



Marktconsultatie & Challenge

Machine-Learning model voor Golfparameters

Project: Het project is onderdeel van programma AI Impulsprogramma voor waterbewegingsmodellen (AIWaM).

Zaaknummer: 31219005

Datum: 26 mei 2026



Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL)
Status	Definitief format vraagspecificatie WVL versie 2.4 datum 15-02-2022



Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Doelstelling AI Impulsprogramma voor waterbewegingsmodellen	4
2	Project en onderwerp Challenge	5
2.1	Aanleiding van het project	5
2.2	Doel van het project	5
2.3	Opdrachtschrijving	5
2.4	Challenge	6
2.4.1	Doel van Challenge	6
2.4.2	Deelname informatie	6
2.5	Kwaliteit, resultaat, specificaties aan product(en)	7
2.5.1	Gebruikersspecificaties	7
2.5.2	Functionele specificaties gesteld aan het model	7
2.5.3	Technische specificaties gesteld aan het model	7
2.5.4	Doelstelling rektijden van het model	7
2.6	Evaluatie Challenge	7
2.7	Planning	8
2.8	Voorwaarden van de marktconsultatie	8
3	Doorkijk naar Meervoudig Onderhandse uitvraag (MVO)	9
3.1	Proof-of-concept	9
3.2	Gunningscriteria Meervoudig onderhands	10
3.2.1	Totale score van het model	10
3.2.2	Aansluiting op gebruikerswensen en toepassing	10
3.2.3	Operationele inzet en deployment	10
3.3	Uitwerking opdracht	10
3.4	Planning	10
4	Programma van eisen	11
4.1	Gebruikerswensen	11
4.2	Functionele specificaties gesteld aan het model	11
4.3	Technische specificaties gesteld aan het model	11
4.4	Doelstelling rektijden van het model	12
	Bijlage 1 Datasets	13
	Trainingsgegevens	13
	Validatiegegevens	13
	Bijlage 2 Foutberekeningen	14



1 Inleiding

Dit document beschrijft de marktconsultatie en de mogelijk opvolgende opdracht, bestaande uit de uit te voeren werkzaamheden, diensten en/of te leveren producten.

De marktconsultatie wordt in de verdere beschrijving **Challenge** genoemd.

Naast de Challenge bevat dit document de doorkijk naar de Meervoudige onderhandse uitvraag (MVO), die ingezet wordt bij voldoende resultaat en potentieel vanuit de Challenge.

De doorkijk naar de Meervoudige onderhandse uitvraag is om een volledig beeld te geven en te voldoen aan de vier kernbeginselen voor inkopen in het publieke domein:

1. Gelijke behandeling; alle leveranciers krijgen dezelfde informatie en kansen.
2. Non-discriminatie; geen onderscheid op basis van bijvoorbeeld nationaliteit.
3. Transparantie; criteria, werkwijze en keuzes moeten vooraf duidelijk zijn.
4. Proportionaliteit; eisen moeten in verhouding staan tot aard en omvang van de opdracht.

1.1 Doelstelling AI Impulsprogramma voor waterbewegingsmodellen

Om Nederland veilig, leefbaar en bereikbaar te houden in een tijd van klimaatverandering, streeft het AI Impulsprogramma waterbewegingsmodellen (AIWaM) naar wendbaarder, sneller en beter onderbouwd waterbeheer. Door de ontwikkeling van machine-learning modellen en hoogwaardige datasets voor het hoofdwatersysteem (rivieren, meren, kust) wil Rijkswaterstaat proactief, adaptief en data-gedreven inspelen op de toenemende onvoorspelbaarheid van weer en water.

Om snelle, flexibele en betrouwbare watermodellen die gecontroleerd operationeel en beheerd ingezet kunnen worden - met de juiste kwaliteit, uitlegbaarheid en integratie in bestaande systemen als uitgangspunt - te kunnen leveren, wil het programma krachten bundelen met kennisinstellingen, marktpartijen en startups.

2 Project en onderwerp Challenge

2.1 Aanleiding van het project

Momenteel wordt in het operationele systeem RWSOS van Rijkswaterstaat gebruik gemaakt van een SWAN model om de golven te modeleren op de Noordzee. De golfverwachtingen worden onder andere gebruikt voor het maken van tijpoorten en het uitgeven van waarschuwingen voor hoge golven tijdens storm.

Door de lange rekentijd van het model wordt momenteel alleen één (deterministische) weersverwachting doorgerekend. Een compleet ensemble (zoals de 51 ensemble members van ECWMF-EPS) doorrekenen is niet mogelijk. Omdat onzekerheidsinformatie van de golfparameters wel gewenst is, wordt binnen het AI Impulsprogramma onderzocht of een snel model ontwikkeld kan worden om ensembles door te rekenen en op die manier onzekerheidsinformatie te genereren.

Door Deltares is in 2024 en 2025 een project uitgevoerd om een emulator te ontwikkelen voor SWAN¹²: TurboSWAN. TurboSWAN is opgezet als CNN (Convolutional Neuraal Netwerk) en geeft ruimtelijk dekkende uitvoer van diverse golfparameters op basis van ruimtelijke input zoals o.a. windvelden. Het ontwikkelde model rekent erg snel en kan ruimtelijke patronen goed reproduceren, maar is nog niet nauwkeurig genoeg om operationeel in te zetten. Eén van de aanbevelingen vanuit deze trajecten is om een 1D aanpak te verkennen, waarbij tijdreeksmodellen op meetlocaties worden ontwikkeld.

2.2 Doel van het project

Rijkswaterstaat zoekt naar nieuwe oplossingen en ons doel is om de expertise van de markt te combineren met onze eigen kennis, zodat we gezamenlijk kunnen bijdragen aan een veerkrachtiger watersysteem. Met deze uitvraag worden geïnteresseerde partijen uitgenodigd om deel te nemen aan deze Challenge en een voorstel in te sturen. Als de resultaten van de Challenge succesvol blijken, kan aansluitend een vervolgtraject worden gestart gericht op verdere uitwerking en toepassing van de ontwikkelde oplossing.

Het doel van dit initiatief is het ontwikkelen van een snelle methode die, op basis van verschillende invoerparameters zoals wind, voor een aantal Noordzeelocaties golfparameters (zoals significante golfhoogte en deiningshoogte) berekent, waarbij de afwijking ten opzichte van metingen zo klein mogelijk blijft.

2.3 Opdrachtschrijving

Het doel van de opdracht is een AI-model op te stellen op basis van trainingsdata bestaande uit meerjarige meetreeksen op enkele Noordzeelocaties bestaande uit significante golfhoogte³ (Hm0) en deiningshoogte⁴ (HE10) en invoerdata zoals bodemligging en gemodelleerde windvelden, golfbrandvoorwaarden, waterstands- en stromingsvelden. Het model moet vervolgens op basis van nieuwe invoerdata de significante golfhoogte en deiningshoogte op enkele Noordzeelocaties als uitvoer kunnen geven.

RWS streeft om een beeld te krijgen van de expertise beschikbaar in de markt. Om een inzicht te krijgen van de mogelijkheden bestaat deze uitvraag uit 2 delen, namelijk een marktconsultatie met een

¹ [CIP: Confidence intervals for SWAN wave forecasts](#)

² [CIP: TurboSWAN to assess confidence intervals for SWAN forecasts](#)

³ [spectrale significante golfhoogte - AQUO](#)

⁴ Spectrale golfhoogte gebaseerd op het frequentiebereik van 0.03Hz tot 0.1Hz ; [deining - AQUO](#)

Challenge en het doel dit op te volgen met een Meervoudig onderhandse uitvraag MVO) om het beoogde product te verkrijgen.

Voor deze opdracht en in deze documentatie wordt de marktconsultatie met **Challenge** aangeduid.

Deze vraagspecificatie omvat alleen de Challenge en geeft een doorkijk naar de voorgenomen MVO.

2.4 Challenge

2.4.1 Doel van Challenge

Het doel van de Challenge is inzicht in innovatieve oplossingsmogelijkheden te krijgen voor toekomstige, snelle, flexibele en betrouwbare watermodellen voor golfparameters.

2.4.2 Deelname informatie

Voor de Challenge worden deelnemers gevraagd een Plan van Aanpak te schrijven, waarin beschreven wordt hoe tot snelle golfverwachtingen voor een tiental locaties te komen.

Het Plan van Aanpak dient in ieder geval te beschrijven welk type model wordt gebruikt, welke data wordt gebruikt, hoe het model wordt getraind en operationeel in gebruik kan worden genomen om zo goed mogelijk te voldoen aan de gebruikerswensen (zie §2.5.1) en de functionele specificaties (zie §2.5.2) uitgaande van de technische (zie §2.5.3) en performance (zie §2.5.4) specificaties. De deelnemers kunnen gebruik maken van datasets op basis waarmee een model getraind kan worden.

RWS organiseert een digitale informatiebijeenkomst (MS Teams) om een nadere toelichting te geven over het 'hoe en waarom' van deze marktconsultatie op 1 juni a.s. om 14.00 uur.

Aanmelden voor de informatiebijeenkomst kan via de berichtenmodule in TenderNed t/m vrijdag 29 mei a.s.

Vragen over deze marktconsultatie kunnen gesteld worden via de berichtenmodule in TenderNed tot en met 5 juni a.s.. De (geanonimiseerde) vragen beantwoordt RWS in een Nota van Inlichtingen op TenderNed en worden uiterlijk gepubliceerd op 8 juni 2026.

Gevraagd wordt:

- het Plan van Aanpak op uiterlijk 15 juni a.s. in te sturen (wvl-aanbestedingsdocumenten@rws.nl o.v.v. 31219005 Challenge)
- op de Digishape-dag het Plan van Aanpak te presenteren met een Pitch van maximaal 3 minuten. Na deze Pitch is er korte periode gelegenheid tot stellen van vragen.

Vormeisen aan het Plan van Aanpak

- Het document beslaat maximaal 2 enkelzijdige A4-pagina's in lettertype Arial 10, dit is inclusief bijlagen en illustraties, maar exclusief voorblad.
- Het document is opgesteld in het Nederlands of Engels.

Deelnemers ontvangen geen vergoeding voor deelname aan de Challenge. Het doel is om de Challenge op te volgen met een Meervoudige onderhandse uitvraag, waarvoor deelnemers aan de Challenge uitgenodigd kunnen worden.

De aankondiging verloopt via TenderNed en het DigiShape platform.

De communicatie over de uitvraag verloopt via TenderNed.

Het Plan van Aanpak kan worden ingestuurd naar wvl-aanbestedingsdocumenten@rws.nl o.v.v. 31219005 Challenge.

2.5 Kwaliteit, resultaat, specificaties aan product(en)

Alle specificaties zijn bepaald door medewerkers van Rijkswaterstaat afdelingen WMCN, HMC, WVL, CIV en door medewerkers van Deltares. In de paragrafen 2.5.1 t/m 2.5.4 worden deze op hoofdlijnen weergegeven. Deze specificaties zijn van toepassing op het uiteindelijke product van de MVO en dienen als randvoorwaarden te worden meegenomen bij een relevante invulling van de Challenge.

2.5.1 Gebruikersspecificaties

Het resultaat van het project moet in eerste instantie voldoen aan de gebruikersspecificaties van WMCN en meer specifiek aan het team HMC.

2.5.2 Functionele specificaties gesteld aan het model

Qua functionele specificaties worden o.a. tijdsresolutie, berekenen van de deiningshoogte en golfhoogte opgenomen. Verder moet het model eenvoudig schaalbaar zijn naar meerdere locaties en goed beheersbaar zijn.

2.5.3 Technische specificaties gesteld aan het model

Met betrekking tot de technische specificaties worden o.a. hardware en software afhankelijkheden opgenomen, waaraan het eindproduct moet kunnen voldoen.

2.5.4 Doelstelling reketijden van het model

Met het te ontwikkelen model beoogt Rijkswaterstaat snel golfparameters (significante golfhoogte en deiningshoogte) te kunnen doorrekenen. Als richtlijn wordt een maximale reketijd aangehouden van maximaal 1 uur voor het doorrekenen van 51 ensemble members met een tijdstap van één uur en een verwachtingshorizon van 48 uur, voor één locatie.

2.6 Evaluatie Challenge

Op basis van de informatie uit de Challenge wordt door een team bestaande uit 4 vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat en 1 Deltares beoordeeld of een MVO wordt gestart, waarvoor deelnemers aan de Challenge kans maken om uitgenodigd te worden.

De vertegenwoordigers zijn (ook onder voorbehoud):

RWS-VWM	Adviseur Waterberichtgeving Joost Driebergen en voorzitter
RWS-VWM	Adviseur Waterberichtgeving - Rutger Zomer
RWS-WVL	Adviseur Scheepvaartmodellen - Fedor Baart
RWS-CIV Datalab	Data scientist - Oliv��r Boersma
Deltares	Hydroloog – Joana van Nieuwkoop

Meegenomen in de overweging om een MVO te starten zijn:

- Motivatie van modelkeuze;
- Bijbehorende aannames;
- Aansluiting op gebruikerswensen en toepassing;
- Operationele inzet en deployment.

Rijkswaterstaat behoudt zich de mogelijkheid voor om de MVO niet te starten als de Challenge te weinig perspectief biedt voor de ontwikkeling van een haalbaar en schaalbaar model.

2.7 Planning

Activiteit	Datum	Tijd (uur)
Publicatie Challenge via Tendered / Digishape	26 mei 2026	
Aanmelden voor informatiesessie	29 mei 2026	
Online-Informatiesessie – teams	1 juni 2026	14:00
Sluiting termijn indienen vragen	5 juni 2026	11:00
Publicatie antwoorden op vragen	8 juni 2026	17:00
Insturen Plan van Aanpak	15 juni 2026	11:00
DigiShape Pitches	19 juni 2026	
Bekendmaking vervolg en besluit uitschrijven van MVO	23 juni 2026	

2.8 Voorwaarden van de marktconsultatie

- RWS heeft in dit document informatie opgenomen naar de huidige stand van zaken. Informatie uit deze marktconsultatie zal gebruikt worden om een betere afweging te maken van de voorgenomen MVO.
- Alle relevante informatie die nodig is om een inschrijving op te gaan stellen, zal bij de aanbestedingsstukken worden verstrekt.
- Verkregen inzichten uit de marktconsultatie gebruikt RWS (waar relevant) in de voorbereiding van de aanbesteding en de aanbestedingsstukken. RWS behoudt zich het recht voor om deze inzichten niet of volledig te gebruiken
- Informatie uit deze marktconsultatie kan dan ook afwijken van informatie die later in het kader van een eventuele voorgenomen aanbesteding wordt verstrekt.
- De marktconsultatie is geen uitnodiging om in te schrijven op een eventuele aanbesteding.
- Rijkswaterstaat behoudt zich het recht voor om de planning, zoals in dit document geschetst is, naar eigen inzicht aan te passen en/of het traject van de marktconsultatie geheel of gedeeltelijk te staken.
- De door middel van deze marktconsultatie aan Rijkswaterstaat verstrekte informatie wordt vertrouwelijk behandeld en wordt niet gebruikt voor een ander doel dan het opdoen van marktkennis teneinde tot een kwalitatief beter programma van eisen/aanbestedingsstukken te komen.
- RWS geeft geen vergoeding voor gemaakte of te maken kosten verbonden aan deze marktverkenning/marktconsultatie.
- Door deelname aan deze marktconsultatie verklaart de geïnteresseerde marktpartij akkoord te zijn met alle genoemde voorwaarden.

3 Doorkijk naar Meervoudig Onderhandse uitvraag (MVO)

Na de Challenge kunnen partijen uitgenodigd worden voor inschrijving van de Meervoudige onderhandse uitvraag (MVO), bestaande uit een Proof-of-concept, waarna de winnaar gevraagd wordt om het model uit werken en op te schalen.

3.1 Proof-of-concept

Voor de inschrijving wordt, naast een prijs-offerte, een Proof-of-concept (conceptmodel) voor één locatie (Europlatform) gevraagd.

De totale inschrijving wordt op basis van beste prijs kwaliteitverhouding (EMVI-BKPV) beoordeeld om een winnaar en Opdrachtnemer te selecteren om het Proof-of-concept verder uit te werken, te optimaliseren en op te schalen. De mogelijkheid bestaat dat de Opdrachtnemer gevraagd wordt het model op te schalen naar een pre-productie model.

Voorzien is dat de op te leveren producten bestaan uit:

1. Minimaal een bestand met trainingscode.
2. Minimaal een bestand met inferentiecode.
3. Huggingface modelcard met duidelijke uitleg over hoe het model getraind kan worden en hoe de inferentie moet worden uitgevoerd op de validatiedataset.
4. De gewichten van het getrainde model.
5. Overige configuratiebestanden voor reproduceerbaarheid zoals de pyproject.toml.
6. Prijs-offerte voor de opdracht.

In onderstaande tabel staan de beoogde gunningscriteria en weging voor de Proof-of-concept. Deze zijn indicatief en kunnen in de definitieve aanvraag aangescherpt of aangepast worden.

Type criterium	Beoordeling	Weging
Prestatie	Totale score van het model (RMSE, Peak Error en Skill Score)	50
Kwalitatief	Aansluiting op gebruikerswensen en toepassing	20
Kwalitatief	Operationele inzet en deployment	20
Prijs	Inschrijvingsprijs voor pre-productie (prijs plafond €95.000 excl. BTW.)	10
	Totaal	100

Voor een geldige inschrijving is een bedrag van € 10.000 - € 15.000 excl. BTW beschikbaar per inschrijver beschikbaar, om de kwaliteit van de Proof-of-concept te stimuleren.

Prestatie criterium

Eén onderdeel van de beoordeling van de Proof-of-concept modellen is een validatietest, door het toepassen van het opgeleverde model op een deel van de dataset dat niet beschikbaar is gesteld tijdens deze opdracht. De beoordeling vindt plaats op zowel algemene prestaties van het model als prestaties tijdens een storm door berekening van de drie kern-metrieken (RMSE, Peak Error en Skill Score) op de validatie jaren.

Kwalitatieve criteria

Voor de borging van de toekomstbestendigheid van de oplossing wordt in de beoordeling nadrukkelijk gekeken naar de mate waarin de voorgestelde trainingsaanpak aansluit op de wensen en behoeften van de eindgebruikers. Daarnaast wordt beoordeeld in welke mate de inschrijver rekening houdt met de wens het model operationeel in te zetten en het in beheer te nemen.

Ook is de prijs onderdeel van de EMVI-BKPV beoordeling.

De opdracht wordt gegund aan de hoogste EMVI-BKPV score, mogelijk dat er een minimum score vereist is.

3.2 Gunningscriteria Meervoudig onderhands

In deze paragraaf staat een inhoudelijke uitleg van de prestatie en kwalitatieve gunningscriteria.

3.2.1 Totale score van het model

De score van een model wordt bepaald door de volgende drie maten van de kwaliteit van de verwachtingen ten opzichte van metingen:

- Algemene Nauwkeurigheid (RMSE): 40%
- Prestatie bij Extremen (Peak Error): 40%
- Voorspelkracht (Skill Score): 20%

De totale score van het model wordt berekend als een gewogen gemiddelde van de performance indicatoren voor HE10 en Hm0 voor locatie Europlatform.

3.2.2 Aansluiting op gebruikerswensen en toepassing

Beoordeeld wordt de mate waarin het model en de bijbehorende aanpak rekening houden met de gebruikerswensen, de uiteindelijke toepassing (bv. ensemble-voorspellingen) en de praktische haalbaarheid voor de beoogde gebruikers.

3.2.3 Operationele inzet en deployment

Beoordeeld wordt de mate waarin het voorstel een realistisch en uitvoerbaar pad biedt naar operationele inzet, waarbij het model is ontworpen als productieklare oplossing (niet als prototype) en voldoet aan de technische randvoorwaarden van Rijkswaterstaat (zie §4 Programma van Eisen).

3.3 Uitwerking opdracht

De uitwerking van de opdracht bestaat uit de bouw van een pre-productie model, door het resultaat van de Proof-of-concept te optimaliseren en op te schalen naar meerdere locaties (ca. 10 Noordzee locaties, door opdrachtgever nader te bepalen) en mogelijk meerdere parameters.

Het plafondbedrag voor dit deel van de opdracht is € 95.000, - ex BTW.

3.4 Planning

In onderstaande tabel de planning voor de MVO, onder voorbehoud.

Activiteit	Datum
Publicatie MVO via TenderNed	25 juni 2026
Sluiting inschrijving	31 augustus 2026
Definitieve gunning obv Proof-of-concept	18 september 2026
Startdatum overeenkomst	7 oktober 2026
Einddatum overeenkomst	15 februari 2027

4 Programma van eisen

4.1 Gebruikerswensen

- PVE01.01 Als adviseur van dienst bij het HMC wil ik 12-24 uur van tevoren onzekerheidsinformatie over deiningsgolven (specifiek tussen de 0,5 en 1,5 meter) zodat ik een betere inschatting kan maken wanneer uitgaande scheepvaart gestremd moet worden (vanaf deiningsgolven van 0,71m) en wanneer (vanaf deiningsgolven van 1,15 meter) er geen geulvaart meer toegestaan is.
- PVE01.02 Als adviseur van dienst bij het HMC wil ik 12-24 uur van tevoren onzekerheidsinformatie over significante golfhoogte (specifiek tussen 2 en 3,5 meter) zodat een betere inschatting gemaakt kan worden of de loods veilig aan boord kan gaan.

4.2 Functionele specificaties gesteld aan het model

- PVE02.01 De voorspelhorizon bedraagt 48 uur en de tijdsresolutie van de output is één uur.
- PVE02.02 Er dient één model ontwikkeld te worden dat zowel deiningshoogte (HE10) als significante golfhoogte (Hm0) berekent op minimaal de opgegeven locaties.
- PVE02.03 Het model mag alleen gebruik maken van de data die beschikbaar wordt gesteld bij deze prijsvraag, niet alle data hoeft gebruikt te worden.
- PVE02.04 Het model moet eenvoudig schaalbaar zijn naar meerdere locaties, parameters en een langere voorspelhorizon.
- PVE02.05 Het model is beheersbaar en er is een duidelijk controleerbaar MOps-proces gekozen van bouwen en trainen, valideren, acceptatie, implementatie in productie en vervolgens monitoren en retrainen van het model.

4.3 Technische specificaties gesteld aan het model

- PVE03.01 Op het moment van het maken van een modelverwachting, mogen eventueel alleen geobserveerde reeksen gebruikt worden van langer dan één uur geleden (i.v.m. operationele beschikbaarheid van observaties).

- PVE03.02 Software Stack en Package Management
- De implementatie dient uitgevoerd te worden in Python versie 3.12 of hoger.
 - Voor het beheer van dependencies is het gebruik van pyproject.toml (bij voorkeur met een uv.lock bestand) verplicht. Dit garandeert een deterministische installatie van de runtime omgeving.
- PVE03.03 Reproduceerbaarheid en Determinisme
- Voor alle operaties waarbij willekeur een rol speelt (zoals gewichtsinitialisatie en data shuffling), moet een vaste seed worden gebruikt: random-seed=42.
 - Modellen die bij herhaalde training op dezelfde hardware wezenlijk verschillende resultaten geven, worden uitgesloten. Hierbij wordt een onzekerheidsmarge van 5% gehanteerd.
- PVE03.04 Hardware Constraints (GPU/VRAM)
- Het model moet inferentie kunnen draaien op een enkele GPU met maximaal 16GB videogeheugen (VRAM).
 - Tijdens de inferentie-fase mag het CPU-geheugengebruik de 12GB niet structureel overschrijden om overhead voor data-transfers te minimaliseren.
 - Zuinigheid: inschatting energieverbruik van training + inferentie moet duidelijk zijn gedocumenteerd.
- PVE03.05 Model Card
- Het model moet vergezeld zijn van een "Model Card" (gebaseerd op de Hugging Face standaard).
- PVE03.06 Resultaten moeten worden opgeleverd in NetCDF-formaat (versie 4) conform CF conventies. Variabelen (naast tijd en coördinaten): hm0 (standard_name: sea_surface_wave_significant_height) en he10 (standard_name: sea_surface_swell_wave_significant_height). Eenheid: Meter (m).

4.4 Doelstelling rekentijden van het model

- PVE04.01 Met het te ontwikkelen model beoogt Rijkswaterstaat snel golfparameters (significante golfhoogte en deiningshoogte) te kunnen doorrekenen. Als richtlijn wordt een maximale rekentijd aangehouden van maximaal 1 uur voor het doorrekenen van 51 ensemble members met een tijdstap van één uur en een verwachtingshorizon van 48 uur, voor één locatie.

Bijlage 1 Datasets

De deelnemers mogen uitsluitend gebruik maken van trainings- en validatiegegevens die voor deze prijsvraag beschikbaar worden gesteld.

Trainingsgegevens

De volgende data zal voor de training beschikbaar worden gesteld voor ongeveer 15 losse jaren. Voor de definitieve opdracht volgt een aanvulling voor de andere locaties.

Bodemligging	Statisch; ruimtelijk dekkend o.b.v. SWAN-Noordzee ⁵ en SWAN-Kuststrook ⁶
Wind	Snelheid (U,V) op 10 m hoogte, 0.25° resolutie -12-+9° lon; 48°-64° lat, uurlijkse waarden (ERA5) in NetCDF (per half jaar)
Waterstand	Uurlijkse waarden in NetCDF (per half jaar) o.b.v. D-Hydro; gebied -2.5 - +8.75° lon; 50.5°-57° lat, resolutie 0.025° (x) en 0.0167° (y)
Stroming	X en Y componenten, uurlijkse waarden in NetCDF (per half jaar) o.b.v. D-Hydro; gebied -2.5 - +8.75° lon; 50.5°-57° lat, resolutie 0.025° (x) en 0.0167° (y)
Golfrandvoorwaarden	Golfhoogte, periode, richting, richtingsspreiding op diverse locaties langs modelranden SWAN-Noordzee als zogenaamde TPAR (ascii) files; uurlijkse waarden gebaseerd op ERA5.
Meetreeksen	(uurlijkse waarden) van Hm0, HE10, gemiddelde golfrichting en golfperiode Tm-1,0 op 3 locaties (K13, F3, A12) gedurende de beschouwde 15 losse jaren (voor zover beschikbaar)
Doelvariabelen	(uurlijkse waarden) van gemeten Hm0, HE10 op locatie Europlatform gedurende de beschouwde 15 losse jaren voor zover beschikbaar
SWAN resultaten	(uurlijkse waarden) Hm0, HE10 op locatie Europlatform gedurende de beschouwde 15 losse jaren, eventueel ter aanvulling van de gemeten doelvariabelen

Validatiegegevens

Voor het valideren van het model wordt een validatiedataset achtergehouden die op dezelfde databronnen is gebaseerd als de trainingsdataset.

⁵ <https://iplo.nl/publish/pages/244404/factsheet-noordzee-swan-v2023-v1.pdf>

⁶ <https://iplo.nl/publish/pages/244404/factsheet-kuststrook-swan-v2023-v1.pdf>

Bijlage 2 Foutberekeningen

- Algemene Nauwkeurigheid (RMSE):
 - Omschrijving: De Root Mean Square Error meet de gemiddelde afwijking over de volledige validatieperiode voor zowel Hm0 als HE10.
 - $RMSE_{ALG} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$
 - N= aantal waarnemingen
 - y_i = Geobserveerde waarde (significante golfhoogte of deining)
 - $\hat{y}_i$ = Modelwaarde
 - Doel: Minimaliseren van de standaardafwijking over het gehele jaar.
- Prestatie bij Extremen (Peak Error):
 - Omschrijving: Deze metriek beoordeelt de betrouwbaarheid van het model tijdens de meest kritieke situaties. Hierbij wordt de RMSE uitsluitend berekend over de tijdstappen waar de referentiewaarde (observatie) een grenswaarde ligt van:
 - Hm0: 2 meter (alleen waardes boven deze grens worden meegenomen)
 - HE10: 0,50 meter (alleen waardes boven deze grens worden meegenomen)
 - $RMSE_{peak} = \sqrt{\frac{1}{n_{storm}} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}$, voor alle t waarvoor $y_t > Z$
 - n_{storm} = Aantal tijdstappen boven de grenswaarde Z
 - y_t = Geobserveerde waarde (significante golfhoogte of deining)
 - $\hat{y}_t$ = Modelwaarde
 - Z: Grenswaarde (2 meter voor Hm0, 0,50 meter voor HE10)
 - Doel: Garanderen dat het model niet afvlakt (regressie naar het gemiddelde) tijdens situaties waarvoor de output van het model het belangrijkste is.
- Voorspelkracht (Skill Score):
 - De Skill Score bepaalt hoeveel beter het AI-model presteert vergeleken met de "Klimatologische Persistence" (het seizoensgemiddelde).
 - Definitie Persistence: Het gemiddelde van alle historische SWAN-outputs voor die specifieke maand over de trainingsperiode.
 - $Skill\ score = 1 - \frac{MSE_{model}}{MSE_{persistence}}$
 - MSE_{model} : Mean Squared Error over de volledige dataset
 - $MSE_{persistence}$: Mean Squared Error van de "persistence", waarin persistence de maandgemiddelde waarde (significante golfhoogte of deining) betreft over de gehele dataset.
 - Doel: Aantonen dat het model de actuele wind-golf relatie begrijpt en niet slechts de bekende seizoensgebonden variatie reproduceert. Een score van 1 is perfect; een score van 0 betekent dat het model niet beter is dan een simpel historisch gemiddelde.

Combinatie van scores

Voor de vergelijking tussen modellen worden de performance-indicatoren RMSE, RMSE_peak en Skill score per parameter (Hm0 en HE10) genormaliseerd met een min-max normalisatie over alle deelnemende modellen. Voor RMSE- gebaseerde maten wordt de genormaliseerde score omgekeerd zodat hogere scores altijd een betere modelprestatie vertegenwoordigen. De genormaliseerde scores worden vervolgens gemiddeld over parameters en locaties, en samengevoegd tot één totale modelscore op basis van de vastgestelde wegingsfactoren.

$$X_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

De score voor wordt als volgt gecombineerd over Hm0 en HE10

$$Score_{RMSE_ALG} = \frac{RMSE_{ALG_norm_Hm0} + RMSE_{ALG_norm_HE10}}{2}$$

$$Score_{RMSE_Peak} = \frac{RMSE_{Peak_norm_Hm0} + RMSE_{Peak_norm_HE10}}{2}$$

$$Score_{Skill_score} = \frac{Skill\ score_{norm_Hm0} + skill\ score_{norm_HE10}}{2}$$

De totale modelscore bedraagt dan

$$Modelscore = 0,4 * Score_{RMSE_ALG} + 0,4 * Score_{RMSE_peak} + 0,2 * Score_{Skill\ score}$$