

Mitigatie van N₂O-emissies en verbetering van prestaties en efficiëntie bij een industriële afvalwaterzuivering



Kernpunten van de case

- 3 belangrijkste hotspots van N₂O-productie en de bijbehorende grandoorzaken geïdentificeerd
- Modellen kwamen overeen met de sensordata en de N₂O-metingen in de vloeibare fase
- Koolstoflimitatie geïdentificeerd als dominante grandoorzaak van N₂O
- Verwachte impact: 87% reductie van de N₂O-emissies; 10% besparing op externe koolstof; 10-15% reductie van TN in het effluent

Inleiding en probleemstelling

Het Nederlandse waterbedrijf Evides Industriewater exploiteert meerdere afvalwaterzuiveringsinstallaties in Nederland. Op een van hun industriële afvalwaterzuiveringslocaties (figuur 1) onderzocht het bedrijf de mogelijkheden om de installatie te optimaliseren en tegelijk de broeikasgasemissies te verlagen. Metingen van lachgas (N_2O) tijdens een tijdelijke meetcampagne lieten sterk dynamische procesemissies zien met aanzienlijke pieken. De werkelijke bronnen van N_2O waren moeilijk te achterhalen, omdat meerdere factoren – of een combinatie daarvan – de emissies konden hebben veroorzaakt. Doordat de grandoorzaken onduidelijk waren, was het voor Evides Industriewater moeilijk om mitigatiemaatregelen te bepalen en te rangschikken die zowel de CO_2 -voetafdruk als de prestaties van de installatie ten goede zouden komen.



Figuur 1: Indeling en configuratie van de onderzochte industriële afvalwaterzuiveringsinstallatie. Het afvalwater heeft communale kenmerken, maar is sterk dynamisch en kent een vrij hoge ammoniakbelasting.

Projectdoelen

Het primaire doel van dit project is het identificeren en mitigeren van de grandoorzaken van lachgasemissies (N_2O) in de industriële afvalwaterzuiveringsinstallatie van Evides Industriewater, en tegelijk de algemene prestaties van de installatie te verbeteren.

Kenmerken van de installatie

- Industriële WWTP met communale kenmerken
- Reactortype: conventioneel actiefslibstelsysteem met voordennitrificatie
- Hogere NH_4 -concentratie en minder COD; complexe influentdynamiek
- Onsite N_2O -monitoring in de vloeibare fase uitgevoerd
- EF geschat op 0,16% (0,016 N_2O -N / inkomende NH_4 -N) (hoog/laag)

Oplossing en doelstellingen

Evides Industriewater werkte samen met AM-Team om de grondoorzaken van N₂O te achterhalen en de beste mitigatiestrategieën te bepalen. Zo'n modelgebaseerde beoordeling, gebaseerd op werkelijke plantdata, levert essentiële inzichten op die onmogelijk uit onsite data alleen te halen zijn.

De doelstellingen waren:

- de algemene prestaties van de installatie screenen
- de grondoorzaken van N₂O identificeren
- die grondoorzaken rangschikken naar hun bijdrage
- mitigatiestrategieën virtueel testen die zowel de prestaties van de installatie als de CO₂-voetafdruk ten goede komen
- die strategieën rangschikken op impact en haalbaarheid

"The multitude of strategies tested by the model were impossible to evaluate onsite at the real plant. Based on a scientifically sound methodology, we were able to test and rank mitigation measures and identified the most promising ones to implement."

"De veelheid aan strategieën die met het model zijn getest, was onmogelijk onsite in de echte installatie te evalueren. Op basis van een wetenschappelijk onderbouwde methodologie konden we mitigatiemaatregelen testen en rangschikken, en identificeerden we de meest veelbelovende om te implementeren."

- Ioanna Gkoutzamani, Process Engineer | Evides Industriewater



Aanpak

Voor de 3D- en dynamische beoordeling zijn het 3D CFD-N₂O-model en het dynamische N₂O-model van AM-Team ingezet. Beide modellen hebben een verschillend doel: het 3D-model brengt ruimtelijke patronen en lokale N₂O-hotspots in kaart, terwijl het dynamische model de dynamische respons van de installatie in de tijd laat zien, op basis van de influentdynamiek. Beide modellen zijn gekalibreerd en gevalideerd aan de hand van werkelijke plantdata.

Er zijn 3 types invoerdata gebruikt (een mix van online en offline data):

- beschikbare influentdata (debieten, COD, ammoniak, ...)
- operationele data (bv. luchtdebieten, koolstofdosering, ...)
- ontwerpgegevens van de installatie (dimensionering, indeling)

De simulaties zijn uitgevoerd onder verschillende bedrijfsomstandigheden die de werkelijke situatie weerspiegelen. De 'what-if'-mitigatiescenario's omvatten operationele aanpassingen die verder gaan dan de huidige bedrijfsvoering.

Resultaten en bevindingen

Analyse van de grondoorzaken

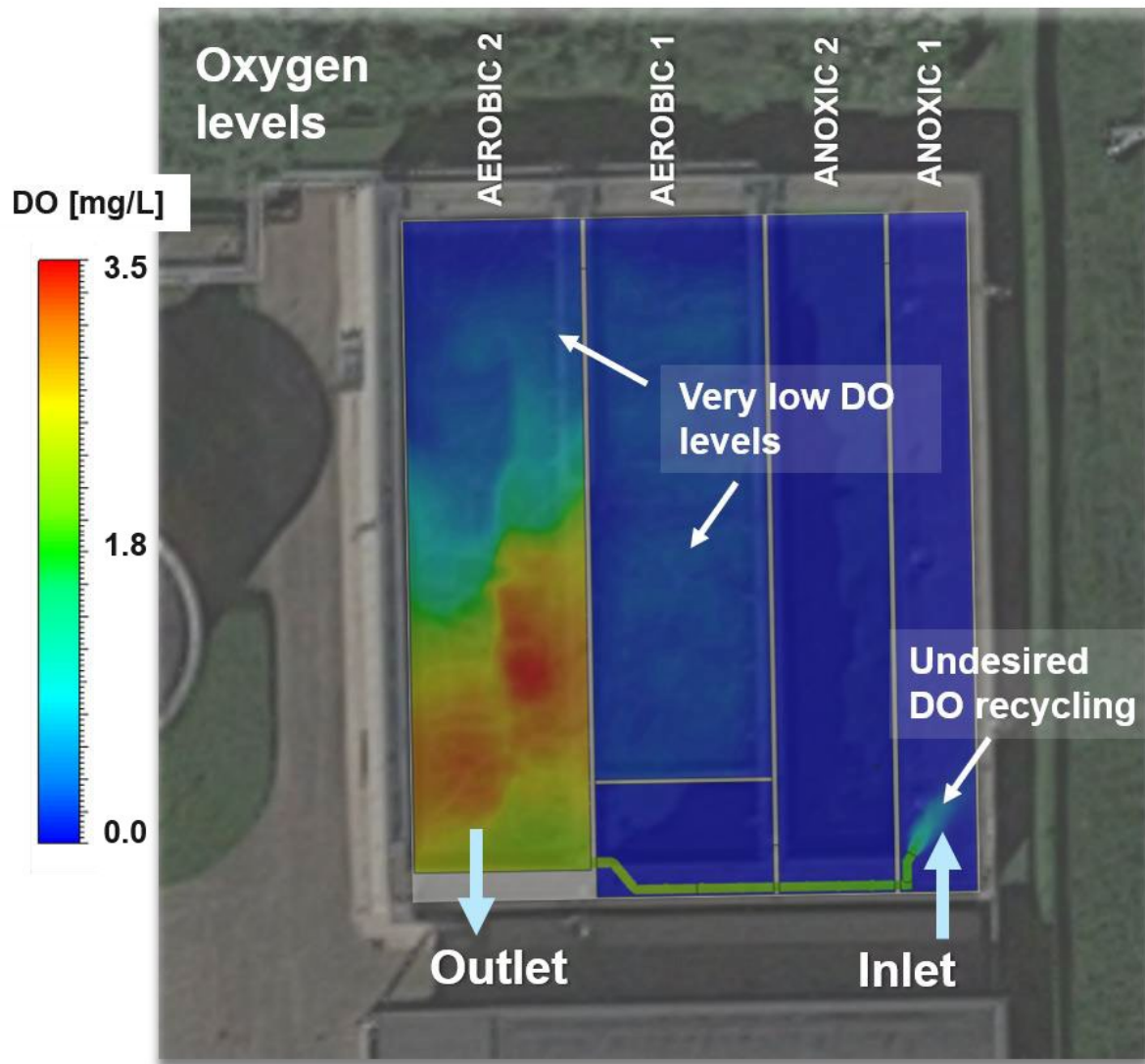
Het 3D-profiel van opgelost zuurstof (DO) in figuur 2 laat zien dat het grootste deel van de aerobe zones een zeer laag DO-gehalte had. Alleen in het tweede deel van aerobe zone 2 begon het DO-niveau op te lopen tot ongeveer 2 mg/L. Lage DO-niveaus stimuleerden de lokale N₂O-productie in de aerobe zones (figuur 2, rechts). Daarnaast veroorzaakte ook de terugvoer van DO naar de anoxische zone daar lokaal een N₂O-hotspot, door de hoge ammoniakconcentraties op die plek. Naast het effect van DO zorgde ook een koolstoflimitatie in anoxische zone 1 voor een N₂O-hotspot. Zo konden 3 belangrijkste grondoorzaken worden geïdentificeerd. Van de grondoorzaak die verband houdt met koolstoflimitatie werd verwacht dat die de dominante route is, met een geschatte relatieve bijdrage van >90%.

"The 3D root cause analysis by our CFD - N₂O model is comparable to an x-ray scan in the hospital: it provides a heat map of hot spots of N₂O production (red) and consumption (blue). These visuals not only provide immediate understanding of what drives the N₂O emissions, but can also be easily understood by everyone."

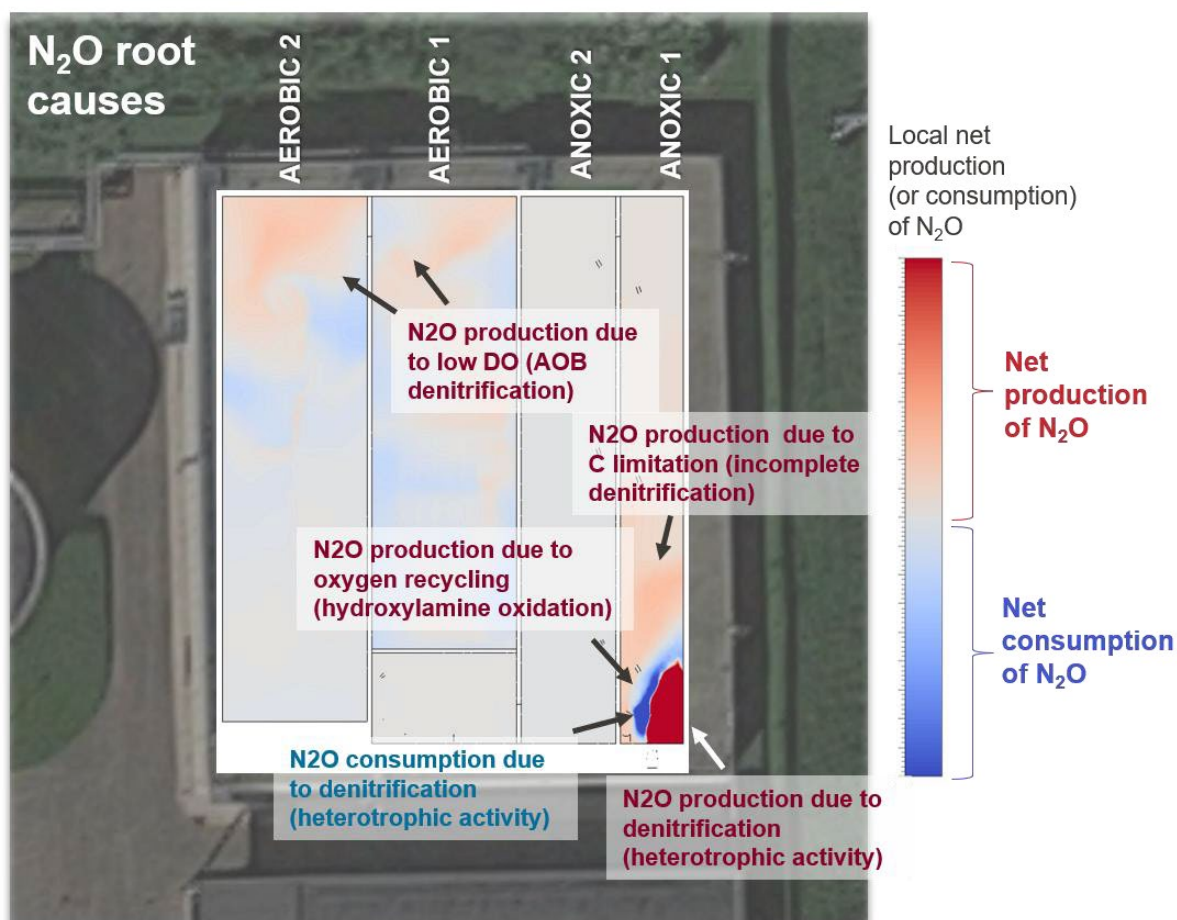
"De 3D-analyse van de grondoorzaken met ons CFD-N₂O-model is vergelijkbaar met een röntgenscan in het ziekenhuis: ze levert een heat map van hotspots van N₂O-productie (rood) en -consumptie (blauw). Die beelden geven niet alleen onmiddellijk inzicht in wat de N₂O-emissies drijft, maar zijn ook voor iedereen makkelijk te begrijpen."

- Dr. Giacomo Bellandi, Technology Lead | AM-Team





Figuur 2(a)

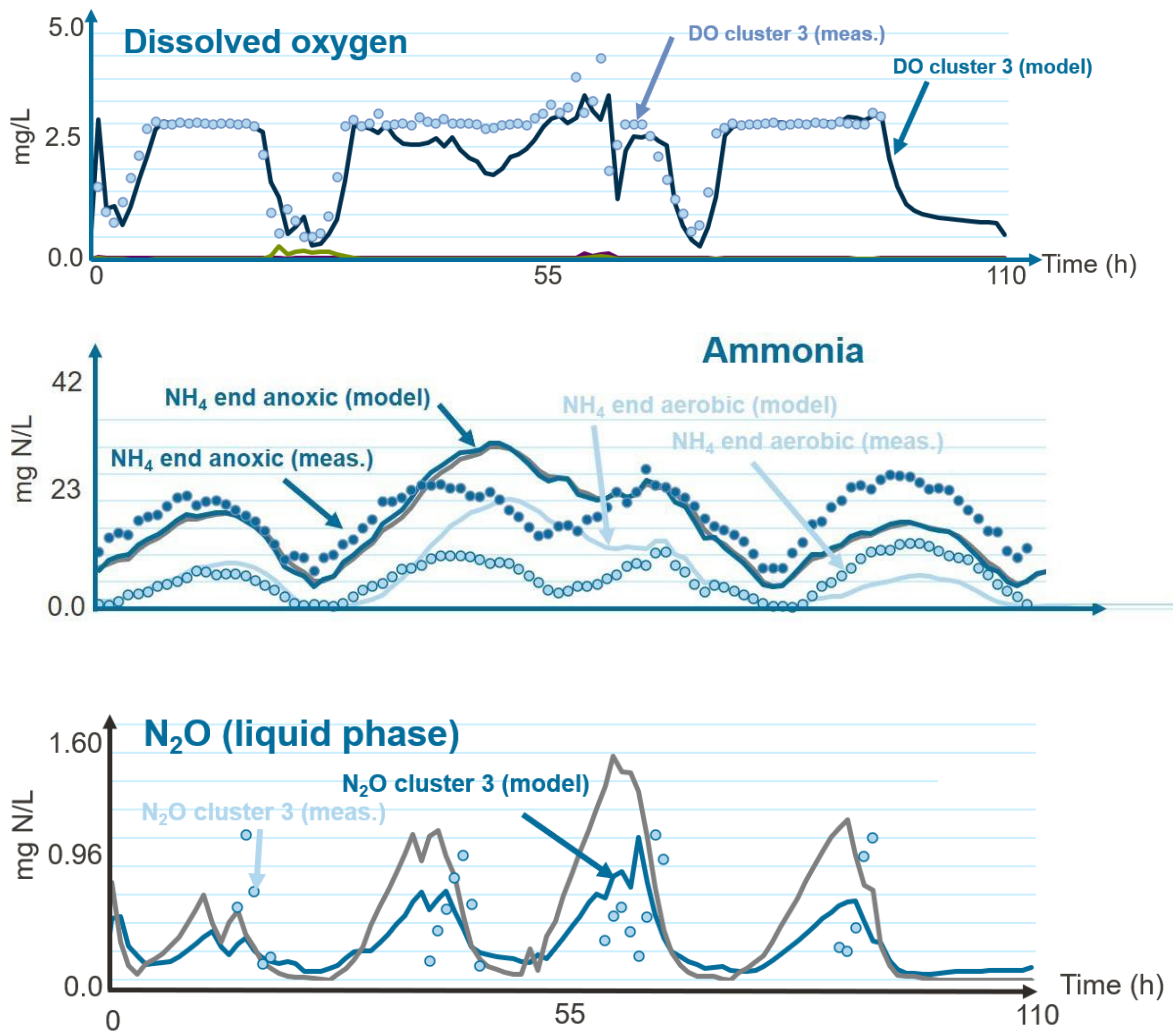


Figuur 2(b)

Figuur 2 (a) & (b): 3D DO-niveaus (links) en lokale productie/consumptie van N_2O (rechts). In verschillende delen van de bioreactor zijn N_2O -hotspots geïdentificeerd.

De tijdelijke N_2O -meetcampagne van Evides Industriewater bracht aanzienlijke dynamiek en pieken aan het licht, met een dynamisch emissieprofiel (figuur 3) met 2 pieken per dag. Het dynamische model, gekalibreerd op basis van de beschikbare onsite plantdata, gaf de DO, de ammoniak en uiteindelijk de N_2O -dynamiek goed weer. Opmerkelijk is dat redelijke fits konden worden verkregen ondanks een vrij beperkte hoeveelheid influent informatie. Aanvullende influent informatie – met name over het koolstof in het influent – zou de nauwkeurigheid van het model verder kunnen verbeteren, maar het model werd voldoende geschikt bevonden om te starten met het virtueel testen van mitigatiestrategieën.

Het dynamische model bevestigde verder dat C-limitatie (die de heterotrofe denitrificatie beperkt) de dominante grondoorzaak van de pieken was, waarna het virtueel testen van mitigatiestrategieën kon beginnen.

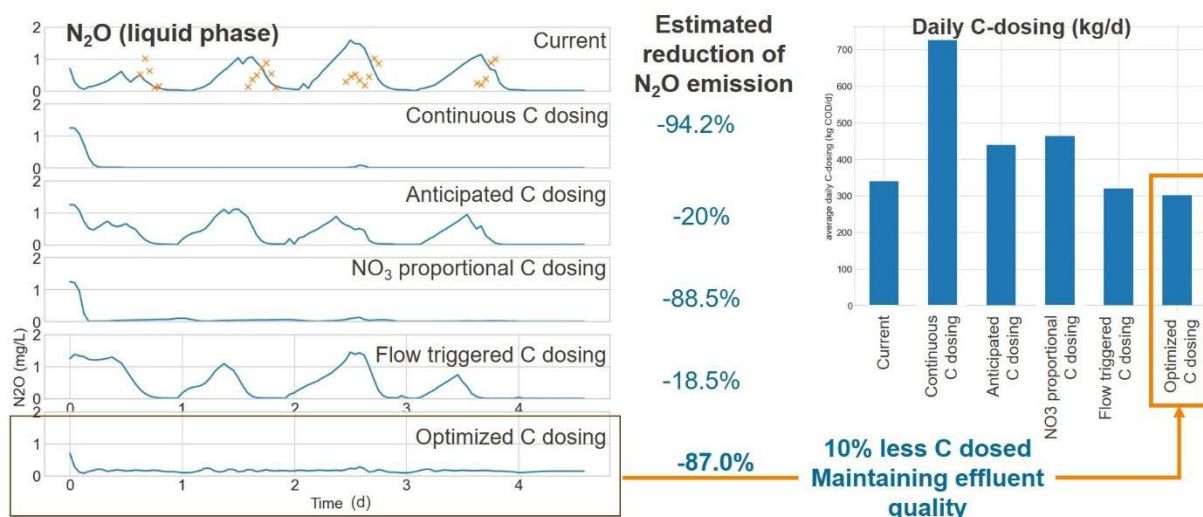


Figuur 3: Dynamische profielen van gemeten (punten) en voorspelde (lijnen) DO-, ammoniak- en N₂O-niveaus in de vloeibare fase. De aanzienlijke N₂O-dynamiek kon door het dynamische model worden weergegeven.

Virtueel testen van mitigatiestrategieën

Omdat het model de grondoorzaken van N₂O kon aanwijzen, is het vervolgens gebruikt om 'what-if'-scenario's door te rekenen met als doel deze emissies te verlagen en de algemene prestaties en efficiëntie van de installatie te verbeteren. Dit 'virtueel testen van mitigatiestrategieën' liet zien dat het aanpassen van de koolstofdosing een kernstrategie voor mitigatie was. De invloed van verschillende aangepaste C-doseringsstrategieën op de N₂O-pieken is duidelijk te zien in figuur 4.

Hoewel C-dosering al een vast onderdeel van de bedrijfsvoering was, zat de sleutel in het aanpassen van de doseringsstrategie qua timing. Volgens de simulatieresultaten kan een 'geoptimaliseerde C-doseringsstrategie' (COD-proportioneel) de emissies met 87% verlagen en de benodigde koolstofdosing met 10%. Daarnaast werd verwacht dat de totale stikstof (TN) in het effluent met 10-15% zou afnemen. Zoals het dynamische N₂O-patroon laat zien, verdwijnen de pieken met deze strategie naar verwachting volledig.



Figuur 4: Reductie van de N₂O-emissies als gevolg van aangepaste C-doseringsstrategieën en het daaruit volgende verbruik van de C-bron. Het gekozen scenario moet de emissies met 87% en het C-verbruik met 10% verlagen

Omdat ook andere grandoorzaken bijdroegen aan de N₂O-emissies (zie figuur 2), zit er extra optimalisatiepotentieel in het verder bijstellen van de beluchtingsregeling, en specifiek in het vermijden van lage DO-niveaus (beluchtingszone 1 en de eerste helft van zone 2) en van DO-terugvoer (einde van zone 2). Van het aanpassen van de C-dosering werd echter de hoogste ROI verwacht op het vlak van 3E-optimalisatie (Emissions, Effluent, Efficiency). De modelresultaten onderbouwden de business case voor de werken op locatie en op het moment van schrijven is Evides Industriewater de nieuwe doseringsstrategie aan het implementeren.

Conclusie en impact

Evides Industriewater kon de grandoorzaken van N₂O precies aanwijzen en er daardoor naar handelen. Er zijn 3 belangrijkste grandoorzaken geïdentificeerd die leiden tot lokale hotspots van N₂O-productie: 1) ongewenste terugvoer van zuurstof van de aerobe naar de anoxische zone, 2) zeer lage DO-niveaus in het grootste deel van de aerobe zones en 3) koolstoflimitatie. De laatste bleek de dominante route van N₂O-productie.

Volgens het virtueel testen van de mitigatiestrategieën moet het optimaliseren van de al bestaande koolstofdosering de N₂O-emissies met 87% verlagen en levert het een extra OpEx-besparing op van 10% op de externe koolstofvraag. Daarnaast wordt verwacht dat de effluentkwaliteit met 10-15% verbetert op het vlak van TN-verwijdering.

Zonder de inzichten uit het model had Evides Industriewater die scenario's niet op locatie kunnen testen; de resultaten zijn gebruikt om de business case voor de werken op locatie te onderbouwen. De implementatie van de mitigatiemaatregelen is momenteel in uitvoering.

Uitgegeven door:

AM-Team BV Sint-Pietersnieuwstraat 11

9000 Gent (BE)

+32 480 64 70 76

info@am-team.com

www.am-team.com

Document number: 2025CC001

Versie: 1

Over AM-Team:

AM-Team levert wereldwijd unieke modellerings- en datadiensten en digital-twinoplossingen om communale en industriële water- en afvalwaterzuiveringsinstallaties slim te ontwerpen, te optimaliseren en te digitaliseren. Het bedrijf heeft gewerkt aan meer dan 150 locaties op 4 continenten. AM-Team werkt direct samen met waterbedrijven en daarnaast met ingenieursbureaus, softwarebedrijven en technologieleveranciers.

Support: Vragen over deze whitepaper kunt u richten aan info@am-team.com of aan uw contactpersoon bij AM Team.

Wijzigingen en fouten voorbehouden. De informatie in dit document kan wijzigen in de loop van de verdere ontwikkeling van de producten/diensten.