

ROADMAP MATERIALEN VOOR BATTERIJTECHNOLOGIE

Materiaalinnovatie voor duurzame, circulaire en toekomstbestendige batterijtechnologie

2026 EDITIE

vito MATERINEX

ROADMAP MATERIALEN VOOR BATTERIJTECHNOLGIE

MateriNex

Roderveldlaan 5
2600 BERCHEM
België
info@materinex.be – www.materinex.be

Disclaimer: De foto's en figuren in dit document werden gegenereerd met behulp van artificiële intelligentie (AI).

SAMENVATTING

Een gedeeld strategisch kader voor materiaalinnovatie in batterijtechnologie

Deze roadmap biedt een gedeeld strategisch kader voor materiaalinnovatie in batterijtechnologie. Ze verbindt vier hoofdblokken: toepassingsdomeinen, toepassingsvereisten, materiaalinnovatie en industrialisatie. De behoeften van elektrische mobiliteit, stationaire energieopslag en industriële, off-road-, robotica-, defensie- en andere onderbouwde toepassingen bepalen welke afwegingen nodig zijn tussen energie, vermogen, levensduur, veiligheid, betrouwbaarheid, kostprijs, circulariteit, grondstoffengebruik en maakbaarheid. Er is geen universeel optimale batterijtechnologie; de roadmap legt daarom geen voorkeurschemie of vaste numerieke doelen op.

Materiaalinnovatie vormt het inhoudelijke hart, met zes samenhangende domeinen: kathodematerialen, anodematerialen, elektrolyten, grensvlakken en overgangslagen, functionele batterijmaterialen, en opkomende en niet-lithium chemieën. Hun bijdrage moet worden beoordeeld in samenhang met andere componenten, celontwerp en productieprocessen. Industrialisatie vraagt vanaf de materiaalontwikkeling aandacht voor reproduceerbare synthese, elektrode- en celprocessen, kwaliteitscontrole, opbrengst, productiesnelheid en opschaling. Goede laboratoriumresultaten bewijzen immers nog geen industriële inzetbaarheid.

Horizontale versnellers ondersteunen de volledige ontwikkelingsroute: digitalisering, AI en data; karakterisering en kennisinfrastructuur; circulariteit, strategische en kritieke grondstoffen en traceerbaarheid; en veiligheid, duurzaamheid, normen en regelgeving. Ze helpen keuzes te onderbouwen en resultaten onder relevante gebruiks- en productieomstandigheden te valideren. De route naar waardecreatie is niet strikt lineair: inzichten uit celtesten, productie, gebruik en recyclage kunnen materiaalkeuzes en toepassingsvereisten bijsturen. Economische, maatschappelijke en strategische impact vraagt telkens aanvullende voorwaarden en bewijs en volgt niet automatisch uit betere materiaalprestaties of succesvolle opschaling.

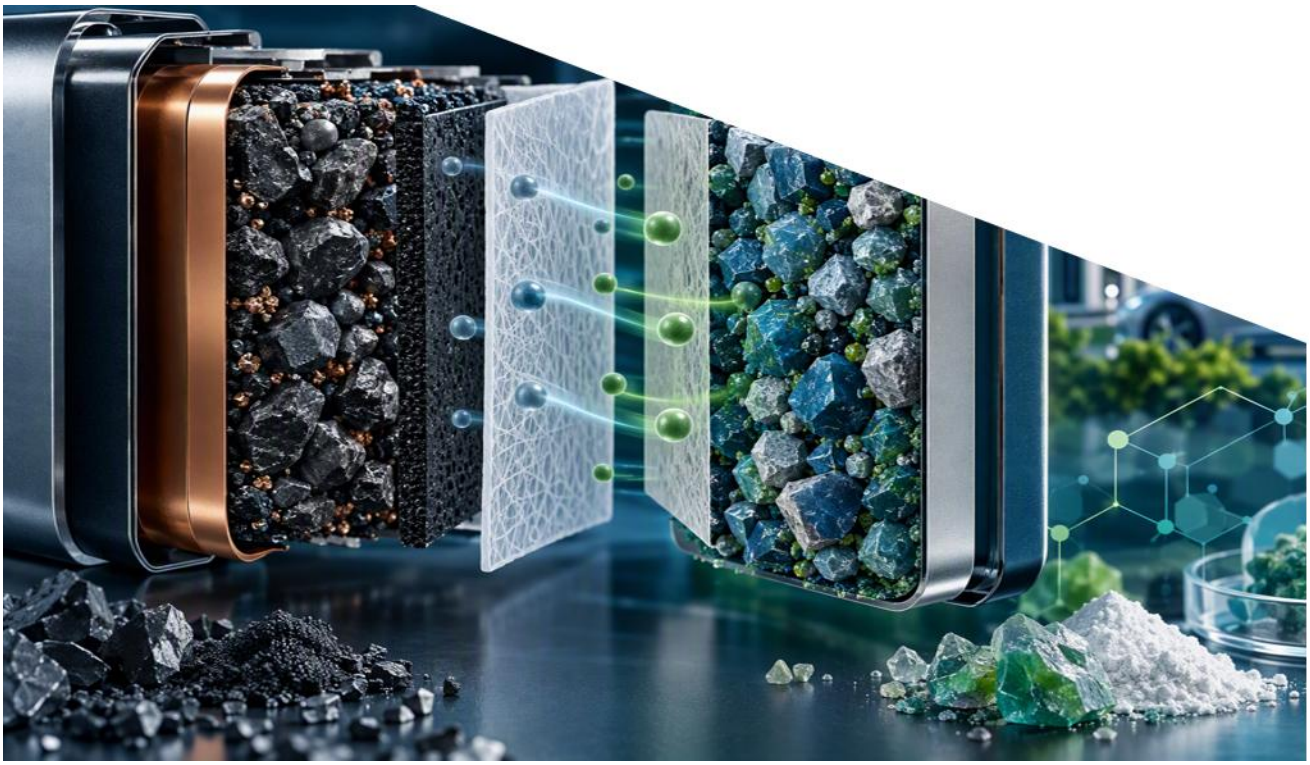
Voor Vlaanderen ligt de meerwaarde in het verbinden van complementaire kennis, test- en pilootinfrastructuur, productiecapaciteiten en recyclage-expertise. Europese samenwerking biedt toegang tot aanvullende expertise, materiaalstromen en industriële partners. Strategische autonomie betekent daarbij niet dat elke schakel lokaal aanwezig moet zijn, maar dat kritieke afhankelijkheden zichtbaar zijn en toegang tot kennis, infrastructuur, alternatieven en betrouwbare partners wordt versterkt.

MateriNex gebruikt de roadmap als gemeenschappelijke taal voor strategische dialoog, partnerschapsvorming, projectpositionering en portfoliocoherentie. De eigen onderzoeksopdracht richt zich op kennisintensief materiaalonderzoek op lage technologiematuriteit, met hoge technische of wetenschappelijke risico's en een langere ontwikkelingshorizon. De roadmap zelf is instrument-neutraal: ze ondersteunt de inhoudelijke beoordeling van projectideeën, maar vervangt geen wetenschappelijke, technische, economische, juridische of financieringsbeoordeling. Periodieke consultatie via de Common Interest Group houdt het kader verbonden met veranderende technologie, regelgeving en marktbehoeften.

INHOUDSTAFEL

1 Waarom deze roadmap? 7
1.1 Batterijen als strategische technologie 7
1.2 Waarom materialen prestaties en waarde bepalen 7
1.3 Belang voor Vlaanderen 8
2 Hoe deze roadmap gebruiken? 9
2.1 Strategisch richting geven 9
2.2 Een gemeenschappelijke taal en ecosysteemafstemming creëren 9
2.3 De fit van nieuwe projectideeën beoordelen 10
2.4 Portfoliocoherentie bewaken 10
3 Hoe is deze roadmap opgebouwd? 11
3.1 Toepassingsdomeinen 12
3.2 Toepassingsvereisten 12
3.3 Materiaalinnovatie 12
3.4 Industrialisatie 12
3.5 Horizontale versnellers 13
4 Strategische innovatiedomeinen 14
4.1 Toepassingsdomeinen 14
4.2 Toepassingsvereisten 16
4.3 Materiaalinnovatie 16
4.4 Industrialisatie 18
5 Horizontale versnellers 21
5.1 Digitalisering, AI en datagedreven modellering 21
5.2 Karakterisering en kennisinfrastructuur 22
5.3 Circulariteit, CRM en traceerbaarheid 22
5.4 Veiligheid, duurzaamheid, normen en regelgeving 23
6 Van materiaalinnovatie naar waardecreatie en impact 24
6.1 Materiaalprestatie 24
6.2 Cel- en systeemwaarde 25
6.3 Industriële inzetbaarheid 25
6.4 Economische, maatschappelijke en strategische impact 26
7 Ecosysteemverbinding en strategische positionering 27
7.1 Vlaamse kennis- en industriële capaciteiten 27
7.2 Samenwerking tussen materiaal-, cel-, productie- en recyclageactoren 28

7.3 Europese aansluiting en strategische autonomie 28
8 MateriNex: rol, onderzoekskader en project-ondersteuning 29
8.1 Rol van MateriNex 29
8.2 Onderzoekspositie en technologiematuriteit 29
8.3 Aansluiting op onderzoeks- en innovatie-instrumenten 29
8.4 Dynamisch gebruik en actualisatie 29
Bijlage A. Bronbasis en totstandkoming 30
A.1 Totstandkoming en actualisatie 30
A.2 Relevante onderzoeks-, innovatie- en beleidskaders 30
Bijlage B. Volledig visueel overzicht van de roadmap 32



LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Roadmap-architectuur met vier verbonden hoofdblokken, ondersteund door horizontale versnellers. 11
Figuur 2: De vijf toepassingsdomeinen beschouwd binnen de roadmap. 14
Figuur 3: De zes materiaaldomeinen die de kern vormen van de roadmap. 17
Figuur 4: Maakbaarheid en opschaling sturen materiaalkeuzes. 19
Figuur 5: De beschouwde horizontale versnellers binnen de roadmap. 21
Figuur 6: De waarde-logica is causaal maar niet strikt lineair: materiaalprestatie creëert pas bredere waarde wanneer aanvullende voorwaarden, bewijs en actoren de overgang naar cel, systeem, industrialisatie en impact mogelijk maken. 24
Figuur 7: Vlaamse capaciteiten, gerichte samenwerking en Europese aansluiting versterken samen de strategische positie en de toegang tot kritieke kennis, infrastructuur en betrouwbare waardeketens. 27

1 Waarom deze roadmap?

De maatschappelijke en industriële uitdaging, de toepassingsbehoefte en de relevantie voor Vlaanderen

Batterijen zijn een belangrijke bouwsteen voor de energietransitie, de elektrificatie van mobiliteit en de ontwikkeling van flexibele energiesystemen. Tegelijk nemen de eisen aan batterijprestaties, veiligheid, levensduur, kostprijs, circulariteit en industriële maakbaarheid toe. Materiaalinnovatie speelt een centrale rol om aan deze eisen tegemoet te kunnen komen.

Deze roadmap verbindt **toepassingsbehoeften met toepassingsvereisten, materiaalinnovatie, productie & opschaling, en horizontale versnellers**. Zo ontstaat een samenhangend kader om materiaalinnovatie te richten op economische, maatschappelijke en strategische waarde.

1.1 Batterijen als strategische technologie

Batterijen maken elektrische energie beschikbaar waar en wanneer nodig en ondersteunen zo maatschappelijke en industriële transities. Ze zijn essentieel voor elektrische mobiliteit en stationaire opslag en steeds belangrijker in industriële voertuigen, autonome apparatuur, robotica en strategische toepassingen, waaronder defensie.

De eisen verschillen echter per toepassing. Mobiliteit vraagt vooral energiedichtheid, vermogen, laadsnelheid, veiligheid, levensduur, gewicht en kostprijs. Bij stationaire opslag wegen levensduur, betrouwbaarheid, veiligheid en kostprijs zwaarder. Industriële en defensie-toepassingen daarentegen vereisen vaak vermogen, robuustheid en inzetbaarheid onder veeleisende omstandigheden.

Er bestaat daarom geen universeel optimale batterijtechnologie. De toepassing en haar vereisten bepalen de relevante route. De roadmap schrijft geen batterijchemie of -technologie voor, maar verbindt uiteenlopende toepassingsbehoeften met materiaalinnovatie en industrialisatie.

Batterijtechnologie heeft ook een strategische industriële dimensie. Kennis creëert immers pas brede waarde wanneer innovatieve materialen reproduceerbaar worden geproduceerd, geïntegreerd en opgeschaald. Materiaalontwikkeling, productiecapaciteiten, kennisinfrastructuur en ecosysteemsamenwerking moeten daarom samen worden bekeken.

De roadmap helpt stakeholders langetermijnuitdagingen te vertalen naar gerichte innovatie en toont welke kennis, capaciteiten en samenwerkingen nodig zijn voor daadwerkelijke economische, maatschappelijke en strategische waarde.

1.2 Waarom materialen prestaties en waarde bepalen

Materialen bepalen in belangrijke mate batterijprestaties, levensduur, veiligheid, betrouwbaarheid, kostprijs, circulariteit en het gebruik van strategische en kritieke grondstoffen.

De roadmap onderscheidt zes samenhangende **materiaaldomeinen**: kathodematerialen, anodematerialen, elektrolyten, grensvlakken en overgangslagen, functionele batterijmaterialen, en opkomende & niet-lithium chemieën. Deze structuur verbindt materiaalinnovatie met **concrete toepassingsvereisten**.

Veelbelovende laboratoriumeigenschappen leiden echter niet automatisch tot een betere batterij. Ze moeten reproduceerbaar blijven onder relevante omstandigheden en compatibel zijn met andere materialen, componenten, cellen en productieprocessen. Daarom is **productie & opschaling** een integraal onderdeel van de roadmap. Synthese, reproduceerbaarheid, procescompatibiliteit, kwaliteit, opbrengst en opschaalbaarheid bepalen of een materiaalinnovatie industrieel inzetbaar wordt en betrouwbare prestaties levert.

Ook **circulariteit en grondstoffengebruik** moeten vroeg worden meegenomen, omdat materiaalkeuzes prestaties, kostprijs, traceerbaarheid, terugwinning, recyclage en grondstoffenafhankelijkheid beïnvloeden.

Materialen vormen het hart van de roadmap, naast celontwerp, productie, systeemintegratie, kwaliteitsbeheersing, karakterisering, data en ecosysteemcapaciteiten. Samen vormen zij één innovatiearchitectuur: **van toepassingsbehoefte naar gerichte materiaalinnovatie, industrialisatie en waardecreatie**.

1.3 Belang voor Vlaanderen

Voor Vlaanderen biedt materiaalgericht batterijonderzoek kansen om kennisontwikkeling te verbinden met industriële waardecreatie binnen Europese batterijwaardeketens. Onderzoek naar elektroden, elektrolyten, grensvlakken en functionele materialen kan bijdragen aan betere prestaties, veiligheid en levensduur, een lager grondstoffengebruik en meer circulariteit. De roadmap helpt deze onderzoeksvragen te koppelen aan concrete toepassingsbehoeften en vanaf het begin rekening te houden met verwerking, celintegratie en opschaling. Zo ondersteunt ze een gerichte Vlaamse bijdrage, zonder dat elke schakel van de batterijwaardeketen lokaal aanwezig hoeft te zijn.

Bedrijven kunnen de roadmap gebruiken om materiaalinnovaties te positioneren, onderzoeks- en opschalingsvragen scherp te stellen en complementaire partners te vinden. Kennispartners kunnen hun expertise verbinden met industriële behoeften en gezamenlijke onderzoeksprojecten en validatietrajecten uitwerken. Voor clusters, beleidsactoren, infrastructuuraanbieders en andere stakeholders biedt ze een gedeeld kader om kennislacunes, infrastructuurbehoeften en samenwerkingskansen zichtbaar te maken. Zo kan de roadmap versnippering helpen beperken en de samenhang tussen onderzoek, industriële toepassing en circulariteit versterken.

2 Hoe deze roadmap gebruiken?

Een strategisch referentiekader, geen handleiding voor projectselectie of implementatiekalender.

De roadmap ondersteunt stakeholders bij:

1. het positioneren van onderzoeks- en innovatieactiviteiten;
2. het identificeren van kansen binnen waardeketens en ecosystemen;
3. het ontwikkelen van samenwerkingsverbanden;
4. het afstemmen van investeringen en innovatie-initiatieven.

De roadmap is daarmee een **strategisch referentiekader**. Zij helpt stakeholders om activiteiten te positioneren, verbindingen te leggen en gezamenlijke innovatievragen te identificeren. Zij schrijft geen technologiekeuzes voor en vervangt geen technische, economische, juridische of investeringsbeoordeling.

2.1 Strategisch richting geven

De roadmap helpt stakeholders onderzoeks- en innovatieactiviteiten te positioneren vanuit de samenhang tussen toepassingen, vereisten, materiaaldomeinen, productie & opschaling, en horizontale versnellers.

De toepassingsbehoefte bepaalt welke vereisten gelden, welke materiaalinnovatie bijdraagt en welke industrialisatieroute nodig is. Zo worden innovatiereden, materiaalverandering en verwachte waardecreatie duidelijk verbonden.

Kennisinstellingen verbinden zo materiaalonderzoek met toepassingsvragen en industrialisatie. Bedrijven zien de samenhang tussen materiaalontwikkeling, productiecapaciteiten en toepassingswaarde. Ecosysteemspelers kunnen behoeften aan kennis, infrastructuur, samenwerking en opschaling identificeren.

De strategische richting schrijft geen technologische route voor. De roadmap helpt echter verschillende routes vanuit dezelfde logica te beoordelen en te verbinden.

2.2 Een gemeenschappelijke taal en ecosysteemafstemming creëren

Batterijinnovatie verbindt uiteenlopende perspectieven. Onderzoekers focussen op materiaaleigenschappen en mechanismen, producenten op reproduceerbaarheid en maakbaarheid, gebruikers op prestaties en betrouwbaarheid, en recyclageactoren op circulariteit en terugwinning.

De roadmap biedt een gemeenschappelijke taal hierbij. Toepassingsdomeinen tonen waar behoeften ontstaan, toepassingsvereisten tonen wat oplossingen moeten realiseren en materiaaldomeinen tonen waar innovatie plaatsvindt. Productie en opschaling verduidelijken de route naar industriële inzetbaarheid, terwijl horizontale versnellers gedeelde randvoorwaarden bundelen.

Deze structuur maakt kansen en afhankelijkheden in waardeketens en ecosystemen sneller zichtbaar. Innovatievragen kunnen niet alleen een nieuw materiaal betreffen, maar ook de verbinding met productie, karakterisering, data, recyclage of regelgeving.

Zo ondersteunt de roadmap strategische afstemming en samenwerking, zonder rollen of technologische keuzes op voorhand vast te leggen.

2.3 De fit van nieuwe projectideeën beoordelen

De roadmap positioneert projectideeën via vijf samenhangende elementen:

> Toepassing → toepassingsvereiste → materiaalverandering → industrialisatieroute, ondersteund door horizontale versnellers

De toepassing verduidelijkt de behoefte, gebruikscontext en beoogde waarde.

De toepassingsvereiste vertaalt dit naar richtinggevende eisen, zoals energie, vermogen, levensduur, veiligheid, betrouwbaarheid, kostprijs, circulariteit of maakbaarheid. Niet alle vereisten moeten worden gemaximaliseerd.

De materiaalverandering beschrijft de innovatie in materialen, grensvlakken, eigenschappen of gedrag en haar bijdrage aan de toepassingsvereiste.

De industrialisatieroute toont hoe de innovatie reproduceerbaar kan worden geproduceerd, geïntegreerd en opgeschaald.

Horizontale versnellers omvatten onder meer data, karakterisering, circulariteit, grondstoffen, traceerbaarheid, duurzaamheid, veiligheid, normen en regelgeving.

Een sterke projectfit verbindt toepassingswaarde, materiaalinnovatie en industriële realiseerbaarheid. Roadmap-fit is een eerste strategische toets, uitgevoerd door MateriNex. Wetenschappelijke kwaliteit, haalbaarheid, consortiumcapaciteit en risico's blijven afzonderlijk te beoordelen door VLAIO.

2.4 Portfoliocoherentie bewaken

De roadmap toont hoe projecten samen toepassingsvereisten, materiaaldomeinen, productie & opschaling, en horizontale versnellers versterken.

Zo worden complementariteiten, concentraties en lacunes zichtbaar. Projecten kunnen hetzelfde materiaaldomein vanuit verschillende toepassingen versterken of materiaalontwikkeling aanvullen met productie, karakterisering of circulariteit.

Portfoliocoherentie vereist geen gelijke projectverdeling. Industriële sterktes, behoeften, kansen en capaciteiten rechtvaardigen verschillen. Diversiteit kan waardevol zijn, maar versnippering belemmert echter kritische massa.

De roadmap ondersteunt het gesprek over samenhang, complementariteit en ecosysteemontwikkeling, maar rangschikt geen projecten, verdeelt geen budgetten en vervangt geen investerings- of financieringsbeslissingen.

3 Hoe is deze roadmap opgebouwd?

Toepassing → toepassingsvereiste → materiaalverandering → industrialisatie-route, ondersteund door horizontale versnellers

De roadmap is opgebouwd als een samenhangende innovatiearchitectuur met vier logisch verbonden hoofdblokken: 1) toepassingsdomeinen, 2) toepassingsvereisten, 3) materiaalinnovatie, en 4) industrialisatie. De centrale redeneerlijn loopt van toepassingsbehoeften naar toepassingsvereisten, materiaalinnovatie, industrialisatie **en uiteindelijk economische, maatschappelijke en strategische waarde**. Horizontale versnellers ondersteunen en versterken elk van deze hoofdblokken en de verbindingen ertussen. De architectuur maakt materiaalinnovatie zichtbaar als inhoudelijk hart van de roadmap, zonder de toepassingsvraag of industriële inzetbaarheid uit het oog te verliezen.



Figuur 1: Roadmap-architectuur met vier verbonden hoofdblokken, ondersteund door horizontale versnellers.

De vier hoofdblokken vormen geen strikt lineair ontwikkelingsmodel, maar een samenhangend kader met wisselwerking en terugkoppeling. Inzichten uit materiaalsynthese, verwerking, karakterisering, celintegratie of opschaling kunnen aanleiding geven om toepassingsvereisten opnieuw te beoordelen. Omgekeerd kunnen nieuwe toepassingsbehoeften leiden tot andere materiaalkeuzes of industrialisatieroutes. **De roadmap moet daarom worden gelezen als een verbindend kader waarin de hoofdblokken elkaar voortdurend beïnvloeden.**

3.1 Toepassingsdomeinen

Het toepassingsdomein bepaalt welke combinatie van prestaties, veiligheid, levensduur, kostprijs en bedrijfszekerheid nodig is. Een batterij creëert pas waarde wanneer haar eigenschappen goed aansluiten bij de concrete toepassing.

De roadmap onderscheidt mobiliteit, stationaire energieopslag en industriële, off-road-, robotica- en defensietoepassingen, naast andere intern onderbouwde toepassingen. Ze omvat ook situaties waarin robuustheid, beschikbaarheid, compactheid, operationele veiligheid of werking onder zware omstandigheden belangrijk zijn.

De toepassingsdomeinen leggen echter geen technologie vast. **Ze structureren de behoeften en maken duidelijk waarom verschillende materiaal- en batterijroutes nodig zijn**. Zo blijft de roadmap open voor nieuwe toepassingen, zonder aparte prioriteitenlijsten op te leggen.

3.2 Toepassingsvereisten

Toepassingsvereisten verbinden de behoeften van een toepassing met materiaalinnovatie. Ze vertalen de gewenste batterijfunctie naar eisen voor energie, vermogen, levensduur, veiligheid, betrouwbaarheid, kostprijs, circulariteit, CRM-weerbaarheid en maakbaarheid. Zo kan een innovatie worden beoordeeld op haar waarde voor de toepassing.

Deze eisen hangen met elkaar samen. Meer energieopslag kan bijvoorbeeld invloed hebben op vermogen, laadsnelheid, veiligheid, levensduur, productiecomplexiteit en grondstoffengebruik. Daarom bepaalt niet één maximale prestatie de toepassingswaarde, maar de juiste combinatie van prestaties en aanvaardbare afwegingen.

De vernieuwde roadmap gebruikt geen vaste numerieke doelen. Cijfers voor projectfit of validatie moeten steeds actueel, toepassingsspecifiek en goed onderbouwd zijn.

3.3 Materiaalinnovatie

Materiaalinnovatie vormt het hart van de roadmap. Materialen bepalen in sterke mate welke prestaties, veiligheid, levensduur, kostprijs, circulariteit en maakbaarheid mogelijk zijn. De roadmap onderscheidt zes materiaaldomeinen: kathodematerialen, anodematerialen, elektrolyten, grensvlakken en overgangslagen, functionele batterijmaterialen, en opkomende & niet-lithium chemieën.

Deze domeinen tonen waar materiaalveranderingen waarde kunnen creëren. Ze vormen geen overzicht van technologieën en leggen geen voorkeurschemie vast. Ze helpen onderzoeks- en innovatievragen te structureren, verbanden tussen materiaalcomponenten zichtbaar te maken en projectfit en portfoliocoherentie te beoordelen.

De materiaaldomeinen kunnen niet afzonderlijk worden geoptimaliseerd. Een verandering in een elektrode, elektrolyt of functioneel materiaal kan ook grensvlakken, verwerking en celgedrag beïnvloeden. Daarom staat niet één materiaal centraal, maar de bijdrage ervan aan een samenhangende batterijoplossing.

3.4 Industrialisatie

Industrialisatie zorgt ervoor dat materiaalinnovaties betrouwbaar, maakbaar en op grotere schaal toepasbaar worden. Ze omvat materiaalsynthese, elektrode- en celprocessen, kwaliteitscontrole,

opbrengst, productiesnelheid en aansluiting bij industriële processen. Industrialisatie is niet hetzelfde als commercialisering, maar creëert de technische en procesmatige voorwaarden voor betrouwbare productie en integratie.

Goede laboratoriumprestaties blijven niet automatisch behouden op grotere schaal, in andere formaten of onder industriële omstandigheden. Verschillen in samenstelling, zuiverheid, coating, droging, verdichting, celintegratie en kwaliteitscontrole kunnen de prestaties sterk beïnvloeden.

Daarom moet industrialisatie al vroeg deel uitmaken van materiaalonderzoek. Zo worden problemen met reproduceerbaarheid, procescompatibiliteit en opschaling tijdig zichtbaar. De roadmap biedt hiervoor strategische richting, maar is geen praktische productiehandleiding.

3.5 Horizontale versnellers

Horizontale versnellers zijn capaciteiten en randvoorwaarden die meerdere lagen en materiaaldomeinen beïnvloeden. Ze zijn geen afzonderlijke innovatieprioriteiten, maar ondersteunen snellere, onderbouwde materiaalkeuzes en de voorbereiding op industrialisatie & toepassing.

Deze roadmap omvat digitalisering, AI en data, karakterisering en kennisinfrastructuur, circulariteit, strategische en kritieke grondstoffen, traceerbaarheid, veiligheid, duurzaamheid, normen en regelgeving als horizontale versnellers. Data en karakterisering ondersteunen materiaal- en proceskeuzes. Circulariteit, CRM-weerbaarheid en traceerbaarheid plaatsen die keuzes in hun waardeketen- en levenscycluscontext. Veiligheid, duurzaamheid en regelgeving bepalen de ruimte voor verantwoorde, inzetbare innovatie.

Hoofdstuk 5 behandelt deze horizontale versnellers meer inhoudelijk.

4 Strategische innovatiedomeinen

De inhoudelijke kern van de roadmap

Dit hoofdstuk beschrijft wat binnen de eerste vier hoofdblokken strategisch relevant is. De samenhang toepassing → vereiste → materiaalinnovatie → industrialisatie blijft daarbij het uitgangspunt. De roadmap beoordeelt materiaalinnovatie niet alleen op potentiële prestaties, maar ook op toepassingswaarde, onderlinge materiaalcompatibiliteit, maakbaarheid en opschaalbaarheid.

4.1 Toepassingsdomeinen

De toepassingsdomeinen structureren de vraagzijde van de roadmap. Zij blijven breed en tijdshorizon-neutraal, zodat veranderende markten en technologische routes binnen dezelfde innovatiearchitectuur kunnen worden beoordeeld.



Figuur 2: De vijf toepassingsdomeinen beschouwd binnen de roadmap.

4.1.1 e-Mobiliteit

Elektrische mobiliteit (e-Mobiliteit) omvat batterijtoepassingen voor het vervoer van personen en goederen, waaronder personenwagens, lichte bedrijfsvoertuigen en zwaar wegtransport. Belangrijke vereisten zijn energiedichtheid, vermogen, laadsnelheid, gewicht, veiligheid, levensduur en kostprijs.

De geschikte materiaalroute hangt af van het gebruiksprofiel. Een batterij voor dagelijks personenvervoer stelt andere eisen dan een batterij voor intensief vrachtvervoer of frequent snelladen. Materiaalinnovatie creëert daarom pas waarde wanneer prestaties, celintegratie, productie en opschaling aansluiten op de concrete mobiliteitstoepassing.

4.1.2 Stationaire energieopslag

Stationaire energieopslag ondersteunt de integratie van hernieuwbare energie, flexibiliteit van het elektriciteitssysteem, lokale energievoorziening en continuïteit bij onderbrekingen. Gewicht en volume zijn doorgaans minder bepalend dan bij mobiele toepassingen. Levensduur, veiligheid, betrouwbaarheid, opslagduur, kostprijs en circulariteit kunnen daardoor zwaarder doorwegen.

Dit toepassingsdomein biedt ruimte voor verschillende materiaal- en batterijroutes. Een lagere energiedichtheid kan aanvaardbaar zijn wanneer een oplossing beter scoort op levensduur, veiligheid, beschikbaarheid van materialen of totale gebruikskost.

4.1.3 Aandrijfkracht en off-road

Dit domein omvat batterijen voor onder meer bouwmachines, landbouwmachines, intern transport, mijnbouwapparatuur en andere zware of mobiele werktuigen. Deze toepassingen vragen vaak een combinatie van hoog vermogen, robuustheid, bedrijfszekerheid, trillingsbestendigheid en werking onder uiteenlopende temperaturen en belastingen.

De batterij moet passen bij intensieve gebruikscycli, piekbelastingen en soms beperkte laadinfrastructuur. Materiaal- en celinnovaties moeten daarom worden beoordeeld onder representatieve bedrijfsomstandigheden en met aandacht voor thermisch beheer, veiligheid, laadtijd en onderhoud.

4.1.4 Defensie en veiligheid

Defensie- en veiligheidstoepassingen stellen hoge eisen aan betrouwbaarheid, beschikbaarheid en werking onder veeleisende omstandigheden. Afhankelijk van de toepassing kunnen compacte energieopslag, hoog vermogen, lange gebruiksduur, lage detecteerbaarheid, snelle inzetbaarheid en weerstand tegen extreme temperaturen, trillingen of mechanische belasting belangrijk zijn.

Naast technische prestaties spelen ook bevoorradingszekerheid, strategische grondstoffen, herstelbaarheid en toegang tot betrouwbare productiecapaciteit een rol. Niet iedere batterijroute hoeft lokaal te worden ontwikkeld, maar kritieke afhankelijkheden en alternatieven moeten zichtbaar en beheersbaar zijn.

4.1.5 Industriële robotica

Industriële robotica omvat mobiele robots, autonome transportsystemen, geautomatiseerde magazijnsystemen en andere batterij-aangedreven industriële apparatuur. Compactheid, vermogen, veiligheid, betrouwbaarheid en hoge beschikbaarheid zijn belangrijke vereisten.

Veel toepassingen kennen frequente laadcycli, korte laadvensters of vrijwel continue inzet. De batterij moet daarom nauw aansluiten op de operationele cyclus van het systeem. Materiaalinnovatie kan bijdragen via sneller laden, langere levensduur, voorspelbaarder gedrag en veiliger gebruik in nabijheid van mensen en productieprocessen.

De vijf toepassingsdomeinen vragen elk een andere balans tussen prestaties, veiligheid, levensduur, kostprijs, circulariteit en maakbaarheid. De volgende paragraaf vertaalt deze uiteenlopende behoeften naar richtinggevende toepassingsvereisten voor materiaalinnovatie en industrialisatie.

4.2 Toepassingsvereisten

Toepassingsvereisten vormen de functionele brug tussen vraag en materiaalinnovatie. De strategische kern ligt niet in afzonderlijke maximale prestaties, maar in het beheersen van afwegingen tussen vereisten.

4.2.1 Energie en vermogen

Energie en vermogen zijn nauw verbonden, maar beschrijven een andere functie. Energie geeft aan hoeveel elektriciteit beschikbaar is. Vermogen bepaalt hoe snel die energie kan worden geleverd of opgenomen. De toepassing bepaalt welke verhouding nodig is.

Materiaalinnovatie beïnvloedt die verhouding via capaciteit, ionisch en elektronisch transport, stabiliteit en het gebruik van actieve materialen. Een hoge theoretische capaciteit levert pas waarde als transport, grensvlakken, verwerking en stabiliteit ook goede prestaties mogelijk maken.

De roadmap beoordeelt energie en vermogen daarom samen met laadeigenschappen, levensduur, veiligheid en industrialisatie. Zo bepaalt niet één prestatie-indicator de materiaalkeuze.

4.2.2 Levensduur, veiligheid en betrouwbaarheid

Levensduur, veiligheid en betrouwbaarheid hangen nauw samen. Degradatie kan prestaties verlagen, verschillen tussen cellen vergroten en veiligheidsmarges verkleinen. Daarom moeten materiaalstabiliteit, grensvlakken en overgangslagen, elektrolytcompatibiliteit en een constante productiekwaliteit samen worden beoordeeld.

Karakterisering en modellering helpen degradatie, structuurveranderingen en processen aan grensvlakken te begrijpen. Betrouwbaarheid vraagt ook dat materialen en processen reproduceerbare resultaten opleveren, zowel in het laboratorium als onder relevante gebruiks- en productieomstandigheden.

De uitdaging is dus niet alleen een langere levensduur, maar vooral een voorspelbare en veilige werking die past bij de toepassing.

4.2.3 Kost, circulariteit, CRM-weerbaarheid en maakbaarheid

Kostprijs, circulariteit, CRM-weerbaarheid en maakbaarheid zijn bepalend voor de industriële en strategische waarde van een materiaalroute. Materiaalkeuzes beïnvloeden de beschikbaarheid van grondstoffen, productiecomplexiteit, het gebruik van energie en materialen, terugwinning, recyclage en de aansluiting op productieroutes.

CRM-weerbaarheid betekent dat afhankelijkheden van strategische en kritieke grondstoffen bewust worden meegenomen. Mogelijke routes zijn minder gebruik, substitutie, Europese of bredere inkoop van grondstoffen, een langere levensduur, terugwinning en secundaire materialen. Geen route is vanzelf de beste. Elke keuze brengt afwegingen mee rond prestaties, veiligheid, kostprijs en maakbaarheid.

Materiaalkeuzes moeten daarom altijd in samenhang met de volledige innovatie- en waardeketen worden beoordeeld.

4.3 Materiaalinnovatie

De zes materiaaldomeinen vormen het inhoudelijke hart van de roadmap. Ze worden beoordeeld op hun strategische functie, bijdrage aan toepassingen, onderlinge samenhang en vereisten voor industrialisatie.



Figuur 3: De zes materiaaldomeinen die de kern vormen van de roadmap.

4.3.1 Kathodematerialen

Kathodematerialen beïnvloeden prestaties, energieopslag, kostprijs, grondstoffengebruik, veiligheid, levensduur en maakbaarheid. Innovatie kan gaan over actieve materialen, coatings en geleidende netwerken, maar moet altijd samen met het elektrolyt, de grensvlakken en de celprocessen worden beoordeeld.

Hogere prestaties zijn alleen waardevol als het materiaal stabiel, verwerkbaar en reproduceerbaar blijft. Ook grondstoffengebruik en circulariteit moeten vroeg worden meegenomen. De roadmap kiest geen voorkeurschemie, maar vraagt voor elke route een duidelijke verbinding tussen toepassingsvereiste, materiaalverandering en industrialisatie.

4.3.2 Anodematerialen

Anodematerialen beïnvloeden energieopslag, vermogen, laadeigenschappen, levensduur en veiligheid. Mogelijke routes zijn grafiet, silicium-houdende materialen, lithiummetaal en alternatieven, zonder één route als standaardkeuze naar voren te schuiven.

De uitdaging is om capaciteit en transport te combineren met een stabiele structuur en stabiele grensvlakken. Verwerking, materiaalvorm, elektrodeopbouw en celintegratie kunnen de prestaties sterk beïnvloeden. Anode-innovatie moet daarom samen met het elektrolyt, de grensvlakken, de kathode en het productieproces worden ontwikkeld.

4.3.3 Elektrolyten

Elektrolyten zorgen voor het ionentransport en beïnvloeden de stabiliteit, veiligheid, prestaties en samenwerking tussen elektroden. De roadmap omvat verbeterde vloeibare elektrolyten, gels, vaste elektrolyten en functionele additieven, zonder één concept als eindpunt vast te leggen.

De uitdaging is goed ionentransport te combineren met voldoende elektrochemische, chemische en thermische stabiliteit. Elektrolytontwikkeling hangt nauw samen met elektrodeoppervlakken, grensvlakken, verwerking en celintegratie. Ook maakbaarheid en geschiktheid voor productieomstandigheden zijn bepalend.

4.3.4 Grensvlakken en overgangslagen

Grensvlakken ('interfases') en overgangslagen ('interphases') vormen een afzonderlijk materiaaldomein omdat processen aan grensvlakken rechtstreeks invloed hebben op transport, stabiliteit, degradatie, veiligheid, levensduur en laadgedrag. Controle over beschermende overgangslagen, stabiele contacten en materiaalovergangen is essentieel voor de werking van de volledige cel.

Dit domein verbindt materiaalsynthese, oppervlaktebehandeling, elektrolytchemie, karakterisering en celintegratie en vraagt dus samenwerking tussen verschillende disciplines. Voor industrialisatie moet een gewenste overgangslaag niet alleen worden gevormd, maar ook tijdens verwerking, assemblage en gebruik reproduceerbaar behouden blijven.

4.3.5 Functionele batterijmaterialen

Functionele batterijmaterialen ondersteunen prestaties, veiligheid, productie en betrouwbaarheid. Binnen MateriNex omvatten ze onder meer separators, bindmiddelen, stroomcollectoren en materialen voor thermisch beheer en sensoren.

Hun rol is minder zichtbaar dan die van actieve materialen, maar ze beïnvloeden de mechanische stevigheid, het elektrische en thermische gedrag, materiaalcontact, verwerkbaarheid en monitoring. Innovatie moet worden beoordeeld op haar ondersteunende functie en de compatibiliteit met actieve materialen, elektrolyten, grensvlakken en productieroutes.

4.3.6 Opkomende en niet-lithium chemieën

Opkomende en niet-lithium chemieën omvatten onderbouwde routes zoals natrium-, magnesium- en zink-gebaseerde systemen. Hun strategische waarde hangt niet af van hun nieuwheid, maar van hun aansluiting bij toepassingsvereisten, materiaalbeschikbaarheid, prestaties, veiligheid, kostprijs, circulariteit en industrialiseerbaarheid.

Deze routes kunnen voor specifieke toepassingen andere afwegingen bieden dan lithium-gebaseerde systemen, maar zijn niet automatisch strategisch relevanter. Dezelfde eisen voor reproduceerbaarheid, grensvlakken, verwerking, celintegratie en validatie blijven gelden.

4.4 Industrialisatie

Industrialisatie zet materiaalinnovatie om in industriële waarde. Ze moet al vroeg aandacht krijgen, omdat synthese, verwerking en integratie het gedrag en de prestaties van materialen kunnen veranderen.



Figuur 4: Maakbaarheid en opschaling sturen materiaalkeuzes.

4.4.1 Materiaalsynthese en reproduceerbaarheid

Bij materiaalsynthese moeten samenstelling, structuur, zuiverheid, eigenschappen en verschillen tussen productiebatches goed worden beheerst. Een materiaalroute is industrieel relevant als ze binnen realistische procesgrenzen telkens vergelijkbare eigenschappen oplevert.

Naast prestaties tellen ook opbrengst, energie- en solventgebruik en gevoeligheid voor variaties. Bij opschaling kunnen menging, warmte- en massatransport en zuiverheid veranderen. Reproduceerbaarheid moet daarom vanaf het begin deel uitmaken van materiaalontwikkeling.

4.4.2 Elektrode- en celprocessen

Elektrode- en celprocessen verbinden materiaalinnovatie met verwerking en celintegratie. Formulering, coating, droging, verdichting, assemblage en celontwerp bepalen mee de structuur en prestaties van het uiteindelijke systeem.

Laboratoriumprestaties kunnen tijdens verwerking of integratie veranderen. Ook grensvlakken, transport en degradatie kunnen door de productieomstandigheden worden beïnvloed. Materiaal-, elektrode- en celontwikkeling moeten daarom voortdurend op elkaar worden afgestemd.

4.4.3 Maakbaarheid, kwaliteit, opbrengst en productiesnelheid

Maakbaarheid geeft aan of een materiaal en proces betrouwbaar in een productieroute kunnen worden ingezet. Processtabiliteit, kwaliteitscontrole, opbrengst en productiesnelheid bepalen samen of de gewenste prestaties consistent haalbaar zijn, zonder onaanvaardbaar materiaalverlies of te grote procesvariatie.

Kwaliteitscontrole moet de relevante eigenschappen van materialen, elektroden en cellen volgen. Opbrengst en productiesnelheid mogen niet los van kwaliteit worden bekeken. Een sneller proces levert geen waarde op als variatie, uitval of degradatie toenemen.

4.4.4 Opschaling en industriële compatibiliteit

Opschaling is meer dan meer produceren. Ze vraagt reproduceerbare prestaties op grotere schaal, compatibele processen, goede kwaliteitscontrole, beheersbaar materiaal- en energiegebruik, aansluiting op (bestaande) productieroutes en validatie op een relevante schaal.

Industriële compatibiliteit betekent niet dat alleen bestaande installaties richtinggevend zijn. Wel moeten de nodige procesaanpassingen, apparatuur, stoffen en productieomstandigheden duidelijk zijn. Zo ontstaat een geloofwaardige route van materiaalinnovatie naar industrialisatie, zonder ongefundeerde commerciële of investeringsclaims.

5 Horizontale versnellers

Ondersteunende capaciteiten en voorwaarden die diverse innovatiedomeinen met elkaar verbinden

Horizontale versnellers zijn ondersteunende kennis, capaciteiten en voorwaarden die toepassingen, vereisten, materiaaldomeinen en industrialisatie met elkaar verbinden. Het zijn geen aparte innovatieprioriteiten. Ze helpen om materiaalkeuzes sneller en beter onderbouwd te maken, over de hele waardeketen af te stemmen en voor te bereiden op productie, opschaling en gebruik.



Figuur 5: De beschouwde horizontale versnellers binnen de roadmap.

5.1 Digitalisering, AI en datagedreven modellering

Digitalisering brengt experimentele kennis, modellen en procesgegevens samen. Zo kunnen onderzoekers betere materiaalkandidaten selecteren, experimenten gerichter uitvoeren en materiaal- en celgedrag voorspellen. Digitale tweelingen kunnen gegevens over materialen, processen en prestaties in één model combineren.

AI en datagedreven modellen vervangen geen experimenten of vakkennis. Ze zijn alleen betrouwbaar als de gegevens representatief zijn, begrippen duidelijk zijn, aannames transparant blijven en resultaten experimenteel worden bevestigd. Beoordeel digitale hulpmiddelen daarom vooral op de beslissingen die ze ondersteunen, niet op hun technische complexiteit.

Goed databeheer is essentieel. Gegevens over materialen, processen, simulaties en testen moeten vindbaar, toegankelijk, uitwisselbaar en herbruikbaar zijn. Gedeelde begrippen en traceerbare informatie

over materialen en hun levenscyclus ondersteunen kennisoverdracht, kwaliteitscontrole, circulariteit en toepassingen zoals batterijpaspoorten.

Digitalisering ondersteunt ook productie en opschaling. Metingen tijdens het proces, kwaliteitsvoorspellingen en procesgegevens maken afwijkingen sneller zichtbaar en verbeteren de procescontrole. Voorspellingen krijgen pas waarde wanneer ze worden gekoppeld aan metingen, materiaalkennis en procesresultaten. Multi-schalige modellering en AI blijven daarbij ondersteunende hulpmiddelen, geen afzonderlijk materiaaldomein.

5.2 Karakterisering en kennisinfrastructuur

Karakterisering laat zien hoe samenstelling, verwerking, structuur en grensvlakken het gedrag van materialen en cellen bepalen. Ze levert de kennis die nodig is om materiaalkeuzes, celintegratie, reproduceerbaarheid en opschaling te onderbouwen. Bijzondere aandacht gaat naar grensvlakken en overgangslagen, omdat die transport, stabiliteit, degradatie, veiligheid en levensduur sterk beïnvloeden.

Validatie moet passen bij het beoogde gebruik en de productieroute. Resultaten van ideale laboratoriummonsters blijven niet automatisch behouden in elektroden, cellen, grotere formaten of industriële processen. Karakterisering moet materiaalontwikkeling daarom verbinden met verwerking, celintegratie, gebruik en degradatie. Ook verschillen tussen batches, processtappen en testomgevingen moeten zichtbaar worden.

Gedeelde onderzoeks-, test-, piloot- en kennisinfrastructuur geeft organisaties toegang tot apparatuur, expertise en validatieomgevingen die ze niet alleen kunnen opbouwen. Dit bevordert vergelijkbare resultaten, kennisoverdracht en testen op relevante schaal. De strategische waarde ligt in het dichten van kennislacunes, het delen van methoden en het tijdig verbinden van materiaalontwikkeling met productie en opschaling. Europese benchmarks bevestigen het belang van onderzoeksfaciliteiten en pilootlijnen. Een actueel overzicht van de beschikbare Vlaamse onderzoeks-, test- en pilootinfrastructuur is nodig om bestaande capaciteiten, toegankelijkheid en resterende lacunes nauwkeurig in kaart te brengen.

5.3 Circulariteit, CRM en traceerbaarheid

Circulariteit koppelt materiaalkeuzes aan levensduur, waardebehoud, hergebruik, terugwinning en het gebruik van secundaire materialen. Ze begint al bij het ontwerp. Samenstelling, materiaalcombinaties, verbindingen, zuiverheid en veiligheid bepalen welke vormen van onderhoud, tweede leven, ontmanteling, sortering en recyclage later mogelijk zijn.

De afhankelijkheid van strategische en kritieke grondstoffen kan worden verminderd door minder materiaal te gebruiken, materialen te vervangen, bronnen te spreiden, de levensduur te verlengen, en terugwinning en secundaire materialen beter te benutten. Geen enkele route is vanzelf de beste. Vervanging kan prestaties, veiligheid of maakbaarheid beïnvloeden. Terugwinning kan worden beperkt door materiaalverlies, vervuiling, energiegebruik of onvoldoende zuiverheid. Secundaire materialen moeten daarom worden gekwalificeerd voor hun beoogde functie en productieroute.

Traceerbaarheid maakt informatie beschikbaar over samenstelling, herkomst, verwerking, gebruik en levenscyclus. Dat ondersteunt sortering, kwaliteitsbeoordeling, terugwinning en het gebruik van secundaire materialen. Traceerbaarheid alleen maakt een batterij echter niet circulair. Daarvoor zijn ook een passend ontwerp, goede logistiek, veilige verwerking, kwalificatie en technisch-economisch haalbare terugwinningsroutes nodig.

5.4 Veiligheid, duurzaamheid, normen en regelgeving

Veiligheid en duurzaamheid moeten vanaf de materiaalontwikkeling worden meegenomen in celintegratie, productie, gebruik en verwerking aan het einde van de levensduur. Materiaalkeuzes, processtoffen, productieomstandigheden, degradatieproducten, ontmanteling en recyclage beïnvloeden elektrochemische, chemische, thermische en mechanische risico's. Een veilige en duurzame ontwerpaanpak maakt deze risico's vroeg zichtbaar, maar vervangt geen validatie voor de specifieke toepassing.

Duurzaamheid vraagt een onderbouwde afweging tussen prestaties, levensduur, materiaal- en energiegebruik, circulariteit en effecten op milieu en gezondheid. Een langere levensduur kan waarde behouden, maar kan ook extra materiaal en energie vragen. Ook recycleerbaarheid garandeert geen duurzaamheid als de verwerking veel energie verbruikt of onzuivere materiaalstromen oplevert. Sterke duurzaamheidsclaims vereisen daarom een duidelijke vergelijking, systeemgrens en bewijsbasis.

Normen en regelgeving stellen voorwaarden aan validatie, informatie, veiligheid en markttoegang. Ze moeten daarom al vroeg worden meegenomen in materiaalontwikkeling, testmethoden, productie en gegevensbeheer. Naleving alleen bewijst echter geen technische, economische of maatschappelijke meerwaarde. De Europese Batterijenverordening bestrijkt de volledige levenscyclus, van grondstoffenwinning tot inzameling, recyclage en hergebruik. Elk project blijft verantwoordelijk voor een actuele technische en juridische interpretatie.

6 Van materiaalinnovatie naar waardecreatie en impact

De route van onderzoeksresultaat naar bruikbare waarde expliciet maken

Deze roadmap beschrijft hoe materiaalprestaties kunnen leiden tot waarde op cel- en systeemniveau, industriële toepasbaarheid en uiteindelijk economische, maatschappelijke en strategische impact. Die stappen hangen samen, maar volgen elkaar niet altijd in een vaste volgorde op. Elke stap vraagt bijkomende voorwaarden, bewijs en betrokken partijen. Resultaten uit celtesten, productie of gebruik kunnen bovendien leiden tot een herziening van materiaalkeuzes of toepassingsvereisten. Industrialisatie is daarbij een noodzakelijke stap naar waardecreatie, maar biedt geen automatische garantie op commercialisering of impact.



Figuur 6: De waarde-logica is causaal maar niet strikt lineair: materiaalprestatie creëert pas bredere waarde wanneer aanvullende voorwaarden, bewijs en actoren de overgang naar cel, systeem, industrialisatie en impact mogelijk maken.

6.1 Materiaalprestatie

Materiaalprestatie omvat meetbare eigenschappen die bijdragen aan een toepassing, zoals capaciteit, transport, stabiliteit, compatibiliteit van grensvlakken, degradatie en behoud van eigenschappen. De roadmap legt geen uniforme doelen vast, omdat de gewenste combinatie en aanvaardbare afwegingen per toepassing verschillen.

Theoretisch potentieel, laboratoriumresultaten, gevalideerde prestaties en de bijdrage aan een volledige batterij zijn niet hetzelfde. Een hoge theoretische capaciteit is pas relevant als ze onder realistische laadcondities, gedurende voldoende cycli en in een maakbare elektrode kan worden benut. Laboratoriumresultaten moeten bovendien reproduceerbaar zijn tussen monsters en batches.

Materiaalprestaties moeten worden beoordeeld tegenover een passende referentie en binnen een duidelijke context. De beste score op één eigenschap levert niet automatisch de meeste toepassingswaarde. Meer energieopslag kan bijvoorbeeld gevolgen hebben voor vermogen, veiligheid, levensduur, verwerking, kostprijs en grondstoffengebruik. Een sterke projectfit verbindt daarom toepassingswaarde met een geloofwaardige en meetbare route voor materiaalinnovatie.

6.2 Cel- en systeemwaarde

Een materiaal creëert pas waarde in een cel of systeem door de samenwerking met andere materialen, grensvlakken, het celontwerp, de verwerking en de integratie. Prestaties van afzonderlijke componenten kunnen daarom niet zomaar worden opgeteld. Een wijziging in één component kan elders het transport, contact, degradatiegedrag, thermisch gedrag, de mechanische sterkte of veiligheid beïnvloeden.

Celvalidatie moet aantonen welke bijdrage de materiaalinnovatie levert in een volledige cel. De prestaties moeten standhouden bij representatieve belading, afmetingen, gebruiksomstandigheden en gebruiksprofielen. Bij systeemintegratie kunnen ook thermisch en mechanisch gedrag, monitoring, regeling en de wisselwerking tussen cellen de uiteindelijke waarde bepalen.

Goede celprestaties bewijzen nog geen industriële inzetbaarheid. Een cel kan technisch goed werken, terwijl synthese, verwerking, kwaliteit, veiligheid of integratie onvoldoende beheersbaar zijn. De beoogde toepassing blijft daarom het uitgangspunt. Niet de beste cel op zich, maar de cel met de juiste combinatie van prestaties voor die toepassing is relevant.

6.3 Industriële inzetbaarheid

Industriële inzetbaarheid vereist dat materiaal- en celprestaties onder beheersbare productieomstandigheden reproduceerbaar zijn. Belangrijke factoren zijn onder meer synthese, zuiverheid, formulering, coating, droging, verdichting, assemblage, celintegratie, kwaliteitscontrole en compatibiliteit met apparatuur en productieroutes. Variaties in materialen en processen moeten voldoende worden beheerst om stabiele resultaten te leveren.

Opbrengst en productiesnelheid zijn alleen waardevol als kwaliteit en reproduceerbaarheid behouden blijven. Een sneller proces heeft weinig nut wanneer variatie, uitval of degradatie toenemen. Opschaling vraagt daarom testen onder omstandigheden die de beoogde productie voldoende benaderen. Ook stoffen, solventen, energiegebruik, procesvensters en aanpassingen aan apparatuur spelen daarbij een rol.

Goede laboratoriumresultaten garanderen geen succesvolle opschaling. Menging, warmte- en massatransport, droging, omgevingsgevoeligheid en kwaliteitscontrole kunnen op grotere schaal veranderen. Industrialisatie moet daarom al vroeg in de materiaalontwikkeling worden meegenomen. Ze is niet hetzelfde als commercialisering, maar creëert de technische en procesmatige voorwaarden voor verdere productontwikkeling, industriële kwalificatie en investeringsbeslissingen.

6.4 Economische, maatschappelijke en strategische impact

Materiaalinnovatie kan bijdragen aan concurrentiekracht, innovatievermogen, waardebehoud, veiligheid, betrouwbaarheid, veerkracht en minder kwetsbare afhankelijkheden. Die impact ontstaat niet vanzelf. Betere materialen leiden niet automatisch tot een competitief product, industriële inzetbaarheid niet tot marktsucces en marktsucces niet tot maatschappelijke meerwaarde. De roadmap maakt daarom onderscheid tussen technisch potentieel, een aannemelijke bijdrage aan waarde en aantoonbare impact.

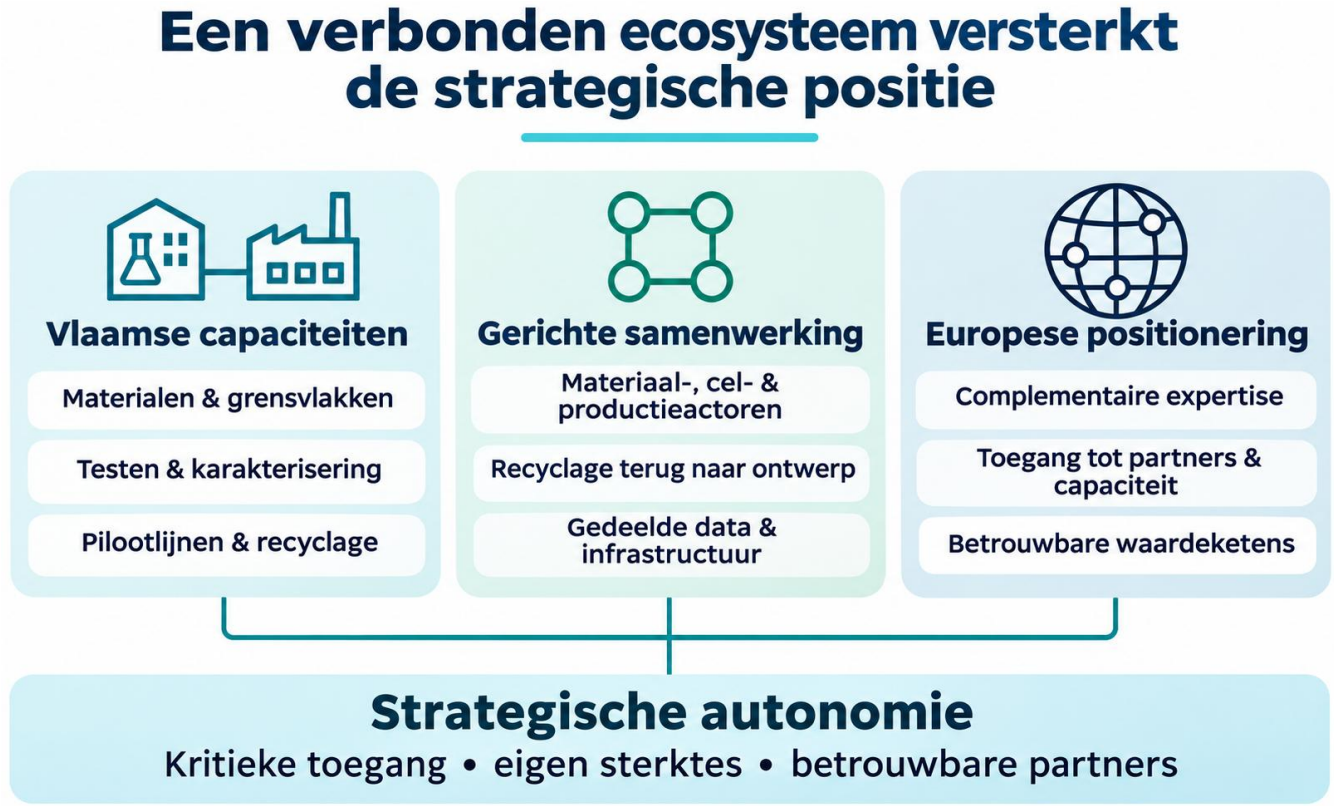
Economische waarde ontstaat wanneer kennis, materialen, processen en productiecapaciteit leiden tot bruikbare producten, diensten of sterkere posities in de waardeketen. Maatschappelijke waarde kan voortkomen uit betrouwbare energieopslag, veilige toepassingen, een langere levensduur en beter waardebehoud. Strategische waarde kan liggen in kritieke kennis, verschillende materiaalroutes, circulariteit, toegang tot infrastructuur en minder kwetsbare afhankelijkheden. Deze waarde mag pas als gerealiseerd worden beschouwd wanneer daarvoor bewijs bestaat.

Bij de beoordeling van impact moet ook rekening worden gehouden met verschuivingen en afwegingen. Minder gebruik van kritieke grondstoffen kan andere prestatie- of proceseisen meebrengen. Circulariteit kan botsen met zuiverheid, veiligheid, kostprijs of energiegebruik. Regelgeving kan markttoegang ondersteunen, maar bewijst geen economische waarde. De kernvraag blijft welke impact wordt beoogd, via welke aantoonbare stappen en onder welke voorwaarden.

7 Ecosysteemverbinding en strategische positionering

Complementaire capaciteiten binnen de Vlaamse batterijwaardeketen verbinden

Ecosysteemverbinding draait om de kennis, infrastructuur en samenwerking die nodig zijn om materiaalinnovaties te ontwikkelen, in cellen te testen, op te schalen, circulair te benutten en strategisch te positioneren. Daarbij zijn vooral de verbindingen tussen onderzoek, materiaalontwikkeling, productie, gebruik en recyclage belangrijk. Stakeholders vragen daarom om een brede waardeketenbenadering met meer aandacht voor opschaling.



Figuur 7: Vlaamse capaciteiten, gerichte samenwerking en Europese aansluiting versterken samen de strategische positie en de toegang tot kritieke kennis, infrastructuur en betrouwbare waardeketens.

7.1 Vlaamse kennis- en industriële capaciteiten

In Vlaanderen zijn bedrijven, universiteiten en strategische onderzoekscentra actief in batterijonderzoek, productie, digitalisering, testen en recyclage. Toch is het moeilijk om een volledig en actueel overzicht te krijgen van alle actoren, hun capaciteiten en hun internationale positie.

Voor de roadmap is vooral belangrijk welke functie elke capaciteit vervult. Kennis over materialen en grensvlakken ondersteunt ontwikkeling. Testen en karakterisering maken validatie mogelijk. Piloot- en productieomgevingen helpen bij opschaling. Recyclagecapaciteit biedt inzichten in ontwerp, sortering, terugwinning en secundaire materialen. **De uitdaging is om deze capaciteiten gericht met elkaar te verbinden.**

7.2 Samenwerking tussen materiaal-, cel-, productie- en recyclageactoren

Samenwerking is nodig wanneer organisaties niet over alle kennis, infrastructuur of testmogelijkheden beschikken. Materiaalontwikkelaars hebben celtesten nodig om hun materiaal in een volledige cel te beoordelen. Cel- en productieactoren moeten hun productievereisten terugkoppelen naar de samenstelling, vorm en verwerkbaarheid van materialen. Recyclageactoren kunnen aangeven welke materiaalcombinaties, verbindingen en verontreinigingen de terugwinning bemoeilijken.

Gegevens uit karakterisering en processen moeten in elke ontwikkelingsfase bruikbaar blijven. Dat vraagt duidelijke definities, voldoende achtergrondinformatie en afspraken over interpretatie, toegang en vertrouwelijkheid. Gedeelde infrastructuur is vooral waardevol voor testen onder realistische omstandigheden, het invullen van kennislacunes en de overgang van laboratorium naar piloot- en industriële schaal.

Ook inzichten uit recyclage moeten terugvloeien naar materiaal- en productkeuzes. Secundaire materialen moeten geschikt zijn voor de beoogde batterijfunctie en productieroute. Ontwerpkeuzes moeten tegelijk veilige ontmanteling, sortering, terugwinning en waardebehoud mogelijk maken. **Samenwerking is dus geen doel op zich, maar een manier om concrete afhankelijkheden, kennislacunes, infrastructuurbehoeften en opschalingsvragen aan te pakken.**

7.3 Europese aansluiting en strategische autonomie

Vlaamse kennis en capaciteit moeten een duidelijke, aanvullende rol spelen in Europese onderzoeksnetwerken, infrastructuur en waardeketens. Europese samenwerking geeft toegang tot expertise, pilootlijnen, industriële partners, materiaalstromen en testomgevingen die niet volledig in Vlaanderen beschikbaar zijn.

Strategische autonomie betekent hier niet dat Vlaanderen alles zelf moet kunnen. Het gaat om toegang tot kritieke kennis, technologie, materialen, productie- en testcapaciteit, alternatieven en betrouwbare partners. Die positie kan worden versterkt met eigen capaciteit, Europese samenwerking, spreiding van bronnen, circulariteit en toegang tot infrastructuur.

Strategische afstemming vraagt een duidelijke positie voor Vlaamse bijdragen binnen Europese netwerken en waardeketens. Niet elke schakel hoeft in Vlaanderen aanwezig te zijn. Wel moeten kritieke afhankelijkheden, ontbrekende verbindingen en de toegang tot aanvullende capaciteit zichtbaar zijn. MateriNex kan dit ondersteunen door projecten en portfolio's strategisch te positioneren en samenwerking te stimuleren, zonder Europese agenda's automatisch als Vlaamse prioriteiten over te nemen.

8 MateriNex: rol, onderzoekskader en project-ondersteuning

MateriNex geeft richting aan materiaalonderzoek en ondersteunt projectontwikkeling.

8.1 Rol van MateriNex

MateriNex ondersteunt het Vlaamse ecosysteem voor materiaalonderzoek en brengt bedrijven, kennisinstellingen en innovatiepartners samen rond gedeelde strategische uitdagingen. Voor “Materialen voor Batterijtechnologie” biedt deze roadmap een inhoudelijk referentiekader voor dialoog, projectontwikkeling, ecosysteemafstemming en portfoliocoherentie. MateriNex begeleidt stakeholders bij partnerschapsvorming en bij de inhoudelijke positionering van projectideeën.

8.2 Onderzoekspositie en technologiematuriteit

De opdracht van MateriNex richt zich op kennisintensief materiaalonderzoek op lage technologiematuriteit, met een hoog technisch of wetenschappelijk risico en een langere ontwikkelingshorizon. Dit onderzoek houdt vanaf de start rekening met toepassingscontext, representatieve validatie, kennisoverdracht, normen en toekomstige adoptie. De roadmap is instrumentneutraal en bestrijkt de inhoudelijke route van fundamentele kennisontwikkeling tot toepassing en impact.

8.3 Aansluiting op onderzoeks- en innovatie-instrumenten

De inhoudelijke positionering van een projectidee gaat vooraf aan de keuze van een onderzoeks- of innovatie-instrument. Pas daarna wordt beoordeeld welk instrument past bij de kennisvraag, technologiematuriteit, partners, risico’s en doelstellingen. Toepassingsvoorwaarden, indieningsprocedures en beoordelingscriteria worden niet in deze roadmap vastgelegd en moeten steeds in de actuele oproep- en instrumentdocumentatie worden geraadpleegd.

8.4 Dynamisch gebruik en actualisatie

De roadmap is een dynamisch strategisch referentiekader. Periodieke consultatie van bedrijven, kennisinstellingen en andere stakeholders via de Common Interest Group helpt na te gaan of de strategische materiaalinnovatiedomeinen, innovatielijnen en versnellers relevant blijven en waar nieuwe lacunes of kansen ontstaan. Actualisatie houdt de inhoudelijke richting verbonden met evoluerende technologie, regelgeving en marktbehoeften, zonder de roadmap in een kalender of financieringshandleiding te veranderen.

Bijlage A. Bronbasis en totstandkoming

Deze bijlage verduidelijkt hoe de roadmap tot stand kwam en welke externe strategische bronnen de inhoudelijke richting onderbouwen. De lijst is selectief: projectspecifieke wetenschappelijke literatuur, normen en regelgeving worden bij de uitwerking van elk initiatief verder onderzocht.

A.1 Totstandkoming en actualisatie

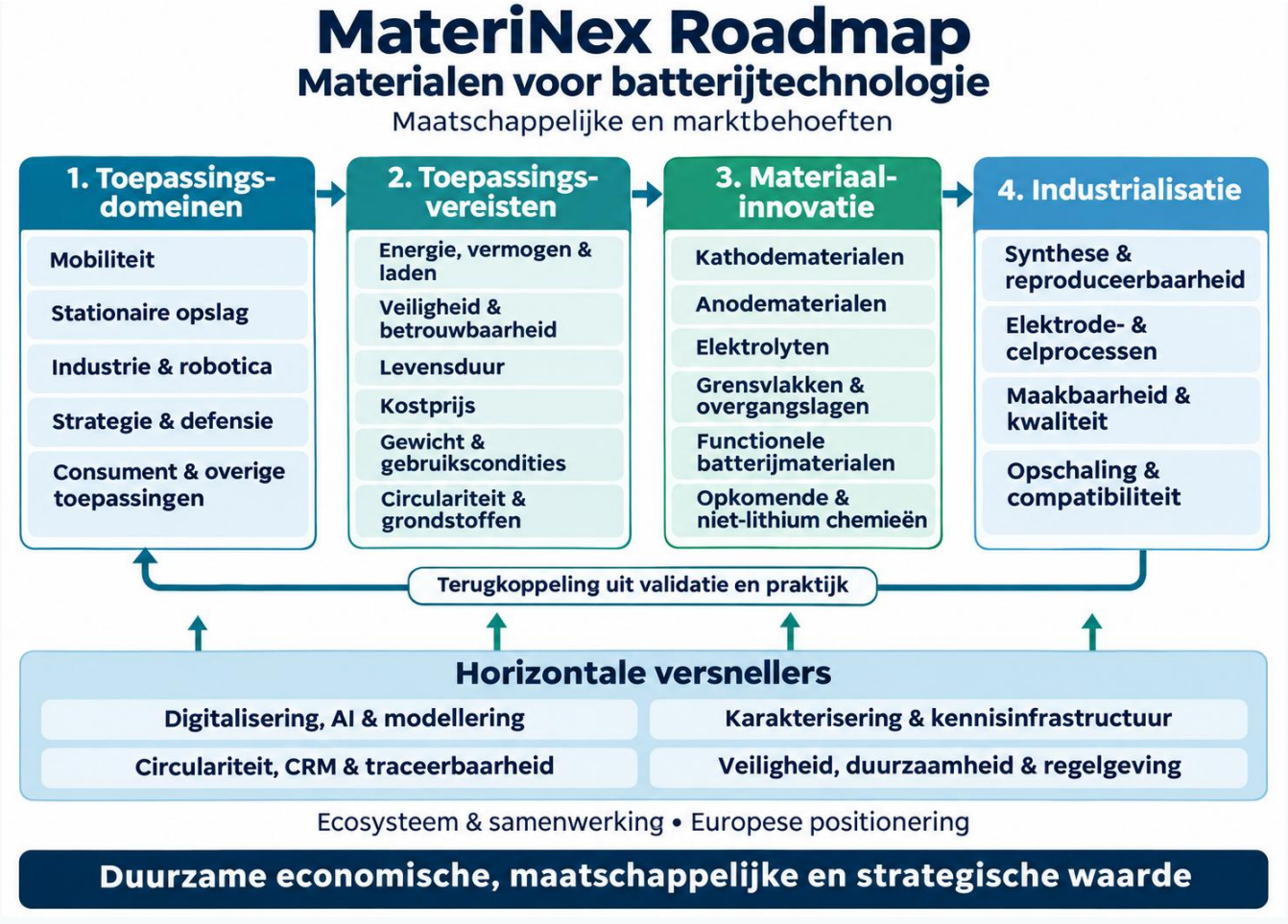
De oorspronkelijke MateriNex-roadmaps werden in december 2023 en januari 2024 uitgewerkt met Vlaamse experts en afgestemd op relevante Europese roadmaps. Voor de actualisatie in 2026 werd deze basis aangevuld met input uit de Common Interest Group “Materialen voor Batterijtechnologie”, bevragingen en contacten met stakeholders en overleg met de CIG-voorzitter en covoorzitter.

A.2 Relevante onderzoeks-, innovatie- en beleidskaders

- **BATT4EU Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA), BEPA & Batteries Europe.** Europese strategische onderzoeks- en innovatieagenda voor batterijen. De SRIA 2024 legt prioriteiten vast rond onder meer volgende-generatie batterijtechnologie, kritieke grondstoffen, circulariteit, productie en opschaling, digitalisering en Safe and Sustainable by Design. https://bepassociation.eu/our-work/sria/
- **BATTERY 2030+ Roadmap, Inventing the Sustainable Batteries of the Future.** Langetermijnonderzoeksroadmap voor toekomstige batterijtechnologie, met een chemie-neutrale benadering en sterke aandacht voor versnelde materiaalontdekking, batterijgrensvlakken, AI en datagedreven onderzoek en slimme batterijfunctionaliteiten. Dit sluit bijzonder goed aan bij de materiaaldomeinen, interfaces en digitale versnellers van de MateriNex-roadmap. https://battery2030.eu/wp-content/uploads/2023/09/B-2030-Science-Innovation-Roadmap-updated-August-2023
- **SET Plan, Implementation Working Group on Batteries, Thematic Vision and Strategic Research and Innovation Agenda.** Europees kader voor afstemming van batterijonderzoek en innovatie, met een geïntegreerde en circulaire waardeketen van grondstoffen over productie en toepassingen tot end-of-life. De SET Plan-werkgroep koppelt batterij-R&I daarbij aan industriële opschaling, strategische autonomie en technologische soevereiniteit. https://setis.ec.europa.eu/working-groups/batteries_en
- **Regulation (EU) 2023/1542 concerning batteries and waste batteries, EU Batteries Regulation.** Centraal Europees regelgevend kader voor de volledige levenscyclus van batterijen, van grondstoffen en ontwerp tot gebruik, tweede leven en recyclage. Het omvat bindende vereisten rond duurzaamheid, veiligheid, labeling, zorgvuldigheid in de toeleveringsketen en end-of-life. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj
- **Digital Product Passport for Batteries, Battery Passport, European Commission.** Digitaal informatiekader binnen de EU Batteries Regulation voor relevante batterijcategorieën. Het batterijpaspoort maakt informatie over onder meer identificatie, technische eigenschappen, prestaties, levensduur, reparatie, hergebruik, recyclage en duurzaamheid toegankelijk via een digitaal productpaspoort. Voor de relevante categorieën wordt het batterijpaspoort verplicht vanaf **18 februari 2027**. https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/digital-product-passport/batteries_en

- **Regulation (EU) 2024/1252, Critical Raw Materials Act.** Europees regelgevend kader gericht op een veilige, veerkrachtige en duurzame voorziening van kritieke grondstoffen. Het stimuleert onder meer strategische projecten, diversificatie, efficiënt grondstoffengebruik en circulariteit en is daardoor rechtstreeks relevant voor lithium, nikkel, kobalt, grafiet en andere batterijmaterialen. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj?
- **Regulation (EU) 2024/1735, Net-Zero Industry Act.** Europees industrieel beleidskader om het Europese productie-ecosysteem voor net-zero technologieën te versterken. Relevant voor de roadmap vanwege de verbinding tussen innovatie, industriële productiecapaciteit, opschaling en Europese strategische autonomie. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1735/oj
- **Regulation (EU) 2024/1781, Ecodesign for Sustainable Products Regulation, ESPR.** Europees kader voor ecodesignvereisten rond onder meer levensduur, hergebruik, herstelbaarheid, resource-efficiëntie, gerecycleerde inhoud, recycleerbaarheid en milieu-impact. De verordening introduceert tevens het algemene kader voor het **Digital Product Passport**, waarop het batterijpaspoort technisch aansluit. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj
- **European Commission Joint Research Centre, work supporting implementation of the EU Batteries Regulation.** Wetenschappelijke en methodologische basis voor onder meer batterijprestaties en -veiligheid, carbon-footprintmethoden, circulariteit, grondstoffenstromen en recyclagetechnologie. Relevant als brug tussen Europese regelgeving en de technische beoordeling van duurzame batterij- en materiaalinnovatie. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-highlights-report-2024/batteries_en
- **Batteries Europe, European Technology & Innovation Platform and battery R&I roadmaps.** Europees platform dat industrie, onderzoek en beleidsactoren rond batterijonderzoek en innovatie verbindt. De werkzaamheden omvatten strategische R&I-agenda's, roadmaps en toepassingsgerichte KPI's voor onder meer transport, stationaire opslag en andere batterijtoepassingen. https://batt-bridge.eu/batteries-europe/

Bijlage B. Volledig visueel overzicht van de roadmap




vito
MATERINEX