

Ontwerpberekeningen renovatie vispassages bij stuwen Linne en Lith (DO)

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Zuid-Nederland



Eindconcept

11 juli 2025

Colofon

Titel	: Ontwerpberekeningen renovatie vispassages bij stuwen Linne en Lith (DO)
Opdrachtgever	: Rijkswaterstaat Zuid-Nederland
Opgesteld door	: Douwe Meijer
Collegiale toets	: Wieger Blokland, Gabriel Ghodrati
Projectnummer	: BJ5649 / 153.02
Datum	: 11 juli 2025
Document	: 20250711 Ontwerpberekeningen renovatie vispassages bij Linne en Lith.docx

Inhoudsopgave

Samenvatting	iv
1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Uitgangspunten	4
2 Hydraulische karakteristieken van de vispassage.....	5
2.1 Basisontwerp van de vispassages	5
2.2 Excel-rekenblad voor het ontwerp van vispassages.....	6
2.2.1 Algemeen	6
2.2.2 Blad 'stuwen'	6
2.2.3 Blad 'V-stuw vertical slot INVOER'	6
2.2.4 Blad 'V-stuw vertical slot ONTWERP'	7
2.2.5 Blad 'V-stuw grafieken ONTWERP'	7
2.2.6 Blad 'V-stuw vertical slot SIMULATIE'	8
2.2.7 Blad 'V-stuw grafieken SIMULATIE'	8
2.2.8 De Ghodrati-plaat	8
2.3 Samenvatting van de resultaten	9
2.3.1 Linne	9
2.3.2 Lith.....	15
2.3.3 Overzicht van dimensies	16
2.4 Ontwerpafwegingen	16
2.4.1 Vindbaarheid	16
2.4.2 Dissipatiedichtheid	16
2.4.3 Maximale stroomsnelheid.....	17
2.4.4 Minimale stroomsnelheid en vispasseerbaarheid in dagen per jaar	17
2.5 Beschouwing van de resultaten	17
3 Conclusies en aanbevelingen	18
3.1 Conclusies	18
3.2 Aanbevelingen.....	18
4 Referenties	19
Bijlage 1 Berekeningsresultaten Linne (lengtedoorsneden) – zonder optimalisatie	
Bijlage 2 Berekeningsresultaten Linne (lengtedoorsneden) – met optimalisatie (5 platen)	
Bijlage 3 Berekeningsresultaten Linne (lengtedoorsneden) – met optimalisatie (5 platen) en peilopzet (0,30 m): versie 2	
Bijlage 4 Berekeningsresultaten Lith (lengtedoorsneden) – zonder optimalisatie	
Bijlage 5 Berekeningsresultaten Lith (lengtedoorsneden) – met optimalisatie (5 platen)	

Samenvatting

In een lopende opdracht voor Rijkswaterstaat Zuid-Nederland maakt RoyalHaskoningDHV een Definitief Ontwerp (DO) van een nieuwe vispassage bij de stuw van Lith en van twee te renoveren bestaande vispassages bij de stuwen Lith en Linne. Voorliggende rapportage beschrijft een uitgewerkte dimensionering voor de renovatie van de twee genoemde bestaande vispassages. Bij Linne wordt rekening gehouden met de mogelijkheid van peilopzet in de toekomst (0,30 m). Dat maakt dat er voor drie aanbevolen varianten een dimensionering voorligt.

De rekenregels voor het ontwerpen van vispassages zijn in een Excel-rekenblad opgenomen waarbij per stuw voor verschillende afvoerniveaus hydraulische simulaties gedaan kunnen worden. Hierbij volgen er per drempel en per bekken hydraulische resultaten ten aanzien van waterstanden, stroomsnelheden en dissipatiedichtheid (turbulentie). De rekenmethode toont zich geschikt voor het optimaliseren van vispassages, en generiek om op verschillende locaties toe te passen.

De gekozen dimensies garanderen zonder optimalisatie nog niet voldoende vispasseerbaarheid, zowel uitgedrukt in doelsoorten als dagen per jaar. Bij Lith is dit probleem groter dan bij Linne, omdat het te overbruggen verval over de stuw bij Lith (tot 4,95 m) groter is dan bij Linne (tot 4,00 m zonder peilopzet en tot 4,30 m met peilopzet). Het probleem ontstaat bij middelhoge Maasafvoeren. Aan benedenstroomse zijde van de stuw stijgt de waterstand, waardoor enkele compartimenten verdrongen raken. Het verval verdwijnt hiermee nagenoeg en de stroomsnelheid wordt te laag om als lokstroom te fungeren.

Het onderzochte concept voor optimalisatie bestaat uit verticale platen boven de drempels van de 5 meest benedenstroomse bekkens van de vispassage. Bij stijgend water raakt de doorstroomopening verdrongen en neemt het doorstroomprofiel hierdoor niet verder toe, waardoor zowel het verval over de drempel als de stroomsnelheid niet verder afnemen. Dit concept levert voldoende verbetering om de vispasseerbaarheid bij Linne tot een Maasafvoer van 530 m³/s te waarborgen (minimaal 319 dagen per jaar, ofwel 87% van de tijd).

Bij Lith biedt dit concept met 5 platen verbetering tot slechts 280 m³/s (258 dagen per jaar, ofwel 71% van de tijd). Indien bij Lith dezelfde verbetering als bij Linne nagestreefd wordt, zijn minimaal 10 platen noodzakelijk, die bovendien tot 1 m hoger moeten worden.

De aanbevolen ontwerpen zijn dan ook niet de best haalbare technische oplossingen, maar vormen een compromis tussen vispasseerbaarheid en veronderstelde kosten. Omdat deze afwegingen per definitie niet objectiveerbaar zijn, worden tot slot de vrijheidsgraden in het ontwerp nog eens benoemd. In vergelijkbare toekomstige gevallen is het goed te beseffen dat er niet alleen harde uitgangspunten, maar ook vrijheidsgraden (of: ontwerpkeuzes) in het ontwerpproces bestaan.

De optimalisatie van Linne voorziet tevens in een verlengd eerste bekken (drievoudige lengte), zodat splitsing in drie bekkens in een later stadium mogelijk is (zie volgende alinea). Daarnaast is er maatwerk toegepast bij het bekken dat met de brug naar het stuweiland kruist. Dit bekken is verlengd om het doorstromende water voldoende ruimte voor de benodigde energiedissipatie te geven.

De rapportage bevat concrete ontwerpaanbevelingen voor de renovatie van de vispassage van Linne in de actuele situatie. De passage is uitbreidbaar ontworpen, omdat stuw Linne mogelijk in de toekomst met peilopzet geconfronteerd kan worden. Hiervoor is een tweede set ontwerpparameters samengesteld, die van 0,30 m peilopzet uitgaat. Een derde set van ontwerpparameters betreft de renovatie van de passage bij Lith.

Het resultaat van voorliggende ontwerpstudie vormt de basis voor de nadere constructieve detaillering en op te stellen ontwerptekeningen.

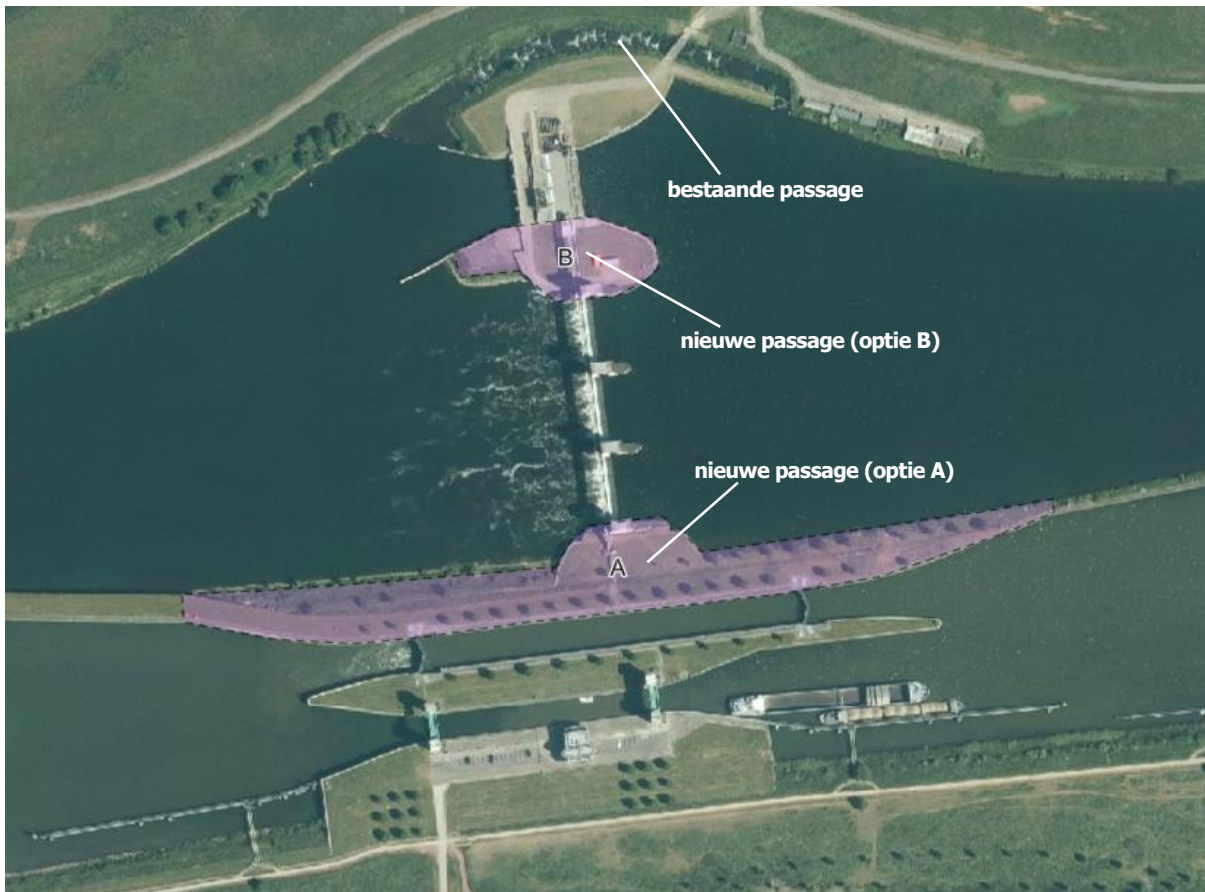
1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In een lopende opdracht voor Rijkswaterstaat Zuid-Nederland maakt RoyalHaskoningDHV een Definitief Ontwerp (DO) van een nieuwe vispassage bij de stuw van Lith (Ghodrati e.a., 2024) en van twee te renoveren bestaande vispassages bij de stuwen Lith en Linne (Blokland e.a., 2024a en b). Van de 7 bestaande vispassages bij de stuwen in de Maas worden de bekkens bij Lith en Linne geheel opnieuw ingericht, bij de andere vispassages zijn maatregelen op kleinere schaal voorzien.



Figuur 1-1 Bestaande vispassage bij stuw Linne (bron: Blokland e.a., 2024a)

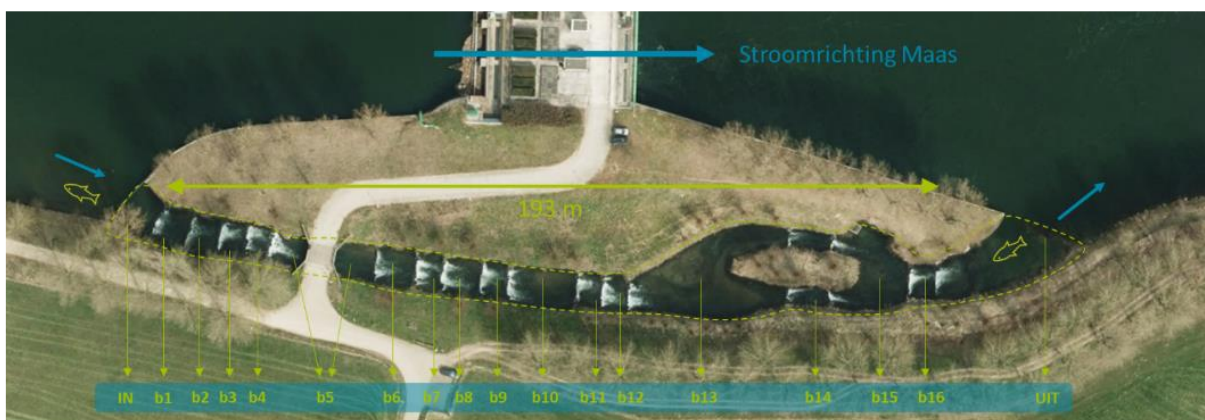


Figuur 1-2 Zoekgebieden nieuwe vispassage en bestaande vispassage bij stuw- en sluizencomplex Lith (bron: Ghodrati e.a., 2024b)

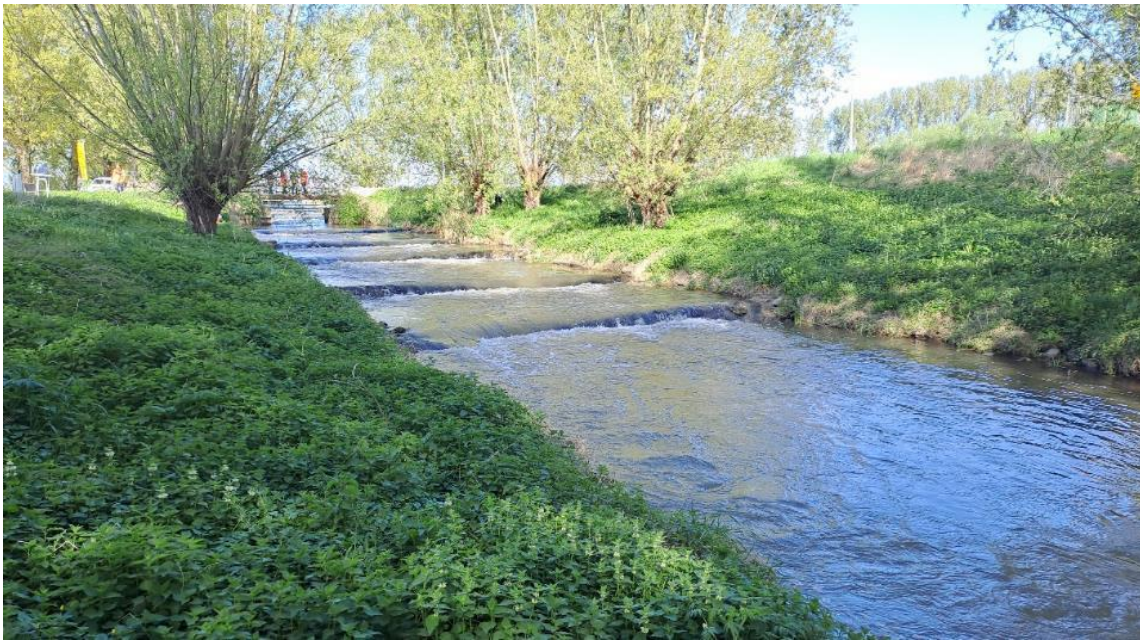
Voor zowel het ontwerp van de nieuwe vispassage als voor de renovatie van de bestaande vispassages is een rekenmethode met behulp van een Excel-rekenblad opgezet. Omdat de te renoveren passages op een ander ontwerp gebaseerd zijn dan de nieuwe passages, zijn er twee typen Excel-rekenbladen ontwikkeld, die aan de ontwerpen ten grondslag liggen.

Voorliggende notitie beschrijft de achterliggende rekenbladen van **de renovatie van de bestaande vispassages bij Linne en Lith (DO)**.

De bestaande vispassage bij Linne bestaat uit 16 bekken en 17 drempels (Figuur 1-3), waarbij bekken 14 (en dus ook drempels 14 en 15) door een eilandje gesplitst zijn.

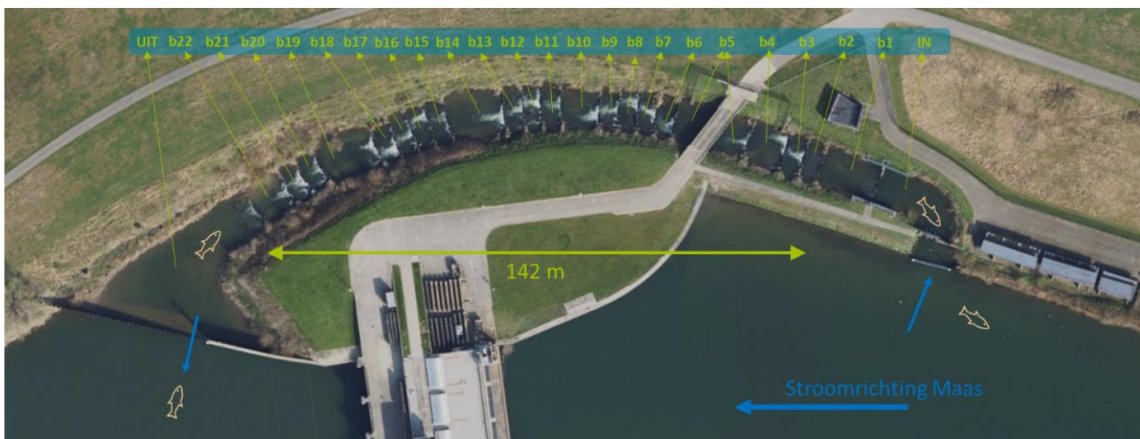


Figuur 1-3 Bestaande vispassage bij Linne (Blokland e.a., 2024a)



Figuur 1-4 Linne: zicht op bekkens B5-B10 (Blokland e.a., 2024a)

De bestaande vispassage bij Lith bestaat uit 22 bekkens en 23 drempels (Figuur 1-5).



Figuur 1-5 Bestaande vispassage bij Lith (Blokland e.a., 2024b)



Figuur 1-6 Lith: zicht op bekkens B1-B5 (Blokland e.a., 2024a)

Op beide locaties zijn de drempels overlaten in een lichte V-vorm met het diepste punt doorgaans in het midden. Er is op dit moment nog geen sprake van een verticale spleet (*vertical slot*) in de drempels.

1.2 Uitgangspunten

De werkwijze bouwt voort op de inspectierapporten van beide passages (Blokland e.a., 2024a en b) en gaat uit van de volgende uitgangspunten:

- De vispassages houden elk dezelfde locatie.
- Het aantal drempels bedraagt bij Linne 19 (dit is 2 meer dan nu) en bij Lith 24 (dat is 1 meer dan nu).
- Hierdoor bedraagt het aantal compartimenten (bekkens) bij Linne 18 (dit is 2 meer dan nu) en bij Lith 23 (dat is 1 meer dan nu).
- In de uitwerking wordt er rekening gehouden met de mogelijkheid van peilopzet van de stuw Linne. Het ontwerp voor Linne moet uitbreidbaar zijn. Dat betekent dat er twee drempels en dus ook twee bekkens aan het ontwerp toegevoegd moeten kunnen worden.
- De drempels hoeven niet op dezelfde locatie te blijven. De verdeling van de drempels over de lengte mag veranderen.

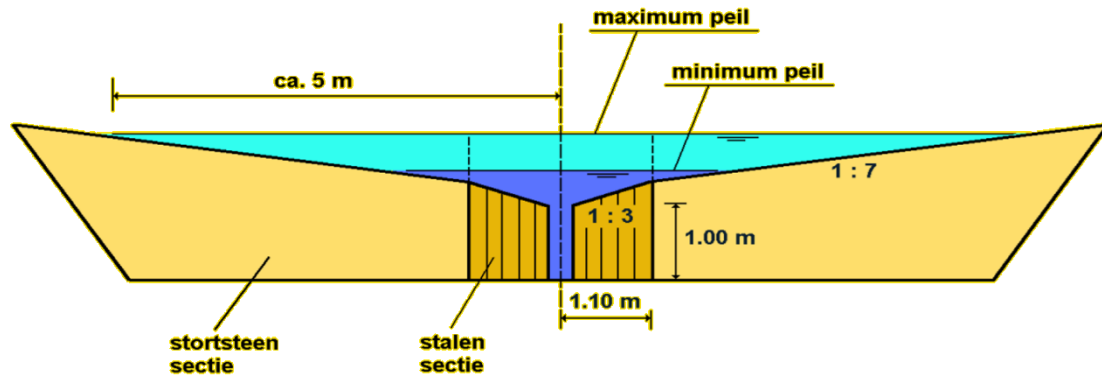
Dit laatste ligt voor de hand omdat de onderlinge afstand op dit moment zeer ongelijk is. Het is logischer om een gelijkmatige afstand (ofwel constante lengte per bekken) te kiezen.

Opgemerkt wordt dat het op voorhand stellen van het aantal drempels per locatie direct het verval per drempel en hiermee de stroomsnelheid per drempel bepaalt. De stroomsnelheid is hiermee een afgeleid uitgangspunt en dit bepaalt zodoende ook op voorhand de doelsoorten die kunnen passeren.

2 Hydraulische karakteristieken van de vispassage

2.1 Basisontwerp van de vispassages

Voor de gerenoveerde vispassages bij Linne en Lith geldt een basisontwerp (Figuur 2-1), dat dicht bij het bestaande ontwerp komt, echter uitgerust met een spleet (*vertical slot*) in elke drempel, die die een permanente doorgang voor de vissen biedt. Het ontwerp bestaat uit identieke opeenvolgende compartimenten.

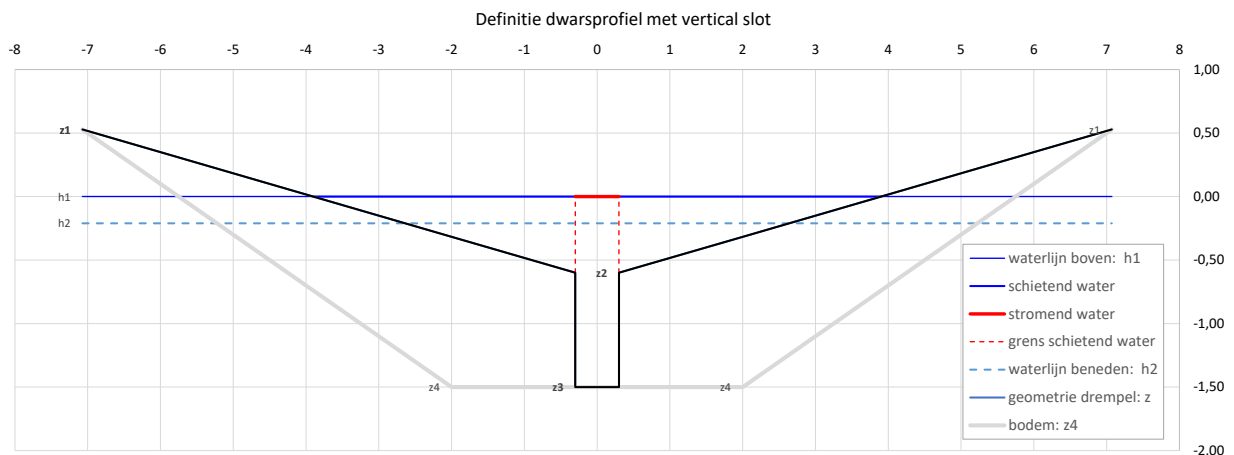


Figuur 2-1 Basisontwerp voor de gerenoveerde vispassages van Linne en Lith

De helling van de drempel geeft een bepaalde robuustheid aan het functioneren, zodanig dat bij fluctuerende waterstanden een deel van de drempel overstroomd blijft. Nabij de rand van de overstroming is de stroomsnelheid het laagst, wat de passeerbaarheid ten goede komt. Hiertegenover staat, dat langs de randen er doorgaans sprake is van schietend water, waardoor de vissen een sprongetje moeten maken.

Opgemerkt wordt dat de variatie tussen het minimale en maximale peil aan de benedenstroomse zijde van de vispassage veel groter is dan Figuur 2-1 suggereert. Dit zal ook uit de resultaten blijken.

Ten behoeve van de eenvoud (of anders gesteld: om het ontwerpproces niet nog complexer te maken dan het al is), is in de berekeningen uitgegaan van een uniforme helling van de drempel zonder onderscheid tussen een stalen en stenen sectie (Figuur 2-2). Er is een helling van 1:6 toegepast. De breedte van de bodem is op 4 m gesteld. De spleetbreedte bedraagt 0,6 m en de hoogte 0,9 m. De onderlinge afstand (niet in de figuur te zien) bedraagt 10 m, zodat de bekkens in bovenaanzicht ongeveer vierkant zijn. Het weergegeven bodemprofiel van het bekken (z_4) geldt aan de bovenstroomse zijde van de drempel. Hier vindt ook de bodemsprong tussen de bekkens plaats. Het oevertalud is 1:2,5. Hierdoor is de beschikbare vlakke bodembreedte geringer dan Figuur 2-1 suggereert. De waterdiepte in het bekken bedraagt 1,5 m.



Figuur 2-2 Toegepast standaard-dwarsprofiel in de gerenoveerde vispassages bij Linne en Lith

2.2 Excel-rekenblad voor het ontwerp van vispassages

2.2.1 Algemeen

De rekenbladen (**20250320 Linne n=18 bij Q1-Q5 m=0 (variant 2) - referentie.xlsm** respectievelijk **20250326 Lith n=23 bij Q1-Q4 REFERENTIE.xlsm**) zijn voor beide vispassages identiek opgebouwd, maar verschillend ingevuld. De Excelbestanden bestaan uit 5 bladen die in de navolgende paragrafen nader toegelicht worden.

2.2.2 Blad 'stuwen'

Dit blad is een uittreksel van de betrekkinglijnen van de Maas (Rijkswaterstaat, 2023; 2024) en bevat uitsluitend 14 waterstanden bij de meetpunten van de stuwen (7 maal boven en beneden) bij 16 afvoerniveaus. Van dit blad worden de waterstanden bij Linne resp. Lith gebruikt (regels 15 en 16 resp. 25 en 26).

2.2.3 Blad 'V-stuw vertical slot INVOER'

Op dit blad zijn de ontwerpparameters en -formules opgenomen. De gemarkeerde cellen (**geel** = onderdeel ontwerpproces; **blauw** = eenmaal kiezen) zijn invoerwaarden, de overige cellen bevatten formules en moeten niet gewijzigd worden. Kolom D vermeldt de eenheid van de betreffende parameter, kolom E vermeldt het geldigheidsbereik en kolom F controleert of de parameter hierbinnen valt. Dit blad is uitsluitend gericht op het ontwerp van de drempel bij een bovenwaterstand die per definitie 0 bedraagt en de stroming die onder ontwerpomstandigheden over de drempel en door het *vertical slot* optreedt.

Het proces is in blokjes verdeeld. De regels 4, 5 en 6 vormen een beknopte handleiding.

Blokje 1 (regel 9 tot en met 19) bevat de hydraulische randvoorwaarden van de gekozen stuw (regel 9). De bovenstroomse ontwerpwaterstand (regel 10) bij de stuw volgt automatisch uit het eerste blad. De benedenstroomse waterstand (regel 11) volgt bij Linne ook uit het eerste, maar vanwege het unieke karakter van stuw Lith als laatste stuw is deze waarde hard ingevoerd. Regel 12 biedt de mogelijkheid een bovengrens in te voeren waarbij de vispassage nog moet voldoen, teneinde aan de gewenste 300 dagen per jaar te voldoen. De regel is echter inactief. Anders dan bij de nieuwe vispassage bij Lith (Meijer, 2024) is er bij de renovatie van de bestaande passages voorlopig vastgehouden aan identieke opeenvolgende drempels. Dit uitgangspunt verdient wellicht heroverweging (zie vierde aanbeveling in paragraaf 3.2). Wel kan het functioneren van de drempel bij een gekozen afvoerniveau getoetst worden door gebruik te maken van de simulatie, maar een tweede ontwerpafvoer is geen uitgangspunt voor het ontwerp. In dit blokje kiezen we eveneens het aantal drempels (regel 15). Het verval over de stuw wordt door het aantal drempels gedeeld, waaruit een verval per drempel ontstaat (regel 16). Voor regels 18 en 19 verwijzen we naar paragraaf 2.2.8.

Blokje 2 (regel 21 tot en met 27) vat de hydraulische condities samen, waarbij een simulatie van de vispassage plaatsvindt. Hier wordt alleen het afvoerniveau (van het blad 'stuwen') gevraagd. Dit afvoerniveau kan uit het gehele spectrum worden gekozen, dus ook bij hoge Maasdebieten waarbij de passage niet meer voldoet. De rest volgt uit verwijzingen. Het rekenblad bevat twee simulaties: één bij de ondergrens van de ontwerpcondities en één bij het gekozen afvoerniveau.

Bij blokje 3 (regel 31 tot en met 41) kan de gebruiker de geometrische ontwerpparameters invullen. De invoer wordt direct verwerkt in de grafiek die op het blad in beeld staat.

Blokje 4 (regel 44 tot en met 67) vereist geen invoer, maar bevat een analyse van de stroming over de drempel en door de spleet in de ontwerpsituatie. Er worden 5 typen stroming onderscheiden:

1. overall stromend water
2. schietend water over een deel van drempel, stromend water in vertical slot
3. schietend water over de gehele drempel (of droog), stromend water in vertical slot
4. overall schietend water
5. overall droog
6. Ghodrati-stroming (vanaf de navolgende Excelbaden)

Het is van belang om de juiste stromingsformules te activeren. Hierbij zijn er bij toestand 3 nog twee subtoestanden (droog of schietend water) en geldt voor alle toestanden dat de drempel ook eventueel horizontaal kan zijn, waarbij een andere overlaatformule geactiveerd wordt. Dit blokje maakt duidelijk dat de stroming over één drempel met een vertical slot al complex is. Dit geldt in toenemende mate voor een simulatie, waarbij de stromingscondities bij de verschillende drempels steeds een beetje anders zijn.

Blokje 5 (regel 69 tot en met 88) vereist eveneens geen invoer (tenzij we de geringe variatie in de gravitatieconstante tussen de locaties willen beschouwen: regel 69). In dit blokje worden het debiet en de stroomsnelheid op basis van het verval en de dimensies van de constructie bepaald. Beide worden in 4 bestanddelen onderscheiden, afhankelijk van het eerder bepaalde stromingstype. Ten overvloede wordt opnieuw vermeld dat de uitkomsten uitsluitend de ontwerpsituatie betreffen.

In blokje 6 wordt de dissipatiedichtheid bepaald, een maat voor de gemiddelde turbulentie in het bekken achter de drempel. In dit blokje hoeft alleen een grenswaarde, eventueel aangevuld met een veiligheidsfactor, ingevuld te worden (regels 91 en 92). De dichtheid van water (regel 94) geldt als systeemvariabele. Deze waarde kan in een getijgebied eventueel een beetje hoger zijn. De berekende dissipatiedichtheid wordt aan de gestelde grens getoetst (regel 96). Opgemerkt wordt dat de turbulentie in de bekkens van een vispassage doorgaans zeer ongelijk verdeeld is. De gemiddelde waarde zegt dus niet alles.

2.2.4 Blad 'V-stuw vertical slot ONTWERP'

Op dit blad vindt de simulatie van de overstroming en doorstroming van alle drempels onder ontwerp-omstandigheden plaats. Dit blad mag niet bewerkt worden met uitzondering van de keuze van twee grafieken van willekeurige drempels. Als het goed is, zijn de hydraulische omstandigheden bij alle drempels identiek en zien beide grafieken er hetzelfde uit, echter met uitzondering van de hoogte. Het ligt voor de hand om de eerste en de laatste drempel te kiezen, maar elke tussenliggende drempel kan ook gekozen worden.

Hoewel het Excelbestand in principe voor uniforme vispassages ontworpen is, is het mogelijk afwijkende parameters in het blad 'V-stuw vertical slot ONTWERP' te verwerken. Voor alle bekkens zijn de parameters in dit blad opgenomen. De formules maken de dimensies uniform, maar door deze formules te overschrijven, kan er differentiatie aangebracht worden. Het is aan te bevelen deze cellen te markeren, zodat herkenbaar is welke bekkens afwijkende dimensies hebben.

Zo is het eerste bekken bij Linne (dat driemaal zo lang is) gerealiseerd door cel G41 te overschrijven (model **20250327 Linne n=18 bij Q1-Q5 m=5 (variant 2) - optimalisatie.xlsm**). Op soortgelijke wijze zijn de dimensies van de bekkens na optimalisatie (versie 2) gefixeerd door de formules in regels 37 en 38 door harde getallen te vervangen. Hiermee is een automatische herverdeling op basis van het totale verval onderdrukt, die in versie 1 wel aan de orde is. Hierin is ook een uniforme bodemhoogte voor de eerste drie bekkens (het voormalige eerste langere bekken) aangebracht. Bovendien zijn twee afwijkende spleetbreedtes in drempels 2 en drie in regel 34 hard aangebracht. Op dezelfde wijze is in regel 29 een afwijkend verval over drempels 2 en 3 aangebracht (**model 20250327 Linne n=20 bij Q1-Q5 m=5 (variant 2) - peilopzet v02.xlsm**).

Vanzelfsprekend zijn dit mogelijkheden die alleen aan ervaren gebruikers aan te bevelen zijn, omdat onbedoelde desintegratie van het Excelbestand snel kan plaatsvinden.

2.2.5 Blad 'V-stuw grafieken ONTWERP'

Dit blad dient niet bewerkt te worden, maar is uitsluitend bedoeld om de resultaten in de vorm van drie grafieken af te lezen:

- de verhanglijn door de compartimenten,
- de stroomsnelheid door en over de drempels (met onderscheid tussen de drempel en de spleet) en het debiet door de compartimenten,
- de dissipatiedichtheid door de compartimenten (met weergave van de gestelde bovengrens).

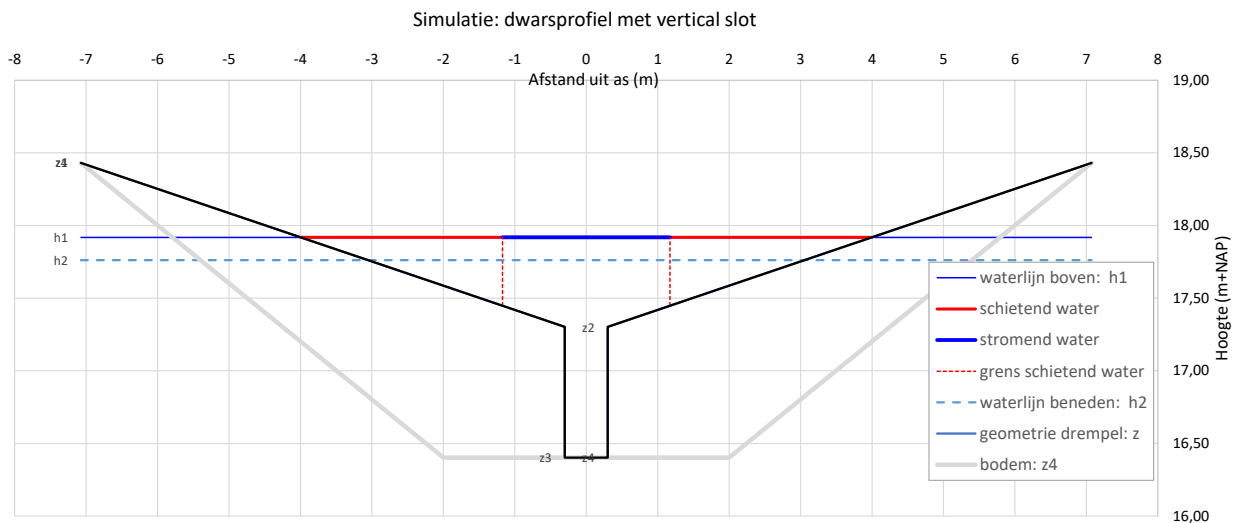
De grafieken voor de ontwerpsituatie (ondergrens waterstanden, bovengrens stroomsnelheden) staan steeds in de bovenste grafieken van Bijlage 1 (Linne) en Bijlage 4 (Lith) weergegeven.

Bij ingrijpende wijzigingen, zoals de keuze van de stuw, de lengte van de compartimenten of de maximaal toelaatbare stroomsnelheid (waardoor het aantal compartimenten kan wijzigen), kan het noodzakelijk zijn de assen handmatig aan te passen.

2.2.6 Blad 'V-stuw vertical slot SIMULATIE'

Dit blad is ogenschijnlijk net zo opgebouwd als beschreven in paragraaf 2.2.4. Omdat de dimensies niet van het afvoerniveau afhankelijk zijn, volgen de geometrische parameters die van het blad 'V-stuw vertical slot ONTWERP', zodat ook bekken afwijkende dimensies vanzelf worden meegenomen. De hydraulische berekening is anders opgebouwd, omdat de rekenmethode nu niet expliciet maar iteratief verloopt. Dit is noodzakelijk omdat elk bekken unieke hydraulische randvoorwaarden kan hebben. Hierdoor zijn er aanzienlijke verschillen.

Als er een afvoerniveau boven nr. 1 is gekozen, is te zien dat beide grafieken niet identiek zijn omdat de waterstand in de loop van de passage weliswaar afneemt, maar ten opzichte van de drempels steeds hoger worden. Bij de gekozen instelling (afvoerniveau 5) is de laatste drempel ($i = 19$ bij Linne en $i = 24$ bij Lith) geheel verdrongen. Drempels 15, 16 en 17 zijn deels schietend en deels stromend verdrongen (dit geldt voor beide stuwen), zie Figuur 2-3.



Figuur 2-3 Deels volkomen en deels onvolkomen overstroomde drempel (Linne: drempel 15)

De simulatie zelf is een geneste iteratie. Per drempel is een iteratie noodzakelijk (bepaling verval bij een gegeven debiet), en voor de gehele passage is dat ook het geval (controle totaal verval aan de hand van het verval over de stuw en aanpassing van het debiet). Deze dubbele iteratie is helaas niet geautomatiseerd maar wel met een drietal macro's gefaciliteerd. Het is van belang te begrijpen wat er in de iteratie gebeurt. De instructie voor deze iteratie staat in het werkblad (regel 99 tot en met 104).

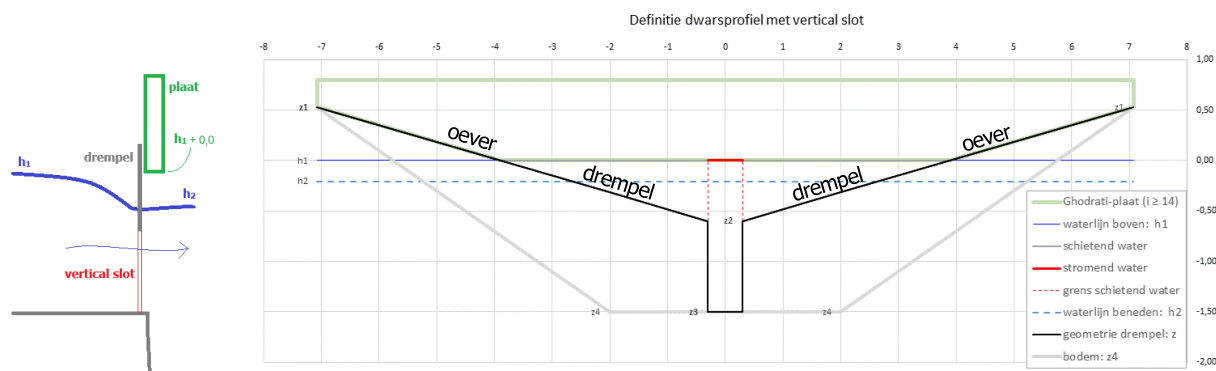
2.2.7 Blad 'V-stuw grafieken SIMULATIE'

Op dezelfde wijze als beschreven in paragraaf 2.2.5 zijn de grafieken opgemaakt. Hierin is te zien dat de resultaten over de lengte van de passage niet meer constant zijn. Voor het gekozen afvoerniveau staan de resultaten van het gekozen afvoerniveau steeds in de onderste grafieken van Bijlage 1 (Linne) en Bijlage 4 (Lith) weergegeven.

2.2.8 De Ghodrati-plaat

Op basis van de eerste resultaten blijken de stroomsnelheden bij toenemende Maasafvoer sterk af te nemen, doordat de meest benedenstroomse compartimenten overstroomd raken. Paragraaf 2.3 gaat hier nader op in. Hierdoor is een optimalisatie noodzakelijk, die ook een aanpassing van het rekenblad vereist. De aanpassing betreft het aanbrengen van een verticale plaat op een nader te bepalen hoogte rondom de waterspiegel. Hiermee wordt het natte doorstroombrofiel gemaximaliseerd, waardoor de stroomsnelheid en het verval over de drempel op peil blijven. De plaat komt in werking zodra de benedenstroomse water-

stand de onderzijde bereikt. De hoogte van de onderzijde van de plaat bepaalt welke reductie van de stroomsnelheid nog aanvaardbaar is. Uit diverse varianten is een onderzijde ter hoogte van de bovenstroomse waterstand gekozen. Hiermee kan de benedenstroomse waterstand eerst ca. 0,20 m toenemen voordat het doorstroomprofiel gefixeerd wordt. Op dat moment ontstaat een verdrongen onderspuier. De stroomsnelheid neemt vanaf dit punt niet verder af en het verval blijft ook in stand.



Figuur 2-4 Verticale plaat boven de drempel, deels doorlopend over de oeverlijn

In het Excelbestand kunnen de waarden (bovenzijde en onderzijde) in de regels 18 en 19 van het blad 'V-stuw vertical slot INVOER' ingevoerd worden. De waarden gelden ten opzichte van de waterstand in het bovenstroomse bekken. Ook kan in regel 19 het drempelnummer worden ingevoerd, vanaf waar de platen aangebracht worden.

2.3 Samenvatting van de resultaten

2.3.1 Linne

Basisontwerp

De resultaten staan in Bijlage 1 in lengtedoorsneden gevisualiseerd. De waterstanden in de vispassage staan in Bijlage 1-1. De stroomsnelheden zijn in Bijlage 1-2 afgebeeld. Er is steeds gekeken naar de ondergrens van het Maasdebiet (ontwerpsituatie: stuwpeil aan beide zijden van de stuw) en een gekozen afvoerniveau van 530 m³/s, dat als bovengrens gehanteerd wordt. Als de vispassage binnen dit afvoerbereik functioneert, dan voldoet hij tenminste gedurende 319 dagen per jaar, ruim boven de gestelde 300 dagen per jaar. De resultaten voor Linne staan in Tabel 2-1 samengevat. Hieruit blijkt dat de stroomsnelheden in benedenstroomse richting afnemen tot 0,42 m/s (zowel op de drempel als in de spleet). Dit is lager dan de aanbevolen waarde voor de stroomsnelheid van de lokstroom (1,0 - 1,5 m/s) waardoor de vindbaarheid van de vispassage suboptimaal zal zijn. De streefwaarde voor het debiet van de passage van 4 m³/s is niet haalbaar, maar wordt wel benaderd (3,85 m³/s). De dissipatiedichtheid (mate van turbulentie) ligt ruim onder de grenswaarde (Bijlage 1-3). Voorwaarde is wel dat de dissipatie in het bekken ruimtelijk goed wordt verdeeld. Hieraan is niet gerekend, maar het uitvoeringsontwerp houdt er wel rekening mee.

Tabel 2-1 Samenvatting van de resultaten: Linne zonder optimalisatie

afvoerniveau Maas		waterstand (m+NAP)		debiet	over- schrijding	stroomsnelheid (m/s)				dissipatiedichtheid (W/m³)	
						drempel		vertical slot			
nr.	m³/s	boven	beneden	m³/s	d/j	min	max	min	max	min	max
1	0	20,85	16,85	3,85	365	1,98	1,98	2,03	2,03	55,4	55,4
5	530	20,85	17,61	3,85	46	0,42	1,98	0,42	2,03	3,4	55,4

Optimalisatie

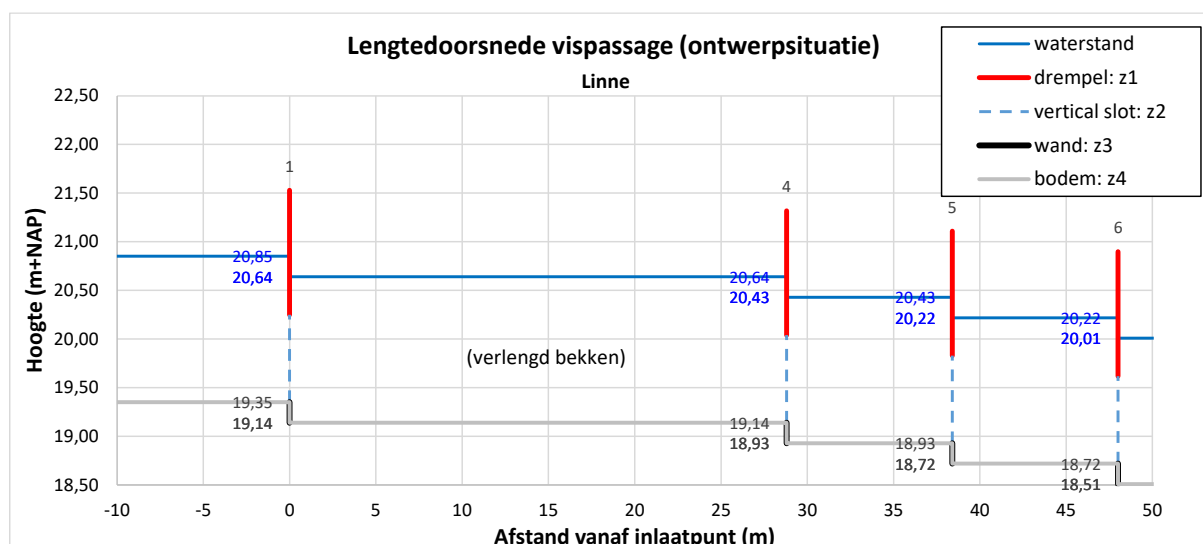
De verdeling van de stroomsnelheid over de bekken kan worden verbeterd door het aanbrengen van verticale platen boven de drempels van de 5 meest benedenstrooms gelegen drempels, zoals beschreven in paragraaf 2.2.8. Hiermee wordt de stroomsnelheid bij deze middelhoge Maasafvoer al verhoogd tot 1,26 m/s. Dit is voldoende om de vissen door de passages te lokken. Het resultaat staat in Bijlage 2 gevisualiseerd en in Tabel 2-2 samengevat. De hoogste plaat boven drempel 21 (voormalige drempel 19, zie twee alinea's hierna) is 0,80 m hoog. De overige platen nemen in stroomopwaartse richting in hoogte af.

Tabel 2-2 Samenvatting van de resultaten: Linne met optimalisatie (5 platen)

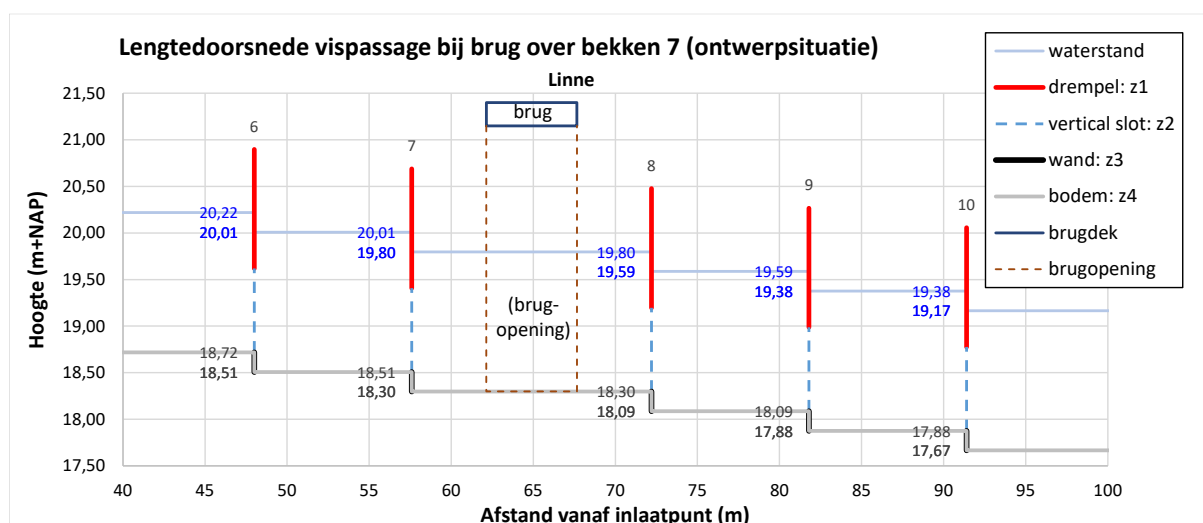
afvoerniveau Maas	nr.	m ³ /s	waterstand (m+NAP)		debiet m ³ /s	over- schrijding d/j	stroomsnelheid (m/s)				dissipatiedichtheid (W/m ³)	
			boven	beneden			drempel		vertical slot		min	max
	1	0	20,85	16,85	3,85	365	1,98	1,98	2,03	2,03	18,5	55,4
	5	530	20,85	17,61	3,85	46	1,26	1,98	1,26	2,03	15,0	55,4

Hieruit valt te concluderen dat het concept van de Ghodrati-plaat goed functioneert. Bijlage 2-2 laat zien dat de stroomsnelheid over de 5 meest benedenstroomse drempels (en in de vertical slots) goed op peil blijft en voldoende is om als lokstroom te fungeren (1,26 m/s, zie ook Tabel 2-2). Omdat de stroomsnelheid in de doorgangen wel lager is en de waterstand ook hoger is dan in de ontwerpsituatie, is er ook minder dissipatiedichtheid in de lager gelegen bekken, wat goed te zien is (Bijlage 2-3: onder).

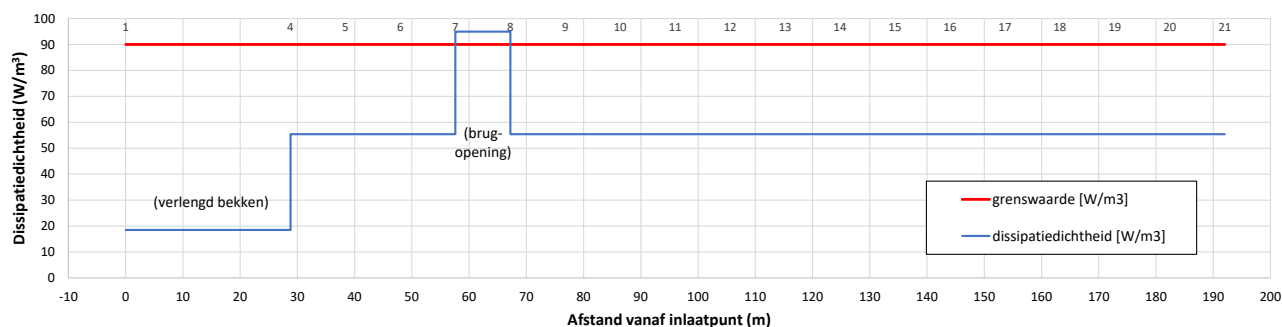
In de lengtedoorsneden van Bijlage 2-1 is ook te zien dat het eerste bekken langer uitgevoerd is. Deze drievoudige lengte is bedoeld om in de toekomst twee drempels te kunnen bijplaatsen. Het eerste bekken kan zodoende in drie bekken gesplitst worden. Dat kan noodzakelijk zijn als er in de toekomst peilopzet bij stuw Linne wordt ingevoerd. De vistrap anticipeert hierop en wordt zodoende uitbreidbaar ontworpen (Figuur 2-5). De nummering van de bekken anticipeert hier al op en slaat de nummers 2 en 3 vooralsnog over, zodat het verlengde bekken later in drie gelijke delen gesplitst kan worden.



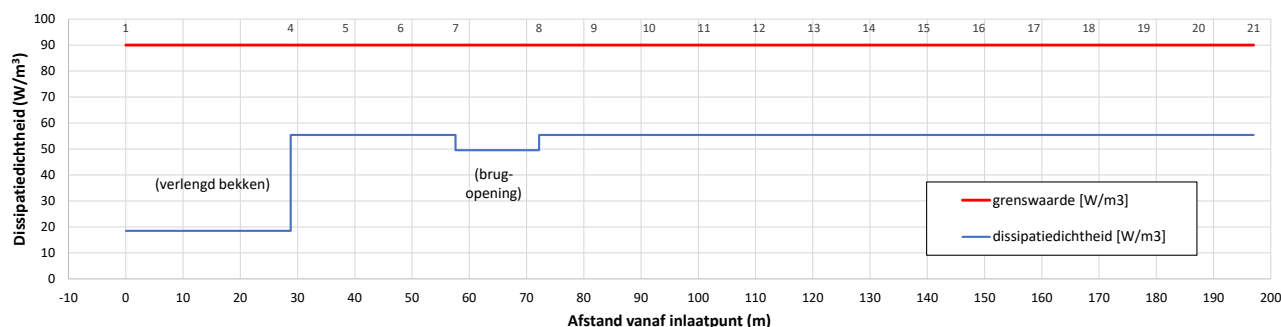
Figuur 2-5 Lengtedoorsnede van de eerste drie bekken (1, 4 en 5) met de eerste vier drempels



Figuur 2-6 Lengtedoorsnede van bekken 6 tot en met 10 (met het verlengde bekken 7 onder de brug)

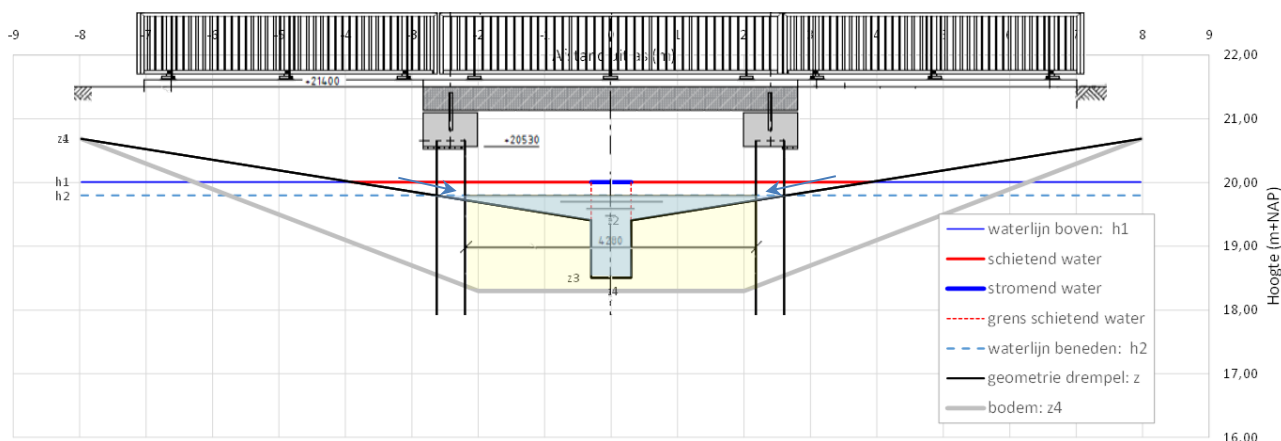


Figuur 2-9 Dissipatiecoëfficiënt in de vispassage zonder verlenging (let op de hoge waarde in bekken 7)



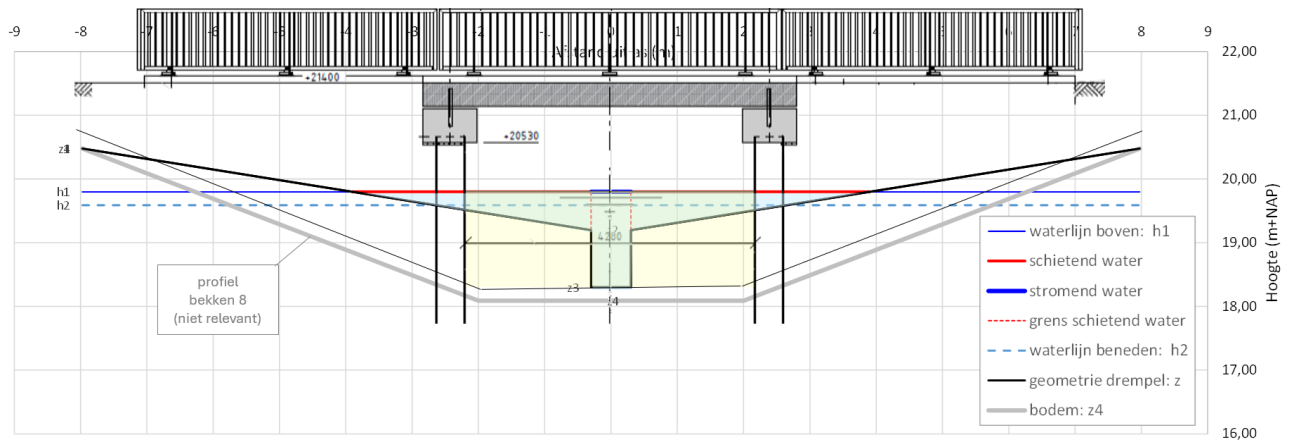
Figuur 2-10 Dissipatiecoëfficiënt in de vispassage bij 5 m verlenging van bekken 7

Om een indruk te krijgen hoe het water stroomt en welke weg de vissen moeten afleggen, zijn ter plaatse van de brug drie dwarsprofielen over elkaar gesuperponeerd (Figuur 2-11). De afbeelding laat zien dat het natte profiel juist stroomafwaarts van de drempel (inclusief de spleet van het *vertical slot*) vrijwel geheel binnen het doorstroomprofiel van de brug (geel) past. Dit is een argument om de drempel relatief dicht tegen de brugopening te plaatsen. Er is echter geen extra ruimte in stroomafwaartse richting. Om deze reden is de extra ruimte in bovenstroomse richting gevonden, zodat de brug bekken 7 ongeveer in het midden kruist. Er is vanaf de drempel eerst een verwijding (half bekken bovenstrooms) en daarna weer een vernauwing (brugopening). De stroomsnelheid onder de brug is 0,60 m/s, een extra horde voor de vissen over een lengte van 4,28 m die voor de vissen overkomelijk is. Een deel van de dissipatie kan in dit proces plaatsvinden.



Figuur 2-11 Aanstroming vanaf drempel 7 (blauw profiel) naar het bovenstroomse dwarsprofiel van bekken 7 (transparant profiel onder h₂) en vervolgens naar de brugopening (geel profiel)

Eenmaal onder de brug (Figuur 2-12: geel profiel) stroomt het water richting het restant van bekken 7 (transparant profiel), waarbij opnieuw een stroomverwijding plaatsvindt. Hier vindt de resterende dissipatie plaats, waarvoor ruimte noodzakelijk is. Hiervoor is het tweede halve bekken beschikbaar. Hierna vervolgt het water via het blauwe profiel zijn weg over drempel 8 en door de spleet naar bekken 8, waarna de stroming weer volgens het standaardontwerp plaatsvindt.



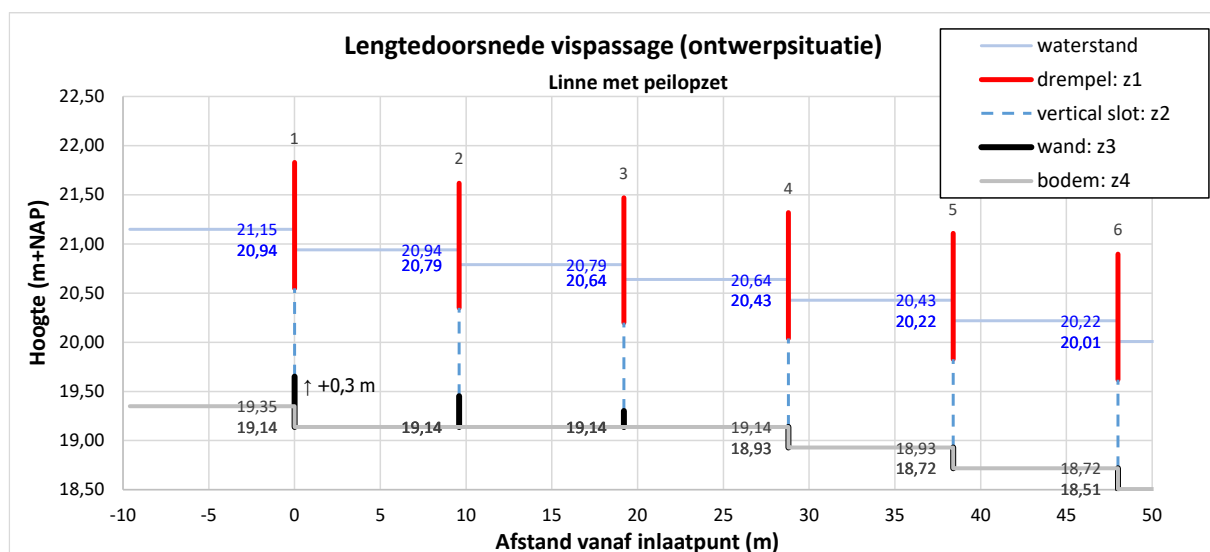
Figuur 2-12 Aanstroming vanuit de brugopening (geel profiel) door het benedenstroomse deel van bekken 7 (transparant profiel) naar drempel 8 (blauw profiel)

De vissen leggen de beschreven route (vanzelfsprekend) in omgekeerde richting af. Elke vertraging van het water is een versnelling voor de vissen en vice versa. Bij elke overgang zijn er stromingsluwe plekken.

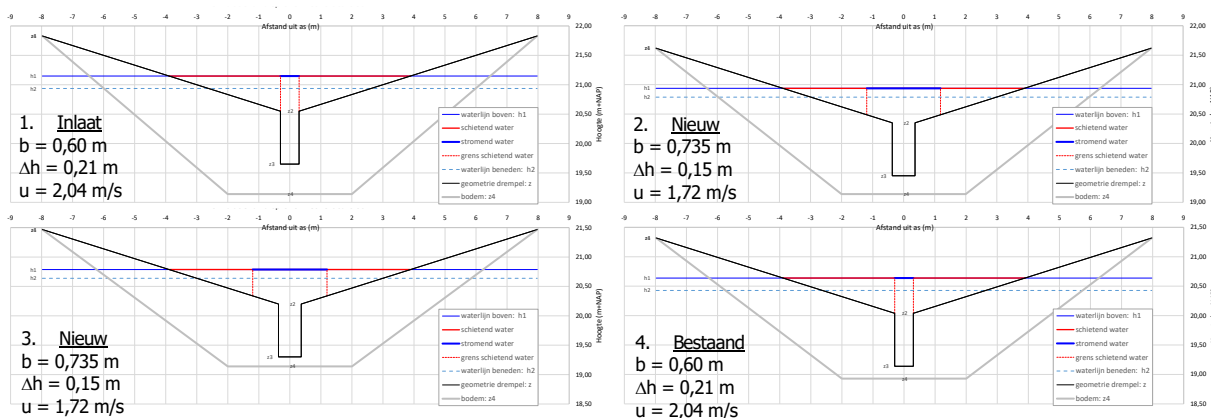
Peilopzet (versie 2: peilopzet na renovatie vispassage)

We kunnen er van uitgaan dat een besluit over peilopzet niet voor de renovatie van de vispassage bij Linne zal vallen. In dat geval moet de geoptimaliseerde vispassage voor het actuele stuwpeil (Bijlage 2, Tabel 2-2) als uitgangspunt genomen worden. Omdat de verticale positie van de drempels, de bodems en de vertical slots strikt aan het verval per bekken gekoppeld zijn, betekent dit dat er eerst 19 drempels met een verval van 0,21 m zullen zijn waarna aan bovenstroomse zijde twee drempels en twee bekken met een verval van 0,15 m toegevoegd worden, die samen de peilopzet van 0,30 m overbruggen. De twee nieuwe drempels hebben afwijkende dimensies, omdat ze bij hetzelfde debiet een geringer verval mogen hebben dan de overige (op dat moment reeds bestaande) drempels.

In Figuur 2-13 is te zien hoe de drempels 4, 5, 6 en verder (zie Figuur 2-5) en de bijbehorende bekken ongewijzigd blijven. De nieuwe drempels 2 en 3 komen in het initiële verlengde eerste bekken, waardoor drie bekken ontstaan. Het verval over deze nieuwe bekken bedraagt 0,15 m. Hiertoe is een bredere doorgang noodzakelijk (breedte *vertical slots*: 0,735 m in plaats van 0,60 m). Het inlaatwerk (ofwel drempel 1) heeft ongewijzigde dimensies, maar moet in zijn geheel 0,30 m verhoogd worden om zich aan het opgezette peil aan te passen. Figuur 2-14 laat de dwarsdoorsneden van de eerste vier drempels zien. Drempels 2 en 3 bevatten afwijkende dimensies en stromingstypen.



Figuur 2-13 Lengtedoorsnede van de eerste vijf bekken met de eerste zes drempels na peilopzet (0,30 m)

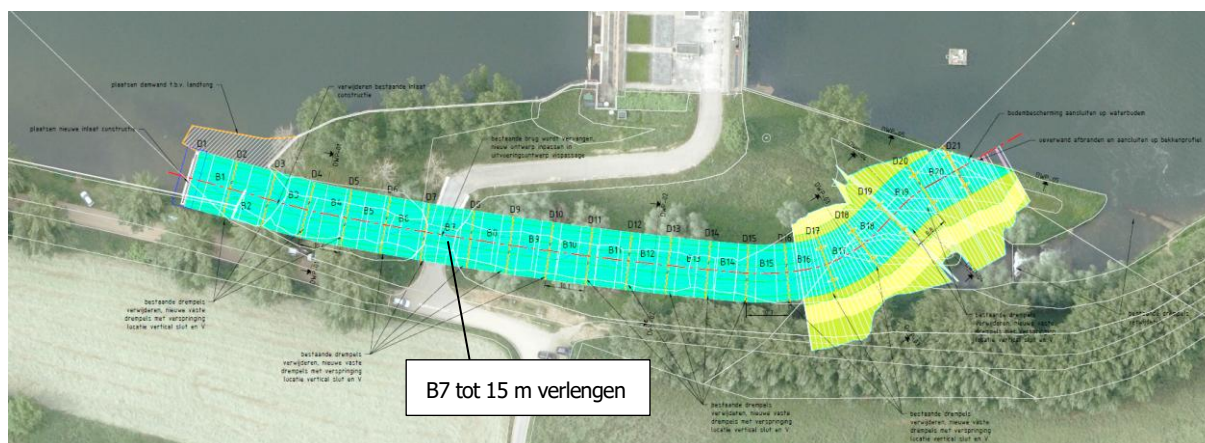


Figuur 2-14 Dwarsdoorsneden van de eerste vier drempels na peilopzet (0,30 m)

De situatie na peilopzet is in Bijlage 3 gevisualiseerd en in Tabel 2-3 samengevat. De tabel laat zien dat de minimale stroomsnelheden van 1,25 m/s nog steeds in stand blijven. In Bijlage 3-1 is te zien dat het verval over drempels 2 en 3 geringer is (0,15 m) dan over de overige drempels (0,21 m). De bodemhoogte van bekken 1, 2 en 3 is gelijk omdat dit voorheen het verlengde bekken 1 was. Ten gevolge van het lagere verval is de stroomsnelheid in de eerste twee doorgangen ook geringer (Bijlage 3-2 boven). Bij toenemende Maasafvoeren gaan de verticale platen in werking. Er zijn dan in de passage drie zones met verschillende stroomsnelheden (Bijlage 3-2 onder). Dit geldt ook voor de dissipatiedichtheid (Bijlage 3-3), die met afnemende stroomsnelheden en toenemende waterstanden afneemt.

Tabel 2-3 Samenvatting van de resultaten: Linne met optimalisatie (5 platen) en peilopzet (0,30 m) (versie 2)

afvoerniveau Maas		waterstand (m+NAP)		debiet	over- schrijding	stroomsnelheid (m/s)				dissipatiedichtheid (W/m³)	
						drempel		vertical slot			
nr.	m³/s	boven	beneden	m³/s	d/j	min	max	min	max	min	max
1	0	21,15	16,85	3,85	365	1,72	1,98	1,72	2,03	35,9	55,4
5	530	21,15	17,61	3,84	46	1,25	1,98	1,25	2,03	14,8	55,2



Figuur 2-15 Bovenaanzicht van de vispassage na optimalisatie en peilopzet (RHDHV, 2025)

Het bovenaanzicht na optimalisatie en peilopzet is in Figuur 2-15 afgebeeld. Opgemerkt wordt dat in deze tekening bekken 7 met slechts 2 m verlengd is (de tekening dateert van maart 2025). Wij adviseren niettemin een verlenging tot een totale bekkenlengte van 15 m (inclusief de lengte van de brugopening), waarbij de extra lengte in bovenstroomse richting gezocht wordt. Dit zou betekenen dat de brug bekken 7 ongeveer in het midden kruist. Bovenstrooms van de brugopening bevindt zich dan de helft van bekken 7. Benedenstrooms van de brugopening bevindt zich de andere helft van bekken 7. De extra lengte komt overeen met de lengte (in stroomrichting) van de brugopening, ofwel de breedte (in rijrichting) van de brug.

2.3.2 Lith

Basisontwerp

Bij Lith is het verval over de stuw maximaal 4,95 m. Dit is aanzienlijk hoger dan bij Linne (4,00 m voor peilopzet en 4,30 m na peilopzet). Het aantal bekkens van de vispassage is dan ook groter, namelijk 23 stuks. Hiervoor zijn 24 drempels nodig inclusief het inlaatwerk.

Het grotere verval bij de stuw vertaalt zich in een grotere fluctuatie van de benedenstroomse waterstand. Het probleem van overstroomde bekkens is bij Lith dan ook groter dan bij Linne. Bij de analyse is nu naar drie afvoerniveaus van de Maas gekeken: laagwater (dit zijn geringe Maasafvoeren, waarbij het stuwpeil van Grave de stuw van Lith bereikt), 280 m³/s (Q4 met 107 d/j overschrijding) en 530 m³/s (Q5 met 46 d/j overschrijding).

De hydraulische resultaten van Q1 en Q4 zijn in Bijlage 4 gevisualiseerd en in Tabel 2-4 samengevat. De tabel vermeldt ter illustratie ook de resultaten van Q5. De tabel laat zien dat de stroomsnelheden zelfs bij Q4 (280 m³/s) in de vispassage al zo gedaald zijn (0,26 m/s), dat er geen functionerende lokstroom meer is. Bij Q5 is de stroomsnelheid door nog verdergaande overstroming van de benedenstroomse bekkens nog verder gedaald (0,14 m/s). Het is duidelijk dat het ontwerp bij deze afvoer niet voldoet.

Tabel 2-4 Samenvatting van de resultaten: Lith zonder optimalisatie

afvoerniveau Maas		waterstand (m+NAP)		debiet	over- schrijding	stroomsnelheid (m/s)				dissipatiedichtheid (W/m³)	
						drempel		vertical slot			
nr.	m³/s	boven	beneden	m³/s	d/j	min	max	min	max	min	max
1	0	4,90	-0,05	3,84	365	1,98	1,98	2,01	2,01	47,7	47,7
4	280	4,90	0,96	3,39	107	0,26	1,91	0,26	3,36	0,9	43,1
5	530	4,86	1,69	3,39	46	0,14	1,91	0,14	3,36	0,1	43,1

Optimalisatie

Voor de optimalisatie van het basisontwerp met behulp van Ghodrati-platen zijn meer scenario's beschouwd dan in deze rapportage uiteengezet kunnen worden. Uitgaande van een gewenste functionaliteit tot Q5 (530 m³/s evenals bij Linne) zijn minimaal 10 platen nodig met hoogtes oplopend tot 1,80 m. Deze investering is voor dezelfde functionaliteit dus aanzienlijk groter dan bij Linne (niet in deze rapportage gepresenteerd).

Indien Q4 (280 m³/s) als ambitieniveau wordt gekozen, dan kan de vispasseerbaarheid wel met een vergelijkbare investering als bij Linne worden bereikt. Dit vereist toepassing van 5 platen met hoogtes oplopend tot 1,00 m bij de laatste drempel. Hierbij is bovendien de ondergrens van 1 m/s opgezocht door de platen 0,05 m hoger boven de drempel te monteren. Deze besparing heeft een resulterende stroomsnelheid van 1,01 m/s tot gevolg (in plaats van 1,25 m/s zoals bij Linne), maar deze snelheid is als lokstroom nog juist voldoende en maakt dat de gekozen minimale dimensies nog juist voldoen (Bijlage 5, Tabel 2-5).

Tabel 2-5 Samenvatting van de resultaten: Lith met optimalisatie (5 platen)

afvoerniveau Maas		waterstand (m+NAP)		debiet	over- schrijding	stroomsnelheid (m/s)				dissipatiedichtheid (W/m³)	
						drempel		vertical slot			
nr.	m³/s	boven	beneden	m³/s	d/j	min	max	min	max	min	max
1	0	4,90	-0,05	3,84	365	1,98	1,98	2,01	2,01	47,7	47,7
4	280	4,90	0,96	3,84	107	1,01	1,98	1,01	2,01	10,2	47,7
5	530	4,86	1,69	3,84	46	0,29	1,98	0,29	2,01	0,7	47,7

Boven het Q4-afvoerniveau overstroomden de bekkens alsnog en neemt de stroomsnelheid sterk af. Bij de gekozen dimensies laat de tabel ter illustratie zien wat er bij Q5 gebeurt. Dit betekent dat de vindbaarheid van de vispassage ca. 100 d/jaar suboptimaal zal zijn. Dit is het compromis tussen functionaliteit en kosten dat wij aanbevelen, mede omdat Lith ook een nieuwe vispassage krijgt, die een hoger aantal passeerbare dagen per jaar heeft.

2.3.3 Overzicht van dimensies

De in de vorige paragrafen beschreven overwegingen leiden tot de volgende aanbevolen ontwerpdimensies (Tabel 2-6). De afgevalen varianten zijn niet in de tabel opgenomen.

Tabel 2-6 Samenvatting van de dimensies van vispassages Linne en Lith

locatie		Linne (geoptimaliseerd)			Linne (peilopzet 0,30 m)			Lith (geoptimaliseerd)
zie		Bijlage 2 Tabel 2-2			Bijlage 3 Tabel 2-3			Bijlage 5 Tabel 2-5
aantal	drempels	19 (nr. 1, 4..21)			21			24
	bekkens	18 (nr. 1, 4..20)			20			23
gegevens van drempels		1 (2 en 3)	7	4..6, 8..21	1..3	7	4..6, 8..21	1...24
verval bij stuwpeilen (m)		0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
vertical slot (tot bodem)	breedte (m)	0,60	0,60	0,60	0,60 (1) 0,735 (2, 3)	0,60	0,60	0,60
	hoogte (m)	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
lengte (m)		28,80	14,60	9,60	9,60	14,60	9,60	9,60
helling	oever	1 : 2,5	1 : 2,5	1 : 2,5	1 : 2,5	1 : 2,5	1 : 2,5	1 : 2,5
	drempel	1 : 6	1 : 6	1 : 6	1 : 6	1 : 6	1 : 6	1 : 6
platen	aantal	-	-	5	-	-	5	5
	drempels	-	-	17...21	-	-	17...21	20...24
	onderzijde	-	-	h_1	-	-	h_1	$h_1 + 0,05$ m
	hoogte (m)	-	-	max. 0,80	-	-	max. 0,80	max. 1,00
gegevens van bekkens		1 (2 en 3)	7	4..6, 8..20	1..3	7	4..6, 8..20	1...23
diepte bekkens (m)		1,50	1,50	1,50	1,80 (1) 1,65 (2) 1,50 (3)	1,50	1,50	1,50
bodembreedte (m)		4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
optimalisatie tot (m ³ /s)		530	530	530	530	530	530	280
opmerkingen		eerste bekken met 3-voudige lengte (nr. 2 en 3 worden overgeslagen)	versmald onder brug, verlengd wegens brug	standaardmaten, platen alleen bij de laatste 5 drempels	twee extra drempels in eerste bekken → 3 bekkens	vispassage versmald onder brug, 5 m verlengd wegens brug	nummering ongewijzigd, platen alleen bij de laatste 5 drempels	boven ca. 300 m ³ /s zijn er verdrinken bekkens

2.4 Ontwerpfafwegingen

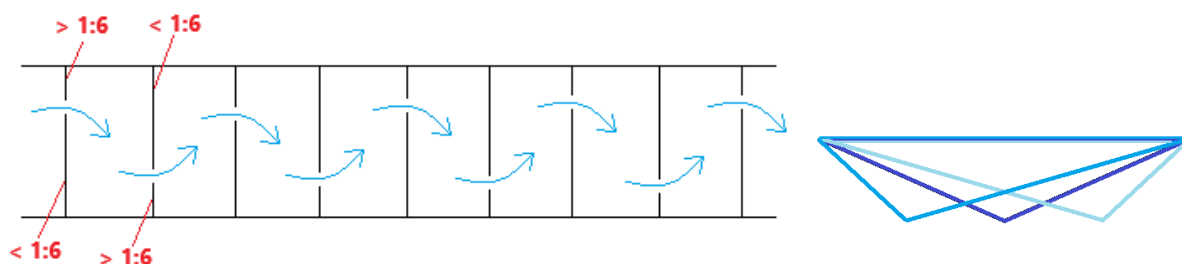
2.4.1 Vindbaarheid

Bij de geoptimaliseerde vispassages is het probleem van afnemende stroomsnelheden bij stijgende waterstanden grotendeels opgelost. Toch valt aanvullend wellicht een aparte constructie te overwegen, zoals een lokstroomversterker. Bij toenemende Maasafvoeren is er immers aan beschikbaar debiet geen gebrek.

2.4.2 Dissipatiedichtheid

Hoewel de dissipatiedichtheid gemiddeld per bekken ruimschoots voldoet, geldt dit mogelijk niet op elke plek in elk bekken. Zoals de foto's in hoofdstuk 1 laten zien, is er een sterke doorgaande stroom in de as van de passage. De stroomsnelheid is rondom deze as veel sterker dan langs de oevers en het is de vraag of er geen gedeeltelijke kortsluiting optreedt, waarbij te weinig energiedissipatie plaatsvindt. Wellicht is de turbulentie (en dus de energiedissipatie) beter te verdelen door een asymmetrisch ontwerp toe te passen waarbij de spleet afwisselend links en rechts van de as gesitueerd is (Figuur 2-16: links). Voor de rekenregels maakt dit geen verschil omdat de profieloppervlakte van de stroomvoerende integraal boven de

drempel hierdoor niet beïnvloed wordt. De oppervlakte van de driehoek is in alle gevallen immers gelijk ongeacht de locatie van het diepste punt (Figuur 2-16: rechts). Wel bereikt de stroming een groter deel van het bekken waardoor de dissipatie gelijkmatiger in het bekkenvolume kan plaatsvinden.



Figuur 2-16 Links: asymmetrische plaatsing van de vertical slots ten behoeve van een gelijkmatigere energiedissipatie in de bekkens, rechts: doorstroomprofiel drempel (symmetrisch en asymmetrisch links en rechts)

2.4.3 Maximale stroomsnelheid

De stroomsnelheid in de opening tussen twee bekkens heeft een rechtstreekse relatie met het verval over de drempel tussen de bekkens. Daarmee is het aantal bekkens direct bepalend voor de stroomsnelheid in de doorgangen, die onder ontwerpomstandigheden zal optreden. Een stroomsnelheid van ruim 2 m/s is wellicht aan de hoge kant voor passerende vissen. Een lagere stroomsnelheid zou meer bekkens (dus meer drempels) vereisen. Deze afweging is al gemaakt, dus wordt volstaan met te vermelden dat dit voor toekomstige andere vispassages een ontwerpparameter is, die zorgvuldige aandacht verdient.

2.4.4 Minimale stroomsnelheid en vispasseerbaarheid in dagen per jaar

Aan de andere zijde van het spectrum is er de ondergrens van stroomsnelheden die niet onderschreden mag worden omdat dit tot verlies van de lokstroom zou leiden. Voor de verdeling van de stroomsnelheid in lengterichting blijkt het concept van Ghadroti-platen een effectief middel om het verval per drempel en daarmee de stroomsnelheid op peil te houden. In het beschreven ontwerpproces zijn enkele willekeurige uitgangspunten genomen, zoals een minimale gewenste vispasseerbaarheid, uitgedrukt in dagen per jaar (Linne). In het geval van Linne is de investering zelf als uitgangspunt genomen (maximaal 5 platen), waarbij de vispasseerbaarheid de sluitpost werd.

Vanzelfsprekend zijn hier ook andere keuzes te maken. In diverse experimenten met het rekenmodel is bevestigd dat bij elke stuw 100% vispasseerbaarheid haalbaar is, indien er geen begrenzings aan investeringen worden gesteld. Als elke drempel van een verticale plaat voorzien zou worden, die in hoogte tot aan het bovenstroomse stuwpeil reikt, is 100% vispasseerbaarheid bereikt. Immers, als de waterstand nog verder toeneemt, raken de bekkens van de passage weliswaar alsnog overstroomd. Maar op hetzelfde moment wordt de stuw gestreken, zodat de stroomgeul vanaf dat moment zelf de vispasseerbaarheid overneemt.

Dit theoretische maximum zou in de praktijk echter een enorme constructie zijn, waarvan de investeringen mogelijk de baten niet waard zijn. Deze uitspraak is echter nooit objectief te doen en wij volstaan met op te merken dat er geen theoretische bovengrens aan vispasseerbaarheid in de passage is, maar dat de meerkosten van extra dagen per jaar vispasseerbaarheid naar verhouding steeds duurder worden.

2.5 Beschouwing van de resultaten

Ongeacht bovenstaande afwegingen en alle resterende potentiële verbeteringen ligt er een afgewogen en uitgewerkt advies dat recht doet aan vispasseerbaarheid en kosten. De in Tabel 2-6 opgesomde ontwerpparameters met bijbehorende hydraulische resultaten vormen dan ook de kern van onze aanbeveling voor verdere detailuitwerking van de renovatie van de bestaande vispassages.

3 Conclusies en aanbevelingen

3.1 Conclusies

Op basis van de gepresenteerde analyse trekken we de volgende conclusies:

- De rekenmethode toont zich geschikt voor het optimaliseren van vispassages voor dit type, en generiek om op verschillende locaties toe te passen.
- De gekozen dimensies garanderen zonder optimalisaties nog niet voldoende vispasseerbaarheid, zowel uitgedrukt in doelsoorten als dagen per jaar. Bij Lith is dit probleem groter dan bij Linne, omdat het te overbruggen verval over de stuw bij Lith (tot 4,95 m) groter is dan bij Linne (tot 4,30 m).
- Het probleem ontstaat bij middelhoge Maasafvoeren. Aan benedenstroomse zijde van de stuw stijgt de waterstand, waardoor enkele compartimenten verdronken raken. Het verval verdwijnt hiermee nagenoeg en de stroomsnelheid wordt te laag om als lokstroom te fungeren.
- De onderzochte optimalisatie bestaat uit een verticale plaat boven de drempel van elk van de 5 meest benedenstroomse bekkens van de vispassage. Bij stijgend water neemt het doorstroomprofiel hierdoor niet verder toe, waardoor zowel het verval over de drempel als de stroomsnelheid niet verder afnemen. Dit concept levert voldoende verbetering om de vispasseerbaarheid bij Linne tot een Maasafvoer van 530 m³/s te waarborgen (minimaal 319 dagen per jaar, ofwel 87% van de tijd).
- Bij Lith biedt dit concept met 5 platen verbetering tot slechts 280 m³/s (258 dagen per jaar, ofwel 71% van de tijd). Indien bij Lith dezelfde verbetering als bij Linne nagestreefd wordt, zijn minimaal 10 platen noodzakelijk. Deze platen zouden ook hoger uitgevoerd moeten worden.
- Bij Linne is bovendien rekening gehouden met eventuele peilopzet in de toekomst. Het eerste bekken is met een drievoudige lengte ontworpen, zodat het later in drie bekkens gesplitst kan worden.
- Ook is er bij bekken 7 maatwerk in het ontwerp toegepast, omdat een brug hier de vispassage passeert. Hierdoor ontstaat een versmald doorstroomprofiel onder de brug. De stroomsnelheid zal hier ca. 0,6 m/s bedragen. Door 5 m extra bekkenlengte kan er voldoende energiedissipatie plaatsvinden.

3.2 Aanbevelingen

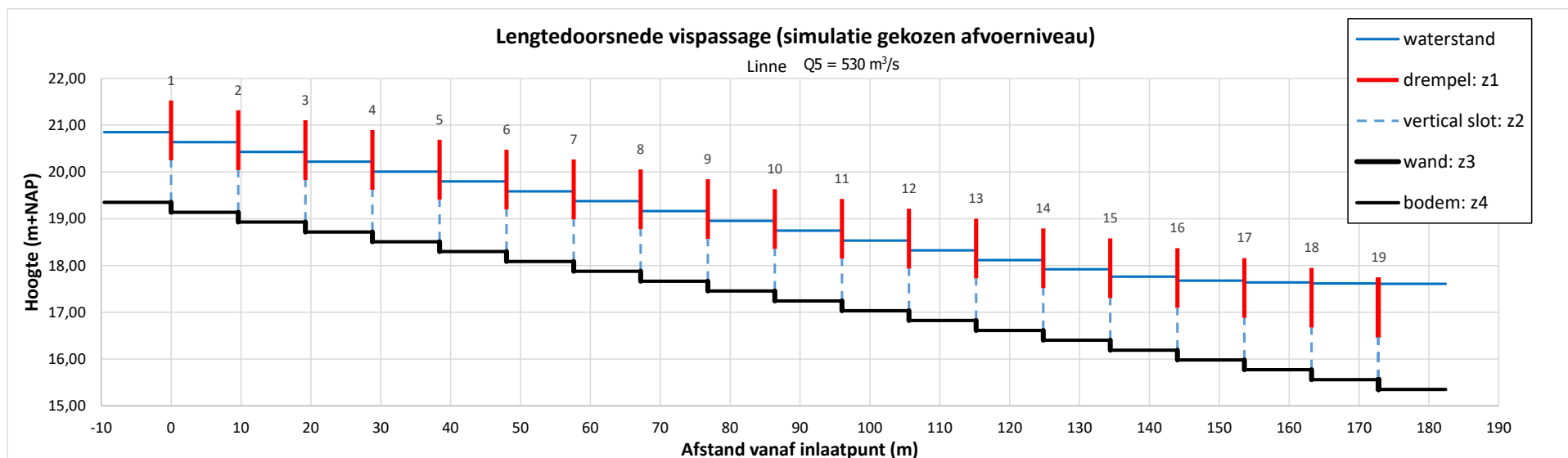
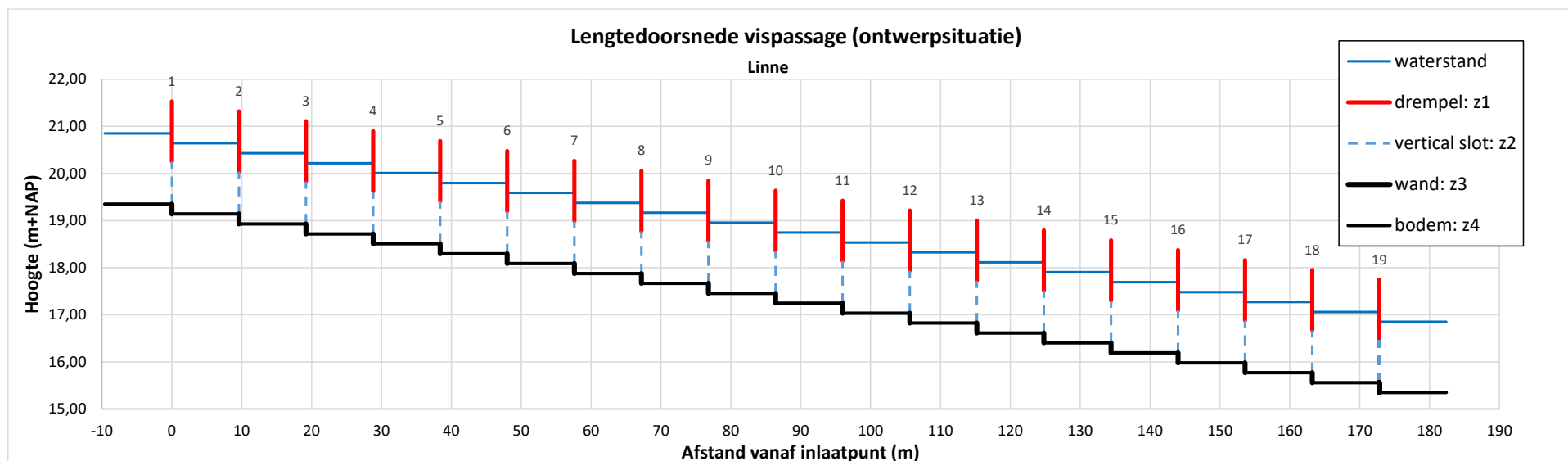
Op basis van de gepresenteerde analyse doen we de volgende aanbevelingen:

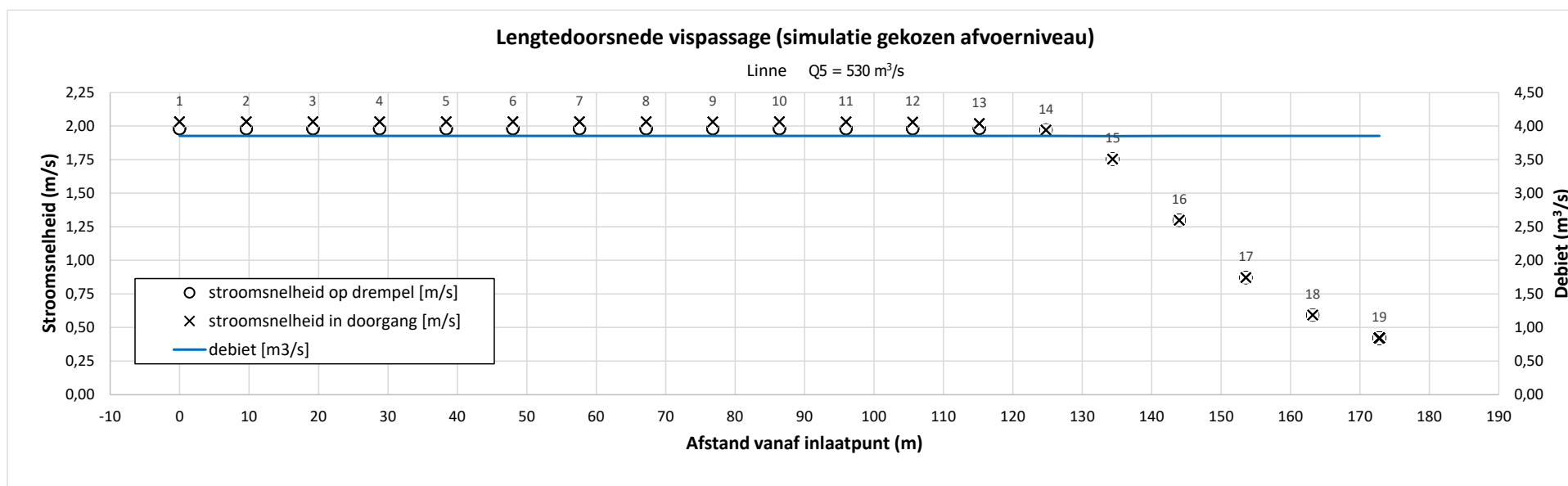
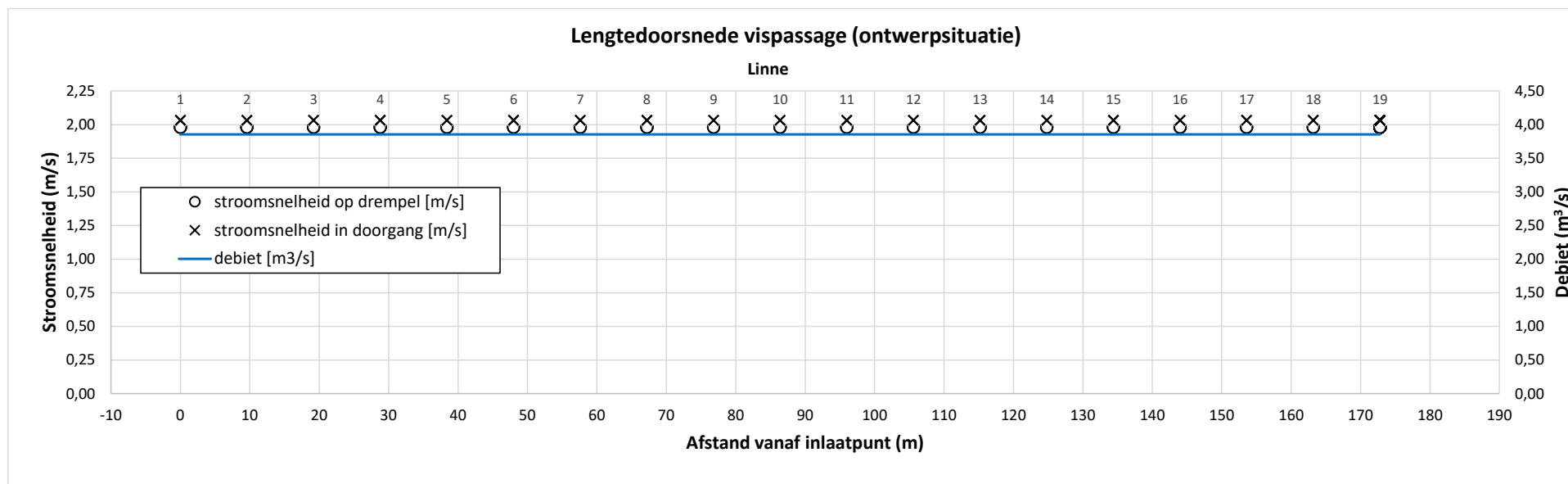
- Van de onderzochte oplossingen bevelen we de in Tabel 2-6 opgesomde ontwerpparameters met bijbehorende hydraulische resultaten aan voor verdere detailuitwerking van de renovatie van de bestaande vispassages.
- Opgemerkt wordt dat in de reeds uitgewerkte tekening (RHDHV, 2025) bekken 7 met 2 m verlengd is (de tekening dateert van maart 2025). Wij adviseren niettemin een verlenging van 5 m, resulterend in een totale bekkenlengte van 14,60 m (inclusief de lengte van de brugopening). Dit zou betekenen dat de gehele passage in benedenstroomse richting 3 m langer wordt.
- Het valt daarnaast te overwegen om ten behoeve van de vindbaarheid van de vispassages een concept voor een lokstroomversterker bij de uitstroomopening uit te werken.
- Om de energiedissipatie in de bekkens gelijkmatiger te verdelen bevelen wij aan een asymmetrische oplossing uit te werken, waarbij het *vertical slot* in de drempel beurtelings links en rechts van het midden gepositioneerd is.

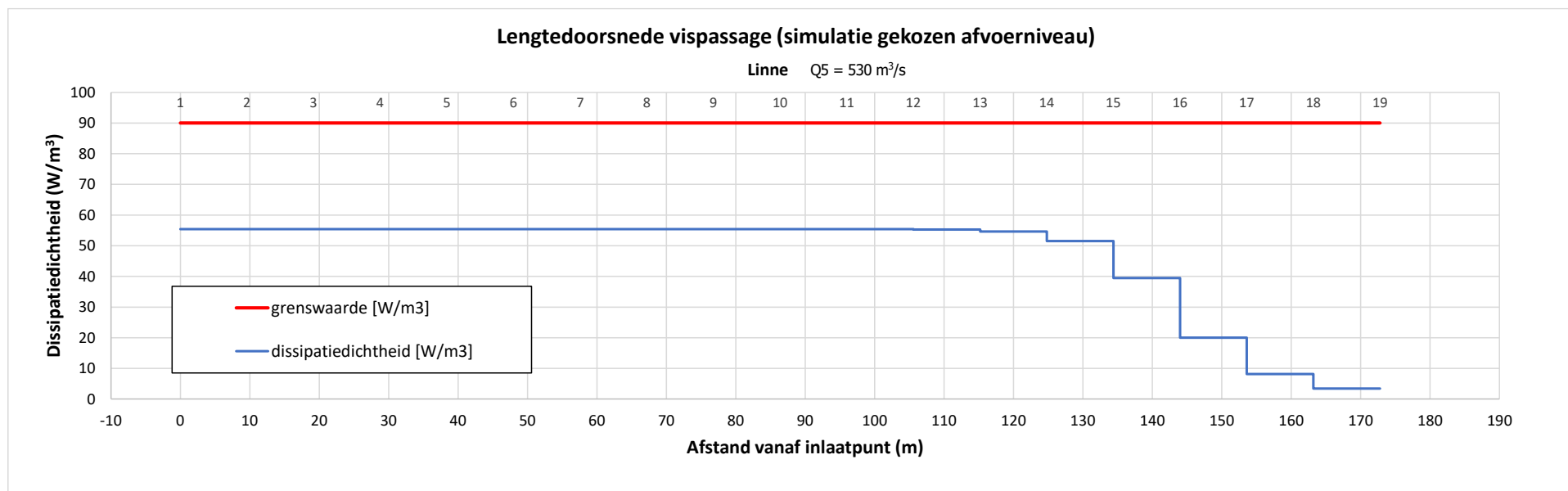
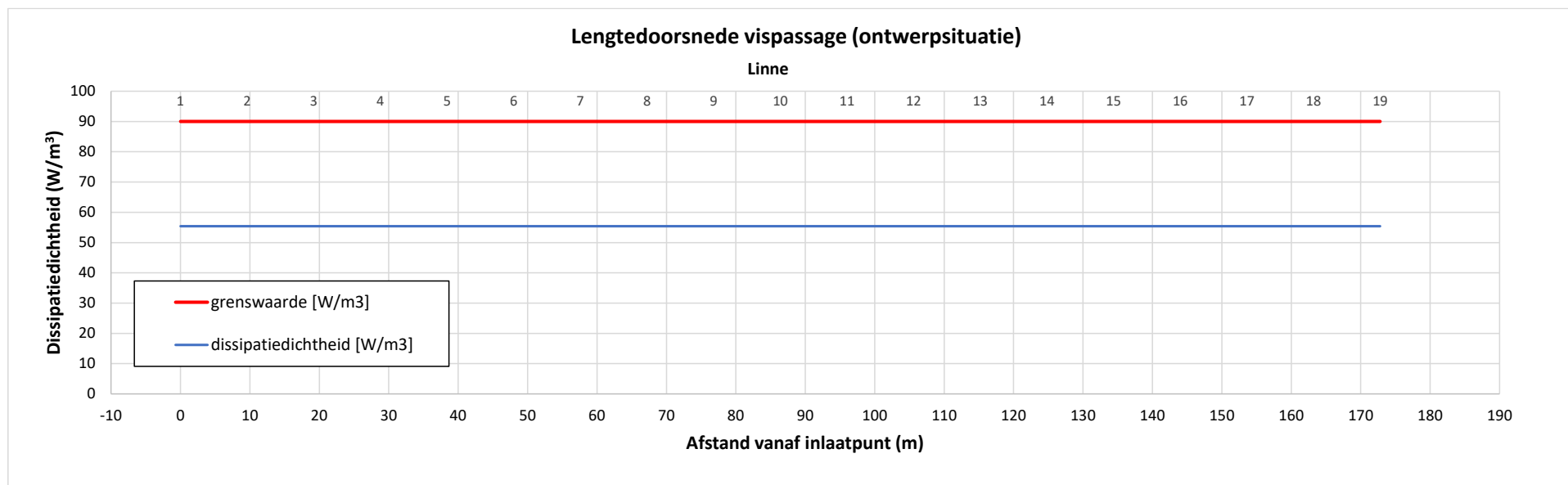
4 Referenties

- Blokland W., Ghodrati G, 2024a: Inspectierapport Vispassage Linne, opdrachtgever: Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, BJ5649-RHD-WM-F5-ME-TM-0002, project BJ5649, 11 september 2024, RoyalHaskoningDHV
- Blokland W., Ghodrati G, 2024b: Inspectierapport Vispassage Lith, opdrachtgever: Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, BJ5649-RHD-WM-F5-ME-TM-0003, project BJ5649, 11 september 2024, RoyalHaskoningDHV
- DVA Engineering BV, 2022: Ontwerptekeningen nieuwe brug, 0621-RAP-001-JKL rev. 0, 2 augustus 2022, DVA Engineering BV
- Ghodrati G., Blokland W., Godfroij M., Dijk S. van, Agten Q. van, Wissen van Veen L. van, 2024: Ontwerpnota voorlopig ontwerp nieuwe vispassage stuwcomplex Lith, Fase 1: Planuitwerking Visconnectiviteit Maas, Klant: Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, product 10/11: Ontwerpnota / voorlopig ontwerp, BJ5649-RHD-WM-F1-RP-TM-0013a, 26 augustus 2024, project BJ5649, RoyalHaskoningDHV
- Meijer D.G., 2024: Ontwerpberekeningen nieuwe vispassage bij stuw- en sluizencomplex Lith (VO), opdrachtgever: RoyalHaskoningDHV, 1 november 2024, concept, project BJ5649 / 153.02, RiQuest
- Ploegam, 2022: Inmeting nabij Brug Visstrap stuw Linne, Overzicht en profielen (technische tekening PL352-VO-TEK-001), 16 mei 2022 (versie 0.1 concept), Ploegam BV
- Rijkswaterstaat, 2023: Betrekkingslijnen Maas, geldigheidsperiode 01-11-2023 – 31-10-2024, Rijkswaterstaat Zuid-Nederland
- Rijkswaterstaat, 2024: Geldigheid Betrekkingslijnen Maas 2023-2024 is verlengd (e-mail van Lianita Suryawinata d.d. 28-10-2024), Rijkswaterstaat Zuid-Nederland
- Royal HaskoningDHV, 2025: Visconnectiviteit Maas, Ontwerp/aanpassen bestaande vispassages, Situatie, lengteprofiel, doorsnedes en principeprofielen, Locatie Linne (technische tekening BJ5649-Linne-SIT-003), 28-03-2025 (versie 3), Royal HaskoningDHV

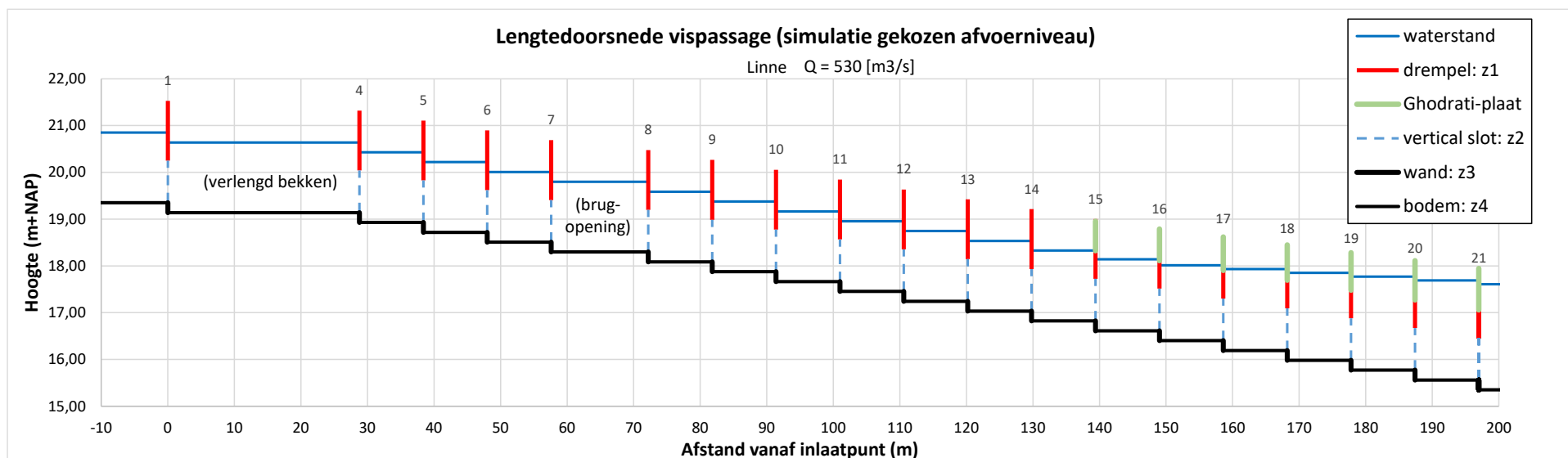
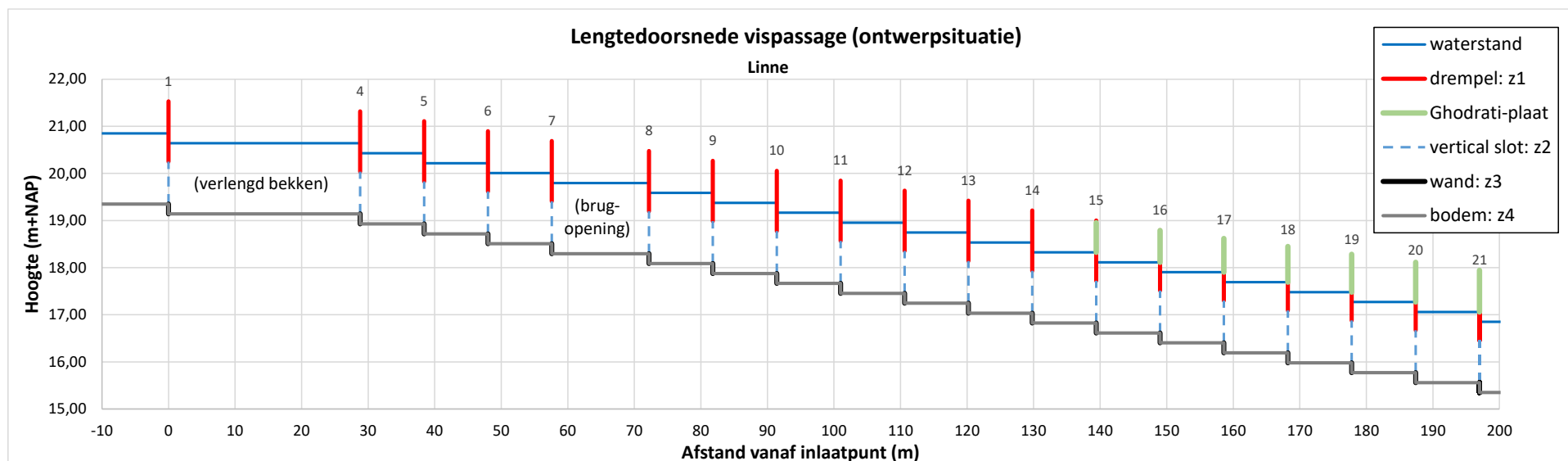
Bijlage 1 Berekeningsresultaten Linne (lengtedoorsneden) – zonder optimalisatie

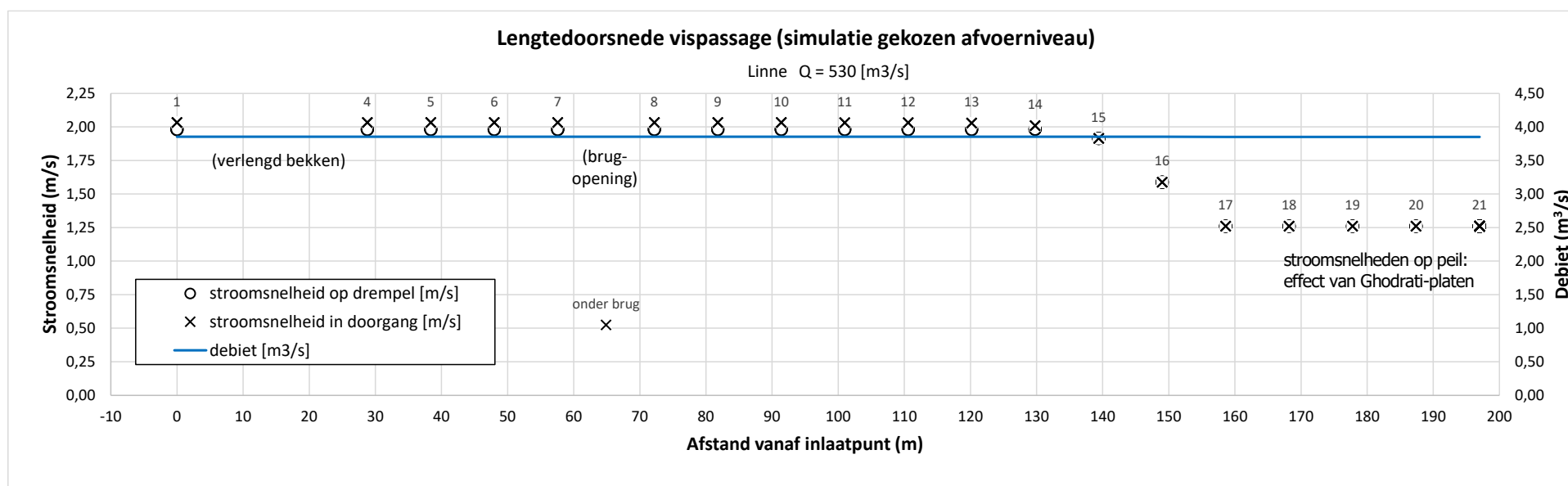
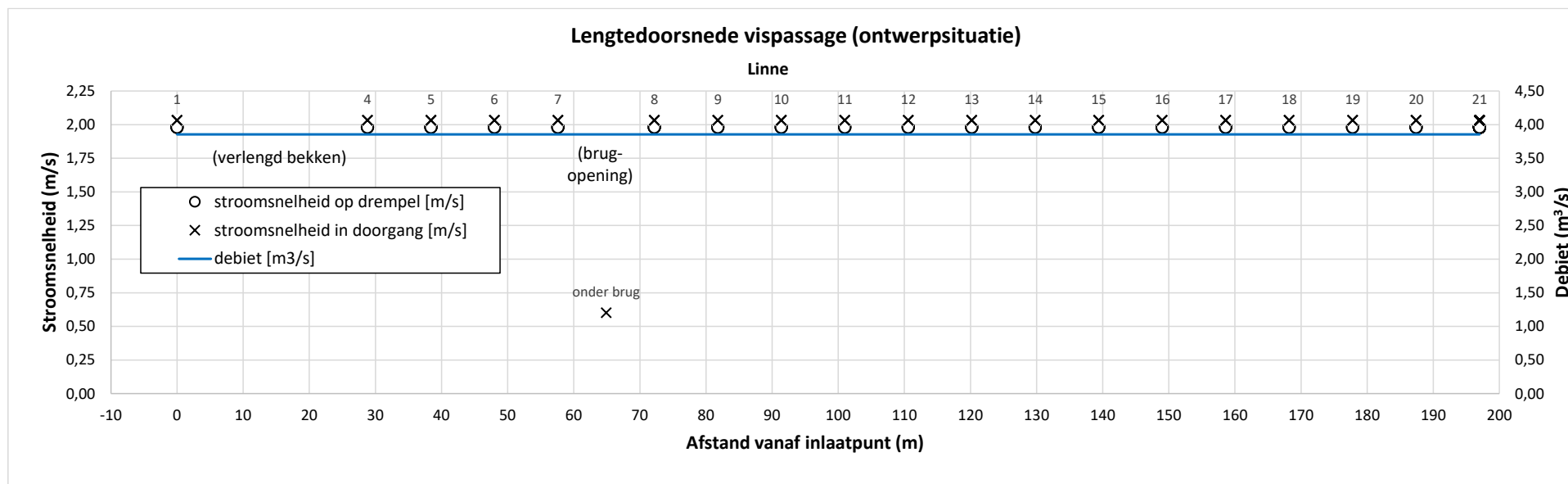


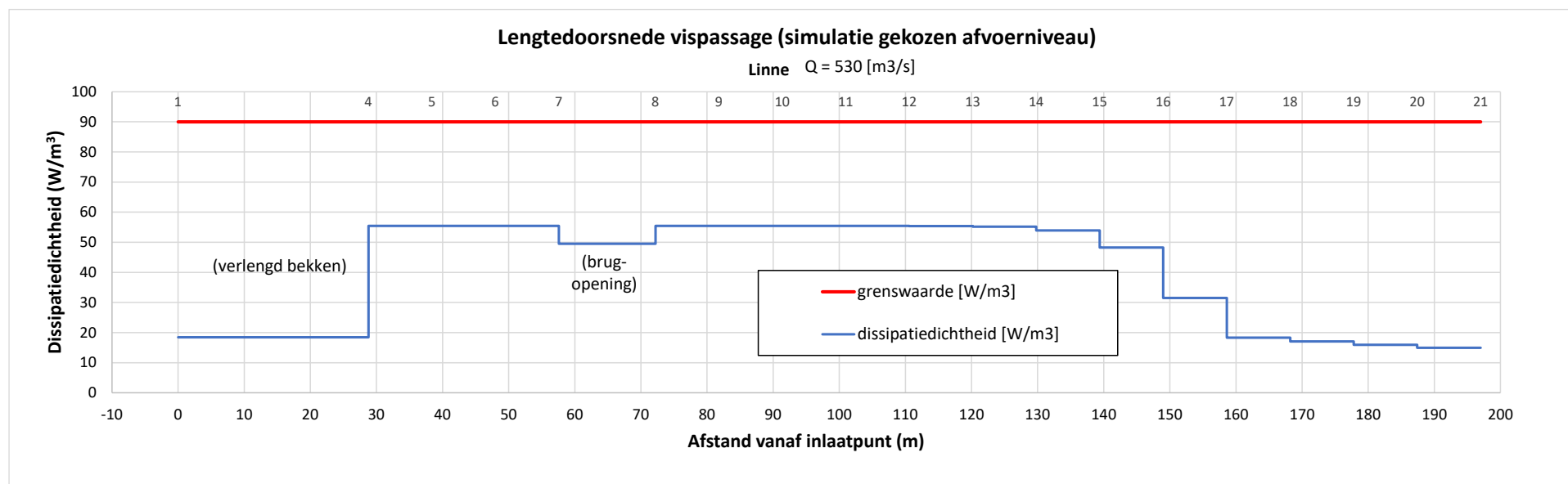
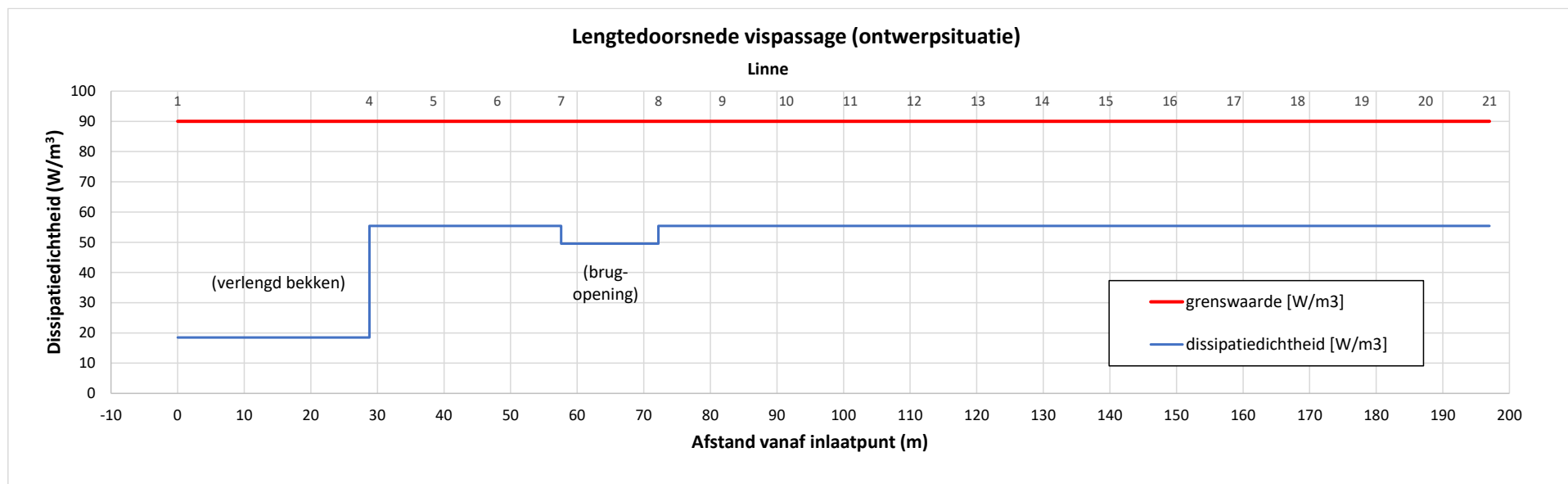




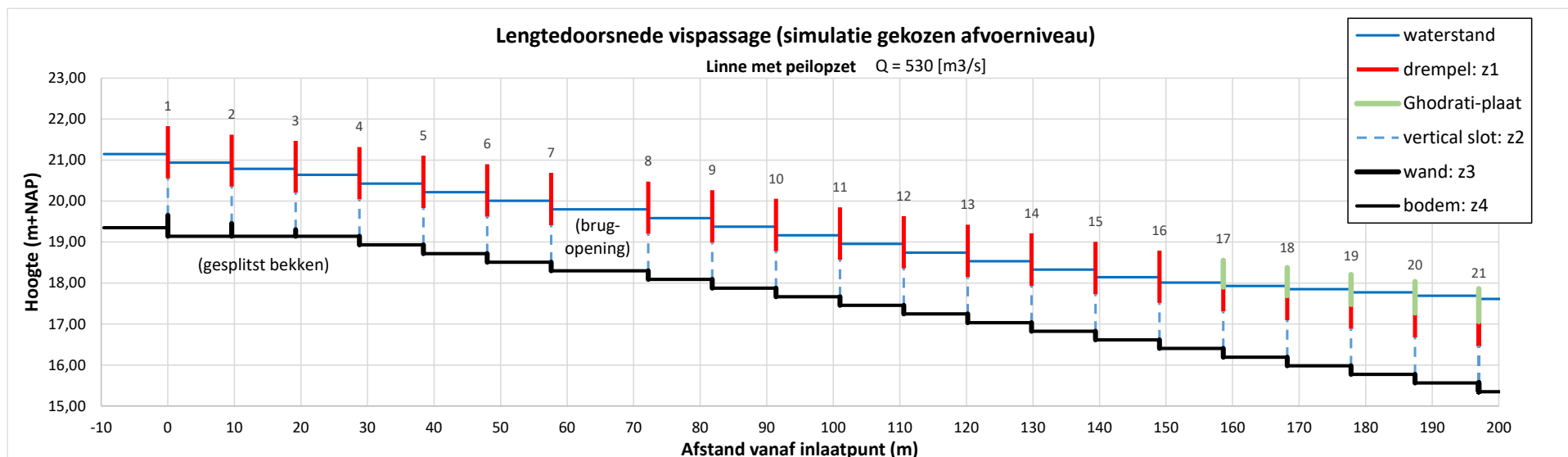
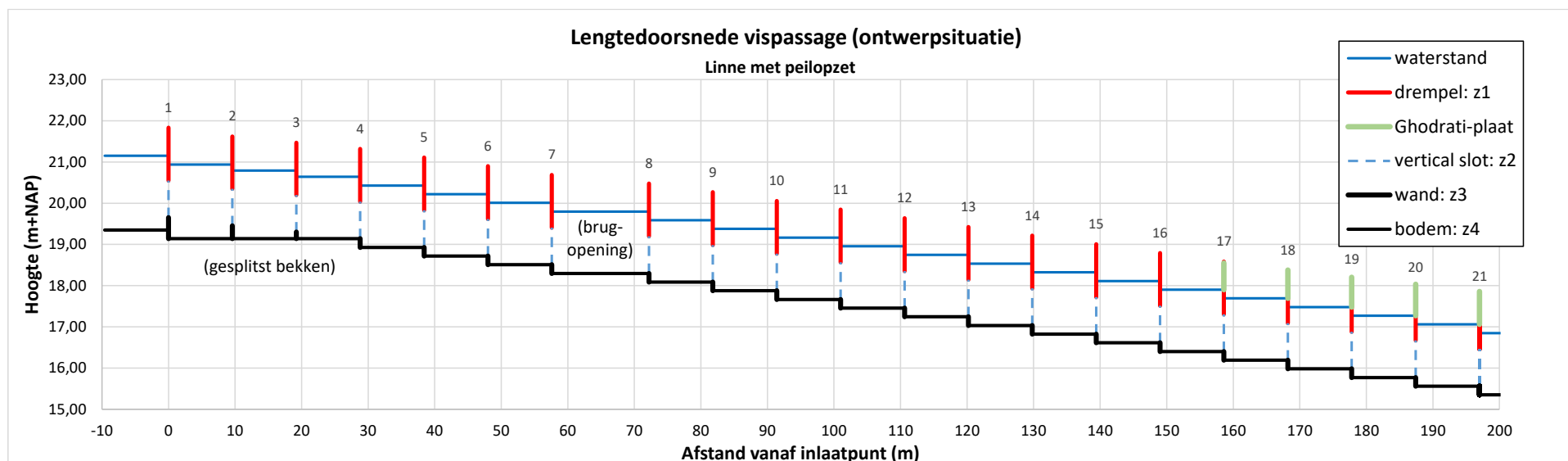
Bijlage 2 Berekeningsresultaten Linne (lengtedoorsneden) – met optimalisatie (5 platen)

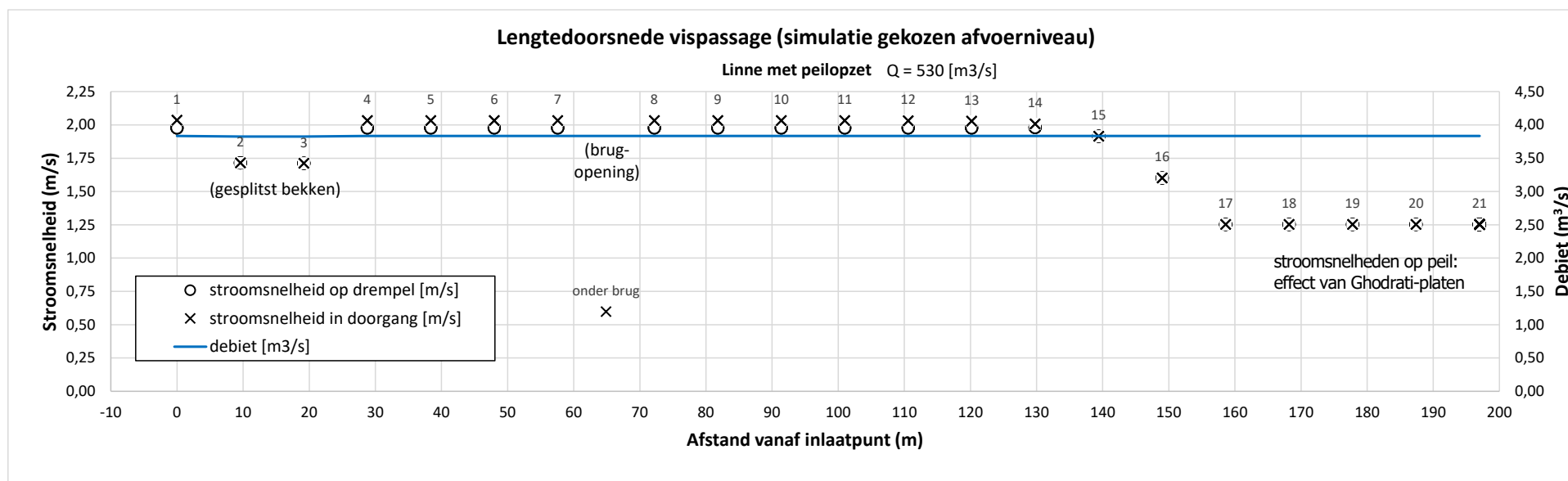
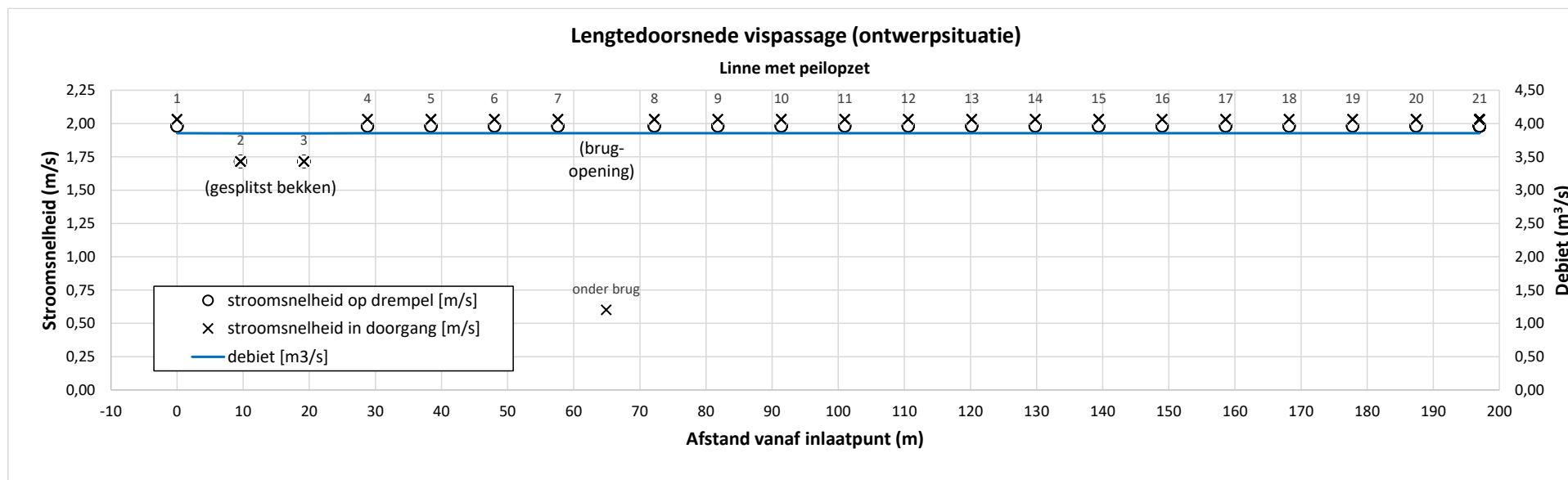


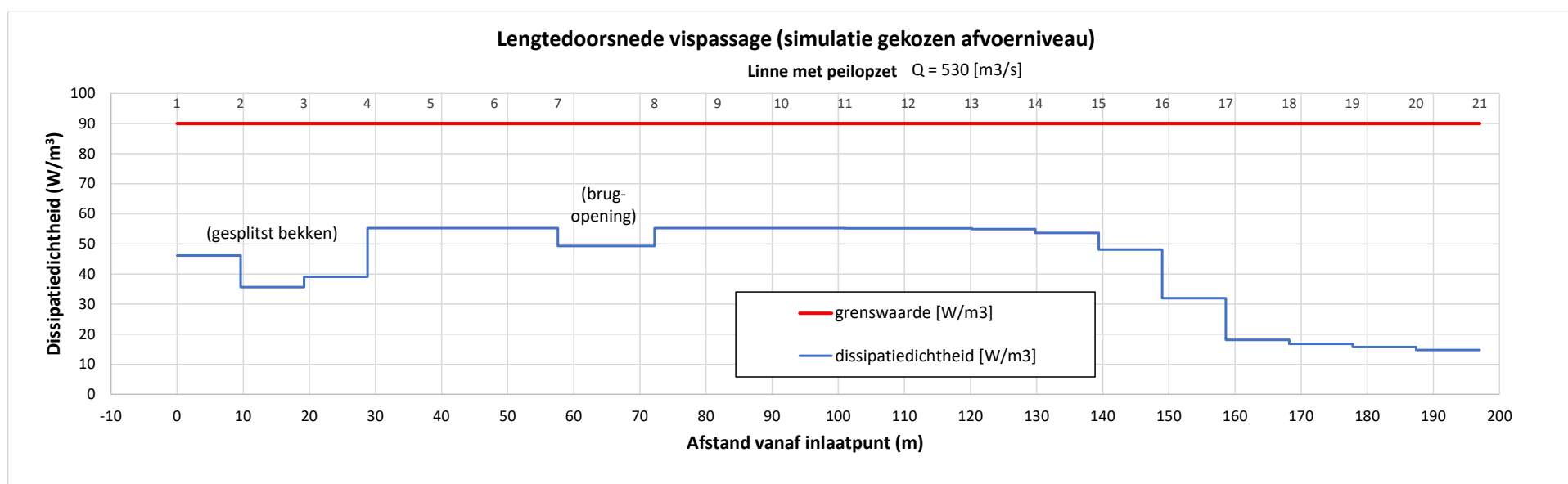
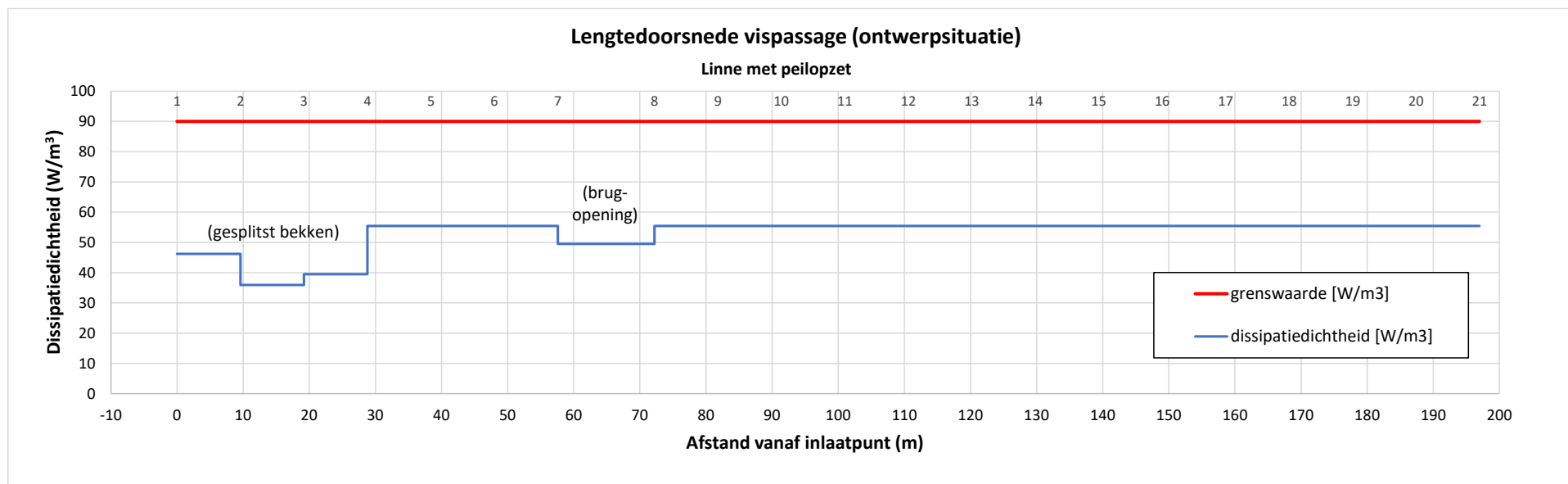




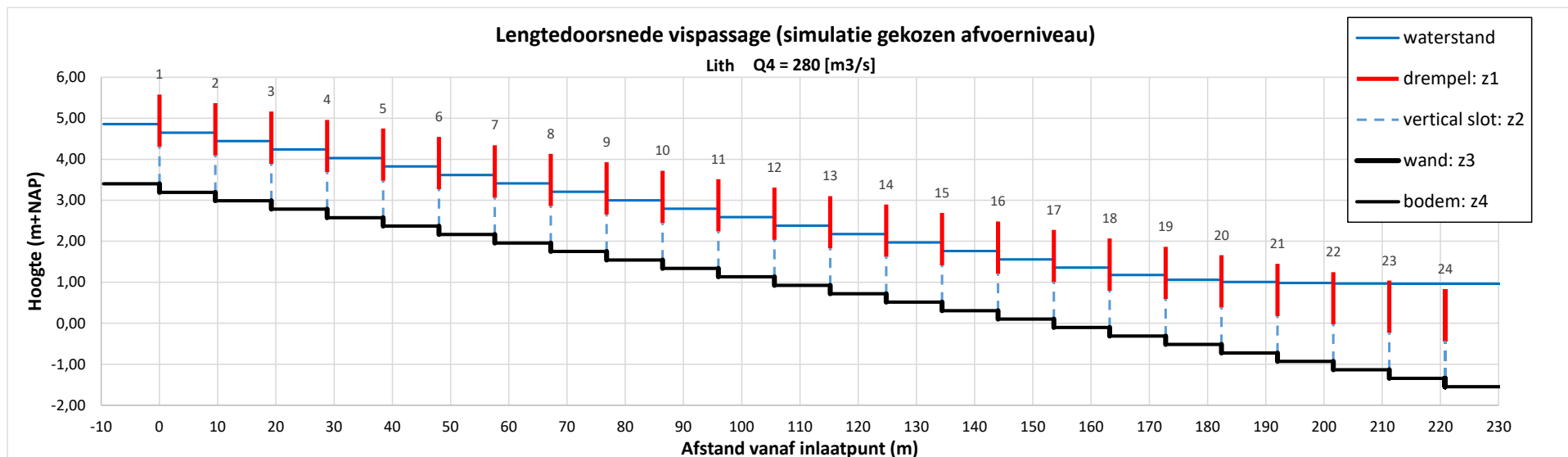
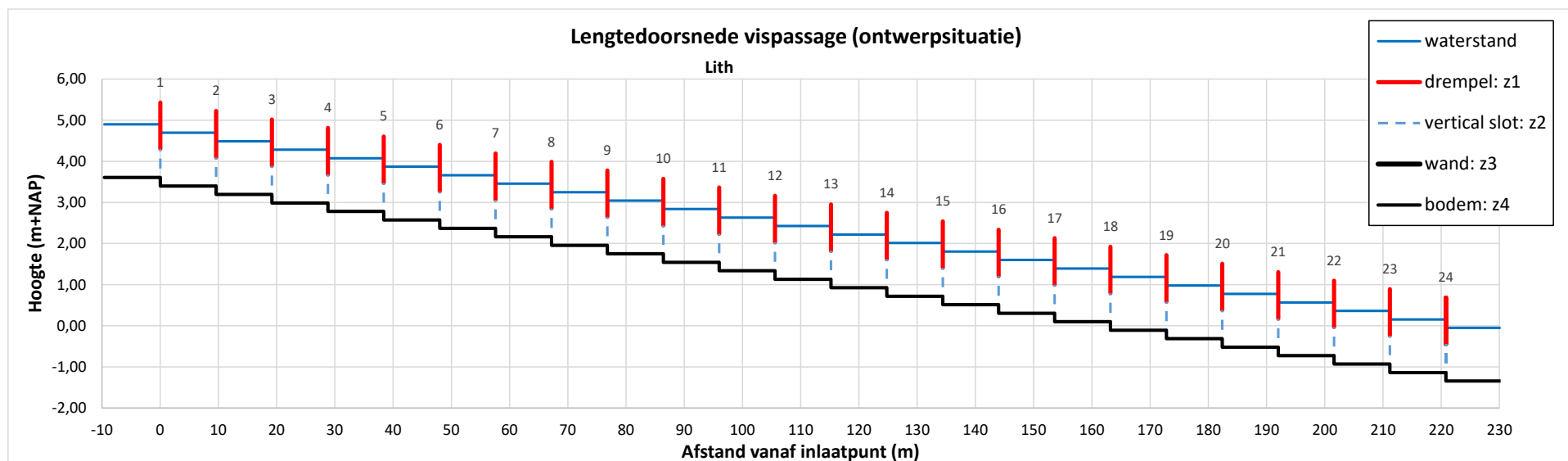
Bijlage 3 Berekeningsresultaten Linne (lengtedoorsneden) – met optimalisatie (5 platen) en peilopzet (0,30 m): versie 2

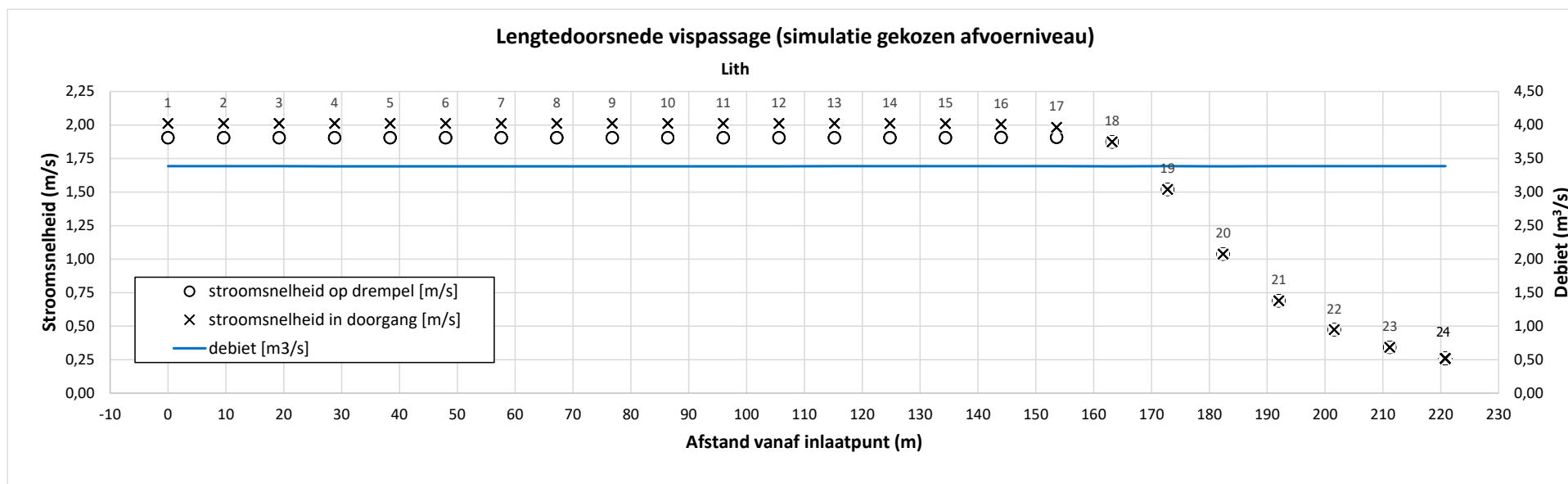
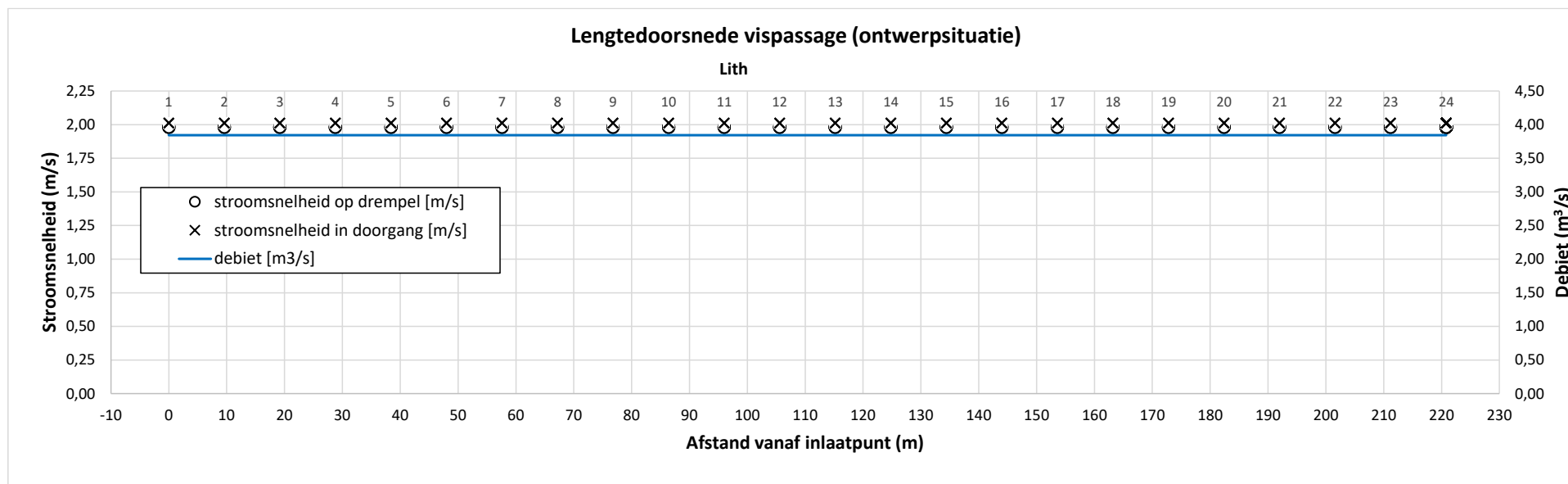


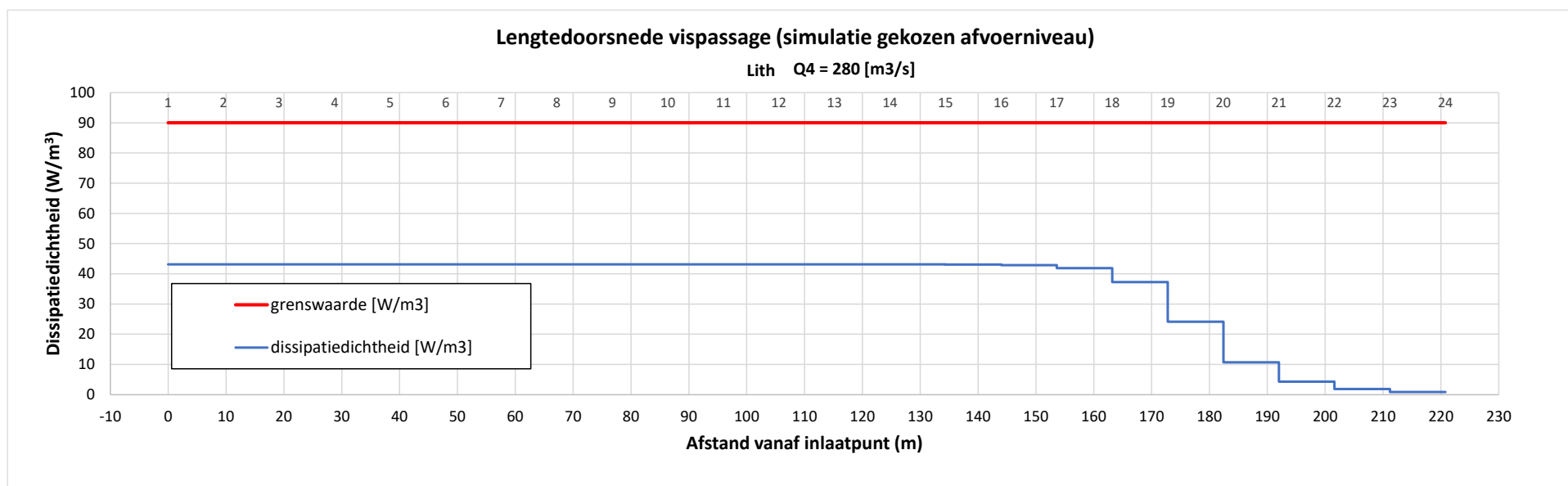
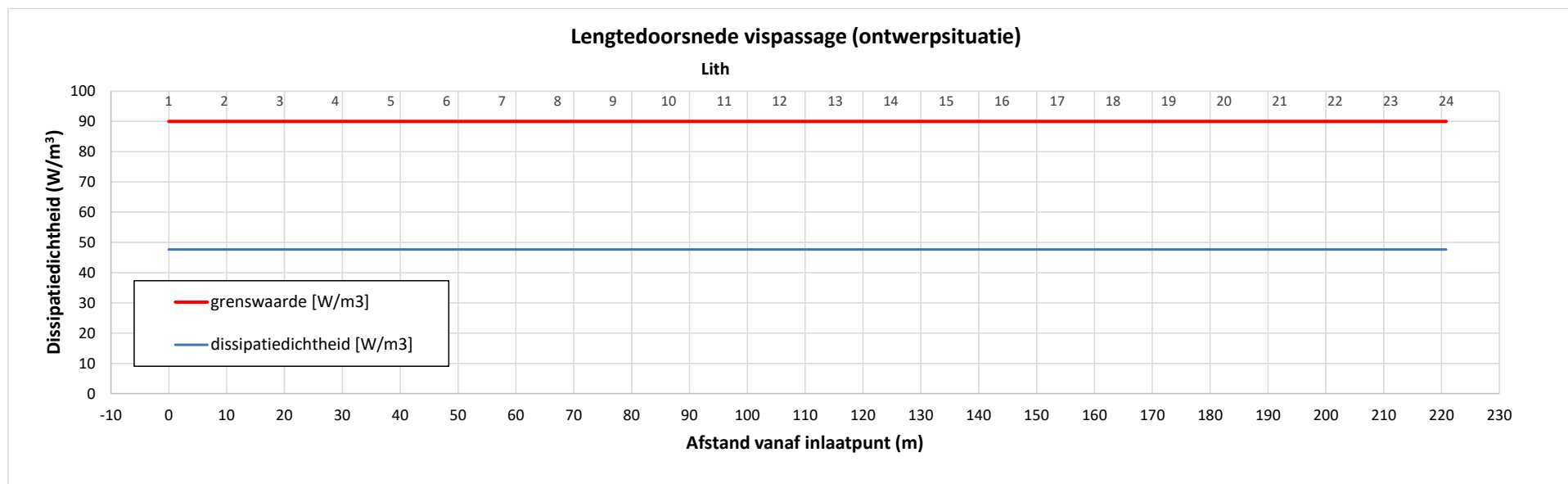




Bijlage 4 Berekeningsresultaten Lith (lengtedoorsneden) – zonder optimalisatie







Bijlage 5 Berekeningsresultaten Lith (lengtedoorsneden) – met optimalisatie (5 platen)

