

Blue Carbon in binnendijkse kwelders

Principes en berekening van koolstofvastlegging
Life IP Deltanatuur, Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers,
Stichting Nationale Koolstofmarkt, Rijkswaterstaat,
Wageningen Marine Research en Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit

10 februari 2023



LIFE IP
} Deltanatuur

Contactpersoon



JELMER CLEVERINGA

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers als onderdeel van het programma LIFE IP Deltanatuur.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Inleiding	6
1.2	Wat is een binnendijkse kwelder?	6
1.3	Doelstelling en aanpak	8
2	Principes van binnendijkse kwelders	10
2.1	Inleiding	10
2.2	Gemiddelde- en stormwaterstanden binnendijks	11
2.3	Hoogte en sedimentatie	13
2.4	Binnendijkse waterstanden, sedimentatie en kwelderontwikkeling bij zeespiegelstijging	16
3	Koolstofvastlegging in binnendijkse kwelders	19
3.1	De overeenkomst tussen binnendijkse en buitendijkse koolstofvastlegging in kwelders	19
3.2	Verschillen tussen binnendijkse en buitendijkse koolstofvastlegging	19
3.3	Gevolg voor het berekenen van de vastlegging van koolstof in binnendijkse kwelders.	20
3.4	Aandachtspunten	22
4	Conclusies en aanbevelingen	24
5	Bronnen	25
	Colofon	26

1 Inleiding

1.1 Inleiding

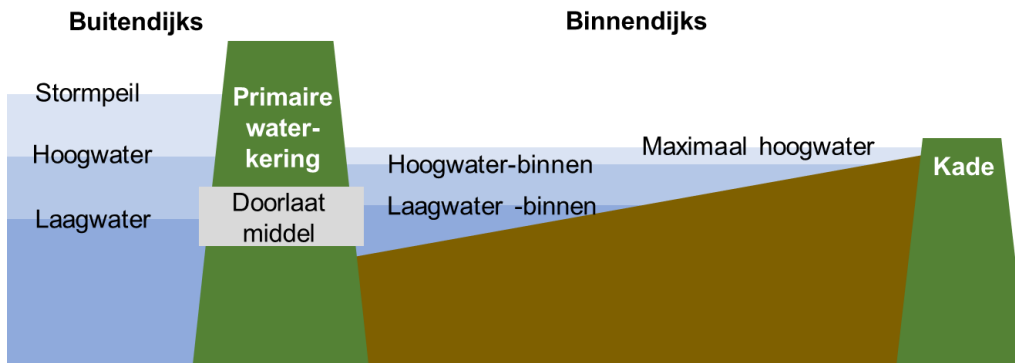
Blue Carbon is opgenomen in het klimaatakkoord van 2019 als een mogelijkheid om een waardevolle bijdrage te leveren aan klimaatadaptatie en – mitigatie. De Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers, gericht op het creëren van ruimte voor natuurlijke processen, die mee kunnen groeien met klimaatverandering, vroeg Arcadis om een eerste inventarisatie van de Blue Carbon potentie in de Eems-Dollardregio te maken (Koenders et al., 2021). Het onderzoek gaf overzicht van 40 voorgenomen en lopende projecten in de Eems-Dollardregio, waarin wordt gewerkt met koolstofrijk sediment en ontwikkeling van kwelders, zeegras- of schelpdierbanken en binnendijkse kwelders, dubbele dijken, wisselpolders, ophogen landbouwgronden met slib uit de Eems-Dollard, bewerken van slib tot andere producten via verschillende procedés, etc.. Om een inschatting te maken van de vastlegging van CO₂ in sedimenten, werd naar de hoeveelheid sediment gekeken (in totaal en sedimentatie per jaar), hoeveel organisch koolstof daarbij wordt vastgelegd, welk deel van de organische koolstof sowieso zou worden vastgelegd en welk deel van de organische koolstof wordt afgebroken na vastlegging. Uit deze inventarisatie is gebleken dat voor koolstofvastlegging de meest kansrijke projecten de Pilot Marconi en kwelderontwikkeling Uithuizerwad zijn, gevolgd door de Polder Breebaart (in combinatie met de toepassingen: Pilot Kleirijperij en Brede Groene Dijk), de Dubbele Dijk en de Grote Polder. Deze projecten zijn kansrijk op het gebied van koolstofvastlegging en op de overige criteria die zijn gebruikt voor de rangschikking. De fase waarin deze projecten zich bevinden verschilt, van reeds uitgevoerd (voor de Pilot Marconi), tot de verkenningsfase (kwelderontwikkeling Uithuizerwad). Voor de project-specifieke kwantificering van de potentiële koolstofvastlegging is voor een deel van deze projecten aanvullende kennis van de koolstofhuishouding nodig.

Voor de (buitendijkse) kwelderontwikkeling bestaat een methodiek, die door de Stichting Nationale Koolstofmarkt is vastgelegd. Er zijn nog kennisleemtes omtrent toepasbare rekenmethodes voor andersoortige projecten, zoals binnendijkse verkweldering, ophogen of verrijken van (landbouw)grond (op veenkoloniale zandgronden), toepassing van slib voor dijkversterking en het persen van slibblokken voor diverse toepassingen.

Het doel van het voorliggende onderzoek is om handvatten te bieden voor de CO₂ balans voor de vastlegging van slib in binnendijkse kwelders.

1.2 Wat is een binnendijkse kwelder?

De definitie die in dit rapport wordt gehanteerd voor een binnendijkse kwelder is dat deze aan de landzijde van de primaire waterkering ligt. Met andere woorden, net als de rest van het land achter de dijk wordt de binnendijkse kwelder beschermd door de aanwezigheid van een dijk of een dam. Voor het ontstaan en de ontwikkeling van de kwelder moet deze frequent overstromen met zoutwater en daarvoor moet zoutwater het binnendijkse gebied worden ingelaten. Het water dat met vloed naar en met eb vanuit het binnendijkse gebied stroomt, doet dat via een kunstwerk in de vorm van een duiker of sluis, waarvoor de generieke term doorlaatmiddel wordt gebruikt. In het binnendijkse gebied ontstaat hier door een getij, met hoog- en laagwater. Ten opzichte van het buitendijkse getij is binnendijks altijd sprake van een (iets) lager niveau van hoogwater en (iets) hoger niveau van laagwater en daarom wordt gesproken van een gecontroleerd of gedempt getij. Het doorlaatmiddel wordt afgesloten met een stormvloedkering tijdens stormcondities, om de werking van de primaire waterkering te garanderen en het hele achterland te beschermen tegen overstromingen. Omdat het doorlaatmiddel wordt afgesloten tijdens stormcondities is in de binnendijkse kwelder sprake van een maximale waterstand die lager is dan de maximale waterstand die buitendijks optreedt. Dit is in een schematische dwarsdoorsnede weergegeven in Figuur 1-1.

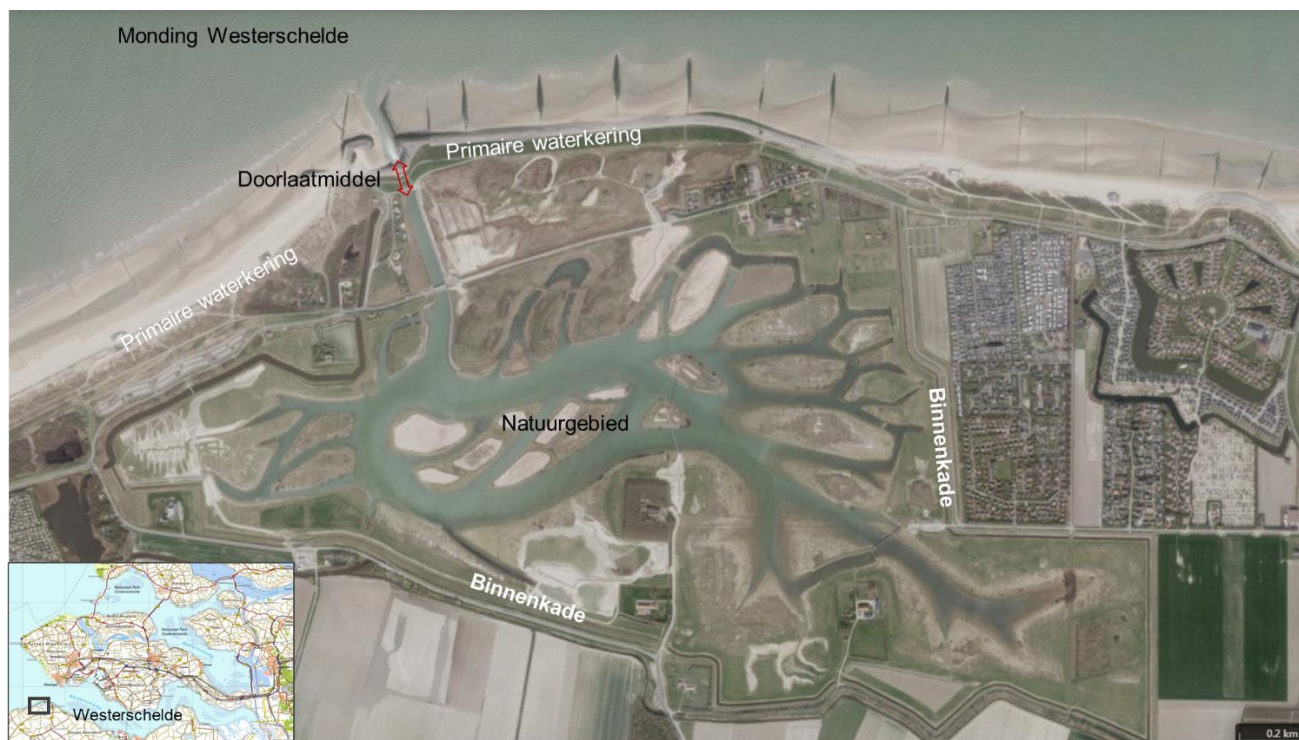


Figuur 1-1 Schematische langsdoorsnede van een binnendijks gebied met getij

Bestaande voorbeelden van gebieden waar sprake is van een binnendijkse kwelder onder invloed van een gecontroleerd getij zijn het Rammegors bij de Oosterschelde (Figuur 1-2) en Waterdunen bij de Monding van de Westerschelde (Figuur 1-3).



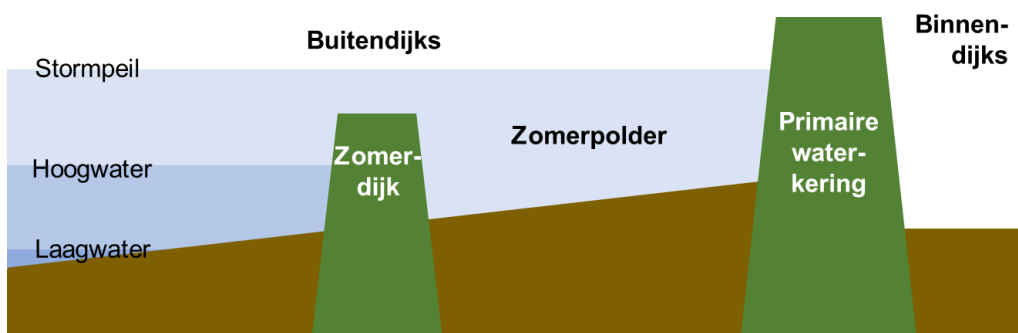
Figuur 1-2 Rammegors: Natuurgebied met binnendijkse getijdenatuur verbonden met de Oosterschelde.



Figuur 1-3 Waterdunen: Natuurgebied met binnendijkse getijdenatuur in Zeeuws-Vlaanderen

Niet alle kwelders achter dijken zijn Binnendijkse kwelders

Kweldergebieden die buitendijks (zeewaarts van de primaire waterkering) achter een zomerkade of zomerdijk liggen, die al dan of niet is voorzien van een sluis of duiker, zijn volgens deze definitie geen binnendijkse kwelders. Deze buitendijkse delen van kweldergebieden worden zomerpolders genoemd. Het belangrijke verschil tussen een binnendijkse kwelder achter een primaire waterkering en een zomerkwelder is de waterstand die optreedt onder stormcondities. Bij een binnendijkse kwelder wordt de maximale hoogwaterstand beperkt. Bij een zomerpolder volgt de hoogwaterstand de buitenwaterstand, zodat hier geen maximale hoogte aan is gebonden.



Figuur 1-4 Schematische langsdoorsnede door een zomerpolder.

1.3 Doelstelling en aanpak

Een binnendijkse kwelder komt in veel opzichten overeen met een buitendijkse kwelder, bijvoorbeeld als het gaat om de vestiging en de ontwikkeling van kweldervegetatie. Het is plausibel dat bij de sedimentatie op de binnendijkse kwelder ook sprake is van vastlegging van koolstof in het kweldersediment. Desondanks zijn er ook duidelijke

verschillen tussen binnendijkse en buitendijkse kwelders, als het gaat om de maximale waterstanden. Die verschillen hebben ook gevolgen voor de ontwikkelingen van binnendijkse kwelders en het verloop van de koolstofvastlegging in de tijd.

De doelstelling van het voorliggende rapport is om:

- De potentie van Blue Carbon voor binnendijkse kwelders vast te stellen;
- Beredeneren of de bestaande rekenmethode voor koolstofvastlegging in kwelders toepasbaar is voor binnendijkse kwelders.

De aanpak die hiervoor wordt gehanteerd is om de belangrijkste overeenkomsten en verschillen tussen reguliere kwelders en binnendijkse kwelders in beeld te brengen, waarbij wordt gekeken naar de waterstanden, de sedimentatie en de ecologische ontwikkelingen.

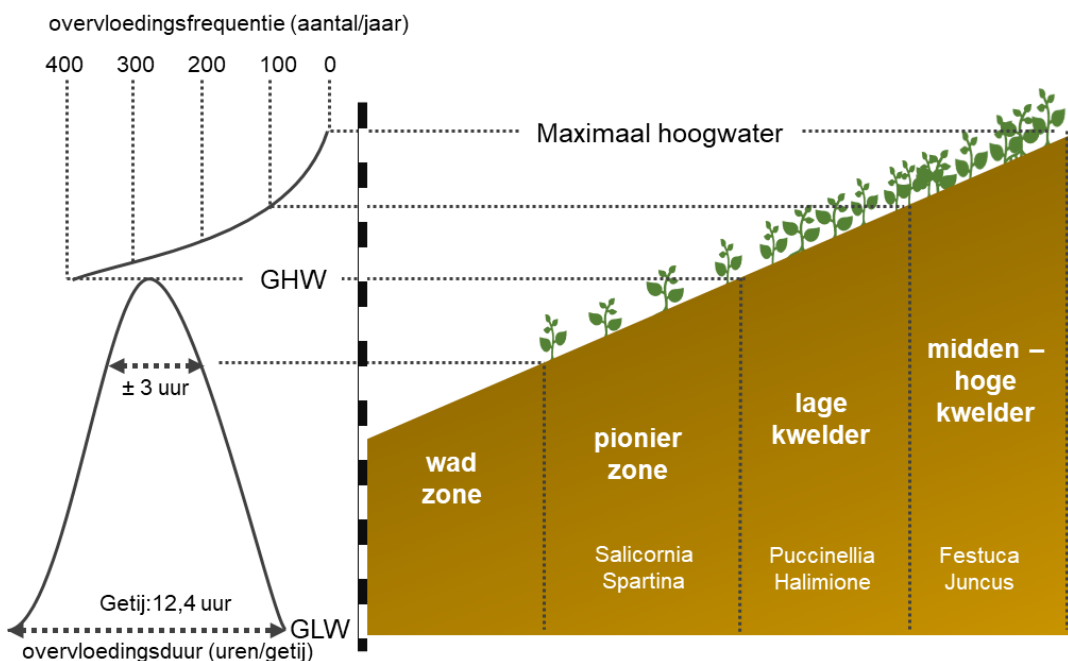
2 Principes van binnendijkse kwelders

2.1 Inleiding

Zoals in paragraaf 1.2 is gedefinieerd is een binnendijkse kwelder onderdeel van een getijdegebied dat landwaarts van een primaire waterkering ligt. Het zeewater wordt het gebied binnengelaten door een doorlaatmiddel in de vorm van een duiker of sluis, die is voorzien van een stormvloedkering. Bij een storm wordt het doorlaatmiddel gesloten, zodat de waterstand binnendijks niet verder oploopt. Daarmee is binnendijks sprake van een gecontroleerd of gedempt getij.

Een kwelder wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van zouttolerante kwelderplanten. Deze planten zijn bestand tegen blootstelling aan zoutwater. Hoeveel blootstelling mogelijk is zonder dat de planten afsterven, verschilt per soort. De meest zouttolerante planten, zoals zeekraal en slijkgras worden aangetroffen op de laagste delen van de kwelder (de pionierzone). De laagste delen van de kwelder worden het meest frequent overstroomd door zoutwater. De minst zouttolerante planten worden aangetroffen op de hoogste delen van de kwelder en deze worden slechts enkele keren per jaar overspoeld door zoutwater. Het hoogtebereik waarbij kwelders aanwezig zijn, begint iets onder het niveau van gemiddeld hoogwater en het loopt door tot het niveau van maximaal hoogwater. In Figuur 2-1 zijn de verschillende kwelderhabitats aangegeven ten opzichte van de waterstanden. Bij de waterstanden is de overloedingsduur (in Figuur 2-1 aangegeven voor een gemiddeld getij) van belang voor de laagste delen begroeiende delen. Het aantal keren per jaar dat het gebied overstroomt, oftewel de overstromingsfrequentie is bepalend voor de hogere delen van de kwelders.

Welke NAP-hoogtes zijn gekoppeld aan deze vegetatiezones, is afhankelijk van de lokaal optredende waterstanden. Buitendijks verschillen de niveaus van hoog- en laagwater en de stormwaterstanden langs de Nederlandse kust. Binnendijks komt daar de invloed van het doorlaatmiddel op de waterstanden bij, zoals zal worden toegelicht in de volgende paragraaf.



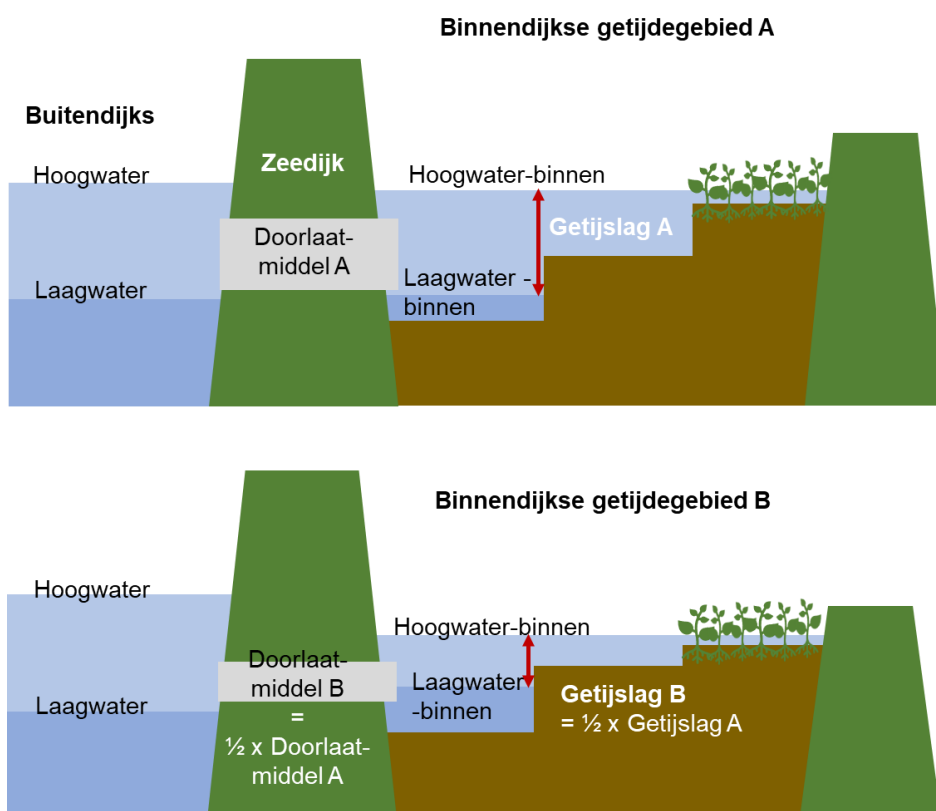
Figuur 2-1 Schematische dwarsdoorsnede van kwelders, met de verschillende kwelderhabitats en enkele specifieke plantensoorten in relatie tot de waterstanden in termen van overloedingsfrequentie en -duur (aangepast op basis van Dijkema et al., 2007 naar Erchinger, 1995).

2.2 Gemiddelde- en stormwaterstanden binnendijks

De binnendijkse waterstanden worden bepaald door de hoeveelheid water die ieder getij tijdens vloed naar binnen stroomt en dan weer tijdens eb naar buiten kan stromen. De factoren die in onderlinge samenhang bepalen hoeveel water naar binnen en weer naar buiten kan stromen zijn:

- Waterstanden buitendijks;
- Oppervlakte van het binnendijkse gebied;
- Inrichting van het gebied: oppervlakte geulen en oppervlakte en hoogte wadplaten en kwelders;
- Omvang en hydraulische weerstand van het doorlaatmiddel;
- Hoogte van de bodem van het doorlaatmiddel (drempel);
- Waterstanden binnendijks.

Het verschil tussen de waterstand buitendijks en de waterstand binnendijks wordt het 'verhang' genoemd. Hoe groter het verhang, des te hoger de stroomsnelheden en des te meer water wordt verplaatst. Wanneer de waterstand buitendijks hoger is dan binnendijks, dan stroomt het water naar binnen en omgekeerd, wanneer de waterstand binnen hoger is dan buiten, dan stroomt het water naar buiten. En het water kan pas gaan stromen, wanneer het water hoger staat dan de bodem van het doorlaatmiddel. De wisselwerking tussen de variaties in de waterstanden buitendijks met de kenmerken van het doorlaatmiddel en de waterstanden die dit aan de binnenzijde oplevert, geeft een complexe relatie tussen de waterstanden binnen en buiten. Voor het beschouwen van de binnendijkse kwelders is het niet nodig om deze relatie nader te verkennen, het is voldoende om vast te stellen dat de waterstanden binnendijks volgen op de waterstanden buitendijks. De hoogwaterstand aan de binnenzijde die daarbij wordt bereikt is altijd iets lager dan de hoogwaterstand aan de buitenzijde. Hoeveel lager is afhankelijk van de omvang en de hydraulische weerstand van het doorlaatmiddel, waarbij eenvoudigweg geldt dat bij een gebied met eenzelfde oppervlakte en inrichting een kleiner doorlaatmiddel tot een lagere hoogwaterstand leidt. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2-2.



Figuur 2-2 Schematische langsdorsneden van twee binnendijkse getijdegebieden, met bij A een groot doorlaatmiddel en daarmee binnendijks een groter verschil tussen hoog- en laagwater (de getijslag) en bij B een half zo groot doorlaatmiddel en daarmee een half zo groot verschil hoog- en laagwater.

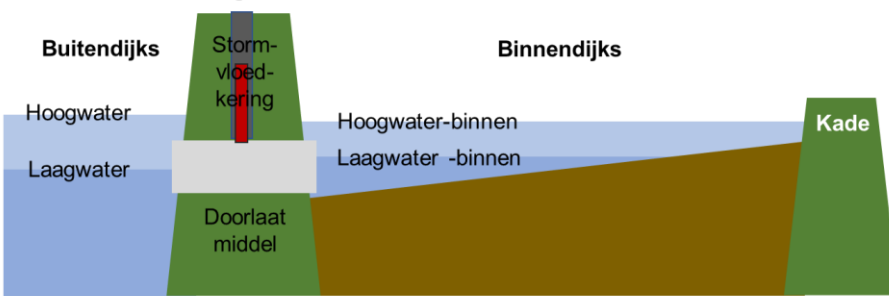
De hoogwaterstanden aan de buitenzijde variëren onder invloed van het getij (dit wordt de astronomische component genoemd) en het weer, waarbij vooral de windrichting en windsterkte van belang zijn (dit wordt de meteorologische

component genoemd). Een bekende astronomische component is de springtij-doottij cyclus die ongeveer elke 15 dagen optreedt. Deze variaties in de waterstanden komen tot uitdrukking in de overloedingsfrequentie die is opgenomen in Figuur 2-1. Aan de binnenzijde treden deze variaties ook op. Door de invloed van het doorlaatmiddel op de waterstanden zijn de hoogwaterstanden binnendijs lager en de laagwaterstanden hoger dan aan de buitenzijde, maar de variaties in de waterstanden die buitendijs optreden zullen binnendijs ook optreden.

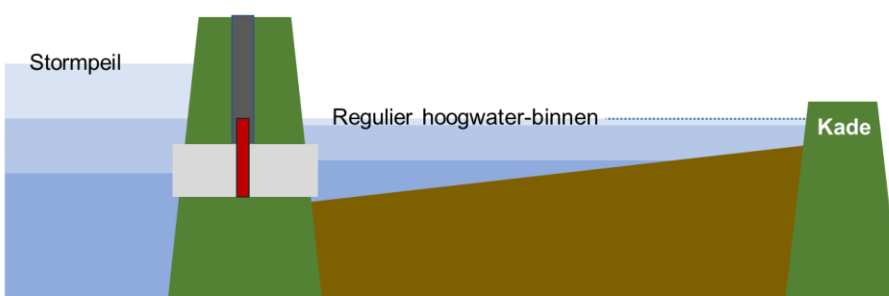
Stormwaterstanden

De essentie van een binnendijkse kwelder is dat de hoogwaterstanden die optreden worden begrensd vanwege de inzet van de stormvloedkering bij het doorlaatmiddel. Onder normale omstandigheden is het doorlaatmiddel geopend en volgt de waterstand binnendijs de waterstand buitendijs, zoals schematisch is aangegeven bij A in Figuur 2-3. Aan de buitenzijde treden bij storm hoge tot extreem hoge waterstanden op. De primaire waterkering moet ervoor zorgen dat bij het optreden van die extreme waterstanden geen overstromingen plaatsvinden. En de stormvloedkering in de primaire waterkering wordt dan ook gesloten voordat het maximale waterpeil binnendijs wordt bereikt (B in Figuur 2-3). Om te voorkomen dat bij het onverhoopt falen van de stormvloedkering (het optreden van een calamiteit) het binnendijkse gebied alsnog overstroomt, wordt het binnendijkse gebied waar getij wordt toegelaten ook voorzien van een omringkade of dijk met een voorgeschreven hoogte. Vanwege de aanwezigheid van die omringkade wordt bij het falen van het doorlaatmiddel het water geborgen binnen het gebied (C in Figuur 2-3). Bij het optreden van een calamiteit zal de maximale waterstand in de binnendijkse kwelder nooit hoger worden dan de kade.

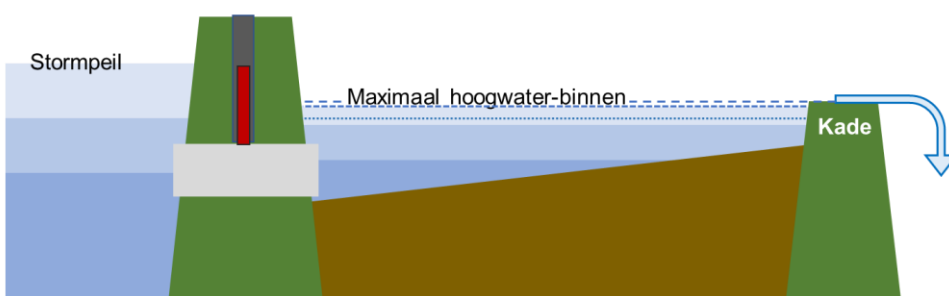
A: Normale omstandigheden



B: Storm: gesloten stormvloedkering



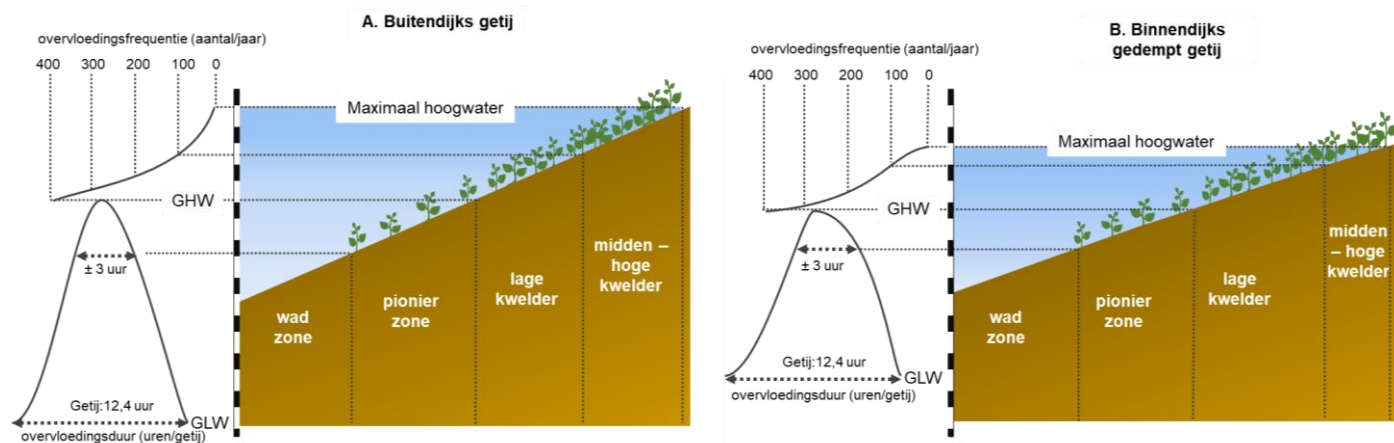
C: Storm: open stormvloedkering (calamiteit)



Figuur 2-3 Schematische langsdoorsnede van een binnendijks getijdegebied, met de maximale waterstanden aan de binnenzijde onder normale omstandigheden (A), tijdens een storm (B) en bij een calamiteit (C).

Gevolgen voor de kwelderhabitats

De binnendijkse getijdewaterstanden zijn gedempt ten opzichte van de buitendijkse waterstanden, waarbij de omvang van de demping afhankelijk is van de omvang van het doorlaatmiddel. De binnendijkse stormwaterstanden worden beperkt door het sluiten van het doorlaatmiddel (en door de hoogte van de kade). Beide aspecten, het dempen van getij en het beperken van de stormwaterstanden hebben gevolgen voor de overloedingsduur en -frequentie. De verschillen tussen de buitendijkse en de binnendijkse situatie zijn schematisch weergegeven in Figuur 2-4, met aan de linkerkant de situatie buitendijks (die overeenkomt met Figuur 2-1) en aan de rechterkant de situatie binnendijks. In deze figuur zijn geen hoogtes ten opzichte van NAP aangegeven, omdat deze hoogtes langs de Nederlandse kust variëren. De binnendijkse getijslag is kleiner dan de getijslag buitendijks. De overloedingsfrequentie omvat binnendijks een kleinere hoogtezone dan buitendijks. Ook de vorm van overloedingsfrequentie is binnendijks anders dan buitendijks. Het gevolg van de andere curves voor de overloedingsduur en -frequentie in de binnendijkse situatie heeft tot gevolg dat de verschillende kwelderhabitats in andere hoogtezones optreden. Binnendijks is het hoogteverschil tussen de hoogste delen van de kwelder en de onderste grens van de pionierzone kleiner dan buitendijks.



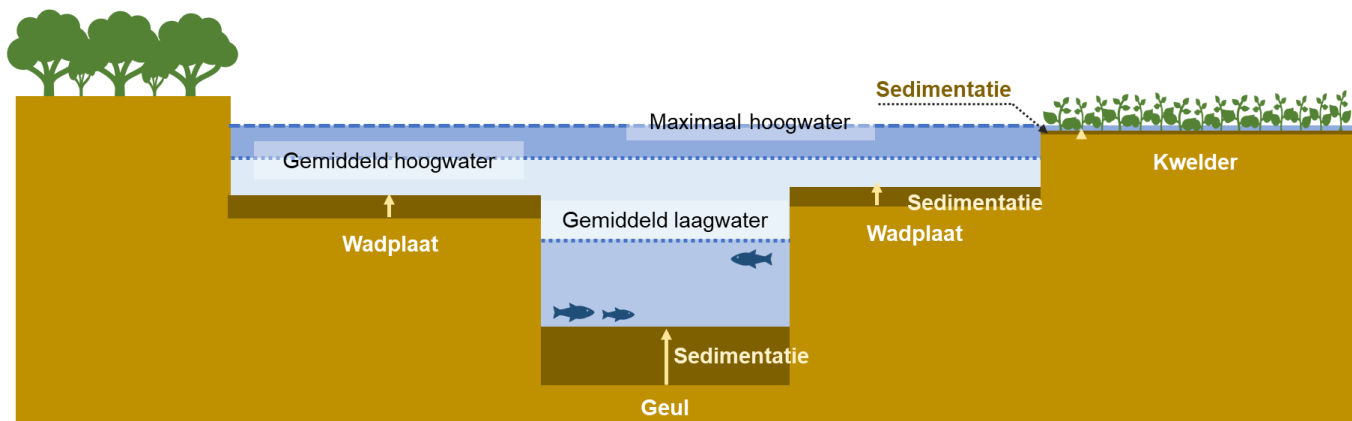
Figuur 2-4 Schematische dwarsdoorsnede van kwelders, met de verschillende kwelderhabitats in relatie tot de waterstanden, overloedingsfrequentie en -duur bij een buitendijkse locatie (A: links) en een binnendijkse locatie (B: rechts) (aangepast op basis van Dijkema et al., 2007 naar Erchinger, 1995).

2.3 Hoogte en sedimentatie

De hoogte van het binnendijkse gebied in verhouding tot de optredende waterstanden bepaalt het habitattype:

- Geul: lager dan Gemiddeld LaagWater (GLW);
- Plaat: Tussen Gemiddeld LaagWater (GLW) en Gemiddeld HoogWater (GHW);
- Kwelder tussen Gemiddeld HoogWater (GHW) en lager dan het niveau van maximaal hoogwater (Figuur 2-1).

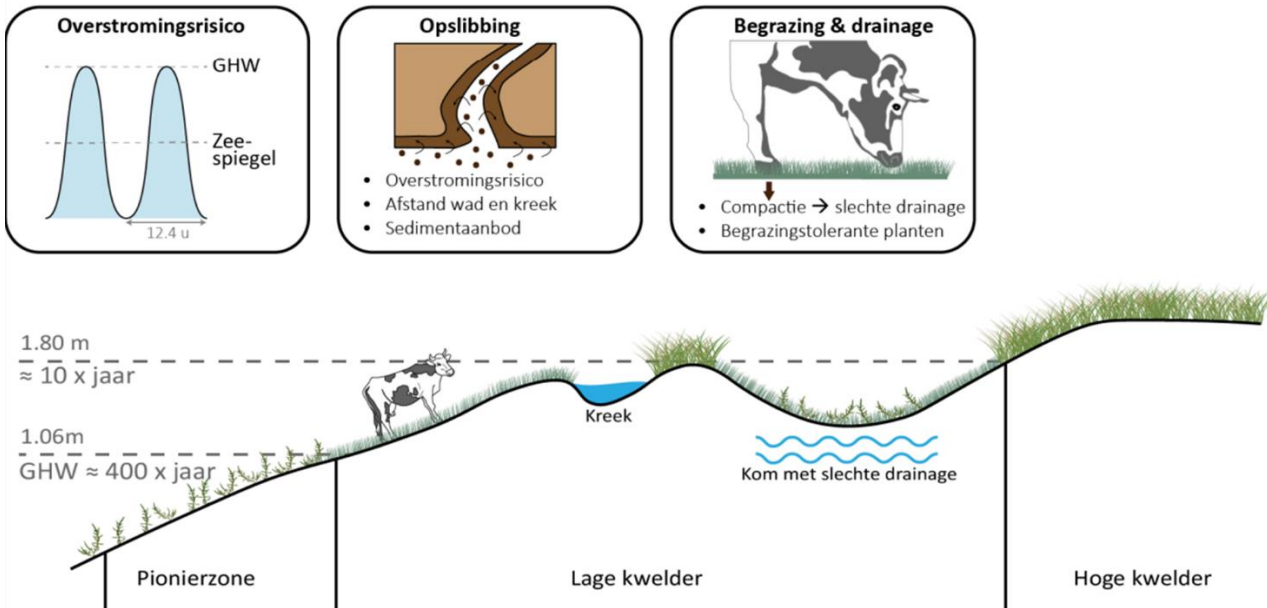
Binnen de kwelders bepaalt de hoogte in relatie tot de waterstanden ook het type kwelder met bijbehorende vegetatiegemeenschappen (pionierzone, lage kwelder, middelhoge kwelder en hoge kwelder, zie Figuur 2-1). De aanvoer van sediment en nutriënten is medebepalend voor de vegetatie en de ontwikkeling daarvan. De hoogte is daarmee van wezenlijk belang voor alle habitattypes binnendijks, omdat deze van invloed is op de overloedingsfrequentie en daarmee op de aanvoer van sediment.



Figuur 2-5 Schematische dwarsdoorsnede van een binnendijks getijdegebied, met de hoogteverandering door sedimentatie.

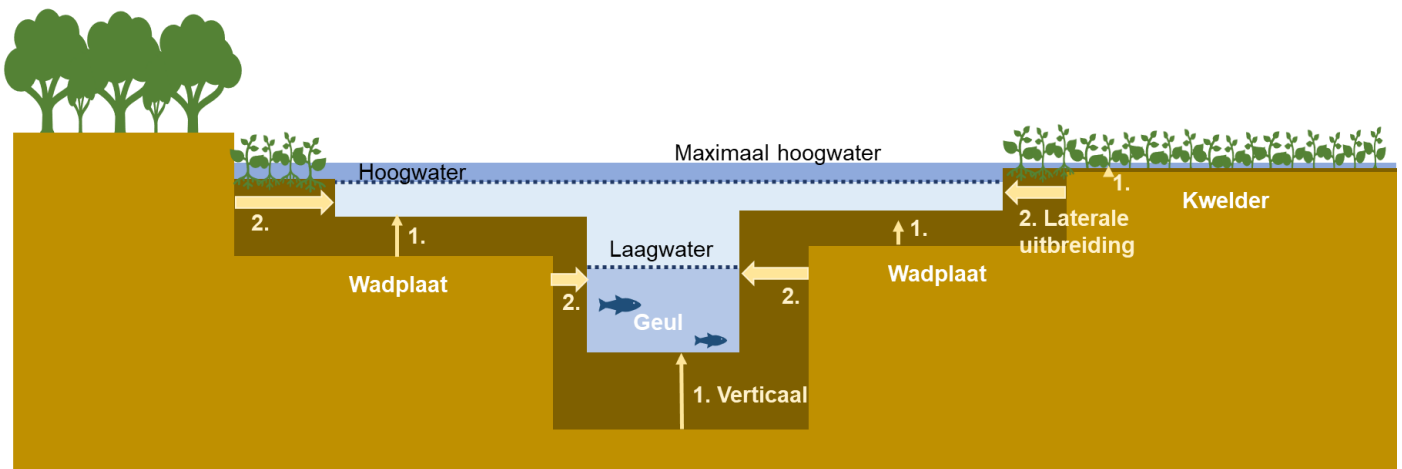
De hoogte in het binnendijks getijdegebied verandert doordat sedimentatie optreedt. Zand en slib (sediment) dat met het water tijdens vloed naar het binnendijks gebied wordt aangevoerd, wordt daar op de bodem afgezet. Hoeveel sedimentatie exact optreedt is afhankelijk van de omstandigheden in de habitats en van hoeveel zand en slib van buiten wordt aangevoerd. Naar de binnendijks kwelders wordt alleen sediment aangevoerd wanneer deze gebieden overstroomd. De hoeveelheid sediment die naar binnendijks kwelders wordt aangevoerd is beperkt, omdat het watervolume dat naar de binnendijks kwelders wordt aangevoerd, beperkt wordt door de maximale waterstand. De hoogte van de waterkolom die boven op de kwelder staat, zal binnendijks nooit hoger worden dan de maximale waterstand. Dit is een wezenlijk verschil met buitendijks kwelders, waar geen beperking zit op de hoogte van de waterkolom boven de kwelders. Ook kan de snelheid waarmee het water met sediment het gebied in stroomt, in combinatie met de waterdiepte in het gebied, het gevolg hebben dat sediment op de bodem van de binnendijks geulen of wadplaten bezinkt, voordat het de kwelders bereikt.

Naarmate meer sedimentatie op de binnendijks kwelders optreedt en deze hoger worden, wordt steeds minder water en sediment aangevoerd bij hoge waterstanden. De sedimentatie blijft optreden totdat het gebied de maximale waterstand benadert en vrijwel niet meer overstroomt. Bij een gelijkblijvende frequentie van overstroomd betekent dit dat de snelheid waarmee sedimentatie optreedt gaat afnemen naarmate de binnendijks kwelder hoger wordt. Ook andere factoren zijn van invloed op de sedimentatiesnelheid op (binnendijks) kwelders, zoals is weergegeven in Figuur 2-6. De hoeveelheid sediment in het water, de aanwezigheid van en het soort vegetatie, de mate van drainage door kwelderkreken en greppels en beweiding zijn allemaal van invloed op de sedimentatie (van Puijenbroek & Sonneveld, 2021). Maar, ongeacht de snelheid van de sedimentatie, uiteindelijk stagneert de toename van de hoogte wanneer de binnendijks kwelder het niveau van het maximaal hoogwater nadert.



Figuur 2-6 Infographic (van Puijenbroek & Sonneveld, 2021, overgenomen met kleine aanpassing) over verschillende factoren die een effect kunnen hebben op de kwelderontwikkeling. De kweldervegetatiesamenstelling wordt voornamelijk bepaald door de inundatiefrequentie (zie ook Figuur 2-1). Opslibbing zorgt voor een hoger maaiveld en daardoor zal de inundatiefrequentie omlaag gaan. Begrazing en veranderingen in drainage kunnen leiden tot de begroeiing van plantensoorten die meer resistent zijn tegen begrazing of aangepast zijn aan een betere of slechtere drainage.

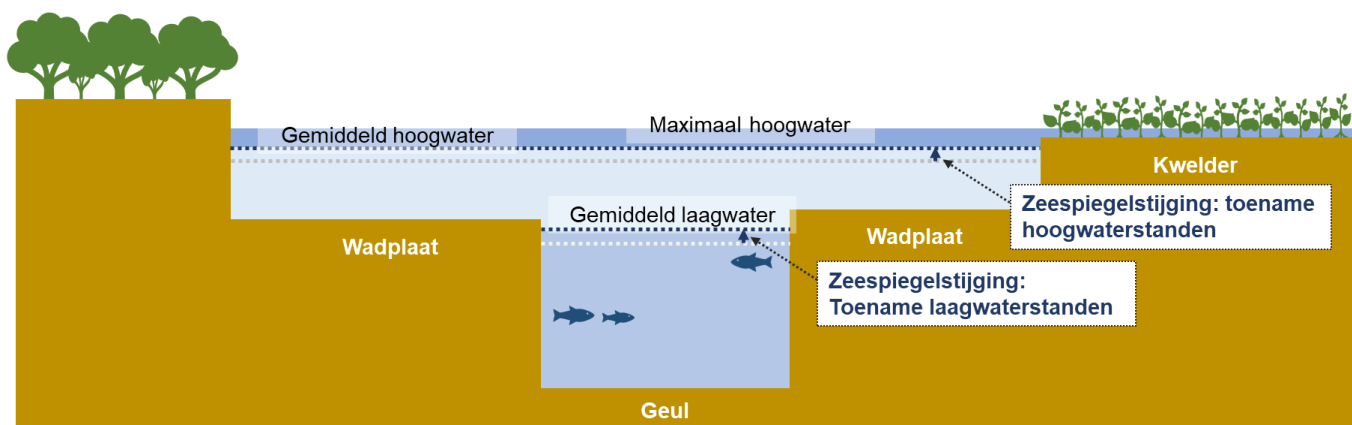
De beschrijving van de sedimentatie hierboven heeft betrekking op de verticale veranderingen op de kwelder. In een binnendijks intergetijdegebied vindt ook sedimentatie plaats in de geulen en op de wadplaten (mits sediment van buiten wordt aangevoerd). Na verloop van tijd kunnen door de sedimentatie de wadplaten een hoogte bereiken waardoor pioniervegetatie kan gaan groeien, zoals schematisch is weergegeven in Figuur 2-7. Het kwelderareaal kan op deze wijze lateraal uitbreiden. Dat wordt geholpen door de relatief luwe situatie in binnendijkse gebieden, waardoor erosie langs de kwelderrand beperkt zal blijven. Indien voldoende sedimentatie plaatsvindt, kunnen ook delen van de geulen dermate hoog worden dat deze veranderen in wadplaat en na verloop van tijd ook in kwelder. Ook na het bereiken van de maximale hoogte van de oorspronkelijke binnendijkse kwelders, kan nog kweldersedimentatie plaatsvinden door de laterale uitbreiding ervan.



Figuur 2-7 Schematische dwarsdoorsnede van een binnendijks getijdegebied, met de hoogteverandering door sedimentatie (1), waardoor laterale uitbreiding (2) heeft plaatsgevonden van het kwelder- en het wadplaatareaal.

2.4 Binnendijkse waterstanden, sedimentatie en kwelderontwikkeling bij zeespiegelstijging

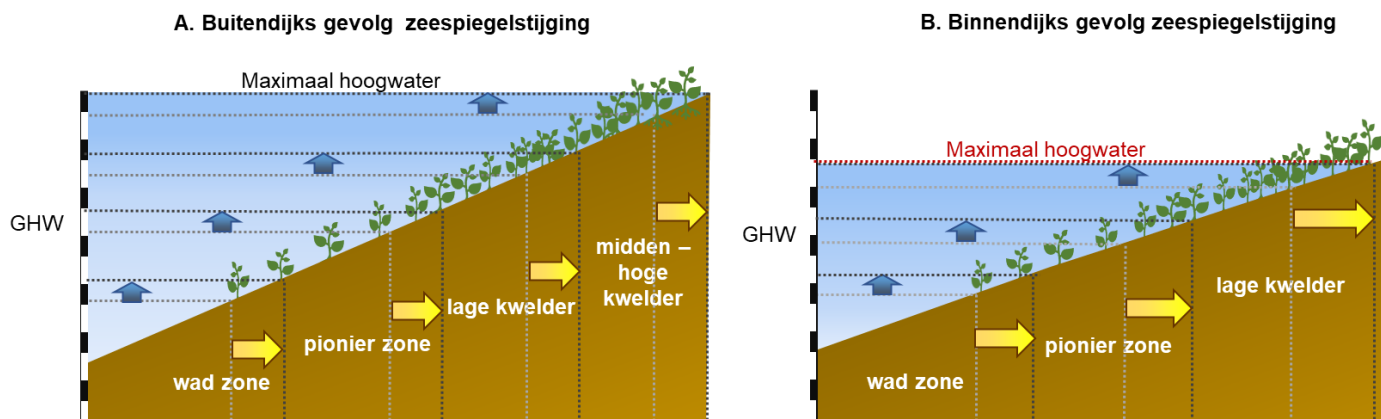
Bij zeespiegelstijging neemt niet alleen de gemiddelde waterstand toe, maar nemen ook de hoogte van het hoogwater en het laagwater toe. Deze verandering van de waterstanden treedt al sinds duizenden jaren op bij de Waddenkust. Daarbij kan de zeespiegel versneld stijgen als gevolg van klimaatverandering. Door deze versnelling neemt de hoogte van het hoog- en laagwater sneller toe dan tot nu toe het geval is geweest. De toename van de waterstanden buitendijks wordt doorgegeven aan de waterstanden binnendijks, omdat die de buitenwaterstanden volgen, zoals schematisch is weergegeven in Figuur 2-8. Bij het stijgen van de zeespiegel verandert de maximale waterstand in het binnendijkse gebied niet. De maximale waterstand aan de binnenzijde is immers gekoppeld aan de veiligheid tegen overstromingen, die niet mag veranderen. De allerhoogste waterstand binnendijks is afhankelijk van de hoogte van de kade en die verandert niet. Het betekent dat het doorlaatmiddel steeds vaker wordt gesloten, omdat buitendijks een (te) hoge waterstand wordt bereikt in verband met zeespiegelstijging. De toename van de stormwaterstanden buitendijks heeft daardoor geen invloed op de maximale waterstand binnendijks. Het niveau van maximaal hoogwater binnendijks blijft daarom gelijk, ongeacht de zeespiegelstijging.



Figuur 2-8 Schematische dwarsdoorsnede van een binnendijks getijdegebied, met de verandering van de niveaus van hoog- en laagwater onder invloed van de stijgende zeespiegel.

De hoog- en laagwaterstanden binnendijks volgen de stijgende waterstanden buitendijks, terwijl binnendijks de maximale waterstand niet verandert. Het gevolg hiervan is dat de binnendijkse hoogwaterstanden steeds dichterbij de maximale hoogwaterstand komen te liggen. Dat geldt het sterkst voor de hogere hoogwaterstanden, die optreden bij springtij en door waterstandsverhogende windcondities. Bij een grote zeespiegelstijging betekent dit dat de binnendijkse hoogwaterstanden steeds vaker samenvallen met de maximale hoogwaterstanden. De maximale hoogwaterstanden worden dan steeds vaker bereikt. Wat dus niet verandert door stijgende zeespiegel is de maximale waterstand, maar wat wel verandert is de frequentie waarmee de maximale waterstand binnendijks wordt bereikt. Dit betekent ook dat binnendijks de hoogte van het gemiddelde hoogwater naar het maximale hoogwater toe groeit. Voor de binnendijkse kwelder, die nooit hoger kan worden dan de maximale waterstand, betekent dit dat de frequentie van overstromen toeneemt. De gevolgen hiervan voor de verdeling van de kwelderhabitats over de hoogtezones is schematisch weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 2-9. In het binnendijkse gebied verschuift het gebied met de pionierzone naar een hoger bereik, net als de lage kwelder. De midden- en hoge kwelder kunnen niet naar een hoger bereik zone opschuiven, omdat dat bereik niet beschikbaar is vanwege het niveau van maximaal hoogwater. Om het verschil met een buitendijkse kwelder inzichtelijk te maken is die ook weergegeven in Figuur 2-9, aan de linkerkant. Bij de buitendijkse kwelder schuiven alle kwelderhabitats naar een hoger bereik.

In een binnendijkse kwelder verandert in de hoge delen de vegetatie, van soorten die gevoeliger zijn voor overspoeling met zout water naar soorten die zouttoleranter zijn. Dit is de omgekeerde ontwikkeling van de normale successie op kwelders, die door de doorgaande sedimentatieontwikkelingen van pionierzone via lage en middelhoge kwelder tot hoge kwelder gaat.



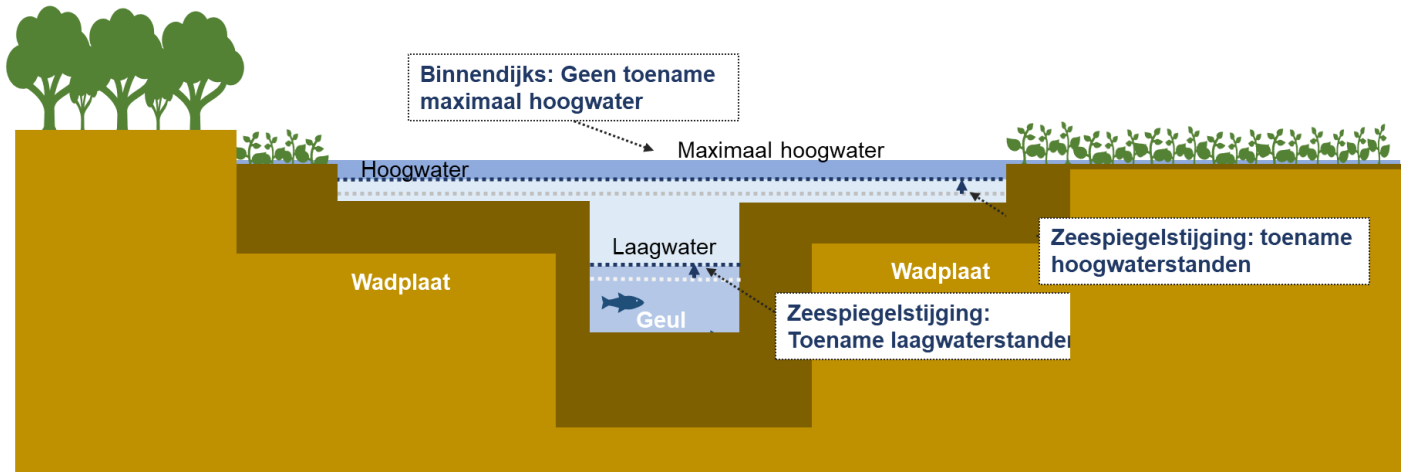
Figuur 2-9 Schematische dwarsdoorsnede van kwelders, met de verschillende kwelderhabitats en de translatie van de kwelderhabitats over de hoogtezones bij stijgende zeespiegel voor een buitendijkse locatie (A: links) en een binnendijkse locatie (B: rechts).

In de beschreven en in Figuur 2-9 geïllustreerde ontwikkeling van binnen- en buitendijkse kwelders is nog geen rekening gehouden met de sedimentatie die optreedt in kwelders. Wanneer de kwelders worden overspoeld door zeewater wordt in de regel ook sediment (slib en lokaal ook zand) meegevoerd met het water. Dit sediment wordt geheel of gedeeltelijk afgezet op de kwelderbodem en de hoogte van de kwelder neemt hierdoor geleidelijk toe. Door de toename van de hoogte neemt bij gelijkblijvende waterstanden de overloedingsfrequentie van de kwelder af. Dit geldt zowel voor binnendijkse als voor buitendijkse kwelders.

De sedimentatiesnelheid en daarmee de hoogteverandering verschilt voor buitendijkse kwelders onderling en binnen kwelders per hoogtezone. Over het algemeen is de sedimentatiesnelheid in buitendijkse kwelders groter dan de huidige snelheid van zeespiegelstijging (Elschot et al., 2020). Waarnemingen aan kwelders waar bodemdaling door gaswinning optreedt laten zien dat het plausibel is dat ook hogere snelheden van zeespiegelstijging door zeespiegelstijging bijgehouden kunnen worden door de sedimentatie (van Dobben et al., 2022). Daarbij is er rekening mee gehouden dat bij toenemende hoogwaterstanden als gevolg van de stijgende zeespiegel de frequentie toeneemt waarmee de kwelder overstroomt, zodat vaker sediment aangevoerd wordt naar de kwelder.

Voor een binnendijkse kwelder verloopt de response van de sedimentatie op (versnelde) zeespiegelstijging anders. Afhankelijk van de uitgangssituatie van de binnendijkse kwelder (hoogte, waterstanden) en de omgevingscondities (ruime aanvoer of beperkte aanvoer van sediment), zal de initiële ontwikkeling van een binnendijkse kwelder overeenkomen met de ontwikkelingen zoals die op een buitendijkse kwelder plaatsvinden. Er is dan sprake van groei en ontwikkeling van vegetatie en toename van de hoogte door sedimentatie. Dit is de eerste fase van de binnendijkse kwelderontwikkeling, die overeenkomt met de buitendijkse kwelderontwikkeling.

De tweede fase in binnendijkse kwelderontwikkeling treedt op bij het bereiken van maximale waterstand door de hoogwaterstanden. Dan gaat de vegetatie een omgekeerde successie-reeks in. En de sedimentatie kan doorgaan totdat de hoogte de maximale waterstand nadert en stagneert dan. Daarbij kan door sedimentatie op de wadplaten en in de geulen de kwelder lateraal uitbreiden. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2-10. Uiteindelijk wordt vrijwel het hele binnendijkse gebied gevuld met sediment, dat kan ophogen tot het niveau van maximaal hoogwater.



Figuur 2-10 Schematische dwarsdoorsnede van een binnendijks getidegebied waarin sedimentatie plaatsvindt, met de verandering van de niveaus van hoog- en laagwater onder invloed van de stijgende zeespiegel

3 Koolstofvastlegging in binnendijkse kwelders

3.1 De overeenkomst tussen binnendijkse en buitendijkse koolstofvastlegging in kwelders

De vastlegging van koolstof in kweldersedimenten vindt plaats door de aanvoer van organisch materiaal (allochtoon koolstof) dat met het sediment van buiten de kwelder wordt meegevoerd en door de groei van planten op de kwelders (autochtoon koolstof). De vastlegging van de koolstof vindt plaats doordat het organische koolstof (allochtoon en autochtoon) wordt begraven door de doorgaande sedimentatie. Voor de vastlegging van de koolstof is het daarom belangrijk dat sedimentatie plaatsvindt. Het optreden van sedimentatie aan sich levert geen principieel verschil op tussen kwelders die buitendijks of binnendijks liggen. Het is wel zo dat lokale factoren, waarvan de aanvoer van sediment de belangrijkste is, van invloed zijn op de sedimentatiesnelheden. Net als bij buitendijkse kwelders, waarvoor een overzicht van de sedimentatiesnelheden is gegeven in Hoefsloot et al. (2020), zullen de sedimentatiesnelheden in binnendijkse kwelders onderling verschillen en zullen de snelheden verschillen van de sedimentatie buitendijks.

3.2 Verschillen tussen binnendijkse en buitendijkse koolstofvastlegging

Een van de factoren die bepalend is voor de omvang van de sedimentatie in binnendijkse gebieden is de omvang van het doorlaatmiddel, zoals is beschreven in paragraaf 2.2. De omvang van het doorlaatmiddel is bepalend voor de hoeveelheid water die ieder getij naar binnen en weer naar buiten stroomt. Met het water wordt het sediment aangevoerd. Daarbij spelen ook andere factoren een rol, zoals de concentratie van het sediment in het water dat wordt aangevoerd naar het binnendijkse gebied. Voor de sedimentatie op de kwelders is ook de bezinking van het sediment in andere delen (geul, wadplaat) van het binnendijkse gebied belangrijk.

In principe zal in een goed ontworpen en aangelegd binnendijks gebied kwelderontwikkeling en sedimentatie op de kwelder kunnen plaatsvinden, mits buitendijks voldoende sediment beschikbaar is. Of buitendijks voldoende sediment beschikbaar is, is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden. In de zijarmen van de Oosterschelde, bijvoorbeeld op de locatie waar het Rammegors (Figuur 1-2) is aangesloten op de Oosterschelde, is bijvoorbeeld weinig sediment aanwezig in de waterkolom. In het Eems-Dollard estuarium, langs de Friese en Groningse vastelandskust van de Waddenzee en langs de Westerschelde is over het algemeen sprake van hogere sedimentconcentraties buitendijks.

Met een goed ontworpen en aangelegd binnendijks gebied wordt bedoeld dat de omvang van het doorlaatmiddel, evenals de bodemhoogte ervan, of de hoogte van drempels in het doorlaatmiddel zijn afgestemd op het kombergingsvolume van het binnendijkse gebied. Het kombergingsvolume van het binnendijkse gebied is het watervolume dat in het gebied kan worden geborgen tussen de niveaus van laag- en hoogwater. En dat watervolume wordt bepaald door de oppervlakte van de geulen en de oppervlakte en de hoogte van de wadplaten en de kwelders. Verder dienen de geulen zo te zijn ontworpen dat het water na het verlaten van het doorlaatmiddel het hele gebied in kan stromen, zodat het hoogwater alle binnendijkse kwelders kan bereiken. Ook dient de lengte van het binnendijkse gebied vanaf het doorlaatmiddel tot de kades, zo gekozen te worden dat het water en slib het hele gebied kan bereiken¹. In een dergelijke situatie is voldaan aan de randvoorwaarden voor de ontwikkeling van binnendijkse kwelders waar sedimentatie optreedt.

Binnendijks is de omvang van de sedimentatie op de kwelders eindig

Wat principieel verschilt tussen een buitendijkse en een binnendijkse kwelder is de beperking aan de sedimentatie die optreedt door het bereiken van een maximale waterstand binnendijks. Ook bij laterale uitbreiding van de kwelder (zoals schematisch is weergegeven in Figuur 2-10) is er een limiet aan de omvang van de sedimentatie, doordat de omvang van het binnendijkse gebied begrensd is. Buitendijks wordt de maximale waterstand niet beperkt en zal deze

¹ Op basis van vuistregels en berekeningen is vastgesteld dat 5 km hiervoor een aannemelijke lengte is.

meestijgen met de stijgende zeespiegel. Dat betekent dat de sedimentatie ook door kan gaan. Maar let op, hier staat niet dat de kweldersedimentatie de stijgende zeespiegel bijhoudt, dat hoeft namelijk niet zo te zijn.

Binnendijs stopt de successie en vindt een omgekeerde ontwikkeling plaats

Bij het stijgen van de zeespiegel neemt in het binnendijkse gebied de frequentie toe waarmee de hoogste delen van de kwelders overstromen. Deze frequentie neemt binnendijs veel sterker toe dan buitendijs, omdat het niveau van het maximaal hoogwater in het binnendijkse gebied niet toeneemt zoals is beschreven in paragraaf 2.4. Uitgangspunt daarbij is dat het doorlaatmiddel nog steeds open staat bij voldoende lage waterstanden en dat water in en uit het binnendijkse gebied stroomt, ondanks de sedimentatie heeft plaatsgevonden. De toename van de overvloedingsfrequentie betekent dat de vegetatie steeds toleranter moet worden voor zoutwater. De hoge kwelder wordt daardoor, zonder dat daarbij de hoogte verandert, via een middelhoge kwelder een lage kwelder. Uiteindelijk kan, zonder dat de hoogte verandert het gebied zelfs weer terugkeren naar de vegetatie van de pionierzone. Deze verandering van de vegetatie treedt samen op met de hierboven beschreven afname van de sedimentatiesnelheid. Het betekent dat naar verwachting zowel de omvang van de koolstofvoorraad in het kweldersediment afneemt, als de snelheid waarmee koolstof wordt vastgelegd afneemt, naarmate het eindstadium van de binnendijkse kwelders wordt bereikt. Mogelijk verandert tijdens deze ontwikkeling ook de afbraak van het organische koolstof dat in de kwelder aanwezig is. Hierbij dient wel bedacht te worden dat de kwelders frequent overstromen. Het is daarom niet zo dat meer zuurstof in de bodem aanwezig is, waardoor de afbraak van organisch materiaal zou worden versnelt. Dit eindstadium van een binnendijkse kwelder is daarmee wezenlijk anders dan het eindstadium van de hoge kwelder, zoals dat buitendijs optreedt.

Door de verschillen in de ontwikkeling van de kwelder buiten- en binnendijs is ook de vastlegging van koolstof door een binnendijkse kwelder anders dan buitendijs. Omdat de vastlegging van de koolstof is gekoppeld aan de sedimentatie, is deze bij een binnendijkse kwelder eindig. En omdat de ontwikkeling van de vegetatie binnendijs afwijkt van buitendijs, naarmate de kwelder en de waterstanden hoger worden, verandert ook de mate waarin de vegetatie koolstof toevoegt aan de kwelders.

De hierboven beschreven ontwikkeling van de sedimentatie, vegetatieontwikkelingen en koolstofvastlegging in een binnendijkse kwelder is hier beredeneerd aan de hand van de algemene principes voor kwelderontwikkeling. Studies waarin de beredeneerde ontwikkelingen zijn beschreven aan de hand van waarnemingen zijn niet aangetroffen. Dat is niet vreemd, want het aantal binnendijkse gebieden waar op deze wijze kwelderontwikkelingen plaatsvindt is schaars. Daarbij treden de beschreven ontwikkelingen op over langere periodes van minimaal 20 jaar en zijn de gebieden met binnendijkse kwelderontwikkeling over het algemeen jonger.

3.3 Gevolg voor het berekenen van de vastlegging van koolstof in binnendijkse kwelders.

Twee randvoorwaarden voor Blue Carbon binnendijs

- Bij het creëren van een binnendijkse gebied met gecontroleerd getij en een inrichting met geulen, wadplaten en gebieden met de juiste hoogte voor kweldervorming, zal kweldervegetatie tot ontwikkelingen komen.
- Indien buitendijs voldoende sediment beschikbaar is, dan zal in het binnendijkse gebied sedimentatie plaatsvinden.

Wanneer aan deze beide voorwaarden is voldaan, dan zijn de basisprincipes voor het berekenen van de vastlegging van koolstof in buitendijkse kwelders ook toepasbaar op de binnendijkse kwelder.

Binnendijs altijd uitbreiding kwelders

Bij buitendijkse kwelderontwikkeling worden scenario's beschouwd met behoud van bestaande kwelders en uitbreiding van kwelder (Teunis en Ridderen, 2018). Figuur 3-1 geeft een overzicht van de scenario's voor het vastleggen van koolstof in kwelders, waarbij de referentiesituatie of baseline de eroderende kwelder (A) betreft. Het tegengaan van de erosie, waarmee de kwelder behouden blijft, betekent dat door kweldersedimentatie in het buitendijkse gebied de koolstofvoorraad toeneemt (B in Figuur 3-1). Uitbreiding van de buitendijkse kwelder betekent dat de vastlegging toeneemt (C in Figuur 3-1). Bij een binnendijkse kwelder betreft het altijd een uitbreiding van het kwelderareaal en niet het behoud van bestaande kwelders. In binnendijkse situatie zal, door het optreden van het gedempte getij, door de beperkte strijklengte en daardoor beperkte golfhoogte en door de maximale waterstand, erosie van de kwelderranden

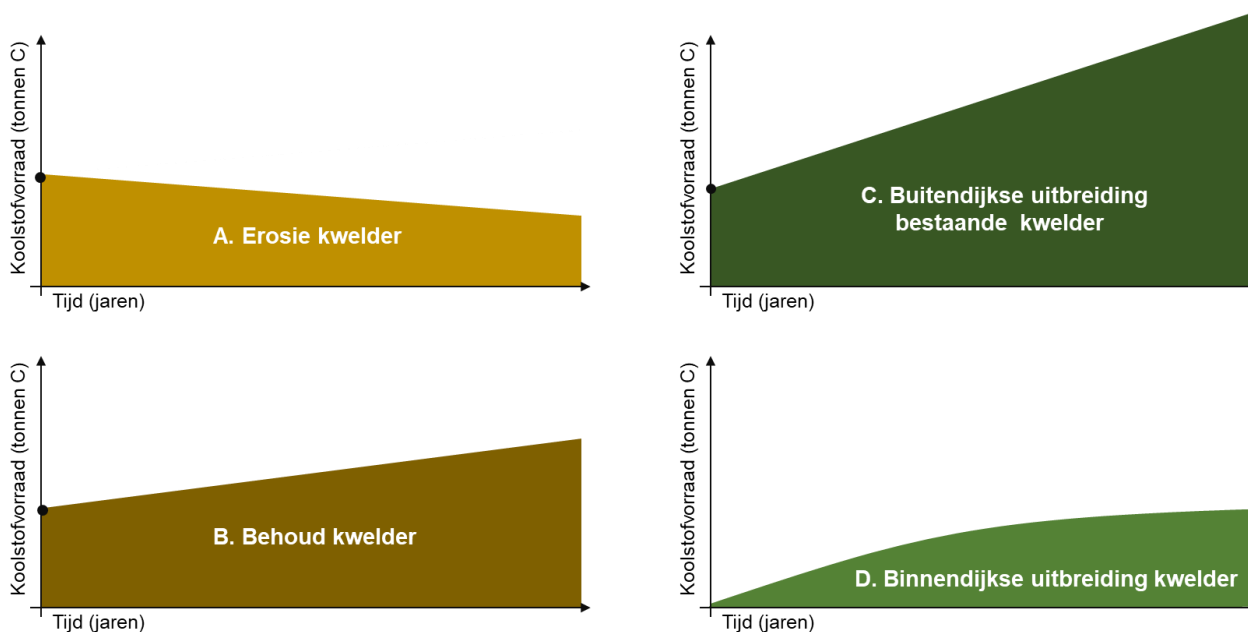
waarschijnlijk niet of slechts minimaal optreden. De vastlegging van koolstof in binnendijkse kwelders is weergegeven in grafiek D in Figuur 3-1.

Twee belangrijke verschillen tussen buitendijkse en binnendijkse kwelderontwikkeling

De vergelijking van de schematische grafiek van buitendijkse kwelderuitbreiding (C in Figuur 3-1) met kwelderuitbreiding binnendijks (D in Figuur 3-1) laat twee duidelijke verschillen:

1. De binnendijkse kwelders betreffen een nieuwe situatie, zonder bestaande kwelders die als vertrekpunt dienen. Het startpunt voor grafiek D in Figuur 3-1 ligt daarom lager dan de grafiek C in Figuur 3-1.
2. Verder neemt stagneert de toename van de koolstofvoorraad in de binnendijkse kwelder, terwijl die in buitendijkse kwelders nog steeds toeneemt.

In het voorgaande hoofdstuk is de ontwikkeling van de binnendijkse kwelder in twee fases beschreven. Het deze fases in de ontwikkeling die tot gevolg hebben dat eerst sprake is van een toename van de koolstofvastlegging, die na verloop van tijd stagneert. De eerste fase van de binnendijkse kwelderontwikkeling komt overeen met de ontwikkelingen buitendijk, waarbij sprake is van groei en ontwikkeling van vegetatie en toename van de hoogte door sedimentatie. De tweede fase in binnendijkse kwelderontwikkeling treedt op bij het bereiken van maximale waterstand door de hoogwaterstanden. Dan gaat de vegetatie een omgekeerde successie-reeks in stagneert de sedimentatie. Wel is nog laterale uitbreiding van de kwelders mogelijk.



Figuur 3-1 Verschillende scenario's en het schematische effect op de koolstofvoorraad in de kwelder in de tijd (aangepast, op basis van Teunis en Ridderen, 2018).

Afbakening in binnendijkse projecten in de tijd

In de methodiek (Greendeal Nationale Koolstofmarkt, in concept) wordt veel belang gehecht aan de afbakening van het project, niet alleen in de ruimte, maar ook in de tijd. De afbakening in de tijd is extra belangrijk voor de vastlegging van koolstof in binnendijkse kwelders, omdat deze altijd eindig is. Dit in tegenstelling tot vastlegging buitendijks, die altijd door kan gaan.

Methodiek voor vaststellen vastlegging

In de voorgestelde methodiek (Greendeal Nationale Koolstofmarkt, in concept) voor het vaststellen van de koolstofvastlegging in kwelders is rekening gehouden met de lokale variatie in de omvang van de koolstofvoorraad en de snelheid van vastlegging. Hoefsloot et al. (2020) geven een overzicht van de verschillende metingen die zijn uitgevoerd aan Nederlandse en internationale kwelders. De koolstofvastlegging verschilt voor de verschillende kweldertypen (eilandkwelder, vastlandskwelder), kwelderzones (pionier zone, lage kwelder, middelhoge kwelder, hoge kwelder, brakke kwelder) en kweldergebieden. De laagste en hoogste waarden voor de Nederlandse kwelders in Hoefsloot et al. (2020) zijn respectievelijk 173 ton C/ha en 378 ton C/ha voor de koolstofvoorraad en 1,4 ton C/ha/jaar

en 3,7 ton C/ha/jaar voor de gemiddelde jaarlijkse koolstofvastlegging. Bij binnendijkse koolstofvastlegging wordt een nieuwe situatie gecreëerd voor de kwelder, zodat lokale referentiewaarde van bestaande kwelders niet per sé bruikbare kentallen opleveren. Het wordt daarom extra belangrijk om op basis van expert judgement een inschatting te maken van de omvang van de koolstofvastlegging in de nieuwe binnendijkse kwelder. Dit hoeft geen belemmering te zijn voor de uitgifte van SNK-koolstofcertificaten, indien wordt afgesproken dat de omvang van de vastlegging achteraf wordt vastgesteld door middel van veldmetingen, analyses van de vegetatie-ontwikkeling en metingen aan de sedimentatie.

Metingen voor vaststellen vastlegging koolstof

Bij een binnendijkse kwelderontwikkeling is het aanbevelenswaardig om naast de waarnemingen aan de vegetatie-ontwikkeling ook metingen uit voeren van de sedimentatiesnelheid het koolstofgehalte van de bodem. Het type metingen en de intensiteit van de metingen kan worden gekoppeld aan de ontwikkelingsstadia van de binnendijkse kwelder.

Initieel: eerste 3 tot tien jaar

In de eerste jaren na aanleg moet worden vastgesteld of de sedimentatie, vegetatie en koolstofvastlegging plaatsvinden conform de voorspellingen voor de specifieke locatie. Indien uit de metingen volgt dat de ontwikkelingen plaatsvinden conform de voorspellingen, dan kan de stap worden gemaakt naar de volgende fase. Indien dat niet zo is, dienen eerst de voorspellingen aangepast te worden.

Eerste fase van de binnendijkse ontwikkelingen

Zodra uit de initiële metingen en analyse daarvan duidelijk is hoe de vegetatieontwikkeling, sedimentatie en koolstofvastlegging in samenhang plaatsvindt in het binnendijkse gebied, kan worden volstaan met het bepalen van de vegetatieontwikkelingen. De jaarlijkse koolstofvastlegging kan dan worden berekend door het aantal hectare met kweldervegetatie te vermenigvuldigen met de jaarlijkse koolstofvastlegging per hectare.

Afhankelijk van de sedimentatiesnelheid vult geleidelijk het binnendijkse gebied op met sediment. De binnendijkse kwelders worden hoger, totdat de maximale waterstand in het binnendijkse gebied wordt bereikt. Om vast te stellen of en wanneer dit optreedt, is het aan te bevelen om ook tijdens de eerste fase van binnendijkse ontwikkelingen de hoogte te meten, gecombineerd met sedimentatiemetingen. Bij het naderen van de maximale hoogte vindt de overgang naar de twee fase van de binnendijkse ontwikkelingen plaats.

Tweede fase van de binnendijkse ontwikkelingen

Tijdens de tweede fase van de ontwikkelingen van de binnendijkse kwelder neemt de koolstofvastlegging af, omdat de sedimentatiesnelheid af. Vanaf dat moment zal hiermee bij het vaststellen van de koolstofvastlegging rekeningen moeten worden gehouden. Dat betekent dat opnieuw intensiever gemeten moet worden aan de daadwerkelijke koolstofvastlegging, vergelijkbaar met de initiële fase. Het betekent dat in aanvulling op karteringen van de vegetatie, metingen van de sedimentatiesnelheid, hoogte en met name het koolstofgehalte nodig zijn.

Het is goed denkbaar dat na het bereiken van de maximale hoogte in het binnendijkse een andere vegetatieontwikkeling plaatsvindt, bijvoorbeeld doordat een uitbreiding van riet plaatsvindt. Het is niet uitgesloten dat een dergelijke ontwikkeling resulteert in vastlegging van koolstof. Maar er is dan eigenlijk geen sprake meer van koolstofvastlegging door een kwelder en daarom is deze mogelijke overgang niet meegenomen in deze beschouwing.

3.4 Aandachtspunten

De analyse van het vastleggen van koolstof door binnendijkse kwelder is gericht op de processen rond kwelderontwikkeling en sedimentatie. Bij de aanleg van een binnendijkse kwelder zal naar verwachting ook CO₂ vrijkomen. Zelfs bij de inzet van volledig CO₂-neutrale machines voor het grondverzet en voor de aanleg van het doorlaarmiddel, zal sprake zijn van emissies vanwege het gebruik van beton en staal. Door in te zetten op herbruikbaar materiaal kan de impact van de toepassing van het beton en staal weliswaar niet worden teruggebracht naar nul, maar wel worden beperkt.

In het binnendijkse gebied verandert door het introduceren van het gedempte getij de waterhuishouding. Ook het grondwaterpeil zal hierdoor veranderen. In veel gevallen zal het binnendijkse gebied bestaan uit oudere ingedijkte kwelders, die over het algemeen vrij diep ontwaterd worden vanwege de landbouwfunctie. De baseline in dergelijke

gebieden is daarmee een oxiderende bodem. Mogelijk verandert dit in de situatie met het binnendijkse getij, doordat naast nieuwe opslibbing ook verhoging van grondwaterstand optreedt. Dit is afhankelijk van de hoog-laagwaterstanden in het binnendijkse gebied. Het gevolg hiervan kan zijn dat de emissie door oxidatie van het organische materiaal in de bodem reduceren of geheel stoppen.

Voor een volledige beschouwing van de impact op de koolstofhouding van de aanleg van een binnendijkse kwelder is het zaak om het volledige project te beschouwen, met inbegrip van bovenstaande aandachtspunten.

4 Conclusies en aanbevelingen

Het uitgangspunt bij het opstellen van de conclusies is dat de binnendijkse kwelders ontstaan in goed ontworpen en volgens dat ontwerp gerealiseerde gebieden met gecontroleerd getij. De omvang van het doorlaatmiddel is daarbij afgestemd op het kombergingsvolume van het binnendijkse gebied. Het kombergingsvolume van het binnendijkse gebied is het watervolume dat kan worden geborgen tussen de niveaus van laag- en hoogwater in de geulen tussen de oppervlakte van de wadplaten en de kwelders en het niveau van hoogwater. Daarbij zorgen de geulen voor stroming vanaf het doorlaatmiddel naar het hele gebied, zodat het water met sediment alle binnendijkse kwelders kan bereiken. Als aan het uitgangspunt van een goed ontwerp en goede uitvoering wordt voldaan, zullen binnendijkse kwelders ontwikkelen.

Conclusies

- In een binnendijkse kwelder wordt op dezelfde wijze koolstof vastgelegd in de bodem als in buitendijkse kwelders.
- Net als bij een buitendijkse kwelder zijn de lokale omstandigheden, waaronder de beschikbaarheid van slib, bepalend voor de sedimentatiesnelheid van de kwelder en daarmee ook voor de mate van koolstofvastlegging. De variatie in de koolstofvastlegging is mede daarom groot.
- In een binnendijkse kwelder is er, in tegenstelling tot een buitendijkse kwelder, altijd sprake van een eindige hoeveelheid koolstof die kan worden vastgelegd, omdat zowel de oppervlakte van het binnendijkse gebied als de maximale hoogte begrensd zijn.
- De snelheid waarmee de koolstof in een binnendijkse kwelder wordt vastgelegd neemt na verloop van tijd af, omdat de sedimentatiesnelheid afneemt.
- Door de gecontroleerde omstandigheden in het binnendijkse gebied zal erosie van kwelderranden naar verwachting vrijwel niet optreden.
- De 'Blue Carbon'-principes, zoals die zijn geformuleerd voor 'gewone' buitendijkse kwelderuitbreidingen zijn ook van toepassing op binnendijkse kwelders, waarbij altijd sprake is van een uitbreiding van het kwelderareaal:
 - De hoeveelheid koolstof die opgeslagen wordt in een kwelder bij uitbreiding, is afhankelijk van de omvang van het gebied.
 - In de eerste jaren tot tientallen jaren (afhankelijk van de ontwikkeling van de kwelderhoogte en waterstanden) kan de jaarlijkse extra koolstofvastlegging worden berekend door het aantal hectare met kweldervegetatie te vermenigvuldigen met de jaarlijkse koolstofvastlegging per hectare.
 - Voor het vaststellen van de gemiddelde jaarlijkse koolstofvastlegging wordt bij binnendijkse kwelders bij voorkeur gebruik gemaakt van meetresultaten van de betreffende locatie.
 - Bij het naderen van de eindhoogte van de binnendijkse kwelder, waarbij de hoogte van de kwelder in buurt komt van de maximale waterstand, neemt de sedimentatiesnelheid en daarmee de koolstofvastlegging af. Vanaf dat moment zal hiermee bij het vaststellen van de koolstofvastlegging rekeningen moeten worden gehouden. In aanvulling op karteringen van de vegetatie zijn voor het vaststellen van de koolstofvastlegging bij binnendijkse kwelders metingen van de sedimentatiesnelheid en de hoogte noodzakelijk.

Aanbevelingen

- De beredeneerde ontwikkeling van de binnendijkse kwelders is nog niet in de praktijk geobserveerd. Omdat het van wezenlijk belang is voor de vastlegging van koolstof en voor de ontwikkeling van de natuurwaarden is het zinvol om dit te monitoren bij een (toekomstig) binnendijks gecontroleerd getijdegebied.
- Zowel de mate van vastlegging, als de afbraaksnelheid van organisch koolstof in een binnendijkse kwelder zijn nog onbekend. Vanwege de andere overstromingsfrequentie zal dit binnendijks mogelijk anders zijn dan in buitendijkse kwelders. Het wordt aanbevolen om de vastlegging van koolstof in de loop van de tijd te monitoren bij een (te realiseren) binnendijks gecontroleerd getijdegebied.
- Vanwege de twee aanbevelingen hierboven, die zijn gekoppeld aan onzekerheden over de omvang van de koolstofvastlegging, is het zinvol om de uitgifte van SNK-koolstofcertificaten voor binnendijkse kwelders te koppelen aan de daadwerkelijke koolstofvastlegging. Dat betekent dat de omvang van de koolstofvastlegging achteraf wordt vastgesteld door middel van veldmetingen en analyses van de vegetatie-ontwikkeling.

5 Bronnen

- Dijkema, K.S., W.E. van Duin, E.M. Dijkman, P.W. van Leeuwen, 2007. Monitoring van Kwelders in de Waddenzee. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1574.
- Elschot K., M.E.B. Van Puijenbroek, D.D.G. Lagendijk, J-T. Van der Wal, C. Sonneveld, 2020. Langetermijnontwikkeling van kwelders in de Waddenzee (1960-2018). WOt-technical report 182/ Wageningen Marine Research rapport C023/20.
- Erchinger, H. F. 1995. Dünen, Watt und Salzwiesen. Der Niedersächsische Ministerie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hannover. 59 p.
- Greendead Nationale Koolstofmarkt, in concept. Methodedocument voor vaststelling van emissiereductie en/of vastlegging van CO₂-eq. Type project: CO₂-vastlegging kwelders (Blue Carbon). Document ter bespreking in SNK-werkgroep 2 in mei 2021. 8 april 2021 met kenmerk 20210325.
- Hoefsloot, G., H.A. van der Jagt & W.E. van Duin, 2020. Blue Carbon in Nederlandse kwelders. Kansen voor extra CO₂-vastlegging in kwelders. Bureau Waardenburg Rapportnr. 20-028. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Koenders, L., J. Cleveringa, N. Nijborg & N. Slik, 2021. Quick Scan: Blue Carbon Eems Dollardregio. Arcadis-rapport D10032296:146
- Teunis, M & K. Didden (2018). Blue Carbon in Nederlandse kwelders. Resultaten van vier kwelders in beheergebieden van Natuurmonumenten. Bureau Waardenburg Rapportnr. 18-301. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Van Dobben, H.F., A. V. de Groot & J. P. Bakker, 2022. Salt Marsh Accretion With and Without Deep Soil Subsidence as a Proxy for Sea-Level Rise. *Estuaries and Coasts*. 45, p. 1562–1582.
- Van Puijenbroek, M.E.B. & C. Sonneveld, 2021. Opslibbing en kleilaagdikte op Ameland Oost; Jaarrapportage veldwerk 2020. Wageningen Marine Research rapport C039/21.

Internetbronnen:

<https://www.klimaatbuffers.nl/nieuws/22/blue-carbon-y-het-zwarte-goud-in-de-kwelders>

<https://life-ip-deltanatuur.nl/news/view/8ee7c153-7f3a-4723-854f-0c3a32ca4370/schorren-en-kwelders-klimaatbuffers-in-het-kwadraat>

Colofon

BLUE CARBON IN BINNENDIJKSE KWELDERS
PRINCIPES EN BEREKENING VAN KOOLSTOFVASTLEGGING

KLANT

Life IP Deltanatuur, Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers, Stichting Nationale Koolstofmarkt, Rijkswaterstaat, Wageningen Marine Research en Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

AUTEUR

Jelmer Cleveringa

PROJECTNUMMER

30135552

ONZE REFERENTIE

<DocId>:30135552

DATUM

10 februari 2023

STATUS

Concept

Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende ontwerp- en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij helpen onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Wij zijn met 36.000 mensen actief die in ruim zeventig landen meer dan €4,2 miljard aan omzet genereren. Wij helpen UN-Habitat met onze mensen, die kennis en expertise leveren om de moeilijke leefomstandigheden te verbeteren in gebieden die lijden onder de gevolgen van klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

Arcadis. Improving quality of life

Volg ons op



[arcadis-nederland](https://www.linkedin.com/company/arcadis-nederland)



[arcadis_nl](https://twitter.com/arcadis_nl)



[ArcadisNetherlands](https://www.facebook.com/ArcadisNetherlands)