

AMFIBISCH WONEN IN POLDERS - HAALBARE IMPLEMENTATIE VAN AMFIBISCHE CONSTRUCTIES IN VEENGEBIEDEN

Pim Braakhuis

Faculty of Architecture & the Built Environment, Delft University of Technology
Julianalaan 134, 2628 BL Delft

ABSTRACT

Dit onderzoek bekijkt de toepassing van amfibische constructies in bufferpolders als oplossing voor zowel de woningcrisis als de klimaatverandering in Nederland. Hierbij ligt de focus op de ecologische en technische uitdagingen van bouwen op veengrond, waarbij fluctuerende waterstanden en bodemdaling belangrijke factoren zijn. De integratie van innovatieve waterbeheersystemen, zoals het APSSI-systeem (Aquifer Pressured SubSoil Infiltration), en het gebruik van lichte, flexibele constructiemethoden, bieden een duurzame oplossing voor de bouw in overstromingsgevoelige gebieden. Daarnaast worden de voordelen van 'amfibische constructies'; die zich kunnen aanpassen aan zowel droge als natte periode benadrukt, waarbij onderzocht wordt hoe deze technieken kunnen bijdragen aan zowel effectief waterbeheer als het ecologisch in stand houden van veengrond. Concluderend wordt een kijk gegeven op een mogelijke hernieuwde inrichting van de amfibische cultuur, waarbij water en bodem sturend zijn, zoals voorgesteld in het Nationale Deltaprogramma 2025.

KEYWORDS: *Amfibische constructies, Zelfvoorzienend waterbeheer, Klimaatbestendige veenlandschappen, Beter bouw-en woonrijp maken, Paludicultuur*

I. ACHTERGROND

1.1. Introductie

Onze aarde warmt op met extreme waterstanden als gevolg; lage niveaus in de zomer, resulterend in droogte en zoetwatertekort; en hoge niveaus in de winter, leidend tot rivieroverstromingen en verhoogde druk op dijken (IPCC, 2023). De Nederlanders hebben een rijke historie op het gebied van innovatief waterbeheer. Echter, met de nieuwe verwachte extremen in waterstanden in de komende decennia, is een nieuwe visie op water noodzakelijk: eentje waarbij water en bodem sturend is (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat et al., 2024). Als andere maatschappelijke uitdaging heeft Nederland te maken met een woningcrisis door verstedelijking en bevolkingsgroei (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2023), wat de situatie bemoeilijkt. Er is een dringende behoefte aan nieuwe woningen, maar ook voor waterberging, terwijl grond schaars is (PosadMaxwan & PasBV, 2024).

Dit onderzoek bouwt voort op de *adaptatie* strategie, die in lijn is met het Nationaal Deltaprogramma 2025 en ook verkennend onderzocht in het rapport 'Oplossingsrichting Meebewegen' in de vorm van *hybride adaptatie* (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2024). Deze strategie legt onder andere uit hoe de kwetsbaarheid van de bodem verminderd kan worden door 'bufferpolders' in te zetten voor gecontroleerde waterberging en watervoorraad in perioden van droogte. Deze polders, veelal bestaand uit veengrond (Verhagen et al., 2009), bieden een unieke kans om te voorzien in het verhogen van de buffercapaciteit van Nederland.

Naast klimaatverandering wordt de maatschappelijke uitdaging vergroot een woningcrisis, met bijna een miljoen woningen die gebouwd moeten worden tegen 2030 (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2023). Door de beperkte grond en toekomstige overstromingsrisico's wordt het vinden van geschikte locaties voor bouwprojecten bemoeilijkt. Het onderzoek van PosadMaxwan & PasBV (2024) identificeerde 420.000 hectare land in Nederland met een hoog overstromingsrisico,

waarvan het merendeel uit veen bestaat, een bodemtype dat minder geschikt is voor bebouwing (Segeren & Hengeveld, 1984).

Amfibische bouwtechnieken, die de nadelen van veenbodems omzeilen en kunnen functioneren in natte omstandigheden, bieden een oplossing. Door slechts 3% van het geïdentificeerde overstromingsgevoelige gebied met deze methode te bebouwen - met een dichtheid van 65 woningen per hectare – kan zowel het woningtekort worden opgelost als de mogelijkheid voor nieuwe waterberging worden gecreëerd.

1.2. Doelstelling

Als uitkomst voor deze twee maatschappelijke uitdagingen wordt de potentie van amfibische constructies in veenweidegebieden onderzocht. Door te onderzoeken hoe deze veenlanden klimaatbestendig kunnen worden ingericht met amfibische principes, wil dit onderzoek bijdragen aan innovatieve oplossingen voor stedelijke ontwikkeling in gebieden die kwetsbaar zijn voor overstromingen.

De hoofdvraag van het onderzoek luidt: *“Hoe kunnen amfibische principes in veenweidegebieden op een ecologisch verantwoorde en klimaatbestendige manier worden ontwikkeld, zodat ze zowel bijdragen aan effectief waterbeheer als aan het oplossen van de woningvraag?”*

Om deze vraag te beantwoorden, is het onderzoek opgedeeld in meerdere deelvragen. Elke deelvraag belicht een specifiek aspect van de hoofdvraag en draagt daarmee bij aan de uiteindelijke beantwoording:

1. **Context:** *Wat maakt amfibische woningbouw een realistische oplossing voor de uitdagingen in veenweidegebieden?*
2. **Landschap:** *Welke specifieke karakteristieken van veenweidegebieden moeten in acht worden genomen bij het klimaatadaptief ontwikkelen van amfibische principes?*
3. **Waterbeheer:** *Hoe kunnen veenweidegebieden klimaatbestendig ingericht worden met de integratie van waterbeheersystemen?*
4. **Inrichting:** *Hoe kunnen veenweidegebieden worden voorbereid op de aanleg van amfibische wijken, met aandacht voor fundering, constructie, infrastructuur en grondwaterbeheersing?*

1.3. Methodologie

Dit onderzoek gebruikt als methodologie een exploratieve studie, waarin zowel primaire (interviews, ontwerpend onderzoek) als secundaire onderzoeksmethoden (literatuuronderzoek, casestudies) zijn toegepast in de vorm van kwalitatief onderzoek. Bij het vaststellen van de probleemstelling werd duidelijk dat er nog geen klimaatadaptieve oplossing bestaat voor woningbouw op veengrond, waarmee een efficiënte manier om bebouwing te combineren met veenpreservatie nog ontbreekt. Voor de verschillende aspecten zijn afzonderlijke conclusies en oplossingen beschikbaar. Dit onderzoek verkent of deze conclusies samengebracht kunnen worden. Hierbij is de verwachting dat het bundelen van deze inzichten leidt tot een holistische oplossing voor klimaatadaptief bouwen op veengrond. In onderstaande tabel worden de onderzoeksvragen en bijbehorende methodologie beschreven.

Onderzoeksvraag	Welke gegevens zijn nodig?	Hoe worden deze gegevens verzameld?	Hoe worden deze gegevens geanalyseerd?	Wat is het verwachte resultaat?
1. Context - Wat maakt amfibische woningbouw een realistische oplossing voor de uitdagingen in veenweidegebieden? (Appendix A)	Literatuur over historische amfibische cultuur, hedendaagse relevantie en landelijk beleid van de overheid.	Literatuurstudie en vergelijkende casestudie.	Kwalitatieve analyse en vergelijking van bouwmethoden (grondgebonden, drijvend, amfibisch) op basis van vijf criteria.	Inzicht in de meest geschikte bouwmethode voor veengrond.
2. Landschap - Welke specifieke karakteristieken van veenweidegebieden moeten in acht worden genomen bij het	Gegevens over fysieke kenmerken van veenweidegebieden	Literatuuronderzoek, SWOT-analyse, en interview met expert (R. Temmink, 2024)	Analyse van bodemeigenschappen en de impact op	Inzicht in de randvoorwaarden en mogelijkheden

klimaatadaptief ontwikkelen van amfibische principes? (Appendix B)	(bodemeigenschappen, waterhuishouding).		klimaatbestendige inrichting.	voor klimaatadaptatie.
3. Waterbeheer - Hoe kunnen veenweidegebieden klimaatbestendig ingericht worden met de integratie van waterbeheersystemen? (Appendix C)	Bevindingen van pilots over waterbeheer en informatie over innovatieve systemen zoals de aquabattery.	Literatuuronderzoek, analyse van pilots, en interview met expert (Van Oss, 2024)	Synthese van bevindingen in een nieuw watersysteem via research by design.	Een nieuw watersysteem dat grondwater stabiliseert en waterberging optimaliseert.
4. Inrichting - Met welke maatregelen kunnen de bodemeigenschappen van veenlandschappen klimaatbestendig worden ingezet voor amfibische bouw (Appendix D)	Gegevens over funderingsmethoden, ophogingen, infrastructuur en grondwaterbeheer.	Comparatieve analyses van methoden en materialen, aangevuld met literatuuronderzoek.	Vergelijking van methoden en materialen gericht op klimaatadaptatie en duurzaamheid.	Praktische aanbevelingen voor bouw- en woonrijp maken van veengronden.

Tabel 1: methodologie van de verschillende aspecten (eigen bron)

1.4. Hypothese

De eerste hypothese geldt dat mensen kunnen leren van het verleden als het gaat om amfibisch wonen. De bereidheid om met water te leven zal en moet de komende decennia toenemen. Historisch gezien hebben mensen bewezen samen te kunnen leven met water (Van Dam, 2012). Deze manier van leven lijkt vergeten te zijn met de opkomst van waterverdedigingstechnieken. Echter, met de huidige klimaatverandering en daarop aansluitende beleidskeuzes (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat et al., 2024) is een hernieuwde blik op de amfibische cultuur nodig waarin weer opnieuw gekeken moet worden hoe er samen met water geleefd kan worden

Door als eerste het landschap van veen te inventariseren, is de verwachting dat de aspecten *waterbeheer* en *inrichting* eenvoudiger uit te werken zijn. Uit vooronderzoek blijkt dat het clusteren en toepassen van amfibische constructies in theorie mogelijk is (De Vries, 2024). Waar echter nog geen inzicht in is, is hoe ecologie, waterbeheer en woningbouw effectief met elkaar kan worden gecombineerd, zodat er een holistische aanpak ontstaat. Mijn hypothese is dat het mogelijk is, maar dat er veel ‘wat-als’-scenario’s zijn en verder onderzoek nodig is. De vraag kan mogelijk te groot zijn om direct te beantwoorden.

Mijn derde hypothese is dat een amfibische woonclustering alleen kan worden gevalideerd als de kosten niet binnen traditionele investeringsmodellen worden meegenomen. Pas wanneer we niet-financiële voordelen (zoals CO₂-opslag, lagere kosten voor waterzuivering en afvalverwerking, en minder schade door wateroverlast/overstromingen) opnemen in de investeringen, wordt het gebied geschikt voor amfibische structuren.

II. CONTEXT – DE AMFIBISCHE CULTUUR

In het Delta programma van 2025 staat beschreven dat water en bodem sturend moeten zijn bij de ruimtelijke inrichting (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat et al., 2024). Leven in gebieden waar bodem en water sturend is, is echter geen nieuwe strategie, maar wordt al eeuwenlang toegepast (Van Dam, 2012). Dit hoofdstuk bespreekt deze amfibische cultuur, waarbij de traditionele omgang met water wordt gekoppeld aan de hernieuwde relevantie door klimaatverandering, en onderzoekt waarom amfibische woningen in veenweidegebieden een geschikte oplossing kunnen bieden. De deelvraag luidt: *Wat maakt amfibische woningbouw een haalbare oplossing voor de uitdagingen van bouwen op veenlandschappen?*

2.1. Historische en hedendaagse amfibische cultuur

Historisch gezien kent Nederland een ‘amfibische cultuur’ om met wateroverlast om te gaan (Van Dam, 2012). Vanwege de lage geografische ligging liepen gebieden regelmatig onder water. Deze overstromingen brachten vruchtbare grond (Betten, 2018), maar dwongen boeren wel tot het ontwikkelen van specifieke strategieën, zoals beschreven door Van Dam (2012). Deze strategieën richten

zich op aanpassing aan de omgeving, in plaats van het wijken van water voor menselijke behoeften. Praktische oplossingen, zoals vervoer per boot, het wonen op terpen en het compartimenteren van secundaire dijken, minimaliseerden de impact van overstromingen en verhoogden de overlevingskansen.

Door technologische vooruitgang (bijv. gemalen, dijken en pompen) leek deze ‘amfibische leefstijl’ minder noodzakelijk (Berendse, M. J., & Brood, P. 2022). Echter, de Watersnoodramp van 1953 en de bijna-rampen van 1993 en 1995 toonden aan dat er grenzen zitten aan het drooghouden van Nederland, zelfs met de bouw van de Deltawerken (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2024a). 1995 vormt een kantelpunt, met meer aandacht voor strategieën die niet alleen focussen op dijkversterking, maar ook op een andere omgang met water, voor het eerst beschreven in het Delta Plan voor de Grote Rivieren (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995).

Van Dam (2012) bevestigt deze verschuiving in strategie. Door klimaatverandering wordt het thema van de amfibische cultuur opnieuw relevant. Extreme regenval overbelast rioleringsystemen, rivieren treden buiten hun oevers, en de zeespiegel stijgt (IPCC, 2023). Waar men vroeger bij hoogwater tijdelijk naar hoger gelegen gebieden verhuisde, maken moderne methoden (zie hoofdstuk 4 en 5) het mogelijk om in laaggelegen gebieden te blijven. Zo ontstaat een vernieuwde amfibische cultuur, eentje waarin er opnieuw geleerd moet worden om te leven met water, al hoeft er misschien niet meer (tijdelijk) verhuisd te worden.

2.2. Huidig beleidskader

De urgentie voor een toekomstbestendige wateraanpak wordt benadrukt in het Nationale Deltaprogramma van 2025 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat et al., 2024). Dit programma roept op tot een hybride strategie die niet alleen de dijken verhoogt, maar ook *water en bodem sturend maakt* in de ruimtelijke ordening, een term die al in 2022 werd geïntroduceerd door het toenmalige kabinet (Ministerie van Algemene Zaken, 2022). Voor veenpolders betekent *water en bodem sturend* dat deze niet onnodig worden drooggelegd, maar zodanig worden beheerd dat waterberging, veenbehoud en CO₂-reductie hand in hand gaan. Gecombineerd met de toenemende woningvraag (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2023), benadrukt dit beleid de potentie van amfibische woningen: ze functioneren met verschillende waterstanden (Piatek, 2024) en dragen bij aan het oplossen van het woningtekort.

2.3. Amfibische cultuur in veenweidegebieden (conclusie casestudie - Appendix A.4)

De herintroductie van een amfibische cultuur kan een oplossing bieden voor veenweidegebieden. Grondgebonden bouwmethoden vereisen vaak een permanente verlaging van het waterpeil (Biron, 2004), wat leidt tot schade aan veenbodems en toenemende CO₂-uitstoot (Best et al., 1993). Hoewel drijvende woningen aantonen dat grondontwatering niet altijd nodig is, hebben zij een stabiele en diepe waterlaag nodig, wat door toenemende droogte (IPCC, 2023) niet overal haalbaar is. Bovendien heeft permanente aanwezigheid van water nadelige effecten op het ecosysteem van veen (Cowardin, 1979). De vergelijkingsanalyse van drie typen woonprojecten (appendix A.3.4) laat echter zien dat amfibische woningen zowel in droge als natte periodes goed functioneren. De amfibische methode presteert beter op verschillende klimaatadaptieve criteria die gericht zijn op veen, en overtreffen zowel grondgebonden als drijvende woningen op het gebied van waterbeheer en toepasbaarheid op veen.

2.4. Conclusie

Amfibische woningbouw biedt een haalbare oplossing voor de uitdagingen van bouwen op veenlandschappen (Appendix D). De historische ‘amfibische cultuur’, die gericht is op aanpassing aan wateroverlast, wordt nieuw leven ingeblazen met moderne technieken. Traditionele bouwmethoden verlagen het waterpeil, wat leidt tot bodemdaling en CO₂-uitstoot, terwijl drijvende woningen afhankelijk zijn van stabiele waterlagen. Amfibische woningen combineren het beste van beide: ze functioneren in zowel droge als natte omstandigheden en presteren beter op duurzaamheid en aanpassingsvermogen dan grondgebonden en drijvende woningen. Daarnaast bieden ze oplossingen om waterbeheer en woningbouw te combineren. Hiermee vormt de herintroductie van deze aanpak een

toekomstbestendige strategie die aansluit bij het beleid van de overheid om water en bodem sturend te maken. Veenlandschappen zijn daarnaast een veelbelovende grondsoort om als klimaatbuffers te gebruiken wanneer er juist wordt omgegaan met het landschap. Wat veengrond geschikt maakt, is beschreven in het volgende hoofdstuk.

III. LANDSCHAP – VEEN ALS ONDERGROND

Eén van de maatregelen van ‘hybride adaptatie’ is het integreren van bufferpolders (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en de Deltacommissaris et al., 2024). Redesigning Deltas, een onderzoeksprogramma, implementeert ook het gebruik van waterbuffers (Redesigning Deltas et al., 2022), door polders langzaam te transformeren naar natuurlijke dynamische systemen. Beide benaderingen hanteren dezelfde dubbele rol: enerzijds helpen ze om waterstanden te reguleren, te beschermen tegen overstromingen en de gevolgen van stijgende zeespiegels te verminderen; anderzijds bieden ze habitatten die de biodiversiteit en ecologie verbeteren.

Het inzichtelijk krijgen van de kenmerken van deze polders is essentieel vanwege hun potentiële rol in water- en middelenbeheer. In dit hoofdstuk wordt het onderzoeksonderwerp van het **landschap** behandeld door de volgende deelvraag te beantwoorden: *“Welke specifieke kenmerken van veengebieden moeten in overweging worden genomen bij het realiseren van klimaatadaptieve woningbouw?”* Het onderzoek beperkt zich tot de polderlandschappen die ontstaan zijn uit voormalige veenmoerrassen (Van Lanen & Kosian, 2020). Daarbij is gesteld is dat deze polders vanwege hun karakteristieken als een vorm van wetlands kunnen worden gezien (appendix B).

3.1. Karakteristieken van veen als bouwgrond

Veengrond bestaat uit poriën die gevuld raken met grondwater waarmee de planten gevoed worden. Door het hoge waterpeil komt er beperkt zuurstof in de bodem, met als gevolg dat dode planten niet volledig vergaan, waarmee veen ontstaat en CO₂- en water opgeslagen kan worden in de ondergrond (Interview R. Temmink, 2024; Verhagen et al., 2009). Door dit hoge organische gehalte bevat de grond ook een hoge beschikbaarheid van voedingsstoffen, wat hen in Nederland van belang maakte voor de landbouw, resulterend in het polderlandschap van nu (Best et al., 1993).

Om inzicht te krijgen in de karakteristieken van veen, is de beknopte versie van een SWOT-analyse opgesteld in tabel 2, met een uitgebreide versie in appendix B.4. Veen heeft sterke bodemeigenschappen, zoals wateropslag en koolstofopslag, maar is ook kwetsbaar voor bodemdaling en CO₂-uitstoot bij drainage (Best et al., 1993). Kansen liggen in het duurzaam hergebruiken van veengebieden, bijvoorbeeld door paludicultuur (A&W ecologisch onderzoek et al., 2022), wat zowel ecologische als economische voordelen biedt (hoofdsuk 3.2). De grootste dreiging is de schade die door uitdroging wordt veroorzaakt, wat de stabiliteit en ecologische functies van veengebieden aantast (Eertwegh et al., 2022). Concluderend kan veen alleen als bouwgrond gebruikt worden als de zwakke kanten aangepakt worden, waar de sterke kanten ingezet moeten worden. Welke maatregelen getroffen moeten worden, wordt in hoofdstuk 5 verder uitgewerkt.

<u>Strengths</u> • Effectieve sponsfunctie • Overstromingsbescherming • Drinkwaterfiltratie • Hoog CO₂ percentage in de bodem • Rijk in ecologische waarde	<u>Weaknesses</u> • Weinig draagkracht • Landschap is niet begaanbaar • Fragiel landschap • Hoog CO₂ percentage in de bodem
<u>Opportunities</u> • Kan ingezet worden als bufferzone • Kan ingezet worden als CO₂ opslag • Kan voorzien in nieuwe natte natuur • Economische boost voor de omgeving	<u>Threats</u> • Laat CO₂ los wanneer geoxideerd • Droogte zorgt voor bodemverzakking

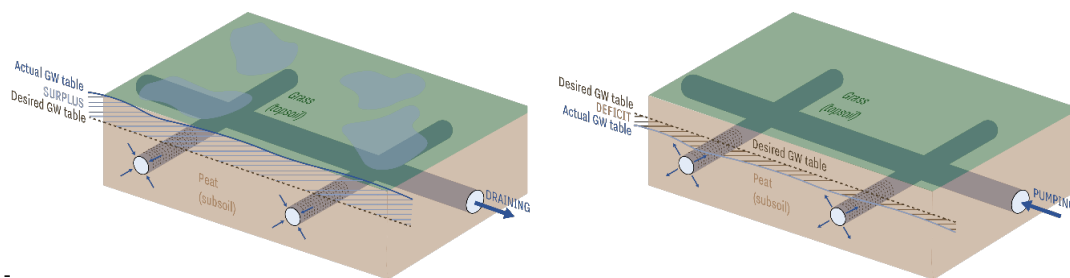
Tabel 2: SWOT-analyse van veenlandschap als bouwgrond (eigen bron)

3.2. Klimaatadaptieve veenlandschappen

Zoals te zien in tabel 2, bieden veengronden belangrijke voordelen voor klimaatadaptatie door hun capaciteit voor water- en CO₂-opslag (appendix B.4.3). Echter, bij lage grondwaterstanden komt er zuurstof in de bodem, wat leidt tot de afgifte van CO₂ in plaats van opslag (Best et al., 1993). Om dit proces te voorkomen, is het essentieel om een hoog grondwaterpeil te behouden. In dit kader heeft de Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers (CNK) een visie ontwikkeld voor de herontwikkeling van veengebieden door het hydrologische systeem te herstellen en de biodiversiteit en sponsfunctie te verbeteren (A&W ecologisch onderzoek et al., 2022).

De visie bevat drie hoofdtrajecten: 1) kruidenrijke graslanden met hoog grondwater, 2) natte teeltvormen (paludicultuur) en 3) de ontwikkeling van nieuwe veenmoerassen. Alle drie de trajecten noemen het verhogen en vasthouden van grondwater. Wat niet door CNK is gespecificeerd, zijn de technieken om het grondwater te verhogen. In de beleidsstudie ‘Dalende Bodems, Stijgende Kosten’ van het Planbureau voor de Leefomgeving et al. (2016) is onderzoek gedaan naar maatregelen om het grondwater op peil te krijgen. In het rapport wordt gepleit voor een combinatie van ondergrondse drainage (Appendix C.1) en alternatief landgebruik op veen (Appendix C.2):

1) **Ondergrondse drainage** stabiliseert grondwaterstanden door oppervlaktewater via drainage pijpen (DI) in het grondwatersysteem te infiltreren (Subsoil infiltration), wat zowel tijdens droge als natte periodes een gewenst grondwaterniveau biedt (figuur 1). Deze dubbele functionaliteit vermindert veeninklinking tot 50% (Born et al., 2016), verlaagt CO₂ uitstoot en herstelt de hydrologische bufferfunctie in gedegradeerde veengebieden (Ahmad et al., 2020). Praktijkstudies, zoals de Rotterdamse pilot (appendix G), bevestigen de effectiviteit en benadrukken het potentieel voor duurzaam land- en waterbeheer in veengebieden.



Figuur 1: principes van SSI in winter (links)-en zomer (rechts) situatie (eigen bron)

2) **Alternatief landgebruik**, zoals natte landbouw (paludicultuur) en natuurbeheer, kunnen een langdurige oplossing bieden om veengebieden te behouden, de biodiversiteit te bevorderen en bodemdegradatie te voorkomen (R. Temmink, 2024). Paludicultuur is een vorm van duurzame landbouw waarbij waterbestendige gewassen worden geteeld die ook als bouwmaterialen ingezet kunnen worden, (Stichting Bouwtuin, 2022). Hoewel er uitdagingen bestaan in het balanceren van biodiversiteit met productie, sluiten deze oplossingen aan bij de visie van het CNK en het beleid van de overheid om water en bodem sturend te maken.

3.3. Conclusie

Bij het beantwoorden van de onderzoeksvraag: “Welke specifieke kenmerken van veengebieden moeten in overweging worden genomen bij het realiseren van klimaatadaptieve woningbouw?” zijn twee cruciale eigenschappen van belang. Ten eerste hebben veengebieden een zwakke, met water verzadigde bodem die tot verzakking leidt, wat bouwen lastig maakt zonder innovatieve bouwtechnieken (hoofdstuk 5). Ten tweede functioneren veengebieden als natuurlijke water- en CO₂ buffers, wat hun potentieel benadrukt voor effectieve watersystemen en wateropslag wanneer het gebied nat blijft. Echter, bij ontwatering wordt de bodem een risicofactor. Het reguleren van het grondwaterpeil in het gebied is essentieel om de ecologische waarde van veengebieden te behouden en tegelijkertijd duurzame

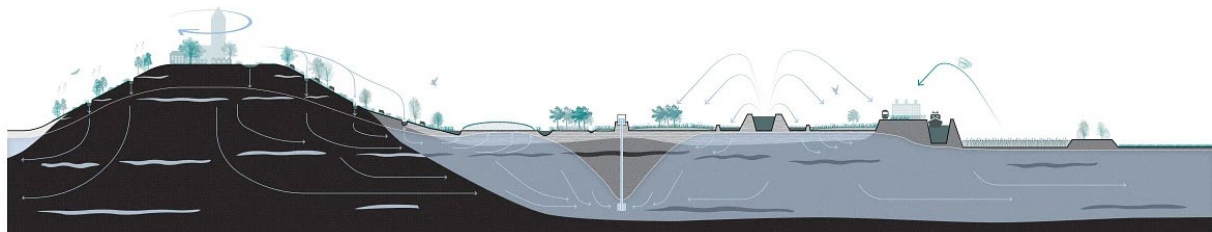
ontwikkeling mogelijk te maken. Hoofdstuk 4.1 geeft inzicht in hoe het reguleren mogelijk gemaakt wordt met de integratie van waterbeheersystemen.

IV. WATERBEHEER – DE INTEGRATIE VAN WATERSYSTEMEN OP VEENGROND

In hoofdstuk 3.2 zijn de maatregelen in kaart gebracht die bijdragen aan de klimaatbestendigheid van veengebieden. Dit hoofdstuk gaat dieper in op de ontwikkeling van een eigen ontworpen watersysteem waarmee het grondwaterpeil in veengebieden beheerd kan worden. Hierbij ligt de nadruk op hoe ondergrondse drainage verder kan worden ontwikkeld tot een volledig zelfvoorzienend watersysteem met het beantwoorden van de volgende deelvraag: *“Hoe kunnen veenweidegebieden klimaatbestendig ingericht worden met de integratie van waterbeheersystemen?”*

4.1. Aquabattery

De basis van het bedachte concept is geïnspireerd op het door B+B landschapsarchitecten geïntroduceerde principe van de ‘aquabattery recharged’, zoals toegepast in het project *Tussenwater* (B+B, 2021; Van Oss, 2024) (Figuur 2). Dit systeem adresseert de seizoensgebonden onbalans tussen neerslagoverschotten in de winter en tekorten in de zomer: de batterij vangt het overschot aan regenwater op in de winter en distribueert dit gedurende de zomermaanden terug in het gebied. Door deze gereguleerde wisselwerking blijven grondwaterstanden stabiel, wordt oxidatie van veen beperkt (tabel 2), vermindert de schade aan funderingen (appendix D.3.2.1.4), en wordt de implementatie van paludicultuur (appendix C.2.1) mogelijk gemaakt.



Figuur 2: concept van een aquabattery op een stedelijke schaal (B+B, 2021)

Her probleem van het concept van de Aquabattery is dat het alleen is uitgewerkt op een grootschalige, landelijke schaal. In dit onderzoek wordt gekeken naar de mogelijkheden om het concept concreter uit te werken. De hypothese van dit onderzoek stelt dat een onderlinge samenwerking tussen drie waterbeheersystemen kan resulteren in een volledig geïntegreerd zelfvoorzienend watersysteem. Dit systeem zou bestaan uit drie subsystemen, gecoördineerd vanuit een centraal distributiepunt (Figuur 3):

1. Een drainage- en infiltratiesysteem: SSI-pressurized drainage (Hoofdstuk 4.2.1)
2. Een wateropslagsysteem: APS (Hoofdstuk 4.2.2)
3. Een waterzuiveringssysteem dat woningen onafhankelijk maakt van het centrale waternetwerk. (Hoofdstuk 4.2.3)

4.2. APSSI-systeem met waterzuivering

Voortkomend uit de bevindingen van verschillende pilots die hieronder benoemd worden, introduceert dit onderzoek een gecombineerd systeem: het **APSSI (Aquifer Pressured SubSoil Infiltration System met waterzuivering)**. Een innovatief watersysteem dat het hele jaar door een grondwatervoorraad kan bieden zonder waterverdamping. Het systeem is een combinatie van een waterzuiveringssysteem met zowel een APS- als een SSI-systeem dat bestaat uit vijf kernelementen (figuur 3): (1) een filtratiecontainer, (2) een technische ruimte, (3) een waterzuiveringssysteem, (4) DI-leidingen en (5) een aquifer.

4.2.1. Drainagesysteem: Het basisontwerp van het SSI-systeem is geïnspireerd op het pilotproject ‘Pompen of Verzakken’ in de Bloemenbuurt, Rotterdam, waar sinds 2016 het grondwaterpeil voor 1.200

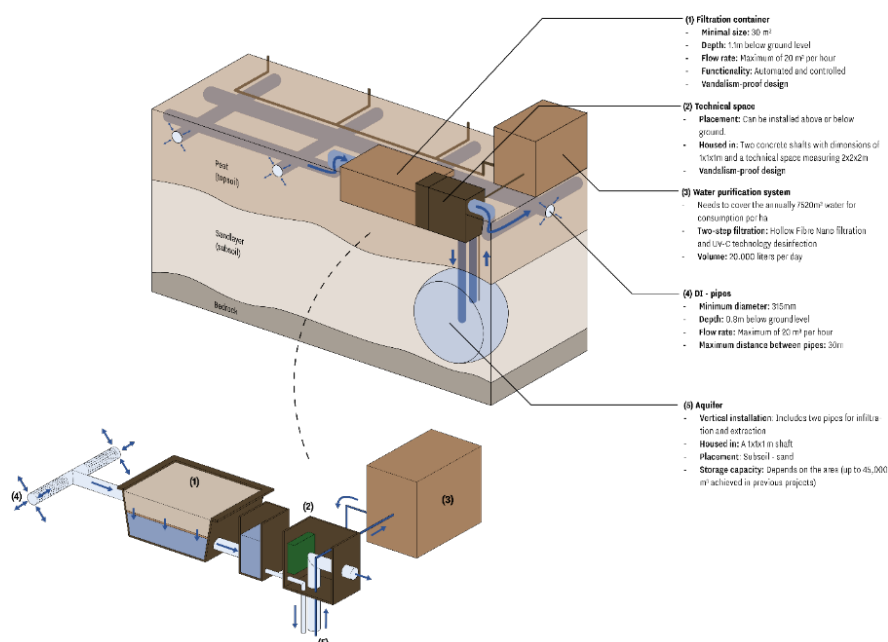
woningen wordt beheerd via horizontale drainage met mechanische pompen (appendix G). Dit systeem kan een waterbehoefte van 15 m³/uur in een gebied van 23 hectare aan, met leidingen die een diameter van minimaal 315 mm en een maximale afstand van 30 meter hebben. De Gemeente Rotterdam concludeerde na vijf jaar dat het waterpeil effectief kan worden gehandhaafd met behulp van dit mechanische systeem (Gemeente Rotterdam, juni 2017; Gemeente Rotterdam, 2021).

4.2.2. Wateropslagsysteem: Het tweede subsysteem binnen het APSSI is het Aquifer Pressure Storage (APS)-systeem, ontwikkeld door FieldFactors (appendix H). Dit systeem fungeert als een aquabatterij, zoals beschreven door B+B (2021), en werkt als een circulair watersysteem. Waar het SSI-systeem water uit een kanaal onttrekt, verzamelt het APS-systeem regenwater, filtert het via de filtratiecontainer (1) en slaat het op in een aquifer (5) onder het veenlandschap. Deze aanpak vermindert verdamping en maakt het systeem minder afhankelijk van externe waterbronnen. Het APS-systeem heeft een capaciteit van 20 m³/uur, waarmee het aangesloten kan worden op het SSI-systeem in de Bloemenbuurt.

4.2.3. Waterzuiveringssysteem: Het derde subsysteem is een waterzuiveringssysteem, gebaseerd op de 'Watermaker', ontwikkeld voor Fort Pampus in Nederland, waar traditionele drinkwatervoorzieningen niet haalbaar waren (appendix K). Onder leiding van Jotem Solutions werd een waterzuiveringssysteem ontworpen, dat bestaat uit drie fasen: langzame zandfiltratie, holle vezel-nanofiltratie en UV-C desinfectie. Het systeem werkt autonoom, aangedreven door zonne-energie en batterijen, en heeft de capaciteit om dagelijks 20.000 liter water om te zetten (H₂O Actueel & Klip, 2023), waarmee wordt voldaan aan de stedelijke watervraag zoals berekend in appendix I. Hoewel de pilot aantoonde dat het water veilig drinkbaar is, blijven er regelgevende uitdagingen bestaan (Schröder, 2022).

4.3. Conclusie

Het APSSI-systeem combineert de eigenschappen van de drie pilotprojecten tot een geïntegreerd geheel, waarmee het waterpeil in veengebieden op peil gehouden kan worden. Hoewel de grootte en specificaties afhankelijk zijn per locatie, zijn de minimale afmetingen geïllustreerd in figuur 3, met een vergrote illustratie in appendix C.3. Het systeem slaat water op via drainageleidingen, waarna het wordt gefilterd in de filtratiecontainer. Het gefilterde water wordt vervolgens naar de technische ruimte gepompt, waar het wordt geïnfilteerd in – en geëxtraheerd uit – de aquifer. Terug uit de aquifer wordt het water verdeeld over twee systemen: DI-leidingen voor bodem infiltratie en waterleidingen om gebouwen van water te voorzien. Met dit systeem is het mogelijk om principe van een vast grondwaterpeil te hanteren, waterberging te bieden en alternatief landgebruik toe te passen, waarmee voldaan wordt aan de maatregelen die beschreven zijn in paragraaf 3.2.



Figuur 3: Visualisatie van een APSSI-systeem (eigen bron)

V. INRICHTING – (AMFIBISCH) BOUWEN OP VEEN

In de hoofdstukken *landschap (hoofdstuk 3)* en *waterbeheer (hoofdstuk 4)* is gekeken naar de eigenschappen van veen, waarom het belangrijk is dat het grondwaterpeil in deze gebieden hoog blijft en hoe het waterbeheer met innovatieve technieken het beste geregeld kan worden. Echter, naast dat ecologie van belang is voor dit onderzoek, speelt er ook het vraagstuk hoe er gebouwd kan worden in deze gebieden. Hierbij luidt de volgende deelvraag: “*Met welke maatregelen kunnen de bodemeigenschappen van veenlandschappen klimaatbestendig worden ingezet voor amfibische bouw, kijkend naar de bouwrijp-, woningbouw- en woonrijpfase?*”

5.1. Bodemeigenschappen van veen

Tijdens het bouw- en woonrijp maken van grond zijn een aantal bodemeigenschappen van belang voor een ontwerp. Enerzijds zijn dit eigenschappen die afhankelijk zijn van de textuur van de ondergrond: *vochthoudend vermogen en doorlatendheid*; anderzijds zijn het eigenschappen die van belang zijn voor het bouwrijp maken: *draagkracht en begaanbaarheid, samendrukbaarheid* (Segeren & Hengeveld, 1984). Door het hoge organische gehalte heeft veen unieke eigenschappen, weergegeven in tabel 3. Verdere toelichting over de bodemeigenschappen is beschreven in appendix D.1.1.

Eigenschappen	Functionering	Toelichting
Begaanbaarheid	Zeer klein	Veen heeft een slechte begaanbaarheid vanwege het hoge watergehalte en de lage draagkracht. Zware machines kunnen wegzakken, en regenval veroorzaakt snel plasvorming en kuilen (appendix D.1.1.1)
Draagkracht	Zeer klein	De draagkracht van veen is laag door de organische samenstelling en het gebrek aan sterke wrijvingsweerstand tussen de bodemdelen. Dit maakt veen ongeschikt voor zware belasting zonder versterkende maatregelen (appendix D.1.1.2).
Samendrukbaarheid	Zeer hoog	Veen is zeer samendrukbaar, met grote zettingen onder belasting. Het zettingsproces verloopt exponentieel en wordt gevolgd door kruip, wat ook op lange termijn vervorming veroorzaakt (appendix D.1.1.3).
Vochthoudend vermogen	Zeer hoog	Veen heeft een zeer hoog vochthoudend vermogen door de organische structuur, waardoor het veel water kan vasthouden. Dit maakt de bodem vaak nat, wat verdere problemen voor draagkracht en begaanbaarheid oplevert (appendix D.1.1.4).
Doorlatendheid	Klein	De doorlatendheid van veen varieert. Over het algemeen verloopt waterafvoer langzaam, wat leidt tot langdurig natte omstandigheden (appendix D.1.1.5).

Tabel 3: bodemeigenschappen van veen met toelichting (eigen bron)

5.2. Maatregelen in de verschillende bouwfasen

Veen is van nature een moeilijke bodem voor bouw- en infrastructuurprojecten vanwege de lage draagkracht, slechte begaanbaarheid en hoge samendrukbaarheid (tabel 3). Als oplossing voor deze eigenschappen, kunnen specifieke maatregelen worden getroffen verdeeld over de verschillende bouwfasen (appendix D.1). In tabel 10 (appendix D.2.7) zijn de onderstaande maatregelen inhoudelijk weergegeven.

1. **Bouwrijp maken:** Het verbeteren van de begaanbaarheid en draagkracht staan centraal in deze fase. Ophoging met goed doorlatende grond en tijdelijke drainage om het grondwaterpeil te verlagen, evenals het gebruik van rijplaten, zijn effectieve technieken om de eigenschappen te verbeteren.
2. **Woningbouw:** In deze fase moeten maatregelen genomen worden om de samendrukbaarheid te verminderen en tegelijkertijd de sterke eigenschappen van veen te behouden. Dit kan door lichte ophoogmaterialen te gebruiken en het grondwaterniveau terug op peil brengen, waarmee verdere zetting wordt voorkomen.
3. **Woonrijp maken:** De nadruk ligt hier op het behoud van een stabiele waterhuishouding en het beschermen van de veenbodem tegen uitdroging. Het toepassen van flexibele infrastructuur die

meebeweegt met de bodem biedt uitkomst om op de lange termijn stabiliteit van wegen en leidingen te waarborgen.

5.3. Inhoud maatregelen

Als antwoord op de deelvraag over hoe de bodemeigenschappen van veen klimaatbestendig kunnen worden ingezet voor amfibische bouw, zijn er vier belangrijke maatregelpakketten geïdentificeerd, met een overzichtstabel in appendix D.4:

1. Ophoging

Voor ophoging in veenlandschappen is de cunettenmethode de meest geschikte techniek, met schuimglas als ophogingsmateriaal (appendix D.3.1.3). Met deze methode worden slechts delen van het gebied opgehoogd, met het merendeel van de veengrond onaangetast. Daarnaast combineert schuimglas meerdere voordelen ten opzichte van andere ophogingsmaterialen, gebleken uit de vergelijkingsanalyse in tabel 11 in appendix D.3.1.3.

2. Constructie

Amfibische funderingen bieden een innovatieve oplossing om het veen nat te houden, terwijl zettingen en verlies van draagkracht worden geminimaliseerd (hoofdstuk 2.3). Door te bouwen met amfibische funderingen, lichte materialen en producten voortkomend uit paludicultuur kunnen gebouwen meebewegen met een klimaat adaptief veenlandschap.

- Het amfibische concept, voortkomend uit de waardeanalyse in tabel 13, laat zien dat amfibische funderingen zorgen voor een minimale impact op het veen, terwijl CO₂-opslag en waterberging worden ondersteund (appendix D.3.2.1).
- Lichte bouwmaterialen, zoals hout, verminderen de belasting op het veen en verhogen de stabiliteit van constructies (appendix D.3.2.2).
- Bouwgewassen voortkomend uit paludicultuur dragen bij aan een circulair systeem waarin lokale middelen worden benut, wat de afhankelijkheid van externe bronnen vermindert (appendix D.3.2.3).

3. Infrastructuur

Voor primaire infrastructuur, waar zetting minimaal mag zijn, bieden schuimglas en flexibele aansluitingen een uitkomst. Voor secundaire infrastructuur, zoals voetpaden en fietspaden, bieden materialen zoals plastic roads (tabel 12) en drijvende steigers, zoals de Smart Jetty van Schoonschip (appendix A.3.2), een combinatie van duurzaamheid, waterbeheer en flexibiliteit. Daarnaast is het belangrijk dat kabels en leidingen flexibel en eenvoudig te onderhouden worden ontworpen (appendix D.3.3.2).

4. Grondwaterstandsbeheersing

Grondwaterbeheer is een cruciale voorwaarde tijdens het bouwproces. Het APSSI-systeem biedt een flexibele oplossing om de grondwaterstand af te stemmen op de specifieke niveaus van de verschillende bouwfasen (appendix D.1.2). Door het grondwaterpeil te reguleren, wordt op de korte termijn niet alleen de begaanbaarheid en stabiliteit van het terrein gewaarborgd, maar draagt dit ook bij aan CO₂-opslag en de klimaatadaptatie op de lange termijn.

5.4. Conclusie

De unieke eigenschappen van veenlandschappen vereisen een holistische benadering waarin innovatieve technieken en materialen worden ingezet om de samendrukbaarheid te minimaliseren, draagkracht en begaanbaarheid te vergroten en waterbeheer te optimaliseren. Door de combinatie van ophogingstechnieken, lichte en biobased materialen, flexibele infrastructuur en dynamisch grondwaterbeheer wordt het mogelijk om klimaatbestendig te bouwen in veengebieden. Deze geïntegreerde strategie biedt niet alleen een antwoord op de technische uitdagingen van veen, maar ondersteunt ook een duurzame en circulaire ontwikkeling, waarbij het natuurlijke karakter van het veenlandschap behouden blijft.

VI. CONCLUSIE

De hoofdvraag van dit onderzoek luidde: *"Hoe kunnen amfibische principes in veenweidegebieden op een ecologisch verantwoorde- en klimaatbestendige manier worden ontwikkeld, zodat ze zowel bijdragen aan effectief waterbeheer als aan het oplossen van de woningvraag?"* De bevindingen tonen aan dat een holistische oplossing voor zowel de woningcrisis als klimaatbestendigheid mogelijk is. Om klimaatadaptief te ontwikkelen in veengebieden is een integrale benadering nodig, waarbij landschapsbeheer, waterbeheer en bouwtechnieken nauw met elkaar verbonden zijn.

Het onderzoek benadrukt hierbij het belang van een amfibische cultuur. Nederland heeft een rijke geschiedenis in het samenleven met water, waarbij aanpassingsstrategieën vooral gericht waren op het minimaliseren van de impact van overstromingen en het verhogen van de overlevingskansen. In de huidige context, met stijgende zeespiegels en extreme neerslag, wordt deze amfibische cultuur opnieuw relevant. Met een beleid waar water en bodem sturend is in de ruimtelijke ordening kan met nieuwe technologieën de basis gelegd worden voor een mogelijke herintroductie van een moderne amfibische cultuur.

Veenweidegebieden zijn door hun organische gehalte van grote ecologische waarde voor waterberging, maar maakt ze daarmee ook kwetsbaar voor bodemdaling, wat minder geschikt is voor traditionele woningbouw. Het reguleren van het grondwaterpeil is essentieel om zowel de ecologische stabiliteit van deze gebieden te behouden als ze geschikt te maken voor woningbouw. Het voorgestelde APSSI-systeem (Aquifer Pressured SubSoil Infiltration System) biedt een oplossing door, met het reguleren van grondwaterstanden, een dynamisch evenwicht te creëren tussen wateropslag en -afvoer, waarmee de CO₂ uitstoot van veen wordt beperkt. De koppeling van drainage, infiltratie en waterzuivering maakt het mogelijk om veengebieden op de lange termijn in te zetten voor waterberging en ze op de korte termijn geschikt voor woningbouw. Hiermee blijft het landschap zowel in optimale staat voor de natuur als voor de ontwikkeling van bouwprojecten.

Amfibische bouwtechnieken, die gebruik maken van lichte materialen en flexibele funderingen, bieden de benodigde flexibiliteit in het dynamische landschap. In tegenstelling tot traditionele bouwmethoden, die leiden tot bodemdaling en waterschade bij overstromingen, of drijvende woningen, die afhankelijk zijn van stabiele waterniveaus, kunnen amfibische woningen zich aanpassen aan de verschillende waterstanden in veengebieden. Het gebruik van materialen uit de paludicultuur biedt hierbij extra voordelen. Deze materialen, afkomstig uit alternatief landgebruik, kunnen bijdragen aan het herstel van de veenbodem, de biodiversiteit bevorderen en de ecologische waarde van de gebieden behouden. Daarnaast kunnen ze bijdragen aan de circulaire economie van de bouwsector door lokale en hernieuwbare bronnen te benutten, waarmee een economisch faseringsplan voor alternatief landgebruik mogelijk wordt.

Concluderend biedt dit onderzoek waardevolle inzichten voor de ontwikkeling van amfibische principes als oplossing voor zowel de woningcrisis als de ecologische uitdagingen van veenweidegebieden. De combinatie van een duurzame waterbeheersysteem, ecologisch verantwoord landschapsbeheer, paludicultuur en innovatieve bouwtechnieken biedt een solide basis voor de ontwikkeling van klimaatbestendige veenlandschappen, waarmee een integratie van woningbouw en bufferzones mogelijk wordt.

VII. DISCUSSIE

De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat amfibische woonclusters een veelbelovende oplossing kunnen bieden voor de uitdagingen die veenweidegebieden met zich meebrengen. Er zijn echter enkele beperkingen in de praktische uitvoering van deze benadering. De theoretische haalbaarheid van amfibische woonclusters is aangetoond, maar de grootschalige implementatie van de voorgestelde systemen is nog niet getest. De integratie van verschillende innovatieve technieken vraagt om verdere verfijning en pilots om de effectiviteit op lange termijn te garanderen. Ook de economische haalbaarheid van deze aanpak blijft een belangrijk vraagstuk dat nader onderzocht moet worden.

Een belangrijke beperking van dit onderzoek is dat het voornamelijk is gebaseerd op exploratief onderzoek in de vorm van literatuuronderzoek, casestudies en interviews met experts, zonder het

daadwerkelijk te toetsen. Dit heeft waardevolle theoretische inzichten opgeleverd, maar de werkelijke implicaties van de benadering kunnen pas volledig worden begrepen door het uitvoeren van pilotprojecten in veengebieden.

Voor verder onderzoek is het cruciaal om de praktische kant te verkennen, met de focus op pilotprojecten in verschillende veengebieden. Hierbij moet aandacht worden besteed aan het testen van het APSSI-systeem, de effectiviteit van paludicultuur als bouwmateriaal en de stabiliteit op lange termijn van amfibische funderingen in veenbodems. Tot slot is het belangrijk om de economische haalbaarheid van deze benadering te vergelijken met traditionele bouwmethoden, om te bepalen of het op grotere schaal toepasbaar blijft. Daarbij dienen wel baten en lasten meegenomen te worden die niet direct financieel aantoonbaar zijn, zoals toekomstige waterbescherming en klimaatimpact. Het combineren van deze inzichten zal bijdragen aan de verdere ontwikkeling en bredere implementatie van een hernieuwde amfibische cultuur.

VIII. REFLECTIE

Terugkijkend op mijn afstudeerjaar ben ik van mening dat ik tot op zekere hoogte erin geslaagd ben om te bereiken wat ik in eerste instantie voor ogen had toen ik mijn ‘fascinatie’ bij P1 presenteerde. Het doel was om met mijn afstudeerproject twee maatschappelijke problemen (het woningtekort en het waterprobleem) met één ontwerp aan te pakken middels innovatieve oplossingen in architectuur. Het doelgericht werken met innovatie binnen architectuur sluit aan bij de masterstrack van Architectural Engineering, en kan op verschillende schalen (landschap; stedenbouw & architectuur) toegepast worden, waarmee het vraagstuk ook goed aansluit bij het masterprogramma.

Als methodologie voor mijn onderzoek maakte ik gebruik van ‘exploratory research’ waarin ik getracht heb om het vraagstuk: *‘hoe kan er gebouwd worden op veen zonder het kapot te maken?’* (how) via verschillende aspecten samen te brengen naar een nieuw holistische oplossing. Met kapot maken bedoel ik dan dat het zijn CO₂ opslag functie verliest (why) en in plaats daarvan koolstofmonoxide gaat uitstoten. Hierbij zijn verschillende, al bestaande, oplossingen samengebracht tot een nieuw geheel.

Het fijne hierbij was dat ik eigenlijk tijdens mijn onderzoeksfase al enigszins bezig was met het vormen van de handvaten voor het ontwerp van de strategie, immers ik al na moest denken over vraagstukken als: “hoe fundeer je?”; “wat voor materialisatie is handig?”; “welke infrastructuur werkt het beste?”; “hoe richt je het veengebied het handigst voor de ecologie?” etc. Tijdens het beantwoorden van deze deelvragen kon ik verbanden tussen de conclusies leggen waarmee er een soort toolset tot stand kwam die ik kon gebruiken voor mijn ontwerp, zonder dat er uitspraken gedaan waren over hoe de architectuur er dan daadwerkelijk uit kwam te zien. Het beperkende bij deze vorm van onderzoek was wel dat er geen harde conclusies getrokken konden worden over of mijn exploratie en aanbeveling ook daadwerkelijk kan werken, immers het bij speculeren blijft. Hierbij is natuurlijk wel getest of de afzonderlijke pilots en bevindingen qua eigenschappen (zoals volume; diameter; afmetingen etc.) compatibel met elkaar waren.

Kijkend naar de feedback van mijn docenten en hoe ik dit terug zie in mijn werk durf ik te zeggen dat mijn ontwerp er anders (lees ‘beter’) uit is komen te zien dan als ik geen begeleiding zou hebben gehad. Hoewel ik vaak bij mezelf merk dat ik snel chagrijnigheid of frustatie voel als ik ergens op gewezen wordt, zorgde de feedback en begeleidingen er ook voor dat er weer even samen gekeken werd naar ‘waar ik nou eigenlijk mee bezig was en ook weer terug te gaan naar waar het eigenlijk om ging’. Hierbij merkte ik namelijk ook dat het voor mij het beste werkt als anderen kritisch zijn op mijn werk; of het dreef mij tot nieuwe inzichten (waar ik dan van baalde dat ik dat zelf niet zag; en waarschijnlijk daarom chagrijnig werd), of ik wist dat ik niet goed bewoordde / illustreerde wat ik in gedachten had (waar ik dan ook weer gefrustreerd van raakte). Grappig hoe dat dan werkt.

De uiteindelijke vertaalslag van onderzoek naar ontwerp was dan niet zo groot merkte ik, ik heb geprobeerd om vooral het concept en de strategie middels architectuur nog verder naar voren te laten komen, waarbij natuurlijk ook gaandeweg er nieuwe aspecten (zoals de jaren 30’ woningen en tuindorp principes) bij kwamen, al denk ik dat dat een logisch gevolg is van wekenlang met één onderwerp bezig zijn. Wel heb ik geprobeerd om het de strategie zo op te zetten dat het voor anderen wel inzichtelijk en logisch is om te volgen en waar eventueel ook mee verder gebouwd kan worden op de kern van de

principes. De strategie vormt de basis, waarin mijn huidige ontwerp één van de mogelijke uitwerkingen is van deze strategie: niet per definitie de juiste, en al helemaal niet de enige oplossing.

Het verhaal achter de strategie is wat ik in mijn laatste periode van het afstuderen echt wil gaan uitwerken, wie zijn de verschillende actoren, wat is hun invloed op elkaar en hoe dragen wij, architecten, bij aan het behartigen van de verschillende belangen. Ook de mooiheid in het plan dat ik nu deels heb weten aan te raken, behoeft nog een verdere uitwerking. De magie kan nog meer in het project getrokken worden in de laatste fase.

Tot slot wil ik graag reflecteren over de vraag 'wat heb ik geleerd van mijn werk?', alleen denk ik dat dat meer wil richten op mijn persoonlijke ontwikkeling dan over of we op een veen kunnen bouwen, want dat antwoord is vrij simpel: ja. Heb ik mij persoonlijk ontwikkeld? Ongetwijfeld, al vind ik het soms lastig om dat direct aan te duiden waar dat dan aan ligt. Voor mij is afstuderen een soort marathon met korte sprints tussendoor, waarin ik mij achteraf constant weer verbaas wat we na zo'n sprint hebben neergezet. Was het altijd leuk? Nee; hoort dat erbij? Ik denk het wel. Wat ik vooral heb geleerd, is om het overzicht te bewaren en doelgericht te blijven werken; vroeger kon ik mij verliezen in één aspect of tekening, nu ben ik meer in balans en lukt het me beter om hoofdzaken van randzaken te onderscheiden. Om op een positieve noot af te sluiten: ik ben stiekem ook best wel een beetje trots op de manier hoe ik mijn master heb aangepakt, ja het bracht soms ook wel stress met zich mee, maar dat hoort er denk ik bij, uiteindelijk gold vooral: niet lullen maar poetsen.

BIBLIOGRAFIE

1. Ahmad, S. *et al.* (2020) 'Long-term rewetting of degraded peatlands restores hydrological buffer function,' *The Science of the Total Environment*, 749, p. 141571. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141571>.
2. A&W ecologisch onderzoek, Bureau Peter de Ruyter landschapsarchitectuur, and Atelier des Hollants (2022) *Visie klimaatbestendige veenlandschappen, Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers (CNK)*. <https://www.klimaatbuffers.nl/uploads/visie-klimaatbestendige-veenlandschappen-cnklres.30e240.pdf>.
3. B+B (2021) *Tussenwater*. <https://bplusb.nl/project/tussenwater/>.
4. Baron (2004) *Beter bouw-en woonrijp maken: Een verkennend onderzoek naar het bouw- en woonrijp maken in de Nederlandse praktijk en de problematiek rondom wateroverlast op de bouwplaat*. TU Delft. <https://filelist.tudelft.nl/CiTG/Over%20faculteit/Afdelingen/Watermanagement/Education/Completed%20MSc%20theses/2005%20-%202009/BRM2004.pdf>.
5. Berendse, M.J. and Brood, P. (2022) *Historische wateratlas NL: de drijvende kracht van Nederland*.
6. Best, E.P.H., Verhoeven, J.T.A. and Wolff, W.J. (1993) 'The ecology of The Netherlands wetlands: characteristics, threats, prospects and perspectives for ecological research,' in *Springer eBooks*, pp. 305–320. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2042-5_15.
7. Betten, E. (2018) *Terpen- en Wierdenland*.
8. *BlueBiofilter - FieldFactors* (no date). <https://nl.fieldfactors.com/bluebiofilter>.
9. *BlueHub - FieldFactors* (no date). <https://nl.fieldfactors.com/bluehub>.
10. *BlueWell - FieldFactors* (no date). <https://nl.fieldfactors.com/bluewell>.
11. Boiten Ingenieurs (2021) *Watervilla's Gouden Kust, Maasbommel*. <https://boiten.net/projecten/watervillas-gouden-kust-maasbommel>.
12. Boom Landscape (2020) *Biobased (ver)bouwen Zuid-Holland: Young innovators, Boom Landscape*. College van Rijksadviseurs. <https://boomlandscape.nl/work/biobased-zuid-holland/>.
13. Boonman, J. *et al.* (2022) 'Cutting peatland CO2 emissions with water management practices,' *Biogeosciences*, 19(24), pp. 5707–5727. <https://doi.org/10.5194/bg-19-5707-2022>.

14. Buchanan, A.H. and Honey, B.G. (1994) 'Energy and carbon dioxide implications of building construction,' *Energy and Buildings*, 20(3), pp. 205–217. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(94\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0378-7788(94)90024-8).
15. Bureau 070 (no date) *Westergouwe*. <https://www.bureau070.nl/project/westergouwe/>.
16. CBS (2022) 4. Totaal watergebruik. <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2022/watergebruik-thuis--wgt--2021/4-totaal-watergebruik>.
17. CLO (2024) *Wetlands van de Conventie van Ramsar, per 2024*. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl150905-wetlands-van-de-conventie-van-ramsar-per-2024>.
18. Club, U. of L.P. *et al.* (2017) 'Questioning ten common assumptions about peatlands,' *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)* [Preprint]. <https://doi.org/10.19189/map.2016.omb.253>.
19. Co Bouw (2023) *pampus-met-eigen-watermaker-weer-een-stap-dichter-bij-zelfvoorzienend-zijn*. <https://www.cobouw.nl/313966/pampus-met-eigen-watermaker-weer-een-stap-dichter-bij-zelfvoorzienend-zijn>.
20. Cowardin, L.M. (1979) *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.4108>.
21. De Vries, A. (2024) *Flood-proof living at the riverside* | *TU Delft Repository*. <https://resolver.tudelft.nl/uuid:e2daa03f-7c8e-4639-9a68-4d98c059b2c0>.
22. Deltares (2019) *Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging: een verkenning, Nationaal Deltaprogramma*. <https://www.deltaprogramma.nl/binaries/deltacommissaris/documenten/publicaties/2019/09/30/verkenning-deltares---strategieen-voor-adaptatie-aan-hoge-en-versnelde-zeespiegelstijging/Strategie%C3%ABn+voor+adaptatie+aan+hoge+en+versnelde+zeespiegelstijging.pdf>.
23. Deltares *et al.* (2021) *Het effect van onderwaterdrainage en passieve pijlstijging in veenweidegebieden op knelpunten in de zoetwatervoorziening, Enabling Delta Life*. <https://www.deltaprogramma.nl/binaries/deltacommissaris/documenten/publicaties/2021/04/20/het-effect-van-onderwaterdrainage-en-passieve-peilstijging-in-veenweidegebieden-op-knelpunten-in-de-zoetwatervoorziening/Het+effect+van+onderwaterdrainage+en+passieve+peilstijging+in+veenweidegebieden+op+knelpunten+in+de+zoetwatervoorziening.pdf>.
24. Detail.de (2019) 'Schwimmende Wohngemeinschaft: Schoonschip in Amsterdam,' *Detail.de*, 4 December. https://www.detail.de/de_de/schwimmende-wohngemeinschaft-schoonschip-in-amsterdam-35000.
25. Dutch Lotus (2019) 'Schoonschip: Dobberende vrije kavels bouw je efficiënter op het land,' *VakMedianet* [Preprint]. <https://dutchlotus.nl/wp-content/uploads/2021/03/Artikel-Cobouw-2019-05-20-Schoonschip.pdf>.
26. EcoTree (2022) 'Wat is drasland en waarom is het zo belangrijk voor de aarde?' - EcoTree blog,' *EcoTree*, 2 January. <https://ecotree.green/nl/blog/wat-is-drasland-en-waarom-is-het-zo-belangrijk-voor-de-aarde>.
27. Eertwegh *et al.* (2022) 'The Big Picture: Depicting (and Predicting) Drought Conditions in the Netherlands: HOT TOPICS IN HYDROLOGY,' *Water Resources Impact*, 24(6), pp. 16–18. https://www.awra.org/common/Uploaded%20files/Water%20Resources%20IMPACT/2022/AWRA%20NovDec%20Impact_FINAL.pdf.
28. Factor Architecten (2011) *Project review: Floating Homes 'De Gouden Kust': Maasbommel, the Netherlands, 1998-2005*. <https://ftp.cs.ru.nl/toinesmits/course%20material%20IWM%202011/project%20review%20Maasbommel%202011.pdf>.

29. Fieldfactors (no date) *FieldFactors - Technologie voor het zuiveren en opslaan van regenwater*.
<https://nl.fieldfactors.com/>.
30. Gemeente Gouda (no date a) *Uitwerkingsplan 1 Westergouwe I*.
https://planviewer.nl/imro/files/NL.IMRO.0513.1103UP1WG1-DF01/t_NL.IMRO.0513.1103UP1WG1-DF01.html.
31. Gemeente Gouda (no date b) *Westergouwe fase 2*.
https://www.planviewer.nl/imro/files/NL.IMRO.0513.1105BPWestergouwe2-OB01/t_NL.IMRO.0513.1105BPWestergouwe2-OB01.html#:~:text=Voor%20Westergouwe%20is%20op%20de,als%20nieuw%20groen%20stedelijk%20woonmilieu.
32. Gemeente Rotterdam (2021) *Evaluatie pilot 'Grondwater op Peil': Bloemenbuurt Rotterdam, Gemeente Rotterdam*. Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard.
<https://drive.google.com/file/d/19aeIXDCloDYF7KYE-UUlsfsjB9ojhqJx/view>.
33. Gemeente Woerden, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, and Gemeente Utrecht (2019) *Veenetië: Een onderzoek naar de haalbaarheid van drijvend bouwen in veenweidegebied*.
https://www.slappebodem.nl/pics/uploads/313_Veenetiedefinitiefdrijvend-bouwen-v8-web.pdf.
34. Glover, White and Langrish (2002) *Wood versus Concrete and Steel in House Construction: A Life Cycle Assessment, Journal of Forestry*. <https://paperity.org/p/92439688/wood-versus-concrete-and-steel-in-house-construction-a-life-cycle-assessment>.
35. Greenprint (no date a) *Schoonschip: Energie*.
<https://greenprint.schoonschipamsterdam.org/impactgebieden/energie#oplossingen>.
36. Greenprint (no date b) *Schoonschip: Materialen*.
<https://greenprint.schoonschipamsterdam.org/impactgebieden/materialen#werkwijze>.
37. Greenprint (no date c) *Schoonschip: Water*.
<https://greenprint.schoonschipamsterdam.org/impactgebieden/water#introdunctie>.
38. Groenblauwe Netwerken (no date) *Kruipruimteloos bouwen*.
<https://groenblauwenetwerken.nl/measures/kruipruimteloos-bouwen/>.
39. Grontmij Nederland bv (2008) *Waterhuishouding Westergouwe: Algemene uitgangspunten voor de waterhuishoudkundige inrichting van het woongebied Westergouwe*. Gemeente Gouda.
<https://gouda.bestuurlijkeinformatie.nl/Document/View/53a0c71c-0839-4c50-a7d5-b9eadcac69db>.
40. Gupta, R.S. (2010) *Principles of structural design: Wood, Steel, and Concrete*. CRC Press.
41. H2O Actueel and Klip, H. (2023) *Eigen waterzuivering op Forteiland Pampus*.
<https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/eigen-waterzuivering-op-forteiland-pampus#:~:text=Water%20van%20drinkwaterkwaliteit,de%20kant%20van%20Pampus%20gezegd>.
42. Heijmans (2016) 'Hoe staat het met... waterveiligheid Westergouwe: Het soepbord drooghouden,' *Heijmans*, 18 July. <https://www.heijmans.nl/nl/verhalen/hoe-staat-het-met-waterveiligheid-westergouwe/>.
43. Heinrich Böll Stiftung *et al.* (2023) *PEATLAND ATLAS 2023*. 1st edn. MURIEL sprl, Rue Emile Banning 96, 1050 Brussels, Belgium. https://eu.boell.org/sites/default/files/2023-09/peatlandatlas2023_web_20230914.pdf.
44. Hulsman *et al.* (2021) 'Klimaat en Watervraag Stedelijk Gebied,' *Stromingen*, 27(2).
<https://wur.on.worldcat.org/search?queryString=Klimaat+en+Watervraag+Stedelijk+Gebied+>.
45. *Hydrophytes and classification of hydrophytes* (no date) *BrainKart*.
https://www.brainkart.com/article/Hydrophytes-And-Classification-of-Hydrophytes_978/.
46. Joenje, W. and Verhoeven, B. (1993) 'Wetlands of recent Dutch embankments,' *Hydrobiologia*, 265(1–3), pp. 179–193. <https://doi.org/10.1007/bf00007267>.

47. Jongmans, A.G. *et al.* (2013) *Landschappen van Nederland: geologie, bodem en landgebruik*. Brill Wageningen Academic.
48. KNMI - *Verdamping in Nederland* (no date). <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/verdamping-in-nederland#:~:text=Aan%20het%20begin%20van%20het,de%20verdamping%20een%20geringe%20invloed.>
49. Koetsveld (2023) *Pompen of Verzakken: Vijf jaar actief grondwaterpeilbeheer in het Kleiwegkwartier*. Rolien van der Laan.
50. Korff *et al.* (2023) *Nationale aanpak funderingsproblematiek: Aard, omvang en technische maatregelen*, Deltares. TNO. https://publications.deltares.nl/11210049_002_0001.pdf.
51. La-Di-Da (no date) *Are timber pile foundations feasible? - la-di-da -*. <https://la-di-da.nl/questions/can-you-use-wood-for-the-foundation-of-a-house/>.
52. Ministerie van Algemene Zaken (2019) *Klimaatakkoord*. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/06/28/klimaatakkoord>.
53. Ministerie van Algemene Zaken (2022) *Kabinet maakt water en bodem sturend bij ruimtelijke keuzes*. <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/11/25/kabinet-maakt-water-en-bodem-sturend-bij-ruimtelijke-keuzes>.
54. Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (2023) *Woningbouwopgave stijgt naar 981.000 tot en met 2030*. <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2023/07/12/woningbouwopgave-stijgt-naar-981.000-tot-en-met-2030>.
55. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2017) *Protected nature areas*. <https://www.government.nl/topics/nature-and-biodiversity/protected-nature-areas#:~:text=The%20Netherlands%20has%20over%20a,protected%20under%20the%20Ramsar%20Convention.>
56. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2024a) *De deltawerken*. <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/deltawerken>.
57. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2024b) *Ruimte voor de rivieren*. <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/maatregelen-om-overstromingen-te-voorkomen/ruimte-voor-de-rivieren>.
58. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en de Deltacommissaris, Zanting and Bouw, M. (2024) *Eindrapportage oplossingsrichting 'meebewegen': Verkennend onderzoek voor het kennisprogramma zeespiegelstijging*, www.Deltaprogramma.nl.
59. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, and Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (2024) *Nationaal Deltaprogramma 2025: Naar een nieuwe balans in de leefomgeving: ruimte voor leven met water*. Nationaal Deltaprogramma. <https://dp2025.deltaprogramma.nl/>
60. Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1995) *Deltaplan Grote Rivieren Basisrapport*, [open.rijkswaterstaat.nl](https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/63625/c11190_rws_2e.pdf). https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/63625/c11190_rws_2e.pdf
61. Mooi Nederland (2023) *Handreiking Biobased (ver)bouwen:: Naar een landschap met biobased bouwmaterialen.*, [mooi.nl](https://www.mooinederland.nu/app/uploads/2024/01/2310-231219-Handreiking-Bouwen-met-de-Boer-Web-Version-gecomprimeerd.pdf). <https://www.mooinederland.nu/app/uploads/2024/01/2310-231219-Handreiking-Bouwen-met-de-Boer-Web-Version-gecomprimeerd.pdf>.
62. Odie (2009) *Cunettenmethode of integraal ophogen? een keuze op basis van directe, bouw- en onderhoudskosten*. Masterscriptie. Technische Universiteit Delft. <https://repository.tudelft.nl/record/uuid:ed0c4c25-b11d-4223-8ce7-a28b09c1ab90>.

63. Pampus, P. (2024) *Water - Forteiland Pampus*. <https://www.pampus.nl/doe/fossielvrij-eiland/water#:~:text=Zo%20is%20er%20op%20Pampus,is%20en%20niet%20vanzelfsprekend%20is>.
64. Piątek, Ł., Cin, F.D. and Gireesh, N. (2024) 'Amphibious buildings as a Response to Increased Flood Risk—European Case Study,' in *Lecture notes in civil engineering*, pp. 789–808. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0495-8_46.
65. Planbureau voor de Leefomgeving et al. (2016) *Dalende bodems, stijgende kosten: Mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied: beleidsstudie*. <https://research.vu.nl/en/publications/dalende-bodems-stijgende-kosten-mogelijke-maatregelen-tegen-veenb>.
66. PosadMaxwan and PasBV (2024) *Verdiepend onderzoek in de potentie van de drijvende stad, Posadmaxwan.nl*. <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:EU:29690ba5-0e54-4b7d-8aaa-7528236a4e04>
67. Provincie Zuid-Holland (2020) *QuickScan planoptimalisatie suburbane plannen*. https://www.zuid-holland.nl/publish/pages/25330/quickscan_planoptimalisatie_versie_april_2020.pdf.
68. Redesigning Deltas et al. (2022) *National Productive Park Delfland: It is about time in Delta Design to create a new Dutch condition, Redesigning Delta*. https://drive.google.com/file/d/1GD_KUmpgERUh3z9Y9YRDRQN14m6992K6/view?usp=sharing.
69. Schröder, T. (2022) 'Forteiland Pampus maakt straks eigen drinkwater: is dit de oplossing voor ons drinkwaterprobleem?,' *Change Inc.*, 17 October. <https://www.change.inc/circulaire-economie/forteiland-pampus-maakt-straks-eigen-drinkwater-is-dit-de-oplossing-van-ons-drinkwaterprobleem-39049>.
70. Scobe Academy (2023) *#1 Praktijkcasus: Bodem en watersturend in Westergouwe Gouda*. <https://scobe.nl/nieuws/1-praktijkcasus-bodem-en-watersturend-westergouwe-gouda>.
71. Segeren and Hengeveld (1984) *Bouwrijp maken van terreinen*. Deventer, Netherlands: Kluwer Technische Boeken B.V. <https://tudelft.on.worldcat.org/search/detail/63943350?queryString=bouwrijp%20maken%20van%20terreinen>.
72. Space&Matter (no date) *Schoonschip*. <https://www.spaceandmatter.nl/work/schoonschip>.
73. Stichting Bouwtuin (2022) *Naar een Nieuwe Streekarchitectuur: Streekbouwhandboek, Bouwtuin.nl*. https://bouwtuin.nl/wp-content/uploads/2023/06/streekbouwhandboek_pdf_spread-website-2.pdf.
74. STOWA (2023) *Kleinschalige klimaatadaptieve maatregelen en de watervraag in stedelijk gebied.: Verkennend (evaluatie) onderzoek, Stowa.nl*. 978.94.6479.021.4. https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202023/STOWA_2023-24_watervraag_stedelijk_gebied.pdf.
75. Sweco (2024) *Strategische Uitgangspunten: Bodembestendige nieuwbouw, Kenniscentrum Bodemdaling En Fundering*, p. 1. <https://www.kbf.nl/assets/uploads/2022/09/20231120-Strategische-uitgangspunten-def.pdf>.
76. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1996) 'Technisch rapport Geotechnische classificatie van veen,' *IEEE Transactions on Reliability* [Preprint]. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:dd2baf95-cb64-4f55-b408-3472f02f7cc4>.
77. Temmink and Het Groene Brein (no date) 'Wetlands: een scala aan belangrijke eigenschappen,' *Het Groene Brein*.
78. *The Natural Pavilion - ABT Adviseurs in bouwtechniek* (2024). <https://abt.eu/projecten/the-natural-pavilion/>.
79. Tromp (2008) *Bouwen op slappe bodems*. 429980-400-0007 v01. Deltares. https://www.zeeland.nl/sites/default/files/2021-12/bouwen_op_slappe_bodems.pdf.

80. Van Dam (2012) 'OVERSTROMINGEN EN CULTURELE AANPASSINGEN IN HISTORISCH PERSPECTIEF,' *Water Governance* [Preprint]. <https://edepot.wur.nl/244222>.
81. Van Dam, P.J.E.M., Vu and Geesteswetenschappen, F.D. (2010) 'De amfibische cultuur: een visie op watersnoodrampen,' *VU University Press* [Preprint].
<https://research.vu.nl/ws/files/2747480/De%20amfibische%20cultuur%20versie%20DARE.pdf>.
82. Van Den Berg, F. *et al.* (2017) *An improved soil organic matter map for GeoPEARL_NL*.
<http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/424920>.
83. Van Der Lugt (2021) *Houtbouwmythes ontkracht: het onderscheid tussen fabels en feiten*, Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions (AMS).
<https://research.tudelft.nl/en/publications/houtbouwmythes-ontkracht-het-onderscheid-tussen-fabels-en-feiten>.
84. Van Lanen, R.J. and Kosian, M.C. (2020) 'What wetlands can teach us: reconstructing historical water-management systems and their present-day importance through GIScience,' *Water History*, 12(2), pp. 151–177. <https://doi.org/10.1007/s12685-020-00251-7>.
85. Verhagen, A. *et al.* (2009) *Climate Change Scientific Assessment and Policy Analysis: Peatlands and carbon flows: Outlook and importance for The Netherlands*.
<http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/386709>.
86. VolkerWessels (no date) *Nieuwe woonwijk Westergouwe*.
<https://www.volkerwessels.com/nl/projecten/nieuwe-woonwijk-westergouwe>.
87. Volkskrant (2022) *Waterbedrijven waarschuwen voor tekort aan drinkwater: meer inwoners betekent hoger gebruik*. <https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/waterbedrijven-waarschuwen-voor-tekort-aan-drinkwater-meer-inwoners-betekent-hoger-gebruik~b6a21f9d/https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/waterbedrijven-waarschuwen-voor-tekort-aan-drinkwater-meer-inwoners-betekent-hoger-gebruik~b6a21f9d/>.
88. Wolff, W.J. (1993) 'Netherlands-Wetlands,' *Hydrobiologia*, 265(1–3), pp. 1–14.
<https://doi.org/10.1007/bf00007260>.

AMFIBISCH WONEN IN POLDERS - HAALBARE IMPLEMENTATIE VAN AMFIBISCHE CONSTRUCTIES IN VEENGEBIEDEN

APPENDIX

Pim Braakhuis

Faculty of Architecture & the Built Environment, Delft University of Technology
Julianalaan 134, 2628 BL Delft

Inhoud

A. Amfibische Nederlandse cultuur	21
A.1 Historische Context van Amfibisch leven (background).....	21
A.2 Modern belang van een amfibische cultuur	22
A.3 Casestudy van grondgebonden, drijvende en amfibische projecten.....	23
A.4 Conclusie.....	34
B. Karakteristieken vanWetlands en Buffer Polders	36
B.1 Definitie	36
B.2 Karakteristieken van Wetlands in Nederland.....	37
B.3 Belang van Wetlands	39
B.4 SWOT-analyse van veen als grondsoort.....	41
C. Klimaat adaptieve veenlandschappen.....	42
C.1 Ondergrondse drainage	43
C.2 Ander landgebruik, met twee varianten.....	44
C.3 Illustratie APSSI-systeem.....	45
C.4 Conclusie.....	46
D. (Amfibisch) bouwen op veen.....	47
D.1 Bouw-en woonrijp maken.....	47
D.2 Maatregelen ter verbetering van de bodemeigenschappen	52
D.3 Constructie technieken en materialen voor amfibische constructies in veenlandschappen....	56
D.4 Conclusie.....	71
E. Kenmerken van de belangrijkste typen wetlands in Nederland in 1991:.....	73
F. Thematische maatregelen.....	74
G. Pilot Bloemenbuurt Rotterdam.....	75
H. Aquifer Pressure System – (Fieldfactors, n.d.)	78
I. Waterbehoefte voor verstedelijkte veengebieden.....	81
J. Rapport Stowa	83
K. ‘Watermaker’ Fort Pampus.....	84
L. Chapter 3 - Construction Techniques for Amphibious Buildings.....	86
M. Tabellen uit onderzoek Glover et. al (2002).....	94
N. Interview Ralph Temmink, 2024	95
O. Interview Marijn van Ossk, 2024	107

A. Amfibische Nederlandse cultuur

Deze appendix behandelt de vraag: *Wat maakt amfibische woningbouw een realistische oplossing voor de uitdagingen van veengebieden?*

Allereerst wordt ingegaan op de Nederlandse geschiedenis van de amfibische cultuur. Hierin wordt uitgelegd waarom mensen ervoor kozen in overstromingsgevoelige gebieden te wonen en wat deze leefstijl inhield. Vervolgens wordt de vertaalslag gemaakt naar de hedendaagse relevantie van deze cultuur in het licht van klimaatverandering.

De strategie van ‘meebewegen’, zoals beschreven in het Nationale Deltaprogramma (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat & de Deltacommissaris et al., 2024), biedt een veelbelovende aanpak. Veengebieden, met hun unieke bodemeigenschappen (appendix B), zijn bijzonder geschikt voor de aanleg van bufferpolders. Echter, door amfibische constructies toe te passen, kunnen veengebieden niet alleen dienen als waterbergingszones, maar ook ruimte bieden voor nieuwe woonlocaties, wat in lijn is met de keuze van het kabinet om water en bodem sturend te maken (Ministerie van Algemene Zaken, 2022). Hiermee wordt niet alleen ingespeeld op uitdagingen rond waterbeheer, maar ook op een andere dringende kwestie: het woningtekort in Nederland (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2023).

Tot slot wordt via een casestudie onderzocht welke voordelen amfibische constructies op veengrond bieden ten opzichte van traditionele grondgebonden woningen en drijvende woningen. Deze analyse geeft inzicht in de praktische haalbaarheid en meerwaarde van amfibische woningbouw in veengebieden.

A.1 Historische Context van Amfibisch leven (background)

Historisch gezien heeft Nederland een rijke traditie van ‘amfibische’ strategieën ontwikkeld om wateroverlast tegen te gaan (Van Dam, 2012). Door de lage ligging ten opzichte van de zee overstromden delen van Nederland regelmatig. Deze overstromingen zorgden niet alleen voor overlast, maar ook voor vruchtbare landbouwgronden wat boeren aantrok (Betten, 2018). Door de frequente overstromingen waren boeren gedwongen een cultuur te ontwikkelen waarin ze de impact van overstromingen minimaliseerden en hun overlevingskansen vergrootten.

Van Dam (2012), hoogleraar Water- en Milieugeschiedenis, heeft drie kernstrategieën beschreven van deze amfibische cultuur:

1. Compartimentering: Nederland lag vol met secundaire dijken die bij doorbraken als noodkering functioneerden en het volstromen van gebieden vertraagden. Dit bood tijd om mensen te evacueren. Deze strategie werkte beter in grotere polders en raakte in het rivierengebied zeer ontwikkeld, bijvoorbeeld met dwarsdijken en kleine polders.
2. Wonen op verhogingen: Veel nederzettingen lagen op natuurlijke of kunstmatige verhogingen, zoals rivierduinen of terpen. Deze verhogingen zorgden ervoor dat woningen tijdens overstromingen droog bleven en dat hoger gelegen steden voor hulpverlening konden zorgen voor omliggende gebieden.
3. Vervoer over water: Lokale transportmiddelen zoals roeiboten en schepen waren essentieel voor evacuatie, bevoorrading en reddingsacties tijdens overstromingen.

In een van mijn eerdere onderzoeken ‘Living with water – A historical exploration of Dutch Architectural Responses to Rising Water Levels within its borders (2024)’, werd aangestipt dat met technologische innovaties de kans op overstromingen beperkt werd. Hierdoor werd de noodzaak voor een amfibische leefstijl minder urgent. Een nieuwe, ietwat arrogante, houding ten opzichte van water kwam tot stand: met technologische vooruitgang geloofde men dat water buiten de grenzen gehouden kon worden (Berendse, M. J., & Brood, P. 2022).

Toch bleek er een limiet te zijn aan wat technologie kon bereiken. Dit werd pijnlijk duidelijk tijdens de Watersnoodramp van 1953 en de bijna-rampen van 1993 en 1995 (Berendse & Brood, 2022). Ondanks de Deltawerken, gebouwd na de ramp van 1953 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2024), toonden de gebeurtenissen in 1993 en 1995 aan dat verdere maatregelen nodig waren. Twee weken na de bijna-ramp van 1995 werd het *Delta Plan van de Grote Rivieren* gepresenteerd (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995).

In dit plan stonden twee cruciale aspecten: 1. het versterken van de dijken langs de Rijn en de Maas, en 2. het aanzienlijk uitbreiden van de waterberging in onbedijkte gebieden. De eerste maatregel volgde de traditionele Nederlandse focus op waterverdediging, terwijl de tweede een vernieuwde strategie vertegenwoordigde: gecontroleerd land teruggeven aan het water.

Van Dam (2012) bevestigt deze verschuiving in strategie. Door klimaatverandering wordt het thema van de amfibische cultuur opnieuw relevant. Extreme regenval overbelast rioleringsystemen, rivieren treden buiten hun oevers, en de zeespiegel stijgt (IPCC, 2023). Waar de traditionele amfibische oplossingen vooral gericht waren op het tijdelijk verplaatsen naar hoger gelegen gebieden, maken moderne technologieën het mogelijk om zelfs in lager gelegen gebieden te blijven (appendix D.3.2.1). Dit opent de deur naar een vernieuwde amfibische cultuur, waarin moderne technieken en traditionele inzichten kunnen worden gecombineerd tot een toekomstbestendig plan voor waterbeheer in een veranderend klimaat. Dit wordt verder uitgewerkt in *Appendix A.2.* en *Appendix D.3.2.1.*

A.2 Modern belang van een amfibische cultuur

Het Nationale Deltaprogramma van 1995 vormt de basis voor een nieuwe visie op waterbeheer, die in de afgelopen 30 jaar verder is uitgewerkt. Aansluitend op dit programma presenteerde het parlement in 2006 de planologische kernbeslissing *'Ruimte voor de Rivier'* (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2024b), met als doel Nederland voor te bereiden op extreme waterstanden: hoge waterstanden in de winter en extreem lage in de zomer (Berendse & Brood, 2022). Door de opwarming van de aarde zal het toenemende smeltwater uit de Alpen de druk op de rivieren verhogen, terwijl zomerdroogtes de behoefte aan voldoende waterbeschikbaarheid zullen vergroten. Rijkswaterstaat stelde voor om meer "natuurlijke" oplossingen te creëren voor waterberging (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2024b).

Recentere programma's en verkenningen richten zich op hoe Nederland zich hierop kan voorbereiden. Deltares (2019) presenteerde in 2019 een verkenning waarin vier strategieën voor wateradaptatie worden beschreven, waarvan één de mogelijkheid van het meebewegen met water betreft. Het nationale Deltaprogramma van 2025 (Deltaprogramma, 2024) biedt verder inzicht in de uitdagingen, waaruit blijkt dat een hybride aanpak van de strategieën van Deltares noodzakelijk is: *"Zelfs als we alles op alles zetten in het waterbeheer, nemen de opgaven toe: meer dijkversterkingen, meer verzilting, groter zoetwatertekort, meer wateroverlast"* (Deltaprogramma, 2024).

Een nieuwe manier van omgaan met water is nodig (Deltaprogramma, 2024). Dit betekent dat naast waterveiligheid, ook zoetwaterbeschikbaarheid en ruimtelijke adaptatie minstens even belangrijk zijn. Op korte termijn zullen keuzes moeten worden gemaakt die rekening houden met toekomstige wateroverschotten en -tekorten. Dit vraagt om een nieuwe benadering van waterbeheer en ruimtelijke inrichting, waarbij water en bodem sturend zijn (Ministerie van Algemene Zaken, 2022).

Met het sturen vanuit water en bodem wordt bedoeld dat er structurerende keuzes gemaakt moeten worden die de bodem minder belasten (Ministerie van Algemene Zaken, 2022). Belangrijke maatregelen zijn het vergroten van zoetwatervoorraden om beter voorbereid te zijn op droogteperiodes. Daarnaast moeten bouwlocaties zorgvuldig worden overwogen om te voorkomen dat belangrijke gebieden voor waterberging en -afvoer, zoals diepe polders en uiterwaarden, worden drooggelegd. Het verhogen van het grondwaterpeil is een andere belangrijke maatregel. Dit zorgt voor voldoende water in droge periodes, vertraagt de bodemdaling in veengebieden en vermindert de uitstoot van broeikasgassen. Dit

kan worden bereikt door beter waterbeheer en inzicht in wateronttrekkingen (Ministerie van Algemene Zaken, 2022).

Het sturen vanuit water en bodem bij de inrichting van Nederland richt zich dus op voldoende- en schoon water en een gezonde bodem. Dit staat haaks op de traditionele bouwpraktijken, waarin (veen)gebieden gedraineerd moeten worden om voldoende draagkracht en begaanbaarheid te bieden (appendix D). Amfibische funderingen daarentegen kunnen ook bij zeer natte omstandigheden goed functioneren. Hierdoor wordt het mogelijk om hoge waterstanden te hanteren, waterberging toe te passen, de bodem gezond te houden (appendix C), en tegelijkertijd een maatschappelijke uitdaging zoals het woningtekort in Nederland aan te pakken (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2023).

De amfibische cultuur, zoals beschreven door Van Dam (2012), toont aan dat Nederlanders in staat zijn om te leven volgens een amfibische levensstijl. De huidige klimaatverandering, met de daarbij behorende waterproblematiek, vraagt om een nieuwe vorm van amfibische cultuur: één waarin de huidige technologie het mogelijk maakt om met amfibische constructies waterberging, een schone bodem en hoge waterstanden in de Nederlandse steden te realiseren.

A.3 Casestudy van grondgebonden, drijvende en amfibische projecten

Veengebieden zijn door hun bodemeigenschappen uitermate geschikt voor waterberging, maar minder geschikt als bouwgrond (appendix D.1.3). Dit vormt een uitdaging, aangezien de grond rondom steden in de Randstad voornamelijk uit veenpolders bestaat (PosadMaxwan, 2024). In appendix D wordt onderzocht hoe op veen kan worden gebouwd zonder de klimaatadaptieve eigenschappen van het veen aan te tasten. Daarnaast wordt gekeken naar welke vorm van amfibische funderingen (D.3.2.1) de minste impact op de ondergrond heeft. Wat echter nog niet is onderzocht, is wat de voordelen van amfibische constructies kunnen zijn voor veengebieden ten opzichte van andere methoden. Deze casestudie analyseert drie projecten met verschillende bouwmethoden – grondgebonden, drijvende en amfibische woningen – om te bepalen welke methode het meest geschikt is. De analyse richt zich op vijf criteria: stabiliteit, duurzaamheid, aanpassingsvermogen, toepasbaarheid in veenweiden en het bouw- en woonrijp maken van de grond.

A.3.1 Grondgebonden woningen – Westergouwe I

In 2005 heeft de gemeente Gouda een plan vastgesteld om extra woningen te realiseren ter bevordering van de verstedelijking van de omgeving (Gemeente Gouda, no date b). Dit plan, gelegen op een afstand van 2 tot 3 kilometer ten zuidwesten van het stadscentrum, bestaat uit drie fasen: Westergouwe I, II, en III, met in totaal 4500 woningen. Voor een goede vergelijking met de andere twee casestudies is uitsluitend gekeken naar een deelproject van Westergouwe I (figuur 5), waar de ontwikkeling ‘Aan de Nieuwe Stadskade’ in 2020 met 66 grondgebonden kadewoningen, variërend met een BVO tussen de 137 en 184m² is gerealiseerd (figuur 4&6)(Bureau070, no date).

Wat dit project uniek maakt, is de ligging in de Zuidplaspolder, een van de laagste punten van Nederland (-6 meter). Het gebied ligt naast de hoger gelegen Hollandse IJssel en heeft een slappe veen- en kleibodem (Scobe Academy, 2023), wat aanzienlijke uitdagingen op het gebied van waterveiligheid en stabiliteit met zich meebracht. Naast waterveiligheid stond ook klimaatadaptatie centraal bij de ontwikkeling (Gemeente Gouda, no date a). Maatregelen omvatten onder andere waterberging, duurzame energie van zonnepanelen en boilers (VolkerWessels, no date) en het beperken van hittestress.

Voor de grondverbetering is bij het bouwrijp maken van het gebied gekozen voor een integrale ophoging van zand. Een beleidsmaatregel hierbij was dat in een tijdsbestek van 30 jaar, de grond maximaal 30 cm mocht dalen (Gemeente Gouda, no date a). Om deze eis te bereiken is gekozen om overhoogte toe te passen, waarmee de primaire zetting voor de woningbouwfase plaatsvindt en daarna nog enkel nog beperkt kruip (appendix D.1.1.3). Hiervoor is sommige plekken van het gebied 4 tot 5 meter zand geplaatst om een stabiele plaat te realiseren (Heijmans, 2016).

Voor een stabiele grond en klimaatadaptieve inrichting moest Westergouwe een zelfstandig waterbeheer hebben. Dit vereiste extra waterbergingscapaciteit om piekbuien op te vangen en ervoor te zorgen dat woningen bij een dijkdoorbraak droog blijven (Gemeente Gouda, n.d.-a). Als oplossing is 23% van het gebied ingericht als waterberging (Heijmans, 2016) en is waterdoorlatende verharding toegepast (Scobe Academy, 2023). Het hemelwater is afgekoppeld van het riool en wordt opgevangen in een plas, waarna het na enkele dagen via een gemaal naar de ringvaart wordt gepompt (Grontmij Nederland bv, 2008) (figuur 7).

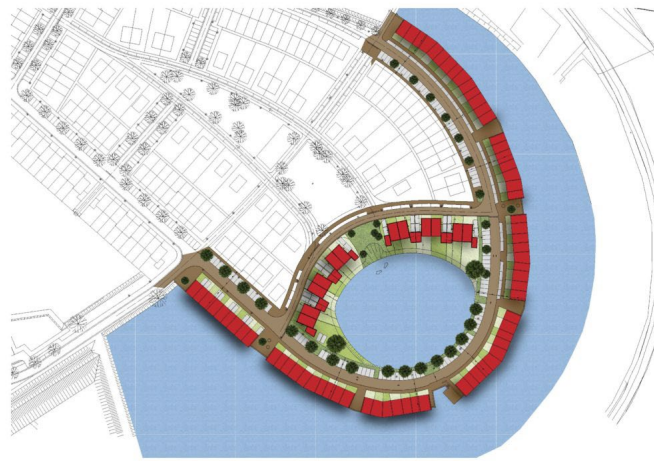
Bij een eventuele dijkdoorbraak zijn de kadewoningen voorzien van een stevige, waterdichte betonnen wand: de golfbreker (figuur 8), die een eventuele watergolf kan afzwakken. Deze wand is geïntegreerd in de Kadewoningen, met speciaal glas in de ramen om waterdruk te weerstaan. Daarnaast liggen de vloeren van de woningen 40 centimeter hoger dan het straatniveau om te voorkomen dat water naar binnen stroomt, zodat de parketvloeren droog blijven (Heijmans, 2016).



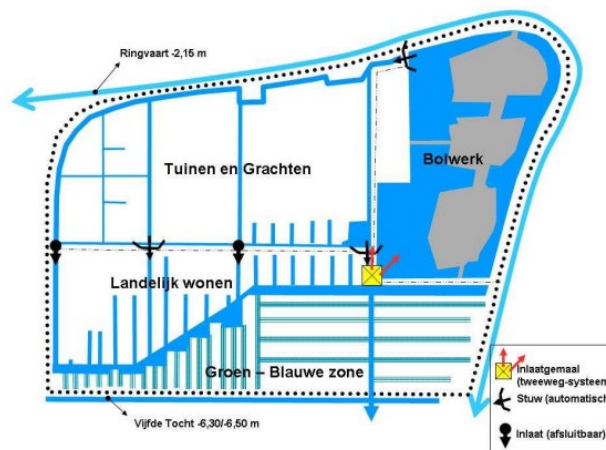
Figuur 4: overzicht van de kadewoningen in Westergouwe I (Bureau 070, n.d.)



Figuur 5: Westergouwe I (Gemeente Gouda, n.d.-a)



Figuur 6: Plattegrond 66 kadewoningen (Bureau 070, n.d.)



Figuur 7: aan-en afvoerstructuur Westergouwe (Grontmij Nederland bv, 2008)



Figuur 8: de golfbreker bij installatie (Heijmans, 2016)



Figuur 9: Golfbreker met woning gerealiseerd erop (Bureau070, n.d.)

A.3.2 Drijvende woningen – Schoonschip

In 2020 is de meest duurzame drijvende woonwijk van Europa voltooid in het Johan van Hasseltkanaal, een zijkanaal van het IJ in Amsterdam-Noord (Space&Matter, n.d.). De wijk, genaamd Schoonschip, biedt plaats aan 46 huishoudens, verdeeld over 30 woonarken, met een oppervlakte variërend tussen 150m² tot 378m² (figuur 10). Een netwerk van steigers, genaamd Smart Jetty, verbindt de woningen en bevordert onderlinge ontmoetingen (figuur 12)(Space&Matter, n.d.). De Smart Jetty is flexibel ingericht, beweegt mee met de waterstanden en herbergt de kabels, leidingen en rioleringen voor de nutsvoorzieningen (Dutch Lotus, 2019) (figuur 13).

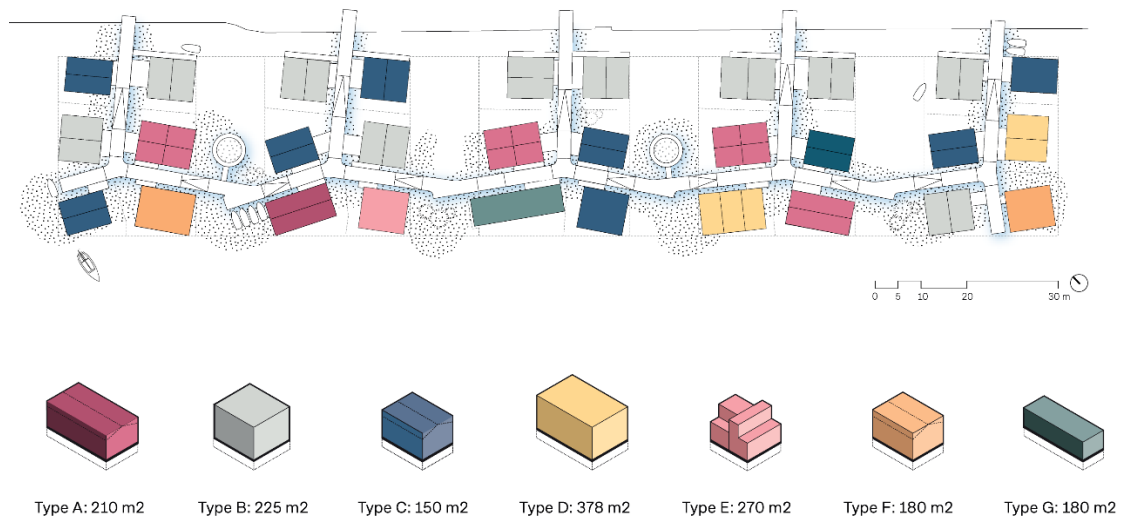
De energievoorziening van de wijk wordt beheerd via een privaat smart grid, dat gebruikmaakt van hardware zoals zonneboilers, zonnepanelen, warmtepompen en accu's. Deze technologieën werken samen met software om vraag en aanbod binnen de wijk te reguleren (Greenprint, n.d.-a). De accu's van de woonarken zijn onderling verbonden, waardoor opgeslagen energie kan worden gedeeld en de belasting op het elektriciteitsnet minimaal blijft. Privaat betekent dat de hele wijk één gezamenlijke aansluiting heeft bij de netbeheerder. De energie-efficiëntie van de arken heeft een EPC-waarde van maximaal 0,0, wat de woningen uiterst duurzaam maakt.

Hoewel de wijk omringd is met water, zet de wijk sterk in op waterbesparing (Greenprint, n.d.-c). Innovatieve oplossingen besparen drinkwater en scheiden afvalwater in grijs (afkomstig van keukens, douche, wasmachine) en zwart water (ontlasting en urine), wat vervolgens weer hergebruikt wordt. Regenwater wordt opgevangen via sedumdaken en regentonnen en wordt gebruikt voor het doorspoelen van toiletten en het besproeien van planten. Het afgevoerde water stroomt via een geïntegreerd rioleringsysteem in de steigers naar het gemeentelijke riool (Greenprint, n.d.-c).

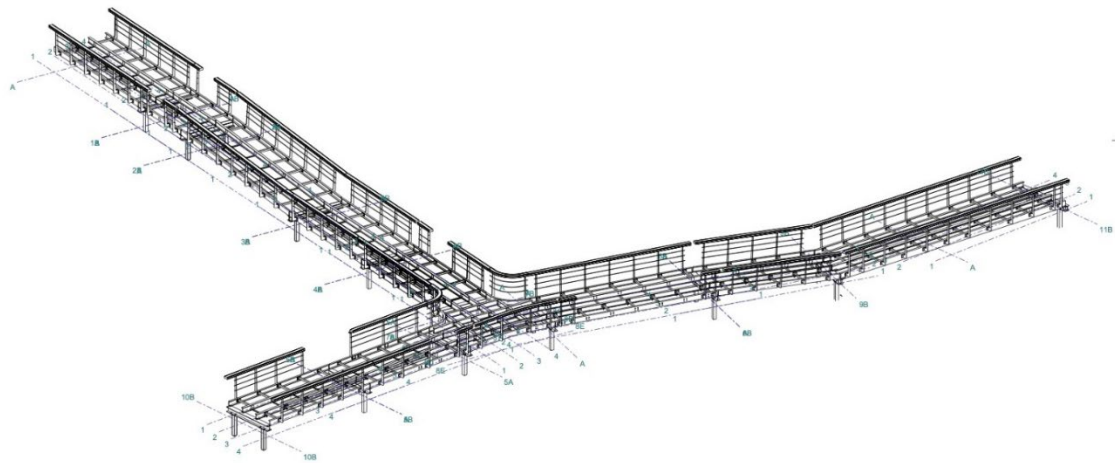
Voor de bouw van Schoonschip lag de nadruk op het gebruik van circulaire, duurzame en lokale materialen. Houtskeletbouw met bio-based isolatiematerialen zoals houtvezel en jutevlas vormt de basis (Greenprint, n.d.-b). De funderingen bestaan uit waterdichte betonnen bakken waarop de houtskeletbouw is gemonteerd (figuur 14). Afhankelijk van de woning reikt het beton tot aan de waterlijn of tot de ramen van de onderste verdieping (Dutch Lotus, 2019). De woonarken zijn stevig verankerd aan meerpalen om wegdrijven te voorkomen (figuur 15). De woonarken zijn in Zaandam opgebouwd en vervolgens te water versleept naar hun ligplaats (Dutch Lotus, 2019).



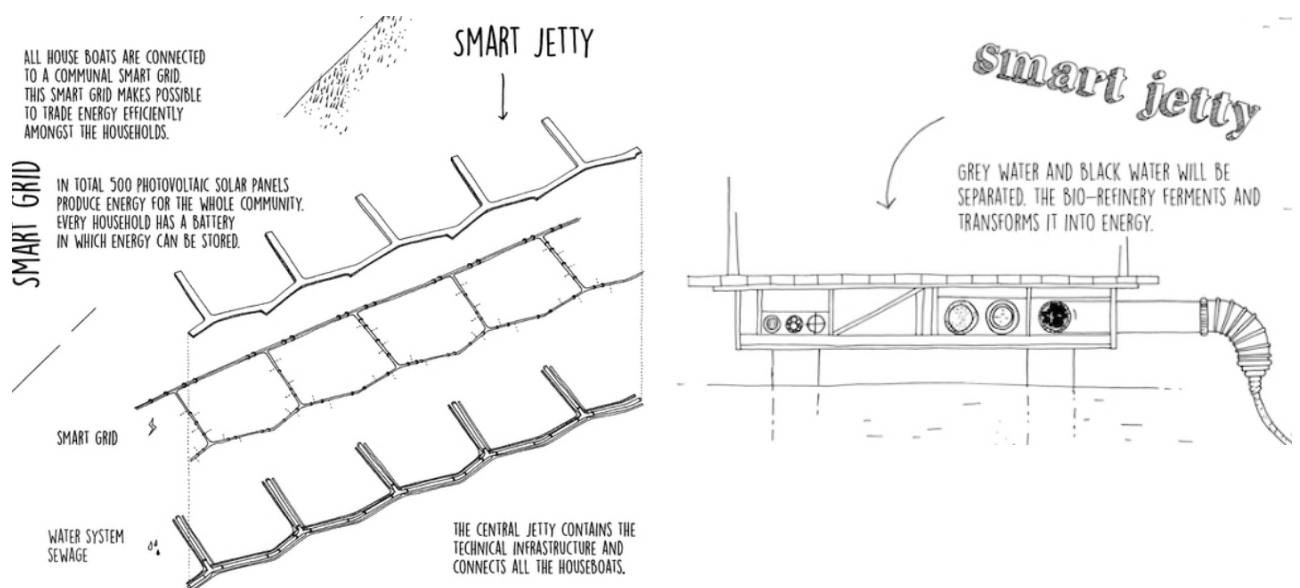
Figuur 10: Schoonschip (Space&Matter, n.d.)



Figuur 11: plattegrond van Schoonschip (Space&Matter, n.d.)



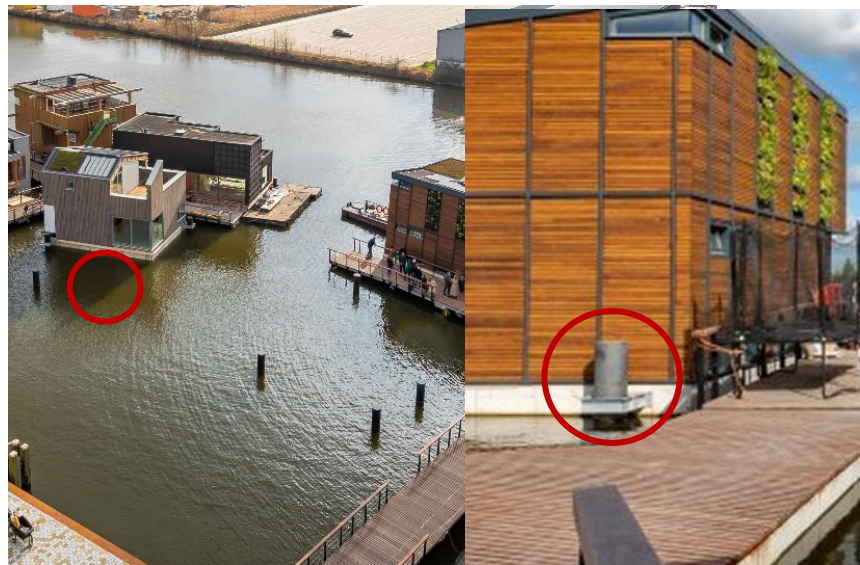
Figuur 12: Smart Jetty axonometrie (Space&Matter, n.d.)



Figuur 13: Multifunctionele steiger Smart Jetty, met doorsnede (Space&Matter, n.d.)



Figuur 14: Materialisatie in Schoonschip (Schuurders, 2019)



Figuur 15: Meerpalen waaraan de woonarken bevestigd zijn (Schuurders, 2019)

A.3.3 Amfibische woningen – Maasbommel

Na de bijna-overstromingen van 1993 en 1995 stelde de overheid het programma ‘Ruimte voor de Rivier’ op (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2024b), wat aanzienlijke gevolgen had voor de ruimtelijke planning. Dit programma, samen met de groeiende bewustwording van zeespiegelstijging, heviger regenval en de noodzaak van duurzame ontwikkeling, leidde tot tal van studies en experimenten bij ontwikkelaars. Na de dijkversterkingen in 1998 moest een camping in Maasbommel wijken. Ter compensatie hiervoor, vroeg Rijkswaterstaat om nieuwe bouwplannen.

Er werd ruimte gevonden voor 32 amfibische woningen met tuinen en parkeerplaatsen (figuur 16), en 14 drijvende woningen langs de dijk. Deze woningen konden meebewegen met de waterstanden bij overstromingen en hinderden daarbij de waterberging niet, wat een belangrijke reden was voor Rijkswaterstaat om met het concept in te stemmen (Factor Architecten, 2011). In 2011 bewezen de woningen hun functionaliteit toen ze veilig dreven tijdens een overstroming en daarna zonder problemen terugkeerden naar hun oorspronkelijke positie. In totaal kunnen de woningen een hoogteverschil van 5,5m opvangen en hebben ze een grondoppervlakte van 120m².

Het project heeft twee type woningen. Veertien huizen drijven permanent op het water, terwijl de andere 32 onder normale omstandigheden op een betonnen fundering rusten in een dok dat is uitgegraven uit de dijkhelling (figuur 17). Elke twee huizen delen een flonder en worden op hun plaats gehouden door twee meerpalen, verbonden via een stalen frame (figuur 18). Dit vermindert de invloed van golven en biedt extra stabiliteit door het gezamenlijke gewicht van meer dan 200 ton. De woningen rusten op zes betonnen funderingspalen en stijgen bij hoog water langs de meerpalen. Om de pontons veilig terug te laten zakken, moet de omgeving vrij van obstakels worden gehouden, dit wordt via instructies geregeld via het beheer (Factor Architecten, 2011).

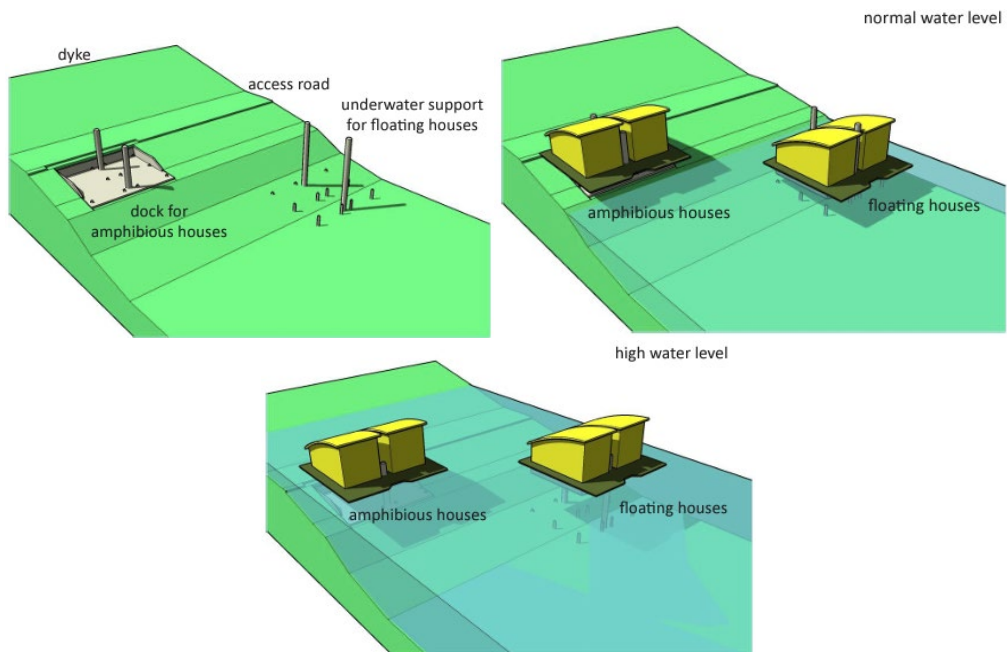
De huizen in Maasbommel bestaan uit een lichtgewicht houtconstructie met een houten/stalen dak op een betonnen casco, zodat het zwaartepunt laag blijft en de stabiliteit gewaarborgd is (Factor Architecten, 2011). Met verschillende kleuren en materialen krijgt elke gevel een eigen uitstraling. Omdat 70% van het gewicht in het beton zit en slechts 25% in de vaste constructie, is balanceren niet nodig.

De amfibische woningen liggen aan een weg langs de dijk, waar de drijvende huizen een steiger hebben. Hoewel alle nutsvoorzieningen boven het overstromingsniveau zijn geplaatst, raakt de weg onbegaanbaar bij een overstroming (figuur 19). Zeer sporadisch stijgt het water zo hoog dat de woningen gaan drijven en bewoners een boot moeten gebruiken om hun huis te bereiken (Factor Architecten, 2011). Hulpdiensten kunnen bij een geringe overstroming nog over de weg, maar bij hoger water moeten zij ook met boten gebruiken.

De nutsvoorzieningen zijn via een flexibel leidingsysteem verbonden met het vaste land. Tussen elk paar amfibische woningen loopt een verbinding van de bodem van het dok naar de zijkant van de woning, die extra lang is uitgevoerd zodat hij ook bij hoog water aangesloten blijft (figuur 18). Voor de drijvende woningen is een vergelijkbaar type leiding toegepast, waarbij de hoofdleiding evenals bij Schoonschip weggewerkt is onder de drijvende steiger naar het vaste land (figuur 20) (Factor Architecten, 2011).



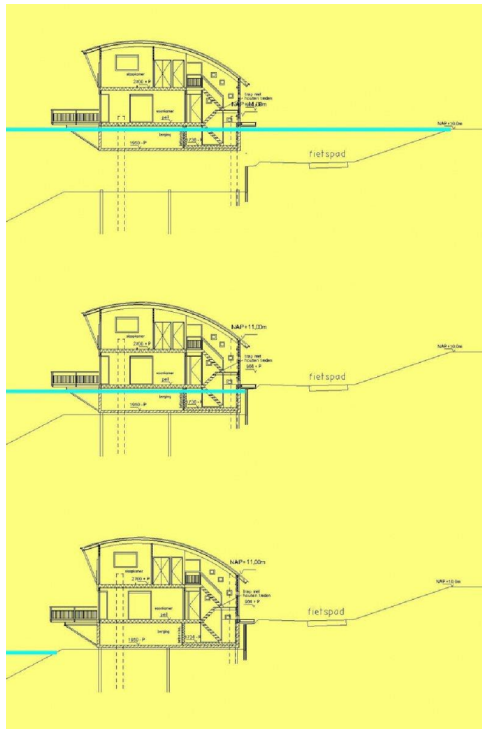
Figuur 16: Amfibische woningen Maasbommel (Factor Architecten, 2011)



Figuur 17: Concept van funderingen en functionering bij normaal en hoog water van de woningen (Factor Architecten, 2011)



Figuur 18: stalen frame, stalen meerpalen, betonnen fundering en flexibele nutsaansluiting (Factor Architecten, 2011)



Figuur 19: Doorsnede amfibische woningen met verschillende waterstanden (Boiten Ingenieurs, 2021)



Figuur 20: Hoofdsteiger drijvende woningen (Factor Architecten, 2011)



Figuur 21: amfibische functionering van de woning in werking (Boiten Ingenieurs, 2021)

A.3.4 Vergelijkingsanalyse

In de tabel hieronder zijn de belangrijkste bevindingen van de casestudies op papier gezet. Op de volgende bladzijde volgt een conclusie van de vergelijking.

	Groundbound buildings, Westergouwe	Floating buildings, Schoonschip- Amsterdam	Amphibious buildings, Maasbommel
Stability	-: Peat soil requires deep foundations or elevation. -: Risk of soil subsidence remains, leading to potential damage.	+: Houses float on balanced pontoons. -: Stability depends on the constant presence of water.	+: Concrete foundation beneath a concrete base that floats during high water. +: Fixed position during low water; combines the stability of groundbound construction with buoyancy.
Infrastructure (roads; utilities; sewerage)	+: Stormwater is sealed off from sewerage, reducing pressure on water network. 0: Traditional roads and sewage systems, but potentially high maintenance costs due to possible subsidence.	+: Infrastructure (utilities) runs via floating jetty. +: No issues with soil subsidence. -: More complex installation compared to amphibious and groundbound methods.	+: Flexible connections for water and electricity, relatively simple compared to floating neighborhoods. 0: Traditional roads that are submerged during high water.
Applicability in peatlands (preserving the soil; biodiversity)	-: Fits traditional designs but requires permanent drainage. -: Degradation of peat and biodiversity due to groundwater lowering.	-: The houses require a permanent deep water layer, which is unsuitable for peatlands that should not remain permanently submerged.	+: Designed for fluctuating water levels. +: Can largely preserve peat soil, which benefits biodiversity.
Climate Adaptation (flooding; drainage; sustainable energy; future resilience)	+: Limited flexibility during flooding but provides additional water storage and a buffer during dike breaches. 0: Conscious use of sustainable energy, but with limited application. -: Permanent drainage increases soil subsidence and CO ₂ emissions.	+: Highly conscious use of drinking water, materials, energy generation, and self-sufficiency. 0: No soil subsidence due to drainage, but dependent on stable water levels. 0: Well-suited for flooding but less effective during drought.	+: Minimal drainage, lower CO ₂ emissions. +: Adaptive to both drought and flooding. +: Lightweight, sustainable materials. -: No measures related to sustainable energy.
Site Preparation and Construction	-: Integral elevation required. -: Permanent drainage needed. -: Site preparation is time-consuming and resource-intensive due to potential subsidence.	0: Water basins and (semi-)permanent moorings need to be established. 0: Utility connections require specific solutions (floating pipelines, flexible utilities).	+: Less soil improvement required compared to Westergouwe. 0: Infrastructure (roads, pipelines) needed to be designed flexibly around the docks.

Tabel 4: vergelijkingsanalyse tussen grondgebonden-drijvende- en amfibische woningen, waarin via vijf criteria de projecten met elkaar vergeleken zijn (eigen bron)

Stabiliteit

- Grondgebonden woningen in Westergouwe I blijven gevoelig voor verzakkingen.
- Drijvende woningen in Schoonschip zijn stabiel zolang er voldoende waterdiepte is.
- Amfibische woningen in Maasbommel combineren een vaste ondergrond met drijfvermogen bij hoog water.

Infrastructuur

- Grondgebonden bouwmethoden vereisen traditionele oplossingen, maar zijn onderhoudsintensief.
- Drijvende projecten vragen om innovatieve installaties (steigers, drijvende leidingen).

- Maasbommel ging deels uit van traditionele infrastructuur, aangevuld met flexibele koppelingen.

Toepasbaarheid in veenweiden

- Grondgebonden: Hoge ecologische impact door ontwatering.
- Drijvend: Beperkt door wisselende en soms te ondiepe waterpeilen.
- Amfibisch: Zeer geschikt, want weinig ontwatering nodig en goed bestand tegen schommelend waterniveau.

Klimaatadaptatie

- Grondgebonden bouwen veroorzaakt extra CO₂-uitstoot en is kwetsbaar voor extreme waterstanden.
- Drijvend is goed in natte situaties, maar minder bij droogte.
- Amfibisch scoort hoog op alle aspecten van klimaatbestendigheid: minder CO₂-uitstoot, flexibel in droogte én bij overstroming, echter scoort Maasbommel laag op duurzame energie

Bouw- en woonrijp maken

- Grondgebonden: Intensief, duur en milieuonvriendelijk door ontwatering en ophoging.
- Drijvend: Specifieke waterinfrastructuur, maar stabiel bij constante waterdiepte.
- Amfibisch: Minder ingrijpend dan grondgebonden door beperkte ophoging van vaste infrastuctuur

Hierboven zijn de bevindingen van de vergelijking op elk criteria beschreven. Wat geconcludeerd kan worden is dat *Amfibische woningen* (Maasbommel) vanuit klimaatadaptatief oogpunt, minimale bodemaantasting en flexibiliteit de beste optie zijn voor veenweidegebieden. *Grondgebonden woningen* (Westergouwe I) zijn de ‘standaard’ maar kennen hoge kosten en een lage klimaatadaptatie. *Drijvende woningen* (Schoonschip) zijn eerder geschikt in stedelijke settings met een stabiel waterniveau, maar minder bruikbaar in veenweidegebieden waarin fluctuerende waterniveaus voor de ondergrond van belang zijn.

A.4 Conclusie

In dit hoofdstuk is de deelvraag ‘*Wat maakt amfibische woningbouw een realistische oplossing voor de uitdaging van veengebieden?*’ behandeld. Uit de historische en hedendaagse beschouwingen op de Nederlandse ‘amfibische cultuur’ (Van Dam, 2012) blijkt dat een woon- en leefomgeving die kan meebewegen met het water niet alleen een eeuwenoude traditie is, maar ook een toekomstbestendige oplossing biedt voor de hedendaagse uitdagingen rond watertekorten en -overschotten. Waar vroeger compartimentering, wonen op kunstmatige verhogingen en watergebonden transport de kern vormden van het amfibische leven, maken moderne amfibische technologieën het nu mogelijk om woningen, waterberging, een schone bodem en hoge waterstanden in de Nederlandse polders te combineren. Dit sluit naadloos aan op recente beleidskeuzes, waarbij water en bodem sturend worden gemaakt (Ministerie van Algemene Zaken, 2022).

Amfibische funderingen voorkomen bovendien dat permanente ontwatering nodig is, wat cruciaal is om bodemdaling en CO₂-uitstoot te beperken. Daarnaast laat de casestudy (grondgebonden: Westergouwe I, drijvend: Schoonschip, en amfibisch: Maasbommel) zien dat amfibische woningen de meest geschikte optie zijn voor veenweidegebieden, aangezien ze vanuit klimaatadaptatief oogpunt, minimale bodemaantasting en relatieve flexibiliteit een oplossing bieden. Ze combineren de stabiliteit van een vaste ondergrond bij laag water met een drijfvermogen bij hoog water. Drijvende woningen vereisen daarentegen een diepe, permanente waterlaag—een situatie die door toekomstige droogtes niet altijd gewenst is—terwijl grondgebonden bouwmethoden leiden tot verdere bodemdaling en permanente afwatering.

Amfibische bouw lost hiermee meerdere vraagstukken tegelijk op: het biedt een klimaatadaptieve manier van wonen, beperkt de ecologische schade in polders en sluit aan op het beleid waarin water en bodem sturend zijn. Tegelijkertijd kan het woningtekort worden aangepakt, doordat deze bouwmethode

juist in veenweidegebieden—waar traditionele bouw minder geschikt is—uitkomst biedt. Zo vormt een moderne ‘amfibische cultuur’ een haalbare en schaalbare oplossing, die voortbouwt op eeuwenlange ervaring met water en tegelijkertijd profiteert van de nieuwste technologische mogelijkheden.

B. Karakteristieken van Wetlands en Buffer Polders

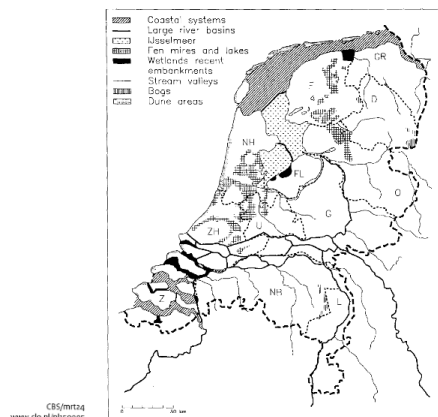
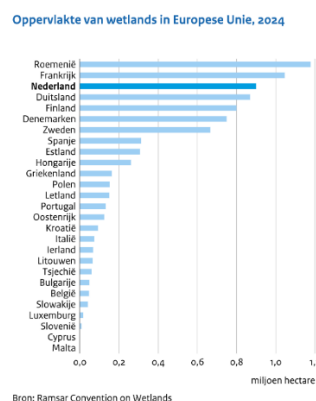
B.1 Definitie

Om de kenmerken van wetlands en (buffer)polders te identificeren, is het noodzakelijk om beide landschappen voor dit onderzoek te definiëren, aangezien er geen eenduidige definitie bestaat. Wat verder vermeldenswaardig is, is dat polders kunnen worden beschouwd als een vorm van wetlands, terwijl wetlands niet altijd polders zijn. Integendeel, 'wetlands' is een overkoepelende term voor: alle overgangssystemen tussen land en water waar de waterstand zich meestal op of nabij het oppervlak bevindt of waar het land is bedekt door ondiep water (Cowardin, 1979). Voor classificatie moeten wetlands een of meer van de volgende drie kenmerken hebben:

1. De bodem ondersteunt voornamelijk hydrofyten (waterplanten) gedurende het grootste deel van het jaar (figuur 24te)
2. Het substraat bestaat voornamelijk uit ongedraineerde hydric soil (verzadigde en overstroomde bodem tijdens het groeiseizoen die de groei van hydrofytische vegetatie ondersteunt) en/of
3. Het substraat is bodemloos en verzadigd met water of bedekt met ondiep water op een bepaald moment tijdens het groeiseizoen van elk jaar.

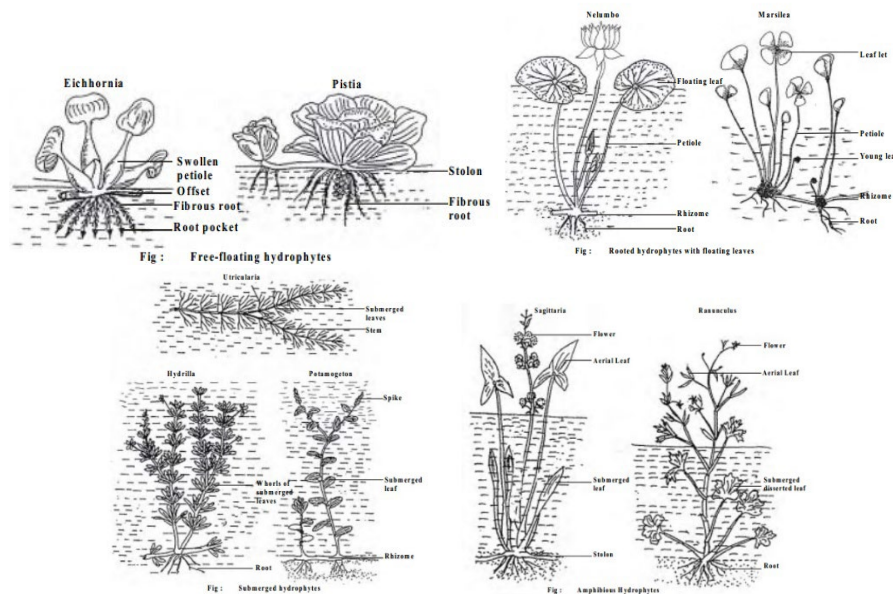
Later definieerde de 'Convention on Wetlands of International Importance as Waterfowl Habitat' wetlands als: *'areas of marsh, fen, peatland or water, whether natural or artificial, permanent or temporary, with water that is static or flowing, fresh, brackish or salt, including areas of marine water the depth of which at low tide does not exceed six metres'*. De zes meter werden later veranderd naar 2-3 meter vanwege de maximale diepte waarop hydrofyten groeien (Cowardin, 1979).

Wat betekent dit voor het Nederlandse landschap? Nederland heeft een lijst van gebieden die voldoen aan alle kenmerken die zijn vastgelegd in de Ramsar Conventie (internationale wetlandsovereenkomst, Ramsar Lijst van Wetlands van Internationaal Belang) (CLO, 2024). In totaal, met 43 Ramsar-wetlands en een totaal van 899.247 ha, staat Nederland op de derde plaats in de EU qua aantal hectare wetlands, na Frankrijk en Roemenië (figuur 22). Echter, zoals Wolff (1993) in zijn artikel vermeldt: *"About half of the Netherlands consists of agricultural land lying below sea level, with sandy and clayey areas having a water table below 1-2 metres of the soil and peaty grassland areas 10-20 cm below surface."* Deze landbouwgronden zouden nog steeds als wetlands kunnen worden beschouwd vanwege hun hoge waterstand en de aanwezige organismen, wat betekent dat de verspreiding van wetlands groter is dan de 43 Ramsar-wetlands (figuur 23).



Figuur 22: Oppervlakte van wetlands in ha per land in Europese Unie. (CLO, 2024)

Figuur 23: Huidige aanwezigheid van wetlands Nederland (Wolff, 1993)



Figuur 24: types van hydrofyten (*Hydrophytes and Classification of Hydrophytes*, n.d.)

De laatste definitie die verduidelijkt moet worden, is het concept van polders. In essentie is een polder een door de mens gemaakt gebied waarbij de hydrologie is afgesneden van de omliggende grondwaterstand met behulp van dijken/kades. Meestal worden polders aangelegd met het doel landbouw te bedrijven. Binnen deze definitie valt een grote verscheidenheid aan gebieden, zoals kustpolders, veen- en moerasdijken en drooggelegde meren (Joenje & Verhoeven, 1993). Voor dit onderzoek ligt de focus echter primair op polders met een bodem van veen. De term bufferpolder wordt geïntroduceerd in het eindrapport van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en de Deltacommissaris et al. (2024): “*Buffer polders are areas currently protected by a dike ring and may potentially serve in the future as temporary water storage. This involves storing the surplus river discharge that flows into the land during the period when the current storm surge barriers are closed and cannot be accommodated outside the dikes.*”

B.2 Karakteristieken van Wetlands in Nederland

Zoals in de vorige paragraaf vermeld, is Nederland rijk aan wetlands, waarbij 16% van het grondgebied wordt beschouwd als internationaal belangrijk wetland, bestaande uit moerassen, veenweiden (veenmoerassen), hoogveen (turfmoerassen) en meren. Zelfs de Waddenzee, de IJsselmeerregio en de Biesbosch worden als wetlands beschouwd (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2017). Een veelgebruikt classificatiesysteem voor het definiëren van wetlands is opgesteld door Cowardin (Cowardin, 1979). De situatie van wetlands in Nederland wijkt echter af van die in andere delen van de wereld vanwege het culturele landschap waarin de mens door de eeuwen heen de grondwaterstand en waterkwaliteit heeft beheerd. Dit heeft ertoe geleid dat de typologieën niet volledig overeenkomen met het classificatiesysteem van Cowardin.

Om deze reden identificeerden Nederlandse onderzoekers Best et al. (1993) vier verschillende hoofdtypes systemen waarmee de wetlands van Nederland kunnen worden gekarakteriseerd: kustsystemen, grote riviersystemen, voedingsrijke zoetwatersystemen en voedingsarme zoetwatersystemen. Deze systemen worden verder onderverdeeld in kleinere kenmerken. In deze classificatie worden de systemen gekarakteriseerd door hun waterstand, waterbeweging, nutriëntenscore, oppervlakte en karakteristieke waarde voor behoud (tabel 5).

In totaal zijn er meer dan tien subtypes wetlands geclassificeerd (bijlage A). Door deze subtypes te vergelijken, kunnen inzichten worden verkregen in welke typen wetlands relevant zijn voor verder onderzoek. Ten eerste is het belangrijk te overwegen dat het type wetland relevant moet zijn voor

amfibisch leven, waarvan de principes worden beschreven in Hoofdstuk 5.1. Dit sluit kustsystemen en grote riviersystemen al uit vanwege hun sterke waterbeweging (niet verstedelijkt) en de permanente wateraanwezigheid in het IJsselmeer (niet amfibisch). Ten tweede wordt de grootte van de typen overwogen, omdat dit onderzoek zich richt op het ontwerpen van een systeem dat op grotere schaal kan worden toegepast in plaats van op een specifiek doelgebied, waardoor nutriënt-arme zoetwatersystemen minder relevant zijn.

Kijkend naar de voedsel-rijke zoetwatersystemen (tabel 5), voldoen deze aan de criteria voor fluctuerende waterstanden, locatie (dicht bij steden, zoals beschreven in Hoofdstuk 5.1) en de omvang van het gebied. Daarom komen veenmoerassen in aanmerking voor amfibische bewoning. Veenmeren en recent drooggelegde wetlands, daarentegen, zijn beide ongeschikt vanwege de aanwezigheid van permanent water in de veenmeren en de locatie van de drooggelegde gebieden (niet verstedelijkt).

System Type	Water		Nutrient Source	Suface area (km2)	Characteristic important for conversation
	Table	Movement			
Base-rich freshwater systems					
Fen mires	Fluct. < 1m	Small or absent	Atm. deposition, river water, pollution by agriculture and sewage, soil mineralization after drainage	140	Species-rich marshy areas dominated by sedges, situated in agricultural landscape; often developed on former peat excavations
Fen lakes	Fluct. < 1m	Flow and wave action depend on local hydrol. and fetch	Atm. deposition, river water, pollution by agriculture and domestic wastewater	240	Shallow open water, forage and breeding area for waterfowl
Wetlands recent embankments	Small fluct.	Small or absent	Atm. deposition, surface water, groundwater	50	Large swamps dominated by reed; breeding and overwintering area for waterfowl

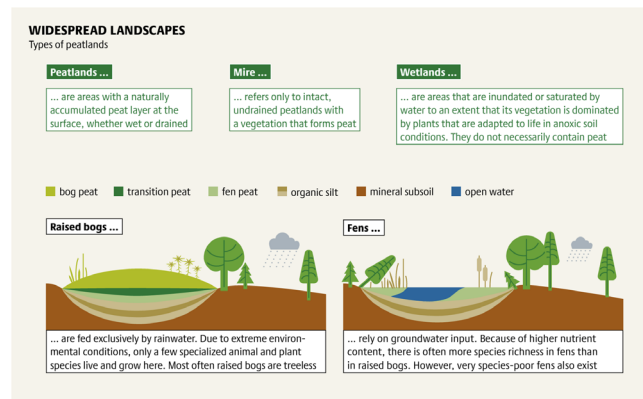
Tabel 5: Karakteristieken Van de rijke zoetwaterwetlands in Nederland, in 1991. After Bosatlas (1976), De Bakker & Locher (1991) and various contributions to this volume.

B.2.1 Veenmoerassen

In figuur 25 worden de kenmerken van veenmoerassen uitgelegd. Moerassen zijn ecosystemen die bestaan uit intacte, ongedraineerde veengebieden en een rijke biodiversiteit aan planten bevatten die veen vormen. Er worden twee hoofdtypen moerassen onderscheiden op basis van hun watertoevoer (Heinrich Böll Stiftung et al., 2023): hoogveen en laagveen. Hoogveen, vaak verhoogd, is een voedingsarm zoetwatersysteem en krijgt zijn water uitsluitend via regen, terwijl laagveen, gelegen in laagtes, afhankelijk is van grondwater, kwelwater of insijpeling van rivieren.

Vanwege hun hogere beschikbaarheid van voedingsstoffen waren laagveengebieden in Nederland interessant voor de landbouw. Deze gebieden werden grotendeels ontgonnen tijdens het afgelopen millennium, wat heeft geleid tot een typisch landschap met polders en uitgebreide waterbeheersystemen (Van Lanen & Kosian, 2020). Dit geldt in het bijzonder voor de westelijke wetlands van Nederland, die ook deel uitmaken van de delta van twee van de grootste Europese rivieren, de Rijn en de Maas. In dit gebied hebben overstromingsprocessen, rivieractiviteiten en veranderingen in de zeespiegel het landschap sterk beïnvloed (Van Lanen & Kosian, 2020).

Zoals zichtbaar in figuur 23, zijn in de huidige verdeling van aquatische ecosystemen laagveenmoerassen veel meer aanwezig in Nederland dan hoogveenmoerassen (Wolff, 1993).

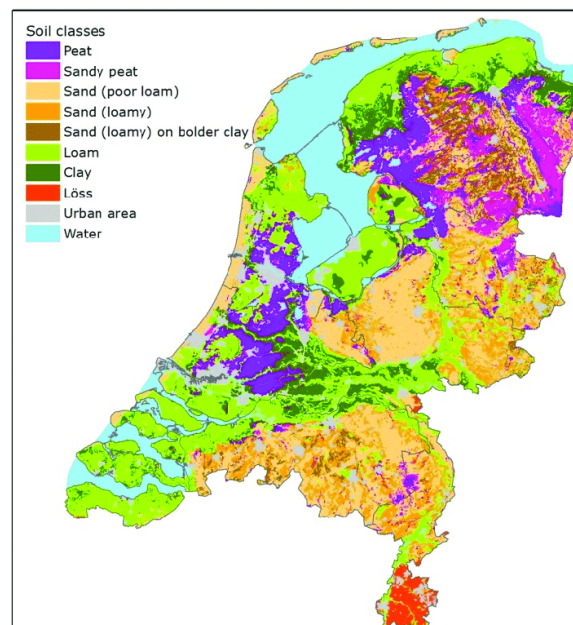


Figuur 25: Uitleg van de term veenlandschap en veenmoerassen in wetlands (Heinrich Böll Stiftung et al., 2023)

B.2.2 Polders

In totaal telt Nederland 335.000 hectare aan veengebieden, waarvan een groot deel van de bodem in agrarisch gebruik is, voornamelijk in de vorm van polders voor melkveehouderij (Verhagen et al., 2009). De bodem van deze gronden bevat poriën die worden gevuld met grondwater dat de planten voedt. Door het hoge waterpeil wordt zuurstof uitgesloten van de bodem, met als gevolg dat dode planten niet volledig vergaan, waardoor veen ontstaat. Een vuistregel voor het definiëren van veenbodems is dat de dikte van de veenlaag binnen 80 cm diepte meer dan 40 cm bedraagt (Verhagen et al., 2009), terwijl de maximale dikte van de veenlagen per gebied in Nederland varieert.

De veenlagen zijn echter afgenomen, niet alleen door afgraving, maar ook als gevolg van ontwatering, waarbij het resterende veen een maximale dikte heeft van ongeveer 5 meter (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1996). Zoals zichtbaar in figuur 26, worden veenbodems voornamelijk gevonden in het westen en noorden van Nederland. In het noorden wordt vaak zand aangetroffen in de ondergrond, terwijl dit in het westen klei is. Soms ligt er een kleilaag bovenop het veen (Jongmans et al., 2013).



Figuur 26: Bodemtypen in Nederland (gebaseerd op Bodemkaart van Nederland 1:50.000) (Van Den Berg et al., 2017)

B.3 Belang van Wetlands

In de vorige twee paragrafen is duidelijk geworden dat een groot deel van Nederland bestaat uit wetlandssystemen, waarbij het base-rijke zoetwatersysteem van veenmoerassen, bestaande uit

(on)gedraineerde veengebieden, het meest relevante systeem is om te onderzoeken voor amfibisch wonen. Wat echter nog niet in dit artikel is besproken, is het belang van deze wetlands, en in het bijzonder waarom veengebieden van groot belang zijn voor Nederland. Wetlands zijn vitale ecosystemen om meerdere redenen. In dit artikel ligt de focus op de volgende drie aspecten, zoals beschreven in het interview met Ralph Temmink (2024):

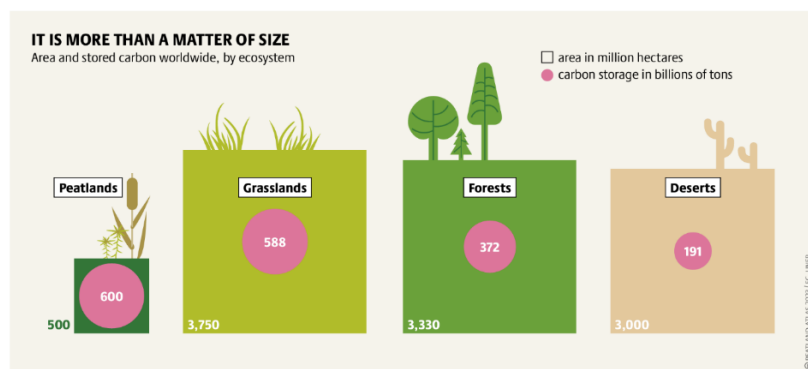
- Ecologische waarde
- CO₂-opslag
- Zoetwataanvoer

B.3.1 Ecologische waarde

Te beginnen met de ecologische waarde: wetlands bieden een enorme biodiversiteit. Allereerst bieden ze leefgebieden voor een grote verscheidenheid aan zeldzame planten (hydrofyten) en dieren (watervogels). Volgens de WWT (Wildfowl & Wetlands Trust, z.j.) is 40% van de plant- en diersoorten wereldwijd afhankelijk van wetlands. In Nederland bieden veenmoerassen rust- en overwinteringsplekken voor watervogels. Naast dieren en planten profiteren ook mensen van de voordelen van veenmoerassen, aangezien ze een cruciale rol spelen in onze samenleving op het gebied van educatie, recreatie en gezondheid. Ze verbeteren het fysieke en mentale welzijn van lokale bewoners door de leefomgeving te verbeteren: de veenmoerassen (en andere wetlands) functioneren (net als planten en bomen) als natuurlijke airconditioning. Ze helpen hittegolven te verminderen en oververhitting in stedelijke gebieden te voorkomen (EcoTree, 2022).

B.3.2 CO₂ -opslag

Ten tweede hebben veenmoerassen, of beter gezegd veengebieden, de hoogste dichtheid aan opgeslagen CO₂ van alle ecosystemen wereldwijd. Omdat deze gebieden permanent verzadigd zijn met water, verloopt de afbraak van organisch materiaal zeer langzaam. Dit maakt het mogelijk om CO₂ gedurende duizenden jaren in veen op te slaan (R. Temmink, 2024). Hoewel veengebieden slechts 3% van het aardoppervlak beslaan, slaan ze bijna twee keer zoveel koolstof op als de biomassa in alle bossen wereldwijd (Heinrich Böll Stiftung et al., 2023). In totaal slaan veengebieden 600 miljard ton koolstof op, meer dan enige andere bodemsoort (figuur 27). Het kan dus worden gesteld dat veengebieden van groot belang zijn in het licht van klimaatverandering. Deze ecosystemen brengen echter ook een risico voor het klimaat met zich mee: wanneer veengebieden worden gedraineerd, dringt zuurstof de bodem binnen, verteert het veen, en komt het broeikasgas koolstofdioxide vrij, waardoor het proces wordt omgekeerd. Momenteel is 10% van de veengebieden gedraineerd, wat verantwoordelijk is voor 5% van de mondiale koolstofuitstoot (R. Temmink, 2024).



Figuur 27: Kerncijfers van typen ecosystemen: omvang en koolstofopslag (Heinrich Böll Stiftung et al., 2023)

B.3.3 Zoetwatervoorziening

Tot slot spelen wetlands een cruciale rol in de zoetwatervoorziening. Veengebieden functioneren als effectieve sponzen die enorme hoeveelheden water in korte tijd kunnen opslaan (Club et al., 2017). In de toekomst worden meer extreme weersomstandigheden verwacht, waaronder heviger regval over

kortere periodes en langere perioden van droogte (Hoofdstuk 1.3). Veengebieden, die tot 90% uit water kunnen bestaan en tot vijf keer hun eigen gewicht aan water kunnen absorberen, zijn uitstekend geschikt voor het opvangen en geleidelijk vrijgeven van water aan de omliggende omgeving (A&W Ecologisch Onderzoek et al., 2022). Daarnaast functioneren veengebieden als natuurlijke waterfilters die verontreinigingen, zoals fosfor en zware metalen, absorberen.

B.4 SWOT-analyse van veen als grondsoort

<u>Strengths</u> • Effective sponge features • Flood protection • Drinking water filtration • High carbon percentage in soil • Rich in ecological value	<u>Weaknesses</u> • Soil is weak • Landscape is not easily accessible • Fragile landscape • High carbon percentage in soil
<u>Opportunities</u> • Can serve as a water buffer zone • Can serve as natural carbon storage • Could provide new wet nature • Economical impulse for area	<u>Threats</u> • When oxidated, releases CO₂ • Droughts causes subsiding

Tabel 2: SWOT-analyse van veengebieden als bouwgrond (eigen bron)

B.4.1 - Strengths

Veengebieden spelen een cruciale rol in het licht van klimaatverandering. Door hun opbouw uit organisch materiaal functioneren veengebieden als effectieve sponzen die enorme hoeveelheden water in korte tijd kunnen opslaan (Club et al., 2017). Daarnaast werken veengebieden als natuurlijke waterfilters (Hoofdstuk 5.1). Een ander gunstig kenmerk van deze organische materialen is dat ze meer koolstof bevatten dan welke andere bodemsoort dan ook wereldwijd (Heinrich Böll Stiftung et al., 2023). Tot slot bieden veengebieden rijke biodiversiteitshabitats met een grote verscheidenheid aan zeldzame planten (hydrofyten) en dieren (watervogels) die afhankelijk zijn van de bodem (EcoTree, 2022).

B.4.2 – Weaknesses

Veengebieden hebben zwakke, met water verzadigde bodems die geen zware infrastructuur kunnen dragen en gevoelig zijn voor bodemdaling wanneer ze worden gedraineerd. De kwetsbare aard van deze ecosystemen maakt ze uiterst gevoelig voor verstoring, waarbij veranderingen in waterstanden of landgebruik vaak onomkeerbare schade veroorzaken (A&W Ecologisch Onderzoek et al., 2022). Bovendien wordt hun hoge koolstofgehalte een kwetsbaarheid wanneer het aan lucht wordt blootgesteld, omdat dit leidt tot aanzienlijke CO₂-uitstoot en zo bijdraagt aan klimaatverandering (Best et al., 1993). Het betreden en onderhouden van veengebieden is ook een uitdaging vanwege de zachte bodem.

B.4.3 – Opportunities

Dankzij hun vermogen om als spons te functioneren, bieden veengebieden een groot potentieel als natuurlijke waterbuffers, waarmee ze zowel overstromingen als droogtes kunnen helpen mitigeren door water op te slaan en te reguleren. Hun capaciteit om grote hoeveelheden koolstof op te slaan maakt ze een waardevol instrument in de strijd tegen klimaatverandering (A&W Ecologisch Onderzoek et al., 2022). Het herstellen van gedegradeerde veengebieden is mogelijk (Ahmad et al., 2020) en kan nieuwe wetlandhabitats creëren, wat de biodiversiteit bevordert en ecologische, recreatieve en educatieve kansen biedt (EcoTree, 2022). Bovendien kan duurzaam beheer van deze gebieden een balans vinden tussen behoud en economische voordelen, zoals natte landbouw en kleinschalige, milieuvriendelijke landbouw.

B.4.4 – Threats

Veengebieden staan onder aanzienlijke druk door CO₂-uitstoot veroorzaakt door drainage en oxidatie, waardoor ze veranderen van koolstofopslagplaatsen in koolstofbronnen (Best et al., 1993). Langere perioden van droogte, als gevolg van klimaatverandering (Eertwegh et al., 2022), versnellen het uitdrogen van de bodem en de bodemdaling, wat deze ecosystemen verder destabiliseert. Verstedelijking en landbouwontwikkeling gaan vaak gepaard met het draineren van veengebieden (A&W Ecologisch Onderzoek et al., 2022), wat leidt tot permanente vernietiging van hun ecologische functies. Zonder zorgvuldig beheer kunnen deze bedreigingen de rol van veengebieden in het tegengaan van klimaatverandering ernstig verminderen.

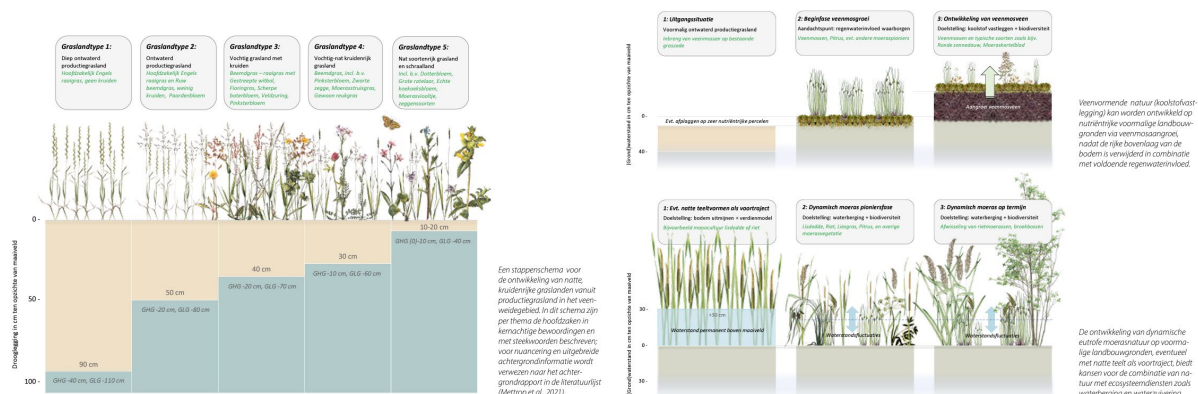
C. Klimaat adaptieve veenlandschappen

Zoals beschreven in de vorige paragraaf, hebben veengebieden het vermogen om te functioneren als waterbuffers dankzij hun opbouw uit organisch materiaal. Er is echter ook een keerzijde aan deze sterkte: wanneer het grondwaterpeil door drainage of droogte te laag wordt, dringt zuurstof de bodem binnen en komt koolstof vrij in plaats van dat het wordt opgeslagen, waardoor de functionaliteit van veengebieden wordt omgekeerd (Best et al., 1993). Met de kennis van klimaatverandering wordt duidelijk dat veenaafbraak moet worden geminimaliseerd door het grondwaterpeil hoog te houden. Deze bijlage richt zich op de vraag: *“Hoe kunnen water van natte natuur en bufferpolders worden geïntegreerd in een waterbeheersysteem voor amfibische wijken in combinatie met energiezelfvoorziening?”*

In het Klimaatakkoord van 2019 (Ministerie van Algemene Zaken, 2019) stemde de overheid ermee in om de uitstoot in de veengebieden met 1 megaton te verlagen (bijlage B). In lijn met dit Klimaatakkoord heeft de CNK (Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers) een visie ontwikkeld die zich richt op de ontwikkeling van deze veengebieden (A&W Ecologisch Onderzoek et al., 2022). In deze visie zijn drie ontwikkelingsporen beschreven, alle met het doel om het hydrologisch systeem op regionale schaal te vernatten om de biodiversiteit en sponsfunctie van deze veengebieden te verbeteren en ze te laten functioneren als een natuurlijke klimaatbuffer:

1. Kruidenrijke graslanden met een hoog grondwaterpeil.
2. Natte teeltvormen.
3. Ontwikkeling van nieuwe veenmoerassen (figuur 28).

Dit onderzoek implementeert alle drie de sporen als haalbare maatregelen die in verschillende fasen zullen worden uitgevoerd (hoofdstuk 5).



Figuur 28: Stapsgewijs plan voor kruidenrijke graslanden met een hoog grondwaterpeil (links); veenvormende natuur op nutriëntrijke voormalige landbouwgronden door groei van veenmos (rechtsboven); de ontwikkeling van dynamische eutrofe moerasnatuur op voormalige landbouwgronden, mogelijk met natte teelt als voorloper (rechtsonder) (A&W Ecologisch Onderzoek et al., 2022).

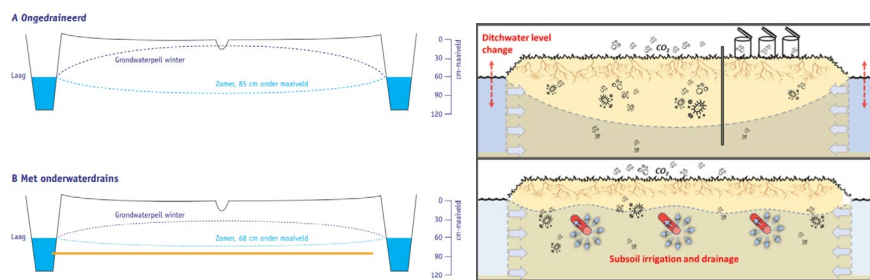
Alle drie de sporen noemen het verhogen en vasthouden van grondwater om de functionaliteiten van veen te optimaliseren. Wat echter nog niet door de CNK is gespecificeerd, zijn de technieken om de

bodem te vernatten. In de beleidsstudie *'Dalende Bodems, Stijgende Kosten'* van het Planbureau voor de Leefomgeving et al. (2016) is onderzoek gedaan naar mogelijke maatregelen voor het vernatten van veenbodem:

1. **Ondergrondse drainage** : Het waterpeil wordt aangepast zodat de percelen in de zomer voldoende nat zijn, waardoor oxidatie en daaropvolgende bodemdaling gedeeltelijk worden voorkomen. Om de bestaande omstandigheden op de lange termijn te behouden, kan een lichte waterpeilindexatie in de loop van de tijd nodig zijn.
2. **Waterpeilfixatie**: Het waterpeil wordt op een constant niveau vastgezet.
3. **Ander landgebruik, met twee hoofdvarianten**:
 - Verandering binnen de landbouw, bijvoorbeeld door de ontwikkeling van paludicultuur.
 - Verandering naar een functie buiten de landbouw, bijvoorbeeld natuurbeheer.

C.1 Ondergrondse drainage

Ondergrondse drainage is een systeem dat gebruik maakt van ondergrondse infiltratie (SSI) via drainagebuizen (DI) die in de grond zijn geïnstalleerd om oppervlaktewater in het grondwatersysteem te infiltreren. Deze aanpak helpt om stabiele grondwaterstanden te behouden, met name tijdens droge periodes, door te voorkomen dat het grondwaterpeil onder het niveau van de omliggende sloten zakt (Deltares et al., 2021).

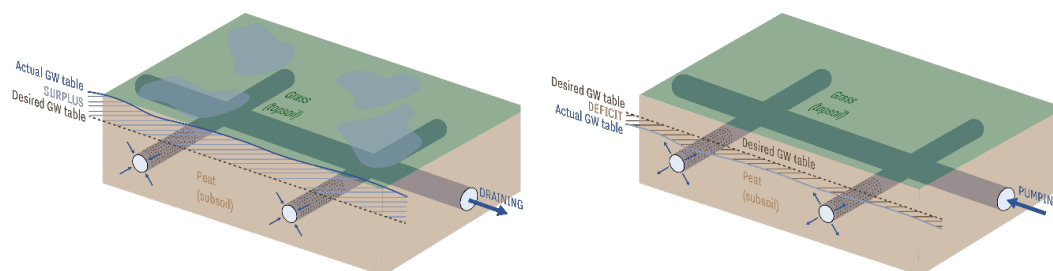


Figuur 29: Functie van SSI (Deltares et al., 2021)

Figuur 30: SSI met DI leidingen illustratie (Boonman et al., 2022)

Een geavanceerde optie, bekend als drukdrainage, verbetert dit proces verder door gebruik te maken van een waterreservoir om water onder druk in de buizen te pompen. Hierdoor wordt een grotere infiltratie van water in het grondwatersysteem mogelijk gemaakt zonder dat aanpassingen aan de slotelniveaus nodig zijn. Deze geavanceerde optie wordt verder uitgelegd in hoofdstuk 4.1.

Naast het handhaven van grondwaterstanden tijdens droge periodes, kan ondergrondse drainage ook overtollig water beheren tijdens natte omstandigheden, door dit af te voeren en zo extreme grondwaterpieken te voorkomen. Deze dubbele functionaliteit zorgt ervoor dat de grondwaterstanden gedurende het hele jaar stabiel blijven. De effecten van dit systeem op de grondwaterstanden in zowel de winter als de zomer worden geïllustreerd in figuur 1.



Figuur 1: principles of SSI in summer-and winter situation (own source)

Uit onderzoek blijkt dat de toepassing van ondergrondse drainage de bodemdaling van veengronden kan vertragen en het tempo ervan met minstens 50% kan verminderen, terwijl ook de uitstoot van broeikasgassen wordt verlaagd (Born et al., 2016). Hoewel ondergrondse drainage kan helpen om bodemdaling te mitigeren, elimineert het deze niet volledig. Het stabiliseren van grondwaterstanden draagt ook bij aan de draagkracht van het land en stelt gebruikers in staat landbouwgronden eerder in het seizoen te benutten.

Ander onderzoek heeft aangetoond dat het implementeren van SSI in gedraineerde wetlands op lange termijn de hydrologische bufferfunctie van gedegradeerde veengebieden kan herstellen (Ahmad et al., 2020), waardoor deze maatregel ook relevant is voor polders. De effectiviteit van drukdrainage is gevalideerd in een pilotstudie in Rotterdam, genaamd *'Pompen of Verzakken'*, geschreven door H. Koestveld (2023). In dit project werd water door het DI-systeem gepompt, waardoor het grondwaterpeil in één weekend met 12 cm werd verhoogd. (appendix G)

C.2 Ander landgebruik, met twee varianten

Ondergrondse drainage richt zich op waterbeheer, oftewel hoe het bodemwater afvoert en vasthoudt. Daarentegen gaan maatregelen die verandering in landgebruik omvatten verder en vereisen een verschuiving in het huidige landgebruik, zowel binnen als buiten de landbouwsector. Zoals zowel de CNK (2022) als het Planbureau voor de Leefomgeving (2016) aangeven, zijn ander landgebruik in de vorm van paludicultuur en nieuw natuurbeheer belangrijke sleutels om veengebieden klimaatbestendig te maken.

C.2.1 Paludicultuur

Paludicultuur in de landbouw, vaak aangeduid als "natte landbouw", past het waterbeheer aan om gewassen te benutten die gedijen onder natte omstandigheden, waardoor bodemdaling wordt voorkomen (Planbureau voor de Leefomgeving et al., 2016). Voorbeelden van paludicultuurgewassen zijn riet, veenmos, lisdodde, cranberry's en orchideeën, waar in appendix D.3.2.3 verder op wordt ingegaan. Deze gewassen kunnen worden gebruikt in markten zoals de sierteelt, voedselproductie, diervoeding, energie en zelfs de bouwsector, wat verder zal worden onderzocht in hoofdstuk 4.4. De interesse in deze vorm van landbouw groeit, met name onder partijen die zich richten op het behoud van veengebieden. Een nadeel van paludicultuur is echter het constant vereiste hoge grondwaterpeil.

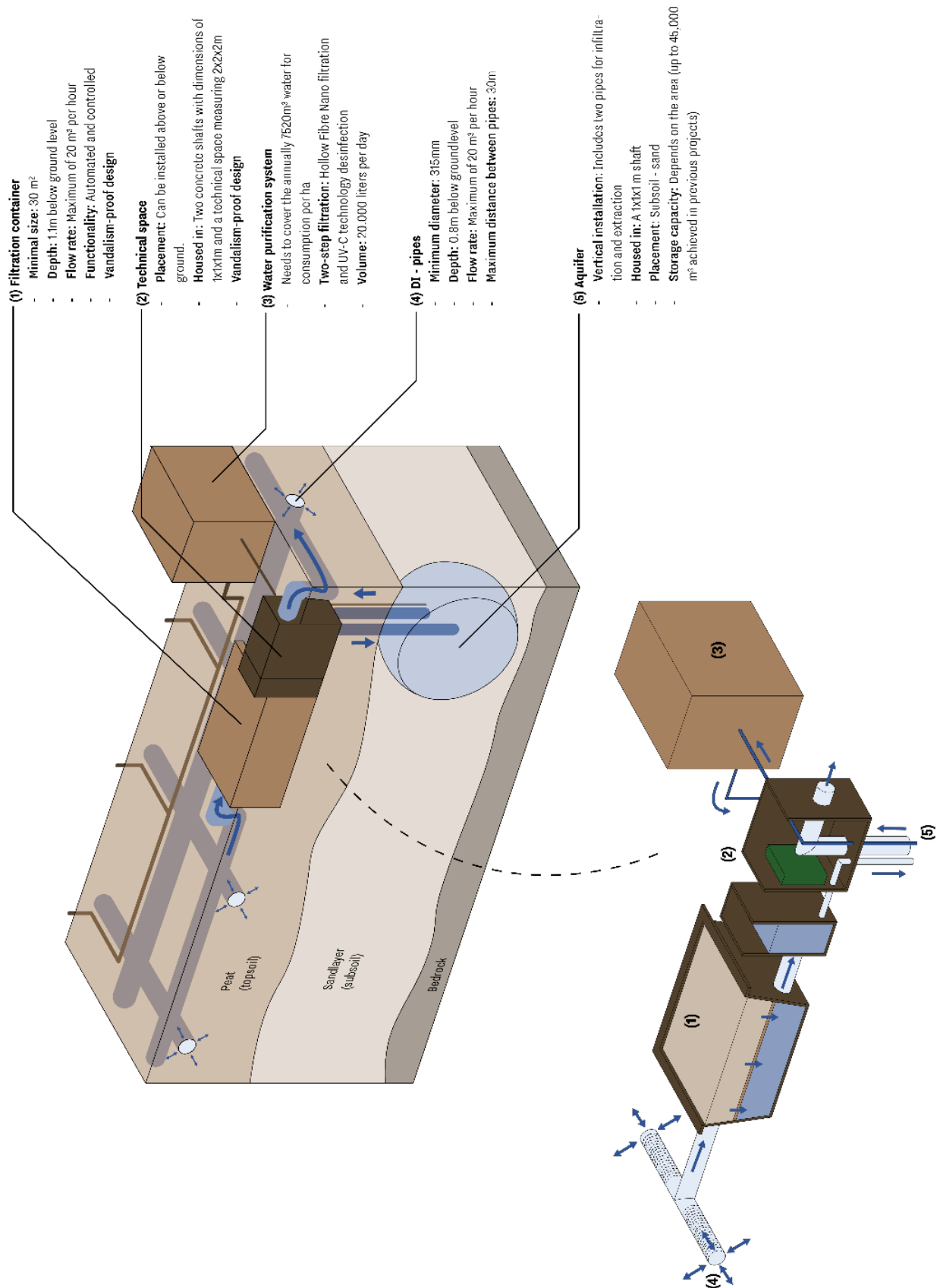
C.2.2 Nieuw natuurbeheer

Naast het behoud van veen en commerciële doeleinden kan het integreren van paludicultuur in veenlandschappen de biodiversiteit aanzienlijk vergroten. Het ontwerp van natte teelt creëert habitats die gunstig zijn voor flora en fauna die afhankelijk zijn van moerassen (A&W Ecologisch Onderzoek et al., 2022). Het balanceren van productie-doelen met ecosysteemdiensten en biodiversiteit kan echter een uitdaging zijn. Voor optimale biomassaproductie worden gewassen meestal geteeld om lengte, dichtheid en dikte te maximaliseren, waarbij het waterpeil gedurende het hele jaar consequent hoog boven de grond wordt gehouden. Deze aanpak kan botsen met biodiversiteitsdoelen, omdat soorten zoals amfibieën vaak open, zonnige gebieden binnen de habitat nodig hebben (A&W Ecologisch Onderzoek et al., 2022). Evenzo is voor wateropslag een flexibel waterpeil wenselijker dan een constant hoog waterpeil.

C.2.3 De combinatie van de varianten

De keuze voor landgebruik is afhankelijk van tijd en plaats. Op de lange termijn kan het combineren van intensieve paludicultuur met biodiversiteit interessante kansen bieden. Bijvoorbeeld, het oogsten van gewassen uit natte teelt in veengebieden gedurende meerdere jaren, zonder significante bemesting, kan overtollige voedingsstoffen in de bodem verminderen (A&W Ecologisch Onderzoek et al., 2022). Dit proces, bekend als "nutriëntenwinning" (*mining*), creëert een beter uitgangspunt voor toekomstige natuurontwikkeling. Volgens R. Temmink (interview, 2024) kan paludicultuur in veengebieden zo dienen als een katalysator voor waardevolle veenmoerasesystemen.

C.3 Illustratie APSSI-systeem



C.4 Conclusie

Om klimaatbestendige veengebieden te creëren en hun waterbufferingscapaciteit voor amfibische wijken te vergroten, is een combinatie van waterbeheer en adaptieve landgebruikmaatregelen essentieel. Ondergrondse drainagesystemen, met name geavanceerde methoden zoals drukdrainage in combinatie met APS (Adaptief Peilbeheer Systeem), helpen het hele jaar door stabiele grondwaterstanden te handhaven. Dit vermindert bodemdaling van veengronden en de uitstoot van broeikasgassen, terwijl het de hydrologische bufferfunctie in gedegradeerde veengebieden herstelt.

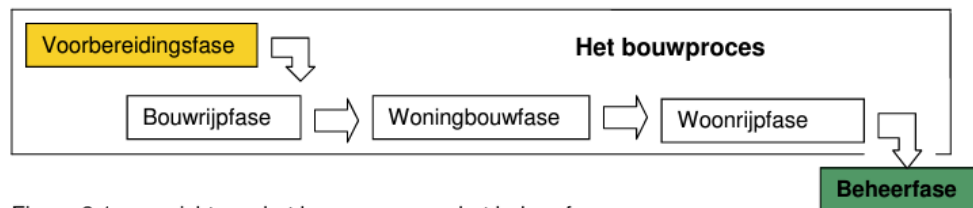
Landgebruikveranderingen, zoals natte landbouw (paludicultuur) en natuurbeheer, kunnen een duurzame langetermijnoplossing bieden om veengebieden te behouden, biodiversiteit te versterken en bodemaantasting te voorkomen. Paludicultuur ondersteunt duurzame landbouw door waterbestendige gewassen te telen en tegelijkertijd te dienen als basis voor toekomstige ecologische restauratie. Hoewel er uitdagingen bestaan in het balanceren van biodiversiteit en productie, sluiten deze oplossingen aan bij de visie van de CNK en de gefaseerde ontwikkelingssporen voor het vernatten en herstellen van veengebieden.

Samen dragen deze maatregelen bij aan duurzaam waterbeheer, biodiversiteitsverbetering en klimaatadaptatie in amfibische wijken.

D. (Amfibisch) bouwen op veen

D.1 Bouw-en woonrijp maken

Hierbij wordt in dit onderzoek enkel gekeken naar de technische aspecten van het bouwproces, waarbij de voorbereidingsfase buiten beschouwing blijft. Allereerst is het van belang om duidelijk voor ogen te krijgen wat *bouwrijp* en *woonrijp* maken inhoudt, aangezien er geen eenduidige betekenis bestaat. Als basis worden hiervoor wordt de definitie gebruikt zoals vermeld in het rapport 'beter bouw-en woonrijp maken van terreinen', geschreven door Biron (2004): "**Bouwrijp maken** is het in zodanige toestand brengen van een terrein dat erop gebouwd kan worden. **Woonrijp maken** is het in zodanige toestand brengen van een terrein dat erop gewoond kan worden en dat het terrein goed beheerd kan worden."



Figuur 2.1: overzicht van het bouwproces en het beheerfase

Figuur 31: Het bouwproces zoals beschreven in het rapport van Biron (2004)

In Nederland geen kwaliteitseisen gesteld aan een bouwrijp terrein (Biron, 2004). Hierdoor ontbreekt een duidelijke kwantitatieve toets wat ervoor zorgt dat het onduidelijk is wat verwacht wordt van bouwrijpe grond en wat de kwaliteit ervan zou moeten zijn. Een terrein kan dus als "bouwrijp" worden aangeduid, terwijl het in werkelijkheid mogelijk niet geschikt is voor bebouwing. In de praktijk varieert het bouwrijp maken per daarnaast ook per locatie en bodem, evenals de kwaliteit van het bouwrijpe terrein. Vanwege het ontbreken van eenduidige eisen richt dit hoofdstuk zich op het bepalen van normen voor het bouw -en woonrijp maken van veenlandschappen voor amfibische gebouwen, met als deelvraag:

Met welke maatregelen kunnen de bodemeigenschappen van veenlandschappen klimaatbestendig worden ingezet voor amfibische bouw, kijkend naar de bouwrijp-, woningbouw- en woonrijpfase?

Om te bepalen hoe veenlandschappen het beste klimaatbestendig bouw-en woonrijp gemaakt kunnen worden met amfibische principes is het wel mogelijk om te kijken naar de meest gunstige situatie en die te koppelen aan functionele eisen die daarvoor gelden. Daarvoor is het noodzakelijk om eerst te kijken naar een aantal bodemeigenschappen, om hier vervolgens technieken aan te koppelen die de bodemgesteldheid en waterhuishouding kunnen verbeteren.

D.1.1 Definities van bodemeigenschappen

Tijdens het bouw-en woonrijp maken van grond zijn een aantal bodemeigenschappen van belang voor een ontwerp. Enerzijds zijn dit eigenschappen die afhankelijk zijn van de textuur van de ondergrond: *vochthoudend vermogen en doorlatendheid*; anderzijds zijn het eigenschappen die van belang zijn voor het bouwrijp maken: *draagkracht en begaanbaarheid, samendrukbaarheid* (Segeren & Hengeveld, 1984). Hieronder zijn deze eigenschappen weggezet tegen de meest voorkomende grondsoorten in Nederland, met verdere definiëring in relatie tot het bouw-en woonrijp maken onder de tabel.

	zand	Fijn zand en zavel	klei	veen
Draagkracht en begaanbaarheid	groot	matig tot groot	klein tot matig	zeer klein
Samendrukbaarheid	klein	klein	matig	zeer groot
Vochthoudend vermogen	klein	groot	groot	groot
Doorlatendheid	groot	matig	klein tot groot	klein

Tabel 6: Factoren van belang voor het bouwrijp maken voor verschillende grondsoorten (Segeren & Hengeveld, 1984)

D.1.1.1 Begaanbaarheid

Begaanbaarheid is de mogelijkheid om het terrein op te rijden of te belopen, waarbij het terrein zonder belemmeringen begaanbaar moet zijn voor de aanvoer, opslag en verwerking van bouwmaterialen (Biron, 2004). Verder moeten bouwmachines veilig op het terrein kunnen staan zonder dat deze kans hebben om weg te zakken. Ook tijdens het woonrijp maken geldt dat de begaanbaarheid goed moet zijn (Segeren & Hengeveld, 1984).

De begaanbaarheid heeft te maken met het lutumgehalte (percentage van het totale minerale deel van de grond) en humusgehalte (percentage van het droge gewicht van grond) (Biron, 2004). Voor wegen geldt dat er geen zand met een humusgehalte hoger dan 3%, en leem hoger dan 15% mag worden toegepast. Grond met een hoog lutum -en humusgehalte zijn doorgaans slechter begaanbaar door de aanwezigheid van water. Door de zware machines die over de grond rijden verdicht de grond meer en neemt de doorlatendheid van de ondergrond af. Dit resulteert in kuilen en plasvorming bij neerslag, wat de begaanbaarheid verder verslechtert. Bij het bouwrijp maken vindt echter altijd verdichting plaats (Biron, 2004).

D.1.1.2 Draagkracht

Het vermogen om weerstand te bieden tegen statische belasting (Segeren & Hengeveld, 1984). Er wordt gesproken van voldoende draagkracht als de wrijvingsweerstand tussen bodemdelen hoog is (Biron, 2004). Statische belasting bestaat uit druk van de fundering, constructies, kunstwerken en rioleringen die naar de ondergrond overgebracht moeten worden. Ook opgeslagen bouwmaterialen op het terrein vallen onder de statistische belasting.

Evenals de begaanbaarheid is de draagkracht afhankelijk van de eigenschappen van de grond. Het vocht-, lutum- en humusgehalte bepalen of een grond een sterke draagkracht kan bieden (Biron, 2004). Lage gehalten resulteren logischerwijs in een hoge draagkracht. Andersom zorgt onvoldoende draagkracht van de bodem tot 'insporing', wat kan leiden tot verdichting van de toplaag. Bodems met een hoog-lutum en humusgehalte veroorzaken echter geen verdichting, maar eerder versmering: grote, doorlopende poriën worden dichtgedrukt en veranderen in kleine, geïsoleerde holtes en poriën. Een hogere bodemdichtheid gaat vaak gepaard met een afname van de doorlatendheid. Om deze reden is het verdichten van de bovengrond geen geschikte methode om de draagkracht van bouwgrond te vergroten.

D.1.1.3 Samendrukbaarheid

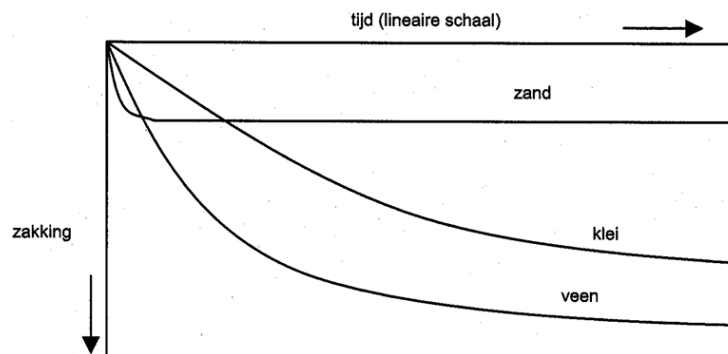
De samendrukbaarheid van de grond bepaalt hoe sterk de bodem zakt (zetting) onder een toenemende belasting. De mate van zetting wordt bepaald door de dikte en samenstelling van de samendrukbare lagen en de grootte van de belasting. Zand is nauwelijks samendrukbaar en daardoor weinig gevoelig voor zettingen, terwijl klei en vooral veen zeer gevoelig zijn. Bij klei en veen kan de mate van zetting bovendien sterk variëren. Een dikkere samendrukbare laag en een hogere belasting leiden doorgaans tot grotere zettingen (Segeren & Hengeveld, 1984).

Het tijdpad waarmee zettingen optreden hangt af van de doorlatendheid van de samendrukbare lagen. De samendrukking van grond bestaat uit twee processen: de primaire-en secundaire zetting. Primaire zettingen ontstaan door het samenpersen van de poriën door een belasting, zoals ophoging, en gaan gepaard met het wegvloeien van overtollig poriewater. De tijd die dit proces in beslag neemt, de **consolidatietijd** (figuur 32), wordt beïnvloed enkele factoren (Tromp, 2008):

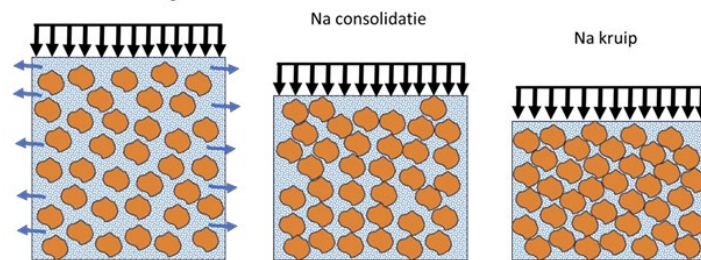
- De grondeigenschappen van het belaste pakket (de doorlatendheid en de samendrukbaarheid)
- De geometrie van het belaste pakket (de dikte van de laag en de oppervlakte waarover de laag wordt belast)
- De aanwezigheid van water (boven, beneden en opzij van het belaste pakket)

Voor het bouwproces is de totale zetting van belang, bestaande uit zowel de primaire als de secundaire zettingen. De restzetting, de zetting die na oplevering nog optreedt, moet beperkt blijven om

schade aan rioleringen, wegen, kabels en leidingen te voorkomen. Kleine en gelijkmatige zettingen vormen meestal geen problemen, terwijl grote of ongelijkmatige zettingen dit wel kunnen (Odie, 2009). In figuur 32 is te zien dat de zettingen van veen en klei een exponentieel verloop vertonen. Dit betekent dat het grootste deel van de zettingen kort na het aanbrengen van de belasting plaatsvindt (primaire zetting). Bij het secundaire proces treedt nog steeds zetting op door kruip. Dit kruipgedrag komt niet voor bij onsamendrukbare gronden zoals zand. Omdat veen en klei sterk samendrukbare zijn, zijn de zettingen in deze gronden aanzienlijk groter dan in zand (Tromp, 2008). Daarnaast, hoewel kruip theoretisch oneindig doorgaat, wordt in de praktijk na verloop van tijd de zettingstoename verwaarloosbaar klein. Daarom wordt meestal aangenomen dat het zettingsproces na ongeveer circa 30 jaar is afgerond (Tromp, 2008).



Figuur 32: tijd-zettingsverloop in de tijd van verschillende grondsoorten (Tromp, 2008)



Figuur 33: Vereenvoudigde weergave van de werking van consolidatie en kruip (love et al., 2023)

D.1.1.4 Vochthoudend vermogen

Het vochthoudend vermogen van de bodem is de capaciteit om water vast te houden in de onverzadigde zone (zone boven grondwaterspiegel). Dit water is deels beschikbaar voor planten en speelt een belangrijke rol bij het creëren van een geschikt groeimilieu. Bodems zoals humusarm en leemarm zand hebben een laag vochthoudend vermogen, terwijl zavel, klei en veen juist veel vocht kunnen vasthouden (Segeren & Hengeveld, 1984).

D.1.1.5 Doorlatendheid

De snelheid waarmee water door de grond kan stromen onder verzadigde omstandigheden noemt men doorlatendheid (Segeren & Hengeveld, 1984). Deze eigenschap is van belang bij het realiseren van een droog bouwterrein en woongebied. De doorlatendheid van de bodem wordt beïnvloed door veel factoren en is niet constant, maar varieert sterk afhankelijk van eigenschappen zoals vochtigheid en bodemkarakteristieken. Tijdens het bouwrijp maken neemt de doorlatendheid vaak aanzienlijk af door verdichting van de bodemstructuur, bijvoorbeeld door zwaar materieel, ophoging, of egalisatie onder ongunstige omstandigheden (Biron, 2004).

Over het algemeen is zand goed doorlaatbaar, terwijl klei en veen meer variatie vertonen. Kleigronden met scheuren of gangen kunnen goed doorlaatbaar zijn, maar ongescheurde kleilagen en veen zijn vaak slecht doorlatend. Door de lagere doorlatendheid zal de afvloeiing van veen veel minder snel plaatsvinden. Met andere woorden het primaire zettingsproces duurt langer dan bij bijvoorbeeld zand (Tromp, 2008). Hierin is de regel: hoe lager de doorlatendheid, hoe langer de consolidatie duurt.

Grondsoort	Doorlatendheid (m/etm)
Klei	
Sterk gescheurd (Zuiderzeepolders)	10 - 100
Enige poriën of scheuren	0,5 - 2
Zeër dicht (komklei, slechte laag)	0,005 - 0,05
Zeër dicht (knipklei)	<0,005
Slap, ongerijpt	$10^{-4} - 10^{-5}$
Ongerijpt, samengeperst	$10^{-5} - 10^{-6}$
Lichte zavel, gerijpt	0,02 - 0,2
zand	
Grof, met enig grind	10 - 50
Middelfijn (dekzand)	1 - 5
Uiterst fijn	0,2 - 0,5
veen	
ongerijpt	0,01

Tabel 7: de doorlatendheidscoëfficiënt van enkele grondsoorten (Biron, 2004)

D.1.1.6 Samenhang bodemeigenschappen

De eigenschappen van bodems staan niet los van elkaar, maar hangen met elkaar samen. Gronden met een hoge samendrukbaarheid hebben doorgaans een lage draagkracht. In het vakgebied worden deze vaak aangeduid als "slap", wat inhoudt dat zowel de weerstand tegen vervorming als tegen bezwijken beperkt is. Bovendien hebben dergelijke gronden vaak een lage waterdoorlatendheid wat leidt tot een langdurig zettingsproces en zorgt ervoor dat de grond na een regenbui lang nat blijft. Een natte bodem heeft doorgaans een nog lagere draagkracht en minder goede begaanbaarheid (Odie, 2009).

D.1.2 Waterhuishouding

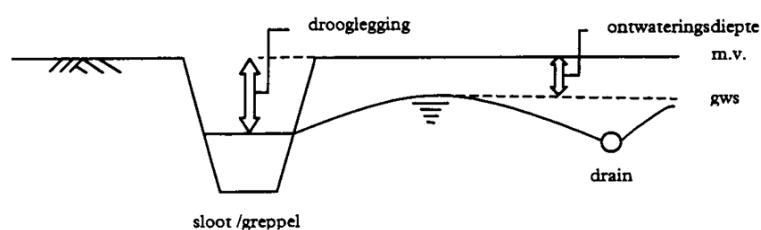
Naast bodemeigenschappen is ook de waterhuishouding van belang tijdens het bouw-en woonrijp maken van grond, in dit onderzoek zullen de normen worden gegeven, zoals beschreven in het onderzoek van Biron (2004), voor de droogleggings- en ontwateringsdiepte die benodigd zijn in een woonwijk om de infrastructuur en woningen te kunnen bouwen (tabel 8). Gelijktijdig wordt aandacht besteed aan de normen na het gereed maken van de woonwijk.

Hoge grondwaterstanden kunnen tijdens de bouwperiode verschillende problemen veroorzaken. Zo leiden ze vaak tot een slechte begaanbaarheid van het bouwterrein, wat het werken met machines bemoeilijkt. Daarnaast moeten veel grondwerkzaamheden, zoals het leggen van kabels en leidingen, in droge omstandigheden worden uitgevoerd. Na de bouw blijven deze problemen doorwerken. Hoge grondwaterstanden kunnen het onderhoud van wegen, bestrating en onderliggende infrastructuur bemoeilijken en zorgen bovendien voor zettingen als gevolg van schommelingen in de waterstand (Odie, 2009).

Bij de waterhuishouding is het van belang om twee begrippen uit elkaar te houden: ontwateringsdiepte en drooglegging (Biron, 2004):

Ontwateringsdiepte: De ontwateringsdiepte is gedefinieerd als de diepte van de grondwaterstand midden tussen twee ontwateringmiddelen (drains of open watergangen), ten opzichte van het maaiveld.

Drooglegging: Onder drooglegging wordt verstaan de afstand tussen het maaiveld en de hoogte van het open waterpeil (grachten, sloten of singels). In het geval dat drainage als ontwatering wordt toegepast, spreekt men van draindiepte in plaats van drooglegging.



Figuur 34: definitie van ontwateringsdiepte en drooglegging (Biron, 2004)

Gebruiksfunctie	Ontwateringsdiepte (m. beneden maaiveld)	Afvoer (mm/etm)
Tijdens de bouwfase		
Aanleg van bouwwerken	0,60 - 0,70	
Aanleg kabels en leidingen	0,50 - 1,00	
Aanleg primaire wegen	1,00	
secundaire wegen	0,70	
pleinen, parkeerterreinen	0,40	
Begaanbaarheid	0,50 - 0,70	
Samenvattend: de bouwfase	0,70 - 0,80	10
Tijdens de woonfase		
Bouwwerken	0,70	
Kabels en leidingen	0,60 - 1,00	
Primaire wegen	1,00	
Secundaire wegen	0,70	
Industrie-, centrumgebieden	0,70	
Samenvattend: de woonfase	0,70	5
Tuinen, plantsoenen, parken	0,50	7
Kampeerterreinen	0,50	10
Begraafplaatsen	0,30 beneden onderkant kist	10
Sportvelden	0,50	15

Tabel 8: ontwateringsdiepte tijdens bouw-en woonrijp maken volgens Biron (2004), verwerkt in het onderzoek van Odie (2009)

D.1.3 Conclusie - De bodemeigenschappen van veen

De unieke bodemeigenschappen van veen onderscheidt het van andere grondsoorten. Het is een grondsoort met een hoge samendrukbaarheid door het organische gehalte (Verhagen et al., 2009), wat betekent dat het sterk gevoelig is voor zettingen bij belasting. Deze zettingen zijn groter en langduriger in vergelijking met zand en klei, waarbij het zettingsproces exponentieel verloopt. (Tromp, 2008). Tijdens de consolidatie vinden de grootste vervormingen kort na de belasting plaats (primaire zetting), terwijl kruip (secundaire zetting) ervoor zorgt dat zetting ook op lange termijn blijft plaatsvinden.

Door het hoge lutum-en humusgehalte en de geringe wrijvingsweerstand tussen bodemdeeltjes heeft veen een lage draagkracht en begaanbaarheid (Biron, 2004). Dit maakt het vatbaar voor vervorming en verzakking, waarbij zware constructies plaatsen (statische belasting) en het berijden met machines lastig is (begaanbaarheid). De doorlatendheid van veen is afhankelijk van het type: rietveen is relatief beter doorlaatbaar dan mosveen, wat slecht doorlatend is (Biron, 2004). Over het algemeen kan veen water slecht infiltreren en blijft de bodem lang nat, wat verdere begaanbaarheids- en draagkrachtproblemen veroorzaakt.

Veen heeft door het organische gehalte een zeer hoog vochthoudend vermogen. Dit betekent dat het veel water kan vasthouden, wat bijdraagt aan de natte toestand van de bodem. Enerzijds biedt dit mogelijkheden, anderzijds zorgt de samenhang tussen deze eigenschappen voor een uitdaging voor bouw- en infrastructuurprojecten. Het vraagt om specifieke maatregelen en aanpassingen om problemen met zettingen, begaanbaarheid en draagkracht te beheersen.

Eigenschappen	Functionering	Toelichting
Begaanbaarheid	Zeep klein	Veen heeft een slechte begaanbaarheid vanwege het hoge watergehalte en de lage draagkracht. Zware machines kunnen wegzakken, en regenval veroorzaakt snel plasvorming en kuilen.
Draagkracht	Zeep klein	De draagkracht van veen is laag door de organische samenstelling en het gebrek aan sterke wrijvingsweerstand tussen de bodemdelen. Dit maakt veen ongeschikt voor zware belasting zonder versterkende maatregelen.

Samendrukbaarheid	Zeer hoog	Veen is zeer samendrukbaar, met grote zettingen onder belasting. Het zettingsproces verloopt exponentieel en wordt gevolgd door kruip, wat ook op lange termijn vervorming veroorzaakt.
Vochthoudend vermogen	Zeer hoog	Veen heeft een zeer hoog vochthoudend vermogen door de organische structuur, waardoor het veel water kan vasthouden. Dit maakt de bodem vaak nat, wat verdere problemen voor draagkracht en begaanbaarheid oplevert.
Doorlatendheid	klein	De doorlatendheid van veen varieert: mosveen is slecht doorlaatbaar, terwijl rietveen een betere waterafvoer biedt. Over het algemeen verloopt waterafvoer langzaam, wat leidt tot langdurig natte omstandigheden.

Tabel 9: eigenschappen van veen met toelichting (eigen bron)

D.2 Maatregelen ter verbetering van de bodemeigenschappen

In paragraaf D.1.2 zijn de bodemeigenschappen van veen in kaart gebracht, waarin inzicht is gegeven in wat de sterke en ‘slappe’ kanten van veen zijn. Concluderend zijn vooral de zeer kleine begaanbaarheid en draagkracht in combinatie met zeer hoge samendrukbaarheid in de oorspronkelijke situatie niet geschikt voor het goed bouw- en woonrijp maken. Om dit te verbeteren, kunnen verschillende (innovatieve) technieken en methoden worden toegepast. De maatregelen worden in appendix D.3 verder toegelicht.

D.2.1 Begaanbaarheid verbeteren

Veen heeft een slechte begaanbaarheid vanwege het hoge watergehalte en daarmee een te lage draagkracht omdat het veen te samendrukbaar is. Zware machines kunnen wegzakken en rijden de grond dicht, wat weer een verder negatief effect heeft op de begaanbaarheid. Technieken om de begaanbaarheid te verbeteren zitten in het:

- Ophogen met een goed begaanbare grondsoort (Segeren & Hengeveld, 1984)
- Toepassen van drainage om de grondwaterstand te verlagen (Biron, 2004)
- Maatregelen ter voorkoming van het inrijden van grond (Odie, 2009)

Een techniek om de bodemeigenschappen van veen te verbeteren is het ophogen met een ander goed doorlatende laag op de bodem, het toepassen van drainage om de grondwaterstand te verlagen of een combinatie daarvan (Segeren & Hengeveld, 1984). Door het gebied (tijdelijk) te ontwateren verliest veen het hoge lutum- en humusgehalte waarmee het totale gebied beter begaanbaar wordt tijdens het bouwrijp maken, echter is dit op de lange termijn geen definitieve oplossing, gezien het feit dat veen oxideert wanneer het drooggelegd wordt (appendix B.4.4). Een oplossing hiervoor is het ophogen met een goed doorlatende laag op de bodem waardoor het gebied bij natte omstandigheden wel begaanbaar blijft (Biron, 2004).

Het inrijden van grond tijdens het bouwrijp maken kan voorkomen worden door direct contact met de ondergrond te voorkomen middels plaatsing van tijdelijke constructies (Odie, 2009). Dit vertaalt zich in het plaatsen van o.a. drainageschotten, stalen/betonnen/kunststof platen tot de definitieve infrastructuur gelegd wordt.

D.2.2 Draagkracht verbeteren

De draagkracht van veen is laag door de organische samenstelling en het gebrek aan sterke wrijvingsweerstand tussen de bodemdelen. Om deze reden is het niet verstandig om zware constructies zonder fundering te plaatsen, immers kan de ondergrond geen grote statische belasting aan (appendix D.1.1.2). Technieken om de draagkracht te verbeteren:

- Statische belasting van gebouwen naar draagkrachtige grond brengen middels funderingen van palen, dan wel ophogen (Tromp, 2008)

- Statische belasting van infrastructuur en leidingen met ophogen en/of toepassen van ‘cunet’ (Odie, 2009)
- Toepassen van drainage om de grondwaterstand te verlagen (Segeren & Hengeveld, 1984)

Evenals bij de begaanbaarheid is het voor de draagkracht mogelijk om het gebied op te hogen met een andere draagkrachtige grondsoort (Biron, 2004). Echter, in de praktijk blijkt dat veengebieden ophogen met zand tot op zekere hoogte mogelijk is, omdat bij ophoging ook de sterke mogelijkheden van het veenlandschap als waterbuffering en CO₂ opslag (appendix B.4.3) verloren gaan. Andersom is het volledig funderen van een veengebied met palen financieel onwenselijk en is paalrot door oxidatie een risico voor het gebied. Om de draagkracht te verhogen kan eveneens drainage toegepast worden.

D.2.3 Samendrukbaarheid verlagen

Om veen als grondsoort te gebruiken moet er naast draagkracht en begaanbaarheid ook gekeken worden naar hoe de samendrukbaarheid, en daarmee zettingen, verlaagd kan worden. Voor het verminderen van zettingen zijn verschillende technieken mogelijk:

- Lichte constructiematerialen (Tromp, 2008)
- Lichte ophoogmaterialen (Tromp, 2008)
- Nathouden van grond (Best et al., 1993)
- Overhoogte toepassen (Segeren & Hengeveld, 1984)

Zoals vermeld in appendix D.1.1.3, wordt de mate van zetting bepaald door de dikte en samenstelling van de samendrukbare lagen en de grootte van de belasting. Het is dus logischerwijs van belang enerzijds de belasting zo laag mogelijk te houden en anderzijds te zorgen dat grond natgehouden wordt, immers uitdroging ook voor verzetting zorgt (appendix B.4.4; Best et al., 1993). Met het gebruik van lichte constructie – en ophoogmaterialen voorkom je een te hoge totale belasting, wat resulteert in mindere samendrukking en daarmee minder zetting (Segeren & Hengeveld, 1984). H

D.2.4 Grondwaterstandsbeheersing

Grondwateroverlast ontstaat meestal door een te hoge grondwaterstand, waardoor het belangrijk is om dit peil te beheersen. Dit kan worden bereikt met behulp van:

- Een SSI-systeem (hoofdstuk C.1)
- Bouwen zonder kruipruimtes (Tromp, 2008)

Tijdens de bouw zullen verschillende waterpeilen gehanteerd moeten worden (appendix D.1), dit kan gereguleerd worden met SSI-systemen. Een alternatief is het bouwen zonder kruipruimtes, omdat hierbij hogere grondwaterstanden minder problematisch zijn doordat er geen vochtproblemen optreden. Deze bouwmethode kan daardoor ook effectief bijdragen aan het beperken van wateroverlast door grondwater (Tromp, 2008).

D.2.5 Behoud van sterke eigenschappen van veen

Waar de eerste vier maatregelen zich richtten op de zwakkere eigenschappen en aanwezigheid van water in veen, richt deze maatregel zich op het behoud van de sterke eigenschappen tijdens en na de bouw.

- Voldoende waterdoorlatende bovengrond (Odie, 2009)
- Voldoende bergingsvermogen (Odie, 2009)
- SSI-drainage (Planbureau voor de Leefomgeving et al. 2016)
- Grondwater fixatie (Planbureau voor de Leefomgeving et al. 2016)

Het is van belang dat veengebieden natgehouden worden na het bouw-en woonrijp maken van het gebied (appendix B.4). Droogvalling zorgt immers voor het vrijkomen van CO₂ en daarnaast voor zetting. Andersom zorgt een nat veenlandschap dat CO₂ kan worden opgeslagen en dat er overtollig water opgevangen kan worden in perioden van droogte. Door een goed waterdoorlatende bovengrond, een

hoog bergingsvermogen (APS) en het toepassen van SSI-drainage waarmee het grondwater gefixeerd kan worden, kan het nathouden van veenlandschap beter gereguleerd worden.

D.2.6 Conclusie

Uit hoofdstuk D.1.1 blijkt dat veen van nature niet geschikt is als grondsoort door de slechte begaanbaarheid, lage draagkracht en hoge samendrukbaarheid. Deze beperkingen kunnen worden aangepakt door specifieke maatregelen toe te passen in de verschillende fasen van het bouwproces (appendix D.1): bouwrijp maken, woningbouw en woonrijp maken.

Bouwrijpfase

Tijdens het bouwrijp maken ligt de focus op het verbeteren van de begaanbaarheid, draagkracht en het beheersen van de grondwaterstand:

- Begaanbaarheid verbeteren: Ophogen met goed doorlatende grond, drainage toepassen om de grondwaterstand tijdelijk te verlagen en tijdelijke constructies (zoals rijplaten) plaatsen om inrijden van de grond te voorkomen.
- Draagkracht verbeteren: Ophogen met een licht materiaal, het aanbrengen van funderingen om statische belasting te dragen
- Grondwaterstandsbeheersing: SSI-drainage inzetten om de grondwaterstand gecontroleerd te verlagen.

Woningbouwfase

In deze fase worden maatregelen genomen om de samendrukbaarheid (en daarmee zetting) te verlagen en de sterke eigenschappen van veen te behouden:

- Samendrukbaarheid verlagen: Het gebruik van lichte ophoog- en constructiematerialen vermindert de belasting op het veen en daarmee de mate van zetting. Het nat houden van de grond voorkomt verdere zetting.
- Behoud van sterke eigenschappen: Door het toepassen van voldoende waterdoorlatende bovengrond en het creëren van een hoog bergingsvermogen blijft het veen duurzaam en wordt oxidatie voorkomen.
- Onbelast bouwen: Amfibische principes toepassen waarmee statische belasting op grond verminderd wordt

Woonrijpfase

In de woonrijpe fase ligt de nadruk op het behouden van een stabiele waterhuishouding en een duurzaam veenlandschap:

- Behoud van sterke eigenschappen: Het inzetten van SSI-drainage en grondwaterfixatie helpt om het grondwaterpeil te stabiliseren. Dit draagt bij aan het behoud van veen als CO₂-opslag en voorkomt schade door uitdroging.
- Flexibele infrastructuur: Infrastructuur wordt los van de ondergrond ontworpen om bewegingen in het veen op te vangen en de levensduur van wegen en leidingen te verlengen.

Samenvattend

Het bouw- en woonrijp maken van veengebieden vereist een combinatie van maatregelen die per ontwikkelingsfase worden toegepast. Door in te spelen op de unieke eigenschappen van veen en in iedere fase passende technieken te gebruiken (tabel 10), kan ook veen gebruikt worden als bouwgrond. Echter zal altijd enige vorm van zetting plaatsvinden, hier wordt in het volgende hoofdstuk nog verder op ingegaan door te kijken naar de mogelijkheden van *amfibische funderingen* (D.3.2.1).

D.2.7 Maatregelen gecategoriseerd per aspect inclusief toelichting en fasering

Aspect	Maatregel	Toelichting	Fase	Categorie
<i>Begaanbaarheid verbeteren</i>	Ophogen van gebied	Ophogen met een goed begaanbare grondsoort	Bouwrijp maken	Ophoging
	Tijdelijke drainage	Toepassen van drainage om de grondwaterstand te verlagen	Bouwrijp maken	Grondwaterbeheersing
	Tijdelijke ondergrond	Maatregelen ter voorkoming van het inrijden van grond	Bouwrijp	-
	Flexibele infrastructuur	Infrastructuur staat los van grond	Woningbouw/ Woonrijp	Infrastructuur
<i>Draagkracht verbeteren</i>	Ophogen van wegen	Statische belasting verspreiden door ophogen en/of toepassen van 'cunet' op draagkrachtige grondsoort	Bouwrijp	Ophoging/ Infrastructuur
	Funderingen onder gebouwen	Statische belasting van constructies naar draagkrachtige grond	Bouwrijp	Constructie
	SSI-Drainage	Toepassen van drainage om de GWS te verlagen	Bouwrijp	Grondwaterbeheersing
<i>Samendrukbaarheid verlagen</i>	Lichte constructiematerialen	Voorkomt grote statische belasting	Woningbouw	Constructie
	Lichte ophoogmaterialen	Voorkomt grote statische belasting door eigen gewicht	Bouwrijp	Ophoging/ Infrastructuur
	SSI-drainage	Drainage van veen resulteert in verzetten	Woningbouw	Grondwaterbeheersing
	Overhoogte toepassen	Rekening houdend met verzetten door belasting kan vooraf een hoger peil worden toegepast	Bouwrijp	Ophoging
<i>Grondwaterstandsbeheersing</i>	SSI-Drainage	Reguleert peilwater	Bouwrijp	Grondwaterbeheersing
	Kruipruimteeloos bouwen	Maakt hogere grondwaterstand mogelijk	Woningbouw	Constructie/ Grondwaterbeheersing
<i>Behoud sterke eigenschappen</i>	Voldoende waterdoorlatende bovengrond	Ter voorkoming van plasvorming	Woningbouw	Grondwaterbeheersing
	Voldoende bergingsvermogen	Voorkomt een snelle stijging van GWS	Woningbouw	Grondwaterbeheersing
	SSI-drainage	Reguleert peilwater	Bouwrijp	Grondwaterbeheersing
	Grondwater fixatie	Reguleert peilwater	Bouwrijp	Grondwaterbeheersing

Tabel 10: overzicht van maatregelen per fase (eigen bron)

D.3 Constructie technieken en materialen voor amfibische constructies in veenlandschappen

In de vorige paragraaf zijn verschillende maatregelen benoemd, waarbij ook te zien is dat voor verschillende aspecten -en fasen vaker dezelfde maatregelen terugkomen. Om een nader beeld te krijgen wat deze maatregelen inhouden zijn deze categoriseerd en wordt in dit hoofdstuk per categorie ingegaan op wat de maatregelen inhouden:

- D.3.1 Ophoging (methode + materiaal)
- D.3.2 Constructie (lichte constructie; funderingen; kruipruimteloos bouwen)
- D.3.3 Infrastructuur (flexibele infrastructuur; leidingen en kabels)
- D.3.4 Grondwaterstandsbeheersing (drainage + bergingsvermogen)

D.3.1 Ophoging

Om de bodem van een bouwterrein te verbeteren en zo een goede begaanbaarheid en draagkracht te bereiken kunnen drie methoden worden toegepast (Biron, 2004). Van oudsher wordt zand gebruikt vanwege de goede draagkrachtige en begaanbare bodemeigenschappen, echter kan er bij deze methoden ook gekozen worden voor ander materiaal (Tromp, 2008).

1. **Integrale ophoging:** het aanbrengen van een uniforme laag grond over de gehele bouwlocatie om stabiliteit en begaanbaarheid te waarborgen.
2. **Cunettenmethode:** het gericht ophogen met grond onder wegen en kruipruimtes, specifiek voor essentiële draagkrachtige onderdelen.
3. **Partiële ophoging:** een combinatie van integrale ophoging en de cunettenmethode, waarbij de maatregelen worden afgestemd op de specifieke behoeften van verschillende delen van de bouwlocatie.

Op bouwterreinen met veen zal altijd grond aangebracht worden ter plaatse van wegen en kabels en leidingen voor draagkracht, vochtbeheersing en vorstbestendigheid (Biron, 2004). De keuze tussen volledige ophoging (integrale ophoging) en plaatselijke ophoging (cunettenmethode) hangt af van de situatie. Partiële ophogen vormt een tussenvorm, waarbij de grond wordt aangebracht op functionele delen van het terrein (bebouwde gebieden en wegen), terwijl groenstroken, waterpartijen en parken worden uitgesloten. Verschillende methoden kunnen ook toegepast worden bij verschillen in bodemopbouw of woningdichtheid (Odie, 2009).

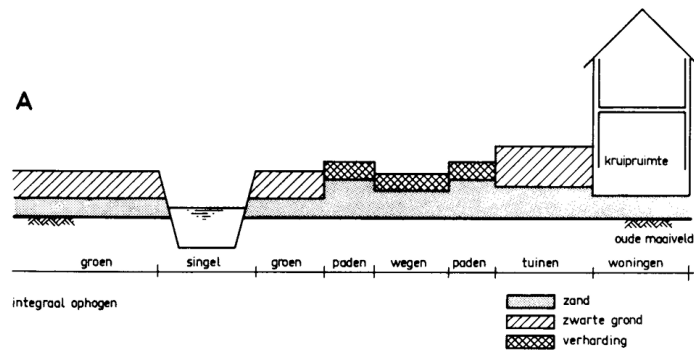
D.3.1.1 Methoden

D.3.1.1.1 Integrale ophoging

Integraal ophogen omvat het aanbrengen van een nieuwe grondlaag over het gehele bouwterrein. Deze maatregel wordt toegepast om een geheel begaanbaar, draagkrachtig en droog bouwterrein te creëren. Hoewel uit theoretisch oogpunt een laagdikte van 0,50 meter zand voldoende draagkracht biedt (Segeren & Hengeveld, 1984), blijkt dit in de praktijk niet haalbaar. Tijdens de bouwfase zorgt spoorvorming ervoor dat deze laagdikte niet gehandhaafd kan worden. Om deze reden wordt aangenomen dat een minimale laagdikte van 0,70 meter noodzakelijk is (Biron, 2004).

Om aan de droogleggingseisen te voldoen, is intensieve drainage nodig bij deze minimale ophoging. De minimale laagdikte van 0,70 meter kan alleen worden toegepast als (Tromp, 2008):

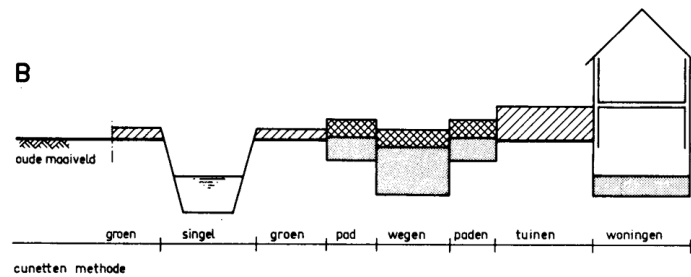
1. De zettingen als gevolg van de ophoging beperkt blijven en de ontwateringsdiepte al groot genoeg is om ook na zetting aan de eisen te voldoen. De vereiste ontwateringsdiepte is doorgaans 1,20 meter of meer.
2. Het polderpeil vrij kan worden vastgesteld en diep genoeg ingesteld kan worden onder het door ophoging verhoogde en door zetting verlaagde maaiveld.



Figuur 35: integraal ophogen (Biron, 2004)

D.3.1.1.2 Cunettenmethode

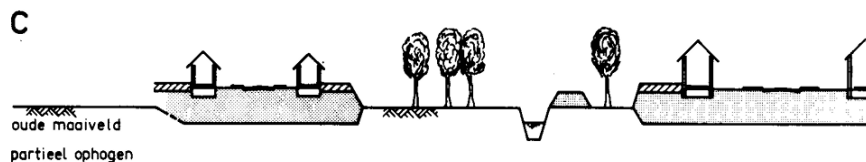
Bij de cunettenmethode worden alleen de locaties van de wegen bouwrijp gemaakt door het aanbrengen van cunetten, die vervolgens worden opgevuld met een begaanbare, draagkrachtige grond (Segeren & Hengeveld, 1984). Dit is mogelijk wanneer het stedenbouwkundig plan in detail is uitgewerkt en de aangrenzende bouwkvelds voldoende draagkrachtig of bijvoorbeeld drijvend/ amfibisch zijn (Tromp, 2008). Grond wordt aangebracht onder de verhardingen en eventueel in de kruipruimten. Rioleringsleuven worden vaak (gedeeltelijk) gevuld met een ophoogmateriaal om ongelijke zetting te voorkomen.



Figuur 36: integraal ophogen (Biron, 2004)

D.3.1.1.3 Partieel ophogen

Partieel ophogen is geen aparte techniek, maar een combinatie van integraal ophogen en de cunettenmethode (Biron, 2004). Bij deze aanpak worden alleen die locaties bouwrijp gemaakt die dat nodig hebben, zoals bouwkvelds en wegen, terwijl grotere groenstroken zoals waterpartijen en parken openblijven (Tromp, 2008). Door deze methode toe te passen, kunnen bestaande landschapselementen behouden blijven, die anders bij een integrale ophoging verloren zouden gaan. Partieel ophogen is ook geschikt wanneer verschillen in bodemopbouw of woningdichtheid binnen een plan vragen om een combinatie van integraal ophogen en de cunettenmethode (Odie, 2009).



Figuur 37: partieel ophogen (Biron, 2004)

D.3.1.2 Materiaal

Historisch gezien wordt zand gebruikt als ophogingsmateriaal vanwege de hoge draagkracht en begaanbaarheid. Zand heeft echter ook als eigenschap dat het een hoge dichtheid heeft, waardoor het eigen gewicht zwaar is ($1600-1800\text{kg/m}^3$). Door dit eigen gewicht treedt zetting op, waarmee het effect

van ophoging verloren gaat (Tromp, 2008). Als alternatieven van ophogen met zand zijn o.a. het toepassen van gebiedseigen grond of het gewichtsneutraal ophogen met licht ophoogmateriaal mogelijk.

In het geval van veen blijkt het ophogen met gebiedseigen materiaal geen valide oplossing door de veenoxidatie die plaatsvindt bij het losmaken van de grond. Wel is het kostentechnisch waard om te grondonderzoek te doen naar welke materialen in de omgeving beschikbaar zijn om zo transport -en grondkosten te besparen (Tromp, 2008).

Het gebruik van lichte ophogingsmaterialen om gewichtsneutraal op te hogen biedt daarentegen een valide oplossing voor veengebieden. Met deze materialen is het mogelijk om gewichtsneutraal te bouwen, waarin de constructie geen zetting veroorzaakt (Tromp, 2008).

Er zijn meerdere lichte materialen op het gebied van ophoging mogelijk, die in tabel 10 tegen elkaar zijn weggezet. Bij de vergelijking is gekeken naar de bijdrage van klimaatadaptatie voor veen: er moet een goede balans tussen waterberging, duurzaamheid, technische levensduur, sterkte en kosten zijn. Daarbij is ook het verschil tussen primaire infrastructuur (waar sterkte en stabiliteit leidend zijn) en secundaire infrastructuur (waar flexibiliteit en watermanagement centraal staan) in acht genomen, dit wordt verder toegelicht in appendix D.3.3.

Hieronder volgt een vergelijking per aspect tussen de verschillende grondsoorten en materialen uit de tabel. Elk aspect wordt afzonderlijk beoordeeld:

D.3.1.2.1 Volumiek Gewicht (kg/m^3)

Het volumieke gewicht bepaalt mede de belasting die het materiaal uitoefent op het veen. Een lager gewicht is gunstig in veengebieden vanwege de draagkracht van de ondergrond.

- EPS heeft het laagste volumieke gewicht (70 kg/m^3) en is daarom het meest geschikt om verzakking te minimaliseren.
- Schuimglas ($230\text{-}480 \text{ kg/m}^3$) en geëxpandeerde kleikorrels ($300\text{-}750 \text{ kg/m}^3$) hebben een licht gewicht, waardoor ze relatief licht zijn en geschikt voor ophoging.
- Ophoogzand (1800 kg/m^3) en bims ($1100\text{-}1150 \text{ kg/m}^3$) zijn zwaar, waardoor ze minder geschikt zijn op slappe veengrond.

Conclusie: EPS wint hier met het laagste gewicht, gevolgd door schuimglas en geëxpandeerde kleikorrels.

D.3.1.2.2 Sterkte (Dynamische draagkracht in MPa)

Sterkte is vooral belangrijk voor primaire infrastructuur waar zware belastingen optreden.

- Ophoogzand biedt de hoogste variabele sterkte van $50\text{-}150 \text{ MPa}$, afhankelijk van het soort zand.
- Bims ($100\text{-}130 \text{ MPa}$) en schuimglas (75 MPa) hebben een goede sterkte voor zowel primaire als secundaire toepassingen.
- Geëxpandeerde kleikorrels scoren met 50 MPa voldoende voor matige belastingen.
- EPS biedt slechts $4\text{-}15 \text{ MPa}$, wat het minder geschikt maakt voor zware belastingen.

Conclusie: Ophoogzand en bims hebben de hoogste sterkte en zijn geschikt voor primaire infrastructuur, terwijl schuimglas ook voldoende sterkte biedt.

D.3.1.2.3 Duurzaamheid (type materiaal)

Duurzaamheid verwijst naar de milieuvriendelijkheid en circulariteit van het materiaal.

- Geëxpandeerde kleikorrels zijn natuurlijke materialen, maar wel geëxpandeerd uit ovens, waarmee ze matig duurzaam zijn

- Plastic Roads, Schuimglas en Drainblocks zijn gebaseerd op gerecyclede materialen, wat ze hoog scoorbaar maakt.
- EPS heeft een lage duurzaamheid, omdat het wordt geproduceerd uit aardolie.
- Biobased materialen zoals Mycobase en lisdodde zijn volledig natuurlijk en hernieuwbaar.

Conclusie: Biobased materialen als Mycobase en Lisdodde zijn het duurzaamst, gevolgd door Schuimglas, Drainblock, Plastic roads die gemaakt zijn van gerycelde materialen. EPS scoort het slechtst op duurzaamheid.

D.3.1.2.4 Technische Levensduur (jaar)

De levensduur geeft aan hoelang het materiaal effectief blijft zonder te degraderen.

- Ophoogzand en geëxpandeerde kleikorrels hebben een levensduur van >100 jaar, wat ze zeer robuust maakt.
- Schuimglas, Plastic Road, EPS en andere kunststofoplossingen hebben een levensduur van >50 jaar.
- Biobased materialen zoals Mycobase en lisdodde hebben nog een onbekende levensduur, waardoor ze risicovoller zijn voor grootschalige toepassingen.

Conclusie: Ophoogzand en geëxpandeerde kleikorrels hebben de langste levensduur, gevolgd door schuimglas en Plastic Road.

D.3.1.2.5 Waterbergend Vermogen

Waterberging is cruciaal voor de sterke karakteristieken van veen (appendix C).

- Plastic Road scoort zeer hoog door volledige infiltratiecapaciteit.
- Schuimglas, bims, en geëxpandeerde kleikorrels bieden hoog waterbergend vermogen dankzij hun poreuze structuur.
- EPS scoort laag, net als ophoogzand.

Conclusie: Plastic Road is de beste keuze voor waterberging, gevolgd door schuimglas, bims en geëxpandeerde kleikorrels.

D.3.1.2.6 Kosten (€ per m³)

Kosten zijn een belangrijke factor om haalbaarheid te valideren.

- Ophoogzand is het goedkoopste met €20 per m³, gevolgd door geëxpandeerde kleikorrels (€45 per m³).
- Bims (€50 per ton) en schuimglas (€90 per m³) zijn duurder maar bieden meer voordelen.
- EPS kost ongeveer €100 per m³, wat relatief duur is.
- Materialen zoals Plastic Road en biobased opties hebben geen vaste kosten, maar zijn vaak locatie- of projectafhankelijk.

Conclusie: Ophoogzand en geëxpandeerde kleikorrels zijn het meest kostenefficiënt, terwijl schuimglas duurder is maar extra voordelen biedt.

D.3.1.3 Conclusie

Voor het ophogen van veen zijn enkele voor- en nadelen te noemen van de integrale methode t.o.v. de cunettenmethode. Biron (2004) heeft hiervoor een tabel opgesteld waarin hij de methoden via een score op een aantal criteria met elkaar vergelijkt, tabel 11.

	<i>Cunetten</i>	<i>Integraal</i>
Draagkracht / begaanbaarheid bouwterrein	0	+
Vrijheid om het inrichtingsplan te wijzigen tijdens de bouw	0	+
Bouwtempo tijdens de woningbouw	0	+
Daling van het maaiveld	0	-
Directe kosten (van het bouwrijp maken)	0	-
Indirecte kosten (lagere productiviteit tijdens de woningbouw, voorzieningen treffen rondom de bebouwingen, etc.)	0	+
Inpassen van het bestaande groen in 'Het Plan'	0	-
Vochtvoorziening (woonrijpfase)	0	-
Milieu (b.v. effect van zandwinning)	0	-

Tabel 11: relatieve score van de cunettenmethode op een aantal criteria (Biron, 2004)

Concluderend uit de tabel zal voor veen in het belang van klimaatadaptatie altijd gekozen moeten worden voor de cunettenmethode, immers integraal ophogen de mogelijkheid tot waterbuffering en CO₂ opslag onmogelijk maakt. Daarnaast blijkt uit tabel 11 dat het integraal ophogen van lichte materialen vele malen duurder is dan het ophogen met zand, waarmee het financieel nog onaantrekkelijker is om een heel gebied op te hogen. In dit onderzoek wordt ook de hypothese getrokken dat draagkracht minder op amfibische principes van toepassing is dan bij grondgebonden woningen (appendix D.3.5), aangezien deze constructies 'drijven' op het grondwater.

Voor het toepassen van lichte materialen in de cunettenmethode scoort schuimglas als het meest gebalanceerde ophoogmateriaal voor veenlandschappen. Het biedt:

- Licht gewicht (230-480 kg/m³) -> voorkomt zetting door samendrukking
- Voldoende sterkte (75 MPa) -> primaire infrastructuur begaanbaar tijdens bouwrijp maken
- Hoog waterbergend vermogen -> toepassing APSSI-systeem (hoofdstuk 4.1)
- Een duurzaam, circulair productieproces -> in lijn met klimaatadaptatie
- Verantwoorde technische levensduur > 50 jaar -> verantwoording hogere kosten

Schuimglas combineert hoge waterberging met circulariteit, aangezien het wordt gemaakt van gerecycled glas. De sterkte van schuimglas, met een dynamische draagkracht van 75 MPa, is voldoende voor zowel primaire als secundaire infrastructuur (D.3.3), terwijl het niet te zwaar is met een lage volumieke dichtheid. Hoewel de kosten met €90 per m³ hoger zijn dan alternatieven, rechtvaardigen de lange levensduur (>50 jaar) en het duurzame karakter de keuze.

Wat betreft de secundaire infrastructuur, waar minder sterkte en meer flexibiliteit komt kijken, komen plastic roads naar voren als een innovatieve oplossing. Dit materiaal, gemaakt van gerecycled plastic, biedt zeer hoge waterberging door de volledige waterinfiltratie. Hoewel het minder geschikt is voor zware belasting (max 10 ton), biedt het een uitstekende balans tussen duurzaamheid, circulariteit en waterbeheer, met een verwachte technische levensduur van >50 jaar.

Daarnaast zijn biobased materialen zoals Mycobase (mycelium) en lisdodde veelbelovende innovaties. Ze scoren hoog op duurzaamheid, omdat ze volledig natuurlijk en hernieuwbaar zijn, echter ontbreekt nog voldoende technische data over hun sterkte, levensduur en kosten. Daarom zijn deze materialen vooral geschikt voor proefprojecten en verder onderzoek.

Grondsoort / techniek	Volumiek gewicht Vochtig (kg/m ³)	Sterkte Dynamische draagkracht (Mpa)	Duurzaamheid type materiaal	Technische levensduur (jaar)	Waterbergend vermogen	Kosten (€ per m ³)
Ophoogzand	1800	50-150 (schatting, afhankelijk van soort zand)	Natuurlijk materiaal, echter veel nodig	>100	Gemiddeld	20
EPS	70	15	Kunststof, geproduceerd uit aardolie	>50	Slecht	100
Schuimglas	230-480	75	Ecobased, Circulaire grondstof, gerecycled	Nog in onderzoek, maar desintegreert niet (>50)	Goed	90
Bims 0/16	1100-1150	100-130	Mijnbouw, eindige delfstof	>50	Goed	50 per ton
Geëxpandeerde kleikorrels	300-750	50	Natuurlijk product, geëxpandeerd uit ovens	>100	Goed	45
Mycobase	Onbekend	Onbekend	Biobased bouw materiaal	Onbekend	Onbekend	Onbekend
Lisdodde	Onbekend	Onbekend	Biobased bouw materiaal	Onbekend	Onbekend	Onbekend
Rockflow	120-200	Onbekend	Basalt, voor 40% gerecycled	>40	Goed	160
Infiltratiekralen	Afm. 100x50x39 a 185L	Onbekend	Kunststof, geproduceerd uit olie	>50	Goed	Onbekend
Drainblock	80	Onbekend	100% natuurlijk materiaal	>50	Goed	Onbekend
Bufferblock	940	Onbekend	Betonproductie niet duurzaam	>50	Goed	Onbekend
Plastic Road	48kg per m ²	Kan geen extreme krachten aan	Gemaakt van gerecycled plastic	>50	Zeer goed (volledig infiltrerend)	Locatie afhankelijk

Zeer goed ++	Score	Opmerking
Goed +	+++	Niet mogelijk door volumiek gewicht
Gemiddeld 0	--	
Slecht -	+++	
Zeer slecht --	+	
Absent 0	++	
	++	Teveel onbekend
	++	Teveel onbekend
	++	Nog niet toegepast als ophogingsmateriaal
	0	Teveel onbekend
	++++	
	0	
	+++	

Tabel 12: Vergelijkingsanalyse met gegevens overgenomen uit tabel van Sweco (2024), met belangrijkste criteria gericht voor ophoging veen (eigen bron)

D.3.2 Constructie

In de categorie constructie (tabel D.2.6) zijn drie maatregelen beschreven:

- *Funderingen* (draagkracht)
- *Lichtgewicht materialen* (samendrukbaarheid)
- *Kruipruimteloos bouwen* (grondwaterbeheersing)

D.3.2.1 Amfibische Funderingen

Concluderend uit de case-study van hoofdstuk 2 komt naar voren dat amfibische structuren voor veengebieden een goede oplossing zouden kunnen zijn, omdat deze goed functioneren in natte gebieden die sporadisch overstromen. De Vries heeft in 2024 een thesis over amfibische constructies geschreven, waarin ze van vijf amfibische funderingsconcepten heeft onderzocht wat de voor- en nadelen zijn (appendix L.1). De concepten heeft ze vervolgens tegen elkaar opgezet aan de hand van een aantal criteria. Voor dit onderzoek is het van belang om te kijken naar welke criteria de impact zo laag mogelijk houden voor veen, zonder dat dat ten koste gaat van de leefbaarheid. De nieuwe criteria zijn hierop als volgt ingedeeld en beoordeeld:

- Leefbaarheid en bewonerservaring (stabiliteit, zichtbaarheid, extreme omstandigheden)
- Duurzaamheid (levensduur, complexiteit, materiaalgebruik)
- Minimale impact op veen (klimaat impact, lichte materialen)

D.3.2.1.1 Leefbaarheid en bewonerservaring

Het minimaliseren van de zichtbaarheid van amfibische kenmerken en het garanderen van stabiliteit spelen een rol bij het behouden van een ‘normale’ woonervaring, waarin de extreme omstandigheden minder van toepassing zijn omdat het gebied niet ingezet wordt als overloopegebied (context).

Uit de tabel wordt duidelijk dat concept 2 het beste scoort op het gebied van leefbaarheid, immers de fundering in de grond verdwijnt en de structurele stabiliteit niet negatief is, waarmee het dus voelt en lijkt alsof er op een ‘normale wijze’ geleefd kan worden. De concepten van 3,4 en 5 hebben elk een dusdanig negatieve impact op één van de drie criteria dat de leefbaarheid slechter is ten opzichte van de andere concepten. Concept 1 daarentegen heeft een neutrale impact op de leefbaarheid: Het scoort minder dan concept 2, maar heeft geen grote negatieve impact.

D.3.2.1.2 Duurzaamheid

De duurzaamheid van een amfibische fundering uit zich in levensduur, de complexiteit en type materiaalgebruik. Hoe complexer de oplossing, hoe meer erbij komt kijken wanneer iets gerepareerd of vervangen moet worden, wat ten nadele is van de duurzaamheid. De levensduur en type/hoeveelheid materiaal spreken voor zich: een lange levensduur is duurzaam, weinig en CO2 laag materiaal zijn vanzelfsprekend duurzamer dan veel en CO2 hoog materiaal.

Op het gebied van duurzaamheid scoort concept 1 het hoogst: de bakken hebben een lange levensduur en zijn eenvoudig te installeren en te onderhouden, echter is het betonnen peton niet duurzaam. Concept 3 scoort hier ook hoger dan de rest, echter is het discutabel wat de levensduur van de holle tonnen is. Concept 2,4 en 5 hebben grote negatieve impact op de duurzaamheid: concept 2 gebruikt een dubbele fundering waar concept 4 en -5 een onnodig complex of onnodige hoog materiaalgebruik hanteren.

D.3.2.1.3 Minimale impact op veen

De impact op het veengebied is een losstaand criterium, waarin gelet wordt op wat de installatie betekent voor het landschap. Om de sterke eigenschappen van veen te behouden (hoofdstuk 3) is ingrijpen beperkt mogelijk, immers zorgt een verstoring van de grond voor een minder goed functioneren (interview R. Teumink, 2024).

De minimale impact van veen is in concept 4 het laagst, immers dit het enige concept is dat één funderingssysteem hanteert en de krachten direct op de zandlaag worden afgedragen. Bij de andere systemen wordt een dubbele fundering gehanteerd waarin de bak rust als het ware op de funderingsbalken. In concept 2 wordt het veen echter ook uitgegraven, waarmee het gehele functioneren van veen ten einde komt en het zelfs gaat oxideren, waarmee het in zijn geheel slechter scoort dan de overige concepten.

Different concepts	Leefbaarheid			duurzaamheid			Impact op veen
	Zichtbaarheid	Stabiliteit	Extreme omstandigheden	Levensduur	complexiteit	Type / hoeveelheid materiaalgebruik	Klimaat impact
1							
2							
3							
4							
5							

Tabel 13: waardeanalyse van amfibische constructie funderingen, gebaseerd op het werk van De Vries, 2024 (De Vries, 2024; bewerkt)

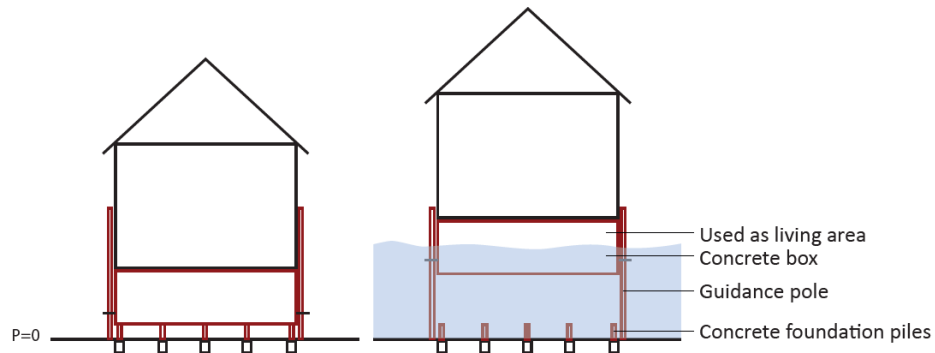
D.3.2.1.3 Gekozen funderingsconcept

Op basis van de drie criteria is er geen enkel concept dat in alle categorieën het best presteert. Echter, concept 1 is het meest gebalanceerd en consistent, omdat het nergens grote negatieve impact vertoont. Dit maakt concept 1 voor veengebieden een betrouwbare keuze, vooral als langdurige duurzaamheid de prioriteit heeft. Voor projecten waarin minimale impact op veen het belangrijkste criterium is, zou concept 4 de voorkeur moeten krijgen vanwege de beperkte ingreep in de bodem en het behoud van de natuurlijke eigenschappen van veen. Concept 3 zou een valide oplossing voor kleinere schaal zijn, echter is het nog maar de vraag of dit principe op grotere schaal ook toepasbaar is.

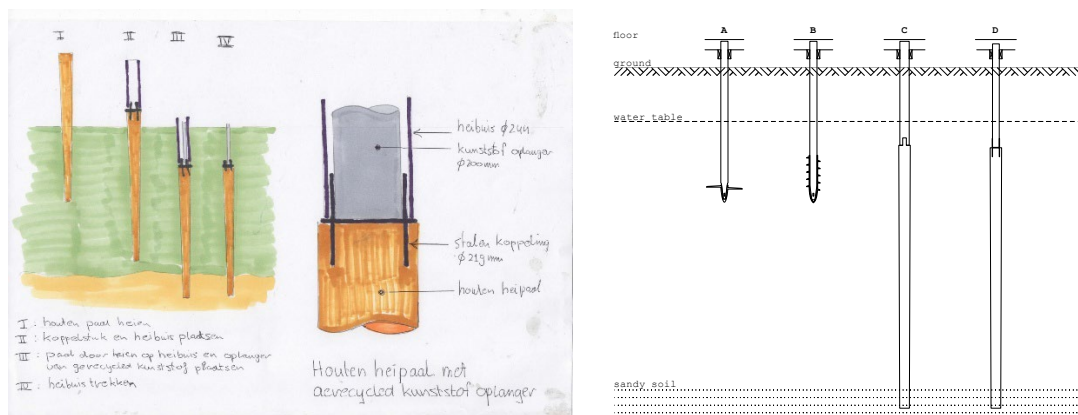
D.3.2.1.4 Funderingsmateriaal

De fundering van concept 1 bestaat uit drie onderdelen (figuur 38): de ponton (drijflichaam), de meerpalen (voor stabiliteit) en de funderingspalen (voor draagkracht). Beton lijkt de meest logische keuze voor het ponton, aangezien dit materiaal ook wordt gebruikt in bekende drijvende constructies zoals die in Maasbommel en bij The Floating Office in Rotterdam (hoofdstuk 1). De meerpalen zullen van staal zijn, omdat ze moeten kunnen glijden en trekbelasting aan moeten kunnen.

Volgens het onderzoek van De Vries zouden de funderingspalen van beton moeten zijn. Echter, met een APSSI-systeem (hoofdstuk 4.1) kan theoretisch het grondwaterpeil gedurende het hele jaar boven een bepaald niveau worden gehouden. Hierdoor wordt de implementatie van hout weer mogelijk. Om hout toe te passen zouden twee principes gevolgd moeten worden: de duurzame funderingsoplossing zoals toegepast bij The Natural Pavilion (figuur 39) en de aansluitende haalbaarheidsstudie hierop van La-di-Da Architects (figuur 39). Beide pleiten voor een houten fundering die zich onder het grondwaterpeil bevindt, gecombineerd met een kunststof of duurzame betonnen oplanger die zich bevindt op het fluctuerende grondwaterpeil, immers ondervindt kunststof geen paalrot wanneer blootgesteld aan zuurstof (*The Natural Pavilion - ABT Adviseurs in Bouwtechniek, 2024*).



Figuur 38: fundering van concept 1 (De Vries, 2024)



Figuur 39: (links) combinatie van houten funderingen en kunststof, zoals toegepast in the Natural Pavilion (*The Natural Pavilion - ABT Adviseurs in Bouwtechniek, 2024*) en (rechts) funderingen geïllustreerd volgens La-di-Da architects in optie D (La-Di-Da, n.d.)

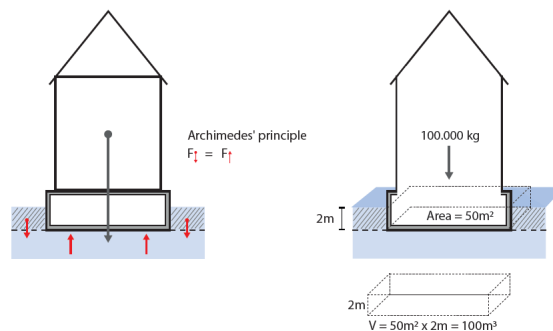
D.3.2.2 Lichtgewicht materialen en ponton

Naast het ophogen-en funderen van het gebied om de draagkracht en begaanbaarheid te vergroten dient er ook gekeken te worden naar de toepassing van lichte materialen om zo de samendrukbaarheid, en daarmee zetting van veen te minimaliseren. Door de statische belasting te minimaliseren (appendix D.1.1.3), treedt er minder zetting op, waarmee het onroerend goed een langere levensduur heeft.

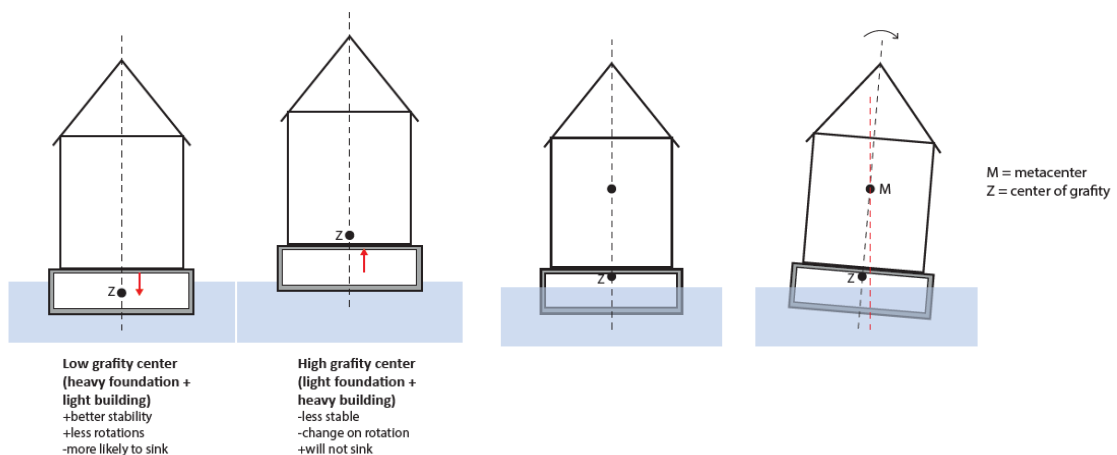
D.3.2.2.1 Ponton principes

Voor de implementatie van amfibische constructies is het ook van belang dat er lichte materialen gebruikt worden, immers de ponton moet kunnen drijven in perioden van extreme neerval. Om dit te illustreren zijn de bevindingen van de thesis van De Vries (2024) gebruikt, waarin de grootte van de pontons zijn berekend volgens het principe van Archimedes:

“The floating capacity and the depth of the pontoon can be calculated by a physical principle. A house weighing 100.000 kg displaces precisely the same weight of water. This fact dates back to Archimedes’ principle, which states that the upward force is equal to the weight of the volume of fluid displaced. 100.000 kg mass which pushes the water equals 100 m³ water which is pushed aside. When distributed across an area of 50 m², this results in a depth of two meters. Consequently, the house will not sink deeper.”



Met dit principe is een berekening gedaan met een lichte en zware constructie op dezelfde pontonafmetingen om de verhouding tussen diepteligging en gewicht te bepalen. Naast dat lichte gebouwen al bij een lagere waterstand drijven (appendix L.3), werd duidelijk dat het metacenter boven het zwaartepunt moet blijven om kanteling te voorkomen (figuur 40, rechts). Daarnaast geldt: hoe hoger het gebouw, hoe hoger het zwaartepunt en hoe lager de stabiliteit. Door de zwaarte in het ponton of de eerste verdieping te plaatsen, wordt het zwaartepunt verlaagd, wat de stabiliteit vergroot.



Figuur 40: principe van metacenter en zwaartepunt van amfibische constructies (De Vries, 2024)

D.3.2.2.2 Hout als lichtgewicht constructiemateriaal

Wat betreft type constructiematerialen heeft dit onderzoek zich beperkt tot de drie meest gebruikte structurele materialen: beton, staal en hout (Gupta, 2010). Het onderzoek van Glover et al. (2002) vergelijkt de milieueffecten van deze bouwmaterialen voor woningen. Door middel van een levenscyclusanalyse (LCA) is de totale energie-invoer van elk materiaal beoordeeld op basis van hoeveel joules per kilogram (GJ/kg) wordt opgeslagen. Vervolgens is ook gekeken naar de hoeveelheid materiaal die nodig was voor hetzelfde ontwerp met verschillende materialen. In tabel 14, gebaseerd op het onderzoek van Buchanan and Honey (1994).

Table 7. Mass and energy fractions of predominantly steel, concrete, and wood houses.								
House	Total mass (kg)	% of mass			Total energy (GJ)	% of energy		
		Steel	Concrete	Wood		Steel	Concrete	Wood
Steel	62,000	6.0	58.5	2.5	553	31.4	12.2	0.63
Concrete	64,000	3.8	84.1	5.4	396	22.5	26.6	2.19
Wood	28,000	2.6	57.9	24.9	232	11.0	13.7	19.5

SOURCE: Buchanan and Honey (1994).

Tabel 14: massa en energie van stalen, betonnen of houten huizen (Glover et al., 2002)

Het onderzoek stelt terecht dat het onmogelijk is om een huis volledig uit één materiaal te bouwen, waarbij toentertijd, beton een hoog % van de totale massa van een gebouw hield. In tabel 21 en tabel 22 zijn de materialen van de woning en samenstelling weergegeven, waarin te zien is dat de totale oppervlakte van de woning 460m² bevat.

Uit de resultaten blijkt dat het betonnen huis het zwaarste is (64,000kg), gevolgd door het stalen huis (62,000kg), terwijl het houten huis het lichtste is (28,000kg). Ondanks het lagere gewicht van het stalen huis verbruikt dit type de meeste energie (553 GJ), aanzienlijk meer dan beton (396 GJ) en hout (232 GJ). Elk huis gebruikt de meeste energie voor het bouw materiaal dat centraal staat in de constructie: staal neemt 31% van de totale energie in beslag bij een stalen huis, beton 26,6% bij een betonnen huis en hout 19,5% bij een houten huis (Glover et al., 2002).

Verder zijn er ook andere materialen die bijdragen aan het energieverbruik, zoals aluminium, glas en kunststof. Deze “overige” componenten verschillen per type huis, bijvoorbeeld door het gebruik van aluminium kozijnen in beton- en staalconstructies, terwijl houten huizen houten kozijnen gebruiken. De studie maakt duidelijk dat hout, door het lagere gewicht en energieverbruik, een efficiënt en milieuvriendelijk bouw materiaal is, met minder impact op de totale energiebehoefte in vergelijking met staal en beton (Glover et al., 2002).

Een recenter onderzoek van Van Der Lugt (2021), bevestigt daarnaast ook dat hout structureel niet onderdoet voor staal en beton: “Met de sterkte en stijfheid van de nieuwste massiefhout-systemen - op basis van op sterkte gesorteerd en vaak geoptimaliseerd hout - kan eenvoudig voldaan worden aan de eisen van het huidige bouwbesluit of kunnen deze eisen zelfs worden overtroffen. Sterker nog, door het lichte gewicht in combinatie met de relatief hoge sterkte, is (zeker geoptimaliseerd) hout structureel gezien één van de meeste efficiënte bouwmaterialen ter wereld.”

Beide studies benadrukken dat hout, dankzij het lagere gewicht en de lagere energiebehoefte een milieuvriendelijk alternatief is voor beton en staal voor veen. De studie van Van Der Lugt (2021) stelt zelfs dat hout structureel voldoet aan of zelfs beter presteert dan de alternatieve materialen. Hiermee is hout niet alleen efficiënt in termen van milieu-impact, maar ook een sterk en betrouwbaar bouw materiaal waarmee de samendrukbaarheid van veen gering blijft.

D.3.2.3 Biobased verbouwen

Zoals vermeld in appendix C.3 biedt paludicultuur een uitkomst om veenlandschappen klimaat adaptief in te richten. Paludicultuur is een vorm van biobased verbouwen, zoals beschreven in de handreiking van Mooi Nederland (2023). Zowel in dit rapport, als in de rapporten van het Planbureau voor de Leefomgeving (2016), en A&W ecologisch onderzoek et al., (2022) en in het interview met R. Temmink (2024), komt naar voren dat biobased verbouwen een goede strategie kan zijn om de inrichting van klassieke landbouw naar duurzame teelt economisch mogelijk te maken. Dit paper richt zich aan de hand van recente onderzoeken op of het mogelijk is om biobased gewassen toe te passen voor constructiematerialen. Door het landschap als een mozaïek van natte veen-eigen gewassen in te richten kan een gesloten circulair systeem ontworpen worden (boon Landscape, 2020), waarmee een productief landschap (Mooi Nederland, 2023) tot stand kan komen: *“De introductie van nieuwe teelten, teeltsystemen en landschapselementen leveren (schone) biobased bouwmaterialen op. Het type bodem is uitgangspunt bij het bepalen van teelten en teeltsystemen. Belangrijk is ook om niet de ene monocultuur te vervangen door de andere, maar om juist te komen tot een rijk en gevarieerd landschap.”*

In de appendix van C.3 is beschreven wat de voordelen op ecologisch gebied zijn van biobased gewassen op veen. Echter is er nog niet gekeken naar welke gewassen kunnen dienen als bouwmaterialen. Om het aantal type gewassen af te kaderen beperkt dit onderzoek zich tot hetzelfde principe als beschreven in het handboek van Stichting Bouwtuin (2022). Hierin is gekeken naar hoe prefab elementen van houtskeletbouw opgebouwd kunnen worden met materialen uit de omgeving, wat in lijn is met de conclusie uit D.3.2.2.2: het gebruik van hout als licht constructiemateriaal.

Voor de opbouw van de houtskeletbouwelementen is uitgegaan van een dampopen constructie, zodat vochtige lucht door de constructie heen de woning kan verlaten. Het onderzoek onderscheidt hierin drie elementen: de gevel, vloer en dakelementen, elk opgebouwd uit drie lagen waarvoor de materialisering is opgezocht: de constructie, de isolatie en de afwerking (Stichting Bouwtuin, 2022).

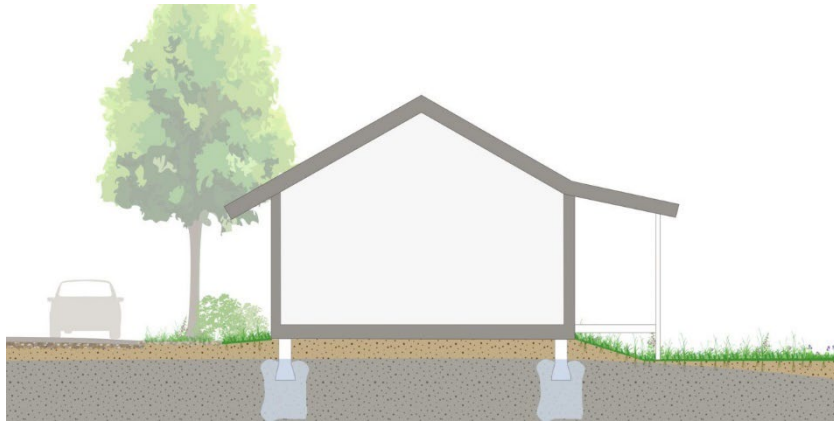
Naast een verdeling van de verschillende elementen is ook gekeken naar de benodigde grondwaterpeil voor deze gewassen, waarmee het landschap later ingedeeld kan worden. Naast paludicultuur zijn er ook teeltvormen als agroforestry, bredere teeltoratie, strokenteelt en bosbouw mogelijk wanneer de grond niet enkel uit veen bestaat (Mooi Nederland, 2023). Met het toepassen van verschillende gronden is het in theorie mogelijk om een gebied circulair met streekmaterialen te voorzien. In tabel 15 is weergegeven dat voor de afwerking en isolatie voldoende mogelijkheden zijn op veengrond. Voor de houtskeletbouw pleit Stichting Bouwtuin (2022) voor het gebruik van regionaal douglas, immers er geen houtsoorten groeien op veen die qua eigenschappen geschikt zijn voor een dragende constructie. Variatie is hierin mogelijk met andere teeltvormen (Mooi Nederland, 2023).

Onderdeel	Materiaal	Laag	Toepassing	Hoogte grondwaterpeil
Veengrond - Bouwtuin (2022) & Mooi Nederland (2023)				
Houtsoorten	Douglas (regionaal product)	Constructie	Houtskeletbouw	n.v.t.
	Els	Constructie	Funderingspalen	(-0,20m +0.10m)
	Wilg	Isolatie / afwerking	Geperste wilgkorrels/ Vlechtwerk	(-0,20m +0.20m)
	Berk	Afwerking	Interieur	(-0,20m +0.10m)
	Es	Afwerking / constructie	Vloeren / Trappen	(-0,20m +0.10m)
Vezels	Lisdodde	Isolatie / Afwerking	Plaatmateriaal (Typhaboard), isolatievezels	(-0,20m +0.20m)
	Riet	Isolatie / Afwerking	Isolatievezels, Dakbedekking	(-0,20m +0.10m)
	Olifantsgras	Afwerking	Vezels voor vezelstuc	(-0,20m +0.10m)
Aarde	Gehydrateerd veenslib	Afwerking	Stuc	n.v.t.

Tabel 15: verschillende mogelijkheden teelt in veengebieden (Bouwtuin, 2022; Mooi Nederland, 2023)

D.3.2.4 Kruipruimteloos bouwen

De laatste maatregel in de constructie is het toepassen van *kruipruimteloos bouwen* (figuur 41) om daarmee de grondwaterbeheersing van veen beter mogelijk te maken. Bij bouwen zonder kruipruimte met waterdichte vloer wordt het mogelijk om het grondwater tot een hoger punt te laten komen zonder dat er vochtbeschadiging optreedt (Groenblauwe Netwerken, no date). Dit is in lijn met de opzet van een amfibische fundering, waarin er met een betonnen ponton wordt gewerkt dat gaat drijven bij overstromingen.



Figuur 41: kruipruimteloos bouwen, waarmee grondwaterpeil hoger kan staan (Groenblauwe Netwerken, n.d.)

Dit vraagt wel om andere eisen voor de riolering en isolatie. Voor de riolering is extra aandacht nodig omdat de leidingen onder de vloer moeilijk bereikbaar zijn. In paragraaf D.3.3.2 is gekeken naar hoe de leidingen en kabels het beste voor amfibische constructies, en daarmee dus kruipruimteloze gebouwen, toegepast kunnen worden.

D.3.2.5 Conclusie

Voor de constructie zijn drie maatregelen beschreven hoe er beter op veengrond gebouwd kan worden. Uit dit onderzoek blijkt dat het combineren van amfibische funderingen (en daarmee kruipruimteloos bouwen), lichtgewicht materialen en biobased verbouwen een solide basis biedt voor de constructie in veengebieden.

Een amfibische fundering biedt een uitkomst om het gebied nat te houden terwijl de draagkracht niet verloren gaat. Van belang hierbij is dat de amfibische fundering ook stabiliteit, duurzaamheid en een minimale verstoring op het veen moet bieden om de functionaliteit van waterberging en CO₂ opslag door te laten gaan. Uit de vergelijking in D.3.2.1.3 is naar voren gekomen dat een eenvoudige betonnen bak op houten fundering (concept 1) het meest gebalanceerd en geschikt lijkt.

Lichte materialen helpen de samendrukbaarheid (en daarmee zetting) van het veen te minimaliseren en verhogen de stabiliteit van amfibische constructies. Hout is duurzamer en energiezuiniger dan beton of staal, maar voldoet ook aan de eisen van moderne bouwstandaarden (D.3.2.2.1). Daarnaast, door het zwaartepunt van het gebouw slim te positioneren, wordt ook de drijfkracht en veiligheid van de amfibische pontons verbeterd (D.3.2.2.1).

Tot slot is er gekeken naar het toepassen van biobased gewassen in een veengebied om een gesloten circulair systeem te krijgen. Hierbij is gekeken welke bouwgewassen als bouw materiaal kunnen dienen om deze bij te laten dragen aan een veerkrachtig landschap en minder afhankelijkheid van externe bronnen (D.3.2.3).

D.3.3 Infrastructuur

D.3.3.1 Primaire-en secundaire infrastructuur

Zoals beschreven in paragraaf D.3.1.3 is er voor de primaire infrastructuur gekozen om met schuimglas op te hogen om zo de begaanbaarheid te verhogen en de samendrukbaarheid te verlagen. Echter bleek ook dat het integraal ophogen van een gebied ten *nadele* is voor de werking van veen en financieel onaantrekkelijk (D.3.1.1). Als oplossing hiervoor is gekozen voor een primaire-en secundaire infrastructuur, zoals in lijn met de *Strategische uitgangspunten voor Bodembestendige nieuwbouw* van Sweco (2024). Daarin staat het volgende vermeld:

Primaire infrastructuur

De route door een gebied die zorgt voor de hoofdontsluiting (evacuatie). De primaire infrastructuur dient zettingsbestendig te zijn, waarmee gekozen kan worden voor lichte ophogingsmaterialen. schuimglas. Tijdens de woonbouwfase kunnen op de infrastructuur zware machines en kranen rijden. In de verdere fases biedt deze infrastructuur toegang tot ambulances, vuilniswagens etc.

Secundaire infrastructuur

Minder vitaal en met minder grote gevolgen wanneer bodemdaling plaatsvindt. Dit betreft de route van de primaire infrastructuur naar de voordeur van de woning toe. Voorbeelden hiervan zijn fietspaden, voetpaden, parkeerplaatsen etc. Als mogelijkheid hiervoor komen plastic roads (D.3.1.3) of steigers, zoals beschreven in het plan van Veenetië in beeld (Gemeente Woerden et al., 2019). Steigers zouden voor amfibische woningen het meest realistisch zijn, immers deze mee kunnen bewegen met water.

D.3.3.2 Kabels en leidingen

Wat betreft de kabels en leidingen is het voor de primaire infrastructuur van belang dat de kabels en leidingen bodemdaling bestendig zijn (Sweco, 2024). Dit gaat om kabels en leidingen voor elektra, warmtevoorziening, data, drinkwater, regenwater en riolering. Oplossingen hiervoor zijn flexibele nutsaansluitingen en leidingen in flexibele / beschermende kokers, zoals gerealiseerd in de projecten Schoonschip en Maasbommel (appendix A.3). Voor de secundaire infrastructuur kan eveneens deze twee projecten als het voorbeeld van Veenetië worden gevolgd (Gemeente Woerden et al., 2019): *Allereerst moet de aansluiting op de drijvende woningen flexibel zijn omdat de woningen meebewegen met het waterpeil en een gefundeerde steiger niet. Ten tweede kan een waterleiding in de buitenlucht snel opwarmen wat gezondheidsrisico's (legionella) met zich meebrengt, anderzijds mag de leiding niet bevriezen. Dit is opgelost met een automatisch, temperatuurgestuurd, doorspoelregime van de leiding. Tenslotte moeten de kabels en leidingen bereikbaar zijn voor onderhoud. Daartoe is de steiger uitgevoerd met een afgedekte leidinggoot.*

D.3.4 Grondwaterstandsbeheersing

De beheersing van grondwater is gedurende het hele bouwproces van belang voor zowel de begaanbaarheid, draagkracht en samendrukbaarheid. In tabel 16 is te zien dat de grondwaterbeheersing zich richt op de drainage en het bergingsvermogen van veen.

D.3.4.1 SSI-Drainage

Met behulp van de SSI-drainage (hoofdstuk 4.1) is het mogelijk om de grondwaterstand te reguleren. Voor verschillende aspecten is dit van belang (begaanbaarheid verbeteren, draagkracht verbeteren, samendrukbaarheid verlagen). Tijdens het bouwrijp maken van het gebied is grondwater niet gewenst, immers een natte ondergrond zorgt voor inrijding en onbegaanbaarheid van het gebied (D.1.1.1). Door tijdelijk het grondwater in de bouwrijpfase te verlagen wordt het gebied beter begaanbaar, waarmee eenvoudiger de primaire infrastructuur en de fundering geregeld kan worden (D.3.3). Zodra deze gelegd zijn, is het van belang om het grondwaterpeil weer te verhogen om tijdens de woningbouw-en woonrijpfase op verschillende niveaus te krijgen (Odie, 2009). In tabel 8 zijn deze niveaus te zien. Het principe van een SSI-systeem is uitgelegd in paragraaf C.1.

D.3.4.2 Bergingsvermogen

Het behoud van het bergingsvermogen is van invloed op het behoud van de sterke eigenschappen van veen. De oplossing van berging in veen zit in het toepassen van een APS (hoofdstuk 4) en het gebruik van de natuurlijke eigenschappen.

D.3.5 Conclusie

In deze paragraaf is gekeken naar verschillende constructie-technieken en materialen die aansluiten op de maatregelen zoals beschreven in paragraaf D.2.6. De vier beschreven constructietechnieken – ophoging, constructie, infrastructuur, en grondwaterstandsbeheersing – bieden gezamenlijk een holistische benadering die niet alleen technische uitdagingen adresseert, maar ook bijdraagt aan duurzaamheid en klimaatadaptatie.

Wat betreft de ophoging in veen blijkt de cunettenmethode het meest geschikt voor ophoging in veenlandschappen. Door gebruik te maken van materialen zoals schuimglas wordt niet alleen bodemdaling beperkt, maar ook waterberging en CO₂-opslag mogelijk gemaakt. Innovatieve materialen zoals plastic roads en biobased producten bieden interessante perspectieven voor secundaire infrastructuur, hoewel verdere technische validatie nodig is.

Voor constructie benadrukken amfibische funderingen, gecombineerd met lichte en biobased materialen, de mogelijkheid om veen nat te houden en tegelijk functionele bouwoplossingen te bieden. Dit bevordert een circulaire benadering waarbij natuurlijke processen worden geïntegreerd in de bouwstrategie.

Infrastructuur wordt opgesplitst in primaire en secundaire structuren. Schuimglas en flexibele aansluitingen zijn cruciaal voor de primaire infrastructuur, waarin zetting niet mag plaatsvinden. Innovatieve materialen en oplossingen, zoals steigers (meebewegen met amfibische fundering) en plastic roads zijn waardevolle opties voor secundaire toepassingen waarin zetting minder bepalend is. Kabels en leidingen dienen flexibel en eenvoudig onderhoudbaar te zijn om met de dynamische eigenschappen van het veen mee te bewegen.

Grondwaterstandsbeheersing is een randvoorwaarde gedurende het hele proces. Het SSI-drainagesysteem biedt de mogelijkheid om de grondwaterstand aan te passen aan verschillende bouwfasen, terwijl het behoud van bergingsvermogen essentieel is voor de duurzaamheid van het gebied. Het APSSI-systeem integreert waterbeheer met veeneigen kwaliteiten, wat zowel begaanbaarheid als CO₂-opslag bevordert.

D.4 Conclusie

Dit hoofdstuk had als doel om de volgende deelvraag te beantwoorden: *‘Met welke maatregelen kunnen de bodemeigenschappen van veenlandschappen klimaatbestendig worden ingezet voor amfibische bouw, kijkend naar de bouwrijp-, woningbouw- en woonrijpfase?’*.

Allereerst was het van belang om te bepalen wat de bodemeigenschappen van veen zijn en wat deze inhielden. Door het organische gehalte heeft veen als bodemeigenschappen een hoge samendrukbaarheid, een lage draagkracht, slechte begaanbaarheid en een kleine doorlatendheid, waarmee bouwen lastig wordt. Tegelijkertijd biedt veen kansen door het hoge vochthoudend vermogen en de mogelijkheden tot CO₂-opslag en waterbuffering.

Vervolgens is gekeken hoe deze uitdagende bodemeigenschappen van veen het beste aangepakt kunnen worden, waarop vier categorieën van maatregelen zijn geïdentificeerd (tabel 16): **ophoging, constructie, infrastructuur** en **grondwaterstandsbeheersing**.

5. Ophoging

Voor ophoging in veenlandschappen is de cunettenmethode de meest geschikte techniek (appendix D.3.1.3). Door gebruik te maken van lichte ophoogmaterialen, zoals schuimglas, worden zettingen beperkt en blijft het waterbergend vermogen van het veen behouden. Schuimglas combineert meerdere voordelen:

- Licht gewicht om zettingen te voorkomen.
- Hoge sterkte voor primaire infrastructuur.
- Hoog waterbergend vermogen voor klimaatadaptatie.
- Duurzaamheid door het gebruik van gerecycled glas.

6. Constructie

Amfibische bouw biedt een innovatieve oplossing om het veen nat te houden, terwijl zettingen en verlies van draagkracht worden geminimaliseerd. Door te bouwen met amfibische funderingen, lichte materialen en biobased producten kunnen gebouwen meebewegen met een klimaat adaptief veenlandschap.

- Amfibische funderingen zorgen voor een minimale impact op het veen, terwijl CO₂-opslag en waterberging worden ondersteund.
- Lichte bouwmaterialen, zoals hout, verminderen de belasting op het veen en verhogen de stabiliteit van constructies.
- Biobased bouwgewassen dragen bij aan een circulair systeem waarin lokale middelen worden benut, wat de afhankelijkheid van externe bronnen vermindert.

7. Infrastructuur

De infrastructuur in veenlandschappen moet flexibel en adaptief zijn om de dynamische aard van de bodem te kunnen volgen. Voor primaire infrastructuur, waar zettingsvrijheid essentieel is, zijn schuimglas en flexibele aansluitingen cruciaal. Voor secundaire infrastructuur, zoals voetpaden en fietspaden, bieden materialen zoals plastic roads en drijvende steigers een combinatie van duurzaamheid, waterbeheer en flexibiliteit. Daarnaast is het belangrijk dat kabels en leidingen flexibel en eenvoudig onderhoudbaar worden ontworpen om mee te bewegen met het veen.

8. Grondwaterstandsbeheersing

Grondwaterbeheer vormt een essentiële randvoorwaarde in het bouwproces. Het SSI-drainagesysteem biedt een dynamische methode om de grondwaterstand aan te passen aan de eisen van verschillende bouwfasen. Tegelijkertijd draagt het APSSI-systeem bij aan een geïntegreerd waterbeheer, dat niet alleen de begaanbaarheid en stabiliteit bevordert, maar ook

bijdraagt aan CO2-opslag en klimaatadaptatie. Het behoud van het waterbergend vermogen is cruciaal om het veenlandschap duurzaam te maken.

Categorie	Belangrijkste maatregelen	Voordelen
Ophoging	Cunettenmethode met lichte materialen zoals schuimglas	- Beperkt zettingen - Behoudt waterbergend vermogen - Duurzaam en circulair (gerecycled glas) - Lange levensduur (>50 jaar)
	Gebruik van innovatieve materialen zoals plastic roads (secundaire infrastructuur) of steigers	- Hoge waterberging - Circulair en flexibel - Geschikt voor minder zware belasting
Constructie	Amfibische funderingen die stabiliteit bieden en het veen nat houden	- Minimaliseert impact op veen - Ondersteunt waterberging en CO2-opslag
	Lichte bouwmaterialen, zoals hout, om belasting te minimaliseren	- Vermindert zettingen - Verhoogt stabiliteit van constructies
	Toepassing van biobased bouwgewassen voor circulaire en lokale oplossingen	- Bevordert duurzaamheid - Vermindert afhankelijkheid van externe bronnen
Infrastructuur (woningbouw fase)	Gebruik van schuimglas en flexibele aansluitingen voor primaire infrastructuur	- Beperkt zettingen - Verhoogt stabiliteit
	Innovatieve oplossingen zoals plastic roads en drijvende steigers voor secundaire infrastructuur	- Flexibel en geschikt voor dynamische bodems - Ondersteunt waterbeheer en duurzaamheid
	Flexibele kabels en leidingen die meebewegen met het veen	- Minimaliseert onderhoudsproblemen
Grondwaterstands-beheersing	- Gebruik van het SSI-drainagesysteem voor dynamische drainage	- Past grondwaterstand aan bouwfases aan - Behoudt stabiliteit en begaanbaarheid
	- Gebruik van het APSSI-systeem voor geïntegreerd waterbeheer	- Bevordert klimaatadaptatie - Ondersteunt waterberging en CO2-opslag - stabiliseert grondwaterpeil

Tabel 16: categorisatie van maatregelen om bodemeigenschappen van veen te versterken (eigen bron)

De unieke eigenschappen van veenlandschappen vereisen een holistische benadering waarin innovatieve technieken en materialen worden ingezet om zettingen te minimaliseren, draagkracht te vergroten en waterbeheer te optimaliseren. Door de combinatie van ophogingstechnieken, lichte en biobased materialen, flexibele infrastructuur en dynamisch grondwaterbeheer wordt het mogelijk om klimaatbestendig te bouwen in veengebieden. Deze geïntegreerde strategie biedt niet alleen een antwoord op de technische uitdagingen van veen, maar ondersteunt ook een duurzame en circulaire ontwikkeling, waarbij het natuurlijke karakter van het veenlandschap behouden blijft.

E. Kenmerken van de belangrijkste typen wetlands in Nederland in 1991:

System Type	Water Table	Movement	Nutrient Source	Characteristic important for conversation
<i>Coastal systems</i>				
Wadden sea and Delta areas	Fluct. (1.5-4 m)	Strong current	Atm. deposition, water transport	Sand-, tidal flats, creeks and open water
Salt Marshes	(Ir)regular inundation	Depending on tide	Atm. deposition, sedimentation	forage and breeding area for water fowl
<i>Large river systems</i>				
<i>Rhine and Meuse basins</i>				
water	Fluct.	Strong current	Atm. deposition, large catchment area	Open, fast flowing waters, relatively poor in plankton and fish
river flood plains	Spring and winter inundation	Small, strong current at inundation	Atm. deposition, river sediment, and -water	Natural levees and hollows, covered by grassland and scrubs between summer bedding and winter dikes
former river branches	Small fluct., occasional to regular inundation	Small; strong current at inundation	Atm. deposition, groundwater sometimes, river water	Areas of extensive marshes and shallow open water developed in the standing water of the floodplains
IJsselmeer	Small fluct.	Flow and wave action depend on local hydrol. and fetch	River water, precipitation	Shallow open water, forage area for waterfowl
<i>Base-rich/freshwater systems</i>				
Fen mires	Fluct. < 1m	Small or absent	Atm. deposition, river water, pollution by agriculture and sewage, soil mineralization after drainage	Species-rich marshy areas dominated by sedges, situated in agricultural landscape; often developed on former peat excavations
Fen lakes	Fluct. < 1m	Flow and wave action depend on local hydrol. and fetch	Atm. deposition, river water, pollution by agriculture and domestic wastewater	Shallow open water, forage and breeding area for waterfowl
Wetlands recent embankments	Small fluct.	Small or absent	Atm. deposition, surface water, groundwater	Large swamps dominated by reed; breeding and overwintering area for waterfowl
<i>Base-poor freshwater systems</i>				
Bogs	Near surface	Slow seepage	Atm. Deposition, soil mineralization after drainage	Hummocks and hollows in flat landscape; vegetation dominated by Spaghnum species
Moorland Pools	Small fluct.	Small or absent	Atm. Deposition, bird excrement, sometimes surface water	Shallow pools in formerly extensive moorlands; aquatic flora dominated by desmids and
Stream valleys	Large fluct.	Strong current	Atm. Deposition, regional drainage, pollution by agriculture	Small streams accompanied by grasslands; most original forest lost
Wet dune slacks	Small fluct.	Small, increased by river water infiltration	Atm. Deposition, infiltration water, ground water, salt spray	Oblong valleys between high dunes; characteristic species-rich vegetation

Tabel 17: Kenmerken van de belangrijkste typen wetlands in Nederland in 1991. Naar Bosatlas (1976), De Bakker & Locher (1991) en diverse bijdragen in deze uitgave.

F. Thematische maatregelen

Thema	Maatregelen	Beoogde emissiereductie (Mton CO ₂ -eq)	Financiering 2020-2030 (mln. €)
Veehouderij	Precisiebemesting melkveehouderij Emissiearme melkveestallen en varkensstallen Levensduurverlenging en selectie melkvee Geïntegreerde aanpak uitstoot methaan en ammoniak Onderzoek nitrificatieremmers Varkenshouderij duurzame stalsystemen Warme sanering varkenshouderij Kunstmestvervanging Kennis en ontwikkeling	1,2 – 2,7*	252
Veehouderij rondom Natura2000-gebieden	Maatregelen ter versterking van natuurwaarde in Natura2000-gebieden Maatregelen voor de veehouderijsector		100
Veenweidegebieden	Impuls aanpak veenweiden Pilots en demo's Uitrol maatregelen Maatregelen (agrarische) natuur Ontwikkelen verdienmodellen	1,0	276
Landbouwbodems en vollegrondsteelt	Pilots, kennisverspreiding, technische innovaties, opleiding adviseurs	0,4 – 0,6	28
Bomen, Bos en Natuur	Bossenstrategie Verminderen ontbossing in N2000 Klimaatlim beheer Inrichting rijksgronden landschapselementen	0,4 – 0,8	51
Glastuinbouw	Intensivering programma Kas als Energiebron EG-regeling Kas als Energiebron Extra geothermie Restwarmte Elektrisch verwarmen	1,8 – 2,9	250
Voedselverspilling, reststromen en biomassa	Advisering ondernemers over kringlooplandbouw Tegengaan voedselverspilling	0,0	13

* waarvan tenminste 1 Mton CO₂-eq aan emissiereductie methaan (conform regeerakkoord)

Tabel 18: Overzicht van maatregelen, gericht op emissiereductie en beoogde financiering in de klimaatovereenkomst van Nederland, 2019 (Ministerie van Algemene Zaken, 2019)

G. Pilot Bloemenbuurt Rotterdam

In de Bloemenbuurt in Rotterdam werd in 2016 per toeval het concept van een drukdrainagepompsysteem ontdekt tijdens de vervanging van het riool in de Ceintuurbaan. Toen een DI (drainage-infiltratie) pijp per ongeluk werd vergeten tijdens de werkzaamheden, bleek het gewenste grondwaterpeil niet te kunnen worden gehandhaafd. Dit inspireerde een bewoner om het idee te opperen om oppervlaktewater aan het grondwater toe te voegen om te zien of dit het grondwaterpeil zou verhogen. Tijdens de installatie van een DI-systeem werd de aannemer gevraagd om water mechanisch in de DI-pijpen te pompen in plaats van het via het riool af te voeren. Metingen toonden een succesvolle stijging van het grondwaterpeil met 12 cm, wat leidde tot de implementatie van deze aanpak.

Overzicht van het pilotproject

Op basis van deze bevindingen werd een pilotproject gestart in de Bloemenbuurt om het grondwaterpeil boven het niveau van het oppervlaktewater te houden en houten funderingen te beschermen tegen houtrot. De Bloemenbuurt en Gravenbuurt beslaan samen een oppervlakte van 23 hectare met 1220 woningen, waarvan 800 risico liepen op funderingsherstel door lage grondwaterstanden.

Het pilotproject maakt gebruik van een pressurized DI-systeem, geïllustreerd in Figuur 43. Oppervlaktewater wordt mechanisch in het systeem gepompt via een inlaatstructuur genaamd de "ontvangstput" (aangegeven als #2 in Figuur 43). Direct hierachter regelt een monitorings- en regelpomp de pomp, die wordt geactiveerd wanneer de waterstanden onder een ingestelde drempel zakken. Het systeem bevat hoofdleidingen met een diameter van 50 cm en zijleidingen met een diameter van 31,5 cm, die 12 tot 15 m³ water per uur kunnen leveren. Dit komt overeen met 1,9 tot 2,4 mm/dag, verspreid over de hele Bloemenbuurt (Gemeente Rotterdam, 2021), met een maximale afstand tussen de leidingen van ongeveer 30 meter (Figuur 44). Het ontwerp van het systeem was gebaseerd op een waterbehoefte van 1,5 mm/dag, berekend met behulp van neerslagdata van het KNMI (*KNMI - Verdamping in Nederland*, no date). Dit omvat 1,0 mm voor verdamping en 0,5 mm voor infiltratie. Met een gezamenlijke oppervlakte van 23 hectare voor de Graven- en Bloemenbuurt resulteert dit in een berekende waterbehoefte van 15 m³ per uur (Gemeente Rotterdam, 2021).

Door het waterniveau in de drainageputten hoger te houden dan het niveau van het oppervlaktewater, wordt druk gecreëerd die het grondwaterpeil in de hele wijk verhoogt.

Seizoensgebonden waterstanden

Om de gewenste grondwaterstanden te bereiken, werd het systeem gekalibreerd om het waterpeil gedurende het hele jaar boven het oppervlaktewaterniveau te houden. In de zomer werd het waterpeil ingesteld op 20 cm hoger (operatiebereik: NAP -2,75 m tot NAP -2,65 m), terwijl het in de winter 10 cm hoger was (NAP -2,85 m tot NAP -2,75 m). Wanneer het waterpeil te hoog wordt, kan het DI-systeem het water via de uitlaat van de pomp terugvoeren naar de Erasmussingel, waardoor het systeem in twee richtingen werkbaar is.

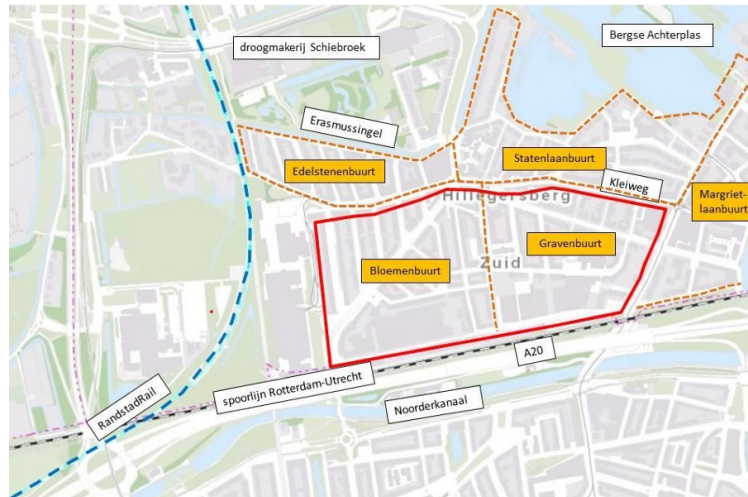
Resultaten en conclusies

Na vijf jaar konden duidelijke conclusies worden getrokken uit het pilotproject, ondanks de uitzonderlijk warme jaren 2019, 2020, 2021 en 2022 (Koetsveld, 2023). Gedurende deze periode zakte het grondwaterpeil nooit onder NAP -2,85 m. De gemeente Rotterdam formuleerde drie belangrijke conclusies (Gemeente Rotterdam, 2021):

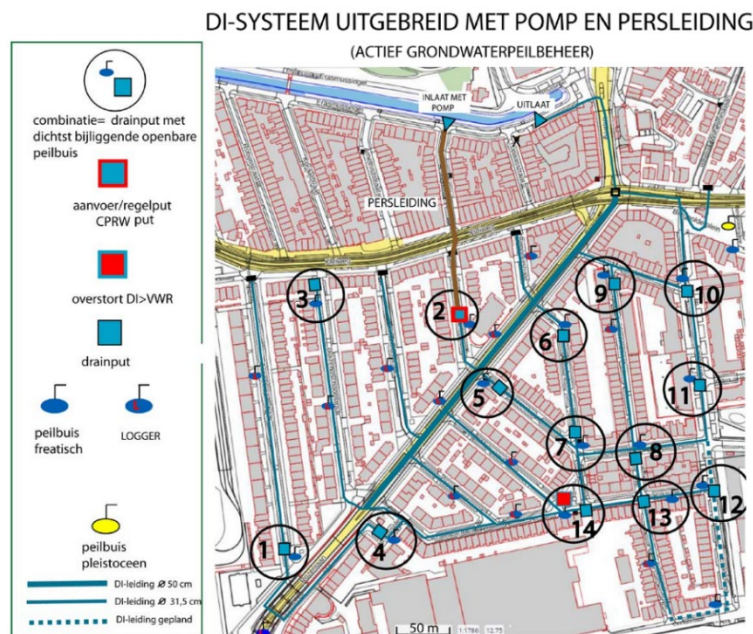
1. **Effectieve beheersing van waterstanden:** De pomp slaagde erin het gewenste waterpeil in de DI-pijpen te handhaven.
2. **Overwegingen met betrekking tot waterbehoefte:** De geschatte waterbehoefte door verdamping en infiltratie (1,5 mm/dag in droge periodes) bleek grotendeels accuraat. Het ontwerp hield echter geen rekening met grondwateronttrekking door bewoners, lekkages uit

riolen, extreem droge zomers of grensoverschrijdende grondwaterstroming, wat leidde tot een iets hogere waterbehoefte tijdens droge periodes (1,9–2,4 mm/dag in 2019).

3. **Funderingsbescherming:** Tijdens de droge zomer van 2019 was er weinig tot geen blootstelling van houten funderingen, behalve in gebieden waar grondwater werd onttrokken of afgevoerd. Grondwaterstanden varieerden in de wijk, met sommige gebieden dicht bij de DI-pijpwaterstanden en andere ongeveer 10 cm lager.



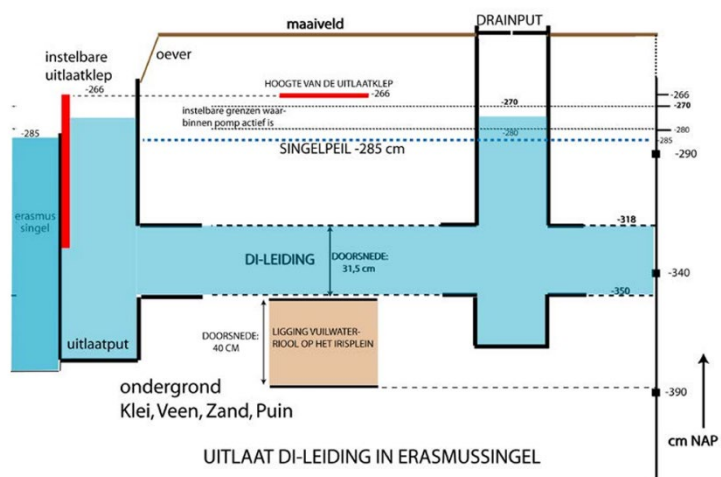
Figuur 42: locatie Bloemenbuurt (Koetsveld, 2023)



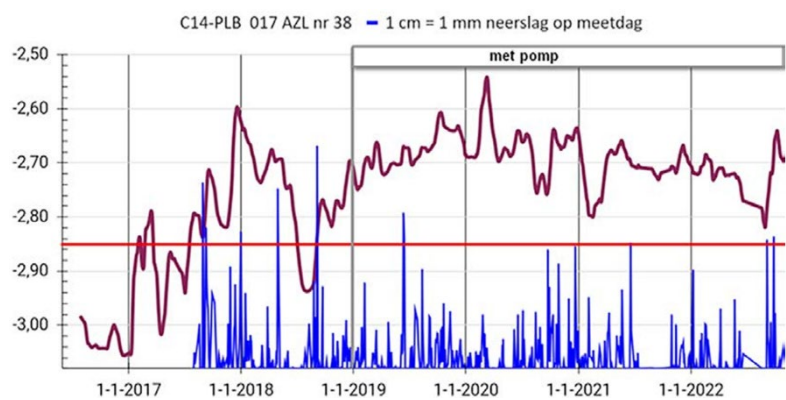
Figuur 43: DI-systeem van de Bloemenbuurt (Koetsveld, 2023)



Figuur 44: Langste afstand tussen DI-leidingen in de Bloemenbuurt (Google Maps)



Figuur 45: Uitlaat verstelbare klep DI-leiding (Koetsveld, 2023)



Figuur 46: Resultaten van de pilot waterpomp (Koetsveld, 2023)

H. Aquifer Pressure System – (Fieldfactors, n.d.)

Fieldfactors heeft een systeem ontwikkeld om water op een intelligente manier op te slaan in stedelijke gebieden, waarmee twee belangrijke uitdagingen worden aangepakt (Figuur 47):

- **Afvoer van regenwater:**
 - Zeer dichtbebouwde gebieden met hoge grondwaterstanden en geen oppervlaktewater.
- **Retentie van regenwater:**
 - Stabiele grondwaterstanden.
 - Periodes van droogte.
 - Besparing op drinkwatergebruik.

Om deze twee problemen aan te pakken, heeft Fieldfactors een circulair watersysteem ontworpen met de volgende aanpak: *"In plaats van regenwater in het riool te lozen, kun je het tijdens een wolkbreuk in de bodem opslaan en later gebruiken in tijden van droogte. Zo bescherm je de stad tegen overstromingen en hittestress, terwijl je veel drinkwater bespaart."* (Fieldfactors, n.d.).

Voor dit concept zijn vier processen ontwikkeld, zoals weergegeven in Figuur 47:

1. Collectie / opvang:

Dit proces omvat het opvangen van water om het naar de retentiebekkens te leiden. Dit gebeurt in elk gebied waar regenwater wordt benut, maar natere gebieden kunnen meer water opvangen.

2. Behandeling / retentie:

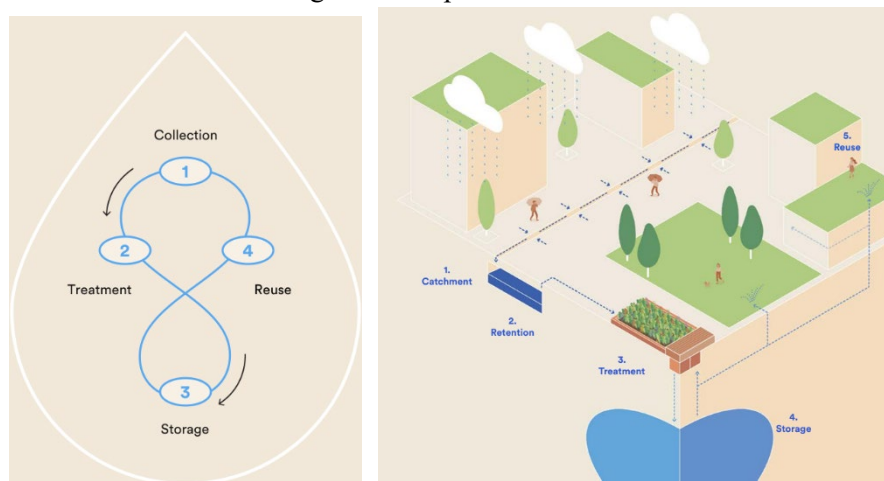
Het water wordt verzameld, in de grond vastgehouden en vervolgens gezuiverd. Fieldfactors ontwikkelde hiervoor de Bluebiofilter, die het water filtert. Het gefilterde water wordt vervolgens door de Bluehub, de centrale controle-unit van het systeem, in opslag gepompt en later opgevraagd wanneer nodig.

3. Opslag:

Het behandelde water wordt via een infiltratieput van ongeveer 30 meter diep in de ondergrond opgeslagen. Het product dat hierbij hoort is de Bluewell. De Bluewell is een verticale infiltratiemethode voor het opslaan van gezuiverd water uit de Bluebiofilter in een zandlaag ondergronds.

4. Hergebruik:

Wanneer het water klaar is voor gebruik, wordt het via de Bluewell uit de grond gehaald. Het wordt vervolgens door de Bluehub over het gebied verspreid.



Figuur 47: Fieldfactors' circulaire water systeem (Fieldfactors, n.d.)

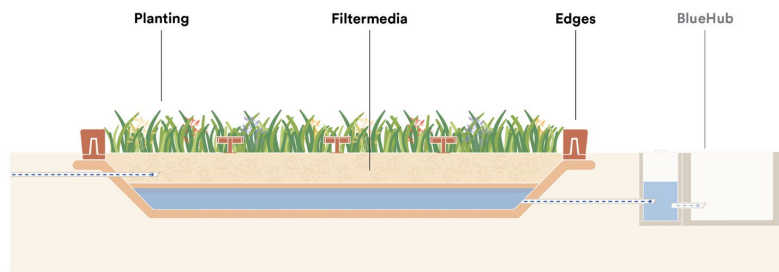
In de procesbeschrijving worden drie producten uitgelicht die door Fieldfactors zijn ontwikkeld

Bluebiofilter

De **Bluebiofilter** is een bassin waarin water uit de omgeving wordt verzameld, gefilterd en vervolgens via de **Bluehub** naar de opslag wordt geleid. Het filtratieproces voldoet aan de Europese waterkwaliteitsnormen. Volgens Fieldfactors: *"Infiltratieputten vereisen regelmatig onderhoud. Regen- en oppervlaktewater bevatten fijne materialen die zich kunnen ophopen bij de filters van de put, waardoor infiltratie wordt verhinderd. De Bluebiofilter is ontworpen om zwevende deeltjes te verwijderen en verstopping van de infiltratieput te voorkomen."* (BlueBiofilter - FieldFactors, n.d.).

De **Bluebiofilter** heeft de volgende kenmerken:

- **Minimale grootte:** 30 m²
- **Diepte:** 1,1 meter onder het maaiveld
- **Debiet:** Maximaal 20 m³ per uur
- **Functionaliteit:** Geautomatiseerd en gecontroleerd
- **Ontwerp:** Vandalismebestendig



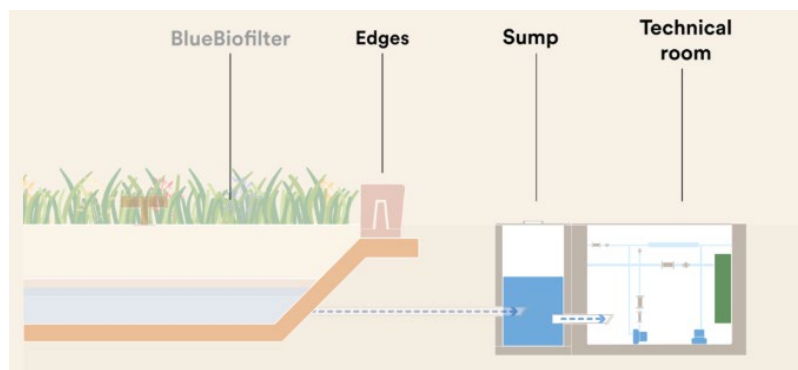
Figuur 47: Functionaliteit van een Bluebiofilter (BlueBiofilter - FieldFactors, n.d.)

Bluehub

De **Bluehub** is ontworpen om de Bluebloqs regenwaterhergebruiksystemen actief te bedienen. Het fungeert als een controlepaneel dat een set sensoren en actuatoren integreert met een geavanceerd operationeel regime. Volgens Fieldfactors: *"De Bluehub is ontwikkeld om een soepele en efficiënte werking van waterbeheersystemen te garanderen."* (BlueHub - FieldFactors, z.j.).

De **Bluehub** heeft de volgende kenmerken:

- **Plaatsing:** Kan zowel boven- als ondergronds worden geïnstalleerd.
- **Huisvesting:** Twee betonnen schachten met afmetingen van 1x1x1 m en een technische ruimte van 2x2x2 m.
- **Ontwerp:** Vandalismebestendig



Figuur 48: Functionaliteit van een Bluehub (BlueHub - FieldFactors, n.d.)

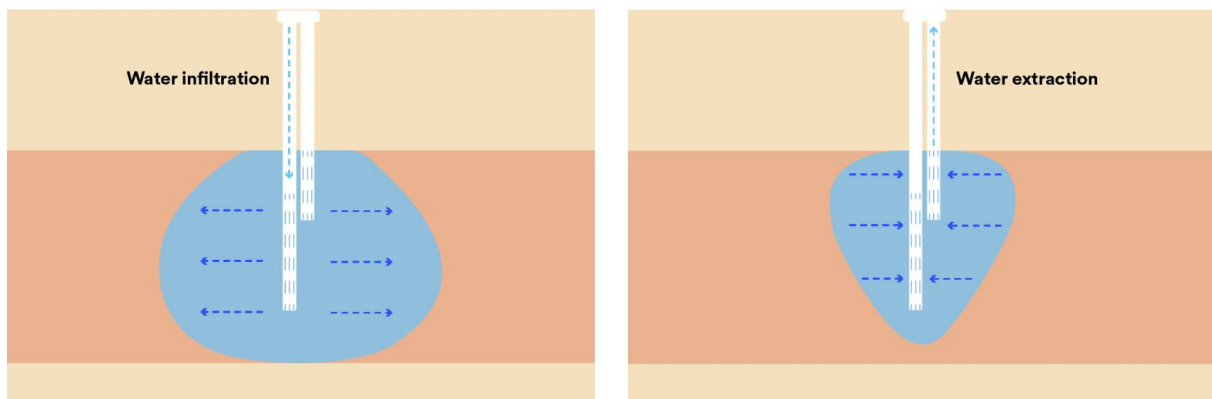
Bluwell

De **Bluwell** bestaat uit verticale pijpen die gezuiverd water naar de ondergrond transporteren voor opslag en verdere zuivering. Dit geïnfilterde water kan vervolgens worden opgepompt wanneer nodig.

De pijp wordt verticaal in de grond geplaatst en omgeven door grof materiaal. Water infiltreert horizontaal in de zandlagen via de sleuven aan de onderkant van de pijp, wat een extra zuiveringsstap biedt en een natuurlijke ondergrondse waterbel creëert.

De **Bluewell** heeft de volgende kenmerken:

- **Verticale installatie:** Inclusief twee pijpen voor infiltratie en extractie.
- **Huisvesting:** Een schacht van 1x1x1 m.
- **Plaatsing:** Ondergronds.
- **Opslagcapaciteit:** Afhankelijk van het gebied (tot 45.000 m³ bereikt in eerdere projecten).



Figuur 49: Functionaliteit van een Bluewell (*BlueWell - FieldFactors, z.j.*).

I. Waterbehoefte voor verstedelijkte veengebieden

Om de totale waterbehoefte voor het gebied te berekenen, worden twee factoren in overweging genomen:

1. Het waterverbruik per huishouden.
2. De waterbehoefte van het veenweidegebied.

Het onderzochte gebied is 1 hectare, gebaseerd op een stedelijk ontwikkelingsplan met 60 woningen per hectare (Provincie Zuid-Holland, 2020). Als vuistregel wordt aangenomen dat de verdeling bestaat uit 1/3 gezinnen (4 personen) en 2/3 een- en tweepersoonshuishoudens (voor dit onderzoek verondersteld als tweepersoonshuishoudens) (Provincie Zuid-Holland, 2020), wat resulteert in een totaal van 160 personen per hectare.

Waterverbruik per huishouden

Het waterverbruik per huishouden is gebaseerd op het waterverbruik per persoon in Nederland volgens gegevens van het clo (CBS, 2022): 129 liter per dag, wat neerkomt op: $365 \times 129 \div 1000 = 47 \text{ m}^3$ per persoon per jaar

Het totale aantal bewoners is:

$$(60 \times 1/3 \times 4) + (60 \times 2/3 \times 2) = 160 \text{ personen per hectare}$$

Dit resulteert in een totale waterbehoefte van:

$$160 \times 47 = 7520 \text{ m}^3 \text{ jaarlijkse waterbehoefte per hectare voor stedelijke gebieden}$$

Waterverbruik in de veenweidegebieden

Voor de waterbehoefte in veenweidegebieden is een studie van Hulsman et al. (2021) geraadpleegd. Deze studie beoordeelde de maximale tien-daagse waterbehoefte voor stedelijke gebieden per landschapstype (figuur 50). Voor deze landschappen was de hoogste vraag ongeveer 200 m^3 per hectare per tien dagen, wat neerkomt op: $200 \times 36,5 = 7300 \text{ m}^3$ water per jaar, aangenomen piekbehoefte gedurende het hele jaar

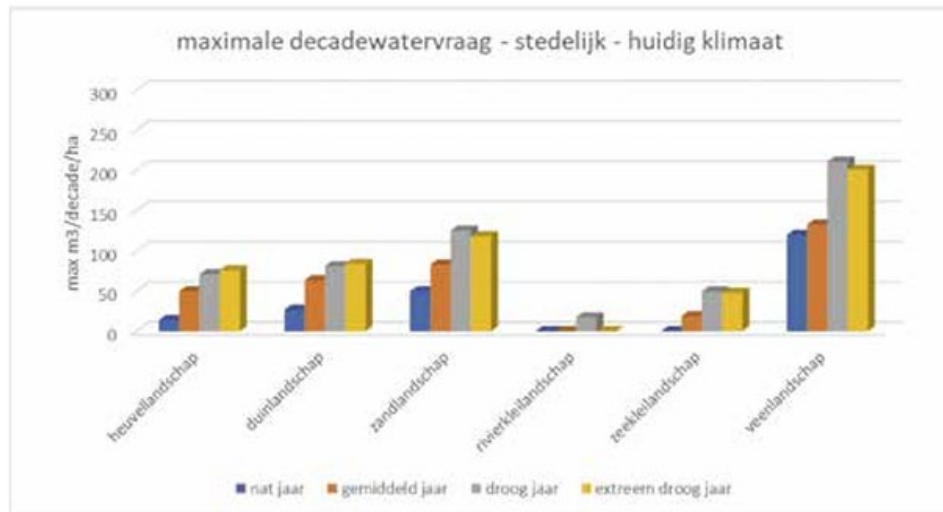
Totale waterbehoefte per ha

Voor stedelijke ontwikkelingen in veenweidegebieden bedraagt de totale jaarlijkse waterbehoefte: $7520 + 7300 = 14.820 \text{ m}^3$ water per hectare per jaar

Opmerking: Deze schatting gaat uit van piekbehoefte gedurende het hele jaar, wat in de praktijk zelden voorkomt; dergelijke vraag ontstaat meestal alleen tijdens de zomermaanden.

Capaciteit van het APS- en DI-systeem

Het gecombineerde APS- en DI-systeem, met een capaciteit van 15 m^3 per uur, wat overeenkomt met 1,9 tot 2,4 mm/dag stijging van het grondwaterpeil, kan deze waterbehoefte eenvoudig dekken: $15 \times 24 \times 365 = 131.400 \text{ m}^3$ per jaar ($> 14.820 \text{ m}^3$)



Figuur 50: Grafiek van maximale 10-daagse waterbehoefte in hectare per type landschap (Hulsman et al., 2021)

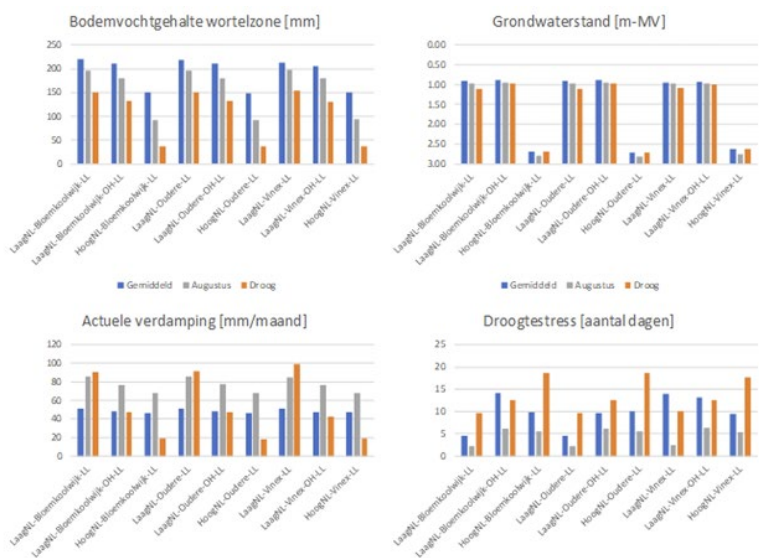
J. Rapport Stowa

Stowa (2023) heeft ook verkennend onderzoek gedaan waarin verschillende maatregelen zijn getest om grondwaterstanden in steden te verbeteren. Zij concludeerden dat de stedelijke kunstmatige watervoorziening wordt geschat op ongeveer 3 mm/dag (100 mm/maand) om een langdurige droge periode te overbruggen (tabel 19). Daarnaast is in figuur 51 te zien dat het reguleren van ondiep grondwater en het besparen van water door middel van evapotranspiratie als structurele oplossingen dienen voor de waterbehoefte in steden.

TABEL 1	MAATLAT EFFECTEN VAN MAATREGELEN (SCHAAL 1..5)				
	1	2	3	4	5
Effect op stedelijke watervraag	Geen	Overbrugging korte droge periode (weken)	Overbrugging middellange droge periode (maanden)	Overbrugging lange droge periode (enkele maanden)	Structurele oplossing
Effect (grond) wateroverlast	Negatief effect	Negatief effect	Geen effect	Positief effect	Positief effect
	Significante impact	Geringe impact		Geringe impact	Significante impact

TABEL 2	EFFECT OP STEDELIJKE WATERVRAAG				
	1	2	3	4	5
	Geen	Overbrugging korte droge periode (weken)	Overbrugging middellange droge periode (1-2 maanden)	Overbrugging lange droge periode (enkele maanden)	Structurele oplossing
Verdampingswater besparen				■	■
Benutten van hemelwater		■	■	■	
Reguleren van ondiep grondwater				■	■
Benutten van diep grondwater			■	■	
Aanvoeren van water			■	■	

Tabel 19: Effect van maatregelen op stedelijke waterbehoefte, met tabel 1 die het effect toont en tabel 2 die de relatie tussen effect en maatregel weergeeft (Stowa, 2023)



Figuur 51: Resultaten van globale modelsimulaties voor drie verschillende wijktypes, voor de leeflaag op klei-ondergrond (LL) en de leeflaag op een zanderige ophooglaag op klei (OH-LL) (Stowa, 2023)

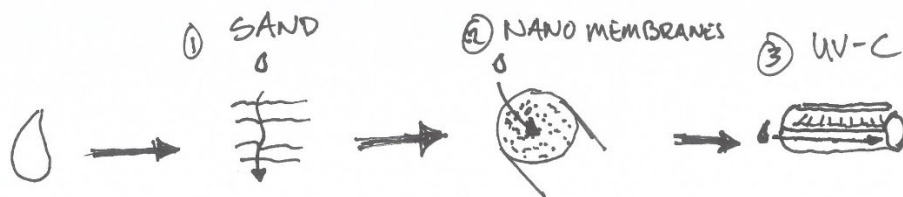
K. ‘Watermaker’ Fort Pampus

Pampus is een fort in Nederland gelegen op een eiland, wat de installatie van waterleidingen onmogelijk maakt. Sinds de bouw in de 19e eeuw werd regenwater aanvankelijk verzameld en gefilterd door een zelfgemaakt systeem van grind en zand om drinkwater te produceren (Schröder, 2022). Echter, volgens de huidige regelgeving in Nederland voldoet deze methode niet meer aan de drinkwaternormen. Als gevolg hiervan moest dagelijks 3.000 liter water per boot naar het eiland worden gebracht.

Dit proces van waterlevering was arbeidsintensief, tijdrovend en afhankelijk van fossiele brandstoffen, wat de zelfvoorzienendheid van Pampus ondermijnde. Om klimaatneutraliteit te herwinnen, werd besloten het watervoorzieningssysteem volledig te vernieuwen. Er werd een pilotproject gestart om ter plaatse water te zuiveren tot drinkwater, wat succesvol bleek: in 2024 werd Fort Pampus zelfvoorzienend en klimaatneutraal.

Onder leiding van Jotem Solutions bouwden drie bedrijven een waterzuiveringssysteem bestaande uit drie stappen om oppervlaktewater om te zetten in drinkwater (Co Bouw, 2023):

1. **Trage zandfiltratie:** De eerste stap verwijdert grove deeltjes uit het water.
2. **Hollevezel nanofiltratie:** Het water stroomt vervolgens door hollevezel nanofiltratie, waarbij gebruik wordt gemaakt van extreem fijne buizen (figuur 53) met een poreuze wand die fijne deeltjes zoals bacteriën en virussen opvangt. Een nanocoating binnen de buizen vangt verontreinigingen zoals farmaceutische resten, PFAS en pesticiden op (NX Filtration).
3. **UV-C technologie desinfectie:** In de laatste stap wordt het water gedesinfecteerd met behulp van UV-C-technologie, die micro-organismen neutraliseert (Van Remmen UV Technology).



Figuur 52: step-by-step plan of water purification (own source)

Het systeem werkt autonoom, aangedreven door batterijen en zonne-energie (Schröder, 2022). Met de huidige omvang van het watersysteem is de ‘watermaker’ in staat om 20.000 liter water per dag te produceren (H2O Actueel & Klip, 2023). Hoewel de pilot heeft aangetoond dat het water veilig is om te drinken, blijven er regelgevende uitdagingen (Schröder, 2022). Dit komt omdat volgens de wet alleen drinkwaterbedrijven drinkwater mogen produceren. In 2022 waarschuwden waterbedrijven dat de zoetwatervoorzieningssystemen in Nederland hun grenzen bereiken door droogte, verzilting en vervuiling. Dit onderstreept het belang van het verkennen van alternatieve methoden om een adequate aanvoer van zoet water te waarborgen (Volkskrant, 2022).



Figuur 53: Nanofiltratiemembranen (NX Filtration)



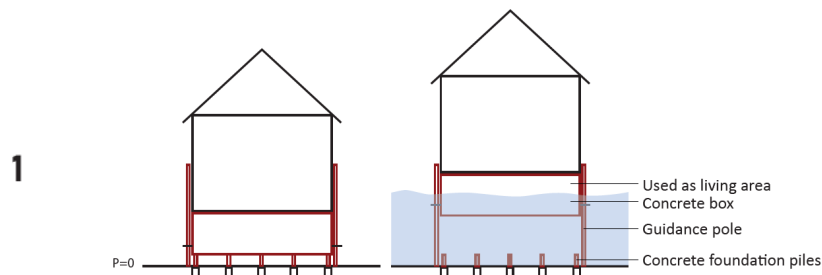
Figuur 54: UV-C installatie (Van Remmen UV Technology)

L. Chapter 3 - Construction Techniques for Amphibious Buildings

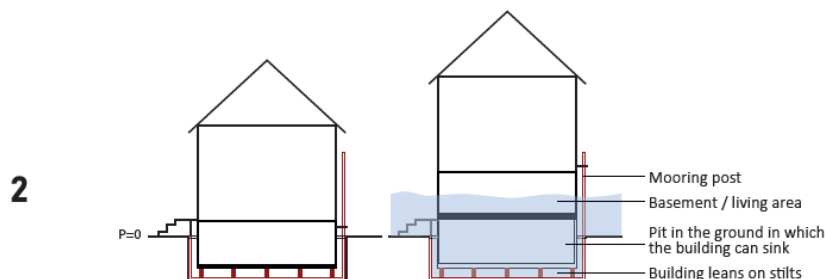
De volgende bijlage is overgenomen uit het derde hoofdstuk van de thesis van A. De Vries, *Flood-proof living at the riverside* (2024). De tekst is ongewijzigd overgenomen, en de auteursrechten blijven bij de oorspronkelijke auteur.

L.1 Principles of constructions which can adapt to the changing water level

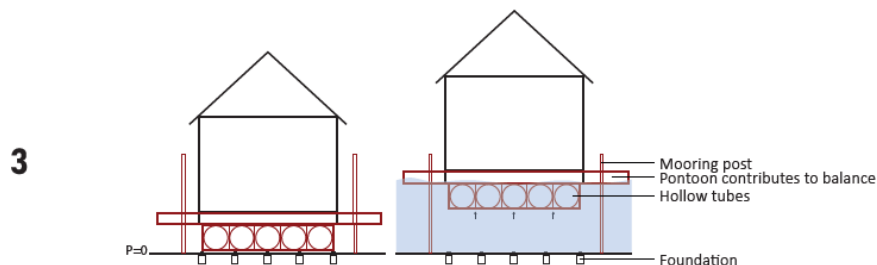
“This paragraph further elaborates on different amphibious construction techniques. Five concepts are developed and compared, which resulted in an overview of advantages and disadvantages of the different concepts (see figure). These conditions are useful for the decision-making process during the design phase of an amphibious housing project. Furthermore, a certain typology can be identified within this construction principle. The technical aspects to make these principles work will be further elaborated in the following paragraphs.



The first concept consists of a concrete box which functions both as living space and as a floating waterproof pontoon. To keep the building consistently upright on its ground, a small elevation with concrete foundation piles has been constructed upon which the building stands.

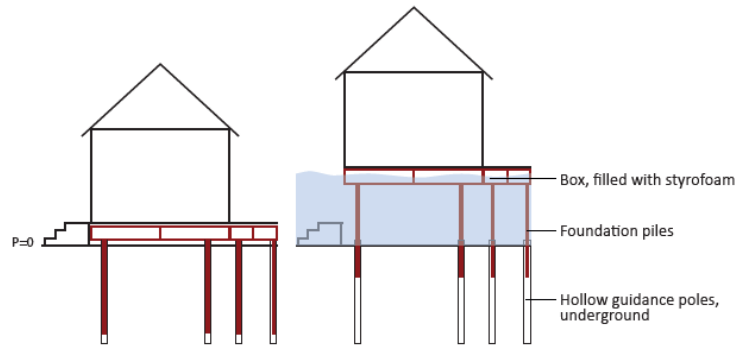


The second principle is based on the construction technique of the previously discussed case study from Baca Architects. This system works with a sunken cellar in a pit in the ground, which fills with water during floods. In practice, with this system it could be difficult to clean the pit if residue falls into it after a high water level. The stability is here achieved with mooring posts.



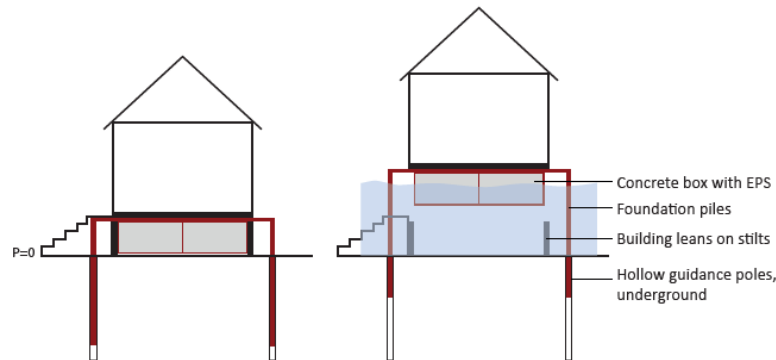
For the third amphibious system, the pontoon consists of hollow tubes, instead of a concrete box. Around the house, a platform is attached, which also contributes to balance. The advantage of this platform is that you will always have dry feet when stepping out of the house during high water. As a disadvantage, this system always is in the situation where the house is higher and the ground floor cannot be used.

4



In the fourth design, fixation is achieved using poles embedded in hollow guidance poles in the ground to manage stability, instead of the mooring posts from the previous concepts. The advantage of this principle is that the construction is relatively out of sight. However, it can be difficult to provide maintenance to the guideposts when this may be necessary after prolonged use. It is also not known whether the poles will release smoothly when the building starts to float. Instead of a concrete box, a box filled with styrofoam is applied in this design.

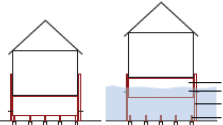
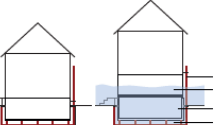
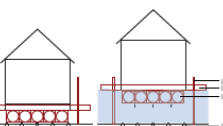
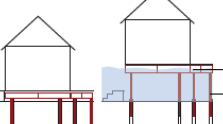
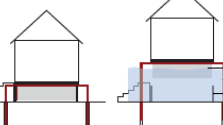
5



The last concept involves again a floating concrete box. The fixation takes place by poles which disappear into hollow guidance poles in the ground, but this time on the side of the building. A wider foundation is expected to provide a more stable structure.”

Table X gives an overview of a comparison between the five different concepts for amphibious foundations. The concepts are compared on multiple measurable values. The results are based on estimates, technical insights and experiences from case studies. From this comparison, it can be concluded that each concept for amphibious foundations presents distinct strengths and considerations based on the evaluated values. The structural stability stands out in concept 3 and 5, where a wider pontoon has been used, which also results in a better resilience to extreme weather conditions. Additionally, concept 4 emerges as the most eco-friendly choice, promoting habitat preservation and minimal disturbance to the surroundings. Concept 2 stands out for its minimal visibility of the amphibious construction, because the building is sunk into the ground. This also contributes to higher community acceptance. In principle, several concepts could be implemented using a submerged foundation in the ground, but this consideration is weighed against the complexity and cost of the system and its impact on nature. Later on, this consideration is related to other specific design requirements.

These comparisons emphasize the need for a holistic approach, considering specific project requirements and environmental considerations to select the most suitable amphibious foundation for a design. Different techniques from these concepts could also be combined to achieve the best result, such as a wider pontoon in combination with a concrete box. The individual techniques are further discussed in more detail in the following paragraphs

Comparison amphibious foundations		Visibility of foundation	Expected lifespan	Structural stability	Resilience to extreme conditions	Amount of material use	Complexity and maintenance	Environmental impact
The different concepts								
1		Medium impact / value	Biggest impact / value	Medium impact / value	Biggest impact / value	Medium impact / value	Biggest impact / value	Medium impact / value
2		Small impact / value	Medium impact / value	Medium impact / value	Small impact / value	Biggest impact / value	Medium impact / value	Biggest impact / value
3		Biggest impact / value	Small impact / value	Small impact / value	Small impact / value	Medium impact / value	Small impact / value	Small impact / value
4		Small impact / value	Medium impact / value	Biggest impact / value	Biggest impact / value	Small impact / value	Medium impact / value	Small impact / value
5		Biggest impact / value	Medium impact / value	Small impact / value	Medium impact / value	Biggest impact / value	Medium impact / value	Small impact / value

Tabel 20: Value analysis of amphibious foundation concepts (De Vries, 2024)

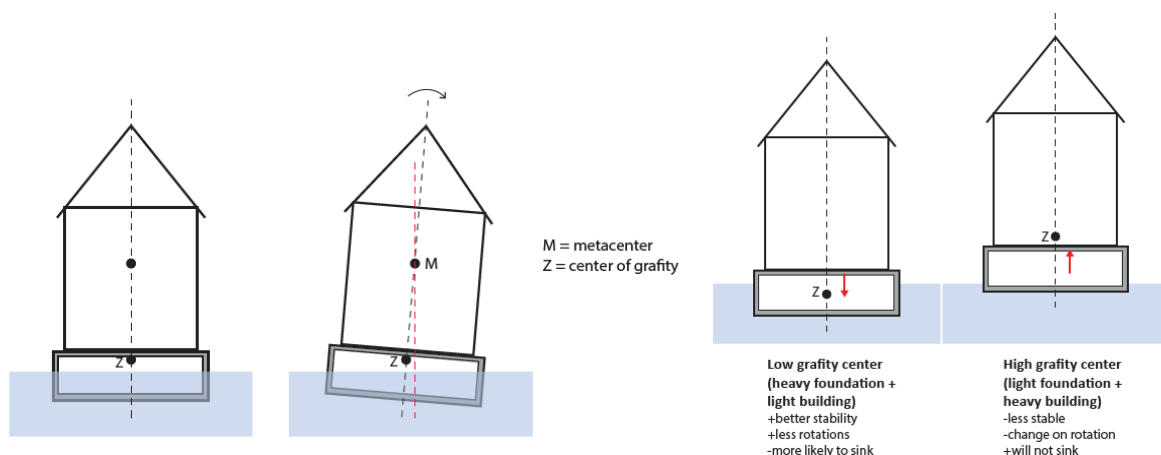
L.2 Stability and center of gravity

The stability and center of gravity of floating pontoons in buildings are crucial aspects that determine the safety and functionality of amphibious structures (Van Winkelen, 2007). Floating pontoons serve as the foundation for amphibious buildings. Their stability is paramount to ensure the overall stability of the structure, especially during fluctuations in water levels. The design and buoyancy of these pontoons must provide adequate stability to support the weight of the building above and withstand external forces like currents or waves without tilting or capsizing. The main factors for a stable pontoon are the shape, size and the material of which it is made. A wider pontoon for example promotes better balance. The material is important for the weight of the structure, because a heavier pontoon lies deeper in the water and is more stable, which is shown in the figure below (Witsen, 2012).

The center of gravity is the point where the entire weight of the building and pontoons can be considered to act (Van Winkelen, 2007). For stability, the center of gravity should align with the geometric center of the pontoons. Any shift in the center of gravity, especially towards the edges of the pontoons, could lead to instability (see figure). The ratio between height and width of the building is important here. Also, the maximum height of a building can be calculated on the basis of the position of the meta center towards the center of gravity (Van Winkelen, 2007). The position of the center of gravity is determined by the mass of the building structure and the mass of the floating foundation. The best option for a stable construction is a heavy foundation and a lightweight building structure, which results in a low center of gravity. The higher you build, the higher is the center of gravity, which has larger consequences when the center of gravity moves.

Another influencing aspect for the stability of the floating building is the furniture. Especially, the kitchen and sanitary facilities are of relatively large weight. This can be compensated by making specific walls thicker or by making counterweight in the concrete foundation (Witsen, 2012).

Furthermore, the movements of waves affect stability. Particularly the wavelength of the waves is crucial. It refers to the distances between two wave peaks where you aim to prevent an object from moving along with the wave (Vedder, 2023). Ideally, you want the object to always have at least two wave peaks underneath it. This ensures that the wave rolls beneath it, anchoring the object consistently on two wave peaks. If the object is smaller, it may move with the wave, depending on the wave height and the weight of the building. The most effective way to counter this is by increasing the surface area, so the width of the floating body.



L.3 Depth, size and material of pontoon

A house weighing 100.000 kg displaces precisely the same weight of water. This fact dates back to Archimedes' principle, which states that the upward force is equal to the weight of the volume of fluid displaced (Witsen, 2012). 100.000 kg mass which pushes the water equals 100 m³ water which is pushed aside. When distributed across an area of 50 m², this results in a depth of two meters. Consequently, the house will not sink deeper. This is shown in the diagram on the next page.

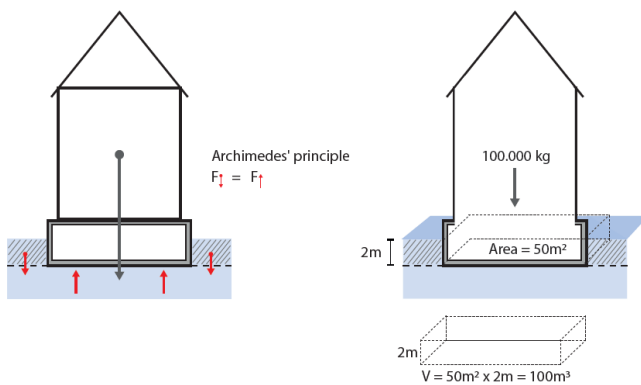
Based on this principle, it means that a lighter construction requires a less deep pontoon. The same occurs with a larger surface area, resulting in a shallower depth. The other way around, it can be concluded that a heavier building lies deeper in the water or also needs a higher pontoon.

We will go through another example of calculation to see what happens on a much larger scale. The two situations both consist of three buildings of the same size and a similar pontoon. The only difference is the weight of the buildings. In the first situation, the buildings have a mass of 60.000 kg and in the second situation the buildings are 120.000kg. The lightweight situation results in a depth of 1,16m. The second situation has a depth of 2,15m (see figure).

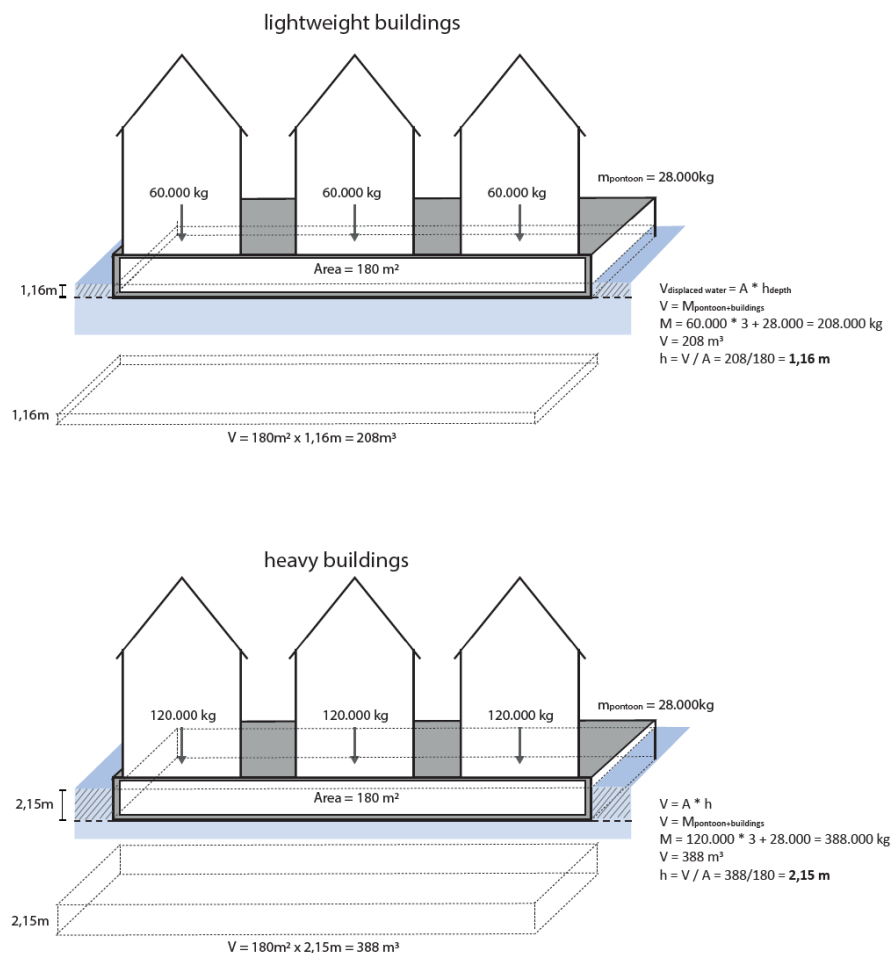
In the ideal situation the pontoon can be used as a living space, which means it requires windows. The preconditions are therefore that the maximum draft is 1.6 m. The challenge is how high and large you can build to meet these conditions and also guarantee stability.

In addition to the dimensions of the pontoon and the weight of the building structure, there is another aspect that influences the draft. That is the material and type of pontoon. On the next page, these different floating structures are explained.

Figure 55: Comparison depth of



pontoon by lightweight and heavy buildings (De Vries, 2024)



Floating pontoons do exist in various types, each designed to serve specific purposes and accommodate different environments. These are some of the most common types:

Closed concrete pontoon: These are durable and heavy, often used for larger structures or in areas with harsh conditions. They provide stability and can be interconnected to create larger floating platforms. This floating body has a large mass, which has two consequences. The system has a low center of gravity and therefore a good stability. However, the building on top of the pontoon is limited in its weight, because otherwise the whole structure has a possibility of sinking too deep into the water. The pontoon itself can be used as living space.

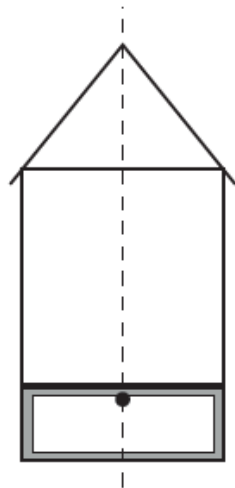
Open concrete pontoon: This system comprises a concrete box that is open at the top. The walls and the base of this type of floating body experience significant pressure from the water, due to the relatively substantial draft and the low center of gravity (Van Winkelen, 2007). A draft between 0,75 meters and 2 meters is common. The space within the box can serve for technical installations, piping, and potentially as usable space. An advantage of this type of floating body is the possibility of installing and inspecting connections between floating bodies from the inside. It's also technically feasible to install connections below the waterline.

EPS core: These pontoons consist of a concrete box filled with EPS. The system offers buoyancy while being lightweight. They are commonly used for docks, terraces and in smaller recreational floating (Vedder, 2023). The system is useful when the space within the foundation is not necessarily required to use. The pontoon is mostly shallower and lies higher in the water surface. The benefit of filling with EPS is that it allows to reduce the concrete thickness, leading to cost savings.

Hollow tubes: A system with air-filled tubes offers buoyancy to keep the structure afloat. These systems commonly feature tubes made of materials like high-density polyethylene (HDPE) or other lightweight yet durable materials (Varkey & Philbin, 2022). An advantage of this system is that it often incorporates modular elements, which makes it easy to adapt. A consideration is that the load capacity of these systems might have limitations compared to heavier, solid pontoon systems. Also, extreme weather conditions or prolonged exposure to UV rays might affect the durability of certain materials over time.

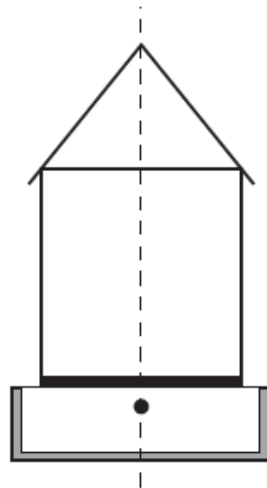
Catamaran pontoon: These pontoons consist of two parallel hulls connected by a deck or a structure. The wider separation between hulls lowers the center of gravity, contributing to improved stability. Moreover, the dual double pontoon allows for a larger surface area, enabling greater load-bearing capacity and accommodating heavier structures. (Van Winkelen, 2007)

In conclusion, expanding the pontoon's width rather than its depth is preferable if the floating body's capacity needs to be increased (Van Winkelen, 2007). This also means that a higher building is achievable. Additionally, a higher building can be achieved by bringing the material to the outside of the floating body. Choosing the best pontoon type depends on factors like the intended use, weight considerations, space requirements, and environmental conditions. It's crucial to weigh these factors against the advantages and limitations of each pontoon type to make an informed decision for the specific project.



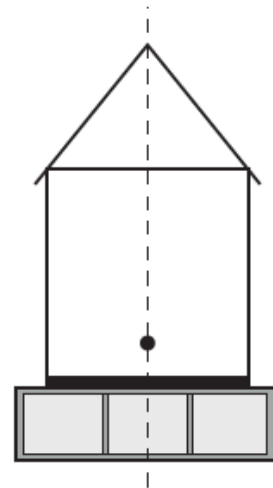
Closed concrete box

Can be used as basement or installation room. Air in the box makes the system float. Large mass.
Depth = 1 - 2m



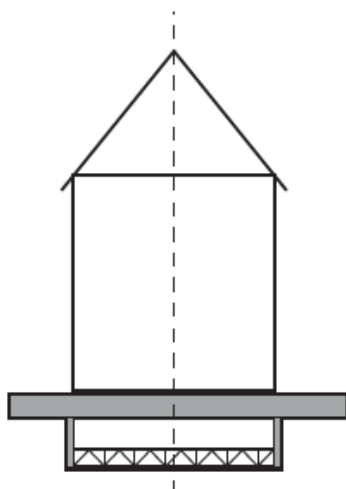
Open concrete box

Has a lower center of gravity
Depth = 0,75 - 2 m



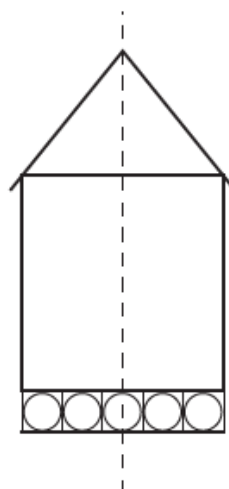
EPS core

Instead of air this concrete box is filled with EPS, results in a thinner concrete shell and a lighter system, which is unsinkable.
Depth = +/- 0,5m

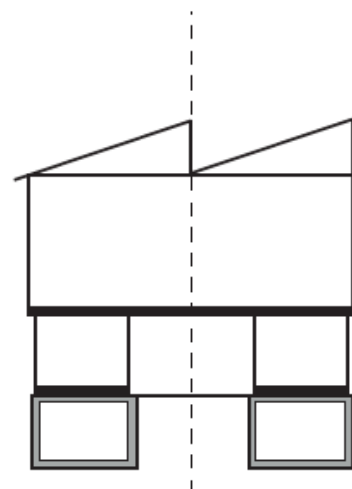


Floating platform

Steel frame for stiffness.
A wider pontoon means a higher achievable building height



Hollow tubes



Catamaran construction

Less rotation sensitive.
Needs a connecting construction.

Figure 56: Floating structures for architectural applications (De Vries, 2024)

L.4 Fixation of Amphibious Buildings

Horizontal fixation of a floating or amphibious building is a critical aspect to ensure its safety in water environments and it contributes to improved stability by securing against external forces like waves or wind. There are different types of fixation methods for buildings, like a mooring system, piles, tension cables, integrated support structures or dynamic fixation systems. The methods must strike a balance between securing the structure and allowing controlled movement in response to natural forces (Witsen, 2012).

In traditional static houses, utility connections are typically rigidly established, maintaining a fixed position throughout the building's lifespan. The utilities consist of water, sewage and electricity. However, in buildings designed to adjust in height, the utilities must be flexible and move along with the building's fluctuations. Because of the permanent location of an amphibious building, it can still connect their utility services to municipal pipes for convenience, in contrast to houseboats which need to internally contain all essential utilities within their structure due to their mobile nature and varied mooring locations (Anderson, 2014). One possible way of applying an adaptable utility system can be done with pipelines which break on their own when the building rises (Varkey & Philbin, 2022). Another option involves extended, coiled lines that can stretch as the house adjusts in height (Anderson, 2014).

A system utilized in floating homes in Amsterdam involved a special attachment system in the concrete foundation: a type of rail to which the cables and pipes could be attached, preventing them from being loosely positioned while allowing ample space for maintenance work (Witsen, 2012).

M. Tabellen uit onderzoek Glover et. al (2002)

Table 5. Energy values of housing components.							
Lawson (1995)				Buchanan and Honey (1994)			
	Energy (MJ/m ²)	Mass (kg/m ²)	Mass (kg)		Energy (GJ)	Energy (MJ/m ²)	Mass (kg)
Walls							
Timber frame, timber weatherboard, plasterboard-lined wall	188	30.3	8,250	Timber framing, weatherboard cladding	27	99.3	5,220
Timber frame, reconstituted timber weatherboard, plasterboard-lined wall	377	28.7	7,820	Timber framing, concrete block cladding	65	239.0	21,650
Timber frame, aluminum weatherboard, plasterboard lined wall	403	20.8	5,660	Timber framing, brick veneer cladding	135	496.3	20,650
Timber frame, clay brick veneer, plasterboard-lined wall	561	191.3	52,030	Steel framing, weatherboard cladding	84	308.8	4,120
Steel frame, clay brick veneer, plasterboard-lined wall	604	183.6	49,940	Steel framing, concrete block cladding	86	316.2	21,330
Double clay brick, plasterboard-lined wall	906	341.5	92,880	Steel framing, brick veneer cladding	192	705.9	19,880
Single-skin block, plasterboard-lined wall	472	132.1	35,940			(272 m ²)	
Cement-stabilized, rammed-earth wall	376	570.0	155,040				
Floor							
Elevated timber floor (lowest level)	293	103.4	9,830	Particleboard floor (timber framing)	53	557.9	12,170
Elevated timber floor (highest level)	147	27.8	2,640	Steel framing particleboard floor	75	789.5	11,010
110mm slab concrete on ground	645	294.6	27,980	Concrete floor	89	936.8	52,530
110mm elevated concrete slab (permanent framework)	665	270.2	25,670			(95 m ²)	
200mm precast concrete T-beam, infill flooring	644	55.9	5,310				
Roof							
Timber frame, timber shingle roof, plasterboard ceiling	151	35.6	3,310	Timber framing, corrugated iron roof	59	460.9	2,810
Timber frame, concrete tile roof, plasterboard ceiling	251	27.3	2,540	Timber framing, concrete tile roof	17	132.8	7,230
Timber frame, terracotta tile roof, plasterboard ceiling	271	74.6	6,940	Steel framing, corrugated iron roof	83	648.4	1,920
Timber frame, steel sheet roof, plasterboard ceiling	330	25.7	2,390	Steel framing, concrete tile roof	29	226.6	6,580
Steel frame, steel sheet roof, plasterboard ceiling	483	15.4	1,430			(93 m ²)	

Tabel 21: Energic values of housing components (Glover et al., 2002)

Table 6. Typical components of predominantly steel, concrete, and wood houses.					
House	Frame	Floor	Wall	Roof	Window frames
Steel	Steel	Concrete	Brick veneer wall cladding	Corrugated iron roof	Aluminum
Concrete	Timber	Concrete	Concrete block wall cladding	Corrugated iron roof	Aluminum
Wood	Timber	Timber	Weatherboard wall	Concrete tile roof	Timber

SOURCE: Buchanan and Honey (1994).

Tabel 22: Typical components of predominantly steel, concrete and wood houses (Glover et al., 2002)

N. Interview Ralph Temmink, 2024

Hieronder volgt een diepteinterview met dr. R.J.M. Temmink, een ecooloog met een onderzoeksfocus op ecosysteemherstel en duurzaam veengebruik. In het gesprek hebben we het vooral gehad over hoe veenlandschappen op een duurzame manier ingericht kunnen worden.

Transcript

11 december 2024, 07:59 uur

Temmink, R.J.M. (Ralph) 1:46

Goedemorgen.

Pim Braakhuis 1:47

Hoi, goedemorgen.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 1:50

Zie je me een beetje, of zit ik in het donker?

Pim Braakhuis 1:54

Het is prima. Ik kan je contouren zien, dus dat is goed.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 1:56

Oké, prima.

Pim Braakhuis 2:03

Hoi, goedemorgen.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 2:06

Goedemorgen. Het is hier nog vroeg. Ik ben momenteel in Matera.

Pim Braakhuis 2:13

Oké, dat klinkt bijzonder.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 2:14

Ja, ik werk deels hier. Ongeveer de helft van mijn tijd.

Pim Braakhuis 2:19

Ja.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 2:22

Ik ben hier ook met mijn zoon. Hij is vier maanden geleden geboren. Normaal is hij altijd vroeg wakker, maar vandaag niet.

Pim Braakhuis 2:31

Dus je had eigenlijk nog even langer kunnen slapen.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 2:35

Precies, ja.

Pim Braakhuis 2:38

Nou, mijn excuses dan!

Temmink, R.J.M. (Ralph) 2:40

Nee hoor, ik ben toch al vroeg op. Ik dacht: laat ik wat werken en dan om 10 uur leuke dingen doen. Maar vandaag liep het anders.

Pim Braakhuis 2:44

Ja.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 2:46
Normaal ben ik rond 6 uur wakker.

Pim Braakhuis 2:54
Het is nu een uur vroeger daar?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 2:57
Ja, het is nu 8 uur hier.

Pim Braakhuis 3:01
Oké, dat scheelt een uurtje.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 3:03
Precies.

Pim Braakhuis 3:06
Voordat we beginnen, mag ik dit gesprek opnemen? Vind je dat goed?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 3:10
Ja, helemaal prima.

Pim Braakhuis 3:12
Oké, super. Bedankt dat je tijd wilde maken. Ik zal kort uitleggen waar ik mee bezig ben.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 3:22
Ja, helemaal goed.

Pim Braakhuis 3:22
Ik ben afgestudeerd aan de TU Delft in Architectuur en Bouwkunde. Mijn studio richt zich op innovatie binnen de architectuur. Mijn probleemstelling is dat we in Nederland te weinig ruimte hebben om te wonen. Dit dwingt ons om te bouwen in landschappen die daar eigenlijk niet geschikt voor zijn. Daarbij speelt ook klimaatverandering een grote rol. Uit mijn vooronderzoek blijkt dat deze landschappen een belangrijke rol spelen in hoe we dit kunnen aanpakken, maar ook dat de druk op deze gebieden groot is. Mijn onderzoek richt zich op hoe we op een zo klimaatadaptieve manier in deze landschappen kunnen wonen.

Mijn hypothese is dat amfibische woningen hierin een oplossing kunnen zijn. Dit zijn woningen die met het waterniveau kunnen meebewegen, maar nog wel een betonnen bak als basis hebben. Hierdoor kunnen ze drijven, waardoor de draagkracht toeneemt en ze minder snel wegzakken. Ze bewegen mee met het grondwaterpeil, maar zijn niet permanent onder water zoals drijvende gebouwen.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 4:48
Ja, precies. Het is niet een soort woonboot.

Pim Braakhuis 5:02
Nee, dat klopt. Ik heb ook naar woonboten gekeken, maar kwam erachter dat we in Nederland steeds vaker te maken krijgen met periodes van droogte. Daarom is het veenlandschap interessant: het kan veel water bufferen en opslaan als het goed wordt beheerd.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 5:19
Ja.

Pim Braakhuis 5:24
Tijdens mijn onderzoek stuitte ik op jouw publicaties en een interview dat je gaf. Misschien kunnen we daarmee beginnen.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 5:38

Ja, welk interview bedoel je?

Pim Braakhuis 5:41

Het was een recent interview, volgens mij van dit jaar. Het ging over het belang van veengebieden en de zogenaamde drieslag: ecologische waarde, CO₂-opslag, en waterbuffering. Kun je dat toelichten?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 6:02

Ja, natuurlijk.

Pim Braakhuis 6:12

Mooi.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 6:14

Venen zijn wereldwijd een van de meest koolstofrijke ecosystemen. Ze slaan enorme hoeveelheden koolstof op in de bodem, ongeacht of een veen intact of aangetast is.

Pim Braakhuis 6:31

Ja.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 6:39

De veenbodem is extreem rijk aan koolstof. Maar als je een veen ontwaterd, komt die koolstof vrij door oxidatie. Het is alsof je een pot augurken opent: zolang het water erin blijft, blijft alles intact. Maar als je het water weghaalt, begint de koolstof langzaam af te breken en komt het vrij in de lucht.

Pim Braakhuis 7:10

Ja.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 7:10

Venen zijn eigenlijk ecosystemen die over honderden tot duizenden jaren zijn ontstaan. Het is een heel langzaam proces waarbij organisch materiaal zich ophoopt. Over die tijd vormt zich een dikke veenbodem.

Pim Braakhuis 7:27

Ja.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 7:33

De veenlandschappen die we nu in Nederland hebben, zijn vaak duizenden jaren oud. Een vuistregel is dat een veenbodem met ongeveer 1 mm per jaar groeit.

Pim Braakhuis 7:46

Ja.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 7:47

Maar zodra je een veenlandschap ontwaterd, kun je jaarlijks 1 tot 2 cm aan veen verliezen door oxidatie. Dat is een heel snelle afbraak in vergelijking met hoe lang het duurt om veen op te bouwen. Het gaat dus veel sneller kapot dan dat het groeit.

Pim Braakhuis 8:06

Ja.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 8:06

Als je het verliest, duurt het extreem lang om die koolstof en dat hele ecosysteem weer op te bouwen. Daarom is het belangrijk om de degradatie zo snel mogelijk te stoppen.

Pim Braakhuis 8:24

Ja, dat begrijp ik. Maar waarom is het behoud van die unieke flora en fauna in veenlandschappen,

naast de CO₂-opslag, zo belangrijk? Denk bijvoorbeeld aan de weidevogels en de specifieke planten die daar voorkomen.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 8:59

De planten in veenlandschappen zijn extreem gespecialiseerd en aangepast aan de natte omstandigheden. Er zijn grofweg twee soorten veen: hoogveen en laagveen.

Pim Braakhuis 9:09

Ja.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 9:09

Hoogveen wordt voornamelijk gevoed door regenwater, terwijl laagveen gevoed wordt door grondwater.

Pim Braakhuis 9:31

Ja.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 9:34

Bij hoogveen groeit het veen boven de minerale bodem uit, dus het is hoog en nat. Dit is een unieke situatie, want normaal stroomt water naar het laagste punt.

Pim Braakhuis 10:04

Ja.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 10:05

Hoogveen kan water vasthouden, waardoor het nat blijft en een habitat vormt voor mossen en andere gespecialiseerde soorten. Het is vaak voedselarm, zuur en nat, wat een heel specifieke flora oplevert, zoals vleesetende planten.

Pim Braakhuis 10:33

Interessant.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 10:40

Ja, het zijn unieke ecosystemen die zelfversterkend werken. Hoogveen is zuur, nat en voedselarm, terwijl laagveen iets rijker kan zijn.

Pim Braakhuis 10:53

Ja, dus hoogveen zijn de "bogs" en laagveen de "fens"?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 10:59

Ja, precies. "Bogs" zijn hoogveen en "fens" zijn laagveen.

Pim Braakhuis 11:03

Mijn focus ligt vooral op laagveen, omdat dat afhankelijk is van grondwater. Ik kwam een paper tegen over paludicultuur en hydrobuffers. Daar heb ik nog wel een paar vragen over. Wat is volgens jou de beste manier om een veenlandschap te herstellen? Ik lees veel tegenstrijdige conclusies: sommigen zeggen dat een vernat veen nooit meer dezelfde sponsfunctie krijgt. Wat is jouw kijk daarop?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 12:06

Het probleem is dat ontwatering altijd degradatie veroorzaakt. Hoe dieper je ontwatert, hoe sneller het veen afbreekt. Stel dat je een veenlandschap vernattigt van 50 cm naar 30 cm diepte: die bovenste 30 cm blijft nog steeds ontwaterd en breekt af. Het is alsof je met 80 km/u op een klif afrijdt en dan vertraagt naar 50 km/u. Het eindresultaat blijft hetzelfde, maar het duurt iets langer.

Transcript

11 december 2024, 07:59 uur

Pim Braakhuis 12:37

Ja, dat begrijp ik.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 12:52

Vanuit dat perspectief is volledige vernatting heel belangrijk. Hoe gedegradierter het systeem is, hoe moeilijker het wordt om terug te keren naar een normaal functionerend veen. De sponsfunctie waar je het over hebt, duurt gewoon lang om op te bouwen.

Pim Braakhuis 13:07

Nee, precies.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 13:16

Die sponsfunctie wordt gecreëerd door een gradiënt in hoe afgebroken het organisch materiaal is. Dat zie je vaak in de bovenste 50 cm van de bodem. Daar heb je grof materiaal met veel poriën. Maar zelfs in natte omstandigheden breekt dat langzaam af, waardoor de poriën kleiner worden en de sponswerking afneemt.

Pim Braakhuis 13:32

Ja, ik begrijp het.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 13:54

We hebben in een recent onderzoek – dat binnenkort gepubliceerd wordt – laten zien dat je met goed beheer in 13 jaar een laag van 30-40 cm veen kunt terugkrijgen.

Pim Braakhuis 14:12

Dat is interessant.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 14:14

Het kan dus relatief snel gaan, afhankelijk van wat je doet.

Pim Braakhuis 14:17

Ja, maar je manipuleert de bodem eigenlijk zodanig dat je het proces versnelt.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 14:37

Precies.

Pim Braakhuis 14:40

Daarop aansluitend, zowel het Planbureau voor de Leefomgeving als de Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers pleiten voor ondergrondse drainage. Hoe kijk jij daar tegenaan, gezien het fragiele karakter van veenlandschappen? Zoals je zei: 1 cm daling kost je 10 tot 20 jaar aan opbouw.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 15:09

Het probleem met ondergrondse drainage is dat het slechts een vertraging biedt. Zoals ik eerder zei: je rijdt misschien met 30 km/u richting een klif in plaats van 80 km/u, maar je rijdt nog steeds naar de klif.

Pim Braakhuis 15:15

Ja, precies.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 15:28

Op de lange termijn is het dus geen oplossing. Het is vooral een manier om de huidige landbouwpraktijken in stand te houden. Je krijgt stabielere waterstanden, met minder fluctuaties. Maar je blijft het veen draineren, waardoor de bodem afbreekt en CO₂ vrijkomt.

Pim Braakhuis 15:45

Ja, dat klopt.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 15:58

Ondanks stabielere waterstanden blijft een deel van de bodem in contact met de lucht, waardoor je bodemdaling en emissies houdt. Het speelt ook in op economische belangen, zoals de veehouderij, waar veel geïnvesteerd is in infrastructuur en bedrijfsmodellen.

Pim Braakhuis 16:20

Ja.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 16:22

Die investeringen, en de lobby daarachter, maken het lastig. Maar als we naar 2050 kijken en een net-zero-samenleving willen bereiken, waarin emissies en koolstofvastlegging in balans zijn, dan kunnen we niet doorgaan met gedeeltelijke drainage. Als andere sectoren richting net-zero gaan, zullen veenlandschappen een enorm percentage van het koolstofbudget opeisen.

Pim Braakhuis 16:39

Ja, dat is een probleem.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 16:50

Het is daarom belangrijk om te denken aan een transitie. Die transitie is moeilijk, net zoals bij stikstof en andere grote uitdagingen. Onderwaterdrainage is een poging om de status quo te handhaven, maar eigenlijk moeten we richting volledige vernatting en ander landgebruik.

Pim Braakhuis 17:33

Dat begrijp ik.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 17:33

De transitie is lastig door de investeringen die zijn gedaan in stallen en huidig landgebruik. Dat maakt het een sociale en economische kwestie, wat verder gaat dan mijn expertise als ecooloog.

Pim Braakhuis 18:01

Ja, dat is ingewikkeld. Uiteindelijk draait het vaak om geld. Op dit moment is het economisch niet aantrekkelijk om volledig duurzaam te zijn.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 18:17

Precies. Een ander probleem is dat de kosten van klimaatverandering, bodemdaling of slechte waterkwaliteit niet zijn opgenomen in de prijzen van producten zoals kaas.

Pim Braakhuis 18:25

Nee, en andersom ook niet. In de bouw en architectuur wordt de grondexploitatie berekend op basis van de huidige situatie, zonder rekening te houden met de impact over 20 jaar.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 18:36

Klopt.

Pim Braakhuis 18:51

Dat is precies waarom ik in mijn paper pleit voor een andere manier van kijken naar grondexploitatie.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 19:04

Ja.

Pim Braakhuis 19:06

Het fijne aan dit onderzoek is dat het nog losstaat van commerciële belangen. Maar hoe zie jij waterbuffering in de toekomst? Subsurface drainage lijkt niet de lange-termijnoplossing te zijn, maar we krijgen ook steeds meer periodes van droogte in Nederland. Hoe kan dat gebufferd worden?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 19:31

Het probleem is dat het watersysteem in Nederland nu vooral is ingericht om water zo snel mogelijk

naar zee af te voeren. Daar ligt ook een belangrijke opgave: water langer vasthouden. Stel, je hebt een veenbodem die nu 50 cm wordt gedraineerd. Als je de waterstand dichterbij het maaiveld brengt, bijvoorbeeld 5 of 10 cm onder water, kun je veel meer water in het landschap bufferen.

Pim Braakhuis 19:47

Ja, dat klopt.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 20:22

Ook in een natuurlijk veen kan de waterstand in de zomer wat dalen. Het is niet zo dat een veen altijd precies op 0 cm waterstand staat. Maar het verschil is of het begint bij -30 cm en verder zakt, of dat het start op 0 cm en slechts 20 cm uitzakt. Dat zijn twee totaal verschillende benaderingen.

Pim Braakhuis 20:51

Ja, dat snap ik.

Pim Braakhuis 20:55

Ik focus me in mijn project op drainage omdat het over een woongebied gaat. Daarbij heb ik twee pilots onderzocht: een APS-systeem (Active Pressure System) en een subsurface drainage-systeem in combinatie met waterzuivering. Het idee is om het waterpeil dynamisch te reguleren, zodat je het kunt vasthouden of terugpompen naar de grond wanneer nodig.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 22:25

Ja.

Pim Braakhuis 22:27

Hier zie je een voorbeeld. Het systeem werkt met drainagepijpen die twee kanten op kunnen: water afvoeren én terugsturen. Het water wordt opgeslagen in de zandlaag onder het veen en kan bij een te lage grondwaterstand weer omhoog gepompt worden.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 22:56

Interessant.

Pim Braakhuis 23:13

Het systeem meet continu het grondwaterpeil. Als het peil te laag komt, begint het te pompen, en als het te hoog wordt, slaat het water op. Denk jij dat zo'n systeem kans van slagen heeft in een klimaatadaptieve woonwijk, waarin zowel woningen als landbouw ondersteund worden?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 23:57

Het idee is interessant. Bedoel je een hybride gebied met zowel woningen als paludicultuur?

Pim Braakhuis 24:00

Ja, dat klopt. Stel, je hebt een polder van 10 hectare, waarvan 4 hectare voor woningen wordt gebruikt en 6 hectare voor paludicultuur. Het idee is om de grond dynamisch te gebruiken, waarbij het systeem zowel woningen als landbouw ondersteunt.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 24:50

Dat klinkt als een interessante oplossing. Nederland heeft een hoge bevolkingsdichtheid en weinig ruimte, waardoor zulke systemen hier kansrijker zijn dan in andere landen.

Pim Braakhuis 25:07

Precies.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 25:09

Omdat de grondprijzen hier zo hoog zijn, kun je investeren in technologieën die elders niet haalbaar zouden zijn. Bijvoorbeeld in Duitsland, waar grondprijzen veel lager zijn, denken mensen niet aan dit soort systemen.

Pim Braakhuis 25:41

Nee, dat klopt. Het is echt een Randstad-oplossing.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 25:43

Precies. Technisch gezien hangt het allemaal af van hoe je de waterstand reguleert. Maar als je op een veenbodem mensen wil huisvesten en tegelijkertijd het klimaatneutraal wilt doen, dan moet je de waterstand hoog houden. Een systeem dat water buffert in het eigen landschap – zoals jij beschrijft – klinkt veelbelovend.

Pim Braakhuis 26:21

Dank je.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 26:21

Het kan ook in combinatie met paludicultuur of natuur. Paludicultuur biedt een businessmodel, maar natuur is ook een optie.

Pim Braakhuis 26:40

Ja, het economisch belang blijft altijd een factor.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 26:50

Precies.

Pim Braakhuis 26:57

Wat ik ook las, is dat paludicultuur een goede opstap kan zijn naar nieuwe natuur. De stap van traditionele landbouw naar paludicultuur is al groot, maar de overstap van paludicultuur naar nieuwe natuur is veel kleiner.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 27:14

Ja, precies.

Pim Braakhuis 27:21

Dat is interessant om verder te onderzoeken.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 27:23

Ja, zeker.

Pim Braakhuis 27:26

Wat ik nu vooral aan het uitzoeken ben, is hoe we het landschap bouwrijp kunnen maken zonder het te beschadigen.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 27:44

Ja.

Pim Braakhuis 27:48

Bijvoorbeeld: als je een veenlandschap tijdelijk moet draineren om machines toegang te geven, hoe schadelijk is dat? Stel dat het grondwaterpeil tijdelijk 50 tot 100 cm moet zakken om funderingen te plaatsen en infrastructuur aan te leggen. Kan dat zonder grote schade?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 28:31

Als je in een gedegradeerd systeem werkt, zoals in het Groene Hart, zul je inklinking en oxidatie krijgen, afhankelijk van hoelang en in welk seizoen je dit doet. In de zomer, met hogere temperaturen, gaat de afbraak sneller dan in de winter.

Pim Braakhuis 29:05

Ja, dat begrijp ik.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 29:17

Als het tijdelijk is en je werkt al in een gedegradeerd systeem, valt de schade mee. Je helpt geen volledig intact ecosysteem om zeep, want dat is er al niet.

Pim Braakhuis 29:36

Dat klopt, het is anders dan bijvoorbeeld intacte veengebieden in Scandinavië. Hier is de situatie al anders.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 29:42

Precies. Als het moet gebeuren, is snelheid belangrijk om de impact te minimaliseren.

Pim Braakhuis 29:51

Oké, dat is helder.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 29:52

Als huisvesting noodzakelijk is en er geen alternatieven zijn, is dit waarschijnlijk de minst schadelijke optie.

Pim Braakhuis 30:08

Ja.

Pim Braakhuis 30:10

Als we bouwen, hoe zorgen we ervoor dat de impact op het landschap zo laag mogelijk is? Wat zijn volgens jou belangrijke aandachtspunten, naast het hooghouden van de waterstand?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 30:36

Het Groene Hart staat bijvoorbeeld bekend als habitat voor weidevogels. Als je paludicultuur toepast, moet je kijken naar welke gewassen je introduceert.

Pim Braakhuis 30:53

Ja, dat klopt.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 30:54

Sommige gewassen, zoals lisdodde, verdringen de biodiversiteit waar weidevogels afhankelijk van zijn. Die vogels leven bijvoorbeeld in open, kruidenrijke graslanden, niet in lisdoddevelden.

Pim Braakhuis 31:12

Dus het type gewas speelt een grote rol. Je zou bijvoorbeeld 10% van de gewassen kunnen reserveren voor kruidenrijke vegetatie die geschikt is voor weidevogels.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 31:18

Ja, precies.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 31:40

Toevallig hebben we onlangs twee papers geschreven over dit onderwerp. Ze worden binnenkort gepubliceerd in het tijdschrift *Landschap*.

Pim Braakhuis 31:49

Interessant.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 31:56

De papers gaan over "wetscapes" en paludicultuur in de Nederlandse context, en over hoe het huidige gebruik van veengebieden een groot deel van het koolstofbudget opslokt.

Pim Braakhuis 32:05

Dat klinkt relevant.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 32:11

Ik wacht nog op de proefdruk. Als je me eind van het jaar een mail stuurt, kan ik de papers met je delen zodra ze gepubliceerd zijn.

Pim Braakhuis 32:16

Pim Braakhuis 32:42

Ja, super. Ik zal het in mijn agenda zetten. Ik heb nog één laatste vraag.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 32:47

Ja, natuurlijk.

Pim Braakhuis 32:51

Je sprak net over paludicultuur. Hoe groot is volgens jou de potentie hiervan voor implementatie in de Nederlandse maatschappij op de lange termijn?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 33:02

Op de lange termijn denk ik dat je er bijna niet omheen kunt. In 2050, als we doorgaan zoals nu, wordt 50% van het koolstofbudget opgeslokt door veenoxidatie.

Pim Braakhuis 33:17

Dat is enorm.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 33:18

Ja, het is enorm, vooral omdat veenlandbouw economisch gezien relatief weinig oplevert. Als je dat vergelijkt met een sector zoals ASML, met miljardenomzetten, is de keuze op termijn duidelijk.

Pim Braakhuis 33:43

Ja, dat begrijp ik.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 33:56

In mijn ogen kun je op veengrond niet om paludicultuur heen. Als boeren op veengrond willen blijven werken, is paludicultuur een van de weinige toekomstbestendige opties.

Pim Braakhuis 34:07

Het lijkt onvermijdelijk.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 34:08

We zitten op een kantelpunt. Boeren willen innoveren, maar er is ook vraag vanuit de industrie naar meer volume. Het is nog een kip-of-ei-probleem, maar er zijn al veel pilots bezig om paludicultuur op te schalen.

Pim Braakhuis 34:38

Dat is goed om te horen. Ik heb nog een allerlaatste vraag.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 34:46

Ga je gang.

Pim Braakhuis 34:46

In een document van het Planbureau las ik over pilots op enkele duizenden hectares. Kun je uitleggen hoe die pilots eruitzien?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 35:07

Een pilot is in essentie een test. Je kunt het op kleine schaal doen, bijvoorbeeld op enkele vierkante meters, maar het kan ook oplopen naar tienduizenden hectares. Op polderschaal, zoals we in Nederland kennen, kan een pilot zich richten op duizenden hectares.

Pim Braakhuis 35:35

En die worden dan uitgebreid?

Temmink, R.J.M. (Ralph) 35:46

Ja, dat is de bedoeling. Je test eerst op kleine schaal hoe het werkt en breidt het daarna uit. Op grotere schaal komen logistieke en exploitatievragen om de hoek kijken.

Pim Braakhuis 36:20

Interessant.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 36:22

Ja, er is nog veel werk te doen.

Pim Braakhuis 36:34

Inderdaad. Ik ga hierover waarschijnlijk ook met de provincie Zuid-Holland in gesprek. Dit soort informatie kan ik goed gebruiken. Bedankt daarvoor.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 36:44

Graag gedaan.

Pim Braakhuis 36:53

Ik denk dat ik voorlopig genoeg informatie heb. Ik houd je op de hoogte als je dat leuk vindt.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 37:01

Ja, graag.

Pim Braakhuis 37:06

Ik moet mijn paper op 28 januari inleveren. Bij ons bestaat de thesis uit twee delen: onderzoek en ontwerp. Tijdens het ontwerpen werk je nog verder aan het onderzoek.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 37:13

Oké, dat klinkt goed.

Pim Braakhuis 37:35

Ik kan het paper opsturen zodra het klaar is, als je dat wilt.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 37:41

Ja, leuk. Doe wat je denkt dat het beste is.

Pim Braakhuis 37:52

Bedankt voor je tijd en hulp.

Temmink, R.J.M. (Ralph) 37:54

Graag gedaan. Veel succes.

Pim Braakhuis 37:55

Dank je wel. Fijne vakantie!

Temmink, R.J.M. (Ralph) 37:57

Komt goed. Tot ziens.

Pim Braakhuis 37:59

Tot ziens!

Temmink, R.J.M. (Ralph) 38:00

Doei!

O. Interview Marijn van Ossk, 2024

Hieronder volgt een diepte interview met Marijn Van Oss, werkzaam bij B plus B architecten, die het principe van een Aquabattery Recharge hebben bedacht om extra watervoorziening mogelijk te maken. De inhoud van het gesprek is vooral gericht op systemen in veenlandschappen.

Transcript

18 december 2024, 09:02 uur

Pim Braakhuis 0:03

Even kijken, dat staat hier.

Ik heb er foto's van gemaakt.

Kan ik dat met jou delen?

Zwart, dan heb je er helemaal niets aan.

Ik werk op twee verschillende computers, en stand-by werkt het altijd op de andere.

Ja, dat was ook de reden dat ik uiteindelijk het gesprek met jullie aanging, omdat jullie een Aqua Battery hadden bedacht.

Marijn van Oss 0:46

Ja.

Pim Braakhuis 0:47

Maar dan inderdaad op landschapsniveau.

Marijn van Oss 0:52

Klopt, ja.

Pim Braakhuis 0:53

Ja, even kijken.

Kan ik mijn scherm met je delen?

Zo, ik open het register.

Kun je dit nu zien?

Marijn van Oss 1:06

Ja, ja.

Pim Braakhuis 1:08

Nou, dit is dus wat jullie hebben bedacht: een Aqua Battery Recharge.

Marijn van Oss 1:12

Ja.

Pim Braakhuis 1:14

Eigenlijk... maar dat is op landschapsniveau. Ik heb gekeken of we dit concept ook op kleinere schaal kunnen toepassen. Daarbij heb ik twee pilots gebruikt. Eén is de SSI-drainage, zoals dat is toegepast in de Bloemenbuurt in Rotterdam.

Marijn van Oss 1:17

Ja.

Pim Braakhuis 1:35

Door middel van een waterpomp en drainagebuizen hebben ze een grote hoeveelheid water omgekeerd door die pomp gestuurd.

De andere was een APS-systeem, zoals bedacht door Field Factors.

Ik weet niet of dat je iets zegt. Dit resulteerde dus hierin.

Marijn van Oss 1:50

Oké. Nee.

Pim Braakhuis 1:58

Even inzoomen. Dit bestaat uit twee onderdelen. Je hebt de drainagebuizen, zoals daar bedacht, die ervoor zorgen dat het grondwater gereguleerd wordt.

Marijn van Oss 2:09

Ja.

Pim Braakhuis 2:10

Daaronder zie je het systeem zoals zij het hebben bedacht. Eerst heb je een filtratiebak. In die filtratiebak zitten reguleringen op het in de grond pompen van water, zodat het zand niet vervuild raakt. Wat ze doen, is eerst filteren via die bak. Vervolgens wordt het water via een systeem naar beneden gepompt in een aquarel, waar het wordt opgeslagen en later weer omhoog kan worden gehaald. De eerste testen daarmee zijn uitgevoerd, en het blijkt te werken.

Marijn van Oss 2:42

Oké. En dit is dan voor gebruik bij woningen? Of waar wordt het opgeslagen en vervolgens gebruikt?

Pim Braakhuis 2:55

Dit wordt in een zandlaag opgeslagen.

Marijn van Oss 2:59

Ja.

Pim Braakhuis 3:00

En daarna wordt het weer omhoog gehaald, bijvoorbeeld om sportvelden te bewateren. Het draait vooral om het behouden van voldoende grondwater. Het kan nog niet worden gebruikt als drinkwater, vanwege de strenge regelgeving in Nederland.

Marijn van Oss 3:05

Oké, ja.

Pim Braakhuis 3:20

In Nederland gelden heel strikte regels over wat drinkwater mag zijn.

Marijn van Oss 3:24

Ja, precies.

Pim Braakhuis 3:27

Volgens mij staat er letterlijk beschreven dat alleen een drinkwaterbedrijf drinkwater mag verkopen. Je mag dus niet je eigen drinkwater aan anderen geven. Bijvoorbeeld bij Fort Pampus zijn ze bezig met zelfvoorzienendheid. Daar hebben ze nu een container met drie verschillende systemen geplaatst, waarmee ze drinkwater kunnen maken. Maar dat moet allemaal nog beoordeeld worden door een rechter.

Marijn van Oss 4:12

Ja.

Pim Braakhuis 4:13

In principe zou dit met zo'n derde systeem mogelijk zijn. Het water wordt gefilterd in de bak, opgeslagen in de grond, waar het nog verder wordt gefilterd, en daarna weer opgepompt en opnieuw gefilterd. Dus het zou moeten kunnen, maar regelgeving staat in de weg.

Marijn van Oss 4:19

Ja, precies. Maar het is interessant om te zien hoe het systeem op grote schaal doorvertaald kan worden naar een kleinere schaal.

Pim Braakhuis 4:40

Ja.

Marijn van Oss 4:40

Op een kleinere schaal, ja.

Pim Braakhuis 4:41

Uiteindelijk kan dit systeem 160 woningen bedienen, met ongeveer 20.000 liter per dag. Ik berekende dat je hiermee een hectare met 80 huishoudens, dus 160 mensen, kunt voorzien. Een Aqua Battery kan daarentegen 45.000 kubieke meter water opslaan. Dat is een enorm verschil. De reden dat ik jullie nog wilde spreken, is vanwege de Aqua Battery. Hoe zagen jullie dat voor je? Wat is het precies in jullie ogen, en hebben jullie het concept al kunnen toepassen?

Marijn van Oss 5:28

Nee, we hebben het nog niet op deze schaal kunnen toepassen. Het idee komt voort uit een grondige analyse van het landschap en het huidige systeem.

Pim Braakhuis 5:45

Ja.

Marijn van Oss 5:47

Het idee komt voort uit de noodzaak om lokaal een zoetwaterbel op te slaan. Het huidige watersysteem in Nederland is namelijk sterk afhankelijk van een paar grote waterbekkens, zoals het IJsselmeer. In andere delen van het land geldt hetzelfde: we zijn afhankelijk van enkele grote zoetwaterbekkens. We zien echter nu al dat de toevoer naar die bekkens steeds slechter wordt.

De aanleiding voor de Aqua Battery kwam voort uit verschillende analyses. Eén van de stakeholders, bijvoorbeeld Waterbedrijf Groningen, gaf aan dat ze al te maken hadden met een tekort aan geschikt water om drinkwater van te maken. Volgens hun prognoses zou dat tekort in de toekomst met 30% toenemen. Ik weet niet precies binnen welk tijdsbestek dit werd verwacht, maar het ging om toekomstige ontwikkelingen.

Pim Braakhuis 6:58

Ja.

Marijn van Oss 7:04

Dit gaf aanleiding om wateropslag te optimaliseren. Daarnaast was er vanuit natuur- en landbouwperspectief een grote vraag naar zoet water. Zoals het systeem nu werkt, is het in de winter zo ingericht dat elke druppel regen binnen een dag in de Waddenzee belandt. Dit is gunstig voor landbouw en bewoning, maar het zorgt er tegelijkertijd voor dat we in de zomer steeds vaker te maken hebben met droogte.

Pim Braakhuis 7:33

Ja.

Marijn van Oss 7:47

We hebben niet genoeg lokale opslag. Het huidige boezemsysteem in Noord-Nederland is ingericht om water vanuit het IJsselmeer in de zomer naar het oosten en noordoosten te pompen, vooral om landbouwgebieden in Friesland en Groningen van zoet water te voorzien. Voor natuurgebieden is de situatie vaak minder gunstig. In het oosten van Groningen zitten we bovendien aan het einde van deze pijpleiding. We noemen dat het "end-of-pipe-principe".

Tegelijkertijd zien we dat de zoetwatervoorraad in het IJsselmeer steeds verder onder druk komt te staan, terwijl de vraag in de tussenliggende gebieden toeneemt. Ook daar hebben ze te maken met dezelfde uitdagingen. Vanuit deze vraagstukken zijn we gaan zoeken naar manieren om wateropslag lokaal beter te faciliteren, zowel bovengronds als ondergronds.

Pim Braakhuis 8:56

Ja.

Marijn van Oss 9:02

Ondergronds richtten we ons op het aanvullen van zoetwaterbellen. In Groningen, bijvoorbeeld, is het grondwater een belangrijke bron voor drinkwater. Als je een bodemkaart van Groningen bekijkt, zie je dat de Hondsrug noord-zuid door de provincie loopt. Aan de westkant heb je het dal van het Drents Diep, en aan de oostkant het Hunzedal. Onze focus lag op het Hunzedal, waar grondwater wordt onttrokken om drinkwater van te maken. Aan de andere kant, bij de Drentsche Aa, wordt water uit de beek gebruikt om drinkwater te produceren.

Pim Braakhuis 9:32

Ja.

Marijn van Oss 9:45

We hebben gekeken naar maatregelen om lokaal zoet water beter vast te houden, zoals het vergroten van de infiltratiecapaciteit op de Hondsrug. De Hondsrug is eigenlijk een enorme bak zand, en aan weerszijden daarvan liggen veengebieden. Zand heeft grote poriën en is ideaal voor waterinfiltratie, maar doordat we de Hondsrug in de loop der jaren hebben volgebouwd met bos en bebouwing, is de infiltratiecapaciteit verminderd. Eén van de maatregelen die we voorstellen, is het terugbrengen van heidegebieden.

Pim Braakhuis 10:26

Ja.

Marijn van Oss 10:44

Heidegebieden hebben een veel grotere infiltratiecapaciteit dan de huidige productiebossen. Dit soort maatregelen zijn gericht op de lange termijn, om grondwaterbellen beter aan te vullen.

Pim Braakhuis 10:52

Ja. Je zegt infiltratiecapaciteit, maar zand heeft toch niet per se een hoog vochthoudend vermogen?

Marijn van Oss 11:12

Nee, dat klopt. Zand heeft geen hoog vochthoudend vermogen, maar dat is juist wat je wilt als je een zoetwaterbel wilt aanvullen. Klei heeft een hoog vochthoudend vermogen; water heeft langer nodig om van het maaiveld naar de waterhoudende lagen te sijpelen.

Pim Braakhuis 11:25

Ja.

Marijn van Oss 11:28

In zand gebeurt dat veel sneller. Daardoor kun je het ook makkelijker onttrekken, bijvoorbeeld met pijpleidingen. Het gaat vooral om de snelheid van infiltratie. Als je zand en klei vergelijkt, infiltreert water in zand veel sneller, terwijl klei het beter vasthoudt. Daarom is klei geschikter voor hoogproductief landgebruik.

Pim Braakhuis 11:48

Ja.

Marijn van Oss 12:10

De Hondsrug, die voornamelijk uit zand bestaat, is dus ideaal om water bij te vullen. Onder de veenlaag zie je dat de Hondsrug eigenlijk het topje van de ijsberg is.

Pim Braakhuis 12:21

Ja.

Marijn van Oss 12:26

De Hondsrug werd gevormd tijdens de voorlaatste ijstijd. Tijdens de laatste ijstijd was Nederland een poolwoestijn. Toen zijn de dalen aan weerszijden van de Hondsrug gevuld met fijn zand, dat een hoge filtercapaciteit heeft.

Pim Braakhuis 12:57

Ja.

Marijn van Oss 13:01

Precies.

Pim Braakhuis 13:07

Interessant.

Marijn van Oss 13:10

De Hondsrug zelf is dus ontstaan door gletsjers in de voorlaatste ijstijd. Het landschap dat overbleef, had flinke welvingen, en de valleien zijn in de laatste ijstijd gevuld met fijn zand. Dat zand heeft een zeer hoge filtercapaciteit.

Pim Braakhuis 13:31

Ja.

Marijn van Oss 13:32

Op dat pakket zand is veen gaan groeien, wat nu de huidige veenweiden zijn. Als je inzoomt, zie je dat er onder dat veen een gigantische laag ligt, soms wel 100 meter dik, van kristalhelder zand. Dit zand is uitermate geschikt om grondwater in op te slaan en te filteren.

Pim Braakhuis 13:58

Ja, ja, ja. Kijken jullie dan ook naar het veen? Of richten jullie je vooral op de zandlaag eronder?

Marijn van Oss 14:06

We kijken absoluut ook naar het veen, maar vooral in relatie tot het vasthouden van oppervlaktewater. Wat je ziet, is dat...

Pim Braakhuis 14:17

Precies.

Marijn van Oss 14:22

...we de veengebieden zo moeten ontwateren om daar agrarisch landgebruik mogelijk te maken, dat het grondwaterpeil daalt. Hierdoor klinkt het veen in, en dat leidt tot veel CO₂-emissies.

Pim Braakhuis 14:43

Ja, ja.

Marijn van Oss 14:45

Wat we voorstellen... even kijken, misschien kan ik iets laten zien. Dit is eigenlijk wat er nu gebeurt. Ik weet niet of ik kan inzoomen.

Pim Braakhuis 15:30

Ja, ja.

Marijn van Oss 15:33

Het huidige boezemsysteem is volledig gericht op het snel afvoeren van water richting de Waddenzee. Dit is nodig om agrarisch gebruik in de veenweiden aan weerszijden van de boezem mogelijk te maken. Maar in de diepste delen wordt dat al steeds moeilijker.

Pim Braakhuis 15:51

Ja.

Marijn van Oss 15:58

Op deze specifieke locatie was het agrarisch gebruik al zo extensief dat we kansen zagen om een andere richting in te slaan, omdat er minder rekening gehouden hoefde te worden met intensief landgebruik.

Pim Braakhuis 16:20

Ja.

Marijn van Oss 16:21

Wat we eigenlijk voorstellen, is om de capaciteit van de Aqua Battery te vergroten en lokale wateropslag, zowel bovengronds als ondergronds, te maximaliseren. Dit doen we bijvoorbeeld door de boezem op bepaalde plekken letterlijk open te knippen. Op locaties waar het kan en de waterveiligheid gewaarborgd blijft, kan zoet water, dat nu direct wordt afgevoerd, in de veenweiden worden opgeslagen.

Pim Braakhuis 16:53

Ja.

Marijn van Oss 16:54

Hiermee creëer je condities waarin het veen weer kan groeien. In plaats van een systeem dat inklinkt en CO₂ uitstoot, creëer je een systeem dat groeit en CO₂ opslaat op de lange termijn.

Pim Braakhuis 17:13

Ja, precies. Dus jullie pleiten er eigenlijk voor om de dijken door te breken en de veenweiden gecontroleerd onder water te laten lopen, zodat ze behouden blijven?

Marijn van Oss 17:15

Ja. Het boezemsysteem is nu een smalle watermassa die ingeklemd zit tussen twee dijken. Voor toekomstige uitdagingen in ons watersysteem, zoals piekafvoeren door hevige regenval, biedt het vergroten van de boezem meer ruimte en flexibiliteit. Bovendien is de waterkwaliteit in de boezems vaak slecht.

Pim Braakhuis 18:10

Ja.

Marijn van Oss 18:15

Wat we ook voorstellen, is om water uit stedelijke gebieden naar deze gebieden te pompen.

Pim Braakhuis 18:32

Dus het water uit de stad eerst oppompen en naar die gebieden brengen?

Marijn van Oss 18:37

Precies, ja.

Pim Braakhuis 18:38

En vervolgens kan het daar weer worden gebruikt?

Marijn van Oss 18:39

Ja. Natuurlijk spelen er hierbij veel belangen. De kwaliteit van water uit de boezem is sterk afhankelijk

van het landgebruik in de bovenstroomse gebieden. Als je natuurdoelen wilt bereiken, moet je ervoor zorgen dat de waterkwaliteit goed genoeg is om dat water in te zetten. Soms is het water echter te vervuild. In stedelijke systemen, bijvoorbeeld, is het water vaak sterk verontreinigd en wordt het direct afgevoerd naar de Waddenzee. Wat wij voorstellen, is om dit om te draaien en dat water...

Goed genoeg is om dus dat water eigenlijk uit die boezem te trekken en het de verwijzers in te laten leiden. Het kan ook zijn dat het water soms te vervuild is, bijvoorbeeld. Maar goed, dan heb je het dat dat in dit geval viel het mee, Maar dat was wel het geval in het stedelijke systeem, dus het water uit stedelijk systeem is eigenlijk veld. Dat wordt nu eigenlijk ook direct op die op die poezen ontwaterd en dan vervolgens de Wadden is ingestuurd. Wat we voorstellen is om dat dus om te draaien en het het systeem is.

Pim Braakhuis 19:16

Ja.

Marijn van Oss 19:37

Het huidige systeem is voorzien van veel stuwen en andere kunstwerken, die we door anders in te stellen kunnen gebruiken om het systeem om te draaien. Het water wordt nu afgevoerd naar het diepste deel van de polder, wat vaak de veenweidegebieden zijn. Hier hebben we echter te maken met uitdagingen op het gebied van waterkwaliteit. Dit zijn natuurlijk nog de eerste stappen op vrij hoog schaalniveau.

Pim Braakhuis 19:53

Ja.

Marijn van Oss 20:06

Wat we hier voorstellen, is een koppeling tussen het stedelijke systeem en het natuurlijke systeem. Dit doen we door een netwerk van zogenaamde helofytenfilters toe te passen. Dit is een soort natuurlijke vegetatie, bestaande uit verschillende soorten moerasplanten, die een filterende werking hebben op vervuild water. Tegelijkertijd kan het ook de ruimtelijke kwaliteit van een plek verbeteren. In dit geval gaat het om de stadsrand tussen Groningen en het dorp Haren. Deze stadsrand dreigt nu verder te groeien, maar wij stellen voor om daar een helofytenfilter te creëren.

Pim Braakhuis 20:33

Yes.

Marijn van Oss 20:56

Het idee is om van deze stadsrand een soort stadspark te maken tussen de twee bevolkingskernen. Het filtert het water voordat het het nieuwe veengebied instroomt.

Pim Braakhuis 21:11

Helofyten... Hele fietsen? Hoe spel je dat?

Marijn van Oss 21:16

Ja, helofyten. Volgens mij spel je het H-E-L-O-F-Y-T-E-N.

Pim Braakhuis 21:25

Oh ja, dat is een grassoort, toch?

Marijn van Oss 21:26

Niet helemaal. Het zijn moerasplanten.

Pim Braakhuis 21:30

Oh.

Marijn van Oss 21:33

Er zijn verschillende soorten die daarvoor kunnen worden toegepast. Wat je bijvoorbeeld vaak ziet, is dat natuurlijke oevers met rietbeplantingen of zeggen al een zuiverende functie hebben voordat het water de boezem bereikt.

Pim Braakhuis 21:48

Ja.

Marijn van Oss 22:00

Een klassiek helofytenfilter is een soort zigzag van watergangen, waardoor het water langzaam door de zuiverende beplanting stroomt.

Pim Braakhuis 22:07

Oh, interessant. Die filters slaan ook wel aan, toch? Maar zijn het smalle stroken? Of heb je een heel landschap nodig?

Marijn van Oss 22:27

Dat hangt af van de capaciteit die je nodig hebt. Je kunt het compact houden, bijvoorbeeld een vierkant met een zigzag, maar het kan ook een lang lint zijn. Het ontwerp hangt af van wat de locatie vraagt.

Pim Braakhuis 22:57

Ja, dat klinkt logisch. In mijn onderzoek kijk ik ook naar nieuwe natuurbeheervormen. Ik stel dat klassieke landbouw op de lange termijn niet houdbaar is, omdat het veel te veel water vraagt.

Marijn van Oss 23:16

Ja.

Pim Braakhuis 23:16

Daarom pleit ik voor paludicultuur, waarbij je een vorm van natte teelt toepast.

Marijn van Oss 23:23

Hoe heet dat?

Pim Braakhuis 23:25

Paludicultuur.

Marijn van Oss 23:27

En hoe verschilt dat van gewone natte teelt?

Pim Braakhuis 23:33

Paludicultuur is specifiek gericht op het productief gebruik van natte veengebieden. Het minimaliseert CO₂-emissies en houdt de veenbodem intact.

Marijn van Oss 23:43

Oké.

Pim Braakhuis 23:45

Het is bedoeld voor veenlandschappen en zorgt ervoor dat je water beter vasthoudt en CO₂ opslaat in plaats van dat je het laat oxideren.

Marijn van Oss 23:58

Ja, precies.

Pim Braakhuis 24:00

Zo'n helofytenfilter kan goed samengaan met deze aanpak. Het filtert water voordat het in de bodem infiltreert, zoals bij het systeem van Field Factors. Daar gebruiken ze planten die het water zuiveren voordat het de grond in gaat. Het is een stapsgewijze overgang: van traditionele landbouw naar

paludicultuur, en uiteindelijk naar moerasgebieden. Dat laatste is de derde stap, maar het probleem zit vaak in de kosten. Traditionele landbouw is economisch veel rendabeler dan paludicultuur. Bovendien is paludicultuur nieuw en onbekend, en dat vinden mensen eng.

Marijn van Oss 24:28

Ja, precies. De overgang is belangrijk. Intensieve landbouw heeft weliswaar hoge opbrengsten, maar ook hoge kosten. In de toekomst kunnen extensieve vormen van landbouw rendabel zijn, maar de transitiefase is lastig. Je moet van een intensieve vorm met hoge opbrengsten en kosten overstappen naar een extensieve vorm met lage opbrengsten. Dat vergt een paar jaar aan...

Pim Braakhuis 24:56

Ja.

Marijn van Oss 25:24

Wat je ziet, is dat er een groot verschil is in opbrengsten tussen traditionele landbouw en polycultuur. Ik was benieuwd of je al hebt gekeken naar onderzoeken op dit gebied. Er zijn bijvoorbeeld gewassen uit natte teelten die als biobased materialen kunnen worden gebruikt. Is dat ook onderdeel van jouw onderzoek? Het lijkt me interessant, zeker in combinatie met amfibische woningen, waarbij je op je eigen perceel materialen kunt verbouwen om bijvoorbeeld je huis te isoleren.

Pim Braakhuis 25:46

Ja, niet alleen voor isolatie. Je kunt ook bomen laten groeien die geschikt zijn voor constructies in houtbouw.

Marijn van Oss 26:09

Ja, precies.

Pim Braakhuis 26:10

Zo maak je het systeem gesloten. Dat is waar ik ook mee bezig ben, maar het probleem is dat het nu nog zo kleinschalig is dat het discutabel blijft of het economisch haalbaar is. Toch is het een interessante richting.

Marijn van Oss 26:20

Zeker. Heel interessant.

Pim Braakhuis 26:32

Het is inderdaad een beetje dromen, maar dat hoort bij een pilot. Het is een exploratief onderzoek. Mijn ambitie is om gewassen uit polycultuur in constructies te gebruiken. Mijn mentor, Moo Smith, doet hier zelfs een promotieonderzoek naar. Ze werkt aan een project genaamd **Bouwtuin**, waarin ze kijkt naar streekgebonden architectuur en hoe lokale materialen kunnen worden ingezet.

Marijn van Oss 27:02

Bouwtuin, interessant.

Pim Braakhuis 27:02

Ja, ze hebben drie landschappen onderzocht: kleibodem, veenbodem en zandbodem, om te kijken hoe streekarchitectuur daarin toepasbaar is.

Marijn van Oss 27:31

Ja.

Pim Braakhuis 27:32

Het blijkt te kunnen, en het is erg leuk om te zien. Dat onderzoek staat ook online.

Marijn van Oss 27:43

Ik ga dat zeker bekijken. Heb je een specifieke casus waar je aan werkt?

Pim Braakhuis 27:50

Ja, mijn casus is de Gnephoek, boven Alphen aan den Rijn.

Marijn van Oss 27:57

Oké.

Pim Braakhuis 27:58

Dat is een poldergebied met een veenbodem. Het idee is om het gebied te gebruiken als waterbuffer of waterbergingsgebied, een soort spons voor de stad. Overtollig water kan daarheen worden gepompt, bijvoorbeeld naar een plas, waar het gefilterd wordt. Bij watertekorten kan dat water weer naar de stad worden geleid.

Marijn van Oss 28:31

Interessant.

Pim Braakhuis 29:26

Mijn vraagstuk is hoe we op stedelijke schaal amfibische woningen kunnen toepassen.

Marijn van Oss 29:36

Ja.

Pim Braakhuis 29:37

In dat gebied moet de grondwaterstand niet lager zijn dan 10 cm om het veen te behouden. Het moet dus echt nat blijven. Hoe kun je daar bouwen?

Marijn van Oss 29:41

Ja.

Pim Braakhuis 29:50

Mijn eerste idee was om het gebied droog te pompen en een bak neer te leggen die op het grondwater drijft. Maar dat bleek te ingrijpend voor het landschap en zou het CO₂-opslagpotentieel van het veen aantasten.

Marijn van Oss 30:21

Ja, precies.

Pim Braakhuis 30:23

Het huidige idee is om heipalen te gebruiken en een fundering te creëren die bestand is tegen overstromingen. Zo zorg je ervoor dat de fundering over 100 jaar nog steeds functioneert, zonder dat er veel zakkingen optreden en met beperkte waterschade.

Marijn van Oss 30:47

Hoe werkt dat precies? Ligt de fundering direct op het veenpakket, of hoe moet ik dat zien?

Pim Braakhuis 30:54

Ja, de fundering steunt op palen en ligt in feite op het veenpakket. Ik kan het even laten zien. Dit scherm delen... even naar de appendix.

Marijn van Oss 31:39

Dat is een flink document.

Pim Braakhuis 31:40

Ja, uiteindelijk mag het maar acht bladzijden zijn, dus dat wordt nog een uitdaging. Mijn begeleider zei: "Knál maar de hele appendix vol, en zorg dat je conclusies eigenlijk je hele onderzoek samenvatten." Wat ik hier doe, bouwt voort op de thesis van een masterstudent die vorig jaar is afgestudeerd.

Marijn van Oss 31:48

Ja.

Pim Braakhuis 32:01

Die student heeft gekeken naar welke principes van amfibische constructies het beste werken. Hij vergeleek verschillende opties. De eerste was een betonnen bak met daaronder palen. De tweede optie was een constructie die in het veen drijft, zoals in Bangladesh vaak wordt toegepast.

Marijn van Oss 32:24

Oh ja.

Pim Braakhuis 32:24

Dat zijn constructies met een soort geleidingspalen, die functioneren als fundering. Daar komt water in, en dat tilt de constructie op.

Marijn van Oss 32:36

Interessant.

Pim Braakhuis 32:37

De derde optie was een systeem waarbij je de constructie aan de zijkant omhoog trekt met palen. Die optie scoorde goed in termen van functionaliteit, maar ik heb dit onderzoek geüpdatet en opgedeeld in drie criteria: duurzaamheid, leefbaarheid, en impact op het veen.

Marijn van Oss 32:46

Ja.

Pim Braakhuis 33:03

Hier zie je hoe ik dat heb gedaan. De eerste optie, de betonnen bak, scoort het beste, vooral omdat het op veel vlakken neutraal is en door de lange levensduur ook duurzaam. Het is een eenvoudig principe.

Marijn van Oss 34:18

Ja.

Pim Braakhuis 34:19

Bij een overstroming of als er iets onder de bak schuift, kun je dat vrij eenvoudig oplossen. Maar optie drie, met de holle pijpen, werkt technisch gezien het beste.

Marijn van Oss 34:34

En...?

Pim Braakhuis 34:41

Het probleem bij die derde optie is dat het lastig is om leidingen en kabels weg te werken. Bovendien hebben we in Nederland bepaalde standaarden voor woningen. Plastic tonnen onder je huis zijn niet bepaald bevorderlijk voor het gevoel van veiligheid en leefbaarheid.

Marijn van Oss 35:03

Nee, dat klinkt niet ideaal.

Pim Braakhuis 35:04

Nee. Dat is dus een van de punten waar ik mee worstel.

Marijn van Oss 35:06

Snap ik.

Pim Braakhuis 35:10

Ik weet ook nog niet wat de architectonische of esthetische waarde van deze constructies is. Dat ga ik de komende zes maanden onderzoeken. Dit onderzoek richt zich vooral op hoe we systemen,

landschap en technologie kunnen samenbrengen om klimaatadaptieve veenlandschappen te creëren. Daarbij kijk ik ook naar jullie Aqua Battery-concept, om ervoor te zorgen dat de waterstand in het veen optimaal blijft.

Marijn van Oss 35:53

Ja, interessant. De constructie laat dus toe dat je het grondwaterpeil echt tot aan het maaiveld kunt brengen?

Pim Braakhuis 36:02

Ja, precies. Het idee is dat je door die hoge grondwaterstand schade aan traditionele bouw voorkomt. Daarom is een amfibische constructie nodig.

Marijn van Oss 36:18

Ja, dat klinkt logisch.

Pim Braakhuis 36:22

Hoe dat er uiteindelijk uit ziet, moeten we nog zien. Ik ben nu bezig met het laatste onderdeel: kijken of polycultuur en natte teelten kunnen worden gebruikt als lichte bouwmaterialen.

Marijn van Oss 36:26

Interessant.

Pim Braakhuis 36:38

Ik lever mijn onderzoek in op 20 januari, en daarna begin ik aan het ontwerp.

Marijn van Oss 36:45

Misschien ken je dit al, maar er is een onderzoek naar polycultuur en biobased materialen gedaan door het bureau BOOM Landscape. Zij hebben gekeken naar biobased materialen in Zuid-Holland. Het lijkt me een interessant onderzoek, zeker als je naar die koppeling met landschap kijkt.

Pim Braakhuis 37:12

Dat klinkt goed.

Marijn van Oss 37:22

Ze hebben verschillende landschapstypes gekoppeld aan biobased teelten.

Pim Braakhuis 37:24

Bedoel je iets in Dordrecht, of...?

Marijn van Oss 37:26

Volgens mij hebben ze ook een provinciebrede publicatie gemaakt. Ik zoek het even op.

Pim Braakhuis 37:35

Dat klinkt super interessant om door te nemen.

Marijn van Oss 37:45

Ik denk dat ik het heb gevonden. Dit is van hun website, maar ze hebben ook een uitgebreide publicatie. Ik zet de link even in de chat.

Pim Braakhuis 38:02

Dat is handig. Ze hebben ook handreikingen, begrijp ik?

Marijn van Oss 38:04

Ja, precies. Ze blijven hier ook verder aan werken, maar ik denk dat het een goed startpunt is voor jouw onderzoek.

Pim Braakhuis 38:21

Zeker. Dank je wel.

Marijn van Oss 38:23

Het klinkt als een superinteressante opgave. Misschien leuk als referentie: we hebben onlangs gewerkt aan een dorpsuitbreiding in Volendam met vergelijkbare condities. Daar speelden we ook met de vraag: moeten we hier überhaupt bouwen? Uiteindelijk kwamen we tot de conclusie dat het een geschikte plek was. We hebben een stedenbouwkundig plan gemaakt voor een uitbreidingswijk die ook fungeert als piekberging voor het dorp. Het gebied bestaat nu voornamelijk uit weilanden zonder waterbergende functie. Het plan combineert woningen, natuur en waterberging. Misschien interessant om eens naar te kijken.

Pim Braakhuis 39:06

Ja, dat klinkt interessant.

Marijn van Oss 39:20

Volgens mij staat het online.

Pim Braakhuis 39:24

Dat zou handig zijn.

Marijn van Oss 39:27

Ik stuur het je even door.

Pim Braakhuis 39:33

Perfect, dank je.

Marijn van Oss 39:46

Ken je het project Schoonschip in Amsterdam?

Pim Braakhuis 39:51

Ja, dat ken ik. Dat project is echt gericht op drijvende woningen. Ze hebben daar vooral gekeken naar hoe leidingen en kabels worden geregeld.

Marijn van Oss 39:52

Precies. Toen je het had over die tubes en leidingen, moest ik daaraan denken.

Pim Braakhuis 40:04

Ja.

Marijn van Oss 40:05

Bij Schoonschip hebben ze het heel simpel opgelost met een soort vlonderpad dat alle woningen ontsluit. Onder dat pad liggen alle kabels en leidingen.

Pim Braakhuis 40:15

Dat klinkt logisch. Voor mijn project zie ik het als een systeem met primaire en secundaire infrastructuur. De primaire infrastructuur wordt opgehoogd met licht ophoogmateriaal, zoals schuimglas. Dat maakt het gebied begaanbaar voor machines. Hoe je het ook bekijkt, het gebied zal tijdelijk drooggelegd moeten worden om funderingen te plaatsen.

Marijn van Oss 40:56

Ja.

Pim Braakhuis 41:19

Eerst installeer je leidingen en drainage om het grondwater tijdelijk 70 cm te verlagen. Vervolgens kunnen machines het gebied in om funderingen en primaire infrastructuur aan te leggen. Daarna laat je het grondwaterpeil langzaam weer stijgen en bouw je op die basis verder.

Marijn van Oss 41:31

Dat klinkt logisch.

Pim Braakhuis 41:33

Het is technisch mogelijk, maar omslachtig. Toch zullen we die kant op moeten, denk ik.

Marijn van Oss 41:38

Ja, precies.

Pim Braakhuis 41:43

Dank je wel, dit gesprek heeft me veel inspiratie gegeven.

Marijn van Oss 41:49

Graag gedaan!

Pim Braakhuis 41:53

Als je het leuk vindt, stuur ik mijn onderzoek naar je toe zodra het af is.

Marijn van Oss 41:56

Heel graag! Ik ben benieuwd. In de praktijk komen we veel van dit soort vragen tegen, dus het is interessant om jouw oplossingen te zien. Als je vragen hebt, weet je me te vinden.

Pim Braakhuis 42:10

Dat doe ik, bedankt!

Marijn van Oss 42:16

Oké, succes!

Pim Braakhuis 42:20

Dank je wel, Marijn. Ik ga weer verder.

Marijn van Oss 42:23

Succes!

Pim Braakhuis 42:25

Dank je, jij ook.

Marijn van Oss 42:26

Ik zie je onderzoek graag verschijnen.

Pim Braakhuis 42:28

Zal ik doen. Tot ziens!

Marijn van Oss 42:29

Tot ziens.