Trendanalyse waterbodemdiepte voor kademuren bij risicolocaties

Memo resultaten analyse

TI25086
13 november 2025



Tijhuis Ingenieurs

Trendanalyse waterbodemdiepte voor kademuren bij risicolocaties

Memo resultaten analyse

Opdrachtgever	Gemeente Amsterdam, Ingenieursbureau
	Weesperstraat 430
	1018 DN Amsterdam
Colofon	Tijhuis Ingenieurs B.V.
	Dampten 24C
	1624 NR Hoorn
Projectnaam	Trendanalyse waterbodemdiepte voor kademuren bij risicolocaties
Onderdeel	Memo resultaten analyse
Projectnummer	TI25086
Versie 01	
Opsteller	Ing. M. Wolff
Vrijgave	Ir. J.M.H. Tijhuis
Datum	13 november 2025
Status	Concept
Archiefcode	TI5086.rp.0101

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	1
2.	Gebruikte gegevens	2
2.1	Multibeammetingen van de waterbodem	2
2.2	Aantal vaarbewegingen	3
2.3	Risicolocaties	3
2.4	Werkzaamheden aan grachten en kades	4
2.5	Gegevens van het waterschap	4
3.	Selectie locaties voor trendanalyse	5
3.1	Beoordeling 72 risicolocaties	5
3.2	Selectie uit relatief diepe locaties	5
3.3	Selectie referentielocaties	6
3.4	Overzicht geselecteerde locaties	6
4.	Trendanalyse diepte waterbodem	8
4.1	Trajectselectie en berekeningsmethode	8
4.2	Resultaten geselecteerde risicolocaties	9
4.3	Resultaten analyse referentielocaties	10
5.	Overige invloedsfactoren	12
5.1	Drukte van het vaarverkeer	12
5.2	Gebruik van op-/afstappers	12
5.3	Aanwezigheid van steiger/meerpalen	13
5.4	Uitgevoerde baggerwerkzaamheden	13
5.5	Breedte van de gracht en doorvaartprofiel	14
5.6	Diepte bij voorgaande peiling	14
5.7	Overzicht invloedsfactoren	15
6.	Conclusies en aanbevelingen	17
6.1	Vergelijking risicolocaties en referentielocaties	17
6.2	Effect overige invloedsfactoren	17
6.3	Monitoring van waterbodem	18

Bijlagen*

Bijlage 1 : Analyse meetgegevens

Tekeningen*

TI25086-RAP-TK-0101	Overzicht vaarbewegingen
TI25086-RAP-TK-0201	Overzicht 72 risicolocaties
TI25086-RAP-TK-0301	Geselecteerde risico en referentielocaties

* De bijlagen en tekeningen zijn apart toegevoegd aan dit pdf-bestand. In de meeste pdf-programma's zijn deze te openen door op het paperclip-symbool te klikken.

1. Inleiding

In 2020 stortte een deel van de kademuur bij de Grimburgwal in Amsterdam in. Deze gebeurtenis onderstreepte de urgentie voor de gemeente Amsterdam om beter inzicht te krijgen in de stabiliteit van haar kademuren. Om risicovolle trajecten te identificeren maakt de gemeente gebruik van de ARK-score (Amsterdamse Risicobeoordeling Kademuren). Eén van de factoren binnen deze score is de diepte van de waterbodem vóór de kademuur, aangezien een grotere diepte de stabiliteit van de kade kan verminderen. De kritische diepte waarbij dit risico toeneemt, is afhankelijk van diverse factoren zoals de constructie en hoogte van de kademuur. Daarom is per kademuur een signaalwaarde vastgesteld, waarmee de actuele diepte voor de kademuur wordt vergeleken.

Aanwezige verdiepingen in de waterbodem zijn mogelijk veroorzaakt door erosie door schroefwater van de scheepvaart. In de analyse is daarom nagegaan of een relatie kan worden gelegd tussen de (verandering van) waterdiepten en scheepvaartbewegingen. Hierbij is gekeken naar het aantal vaarbewegingen per lengtecategorie, keerlocaties, manoeuvreerplekken en op-/afstaplocaties. De gemeente heeft hiervoor 72 risicolocaties en gegevens van vaarbewegingen aangeleverd.

Eind 2024 en begin 2025 is met multibeam-technologie een strook van ruim 7 meter breed langs circa 100 kilometer kademuur ingemeten. Deze gegevens zijn geanalyseerd in het Waterbodem Informatiesysteem (WIT) van Tijhuis Ingenieurs. In dit systeem zijn van de meetgegevens elke 5 meter profielen gegenereerd. Waar beschikbaar zijn ook oudere metingen ingelezen. Het WIT-systeem vergelijkt de diepte van de metingen uit 2024/2025 met de signaalwaarden en analyseert veranderingen in de waterbodem door vergelijking met eerdere peilingen.

Tijhuis Ingenieurs heeft op 11 locaties met dieptemetingen uit meerdere jaren een analyse uitgevoerd van het verloop van de waterdiepte in de eerste 5 meter voor de kademuur. Daarnaast zijn 4 referentielocaties geselecteerd met weinig scheepvaart en zonder andere invloeden op de waterbodem.

Dit rapport presenteert de resultaten van deze analyse. In hoofdstuk 2 worden de gebruikte gegevens besproken. Hoofdstuk 3 beschrijft de onderbouwing van de selectie van de representatieve locaties. In hoofdstuk 4 worden de analysemethode en resultaten toegelicht. Hoofdstuk 5 gaat in op overige factoren die van invloed kunnen zijn op de resultaten. Tot slot bevat hoofdstuk 6 de conclusies.

In de bijlage zijn aanvullende gegevens opgenomen en tekeningen toegevoegd ter ondersteuning van de tekst.

2. Gebruikte gegevens

Voor de trendanalyse van het verloop van de waterdiepte voor de kademuren zijn verschillende gegevens gebruikt. Als basis zijn multibeammetingen gebruikt, waarmee de diepte voor de kademuren vlakdekkend is ingemeten. Verder zijn verschillende gegevens verzameld om te onderzoeken of er een verband is tussen de diepte voor de kademuren en het gebruik van de vaarweg en/of andere factoren.

In dit hoofdstuk worden de volgende gegevens behandeld:
- Multibeammetingen van de waterbodem (2.1);
- Aantal vaarbewegingen (2.2);
- Risicolocaties (2.3);
- Werkzaamheden grachten/kades (2.4);
- Gegevens van het waterschap (2.5).

2.1 Multibeammetingen van de waterbodem

In opdracht van de gemeente Amsterdam heeft Baars-CIPRO/T&A Survey eind 2024 en begin 2025 multibeammetingen uitgevoerd langs ruim 100 kilometer kademuur. Hierbij is een strook van minimaal 7 meter breed langs de kade ingemeten. Door obstakels zoals woonboten of steigers kon niet overal tot direct aan de kademuur worden gemeten.

Ter voorbereiding op de metingen zijn in het WIT-systeem profielen aangemaakt op elke 5 meter. Deze profielen starten bij de kademuur en lopen richting het midden van de gracht. Bij het inlezen van de multibeamdata worden de profielen geprojecteerd op de metingen, waardoor de diepte per profiel inzichtelijk wordt.

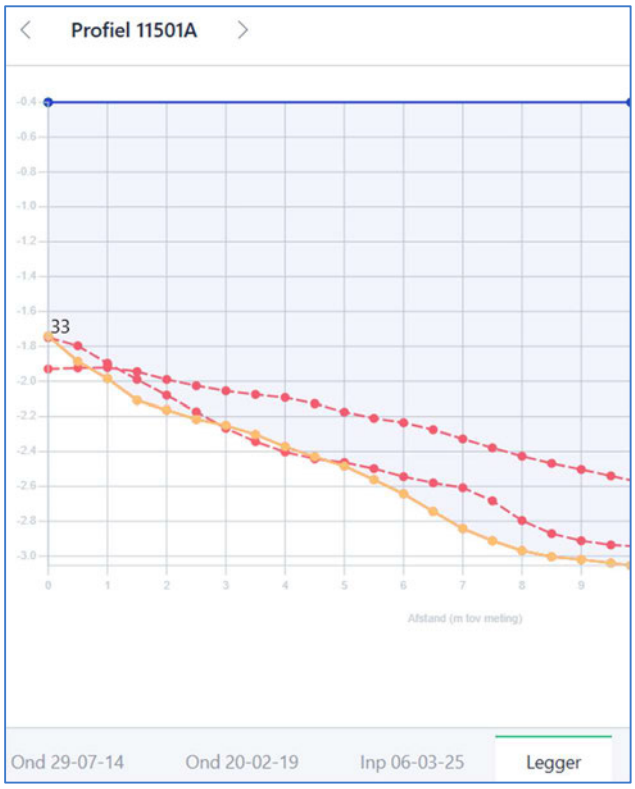


Afbeelding 2.1a: profielen om de 5 meter



Afbeelding 2.1b: dieptes geprojecteerd op een profiel

Ook oudere metingen uit de periode 2014–2023, verkregen via Waternet, zijn in het systeem ingelezen. Indien verschillende metingen op een locatie beschikbaar zijn, zijn deze gezamenlijk weergegeven in het profiel. In afbeelding 2.2 is dit zichtbaar: oudere peilingen (2014 en 2019) zijn rood weergegeven, de nieuwe peiling (2025) in oranje. In dit voorbeeld zijn tussen 2014 en 2019 baggerwerkzaamheden uitgevoerd.



Afbeelding 2.2: profiellocatie met metingen uit 2014 (bovenste rode lijn), 2019 (onderste rode lijn) en 2025 (oranje lijn).

2.2 Aantal vaarbewegingen

Via de gemeente zijn gegevens ontvangen over vaarbewegingen in delen van de binnenstad van de jaren 2023 en 2024. De vaarintensiteit is aangeleverd per traject, bijvoorbeeld tussen twee bruggen of kruisingen van grachten. De gegevens zijn gebaseerd op vignettenlezers die verspreid in de stad zijn geplaatst. Om een verdeling naar vaartuiglengtes te maken, is een steekproef van 10% van de AIS-gegevens geanalyseerd. Zo zijn er percentage verkregen per lengteklasse. De lengteklasse zijn als volgt opgebouwd:

- <10 meter,
- 10-16 meter,
- >16 meter.

De gegevens van 2023 en 2024 zijn gemiddeld, waarna per grachtdeel en per lengteklasse het gemiddelde aantal vaarbewegingen per jaar is berekend. Voor de leesbaarheid zijn deze aantallen omgerekend naar wekelijkse gemiddelden (gedeeld door 52). De resultaten zijn weergegeven in tekening TI25086-RAP-TK-0101. Daarnaast zijn de veelgebruikte routes van rondvaartboten in kaart gebracht.

2.3 Risicolocaties

Naast vaarintensiteit speelt vooral het manoeuvreren van vaartuigen een rol bij mogelijke veranderingen in de waterbodem. Tijdens het manoeuvreren – bijvoorbeeld keren, aanmeren of positioneren – ontstaat stroming door schroefwater. Dit kan leiden tot verdiepingen of ontgrondingen. Hoe dichter deze bewegingen bij de kademuur plaatsvinden, hoe groter het risico op destabilisatie.

De gemeente heeft 72 risicolocaties aangeleverd voor beoordeling van diepte en diepteverloop. De risicolocaties zijn onderverdeeld in:

- Keerlocaties / Manoeuvreerlocaties;
- Op- en afstappers / laad- en losplaatsen;
- Wachtlocaties vrachtverkeer.

De aangeleverde lijst risicolocaties omvat alleen de belangrijkste locaties in de binnenstad. Na het beoordelen van locaties waar de waterbodem relatief diep is, zie paragraaf 3.2, bleek dit vaak nabij een op/afstapper te zijn, die niet in de meegeleverde lijst met 72 risicolocaties waren opgenomen.

2.4 Werkzaamheden aan grachten en kades

Veranderingen in de waterbodem kunnen ook het gevolg zijn van werkzaamheden aan kades of in grachten, zoals baggerwerkzaamheden (zie paragraaf 2.5), renovatie van kademuren of het plaatsen van een damwand voor de kademuur. Om de trendanalyse niet te verstoren, zijn deze locaties zoveel mogelijk uitgesloten.

Informatie over geplande, lopende en afgeronde werkzaamheden is beschikbaar via het online dashboard van de gemeente Amsterdam: Herstel | Dashboard. Daarnaast heeft de gemeente aanvullende gegevens over uitgevoerde werkzaamheden verstrekt.

2.5 Gegevens van het waterschap

Waternet heeft jaartallen aangeleverd waarop baggerwerkzaamheden zijn uitgevoerd in de binnenstad tussen 2014 en 2022. In 2023 en 2024 vonden geen grootschalige baggerwerken plaats in het centrum. Peilingen van vóór de baggerwerkzaamheden zijn buiten de trendanalyse gehouden.

Het leggerprofiel van het waterschap is ingelezen in het WIT-systeem. In de binnenstad is de signaalwaarde doorgaans vastgesteld op -1,90 mNAP. Op locaties met een dieper leggerprofiel is de signaalwaarde hieraan aangepast. Een vervolgstap is het gedetailleerd vaststellen van signaalwaarde per Rak.

Ook is het streefpeil van het waterschap gebruikt bij het inlezen van de profielen. Hierdoor is niet alleen de diepte ten opzichte van NAP bekend, maar ook de waterdiepte ten opzichte van het reguliere waterpeil in de gracht.

3. Selectie locaties voor trendanalyse

Voor het uitvoeren van de trendanalyse van de waterdiepte vóór de kademuren is de volgende selectieprocedure toegepast:

- Beoordeling van geschiktheid 72 risicolocaties aangeleverd door de opdrachtgever (paragraaf 3.1);
- Analyse van 54 locaties met een relatief diepe waterbodem ten opzichte van de signaalwaarde of omliggende profielen (paragraaf 3.2);
- Selectie van referentielocaties met weinig vaarbewegingen of andere invloeden (paragraaf 3.3).

In overleg met de gemeente zijn alle locaties besproken en is gekeken naar eventuele bijzonderheden. Uiteindelijk zijn 11 locaties geselecteerd voor de trendanalyse, verspreid over de binnenstad. Daarnaast zijn 4 referentielocaties gekozen om de resultaten te kunnen vergelijken met locaties waar weinig invloed van scheepvaart wordt verwacht. De definitieve selectie is opgenomen in paragraaf 3.5.

3.1 Beoordeling 72 risicolocaties

De gemeente Amsterdam heeft een lijst van 72 risicolocaties aangeleverd. Deze locaties bevinden zich in de binnenstad en omvatten onder andere:

- Keerlocaties / Manoeuvreerplekken;
- Op- en afstapplaatsen / Laad- en loslocaties;
- Wachtvoorzieningen voor vrachtverkeer.

De 72 risicolocaties zijn weergegeven op tekening TI25086-RAP-TK-0201. Bij beoordeling bleek dat een groot deel van deze locaties niet geschikt is voor een trendanalyse. In tabel 3.1 is de reden hiervoor opgenomen.

Tabel 3.1: redenen om een locatie niet voor de trendanalyse te selecteren.

Reden niet selecteren van locaties	Aantal risicolocaties
Geen twee peilingen beschikbaar voor trendanalyse	36
Twijfels kwaliteit oude peiling (gegevens richting oever geëxtrapoleerd)	11
Werkzaamheden uitgevoerd	13
Dichtbij andere locatie	3
Type oever (bijvoorbeeld basaltstenen-oever ipv kademuur)	2
Geen duidelijke risicolocatie zichtbaar	1

Slechts 6 locaties uit deze lijst zijn uiteindelijk geselecteerd voor de trendanalyse.

3.2 Selectie uit relatief diepe locaties

Naast de beoordeling van de aangeleverde risicolocaties is aanvullend gekeken naar de multibeam-gegevens in het WIT-systeem om extra locaties te identificeren voor de trendanalyse. Per profiel is de gemiddelde diepte over de eerste 5 meter vóór de kade berekend en vergeleken met de signaalwaarde (vaak -1,90 mNAP).

Om afwijkingen te visualiseren is een kleurcodering toegepast:

- Donkerrood: gemiddelde diepte meer dan 1 meter dieper dan de signaalwaarde;
- Donkeroranje: gemiddelde diepte tussen 0,5 en 1 meter dieper dan de signaalwaarde.

Deze visualisatie (zie afbeelding 3.1) heeft geleid tot de identificatie van 54 locaties met een opvallend diepe waterbodem ten opzichte van de signaalwaarde of omliggende profielen. Deze locaties vormen een aanvulling op de eerder aangeleverde 72 risicolocaties. Uit deze groep zijn 5 locaties geselecteerd voor de trendanalyse. Opvallend is dat deze locaties zich allemaal bevinden in de nabijheid van op- en afstap-plaatsen, hoewel ze niet voorkwamen in de oorspronkelijke lijst met risicolocaties.



Legenda: gemiddelde hoogte van de waterbodem van de eerste 5 meter voor de kade tov van signaalwaarde:
Donkerrood: 1m dieper
Oranje: 0,5-1m dieper
Geel: 0-0,5m dieper
Groen 0-0,5m ondieper

Afbeelding 3.1: diepteligging waterbodem langs kade t.o.v. signaalwaarde

3.3 Selectie referentielocaties

Ter vergelijking zijn vier referentielocaties geselecteerd. Deze locaties zijn aangedragen door de opdrachtgever en kenmerken zich door een lage vaarintensiteit en het ontbreken van bijzondere invloeden op de waterbodem. In tabel 3.2 is weergegeven welke locaties zijn overwogen en waarom sommige zijn afgevallen.

Als vergelijking met risicolocatie S08 (op/afstapper en manoeuvreerlocatie) is referentielocatie R01 geselecteerd. Beide gelegen in de Singelgracht op een locatie zonder woonboten.

Tabel 3.2: beoordeelde en geselecteerde referentielocaties

Locatie	Reden voorstel	Selectie	Reden afvallen
Groenburgwal	Weinig bevaren, alleen kleine vaartuigen zonder afmeeroptie	Nee	Geen recente peiling, smaller dan meeste grachten
Beulingsloot	Geen gemotoriseerde boten toegestaan	Nee	Geen peilingen en niet representatief
Passeerdergracht		Nee	Slechts klein deel recente peiling geen oudere peilingen
Spiegelgracht		Ja	
Noorderamstelkanaal		Ja	
Noordergracht		Nee	Geen peilingen
LeMairegracht		Nee	Geen peilingen
Kostverlorenvaart		Ja	Alleen noordelijk deel geschikt
Singelgracht, nabij locatie 55	Als referentielocatie voor locatie 55, wel plek zonder woonboten	Ja	

3.4 Overzicht geselecteerde locaties

Voor de trendanalyse zijn uiteindelijk 11 risicolocaties en 4 referentielocaties geselecteerd. Deze locaties zijn weergegeven op tekening TI25086-RAP-TK-0301. In tabel 3.3 zijn alle geselecteerde locaties met type en ligging opgenomen.

Tabel 3.3: overzicht geselecteerde locaties

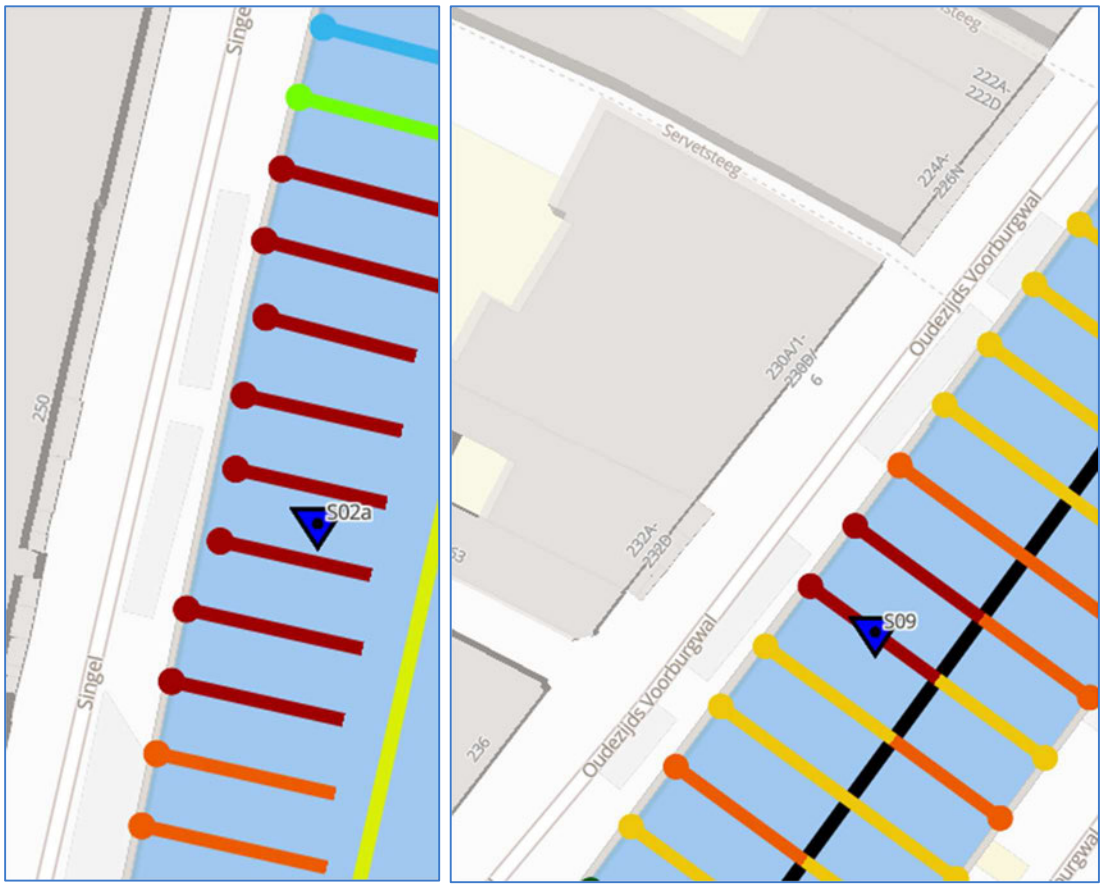
Locatie	Type locatie	Gracht
S01	Keerlocatie	Singel / Brouwersgracht
S02a	Op/afstapper	Singel
S02b	Op/afstapper	Singel
S03	Op/afstapper	Herengracht
S04	Op/afstapper	Herengracht
S05	Keerlocatie	Keizersgracht / Leidsegracht
S06	Op/afstapper	Keizersgracht
S07	Keerlocatie transport	Singelgracht
S08	Keerlocatie en op/afstapper	Singelgracht
S09	Op/afstapper	Oudezijdsvoorburgwal
S10	Keerlocatie/Wachtvoorziening	Nieuwe Herengracht / Entrepotdok
R01	Referentie S08	Singelgracht
R02	Referentie	Spiegelgracht
R03	Referentie	Noorderamstelkanaal
R04	Referentie	Kostverlorenvaart

4. Trendanalyse diepte waterbodem

In dit hoofdstuk zijn de resultaten gepresenteerd van de trendanalyse van de waterdiepte vóór de kademuren op de geselecteerde locaties. Eerst is toegelicht hoe de trajecten zijn gekozen en welke berekeningen zijn uitgevoerd (paragraaf 4.1). Vervolgens worden de resultaten besproken van de risicolocaties (4.2) en van de referentielocaties (4.3).

4.1 Trajectselectie en berekeningsmethode

Voor elke geselecteerde locatie is een traject met een lengte van 30-50 meter geselecteerd voor de trendanalyse. Voor het traject zijn aaneengesloten profielen geselecteerd waarbij de grootste verdieping zichtbaar is in WIT. Bijvoorbeeld bij locatie **S02a** zijn alle donkerrode profielen geselecteerd, in totaal 8 profielen. Bij locatie **S09** is de selectie al lastiger, hier is het traject gekozen vanaf de Servetsteeg tot het zuidelijke oranje profiel ter hoogte van huisnummer 236, eveneens bestaande uit 8 profielen. Van elke traject is de gemiddelde verdieping en de grootste verdieping van de geselecteerde profielen berekend.



Afbeelding 4.1: voorbeeld selectie profielen bij locaties S02a (links) en S09 (rechts)

De profielen zijn op elke 5 meter langs de kade ingetekend. Voor elk profiel is een dwarsdoorsnede gemaakt van de multibeammetingen, waarbij zowel oudere als recente peilingen zijn gebruikt (zie ook paragraaf 2.1). De analyse richt zich uitsluitend op de eerste 5 meter vóór de kademuur, omdat dit gebied het meest relevant is voor stabiliteitsrisico's.

Het verschil in diepte tussen de oude en nieuwe peiling is berekend. Indien verschillende oude peilingen beschikbaar waren, is de meest recente gebruikt. Wanneer een peiling niet volledig tot aan de kademuur reikte, is het verschil alleen berekend voor het deel waar beide peilingen dekking hebben.

4.2 Resultaten geselecteerde risicolocaties

De resultaten van de trendanalyse voor de geselecteerde risicolocaties zijn opgenomen in bijlage 1 en samengevat in tabel 4.1. In deze tabel zijn per locatie de gemiddelde en maximale veranderingen in waterdiepte weergegeven over de eerste 5 meter vóór de kademuur. Per locatie zijn ongeveer 10 profielen meegenomen in de berekening. Daarnaast is de gemiddelde jaarlijkse verandering berekend op basis van het tijdsinterval tussen de peilingen (meestal 5 of 6 jaar).

Naast de resultaten per locatie is ook een uitsplitsing gemaakt naar type risicolocatie. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen:
- Op-/afstaplocaties;
- Keerlocaties, inclusief wachtvoorzieningen.

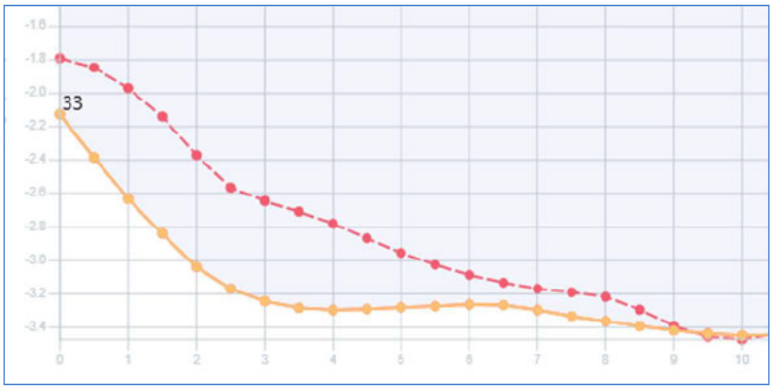
Voor beide categorieën is het gemiddelde berekend, zodat verschillen in verdieping tussen typen locaties inzichtelijk worden.

Tabel 4.1: samenvatting trendanalyse per risicolocatie

Locatie	Type locatie	Gemiddelde verdieping eerste 5m (cm)	Grootste verdieping eerste 5m (cm)	Gemiddelde snelheid verdieping eerste 5m (cm/jaar)	Grootste snelheid verdieping eerste 5m (cm/jaar)
S01	Keerlocatie	36	51	8	10
S02a	Op/afstapper	30	39	6	8
S02b	Op/afstapper	21	33	4	7
S03	Op/afstapper	15	21	2	4
S04	Op/afstapper	10	21	2	4
S05	Keerlocatie	41	53	7	9
S06	Op/afstapper	30	48	6	10
S07*	Keerlocatie transport	24	44	5	9
S08	Keerlocatie en op/afstapper	16	26	3	5
S09	Op/afstapper	14	36	3	7
S10	Keerlocatie/Wachtvoorziening	40	59	6	8
Gemiddelde risicolocaties		25	39	5	7
Minimum risicolocaties		10		2	
Maximum risicolocaties		41		8	
Gemiddelde keerlocaties		31	47	6	8
Gemiddelde op/afstaplocaties		20	33	4	7
** Verdieping vindt verder uit de oever plaats, de verdieping is berekend over het traject van 5-10 meter uit de oever*					

Uit tabel 4.1 kan het volgende worden geconcludeerd:
- De gemiddelde verdieping over de eerste 5 meter bij de geselecteerde risicolocaties bedraagt 25 cm, met uitschieters tot 40 cm. De gemiddelde jaarlijkse verdieping bedraagt 5 cm per jaar;
- Bij keerlocaties is de gemiddelde verdieping groter (31 cm) dan bij op-/afstaplocaties (20 cm).

In afbeelding 4.2 is een voorbeeld van een profiel opgenomen met metingen uit 2019 en 2025.



Afbeelding 4.2: voorbeeldprofiel met verdieping waterbodem (rood: meting 2019, oranje: meting 2025)

4.3 Resultaten analyse referentielocaties

Ter vergelijking van de analyses van het verloop in waterbodem bij risicolocaties zijn ook vier referentielocaties geanalyseerd. Deze locaties bevinden zich op plekken met weinig vaarbewegingen en zonder bijzondere invloeden. De resultaten van de analyse van de referentielocaties zijn opgenomen in tabel 4.2.

Tabel 4.2: resultaten trendanalyse referentielocaties

Locatie	Type locatie	Gemiddelde verdieping eerste 5m (cm)	Grootste verdieping eerste 5m (cm)	Gemiddelde snelheid verdieping eerste 5m (cm/jaar)	Grootste snelheid verdieping eerste 5m (cm/jaar)
R01	Referentie S08	11	19	2	4
R02	Referentie	5	9	1	2
R03	Referentie	2	8	0	2
R04	Referentie	3	8	1	3
Gemiddelde risicolocaties		5	11	1	3

Uit de gegevens van de referentielocaties blijkt dat ook hier een verdieping plaats vindt binnen de eerste 5 meter voor de kademuur. De gemiddelde verdieping van de referentielocaties bedraagt 5 cm. De gemiddelde snelheid van verdiepen is 1 cm per jaar. Deze waarden vallen binnen de meetnauwkeurigheid van bathymetriemeting met een multibeam-systeem. Verder valt op dat de grootste verdieping gemeten is in referentie locatie R01. Dit is de referentielocatie voor de risicolocatie S08 en ligt in een flauwe bocht in de Singelgracht.

Uit tabel 4.2 kan het volgende worden geconcludeerd:
- Ook bij referentielocaties is sprake van verdieping, gemiddeld 5 cm over de eerste 5 meter. De gemiddelde jaarlijkse verdieping bedraagt 1 cm per jaar.
- De grootste verdieping is gemeten bij R01, gelegen in een flauwe bocht van de Singelgracht.

Vergelijking tussen risicolocatie S08 en referentielocatie R01

Uit de trendanalyse van de referentielocaties blijkt, dat de verdieping bij R01 relatief groot is. Locatie R01 is als referentie voor risicolocatie S08 meegenomen. Om beide locaties met elkaar te vergelijken zijn de resultaten van de trendanalyses opgenomen in tabel 4.3. Hieruit blijkt dat het verschil tussen beide locaties minimaal is. Bij S08 is sprake van een verdieping van 16 cm in de eerste vijf meter, terwijl dit bij R01 11 cm bedraagt. Ook de snelheid van verandering verschilt niet veel: gemiddeld 3 cm/jaar bij S08 tegenover 2 cm/jaar bij R01.

Tabel 4.3: vergelijking risicolocatie S08 en referentielocatie R01

Locatie	Type locatie	Gemiddelde verdieping eerste 5m (cm)	Grootste verdieping eerste 5m (cm)	Gemiddelde snelheid verdieping eerste 5m (cm/jaar)	Grootste snelheid verdieping eerste 5m (cm/jaar)
S08	Risicolocatie	16	26	3	5
R01	Referentie	11	19	2	4
Verschil risico- en referentie locatie		5	7	1	1

5. Overige invloedsfactoren

In dit hoofdstuk is nader ingegaan op diverse factoren die mogelijk van invloed zijn op de mate van bodemverandering voor de kademuur. De volgende aspecten zijn behandeld:

- Drukte van het vaarverkeer;
- Gebruik van op/afstappers;
- Aanwezigheid van steiger/meerpalen;
- Uitgevoerde baggerwerkzaamheden;
- Breedte van de gracht;
- Diepte bij voorgaande peiling.

5.1 Drukte van het vaarverkeer

De intensiteit van het vaarverkeer is onderzocht bij de keerlocaties. Bij op- en afstaplocaties speelt vooral het gebruik van de locatie een rol. Tabel 5.1 toont het aantal vaarbewegingen en de bijbehorende bodemveranderingen. In de tabel is het totaal aantal vaarbewegingen en de vaarbewegingen van de grotere boten opgenomen (> 16 meter).

Tabel 5.1: overzicht relatie vaarverkeer en verdieping bodem

Locatie	Type locatie	Totaal aantal vaarbewegingen	Vaarbewegingen boten langer dan 16 meter	Gemiddelde verdieping eerste 5m (cm)	Grootste verdieping eerste 5m (cm)
S01	Keerlocatie	1.921	1.291	36	51
S05	Keerlocatie	2.827	1.677	41	53
S07*	Keerlocatie transport	2.055	1.141	24	44
S08	Keerlocatie en op/afstapper	601	476	16	26
S10	Keerlocatie/Wachtvoorziening	2.546	976	40	59
* *Verdieping vindt verder uit de oever plaats, de verdieping is berekend over het traject van 5-10 meter uit de oever*					

Uit de tabel blijkt dat locatie S08 aanzienlijk minder vaarbewegingen kent dan de overige locaties. Hier is ook minder verdieping waarneembaar. Door de uiteenlopende kenmerken van de locaties is het echter lastig om hieruit een eenduidige conclusie te trekken. Zo fungeert locatie S10 als wachtvoorziening voor groter transport en is S07 een bredere gracht waar ook werkschepen hebben gelegen. Bij S07 vindt de verdieping overigens verder uit de oever plaats.

5.2 Gebruik van op-/afstappers

De gemeente heeft per op- en afstaplocatie aangegeven of deze openbaar is, door één firma wordt gebruikt, en hoe intensief de locatie wordt benut. Tabel 5.2 geeft een overzicht van het gebruik en de bijbehorende verdieping bij de kademuur.

Tabel 5.2 Effect gebruik op- afstapper

Locatie	Type locatie	Gebruik op- afstapper	Gemiddelde verdieping eerste 5m (cm)	Grootste verdieping eerste 5m (cm)
S06	Op/afstapper	Openbaar rustig	30	48
S02a	Op/afstapper	Openbaar gemiddeld	30	39
S02b	Op/afstapper	Openbaar gemiddeld	21	33
S03	Op/afstapper	Openbaar gemiddeld	15	21
S04	Op/afstapper	Openbaar druk	10	21
S09	Op/afstapper	Openbaar druk	14	36

Uit de gegevens blijkt, dat er geen direct verband is tussen de intensiteit van gebruik en de mate van verdieping. Bij drukke locaties is de verdieping relatief gering, terwijl bij de onderzochte rustige locatie juist meer verdieping optreedt.

5.3 Aanwezigheid van steiger/meerpalen

Bij de onderzochte op- en afstaplocaties zijn geen steigers aanwezig. Bij twee keerlocaties (deels ook op-afstapper) zijn wel steigers of meerpalen aanwezig. Deze voorzieningen zorgen ervoor dat boten op grotere afstand van de kademuur manoeuvreren. Tabel 5.3 toont de aanwezigheid van steigers/ meerpalen en de verdieping voor de kades.

Tabel 5.3 Aanwezigheid steiger/meerpalen

Locatie	Type locatie	Aanwezigheid steiger/ meerpalen	Afstand tot kade/oever (m)	Gemiddelde verdieping eerste 5m (cm)	Grootste verdieping eerste 5m (cm)
S01	Keerlocatie			36	51
S05	Keerlocatie			41	53
S07*	Keerlocatie transport	Meerpalen	3,5	24	44
S08	Keerlocatie en op/afstapper	Steiger	3,5	16	26
S10	Keerlocatie/Wachtvoorziening			40	59
* *Verdieping vindt verder uit de oever plaats, de verdieping is berekend over het traject van 5-10 meter uit de oever*					

Uit tabel 5.3 blijkt dat bij de locaties met meerpalen/steigers minder verdieping optreedt.

5.4 Uitgevoerde baggerwerkzaamheden

Waternet heeft het laatste jaar van baggeren per gracht of deel van een gracht opgegeven. Bij de meeste grachten in het centrum was dat 2015 of 2016. De voorlaatste peiling is doorgaans in 2019 uitgevoerd en die wordt vergeleken met de meting uit 2025. In tabel 5.4 is per risicolocatie aangegeven wanneer er is gebaggerd en welke verdiepingen zijn opgetreden.

Tabel 5.4 Laatste jaar van baggeren

Locatie	Type locatie	Laatste jaar van baggeren	Datum referentiepeiling	Gemiddelde verdieping eerste 5m (cm)	Grootste verdieping eerste 5m (cm)
S01	Keerlocatie	2016	2019/2021	36	51
S05	Keerlocatie	2015	2019	41	53
S07*	Keerlocatie transport	-	2019	24	44
S08	Keerlocatie en op/afstapper	-	2019	16	26
S10	Keerlocatie/Wachtvoorziening	-	2018	40	59
S02a	Op/afstapper	2016	2019	30	39
S02b	Op/afstapper	2016	2019	21	33
S06	Op/afstapper	2015	2019	30	48
S03	Op/afstapper	-	2019	15	21
S04	Op/afstapper	-	2019	10	21
S09	Op/afstapper	-	2019	14	36
* *Verdieping vindt verder uit de oever plaats, de verdieping is berekend over het traject van 5-10 meter uit de oever - laatste jaar van baggeren is onbekend en meer dan 10 jaar geleden*					

De gegevens suggereren dat in de jaren na het baggeren (in het midden van de gracht) er meer ontgronding voor de kademuur plaatsvindt.

5.5 Breedte van de gracht en doorvaartprofiel

Er is onderzocht of de breedte van de gracht en het doorvaartprofiel invloed hebben op de mate van verdieping. Voor de binnenstad heeft de gemeente doorvaartprofielen vastgesteld met een profieldiepte en doorvaartprofielbreedte. Per doorvaartprofiel zijn maximale breedte en lengte van de vaartuigen opgegeven. In tabel 5.5 is de code van het doorvaartprofiel en de maximale lengte van het vaartuig opgenomen.

Overzicht doorvaartprofielen: https://www.portofamsterdam.com/sites/default/files/2021-08/doorvaartprofielen_binnenstad.pdf

tabel 5.5 zijn de resultaten van deze analyse opgenomen.

Tabel 5.5 Breedte gracht en doorvaartprofiel

Locatie	Type locatie	Breedte gracht (m)	Doorvaartprofiel en max lengte	Gemiddelde verdieping eerste 5m (cm)	Grootste verdieping eerste 5m (cm)
S05	Keerlocatie	26,5	B, 20m	41	53
S01	Keerlocatie	27,5	B, 20m	36	51
S08	Keerlocatie en op/afstapper	30	B, 20m	16	26
S07*	Keerlocatie transport	33	B, 20m	24	44
S10	Keerlocatie/Wachtvoorziening	42	A2, 67m	40	59
S09	Op/afstapper	19	B, 20m	14	36
S03	Op/afstapper	23,5	B, 20m	15	21
S04	Op/afstapper	24	B, 20m	10	21
S02b	Op/afstapper	27	B, 20m	21	33
S06	Op/afstapper	27,5	B, 20m	30	48
S02a	Op/afstapper	31	B, 20m	30	39
* *Verdieping vindt plaats verder uit de oever, de verdieping is berekend over het traject van 5-10 meter uit de oever*					

Uit tabel 5.5 blijkt dat bij keerlocaties in relatief smalle grachten sprake is van een grotere mate van verdieping. Locatie S10 vormt hierop een uitzondering: hoewel ook hier aanzienlijke verdieping optreedt, betreft het een wachtvoorziening voor grotere transportschepen en wijkt daarmee af van de standaard keerlocaties.

Bij op- en afstappers lijkt de verdieping voor de kade van de op- afstaplocatie juist toe te nemen naarmate de gracht breder is.

Het doorvaartprofiel is bij de onderzochte risicolocaties bijna allemaal hetzelfde, de maximale lengte van het vaartuig is vastgesteld op 20 meter. Behalve locatie S10 dit is onderdeel van de route waar groter vrachtverkeer mag varen tot een lengte van 67 meter. Het is dus niet mogelijk om de invloed van het doorvaartprofiel op de verdieping vast te stellen.

5.6 Diepte bij voorgaande peiling

Er is onderzocht of er een verband is tussen de diepte van de voorgaande peiling en de mate van verdieping door de tijd. Dus verdiepen relatief diepe locaties meer of minder. De gemiddelde diepte van de oude peiling is berekend op basis van de nieuwe peiling min de gemeten verdieping. Tabel 5.6 toont de resultaten.

Bij op- en afstappers lijkt er een verband te zijn: relatief ondiepe locaties vertonen meer verdieping. Bij keerlocaties is dit verband minder duidelijk.

Tabel 5.6 Diepte voorgaande peiling

Locatie	Type locatie	Gemiddelde diepte oude peiling (mNAP)	Gemiddelde verdieping eerste 5m (cm)	Grootste verdieping eerste 5m (cm)
S01	Keerlocatie	-2,9	36	51
S05	Keerlocatie	-2,7	41	53
S08	Keerlocatie en op/afstapper	-2,5	16	26
S10	Keerlocatie/Wachtvoorziening	-1,7	40	59
S07*	Keerlocatie transport		24	44
S02b	Op/afstapper	-2,9	21	33
S04	Op/afstapper	-2,9	10	21
S03	Op/afstapper	-2,7	15	21
S09	Op/afstapper	-2,6	14	36
S02a	Op/afstapper	-2,5	30	39
S06	Op/afstapper	-2,3	30	48

** Verdieping vindt plaats verder uit de oever, de verdieping is berekend over het traject van 5-10 meter uit de oever*

5.7 Overzicht invloedsfactoren

In tabel 5.7 zijn alle besproken invloedsfactoren samengevat.

Tabel 5.7: samenvatting invloedsfactoren verdieping waterbodem

Locatie	Type locatie	Totaal aantal vaarbewegingen	Vaarbewegingen > 16 meter	Gebruik op-afstapper	Steiger/ meerpalen	Laatste jaar van baggeren	Breedte gracht (m)	Gemiddelde diepte oude peiling (mNAP)	gemiddelde verandering eerste 5m (cm)	Grootste verandering eerste 5m (cm)
S01	Keerlocatie	1.921	1.291			2016	27,5	-2,9	36	51
S02a	Op/afstapper			Openbaar gemiddeld		2016	31	-2,5	30	39
S02b	Op/afstapper			Openbaar gemiddeld		2016	27	-2,9	21	33
S03	Op/afstapper			Openbaar gemiddeld		-	23,5	-2,7	15	21
S04	Op/afstapper			Openbaar druk		-	24	-2,9	10	21
S05	Keerlocatie	2.827	1.677			2015	26,5	-2,7	41	53
S06	Op/afstapper			Openbaar rustig		2015	27,5	-2,3	30	48
S07*	Keerlocatie transport	2.055	1.141		Meerpalen	-	33		24	44
S08	Keerlocatie en op/afstapper	601	476		Steiger	-	30	-2,5	16	26
S09	Op/afstapper			Openbaar druk		-	19	-2,6	14	36
S10	Keerlocatie/Wachtvoorziening	2.546	976			-	42	-1,7	40	59

6. Conclusies en aanbevelingen

De conclusie is opgebouwd uit drie onderdelen. Eerst zijn de resultaten van de risicolocaties vergeleken met de referentielocaties. Vervolgens wordt het effect van de verschillende invloedsfactoren besproken. Tot slot wordt een advies gegeven over het monitoren van de waterbodem bij kademuren.

6.1 Vergelijking risicolocaties en referentielocaties

Risicolocaties zijn locaties waar de opdrachtgever risico's verwacht op ontgronding van de waterbodem voor de kademuur, als gevolg van schroefwater. Er zijn grofweg twee typen risicolocaties:

- Op- en afstaplocaties (laad- loslocaties), waar door het aanmeren en wegvaren van boten schroefwater de bodem kan beïnvloeden;
- Keerlocaties, waar boten extra moeten manoeuvreren om bijvoorbeeld bochten te kunnen maken.

Bij te veel ontgronding ontstaat risico op instabiliteit van de kademuur. Ter vergelijking zijn vier referentielocaties geselecteerd, waar weinig scheepvaart plaatsvindt en geen bijzondere functies aanwezig zijn. In tabel 6.1 zijn de resultaten van de analyse van de diepte van de eerste 5 meter voor de kademuur van de risicolocaties en de referentielocaties opgenomen.

Tabel 6.1 Vergelijking risico- versus referentielocaties

Type locatie	Gemiddelde verdieping eerste 5m (cm)	Grootste verdieping eerste 5m (cm)	Gemiddelde snelheid verdieping eerste 5m (cm/jaar)	Grootste snelheid verdieping eerste 5m (cm/jaar)
Risico, totaal	25	39	5	7
Risico, keerlocatie	31	47	6	8
Risico, op/afstapper	20	33	4	7
Referentie	5	11	1	3

Uit de analyse blijkt dat bij alle locaties verdieping is gemeten tussen de voorgaande en de meest recente peiling (2024–2025). De mate van verdieping is bij risicolocaties gemiddeld vijf keer groter dan bij referentielocaties. Binnen de risicolocaties is de verdieping bij keerlocaties het grootst (gemiddeld 31 cm), gevolgd door de op- en afstaplocaties (gemiddeld 20 cm). Bij referentielocaties is de gemiddelde verdieping slechts 5 cm.

6.2 Effect overige invloedsfactoren

In hoofdstuk 5 zijn diverse factoren onderzocht die mogelijk invloed hebben op de verdieping van de waterbodem. Tabel 6.2 geeft per factor aan of er een effect is vastgesteld bij de risicolocaties.

Tabel 6.2 Effect verschillende invloedsfactoren

Factor	Effect op keerlocaties	Effect op-/afstappers	Opmerking
Aantal vaarbewegingen	Ja	n.v.t.	
Aantal vaarbewegingen > 16m	Ja	n.v.t.	Alleen S10 wijkt af en heeft veel verdieping, hier mogen ook grotere schepen varen
Drukte op- afstappers	n.v.t.	Geen effect	
Aanwezigheid steigers/meerpalen	Ja	Geen aanwezig	
Laatste jaar van baggeren	Ja	Ja	
Breedte gracht	Ja, beetje	Ja, beetje	Bij keerlocaties: bij smallere gracht is verdieping groter Bij op-/afstaplocaties: hoe breder hoe meer verdieping
Diepte voorgaande peiling	Ja, beetje	Ja, beetje	

In tabel 6.2 is ingezoomd op de risicolocaties en is bekeken of de overige factoren een rol spelen in de mate van verdieping. Vooral bij keerlocaties zijn de omstandigheden per locatie sterk verschillend, waardoor het effect van individuele factoren niet altijd eenduidig is vast te stellen. Uit de resultaten blijkt dat buiten het gebruik van de locatie als op/afstapper of keerlocaties meerdere factoren invloed hebben op de mate van verdieping van de waterbodem voor de kademuren.

Factoren die invloed hebben op verdieping bij keerlocaties:
- Manoeuvreren van boten;
- Aantal vaarbewegingen (totaal en > 16m);
- Aanwezigheid steiger of meerpalen;
- Laatste jaar van baggeren;
- Breedte van de gracht (in beperkte mate);
- Diepte bij voorgaande peiling (in beperkte mate).

Factoren die invloed hebben op verdieping bij op-/afstaplocaties:
- Aan- en afmeren van boten;
- Laatste jaar van baggeren;
- Breedte van de gracht (in beperkte mate);
- Diepte bij voorgaande peiling (in beperkte mate).

Bij de onderzochte op-/afstaplocaties blijkt de mate van gebruik geen aantoonbare invloed te hebben op de mate van verdieping.

6.3 Monitoring van waterbodem

Zoals in paragraaf 3.1 is omschreven zijn van veel risicolocaties geen twee peilingen beschikbaar, daardoor kan het verloop van de waterdiepte door de tijd niet vastgesteld worden. Van sommige is alleen een recente peiling beschikbaar, van ander alleen een oudere peiling of er zijn zelfs helemaal geen meetgegevens beschikbaar.

In het vervolgtraject worden verschillende adviezen opgesteld voor de monitoring van de waterdiepte voor de kademuren/oevers:
- Algemeen advies voor alle grachten van Amsterdam
  Om de risico's goed in kaart te brengen en houden wordt een monitoringsstrategie bepaald voor het inmeten van alle grachten binnen de gemeente Amsterdam, hierbij wordt per gracht/rak aangegeven hoe vaak een peiling geadviseerd wordt;
- Locaties van trendanalyse, behandeld in deze memo
  Geadviseerd wordt om de risico- en referentielocaties uit deze memo jaarlijks in te meten om zo tot een betere trendanalyse te komen en om eventuele gevolgen van veranderingen in de omgeving mee te kunnen nemen in de analyse;
- Effect beschermingsmaatregelen
  Een aantal locaties zal worden aangewezen om beschermingsmaatregelen toe te passen, zoals bijvoorbeeld het opvullen van diepere plekken met zand. Deze locaties dienen, voor en direct na het toepassen van de beschermingsmaatregel ingemeten te worden. Na het toepassen wordt geadviseerd om voor een periode van 2 jaar die locatie halfjaarlijks te monitoren en daarna jaarlijks.

Tijhuis Ingenieurs B.V.
November 2025

Contact

Vestiging Hoorn
Dampten 24C
1624 NR Hoorn

Vestiging Amersfoort
Softwareweg 4-B
3821 BP Amersfoort

Vestiging Joure
Madame Curieweg 27
8501 XC Joure

T 088 3272 000
E info@tijhuisingenieurs.nl
www.tijhuisingenieurs.nl

Tijhuis Ingenieurs

Duurzaam advies in en om het water