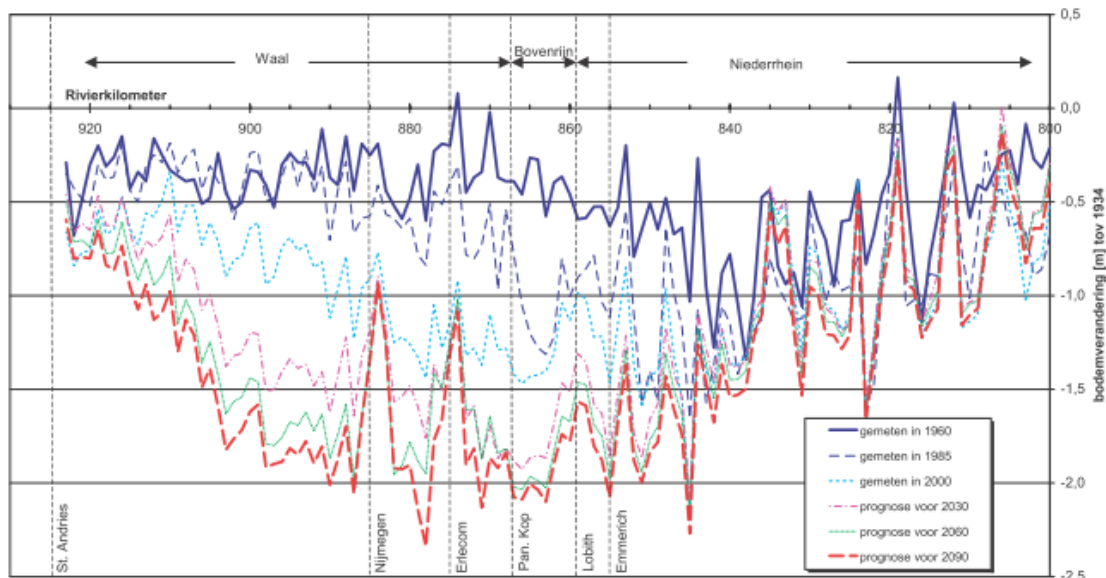
Voor de erosie van het zomerbed van de Rijntakken is in principe een scala aan oorzaken aan te wijzen:

- Riviernormalisaties in de 19^e en 20^e eeuw waarbij nevengeulen werden afgesloten en de resterende hoofdgeul met kribben werd versmald;
- Bochtafsnijdingen, leidend tot terugschrijdende erosie bovenstrooms;
- Blokkering van sedimenttoevoer door dammen in het stroomgebied;
- Winning van zand en grind, vooral in de jaren '70 in grote hoeveelheden;
- Mijnzakkingen in Duitsland, op twee schaalniveaus: (1) lokaal instortende mijngangen waardoor gaten vallen in de rivierbodem die sediment invangen; (2) algemene daling van het Ruhrgebied door steenkoolwinning, waardoor de zijrivieren Lippe, Emscher en Ruhr minder energie hebben om sediment naar de Rijn te voeren (opgemerkt door Arjan Tuijnder van Arcadis in analyses voor Berkhof et al, 2018);
- Wateronttrekkingen uit zijrivieren door het Ruhrgebied voor drinkwater (Lippe) en industriewater (Ruhr), met als gevolg minder capaciteit om sediment naar de Rijn te transporteren;
- Suppletie van grof materiaal in Duitsland, met als gevolg minder sedimenttransport naar Nederland (Frings & Ten Brinke, 2017);
- Verlaging van waterstanden benedenstrooms door baggeren voor de zeevaart op de riviertakken van de Rijn-Maasmonding, alsof de zee meer landinwaarts wordt gelegd;
- Extra zeewaarts sedimenttransport door de schroefstraal en de retourstroom van geladen opvaart (hypothese van Henk Eerden, Rijkswaterstaat Oost-Nederland).

Op dit moment is niet duidelijk hoeveel elk van deze mogelijke oorzaken bijdraagt aan de waargenomen erosie. Lopend promotieonderzoek van Meles Tewolde aan de TU in Delft beoogt hierin meer duidelijkheid te brengen. Berkhof et al (2018) vinden dat de oorzaken in ieder geval niet uitsluitend in Duitsland liggen. Hun modelberekeningen laten zien dat de Waal zelfs bij een overschot aan sedimentaanvoer uit Duitsland zou blijven eroderen.



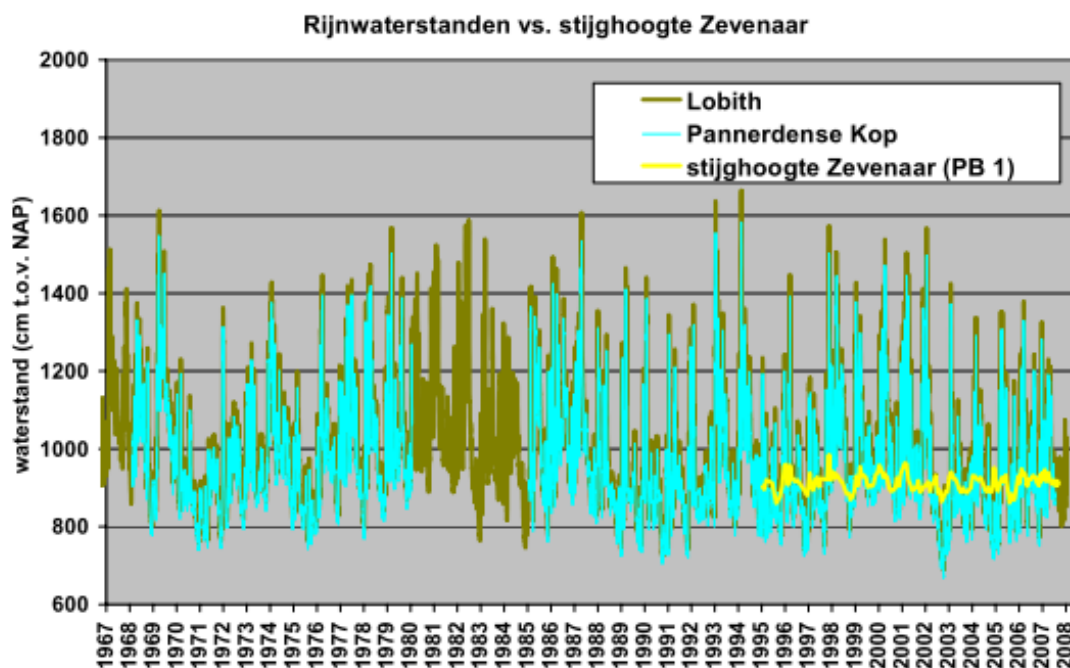
Figuur A.4. Bodemliggingen en jaarlijkse veranderingen in bodemligging van Nederrijn, Bovenrijn en Waal (Sieben, 2016).



Figuur A.5. Verdiepingen van het zomerbed in Nederrijn, Bovenrijn en Waal in verschillende jaren ten opzichte van de bodemligging in 1934 (Sieben, 2009).

In de aanloop naar Ruimte voor de Rivier identificeerde een studie voor de Eerste Commissie Boertien zomerbedverdieping door het uitbaggeren van lange trajecten als een kansrijke maatregel voor de Waal en de Maas (Wijbenga et al, 1993). Vijftientig jaar geleden werd blijkbaar de voortgaande zomerbederosie niet als een probleem gezien. Ogink (2002) concludeerde echter al dat zomerbedverdieping geen duurzame maatregel is, omdat deze aanleiding geeft tot extra onderhoudsbaggerwerk. Bij de meeste Ruimte-voor-de-Rivier-projecten langs de Rijntakken is dan ook niet voor zomerbedverdieping gekozen.

Tijdens de lange droge periode van 2018 veroorzaakte de opgetreden erosie van het zomerbed diverse problemen. De laagwaterafvoeren van de Rijn waren niet uitzonderlijk laag, maar de bijbehorende waterstanden braken historische laagterecords als gevolg van de diepere ligging van het zomerbed. Scheepvaart ondervond maandenlang hinder door vaarwegbeperkingen, beperkte beladingsgraad en onvoldoende bevoorrading van brandstofstations. Er liepen zelfs schepen vast op de vaste laag bij Nijmegen (Friedrichs, 2018). Lage grondwaterstanden veroorzaakten scheuren en verzakkingen bij huizen in Zevenaar (Schreuder, 2018). Deze grondwaterstanden hangen vooral af van regionaal neerslagtekort, maar worden ook beïnvloed door waterstanden op de rivier (Figuur A.6; De Lange et al, 2009). De grondwaterstanden die in Figuur A.6 rond 9 m + NAP fluctueren, zakten in de droge periode van 2018 tot waarden rond 8 m + NAP. De rivierwaterstanden zakten toen onder een niveau van 7 m + NAP, bijna 2 m lager dan in 1934 bij dezelfde afvoer zou zijn opgetreden (Figuur A.5). De rivier beïnvloedde de schade in Zevenaar dus niet door klimaatverandering maar door de opgetreden zomerbederosie. Wel wordt verwacht dat laagwaterafvoeren en bijbehorende laagwaterstanden door klimaatverandering zullen afnemen en langer zullen aanhouden³.



Figuur A.6. Rivierwaterstanden bij Lobith en de Pannerdense Kop en grondwaterstanden in Zevenaar (De Lange et al, 2009).

³ Tot nu toe lijken de trends in waargenomen laagwaterafvoeren overigens eerder omgekeerd (Reeze et al, 2017).

Samenvattend laat de ervaring met erosie langs de Rijn zien dat verdieping van het zomerbed kan leiden tot knelpunten in de bevaarbaarheid op lange termijn, blootstelling van kabels en leidingen, een tekort aan winbaar zand en grind, droogteschade aan natuur en landbouw, en mogelijke schade aan bebouwing.

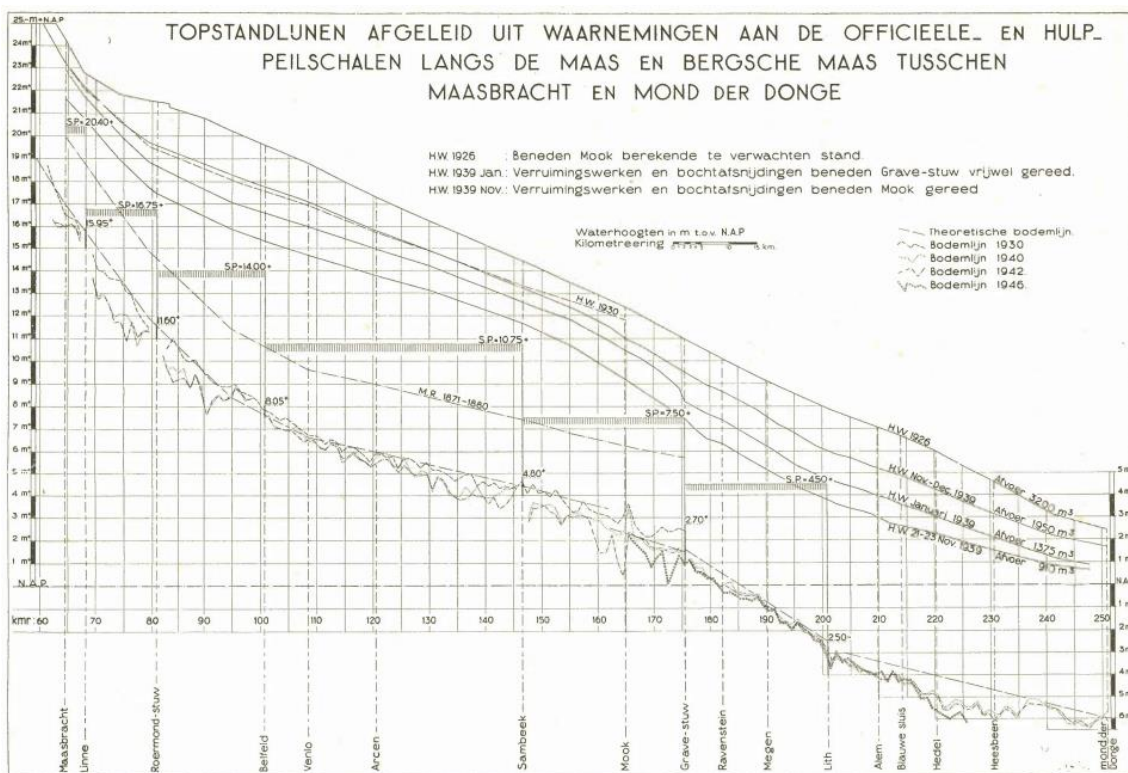
A.3 De Rijn-Maasmonding

De bodems van de rivieren in de Rijn-Maasmonding hebben een heterogene opbouw met lagen van afwisselend zand en geconsolideerde klei en veen. Lagen van klei of veen zijn erosiebestendig en slijten slechts langzaam af. Breekt een dergelijke laag eenmaal door, dan wordt het onderliggende zand blootgesteld aan de stroming en kunnen snel diepe ontgrondingskuilen ontstaan (Sloff et al, 2013; Huismans & Van Duin, 2016; Hoitink et al, 2017). Dit proces is in de afgelopen decennia versneld door zomerbedverdieping ten behoeve van de scheepvaart, verhoogde stroomsnelheden na afsluiting van het Haringvliet (De Persdienst, 2013) en lokale uitschuring als gevolg van de aanleg van constructies als brugpijlers en bodembeschermingen. Deze versnelde verschijning en groei van ontgrondingskuilen veroorzaakte een opeenvolging van dreigingen, zoals doorbraak van de dijk bij Hoogvliet (Van Heel, 2013), het in de rivier glijden van buitendijkse luxe appartementen in Nieuw-Beijerland (Sloff, 2015), en instorten van de brug bij Spijkenisse (Rubio, 2018). Deze dreigingen maakten onmiddellijke maatregelen noodzakelijk.

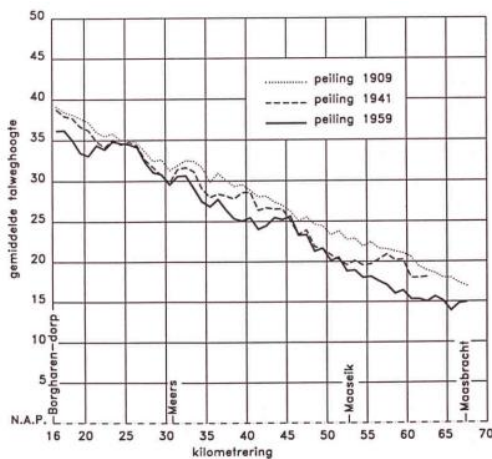
Samenvattend heeft verdieping van het zomerbed in de Rijn-Maasmonding bijgedragen aan een domino-effect van zich steeds verder uitbreidende erosie die de stabiliteit van waterkeringen en kunstwerken bedreigt. Daarnaast heeft verdieping in dit gebied ook het ongewenste effect van meer zoutindringing.

B Veranderingen in zomerbedligging van de Maas

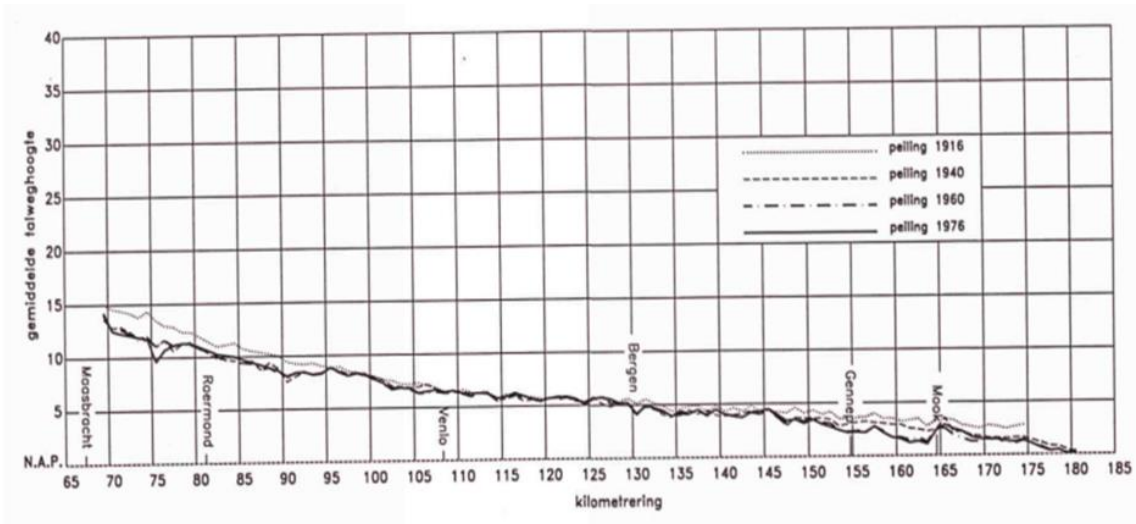
Deze bijlage verzamelt visualisaties van ontwikkelingen van het bodemlengteprofiel van de Maas volgens De Vries (1947), Waterloopkundig Laboratorium (1994b) en Van Dongen & Meijer (2008).



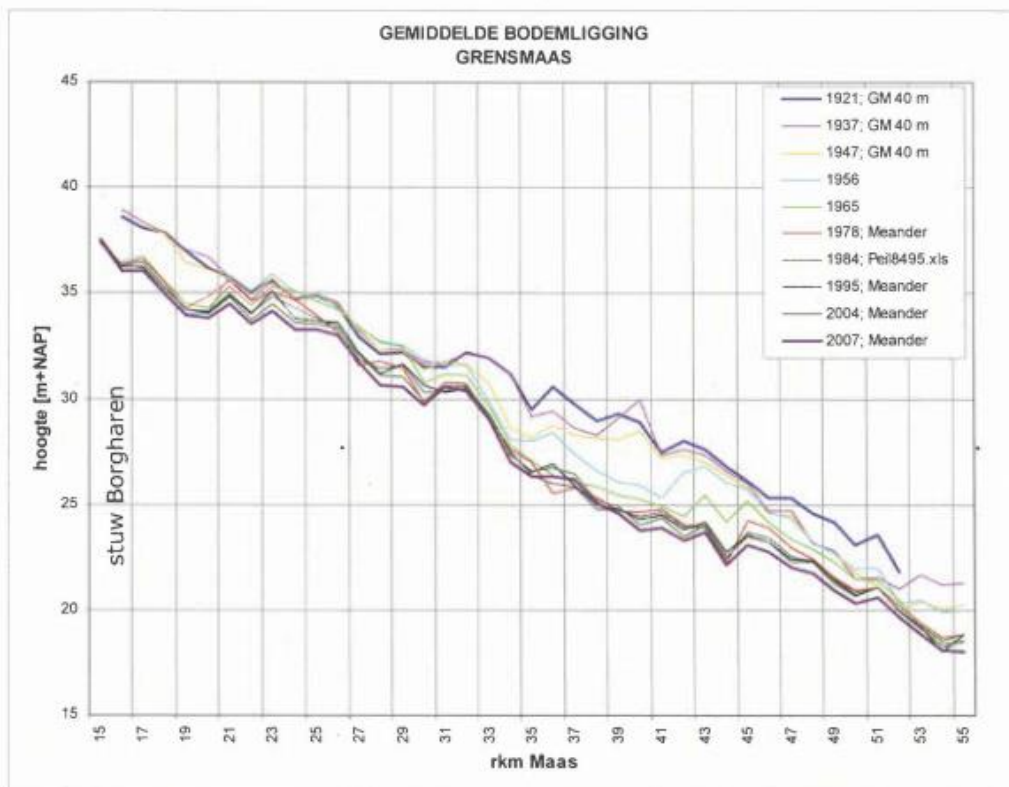
Figuur B.1. Bodemlengteprofielen 1930, 1940, 1942 en 1946, naast stuwpeilen en hoogwaterstanden 1926 en 1939 (De Vries, 1947).



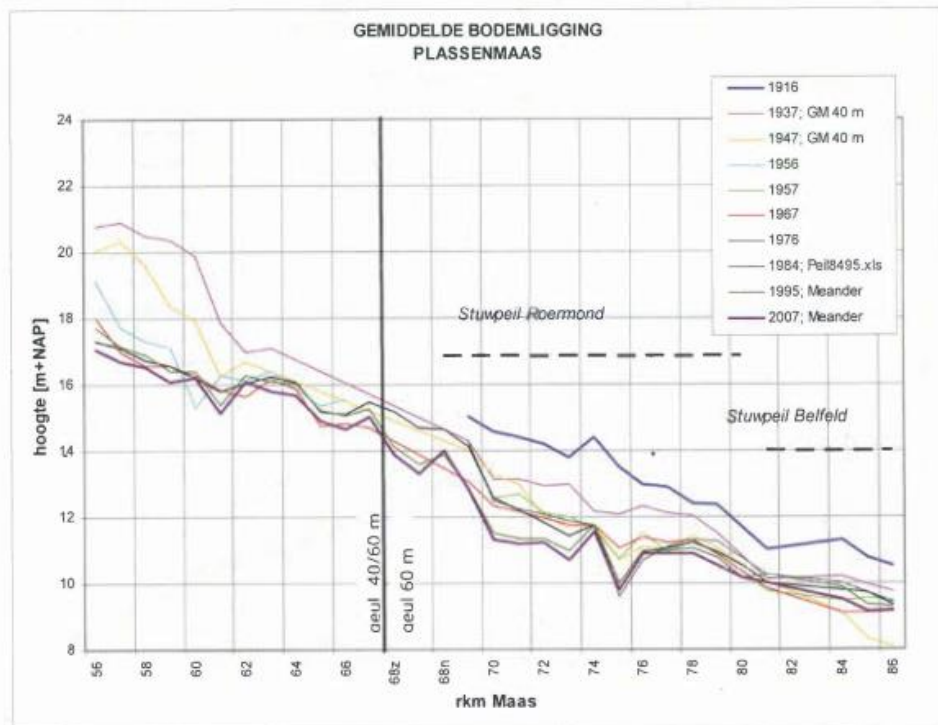
Figuur B.2. Bodemlengteprofielen Grensmaas 1909, 1941 en 1959 (Waterloopkundig Laboratorium, 1994b).



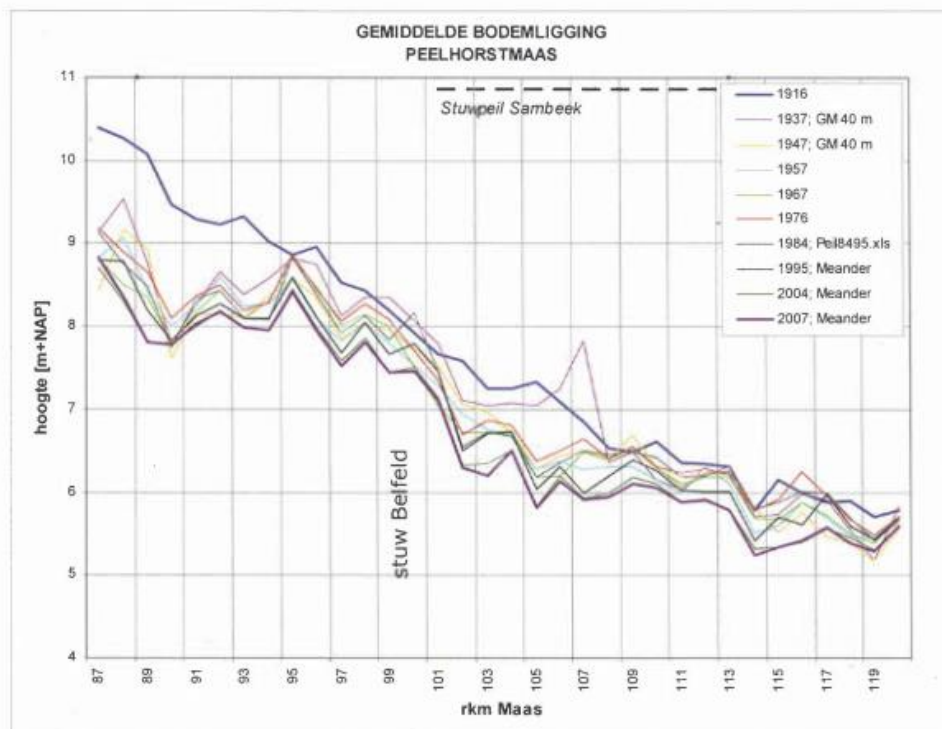
Figuur B.3. Bodemlengteprofielen Zandmaas 1916, 1940, 1960 en 1976 (Waterloopkundig Laboratorium, 1994b).



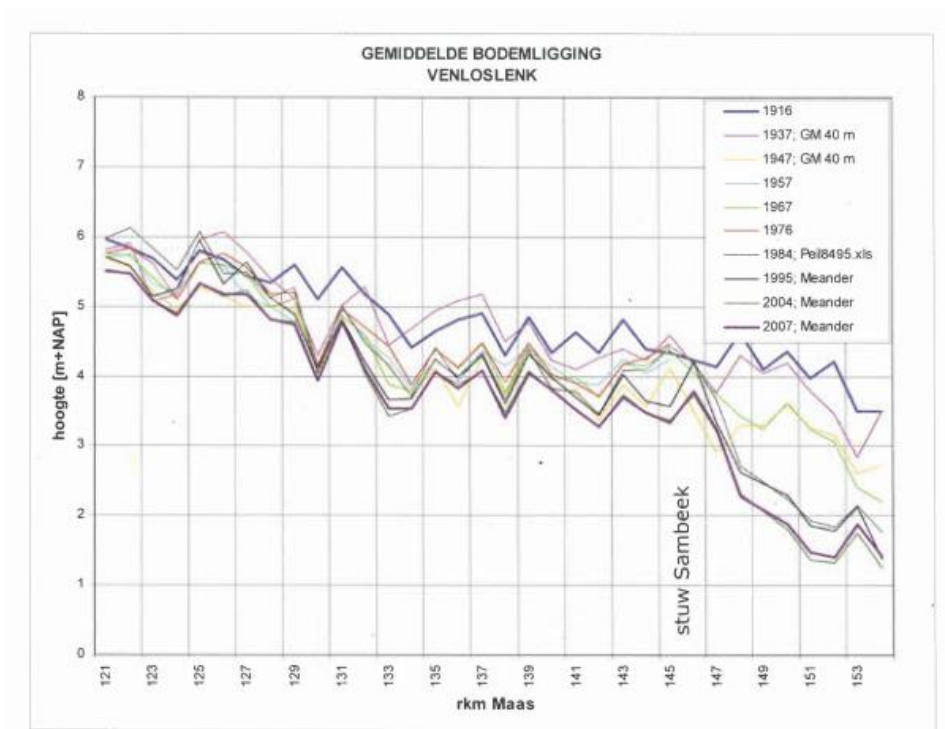
Figuur B.4. Bodemlengteprofielen Maastraject km 15-55 in 1921, 1937, 1947, 1956, 1965, 1978, 1984, 1995, 2004, 2007 (Van Dongen & Meijer, 2008).



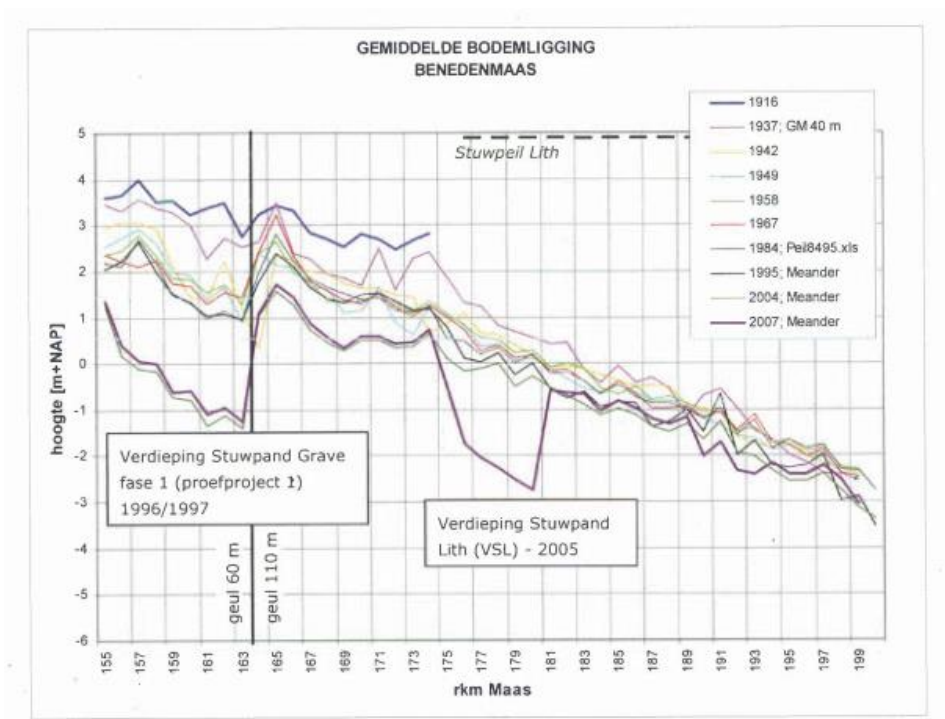
Figuur B.5. Bodemlengteprofielen Maastraject km 56-86 in 1916, 1937, 1947, 1956, 1957, 1967, 1976, 1984, 1995, 2007 (Van Dongen & Meijer, 2008).



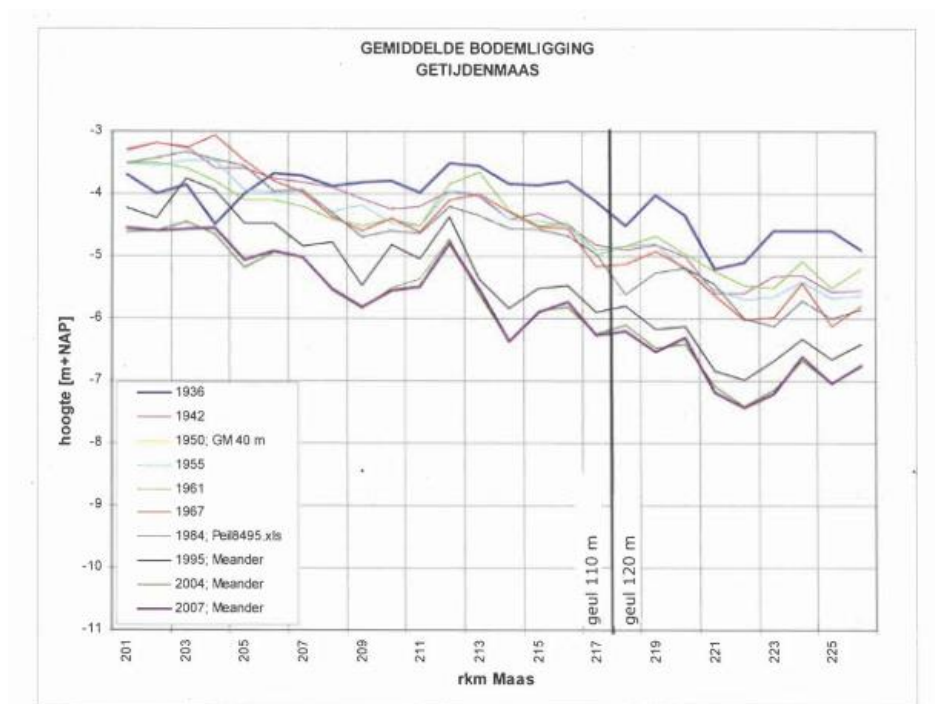
Figuur B.6. Bodemlengteprofielen Maastraject km 87-120 in 1916, 1937, 1947, 1957, 1967, 1976, 1984, 1995, 2004, 2007 (Van Dongen & Meijer, 2008).



Figuur B.7. Bodemlengteprofielen Maastraject km 121-155 in 1916, 1937, 1947, 1957, 1967, 1976, 1984, 1995, 2004, 2007 (Van Dongen & Meijer, 2008).



Figuur B.8. Bodemlengteprofielen Maastraject km 155-200 in 1916, 1937, 1942, 1949, 1958, 1967, 1984, 1995, 2004, 2007 (Van Dongen & Meijer, 2008).



Figuur B.9. Bodemlengteprofielen Maastraject km 201-226 in 1936, 1942, 1950, 1955, 1961, 1967, 1984, 1995, 2004, 2007 (Van Dongen & Meijer, 2008).