

PROGRAMMABUREAU
NZKG
noordzeekanaalgebied



AVOP
OFFSHORE ENERGY
ASSOCIATION
AMSTERDAM | DEN HELDER | IJMUIDEN

ECHT
—regie in transitie—



BRIDGE OF EUROPE IN HET NZKG

Gap analyse naar de blauwdruk voor een
circulariteitshub voor windturbines.

Bridge of Europe: gap analyse

Dit rapport is onderdeel van het initiatief Bridge of Europe, geïnitieerd door Amsterdam IJmuiden Offshore Ports (AYOP) en ECHT Regie in Transitie. Het rapport is opgesteld door ECHT Regie in Transitie in opdracht van provincie Noord-Holland, gemeente Amsterdam, gemeente Velsen, programmabureau Noordzeekanaalgebied en de Port of Amsterdam.

13 mei 2026

Aan dit rapport hebben meegeschreven:

Floris van der Plas

Lisa Vroone

Disclaimer: ECHT is niet verantwoordelijk voor de toepassing of het gebruik van bevindingen, gegevens en analyses in dit rapport. ECHT is niet aansprakelijk jegens ontvangers van deze informatie of derden voor de gevolgen die voortvloeien uit fouten of discrepanties in deze informatie, voor het vertrouwen van ontvangers of derden in dergelijke informatie, of voor enige claim, verlies of schade van welke aard ook die voortvloeit uit of verband houdt met (1) de tekortkoming of ontoereikendheid van deze informatie voor welk doel dan ook, ongeacht of deze bekend is of aan de auteurs is bekendgemaakt, (2) enige fout of discrepantie in deze informatie, (3) het gebruik van deze informatie, of (4) enig verlies van zaken of ander gevolgverlies of -schade, ongeacht of dit voortvloeit uit een van de voorgaande.

Management samenvatting

De komende decennia bereikt een groeiend aantal offshore windturbines het einde van de levensduur. Hierdoor komen grote materiaalstromen vrij, met name staal, maar ook composieten, non-ferro metalen en kritieke grondstoffen. Deze markt ontwikkelt zich snel en vooral vanaf 2045 nemen de materiaalvolumes sterk toe. Dit vertegenwoordigt een substantiële economische waarde, maar alleen regio's die zich tijdig positioneren kunnen hiervan profiteren.

De huidige keten voor de ontmanteling en verwerking van windturbines is versnipperd en projectgedreven. Logistiek is inefficiënt, schaalvoordelen blijven beperkt en materiaalstromen worden niet optimaal benut. De blauwdruk voor een circulariteitshub laat zien dat bundeling van functies zoals ontvangst, opslag, voorbereiding en eindverwerking leidt tot lagere kosten, efficiënter ruimtegebruik en hogere materiaalwaarde. Een circulariteitshub fungeert als een knooppunt waar functies worden gebundeld en aangesloten op bestaande industriële ketens, zodat materiaalstromen efficiënt kunnen worden verwerkt en benut.

Deze gap-analyse laat zien dat het Noordzeekanaalgebied (NZKG) een sterke uitgangspositie heeft om een dergelijke rol te vervullen. De regio beschikt over een goed ontwikkeld logistiek systeem, een sterke industriële basis en een volwassen metaalverwerkingsketen. Met name voor staal, de grootste materiaalstroom uit windturbines, kan het NZKG de keten volledig lokaal invullen. Ook voor ontvangst, logistiek en voorbereiding van andere componenten is de regio goed gepositioneerd.

Tegelijkertijd zijn er duidelijke ontwikkelpunten. Ruimte is schaars en vraagt om een model van snelle doorstroming. Voor composietstromen, met name rotorbladen, ontbreekt nog een volwassen verwerkingsketen, terwijl juist deze stroom ruimtelijk en operationeel de grootste impact heeft. Voor kritieke grondstoffen en delen van de non-ferro keten is aansluiting op Europese verwerkingsroutes logisch.

De analyse leidt tot twee directe prioriteiten voor het NZKG. Ten eerste het ontwikkelen van voorbereiding als kernfunctie van de hub, inclusief demontage, verkleining en scheiding van componenten. Ten tweede het gefaseerd ontwikkelen van ruimte en logistiek, zodat capaciteit kan meegroeien met de toenemende volumes richting 2045 en daarna.

Daarnaast ligt er een duidelijke strategische kans in de composietketen. Omdat in Europa nog geen dominante verwerkingsstructuur bestaat, kan het NZKG zich onderscheiden door zowel voorbereiding als eindverwerking van composieten te ontwikkelen. Dit kan de internationale positie van de regio als circulariteitshub voor windturbines versterken.

Het is belangrijk om de hub breder te positioneren dan alleen voor Nederlandse offshore wind. Door ook in te zetten op onshore windturbines en offshore windparken in het bredere Noordzeegebied ontstaat voldoende continuïteit voor investeringen en opschaling.

De ontwikkeling van een circulariteitshub in het NZKG is daarmee geen vanzelfsprekendheid, maar een gerichte strategische keuze. De markt kan delen van de keten zelfstandig organiseren, maar zonder coördinatie, bundeling van volumes en gerichte ruimtelijke ontwikkeling ontstaat onvoldoende schaal om deze economische kans te verzilveren. Met gerichte keuzes en samenwerking kan het NZKG zich ontwikkelen tot een robuuste en onderscheidende schakel binnen de circulaire windketen in Noordwest-Europa. Dit vraagt naast fysieke ontwikkeling ook om actieve positionering van het NZKG richting nationale en internationale marktpartijen.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	7
1.1	Aanleiding: decommissioning, kosten en circulariteit	7
1.2	Meerwaarde circulariteitshub	7
1.3	Uitgangspositie NZKG	8
1.4	Doel en opzet van deze analyse	8
2.	Analyse ecosysteem	10
2.1.1	Asset owners & operators	10
2.1.2	Offshore decommissioning & marine contractors	11
2.1.3	Transport & heavy logistics providers	11
2.1.4	Haven- en marshallingbedrijven	11
2.1.5	Componenthergebruik specialisten	12
2.1.6	Metaalverwerkers.....	12
2.1.8	Recyclers van kritieke grondstoffen en magneetverwerkers	13
2.1.9	Systeem- en governancepartijen	14
2.2	Overzicht ecosysteem	14
3.	Analyse randvoorwaarden	17
3.1	Torens (staal)	18
3.2	Nacelles (gemengde materialen incl. kritieke grondstoffen)	19
3.3	Rotorbladen (composiet)	20
3.4	Kabels (koper/aluminium).....	23
3.5	Overzicht: beoordeling per component, circulaire strategie en hubfunctie	24
4.	Perspectief voor het NZKG	26
4.1	Belangrijkste ontwikkelpunten	27
4.2	Aanbevelingen en prioriteiten.....	28

An aerial photograph of a wind farm, showing a long row of wind turbines stretching across a green landscape. The image is overlaid with a semi-transparent blue filter. A white outline of a wind turbine nacelle and blades is visible on the right side. A white wavy line is at the bottom. The word "Inleiding" is centered in white text.

Inleiding

1. Inleiding

1.1 Aanleiding: decommissioning, kosten en circulariteit

De komende decennia bereikt een groeiend aantal offshore windturbines het einde van de levensduur. Hierdoor komen grote en diverse materiaalstromen vrij, variërend van staal, koper en aluminium tot composieten en kritieke grondstoffen. De manier waarop deze stromen worden verwerkt, heeft directe impact op kosten, circulariteit en grondstoffengebruik binnen de windsector.

Het initiatief 'Bridge of Europe' bouwt voort op de Routekaart Sustainable Wind van het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG) en een CIRCO-traject waarin stakeholders uit de windsector zijn samengebracht om kansen voor circulariteit te verkennen. Deze lijn is verder uitgewerkt in de nationale blauwdruk voor een circulariteitshub voor windturbines en wordt in deze gap-analyse vertaald naar de specifieke context van het NZKG. Daarbij staat de R-ladder centraal, waarbij wordt ingezet op het zo hoogwaardig mogelijk behouden van waarde via hergebruik, repurposing en hoogwaardige recycling.

Deze ontwikkeling is niet alleen relevant vanuit duurzaamheidsperspectief, maar ook vanuit kosten. Decommissioning vormt een groeiende component in de totale kosten van windparken. Een efficiënter ingerichte keten, met minder transportbewegingen, betere benutting van materialen en meer schaalvoordelen, kan bijdragen aan kostenverlaging over de gehele levenscyclus van windenergie.

1.2 Meerwaarde circulariteitshub

De huidige keten voor de ontmanteling en verwerking van windturbines is sterk projectgedreven en versnipperd georganiseerd. Activiteiten zoals transport, tijdelijke opslag, demontage en verwerking worden per project ingericht en vinden vaak op verschillende locaties plaats. Dit leidt tot extra transportbewegingen, inefficiënt gebruik van ruimte, beperkte schaalvoordelen en het niet optimaal benutten van materiaalwaarde.

Een circulariteitshub voor windturbines is een ruimtelijk en organisatorisch knooppunt waar meerdere schakels uit de keten samenkomen, zoals ontvangst, opslag, sortering en voorbewerking, met aansluiting op hergebruik en recycling. Door deze functies te bundelen kunnen materiaalstromen efficiënter worden georganiseerd, transport en handling worden beperkt en materialen beter worden voorbereid op hoogwaardige toepassingen. De meerwaarde van een hub zit daarmee niet alleen in logistiek, maar vooral in het organiseren van schaal, timing en aansluiting op bestaande industriële verwerkingsketens, wat leidt tot lagere kosten en hogere materiaalwaarde.

1.3 Uitgangspositie NZKG

Het Noordzeekanaalgebied beschikt over een sterke uitgangspositie om een rol te spelen in deze ontwikkeling. De regio combineert een gevestigde positie in offshore wind met een sterke industriële basis, met name in metaalverwerking en schrootstromen, en een goed ontwikkelde logistieke infrastructuur voor grote componenten. Binnen de regio bestaat daarnaast een duidelijke ambitie om het NZKG verder te ontwikkelen als knooppunt voor circulaire industrie, offshore wind en kritieke grondstoffen.

Deze combinatie maakt het NZKG een logische locatie voor het bundelen van activiteiten rond decommissioning en circulaire verwerking. Tegelijk is deze positie niet vanzelfsprekend. De markt kan delen van de keten zelfstandig organiseren, met name waar het gaat om logistiek en bestaande metaalverwerking. De toegevoegde waarde van een hub ligt juist in die schakels waar coördinatie, ruimte en schaal bepalend zijn.

1.4 Doel en opzet van deze analyse

Deze gap-analyse bouwt voort op de eerder ontwikkelde blauwdruk en vertaalt deze naar de specifieke context van het NZKG. Daarbij staan twee vragen centraal: in hoeverre zijn de benodigde schakels in de keten al aanwezig in het ecosysteem van het NZKG en in hoeverre kunnen deze functies ruimtelijk en operationeel worden ingepast.

Door deze analyse ontstaat inzicht in waar het NZKG al sterk is, waar verdere ontwikkeling nodig is en welke keuzes bepalend zijn om de regio stapsgewijs te positioneren richting de grote materiaalstromen na 2045. Daarmee biedt het rapport een concreet handelingsperspectief voor de ontwikkeling van een robuuste en schaalbare rol van het NZKG binnen de circulaire windketen.

A large red pipe is being lifted by a crane on an offshore oil rig. The crane is a lattice boom crane with a red hook and a yellow counterweight. The pipe is a large, vertical, cylindrical object with a red finish and white markings. The rig is a complex of steel structures with various platforms and ladders. The background is a clear blue sky and a calm blue sea. The text "2. Analyse ecosysteem" is overlaid in white on the lower part of the image.

2. Analyse ecosysteem

2. Analyse ecosysteem

Dit hoofdstuk beoordeelt in hoeverre het ecosysteem in het Noordzeekanaalgebied aansluit bij de vereisten voor een circulariteitshub voor windturbines, op basis van de stakeholdergroepen uit de blauwdruk. Centraal staat welke schakels in de keten van decommissioning en circulaire verwerking in het NZKG aanwezig zijn, hoe sterk deze zijn ontwikkeld en waar nog behoefte is aan ontwikkeling.

Voor deze analyse zijn gesprekken gevoerd met onder andere logistieke dienstverleners, haven- en marshallingbedrijven, metaalverwerkers, composietverwerkers en systeem- en governancepartijen. Daarnaast is gebruikgemaakt van inzichten uit het onderzoek voor de blauwdruk voor een circulariteitshub en andere beschikbare documentatie over het regionale industriële cluster en de windsector.

De beoordeling bestaat uit drie onderdelen. Ten eerste wordt vastgesteld of de relevante activiteiten en capaciteiten in het NZKG aanwezig zijn. Ten tweede wordt beoordeeld in hoeverre deze schakel al is ontwikkeld, bijvoorbeeld qua schaal, continuïteit en verankering in de regio. Ten derde wordt bepaald hoe belangrijk deze schakel is voor de ontwikkeling van het NZKG als circulariteitshub.

Per stakeholdergroep volgt op basis hiervan een kort oordeel: sterk aanwezig, opkomend, beperkt aanwezig of nog te ontwikkelen. Ook worden de belangrijkste aandachtspunten benoemd, zoals ontbrekende capaciteit, beperkte opschaling of afhankelijkheid van andere regio's.

2.1.1 Asset owners & operators

Asset owners en operators bepalen in hoge mate hoe en wanneer decommissioning plaatsvindt, en onder welke voorwaarden componenten en materialen worden verwerkt. Zij zijn daarmee essentieel voor volumezekerheid, standaardisatie en ketensturing. Tegelijkertijd zijn deze partijen niet locatiegebonden: zij opereren internationaal en kiezen per project de meest efficiënte en kosteneffectieve oplossing.

In het NZKG zelf zijn veel van deze partijen fysiek aanwezig en de regio heeft een sterke relatie met asset owners. Veel windparken liggen in de nabijheid van de Noord-Hollandse kust en worden vanuit deze regio ontwikkeld, beheerd en onderhouden. Partijen zoals Vattenfall, Eneco, RWE en OEM's zijn actief in de regio en hebben hier operationele aanwezigheid.

Dit betekent dat het NZKG een ankerpunt vormt voor deze schakel en daarbij goed gepositioneerd is om projecten aan te trekken. De interviews benadrukken dat developers vooral sturen op kostenreductie, efficiëntie en voorspelbaarheid. De keuze voor een hublocatie wordt daarmee primair bepaald door logistieke optimalisatie en schaalvoordelen, niet door bestaande vestigingslocaties van asset owners.

Oordeel: aanwezig, niet locatiegebonden maar wel strategisch bereikbaar.

2.1.2 Offshore decommissioning & marine contractors

Offshore contractors zijn verantwoordelijk voor het veilig ontmantelen van turbines op zee en het transport naar land. Deze schakel is essentieel voor de fysieke uitvoering van de keten, maar slechts gedeeltelijk locatiegebonden. Schepen en crews opereren internationaal.

In het NZKG zijn deze partijen niet sterk verankerd in de vorm van hoofdkantoren, maar wel operationeel aanwezig. Schepen doen regelmatig havens in het gebied aan en er is ervaring met zowel installatie als decommissioning activiteiten, zoals het terughalen en verwerken van componenten. Daarnaast vinden ombouw en ondersteuning van offshore operaties deels plaats in de regio.

Oordeel: operationeel aanwezig, beperkt locatiegebonden en sterk projectgedreven.

2.1.3 Transport & heavy logistics providers

Transport- en logistieke partijen vormen de verbindende schakel tussen offshore ontmanteling, havenactiviteiten en verdere verwerking. In tegenstelling tot de vorige groepen is deze schakel wél sterk locatiegebonden: beschikbaarheid van infrastructuur, materieel en ervaring in een regio is bepalend voor de efficiëntie van de keten.

Het NZKG beschikt over een uitgebreid netwerk van logistieke dienstverleners, waaronder heavy lift en projectlogistiek partijen zoals Mammoet en Van der Vlist, aangevuld met een sterke basis in maritieme logistiek en terminaloperaties met ervaring in offshore windprojecten. Uit de interviews blijkt dat logistiek een kernsterkte van het NZKG is: de combinatie van zeevaart, binnenvaart, weg- en railtransport maakt het mogelijk om grote componenten efficiënt te verplaatsen, met infrastructuur die al is ingericht op zware ladingen. Deze schakel is daarmee niet alleen sterk aanwezig, maar ook direct inzetbaar en schaalbaar.

Oordeel: sterk aanwezig en duidelijk locatiegebonden.

2.1.4 Haven- en marshallingbedrijven

Haven- en marshallingbedrijven vormen de fysieke basis van een circulariteitshub, met havenbedrijven zoals Port of Amsterdam (PoA) verantwoordelijk voor infrastructuur en positionering en marshallingbedrijven zoals TMA Logistics voor de operationele handling, opslag en logistieke afhandeling van componenten.

In het NZKG zijn beide functies sterk vertegenwoordigd, met een robuuste combinatie van haveninfrastructuur en operationele terminalcapaciteit. Tegelijkertijd blijkt uit interviews dat deze infrastructuur nog beperkt is ingericht op grootschalige decommissioningstromen: kades en terminals zijn intensief in gebruik en bieden weinig ruimte voor langdurige opslag van grote turbinecomponenten.

Ontwikkelingen zoals de Energiehaven in IJmuiden kunnen deze positie op termijn versterken. Het NZKG positioneert zich daarmee primair als locatie voor ontvangst en snelle doorstroming van componenten, met op dit moment een beperkte rol in grootschalige opslag.

Oordeel: sterk aanwezig en locatiegebonden, met solide operationele capaciteit maar beperkt in opslagruimte en specifieke inrichting voor decommissioning.

2.1.5 Componenthergebruik specialisten

Componenthergebruik richt zich op mechanische en elektrische onderdelen van windturbines, zoals nacelles, generators en gearboxes, en in sommige gevallen op volledige turbines. Voor onshore windturbines is deze markt ontwikkeld, terwijl deze voor offshore turbines nog in een vroege fase zit.

In het NZKG zijn geen partijen gevestigd die zich structureel richten op grootschalig refurbishment of upgradering van componenten. Wel zijn meerdere kernactiviteiten van deze schakel al aanwezig. Partijen zoals TMA Logistics vervullen een rol in ontvangst, logistiek, opslag en demontage van componenten, onder andere in samenwerking met Business in Wind. Deze activiteiten vormen de eerste stappen in de hergebruikketen, waarbij componenten worden verzameld, gedemonteerd en voorbereid voor verdere verwerking.

De daadwerkelijke upgradering en herinzet van componenten vindt plaats bij gespecialiseerde partijen buiten de regio. Daarmee ligt de rol van het NZKG primair in de voorfase van de keten (verzamelen, demontage, logistiek en opslag), terwijl de eindverwerking elders plaatsvindt. Deze rol is al enkele jaren in ontwikkeling en functioneert in de praktijk voor onshore toepassingen.

Oordeel: deels aanwezig, met kernactiviteiten in de voorfase maar zonder lokale capaciteit voor refurbishment en toepassing.

2.1.6 Metaalverwerkers

Metaalverwerking is een van de meest cruciale en volwassen schakels in de keten: circa 80–90% van het totale gewicht van een windturbine bestaat uit staal, gietijzer, aluminium en koper. Dit maakt metaalverwerking de dominante materiaalstroom binnen de decommissioningketen. Deze schakel is sterk locatiegebonden, omdat verwerkingsinstallaties, industriële infrastructuur en nabijheid van afzetmarkten bepalend zijn voor waar verwerking plaatsvindt.

Het NZKG beschikt over een sterk en geïntegreerd ecosysteem met internationale spelers zoals EMR, Koole en Tata Steel, die grote volumes metalen verwerken en gezamenlijk de keten van inzameling, voorbewerking en eindverwerking afdekken. Uit interviews blijkt dat de verwerking van windturbines goed aansluit op deze bestaande activiteiten: staalcomponenten worden gefaseerd aangeleverd, lokaal verkleind (bijvoorbeeld door knippen of branden) en vervolgens geschikt gemaakt voor afzet naar staalproducenten.

De aanwezigheid van Tata Steel in IJmuiden als directe afnemer versterkt deze keten en positioneert het NZKG als een logische locatie voor zowel verwerking als industriële afzet van metalen uit windturbines. Daarmee vervult de regio een centrale rol in het sluiten van de materiaalkringloop voor metalen binnen de keten.

Oordeel: sterk aanwezig, duidelijk locatiegebonden en één van de belangrijkste structurele sterktes van het NZKG.

2.1.7 Composietverwerkers

Composietverwerking richt zich met name op rotorbladen en bestaat uit verschillende strategieën, variërend van hergebruik (repurposing) tot mechanische en thermische recycling.

In het NZKG zijn deze activiteiten momenteel niet aanwezig. Er is geen cluster van partijen dat zich richt op repurposing of grootschalige verwerking van composieten. Dit vormt één van de belangrijkste ontwikkelpunten in het ecosysteem.

Voor de ontwikkeling van een circulariteitshub betekent dit dat er twee richtingen denkbaar zijn. Enerzijds het aantrekken van partijen die composiet lokaal kunnen verwerken, bij voorkeur in een combinatie van repurposing en recycling om maximale waarde te behouden. Anderzijds het organiseren van voorbereiding, waarbij bladen worden verkleind en voorbereid zodat ze efficiënt kunnen worden doorgezet naar gespecialiseerde verwerkingslocaties elders.

Oordeel: nog te ontwikkelen, met grote impact op de mate van circulariteit die lokaal gerealiseerd kan worden.

2.1.8 Recyclers van kritieke grondstoffen en magneetverwerkers

Binnen de kritieke grondstoffen in windturbines wordt onderscheid gemaakt tussen permanente magneten en overige metalen. Permanente magneten bevatten zeldzame aardmetalen zoals neodymium en dysprosium, waarvoor momenteel geen volwassen en schaalbare verwerkingscapaciteit in Nederland of Europa aanwezig is. Verwerking vindt daarom buiten Nederland plaats en is afhankelijk van internationale ketens.

Voor het NZKG ligt de rol in de voorschakel: het demonteren van generatoren, het identificeren en scheiden van magneten en het bundelen van volumes richting externe verwerkers. Voor overige kritieke grondstoffen, zoals koper, aluminium en in mindere mate nikkel en legeringselementen, kan worden aangesloten op bestaande metaalstromen. Deze materialen zijn technisch en economisch goed recyclebaar en vormen daarmee een direct benutbare stroom, mits zij zuiver worden gescheiden. Juist deze scheiding is bepalend voor het behoud van waarde en hoogwaardige toepassing, waardoor hier een duidelijke rol ligt voor het NZKG binnen de keten.

Daarmee vervult het NZKG geen rol in verwerking, maar wel een belangrijke rol in sortering, scheiding en volumebundeling van kritieke materiaalstromen.

Oordeel: afwezig als verwerkingsschakel, maar met een duidelijke rol in scheiding en bundeling van kritieke grondstoffen.

2.1.9 Systeem- en governancepartijen

Systeem- en governancepartijen spelen een rol in het verbinden van stakeholders, het organiseren van samenwerking en het ontwikkelen van een gezamenlijke richting. In het NZKG is deze schakel aanwezig. Partijen zoals Port of Amsterdam, AYOP, het Programmabureau Noordzeekanaalgebied, AMEC, de Metropoolregio Amsterdam (MRA) en lokale overheden zijn actief in het samenbrengen van partijen en het ontwikkelen van initiatieven rond offshore wind en circulariteit.

Gezien de gefragmenteerde en vroege fase van deze markt is deze rol belangrijk om partijen te verbinden, gezamenlijke richting te bepalen en afspraken te maken over volumes, planning en verantwoordelijkheden, zodat opschaling en concrete projecten daadwerkelijk van de grond komen.

Oordeel: aanwezig en relevant, met een belangrijke rol in het organiseren en versnellen van de ontwikkeling van een circulariteitshub.

2.2 Overzicht ecosysteem

Onderstaande tabel geeft een samenvattend overzicht van de aanwezigheid en volwassenheid van de belangrijkste schakels in het ecosysteem van het NZKG, gebaseerd op de analyse in de voorgaande paragrafen.

Het beeld laat zien dat het ecosysteem in de basis breed aanwezig is, met duidelijke sterktes in logistiek, havenactiviteiten en metaalverwerking. Tegelijkertijd zijn er ook schakels die nog beperkt ontwikkeld zijn of ontbreken, met name op het gebied van composietverwerking, hergebruik en kritieke grondstoffen.

Stakeholdergroep	Aanwezig in NZKG	Volwassenheid	Belangrijkste observatie
Asset owners & operators	Ja (niet locatiegebonden)	Gemiddeld	Strategisch goed bereikbaar, maar keuze voor locatie is primair kostengedreven
Offshore decommissioning & marine contractors	Operationeel aanwezig	Gemiddeld	Projectgedreven en beperkt lokaal verankerd
Transport & heavy logistics providers	Ja	Hoog	Eén van de sterkste en meest locatiegebonden schakels
Haven- en marshallingbedrijven	Ja	Hoog	Sterke operationele basis, maar beperkt in ruimte en langdurige opslag
Componenthergebruik specialisten	Deels (voorfase)	Laag tot gemiddeld	Activiteiten in demontage en logistiek aanwezig, maar geen lokale refurbishment
Metaalverwerkers	Ja	Hoog	Belangrijkste structurele sterkte van het NZKG
Composietverwerkers	Nee	Laag	Ontbrekende schakel met grote impact op circulariteit
Recyclers van kritieke grondstoffen en magneetverwerkers	Deels (scheiding/bundeling)	Laag	Geen lokale verwerking, wel rol in voorbereiding en bundeling
Systeem- en governancepartijen	Ja	Gemiddeld tot hoog	Cruciaal voor coördinatie, samenwerking en opschaling



3. Analyse randvoorwaarden

3. Analyse randvoorwaarden

In dit hoofdstuk wordt beoordeeld in hoeverre het Noordzeekanaalgebied de verschillende functies van een circulariteitshub voor windturbines kan vervullen. Daarbij staat niet centraal welke partijen in de regio aanwezig zijn, maar in hoeverre de benodigde activiteiten functioneel en ruimtelijk kunnen worden ingepast.

De analyse is opgebouwd rond de belangrijkste component- en materiaalstromen uit windturbines:

- torens (voornamelijk staal)
- nacelles (gemengde materialen, inclusief kritieke grondstoffen)
- rotorbladen (composiet)
- kabels (koper en aluminium)

Voor elk van deze stromen wordt beoordeeld in hoeverre het NZKG de volgende functies kan faciliteren:

- ontvangst en logistieke afhandeling
- opslag en buffering
- sortering en voorbewerking
- eindverwerking en afzet

Deze indeling volgt de opeenvolgende stappen in de keten, van aanlanding tot uiteindelijke verwerking of doorzet naar een andere locatie.

De beoordeling per onderdeel is gebaseerd op een samenhangende afweging van:

- beschikbare en geschikte ruimte in het haven- en industriegebied
- logistieke inrichting en bereikbaarheid
- mogelijkheden voor industriële verwerking of aansluiting op bestaande ketens
- vergunningen, milieuruimte en ruimtelijke beperkingen
- mogelijkheden voor opschaling en efficiënte doorstroming van materiaalstromen

De uitkomsten worden per component en per functie ingedeeld op een schaal die loopt van niet of nauwelijks realiseerbaar, via situaties waarin alleen met substantiële aanpassingen mogelijkheden ontstaan, naar functies die deels aanwezig en opschaalbaar zijn, tot functies die in de basis goed functioneren of al sterk en schaalbaar aanwezig zijn in het gebied.

De beoordeling is gebaseerd op een combinatie van deskresearch, interviews en expert judgement. Door het ontbreken van gedetailleerde operationele data is de analyse indicatief van aard en gericht op het inzichtelijk maken van sterktes, beperkingen en ontwikkelrichtingen.

3.1 Torens (staal)

Ontvangst en logistieke afhandeling

Torens bestaan uit grote stalen segmenten die na ontmanteling per schip aan land komen. Afhankelijk van de generatie turbine gaat het om torens van circa 70 tot 130 meter hoog. Het aantal segmenten varieert ook per torengeneratie en hebben een minimaal formaat van tussen de 20 en 45 meter lang. De massa ligt daarbij in de orde van grootte van 120 tot 400 ton per toren, oftewel grofweg 40 tot 130 ton per segment. Deze afmetingen vragen om zware kade-infrastructuur en efficiënte overslag direct nabij de verwerkingslocatie.

Uit de interviews komt duidelijk naar voren dat logistiek één van de kernsterktes van het NZKG is. De combinatie van zeevaart, binnenvaart, wegtransport én railtransport maakt het mogelijk om grote componenten efficiënt te verplaatsen. Ook wordt benadrukt dat de infrastructuur al is ingericht op grote en zware ladingen, wat directe toepasbaarheid biedt voor windturbinecomponenten. Deze schakel is daarmee niet alleen aanwezig, maar ook direct inzetbaar en schaalbaar. Ook de ligging van het NZKG ten opzichte van Nederlandse windparken biedt een logistiek voordeel door korte vaartijden en lagere kosten. Tegelijk blijft de keuze voor aanlanding projectgedreven en afhankelijk van concurrentie met andere havens.

Opslag en buffering

Door de omvang van de segmenten is opslag ruimte-intensief. In combinatie met schaarse en relatief dure havenruimte maakt dit langdurige opslag onwenselijk. Voor torens ligt een model met gefaseerde aanvoer en snelle doorstroming daarom voor de hand.

Sortering en voorbereiding

De bepalende stap in de keten is het verkleinen van toreensegmenten tot verwerkbare schrootfracties. Voor afzet in de staalindustrie moeten onderdelen worden teruggebracht tot stukken van 0,5 × 0,5 × 1,5 meter. Dit vraagt om zware snij- en knipinstallaties, voldoende werkruimte en passende vergunningen. Deze functie is in het NZKG aanwezig en het verkleinen van deze grote componenten is technisch goed mogelijk, maar vormt wel de kritische schakel voor het efficiënt verwerken van de stroom. Bij continue aanvoer kunnen de staalstromen uit offshore windparken oplopen van circa 3.000 ton per maand rond 2030 tot ongeveer 10.000 ton per maand richting 2050, afhankelijk van het type turbine en het tempo van ontmanteling. De huidige verwerkingscapaciteit is hiervoor toereikend, maar zal richting 2050 moeten opschalen om deze volumes te kunnen blijven verwerken. Het grote formaat van turbineonderdelen wijkt sterk af van reguliere staalschrootstromen, waardoor goede planning en voorbereiding nodig zijn om deze bewerkingen af te stemmen op de piekaanvoer van staal uit windturbines.

Circulaire eindverwerking

De eindverwerking van staal is een duidelijke sterkte van het NZKG. De regionale verwerkings- en afzetcapaciteit ligt substantieel hoger dan de verwachte staalstromen uit windturbines. In de regio wordt maandelijks in de orde van grootte van 80.000–120.000 ton schroot verwerkt en afgezet, terwijl de bijdrage van staal uit windturbines beperkt blijft tot circa 10.000 ton per maand. Ook aan de vraagzijde is ruime capaciteit aanwezig. Momenteel zit die op circa 750.000 ton per jaar met de mogelijkheid dat deze de komende decennia zal toenemen.

Conclusie

Torens vormen een duidelijke kernstroom voor het NZKG. Alle functies kunnen in de basis worden ingevuld, waarbij de kracht vooral zit in logistiek en eindverwerking. De belangrijkste randvoorwaarde ligt in het efficiënt organiseren van voorbereiding en het beperken van ruimtegebruik door snelle doorstroming.

3.2 Nacelles (gemengde materialen incl. kritieke grondstoffen)

Ontvangst en logistieke afhandeling

Nacelles worden aangevoerd als zware, compacte units met een gewicht van 200–400 ton per stuk. De kern van de nacelle bestaat uit een zogenoemde bedplate (veelal gietijzer of staal), waarop de belangrijkste componenten zijn gemonteerd. Dit betreft onder andere de generator, een gearbox (bij niet-direct drive turbines), remsystemen, koeling en uitgebreide elektrische installaties. De buitenzijde bestaat uit een nacelle cover, die doorgaans is opgebouwd uit composietmaterialen.

In tegenstelling tot torens en bladen zijn nacelles minder volumineus, maar wel technisch complex en zwaar. De logistieke afhandeling sluit goed aan op de bestaande heavy-lift capaciteit en kade-infrastructuur in het NZKG. De uitdaging zit hier niet in het lossen, maar in de vervolgstappen na aanlanding, waarin de complexe samenstelling van componenten bepalend wordt.

Opslag en buffering

De opslagbehoefte is relatief beperkt in ruimte, maar vraagt om zorgvuldige omgang. Een nacelle bevat meerdere waardevolle en gevoelige componenten, zoals generatoren, vermogenslektronica en transformatoren, die niet onbeperkt buiten kunnen worden opgeslagen. Daarnaast bevat de nacelle systemen met oliën en koelmiddelen, wat aanvullende eisen stelt aan opslag en handling.

Na demontage ontstaat een stroom van afzonderlijke componenten met uiteenlopende eigenschappen en opslagbehoeften. Dit vraagt om gefaseerde opslag en logistieke coördinatie. Langdurige opslag is economisch ongunstig; snelle doorstroming en procesintegratie zijn daarom belangrijker dan grootschalige opslagcapaciteit.

Sortering en voorbereiding

De kern van de nacellestroom ligt in demontage en scheiding. Een nacelle bestaat functioneel uit drie hoofdcategorieën:

- een buitenstructuur (nacelle cover) van composiet, mogelijk geschikt voor repurposing en anders voor recycling;
- mechanische en elektrische componenten, zoals generator, gearbox, transformator, kabelsystemen en vermogenslektronica, waarvan een deel herbruikbaar is;

- metaalstromen (gietijzer, staal, koper, aluminium), aangevuld met kleinere hoeveelheden kritieke grondstoffen, met name in permanente magneten in direct-drive generatoren.

In totaal gaat het om een groot aantal componenten met uiteenlopende massa's en materiaalsoorten, die eerst moeten worden gedemonteerd en gescheiden voordat verdere verwerking mogelijk is. Binnen het NZKG is deze voorbereiding in principe mogelijk, maar nog niet grootschalig en gestandaardiseerd georganiseerd.

Circulaire eindverwerking

Na voorbereiding splitst de stroom zich. Metalen zoals gietijzer, staal, koper en aluminium kunnen worden afgezet via bestaande verwerkingsketens in de regio. Voor herbruikbare componenten geldt dat deze afhankelijk zijn van een nog beperkte en projectmatige markt. Voor composietdelen (nacelle cover) en kritieke grondstoffen, zoals magneten met zeldzame aardmetalen in generatoren, ontbreken op dit moment volwassen verwerkingsketens in het NZKG en in veel gevallen ook in Nederland. Deze stromen worden daarom na voorbereiding doorgezet naar gespecialiseerde verwerkers elders.

Conclusie

Het NZKG kan nacelles effectief ontvangen, demonteren en scheiden, en daarmee een belangrijke rol vervullen in de voorbereiding van deze complexe stroom. De aanwezigheid van logistieke capaciteit en aansluiting op metaalverwerking maakt het mogelijk om een groot deel van de materiële waarde te ontsluiten. Tegelijkertijd kan de keten niet volledig lokaal worden gesloten. Voor kritieke grondstoffen, composiet en delen van de elektronische componenten is het NZKG afhankelijk van externe verwerkingscapaciteit. Verdere opschaling richting een meer volledige keten in de regio vraagt om de ontwikkeling en aantrekking van specialistische kennis en verwerkingscapaciteit voor deze complexere materiaalstromen.

3.3 Rotorbladen (composiet)

Ontvangst en logistieke afhandeling

Rotorbladen vormen de meest ruimtelijk bepalende component in de decommissioningketen. Volgens de blauwdruk liggen de lengtes van bladen die vrijkomen rond 2030 op een lengte van 40 meter. Deze lengte neemt rond 2040 toe tot ongeveer 60–70 meter en vanaf 2050 zullen de bladen die vrijkomen rond de 90–100 meter lang zijn. Per turbine komen drie bladen vrij, met een massa van 15–25 ton per blad, afhankelijk van type en generatie.

Het NZKG beschikt over infrastructuur die geschikt is voor het transport van lange componenten over water en land, waardoor ontvangst technisch goed mogelijk is, maar operationeel complex blijft. Een belangrijk aandachtspunt daarbij is de zeesluis bij IJmuiden. Deze kan leiden tot vertragingen in de aan- en afvoer en maakt marshalling buiten de sluis vaak efficiënter. Tegelijk biedt de sluis ook voordelen, zoals het ontbreken van getijverschillen, wat zorgt voor stabielere operaties. De doorvaarbreedte van circa 70 meter vereist echter afstemming in de logistiek.

Bij eerste generatie turbinebladen wordt bij voorkeur gewerkt met sterformatie, maar hiervan moet worden afgeweken wanneer de breedte de 70 meter overschrijdt. Voor nieuwere generaties, waarbij bladen vaak dwarsscheeps worden vervoerd, geldt hetzelfde: bij lengtes boven de 70 meter zijn alternatieve laadconfiguraties nodig, zoals langsscheeps transport. De sluis vormt daarmee een belangrijk aandachtspunt, maar geen fundamentele beperking voor de inzet van het NZKG.

Opslag en buffering

Opslag is de dominante factor in de composietketen. Door hun lengte en vorm zijn rotorbladen moeilijk efficiënt op te slaan: ze vragen grote, aaneengesloten oppervlakken en kunnen slechts beperkt worden gestapeld. Eén windpark kan al tientallen tot honderden bladen genereren, wat direct leidt tot een aanzienlijke ruimtevraag.

De behoefte aan opslag hangt sterk samen met de gekozen verwerkingsroute. Bij repurposing sluiten vraag en aanbod in de tijd niet op elkaar aan: bladen komen vrij in ontmantelingscampagnes, terwijl toepassingen zoals geluidswallen projectgedreven zijn. Just-in-time matching is daardoor nauwelijks haalbaar en tijdelijke opslag is nodig om deze mismatch te overbruggen. In het NZKG vormt dit een duidelijke beperking, omdat havenruimte schaars en kostbaar is. Dit maakt het logisch om opslag (deels) buiten het havengebied te organiseren, bij voorkeur in het achterland. Naarmate bladen richting 2040 en 2050 langer worden, neemt deze ruimtedruk verder toe.

Een alternatief is om bladen direct na aanlanding voor te bewerken en af te voeren voor recycling. Dit beperkt de opslagbehoefte, maar vraagt wel om voldoende capaciteit voor voorbereiding en verwerking. Daarbij moeten verschillende verwerkingsroutes worden overwogen, omdat het tempo van voorbereiding en eindverwerking sterk kan verschillen per methode. In het NZKG betekent dit dat passende verwerkingscapaciteit moet worden aangetrokken en afgestemd op de gekozen route.

Sortering en voorbereiding

Vorbewerking is een cruciale stap in de keten en tegelijkertijd één van de grootste technische en ruimtelijke uitdagingen. Rotorbladen bestaan uit thermohardende composieten (glasvezel en hars, vaak met kernmaterialen zoals balsa of schuim) en kunnen niet eenvoudig als geheel worden verwerkt. Verkleining is noodzakelijk om transport en verdere verwerking mogelijk te maken.

In de praktijk gebeurt dit door zagen, knippen of snijden van bladen tot hanteerbare segmenten. Interviews laten zien dat deze activiteiten idealiter zo dicht mogelijk bij de aanlanding plaatsvinden, om transport van grote volumes te beperken. Tegelijkertijd brengen deze bewerkingen operationele uitdagingen met zich mee, zoals stofvorming, geluid en veiligheid, waardoor vaak overdekte faciliteiten of aanvullende vergunningen nodig zijn.

Naast verkleining vindt in deze fase ook selectie plaats. Delen van bladen die geschikt zijn voor hergebruik worden apart gehouden, terwijl de reststroom wordt voorbereid voor recycling. Dit betekent dat sortering en voorbereiding nauw met elkaar verweven zijn en gezamenlijk bepalen welke waarde uit de stroom kan worden gehaald.

Circulaire eindverwerking

Voor rotorbladen bestaan meerdere verwerkingsroutes, maar geen daarvan is momenteel dominant en volledig opgeschaald.

Mechanische recycling is het meest praktisch toepasbaar: bladen worden vermalen tot secundaire grondstoffen die bijvoorbeeld in bouwmaterialen kunnen worden ingezet. Een verwerkingslijn heeft een capaciteit van 3.000 ton per jaar, wat betekent dat opschaling vooral neerkomt op het parallel opschalen van installaties. Deze route gaat echter gepaard met waardeverlies, omdat de vezelstructuur verloren gaat.

Thermische en chemische technieken bieden perspectief voor hoger waardebehoud, bijvoorbeeld door terugwinning van vezels of productie van secundaire grondstoffen. Deze technieken bevinden zich echter nog in een opschalingsfase en vragen aanzienlijke investeringen, ruimte en energie-infrastructuur.

Repurposing vormt een aanvullende route, waarbij (delen van) bladen direct worden toegepast in nieuwe functies, zoals geluidswallen of andere constructieve toepassingen. Deze route behoudt een groot deel van de materiaaleigenschappen en kan op termijn een substantiële afzetmarkt vormen. De belangrijkste beperking zit echter niet in de potentiële vraag, maar in het synchroniseren van aanbod en toepassing. Interviews laten zien dat de timing van ontmanteling en projecten zelden op elkaar aansluit, waardoor opslag noodzakelijk is om deze mismatch te overbruggen. Repurposing en recycling functioneren daarbij aanvullend: wat niet geschikt is voor hergebruik, stroomt door naar recycling.

Conclusie

Rotorbladen vormen de meest complexe en ruimte-intensieve materiaalstroom binnen de decommissioningketen. Het NZKG is goed gepositioneerd voor ontvangst en logistieke afhandeling, maar de verdere inrichting van de keten wordt bepaald door keuzes in verwerking.

Opslag is daarbij een kritische factor: grootschalige en langdurige opslag in het havengebied is niet wenselijk vanwege ruimtegebruik en kosten, en is alleen logisch wanneer repurposingtoepassingen dit vereisen en hiervoor geschikte locaties beschikbaar zijn, bij voorkeur in het achterland. In de meeste gevallen ligt de voorkeur bij snelle verkleining en doorstroming richting verdere verwerking.

De kernuitdaging ligt daarmee in het organiseren van voorbereiding en logistieke afstemming met eindverwerking. De mate en methode van verkleining hangen direct samen met de gekozen verwerkingsroute en vragen om gerichte investeringen in technologie en vergunningen. Omdat voor eindverwerking nog geen dominante en grootschalige oplossing in de regio aanwezig is, blijft het NZKG voor deze stroom voorlopig afhankelijk van externe capaciteit, of van het gericht ontwikkelen en aantrekken van gespecialiseerde composietverwerking.

3.4 Kabels (koper/aluminium)

Ontvangst en logistieke afhandeling

Kabels vormen een compacte maar materieel waardevolle stroom, bestaande uit intra-array kabels met een gemiddelde massa van 40 kg/m en totale lengtes tot ongeveer 300 km per windpark. In tegenstelling tot turbinecomponenten worden kabels niet als geheel aangeleverd. Ze worden offshore uit de zeebodem verwijderd, aan dek in segmenten van 10–15 meter geknipt en vervolgens in containers naar de haven vervoerd. Kabels worden verwijderd in een aparte campagne en komen dus niet tegelijk binnen met de onderdelen van windturbines.

Opslag

Door de gefragmenteerde aanvoer en hoge massadichtheid is de opslagbehoefte beperkt. Kabelsegmenten worden in containers of als bulk aangevoerd en kunnen efficiënt worden opgeslagen zonder grote ruimtevraag. In tegenstelling tot rotorbladen is grootschalige buffering niet nodig.

Sortering en voorbereiding

De voorbereiding richt zich op het mechanisch scheiden van de verschillende materiaallagen. Kabels bestaan uit een geleidende kern (koper of aluminium), isolatiematerialen en vaak een stalen bewapening. Omdat kabels al offshore zijn verkleind, ligt de nadruk op strippen en scheiden van deze fracties. Deze processen sluiten direct aan op bestaande verwerking van kabelschroot en non-ferrometalen.

Circulaire eindverwerking

Binnen het NZKG kunnen kabels efficiënt worden gescheiden in koper-, aluminium- en restfracties, maar de daadwerkelijke metallurgische verwerking van deze metalen vindt plaats bij gespecialiseerde smelters buiten de regio. Voor de kunststof fracties geldt dat verwerking binnen Nederland en het NZKG goed mogelijk is, onder andere via bestaande afval- en recyclinginfrastructuur. De waarde van deze stroom is echter relatief laag en hoogwaardige recycling is niet altijd haalbaar, waardoor verwerking vaak neerkomt op downcycling of energetische benutting.

Conclusie

Kabels vormen een relatief eenvoudige en goed inpasbare materiaalstroom binnen de decommissioningketen. Het NZKG kan de keten grotendeels faciliteren, met name in ontvangst, logistiek, opslag en mechanische voorbereiding. Ook de verwerking van kunststofreststromen kan binnen de regio worden ingevuld.

Voor de uiteindelijke metallurgische verwerking van koper en aluminium blijft het NZKG echter afhankelijk van gespecialiseerde smelters buiten de regio. Daarmee is dit een robuuste stroom waarin het NZKG een sterke rol kan vervullen in de voorbereiding en ketenorganisatie, maar geen volledig gesloten verwerkingsketen realiseert.

3.5 Overzicht: beoordeling per component, circulaire strategie en hubfunctie

De onderstaande matrix geeft een samenvattend beeld van de functionele geschiktheid van het NZKG per component en per hubfunctie. Per component is onderscheid gemaakt tussen verschillende verwerkingsroutes, zoals hergebruik (re-use/repurpose) en recycling, omdat deze fundamenteel andere eisen stellen aan ruimte, logistiek en industriële capaciteit.

De beoordeling is gebaseerd op deskresearch, interviews en expert judgement en geeft een indicatief beeld van de mate waarin functies momenteel realiseerbaar en opschaalbaar zijn binnen het NZKG.

Component/ materiaal	1) Ontvangst	2) Opslag	3) Sortering & voorbewerking	4) Circulaire eindverwerking
Torens – recycling (staal)	Sterk aanwezig	Aanwezig	Sterk aanwezig	Sterk aanwezig
Nacelles – re-use (componenten)	Sterk aanwezig	Aanwezig	In ontwikkeling	In ontwikkeling
Nacelles – recycling (metalen)	Sterk aanwezig	Aanwezig	In ontwikkeling	Aanwezig
Nacelles – kritieke grondstoffen	Sterk aanwezig	Aanwezig	In ontwikkeling	Te ontwikkelen
Rotorbladen – repurpose (composiet)	Aanwezig	Te ontwikkelen	Te ontwikkelen	Te ontwikkelen
Rotorbladen – recycling (composiet)	Aanwezig	In ontwikkeling	In ontwikkeling	Te ontwikkelen
Kabels – recycling (koper/aluminium)	Sterk aanwezig	Aanwezig	Aanwezig	Aanwezig
Kabels – kunststof reststromen	Sterk aanwezig	Aanwezig	Aanwezig	Aanwezig

An aerial photograph of a large-scale industrial construction project. In the foreground, a blue barge with the name 'Van Oord' is docked at a pier, carrying a massive lattice-structured tower. Several other cranes and construction equipment are visible on the site. The middle ground features several large, rectangular industrial buildings with grey roofs. In the background, a wide body of water is visible, with a large orange ship docked. The horizon shows a line of trees and distant structures under a blue sky with light clouds. A white decorative line runs along the right and bottom edges of the image.

4. Perspectief voor het NZKG

4. Perspectief voor het NZKG

Het Noordzeekanaalgebied beschikt over een sterke uitgangspositie voor het vervullen van een belangrijk deel van de functies van een circulariteitshub voor windturbines. De combinatie van een goed ontwikkeld ecosysteem en gunstige ruimtelijke en logistieke randvoorwaarden maakt dat met name de vroege en industriële schakels in de keten effectief kunnen worden ingevuld.

Een eerste en bepalende sterkte ligt in de logistieke positie van het NZKG. De nabijheid tot offshore windparken in de Noordzee, gecombineerd met een goed ontwikkelde haveninfrastructuur en multimodale bereikbaarheid via zee, binnenvaart, spoor en weg, maakt het gebied zeer geschikt voor de ontvangst en doorvoer van grote turbinecomponenten. Deze logistieke capaciteit is niet alleen aanwezig, maar ook operationeel bewezen in de offshore windsector, waardoor deze direct toepasbaar is op decommissioningstromen.

Daarnaast vormt de aanwezigheid van marshalling- en zware logistieke capaciteit een belangrijke kracht. Het NZKG beschikt over infrastructuur en expertise voor het verwerken van grote componenten, waaronder kades, terminals en gespecialiseerde transport- en hijsvoorzieningen. Dit maakt het mogelijk om componenten zoals torensegmenten en nacelles efficiënt aan land te brengen en verder te distribueren binnen de regio.

Een derde en cruciale sterkte is de bestaande industriële basis, met name op het gebied van metaalverwerking. Staal vormt verreweg de grootste materiaalstroom in windturbines (80–90% van het totale gewicht), en juist voor deze dominante stroom beschikt het NZKG over een volledig functionerende keten van ontvangst, voorbereiding en eindverwerking. De regionale verwerkingscapaciteit ligt daarbij substantieel hoger dan de verwachte volumes uit windturbines, waardoor deze stroom zonder structurele beperkingen kan worden opgenomen.

Dit geeft het NZKG een duidelijk strategisch voordeel: een groot deel van de fysieke en economische waarde van de keten kan lokaal worden verwerkt.

Ook op het gebied van sortering en voorbereiding heeft het NZKG een solide uitgangspositie. Activiteiten zoals verkleinen, demonteren en scheiden sluiten aan op bestaande industriële processen in de regio. Verdere opschaling en standaardisatie zijn nodig, maar de basisfuncties zijn aanwezig en goed inpasbaar binnen het huidige industriële systeem. Dit positioneert het NZKG als een logische locatie voor het concentreren van voorbereidingsactiviteiten, met name voor gemengde en volumineuze stromen.

Tot slot is er sprake van een actief en breed ecosysteem van partijen, variërend van logistieke dienstverleners en industriële verwerkers tot havenbedrijven en systeem- en governancepartijen. De ontwikkeling van offshore wind en circulariteit sluit aan op de bredere transitie naar een duurzame en circulaire industrie in de regio. Hoewel niet alle schakels

volledig ontwikkeld zijn, is de basis voor samenwerking en verdere ketenontwikkeling aanwezig, wat gerichte opschaling en doorontwikkeling mogelijk maakt.

Gezamenlijk maken deze factoren dat het NZKG zich niet primair positioneert als locatie waar alle materiaalstromen volledig lokaal worden verwerkt, maar als een sterke en efficiënte schakel binnen een bredere keten. Met name in ontvangst, logistiek, voorbewerking en metaalverwerking beschikt de regio over duidelijke en structurele voordelen.

4.1 Belangrijkste ontwikkelpunten

Ondanks de sterke uitgangspositie kent het NZKG een aantal ontwikkelpunten die bepalend zijn voor de rol die het gebied kan spelen binnen een circulariteitshub. Deze vragen om gerichte keuzes in de verdere inrichting van de keten.

Het belangrijkste aandachtspunt is ruimte. Het NZKG is een intensief gebruikt haven- en industriegebied, waar beschikbare ruimte schaars en relatief duur is. Dit vormt met name een uitdaging voor opslag en buffering van grote componenten en materiaalstromen. Waar de keten in theorie flexibiliteit vraagt in tijd (aanvoer, opslag, verwerking), vraagt de ruimtelijke realiteit in het NZKG om een model van snelle doorstroming. Dit betekent dat voorbewerking en verdere verwerking zo dicht mogelijk bij de aanlanding georganiseerd moeten worden. Zonder deze koppeling ontstaat direct druk op ruimtegebruik en daarmee op de uitvoerbaarheid van de hub.

Een tweede belangrijk ontwikkelpunt ligt in de composietketen. Voor rotorbladen is op dit moment, niet alleen in het NZKG maar ook breder in Europa, nog geen volledig opgeschaalde en breed toegepaste verwerkingsstructuur beschikbaar. Gezien de omvang en ruimtelijke impact van deze componenten vraagt dit om gerichte ontwikkeling van verwerkingsroutes en ketenorganisatie. Voor het NZKG betekent dit dat keuzes nodig zijn tussen het aantrekken van verwerkingscapaciteit of het organiseren van efficiënte doorzet naar gespecialiseerde locaties elders.

Daarnaast is er sprake van afhankelijkheid van externe verwerkingscapaciteit voor specifieke materiaalstromen. Dit geldt met name voor kritieke grondstoffen, zoals permanente magneten, en voor delen van de hoogwaardige verwerking van non-ferro metalen en complexe componenten uit nacelles. Hoewel het NZKG een duidelijke rol kan vervullen in ontvangst, scheiding en voorbewerking, vindt de verdere opwerking vaak plaats in gespecialiseerde installaties elders in Europa. Dit sluit aan bij een bredere Europese ketenbenadering, waarin verschillende regio's complementaire rollen vervullen in het terugwinnen en verwerken van kritieke grondstoffen.

Een vierde ontwikkelpunt is de verdere ontwikkeling van hergebruik- en repurposingmarkten. Hoogwaardige circulaire strategieën, zoals het hergebruiken van mechanische componenten of het repurposen van windturbinebladen, zijn nog beperkt ontwikkeld en vragen om opschaling. Daarbij speelt dat vraag en aanbod in de tijd niet op elkaar aansluiten: componenten en bladen komen vrij in ontmantelingscampagnes, terwijl toepassingen projectgedreven zijn. Just-in-time

matching blijkt in de praktijk nauwelijks haalbaar, waardoor opslag een belangrijke randvoorwaarde vormt voor het opschalen van repurposing. De ontwikkeling van deze markten is essentieel om de totale circulariteit en economische waarde van de keten te vergroten.

4.2 Aanbevelingen en prioriteiten

De ontwikkeling van een circulariteitshub in het NZKG is geen vanzelfsprekendheid, maar een strategische keuze. De markt kan een groot deel van de keten zelfstandig organiseren, met name op het gebied van logistiek en metaalverwerking. De toegevoegde waarde van een hub zit daarom in het organiseren van die schakels waar coördinatie, ruimte en schaal bepalend zijn. Het NZKG kan zich daarmee onderscheiden, mede doordat de ontwikkeling van een dergelijke hub aansluit bij de ambities van de regio op het gebied van energietransitie en circulaire industrie.

Analyses laten zien dat de materiaalstromen uit windturbines richting 2050 sterk toenemen. Met name vanaf 2045 komt een grote hoeveelheid materialen vrij, wat een substantiële economische waarde vertegenwoordigt. Om hier als regio van te kunnen profiteren, is het nodig om de komende jaren stapsgewijs capaciteit en positie op te bouwen. Zonder deze opbouw vindt verwerking elders plaats en wordt deze economische kans gemist.

De eerste prioriteit is het ontwikkelen van voorbereiding als kernfunctie van de hub. Voor vrijwel alle materiaalstromen is lokale voorbereiding noodzakelijk, met name voor grote en complexe componenten zoals nacelles en rotorbladen. Dit vraagt om gerichte investeringen in demontage, verkleining en scheiding, en om duidelijke keuzes in vergunningen en locaties. Zonder deze stap kunnen materiaalstromen niet efficiënt worden verwerkt of doorgezet.

De tweede prioriteit ligt in het gefaseerd ontwikkelen van ruimte en logistiek. Op de korte termijn is de ruimtevraag nog te overzien. Richting 2045 en daarna nemen volumes en afmetingen sterk toe. Functies en locaties voor voorbereiding en tijdelijke buffering moeten daarom geleidelijk worden ontwikkeld, zodat capaciteit kan meegroeien met de markt. Met name voor rotorbladen is het belangrijk dat ruimte en logistiek tijdig worden ingericht om pieken in aanvoer op te vangen.

Voor composietstromen is er in geen van de Noordzeelanden op dit moment een volwassen en grootschalig opgeschaalde verwerkingsketen. Dit biedt een duidelijke kans voor het NZKG om zich verder te onderscheiden. Door in te zetten op schaalbare capaciteit voor zowel voorbereiding als circulaire eindverwerking van composieten kan de regio een unieke positie innemen. Een directe koppeling tussen deze stappen vergroot de mogelijkheid om waarde lokaal te behouden en versterkt de propositie van het NZKG als internationaal erkende hub voor windturbines.

Voor non-ferro metalen en kritieke grondstoffen ligt dit anders. Voor non-ferro metalen bestaat al een goed ontwikkelde en internationaal georganiseerde verwerkingsketen, waardoor het logisch is om aan te sluiten bij bestaande verwerkingsroutes in Europa. Voor kritieke

grondstoffen geldt dat verwerkings- en hergebruikketens nog in ontwikkeling zijn. Het is daarom belangrijk om deze ontwikkelingen actief te volgen en hierop aan te sluiten zodra deze verder opschalen. Het NZKG kan hierin een sterke rol vervullen in ontvangst, scheiding en voorbereiding, waarna verdere verwerking plaatsvindt binnen deze bredere keten.

Voor de lange termijn is continuïteit in aanvoer essentieel voor het functioneren en de verdere ontwikkeling van de hub. De Nederlandse offshore markt alleen biedt hiervoor onvoldoende en fluctuerende volumes. Om een stabiele en schaalbare keten te realiseren, is het daarom nodig om ook in te zetten op onshore windturbines in Nederland en offshore windparken in het bredere Noordzeegebied.

Naast fysieke ontwikkeling is ook actieve positionering van het NZKG belangrijk. Om op lange termijn voldoende volumes aan te trekken, moet de regio zich nationaal en internationaal profileren als logische locatie voor ontvangst, voorbereiding en circulaire verwerking van windturbines. Duidelijke ambities, zichtbare samenwerking en consistent beleid helpen om marktpartijen vroegtijdig aan het NZKG te verbinden en investeringen richting de regio te trekken.

De rol van de overheid ligt in het faciliteren van samenwerking en het creëren van de juiste randvoorwaarden. Dit betekent onder andere het ondersteunen van ketensamenwerking, het verminderen van risico's en het mogelijk maken van gezamenlijke investeringen. Daarnaast is het belangrijk dat belemmerende factoren voor de ontwikkeling van nieuwe verwerkingscapaciteit, zoals vergunningverlening en netcongestie, worden beperkt. Ook operationele knelpunten in de logistiek, zoals de organisatie van efficiënte doorvoer via de zeesluis, vragen aandacht om de keten soepel te laten functioneren.

Samengevat vraagt de ontwikkeling van een circulariteitshub in het NZKG om gerichte keuzes in voorbereiding, ruimte en ketenorganisatie. Door deze functies stapsgewijs op te bouwen en te combineren met een bredere positionering richting onshore en Noordzeemarkten, kan de regio doorgroeien naar een robuuste en schaalbare schakel in de circulaire windketen. Daarmee wordt niet alleen ingespeeld op toekomstige materiaalstromen, maar ook op de economische kansen die hiermee samenhangen.