

CODE VAN GOEDE PRAKTIJK (CVGP) VOOR TIJDELIJKE EN VERPLAATSBARE ELEKTRICITEITSVOORZIENING



Auteurs

Kristof Custers, Greet Janssens
Finale draft

Studie uitgevoerd door
het Vlaams Kenniscentrum
voor Beste Beschikbare Technieken (VITO)
in opdracht van het Vlaams Gewest

September 2026

Deze uitgave kwam tot stand in het kader van het project 'Vlaams kenniscentrum voor de Beste Beschikbare Technieken en bijhorend Energie en Milieu Informatie Systeem' (BBT/EMIS) van het Vlaams Gewest.

BBT/EMIS wordt begeleid door een stuurgroep met vertegenwoordigers van de Vlaamse ministers van het Departement Omgeving, het **Departement Werk, Economie**, Wetenschap, Innovatie en **Sociale Economie** (WEWIS), VLAIO, OVAM, VEKA, VLM, VMM en Departement Zorg.

Hoewel al het mogelijke gedaan is om de accuraatheid van de studie te waarborgen, kunnen noch de auteurs, noch VITO, noch het Vlaams Gewest aansprakelijk gesteld worden voor eventuele nadelige gevolgen bij het gebruik van deze studie. Specifieke vermeldingen van procédés, merknamen, enz. moeten steeds beschouwd worden als voorbeelden en betekenen geen beoordeling of engagement.

Voor enkele illustratieve hoofdstukbeelden en voor de grafische uitwerking van Figuren 1–7 werd generatieve AI gebruikt op basis van instructies van de auteurs. De technische inhoud, cijfers en labels van de figuren zijn door de auteurs bepaald en gecontroleerd; de hoofdstukbeelden zijn illustratief en geven geen bestaande installatie of locatie weer. Generatieve AI werd niet gebruikt als bron voor technische gegevens, regelgeving of conclusies. De inhoudelijke verantwoordelijkheid berust bij de auteurs.

VOOR VERDERE INFORMATIE KAN U TERECHT BIJ:

Vlaams BBT-kenniscentrum

VITO

Boeretang 200

B-2400 MOL

e-mail: bbt@vito.be

emis.vito.be/bbt

Alle rechten, waaronder het auteursrecht, op de informatie vermeld in dit document berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek NV ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. De informatie zoals verstrekt in dit document is vertrouwelijke informatie van VITO. Zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO mag dit document niet worden gereproduceerd of verspreid worden noch geheel of gedeeltelijk gebruikt worden voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin aangewend worden.

VOORWOORD EN POSITIONERING VAN DEZE CODE

In opdracht van de Vlaamse Regering heeft de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) in 1995 een kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken (BBT) opgericht. Het BBT-kenniscentrum inventariseert informatie over milieuvriendelijke technieken, evalueert per bedrijfstak de BBT en formuleert aanbevelingen naar de Vlaamse overheid en bedrijven. Normaal gesproken resulteert dit in sectorale BBT-studies die de best presterende én economisch haalbare technieken beschrijven.

Voor tijdelijke en verplaatsbare elektriciteitsvoorziening bleek een klassieke BBT-studie minder geschikt. Welke oplossing geschikt is, hangt sterk af van de context: de toepassing (bouw, evenement, noodstroom), de locatie (stedelijk, afgelegen...), de duur, de heterogeniteit van de energievraag en de beschikbare infrastructuur.

Daarom is in overleg met het Begeleidingscomité (BC) gekozen voor de vorm van een Code van Goede Praktijk (CvGP). De code behandelt, net als een BBT-studie, technologieën, milieuprestaties en kosten. Ze vertaalt die analyse naar praktische richtlijnen en een beslissingskader. De code helpt aannemers, organisatoren, verhuurders, leveranciers en overheden om per project een geschikte en veilige stroomvoorziening te kiezen, met aandacht voor kost, milieu-impact en betrouwbaarheid.

De code verduidelijkt wat in deze context onder goed vakmanschap kan worden verstaan. Ze kan daardoor ook dienen als technische basis voor beleid en regelgeving. Ze kan bijvoorbeeld worden gebruikt bij bijzondere voorwaarden in omgevingsvergunningen, criteria in overheidsopdrachten en bepalingen in lokale reglementen, zoals politiereglementen voor niet-vergunningsplichtige activiteiten.

Deze code kwam tot stand via literatuuronderzoek, bedrijfsbezoeken, en overleg binnen een BC met vertegenwoordigers van de relevante sectoren, technologieleveranciers en overheidsinstanties (zie Bijlage 1 voor details). De auteurs hebben de informatie zo zorgvuldig mogelijk samengesteld. VITO, de auteurs en het Vlaams Gewest kunnen echter niet aansprakelijk worden gesteld voor gevolgen van het gebruik van deze code. Vermeldingen van technieken, procédés of merknamen zijn voorbeelden en houden geen beoordeling of verbintenis in.

Deze Code van Goede Praktijk is bedoeld voor iedereen die tijdelijke elektriciteitsvoorziening plant, kiest, toepast of reguleert. Ze moet helpen om sneller te kiezen voor oplossingen met minder emissies, minder hinder en een lager energieverbruik waar dat technisch en economisch haalbaar is.

LEESWIJZER

Voor u ligt de Code van Goede Praktijk (CvGP) voor tijdelijke en verplaatsbare elektriciteitsvoorziening. Deze leeswijzer toont waar u de relevante informatie in het document vindt. Het document start met context en techniek, gaat daarna in op analyse, keuze en uitvoering, en sluit af met aanbevelingen voor de verdere verduurzaming.

Deze code is onderverdeeld in drie hoofddelen:

DEEL 1: KENNIS EN TECHNISCH KADER (Hoofdstukken 1 – 4) Dit deel bevat de achtergrond en het technisch kader:

- **Hoofdstuk 1: Over deze Code van Goede Praktijk** - beschrijft de aanleiding voor deze code, de doelstellingen, de maatschappelijke en milieu-uitdagingen die centraal staan, het toepassingsgebied en de belangrijkste definities.
- **Hoofdstuk 2: Juridisch en wettelijk kader** - geeft een overzicht van de relevante Europese en Vlaamse regelgeving die van toepassing is op tijdelijke energievoorziening, inclusief emissienormen (Stage V), de Vlaamse milieuregelgeving (VLAREM), elektrische veiligheid (AREI), geluidsvoorwaarden en de problematiek rond handhaving en rode diesel.
- **Hoofdstuk 3: Sectoranalyse: Bouwsector en evenementensector** - analyseert de specifieke kenmerken, operationele uitdagingen, typische energieprofielen en functionele behoeften van de belangrijkste doelgroepen (bouw en evenementen), alsook andere relevante toepassingen.
- **Hoofdstuk 4: Overzicht technieken en systemen** - beschrijft de beschikbare technologieën in technisch detail – van netaansluitingen en conventionele dieselgeneratoren tot batterijsystemen, waterstofoplossingen, alternatieve brandstoffen en geïntegreerde (hybride) energiesystemen – inclusief hun voor- en nadelen, economische aspecten, milieu-impact en veiligheidsoverwegingen.

DEEL 2: ANALYSE, KEUZE EN IMPLEMENTATIE (Hoofdstukken 5 – 8) Dit deel beschrijft hoe gebruikers de elektriciteitsbehoefte analyseren, een systeem kiezen en de gekozen oplossing uitvoeren:

- **Hoofdstuk 5: Elektriciteitsbehoefte-analyse en optimalisatie** - beschrijft methoden om de energiebehoefte van een project of activiteit nauwkeurig te analyseren (meten, schatten, profileren) en te optimaliseren aan de vraagzijde (bv. aanpak sluimerverbruik, planning, load shedding).
- **Hoofdstuk 6: Beslissingskader voor systeemkeuze** - geeft een beslissingskader voor de keuze van een tijdelijk energiesysteem. Het kader vertrekt van het 'grid first'-principe: eerst nagaan of een netaansluiting haalbaar is. Gebruikers vergelijken eerst de standaardopties. Als dat geen duidelijke keuze oplevert, kunnen ze een multicriteria-analyse gebruiken. Hiermee kan de gebruiker verschillende opties objectief vergelijken, rekening houdend met relevante criteria: technische haalbaarheid, economische proportionaliteit, milieu-impact, operationele aspecten en veiligheid.
- **Hoofdstuk 7: Praktische implementatierichtlijnen per technologie** - geeft concrete en praktische richtlijnen voor de fysieke implementatie, dimensionering, opstelling, veiligheid, onderhoud en buitengebruikstelling van de gekozen technologie, conform de geldende regelgeving.

- **Hoofdstuk 8: Praktijkvoorbeelden en beste praktijken** - toont met cases hoe de analyse, systeemkeuze en uitvoering in de praktijk kunnen verlopen, en distilleert hieruit generieke lessen en beste praktijken.

DEEL 3: NAAR EEN DUURZAME TOEKOMST (Hoofdstuk 9) Dit deel bespreekt hoe tijdelijke stroomvoorziening de komende jaren verder kan verduurzamen:

- **Hoofdstuk 9: Transitiepad naar een duurzame praktijk** - schetst een gefaseerd transitiepad (korte, middellange en lange termijn) voor de verduurzaming van tijdelijke elektriciteitsvoorziening en formuleert concrete aanbevelingen voor overheidsopdrachten en diverse stakeholders (eindgebruikers, opdrachtgevers, leveranciers, overheden, technologieontwikkelaars, sectorfederaties en netbeheerders).

Snel aan de slag

- Wie de elektriciteitsbehoefte wil bepalen of optimaliseren, start bij §5.2–§5.4.
- Wie tussen verschillende systemen moet kiezen, gebruikt Hoofdstuk 6. Voor eenvoudige projecten kan een gerichte screening volstaan; grotere of complexere projecten vragen een meer uitgewerkte afweging.
- Wie een gekozen systeem veilig en correct wil plaatsen en beheren, raadpleegt Hoofdstuk 7.
- Opdrachtgevers en overheden vinden richtlijnen voor bestekken, beleid en ondersteuning in Hoofdstuk 9.

SAMENVATTING

Tijdelijke en verplaatsbare elektriciteitsvoorziening in Vlaanderen steunt vandaag nog grotendeels op conventionele dieselgeneratoren. Dat leidt tot lokale luchtverontreiniging, geluids- en geurhinder en CO₂-uitstoot. Niet voor de weg bestemde mobiele machines (non-road mobile machinery, NRMM), waaronder generatoren, waren in 2018 goed voor circa 11% van de totale uitstoot van stikstofoxiden (NO_x) in Vlaanderen. Lokaal, met name in stedelijke omgevingen, kan de impact op de luchtkwaliteit groot zijn. De Europese Stage V-emissienormen hebben de emissieprestaties van nieuw op de markt gebrachte mobiele motoren sterk verbeterd. Een algemene Vlaamse gebruiksnorm die een minimale emissieklasse oplegt, bestaat evenwel niet. In de praktijk blijven de herkenning van de emissieklasse, de controle op contractuele of lokale Stage V-eisen en het opsporen van manipulatie of oneigenlijk gebruik belangrijke aandachtspunten.

Intussen zijn meer alternatieven beschikbaar. Netaansluitingen, batterijsystemen, hybride configuraties, alternatieve brandstoffen, waterstof en slimme sturing maken het vandaag al mogelijk om tijdelijke stroomvoorziening meer projectgericht, efficiënter en duurzamer in te richten.

Welke oplossing het meest geschikt is, hangt af van de projectduur, het vermogensprofiel, de locatie, de beschikbare netinfrastructuur, de betrouwbaarheidseisen en de randvoorwaarden voor veiligheid, milieu en kost. Deze Code van Goede Praktijk bundelt de technische en juridische context en vertaalt die naar een beslissingskader voor de praktijk.

De code gaat vooral over tijdelijke en verplaatsbare elektriciteitsvoorzieningen in de bouw- en evenementensector, maar is ook relevant voor ambulante handel, tijdelijke nutsvoorzieningen en noodsituaties. Ze is bedoeld voor aannemers, organisatoren, verhuur- en leveranciersbedrijven, overheden, veiligheidsadviseurs en netbeheerders.

Een goede systeemkeuze begint bij de analyse van de elektriciteitsbehoefte, niet bij de technologie. De eerste stap is het verbruiksprofiel bepalen, basislast en piekverbruik onderscheiden, kritische verbruikers identificeren en de vraag waar mogelijk beperken. Daarna volgt de systeemkeuze volgens het Grid First-principe: waar een netaansluiting haalbaar en proportioneel is, verdient die in principe de voorkeur. Als het net niet of slechts deels volstaat, worden batterijopslag, hybride systemen of generatoren afgewogen op basis van het belastingsprofiel, de omgevingscontext en de economische proportionaliteit. De diepgang van de afweging wordt afgestemd op de schaal, complexiteit en hindergevoeligheid van het project. Een multicriteria-analyse kan helpen bij complexere afwegingen, maar is geen verplichte stap.

Per technologie behandelt de code de technische kenmerken, voordelen en beperkingen, naast economische aspecten, milieu-impact, veiligheidsvereisten en toepasbaarheid. Daarnaast gaat ze in op het juridische en beleidsmatige kader, met aandacht voor Europese productnormen, Vlaamse milieu- en omgevingsregelgeving, het Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties (AREI), brandveiligheid en bestaande knelpunten in handhaving en rechtszekerheid.

De code bevat ook implementatierichtlijnen, praktijkvoorbeelden, een compacte beslisboom en een transitiepad. Zo kan ze helpen om tijdelijke elektriciteitsvoorziening in Vlaanderen consistent te plannen, te beoordelen en uit te voeren.

ABSTRACT

Temporary and mobile electricity supply in Flanders still relies largely on conventional diesel generators. This causes local air pollution, noise and odour nuisance, and CO₂ emissions. Non-road mobile machinery (NRMM), including generators, accounted for approximately 11% of total nitrogen oxide (NO_x) emissions in Flanders in 2018. Locally, particularly in urban environments, the impact on air quality can be considerable. The European Stage V emission standards have substantially improved the emission performance of newly marketed engines for mobile machinery. However, there is no general Flemish in-use requirement imposing a minimum emission stage. In practice, identifying the emission stage, checking compliance with contractual or local Stage V requirements, and detecting tampering or misuse remain important considerations.

At the same time, more alternatives are becoming available. Grid connections, battery systems, hybrid configurations, alternative fuels, hydrogen and smart energy management already make it possible to design temporary power supply in a more project-specific, efficient and sustainable way.

The most suitable solution depends on the project duration, power demand profile, location, available grid infrastructure, reliability requirements and constraints regarding safety, environment and cost. This Code of Good Practice combines the technical and legal context and translates it into a practical decision-making framework.

The code is primarily aimed at temporary and mobile electricity supply in the construction and events sectors, but is also relevant for street trading, temporary utility services and emergency situations. It is intended for contractors, event organisers, rental and supply companies, public authorities, safety advisers and distribution system operators.

A sound system choice starts with the analysis of electricity demand, not with the technology. The first step is to establish the consumption profile, distinguish between base load and peak demand, identify critical loads and reduce demand where possible. System selection then follows the Grid First principle: where a grid connection is feasible and proportionate, it is in principle the preferred option. Where the grid cannot meet all or part of the demand, battery storage, hybrid systems or generators are assessed against the load profile, site context and economic proportionality. The depth of the assessment is proportionate to the project's scale, complexity and sensitivity to nuisance. A multicriteria analysis can support more complex assessments but is not a mandatory step.

For each technology, the code addresses technical characteristics, advantages and limitations, economic aspects, environmental impact, safety requirements and applicability. It also covers the legal and policy framework, including European product standards, Flemish environmental and planning regulations, the General Regulations on Electrical Installations (AREI), fire safety, and existing bottlenecks in enforcement and legal certainty.

The code also includes implementation guidelines, practical examples, a compact decision tree and a transition pathway. It can help users plan, assess and implement temporary electricity supply in Flanders more consistently.

INHOUD

DEEL 1: KENNIS EN TECHNISCH KADER	1
HOOFDSTUK 1. OVER DEZE CODE VAN GOEDE PRAKTIJK.....	3
1.1 Achtergrond, uitdagingen en keuze voor deze code	3
1.2 Doelstellingen van de Code	4
1.3 Maatschappelijke en milieu-uitdagingen.....	5
1.3.1 Luchtkwaliteit en gezondheidsimpact.....	5
1.3.2 Klimaatimpact en broeikasgasemissies	5
1.3.3 Geluid- en geurhinder in stedelijke omgevingen	6
1.3.4 Opportuniteiten voor verduurzaming en energietransitie	6
1.4 Toepassingsgebied en scope.....	6
1.4.1 Afbakening “tijdelijk” en “verplaatsbaar”	6
1.4.2 Sectoren in scope	7
1.4.3 Doelgroepen	7
1.5 Definities en terminologie	8
HOOFDSTUK 2. JURIDISCH EN WETTELIJK KADER	12
2.1 Europees kader: productnormen voor emissies (NRMM & Stage V)	12
2.1.1 Productnormen voor luchtmissies: NRMM & Stage V	12
2.1.2 Productnormen voor geluid: Outdoor Equipment Noise Directive.....	14
2.1.3 Markttoelating en markttoezicht (Verord. (EU) 2019/1020)	14
2.1.4 EU Batterijverordening (EU 2023/1542)	14
2.1.5 Regelgeving Gevaarlijke Goederen: ADR-Kader	14
2.2 Federaal kader: Veiligheid, fiscaliteit en toezicht.....	15
2.2.1 Het algemeen reglement op de elektrische installaties (AREI)	15
2.2.2 Arbeidsveiligheid: Codex Welzijn op het Werk en ATEX	15
2.2.3 Impact fiscaal beleid op milieu: de rol van rode diesel	16
2.2.4 Markttoezicht en handhaving van productconformiteit (FOD Economie).....	16
2.3 Vlaams kader: milieu- en omgevingsregelgeving	17
2.3.1 VLAREM II: Relevante rubrieken en indelingsplicht	17
2.3.2 VLAREM II: Geluidsvoorwaarden voor de omgeving.....	19
2.3.3 VLAREM II: Opslag van brandstoffen.....	20
2.3.4 ADR-implementatie en transportveiligheid	20
2.3.5 Handhaving en milieutoezicht: gewestelijke en lokale actoren.....	20
2.3.6 Rol lokale besturen, politiezones en hulpverleningszones	21
2.3.7 Voorbeelden van Vlaamse steden en gemeenten	22
2.4 Vergelijking met andere EU-lidstaten.....	22
2.4.1 Transitie naar emissiearm en emissievrij materieel.....	22
2.4.2 Verenigd Koninkrijk: LEZ in Londen voor NRMM	24
2.4.3 Financiële stimulansen en fiscale maatregelen.....	24
2.5 Samenvatting	27
HOOFDSTUK 3. SECTORANALYSE: BOUW-, EVENEMENTENSECTOR EN OVERIGE TOEPASSINGEN	29
3.1 Bouwsector	30
3.1.1 Algemeen overzicht en karakterisering van de activiteiten	30
3.1.2 Operationele uitdagingen.....	32

3.1.3	Functionele behoeften	33
3.1.4	Socio-economische factoren	33
3.2	Evenementensector	36
3.2.1	Algemeen overzicht en karakterisering van de activiteiten	37
3.2.2	Operationele uitdagingen.....	38
3.2.3	Functionele behoeften	39
3.2.4	Socio-economische factoren	40
3.3	Andere sectoren en toepassingen	43
3.3.1	Ambulante handel en markten.....	43
3.3.2	Kermissen en attracties	44
3.3.3	Media- en filmsector	44
3.3.4	Tijdelijke nutsvoorziening en noodsituaties.....	44
3.3.5	Tijdelijke huisvesting en zorginstellingen.....	44
3.3.6	Landelijke en agrarische toepassingen.....	45
3.3.7	Mobiele laadinfrastructuur	45
3.3.8	Terreinverlichting: hybride masten	45
3.4	Samenvatting	46
HOOFDSTUK 4. OVERZICHT TECHNIEKEN EN SYSTEMEN.....		49
4.1	Netstroom via tijdelijke aansluiting	49
4.1.1	Technische kenmerken.....	49
4.1.2	Voordelen	52
4.1.3	Beperkingen en aandachtspunten	52
4.1.4	Economische aspecten	53
4.1.5	Milieu-impact	53
4.1.6	Veiligheidsaspecten	54
4.1.7	Conclusie.....	55
4.2	Conventionele dieselgeneratoren	56
4.2.1	Technische kenmerken.....	56
4.2.2	Voordelen	59
4.2.3	Beperkingen en aandachtspunten	60
4.2.4	Economische aspecten	63
4.2.5	Milieu-impact	66
4.2.6	Veiligheidsaspecten	69
4.2.7	Conclusie.....	70
4.3	Batterij- of accusystemen (BESS)	70
4.3.1	Technische kenmerken.....	70
4.3.2	Voordelen	72
4.3.3	Beperkingen en aandachtspunten	73
4.3.4	Economische aspecten	73
4.3.5	Milieu-impact	74
4.3.6	Veiligheidsaspecten	75
4.3.7	Conclusie.....	76
4.4	Waterstof als energiedrager	76
4.4.1	Technische werking en kenmerken	77
4.4.2	Voordelen	78
4.4.3	Beperkingen en aandachtspunten	78
4.4.4	Economische aspecten	79
4.4.5	Milieu-impact	80
4.4.6	Veiligheidsaspecten	82

4.4.7	Conclusie.....	83
4.5	Alternatieve brandstoffen	83
4.5.1	Alternatieve vloeibare brandstoffen voor dieselmotoren	83
4.5.2	Biogas en andere gastechnologieën.....	86
4.5.3	Mierenzuur (hydrozine-technologie)	87
4.5.4	Methanoltechnologie	88
4.5.5	Conclusie.....	89
4.6	Hernieuwbare energie	89
4.6.1	Zonne-energie (directe toepassing op locatie).....	89
4.6.2	Windenergie (tijdelijke toepassing).....	90
4.6.3	Andere hernieuwbare opties.....	91
4.6.4	Conclusie.....	91
4.7	Geïntegreerde energiesystemen: hybrides, microgrids en slimme sturing.....	91
4.7.1	Definities en basisconcepten.....	91
4.7.2	Kerncomponenten.....	94
4.7.3	Operationele strategieën en functionaliteiten.....	94
4.7.4	Voordelen van geïntegreerde systemen	98
4.7.5	Uitdagingen en beperkingen	99
4.7.6	TCO- en LCA-overwegingen	99
4.7.7	Conclusie.....	100
4.8	Vergelijkende evaluatie en toekomstige ontwikkelingen.....	101
4.8.1	Prestatiematrix van beschikbare systemen.....	101
4.8.2	Vooruitblik: relevante ontwikkelingen op korte termijn.....	105
4.9	Conclusie	106
DEEL 2: ANALYSE, KEUZE EN IMPLEMENTATIE		107
HOOFDSTUK 5. ELEKTRICITEITSBEHOEFTE-ANALYSE EN OPTIMALISATIE		109
5.1	Inleiding en positionering	109
5.2	Verbruiksanalyse.....	110
5.2.1	Praktische methoden voor verbruiksanalyse	110
5.2.2	Analyse van piekvermogen, basislast en kritikaliteit.....	112
5.2.3	Invultabel verbruiksanalyse	113
5.3	Optimalisatietechnieken.....	114
5.3.1	Aanpak sluimerverbruik	114
5.3.2	Werktijden en planning afstemmen.....	115
5.3.3	Gecontroleerde load shedding	116
5.3.4	Quick wins: eenvoudige energiebesparende maatregelen	116
5.3.5	Energiezonering.....	117
5.3.6	Bewustmaking gebruikers	121
5.4	Checklist verbruiksanalyse en optimalisatie	121
5.5	Sectorspecifieke benaderingen in analyse en optimalisatie.....	122
5.5.1	Bouwprojecten	122
5.5.2	Evenementen.....	122
5.5.3	Andere toepassingen.....	123
5.6	Conclusie	124
HOOFDSTUK 6. BESLISSINGSKADER VOOR SYSTEEMKEUZE		127
6.1	Uitgangspunten en toepassingsgebied.....	127

6.1.1	Doel van dit hoofdstuk	128
6.1.2	Benodigde input uit Hoofdstuk 5	129
6.1.3	Structuur van het beslissingskader	130
6.1.4	Documentatie en verantwoording	132
6.2	Is een netaansluiting haalbaar?	135
6.2.1	Twee vormen van netgebruik	135
6.2.2	Screening op basis van Distributienetbeheerder (DNB)-informatie	136
6.2.3	Spanningsniveau en doorlooptijd	137
6.2.4	Wanneer is een nieuwe tijdelijke aansluiting proportioneel?	137
6.2.5	Factoren die de haalbaarheid bepalen	138
6.2.6	Uitkomst: verder met netgebaseerd of off-grid (§6.3/6.4)	138
6.3	Netgebaseerde systemen	139
6.3.1	Optie A: net only – volledige netvoeding	139
6.3.2	Optie B: net + batterij – hybride energieopslagsysteem	141
6.3.3	Optie C: net + generator – hybride met fossiele back-up / peak shaving	145
6.3.4	Optie D: net + generator + batterij (tri-hybride)	147
6.3.5	Als geen enkele netgebaseerde optie voldoet	148
6.4	Off-grid systemen	149
6.4.1	Standalone batterij	150
6.4.2	Standalone generator	151
6.4.3	Batterij + generator	153
6.5	Redundantie-eis (continuïteit en betrouwbaarheid)	156
6.6	Multicriteria-analyse	158
6.7	Conclusie	161
HOOFDSTUK 7. PRAKTISCHE IMPLEMENTATIERICHTLIJNEN		164
7.1	Inleiding en positionering	164
7.2	Algemene richtlijnen voor technische implementatie en beheer	164
7.2.1	Planning, fysieke opstelling en omgevingsaspecten	164
7.2.2	Elektrische installatie, distributie en keuring	165
7.2.3	Operationeel beheer, flexibiliteit en monitoring	165
7.2.4	Veiligheidsprincipes en risicobeheer	166
7.2.5	Levenscyclusbeheer: onderhoud en buitengebruikstelling	167
7.3	Implementatierichtlijnen per technologie	167
7.3.1	Netaansluiting	167
7.3.2	Dieselgeneratoren	168
7.3.3	Batterijsystemen	170
7.3.4	Waterstofsysteem (FC & H ₂ -ICE)	172
7.3.5	Geïntegreerde systemen (hybride / microgrids)	173
7.3.6	Andere technologieën (biogas, mierenzuur, etc.)	174
7.4	Conclusie	175
HOOFDSTUK 8. PRAKTIJKVOORBEELDEN EN BESTE PRAKTIJKEN		178
8.1	Inleiding en leeswijzer voor de casestudies	178
8.2	Casestudie: Analyse en optimalisatie van energiebehoefte op een bouwproject	180
8.3	Praktijkvoorbeelden in de bouwsector	182
8.3.1	Hybride systeem voor torenkranen – Royerssluis Antwerpen	182
8.3.2	Bouwwerf met hybride optimalisatie van een inefficiënt ingezette generator	183

8.3.3	Mobiel laadplein voor elektrisch bouw materieel	184
8.3.4	Tijdelijk woonpark met microgrid	186
8.3.5	Biogaslogistiek voor bouwplaatsen (Nederland).....	187
8.3.6	H ₂ -ICE aangedreven asfalmachine	188
8.3.7	Geoptimaliseerde werfvoeding met 'tri-hybride' systeem	190
8.4	Praktijkvoorbeelden in de evenementensector	193
8.4.1	Boomtown Festival - energiemonitoring en optimalisatie.....	193
8.4.2	Waterstofgeneratoren voor evenement (Nederland Festival)	195
8.4.3	Broadcasting bij grote evenementen	197
8.4.4	Gecentraliseerde energievoorziening voor een foodtruckfestival (fictief)	198
8.4.5	HVO-inzet op een groot festival (Pukkelpop)	199
8.5	Generieke lessen en beste praktijken uit het veld	201
8.5.1	Analyse en dimensionering	201
8.5.2	Besluitvorming en technologiekeuze	201
8.5.3	Lokale sturing en aanbestedingspraktijk	201
8.5.4	Sturing en integratie	202
8.5.5	Veiligheid en aanvaarding van nieuwe technologieën.....	202
DEEL 3: NAAR EEN DUURZAME TOEKOMST		203
HOOFDSTUK 9. TRANSITIEPAD NAAR EEN DUURZAME PRAKTIJK		205
9.1	Richtlijnen voor overheidsopdrachten	206
9.1.1	Kader voor duurzame aanbestedingen	206
9.1.2	Minimale eisen en technische selectiecriteria	207
9.1.3	Gunningscriteria en evaluatiemethoden.....	209
9.1.4	Monitorings- en verificatieprotocollen (grote projecten).....	211
9.1.5	Voorbeeldclausules voor bestekken (indicatief)	212
9.2	Transitiepad naar duurzamere oplossingen	214
9.2.1	Korte termijn (nu - 3 jaar).....	214
9.2.2	Middellange termijn (3-7 jaar)	216
9.2.3	Lange termijn (7+ jaar)	219
9.3	Stakeholder-specifieke aanbevelingen	221
9.3.1	Eindgebruikers (aannemers, eventorganisatoren, enz.)	221
9.3.2	Opdrachtgevers (publiek en privaat).....	222
9.3.3	Leveranciers en verhuurbedrijven.....	222
9.3.4	Overheden en vergunningverleners.....	223
9.3.5	Technologieontwikkelaars en onderzoekers.....	225
9.3.6	Sectorfederaties	226
9.3.7	Netbeheerders.....	226
BIJLAGE 1: MEDEWERKERS VAN DE CODE VAN GOEDE PRAKTIJK		228
BIJLAGE 2: SUBSIDIES EN FINANCIËLE STIMULANSEN		230
BIJLAGE 3: MULTICRITERIA-ANALYSE		232
Stap 1 - Shortlist bepalen		233
Stap 2 - Voorlopige dimensionering per geselecteerde optie		240
Stap 3 - Dataverzameling		241
Stap 4 - Evaluatiecriteria		244
Stap 5 - Gewogen eindafweging		254
Stap 6 - Selectie en documentatie van de finale keuze		256
BIJLAGE 4: COMPACTE BESLISBOOM		257

BIJLAGE 5: FINALE OPMERKINGEN	262
BIBLIOGRAFIE.....	263

DRAFT

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Indicatieve EU Emissiegrenswaarden voor NRMM dieselmotoren gebruikt in generatoren (g/kWh) <i>Bron: Gebaseerd op Verordening (EU) 2016/1628 en gerelateerde documentatie. Exacte waarden kunnen per subcategorie licht verschillen.</i>	13
Tabel 2: Vergelijking van brandstofaccijnzen in buurlanden	25
Tabel 3: Wegwijzer: welke regelgeving bij welke context	28
Tabel 4: Samenvatting kenmerken van bouwprojecten met inzet van generatoren	35
Tabel 5: Samenvatting kenmerken in de evenementensector	41
Tabel 6: Vergelijkende positionering van beslissingsparameters per sector	46
Tabel 7: Indicatieve kenmerken tijdelijke Fluvius-aansluiting per vermogensklasse (Prijspeil 2025, excl. btw) (Fluvius, 2025) (Fluvius, 2025)	51
Tabel 8: Belangrijkste technische verschillen tussen Stage IIIA en Stage V	57
Tabel 9: Indicatief specifiek brandstofverbruik dieselgenerator per belastinggraad (Bron: gebaseerd op representatieve data van fabrikanten)	61
Tabel 10: Richtprijzen aankoop dieselgeneratoren (indicatief, prijspeil 2024–2025, excl. btw. Bron: leveranciersinformatie en bedrijfsbezoeken, 2024–2025)	64
Tabel 11: Totale kosten per geleverde kWh (indicatief; brandstof + onderhoud + logistiek, excl. CAPEX-afschrijving)	66
Tabel 12: Uitstoot van luchtverontreinigende stoffen van Stage IIIA vs Stage V	67
Tabel 13: Indicatieve kostprijsranges voor waterstof (European Hydrogen Observatory, 2024)	80
Tabel 14: Indicatieve efficiëntie van de waterstofketen (Power-to-H ₂ -to-Power)	82
Tabel 15: Indicatieve kost per geleverde kWh	99
Tabel 16: Vergelijkend overzicht van hoofdkenmerken voor tijdelijke elektriciteitsvoorzieningen	102
Tabel 17: Positionering van Hoofdstuk 5 in de methodische aanpak van Deel 2	109
Tabel 18: Invultabel voor verbruiksanalyse, optimalisatie en systeemkeuze	113
Tabel 19: Grootverbruikers bij standaard bouwprojecten	122
Tabel 20: Typische fases en energieprofielen bij evenementen	123
Tabel 21: Positionering van Hoofdstuk 6 in de beslissingsflow	129
Tabel 22: Typische toepassingen en richtinggevend eerst te toetsen systeemopties	133
Tabel 23: Vergelijking standalone generator versus batterij + generator	155
Tabel 24: Indicatieve wegingsvoorbeelden bij een MCA	159
Tabel 25: Positionering van Hoofdstuk 7 in de beslissingsflow	164
Tabel 26: Overzicht van de verschillende casestudies	178
Tabel 27: Indicatieve MCA-scores tri-hybride case (illustratief)	192

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Illustratief schema van een microgrid.....	93
Figuur 2: Illustratie van het peak-shavingconcept	95
Figuur 3: Illustratie van het 'generator cycling' concept.....	96
Figuur 4: Illustratie van het 'load sharing' tussen bronnen	97
Figuur 5: Illustratie van het 'load shedding' principe.....	98
Figuur 6: Illustratie van energiezonering op een grote, energie-intensieve bouwwerf (cijfers en zones zijn indicatief)	118
Figuur 7: Illustratie van energiezonering voor de Royerssluis-werf.....	120
Figuur 8: Stappenplan voor het doorlopen van het beslissingskader	132

DRAFT

LIJST VAN AFKORTINGEN

AC Alternating Current (Wisselstroom)

ADEME Agence de la transition écologique

ADR Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (Europees Verdrag betreffende het internationaal vervoer van gevaarlijke goederen over de weg)

AREI Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties

ATEX ATmosphères EXplosibles (Europese richtlijnen voor explosieveilige apparatuur en werkplekken)

BC Begeleidingscomité

BESS Battery Energy Storage System

BMS Battery Management System

CAPEX CAPital EXpenditure (Investeringskosten)

CCS Carbon Capture and Storage (CO₂-afvang en -opslag)

CCU Carbon Capture and Utilisation (CO₂-afvang en -gebruik)

CE Conformité Européenne (Europese Conformiteit)

CFPP Cold Filter Plugging Point (Koudestollingspunt; maat voor laagtemperatuurgedrag van diesel)

CNG Compressed Natural Gas (Gecomprimeerd Aardgas)

CSF Critical Success Factor (Kritische Succesfactor)

CvGP Code van Goede Praktijk

DABM Decreet Algemene Bepalingen Milieubeleid

DC Direct Current (Gelijkstroom)

DEF Diesel Exhaust Fluid (Andere naam voor AdBlue®)

DER Distributed Energy Resources (Gedecentraliseerde energiebronnen)

DNB Distributienetbeheerder

DoD Depth of Discharge (Ontladingdiepte batterij)

DOC Diesel Oxidation Catalyst (Diesel Oxidatie Katalysator)

DPF Diesel Particulate Filter (Diesel Roetfilter)

DSO Distribution System Operator (Distributienetbeheerder; Engelse equivalent van DNB)

EaaS Energy-as-a-Service

EHS Environment, Health, and Safety (Milieu, Gezondheid en Veiligheid)

EMS Energy Management System

EN Europese Norm (European Standard)

EPD Environmental Product Declaration

ESD Emergency Shutdown (Noodstop)

EVD Explosieveiligheidsdocument

EV Electric Vehicle (Elektrisch Voertuig)

FAME Fatty Acid Methyl Esters (Type biodiesel)

FC Fuel Cell (Brandstofcel)

GNR Gazole Non Routier (niet voor de weg bestemde gasolie; Frans equivalent van rode diesel)

GTL Gas-To-Liquid (Synthetische diesel uit aardgas)

GWG Grond-, Weg- en Waterbouw

H₂ Waterstof(gas)

H₂-ICE Hydrogen Internal Combustion Engine (Waterstof Verbrandingsmotor)

HAZOP HAZard and OPerability study (Risicoanalyse techniek)

HC Hydrocarbons (Koolwaterstoffen)

HCOOH Mierenzuur

HS Hoogspanning

HVAC Heating, Ventilation, and Air Conditioning

HVO Hydrotreated Vegetable Oil (Type hernieuwbare diesel)

IEC International Electrotechnical Commission

ILUC Indirect Land Use Change (Indirecte landgebruiksverandering)

IMFC Indirect Methanol Fuel Cell

IP Ingress Protection (Beschermingsklasse tegen stof en water)

IPCEI Important Project of Common European Interest

ISCC International Sustainability and Carbon Certification

ISO International Organization for Standardization

LCA Life Cycle Assessment (Levenscyclusanalyse)

LCC	Life Cycle Costing
LED	Light Emitting Diode
LEL	Lower Explosive Limit (Onderste explosiegrens)
LEZ	Lage-EmissieZone
LFP	Lithium-ijzerfosfaat (Lithium Iron Phosphate - batterijchemie)
LHV	Lower Heating Value (Onderste verbrandingswaarde)
Li-ion	Lithium-ion (batterijtechnologie)
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier (Vloeibare organische waterstofdrager)
LOTO	Lockout-Tagout (Veiligheidsprocedure bij onderhoud)
LPG	Liquefied Petroleum Gas
LS	Laagspanning
MCA	Multicriteria-analyse
MKI	Milieukostenindicator
MS	Middenspanning
MTBF	Mean Time Between Failures (Gemiddelde tijd tussen storingen)
MV	Medium Voltage (Middenspanning)
N+1	Redundantieconfiguratie (één extra unit dan nodig)
NCA	Nikkel Kobalt Aluminium (batterijchemie)
NMC	Nikkel-mangaan-kobalt (batterijchemie)
NOx	Stikstofoxiden
NRMM	Non-Road Mobile Machinery (Niet voor de weg bestemde mobiele machines)
NRTC	Non-Road Transient Cycle (Emissietestcyclus)
OB-van	Outside Broadcasting van (Regiewagen)
OPEX	OPERational EXpenditure (Operationele kosten)
PAS	Programmatistische Aanpak Stikstof
PBM	Persoonlijk BeschermingsMiddel
PED	Pressure Equipment Directive (Richtlijn Drukapparatuur)
PEM	Proton Exchange Membrane / Polymer Electrolyte Membrane (Type brandstofcel/elektrolyser)

PEMS	Portable Emissions Measurement System
PGS	Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (Nederlandse richtlijn)
PM	Particulate Matter (Fijnstof, massa)
PN	Particle Number (Aantal fijnstofdeeltjes)
PV	Photovoltaic (Zonne-energie)
RCD	Residual Current Device (Differentieelschakelaar/Verliesstroomschakelaar)
RED	Renewable Energy Directive (EU Richtlijn Hernieuwbare Energie)
REI	Résistance (Stabiliteit), Étanchéité (Vlamdichtheid), Isolation (Isolatie) - Brandweerstand classificatie
RGIE	Règlement Général sur les Installations Électriques (Franse benaming AREI)
RSB	Roundtable on Sustainable Biomaterials (duurzaamheidscertificering voor biomassa en biobrandstoffen)
RTE	Round-Trip Efficiency (Efficiëntie van opslagcyclus)
RWE	Real World Emissions (Emissies in praktijkomstandigheden)
RWZI	RioolwaterzuiveringsInstallatie
SAIDI	System Average Interruption Duration Index (Gemiddelde onderbrekingsduur net)
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index (Gemiddelde onderbrekingsfrequentie net)
SAT	Site Acceptance Test
SBZ-H	Speciale Beschermingszone conform de Habitatrichtlijn
SCR	Selective Catalytic Reduction (NOx-nabehandelingstechnologie)
SCRF	Selective Catalytic Reduction on Filter (gecombineerd roetfilter met SCR-nabehandeling)
SDS	Safety Data Sheet (Veiligheidsinformatieblad)
SEB	Schoon en Emissieloos Bouwen (Nederlands programma voor emissieloos bouwen)
SMR	Steam Methane Reforming (Productiemethode waterstof)
SoC	State of Charge (Laadtoestand batterij)
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell (Type brandstofcel)
SoH	State of Health (Gezondheidstoestand batterij)
SOx	Zwaveloxiden
SPUK-SEB	Regeling stimulering Schoon en Emissieloos Bouwen voor medeoverheden (Nederland)

SSEB Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel (Nederland)

TCO Total Cost of Ownership (Totale eigendomskosten)

TRL Technology Readiness Level

TTW Tank-to-Wheel (Energie/emissies van tank tot gebruik)

UPS Uninterruptible Power Supply (Noodstroomvoeding)

VEKA Vlaams Energie- en Klimaatagentschap

VEN Vlaams Ecologisch Netwerk

VFD Variable Frequency Drive (Frequentieregelaar)

VIB Veiligheidsinformatieblad (Nederlandse term voor SDS)

VLAREM Besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne (titel II)

VLIF Vlaams Landbouwinvesteringsfonds

VRFB Vanadium Redox Flow Battery

VZW Vereniging Zonder Winstoogmerk

WTT Well-to-Tank (Energie/emissies van bron tot tank)

WtW Well-to-Wheel (Energie/emissies van bron tot gebruik)

LIJST VAN SYMBOLEN

A Ampère (Elektrische stroom)

Ah Ampère-uur (Elektrische lading/batterijcapaciteit)

bar Bar (Druk)

°C Graden Celsius (Temperatuur)

CO₂ Koolstofdioxide

dB(A) Decibel (A-gewogen, geluidsdruk)

g Gram (Massa)

Hz Hertz (Frequentie)

J Joule (Energie)

kg Kilogram (Massa)

kV Kilovolt (Elektrische spanning)

kVA Kilovoltampère (Schijnbaar vermogen)

kW Kilowatt (Actief vermogen)

kWe Kilowatt elektrisch (Effectief elektrisch vermogen)

kWh Kilowattuur (Energie)

kWp Kilowatt-piek (Piekvermogen zonnepanelen)

kWth Kilowatt thermisch (Thermisch ingangsvermogen)

L Liter (Volume)

L_{WA} Geluidsvermogensniveau (Sound Power Level)

m Meter (Afstand)

m³ Kubieke meter (Volume)

mm Millimeter

MJ Megajoule (Energie)

MW Megawatt (Vermogen)

MVA Megavoltampère (Schijnbaar vermogen)

MWh Megawattuur (Energie)

ppm Parts per million (Concentratie)

V Volt (Elektrische spanning)

W Watt (Vermogen)

DRAFT

DEEL 1: KENNIS EN TECHNISCH KADER

Deel 1 beschrijft de context van tijdelijke elektriciteitsvoorziening. Het behandelt de maatschappelijke en wettelijke aandachtspunten, zoals luchtkwaliteit en geluidshinder, analyseert de specifieke noden binnen de bouw- en evenementensector, en geeft een overzicht van de momenteel beschikbare technologische oplossingen. Samen maken deze hoofdstukken duidelijk waarom verduurzaming nodig is en welke technische opties vandaag beschikbaar zijn.

- **Hoofdstuk 1** licht de doelstellingen van deze code toe en schetst de maatschappelijke motieven die aan de basis liggen van de noodzakelijke veranderingen.
- **Hoofdstuk 2** beschrijft het juridische kader, met Europese emissienormen, Vlaamse regelgeving, handhaving en fiscale prikkels zoals rode diesel.
- **Hoofdstuk 3** analyseert hoe de bouw- en evenementensector (alook andere relevante toepassingsgebieden) omgaan met hun specifieke energiebehoeften en de bijhorende uitdagingen.
- **Hoofdstuk 4** vergelijkt de relevante technieken en systemen: van conventionele dieselgeneratoren en netaansluitingen tot hybride systemen en waterstofoplossingen.

HOOFDSTUK 1. OVER DEZE CODE VAN GOEDE PRAKTIJK



HOOFDSTUK 1. OVER DEZE CODE VAN GOEDE PRAKTIJK

1.1 ACHTERGROND, UITDAGINGEN EN KEUZE VOOR DEZE CODE

Bouwprojecten, evenementen, marktkramen en noodsituaties hebben stroom nodig op locaties waar het vaste net niet of nog niet volstaat. Daarvoor wordt een tijdelijke elektriciteitsvoorziening ingezet.

Vandaag worden hiervoor nog vaak dieselgeneratoren gebruikt. Stage IIIA-generatoren, geproduceerd tussen circa 2007 en 2019 en zonder geavanceerde nabehandelingssystemen zoals roetfilters, maken in 2026 nog een groot deel uit van het machinepark in de Vlaamse bouw- en evenementensector. Door de lange technische levensduur van dit type materieel (15-25 jaar) verloopt de vlootvernieuwing naar Stage V geleidelijk (zie §4.2.3 voor verdere analyse). Het gebruik ervan wordt steeds vaker in vraag gesteld door luchtvervuiling (zie §1.3.1), broeikasgasemissies (zie §1.3.2) en geluidshinder (zie §1.3.3).

Drie ontwikkelingen vergroten de druk om alternatieven met lagere emissies te gebruiken: de Europese productnormen (Stage V, aangescherpte emissiegrenzen voor niet voor de weg bestemde mobiele machines (NRMM)), klimaatdoelstellingen op Europees en Vlaams niveau, en toenemende aandacht voor luchtkwaliteit en hinder in stedelijke contexten. In Vlaanderen leidt die druk vandaag vooral tot indirecte sturing, bijvoorbeeld via bestekken, vergunningen of lokale voorwaarden, eerder dan tot algemene gebruiksverplichtingen.

Bij noodsituaties en calamiteiten wegen continuïteit en veiligheid tijdelijk zwaarder dan milieuoverwegingen. Een betrouwbare stroomvoorziening blijft dan de prioriteit.

Binnen de sector groeit de vraag naar duurzamere oplossingen. Die omschakeling is niet eenvoudig: het benodigde vermogen, de gebruiksduur en het verbruiksprofiel verschillen van project tot project, terwijl locatie, veiligheidseisen, infrastructuur en kostprijs bepalen welke oplossing technisch haalbaar is.

Beleid, opdrachtgevers en omwonenden besteden steeds meer aandacht aan luchtkwaliteit, klimaatimpact en geluidshinder. Dat vergroot de behoefte aan duidelijke richtlijnen voor de keuze en toepassing van tijdelijke elektriciteitsvoorzieningen. Deze Code van Goede Praktijk biedt daarvoor een praktisch kader.

De code helpt gebruikers om per project een passende stroomvoorziening te kiezen en correct te gebruiken. De code houdt rekening met technische prestaties, economische aspecten (zoals Total Cost of Ownership, TCO), milieutechnische overwegingen (emissies, geluid, efficiëntie) en veiligheid. Het doel is dat gebruikers hun keuze kunnen motiveren op basis van vermogen, gebruiksduur, kost, emissies, geluid en veiligheid. Dit sluit aan bij de vragen die tijdens bedrijfsbezoeken en overlegmomenten naar voren kwamen. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

De code signaleert drie structurele knelpunten. Ten eerste worden veel generatoren bij bouw-, sloop- en wegeniswerken door de uitzonderingen in de VLAREM-indelingslijst niet via een afzonderlijke rubriek beoordeeld. Ten tweede bestaat geen algemene Vlaamse gebruiksnorm die voor bestaand materieel een minimale emissieklasse voorschrijft; waar Stage V wel contractueel of lokaal wordt geëist, is de controle niet systematisch georganiseerd. Ten derde beïnvloedt het fiscale voordeel voor rode diesel de economische verhouding tussen conventionele generatoren en alternatieve systemen. De CvGP lost deze knelpunten niet juridisch op, maar kan binnen het bestaande kader technisch houvast bieden. Iedere toepassing in vergunningen, reglementen of bestekken vereist een passende rechtsgrond en een projectspecifieke, proportionele motivering.

1.2 DOELSTELLINGEN VAN DE CODE

Dit document is opgesteld als een Code van Goede Praktijk. Titel II van het VLAREM (art. 1.1.2) omschrijft een code van goede praktijk als: *"geschreven en publiek toegankelijke regels met betrekking tot de bouw, het transport, het plaatsen, het uitbaten, het onderhouden en het eventueel ontmantelen van een inrichting of een onderdeel ervan, met inbegrip van de toepasselijke productnormen en de bij de betrokken beroepscategorieën algemeen aanvaarde regels van goed vakmanschap."*

Een CvGP is niet rechtstreeks wettelijk bindend. De code vervangt geen bestaande regelgeving (VLAREM, Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties (AREI), Europees Verdrag betreffende het internationaal vervoer van gevaarlijke goederen over de weg (ADR)) en wijzigt die verplichtingen evenmin. Vergunningverleners en opdrachtgevers kunnen de code wel gebruiken om het begrip 'regels van goed vakmanschap' concreet in te vullen, bijvoorbeeld bij het opleggen van bijzondere voorwaarden in een omgevingsvergunning, bij het formuleren van eisen in overheidsopdrachten, of bij de beoordeling van klachten over hinder. De code geeft dus richting, zonder zelf nieuwe verplichtingen op te leggen. Ze helpt gebruikers om tijdelijke stroomvoorziening al in de projectvoorbereiding, aanbesteding en uitvoering mee te nemen. Bij eventuele strijdigheid tussen deze code en de geldende regelgeving, primeert steeds de regelgeving. Wél wordt de code bindend zodra ze in een bestek, omgevingsvergunning of reglement wordt overgenomen.

Voor tijdelijke elektriciteitsvoorziening vertaalt dit zich in de volgende doelstellingen:

- Praktische richtlijnen aanreiken: De code geeft opdrachtgevers, eindgebruikers en overheden richtlijnen voor dimensionering, systeemkeuze, uitvoering, vergunningverlening en handhaving.
- Een actueel technologie-overzicht bieden: De code beschrijft en vergelijkt beschikbare technologieën voor tijdelijke stroomvoorziening. Ze behandelt hun werkingsprincipes, toepassingsgebieden, milieu-impact, veiligheidsaspecten en kosten.
- Onderbouwde systeemkeuzes ondersteunen: De code helpt gebruikers om op basis van projectkenmerken, regelgeving en praktijkervaring een geschikt systeem te kiezen.
- Milieuregelgeving en vergunningverlening ondersteunen: De code kan worden gebruikt bij bijzondere voorwaarden in omgevingsvergunningen, lokale regelgeving en vereisten in overheidsopdrachten. Ze maakt milieu- en veiligheidsaspecten beter toetsbaar in vergunningen, bestekken en controles. De code legt zelf geen specifieke opstelling op; toepassing in vergunningen of bestekken vereist steeds een projectspecifieke en proportionele afweging. De CvGP vormt op zichzelf geen rechtsgrond om voorwaarden op te leggen; de bevoegde instantie of opdrachtgever moet zich daarvoor baseren op het toepasselijke wettelijke, reglementaire of contractuele instrument.
- Milieu- en hinderimpact verminderen: De code richt zich op vermindering van NOx, fijnstof (PM), aantal fijnstofdeeltjes (PN), CO₂-uitstoot, geluidshinder en geurhinder. Ze behandelt ook de veilige inzet en het veilige gebruik van tijdelijke elektriciteitssystemen, en ondersteunt zo bredere doelstellingen rond milieu, klimaat en volksgezondheid.
- Een transitiepad schetsen: De code formuleert een indicatief tijdspad en de randvoorwaarden voor verdere vergroening en elektrificatie van tijdelijke elektriciteitsvoorziening.

De code ondersteunt de analyse, systeemkeuze en uitvoering van tijdelijke elektriciteitsvoorzieningen, maar vervangt geen projectspecifiek ontwerp of technisch advies op maat. Ze bevat geen volledige technische handleiding voor elke mogelijke situatie en ook geen kant-en-klaar implementatieplan.

De verantwoordelijkheid voor de keuze en toepassing van het systeem wordt gedeeld door de partijen die de elektriciteitsvoorziening specificeren, ontwerpen, selecteren, leveren, installeren en exploiteren, overeenkomstig hun wettelijke en contractuele rol. De exploitant of feitelijke gebruiker blijft verantwoordelijk voor het correcte gebruik en de naleving van de operationele voorschriften. Bij complexe projecten of afwijkende omstandigheden is gespecialiseerd advies aangewezen.

Het beslissingskader in Hoofdstuk 6 doorloopt configuraties van eenvoudig naar complex. Die volgorde valt vaak samen met een verschuiving van lagere naar hogere milieu-impact, maar niet in alle situaties. Het kader helpt om keuzes te structureren en te motiveren, maar vervangt geen projectspecifieke beoordeling van de milieu-impact, economische en organisatorische proportionaliteit.

1.3 MAATSCHAPPELIJKE EN MILIEU-UITDAGINGEN

1.3.1 LUCHTKWALITEIT EN GEZONDHEIDSIMPACT

De inzet van verplaatsbare dieselgeneratoren beïnvloedt de lokale luchtkwaliteit. De belangrijkste polluenten zijn stikstofoxiden (NO_x), roet (black carbon, BC) en fijn stof (PM). NO_x is in Vlaanderen een aandachtspunt vanwege gezondheidsrisico's en effecten op ecosystemen. Dieseluitlaatgassen zijn door het International Agency for Research on Cancer (IARC, 2012) geclassificeerd als Groep 1-carcinogeen. Roet (black carbon) is een belangrijke component van die uitlaatgassen. Tussen bebouwing kan de luchtverontreiniging zich snel ophopen en leiden tot ongezonde concentraties en overschrijding van wettelijke normen.

Niet voor de weg bestemde mobiele machines (*Non-Road Mobile Machinery* - NRMM), waaronder generatoren, dragen in Vlaanderen voor een groot stuk bij aan de totale NO_x-uitstoot (ca. 11% van de totale emissies in 2018, mogelijk stijgend naar 16% in 2030; bron: Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), emissie-inventaris lucht). Hoewel hun bijdrage aan de gemiddelde luchtconcentratie (immissie) beperkt is tot ongeveer 1%, kan de impact lokaal, met name in stedelijke omgevingen en tussen bebouwing, groot zijn.

Het verschil tussen het emissieaandeel (11%) en het immissieaandeel (1%) wordt verklaard door ruimtelijke verdunning: NRMM-emissies worden over een groot gebied verspreid, waardoor hun bijdrage aan het gemiddelde achtergrondniveau beperkt blijft. In de directe omgeving van een draaiende generator kunnen de concentraties van NO_x en fijnstof echter een veelvoud van het achtergrondniveau bereiken, vooral in slecht geventileerde situaties tussen bebouwing (street canyon-effect).

Fijn stof (PM) behoort tot de luchtverontreinigende stoffen met de grootste gezondheidsimpact. Het terugdringen van deze emissies is nodig om bij te dragen aan het Vlaams Luchtbeleidsplan 2030 (PM, NO_x) en de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS, NO_x). De invoering van de Stage V-emissienormen, met limieten voor CO, HC, NO_x, PM (massa) en PN (aantal ultrafijne deeltjes, inclusief roet), is een belangrijke stap. De winst van Stage V hangt evenwel af van effectieve toepassing en controle in de praktijk (zie §2.2.4 en §2.3.5).

1.3.2 KLIMAATIMPACT EN BROEIKASGASEMISSIES

Generatoren op fossiele brandstoffen veroorzaken naast lokale luchtverontreiniging ook broeikasgasemissies, voornamelijk koolstofdioxide (CO₂). Elke liter verstookte diesel geeft bij de verbranding een directe uitstoot van circa 2,7 kg CO₂ (tank-to-wheel). Inclusief de productie en het transport van de brandstof (well-to-wheel) ligt de totale ketenuitstoot circa 15–25% hoger (zie §4.2.5 voor de volledige WtW-berekening). Bij langdurige werken of energie-intensieve evenementen kan dit leiden tot hoge CO₂-emissies. (CSTEP, 2025)

De Vlaamse en Europese klimaatdoelstellingen (zoals de Europese Green Deal en het 'Fit for 55'-pakket) beogen lagere CO₂-uitstoot tegen 2030 en klimaatneutraliteit tegen 2050. Voor de bouw- en eventsector betekent dit dat fossiele brandstoffen geleidelijk minder vanzelfsprekend worden.

1.3.3 GELUID- EN GEURHINDER IN STEDELIJKE OMGEVINGEN

Geluid en geur kunnen vooral in stedelijke gebieden tot hinder leiden, met name wanneer projecten of evenementen dicht bij bewoning plaatsvinden. Conventionele dieselgeneratoren, vooral oudere of slecht onderhouden modellen, kunnen geluidshinder veroorzaken en aanleiding geven tot klachten. Zulke klachten zijn vaak de aanleiding tot controle en handhaving door lokale besturen. Beperking van geluid en geur is daarom zowel juridisch als praktisch belangrijk: ze vermindert het risico op klachten, controles en vertraging.

Ter illustratie: een ongedempte dieselgenerator ('open frame', in de Vlaamse verhuurpraktijk uitzonderlijk) produceert typisch 95–110 dB(A) op 7 meter afstand, vergelijkbaar met een pneumatische hamer. Zelfs gedempte ('super-silent') modellen produceren nog 60–75 dB(A), wat in een stille woonwijk 's nachts ruim boven de VLAREM-richtwaarden ligt (zie §2.3.2 en §4.2.1 voor details). Hydrobehandelde plantaardige olie (HVO) kan de geurhinder bij generatoren verminderen; zie §4.5.1.

1.3.4 OPPORTUNITEITEN VOOR VERDUURZAMING EN ENERGIETRANSITIE

Milieu- en klimaatbeleid vergroten de vraag naar technologieën met lagere emissies. In de bouw neemt de aandacht voor elektrische machines, netaansluitingen en emissiearme werven toe. In de evenementensector komt de vraag grotendeels van organisatoren en publiek. Beide sectoren zetten steeds vaker in op batterijopslagsystemen, hybride configuraties en, in specifieke toepassingen, waterstof. Deze oplossingen kunnen emissies en geluid beperken. Ze maken ook ruimte voor nieuwe diensten, zoals Energy-As-A-Service (EaaS).

1.4 TOEPASSINGSGEBIED EN SCOPE

1.4.1 AFBAKENING “TIJDELIJK” EN “VERPLAATSBAAR”

Deze Code van Goede Praktijk richt zich op elektriciteitsvoorzieningen die zowel tijdelijk als verplaatsbaar zijn. Deze twee kenmerken bepalen de scope van deze code:

- **“Tijdelijk”:** De voorziening wordt ingezet voor een beperkte, vooraf gedefinieerde periode. Deze periode kan variëren van enkele uren (bv. voor een kort evenement) tot enkele jaren (bv. voor langdurige bouwprojecten). In deze code hanteren we een indicatieve bovengrens van twee jaar. Deze termijn dekt zowel korte evenementen als langdurige bouwprojecten en sluit aan bij bepaalde termijnen in de omgevingsregelgeving, zoals de maximale duur voor tijdelijke constructies tijdens vergunde verbouwingen.

Deze termijn is een praktische afbakening. De principes kunnen ook bruikbaar blijven bij een duur van meer dan twee jaar, zolang het systeem niet voor permanente, structurele inpassing bedoeld is. Het onderscheid met permanente infrastructuur blijft bepalend¹. Bij projecten die de indicatieve termijn van

¹ De strikte juridische definitie van 'tijdelijke inrichtingen en activiteiten' in het Decreet Algemene Bepalingen Milieubeleid (DABM) kan kortere termijnen hanteren (bv. maximaal 1 jaar voor bouwwerken, 3 maanden voor overige gevallen). Aanvullend moet rekening worden gehouden met hoofdstuk 7 van het Vrijstellingsbesluit voor stedenbouwkundige handelingen. Indien niet voldaan aan de voorwaarden voor vrijstelling, moet een

twee jaar overschrijden of waarvan de duur tijdens de uitvoering wordt verlengd, moet de systeemkeuze opnieuw worden bekeken. In het bijzonder moet worden onderzocht of de transitie naar een vaste netaansluiting of een permanente oplossing inmiddels haalbaarder of economisch proportioneler is geworden. Het beslissingskader (Hoofdstuk 6) voorziet hiervoor een herijkingsmoment.

- **“Verplaatsbaar”:** In deze code wordt ‘verplaatsbaar’ functioneel gebruikt. Een energieopwekkings- of opslagunit is verplaatsbaar als ze als geheel of in modules kan worden verplaatst en niet permanent of structureel verbonden is met de ondergrond of vaste infrastructuur op een manier die demontage of verplaatsing moeilijk maakt. Dit omvat typisch installaties gemonteerd op aanhangwagens, in (container)behuizingen of op skids of frames.

Naast traditionele generatoren vallen hieronder ook mobiele batterijsystemen, waterstof-brandstofcelunits, hybride systemen en andere alternatieve energieopstellingen, voor zover ze mobiel zijn en niet permanent worden geplaatst. Dit functionele gebruik valt niet automatisch samen met de formele juridische categorie ‘mobiele of verplaatsbare inrichtingen of activiteiten’ in het Decreet Algemene Bepalingen Milieubeleid (DABM), die betrekking heeft op door de Vlaamse Regering aangewezen inrichtingen of activiteiten. (DABM Afdeling 1. Algemene definities, n.d.)

Opmerking: Permanente noodstroomsystemen, zoals die geïnstalleerd zijn bij ziekenhuizen, datacenters of kritische industriële processen, vallen buiten de scope van 'tijdelijk' zoals hier gedefinieerd. Veel technische richtlijnen, zoals onderhoud, monitoring, emissiebeheersing en brandstofkeuze, kunnen wel relevant zijn voor exploitanten van permanente noodstroomsystemen.

1.4.2 SECTOREN IN SCOPE

De code behandelt toepassingen waar tijdelijke stroom nodig is:

- Bouwsector: nieuwbouw, grootschalige renovatie en infrastructuurwerken, met sterk uiteenlopende energieprofielen.
- Evenementensector: festivals, concerten, sportevenementen en omroep- of broadcasttoepassingen.
- Ambulante handel en tijdelijke installaties: markten, foodtrucks, kermissen, pop-ups.
- Tijdelijke noodvoorzieningen en nutswerken: bij netonderbrekingen of calamiteiten.

1.4.3 DOELGROEPEN

Deze code is bedoeld voor verschillende stakeholders:

- Eindgebruikers: aannemers, eventorganisatoren, marktkramers en omroepen.
- Publieke en private opdrachtgevers.

stedenbouwkundige vergunning worden aangevraagd voor de tijdelijke installatie, hoewel dit in de praktijk zelden voorkomt. De scope van deze Code is breder dan enkel de activiteiten die onder deze strikte definitie vallen of vergunningsplichtig¹ zijn volgens VLAREM. Tot slot geldt nog steeds dat gebruikers steeds de toepasselijke wettelijke definities en vergunningsplichten dienen te verifiëren voor hun specifieke situatie. (Hoofdstuk 7 Tijdelijke handelingen, n.d.), (DABM Afdeling 1. Algemene definities, n.d.))

- Studiebureaus, ontwerpers en veiligheidscoördinatoren.
- Verhuur- en leveranciersbedrijven: aanbieders van apparatuur, dimensionering en technisch advies.
- Overheden en vergunningverleners: lokale, provinciale en Vlaamse diensten die instaan voor vergunningen, handhaving, bestekken, reglementering of sensibilisering.
- Hulpdiensten en veiligheidsadviseurs: brandweer, veiligheidscoördinatoren (risico's nieuwe technologieën).
- Netbeheerders: partijen die tijdelijke netaansluitingen beoordelen en realiseren.

1.5 DEFINITIES EN TERMINOLOGIE

In deze code worden de volgende begrippen gebruikt (zie ook de Lijst van afkortingen en de lijst van symbolen):

- ADR: Europees akkoord voor vervoer van gevaarlijke goederen over de weg; de basis voor transport-regels van diesel, H₂-cilinders en Li-ion batterijen (§2.1.5).
- AREI: Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties; verplicht keuringen en minimale veiligheids-voorzieningen (§2.2.1).
- ATEX (ATmosphères EXplosibles): EU-richtlijnen voor explosieveiligheid van apparatuur en werkplekken. Relevant voor o.a. waterstof en brandstofopslag. Zie §2.2.2 en §4.4.6.
- BESS (Battery Energy Storage System): oplaadbaar energieopslagsysteem, meestal Li-ion. Zie §4.3.
- Demand peak: hoogste 15-minuten-gemiddelde vermogen; relevant voor aansluitvermogen, nettarieven en structurele belasting. Te onderscheiden van de "kortstondige piek". Zie §5.2 en §6.1.
- DNB (Distributienetbeheerder): de beheerder van het laag- en middenspanningsdistributienet die tijdelijke netaansluitingen realiseert. In Vlaanderen doorgaans Fluvius. Zie §4.1 en §6.2.
- DoD (Depth of Discharge): ontladingsdiepte (%). Bepaalt cyclische levensduur van batterijen (§4.3).
- DPF (Diesel Particulate Filter): roetfilter in Stage V-dieselmotoren; vangt > 99 % PM/PN en vergt periodieke hete regeneratie. Zie §4.2.1.
- Eindgebruiker: de partij die het tijdelijke elektriciteitssysteem feitelijk gebruikt of exploiteert. De eindgebruiker is niet noodzakelijk de enige partij die de systeemkeuze bepaalt.
- Generator/Aggregaat: een verplaatsbare installatie die mechanische energie (meestal via een verbrandingsmotor) omzet in elektrische energie. In deze Code omvat dit zowel standalone generatoren als generatoren ingebouwd in andere apparatuur (zoals bemalingspompen), voor zover deze bijdragen aan tijdelijke elektriciteitsvoorziening. Permanente noodstroomvoorzieningen vallen buiten scope.

- Grid First: werkprincipe waarbij eerst wordt nagegaan of een tijdelijke netaansluiting technisch haalbaar en economisch proportioneel is. Alleen wanneer het net niet of onvoldoende beschikbaar is, worden off-grid of hybride configuraties onderzocht.
- Grid only: configuratie waarbij de volledige tijdelijke elektriciteitsvraag wordt gedekt door een netaansluiting, zonder lokale opwekking of opslag. Zie §6.3.1.
- HVO (Hydrotreated Vegetable Oil): hernieuwbare dieselvervanger (EN 15940), bruikbaar als 'drop-in' brandstof. Zie §4.5.1.
- Hybride opstelling: configuratie waarin twee of meer energiebronnen en/of opslagcomponenten worden gecombineerd. In Hoofdstuk 6 worden vier typische configuraties onderscheiden; de technische uitwerking volgt in §4.7.
- ILUC (Indirect Land-Use Change): koolstof- en biodiversiteits-effecten van verschuivend landgebruik bij teelt van energiegewassen; belangrijk voor biobrandstoffen (zie §4.5).
- Kortstondige piek: vermogenspiek over seconden tot minuten (bv. kraanopstart, inschakelstroom); relevant voor omvormer- of generator-stapbelasting. Onderscheiden van de "demand peak" (15-min). Zie §5.2 en §6.1.
- LCA (Life Cycle Assessment): methodiek voor *cradle-to-grave*-milieuanalyse; toegepast in §4.3.5.
- Load shedding: gecontroleerd tijdelijk afschakelen van niet-kritieke verbruikers bij (dreigend) capaciteitstekort, om continuïteit van essentiële functies te verzekeren. Zie §5.2.2 en §5.3.3.
- L_{WA} (Sound Power Level): gegarandeerd geluidsvermogensniveau dat volgens Richtlijn 2000/14/EG op elke generator moet worden gelabeld (voor stroomaggregaten onder 400 kW geldt bovendien een geluidslimiet). Zie §2.1.2.
- N+1 / 2N: redundantieconcepten. N+1 betekent één extra eenheid bovenop het minimaal vereiste vermogen; 2N betekent twee volledig onafhankelijke parallelle voedingen. Zie §6.5.
- NRMM (Non-Road Mobile Machinery): Niet voor de weg bestemde mobiele machines (bv. generatoren), vallend onder Europese emissieregelgeving (Verordening (EU) 2016/1628). Zie ook §2.1.
- Peak shaving: afvlakking van kortstondige piekvermogens door inzet van een buffer (typisch een batterij) boven op een primaire energiebron; vermijdt overdimensionering van net of generator. Zie §4.3 en §4.7.
- PN (Particle Number): limiet voor de uitstoot van ultrafijne stofdeeltjes in Stage V (1×10^{12} #/kWh); vult de massalimiet PM aan. Zie Tabel 1
- RTE (Round-Trip Efficiency): Energetisch rendement van het volledige laad- en ontlaadtraject van een opslagsysteem, typisch uitgedrukt als percentage. Zie §4.3 en §4.4.
- SCR (Selective Catalytic Reduction): NO_x-nabehandeling met ureum (AdBlue®); efficiëntie temperatuursafhankelijk. Zie §4.2.1.
- SoC (State of Charge): actuele laadtoestand van een batterij (%). Relevantie: dimensionering en regeling van BESS (§4.3).

- Stage V: de huidige, strengste EU-emissienorm voor NRMM, met limieten voor CO, HC, NOx, PM (massa) en PN (aantal deeltjes). Zie §2.1 en §4.2.1.
- TCO (Total Cost of Ownership): totale kosten over de levensduur, incl. investering, operationele kosten (brandstof, onderhoud) en evt. restwaarde. Biedt vollediger economisch beeld dan enkel CAPital EXpenditure (Investeringskosten, CAPEX).
- VLAREM II: Besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne. Dit besluit bevat onder andere de indeling in rubrieken (bijlage 1) en de algemene en sectorale voorwaarden (§2.3.1).
- Waterstof-brandstofcel (FC): elektrochemisch systeem dat H₂ omzet in elektriciteit, met water als restproduct. Zie §4.4.

DRAFT

HOOFDSTUK 2. JURIDISCH EN WETTELIJK KADER



HOOFDSTUK 2.

JURIDISCH EN WETTELIJK KADER

Dit hoofdstuk beschrijft de regels voor tijdelijke en mobiele elektriciteitsvoorzieningen in Vlaanderen en België. Die regels situeren zich op vier niveaus: Europese productnormen, federale veiligheidsvoorschriften, Vlaamse milieu- en omgevingsregelgeving en lokale reglementen. Eindgebruikers, leveranciers en overheden hebben deze regels nodig bij de keuze, plaatsing, het gebruik en de controle van tijdelijke elektriciteitsvoorzieningen. Het hoofdstuk bespreekt welke regels gelden, wie bevoegd is en waar toepassing en handhaving vandaag moeilijk lopen.

Dit hoofdstuk bundelt twee soorten verplichtingen die in de praktijk vaak door elkaar lopen:

1. Productnormen (EU): deze gelden bij het op de markt brengen, verkopen of verhuren van apparatuur (bv. CE-markering, emissienormen voor motoren, geluidslabel). Deze verplichtingen rusten primair op de fabrikant, importeur en verhuurder/leverancier.
2. Exploitatie- en omgevingsvoorwaarden (België/Vlaanderen/lokaal): deze gelden tijdens het gebruik op een concrete locatie (bv. indelingsplicht/omgevingsvergunning, geluids- en hinderbeoordeling, opslag van brandstoffen, arbeidsveiligheid). Deze verplichtingen rusten primair op de exploitant, opdrachtgever of aannemer.

Bij twijfel primeert projectspecifieke toetsing (type installatie, duur, locatie, nabijheid van bewoning/natuur, brandstofopslag en transport). De regelgeving evolueert; verifieer daarom steeds de actuele regelgeving en lokale vergunningvoorwaarden.

2.1 EUROPEES KADER: PRODUCTNORMEN VOOR EMISSIES (NRMM & STAGE V)

2.1.1 PRODUCTNORMEN VOOR LUCHTEMISSIES: NRMM & STAGE V

De Europese regelgeving beperkt de luchtverontreinigende emissies van motoren in mobiele generatoren. De motoren vallen onder de NRMM-regelgeving (Non-Road Mobile Machinery, Verordening (EU) 2016/1628). Deze verordening geldt voor verbrandingsmotoren op diesel, benzine of gas in niet-weggebonden mobiele machines, met gefaseerde invoering afhankelijk van motortype en vermogen. Zij legt emissiegrenswaarden vast voor nieuwe motoren die op de Europese markt worden gebracht. De grenswaarden hebben betrekking op onder meer NO_x, CO, HC en PM. Uitvoeringsverordening (EU) 2017/656 legt vorm, inhoud en plaatsing van het statutaire typeplaatje en de motormarkering vast; daarmee is de emissieklasse op het terrein herkenbaar (zie §9.1.2 en de handhavingsaanbeveling in §9.3.4).

De meest recente en strengste norm is Stage V², die gefaseerd van kracht werd tussen 2019 en 2021, afhankelijk van de motorvermogenscategorie. Stage V verlaagt de toegestane uitstoot ten opzichte van eerdere normen (bv. Stage IIIA) en bevat strikte limieten voor PM. Nieuw onder Stage V is de limiet voor het aantal fijnstofdeeltjes (Particle Number – PN). Om hieraan te voldoen, rusten fabrikanten de meeste

² Opmerking: De Europese Stage-classificatie verschilt van de Amerikaanse EPA Tier-normen. Stage V is vergelijkbaar met, maar niet identiek aan EPA Tier 4 Final. In deze studie wordt uitsluitend verwezen naar de Europese normen die van toepassing zijn in Vlaanderen.

nieuwe dieselmotoren in de relevante vermogensklassen (typisch 19-560 kW) uit met nabehandelingstechnologieën zoals roetfilters (DPF).

Tabel 1: Indicatieve EU Emissiegrenswaarden voor NRMM dieselmotoren gebruikt in generatoren (g/kWh) Bron: Gebaseerd op Verordening (EU) 2016/1628 en gerelateerde documentatie. Exacte waarden kunnen per subcategorie licht verschillen³.

Emissienorm (indicatief jaar)	Vermogenscategorie (kW)	CO	HC	NOx	PM	PN (#/kWh)
Stage IIIA (~2006-2011)	$56 \leq P < 130$	5,0	-	4,0 ¹	0,30	-
	$130 \leq P < 560$	3,5	-	4,0 ¹	0,20	-
Stage V (~2019/2020)	$19 \leq P < 56$	5,0	-	4,7¹	0,015	1×10^{12}
	$56 \leq P < 130$	5,0	0,19	0,40	0,015	1×10^{12}
	$130 \leq P < 560$	3,5	0,19	0,40	0,015	1×10^{12}
	$P \geq 560$	3,5	0,19	0,67²	0,035²	-

¹Limiet geldt voor de som van HC + NOx.

²Specifieke limieten voor stroomaggregaten >560 kW kunnen afwijken; hier getoond zijn de NRG-limieten voor stroomaggregaten > 560 kW; de NRE-limieten voor die klasse zijn NOx 3,5 en PM 0,045 g/kWh.

In theorie moeten alle nieuwe generatoren die vanaf de toepasselijke invoeringsdata op de EU-markt komen, aan Stage V voldoen. De praktische implementatie en de impact op de operationele vloot worden echter beïnvloed door andere factoren, waaronder transitierelaties (bv. overgangperiodes voor het bestaande machinepark bij invoering van Stage V), de lange levensduur van bestaande machines (vaak 15-25 jaar), doorverkoop van tweedehands materieel naar andere markten, kostenverschillen en de effectiviteit van markttoezicht en handhaving.

Belangrijk onderscheid: productnorm versus gebruiksverplichting. Stage V is een productnorm: ze geldt bij het op de markt brengen van nieuwe motoren, niet bij het gebruik ervan. In België bestaat geen algemene wettelijke verplichting om uitsluitend Stage V-generatoren in te zetten op bouwerven of evenementen. Bestaande pre-Stage V-generatoren (bv. Stage IIIA) mogen in principe onbeperkt worden gebruikt, zolang ze voldoen aan de toepasselijke exploitatie- en omgevingsvoorwaarden (zie §2.3). Het onderscheid tussen productnorm en gebruiksverplichting verklaart waarom de vloot slechts geleidelijk verjongt en waarom handhaving in de gebruiksfase een knelpunt blijft (zie §2.2.4).

³ Stage IV was van toepassing op bepaalde categorieën NRMM, maar niet op generatoraggregaten. Voor generatoren volgde Stage V rechtstreeks op Stage IIIA (met tussenliggende subcategorieën).

2.1.2 PRODUCTNORMEN VOOR GELUID: OUTDOOR EQUIPMENT NOISE DIRECTIVE

Voor geluid legt de [EU Outdoor Equipment Noise Directive \(2000/14/EG\)](#) verplichtingen op aan fabrikanten van stroomaggregaten. Het gaat onder meer om CE-markering, vermelding van het gegarandeerde geluidsvermogensniveau (LWA) en opname van deze waarde in de EG-conformiteitsverklaring. Voor stroomaggregaten onder 400 kW geldt bovendien een grenswaarde voor het geluidsvermogensniveau⁴.

2.1.3 MARKTTOELATING EN MARKTTOEZICHT (VERORD. (EU) 2019/1020)

[Verordening \(EU\) 2019/1020](#) regelt het markttoezicht op producten die op de Europese markt worden aangeboden. Daarmee kunnen toezichthouders controleren of producten, inclusief NRMM zoals generatoren, voldoen aan de EU-harmonisatiewetgeving (zoals Stage V) wanneer ze op de markt worden gebracht (markttoelating) en zolang ze op de markt worden aangeboden (markttoezicht). Toezicht tijdens het gebruik valt onder andere bevoegdheden en wordt in de praktijk moeilijker afgedwongen.

2.1.4 EU BATTERIJVERORDENING (EU 2023/1542)

De Verordening (EU) 2023/1542 vervangt het oudere EU-kader voor batterijen en legt gefaseerde verplichtingen op over de hele levenscyclus (informatie, duurzaamheid, inzameling/recyclage en – voor specifieke batterijtypes – digitale traceerbaarheid).

Belangrijk voor tijdelijke batterijtoepassingen:

- Niet alle verplichtingen gelden vanaf dezelfde datum. De verordening is gefaseerd in werking.
- Voor industriële batterijen en EV-batterijen (typisch > 2 kWh) wordt een digitaal batterijpaspoort verplicht vanaf 18 februari 2027.
- Andere eisen (o.a. rond koolstofvoetafdruk en gerecycleerde inhoud) volgen later en zijn afhankelijk van het batterijtype.

2.1.5 REGELGEVING GEVAARLIJKE GOEDEREN: ADR-KADER

Naast de regels voor opslag en gebruik op locatie, is ook het transport van bepaalde stoffen die als energiedrager dienen, zoals diesel, waterstofgas onder druk, of (grote) lithium-ionbatterijen, onderworpen aan specifieke regelgeving. Op Europees niveau wordt dit geregeld door het [ADR](#) (Frans: *Accord européenne relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route*; Engels: *European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*). Deze overeenkomst bevat voorschriften voor:

⁴ Let op: In de praktijk blijkt dat fabrikanten niet altijd dezelfde meetomstandigheden hanteren (bijvoorbeeld afstand tot het toestel), wat vergelijking tussen verschillende merken kan bemoeilijken. Verificatie dat de waarde conform EN ISO 3744 bij 75% belasting is bepaald, is daarom van belang.

- Indeling van gevaarlijke goederen in klassen (bv. klasse 2 voor gassen zoals waterstof, klasse 3 voor brandbare vloeistoffen zoals diesel, klasse 9 voor diverse gevaarlijke stoffen zoals lithium-ionbatterijen).
- Eisen aan de gebruikte recipiënten, tanks of containers (bv. typegoedkeuring, maximale inhoud).
- Verplichte gevaaretiketten en signalisatie op verpakkingen en voertuigen.
- Specifieke eisen aan de voertuigen die voor het transport gebruikt worden.
- Verplichte opleiding en certificering (ADR-certificaat) voor chauffeurs die bepaalde hoeveelheden gevaarlijke goederen vervoeren.

De complexiteit en toepasbaarheid van de ADR-regels hangen af van de specifieke stof, de vervoerde hoeveelheid (er bestaan vrijstellingen voor kleine hoeveelheden, bv. onder de '1000-puntenregel' of specifieke bepalingen zoals [SP188 voor Li-ionbatterijen](#)) en de transportmodaliteit. Het correct naleven van de ADR is een wettelijke verplichting voor zowel de verzender, de vervoerder als de ontvanger van gevaarlijke goederen.

2.2 FEDERAAL KADER: VEILIGHEID, FISCALITEIT EN TOEZICHT

2.2.1 HET ALGEMEEN REGLEMENT OP DE ELEKTRISCHE INSTALLATIES (AREI)

Elke elektrische installatie in België, permanent of tijdelijk, moet voldoen aan het AREI (Boek 1 voor laagspanning). Het AREI heeft tot doel personen en goederen te beschermen tegen elektrische schok, brand en explosie. Kernpunten voor tijdelijke installaties onder het AREI zijn:

- Keuringsplicht: Een verplichte keuring door een erkend controleorganisme is vereist vóór de eerste ingebruikname. Het keuringsverslag moet beschikbaar zijn. Periodieke herkeuring (typisch jaarlijks voor tijdelijke installaties) is nodig bij langdurig gebruik.
- Technische veiligheidseisen: De keuring controleert onder meer aarding, differentieelstroomschakelaars, IP-graad, beveiliging van leidingen en schema's. Het AREI bepaalt de technische minimumvereisten.
- Onderscheid naar omgeving en gebruikers: Het AREI maakt deels onderscheid in vereisten afhankelijk van de omgeving (bv. strengere eisen voor differentieelschakelaars in publiek toegankelijke zones).
- Specifieke bepalingen voor tijdelijke installaties: Elke tijdelijke elektrische installatie moet aan het AREI voldoen en worden gekeurd. Voor bouwplaatsinstallaties gelden specifieke bepalingen (o.a. verhoogde eisen inzake differentieelstroomschakelaars en aarding in ruwe omgevingscondities). De praktische uitwerking voor tijdelijke installaties per technologie staat in §7.2.2 en §7.3.

2.2.2 ARBEIDSVEILIGHEID: CODEX WELZIJN OP HET WERK EN ATEX

Als een explosieve atmosfeer kan ontstaan (bv. door brandbare gassen zoals waterstof of biogas, of brandbare stoffen), gelden bijkomende verplichtingen voor arbeidsveiligheid.

In België worden deze vereisten geregeld door de [Codex over het Welzijn op het Werk, Boek III, Titel 4 - Ruimten met risico's voor een explosieve atmosfeer](#). Deze wetgeving implementeert de [Europese ATEX 153-richtlijn](#) (1999/92/EG).

De werkgever moet dan een explosieveiligheidsdocument (EVD) opstellen en bijhouden. Dit document is wettelijk verplicht. Het bevat de resultaten van de risicoanalyse en beschrijft de maatregelen om explosierisico's te voorkomen of te beperken.

Het EVD moet actueel blijven, bijvoorbeeld bij wijzigingen aan de installatie, de gebruikte stoffen of de werkwijze. De verplichting geldt voor de werkgever of exploitant en staat naast de producteisen voor apparatuur. Die producteisen worden geregeld door de [ATEX 114](#)-richtlijn (2014/34/EU), die onder meer CE-markering voor Ex-materieel voorschrijft.

Voor conventionele diesel- of HVO-generatoren is ATEX-classificatie in normale bedrijfsomstandigheden niet aan de orde: deze brandstoffen vormen bij omgevingstemperatuur en -druk geen explosieve atmosfeer. De ATEX-vereisten worden relevant bij: (a) waterstofinstallaties, aangezien H₂ explosief is vanaf 4 vol% in lucht (zie §4.4.5 en §7.3.4); (b) biogas- of CNG-toepassingen (zie §4.5.2); en (c) bepaalde BESS-configuraties, waar bij thermisch doorslaan brandbare en toxische gassen kunnen vrijkomen in een afgesloten behuizing (zie §4.3.6 en §7.2.4). Voor de overgrote meerderheid van de huidige tijdelijke stroomtoepassingen op bouwerven — die gebruikmaken van dieselgeneratoren — is een EVD bijgevolg niet vereist.

2.2.3 IMPACT FISCAAL BELEID OP MILIEU: DE ROL VAN RODE DIESEL

Rode diesel – officieel ‘gemerkte gasolie type B’ – is gewone diesel waaraan een rode kleurstof en marker (o.a. *Solvent Yellow 124*, en geleidelijk vervangen door *Accutrace Plus*) zijn toegevoegd om het verlaagde accijnstarief voor off-roadtoepassingen zichtbaar te maken. Rode diesel mag enkel worden gebruikt in landbouw-, bouw- en andere niet-weggebonden machines zoals mobiele generatoren. Weggebruik wordt streng beboet.

Rode diesel verlaagt de gebruikskost van dieselgeneratoren. Daardoor worden batterijsystemen, hybride oplossingen, waterstofgeneratoren en nieuwere Stage V-generatoren financieel minder aantrekkelijk, zeker wanneer alleen naar directe projectkosten wordt gekeken. Het prijsvoordeel houdt oudere generatoren langer in gebruik en vertraagt investeringen in energie-efficiëntie en emissiereductie.

Voor bedrijven die wel investeren in emissiearm materieel ontstaat daardoor een concurrentienadeel. De verplichte digitale aanvraagprocedure voor accijnsteruggave sinds 2025 verhoogt de controleerbaarheid van het systeem. Een verdere afbouw van het accijnsvoordeel, naar het voorbeeld van enkele buurlanden, zou het kostenverschil met schonere alternatieven verkleinen.

2.2.4 MARKTTOEZICHT EN HANDHAVING VAN PRODUCTCONFORMITEIT (FOD ECONOMIE)

De Europese productnormen zijn in de gebruiksfase moeilijk te controleren. Uit de sector komt het signaal dat motoren die niet onder de NRMM-verordening vallen, onrechtmatig worden ingezet in mobiele generatoren. Het gaat bijvoorbeeld om motoren voor stationaire toepassingen, waarvoor soepelere emissie-eisen gelden. Dit creëert oneerlijke concurrentie voor bedrijven die wel investeren in duurdere, conforme Stage V-apparatuur.

De handhaving wordt bemoeilijkt door versnipperde bevoegdheden:

- De Federale Overheidsdienst (FOD) Economie is bevoegd voor markttoezicht bij het *op de markt brengen* van producten.
- De Afdeling Handhaving van het Departement Omgeving en lokale toezichthouders hebben slechts een beperkte rol tijdens de gebruiksfase. Generatoren op bouwerven zijn immers vaak

niet-ingedeeld (zie §2.3.1), waardoor handhaving voornamelijk reactief gebeurt, bijvoorbeeld na klachten over hinder (zie §2.3.5).

Door het ontbreken van een duidelijke en proactieve handavingsaanpak blijven de milieudoelstellingen van de Stage V-regelgeving in de praktijk deels buiten bereik. Hoewel de AREI-keuring momenteel louter focust op elektrische veiligheid, zou in overleg met de federale overheid en de keuringsorganismen kunnen worden onderzocht of een administratieve controle van het emissielabel (CE-markering, typegoedkeuring, aanwezigheid van nabehandelingssystemen) haalbaar is, zonder dat dit de technische scope van de elektrische keuring onnodig belast. Een mogelijke uitwerking is opgenomen in Hoofdstuk 9.

2.3 VLAAMS KADER: MILIEU- EN OMGEVINGSREGELGEVING

Naast de Europese productnormen bepaalt de Vlaamse regelgeving de voorwaarden voor exploitatie en bescherming van de omgeving. Het VLAREM is hierbij het centrale kader, aangevuld met specifieke regels voor onder meer geluid en opslag, en met de lokale instrumenten (§2.3.6 en §2.3.7).

Voor tijdelijke stroomvoorziening op bouwerven of evenementen kunnen verschillende VLAREM-rubrieken gelden, elk met eigen criteria voor indelingsplicht (melding of vergunning). Bovendien bestaan er uitzonderingen voor bepaalde toepassingen, zoals bij bouw- en sloopwerken. Daardoor worden tijdelijke generatoren niet overal op dezelfde manier beoordeeld.

Hieronder volgt een overzicht van de meest relevante rubrieken, met toelichting over wanneer en hoe tijdelijke generatoren (en aanverwante installaties) onder de regelgeving vallen.

2.3.1 VLAREM II: RELEVANTE RUBRIEKEN EN INDELINGSP LICHT

RELEVANTE RUBRIEKEN

Het VLAREM bevat rubrieken die relevant kunnen zijn voor activiteiten of installaties die gepaard gaan met tijdelijke stroomvoorziening. De belangrijkste zijn:

- **Rubriek 12.1:** Verbrandingsmotoren. Indelingsplicht hangt af van het totaal nominaal vermogen (klasse 3 vanaf 150 kW, klasse 2 vanaf 1 MW). Voor deze rubriek geldt echter een belangrijke uitzondering: motoren die uitsluitend worden gebruikt voor bouw-, sloop- en wegeniswerken zijn vrijgesteld⁵.
- **Rubriek 17:** Opslag van gevaarlijke vloeistoffen (bv. externe dieseltanks). De indelingsplicht (Klasse 3: melding; Klasse 2 of 1: vergunning) hangt af van het volume en type product.
- **Rubriek 31.1:** Vast opgestelde motoren en gasturbines. Vast opgestelde generatoren kunnen hieronder vallen; voor bouw-, sloop- en wegeniswerken geldt dezelfde

⁵ Let op: De vrijstelling van indeling voor motoren op bouwerven (rubriek 12.1/31.1) ontslaat de exploitant niet van de verplichtingen rond brandstofopslag. De opslag van diesel (in externe tanks of grote interne tanks) valt onder rubriek 6.4 of 17. Opslagcapaciteiten boven de drempelwaarden (bv. >5.000 liter of >20 ton afhankelijk van de rubriek) blijven meldings- of vergunningsplichtig, ook op tijdelijke erven. De algemene voorwaarden voor opslag (inhuiping, afstandsregels) blijven onverminderd van kracht.

vrijstelling als bij rubriek 12.1. De indelingsplicht start vanaf 300 kWth⁶ totaal thermisch ingangsvermogen (≈ 100 kWe); de klasse hangt af van het vermogen en de ligging van de inrichting (subrubrieken 31.1.1°–3°).

- **Rubriek 32:** Muziekactiviteiten. Dit is geen rubriek voor elektriciteitsopwekking als dusdanig, maar kan wel relevant zijn als hoofdactiviteit bij evenementen waar de hinder van generatoren mee wordt beoordeeld in de toelating of vergunning.
- **Rubriek 43:** Inrichtingen voor opwekking van energie door verbranding. In subrubriek 43.1 zijn dieselmotoren expliciet uitgesloten. Rubriek 43.3 en 43.4 zijn alleen relevant bij zeer hoge vermogens (>20 MW thermisch ingangsvermogen), maar dit komt in de praktijk uiterst zelden voor bij tijdelijke installaties.
- **Rubriek 53.2:** Grondwaterbemalingen. Indien bemaling nodig is en de generatoren daarvoor worden gebruikt, is artikel 4.1.3.2 van VLAREM van toepassing inzake het voorkomen van hinder.

Opmerking: De indelingsplicht voor tijdelijke generatoren verschilt sterk per toepassing:

- **Bouw-, sloop- en wegeniswerken:** Hier zijn de meeste generatoren meestal niet ingedeeld wegens de specifieke uitzonderingsbepaling in rubrieken 12.1 en 31.1. Het huidige regelgevend kader is mogelijk in evolutie. In het actieprogramma inzake rechtszekere en robuuste vergunningen wordt voor werfgebonden activiteiten een afzonderlijke VLAREM-rubriek als piste genoemd. Indien dit traject wordt doorgezet, kan de hierboven beschreven rubriekstructuur in de toekomst wijzigen.
- **Evenementen:** Generatoren vallen hier wél vaak onder indelingsplicht via rubriek 12.1 (vanaf 150 kW). Bij evenementen die zelf vergunnings- of meldingsplichtig zijn op basis van andere rubrieken (bv. rubriek 32 muziekactiviteiten met geluidsproductie > 85 dB(A) of bepaalde duur/bezoekersaantallen) wordt de generator doorgaans mee beoordeeld binnen de bredere vergunningscontext. Voor kleinere evenementen verloopt de sturing eerder via gemeentelijke toelatingen en het regime voor niet-ingedeelde inrichtingen (hoofdstuk 6.7 van VLAREM II).

Het gevolg is dat voor bouwerven vaak geen systematische toetsing of registratie plaatsvindt van de milieu-impact (bv. emissieklasse) van de generator zelf via de reguliere VLAREM-procedure. Voor evenementen zijn er meer mogelijkheden tot controle, maar die zijn afhankelijk van de lokale vergunningspraktijk. De vergunningverlenende overheid (meestal de gemeente) kan echter wel bijzondere voorwaarden opleggen, bijvoorbeeld over locatie, geluid of emissieklasse.

Voor tijdelijke, verplaatsbare batterijsystemen blijft de regelgeving onduidelijk. Bij de VLAREM-trein 2019 werd rubriek 12.3 voor accumulatoren geschrapt en werden de voorwaarden voor batterijen opgenomen in hoofdstuk 6.13 van VLAREM II. Het toepassingsgebied van dat hoofdstuk vermeldt verplaatsbare transformatoren op bouwplaatsen expliciet, maar bevat geen vergelijkbare bepaling voor verplaatsbare batterijsystemen. Uit afstemming met het Departement Omgeving blijkt dat dit niet als

⁶ Ter oriëntatie: een dieselgenerator met een elektrisch nominaal vermogen van 100 kWe heeft, bij een typisch motorrendement van 30–35%, een thermisch ingangsvermogen van circa 285–330 kWth. Dit betekent dat een generator die in de verhuursector als "100 kVA" wordt aangeduid, thermisch al in de buurt komt van de indelingsdrempel van 300 kWth (klasse 3, rubriek 31.1). Bij de beoordeling van de VLAREM-indelingsplicht dient steeds het thermisch ingangsvermogen van de motor te worden gehanteerd, niet het elektrisch uitgangsvermogen. De omrekenfactor varieert met het motorrendement; voor een conservatieve inschatting kan een factor $\times 3$ worden aangehouden ($\text{kWth} \approx \text{kWe} \times 3$).

een bewuste uitsluiting van mobiele batterijsystemen op bouwerven moet worden gelezen; deze toepassingen waren bij de herziening nog geen gangbare technologie en zijn toen niet expliciet meegenomen (Persoonlijke communicatie Departement Omgeving, 2026).

Het gevolg is dat voor tijdelijke, verplaatsbare BESS op bouwerven interpretatieruimte blijft bestaan. Afhankelijk van de concrete situatie, onder meer de duur, de wijze van opstelling en de mogelijke hinder, kan discussie ontstaan of een systeem al dan niet als vast opgesteld moet worden beschouwd en of hoofdstuk 6.13 van toepassing is. Vaste criteria ontbreken vandaag. Deze juridische grijze zone wordt in deze code gesignaleerd, zonder een definitieve juridische interpretatie te geven. In §9.3.4 wordt aanbevolen om deze onduidelijkheid beleidsmatig te verduidelijken. De koelinstallatie van een BESS is wél ingedeeld onder rubriek 16.3.2 (vanaf 5 kW).

Het Stikstofdecreet (Decreet van 26 januari 2024, in werking getreden op 23 februari 2024) vereist voor vergunningsplichtige projecten met relevante NOx-emissies een beoordeling van de stikstofdepositie op nabijgelegen natuurgebieden (SBZ-H). Deze berekening omvat ook de emissies tijdens de aanlegfase van een project. Hierdoor wordt de NOx-uitstoot van werfmaterieel, inclusief niet-ingedeelde generatoren, direct relevant voor de vergunningverlening van het bouwproject zelf. In de praktijk speelt dit vooral bij projecten nabij SBZ-H of andere gevoelige locaties. In zulke gevallen kan de stikstofuitstoot van generatoren de impactscore van het project en het vergunningsrisico vergroten. Deze regelgevende druk werkt concreet door in het beslissingskader van Hoofdstuk 6: voor projecten nabij SBZ-H wordt de keuze voor Stage V-conform materieel, HVO-brandstof of hybride configuraties niet alleen vanuit milieuoogpunt, maar ook vanuit vergunningsrisico rationeel (zie §6.3.3, criterium C2).

2.3.2 VLAREM II: GELUIDSVORWAARDEN VOOR DE OMGEVING

VLAREM II (Hoofdstuk 4.5 en bijlagen) stelt richtwaarden voor omgevingsgeluid vast, met specifieke waarden in dB(A) die variëren naargelang het tijdstip (dag, avond, nacht) en het type gebied (bv. woongebied, industriegebied). Deze richtwaarden zijn echter primair van toepassing op de exploitatie van ingedeelde inrichtingen. Door de uitzonderingsbepaling voor bouwwerken (zie §2.3.1) vallen generatoren op erven vaak buiten het directe toepassingsgebied van deze specifieke VLAREM-richtwaarden.

In de praktijk bestrijden lokale overheden geluidshinder vaak via:

- bijzondere voorwaarden in de omgevingsvergunning van de hoofdactiviteit.
- lokale politiereglementen met algemene bepalingen over 'nachtlawaai' of 'abnormale burenhinder'.

Ter oriëntatie: de VLAREM II-richtwaarden voor omgevingsgeluid in woongebied bedragen typisch 45 dB(A) overdag (07–19 u), 40 dB(A) 's avonds (19–22 u) en 35 dB(A) 's nachts (22–07 u), op de perceelsgrens van de dichtstbijzijnde woning. In industriegebied liggen de richtwaarden 10 dB(A) tot 15 dB(A) hoger afhankelijk van het dagdeel. De exacte richtwaarden hangen af van de gebiedstypering in het gewestplan, het dagdeel en eventuele bijzondere voorwaarden in de omgevingsvergunning (VLAREM II, bijlage 4.5.4).

Naast omgevingshinder speelt ook arbeidsveiligheid. De Codex over het Welzijn op het Werk (Boek V, Titel 2) legt actiewaarden en grenswaarden op voor de blootstelling van werknemers aan lawaai op de werkplek (bv. onderste actiewaarde bij 80 dB(A) en grenswaarde bij 87 dB(A), telkens als daggemiddelde blootstelling over 8 u; de Codex bevat daarnaast piekgrenswaarden). De werkgever moet de blootstelling van werknemers altijd evalueren en beheersen, los van de VLAREM-status van de geluidsbron.

2.3.3 VLAREM II: OPSLAG VAN BRANDSTOFFEN

Titel II van het VLAREM, in het bijzonder rubriek 17.3.2.11 en in bepaalde gevallen ook rubriek 6.4, regelt de opslag van brandstoffen, waaronder diesel.

De toepasselijke rubriek hangt af van de productclassificatie in het veiligheidsinformatieblad: diesel met gevarenpictogram GHS02 valt onder rubriek 17.3.2.1.1; voor diesel zonder GHS02 kan rubriek 6.4 gelden wanneer het product onder de definitie van een brandbare vloeistof valt.

Geïntegreerde brandstoftanks bij vast opgestelde motoren, zoals generatoren, worden niet als “opslagplaats” beschouwd zolang de waterinhoud hoogstens 2.000 liter bedraagt. Daarbij moeten tank en toestel één onlosmakelijk, als geheel ontworpen en gemaakt product vormen waarop één productnormering van toepassing is. Een toegevoegde tank in dezelfde omkasting voldoet niet aan deze uitzondering. Overschrijdt de tank deze drempel – of gaat het om een losstaande dieseltank – dan moet de indelingsplicht worden getoetst aan de toepasselijke rubriek en opslagcapaciteit.

Voor diesel met GHS02 en een vlampunt van minstens 55 °C is bij opslag die niet hoort bij de woonfunctie van een hoofdzakelijk als woning gebruikt gebouw een melding vereist bij een gezamenlijke opslagcapaciteit van 100 kg tot en met 20 ton (klasse 3) en een omgevingsvergunning boven 20 ton tot en met 500 ton (klasse 2) en boven 500 ton (klasse 1). Ongeacht de indelingsklasse moet de opslag zo worden uitgerust dat bodem- en waterverontreiniging wordt voorkomen. Voor ingedeelde opslag gelden daarbij de toepasselijke VLAREM-voorwaarden, onder meer voor inkuiping, lekdetectie en keuring. Voor brandstoffen zoals waterstof gelden andere specifieke voorschriften

(zie §2.2.2 en §2.1.5/§2.3.4). (Departement Omgeving, n.d.)

Bovendien legt VLAREM II minimumscheidingsafstanden op voor bovengrondse opslag: bijlage 5.17.1 voor opslag onder rubriek 17 en bijlage 5.6.1 voor opslag onder rubriek 6.4, voor zover van toepassing op de betrokken opslag.

2.3.4 ADR-IMPLEMENTATIE EN TRANSPORTVEILIGHEID

De Vlaamse implementatie van de ADR-regelgeving (zie §2.1.5 voor het Europese kader) stelt specifieke eisen aan het vervoer van gevaarlijke goederen over de weg binnen de regio. Dit omvat de erkenning van opleidingscentra voor ADR-chauffeurs, de aanstelling van veiligheidsadviseurs en de controle op de naleving van de ADR-voorschriften. (Vlaamse Overheid, 2025)

2.3.5 HANDHAVING EN MILIEUTOEZICHT: GEWESTELIJKE EN LOKALE ACTOREN

De gewestelijke handhaving richt zich niet op het product zelf, maar op de impact van de exploitatie op de omgeving.

- De Afdeling Handhaving van het Departement Omgeving treedt in hoofdzaak op bij klasse 1-inrichtingen. Voor klasse 2- en klasse 3-inrichtingen, en ruimer voor lokale milieuhinder, spelen gemeenten, lokale toezichthouders en in voorkomend geval de politie een belangrijkere eerstelijnsrol. Gemeentelijke handhaving steunt daarbij op twee grondslagen: milieutoezicht op basis van VLAREM en het lokale politiereglement (zie §2.3.6).
- Aangezien generatoren op bouwterreinen vaak niet-ingedeeld zijn, vindt handhaving doorgaans plaats op basis van hinderklachten of incidenten in plaats van systematische registratie.
- Het toezicht betreft de naleving van algemene, sectorale en bijzondere voorwaarden uit meldingen en omgevingsvergunningen. Bij ingedeelde hoofdactiviteiten (bv. grotere

bouwprojecten met bemaling of evenementen met rubriek 32) kunnen bijzondere voorwaarden in de vergunning ook betrekking hebben op de tijdelijke stroomvoorziening (bv. emissiegrenswaarden, geluidsvoorwaarden of gebruik van netstroom waar beschikbaar).

2.3.6 ROL LOKALE BESTUREN, POLITIEZONES EN HULPVERLENINGSZONES

Lokale besturen, zoals steden en gemeenten, de politiezones en de hulpverleningszones, waaronder de brandweer, reguleren en handhaven tijdelijke activiteiten en de bijhorende hinder- en veiligheidsaspecten via hun wettelijke bevoegdheden:

- **Bouwwerven:** Gemeenten kunnen via de omgevingsvergunning voor bouwprojecten specifieke voorwaarden opleggen over de stroomvoorziening, bijvoorbeeld over locatie, geluid, emissies of het gebruik van netstroom. In de praktijk is die sturing echter beperkt. Door de VLAREM-uitzonderingen voor tijdelijke bouwwerven, onder meer in rubrieken 12.1 en 31.1 van titel II van het VLAREM, gebeurt dit zelden. Voor bouwwerven geldt bovendien een juridisch knelpunt: in principe kunnen geen bijzondere voorwaarden worden opgelegd over elementen die niet formeel zijn aangevraagd. Sturing verloopt daardoor in de praktijk eerder indirect of reactief.
- **Evenementen:** Bij evenementen verloopt de sturing in de eerste plaats via gemeentelijke toelatingen en, in voorkomend geval, politiereglementen. Voor grotere installaties kunnen daarnaast ook relevante VLAREM-rubrieken van toepassing zijn. De rol van lokale besturen situeert zich hier dus niet alleen op het vlak van algemene toelating, maar ook op het vlak van hinderbeperking en praktische veiligheidsvoorwaarden.
- **Brandweeraadvies en -controle:** De lokale brandweer heeft geen formeel verplichte adviesrol in het kader van de omgevingsvergunning, maar kan wel als subadviesinstantie worden betrokken op vraag van het college van burgemeester en schepenen of de deputatie. In de praktijk wordt dit advies vaak gevraagd, en de brandweer controleert de brandveiligheid ter plaatse. Dit advies omvat plaatsing, brandstofopslag (diesel, H₂, enz.) en algemene brandpreventie. Voor tijdelijke mobiele batterijsystemen en waterstofinstallaties bestaat nog geen uniform, bindend en specifiek Vlaams beoordelingskader. Hulpverleningszones kunnen terugvallen op bestaande normen, richtlijnen en lokale risicoanalyses, maar de interpretatie en opgelegde voorwaarden verschillen in de praktijk. Dit hiaat leidt tot inconsistente beoordelingen tussen verschillende hulpverleningszones, en vormt een knelpunt voor de bouw- en evenementensector.

Het brandweeraadvies weegt in de praktijk zwaar bij de beoordeling van brandveiligheidsaspecten, zonder dat het per definitie doorslaggevend is. Door het ontbreken van specifieke nationale of Vlaamse kaders voor bijvoorbeeld tijdelijke BESS verschillen de beoordelingen en opgelegde voorwaarden tussen gemeenten. Hoewel de brandweer autonoom adviseert, stimuleert Netwerk Brandweer Vlaanderen wel een meer uniforme aanpak door het gebruik van bestaande (niet-bindende) richtlijnen, zoals die voor [vaste energieopslagsystemen](#), te bevorderen.

Een bijkomende complexiteit is dat de plaatsing van tijdelijke BESS, vooral op bouwwerven waarvoor geen specifieke BESS-vergunning nodig is, niet altijd gekend is bij de brandweer. Bij evenementen is de kans op betrokkenheid en specifieke eisenstelling door de brandweer groter. Dat gebeurt op basis van een risico-inschatting, bijvoorbeeld in relatie tot publieksdensiteit en evacuatiewegen. (Persoonlijke communicatie Netwerk Brandweer Vlaanderen, 2025)

Voor BESS en waterstof werd vanuit de bouw- en evenementensector en de overheid gevraagd om meer uniformiteit in beoordeling en advies door de brandweer. Dit wordt als bredere beleidsaanbeveling gekoppeld aan Hoofdstuk 9.

2.3.7 VOORBEELDEN VAN VLAAMSE STEDEN EN GEMEENTEN

Steden, gemeenten of andere opdrachtgevers kunnen in hun aanbestedingen, stedenbouwkundige verordeningen, reglementen of vergunningen specifieke eisen opnemen voor het gebruik van emissiearm materieel.

Stad Gent. In een collegebesluit van 7 maart 2024 keurde Stad Gent voorwaarden goed voor dieselgeneratoren en batterijen in stadsinterne bestekken en voor evenementen en festivals. Voor langdurige werven wordt gestuurd naar een tijdelijke elektriciteitsaansluiting in plaats van een dieselgenerator. Gebruikte dieselgeneratoren moeten minstens Stage IIIA zijn en goed onderhouden worden. Op werven van grotere schaalklasse (klasse 8) wordt, waar haalbaar, gestuurd naar batterijen voor het opvangen van piekbelasting van torenkranen die niet rechtstreeks op de elektriciteitsaansluiting kunnen. Ook voor festivals en evenementen geldt dat dieselgeneratoren minstens Stage IIIA of Stage V moeten zijn.

Stad Antwerpen. Stad Antwerpen legde geluidsvoorwaarden en luchtemissievoorwaarden op bij de aanbesteding van het raamcontract voor generatoren voor evenementen. Het politiereglement van Stad Antwerpen bevat voorwaarden voor tijdelijke energievoorziening op het stadsgrondgebied (beslissing van 30 september 2024 - 2024_GR_00541). Indien mogelijk moet worden aangesloten op het vaste elektriciteitsnet. Indien dit niet mogelijk is, moet op minder dan 25 m afstand van woningen, scholen of kinderdagverblijven een installatie gebruikt worden die minstens voldoet aan de emissiegrenswaarden “stage V” van de Europese Verordening (EU) 2016/1628. Indien “stage V” niet mogelijk is of op grotere afstand, wordt een installatie gebruikt die minstens voldoet aan de emissiegrenswaarden “stage IIIA”. Een installatie die eerder dan 2011 in de handel is gebracht, is verboden.

Indien nodig dienen gepaste, aanvullende maatregelen genomen te worden om hinder te beperken, zoals (niet limitatief):

- intern onderhoud van de machine;
- geluidsafscherming;
- een start-stopsysteem waarmee geregeld wordt dat de machine enkel werkt wanneer het noodzakelijk is of waarbij werking tijdens de nacht kan vermeden worden;
- gebruik van een batterij en/of zonnepanelen.

2.4 VERGELIJKING MET ANDERE EU-LIDSTATEN

Deze paragraaf vergelijkt de beleidsaanpak voor de verduurzaming van tijdelijk werfmaterieel in België/Vlaanderen met die in de buurlanden en het Verenigd Koninkrijk, aan de hand van drie thema's: transitiedoelen, financiële steun en Stage V. Deze vergelijking ondersteunt de aanbevelingen in Hoofdstuk 9. Nederland, Duitsland en het VK hanteren concrete transitiedoelen, subsidies en/of LEZ-regels voor NRM; Vlaanderen en België steunen vooral op marktwerking en algemene regelgeving.

2.4.1 TRANSITIE NAAR EMISSIEARM EN EMISSIEVRIJ MATERIEEL

Deze paragraaf vergelijkt hoe de onderzochte landen de overgang naar schoner en emissievrij bouw materieel ondersteunen. Daarbij komen transitiedoelen, aanbestedingsbeleid, netaansluitingen en laadinfrastructuur, financiële steun en de rol van Stage V aan bod. Stage V beperkt de uitlaatemissies van nieuwe motoren, maar vormt niet het einddoel van de transitie. De voorbeelden bieden context voor de Vlaamse situatie en ondersteunen de aanbevelingen in Hoofdstuk 9.

NEDERLAND

Nederland stuurt de markt via het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB), mede naar aanleiding van de stikstofcrisis. SEB mikt op een volledige overgang naar zero-emissiemachines (ZE) in veel categorieën tegen 2030–2035 — en gaat daarmee verder dan Stage V.

Enkele instrumenten zijn:

- Publieke opdrachtgevers (Rijkswaterstaat, gemeenten) die steeds vaker eisen opnemen rond volledig emissieloos materieel.
- Sinds 1 januari 2025 hebben de eerste Nederlandse steden zero-emissiezones ingevoerd, gericht op bestel- en vrachtauto's. Deze zones zijn dus niet rechtstreeks van toepassing op NRMM zoals generatoren, maar kunnen wel indirect doorwerken via stedelijk beleid, aanbestedingen en bredere emissie-eisen in projecten.

Er is in Nederland geen expliciete wettelijke verplichting om Stage V te gebruiken op bouwplaatsen buiten SEB-projecten. De handhaving door de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) op Stage V-conformiteit lijkt beperkt tot markttoezicht bij nieuwe apparatuur. De Nederlandse aanpak combineert een meerjarig transitiepad met eisen van publieke opdrachtgevers, ondersteuning voor overheden en bedrijven en aandacht voor laadinfrastructuur. De SSEB maakt deel uit van die aanpak. Het beschikbare budget en de praktische voorwaarden voor elektrische inzet zijn daarom relevant wanneer de Nederlandse ambities met de Vlaamse situatie worden vergeleken (zie §2.4.3.1).

De Nederlandse aanpak kiest dus bewust voor een strategie waarbij Stage V niet als eind- of tussendoel centraal staat en direct op zero-emissie wordt gestuurd via subsidies en aanbestedingseisen (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2024) (Informatiepunt Leefomgeving, n.d.) (Inspectie Leefomgeving en Transport, 2024).

DUITSLAND

Duitsland vertrouwt sterk op Europees markttoezicht voor nieuwe apparatuur. Voor bestaande machines ligt de focus op opwaardering via retrofit.

Het BAFA-programma (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) subsidieert het achteraf installeren van roetfilters (Partikelminderungssysteme) op oudere machines (vóór Stage V), wat de opwaardering van de bestaande vloot stimuleert eerder dan volledige vervanging door nieuwe Stage V-machines.

Hoewel de federale Umweltzonen primair op wegverkeer gericht zijn, stellen sommige steden strengere eisen in hun aanbestedingsbeleid. Berlijn is het meest sprekende voorbeeld: openbare opdrachten gaan er enkel nog naar aannemers die bouw materieel gebruiken dat minstens aan Stage IV voldoet of is uitgerust met een gecertificeerd roetfilter. Voor generatoren en andere machines met constante motordraaiing gelden daarbij specifieke eisen, onder meer rond filtering en emissieprestaties.

De Duitse aanpak laat dus ruimte voor oudere machines, op voorwaarde dat ze technisch worden opgewaardeerd, in plaats van strikt nationaal te handhaven op het gebruik van Stage V-machines. De focus ligt op praktische verbetering van de bestaande vloot via retrofit. (Mobilitätsmagazin, 2025) (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, n.d.)

FRANKRIJK

Frankrijk kiest voor een geleidelijke transitie via economische instrumenten (zie §2.4.3) in plaats van directe normering of handhaving.

Regulering van NRMM zoals generatoren gebeurt in de praktijk via klassieke bouw- en milieuvergunningen. Net als in België kunnen op Franse werven naast Stage V-machines vermoedelijk ook oudere generatoren (Stage IIIA of ouder) gebruikt worden indien deze als stationaire installatie worden geclassificeerd met minder strenge voorwaarden. De precieze handhavingsstrategie voor Stage V bij mobiele generatoren blijft onduidelijk; de rol van de DREAL (Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) is in dit verband niet gedocumenteerd. Het ontbreken van een expliciet handhavingsprogramma of een aangewezen instantie voor Stage V-conformiteit bij NRMM wijst erop dat de Franse aanpak minder expliciet is uitgewerkt dan die in Nederland. (Service Public, n.d.) (Salti, n.d.).

2.4.2 VERENIGD KONINKRIJK: LEZ IN LONDEN VOOR NRMM

Londen heeft als enige grote Europese stad een specifieke Low Emission Zone voor Non-Road Mobile Machinery (NRMM LEZ). De stad koppelt emissie-eisen rechtstreeks aan registratie en vergunningverlening.

Het systeem is sinds 1 september 2015 van kracht en wordt stapsgewijs aangescherpt. Sinds 1 januari 2025 geldt in heel Greater London minstens Stage IV voor NRMM, terwijl generatoren Stage V moeten halen.

Alle machines moeten vóór inzet op Londense bouwerven worden geregistreerd in een online databank. Dat maakt overzicht en controle mogelijk. De naleving wordt afgedwongen via de bouwvergunning ('planning permission'). Niet-conformiteit kan leiden tot handhaving, planning enforcement, boetes of stillegging, afhankelijk van de bevoegde overheid en het toepasselijke instrumentarium.

De luchtkwaliteit op Londense bouwplaatsen is verbeterd. Tegelijk brengt het systeem hogere kosten voor kleine bedrijven en extra complexiteit bij grensoverschrijdende projecten met zich mee. Het systeem werkt vooral door duidelijke regels, digitale registratie en koppeling aan vergunningen. Gerichte regulering van NRMM is dus haalbaar, mits er politiek draagvlak en handhavingscapaciteit zijn. (Greater London Authority, 2020).

Vlaanderen kent LEZ's in Antwerpen en Gent, die de toegang voor oudere, meer vervuilende wegvoertuigen beperken. De huidige Vlaamse LEZ-regelgeving is echter niet van toepassing op NRMM, zoals generatoren.

2.4.3 FINANCIËLE STIMULANSEN EN FISCALE MAATREGELEN

De buitenlandse voorbeelden tonen dat ambities voor emissievrije bouwplaatsen samenhangen met de voorwaarden om die ambities uit te voeren: tijdig beschikbare elektriciteit, laadmogelijkheden, investeringssteun en een voorspelbare vraag vanuit opdrachtgevers. Bij een vergelijking met Vlaanderen moeten die randvoorwaarden mee worden bekeken. De beleidsinstrumenten van andere landen zijn niet zonder meer overdraagbaar op elke tijdelijke elektriciteitsvoorziening.

2.4.3.1 SUBSIDIES VOOR SCHONER MATERIEEL

Nederland beschikt over de meest uitgebreide subsidieregelingen.

Nederland ondersteunt zowel de vraag naar als het aanbod van emissieloos bouwmaterieel. Via SPUK-SEB kunnen in aanmerking komende medeoverheden steun krijgen voor de inzet van emissieloos materieel bij aanbestedingen. De SSEB ondersteunt bedrijven bij de aanschaf van emissieloos materieel

en laadinfrastructuur, de ombouw van bestaand materieel naar emissiearm of emissieloos materieel en innovatie.

Voor 2025 bedroegen de vastgestelde SSEB-subsidieplafonds samen €65 miljoen: €28 miljoen voor aanschaf van materieel, €20 miljoen voor laadinfrastructuur, €7 miljoen voor retrofit en €10 miljoen voor innovatie (€9 miljoen voor experimentele ontwikkeling en €1 miljoen voor haalbaarheidsstudies). Het gaat om beschikbare subsidieplafonds voor de bouwsector, niet om reeds uitgekeerde bedragen of om €65 miljoen specifiek voor generatoren en tijdelijke stroomvoorziening. Daarnaast bestaan fiscale instrumenten; hun toepasselijkheid hangt af van de investering en de geldende voorwaarden.

Duitsland kiest voor een andere benadering door in te zetten op retrofit van bestaande machines.

- Er wordt een subsidie tot 50% geboden voor de installatie van roetfilters op oudere machines.
- De nadruk ligt op het opwaarderen van bestaand materieel (van Stage I–III naar het niveau van Stage IV), eerder dan op de aankoop van nieuw zero-emissiematerieel.

Frankrijk beschikt niet over een specifieke subsidieregeling voor bouw materieel. Financiering verloopt via bredere transitieprogramma's, zoals die van ADEME, maar deze zijn slechts beperkt toepasbaar op tijdelijke installaties zoals generatoren.

2.4.3.2 BRANDSTOFACCIJNZEN: AFBOUW FISCALE VOORDELEN

Het brandstofbeleid vormt een van de grootste verschillen tussen landen en bepaalt mee of batterijen, hybride systemen of HVO financieel aantrekkelijk zijn. De afbouw van fiscale voordelen voor fossiele brandstoffen speelt daarbij een bepalende rol.

Tabel 2: Vergelijking van brandstofaccijnzen in buurlanden

Land	Brandstofnaam	Toegestaan in mobiele NRMM?	Fiscaal regime	Bron
België/Vlaanderen	Rode diesel	Ja	Verlaagd accijnstarief	-
Nederland	Rode diesel	Nee, behalve binnenvaart	Afgeschaft per 2013; standaardaccijns op 'witte' diesel	⁷

⁷

https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/themaoverstijgend/brochures_en_publicaties/rode_diesel_informatie_over_rode_diesel;
https://download.belastingdienst.nl/douane/docs/nieuwsbrief_rode_diesel_acc1121z7fd.pdf

Land	Brandstofnaam	Toegestaan in mobiele NRMM?	Fiscaal regime	Bron
Duitsland	Heizöl EL (gemarkeerd)	Nee voor mobiel gebruik; gebruik kan als belastingontduiking worden beschouwd	Standaardaccijns op diesel voor mobiel gebruik; verlaagd tarief enkel voor stationair gebruik of verwarming	⁸
Frankrijk	Gazole Non Routier (GNR)	Ja	Gefaseerde afbouw van het verlaagde tarief (2024-2030); initieel voorziene jaarlijkse stijging van +5,99 ct/l/jaar voor BTP (Loi de Finances 2024, art. 93); tarief onderhevig aan jaarlijkse parlementaire bijstelling)	⁹

Het fiscale beleid rond brandstof speelt een belangrijke rol in de economische aantrekkelijkheid van schone technologieën. Landen verschillen sterk in hun aanpak, wat directe gevolgen heeft voor investeringsbeslissingen binnen de bouwsector.

Nederland (sinds 2013)

Met de afschaffing van rode diesel is het kostenvoordeel voor dieselgeneratoren verdwenen.

Frankrijk (2024–2030)

Frankrijk bouwt het accijnsvoordeel voor GNR (gazole non routier) gefaseerd af. Volgens de Loi de Finances 2024 (art. 93) bedraagt de initieel voorziene jaarlijkse stijging +5,99 ct/l voor de bouwsector (BTP), wat over het volledige traject (2024–2030) neerkomt op een cumulatieve prijsstijging van circa €0,36 per liter. Het effectieve afbouwtempo is onderhevig aan jaarlijkse parlementaire bijstelling en kan dus afwijken van het initiële schema.

Vlaanderen en België

België behoudt het fiscale voordeel op rode diesel, met een literprijs van ongeveer €0,80 tegenover €1,60 voor witte diesel (prijzen anno 2025).

⁸ [https://de.wikipedia.org/wiki/Energiesteuergesetz_\(Deutschland\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Energiesteuergesetz_(Deutschland)) ; https://www.stromaggregate-portal.de/Stromaggregate_Wissenswertes/Stromaggregate_Heizolbetrieb.html

⁹ <https://www.fntp.fr/gnr-gazole-non-routier/>;
[https://www.habitatpresto.com/pro/conseils/actualites/suppression-progressive-gazole-non-routier/](https://www.habitatpresto.com/pro/conseils/actualites/suppression-progressive-gazole-non-routier;);
<https://www.fioulreduc.com/blog/fin-avantage-fiscal-gnr-agriculteurs-et-btp>

De uiteenlopende fiscale regimes beïnvloeden de businesscase voor investeringen in batterijsystemen, hybride oplossingen en HVO. Waar Nederland en Frankrijk het fiscale voordeel voor fossiele brandstoffen afbouwen, blijft België vasthouden aan een belastingvoordeel dat conventionele systemen bevoordeelt.

2.5 Samenvatting

Het regelgevend kader bevat enkele belangrijke knelpunten en aandachtspunten:

- De expliciete uitzondering voor 'eigenlijke bouw-, sloop- of wegenwerken' in de VLAREM-indelingslijst zorgt ervoor dat de meeste generatoren op werven – en bij evenementen onder 150 kW – niet-ingedeeld zijn. Daardoor worden de emissies meestal niet systematisch getoetst via de omgevingsvergunning en is hinderbeperking in de praktijk moeilijk afdwingbaar.
- De handhaving van de Europese Stage V-productnormen in de gebruiksfase is beperkt. Dit is problematisch omdat motoren voor stationaire toepassingen, waarvoor soepelere normen gelden, onrechtmatig als mobiele generator kunnen worden ingezet. Dat leidt tot oneerlijke concurrentie.
- Het federale fiscale voordeel voor rode diesel staat op gespannen voet met de Vlaamse en Europese milieudoelstellingen en maakt schonere alternatieven financieel minder aantrekkelijk.
- Het ontbreken van uniforme regels voor de plaatsing van nieuwe technologieën zoals BESS leidt tot verschillen in beoordeling tussen lokale instanties, zoals de brandweer.
- Het Stikstofdecreet (2024) maakt de NOx-uitstoot van werfmaterieel, inclusief niet-ingedeelde generatoren, direct relevant voor de vergunningverlening van bouwprojecten nabij Speciale Beschermingszones (SBZ-H) of andere kwetsbare natuur (bv. VEN-gebied). Dit verhoogt op zulke projecten de aandacht voor emissiearm materieel, ook wanneer de generator zelf niet indelingsplichtig is; in de praktijk zijn vooral het aantal machines en de afstand tot het beschermde gebied bepalend voor de passende beoordeling. Het Stikstofdecreet beïnvloedt daarmee de systeemkeuze in Hoofdstuk 6: op projecten nabij SBZ-H kan de emissieklasse van de generator, bijvoorbeeld Stage V of het gebruik van HVO of de inzet van BESS, doorslaggevend worden.
- De vergelijking met buurlanden (§2.4) toont dat België en Vlaanderen op elk van de drie assen minder ver gaan dan de vergeleken landen: geen afbouw van het rode-dieselvoordeel (in tegenstelling tot Nederland en Frankrijk), geen gerichte subsidies voor emissievrij bouw materieel (in tegenstelling tot Nederland) en geen subsidie voor het achteraf plaatsen van roetfilters (in tegenstelling tot Duitsland), en geen NRMM-specifieke lage-emissiezone (in tegenstelling tot het Verenigd Koninkrijk). De huidige beleidscontext biedt daardoor minder economische prikkels voor de transitie dan in vergelijkbare markten.
- Naast milieuwetgeving zijn het AREI (elektrische veiligheid) en de Codex Welzijn op het Werk (o.a. ATEX en lawaai op de werkplek) de kaders voor een veilige implementatie.

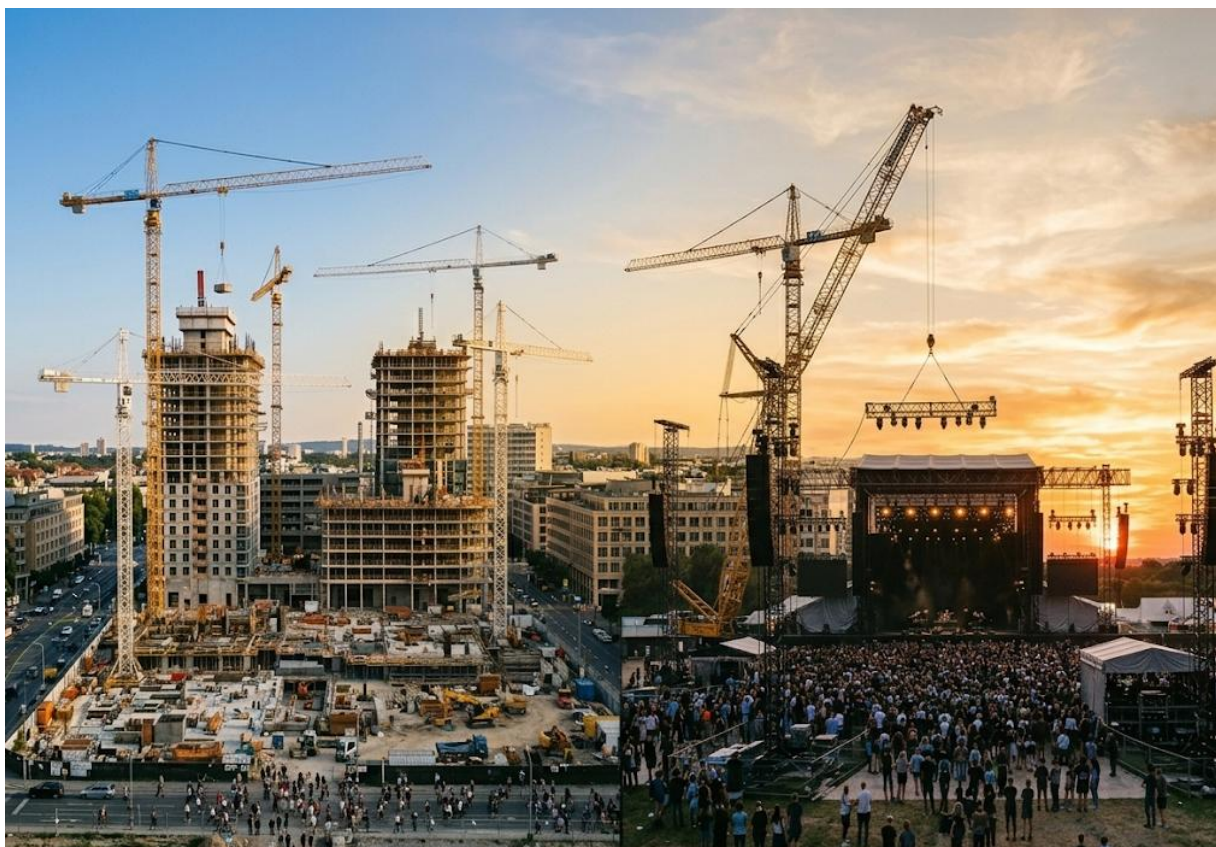
Tabel 3: Wegwijzer: welke regelgeving bij welke context

Technologie / context	EU	Federaal	Vlaams	Lokaal
Dieselgenerator op bouwwerf	Stage V bij markttoelating §2.1.1, ADR §2.1.5	AREI §2.2.1, rode diesel §2.2.3	Vrijstelling rubrieken 12.1/31.1 §2.3.1, geluid §2.3.2, opslag §2.3.3	Bijzondere voorwaarden §2.3.6
Dieselgenerator bij evenement	Idem	Idem	Rubriek 12.1 vanaf 150 kW §2.3.1; geluid, beoordeling mogelijk via de indeling van de muziekactiviteit (rubriek 32) §2.3.2	Gemeentelijke toelating + brandweeradvis §2.3.6
Mobiele BESS	EU batterijverordening §2.1.4, ADR klasse 9 §2.1.5	AREI §2.2.1, Codex Welzijn op het Werk indien ATEX-risico §2.2.2	Grijze zone §2.3.1	Brandweeradvis §2.3.6
Waterstofsysteem	ADR klasse 2 §2.1.5	AREI, ATEX EVD verplicht §2.2.2	VLAREM opslag gasen §2.3.3, specifieke rubrieken	Brandweeradvis §2.3.6

Hoofdstukken 4, 6 en 7 werken uit hoe gebruikers binnen deze regels technieken kiezen en toepassen. De knelpunten die in dit hoofdstuk zijn beschreven — marktversturende fiscale prikkels, beperkte handhaving in de gebruiksfase en het ontbreken van gerichte stimulansen — worden in Hoofdstuk 9 verder vertaald naar mogelijke oplossingsrichtingen en stakeholderspecifieke aanbevelingen.

HOOFDSTUK 3.

SECTORANALYSE: BOUWSECTOR EN EVENEMENTENSECTOR



HOOFDSTUK 3. SECTORANALYSE: BOUW-, EVENEMENTENSECTOR EN OVERIGE TOEPASSINGEN

Dit hoofdstuk bespreekt tijdelijke stroomvoorziening in de bouw- en evenementensector. Per sector wordt beschreven welke vermogens en verbruiksprofielen typisch voorkomen, welke praktische beperkingen spelen en welke factoren de keuze voor een systeem beïnvloeden. §3.3 gaat kort in op andere toepassingen waar dezelfde principes bruikbaar zijn. De analyse maakt duidelijk waarom één standaardoplossing niet volstaat.

Alle cijfers en vermogens in dit hoofdstuk zijn indicatieve grootteordes.

3.1 BOUWSECTOR

3.1.1 ALGEMEEN OVERZICHT EN KARAKTERISERING VAN DE ACTIVITEITEN

De bouwsector omvat projecten van kleinschalige renovaties tot complete woonwijken, en van niet-residentiële gebouwen (kantoren, scholen, commerciële panden) tot grote infrastructuurwerken. Daardoor verschilt ook de energiebehoefte sterk. Een binnenstedelijke renovatie kent een hogere gevoeligheid voor geluid, beperkte opstelruimte en hogere gevoeligheid voor emissies door de bevolkingsdichtheid of door de lokale ruimtelijke configuratie. Een infrastructuurproject in landelijk gebied kent vooral logistieke knelpunten en vereist volledige energie-autonomie. Gemeenschappelijk is dat deze projecten starten op locaties zonder adequate netaansluiting. De projectduur — van maanden tot jaren — vraagt een betrouwbare energievoorziening over de volledige looptijd.

TYPISCHE ENERGIEPROFIELEN IN DE BOUW

Binnen de bouw komen drie dominante profielen voor. De activiteiten hieronder kunnen als voorbeelden onder een of meer profielen vallen:

- Intermitterende pieken met lagere gemiddelde last: korte, hoge pieken (seconden–minuten) bovenop een lagere basislast (bv. kraanopstart, hijsen).
- Langdurige, (quasi-)continue last: hoog energieverbruik (kWh) met relatief stabiel vermogen, vaak continu (24/7) (bv. grootschalige bemaling, procesinstallaties).
- Gemengd profiel: combinatie van een grote basislast met bijkomende pieken of tijdelijke proceslasten (bv. werfketen + bemaling + wisselende machines).

WONINGBOUW EN NIET-RESIDENTIËLE GEBOUWEN

Deze categorie is de meest zichtbare en omvat diverse projecten, van de bouw en renovatie van eengezinswoningen tot de realisatie van grootschalige appartementscomplexen, kantoorgebouwen, scholen en zorginstellingen. Het gaat doorgaans om zogenaamde "puntprojecten" die op een vaste locatie worden uitgevoerd, met een projectduur die varieert van enkele maanden voor een renovatie tot meerdere jaren bij complexe projecten.

Het energieverbruik varieert sterk per fase van het bouwproces:

- Grondwerk: een relatief stabiel verbruik, vaak gedomineerd door continue bemaling (24/7) en de basislast van de werfkeet.
- Ruwbouw: hoge piekverbruiken door intensief gebruik van torenkranen en tijdelijke hijsactiviteiten.
- Afwerking: meer verspreid verbruik door handgereedschap, werfverlichting en kleinere toestellen.

Indicatieve grootteordes, te verfijnen via verbruiksanalyse, op basis van eigen inschatting uit bedrijfsbezoeken in 2024-2025:

- Kleinschalige werf (renovatie / eengezinswoning, beperkte bemaling): piekvermogen typisch 10–30 kVA; energieverbruik typisch 2–10 MWh over de volledige werfduur.

- Middelgrote werf (meerdere werfketens + torenkraan of zwaardere machines): piekvermogen typisch 50–200 kVA; energieverbruik typisch 10–100 MWh per jaar.
- Grote werven (grote ruwbouw, infrastructuur, intensieve bemaling of breek-/zeefactiviteiten): piekvermogen typisch 200–1.000+ kVA; energieverbruik typisch tientallen tot honderden MWh per jaar.

Voor dimensionering is het piekvermogen leidend; voor kosten en emissies is het energieverbruik leidend. Beide moeten worden ingeschat (en idealiter gemeten, zie ook Hoofdstuk 5). Het energieprofiel is doorgaans gemengd.

INFRASTRUCTUURWERKEN (GROND-, WEG- EN WATERBOUW – GWW)

Dit segment omvat grootschalige, vaak door de overheid gefinancierde projecten zoals de aanleg en het onderhoud van wegen, bruggen, tunnels, spoorlijnen en waterwegen tot de heraanleg voor straten, pleinen en binnenstedelijke wegen. Een deel van deze projecten wordt gekenmerkt door grootschalige of lineaire werkzaamheden, waarbij de werf zich over een lang tracé verplaatst. Andere GWW-projecten zijn kleinschaliger en vinden plaats in een dichtbebouwde stedelijke omgeving, vaak met beperkte ruimte en verhoogde gevoeligheid voor hinder.

Bij grootschalige infrastructuurwerken zijn de projectduren doorgaans lang en kunnen ze meerdere jaren bedragen. Het energieprofiel kan dan worden gedomineerd door langdurige, hoge vermogensvragen en een hoog energieverbruik, onder meer door:

- Asphalt- en betoncentrales: mobiele of semi-mobiele productie-eenheden met een hoge en continue vermogensvraag.
- Grootschalige bronbemaling: inzet van meerdere grote pompen die maandenlang onafgebroken (24/7) draaien.
- Elektrificatie en laadvraag: toenemende inzet van elektrisch materieel introduceert bijkomende vermogensvraag op de werf.
- Laadpieken: DC-snelladen kan ultrakorte, hoge vermogenspieken veroorzaken, vaak met gelijktijdigheid, bv. tijdens pauzes. Dit stelt andere eisen aan de energievoorziening.

Bij kleinere of binnenstedelijke GWW-projecten, zoals de heraanleg van straten of pleinen, ligt het energieprofiel doorgaans lager en zijn asphalt- of betoncentrales meestal niet aan de orde. Daar wegen vooral beperkte opstelruimte, bereikbaarheid, hinder voor omwonenden, fasering en de beschikbaarheid van een tijdelijke netaansluiting door.

GWW-projecten kunnen dus sterk verschillen in schaal, locatie en energieprofiel. Op afgelegen locaties of langs lineaire tracés is een robuuste netaansluiting niet altijd vanzelfsprekend. In stedelijke contexten is netinfrastructuur vaker nabij, maar kunnen capaciteit, timing, opstelruimte en hinderbeperking de systeemkeuze bepalen. De combinatie van vermogensvraag, projectduur, logistiek, locatie en verplaatsing maakt de energievoorziening in GWW-projecten daarom sterk projectspecifiek.

SLOOP- EN GRONDWERKEN

Deze eerste fase van herontwikkelingsprojecten omvat de afbraak van bestaande structuren en terreinvoorbereiding. Het gaat om een activiteit met een uitgesproken energieprofiel: zwaar mobiel materieel opereert vaak in een omgeving waar nutsvoorzieningen zijn verwijderd of niet opnieuw voorzien zijn. Dominante verbruikers zijn mobiele puinbrekers en zeefinstallaties, die continu een hoog vermogen vragen. De grootteorde varieert sterk met de installatie en het materiaal: grootschalige installaties kunnen gemiddeld tientallen liters diesel per draaiuur verbruiken, overeenkomend met

enkele honderden kW nominaal thermisch vermogen. Bij elektrificatie komt dit neer op enkele honderden kW elektrisch vermogen, met hogere pieken tijdens het breken van zware fracties of bij opstart. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025).

3.1.2 OPERATIONELE UITDAGINGEN

De inzet van tijdelijke stroomvoorziening in de bouwsector wordt bepaald door het energieprofiel én door een reeks operationele randvoorwaarden. Welke oplossing haalbaar en proportioneel is, hangt daardoor sterk af van de projectcontext.

OVERKOEPELENDE UITDAGINGEN

De eerste uitdaging is de beperkte beschikbaarheid van netstroom. Veel bouwplaatsen beschikken bij aanvang niet over een adequate netaansluiting. Naarmate het gevraagde vermogen stijgt of de afstand tot het aansluitpunt toeneemt, nemen doorlooptijd, complexiteit en kost snel toe. Tijdelijke aansluitingen met hogere vermogens vereisen vaak middenspanning, werftransformatoren en lange voorbereidingstijden, wat moeilijk te verenigen is met de projectplanning.

Een tweede knelpunt is deellastbedrijf. Generatoren worden vaak gedimensioneerd op piekvermogen, maar draaien gedurende lange periodes op lage belasting. Dit leidt tot een hoger brandstofverbruik per geleverde kWh, verhoogde emissies en versnelde slijtage. Zonder buffering of modulaire opbouw blijft dit een probleem.

Een derde aandachtspunt is de vergunnings- en milieudruk op projectniveau, vooral rond stikstof en lokale hinder. Nabij kwetsbare natuur of in stedelijke contexten kan de energievoorziening zelf een bepalende factor worden in de haalbaarheid van het project. Voor dieselgeneratoren op bouwerven werkt deze druk vandaag in Vlaanderen echter meestal niet rechtstreeks, maar eerder indirect via projectcontext, aanbestedingseisen of specifieke gevoeligheden van de omgeving.

Tot slot zijn er logistieke beperkingen. Op bouwplaatsen is ruimte schaars, de toegankelijkheid wisselend en de omgeving vaak gevoelig. In afgelegen gebieden zijn netaansluiting en brandstofaanvoer dan weer problematisch. Deze factoren beperken de keuzevrijheid in technologie en opstelling.

CONTEXTSPECIEKE UITDAGINGEN

- Stedelijke bouwcontext (woningbouw en niet-residentiële projecten)

In dichtbebouwde omgevingen worden operationele keuzes sterk gestuurd door beperkte ruimte, een grotere gevoeligheid voor geluid en emissies en complexe logistiek. De plaatsing van generatoren, batterijen of brandstoftanks moet rekening houden met omwonenden, bereikbaarheid en veiligheid. Geluidshinder en uitlaatgassen leiden hier sneller tot klachten of bijkomende voorwaarden, wat een directe impact heeft op de organisatie en planning van de werf.

- Afgelegen of lineaire locaties (GWW en sloopwerken)

Bij infrastructuur- en sloopprojecten op afgelegen of lineaire locaties ligt de nadruk op autonomie en robuustheid. Netaansluitingen zijn vaak afwezig of economisch niet verantwoord, terwijl brandstoflogistiek, zoals aanvoer, opslag en beheer van brandstof, onderhoud en monitoring bemoeilijkt worden door afstand en terreinomstandigheden. De energievoorziening moet hier betrouwbaar functioneren onder wisselende omstandigheden, met beperkte externe ondersteuning.

3.1.3 FUNCTIONELE BEHOEFTE

Een werfvoeding moet passen bij het verbruiksprofiel van de werf (zie §3.1.1) en bij de praktische beperkingen op de locatie (zie §3.1.2). Samen bepalen deze factoren welke systemen bruikbaar zijn.

OVERKOEPELENDE FUNCTIONELE BEHOEFTE

- **Betrouwbaarheid en continuïteit:** Voor bepaalde toepassingen is stroomuitval niet of nauwelijks toelaatbaar. Dit geldt in het bijzonder voor kritieke lasten zoals bemaling, veiligheidsvoorzieningen en processen die continu moeten verlopen. Voor minder kritische verbruikers (bv. handgereedschap of tijdelijke verlichting) kan een korte onderbreking soms worden toegestaan, wat mogelijkheden biedt voor load shedding (het tijdelijk afschakelen van niet-kritieke verbruikers) of een flexibeler systeemontwerp.
- **Schaalbaarheid en flexibiliteit:** De vermogensbehoefte op een bouwplaats verandert in de tijd, zowel tussen projectfasen als binnen één dag. Energiesystemen moeten kunnen meegroeien met de werf, zonder dat langdurige overdimensionering ontstaat. Modulaire oplossingen passen daarom beter dan vaste, te groot gekozen installaties.
- **Opvang van piekvermogens:** Veel bouwactiviteiten worden gekenmerkt door korte, hoge vermogenspieken die niet representatief zijn voor het gemiddelde verbruik. Het energiesysteem moet deze pieken kunnen opvangen zonder dat de volledige installatie daar in grote mate op wordt gedimensioneerd. Dit is vooral relevant bij elektrisch aangedreven hijs- en bewerkingsapparatuur.
- **Monitoring en stuurbaarheid:** Inzicht in het actuele verbruik en de belastingverdeling is noodzakelijk om het systeem efficiënt te beheren, afwijkingen tijdig te detecteren en bij te sturen waar nodig. Met meetgegevens kunnen brandstofverbruik, emissies en kosten worden verlaagd.

SUBSECTOR-SPECIEKE BEHOEFTE

- **Woningbouw en niet-residentiële bouw:** Hier ligt de nadruk op het afvangen van kortdurende piekbelastingen, bijvoorbeeld bij kraanopstart. Het energiesysteem moet voldoende dynamisch zijn om deze pieken te ondersteunen zonder dat het gemiddelde vermogen onnodig hoog wordt gedimensioneerd.
- **GW- en sloopp projecten:** Deze projecten vereisen vooral een hoge en langdurige energielevering. De functionele uitdaging ligt minder bij piekvermogen en meer bij het betrouwbaar leveren van grote energievolumes over lange tijd, vaak in een continu (24/7)-regime. Autonomie en robuustheid zijn hier doorslaggevend.

De vertaling van deze functionele behoeften naar concrete technologische oplossingen, en de afwegingen die daarbij horen, wordt behandeld in Hoofdstuk 4.

3.1.4 SOCIO-ECONOMISCHE FACTOREN

Op werven bepaalt niet alleen de techniek de keuze. Kost, planning, en aanbestedingseisen spelen eveneens mee. De uiteindelijke systeemkeuze wordt in de praktijk vaak niet uitsluitend door de aannemer bepaald. Opdrachtgevers beïnvloeden de keuze via bestekken, duurzaamheidscriteria, projectplanning, beschikbare voorbereidingstijd en de mate waarin een tijdelijke netaansluiting tijdig wordt onderzocht. Daarnaast speelt gewoontegedrag een rol: vertrouwde dieseloplossingen worden soms behouden, ook wanneer batterijsystemen of hybride configuraties technisch en economisch verdedigbaar zijn. Daardoor worden efficiëntere of emissiearmere oplossingen niet altijd gekozen.

Kostenstructuur en focus op directe kosten

De kostenstructuur van tijdelijke elektriciteitsvoorziening omvat meerdere componenten: huur of aankoop van apparatuur, brandstof, onderhoud en logistiek. In de praktijk ligt de focus, met name bij kmo-aannemers, sterk op directe en kortetermijnkosten, terwijl totale levenscycluskosten (TCO) minder systematisch worden meegenomen. Dat speelt vooral bij kleinere aannemers en kmo's, waar de investeringsruimte beperkter is dan bij grotere ondernemingen. Grotere bedrijven hebben doorgaans meer mogelijkheden om te investeren in batterijsystemen, hybride configuraties, monitoring of nieuwere generatoren. Dit verschil in investeringsmogelijkheden beïnvloedt het tempo waarmee de transitie in de sector kan verlopen.

Brandstofkosten zijn doorgaans de grootste variabele post. Langdurige werking op lage deellast verhoogt de kosten per opgewekte kWh én de emissies (zie §4.2.3). Dit effect wordt in de praktijk onderschat, vooral wanneer goedkope rode diesel beschikbaar is (zie §2.2.3). Daardoor kunnen inefficiënte configuraties financieel aantrekkelijk blijven.

Invloed van regelgeving en aanbestedingscontext

De regelgeving beïnvloedt de systeemkeuze doorgaans indirect. Emissievereisten, met name inzake stikstofdepositie, kunnen in specifieke contexten, bijvoorbeeld nabij kwetsbare natuurgebieden (SBZ-H), het projectrisico verhogen. In Vlaanderen vertaalt dit zich vandaag doorgaans niet in een algemene directe verplichting voor generatoren op bouwerven, maar eerder in een indirecte stimulans richting emissiearmere oplossingen (zie §2.3 en §2.3.6).

Deze druk is echter sterk project- en contextafhankelijk. Voor veel bouwprojecten ontbreken expliciete verplichtingen rond de energievoorziening zelf, waardoor duurzaamheid geen randvoorwaarde vormt maar een vrijwillige of projectspecifieke keuze blijft. Ook in aanbestedingen ligt de nadruk vaak op prijs, waarbij energievoorziening zelden als afzonderlijk beoordelingscriterium wordt meegenomen (in tegenstelling tot de 'gunningscriteria' besproken in Hoofdstuk 9). Dit beeld wordt bevestigd door de praktijkervaringen van sectorvertegenwoordigers (Persoonlijke communicatie Embuild Vlaanderen, 2026).

Marktontwikkelingen en kennisniveau

Hybride systemen (§4.7) en alternatieve brandstoffen zoals HVO (§4.5.1), winnen terrein, vooral waar ze kunnen worden ingezet zonder de werforganisatie of logistiek ingrijpend te wijzigen.

Tegelijk vormt het kennisniveau van gebruikers een duidelijke drempel. Onbekendheid met dimensioneringsprincipes, energiebeheer of de werkelijke impact van deellast leidt geregeld tot conservatieve keuzes of overdimensionering. Dit geldt zowel voor aannemers als voor opdrachtgevers en projectleiders, en beperkt de adoptie van efficiëntere oplossingen. Bij kleinere aannemers en éénmanszaken is die drempel vaak groter (zie §9.3.1).

Risicomijding en organisatorische context

Stilstand op een werf heeft directe financiële en organisatorische gevolgen. Deze risico's stimuleren het gebruik van bewezen en vertrouwde technologieën, zelfs wanneer duurzamere alternatieven technisch beschikbaar zijn. De bereidheid om te experimenteren met nieuwe systemen hangt sterk af van projectspecifieke risico's, beschikbare technische ondersteuning en eerdere ervaringen.

Ook arbeidsomstandigheden en omgevingsfactoren krijgen meer gewicht. Stillere, emissiearme energievoorziening vermindert blootstelling op de werf en klachten uit de omgeving, vooral in stedelijke contexten (zie §3.1.2). Deze baten worden zelden expliciet verrekend in de economische afweging.

Het beslissingsmoment als knelpunt

Een bijkomende maar vaak onderschatte barrière is het moment waarop de beslissing over de energievoorziening wordt genomen. In de praktijk gebeurt dit doorgaans pas bij de werfopstart of bij de bestelling van materieel — door de werfleider of de machineparkverantwoordelijke — terwijl de projectplanning op dat moment al is vastgelegd. De mogelijkheid om een tijdelijke netaansluiting aan te vragen — met doorlooptijden die variëren van enkele weken voor eenvoudige installaties tot meerdere maanden voor grotere vermogens (zie §4.1) — is dan vaak al gemist. De energievoorziening wordt zo een restpost in plaats van een ontwerpparameter.

Dit mechanisme verklaart een belangrijk deel van de afhankelijkheid van conventionele generatoren: niet omdat ze de beste optie zijn, maar omdat ze de enige optie zijn die op korte termijn beschikbaar is wanneer de beslissing te laat valt. Een doordachte systeemkeuze (conform het Grid First-principe, zie Hoofdstuk 6) vereist dat de verantwoordelijke voor de energievoorziening wordt betrokken bij de projectvoorbereiding, niet pas bij de uitvoering. Bij grotere projecten is het aangewezen om de energievoorziening als item op te nemen in de projectopstart, analoog aan andere werfinfrastructuur zoals bemaling of kraanplanning.

Spanning tussen praktijk en transitie

Er is een spanning tussen de bestaande praktijk en de energietransitie. De noodzaak tot verduurzaming wordt sectorbreed erkend, maar de implementatie in de bouw blijft beperkt tot projecten met expliciete eisen.

Een structurele omschakeling vereist een combinatie van factoren:

- een beleidskader dat duurzame keuzes economisch aantrekkelijker maakt;
- opdrachtgevers die expliciete eisen stellen aan tijdelijke energievoorziening;
- kennisdeling via instrumenten zoals deze Code van Goede Praktijk.

Deze socio-economische context verklaart waarom de technologische mogelijkheden (Hoofdstuk 4) niet automatisch leiden tot toepassing in de praktijk, en onderstreept het belang van een beslissingskader (Hoofdstuk 6).

Tabel 4: Samenvatting kenmerken van bouwprojecten met inzet van generatoren

Kenmerk	Beschrijving
Typische projectduur	Lang (maanden tot jaren)
Belastingsprofiel	Zeer variabel: hoge pieken (zwaar materieel) afgewisseld met lange periodes van lage belasting (basislast)
Primaire uitdagingen	Tijdige en adequate nettoegang, efficiëntie bij lage/variabele last, geluidshinder, brandstoflogistiek
Kern functionele behoeften	Hoge betrouwbaarheid, kostenefficiëntie (vaak focus op directe kosten), schaalbaarheid, geluidsbeperring

Kenmerk	Beschrijving
Belangrijkste socio-economische drivers	Kosten (huur, brandstof - incl. impact 'rode diesel'), aanbestedingseisen (duurzaamheid), regelgeving (emissies, geluid), kennisniveau van gebruikers

(Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

(A greener future, n.d.)

Parameters voor systeemkeuze

Voor bouwprojecten zijn vooral vijf parameters bepalend voor de systeemkeuze:

1. *Piekvermogen en aard van de pieken* — kort en dynamisch (bv. kraanopstart) of langdurig en continu (bv. bemaling)? Dit bepaalt of peak shaving via een batterijbuffer zinvol is.
2. *Energievolume over de projectduur* — beperkt (enkele MWh voor een renovatie) of zeer groot (honderden MWh/jaar voor GWW)? Dit bepaalt mee de kost en de emissies.
3. *Kritikaliteit* — welke verbruikers tolereren geen onderbreking (bemaling, veiligheid), en welke wel (handgereedschap, verlichting)? Dit bepaalt de redundantie-eis.
4. *Omgevingscontext* — stedelijk (geluidsgevoelig, ruimtebeperkt, emissiegevoelig) of afgelegen (logistiek dominant, autonomie vereist)? Dit stuurt de eisen aan geluid, emissies en opstelling.
5. *Projectduur en -planning* — hoe lang duurt het project, en is de doorlooptijd voor een netaansluiting inpasbaar in de projectplanning? Dit bepaalt of het Grid First-principe toepasbaar is.

De concrete methoden om deze parameters te kwantificeren worden behandeld in Hoofdstuk 5 (behoefteanalyse); de vertaling naar systeemkeuze volgt in Hoofdstuk 6.

3.2 EVENEMENTENSECTOR

Evenementen verschillen sterk in schaal, duur en locatie. Anders dan in de bouw zijn evenementen kort, maar intensief in energiegebruik, waarbij uitval weinig marge laat. Geluid en emissies van generatoren kunnen vooral storend zijn wanneer generatoren dicht bij woningen of publiek toegankelijke zones worden geplaatst, tijdens opbouw en afbraak worden gebruikt, of blijven draaien nadat de muziek of hoofdactiviteit is gestopt.

De nood aan tijdelijke stroomvoorziening ontstaat zowel op locaties zonder vaste nutsvoorzieningen (greenfield) als in stedelijke contexten waar bestaande netaansluitingen onvoldoende capaciteit bieden of ongunstig gelegen zijn. De energie-infrastructuur wordt bovendien opgebouwd onder hoge tijdsdruk, met beperkte ruimte voor bijsturing of fouten.

Een onderscheid naar schaal en mobiliteit helpt bij een correct begrip van de functionele en operationele eisen. Daarom worden in §3.2.1 vier hoofdtypes onderscheiden:

- grootschalige greenfield-evenementen;
- middelgrote stedelijke evenementen;

- kleinschalige lokale evenementen;
- mobiele evenementen.

Die indeling wordt gebruikt in de bespreking van uitdagingen, behoeften en systeemkeuzes.

3.2.1 ALGEMEEN OVERZICHT EN KARAKTERISERING VAN DE ACTIVITEITEN

GROOTSCHALIGE EVENEMENTEN OP TERREINEN ZONDER VASTE ENERGIE-INFRASTRUCTUUR ("GREENFIELD")

Voorbeelden van "Greenfield"-evenementen zijn meerdaagse muziekfestivals en grote vakbeurzen op terreinen zonder vaste nutsvoorzieningen. Er wordt een tijdelijk energienet opgebouwd, vergelijkbaar met dat van een klein dorp.

Het energieprofiel combineert een zeer hoge geïnstalleerde capaciteit (typisch in de orde van 0,5–5 MW, met uitschieters naar boven), met sterke fluctuaties. Tijdens shows treden extreme pieken op door licht, video/LED en audio, terwijl 's nachts een lagere maar continue basislast actief blijft voor beveiliging, koeling en noodvoorzieningen (Sustafest, 2025).

Betrouwbaarheid staat hier voorop. Stroomuitval is onaanvaardbaar wegens veiligheidsrisico's, contractuele verplichtingen en reputatieschade. Geluid vormt vooral 's nachts een kritische factor: wanneer muziek stopt, wordt generatorgeluid vaak de dominante bron van omgevingshinder. Daarom worden vaker hybride systemen ingezet die 's nachts volledig of grotendeels op batterij functioneren (zie §4.7).

MIDDELGROTE STEDELIJKE EVENEMENTEN

Dit type omvat onder meer stadsfestivals, kerstmarkten en grotere braderieën. Ze vinden plaats in een bestaande stedelijke omgeving, vaak met aanwezige maar beperkte netinfrastructuur.

Het energieprofiel is doorgaans hybride: een bestaande netaansluiting vormt de basis, aangevuld met generatoren voor pieken, specifieke zones of back-up. Sommige toepassingen, zoals ijspistes, vereisen een hoge en continue basislast, terwijl podia eerder kortdurende pieken veroorzaken.

De belangrijkste prioriteit is het beperken van omgevingshinder. Geluid en emissies wegen hier zwaarder door dan bij grootschalige greenfield-evenementen, door de nabijheid van woningen en strengere vergunningsvoorwaarden. Dit stuurt de systeemkeuze richting stillere generatoren, hybride configuraties of batterijsystemen (zie Hoofdstuk 6). Indicatieve grootteordes: geïnstalleerd vermogen typisch 50–500 kVA, afhankelijk van het aantal podia en nevenactiviteiten.

KLEINSCHALIGE LOKALE EVENEMENTEN

Voorbeelden zijn buurtfeesten, foodtruckfestivals en pop-up horeca. Deze evenementen hebben een beperkte schaal en korte duur, maar vinden vaak plaats in directe nabijheid van woningen.

Het energieverbruik is relatief laag en eenvoudig, met een beperkte piek rond de hoofdactiviteit. Bij gebrek aan een netaansluiting zijn organisatoren vaak volledig aangewezen op generatoren. Hierdoor worden geluid en emissies onmiddellijk voelbaar voor omwonenden.

De spanning ligt hier tussen budgetbeperkingen en de nood aan stille, schone technologie. Hoewel batterijsystemen technisch zeer geschikt zijn, vallen ze niet altijd binnen het beschikbare budget, wat leidt tot suboptimale oplossingen of terugkerende klachten.

MOBIELE EVENEMENTEN

Mobiele evenementen omvatten onder meer optochten, lichtparades, mobiele DJ-wagens en straattheater. De energievoorziening moet hier geïntegreerd worden in een rijdend platform.

Het energieprofiel is laag, maar continu tijdens verplaatsing. Autonomie en energiedichtheid zijn belangrijk: de opgeslagen energie moet volstaan voor de volledige duur van de activiteit zonder mogelijkheid tot bijladen.

In de praktijk zijn enkel stille, emissievrije oplossingen haalbaar. Belangrijke ontwerpcriteria zijn compactheid, laag gewicht en volledige geruisloosheid, gezien de directe nabijheid van publiek.

3.2.2 OPERATIONELE UITDAGINGEN

Tijdelijke elektriciteitsvoorziening op evenementen is operationeel veeleisend. De knelpunten liggen vooral bij logistiek, tijdsdruk, omgevingshinder en betrouwbaarheid. De invulling verschilt per type evenement, maar enkele knelpunten keren sectorbreed terug.

OVERKOEPELEND

Evenementenlocaties beschikken zelden over een netaansluiting die zowel qua capaciteit als positionering geschikt is voor het beoogde gebruik. Zelfs waar netaansluitingen beschikbaar zijn, blijken ze vaak onvoldoende voor het leveren van hoge piekvermogens of bevinden ze zich op logistiek ongunstige locaties. In de praktijk blijft autonome opwekking via mobiele systemen daardoor vaak noodzakelijk, ook bij netgekoppelde evenementen (Sustafest, 2025).

Daarnaast werken evenementen onder uitgesproken tijdsdruk. De volledige energie-infrastructuur (generatoren, batterijen, brandstoftanks, verdeelkasten en bekabeling) wordt op- en afgebouwd binnen korte vensters. Dit vraagt robuuste, modulaire systemen die snel en veilig te installeren zijn en bestand zijn tegen wisselende weersomstandigheden.

Een derde uitdaging is de mismatch tussen dimensionering en werkelijk gebruik. Net als in de bouwsector (zie §3.1.2) worden installaties vaak gedimensioneerd op maximale showbelasting, terwijl ze het grootste deel van de tijd op lage deellast draaien. Dit leidt tot inefficiënt brandstofgebruik, verhoogde emissies en slijtage, en vormt een belangrijke drijfveer voor hybride configuraties en actief lastbeheer (zie §4.7).

SPECIFIEKE AANDACHTSPUNTEN

Grootschalige greenfield-evenementen:

Bij grootschalige evenementen moet een tijdelijke energie-infrastructuur worden beheerd die qua omvang vergelijkbaar is met die van een klein dorp. Dit vraagt engineering, CAD-plannen en strakke coördinatie tussen gespecialiseerde teams. Tientallen generatoren, grote brandstoftanks en kilometers bekabeling moeten correct worden geïntegreerd en gefaseerd ingezet.

De sterke fluctuaties in belasting maken dynamisch beheer noodzakelijk. Ervaren leveranciers beperken inefficiëntie door generatoren modulair in te zetten, actief te schakelen tussen units en sluimerverbruik systematisch te reduceren (zie case §8.4.1). Brandstoflogistiek vormt daarbij een kritische randvoorwaarde: het veilig beheeren en tijdig aanvoeren van zeer grote volumes brandstof op een publiek toegankelijke site vraagt strikte procedures en continue opvolging.

Middelgrote stedelijke evenementen:

In stedelijke contexten verschuift de operationele focus van capaciteit naar hinderbeperking. Geluid en emissies worden hier vaak de beperkende factor, gestuurd door vergunningsvoorwaarden en de nabijheid van woningen.

Een specifiek knelpunt is het tonale en laagfrequente karakter van generatorgeluid. Zelfs wanneer dB(A)-normen gehaald worden, kan het monotone bromgeluid 's nachts als storend worden ervaren. Standaard geluidsdemping volstaat hier vaak niet, wat de inzet van 'super-silent'-generatoren of hybride systemen noodzakelijk maakt.

Daarnaast zorgen beperkte ruimte, verkeersstromen en veiligheidsvoorschriften voor bijkomende logistieke complexiteit bij plaatsing en bediening van de installaties.

Kleinschalige lokale evenementen:

Bij kleinschalige evenementen is geluidshinder doorgaans het voornaamste operationele knelpunt. Door de nabijheid van woningen leidt een conventionele generator snel tot klachten, tenzij stille alternatieven worden ingezet.

Organisatoren beschikken bovendien zelden over de technische expertise om installaties correct te dimensioneren. Dat leidt tot overdimensionering, inefficiënt gebruik of uitval. Samen met beperkte budgetten remt dit de inzet van duurzamere technologieën.

Mobiele evenementen:

Bij mobiele toepassingen zijn de operationele uitdagingen hoofdzakelijk technisch van aard. De energievoorziening moet veilig geïntegreerd worden in een bewegend voertuig, met aandacht voor gewicht, stabiliteit en bevestiging.

Daarnaast is autonomie bepalend: het systeem moet zonder bijladen functioneren gedurende de volledige activiteit. Dit vereist een zorgvuldige afweging tussen energiec capaciteit, gewicht en beschikbare ruimte.

3.2.3 FUNCTIONELE BEHOEFTE

De operationele context van evenementen vertaalt zich in een aantal duidelijke functionele eisen voor tijdelijke elektriciteitsvoorziening. Hoewel deze eisen sectorbreed voorkomen, verschilt hun relatieve gewicht sterk naargelang het type en de schaal van het evenement.

OVERKOEPELEND

Voor publieksmomenten en veiligheidskritieke zones is een ononderbroken stroomvoorziening vereist. Stroomuitval tijdens shows, live-uitzendingen of veiligheidsfuncties (noodverlichting, crowd control, communicatie) is in de praktijk onaanvaardbaar. Tijdens opbouw, afbraak of in niet-kritische zones kan een beperkte onderbreking soms worden toegelaten, mits vooraf gepland en veilig georganiseerd.

Evenementen kennen sterk wisselende belastingen in de tijd. Energiesystemen moeten daarom schaalbaar zijn en zich kunnen aanpassen aan verschillende fases (opbouw, uitvoering, afbouw) en aan variaties in programma of publieksbezetting. Modulaire configuraties en gefaseerde inzet van vermogen zijn hierbij belangrijk.

Gevoelige apparatuur zoals audiovisuele installaties, LED-schermen en broadcastapparatuur vereist een stabiele spanning en frequentie, met minimale harmonische vervorming. Onvoldoende stroomkwaliteit kan leiden tot storingen, schade of het weigeren van apparatuur door leveranciers of artiesten.

SPECIFIEKE AANDACHTSPUNTEN

Grootschalige greenfield-evenementen:

Bij grootschalige evenementen vereist betrouwbaarheid vaak systemische redundantie. Kritieke zones worden vaak uitgevoerd met dubbele voeding of N+1-configuraties om het risico op uitval te minimaliseren.

Daarnaast is intelligent energiebeheer relevant. Door de extreme fluctuaties in belasting is realtime monitoring en dynamische sturing nodig om de efficiëntie te verhogen en brandstofverbruik te beperken, zonder in te boeten aan betrouwbaarheid.

Middelgrote stedelijke evenementen

Hier ligt het functionele zwaartepunt op geluids- en emissiebeperking. Energiesystemen moeten niet alleen betrouwbaar zijn, maar ook voldoen aan strikte vergunningsvoorwaarden. Hybride systemen of stille generatoren worden vaak ingezet om tijdens gevoelige periodes (avond, nacht) de hinder te minimaliseren.

Kleinschalige lokale evenementen:

Bij kleinschalige evenementen ligt de nadruk op gebruiksgemak en betaalbaarheid. De stroomvoorziening wordt vaak opgezet en bediend door vrijwilligers of medewerkers zonder technische achtergrond. In de praktijk betekent dit dat het systeem eenvoudig te begrijpen moet zijn en tegen bedieningsfouten bestand moet blijven. Een complexe installatie vergroot de kans op storingen en is in deze context ongewenst.

Geluidsniveau speelt hierbij een doorslaggevende rol. Een stille werking is hier een basisvoorwaarde om hinder voor omwonenden te beperken en klachten te vermijden. Zonder voldoende geluidsbepierking komt de sociale aanvaardbaarheid van het evenement rechtstreeks onder druk te staan.

Mobiele evenementen:

Bij mobiele toepassingen verschuift de aandacht naar andere randvoorwaarden. Hier telt vooral dat de energievoorziening stil werkt en weinig ruimte inneemt, terwijl het gewicht beperkt blijft. Het systeem moet veilig in een voertuig kunnen worden ingebouwd, zonder gevolgen voor rijgedrag of stabiliteit.

De beschikbare energie moet bovendien volstaan voor de volledige duur van de activiteit. Tussentijds bijladen of ingrijpen is vaak niet mogelijk. De energievoorziening moet daarom betrouwbaar functioneren binnen de grenzen van mobiliteit en autonomie die het concept van het evenement oplegt.

Hoe deze functionele eisen zich vertalen naar concrete technologiekeuzes wordt behandeld in Hoofdstuk 4.

3.2.4 SOCIO-ECONOMISCHE FACTOREN

In de evenementensector worden keuzes rond energievoorziening gestuurd door drie factoren: risico, imago en budget. Het gewicht van die factoren verschilt sterk per schaal.

Bij grootschalige evenementen zoals festivals zijn de risico's van stroomuitval hoog: boetes van artiesten, veiligheidsincidenten en reputatieschade verantwoorden investeringen in redundantie (N+1). Organisatoren rapporteren dat verbruiksmonitoring en betere fasering het geïnstalleerd vermogen merkbaar kunnen verlagen, met een grootteorde van 10–30%, project- en editie-afhankelijk. (Sustafest, 2025; zie ook case §8.4.1). Ondanks de meerkosten neemt het gebruik van HVO toe en er wordt geëxperimenteerd met innovatieve oplossingen zoals de GEM-tower (een modulair hybride energiesysteem voor off-grid evenementenlocaties).

In de middelgrote, stedelijke context dwingen vergunningseisen rond geluid en emissies tot investeringen in hoogwaardiger en stiller materieel. Ook maatschappelijke druk speelt een rol en stimuleert duurzame keuzes.

Bij kleinschalige, lokale evenementen is het budget vaak leidend. Tegelijk vraagt de nabijheid van woningen juist om stille en schone technologie.

Sectorbreed speelt daarnaast het planningsmoment een grote rol. Bij evenementen wordt de energievoorziening in de gangbare praktijk vaak pas concreet uitgewerkt bij de technische productie, relatief kort vóór het evenement, ook al ligt het evenement zelf meestal al veel langer vast. Op dat moment is het aanvragen van een nieuwe of verzwaarde netaansluiting (doorlooptijd: weken tot maanden, afhankelijk van het gevraagde vermogen — zie §4.1) niet meer realistisch. Dit verklaart waarom ook evenementen op locaties met bestaande netinfrastructuur vaak terugvallen op autonome generatoren: niet noodzakelijk omdat er geen alternatief bestaat, maar omdat de beslissing te laat valt. Bij terugkerende evenementen op vaste locaties biedt een meerjarige investeringshorizon wél de ruimte om de netinfrastructuur te verbeteren (zie §6.2 voor de haalbaarheidstoets, en §9.3.7 voor de rol van netbeheerders bij gestandaardiseerde aansluitpunten op frequente locaties).

Voor mobiele toepassingen zijn batterijsystemen vaak de enige technisch haalbare oplossing, waardoor elektrificatie in deze context een technische randvoorwaarde wordt.

Deze verschillen volgen een duidelijke hiërarchie in de 'kost van falen':

- Grootschalig: extreem hoog → maximale risicomijding en redundantie
- Middelgroot: hoog tot matig → investering in hinderbeperking en compliance
- Kleinschalig: beperkt → kostenminimalisatie overheerst
- Mobiel: hoog (veiligheid en continuïteit) → technologische noodzaak

Deze hiërarchie verklaart de adoptiepatronen per schaalniveau (zie ook §6.6 voor multicriteria-analyse (MCA)-wegingsfactoren). (A greener future, n.d.)

Tabel 5: Samenvatting kenmerken in de evenementensector

Kenmerk	Grootschalig greenfield	Middelgroot stedelijk	Kleinschalig lokaal	Mobiel
Typische duur	Kort (enkele dagen), maar met lange op- en afbouw (weken)	Variabel (dag tot weken)	Zeer kort (enkele uren tot een dag)	Enkele uren tijdens verplaatsing

Kenmerk	Grootschalig greenfield	Middelgroot stedelijk	Kleinschalig lokaal	Mobiel
Belastingsprofiel	Extreem dynamisch: zeer hoge pieken (shows) en lage dalen (nacht)	Meer constant, bv. kerstmarkt, of gematigd wisselend, bv podium	Eenvoudig: beperkte pieken, lage basislast	Constant tijdens verplaatsing
Primaire uitdagingen	Dekking van piekvermogen, absolute betrouwbaarheid, complexe logistiek	Geluid- en emissiehinder, vergunningseisen, balans net/generator	Geluid- en emissiehinder dominant, budgetbeperkingen	Compactheid, gewicht, geruisloosheid, autonomie
Functionele behoeften	Uiterste betrouwbaarheid (N+1), schaalbaarheid, hoge stroomkwaliteit	Effectieve geluidsbeheersing, betrouwbaarheid, emissiebeperking	Zeer stille oplossing, betaalbaarheid, eenvoud	Geruisloosheid, vaak via batterij, compactheid, laag gewicht
Belangrijkste socio-economische drivers	Risicomijding (kost van falen), imago & sponsors, TCO-optimalisatie	Hinderbeperking, vergunningseisen, kosten-batenafweging	Budgetbeperkingen, maatschappelijke druk (klachten), lokale regels	Technologische noodzaak, lage operationele kosten
Energiekosten (% budget)¹⁰	5-15%	3-8%	5-15%	Hoge initiële investering, lage exploitatiekosten
'Kost van falen'	Extreem hoog	Hoog tot matig	Beperkt (lokale reputatie)	Hoog, door chaos en veiligheidsrisico's
Duurzaamheidstrend	Sterke groei: HVO, hybride systemen en pilots	Wisselend: afhankelijk van vergunningen en budget	Beperkt door budget, focus op hinder	Noodzakelijk, omdat batterij vaak de enige optie is

¹⁰ Energiekosten als percentage van het totale eventbudget zijn sterk contextafhankelijk (scope van "energie": huur + brandstof + techniekers + distributie) en worden hier als indicatieve grootteorde weergegeven.

Bronnen: (A greener future, n.d.) (Joule Case, 2022)

De spanning tussen bestaande praktijk en energietransitie (zie §3.1.4) is voor evenementen vaak nog scherper: korte technische voorbereidings- en opbouwtermijnen, zeker wanneer de energievoorziening pas laat concreet wordt uitgewerkt, en hoge faalkosten leiden tot conservatieve keuzes, zelfs wanneer efficiëntere of stillere alternatieven technisch mogelijk zijn. Bij terugkerende evenementen ontstaat wel meer ruimte om de energievoorziening na elke editie te evalueren en stapsgewijs te verbeteren, bijvoorbeeld door het verbruik beter te meten, generatoruren te beperken of emissiearmere configuraties te onderzoeken.

Parameters voor systeemkeuze

In de evenementensector worden de technologiekeuze en het systeemontwerp bepaald door dezelfde vijf parameters als in de bouwsector, maar met een sterk afwijkende weging:

1. *Piekvermogen en aard van de pieken* — extreem dynamisch bij shows, bv. licht, video en audio, en stabiel bij logistieke functies zoals koeling en catering. De verhouding tussen piekvermogen en gemiddeld vermogen is in de evenementensector doorgaans hoger dan in de bouw.
2. *Energievolume* — geconcentreerd in een korte periode, van uren tot dagen, maar met hoge intensiteit. Het totale energievolume is doorgaans kleiner dan bij bouwprojecten, maar de vermogensvraag is sterker geconcentreerd.
3. *Kritikaliteit* — breed: bij publieksevenementen is vrijwel de volledige showinfrastructuur kritisch. Tijdens de uitvoering zijn er weinig “niet-essentiële” verbruikers die zonder risico kunnen worden afgeschakeld. Dit leidt tot een hogere redundantie-eis, bijvoorbeeld N+1, dan in de bouw.
4. *Omgevingscontext* — sterk publiekgevoelig: geluidshinder, zichtbaarheid en veiligheid zijn rechtstreeks verbonden met de aanwezigheid van publiek, ongeacht de locatie.
5. *Projectduur en -planning* — kort, van dagen tot weken, waardoor de doorlooptijd voor een nieuwe netaansluiting zelden inpasbaar is. Bij terugkerende evenementen op vaste locaties ligt dit anders.

De kwantificering van deze parameters volgt in Hoofdstuk 5; de systeemkeuze in Hoofdstuk 6.

3.3 ANDERE SECTOREN EN TOEPASSINGEN

Hoewel deze code zich richt op de bouw- en evenementensector, zijn de principes en methodieken ook elders bruikbaar. Voor de sectoren hieronder volgt een beknopte karakterisering. De diepgaandere analyse en de vijfparameterstructuur uit §3.1 en §3.2 zijn generiek toepasbaar. Per subsectie wordt kort aangegeven welke parameter in die context het zwaarst doorweegt.

3.3.1 AMBULANTE HANDEL EN MARKTEN

Marktkramen, foodtrucks en mobiele verkoopunits opereren op wisselende locaties met een laag stroomverbruik en hoge mobiliteit. Ze hebben doorgaans slechts enkele uren tot enkele dagen stroom nodig per locatie, vaak minder dan 10–20 kVA. De grootste uitdagingen zijn geluidsbeperving, emissiecontrole (vooral bij voedselbereiding), compactheid en snelle op- en afbouw. Waar beschikbaar, wordt gebruikgemaakt van netaansluitingen via marktbeheerders; anders worden kleine stille generatoren ingezet, of steeds vaker geïntegreerde batterijsystemen.

Indicatieve grootteorde:

- Marktkraam (verlichting + kleine koeling): typisch 0,5–3 kW.
- Foodtruck (koeling + bereiding): typisch 3–15 kW, met hogere pieken afhankelijk van kooktoestellen.

Dominante parameters: energievolume (laag, kortdurend) en omgevingscontext (stedelijk, publiekgevoelig); zie §6.4.1 voor standalone batterij en §6.3.1 voor aansluiting op bestaande netinfrastructuur.

3.3.2 KERMISSEN EN ATTRACTIES

Kermissen, reuzenraden en winterattracties combineren eigenschappen van evenementen en ambulante handel, maar verschillen door hun semi-permanente karakter en hogere vermogensbehoefte. Grote attracties draaien vaak meerdere weken op dezelfde plek en vragen continue beschikbare, betrouwbare stroom (tientallen tot honderden kVA). Geluids- en emissiebeperking zijn belangrijk bij stedelijke opstellingen, maar betrouwbaarheid en capaciteit wegen meestal het zwaarst. De langere opstellingsduur maakt een netaansluiting vaak haalbaar en economisch aantrekkelijk, indien technisch mogelijk.

Dominante parameters: projectduur (weken op vaste locatie) en energievolume (hoog, continu); zie §6.3 voor netgebaseerde opties bij voldoende doorlooptijd.

3.3.3 MEDIA- EN FILMSECTOR

Filmsets en televisieproducties op locatie vereisen stroomvoorziening met zeer hoge betrouwbaarheid en geluidsarme werking. Productievertragingen zijn kostbaar, terwijl gevoelige apparatuur (zoals camera's en verlichting) een stabiele stroomvoorziening vraagt met minimale vervorming. In media- en filmproducties is de praktische eis vaak dat de stroomvoorziening niet hoorbaar is in de opname (microfoonpositie). Dat leidt meestal tot inzet van 'super-silent'/'hyper-silent'-generatoren of batterijsystemen, en tot projectspecifieke geluidsdoelwaarden. De sector schakelt daarom steeds vaker over naar stille batterijsystemen of hybride oplossingen die geluidsarm werken én voldoende capaciteit bieden voor langere draaidagen.

Dominante parameters: kritikaliteit (zeer hoog) en omgevingscontext (stilte tijdens opname); zie §6.4.1 of §6.4.3 en §6.5 (redundantie).

3.3.4 TIJDELIJKE NUTSVOORZIENING EN NOODSITUATIES

Hulpdiensten en nutsbedrijven zetten tijdelijke stroomvoorziening in bij gepland onderhoud of calamiteiten. De prioriteit ligt op betrouwbaarheid, snelle inzetbaarheid en robuustheid. Modulaire, plug-and-play systemen zijn hier belangrijk, net als redundantie bij kritieke infrastructuur. In acute situaties primeert beproefde conventionele apparatuur; bij geplande inzet in stedelijk gebied komen stillere en efficiëntere alternatieven in beeld.

Dominante parameters: kritikaliteit (veiligheidskritisch) en projectduur (onvoorspelbaar); zie §6.5 (redundantie-eis) en §6.4.2 voor standalone generator bij acute inzet.

3.3.5 TIJDELIJKE HUISVESTING EN ZORGINSTELLINGEN

Bij toepassingen zoals noodopvang, tijdelijke zorgunits of containerwoningen is de stroombehoefte relatief stabiel maar langdurig, met basisverbruik voor verwarming, koeling, verlichting of medische

apparatuur. Betrouwbaarheid, energie-efficiëntie en geluidsarme werking zijn hier relevant, net als redundantie bij medische toepassingen. Door de lange gebruiksduur kan het zinvol zijn te kiezen voor hybride of batterijgedreven oplossingen, zeker in combinatie met duurzame brandstoffen of lokale opwekking.

Dominante parameters: projectduur (lang, maanden tot jaren) en kritikaliteit (verhoogd bij medische toepassingen); zie §6.3.2 (net + batterij) en §6.5 (redundantie).

3.3.6 LANDELIJKE EN AGRARISCHE TOEPASSINGEN

In de landbouw is er behoefte aan back-upstroom voor kritische bedrijfsprocessen en, in beperktere mate, aan tijdelijke stroomvoorziening voor seizoensgebonden of veldgebonden toepassingen. Kritische installaties zoals koeling, melkrobots of ventilatie in stallen zijn doorgaans aangesloten op het vaste net, maar kunnen noodstroom vereisen om netuitval te overbruggen. Een typisch voorbeeld is noodstroom voor ventilatie in pluimveestallen. Tijdelijke of mobiele stroomvoorziening kan daarnaast relevant zijn voor toepassingen zoals irrigatie, tijdelijke pompinstallaties, veldwerkzaamheden, tijdelijke opslag of activiteiten op afgelegen percelen. Belangrijke eisen zijn robuustheid, kosteneffectiviteit, lange autonomie en eenvoudige bediening. De agrarische sector heeft daarnaast in bepaalde gevallen toegang tot alternatieve brandstoffen zoals HVO, biodiesel of biogas, wat kansen biedt voor duurzamere integratie met bestaande energiesystemen.

Dominante parameters: kritikaliteit bij noodstroomtoepassingen, autonomie en betrouwbaarheid bij netuitval, en omgevingscontext bij tijdelijke of veldgebonden toepassingen; zie §6.5 voor redundantie en §6.4.2-§6.4.3 voor off-grid generator- of hybride configuraties.

3.3.7 MOBIELE LAADINFRASTRUCTUUR

De opkomst van elektrisch bouw materieel en voertuigen creëert een nieuwe toepassing: mobiele laadpunten op locaties zonder toereikend net. Mobiele laadinfrastructuur varieert van AC-laden (typisch 11–22 kW per laadpunt) tot DC-snelladen (typisch 50–350 kW per laadpunt). Daardoor kan de vermogensvraag snel oplopen bij meerdere gelijktijdige laadsessies, wat sterk pleit voor netaansluiting, buffering of lokale opwekking. Dergelijke systemen vereisen slimme sturing, batterijbuffering en schaalbaarheid. Vooral op bouwplaatsen vervult deze toepassing een rol bij de elektrificatie in de sector (zie ook §3.1.1), waar laadpieken en beperkte netcapaciteit andere eisen stellen aan stroomvoorziening dan traditionele verbruikers.

Dominante parameters: piekvermogen (zeer hoog bij gelijktijdig DC-snelladen) en energievolume (onvoorspelbaar); zie §6.3.2 en §4.7. voor hybride buffering.

3.3.8 TERREINVERLICHTING: HYBRIDE MASTEN

Hybride LED-lichtmasten (ook ledmasten genoemd) combineren een compacte batterij met een kleine generator in één mobiele unit en vormen een groeiend segment in het lage vermogenssegment (typisch 2–10 kW). Ze worden ingezet voor terreinverlichting bij wegenwerken, bouwerven, parkings en evenementen. De batterij levert de verlichting gedurende de stille uren (avond, nacht); de generator laadt de batterij bij tijdens daluren of springt bij wanneer de capaciteit ontoereikend is. Hierdoor worden draaiuren, geluid en emissies gereduceerd ten opzichte van een conventionele dieselgedreven lichtmast. Varianten met enkel een batterij (herladen via net of fotovoltaïsche zonnepanelen (PV)) bestaan eveneens. De afweging tussen hybride en batterij-only lichtmasten volgt dezelfde logica als in §6.4 (off-grid systemen): autonomieduur, herlaadmogelijkheid en omgevingscontext bepalen de keuze.

Dominante parameters: energievolume (laag, continu over nachtperiodes) en omgevingscontext (hindergevoelig); zie §6.4.3 (all-in-one hybride).

3.4 SAMENVATTING

Dit hoofdstuk laat zien hoe sterk tijdelijke stroomvoorziening verschilt tussen bouw en evenementen. De bouwsector heeft langere doorlooptijden, een fasegebonden verbruiksprofiel, dat per fase relatief voorspelbaar is, maar over het volledige project sterk varieert in piekvermogen en energievolume, en besluitvorming die gestuurd wordt door kostenefficiëntie en aanbestedingsregels. De evenementensector werkt met korte, intensieve gebruikperiodes en hoge piekvermogens; betrouwbaarheid en redundantie zijn er vaak bepalend vanwege de gevolgen voor veiligheid, publiekservaring en reputatie.

Ondanks deze verschillen delen beide sectoren enkele uitdagingen. Zo is de beschikbaarheid van een geschikte netaansluiting vaak beperkt of komt ze te laat, waardoor er nood blijft aan autonome systemen. Daarnaast kampen beide sectoren met de inefficiëntie van conventionele generatoren, die vaak langdurig op lage deellast draaien — wat leidt tot onnodig brandstofverbruik, slijtage en verhoogde emissies. Ook externe factoren zoals strengere milieuregels, toenemende maatschappelijke druk en het specifieke Belgische accijnsbeleid op rode diesel beïnvloeden de keuzes rond technologie en brandstof, zij het met verschillende snelheden en drempels per sector.

De tabel hieronder vat de vijf parameters samen die terugkomen in het beslissingskader van Hoofdstuk 6.

Tabel 6: Vergelijkende positionering van beslissingsparameters per sector

Parameter	Bouwsector	Evenementensector
Piekvermogen en aard van de pieken	Hoog maar fasegebonden; pieken vaak kort en mechanisch (kraan, hijs)	Extreem dynamisch en showgestuurd; zeer hoge piek/gemiddeld-verhouding
Energievolume	Zeer hoog (maanden tot jaren); kosten en emissies cumuleren	Geconcentreerd (uren tot dagen); hoge intensiteit, beperkt totaalvolume
Kritikaliteit	Selectief: bemaling en veiligheid kritisch; handgereedschap vaak onderbreekbaar	Breed: tijdens uitvoering is vrijwel de gehele infrastructuur kritisch (N+1)
Omgevingscontext	Variabel: stedelijk (geluid, emissies, ruimte) tot afgelegen (autonomie, logistiek)	Altijd publiekgevoelig: geluid, zichtbaarheid en veiligheid zijn inherent
Projectduur en planning	Lang → netaansluiting kan haalbaar zijn mits tijdig aangevraagd en er voldoende vermogen kan worden geleverd	Kort → nieuwe netaansluiting zelden tijdig; terugkerende locaties als uitzondering

Het verschil in de laatste rij, projectduur en planning — verklaart waarom het Grid First-principe in de bouwsector beter toepasbaar is dan bij evenementen, en waarom de evenementensector meer

afhankelijk is van off-grid en hybride configuraties. De methoden om deze parameters per project te kwantificeren worden behandeld in Hoofdstuk 5.

Naast de bouw- en evenementensector zijn de principes en methodieken uit deze code toepasbaar op aanverwante contexten zoals ambulante handel, kermissen, media- en filmproducties, tijdelijke nutsvoorziening, tijdelijke huisvesting en zorg, agrarische toepassingen, mobiele laadinfrastructuur en hybride terreinverlichting (§3.3). Voor deze sectoren geeft §3.3 per toepassing de dominante parameters die de systeemkeuze in Hoofdstuk 6 sturen.

De volgende hoofdstukken bouwen voort op deze sectorale behoeften en randvoorwaarden. Hoofdstuk 4 geeft een technisch overzicht van bestaande en opkomende technologieën voor tijdelijke stroomvoorziening. Hoofdstuk 5 werkt de verbruiksanalyse uit, en Hoofdstuk 6 vertaalt dit naar een beslissingskader dat stapsgewijs tot een systeemkeuze leidt. Over sectoren heen keren dezelfde vijf factoren terug: piekvermogen, energievolume, kritikaliteit, omgevingscontext en projectduur. Samen bepalen zij welke oplossing realistisch en proportioneel is.

DRAFT

HOOFDSTUK 4. OVERZICHT TECHNIEKEN EN SYSTEMEN



HOOFDSTUK 4. OVERZICHT TECHNIEKEN EN SYSTEMEN

Dit hoofdstuk beschrijft de beschikbare systemen voor tijdelijke elektriciteitsvoorziening: netaansluitingen (§4.1), conventionele generatoren (§4.2), batterijsystemen (§4.3), waterstof (§4.4), alternatieve brandstoffen (§4.5), hernieuwbare energie (§4.6) en geïntegreerde hybride systemen (§4.7). Per technologie worden technische kenmerken, voordelen en beperkingen, economische aspecten (investeringskosten (CAPEX) en operationele kosten (OPEX)), milieu-impact (lokaal en levenscyclus) en veiligheidsoverwegingen behandeld.

De volgorde volgt het Grid First-principe: eerst de netaansluiting, dan de alternatieven. Dit is geen rangschikking naar kwaliteit of geschiktheid. De juiste keuze blijft afhankelijk van projectduur, vermogen, energieprofiel, locatie, betrouwbaarheidseisen, kost en milieuvoorwaarden. §4.8 vergelijkt de opties; hoofdstuk 6 vertaalt dit naar systeemkeuze.

4.1 NETSTROOM VIA TIJDELIJKE AANSLUITING

De eerste optie is stroom uit het openbare elektriciteitsnet via een tijdelijke aansluiting. De bevoegde distributienetbeheerder, in Vlaanderen meestal Fluvius, behandelt de aanvraag, aanleg en het beheer. Conform het Grid First-principe (zie §1.5 en Hoofdstuk 6) wordt deze optie altijd eerst onderzocht. Een netaansluiting heeft meestal de laagste lokale milieu-impact en vraagt weinig operationeel beheer, op voorwaarde dat ze tijdig beschikbaar, technisch haalbaar en betaalbaar is.

4.1.1 TECHNISCHE KENMERKEN

De tijdelijke netaansluiting voorziet de locatie van standaard wisselstroom, doorgaans met een spanning van 230/400 V en een frequentie van 50 Hz. De technische realisatie en de beschikbare capaciteit zijn afhankelijk van de lokale netinfrastructuur. Een fysieke aanwezigheid van het distributienet op of nabij de locatie is een basisvereiste. (Fluvius, 2019) (Fluvius, n.d.)

Er bestaan verschillende types aansluitingen, zoals specifieke werfaansluitingen voor bouwprojecten of evenementenaansluitingen voor publieke manifestaties. Een belangrijk onderscheid bij werfaansluitingen is dat deze kunnen worden uitgevoerd met een tijdelijke kabel, die na de werken wordt verwijderd, of met een definitieve kabel die later dienstdoet voor de permanente aansluiting.

De complexiteit, doorlooptijd en kosten hangen sterk af van de ligging en het gevraagde vermogen. Globaal kunnen drie categorieën worden onderscheiden:

- Kleinschalig (bv. < 25 kVA): deze aansluitingen zijn vaak relatief eenvoudig te realiseren via het bestaande laagspanningsnet (LS-net), zelfs in residentiële gebieden.
- Middelgroot (bv. 25 kVA - 100 kVA): voor deze vermogens is doorgaans een controle van de beschikbare capaciteit op het lokale LS-net noodzakelijk. Vanaf 25 kVA is vaak een voorafgaande studie vereist door de DNB.
- Groot (> 100 kVA tot MVA-range): grote vermogensaanvragen worden meestal op middenspanning uitgevoerd en kunnen aanpassingen aan het net vereisen, zoals lokale netverzwaringen of de plaatsing van een tijdelijke middenspanningscabine (MS-cabine).

De technische kwaliteit van de geleverde stroom, zoals spanningsstabiliteit en frequentie, is bij een netaansluiting doorgaans hoog en vergelijkbaar met een permanente aansluiting. De elektrische

installatie na het aansluitpunt van de DNB (na de meter) moet voldoen aan de relevante normen zoals het AREI, zoals verder besproken in §4.1.6 en Hoofdstuk 7. Tabel 7 geeft een overzicht van enkele indicatieve kenmerken voor een tijdelijke Fluvius-aansluiting per vermogensklasse.

DRAFT

Tabel 7: Indicatieve kenmerken tijdelijke Fluvius-aansluiting per vermogensklasse (Prijspeil 2025, excl. btw) (Fluvius, 2025) (Fluvius, 2025)

Vermogensklasse (kVA)	Typische aansluiting	Indicatieve basisaansluitkost (€) ¹	Mogelijke bijkomende kosten ²	Indicatieve doorlooptijd	Studie vereist?
< 25	LS (Laagspanning)	€800-€1.000	Vermogensrecht (>17,3 kVA)	2-4 weken	Nee (<25 kVA)
25-56	LS	€1.000-€2.000	Studie, vermogensrecht	4-8 weken	Ja (≥ 25 kVA)
56-100	LS	€2.000-€4.000+	Studie, Vermogensrecht, netversterking/-uitbreiding (>100m), boringen	2-4 maanden	Ja
> 100	MS (soms op LS)	€4.000-€10.000+	Studie, vermogensrecht, netversterking/-uitbreiding, boringen, MS-cabine	3-12+ maanden+	Ja

¹ Indicatieve basiskosten voor een tijdelijke (bovengrondse) aansluiting, gebaseerd op Fluvius-tarieven en standaardveronderstellingen. Werkelijke kosten kunnen afwijken.

² Mogelijke bijkomende kosten afhankelijk van situatie:

- Vermogensrecht (~€ 27,08 /kVA excl. btw > 17,3 kVA ≈ € 33 /kVA incl. 21%)
- Studiekost (~€ 300–€ 600 ≥ 25 kVA)
- Netuitbreiding (> 100 m LS à ~€ 89,8 /m excl. btw of > 400 m MS à ~€ 103,24 /m excl. btw)
- Netversterking (vanaf > 56 kVA LS; niet aangerekend tot 1 MVA bij MS)
- Boringen (variabel)

4.1.2 VOORDELEN

Hoge betrouwbaarheid:

- Het openbare elektriciteitsnet in België heeft een gemiddelde onderbrekingsduur van ca. 20 minuten per klant per jaar. Dit plaatst België bij de betrouwbaarste netwerken in Europa. (Vlaamse nutsregulator, 2023)
- Dit biedt een hogere betrouwbaarheid dan bijvoorbeeld een standalone dieselgenerator (waarvan de faalrisico's en onderhoudsbehoeften in §4.2.3 worden besproken).

Gebruiksgemak en beperkt onderhoud voor de gebruiker:

- De aansluiting achter de meter vraagt nauwelijks operationele zorg van de eindgebruiker.
- De netbeheerder (Fluvius in Vlaanderen) is verantwoordelijk voor de aanleg en het onderhoud van de benodigde infrastructuur¹¹ (kabels, distributietransformatoren); de kosten hiervoor zijn verrekend in de nettarieven.

Hoge stroomkwaliteit:

- De geleverde stroom voldoet doorgaans aan de Europese normen voor spannings- en frequentiekwaliteit (EN 50160).
- Dit maakt netstroom direct geschikt voor de meeste gevoelige elektronische apparatuur en laadsystemen zonder de nood aan bijkomende filters of stabilisatie.

4.1.3 BEPERKINGEN EN AANDACHTSPUNTEN

Drie factoren bepalen of een tijdelijke netaansluiting bruikbaar is:

- *Geografische beschikbaarheid:* Een fysieke netaansluiting op of nabij de locatie is een basisvereiste. Op afgelegen locaties of bij mobiele werven is dit vaak niet beschikbaar.
- *Doorlooptijd:* De realisatietijd varieert van enkele weken (laagspanning, < 25 kVA) tot meerdere maanden of langer (middenspanning/hogspanning, > 100 kVA). Bij projecten met een strakke planning kan dit de netoptie uitsluiten. Door toenemende netcongestie, met name op midden- en hogspanningsniveau, kunnen doorlooptijden verder oplopen (Fluvius, 2025).
- *Capaciteit:* Het beschikbare vermogen op het lokale net is niet altijd toereikend, met name bij hoge piekbelastingen. Batterijbuffering kan hier een oplossing bieden (zie §4.7).

Bij zeer kortstondig of incidenteel gebruik moet ook de materiaalefficiëntie van de aansluiting worden meegewogen in de economische afweging (zie §4.1.4).

Hoofdstuk 6 behandelt wanneer een netaansluiting voor een concreet project haalbaar en proportioneel is.

¹¹ Indien het een klantcabine betreft is het onderhoud van de cabine voor de klant.

4.1.4 ECONOMISCHE ASPECTEN

CAPEX

- De distributienetbeheerder (DNB) rekent eenmalige kosten aan voor de studie, aanleg en latere verwijdering van de tijdelijke aansluiting.
- Deze vaste kosten variëren sterk per situatie (zie Tabel 7 voor voorbeelden) en kunnen hoog zijn, afhankelijk van factoren zoals de basiskost, eventuele studiekosten, het aangevraagde vermogen (vermogensrecht), en mogelijke kosten voor noodzakelijke netuitbreiding of -versterking.
- De potentieel hoge eenmalige kosten maken een netaansluiting economisch minder aantrekkelijk voor projecten met een zeer korte duur, waarbij de meerkost ten opzichte van het huren van een generator niet wordt terugverdiend via de lagere kWh-prijs. (Fluvius, 2025).

OPEX

- De kosten per kWh afgenomen van het net zijn doorgaans lager dan de totale kosten per kWh geproduceerd door bijvoorbeeld een dieselgenerator.
- De totale netstroomprijs voor zakelijke klanten bestaat uit de energiekost zelf, de netwerkkosten voor transport en distributie, diverse heffingen en btw, wat resulteert in een indicatieve prijsrange van €0,25 tot €0,40 per kWh (prijspeil mei 2025).
- Ter indicatie: dit blijft veelal lager dan de variabele operationele kost (vooral brandstof) van een individuele generator, die kan variëren van €0,40 tot meer dan €1,00 per kWh (Callmepower, 2025).

OMSLAGPUNT NET VS. GENERATOR

Het verschil in variabele kosten (indicatief €0,15–0,60/kWh in het voordeel van netstroom) betekent dat de eenmalige aansluitkost wordt terugverdiend naarmate het project langer duurt en meer energie verbruikt. Bij een dagverbruik van 200 kWh en een kostenvoordeel van €0,30/kWh bedraagt het besparingspotentieel circa €60/dag, waardoor een aansluitkost van €2.000 indicatief binnen 4–5 weken kan zijn terugverdiend. Het werkelijke omslagpunt is sterk projectspecifiek en hangt af van het verbruiksprofiel, de aansluitkosten en de generatorhuurprijs. Een gedetailleerde TCO-vergelijking wordt behandeld in §6.3. Bij zeer kortstondig gebruik kan de aansluitkost zwaarder wegen dan het kWh-voordeel, wat de proportionaliteit van de netoptie beperkt (zie ook §6.2).

4.1.5 MILIEU-IMPACT

DIRECTE MILIEU-IMPACT TIJDENS GEBRUIK

Een netaansluiting onderscheidt zich op milieuvlak door de volledige afwezigheid van lokale emissies op de gebruikslocatie. Er is geen directe uitstoot van CO₂, NO_x, fijnstof, CO of VOS. Dat levert een grote bijdrage aan de lokale luchtkwaliteit. Dit is vooral waardevol in stedelijke omgevingen, bij evenementen of nabij natuurgebieden waar luchtkwaliteit een kritische factor is.

Ook qua geluidshinder scoort een netaansluiting gunstig. De aansluiting zelf produceert nagenoeg geen geluid (<40 dB(A)), waardoor directe hinder voor omwonenden in de praktijk vermeden wordt. Dit maakt netaansluitingen bijzonder geschikt voor geluidsgevoelige locaties zoals woonwijken, ziekenhuizen of natuurgebieden.

LEVENSICYCLUSANALYSE (LCA)

Vanuit een levenscyclusperspectief ('well-to-wire') moet de milieu-impact echter breder worden bekeken. De volledige keten omvat verschillende stappen, elk met eigen milieueffecten:

- Upstream impact: milieukosten van het winnen of produceren van brandstoffen of van de materialen voor hernieuwbare installaties zoals windturbines en PV-panelen. Deze stap varieert sterk per technologie, maar weegt in België gemiddeld 5-10 g CO₂eq/kWh mee in de totale mix volgens recente Ecoinvent-scenario's¹².
- Impact van elektriciteitsopwekking: de CO₂-intensiteit van de Belgische elektriciteit schommelt jaarlijks (orde van grootte 100–135 g CO₂eq/kWh in 2022-2024), afhankelijk van de relatieve aandelen kernenergie, hernieuwbare energie en gas. Deze waarden liggen ruim onder het EU-gemiddelde dankzij het grote aandeel nucleaire energie en het groeiende aandeel hernieuwbare energie. Elektriciteit die als “groen” is gecertificeerd, 100% hernieuwbaar, heeft in de gebruiksfase praktisch nul directe CO₂-uitstoot. (Nowtricity, 2025)
- Impact van transport en distributie: verliezen op het Elia-hoogspanningsnet en de Fluvius-distributienetten bedragen samen circa 4% van het ingevoede volume; dit totaal omvat ruwweg 1,5–2% transmissie- en 2–3% distributieverliezen. Die fysische verliezen zijn onvermijdelijk, maar worden in de nationale CO₂-statistiek al verrekend in de bovengenoemde emissiefactoren. (Enerdata, 2025)
- Impact van infrastructuur: de aanleg en het onderhoud van kabels, transformatoren en aansluitkasten veroorzaken een zogeheten materiaalgebonden milieu-impact die volgens LCA-databanken (Ecoinvent 3.9) op minder dan 1% van de totale levenscyclus-impact per verbruikte kWh uitkomt. Bij een tijdelijke aansluiting is die fractie nog kleiner, omdat het grootste deel van de infrastructuur permanent is en slechts een beperkte aftakking tijdelijk wordt gebruikt.

Het vermijden van lokaal brandstoftransport en lokale brandstofopslag vormt een bijkomend LCA-voordeel van netaansluitingen. De afwezigheid van deze logistieke activiteiten voorkomt niet alleen de bijbehorende emissies, maar ook de risico's en milieueffecten van mogelijke lekkages of calamiteiten tijdens transport en opslag. (Ecoinvent, n.d.)

4.1.6 VEILIGHEIDSASPECTEN

De voornaamste veiligheidsrisico's bij het gebruik van een tijdelijke netaansluiting zijn elektrisch van aard:

Primaire elektrische risico's:

- het risico op elektrische schokken door directe of indirecte aanraking van onder spanning staande delen.
- het risico op kortsluiting en overbelasting in de elektrische installatie na het aansluitpunt van de netbeheerder, met mogelijk brandgevaar.

¹² Binnen de bouwindustrie wordt voor de levenscyclusanalyse van gebouwen en materialen vaak gebruikgemaakt van een bredere set van milieu-indicatoren (bv. 12 indicatoren uitgedrukt in mPt), die naast klimaatverandering ook aspecten als verzuring en ecotoxiciteit meewegen. Hoewel dit rapport focust op CO₂-equivalenten voor de vergelijking van operationele energie, is dit bredere kader relevant voor een bredere projectevaluatie

Afhankelijkheid van een conforme gebruikersinstallatie:

- De veiligheid van de gebruikers en omgeving hangt af van de correcte en conforme uitvoering, het onderhoud en het gebruik van de elektrische installatie die door de gebruiker zelf wordt voorzien na het officiële aansluitpunt.

Naleving van het AREI:

- Het Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties (AREI), zoals beschreven in §2.2.1, vormt de wettelijke basis voor elektrische veiligheid in België.
- Essentiële elementen hierbij zijn:
 - de correcte dimensionering van kabels en leidingen,
 - de implementatie van adequate beveiligingstoestellen (zoals automaten en differentieelstroomschakelaars),
 - correct uitgevoerde aarding van de installatie.
- De verplichte keuring door een erkend controleorganisme vóór de eerste ingebruikname (en eventuele periodieke herkeuringen) verifieert de conformiteit met deze veiligheidsvoorschriften.

Bijkomende veiligheidsvoordelen:

- De afwezigheid van lokale verbrandingsprocessen elimineert risico's verbonden aan uitlaatgassen (bv. CO-vergiftiging in slecht geventileerde ruimtes).
- Het ontbreken van lokale brandstofopslag vermindert het risico op brand en bodemverontreiniging door lekkages.
- De afwezigheid van direct generatorgeluid draagt bij aan een veiligere en gezondere directe werkomgeving, onder meer door betere communicatie.

Voor de praktische implementatie van deze AREI-vereisten, inclusief details over aarding, beveiliging en keuringsprocedures, wordt verwezen naar §7.2.2.

4.1.7 CONCLUSIE

Een tijdelijke netaansluiting heeft een hoge betrouwbaarheid, lage operationele kosten per kWh, een goede stroomkwaliteit en geen lokale emissies of directe geluidshinder. Ze is daarom het vertrekpunt van het beslissingskader (Grid First, Hoofdstuk 6).

De belangrijkste beperkingen zijn praktisch, niet technisch: doorlooptijd, beschikbare netcapaciteit en aansluitkosten die bij korte projecten niet worden terugverdiend. Het omslagpunt tussen net en generator hangt primair af van projectduur en verbruiksvolume: langere projecten en hogere verbruiken vergroten het kostenvoordeel van de netaansluiting ten opzichte van generatorhuur en brandstofkosten.

De operationele beoordeling van de haalbaarheid en proportionaliteit voor een concreet project volgt in §6.2.

4.2 CONVENTIONELE DIESELGENERATOREN

Dieselgeneratoren, ook wel aggregaten of stroomgroepen genoemd, zijn autonome eenheden voor elektriciteitsopwekking. Historisch gezien vormen zij de meest gangbare oplossing voor tijdelijke stroomvoorziening of noodstroomvoorziening op locaties waar geen adequate netaansluiting beschikbaar of haalbaar is. Strengere milieuregelgeving, vooral via productnormering (zie Hoofdstuk 2), stuurt de technologische evolutie van dieselgeneratoren. Dit leidt tot belangrijke technische aanpassingen op het vlak van emissiebeheersing en tot nieuwe operationele aandachtspunten.

4.2.1 TECHNISCHE KENMERKEN

WERKINGSPRINCIPE EN VERMOGENSBEREIK

Het werkingsprincipe van een dieselgenerator is gebaseerd op de interne verbranding van dieselbrandstof in een zuigermotor. De motor levert mechanisch vermogen aan een gekoppelde alternator, die dit omzet in elektrische wisselstroom, doorgaans met specificaties conform het Europese net (bv. 230/400 V, 50 Hz). Dergelijke systemen zijn commercieel beschikbaar in een zeer breed vermogensspectrum, variërend van enkele kilowatt (kW) of kilovoltampère (kVA) voor kleine, mobiele toepassingen tot meerdere megawatt (MW) of megavoltampère (MVA) voor zware industriële toepassingen of grootschalige evenementen. Voor zeer grote vermogensbehoeften kunnen meerdere generatoren parallel geschakeld worden om de totale capaciteit te verhogen en/of redundantie te voorzien.

EMISSIONORMERING: STAGE IIIA VERSUS STAGE V

Een bepalend technisch kenmerk voor nieuwe dieselgeneratoren is de verplichte conformiteit met emissienormen (productnormen bij het op de markt brengen) voor gebruik in NRRMM. De Europese regelgeving onderscheidt verschillende 'Stages', waarbij elke volgende fase strengere limieten oplegt aan luchtverontreinigende stoffen.

Stage IIIA-generatoren zijn anno 2026 nog ruim aanwezig en vormen nog steeds een belangrijk deel van het actieve machinepark in de bouw- en evenementensector (zie §1.1). Deze machines, geproduceerd tussen circa 2007 en 2019, afhankelijk van de vermogensklasse, hebben basisemissiebeheersing maar geen geavanceerde nabehandelingssystemen zoals roetfilters of AdBlue®-injectie. Hun uitstoot van stikstofoxiden (NOx) en fijnstof (PM) is hoger dan bij Stage V, maar ze zijn technisch eenvoudiger en doorgaans minder afhankelijk van actieve uitlaatgasnabehandeling. Daardoor zijn zij minder gevoelig voor bepaalde nabehandelingsproblemen bij langdurige lage belasting. Dit betekent niet dat Stage IIIA-generatoren in het algemeen betrouwbaarder zijn; de operationele betrouwbaarheid hangt ook af van ontwerp, leeftijd, onderhoud en inzetprofiel.

Stage V-generatoren zijn verplicht voor nieuwe machines die sinds 2019/2020 op de markt worden gebracht. Deze normering legt strenge limieten op aan diverse luchtverontreinigende stoffen, met sterke reducties voor fijnstofmassa (PM), fijnstofaantal (PN) en, in mindere mate, stikstofoxiden (NOx).

De specifieke grenswaarden per vermogensklasse en de implementatietijdlijn zijn gedetailleerd in Tabel 1 (§2.1.1).

De belangrijkste technische verschillen staan in Tabel 8:

Tabel 8: Belangrijkste technische verschillen tussen Stage IIIA en Stage V

Aspect	Stage IIIA	Stage V
Periode	~2007-2019	Vanaf 2019/2020
Aanwezigheid in actief park (2026)	Nog ruim aanwezig in bestaand park	Dominant bij nieuw materieel door Stage-V verplichting bij markttoelating
Nabehandeling	Minimaal (oxidatiekatalysator)	Doorgaans DPF- + SCR systeem
PM-uitstoot	~0,3-0,6 g/kWh	<0,015 g/kWh (>95% reductie)
NOx-uitstoot	~3-6 g/kWh	~0,4-2 g/kWh (afhankelijk van vermogen)
Gevoeligheid belasting lage	Beperkt	Hoog (DPF regeneratie issues)
AdBlue® vereist	Nee	Ja (meeste vermogens)
Onderhoudsfrequentie	Standaard	Verhoogd (nabehandeling)
Aanschafprijs	Lager	Hoger (+30-50%)
Operationele complexiteit	Laag	Hoger
Betrouwbaarheid lange termijn	Lang bewezen in de praktijk	Kortere praktijkervaring dan Stage IIIA; goede werking vereist correcte dimensionering, voldoende belasting en passend onderhoud

KERntechnologieën Stage V (TYPISCH 19 – 560+ kW)

Om aan deze Stage V-eisen te voldoen, met name voor fijnstof (PM-massa en PN-aantal) en stikstofoxiden (NOx), zijn dieselmotoren doorgaans uitgerust met een geïntegreerd systeem van nabehandelingstechnologieën in de uitlaatlijn:

1. Dieseloxydatiekatalysator (DOC)
 - Oxideert koolmonoxide (CO) en onverbrande koolwaterstoffen (HC)
 - Verhoogt de uitlaatgastemperatuur voor de volgende componenten
 - Werkt effectief over een breed temperatuurbereik
2. Diesel Particulate Filter (DPF)

- Fysiek filter dat roetdeeltjes (PM/PN) met zeer hoge efficiëntie afvangt (>99%)
- Vereist periodieke regeneratie (verbranding opgehoopt roet bij >550-600°C)
- Bij onvoldoende hoge bedrijfstemperatuur: progressieve verstopping
- Regeneratie kan passief, tijdens normaal bedrijf, of actief, via geforceerde regeneratie, gebeuren.
- Belangrijk operationeel aandachtspunt (zie §4.2.3).

3. Selectieve Katalytische Reductie (SCR-systeem)

- Reduceert NO_x-emissies via injectie van AdBlue® (ureumoplossing)
- In de SCR-katalysator reageert ureum met NO_x tot N₂ en H₂O
- De effectiviteit is sterk temperatuurafhankelijk (optimaal >250°C)
- AdBlue®-verbruik: 3-10% van het dieselverbruik
- Extra logistieke stroom en operationele kost (The International Council on Clean Transportation, 2016) (Atlas Copco) (Himoinsa)

MOTORINTERNE TECHNOLOGIEËN

Naast deze nabehandelingstechnieken maken Stage V-motoren vaak gebruik van geavanceerde motorinterne technologieën om de vorming van pollutanten bij de bron te beperken en de efficiëntie te verbeteren. Voorbeelden hiervan zijn hogedruk common-rail brandstofinjectie (> 2000 bar), geoptimaliseerde verbrandingskamers, turbo-oplading en soms gekoelde uitlaatgasrecirculatie (*Exhaust Gas Recirculation*, EGR).

EFFECTIVITEIT IN DE PRAKTIJK

De effectiviteit van emissiereductie in de praktijk hangt sterk af van operationele omstandigheden, ondanks lagere emissies onder gestandaardiseerde testcondities. Vooral motorbelasting en uitlaatgastemperatuur beïnvloeden de prestaties van DPF-regeneratie en SCR-efficiëntie.

In de praktijk kan de werkelijke emissieprestatie van Stage V-machines afwijken van de typegoedkeuringswaarden, vooral bij langdurig lage belasting. Studies van praktijkemissies (Real World Emissions, RWE) tonen aan dat met name de NO_x-uitstoot kan toenemen onder variabele en lage belastingsomstandigheden, zoals die vaak voorkomen bij generatortoepassingen. Bij temperaturen onder 200°C kan de NO_x-conversie dalen tot <50% van de optimale waarde, terwijl DPF-regeneratie volledig stopt onder circa 300°C. Dit vormt een belangrijk aandachtspunt dat verder wordt uitgediept in §4.2.3. (SAE Mobilus, 2025)

RETROFIT-OPLOSSINGEN

Voor bestaand Stage IIIA-materieel bestaan retrofit-oplossingen (DPF, SCR of een combinatie) waarmee emissies gereduceerd kunnen worden, tegen een kost van indicatief €5.000–€25.000, afhankelijk van vermogen en systeem. In de praktijk is retrofit voor mobiele generatoren technisch complex en economisch weinig aantrekkelijk; de toepassing beperkt zich voornamelijk tot waardevolle stationaire installaties met een lange restlevensduur. Retrofit is niet verplicht voor bestaand materieel.

KOPPELING MET ENERGIEBEHEERSYSTEMEN

Moderne generatoren kunnen worden geïntegreerd in energiebeheersystemen (EMS) die realtime monitoring, automatische start/stop en optimalisatie van de belastinggraad mogelijk maken. Dit is vooral relevant in hybride configuraties, waar het EMS de samenwerking tussen generator, batterij en eventueel net coördineert — zie §4.7 voor de uitwerking.

4.2.2 VOORDELEN

Ondanks de opkomst van alternatieve technologieën en de toenemende aandacht voor milieu-impact, hebben conventionele dieselgeneratoren bepaalde voordelen die hun blijvende inzet verklaren.

Flexibiliteit en ruime beschikbaarheid:

- Als mature en wijdverspreide technologie zijn dieselgeneratoren over een zeer brede vermogensklasse direct en vlot beschikbaar voor zowel huur als aankoop.
- Hun relatieve mobiliteit en volledige onafhankelijkheid van het vaste elektriciteitsnet maken een snelle inzet mogelijk op nagenoeg elke locatie, inclusief afgelegen of moeilijk bereikbare plaatsen.
- De onderliggende motortechnologie is breed bekend bij technici, wat de installatie, het routineonderhoud en eventuele herstellingen ter plaatse vergemakkelijkt.
- Uitgebreide dealer- en servicenetwerken maken snelle ondersteuning mogelijk.

Hoge vermogensdichtheid:

- Dieselgeneratoren leveren doorgaans een hoog elektrisch vermogen in verhouding tot hun fysieke omvang en gewicht.
- Dit kan een belangrijk voordeel zijn op locaties met beperkte beschikbare ruimte of wanneer hoge piekvermogens geleverd moeten worden met een compacte unit, in vergelijking met sommige alternatieve energieopslagsystemen.

Grote operationele autonomie:

- Mits een gegarandeerde en continue brandstoftoevoer (diesel, en AdBlue® voor de meeste Stage V-modellen), kan een dieselgenerator in principe langdurig en ononderbroken autonoom werken.
- Dit is relevant voor toepassingen die langdurig continu vermogen vragen, of op locaties waar frequent opladen of vervangen van energieopslagsystemen logistiek complex of kostbaar is.
- Diesel kan eenvoudig worden aangevoerd en is breed beschikbaar.

Robuustheid en belastbaarheid:

Stage IIIA:

- Dieselgeneratoren worden, mits correct gedimensioneerd voor de toepassing en goed onderhouden, beschouwd als robuuste machines die goed bestand zijn tegen uiteenlopende en soms zware omgevingscondities.

- Ze kunnen goed omgaan met variabele elektrische belastingen en de hoge inschakelstromen die typisch zijn voor het opstarten van zwaar elektrisch materieel.
- Ze hebben een beproefde betrouwbaarheid door decennia gebruik in verschillende sectoren.
- Ze zijn relatief ongevoelig voor langdurige onderbelasting, hoewel dit niet ideaal is.

Stage V-machines presteren bij optimale belasting (>70%) goed qua efficiëntie en betrouwbaarheid. Bij langdurig lage belasting gelden specifieke operationele aandachtspunten — zie §4.2.3.

Belang van onderhoud:

- Ongeacht de Stage is correct en tijdig onderhoud de belangrijkste bepalende factor voor betrouwbaarheid en levensduur
- Stage V vereist frequenter en gespecialiseerd onderhoud aan nabehandelingssystemen

Door hun autonomie, beschikbaarheid en belastbaarheid blijven dieselgeneratoren in veel toepassingen gangbaar. (Boels Rental, 2023) (TNO, 2021)

4.2.3 BEPERKINGEN EN AANDACHTSPUNTEN

Laag rendement en verhoogde slijtage bij deellast:

Moderne dieselmotoren bereiken hun hoogste thermische efficiëntie (laagste specifiek brandstofverbruik, BSFC) typisch bij 75-100% van hun nominaal vermogen, met een BSFC tussen ≈ 200 en 230 g/kWh (Tabel 9). Voor de dimensionering wordt een gemiddelde belasting van 60-80% als praktisch werkgebied aangehouden (zie §7.3.2).

Effect van onderbelasting:

- Bij 25% belasting stijgt het specifiek brandstofverbruik doorgaans met orde 20–40%, afhankelijk van motortype en referentiepunt;
- Langdurig werken <30% veroorzaakt '*wet-stacking*': onverbrande brandstof en roet stapelen zich op in injectoren, turbo en uitlaat;
- Dit leidt tot een hogere onderhoudsfrequentie, kortere motorlevensduur en verhoogde emissies;
- Fabrikanten bevelen daarom periodiek load-banktesten aan, waarbij de motor tijdelijk onder hoge belasting draait, en hanteren typisch een richtlijn van minimaal 30% belasting voor langduriger werking (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025; fabrikantenrichtlijnen variëren tussen 25% en 40%).

Tabel 9: Indicatief specifiek brandstofverbruik diesелgenerator per belastinggraad (Bron: gebaseerd op representatieve data van fabrikanten)

Belastingsgraad nominaal vermogen)	(% Indicatief brandstofverbruik (g/kWh)	specifiek Indicatief specifiek brandstofverbruik (L/kWh) ^a	Relatieve toename
100%	~200-225	~0,24-0,27	Baseline
75%	~205-230	~0,24-0,27	+2-5%
50%	~220-250	~0,26-0,30	+10-15%
25%	~260 - 300+	~0,31-0,35+	+30-35%

^a Berekening: $L/kWh = (g/kWh) \div (0,85 \text{ kg/L} \times 1000 \text{ g/kg})$, uitgaande van een gangbare dieseldichtheid van 0,85 kg/L.

Deze cijfers illustreren het rendementsverlies. De fabrikantsrichtlijnen bevestigen dat onderbelasting óók extra onderhoud (load-banktesten, reinigingen) en snellere revisies noodzakelijk maakt, los van het toegenomen brandstofverbruik per geproduceerde kWh.

Aandachtspunten bij Stage V-nabehandeling (vooral bij lage belasting):

De geavanceerde nabehandelingstechnologie in Stage V-motoren, essentieel voor het halen van de strenge emissienormen, introduceert nieuwe operationele gevoeligheden:

- **DPF-regeneratieproblematiek:** Roetfilters (Diesel Particulate Filters, DPF) vereisen periodieke regeneratie (het verbranden van opgehoopt roet) bij voldoende hoge uitlaatgastemperaturen (typisch > 550-600°C). Langdurig draaien op lage belasting (<30-40%) verhindert vaak dat deze temperaturen bereikt worden, wat leidt tot onvolledige regeneratie en progressieve verstopping van het filter. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)
 - Mogelijke gevolgen hiervan zijn foutmeldingen, vermogensverlies, onvoorziene stilstand en in ernstige gevallen zelfs motorschade.
 - Oplossingen zoals geforceerde (actieve) regeneratie (waarbij extra brandstof wordt ingespoten of de motorbelasting kunstmatig wordt verhoogd) of het periodiek aansluiten van energieverspillende 'load banks' zijn soms noodzakelijk, maar operationeel en energetisch suboptimaal.
 - Correct lastmanagement en het vermijden van langdurige onderbelasting zijn nodig voor de betrouwbare werking van Stage V-machines.
- **SCR-temperatuurafhankelijkheid:** De efficiëntie van het SCR-systeem (Selective Catalytic Reduction), dat AdBlue® gebruikt voor NOx-reductie, is eveneens sterk afhankelijk van voldoende hoge uitlaatgastemperaturen. Bij een koude start en tijdens langdurige periodes van lage belasting kan de NOx-reductie lager zijn dan onder de beoogde, optimale bedrijfscondities.

- AdBlue®-beheer: Stage V-generatoren vereisen het regelmatig controleren en bijvullen van AdBlue®. Het verbruik hiervan ligt typisch tussen 3% en 10% van het dieselverbruik, afhankelijk van de motorbelasting en -technologie. Dit introduceert een extra logistieke stroom voor aanlevering en opslag, en een bijkomende operationele kost.

Deze gevoeligheden moeten worden meegenomen bij dimensionering en beheer (zie ook Hoofdstuk 5 en §7.3). Ze vormen echter geen reden om Stage V-machines als categorie te vermijden: bij correct gedimensioneerde installaties die niet structureel op deellast draaien, presteren Stage V-generatoren betrouwbaar en met lagere emissies dan hun voorgangers (zie §4.2.5). De kern van het probleem — overdimensionering en langdurige lage belasting — is geen Stage V-probleem, maar een dimensioneringsprobleem dat ook bij Stage IIIA-machines tot verhoogd verbruik, slijtage en emissies leidt (zie eerste punt hierboven).

Marktbeschikbaarheid en verhuur versus verkoop:

- **Huurmarkt:**
 - Stage V domineert bij grote verhuurbedrijven (nieuwe investeringen)
 - Premiumtarief: 15-30% hoger dan Stage IIIA-equivalent
 - Verhuurder/leverancier neemt het operationele risico op nabehandelingsproblemen op zich
 - Steeds betere beschikbaarheid
- **Verkoopmarkt:**
 - Stage V beschikbaar maar met lange levertijden voor sommige vermogens
 - +30-50% meerprijs t.o.v. Stage IIIA-referentieprijzen uit oudere nieuwprijzen, resterende stock of tweedehandsmarkt; een zuivere nieuw-nieuw vergelijking is vandaag niet meer mogelijk omdat nieuwe Stage IIIA-generatoren in principe niet meer rechtmatig op de EU-markt kunnen worden gebracht.
 - Kopers dragen het risico op onzekerheid over langetermijnbetrouwbaarheid en hoge onderhoudskosten.

Oudere Stage IIIA-generatoren blijven aanwezig in de vloot en kunnen tweedehands of als bestaande machines economisch relevant blijven. Voor nieuw op de markt gebrachte machines geldt sinds 2019/2020 in hoofdzaak Stage V, met gefaseerde overgangsregelingen voor specifieke vermogensklassen die intussen grotendeels uitgewerkt zijn.

Voor eindgebruikers die zelf machines aankopen en technisch onderlegd zijn, kan ouder Stage IIIA-materieel economisch aantrekkelijk blijven voor minder hindergevoelige toepassingen, bijvoorbeeld locaties verder van bewoning of contexten met minder strenge eisen rond geluid, emissies en bedrijfszekerheid. De restwaarde op termijn kan wel lager liggen. Bij huur is deze afweging minder relevant: de verhuurder maakt de technische keuze.

Algemene operationele betrouwbaarheid en onderhoud:

- Dieselgeneratoren vereisen periodiek en deskundig onderhoud (vervangen van olie, brandstof- en luchtfilters, controle van componenten)

- De operationele betrouwbaarheid kan afnemen bij langdurig onafgebroken draaien of bij achterstallig of incorrect onderhoud. Een studie van het Amerikaanse NREL geeft bijvoorbeeld aan dat zelfs een goed onderhouden generator na twee weken continu draaien nog maar in 80% van de gevallen storingsvrij werkt, terwijl een slecht onderhouden exemplaar soms al binnen twaalf uur kan uitvallen. (National Renewable Energy Laboratory, 2020)

Logistieke en overige operationele aandachtspunten:

- Brandstoflogistiek en opslag: De noodzaak van regelmatige brandstofleveringen en veilige opslag op de locatie brengt operationele kosten, planning en veiligheidsrisico's zoals morsen, diefstal en brandgevaar, met zich mee. Bij continu gebruik zijn frequente leveringen nodig. Aandachtspunten zijn onder meer lekpreventie, dubbelwandige tanks of lekbakken, toegangsbeveiliging, correcte plaatsing, diefstalpreventie, brandveiligheid, transportkosten en naleving van de toepasselijke ADR-verplichtingen. Die verplichtingen hangen af van de vervoerde hoeveelheid, verpakking of tank, vervoerswijze en eventuele vrijstellingen.
- Opstelling en terreininrichting: Generatoren, brandstoftanks en zware toebehoren worden bij voorkeur geplaatst op een stabiele, vlakke en goed bereikbare ondergrond, buiten zones waar trillingen, belasting of lekken bijkomende schade kunnen veroorzaken. Plaatsing onder boomkruinen wordt vermeden waar dit kan leiden tot bodemverdichting in de wortelzone of schade door trillingen, morsen of beperkte water- en luchtdoorlatendheid. Indien plaatsing nabij bomen onvermijdelijk is, zijn beschermende maatregelen nodig, zoals rijplaten of drukverdelende ondergrond, afbakening van de wortelzone en beperking van de gebruiksduur.
- Uitlaatgassen en hinder: Diesелgeneratoren kunnen geur-, rook- en uitlaathinder veroorzaken, vooral bij opstart, koude motor, langdurige lage belasting, slechte dimensionering of gebrekkig onderhoud. Bij oudere generatoren, zoals Stage IIIA of pre-Stage V-materieel, is het risico op zichtbare rook, roet en hogere NOx- en PM-emissies groter. Stage V-generatoren beperken vooral fijnstofmassa en deeltjesaantal sterk, maar vermijden niet alle lokale emissies of hinder. Ook bij Stage V blijven correcte dimensionering, voldoende belasting en onderhoud bepalend voor de praktijkprestatie (TNO, 2021) (Himoinsa) (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

4.2.4 ECONOMISCHE ASPECTEN

CAPEX

Stage V-generatoren zijn duurder dan oudere modellen, wat zich vertaalt in hogere aanschaf- en huurprijzen.

Tabel 10: Richtprijzen aankoop diesелgeneratoren (indicatief, prijspeil 2024–2025, excl. btw. Bron: leveranciersinformatie en bedrijfsbezoeken, 2024–2025)

Vermogen (kVA)	Stage V – nieuw	Stage IIIA – bestaand of jong gebruikt
40	€ 16.000 – 29.000	€ 7.350 – 22.000
45	€ 16.000 – 29.000	€ 19.900 – 28.500
60	€ 34.000 – 35.000	€ 7.900 – 18.000
100	€ 28.500 – 75.000	€ 9.500 – 20.000
150	€ 44.000 – 59.000	€ 14.500 – 24.500
250	€ 65.000 – 70.000	€ 28.400 – 50.000
300	€ 77.500	€ 37.000 – 61.000
400	€ 86.500	€ 23.800 – 60.000
500	€ 94.500	€ 45.000 – 66.000

- Stage V-prijzen komen vrijwel uitsluitend uit nieuwe, in 2023-2025 aangeboden “silent rental spec” sets met DPF/AdBlue®.
- Stage IIIA-prijzen variëren sterk: de onderkant van de vork betreft gereviseerde of oudere machines met beperkte uren; de bovenkant betreft weinig gebruikte machines, gereviseerde premiumtoestellen of resterende stock die vóór het einde van de toepasselijke overgangstermijnen rechtmatig op de EU-markt werd gebracht. Nieuwe Stage IIIA-generatoren zonder geldige overgangsregeling mogen vandaag niet meer als nieuw NRMM-materieel op de EU-markt worden gebracht.
- Ranges zijn indicatief; opties zoals synchroon-besturing, galvanische scheiding, extra stopcontacten, extreme geluidsdemping of grotere interne tanks kunnen makkelijk ±10% toevoegen.
- Prijzen excl. transport, plaatsing en inbedrijfstelling
- De huurprijs ≈ 0,8–1,2% van de nieuwwaarde per week voor gangbare vermogens (richtcijfer uit marktconsultaties).

OPEX

De operationele kosten worden gedomineerd door brandstofverbruik, met bijdragen van onderhoud, AdBlue® (Stage V), en logistiek.

Brandstofkosten (grootste component)¹³:

- Afhankelijk van: dieselprijs, accijsregime, specifiek brandstofverbruik (varieert met belasting, zie Tabel 9), draaiuren
- Dieselprijs (indicatief Q1 2025, excl BTW):

¹³ Berekenwijze: specifiek verbruik (L/kWh) × dieselprijs (€/L). Voorbeeld: bij 60% belasting (specifiek verbruik ≈ 0,28 L/kWh) en rode diesel (€0,80/L) bedraagt de brandstofkost 0,28 × €0,80 = €0,22/kWh. Dezelfde configuratie op witte diesel (€1,60/L): 0,28 × €1,60 = €0,45/kWh. Dit verschil verklaart waarom het accijsregime een dominante factor is in de TCO-vergelijking met alternatieve systemen (zie §6.6 en §9.2.1).

- Rode diesel (gemerkte gasolie, verlaagd accijnstarief voor off-road toepassingen, zie §2.2.3): €0,75–€0,90 per liter
- Witte diesel (standaard accijnstarief): €1,40–€1,80 per liter
- Specifiek verbruik range: 0,24-0,35+ L/kWh (afhankelijk belasting)
- Indicatieve brandstofkosten per geleverde kWh:
 - Bij rode diesel: €0,18–€0,32/kWh
 - Bij witte diesel: €0,34–€0,63/kWh

AdBlue®-kosten (Stage V):

- Verbruik: 3-10% van dieselvolumen
- Prijs: €0,50–€1,00 per liter (indicatief)
- Impact per kWh: €0,01–€0,03 extra bovenop diesel

Onderhoudskosten:

- Stage IIIA: €0,02–€0,05 per kWh (periodieke service, olie (om de 250-500u), filters (om de 500-1000u))
- Stage V: €0,04–€0,08 per kWh (extra: DPF-reiniging, SCR-onderhoud, sensoren)
- Onvoorziene reparaties: Stage V potentieel hoger (complexere systemen)

Logistieke kosten:

- Transport van de generator naar/van de locatie: €150–€500+ per beweging
- Brandstoflevering: €50–€150 per levering (tankwagen, afhankelijk volume en afstand)
- Personeel: controles, bijvullen, rapportage

Tabel 11: Totale kosten per geleverde kWh (indicatief; brandstof + onderhoud + logistiek, excl. CAPEX-afschrijving)¹⁴

	Rode diesel (€0,80/L)	Witte diesel (€1,60/L)
Optimaal (hoge belasting, groot volume)	€0,24–€0,32/kWh	€0,43–€0,53/kWh
Gemiddeld (wisselende belasting)	€0,27–€0,36/kWh	€0,46–€0,59/kWh
Ongunstig (lage belasting, klein volume)	€0,36–€0,44/kWh	€0,61–€0,72/kWh

4.2.5 MILIEU-IMPACT

DIRECTE MILIEU-IMPACT (TIJDENS GEBRUIK)

Klimaat – broeikasgasemissies:

- Directe verbranding (Tank-to-Wheel, TTW): indicatief 0,7-0,8 kg CO₂ per kWh geproduceerde elektriciteit
- Stage V-normen hebben geen invloed op CO₂-emissies (enkel criteria-polluenten)
- Type brandstof maakt wel verschil: HVO kan CO₂-uitstoot reduceren met 80-90% (zie 4.5.1)
- Voor context: Belgische netstroom (2024): ~0,11 kg CO₂eq/kWh gemiddeld

Luchtkwaliteit – Gereguleerde emissies:

De keuze tussen Stage IIIA en Stage V heeft een grote impact op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen:

¹⁴ Aannames: specifiek verbruik 0,24–0,35+ L/kWh (zie Tabel 9), per scenario 0,24–0,27 (optimaal), 0,24–0,29 (gemiddeld) en 0,31–0,35 (ongunstig); AdBlue® €0,01–0,03/kWh (zie hierboven); onderhoud €0,02–0,08/kWh (zie hierboven), per scenario €0,02–0,04, €0,04–0,06 en €0,06–0,08; logistieke toeslag €0,02–0,05/kWh (geamortiseerd), per scenario €0,02–0,03, €0,03–0,04 en €0,04–0,05. Prijspeil Q1 2025. De kolom "rode diesel" weerspiegelt de huidige Belgische praktijk voor de meeste tijdelijke toepassingen; de kolom "witte diesel" is relevant voor de Nederlandse markt (rode diesel afgeschaft sinds 2013) en als referentie bij een eventuele afbouw van het Belgische accijnsvoordeel (zie §2.2.3 en §9.2.2).

(Bron: berekend op basis van leveranciersinformatie en bedrijfsbezoeken 2024–2025; specifiek verbruik conform Tabel 9; accijnstarieven conform FOD Financiën, prijspeil Q1 2025.)

Tabel 12: Uitstoot van luchtverontreinigende stoffen van Stage IIIA vs Stage V

Polluent	Stage IIIA (indicatief)	Stage V (indicatief)	Reductie	Gezondheidseffect
PM (fijnstof massa)	0,3-0,6 g/kWh	<0,015 g/kWh	>95%	Respiratoir, cardiovasculair, kankerverwekkend
PN (fijnstof aantal)	(niet gereguleerd)	<1×10 ¹² #/kWh	-	Ultrafijn stof, longschade
NOx (stikstofoxiden)	3-6 g/kWh	0,4-2 g/kWh	60-85%	Respiratoir, verzuring, smog
CO (koolmonoxide)	2-5 g/kWh	3-5 g/kWh	Beperkt	Toxisch, verstikkingsgevaar
HC (koolwaterstoffen)	0,5-1 g/kWh	0,2-0,5 g/kWh	~50%	Sommige kankerverwekkend, geurhinder types

Opmerkingen:

- Stage V levert zeer grote verbetering voor PM en NOx
- Real-worldemissies kunnen hoger zijn dan typegoedkeuringswaarden, vooral bij Stage V onder lage belastings- of temperatuurcondities
- Lokale impact hangt ook af van: locatie, afstand receptoren, ventilatie, topografie, weer
- Stage IIIA blijft een grote bron van luchtvervuiling in dichtbebouwde omgeving

Geurhinder:

Dieselgeneratoren produceren karakteristieke geurhinder van twee bronnen:

1. Uitlaatgassen:

- Dieselgeur van onverbrande koolwaterstoffen, aldehyden, aromatische verbindingen
- Vooral merkbaar bij koude start, lage belasting, versnellingen
- Stage V heeft typisch een lager geurprofiel door completere verbranding (DOC oxideert HC)
- Stage IIIA: meer geur, vooral bij een slecht onderhouden motor

2. Opslagtanks:

- Uitdamping van lichte fracties uit diesel, vooral bij opwarming (zonlicht)

- Geur kan zich verspreiden over tientallen meters
- Problematisch bij opslag nabij ventilatieaanvoer gebouwen, evenemententerreinen
- Mitigatie: schaduwplaatsing tanks, gesloten systemen, afstand tot receptoren

Geluidshinder:

Dieselgeneratoren blijven een belangrijke bron van geluidshinder, ondanks beschikbaarheid van geluidsgedempte uitvoeringen. De geluidsniveaus in de praktijk variëren sterk afhankelijk van generatortype, omkasting, vermogen koelventilatie, motortoerental, belasting, plaatsing en afstand. De emissiestage van de motor, bijvoorbeeld Stage IIIA of Stage V, is op zich geen geluidsklasse. Stage V-generatoren zijn dus niet automatisch stiller dan Stage IIIA-generatoren. In de praktijk kunnen nieuwere Stage V-generatoren wel vaker worden aangeboden in modernere of beter geluidsgedempte uitvoeringen, maar het geluidsniveau moet steeds worden beoordeeld op basis van de opgegeven akoestische specificaties van het toestel.

Indicatieve geluidsniveaus van generatoren, te verifiëren op basis van de technische fiche:

- Niet-gedempt ('open frame'): doorgaans hoogste geluidsimpact; vooral relevant voor oudere of eenvoudige toestellen.
- Semi-gedempt ('canopy'): lagere geluidsimpact door omkasting en uitlaatdemping.
- Gedempt ('silent'/'super-silent'): sterk afhankelijk van omkasting, ventilatie en meetafstand; waarden rond 60–75 dB(A) verwijzen in leveranciersspecificaties vaak naar geluidsdrukniveau op een bepaalde afstand, bijvoorbeeld 7 m, en niet naar het geluidsvermogensniveau LWA.

Let op het onderscheid tussen geluidsdrukniveau en geluidsvermogensniveau. Het geluidsdrukniveau, bijvoorbeeld dB(A) op 7 m, hangt af van afstand en omgeving. Het geluidsvermogensniveau LWA is een bronvermogen en wordt gebruikt voor de wettelijke geluidsmarkering van outdoor equipment. Voor vergelijking tussen toestellen moet worden gecontroleerd welke grootte en meetcondities de leverancier vermeldt.

Bodem- en waterverontreiniging:

- Risico's: lekken van diesel (uit tank, leidingen, motor) of AdBlue® (Stage V)
- Impact diesel: toxisch voor bodem en grondwater, persistente verontreiniging, sanering is duur
- Impact AdBlue®: minder toxisch maar hoge stikstofconcentratie (eutrofiëring), corrosief

Trillingen:

Generatortrillingen (typisch 0,1–1 mm/s op 5 m) zijn bij tijdelijke toepassingen doorgaans te beperkt in duur en intensiteit om bodemeffecten te veroorzaken. Bij langdurige opstelling op dezelfde locatie nabij kwetsbare vegetatie of in natuurgebied verdient dit punt aandacht.

LEVENSZYCLUSANALYSE

Een volledig beeld van de milieu-impact vereist een levenscyclusperspectief (Well-to-Wheel, WtW) dat de gehele keten omvat.

Well-to-Tank (WTT) - upstream impact diesel:

Voor conventionele fossiele diesel omvat dit:

- Extractie ruwe olie (exploratie, winning)
- Transport naar raffinaderijen (pijpleiding, tankers)
- Raffinageproces (energie-intensief, eigen emissies)
- Distributie naar eindverbruiker (tankwagens)

De WTT-emissies voor conventionele diesel in Europa worden geschat op circa 15-25% van de totale WtW CO₂-uitstoot, of ongeveer 18,9 g CO₂eq per MJ brandstof (~0,16 kg CO₂eq per kWh geproduceerde elektriciteit). Andere impactcategorieën (verzuring, ecotoxiciteit, landgebruik) zijn ook relevant.

Tank-to-Wheel (TTW) - directe emissies:

Zie "Directe milieu-impact" hierboven. TTW CO₂: ~0,7-0,8 kg/kWh elektriciteit (afhankelijk van de efficiëntie).

Totale Well-to-Wheel (WtW) CO₂:

WtW = WTT + TTW ≈ 0,85-0,95 kg CO₂eq/kWh elektriciteit

4.2.6 VEILIGHEIDSASPECTEN

De veiligheidsrisico's van dieselgeneratoren zijn inherent aan de brandstof, het verbrandingsproces, en de mechanische en elektrische componenten van deze systemen.

1. Diesel is een ontvlambare vloeistof (vlampunt 52-96°C, afhankelijk type). De opslag en hantering ervan creëren voornamelijk een brandrisico en, in specifieke omstandigheden zoals bij dampontwikkeling in besloten ruimtes, ook explosiegevaar, vooral tijdens het bijtanken of bij aanwezigheid van ontstekingsbronnen. Deze risico's nemen toe bij grotere opslagvolumes (> 1000 L) of een onzorgvuldige handelingswijze.
2. Het verbrandingsproces produceert hete uitlaatgassen die naast gereguleerde pollutanten (NO_x, PM) ook koolmonoxide (CO) bevatten, een kleur- en reukloos, maar zeer toxisch gas. Ophoping van CO in onvoldoende geventileerde ruimtes vormt een vergiftigingsrisico voor personen. Bij buitenopstellingen is dit risico doorgaans beperkter.
3. Als stroomopwekkende apparatuur brengen generatoren inherente risico's op elektrische schokken, kortsluiting en elektrocutie met zich mee. Deze gevaren worden versterkt in vochtige omgevingen of bij beschadigde bekabeling.
4. Mechanische risico's: roterende onderdelen zoals ventilatoren en aandrijfriemen, evenals hete oppervlakken (uitlaatsystemen kunnen temperaturen bereiken van 400-600°C), vormen directe risico's op mechanisch letsel, beknelling of ernstige brandwonden.

Hoofdstuk 7 van deze code biedt een raamwerk voor het minimaliseren van deze risico's, met specifieke aandacht voor:

- Preventieve maatregelen voor brandstofopslag en -handling
- Elektrische veiligheidsvoorzieningen en aardingsvereisten

- Ventilatie-eisen en CO-preventie
- Geluidsbeheersingsstrategie, inclusief afscherming, geluidskasten en strategische plaatsing om de impact op zowel werknemers als omwonenden te minimaliseren
- Persoonlijke beschermingsmiddelen en veiligheidsprocedures
- Lekpreventie en milieucontainers

4.2.7 CONCLUSIE

Dieselgeneratoren blijven relevant wanneer een netaansluiting niet haalbaar is en wanneer het energievolume of de piekvraag te groot is voor een standalone batterij. Hun sterke punten zijn autonomie, snelle inzetbaarheid en robuustheid. De belangrijkste nadelen zijn lokale emissies, CO₂-uitstoot, geluid en rendementsverlies bij lage belasting.

Stage V-generatoren verminderen de uitstoot van fijn stof en NO_x sterk, maar vragen een correcte dimensionering en voldoende belasting om nabehandelingsystemen goed te laten werken. Bij off-grid toepassingen kan een combinatie met batterijopslag het aantal draaiuren, de deellastwerking en de milieu-impact verlagen.

4.3 BATTERIJ- OF ACCUSYSTEMEN (BESS)

Batterijsystemen (accusystemen of BESS, Battery Energy Storage Systems) zijn oplaadbare energieopslagsystemen. Ze slaan elektrische energie op — uit het net, een generator of hernieuwbare bronnen, zoals PV of wind. Ze leveren die energie later als lokaal emissievrije en meestal stille stroom. Deze systemen kunnen autonoom functioneren (in 'eilandbedrijf'), losgekoppeld van het hoofdnet, maar produceren zelf geen energie; periodiek opladen is dus noodzakelijk.

4.3.1 TECHNISCHE KENMERKEN

De markt voor BESS, specifiek voor mobiele en tijdelijke toepassingen, wordt momenteel gedomineerd door Lithium-iontechnologie (Li-ion). Li-ion wordt vooral gebruikt door de hoge energiedichtheid, hoge efficiëntie en dalende kost. De sterke groei van de bredere Europese Li-ionmarkt, gedreven door elektrische voertuigen (EV's) en grootschalige energieopslag (ESS), werkt ook door in mobiele en tijdelijke toepassingen.

Voor tijdelijke toepassingen worden BESS vaak geleverd in gestandaardiseerde, robuuste units, bijvoorbeeld containers of systemen gemonteerd op skids die bestand zijn tegen transport en ruwere omgevingscondities. Dergelijke units integreren naast de batterijmodules ook essentiële componenten zoals:

- Omvormers (voor DC/AC-conversie).
- Koelingssystemen (voor thermisch beheer).
- Een Battery Management System (BMS).
- Bij sommige systemen: dubbelwandige constructies die met water kunnen worden gevuld als bijkomende thermische beheersmaatregel tegen *thermal runaway*.

De vergunningssituatie voor tijdelijke BESS is juridisch niet volledig eenduidig (zie §2.3.1 voor de analyse en praktijkrichtlijn). Voorafgaand contact met de vergunningverlenende overheid wordt aanbevolen.

Zowel de capaciteit (energie-inhoud, typisch kWh tot MWh) als het vermogen (afgiftesnelheid, kW tot MVA) van BESS zijn de afgelopen jaren snel toegenomen. Een belangrijk kenmerk is de modulariteit: opschaling van capaciteit en vermogen is mogelijk door modules of units parallel te schakelen (Volvo Penta, n.d.)

Batterijchemie

Binnen de mobiele BESS-markt gaat het meestal om Li-ionbatterijen, met verschillende batterijchemieën. Daarnaast bestaan ook enkele niet Li-iontechnologieën voor specifieke toepassingen:

- Lithium-ijzerfosfaat (LFP): bekend om een relatief hoog thermisch veiligheidsprofiel, lange levensduur (in laadcycli), en gebruik van minder kritische grondstoffen (geen kobalt). De markttrend neigt naar toenemend LFP-gebruik.
- Nikkel-mangaan-kobalt (NMC) en vergelijkbare chemieën: bieden een hogere energiedichtheid (compactere/lichtere systemen), maar gebruiken kobalt.
- Andere, niet-Li-iontechnologieën: loodzuur-/loodkoolstofbatterijen kunnen voor specifieke toepassingen (bv. peak shaving, beperkte cycli) nog kosteneffectief zijn. Andere technologieën, bijvoorbeeld zoutwaterbatterijen, zijn minder courant. De verhuurmarkt adopteert nieuwe technologieën vaak sneller dan de directe verkoop. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

Spanningsniveau en netintegratie

Het spanningsniveau van BESS is relevant voor integratie. Systemen opereren op verschillende DC-spanningsniveaus (kleinere <600 V DC; grotere commerciële/industriële units 600 V-1.500 V DC). Er is een trend naar Medium Voltage (MV-BESS) voor directere koppeling met industriële netten. De spanningskeuze heeft implicaties voor omvormers, netaansluiting, bekabeling en veiligheidsprocedures. (conform AREI) (Onsemi, 2023)

Li-ionbatterijen zetten energie zeer efficiënt om: bij het opladen en ontladen gaat meestal minder dan 10% verloren. Deze zogenaamde *round-trip efficiency* (RTE) ligt doorgaans boven 90%, wat betekent dat bijna alle opgeslagen energie opnieuw kan worden benut.

Een belangrijk voordeel is de snelle respons: batterijen kunnen in fracties van seconden vermogen leveren of opnemen. Dat maakt ze geschikt voor toepassingen waar plots hoge vermogens nodig zijn, zoals het opvangen van pieken of het opstarten van zware motoren.

De snelheid waarmee een batterij wordt geladen of ontladen, wordt uitgedrukt via de C-rate. Een hogere C-rate betekent snellere energieverdracht, maar dat veroorzaakt ook meer warmte en snellere slijtage van de cellen.

Daarnaast beïnvloedt de ontladingsdiepte (*Depth of Discharge* of DoD) de levensduur. Volledige ontladingen verkorten die meestal, maar moderne Li-ion-systemen, vooral op basis van LFP-chemie (*lithium-ijzerfosfaat*), verdragen diepe ontladingen tot 80-90% relatief goed. Voor dimensionering zijn de door de fabrikant opgegeven bruikbare capaciteit en DoD-grenzen leidend. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

Batterijprestaties en levensduur zijn gevoelig voor temperatuur. Hoge temperaturen versnellen degradatie; lage temperaturen verminderen tijdelijk de capaciteit of het vermogen. Geïntegreerde thermische beheersystemen (isolatie, actieve koeling/verwarming), gestuurd door het BMS, zijn noodzakelijk en verbruiken zelf continu energie. De levensduur (1.500 tot >5.000 cycli of 5 tot 10+ jaar) hangt af van chemie, gebruiksprofiel (DoD, C-rate) en operationele omstandigheden.

Capaciteitsdegradatie is een geleidelijk proces. 'Second-life'-toepassingen worden steeds belangrijker. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

Het Battery Management System (BMS) is een centraal elektronisch onderdeel voor de veilige en optimale werking. Het vervult meerdere functies:

- Continu monitoren van spanning, stroom en temperatuur van cellen/modules.
- Beschermen tegen gevaarlijke condities (overladen, diepontladen, overstroom, kortsluiting, extreme temperaturen) door eventueel de batterij uit te schakelen of stroom te beperken.
- Zorgen voor celbalancerings om de levensduur van het pakket te maximaliseren.
- Berekenen en rapporteren van de actuele laadtoestand (State of Charge, SoC) en gezondheidstoestand (State of Health, SoH).

Het BMS bewaakt de prestaties, veiligheid en levensduur. Moderne systemen bieden vaak monitoring op afstand (via 4G/LTE of Ethernet) voor proactief onderhoud, snelle probleemoplossing en optimalisatie (Volvo Penta, n.d.). In hybride configuraties communiceert het BMS met een overkoepelend Energy Management System (EMS) dat de samenwerking tussen BESS, generatoren en eventueel net coördineert — zie §4.7.

4.3.2 VOORDELEN

Batterijsystemen hebben enkele belangrijke voordelen:

- Lokale emissievrije werking: geen uitstoot van CO₂, NO_x, fijnstof of andere luchtverontreinigende stoffen op de gebruikslocatie.
- Beperkte geluidsproductie: De batterijcellen zelf produceren geen motorgeluid of uitlaatgeluid. Geluid kan wel ontstaan door omvormers, transformatoren, koelventilatoren, compressoren en andere hulpinstallaties, zowel tijdens laden als ontladen, afhankelijk van belasting en temperatuur. Kleinere systemen (<100 kWh) zijn doorgaans zeer stil (indicatief 30-45 dB(A) op 1 m), maar grotere container-BESS (>500 kWh) kunnen tijdens laden of bij intensieve koeling 55-70 dB(A) op 1 m afstand produceren, voornamelijk afkomstig van koelsystemen en omvormers. Deze waarden zijn sterk model- en belastingsafhankelijk; vraag voor grotere of continu belaste systemen de modelspecifieke geluidsgegevens (LWA of geluidsdruk met meetafstand en bedrijfsmodus) op. Dergelijke grotere container-BESS zijn vooral relevant voor grotere of energie-intensievere toepassingen, bijvoorbeeld op grotere bouwplaatsen, bij kraantoepassingen of in hybride configuraties, en zijn dus niet representatief voor de meeste kleine of middelgrote werven. In vergelijking met dieselgeneratoren ontbreekt bij BESS doorgaans de laagfrequente motorbrom en het uitlaatgeluid. Het geluid van BESS is eerder afkomstig van koeling en vermogenselektronica en kan bij grotere systemen tonaal of continu hoorbaar zijn. BESS zijn dus niet volledig stil, maar bieden in geluidsgevoelige omgevingen vaak een duidelijk voordeel ten opzichte van generatoren, zeker wanneer actieve koeling beperkt is en de opstelling zorgvuldig gebeurt.
- Hoge energie-efficiëntie: Een round-trip efficiëntie (RTE) ligt vaak boven 90%, wat resulteert in een lager primair energieverbruik vergeleken met thermische generatoren (typisch 30-40% efficiëntie).

- Lage onderhoudsbehoefte in vergelijking met verbrandingsmotoren: Minder bewegende delen leiden doorgaans tot lagere onderhoudskosten en potentieel hogere operationele betrouwbaarheid.
- Flexibiliteit en snelle respons: ze kunnen zeer snel reageren op de vermogensvraag (hoge C-rate), opereren efficiënt bij sterk variabele belasting, en zijn vaak modulair opgebouwd voor schaalbaarheid.

4.3.3 BEPERKINGEN EN AANDACHTSPUNTEN

Ondanks de voordelen zijn er ook beperkingen en aandachtspunten:

- Eindige energiecapaciteit: De opgeslagen energie (kWh) is gelimiteerd, wat goede planning van verbruik en tijdige oplading noodzakelijk maakt; de operationele autonomie is beperkt.
- Afhankelijkheid van een laadbron: Vereist toegang tot het net, een generator of hernieuwbare bron voor periodiek opladen. De milieu-impact en operationele kosten van het BESS worden sterk beïnvloed door de karakteristieken van deze laadbron.
- Hogere CAPEX: de aanschaf- of huurprijs ligt momenteel vaak hoger dan voor een dieselgenerator met vergelijkbaar vermogen (zie §4.3.4).
- Gewicht en volume: Vooral bij grote capaciteiten, wat logistieke uitdagingen kan opleveren.
- Milieu-impact productie en recycling: De productie (grondstofwinning, processen) en end-of-life fase hebben een eigen milieu-impact (zie §4.3.5).
- Temperatuurgevoeligheid: Het operationele temperatuurbereik voor lithium-ion batterijen bedraagt typisch -20°C tot +45°C (datasheet-specificatie), met optimale prestaties en levensduur tussen +15°C en +35°C. Laden onder 0°C kan lithiumpating veroorzaken en is bij veel systemen geblokkeerd. Ontladen onder -10°C vermindert de capaciteit. Voorzie daarom bij winterse omstandigheden isolatie en eventueel verwarming.
- Opleiding en aangepaste werkwijzen: Als relatief nieuwe technologie in de tijdelijke energievoorziening vragen BESS dat personeel (operators, technici, projectmanagers) adequate opleiding en bijscholing krijgt over de specifieke eigenschappen, bediening en veiligheidsaspecten van batterijsystemen. De werkwijze verschilt van conventionele dieselgeneratoren, met andere aandachtspunten voor bijvoorbeeld laadplanning, monitoring via digitale interfaces, en noodprocedures. Organisaties moeten investeren in kennisontwikkeling en aangepaste procedures.
- Transport- en vergunningseisen: Lithium-ionbatterijen vallen onder ADR klasse 9 – gevaarlijke stoffen. Voor het transport van geladen batterijen is naleving van specifieke ADR-voorschriften nodig, waaronder geschikte verpakking, documentatie, markering en eventueel begeleiding door gecertificeerde chauffeurs. Dit kan logistieke complexiteit en kosten verhogen, met name bij frequent verplaatsen van systemen tussen projectlocaties.

4.3.4 ECONOMISCHE ASPECTEN

CAPEX

- De CAPEX is doorgaans hoger dan voor dieselgeneratoren. De indicatieve systeemkost voor een complete mobiele BESS — inclusief batterijcellen, omvormer(s), energiemanagementsysteem (EMS), bekabeling, containerisering en inbedrijfstelling — bedraagt circa €1.000–€1.500/kWh

nuttige capaciteit (prijsspeil 2025). Deze kost ligt aanzienlijk hoger dan bij stationaire batterijsystemen (indicatief €300–€600/kWh) door de specifieke vereisten van mobiele en tijdelijke inzet: compacte containerisering, hogere IP-classificatie, geïntegreerde sturing en ontwerp op frequent transport en herconfiguratie. De range is afhankelijk van vermogensklasse, mate van integratie en fabrikant. (Bron: leveranciersinformatie en bedrijfsbezoeken, 2024–2025; prijsevolutie: BloombergNEF, 2024)

OPEX

- Doorgaans lager dan voor dieselgeneratoren.
 - Belangrijkste component: kosten voor laadstroom (netstroom ca. €0,25–€0,40/kWh; off-grid laden met generator/batterijwissel verhoogt laadkost, indicatief €0,30–€0,60/kWh).
 - Minimaal onderhoud (inspecties, software-updates).
 - Eventuele huurkosten.
 - Optimalisatie via off-peak tarieven of laden met eigen hernieuwbare energie.
- Levensduur en restwaarde: De levensduur (cycli/jaren) bepaalt afschrijving; degradatie beïnvloedt prestaties. Mogelijkheden voor renovatie of 'second-life'-toepassingen kunnen restwaarde creëren. Gebruiksprofiel en BMS zijn belangrijk voor een lange levensduur.
- Indirecte kosten/baten: Mogelijke vergunning- of keuringskosten, maar ook baten zoals lagere geluidsproductie (waardoor langere werktijden mogelijk zijn), en een verbeterd duurzaam imago.

Totale kost per geleverde kWh (indicatief).

De kost per geleverde kWh bij BESS wordt bepaald door de laadbronkost, de round-trip efficiency (~90%), de huurprijs of afschrijving, en het aantal cycli. Bij inzet als eilandsysteem met netlading bedraagt de indicatieve totale kost €0,30–0,50/kWh; bij hybride inzet met generatorlading stijgt dit naar €0,45–0,75/kWh. Ter vergelijking: netstroom bedraagt indicatief €0,25–0,40/kWh (§4.1.4) en een dieselgenerator €0,40–1,00+/kWh afhankelijk van belasting (4.2.4).

De economische aantrekkelijkheid van BESS verbetert gestaag door dalende batterijprijzen (in 2024 daalde de gemiddelde prijs van Li-ionbatterijpakketten met 20% tot 115 USD/kWh) (BloombergNEF, 2024) en stijgend aanbod (onder meer door schaalvergroting, toenemende internationale productie en een ruimer marktaanbod, ook buiten Europa). De uiteindelijke rendabiliteit hangt sterk af van gebruiksprofiel, projectduur, energie-/brandstofprijzen, en subsidies. Hogere CAPEX kan gecompenseerd worden door lagere OPEX en indirecte baten, vooral bij intensief gebruik, stijgende brandstofprijzen of strengere emissieregels (Onsemi, 2023) (Electronics Tutorials, 2025)

4.3.5 MILIEU-IMPACT

DIRECTE MILIEU-IMPACT TIJDENS GEBRUIK

BESS-systemen hebben tijdens bedrijf een zeer gunstige lokale milieu-impact. Ze produceren geen directe emissies van broeikasgassen, fijnstof, NOx of andere luchtverontreinigende stoffen. Ook ontstaat geen motorgeluid of uitlaatgeluid. Wel kunnen koelsystemen, omvormers en andere hulpinstallaties geluid veroorzaken, vooral bij grotere systemen of hoge belasting. Dit maakt BESS bijzonder geschikt voor gebruik in stedelijke omgevingen, natuurgebieden of andere locaties waar luchtkwaliteit en geluidsoverlast bepalende factoren zijn.

LEVENSCYCLUSANALYSE (LCA)

Voor de milieu-impact volstaat de gebruiksfase niet; productie, laadstroom en einde levensduur tellen mee.

- Productiefase: Significante milieu-impact door grondstofwinning (lithium, kobalt, nikkel, grafiet) en energie-intensieve productieprocessen.
- Gebruiksfase: Impact grotendeels bepaald door CO₂-intensiteit laadbron. Groene stroom minimaliseert operationele CO₂-uitstoot. Laden via Belgische netstroom (ca. 110 g CO₂e/kWh in 2024, jaargemiddelde – zie §4.1.5) is beter dan laden met dieselgenerator (hogere effectieve CO₂/kWh door generatorinefficiëntie), maar niet emissievrij.
- End-of-lifefase: Omvat demontage, transport, verwerking. Recycling van Li-ion batterijen is complex maar in ontwikkeling; terugwinning waardevolle materialen is economisch/ecologisch belangrijk. Second-life-toepassingen verlengen levensduur (Market Data Forecast, 2024)

Vergelijkende LCA's¹⁵ tonen doorgaans aan dat BESS, mits opgeladen met relatief schone energie, een lagere totale milieu-impact hebben dan continu draaiende dieselgeneratoren. Dit komt vooral door:

- Hogere efficiëntie in de gebruiksfase,
- Mogelijkheid tot laden met hernieuwbare energie,
- Afwezigheid van directe emissies tijdens gebruik.

De operationele fase (met name de gebruikte laadbron) is dominant voor de klimaatimpact, terwijl de productiefase zwaarder weegt voor andere impactcategorieën zoals verzuring en toxiciteit. De uitkomst hangt vooral af van batterijchemie, levensduur, gebruikspatroon, laadstroom en recyclage. (Energyville, n.d.)

4.3.6 VEILIGHEIDSASPECTEN

Het voornaamste veiligheidsrisico bij Li-ion BESS is *thermal runaway*: een zichzelf versterkende exotherme reactie die kan leiden tot de snelle productie van brandbare en toxische gassen, brand, en in ernstige gevallen deflagratie. Dit risico onderscheidt BESS van dieselgeneratoren, waar brandrisico's typisch een conventioneel verloop hebben.

Het risico neemt toe met de systeemgrootte: een grote container-BESS (≥1 MWh) vertegenwoordigt een groter potentieel gevaar dan een compact systeem (<100 kWh). Batterijchemie (LFP vs. NMC) beïnvloedt het risicoprofiel, maar niet de noodzaak aan preventieve en beheersende maatregelen.

Veiligheid bij BESS steunt op drie pijlers: preventie (hoogwaardige cellen, robuust BMS), detectie (continue monitoring van temperatuur, spanning en gasvorming) en beheersing (ventilatie, compartimentering, drukontlasting/explosieontlasting, oriëntatie van ontlastingsopeningen, aangepaste blusprocedures). Bij grotere BESS moet ook worden beoordeeld hoe een incident zich ontwikkelt bij gasopbouw of deflagratie. Ontwerpkkeuzes zoals drukontlasting via het dak of via vooraf bepaalde panelen kunnen helpen vermijden dat druk, vlammen of projectielen naar bedieningszones,

¹⁵

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615007416>,
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ente.201600622>

evacuatie routes, publiek, gevels of andere kwetsbare objecten worden gericht. Conventionele gasblussystemen stoppen het *thermal runaway*-proces niet en kunnen zelfs contraproductief werken.

De concrete uitwerking van plaatsingseisen, ventilatie, compartimentering, branddetectie, blussystemen en noodprocedures wordt behandeld in §7.3.3. Bij plaatsing van een tijdelijke BESS wordt geadviseerd om voorafgaand contact op te nemen met de lokale brandweerzone (zie ook §2.3.6). (Persoonlijke communicatie Netwerk Brandweer Vlaanderen, 2025)

4.3.7 CONCLUSIE

Batterijsystemen leveren lokaal emissievrije en meestal stille stroom met een hoge efficiëntie en snelle respons. Ze zijn vooral geschikt voor piekopvang, buffering van een beperkte netaansluiting, stille periodes en toepassingen met beperkt energievolume.

De beperkingen liggen bij de eindige opslagcapaciteit, de nood aan een laadbron, de hogere investeringskost en de veiligheidsvereisten bij grotere systemen. Bij hoge of langdurige energievraag zonder net is een standalone batterij meestal onvoldoende; een hybride systeem met generator of netaansluiting ligt dan meer voor de hand.

4.4 WATERSTOF ALS ENERGIEDRAGER

Waterstof (H_2) is vooral relevant waar lokale emissies sterk moeten worden beperkt, zoals dichtbebouwde woongebieden, zones met slechte luchtkwaliteit en natuurgebieden. In de context van tijdelijke elektriciteitsvoorziening wordt waterstof omgezet naar stroom via twee hoofdtechnologieën: brandstofcellen (Fuel Cells, FC) of waterstofverbrandingsmotoren (H_2 -Internal Combustion Engines, H_2 -ICE).

De productiemethode van waterstof is een belangrijke factor die de werkelijke milieu-impact bepaalt. Daarom moet de evaluatie de volledige keten meenemen. De productie van waterstof wordt vaak gecategoriseerd met kleuren:

- **Grijze waterstof:** Momenteel de meest courante productiemethode wereldwijd. Deze wordt geproduceerd via stoom-reforming van aardgas (Steam Methane Reforming, SMR). Dit proces gaat gepaard met een hoge CO_2 -uitstoot, grootteorde van 7-11 kg CO_2 -equivalent per kg geproduceerde waterstof.
- **Blauwe waterstof:** Dit is grijze waterstof waarbij de vrijgekomen CO_2 tijdens het SMR-proces wordt afgevangen en opgeslagen (Carbon Capture and Storage, CCS) of gebruikt (Carbon Capture and Utilisation, CCU). Dit reduceert de CO_2 -uitstoot sterk, maar elimineert deze niet volledig. De effectiviteit hangt af van de afvangratio van de CCS-installatie en eventuele methaanlekken stroomopwaarts in de aardgasketen.
- **Groene waterstof:** Geproduceerd via elektrolyse van water, waarbij water (H_2O) wordt gesplitst in waterstof (H_2) en zuurstof (O_2) met behulp van elektriciteit. Indien deze elektriciteit afkomstig is van hernieuwbare bronnen (bv. wind, zon), is de productieketen nagenoeg CO_2 -vrij. Deze route sluit aan bij de Europese, Belgische en Vlaamse waterstofstrategieën.
- **Andere varianten (geel, roze, turquoise)** worden onderscheiden op basis van de elektriciteits- of warmtebron, maar spelen in de huidige markt voor tijdelijke toepassingen geen rol.

4.4.1 TECHNISCHE WERKING EN KENMERKEN

WATERSTOF BRANDSTOFCELLEN

Brandstofcellen zetten de chemische energie van waterstof direct om in elektriciteit via een elektrochemische reactie met zuurstof uit de lucht. De belangrijkste restproducten zijn water(damp) en warmte. In tegenstelling tot verbrandingsmotoren vindt er geen verbranding plaats bij hoge temperaturen, waardoor er geen schadelijke emissies zoals NO_x of fijnstof ontstaan tijdens de werking. Voor tijdelijke stroomtoepassingen wordt voornamelijk de PEM (Proton Exchange Membrane) brandstofcel gebruikt vanwege haar relatief snelle opstarttijd en goede prestaties bij lagere temperaturen, vergeleken met andere types zoals SOFC (Solid Oxide Fuel Cell). (FuelCell Energy, 2022)

Een typisch PEM-brandstofcelsysteem voor tijdelijke stroomvoorziening omvat verschillende componenten:

- De brandstofcelstack: het hart van het systeem waar de elektrochemische reactie plaatsvindt, bestaande uit meerdere individuele cellen die in serie geschakeld zijn.
- Waterstofopslag: meestal in hogedrukcilinders of bundels (bv. 200-700 bar) om voldoende waterstofgas mee te voeren.
- Luchttoevoersysteem: voorziet de kathode van de benodigde zuurstof.
- Koelsysteem: voert de geproduceerde warmte af.
- Vermogenselektronica: Omvormers en converters om de DC-stroom van de brandstofcel om te zetten naar de gewenste AC-spanning en -frequentie, en om de output te stabiliseren.
- Bufferbatterij: vaak geïntegreerd om piekvermogens te leveren die de brandstofcel mogelijk niet direct kan leveren, of om snelle veranderingen in de belasting op te vangen. Dit helpt ook om de brandstofcel efficiënter te laten werken door deze meer constant te belasten.
- Controle- en managementsysteem: bewaakt en regelt de werking van alle componenten. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

De elektrische efficiëntie van PEM-systemen, gebaseerd op de lagere verbrandingswaarde (*Lower Heating Value*, LHV) van waterstof, ligt typisch tussen 40% en 60%. Commerciële systemen zijn modulair beschikbaar, variërend van enkele kW tot systemen op MW-schaal, vaak ondergebracht in containers.

WATERSTOFVERBRANDINGSMOTOREN (H₂ – ICE)

Waterstofverbrandingsmotoren (H₂-ICE) zijn daarentegen conventionele interne verbrandingsmotoren die aangepast zijn om op waterstof te functioneren. Ze maken gebruik van bestaande motortechnologie en kunnen in verschillende configuraties voorkomen:

- Spark-ignited (SI) motoren verbranden zuivere waterstof met vonkontsteking, vergelijkbaar met benzinemotoren.
- Dual-fuel (compression-ignited) motoren combineren diesel en waterstof: waterstof vormt de hoofdbelastingbrandstof, terwijl een beperkte hoeveelheid diesel wordt ingespoten voor de ontsteking. Het aandeel diesel varieert afhankelijk van belasting en toerental.

De elektrische efficiëntie van H₂-ICE's ligt doorgaans lager dan bij PEM-brandstofcellen, typisch tussen 30% en 45% (LHV).

4.4.2 VOORDELEN

Waterstof combineert drie eigenschappen die geen enkele andere off-gridtechnologie in dit hoofdstuk tegelijk levert: hoog vermogen (van kW- tot MW-schaal), lange autonomie (dagen tot weken mits voldoende voorraad) en nul (FC) of nagenoeg nul (H₂-ICE) lokale emissies, onafhankelijk van het elektriciteitsnet. De relevante toepassingen zijn die waar directe elektrificatie niet haalbaar is, het energievolume de capaciteit van standalone batterijsystemen overstijgt en lokale emissies of geluidshinder niet aanvaardbaar zijn.

WATERSTOF BRANDSTOFCELLEN

- Nul lokale emissies: produceren enkel waterdamp, geen lokale uitstoot van CO₂, NO_x, fijnstof of andere luchtverontreinigende stoffen.
- Laag geluidsniveau: opereren stiller dan conventionele dieselgeneratoren (indicatief 50-60 dB(A) op 7 meter).
- Potentieel minder onderhoud: minder bewegende delen dan verbrandingsmotoren.
- Relatief hoge efficiëntie, ook bij deellast: behouden hun efficiëntie beter over een breder belastingsbereik.

WATERSTOFVERBRANDINGSMOTOREN (H₂ – ICE)

- Gebaseerd op vertrouwde technologie: kan leiden tot lagere initiële kosten (CAPEX) en potentieel eenvoudiger onderhoud vergeleken met brandstofcellen.
- Robuustheid: staan bekend als robuuster en minder gevoelig voor onzuiverheden in de brandstof of zware bedrijfsomstandigheden dan brandstofcellen.
- Geen directe CO₂- of roetuitstoot: produceren tijdens de verbranding van waterstof geen CO₂ of fijnstof (PM).
- Drastische NO_x-reductie mogelijk: de uitstoot van stikstofoxiden (NO_x) kan lager zijn dan bij Stage V dieselmotoren (reducties >50x tot >99% gerapporteerd), afhankelijk van motorontwerp en eventuele nabehandeling.

4.4.3 BEPERKINGEN EN AANDACHTSPUNTEN

PEM-brandstofcellen:

- Waterstofzuiverheid: vereisen zeer hoge zuiverheid van waterstof (minimaal 99,97% H₂, conform ISO 14687). Zelfs minieme verontreinigingen (ppm-niveau van O₂, CO, H₂S, NH₃) kunnen de platina-katalysator en het membraan onherstelbaar aantasten.
- Temperatuurgevoeligheid: functioneren correct binnen een beperkte temperatuurband (ca. -30°C tot +50°C); daarbuiten is actieve thermische beheersing nodig.
- Levensduur: de levensduur van de brandstofcelstack varieert (praktijk 5.000-20.000+ bedrijfsuren); ook de geïntegreerde bufferbatterij heeft een beperkte levensduur.

Waterstofverbrandingsmotoren (H₂-ICE):

- NO_x-emissies: Hoewel CO₂-vrij, vormen ze nog steeds stikstofoxiden (NO_x), zij het in (zeer) beperkte hoeveelheden. Aanvullende nabehandeling (bv. SCR) kan nodig blijven om aan toekomstige, nog strengere normen te voldoen.
- Lagere elektrische efficiëntie: (ca. 30–45%) vergeleken met PEM FC (40–60%), wat resulteert in een hoger waterstofverbruik per opgewekte kWh en dus een grotere logistieke behoefte.

Algemeen voor waterstofsysteemen:

- Waterstoflogistiek: De lage energiedichtheid van waterstof per volume-eenheid blijft een uitdaging. Dit vereist grote opslagtanks (onder hoge druk of cryogeen vloeibaar), frequente bevoorrading en een complexe infrastructuur voor transport, opslag en veiligheidsbeheer. In Vlaanderen vallen opslaginstallaties vaak onder rubriek 17 van de VLAREM-indelingslijst. Dergelijke installaties worden meestal in klasse 1 ingedeeld, wat betekent dat strikte inplantingsregels gelden en de vergunningsprocedure meer tijd vraagt. Een belangrijk knelpunt is het verkrijgen van voldoende inzicht in de risico's, waarvoor doorgaans een veiligheidsstudie door een erkend VR-deskundige nodig is, afhankelijk van de locatie en de omvang.
- Indicatieve waterstofbehoefte: Ligt tussen 0,06 en 0,10 kg H₂ per opgewekte kWh, wat grote logistieke volumes impliceert, vooral voor off-grid toepassingen.
- Opleiding: Waterstofsysteemen vereisen specifieke kennis van het personeel op het vlak van bediening, laadplanning en veiligheidsprotocollen. Gerichte opleiding en aangepaste werkprocedures zijn noodzakelijk (zie ook §7.3.4).
- Beperkte praktijkervaring: Voor langdurige, veeleisende inzet op bouwplaatsen of evenementenlocaties is er nog relatief beperkte praktijkervaring met betrekking tot betrouwbaarheid op lange termijn, onderhoudsregimes en algemene prestaties onder uiteenlopende realistische omstandigheden (Sintef, 2011) (Cummins, 2021)

4.4.4 ECONOMISCHE ASPECTEN

CAPEX

De initiële investeringskosten (CAPEX) voor de omzettingssystemen zijn hoog. Voor PEM-brandstofcellen bedragen deze indicatief €100.000 tot €300.000+ voor een 100 kVA-systeem. H₂-ICE-systemen hebben potentieel een lagere CAPEX door het gebruik van meer gangbare motortechnologie. Bij de evaluatie van de TCO moet bij brandstofcellen rekening worden gehouden met de vervangingskosten van de stack en eventueel de bufferbatterij, naast de OPEX die gedomineerd wordt door de waterstofkosten en beïnvloed wordt door de ketenefficiëntie (zie §4.4.5).

OPEX

De economische aspecten zijn een bepalende factor voor de inzet van waterstofsysteemen. De productiewijze van de waterstof zelf heeft een directe impact op de operationele kosten (OPEX). Grijs waterstof en blauwe waterstof zijn momenteel doorgaans veel goedkoper dan groene waterstof, zoals blijkt uit indicatieve kostenramingen in Tabel 13.

Tabel 13: Indicatieve kostprijsranges voor waterstof (European Hydrogen Observatory, 2024)

Type waterstof	Kostenrange (€/kg H ₂ LHV)	Belangrijkste aannames/context
Grijs (SMR)	~ 2-4	Kosten volgen de gasprijs ¹⁶
Blauw (SMR+CCS)	~ 3-5	CCS verhoogt de SMR-kost met grofweg € 1/kg. Gebaseerd op aardgasprijs + CCS-kosten; effectieve kosten afhankelijk van CCS-efficiëntie en transport/opslag CO ₂ .
Groen – netstroom (“geel”)	~ 6–8	Elektrolyse op netstroom
Groen – directe hernieuwbare bron (“diepgroen”)	~ 6 -9	Afhankelijk van locatie, vollasturen en CAPEX

Totale kost per geleverde kWh (indicatief): Bij een waterstofprijs van €6–9/kg (groen) en een verbruik van 0,06–0,10 kg/kWh bedraagt de brandstofkost alleen al €0,36–0,90/kWh. Inclusief afschrijving en onderhoud van het omzettingssysteem komt de totale kost indicatief op €0,60–1,50+/kWh — hoger dan netstroom (€0,25–0,40/kWh, §4.1), BESS met netlading (€0,30–0,50/kWh, §4.3) en diesel (€0,40–1,00+/kWh, §4.2). Bij grijze waterstof (€2–4/kg) daalt de brandstofkost naar €0,12–0,40/kWh, maar verdwijnt het klimaatvoordeel.

De hoge kosten van groene waterstof vormen momenteel een belangrijke drempel. Dit is onder meer toe te schrijven aan de hoge investeringskosten voor elektrolyzers, de prijs van (hernieuwbare) elektriciteit en netwerktarieven. Hoewel kostenreducties verwacht worden dankzij technologische vooruitgang en schaalvergroting, blijft het verschil met fossiel geproduceerde waterstof op korte termijn zeer groot. (Green skills for hydrogen, 2024) (Waterstofnet, 2020)

De beschikbaarheid van groene waterstof in België is momenteel beperkt tot piloot- en demonstratieprojecten; de infrastructuur voor productie en distributie is nog in opbouw. De bredere beleidscontext, de verwachte evolutie van beschikbaarheid en kostprijs, en de rol van subsidies en importstrategieën worden behandeld in Hoofdstuk 9.

4.4.5 MILIEU-IMPACT

DIRECTE MILIEU-IMPACT (TIJDENS GEBRUIK)

De lokale milieu-impact van waterstofsystemen tijdens bedrijf is zeer gunstig. Brandstofcellen zijn volledig emissievrij en stoten enkel waterdamp uit. H₂-ICE-motoren produceren weliswaar geen CO₂ of fijnstof, maar kunnen wel NO_x uitstoten. Met moderne technologie en nabehandeling kunnen deze NO_x-

¹⁶ Ter vergelijking: hoewel grijze waterstof relatief goedkoop lijkt, komt 1 kg H₂ overeen met ongeveer 33 kWh energie (LHV). Bij € 2–4/kg betekent dit € 0,06–0,12 per kWh, wat hoger ligt dan de historische gasprijs (ca. € 0,02–0,04 per kWh).

emissies echter tot zeer lage niveaus worden gereduceerd, waardoor ook deze systemen vrijwel emissieloos op lokaal niveau kunnen werken. Op het vlak van geluid moet wel onderscheid worden gemaakt tussen verschillende waterstoftechnologieën: brandstofcelssystemen zijn doorgaans relatief stil, waarbij vooral ventilatoren, compressoren of andere hulpsystemen hoorbaar zijn, terwijl waterstofverbrandingsmotoren akoestisch eerder vergelijkbaar kunnen zijn met klassieke generatoren. Waterstof is dus niet altijd automatisch de beste optie op het vlak van geluidshinder.

LEVENSCYCLUSANALYSE (LCA)

De totale milieu-impact over de volledige levenscyclus wordt echter, net als bij BESS, sterk beïnvloed door de productiefase – in dit geval de productie van de waterstof zelf.

- **Grijze waterstof** (uit aardgas): ondermijnt het klimaatvoordeel door hoge CO₂-uitstoot tijdens productie
- **Groene waterstof** (via elektrolyse met hernieuwbare energie): resulteert in een werkelijk koolstofarme oplossing.

Naast de waterstofproductie moet de LCA ook de productie van apparatuur meenemen. Dit betreft zowel de omzettingsapparatuur (elektrolyser, brandstofcelstack of H₂-ICE motor) als de opslagtanks. Deze laatste worden vaak vervaardigd uit energie-intensieve materialen zoals koolstofvezelcomposiet voor hogedrukopslag, wat een grote bijdrage aan de totale milieu-impact kan leveren.

Een belangrijk aspect is de totale efficiëntie van de keten, vaak aangeduid als "Power-to-Hydrogen-to-Power" efficiëntie. Deze keten omvat de verliezen bij de productie van waterstof via elektrolyse, eventuele verliezen bij compressie, opslag en transport, en de verliezen bij de omzetting terug naar elektriciteit in een brandstofcel of H₂-ICE.

- Elektrolyse: moderne PEM- of Alkaline-elektrolyzers hebben een efficiëntie van circa 60-80%.
- Opslag/transport: compressie en lokale opslag hebben doorgaans een hoge efficiëntie, rond 90-95%. Verliezen door diffusie uit opslagtanks zijn meestal minimaal voor korte tot middellange termijn opslag.
- Omzetting (FC): PEM-brandstofcellen hebben een elektrische efficiëntie van 50-60%.
- Omzetting (H₂-ICE): H₂-ICE hebben een lagere efficiëntie van 30-45%.

De gecombineerde round-trip efficiency (RTE) van de volledige keten (elektriciteit → H₂ → elektriciteit) is daardoor vaak slechts 25-40%. Voor een brandstofcelsysteem komt dit neer op circa 0,75 (elektrolyse) x 0,90 (opslag) x 0,55 (FC) ≈ 37%; voor een H₂-ICE-systeem circa 0,75 x 0,90 x 0,40 ≈ 27%.

Dit betekent dat per geleverde kWh aanzienlijk meer primaire (hernieuwbare) energie nodig is dan bij directe elektrificatie of een batterijsysteem (RTE >90%). Dat is een belangrijk nadeel van waterstof als pure energieopslagvector en werkt door in de kosten en in het benodigde hernieuwbare opwekvermogen.

Ter vergelijking: het ketenrendement van een dieselgenerator, inclusief raffinage en transport van brandstof, ligt in een gelijkaardig bereik (ongeveer 25–35 %). Waterstofverbranding presteert energetisch dus vergelijkbaar met diesel, maar zonder fossiele CO₂-uitstoot tijdens het gebruik — ten koste van een hogere productiekost en complexere logistiek.

Tabel 14: Indicatieve efficiëntie van de waterstofketen (Power-to-H₂-to-Power)

Stap	Technologie	Indicatief rendement (%)
Productie	Elektrolyse (PEM/AE)	~70-80
Opslag/transport	Compressie/Opslag	~90-95
Omzetting (elektriciteit)	Brandstofcel (PEM FC)	~50-60
Omzetting (elektriciteit)	Waterstofmotor (H ₂ -ICE)	~30-45
Totale keten (RTE)	Elektrolyse-FC	~30-40
Totale keten (RTE)	Elektrolyse-H₂-ICE	~25-35

De lage ketenefficiëntie roept de allocatievraag op: is het zinvol om schaarse groene elektriciteit via waterstof om te zetten voor toepassingen die ook direct geëlektrificeerd kunnen worden? Deze systeemafweging, vaak aangeduid als de “waterstofladder”, wordt behandeld in §9.2.3.

4.4.6 VEILIGHEIDSASPECTEN

Waterstof (H₂) is een zeer licht en ontvlambaar gas met unieke eigenschappen die specifieke aandacht vereisen voor veilige hantering en opslag. De belangrijkste risico's vloeien voort uit:

- Brede ontvlambaarheidsgrenzen: Waterstof is ontvlambaar in een zeer breed concentratiebereik in lucht (circa 4 tot 75 volumeprocent), wat breder is dan bijvoorbeeld aardgas.
- Lage ontstekingsenergie: Er is slechts een zeer kleine energiebron nodig (ca. 0,02 mJ, veel lager dan voor koolwaterstoffen) om een waterstof-luchtmengsel te ontsteken. Zelfs een vonk van statische elektriciteit kan volstaan.
- Onzichtbare vlam: Een waterstofvlam is in daglicht nagenoeg onzichtbaar, wat detectie van een brand bemoeilijkt.
- Snelle verspreiding: Als lichtste gas stijgt waterstof snel op en kan het zich ophopen onder plafonds of in slecht geventileerde ruimtes.
- Hogedrukopslag: Waterstof wordt vaak opgeslagen onder hoge druk (bv. 200-700 bar), wat risico's inhoudt met betrekking tot de mechanische integriteit van de opslagtanks en het potentieel van een snelle gasvrijgave bij een lek.

Het beheersen van deze risico's vereist een systematische veiligheidsaanpak, gebaseerd op preventie, detectie en beheersing. De ATEX-richtlijnen en de Belgische implementatie ervan via de Codex Welzijn op het Werk (zie §2.2.2) vormen het centrale wettelijke kader voor werkplekken met potentieel explosieve atmosferen. Dit kader vereist onder meer een grondige risicoanalyse, het opstellen van een explosieveiligheidsdocument (EVD), en het definiëren van gevarenczones (ATEX-zones).

De concrete, praktische implementatie van maatregelen om de risico's te beperken, inclusief details over ATEX-zonering, materiaalkeuze, ventilatieberekeningen, detectiesystemen en noodprocedures, wordt behandeld in §7.3.4. De opslag en het transport vallen tevens onder specifieke regelgeving zoals VLAREM II (zie §2.3.3) en ADR (Europees kader §2.1.5; Vlaamse implementatie §2.3.4). Bij grotere opslagvolumes, zeker in woongebied of andere gevoelige omgevingen, vereisen de ruimtelijke aanvaardbaarheid en het beheersbaar karakter van de risico's bijkomende studie (zie §2.3.1 over rubrieken en klassering).

4.4.7 CONCLUSIE

Waterstof is in deze sectie besproken als brandstofcel (FC) en als verbrandingsmotor (H₂-ICE). De technologie-eigen sterkte ligt in de combinatie van hoog vermogen en lange autonomie met beperkte lokale emissies, afhankelijk van de technologie. De zwakte ligt in de ketenefficiëntie (25–40%), de totale kost per kWh (indicatief €0,60–1,50+) en de beperkte infrastructuur in Vlaanderen.

De belangrijkste beperkingen zijn economisch en logistiek: de totale kost per kWh ligt met groene waterstof hoger dan bij alle alternatieven (indicatief €0,60–1,50+/kWh), de ketenefficiëntie is laag (25–40%), en de infrastructuur voor productie, opslag en levering is in Vlaanderen nog beperkt. De praktijkervaring met langdurige inzet op bouwerven en evenementen is schaars.

In het beslissingskader van deze Code (Hoofdstuk 6) kan waterstof worden onderzocht als off-grid optie (§6.4) voor toepassingen waar batterijcapaciteit ontoereikend is en waar lokale emissies niet aanvaardbaar zijn. Voor de meeste gangbare bouw- en evenementenprojecten blijft waterstof op korte termijn een nichetechnologie; de verwachte evolutie wordt behandeld in Hoofdstuk 9.

4.5 ALTERNATIEVE BRANDSTOFFEN

Alternatieve brandstoffen kunnen emissies verlagen zonder de generator te vervangen. De vier categorieën die hier worden behandeld — alternatieve vloeibare brandstoffen, gastechnologieën, mierenzuur en methanol — verkleinen de CO₂-voetafdruk en, afhankelijk van de brandstof, ook de lokale luchtverontreiniging.

Benzinegeneratoren worden niet als afzonderlijk alternatief transitiepad behandeld. Ze komen vooral voor bij kleine draagbare aggregaten. Vergeleken met oudere diesलगeneratoren is de roet- en fijnstofuitstoot doorgaans lager, maar benzinemotoren kunnen relatief hoge CO- en HC-emissies veroorzaken en bieden geen structurele klimaatwinst.

Deze sectie bundelt meerdere brandstoffen die in bestaande of aangepaste generatoren kunnen worden gebruikt. Per brandstof worden de technische eigenschappen, milieu-impact, operationele overwegingen en veiligheid samen besproken.

4.5.1 ALTERNATIEVE VLOEIBARE BRANDSTOFFEN VOOR DIESELMOTOREN

Diverse vloeibare brandstoffen kunnen fossiele diesel in bestaande dieselmotoren vervangen, soms zonder aanpassingen (zogenaamde 'drop-in' brandstoffen), soms na beperkte modificaties. Deze brandstoffen voldoen aan specifieke Europese normeringen, zoals EN 15940 voor paraffinische types (HVO, GTL) en EN 14214 voor FAME-biodiesel, die hun kwaliteit en specificaties garanderen. (Vetus, n.d.) (Den Hartog b.v., n.d.) (Crown Oil Fuels and Lubricants, n.d.)

HVO (Hydrotreated Vegetable Oil)

- Productie en eigenschappen: HVO is een synthetische paraffinische diesel (conform [EN 15940](#)), geproduceerd via hydrogenering (behandeling met waterstof) van hernieuwbare grondstoffen

zoals plantaardige oliën, dierlijke vetten of, bij voorkeur afval- en reststromen, zoals gebruikte frituurolie.

- Als 'drop-in' brandstof kan HVO puur (HVO100) of gemengd met reguliere diesel worden gebruikt in de meeste moderne dieselmotoren zonder aanpassingen aan motor of tankinstallatie; het gebruik ervan is door veel motorfabrikanten officieel goedgekeurd.
- HVO groeit snel in Europa en is voor tijdelijke stroomvoorziening relevant door de compatibiliteit met bestaande dieselgeneratoren, met een jaarlijkse toename van 50% tussen 2022-2023. Het huidige Europese marktaandeel bedraagt 1,3% van het totale brandstofverbruik (2021: 150 PJ), met 5,6 miljoen ton productie in 2024 (IPEN, 2025).
- Milieuvoordelen:
 - HVO kan de fossiele CO₂-uitstoot over de levenscyclus sterk verlagen (tot 80-90%, well-to-wheel), mits de gebruikte grondstof duurzaam is gecertificeerd en bij voorkeur bestaat uit afval- of reststromen die voldoen aan de Europese RED III-criteria ([Renewable Energy Directive](#)).
 - Schonere lokale verbranding met typisch minder fijnstof (PM), koolmonoxide (CO) en onverbrande koolwaterstoffen (HC). Bij moderne Stage V-motoren, die reeds zijn uitgerust met geavanceerde nabehandelingssystemen, is het additionele effect op PM- en stikstofoxide-emissies (NOx) echter bijna verwaarloosbaar, aangezien de katalysator de uitstoot regelt naar een vaste limietwaarde. De winst van HVO bij Stage V situeert zich bijna uitsluitend in de reductie van de CO₂-voetafdruk (well-to-wheel), en geurreductie (zie volgende bullet).
 - HVO levert een 90-95% reductie van de geurintensiteit vergeleken met conventionele diesel. De brandstof wordt consistent beschreven als "vrijwel geurloos" door de vrijwel volledige afwezigheid van zwavel (0 ppm versus 10-15 ppm in ultra-low sulfur diesel) en aromatische koolwaterstoffen.
- Operationele voordelen: betere prestatie bij lage temperaturen (lager CFPP – 'Cold Filter Plugging Point') en langere houdbaarheid (minder gevoelig voor oxidatie en microbiële groei) dan traditionele diesel en biodiesel (FAME).
- Aandachtspunten:
 - De duurzaamheid van de grondstof blijft een kritisch aandachtspunt; productie uit speciaal geteelde gewassen (bv. palmolie) kan leiden tot negatieve effecten zoals ontbossing, verlies aan biodiversiteit of indirect landgebruik (ILUC¹⁷) en concurrentie met voedselproductie. De voorkeur gaat daarom uit naar HVO geproduceerd uit afval- en reststromen.

¹⁷**Indirect Land-Use Change (ILUC)** treedt op wanneer de teelt van energiegewassen bestaand landgebruik verdringt. Als akkers die voedsel leverden verschuiven naar nieuwe ontginningen (bv. graslanden of bossen), komt bij die ontginning opgeslagen koolstof vrij en gaat biodiversiteit verloren. Deze extra emissies behoren niet tot de directe keten van de biobrandstof, maar beïnvloeden het volledige levenscyclusresultaat in grote mate. In scenario-analyses kan de aanvankelijke klimaatwinst van de biobrandstof zelfs omslaan in een netto toename van broeikasgassen wanneer ILUC-effecten worden meegerekend; daarom geeft de EU-duurzaamheidsmethodiek hogere scores aan afval- en reststromen dan aan speciaal geteelde energiegewassen.

- HVO is momenteel duurder dan fossiele diesel (bv. Pukkelpop rapporteerde voor hun overschakeling naar HVO100 in 2023/2024 een meerkost van circa 20%). De prijs kan variëren afhankelijk van de markt, afgenomen volumes en leverancier.
- De grootschalige beschikbaarheid van gegarandeerd duurzame grondstoffen blijft een uitdaging.
- De CO₂-reductieclaim (80–90%) geldt uitsluitend voor HVO waarvan de grondstof en de productieroute zijn gecertificeerd via een door de Europese Commissie erkend duurzaamheidsschema, zoals ISCC-EU of REDcert, conform de RED III-criteria. Bij aanschaf moet de afnemer het certificaat verifiëren; dit is niet alleen relevant voor de milieuwinst, maar ook voor een correcte klimaatrapportage. HVO zonder duurzaamheidscertificering biedt geen gegarandeerde klimaatwinst.2.2.3
- Het brandstofverbruik in liters kan, door een iets lagere energiedichtheid per volume, licht hoger zijn (enkele procenten) dan bij conventionele diesel. (ILUC Guidehouse, 2024) (Transport & Environment, 2019) (European Commission, 2019) (Sustafest, 2025)
- Veiligheid: Net als conventionele diesel is HVO een brandbare vloeistof, hoewel ze vaak een iets hoger vlampunt hebben, wat het risico licht kan verminderen. De voornaamste risico's zijn de standaard gevaren bij brandstofopslag en -hantering (brandgevaar, milieuverontreiniging bij morsen).

FAME (Fatty Acid Methyl Esters)

- Productie en eigenschappen: Dit is de 'traditionele' biodiesel (conform EN 14214), geproduceerd via een chemisch proces genaamd verestering van plantaardige oliën of dierlijke vetten. Hoewel FAME eveneens CO₂-reductie oplevert, vereist het gebruik ervan, met name in pure vorm (B100) of hoge blends (bv. B30), meer aandacht dan HVO. Goedkeuring van de motorfabrikant is noodzakelijk. Het is over het algemeen goedkoper dan HVO.
- Geuremissies: FAME produceert een kwalitatief andere geur dan diesel - vaak beschreven als "frietgeur" of kookolie-achtig in plaats van de zware petroleumachtige dieselgeur. De relatieve geurintensiteit bedraagt 40-70% van diesel, maar met andere karakteristieken. Voor tijdelijke stroomvoorziening biedt FAME een matige verbetering maar geen oplossing voor locaties met geurhinder.
- Marktaandeel: FAME vertegenwoordigt momenteel 4,1% van totaal brandstofverbruik in Europa (2021: 475 PJ) met 9,8 miljoen ton in 2024 (IFPEN, 2025)
- Operationele uitdagingen: FAME brengt meer operationele aandachtspunten mee: een verhoogd risico op filterverstopping (vooral bij lage temperaturen of langdurige opslag door oxidatie of microbiële groei - 'dieselbacterie'), verminderde prestaties bij koud weer (hoger CFPP), en potentiële aantasting van bepaalde rubbers of afdichtingen in oudere brandstofsysteemen. Dit kan resulteren in een licht vermogensverlies, een hoger specifiek brandstofverbruik en meer onderhoud. Onder bepaalde omstandigheden kan FAME de NOx-uitstoot licht verhogen, met name bij hoge blendpercentages (>B20) in motoren zonder geavanceerde nabehandeling (pre-Stage V). (TNO, 2024)
- Veiligheid: FAME heeft vergelijkbare brandbaarheidsrisico's als diesel. Een bijkomend aandachtspunt is de mogelijke aantasting van bepaalde (oudere) rubber- en kunststofafdichtingen, wat op termijn tot lekken kan leiden.

GTL (Gas-to-Liquid)

Voor de volledigheid: GTL (Gas-to-Liquid) is eveneens een paraffinische diesel conform EN 15940, maar geproduceerd uit fossiel aardgas. Het biedt vergelijkbare lokale emissiewinst als HVO (minder PM, CO, HC) maar geen CO₂-reductie over de levenscyclus, en is in de Vlaamse markt voor tijdelijke stroomvoorziening niet relevant. (Forman, Hahn, & Jensen, 2011)

Bi-fuelsystemen (Diesel/Gas):

- **Technologie:** dit zijn geen brandstoffen op zich, maar een technologie die bestaande dieselmotoren aanpast zodat ze simultaan op een mengsel van diesel (primair voor ontsteking) en een gasvormige brandstof (zoals LPG, CNG of idealiter biogas/biomethaan) kunnen draaien. Dit vereist de installatie van een ombouwkit en een apart gasopslagsysteem. Het systeem biedt flexibiliteit om tussen brandstoffen te schakelen.
- **Economie/Emissies:** lagere brandstofkosten zijn mogelijk indien de gascomponent (per energie-eenheid) goedkoper is dan diesel. De mate van emissiereductie hangt sterk af van het type gas (biogas/biomethaan is nodig voor CO₂-reductie) en de effectieve substitutiegraad (de mate waarin diesel daadwerkelijk door gas wordt vervangen tijdens bedrijf).
- **Geuremissies:** LPG en CNG leveren goede geurprestaties met 85-90% reductie ten opzichte van diesel door schone verbranding. Puur LPG en aardgas zijn van nature geurloos; mercaptaan wordt toegevoegd als veiligheidsmiddel voor lekdetectie. Bij correcte verbranding produceren deze brandstoffen vrijwel geen hinderlijke uitlaatgeur.
- **Nadelen:** De complexiteit van het systeem neemt toe (installatie, onderhoud, beheer van twee brandstoffen). De beoogde voordelen worden alleen gerealiseerd bij een consistent hoge gassubstitutiegraad. Bij gebruik van (bio)gas bestaat het risico op 'methaanslip' (onverbrand methaan dat via de uitlaat ontsnapt), wat een krachtiger broeikasgas is dan CO₂ en het potentiële klimaatvoordeel kan reduceren of tenietdoen.
- **Veiligheid:** Dit systeem combineert de risico's van diesel (brandbaarheid, milieuvervuiling bij lekken) met de risico's van de gebruikte gascomponent (bv. LPG/CNG/Biogas: hoge brandbaarheid, explosiegevaar bij lekken in een bepaald concentratiebereik, potentieel verstikkingsgevaar in besloten ruimtes). De complexiteit van het dubbele brandstofsysteem introduceert ook extra potentiële lekpunten voor zowel diesel als gas.

Economische positionering

Aangezien HVO en FAME in bestaande dieselgeneratoren worden ingezet, zijn de CAPEX en operationele kosten (onderhoud, logistiek) vergelijkbaar met die van conventionele diesel (§4.2.4). Het verschil zit vrijwel uitsluitend in de brandstofprijs. Bij een meerprijs van 15–40% voor HVO100 ten opzichte van fossiele diesel komt de indicatieve totale kost per kWh op €0,45–0,90/kWh (vs. €0,40–1,00+ voor fossiele diesel). Voor FAME (B100) is de meerprijs beperkter (+5–15%), maar de operationele risico's hoger. 2.2.3

4.5.2 BIOGAS EN ANDERE GASTECHNOLOGIEËN

Naast bi-fuelsystemen kunnen generatoren specifiek ontworpen zijn om volledig op gasvormige brandstoffen te draaien. Dit omvat aardgas (CNG/LNG), LPG, of duurzamere alternatieven zoals biogas, biomethaan (opgewerkt biogas) of biopropan.

Gasmotoren hebben inherent lage fijnstofemissies (PM). De NO_x-emissies kunnen lager zijn dan bij Stage V-dieselmotoren, al is soms nog nabehandeling (bv. driewegkatalysator) vereist om aan de strengste normen te voldoen. De CO₂-impact wordt volledig bepaald door de oorsprong van het gas: fossiel

aardgas leidt tot CO₂-uitstoot, terwijl duurzaam geproduceerd biogas of biomethaan potentieel (bijna) CO₂-neutraal kan zijn.

Hernieuwbare gassen:

- Biogas/Biomethaan: Geproduceerd door anaerobe vergisting van organisch materiaal (bv. mest, GFT, rioolslib, landbouwreststromen). Ruw biogas kan worden opgewerkt (gezuiverd en ontdaan van CO₂) tot biomethaan, dat dezelfde kwaliteit heeft als aardgas en in het aardgasnet kan worden geïnjecteerd of direct gebruikt (Kalkan, 2020).
- Biopropan: Een hernieuwbare variant van propaan (LPG), vaak een nevenproduct van HVO-productie uit hernieuwbare grondstoffen. Het kan direct in bestaande LPG-installaties worden gebruikt en levert CO₂-reductie op (Federatie Butaan Propaan, 2021).

De werkelijke duurzaamheid van biogas en biomethaan, beoordeeld via LCA-perspectief, hangt af van meerdere factoren:

- De keuze van de grondstof is belangrijk: vergisting van afvalstromen (mest, GFT) is doorgaans duurzamer dan het gebruik van speciaal geteelde energiegewassen, vanwege risico's op indirect landgebruik (ILUC) en concurrentie met voedselproductie.
- Methaanlekken (CH₄-slip) vormen een belangrijk punt. Zelfs kleine lekken tijdens productie, opwerking, transport of in de motor zelf ('engine slip') kunnen het klimaatvoordeel van biogas grotendeels of volledig tenietdoen. Adequaate beheer en controle van lekken zijn daarom van belang.
- Ook het energieverbruik van het productie- en opwerkingsproces zelf moet in de LCA-balans worden meegenomen (Kalkan, 2020).

Het potentieel voor biogas en biomethaan in Vlaanderen, onder meer uit landbouw en afvalverwerking, is aanwezig, en de beschikbaarheid ervan neemt toe. De kosten voor deze biogassen zijn echter doorgaans hoger dan die van hun fossiele tegenhangers, en de productie is vaak nog afhankelijk van subsidies of groenestroomcertificaten (Vilt, 2024).

De voornaamste veiligheidsrisico's van gasvormige brandstoffen zoals (bio)methaan, LPG of propaan zijn hun hoge ontvlambaarheid en het explosiegevaar wanneer ze zich in de juiste concentratie met lucht mengen. Lekken in besloten of slecht geventileerde ruimtes kunnen leiden tot verstikking door zuurstofverdringing. Biogas kan bovendien, afhankelijk van de bron en zuiveringsgraad, toxisch en corrosief waterstofsulfide (H₂S) bevatten.

4.5.3 MIERENZUUR (HYDROZINE-TECHNOLOGIE)

Een opkomende technologie benut mierenzuur (HCOOH) als een vloeibaar en relatief veilig medium voor de opslag en het transport van waterstof. Een voorbeeld hiervan is het 'Hydrozine'-concept ontwikkeld door DENS (DENS, 2025).

Het systeem omvat een aggregaat waarin mierenzuur aan boord wordt omgezet (gereformeerd) in een gasmengsel van waterstof (H₂) en CO₂. De geproduceerde waterstof voedt vervolgens een brandstofcel (typisch een PEM-FC, zie 'Waterstof brandstofcellen'), die elektriciteit genereert.

- Voordelen: Logistiek gezien is mierenzuur als vloeistof bij kamertemperatuur eenvoudiger en potentieel veiliger te hanteren, op te slaan en te tanken dan waterstofgas onder hoge druk. Ter

plaatse zijn de emissies van de brandstofcel beperkt tot waterdamp (plus de CO₂ uit het reformeren); er is geen uitstoot van NO_x of fijnstof, en de werking is relatief geluidsarm.

- Aandachtspunten:
 - De CO₂-neutraliteit van het systeem is volledig afhankelijk van de productiewijze van het mierenzuur. Alleen mierenzuur dat is geproduceerd met groene waterstof en afgevangen CO₂ (idealiter van biogene oorsprong) leidt tot een klimaatneutraal systeem; mierenzuur uit fossiele bronnen biedt geen klimaatvoordeel.
 - De technologie bevindt zich nog in een relatief vroeg stadium van commercialisering, met beperkte beschikbaarheid en voornamelijk systemen met lagere vermogens (bv. 20 kVA).
 - De totale energie-efficiëntie van de keten (mierenzuur-naar-stroom) is lager dan directe waterstof-brandstofcellen of batterijen, door de extra energieverliezen in de reformeringsstap.
 - Het systeem heeft een hogere technologische complexiteit (reformer + brandstofcel) en de huidige kosten zijn relatief hoog (VITO, 2020).
- Veiligheid: Hoewel logistiek eenvoudiger dan gasvormige waterstof, is mierenzuur zelf een gevaarlijke stof. De voornaamste risico's zijn de corrosiviteit (kan huid, ogen en bepaalde materialen aantasten) en de toxiciteit bij inademing of inslikken. Hoewel minder ontvlambaar dan veel andere brandstoffen, is het brandbaar (vlampunt 69°C).

4.5.4 METHANOLTECHNOLOGIE

Methanol (CH₃OH), ook bekend als houtalcohol, vormt een andere potentiële vloeibare brandstof voor duurzamere elektriciteitsopwekking in tijdelijke toepassingen.

Methanol kan worden toegepast in specifiek aangepaste verbrandingsmotoren (methanolverbrandingsmotor (ICE) of, minder gebruikelijk voor de hier relevante hoge vermogens, in directe methanol brandstofcellen (DMFC). Een alternatieve, efficiëntere route is het eerst aan boord omzetten (reformeren) van methanol naar waterstof, die vervolgens een standaard waterstofbrandstofcel (bv. PEM-FC) voedt (Indirect Methanol Fuel Cell, IMFC).

- Voordelen: Als vloeistof is methanol logistiek relatief eenvoudig te transporteren, op te slaan en te tanken. De verbranding in een ICE produceert doorgaans minder fijnstof (PM) en zwaveloxiden (SO_x) dan diesel, en potentieel ook lagere NO_x-emissies. Groene methanol kan worden geproduceerd uit duurzame biomassa of door synthese van groene waterstof en afgevangen CO₂.
- Aandachtspunten:
 - Net als bij mierenzuur hangt de klimaatimpact volledig af van de productiewijze van de methanol. Enkel groene methanol levert potentieel voor CO₂-reductie.
 - De beschikbaarheid en kostprijs van groene methanol vormen momenteel nog belangrijke beperkingen.
 - Een belangrijk aandachtspunt is de lagere energetische dichtheid: methanol bevat per volume-eenheid minder energie dan diesel (ca. 4,4 kWh/l versus ca. 10 kWh/l voor

diesel). Dit vereist ongeveer 2,3 keer zoveel volume methanol voor dezelfde energie-inhoud, wat resulteert in grotere tanks of frequentere bevoorrading voor een vergelijkbare operationele autonomie.

- Bovendien is methanol toxisch en kan het bepaalde materialen (metalen, kunststoffen, rubbers) aantasten, wat aangepaste brandstofsystemen en strikte veiligheidsprocedures bij hantering en opslag noodzakelijk maakt.
- Veiligheid: Methanol is een licht ontvlambare vloeistof met een laag vlampunt (circa 11°C), wat een brand- en explosierisico inhoudt. Daarnaast is het zeer toxisch bij inslikken, inademing van dampen of langdurige opname via de huid. Het kan ook bepaalde materialen aantasten, wat op termijn tot lekken kan leiden (SFC Energy, n.d.) (VITO, 2020) (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

4.5.5 CONCLUSIE

Alternatieve brandstoffen kunnen de impact van bestaande generatoren verlagen zonder de volledige installatie te vervangen. HVO is daarbij de meest direct toepasbare optie: veel moderne dieselgeneratoren kunnen HVO100 gebruiken zonder aanpassing, op voorwaarde dat de fabrikant dit toelaat. De belangrijkste winst ligt in lagere fossiele CO₂-uitstoot over de keten en minder geurhinder.

FAME is goedkoper, maar brengt meer risico's mee voor opslag, koude-eigenschappen, materiaalcompatibiliteit en onderhoud. Biogas en biomethaan vragen aangepaste systemen en een betrouwbare brandstoflogistiek. Mierenzuur en methanol blijven voorlopig minder marktrijp voor tijdelijke stroomvoorziening.

4.6 HERNIEUWBARE ENERGIE

Elektriciteit kan ook lokaal worden opgewekt met hernieuwbare bronnen, vooral PV en in beperkte mate wind.

4.6.1 ZONNE-ENERGIE (DIRECTE TOEPASSING OP LOCATIE)

Verplaatsbare of tijdelijk opgestelde zonnepanelen (PV) produceren elektriciteit ter plaatse zonder netaansluiting of brandstof toevoer.

PV heeft drie voordelen: nul marginale brandstofkosten na installatie, nul lokale emissies en geluidshinder, en een modulaire opbouw. Daarom is PV vooral bruikbaar als onderdeel van een hybride systeem (§4.7). Als enige tijdelijke stroombron is PV meestal onvoldoende:

- Benodigde oppervlakte en logistiek: Een relevant vermogen vereist een groot paneeloppervlak. Op tijdelijke locaties (werven, evenemententerreinen) is dit vaak praktisch onhaalbaar wegens ruimtegebrek, moeilijke positionering (schaduw, oriëntatie) of vergunningsrestricties. De logistiek van het transporteren, veilig installeren (inclusief verankering tegen wind en bekabeling) en weer demonteren van een groot aantal panelen voor kortstondig gebruik is complex en vaak kostelijk.
- Variabele en beperkte productie: De stroomproductie is inherent variabel, afhankelijk van zoninstraling (dag/nacht, seizoen, weersomstandigheden). Zonder energieopslag (middels batterijen, zie §4.3) is PV daarom ongeschikt als enige betrouwbare, autonome bron voor toepassingen die een continue of voorspelbare stroomvoorziening vereisen. De opbrengst in België is bovendien sterk seizoensafhankelijk, met lagere productie in de herfst- en

wintermaanden. Bij volledig mobiele PV-systemen (bv. gemonteerd op een aanhangwagen) blijft de effectieve energetische bijdrage hierdoor vaak beperkt.

- **Schaalvoorbeeld:** Praktijkervaringen, zoals een berekening voor het Boomtown festival in Gent, illustreren de schaal: om dit relatief kleinschalige stadsfestival volledig op zonne-energie te laten draaien (in combinatie met de nodige batterijopslag en uitgaande van ideale zonnige dagen), zou een oppervlakte van circa 350 m² aan zonnepanelen nodig zijn. Voor grotere festivals is de grootschalige, tijdelijke plaatsing van PV-panelen voor directe energievoorziening momenteel logistiek en ruimtelijk vaak niet haalbaar. Permanente PV-installaties op nabijgelegen daken of terreinen die het hele jaar door produceren, bieden een efficiënter model. (Sustafest, 2025)
- **Milieu-impact (LCA):** Hoewel zonnepanelen tijdens bedrijf geen directe emissies veroorzaken, vergt de productie ervan energie en grondstoffen, resulterend in 'ingebodde' emissies ('embodied carbon'). Bij permanente installaties worden deze milieukosten over de lange levensduur (25-30 jaar) energetisch 'terugverdiend'. Bij zeer kortstondig, tijdelijk gebruik is de opgewekte energie per inzet mogelijk onvoldoende om de geamortiseerde productie- en transportimpact volledig te compenseren, waardoor de netto milieuwinst per opgewekte kWh lager kan uitvallen. Recycling van panelen aan het einde van hun levensduur is wel technisch mogelijk en wordt steeds belangrijker.
- **Economische aspecten:** De economische haalbaarheid van tijdelijke zonne-energie in Vlaanderen hangt sterk af van de gebruiksduur en intensiteit. Mobiele zonne-installaties zijn doorgaans 20–50% duurder dan permanente systemen, vooral door de extra kosten voor transporteerbare frames, batterijopslag en monitoring. De investeringskost ligt gemiddeld tussen €2.000 en €4.500 per kWp, tegenover €1.000–3.000 per kWp voor vaste installaties.

Door deze beperkingen wordt zonne-energie in tijdelijke settings doorgaans ingezet via:

- **Geïntegreerde mobiele units:** Systemen die (uitklapbare) zonnepanelen combineren met een batterijopslagsysteem en vaak een back-up generator (feitelijk hybride systemen, zie §4.7).
- **Bestaande permanente PV-installaties op of nabij de projectlocatie** (bv. daken van gebouwen op een evenemententerrein, bedrijfsgebouwen nabij een bouwwerf) waarvan de stroom tijdelijk wordt afgetapt. Dit is in de praktijk de meest realistische en kostenefficiënte manier om hernieuwbare energie te integreren in tijdelijke stroomvoorziening, en kan in het beslissingskader als een vorm van bestaande netinfrastructuur worden beschouwd.

Voor betrouwbare tijdelijke stroomvoorziening is PV vrijwel altijd afhankelijk van batterijopslag, netstroom of generatorback-up. Bij PV-systemen is het belangrijk de werkelijke energetische bijdrage, kosten en logistieke impact van mobiele PV-panelen realistisch in te schatten.

- **Veiligheid:** De voornaamste directe risico's bij PV-installaties zijn elektrisch (DC-spanning kan aanwezig zijn, ook bij lage lichtinval, met risico op schokken of vlambogen) en mechanisch (veilige installatie, verankering tegen windbelasting, risico op vallende panelen). Er zijn geen brandstofgerelateerde risico's.

4.6.2 WINDENERGIE (TIJDELIJKE TOEPASSING)

Mobiele windturbines bestaan, maar zijn in België voor tijdelijke toepassingen zelden praktisch. Het beschikbare vermogen blijft laag en commerciële systemen voor tijdelijke toepassingen zijn nauwelijks beschikbaar. In de praktijk wordt windenergie zelden ingezet op bouwplaatsen of evenementen, waar veiligheid, geluid, ruimtevereisten, logistieke complexiteit en onzekerheid over voldoende windaanbod belangrijke belemmeringen vormen. Grotere windprojecten kunnen op geschikte locaties vlot

realiseerbaar zijn, maar voor tijdelijke toepassingen op werven of evenementen zijn de locatie-eisen en vergunningsvereisten doorgaans moeilijker te verzoenen met de korte projectduur.

4.6.3 ANDERE HERNIEUWBARE OPTIES

Naast zonne- en windenergie bestaan andere hernieuwbare energiebronnen voor tijdelijke stroomvoorziening, maar zijn in de praktijk beperkt toepasbaar:

- **Waterkracht:** Micro-hydrosystemen bestaan, maar hebben permanente waterstromen met voldoende debiet en verval nodig. Voor tijdelijke toepassingen is dit zeer zelden beschikbaar en vergunningsplichtig onder waterregelgeving.
- **Geothermische energie:** Diepe boringen of toegang tot geothermische bronnen zijn nodig, dit is niet praktisch voor tijdelijke toepassingen.
- **Getijdenenergie:** Alleen relevant in kustgebieden en vereist permanente infrastructuur, niet toepasbaar voor tijdelijke stroomvoorziening.

4.6.4 CONCLUSIE

Hernieuwbare energiebronnen — met name zonne-energie — bieden emissievrije stroom zonder brandstofkost, maar de variabele en beperkte productie maakt standalone inzet voor tijdelijke stroomvoorziening in de praktijk niet haalbaar. De waarde van PV in deze context ligt in twee scenario's: (1) als component in een hybride systeem met batterijopslag en/of generatorback-up (§4.7), en (2) via het aftappen van bestaande permanente PV-installaties op of nabij de projectlocatie, wat in het beslissingskader als een vorm van netgebruik kan worden beschouwd.

Windenergie en andere hernieuwbare bronnen zijn voor tijdelijke toepassingen in de Belgische context meestal niet praktisch inzetbaar.

4.7 GEÏNTEGREERDE ENERGIESYSTEMEN: HYBRIDES, MICROGRIDS EN SLIMME STURING

Geïntegreerde systemen combineren meerdere bronnen en opslag in één gestuurd systeem. Een batterij vangt pieken op, een generator kan op een gunstiger belasting draaien en een netaansluiting kan beter worden benut. Het energiebeheersysteem meet de energiestromen, bewaakt de componenten en stuurt bronnen en opslag aan op basis van kosten, emissies, betrouwbaarheid of geluidsvoorwaarden.

De belangrijkste strategieën zijn peak shaving, generator cycling, load sharing en load shedding. Daarmee kunnen brandstofverbruik, generatoruren, geluid en emissies dalen. De keerzijde is een hogere investeringskost, meer systeemcomplexiteit en een grotere behoefte aan correcte dimensionering, configuratie en beheer.

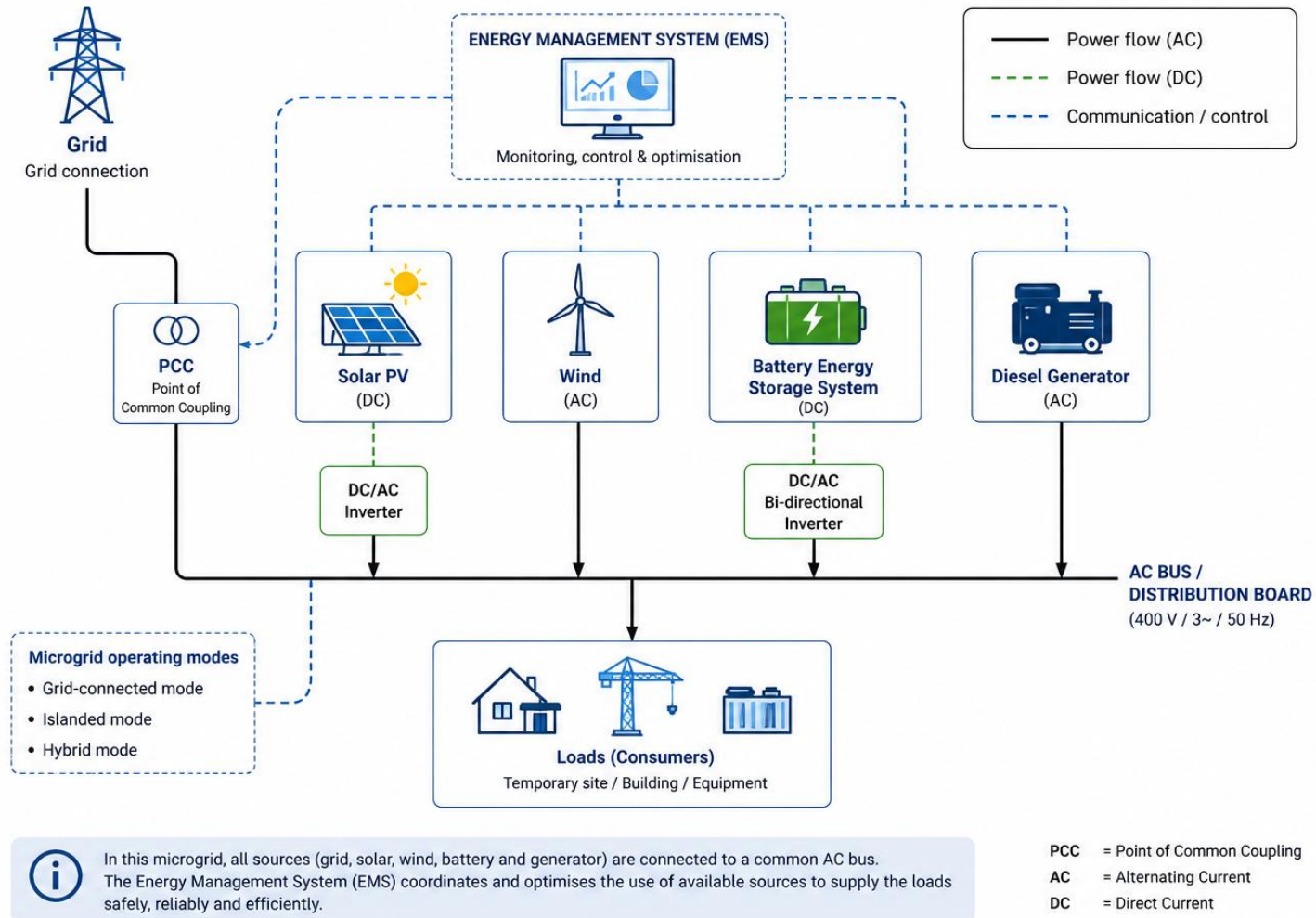
4.7.1 DEFINITIES EN BASISCONCEPTEN

Voor een goed begrip van de verschillende vormen van systeemintegratie volgt hier een definitie en korte beschrijving van de kernbegrippen:

- **Hybride systemen:** een hybride systeem duidt doorgaans op de combinatie van minimaal twee verschillende technologieën voor energieopwekking en/of -opslag, aangestuurd door een geïntegreerd regelsysteem om een specifieke belasting te voeden. Veelvoorkomende configuraties zijn:

- *Diesel-batterijhybride*: combineert een conventionele (idealiter Stage V) dieselgenerator (zie §4.2) met een batterijopslagsysteem (zie §4.3). De batterij ondersteunt de generator bij lage of snel wisselende belasting en vangt piekvermogens op. Hierdoor kan de generator efficiënter functioneren (op een hoger, constanter vermogen) of periodiek uitschakelen, wat resulteert in brandstofbesparing, lagere emissies en minder geluidsoverlast. Typische toepassing: off-gridwerven met sterk wisselende belasting (bv. kraanactiviteit + basislast).
- *Zon-batterijhybride*: combineert zonnepanelen (zie §4.6.1) met batterijopslag (zie §4.3), vaak aangevuld met een back-upgenerator om de betrouwbaarheid te garanderen wanneer zon en batterij ontoereikend zijn. Dit is een gangbare opzet voor mobiele, duurzame stroomunits. Typische toepassing: kleinschalige toepassingen met lage vermogensvraag en hoge gevoeligheid voor geluid/emissies (bv. mobiele evenementen, tijdelijke signalisatie).
- *Net-batterijhybride*: combineert een (vaak beperkte) netaansluiting (zie §4.1) met batterijopslag. De batterij laadt op via het net (continu of tijdens daluren) en levert vervolgens (piek)vermogens die de netaansluiting zelf niet kan leveren. Dit maximaliseert het gebruik van (doorgaans goedkopere en schonere) netstroom en vermijdt of reduceert de noodzaak voor een zwaardere netaansluiting of aanvullende generatoren. Typische toepassing: locaties met bestaande maar ontoereikende netaansluiting (bv. stedelijke evenementen, beperkte LS-capaciteit, kraanwerven met korte pieken).
- *Tri-hybride*: een geavanceerde vorm combineert drie bronnen: een (kleine) netaansluiting (of zonnepanelen), een batterij en een generator, gecoördineerd door een centraal energiebeheersysteem (Energy Management System - EMS). Dit biedt maximale flexibiliteit en redundantie; net en batterij dekken de basis- en pieklast, terwijl de generator enkel bijspringt bij zeer hoge vraag, of bij netuitval. Typische toepassing: langdurige projecten met nettoegang maar onvoorspelbare pieken en hoge betrouwbaarheidseisen (bv. grote bouwprojecten, meerdaagse festivals).
- **Microgrids**: een microgrid is een lokaal, afgebakend energiesysteem dat meerdere bronnen (net, generatoren, hernieuwbare opwekking), energieopslag en verbruikers integreert als één controleerbare eenheid. Het sleutelkenmerk is de capaciteit tot eilandbedrijf: het systeem kan zowel netgekoppeld als volledig autonoom opereren, wat een hoge mate van energiezuikerheid biedt. Hoewel het concept vaker wordt toegepast in permanente installaties, is het ook bruikbaar voor tijdelijke opstellingen — met name bij grootschalige evenementen of langdurige bouwprojecten met complexe energieprofielen. Figuur 1 illustreert het principe schematisch.

Microgrid Architecture



Figuur 1: Illustratief schema van een microgrid

- **Slimme sturing (smart grid functionaliteit / EMS):** Geavanceerde hybride systemen en microgrids zijn afhankelijk van een intelligente besturingslaag: het energiemanagementsysteem (EMS) of de controller. Dit sturingssysteem stemt de diverse componenten (opwekking, opslag, belasting) optimaal op elkaar af om vooropgestelde doelstellingen (bv. minimale kosten, minimale emissies, maximale betrouwbaarheid) te realiseren. Het EMS maakt gebruik van monitoring, communicatie, data-analyse (in toenemende mate ondersteund door AI/machine learning) en geautomatiseerde besluitvorming op basis van realtime metingen, voorspellingen (bv. van belasting, zoninstraling of energieprijzen) en vooraf ingestelde operationele strategieën. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

4.7.2 KERNCOMPONENTEN

Geïntegreerde energiesystemen voor tijdelijke stroomvoorziening omvatten doorgaans de volgende kerncomponenten, die door het EMS worden gecoördineerd:

- **Energiebronnen:** Eén of meer systemen voor elektriciteitsopwekking, zoals netstroom via een tijdelijke aansluiting (zie §4.1), conventionele dieselgeneratoren (bij voorkeur Stage V, zie §4.2), generatoren op alternatieve (bio)brandstoffen (HVO, biogas, methanol, zie §4.5.1, §4.5.2, en §4.5.4), waterstofsysteem (brandstofcellen, motoren, zie §4.4), of lokale hernieuwbare bronnen zoals zonnepanelen (PV, zie §4.6.1).
- **Energieopslag:** Nodig voor het balanceren van vraag en aanbod, het opvangen van fluctuaties van hernieuwbare bronnen, het leveren van piekvermogens en het bufferen van energie. Batterij-energieopslagsystemen (BESS), meestal gebaseerd op Lithium-ionetechnologie (zie §4.3), domineren hier dankzij hun efficiëntie, energiedichtheid en reactiesnelheid.
- **Energiebeheersysteem (EMS) / controller:** Het intelligente hart dat continu alle componenten bewaakt, energiestromen meet, data analyseert en beslist over de inzet van bronnen en opslag, met als doel de werking te optimaliseren binnen vooraf bepaalde randvoorwaarden (bv. kosten, emissies, betrouwbaarheid, geluidsgrenswaarden).
- **Distributie-infrastructuur:** Het geheel van bekabeling, schakel- en beveiligingsapparatuur (automaten, differentieelschakelaars), omvormers (DC/AC-conversie) en eventuele transformatoren, nodig om de energie veilig en efficiënt te verdelen binnen het lokale (micro)grid naar de verbruikers (bv. bouwketen, kranen, verlichting, evenementenapparatuur).

De selectie, dimensionering en configuratie van deze componenten zijn bepalend en sterk afhankelijk van de toepassingseisen (vermogen, energieprofiel, betrouwbaarheid), locatie (nettoegang, ruimte), projectduur en operationele doelstellingen.

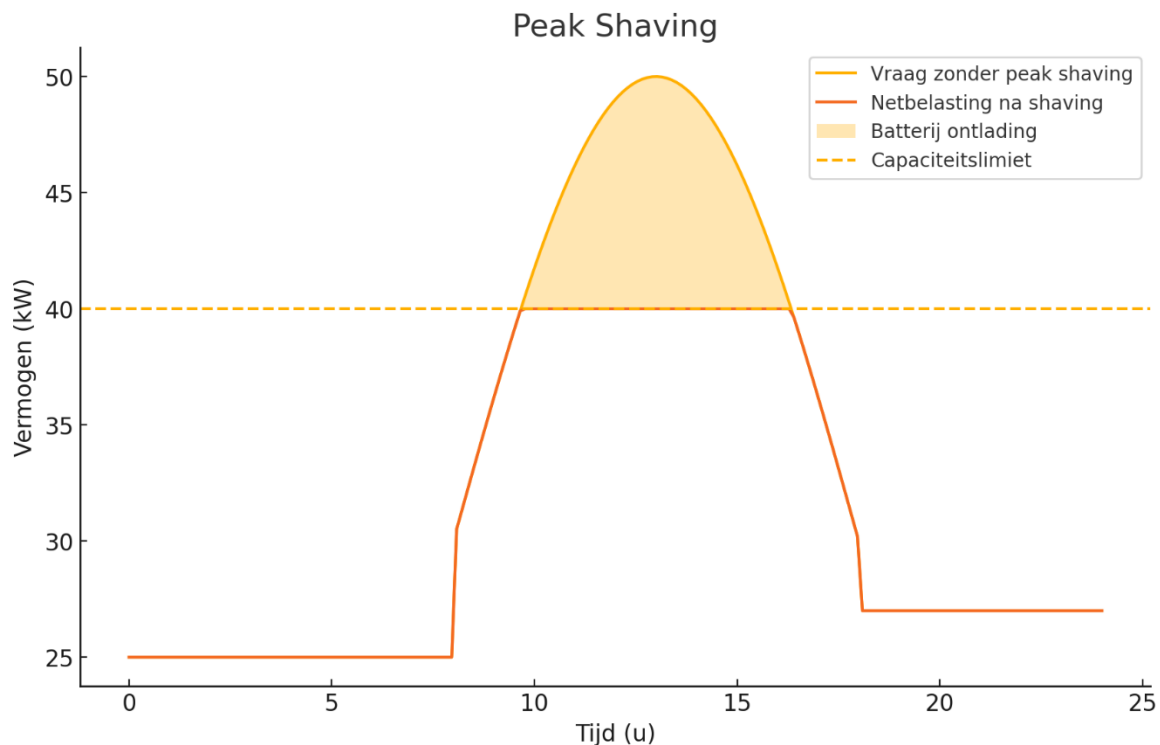
4.7.3 OPERATIONELE STRATEGIEËN EN FUNCTIONALITEITEN

De meerwaarde van geïntegreerde systemen komt voort uit de operationele strategieën van het EMS, gericht op hogere efficiëntie, grotere betrouwbaarheid en lagere emissies.

4.7.3.1 OPTIMALISATIE GENERATORGEBRUIK

In systemen met een generator kan het EMS diens inzet optimaliseren. Met peak shaving vangt de batterij kortstondige piekbelastingen op, waardoor een kleinere generator volstaat die enkel voor de basislast hoeft te worden gedimensioneerd. Dit vermindert brandstofverbruik en slijtage, vooral bij sterk fluctuerende belastingen. Een andere strategie is cycling of optimale belasting: de generator draait enkel op zijn efficiënte werkingspunt (bv. 60-80% belasting) om de batterij te laden en schakelt daarna uit. De batterij voorziet de stroom bij lage belasting. Dit beperkt het brandstofverbruik per kWh, vermindert de

totale draaiuren (minder brandstof, geluid, slijtage) en helpt problemen met DPF-regeneratie bij Stage V-motoren te voorkomen.



Figuur 2: Illustratie van het peak-shavingconcept

Figuur 2 illustreert het principe van *peak shaving* met behulp van batterijopslag. Het toont een belastingprofiel ("Vraag zonder peak shaving") dat een vooraf ingestelde capaciteitslimiet (bv. van de netaansluiting of generator) overschrijdt. Het Energiebeheersysteem (EMS) stuurt de batterij aan om het vermogen boven deze limiet te leveren ("Batterij ontlading"). Hierdoor wordt de maximale belasting voor de primaire bron ("Netbelasting na shaving") effectief verlaagd tot onder de gestelde limiet, wat de noodzaak voor een zwaardere infrastructuur kan vermijden.

4.7.3.2 INTERACTIE MET HET ELEKTRICITEITSNET

Als een netaansluiting beschikbaar is, fungeert die doorgaans als primaire bron. Lokale opslag of generatoren leveren dan back-upvermogen of vangen pieken op.

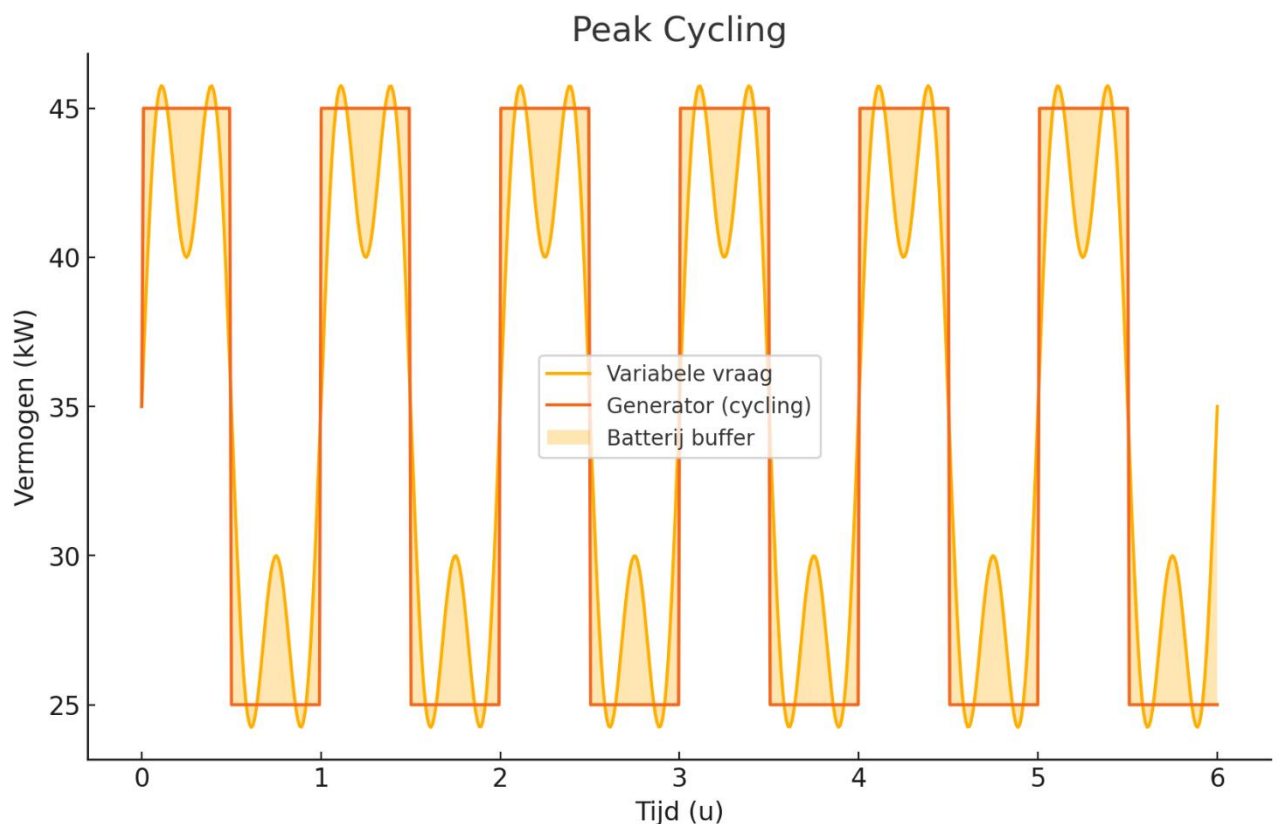
Een batterij kan een beperkte netaansluiting bufferen: ze laadt geleidelijk via het net en levert tijdelijk een hoger vermogen wanneer de vraag piekt. Zo wordt het beschikbare netvermogen maximaal benut en kan een aanvullende generator of een dure netverzwaring worden vermeden.

Bij een dergelijke koppeling met het openbare net moet het geïntegreerde systeem voldoen aan de technische aansluitingsvoorschriften van de distributienetbeheerder. In België zijn deze voorschriften vaak gebaseerd op of verwijzen ze naar de Synergrid-richtlijnen, zoals de C10/11 (over de aansluiting van decentrale productie-eenheden) en C10/26 (over de algemene beveiligingsinstellingen). Deze documenten specificeren de vereisten voor onder meer de interfacebeveiliging (bv. tegen ongewenste injectie op het net, ook wel anti-eilandwerking genoemd), de stroomkwaliteit en de modaliteiten voor conformiteitstesten, om een veilige en stabiele werking van zowel het lokale systeem als het openbare distributienet te garanderen. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

4.7.3.3 GEAVANCEERDE SMARTGRIDFUNCTIONALITEITEN (VIA EMS)

De intelligentie van het EMS maakt verschillende geavanceerde functies mogelijk. Het systeem coördineert de communicatie tussen alle componenten (generator, batterij, PV, enz.) om conflicten en overbelasting te vermijden. Continue monitoring en data-analyse van energiestromen en de status van componenten leveren waardevolle data voor prestatie-evaluatie, foutdetectie en verdere optimalisatie. Op basis hiervan voert het EMS geautomatiseerde besturingsfuncties uit, zoals de reeds genoemde *peak shaving* en *cycling*, maar ook *load sharing* (het optimaal verdelen van de last over parallelle bronnen) en *load shedding* (het selectief afschakelen van niet-kritische verbruikers bij dreigend tekort om kritische lasten te garanderen).

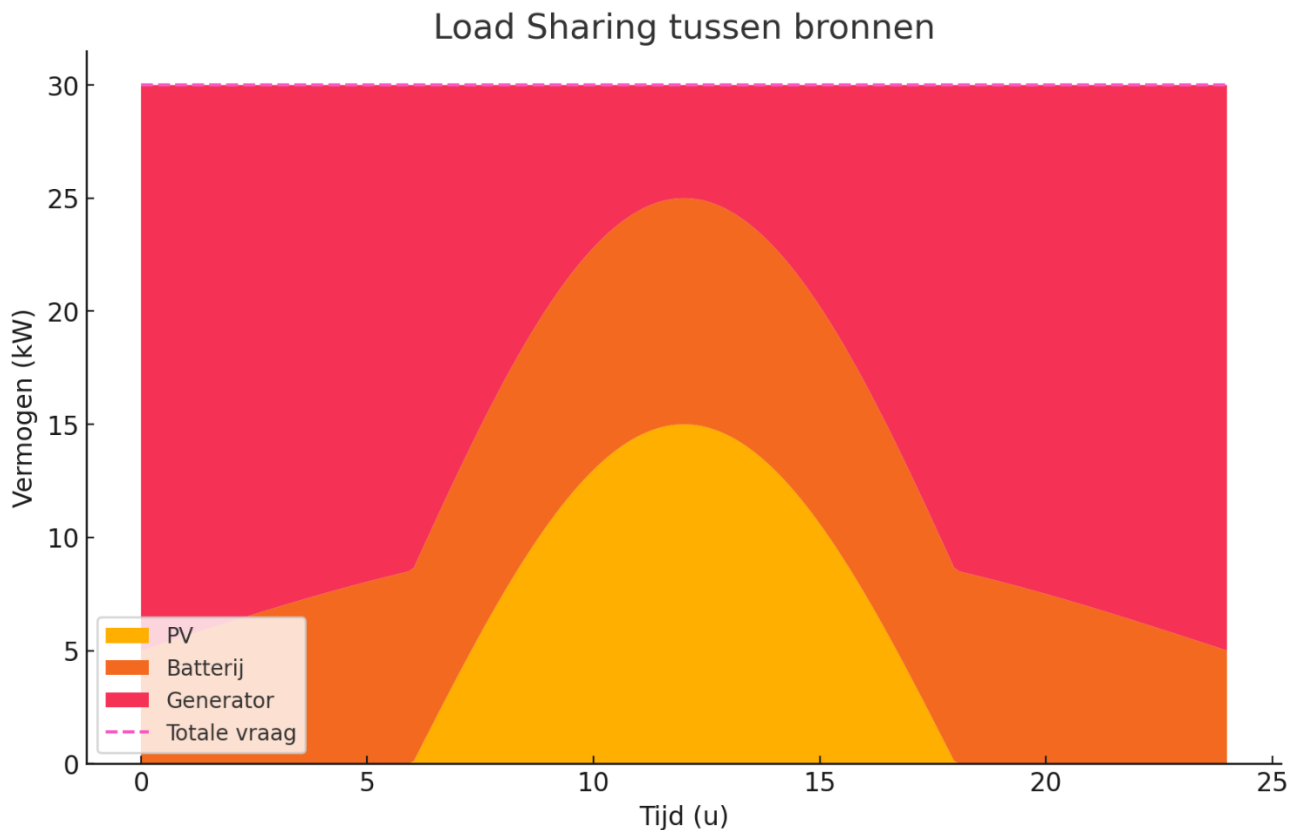
Figuur 3 visualiseert de operationele strategie *generator cycling*, toegepast in hybride systemen om de efficiëntie van de generator bij variabele belasting te optimaliseren. De grafiek toont hoe de generator ("generator cycling") het fluctuerende belastingprofiel ("variabele vraag") niet continu volgt, maar in plaats daarvan periodiek op een constant, hoger (en efficiënter) vermogensniveau opereert, terwijl de batterij schommelingen in vraag en aanbod opvangt. Dit betekent niet dat de generator op elk moment op zijn optimale belasting draait, maar wel dat langdurige werking op zeer lage belasting wordt vermeden en dat de gemiddelde bedrijfsvoering efficiënter kan worden georganiseerd. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)



Figuur 3: Illustratie van het 'generator cycling' concept

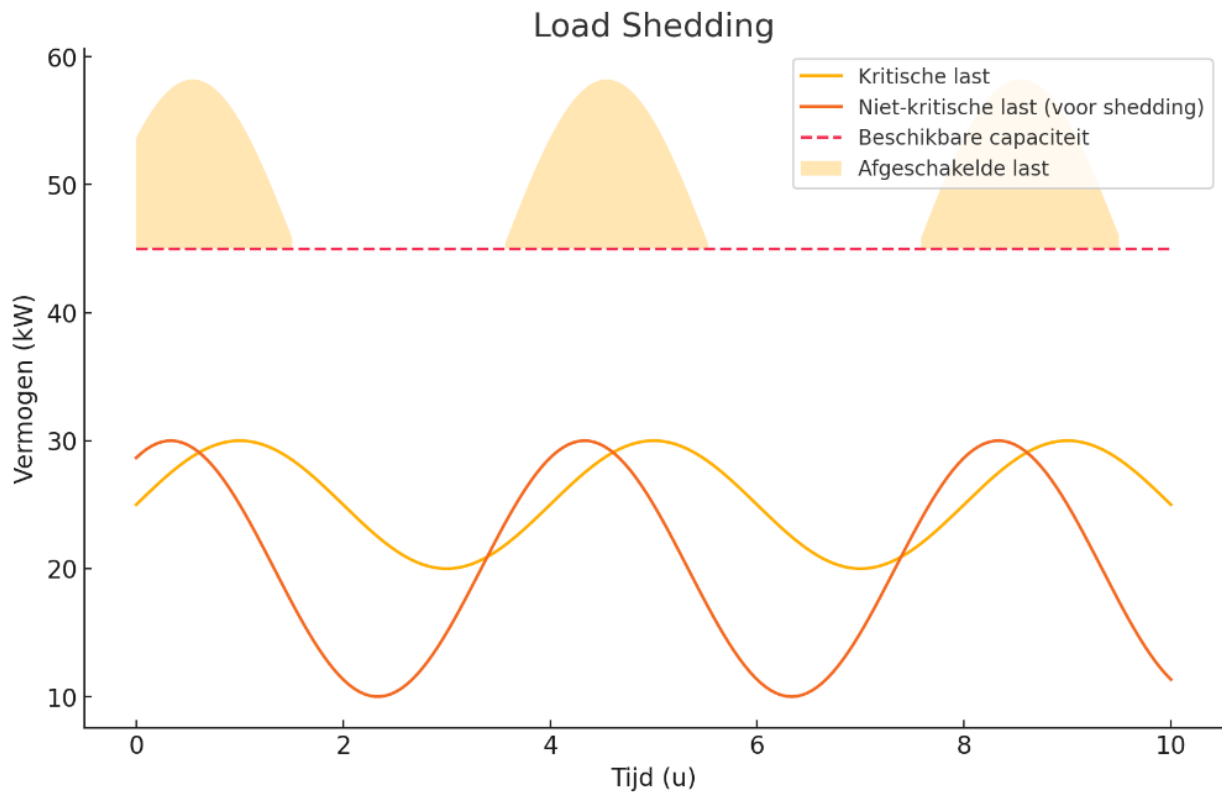
Figuur 4 illustreert het concept *load sharing*, waarbij een EMS de totale energievraag ("totale vraag") dynamisch verdeelt over meerdere, parallel geschakelde energiebronnen. In het getoonde voorbeeld wordt de belasting gedekt door een combinatie van PV-opwekking ("PV"), batterijontlading ("batterij")

en een generator ("generator"). De bijdrage van elke bron fluctueert in de tijd, afhankelijk van factoren zoals zoninstraling, batterijlaadstatus (SoC) en de optimalisatiestrategie van het EMS (bv. prioritering van hernieuwbare bronnen of kostenminimalisatie).



Figuur 4: Illustratie van het 'load sharing' tussen bronnen

Figuur 5 toont *load shedding*, een besturingsstrategie om de continuïteit van essentiële verbruikers te waarborgen wanneer de totale vraag de beschikbare leveringscapaciteit dreigt te overschrijden. De grafiek onderscheidt een "kritische last", die te allen tijde gevoed moet blijven, en een "niet-kritische last". Indien de som van beide de "beschikbare capaciteit" overstijgt, zal het EMS de niet-kritische last selectief en gecontroleerd afschakelen ("afgeschakelde last"). Dit voorkomt een volledige systeemuitval (black-out) en waarborgt de voeding van de prioritaire processen.



Figuur 5: Illustratie van het 'load shedding' principe

4.7.4 VOORDELEN VAN GEÏNTEGREERDE SYSTEMEN

De integratie van energiebronnen, opslag en sturing levert synergetische voordelen op:

- Brandstofbesparing: 30–50% bij diesel-batterij hybride (peak shaving en cycling); 50–70% bij tri-hybride met belangrijke netcomponent. De besparing hangt af van het belastingsprofiel en de verhouding basislast/peiken.
- CO₂-reductie: 30–50% bij diesel-batterij met fossiele diesel; tot 90%+ bij combinatie met HVO (§4.5.1) of hernieuwbare netlading. De range weerspiegelt het verschil in configuratie en brandstofkeuze, niet de onzekerheid van het cijfer. Geluidsreductie: Minder draaiuren generator resulteert in stillere operatie.
- Verhoogde betrouwbaarheid: de combinatie van meerdere bronnen en opslag creëert redundantie.
- Flexibiliteit en schaalbaarheid: vaak modulaire opbouw.
- Specifieke toepassingen: het mogelijk maken van mobiele laadpleinen voor EV/elektrisch materieel (batterij vangt laadpieken).
- Integratie hernieuwbare energie: effectieve integratie van variabele bronnen zoals zonne-energie. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

4.7.5 UITDAGINGEN EN BEPERKINGEN

Ondanks de vele voordelen, brengen geïntegreerde systemen ook specifieke uitdagingen mee:

- Hogere initiële investeringskosten (CAPEX): de aanschaf van meerdere componenten (batterijen, EMS, eventueel zonnepanelen) en de engineering voor systeemintegratie leiden doorgaans tot een hogere aanvangsinvestering vergeleken met een standalone generator.
- Systeemcomplexiteit: het ontwerp, de installatie, de configuratie en het onderhoud van een geïntegreerd systeem met een EMS vereisen meer gespecialiseerde kennis en expertise dan bij een enkelvoudige technologie.
- Ruimtebeslag: Hoewel componenten efficiënter kunnen worden ingezet, kan de combinatie van meerdere units (bv. generator + batterijcontainer + PV-opstelling) meer fysieke ruimte vereisen.
- Afhankelijkheid van EMS: De betrouwbaarheid en effectiviteit van het gehele systeem zijn sterk afhankelijk van de correcte werking en configuratie van het Energy Management System. Storingen in het EMS of communicatieproblemen tussen componenten kunnen de systeemprestaties negatief beïnvloeden.
- Interoperabiliteit: Bij het combineren van componenten van verschillende fabrikanten kunnen compatibiliteits- en interoperabiliteitsproblemen ontstaan op het vlak van communicatieprotocollen en besturingslogica.

4.7.6 TCO- EN LCA-OVERWEGINGEN

De volledige evaluatie omvat TCO en LCA-impact:

TCO

- Ondanks hogere CAPEX worden deze vaak gecompenseerd door lagere operationele kosten (OPEX), voornamelijk door brandstofbesparing en gereduceerd onderhoud aan de generator.
- De economische rendabiliteit hangt sterk af van factoren zoals projectduur, belastingprofiel, energie- en brandstofprijzen, en de beschikbaarheid en kosten van de verschillende energiebronnen (bv. netstroomtarieven).
- Voor langere projecten (bv. > 6 maanden) of toepassingen met sterk wisselende en/of lage gemiddelde vermogensbehoeften, blijken geïntegreerde systemen vaak economisch competitief.

Tabel 15: Indicatieve kost per geleverde kWh

Configuratie	Indicatieve kWh-kost	Referentie standalone
Net + batterij	€0,30–0,50/kWh	Net-only €0,25–0,40 (\$4.1)
Diesel-batterij hybride	€0,35–0,65/kWh	Diesel standalone €0,40–1,00 (\$4.2)

Configuratie	Indicatieve kWh-kost	Referentie standalone
Tri-hybride (net+batterij+generator)	€0,30–0,55/kWh	Combinatie §4.1 + §4.3

De lagere kWh-kost bij hybride systemen ten opzichte van standalone generatoren komt voort uit de hogere efficiëntie, de lagere brandstofkosten en het verminderde onderhoud. De hogere CAPEX wordt bij langere projecten (indicatief >6 maanden) doorgaans gecompenseerd door de lagere OPEX. Een projectspecifieke TCO-vergelijking op basis van actuele offertes is steeds aangewezen (zie §6.3).

LCA

- De productiefase van de bijkomende componenten (met name batterijen en elektronica van het EMS) heeft een eigen ecologische voetafdruk.
- De meeste LCA-studies bevestigen echter dat de reducties in emissies en primair energieverbruik tijdens de operationele fase leiden tot een lagere totale milieu-impact over de levenscyclus, vergeleken met systemen die primair op continu draaiende generatoren op fossiele brandstof zijn gebaseerd.
- De netto milieuwinst is het grootst wanneer het systeem maximaal gebruikmaakt van (lokaal opgewekte) hernieuwbare energie voor het laden van batterijen of het direct voeden van de last.

Veiligheid:

- De algehele veiligheid wordt bepaald door de inherente veiligheidsmaatregelen van elke individuele component (zie bv. batterijveiligheid in §4.3.6 en ATEX-maatregelen voor waterstof/biogas in §2.2.2 en §4.4.6).
- Dit wordt aangevuld met de overkoepelende monitoring- en beveiligingsfuncties van het EMS, dat risico's door onjuiste interactie tussen componenten kan detecteren en mitigeren. Een correct ontwerp en installatie conform de geldende normen (bv. AREI) blijven van belang.

4.7.7 CONCLUSIE

Geïntegreerde systemen (hybride configuraties, microgrids, EMS-gestuurde opstellingen) zijn de meest veelzijdige oplossing voor tijdelijke stroomvoorziening. Ze combineren de sterktes van de afzonderlijke technologieën: batterijen vangen pieken op en beperken generatordraaiuren, het net levert goedkope basislast, en generatoren verzekeren autonomie bij hoge energievraag.

De keuze van de configuratie wordt bepaald door het energieprofiel, de beschikbaarheid van het net, de milieu-eisen en het beschikbare budget. In het beslissingskader van deze code (Hoofdstuk 6) verschijnen hybride systemen in drie contexten: als net + batterij voor peak shaving (§6.3.2), als net + generator voor back-up en hoge basislast (§6.3.3), en als off-grid batterij + generator voor locaties zonder netaansluiting (§6.4).

§4.8 vergelijkt alle in dit hoofdstuk besproken technologieën naast elkaar in een vergelijkende evaluatie.

4.8 VERGELIJKENDE EVALUATIE EN TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

In §4.1 tot §4.7 zijn de technologieën afzonderlijk beschreven. §4.8 vergelijkt de opties op kost, emissies, geluid, autonomie en marktrijpheid. Deze paragraaf brengt die informatie samen in een vergelijkend overzicht. Het doel is om de lezer in staat te stellen de opties op dezelfde assen naast elkaar te plaatsen.

4.8.1 PRESTATIEMATRIX VAN BESCHIKBARE SYSTEMEN

Tabel 16 bundelt de indicatieve kengetallen uit §4.1–4.7 in één overzicht. De technologieën zijn gerangschikt van laagste naar hoogste indicatieve kost per geleverde kWh, wat in grote lijnen ook de volgorde van het Grid First-principe weerspiegelt: netgebaseerde oplossingen bovenaan, off-grid alternatieven daaronder.

DRAFT

Tabel 16: Vergelijkend overzicht van hoofdkenmerken voor tijdelijke elektriciteitsvoorzieningen

Technologie	Indicatieve kost per kWh (€)	CO ₂ lokaal (g/kWh)	CO ₂ keten, WtW (g/kWh)	Geluid (@7m, dB(A))	Autonomie	Marktrijpheid
Netstroom (§4.1)	0,25 – 0,40	0	~110 (BE gemiddelde 2024)	<40	Onbeperkt (netgebonden)	Hoog
Net + batterij (§4.7)	0,30 – 0,50	0	~120 (incl. RTE-verlies)	<45	Afhankelijk van batterijcapaciteit	Hoog
Standalone BESS, netlading (§4.3)	0,30 – 0,50	0	~120	<45 (ontlading); tot 60–78 (laden, grote units)	Beperkt (kWh)	Hoog
Tri-hybride: net + batterij + generator (§4.7)	0,30 – 0,55	Variabel (0 bij net/batterij; emissies bij generatorinzet)	Variabel	Variabel	Hoog	Hoog
Diesel-batterij hybride (§4.7)	0,35 – 0,65	Gereduceerd t.o.v. standalone diesel	400 – 700 (afhankelijk van generatoraandeel)	Variabel (laag bij batterij; 55–85 bij generator)	Hoog	Hoog
Dieselgenerator Stage V, fossiel (§4.2)	0,40 – 1,00+	700 – 800 (TTW)	850 – 950	55 – 85 (gedempt: 60–75)	Hoog (mits brandstoflogistiek)	Hoog
Dieselgenerator + HVO100 (§4.5)	0,45 – 0,90	700 – 800 (lokaal identiek aan fossiel)	85 – 190 (WtW, mits gecertificeerd)	55 – 85	Hoog	Hoog
BESS, generatorlading (§4.3/§4.7)	0,45 – 0,75	0	Afhankelijk van laadbron	<45 (ontlading)	Beperkt (kWh)	Hoog

Technologie	Indicatieve kost per kWh (€)	CO ₂ lokaal (g/kWh)	CO ₂ keten, WtW (g/kWh)	Geluid (@7m, dB(A))	Autonomie	Marktrijpheid
H ₂ -brandstofcel, groen (§4.4)	0,60 – 1,50+	0	Laag (afhankelijk van elektrolysebron) ¹⁸	45 – 60	Hoog (mits H ₂ -voorraad)	Laag–middel
H ₂ -ICE, groen (§4.4)	0,50 – 1,20+	0	Laag (afhankelijk van elektrolysebron)	60 – 75	Hoog	Laag

¹⁸ Keten-CO₂ voor waterstof is sterk afhankelijk van de productieroute. Groene waterstof (elektrolyse met hernieuwbare energie) leidt tot lage ketenwaarden; grijze waterstof (SMR) kent ketenwaarden van 500–800+ g CO₂eq/kWh en ondermijnt het klimaatvoordeel (zie §4.4.5).

Toelichting bij Tabel 16:

- Alle waarden zijn indicatief en afhankelijk van projectspecifieke factoren: belastingsprofiel, projectduur, vermogensklasse, brandstofprijzen en marktomstandigheden. De achterliggende aannames en bronnen zijn opgenomen in de respectieve secties §4.1–4.7.
- *Kost per kWh* omvat brandstof of laadstroom, onderhoud, logistiek en een geamortiseerde component van de huur- of investeringskost. Het is een indicatieve totale kost per geleverde kWh, niet een zuivere marginale kost. Een projectspecifieke TCO-vergelijking op basis van actuele offertes is steeds aangewezen (zie §6.3).
- *CO₂ lokaal* betreft de directe uitstoot op de gebruikslocatie (Tank-to-Wheel/Wire). *CO₂ keten (WtW)* omvat de volledige keten inclusief brandstof-/elektriciteitsproductie en transport.
- *Geluidsniveau* betreft het indicatieve geluidsdrukniveau op 7 meter afstand onder standaard meetcondities. Werkelijke waarden variëren met specifieke modellen, belasting, omkasting en omgevingsfactoren. De geluidswaarden gelden voor gedempte (canopy/super-silent) uitvoeringen zoals gangbaar in de verhuur; ongedempte open frame-units (95–110 dB(A) op 7 m) zijn niet als aparte rij opgenomen.
- *Marktrijpheid* betreft de beschikbaarheid voor tijdelijke toepassingen op de Vlaamse markt anno 2025–2026.
- De tabel omvat de technologieën die voor de huidige praktijk het meest relevant zijn. Opkomende technologieën met een beperkt vermogensbereik of een vroeg commercialisatiestadium (bv. mierenzuur/hydrozine, methanol-brandstofcel) zijn niet als aparte rij opgenomen maar worden behandeld in §4.5.
- De twee BESS-rijen onderscheiden zich op basis van de laadbron, niet op de batterij-technologie zelf: "standalone BESS, netlading" betreft een batterijsysteem dat tijdens daluren (of via een tijdelijke aansluiting) wordt opgeladen vanaf het net en autonoom wordt ingezet voor projectgebruik. De totale kost en CO₂-impact zijn lager omdat netstroom als laadbron wordt gebruikt. "BESS, generatorlading" betreft een configuratie waarin de batterij ter plaatse via een dieselgenerator wordt opgeladen, relevant bij volledig off-grid contexten zonder net of zonder voldoende dragend netvermogen. De kost ligt hoger doordat de generator-OPEX (brandstof, onderhoud) deel uitmaakt van de kWh-kost; de keten-CO₂ hangt af van de generator en gebruikte brandstof.

Synthese van de technische verschillen

Uit de vergelijking tekenen zich vier onderscheidingen af die de systeemkeuze in de praktijk sturen.

Lokale milieu-impact versus ketenimpact: Het onderscheid tussen lokale en ketengebonden milieu-impact is een rode draad doorheen het technologieoverzicht. Technologieën zonder lokale verbranding — netstroom, batterijsystemen, brandstofcellen — produceren op de gebruikslocatie geen luchtverontreinigende stoffen en minimaal geluid. Dit is een direct voordeel voor de onmiddellijke omgeving: omwonenden, werknemers, publiek. De totale milieu-impact wordt echter mede bepaald door de keten: de CO₂-intensiteit van de netstroom, de productieroute van de waterstof, de grondstofherkomst van de batterij, of de duurzaamheidscertificering van de HVO. Een lokaal emissievrije oplossing is niet per definitie een klimaatneutrale oplossing. Dit onderscheid is essentieel bij de beoordeling in Hoofdstuk 6.

Autonomie versus netafhankelijkheid. De keuze tussen netgebonden en off-grid technologieën wordt primair bepaald door de beschikbaarheid van een netaansluiting en de projectduur (zie ook de beslissingsparameters in §6.1). Netgebaseerde oplossingen bieden de laagste operationele kost en het beste milieuprofiel, maar zijn per definitie locatiegebonden en afhankelijk van doorlooptijden. Off-grid systemen — generatoren, BESS, waterstof — bieden locatieonafhankelijkheid maar tegen hogere kosten en met eigen logistieke vereisten.

Vermogen versus energie: Batterijsystemen excelleren in situaties met hoge piekvermogens maar beperkte energievolumes: ze leveren snel en efficiënt, maar hun capaciteit (kWh) is eindig. Generatoren en waterstofsysteem kunnen daarentegen langdurig hoge energievolumes leveren, mits brandstoflogistiek is gewaarborgd. Hybride configuraties combineren beide sterktes: de batterij vangt pieken; de generator of het net levert het volume. Dit inzicht — piekvermogen en energievolume vragen om verschillende technologieën — is de reden waarom het beslissingskader in Hoofdstuk 6 beide parameters afzonderlijk beoordeelt.

Eenvoud versus optimalisatie. Er bestaat een afruil tussen operationele eenvoud en systeemprestatie. Een standalone generator is technisch eenvoudig maar presteert suboptimaal bij wisselende belasting. Een hybride systeem met EMS-sturing presteert beter op alle criteria (kosten, emissies, geluid, betrouwbaarheid) maar vergt gespecialiseerde kennis voor ontwerp, installatie en beheer. Deze afruil is relevant bij de inschatting van de organisatorische capaciteit van de gebruiker en wordt in het beslissingskader meegewogen.

Richting voor de systeemkeuze

Hoofdstuk 6 levert het gestructureerde beslissingskader. Uit de vergelijking volgt grof het volgende patroon:

- Projecten met nettoegang en voldoende doorlooptijd worden het best ondersteund door netgebaseerde oplossingen, eventueel aangevuld met batterijbuffering (bovenste rijen van Tabel 16).
- Projecten zonder nettoegang maar met beheersbare energievolumes kunnen met standalone BESS of diesel-batterij hybride opereren (middenzone).
- Projecten met hoge energievolumes zonder nettoegang zijn aangewezen op generatoren, bij voorkeur in hybride configuratie en op HVO (onderste helft).
- Projecten met strikte emissie-eisen en hoog vermogen zonder nettoegang vormen de niche waarvoor waterstofsysteem zijn ontwikkeld.

De formele systeemkeuze, inclusief de afweging van kosten, milieu-impact en operationele haalbaarheid, volgt in Hoofdstuk 6. Hoofdstuk 5 levert daarvoor de benodigde input via de behoefteanalyse.

4.8.2 VOORUITBLIK: RELEVANTE ONTWIKKELINGEN OP KORTE TERMIJN

Twee ontwikkelingen zijn op korte termijn (2025–2030) direct relevant voor de praktijk van tijdelijke stroomvoorziening:

- *Second-lifebatterijen:* Hergebruik van batterijpakketten uit afgedankte elektrische voertuigen (typisch nog 70–80% restcapaciteit) als goedkopere opslagoptie. De beschikbaarheid groeit snel met het toenemende volume afgedankte EV-batterijen. De uitdaging ligt in het betrouwbaar beoordelen van de resterende levensduur (State of Health) en de technische integratie van diverse batterijtypes.

- *Energy-as-a-Service (EaaS)*: Businessmodellen waarbij de leverancier niet de apparatuur maar de energiedienst verkoopt (per kWh of per beschikbaarheiduur). De gebruiker hoeft dan zelf minder te investeren; de leverancier neemt de investering en het beheer op zich en geeft prikkels voor efficiëntie, onderhoud en circulariteit. Voor de eindgebruiker verlaagt dit de instapdrempel voor duurzamere technologieën.

Verdere technologische ontwikkelingen — nieuwe batterijchemieën (Na-ion, solid-state), DC microgrids, V2G-integratie en AI-gestuurde energiebeheersystemen — worden besproken in het transitiepad (Hoofdstuk 9).

4.9 CONCLUSIE

Uit het technologieoverzicht komen vier spanningsvelden naar voren:

Lokale milieu-impact tegenover ketenimpact: technologieën zonder lokale verbranding (netstroom, batterijsystemen, brandstofcellen) produceren op de gebruikslocatie geen luchtverontreinigende stoffen en weinig geluid. De totale milieu-impact wordt echter ook bepaald in de keten: de CO₂-intensiteit van de netstroom, de productieroute van waterstof, de grondstofherkomst van de batterij of de duurzaamheidscertificering van HVO. Een lokaal emissievrije oplossing is dus niet automatisch klimaatneutraal.

Autonomie tegenover netafhankelijkheid: netgebaseerde oplossingen bieden doorgaans de laagste operationele kost en het gunstigste milieuprofiel, maar zijn locatiegebonden en afhankelijk van doorlooptijden. Off-grid systemen (generatoren, BESS, waterstof) bieden locatieonafhankelijkheid, maar gaan gepaard met hogere kosten en eigen logistieke vereisten.

Vermogen tegenover energie: batterijsystemen zijn vooral geschikt voor hoge piekvermogens bij beperkte energievolumes. Generatoren en waterstofsysteem kunnen langdurig hoge energievolumes leveren, mits de brandstoflogistiek verzekerd is. Hybride configuraties combineren beide functies: de batterij vangt pieken op, de generator of het net levert het volume. Dit onderscheid verklaart waarom het beslissingskader in Hoofdstuk 6 beide parameters afzonderlijk beoordeelt.

Eenvoud tegenover sturing: een standalone generator is technisch eenvoudig maar presteert minder goed bij wisselende belasting. Een hybride systeem met EMS-sturing kan beter scoren voor kosten, emissies, geluid en betrouwbaarheid, maar vergt gespecialiseerde kennis. Deze afweging is relevant bij de inschatting van de organisatorische capaciteit van de gebruiker.

De vergelijkende matrix (Tabel 16) brengt de kenmerken van alle technologieën samen voor kosten, milieuprofiel, geluid, autonomie en marktrijpheid. Samen met de verbruiksanalyse uit Hoofdstuk 5 vormt ze de input voor het beslissingskader in Hoofdstuk 6.

DEEL 2: ANALYSE, KEUZE EN IMPLEMENTATIE

Deel 1 (Hoofdstukken 1–4) schetste de context, de sectorbehoeften, het regelgevend kader en de technologieën. Deel 2 vertaalt die kennis naar een concrete werkstroom die proportioneel wordt toegepast naargelang schaal, duur, complexiteit en hindergevoeligheid van het project. Voor eenvoudige of kleinschalige toepassingen kan een gerichte screening volstaan; voor grotere, langdurige of gevoelige projecten is een meer uitgewerkte analyse aangewezen (zie vooral §6.1.4 en §6.6):

1. **Analyseer en optimaliseer de energievraag** (Hoofdstuk 5) — vóór de systeemkeuze.
2. **Kies het systeem** via het Grid First-beslissingskader (Hoofdstuk 6) — op basis van het geoptimaliseerde profiel.
3. **Implementeer het gekozen systeem** veilig en conform de regelgeving (Hoofdstuk 7).
4. **Leer van praktijkvoorbeelden** die de werkstroom illustreren (Hoofdstuk 8).

Proportionele toepassing

- **Toepassingsgebied:** de werkstroom geldt voor elke tijdelijke toepassing waarvoor de elektriciteitsvoorziening een afzonderlijke technische, economische of milieukundige keuze vormt (§6.1). Er is geen ondergrens in kVA, duur of omvang.
- **Detailgraad:** de diepgang van de behoefteanalyse (Hoofdstuk 5), de systeemafweging (Hoofdstuk 6) en de vastlegging ervan schaalt met de schaal, duur, complexiteit, energie-intensiteit en hindergevoeligheid van het project. Voor kleine of eenvoudige toepassingen kan een gerichte screening met een vereenvoudigde behoefteanalyse volstaan. Voor grotere, langdurige, complexe, energie-intensieve of hindergevoelige projecten is een meer uitgewerkte analyse aangewezen (zie vooral §6.1.4 en §6.6).
- **Wat niet schaalt:** de kernprincipes gelden ongeacht de projectomvang: Grid First, de vergelijking van opties en milieu-impact als kernafweging. Ook bij een gerichte screening steunt de systeemkeuze op minstens een onderbouwde inschatting van piekvermogen, energievolume, kritische gebruikers en randvoorwaarden (§5.1, §6.1.2). De gekozen configuratie moet voldoen aan de geldende regelgeving en veiligheidsvereisten (Hoofdstuk 2 en Hoofdstuk 7).
- **Status:** het beslissingskader is een hulpmiddel voor een onderbouwde systeemkeuze, geen verplicht stappenplan dat voor elk project integraal en met dezelfde detailgraad wordt doorlopen. De CvGP creëert op zichzelf geen algemene juridische of contractuele verplichting om de afweging te documenteren. De mate van vastlegging volgt dezelfde proportionele logica (§6.1.4).
- **Lessen uit de praktijk:** de generieke lessen in §8.5 gelden niet voor elk project even sterk; de toepassing schaalt met de aard, omvang en duur van het project.

HOOFDSTUK 5. HOOFDSTUK 9 (DEEL 3) BESCHRIJFT HET TRANSITIEPAD OP

LANGERE TERMIJN. ELEKTRICITEITSBEHOEFTE-ANALYSE EN OPTIMALISATIE



HOOFDSTUK 5. ELEKTRICITEITSBEHOEFTE-ANALYSE EN OPTIMALISATIE

5.1 INLEIDING EN POSITIONERING

Kies het systeem pas nadat de elektriciteitsbehoefte is gemeten, ingeschat en waar mogelijk verlaagd. De omvang van deze behoefteanalyse wordt proportioneel bepaald: voor kleine, korte of eenvoudige toepassingen kan een beperkte inventarisatie en onderbouwde inschatting volstaan; voor grotere, langdurige, complexe of hindergevoelige projecten is een meer uitgewerkte analyse aangewezen. Dit volgt de Trias Energetica: beperk eerst de energievraag, kies daarna de voorziening. Pas daarna kan de gebruiker bepalen welke voorziening past bij de resterende vraag. De behoefteanalyse levert de gegevens waarmee de systeemkeuze in hoofdstuk 6 wordt gemaakt en gemotiveerd. Een compacte beslisboom (Bijlage 4) geeft een snelle oriëntatie op de beoordelingsvolgorde.

Tabel 17: Positionering van Hoofdstuk 5 in de methodische aanpak van Deel 2

Stap	Hoofdstuk	Doel
Technologieoverzicht	Hoofdstuk 4	Welke opties zijn beschikbaar? (kennisbasis)
Behoeftanalyse en optimalisatie	Hoofdstuk 5	Wat is het geoptimaliseerde, reële energieprofiel?
→ Onderbouwde systeemkeuze	Hoofdstuk 6	Welke optie past het best bij dit profiel?

Dit hoofdstuk presenteert methoden om:

- het energieverbruik te meten of onderbouwd in te schatten (verbruiksanalyse, §5.2),
- vervolgens onnodig verbruik en pieken te verminderen (§5.3),
- en een sectorspecifieke benadering toe te passen in analyse en optimalisatie (§5.5).

Zonder zicht op piekvermogen en energievolume wordt de installatie snel te groot of te klein gekozen:

1. Overdimensionering leidt tot hogere kosten, meer brandstofverbruik en mogelijk hogere emissies.
2. Onderdimensionering verhoogt het risico op overbelasting, uitval, hinder, veiligheidsproblemen en reputatieschade.

In de praktijk is het onderscheid tussen piekvermogen en energieverbruik niet altijd helder voor eindgebruikers. Beide parameters moeten daarom afzonderlijk worden bepaald.

De parameters die in dit hoofdstuk centraal staan (piekvermogen, basislast, energieverbruik, sluimerverbruik, kritikaliteit en gelijktijdigheidsfactor) worden in dit hoofdstuk toegelicht; enkele verwante begrippen ('demand peak', 'kortstondige piek' en 'load shedding') zijn gedefinieerd in §1.5. De verbruiksanalyse (§5.2) en optimalisatie (§5.3) leveren als output de volgende gegevens, die als directe input dienen voor het beslissingskader in Hoofdstuk 6:

1. Vermogen (kW en kVA)

2. Piekvermogen op twee tijdschalen: demand peak (15 min-gemiddelde) en kortstondige piek (seconden–minuten)
3. Basislast (kW/kVA): continu minimumvermogen
4. Energievolume (kWh): per dag/week en totaal over de projectduur
5. Belastingsprofiel: representatief dag-/weekprofiel
6. Kritikaliteit: classificatie van verbruikers (kritisch vs. onderbreekbaar)
7. Projectrandvoorwaarden: geluids-en emissie-eisen, opstelruimte en projectduur

De methoden om tot deze gegevens te komen worden in de volgende paragrafen beschreven.

5.2 VERBRUIKSANALYSE

Een tijdelijke elektriciteitsvoorziening kan pas correct worden gedimensioneerd als het verbruik bekend is. Dezelfde principes gelden als bij permanente installaties, maar tijdelijke toepassingen kennen sterkere schommelingen, ruwere omstandigheden en vaak minder netreserve.

5.2.1 PRAKTISCHE METHODEN VOOR VERBRUIKSANALYSE

Bij een nieuw project start de analyse met een inventarisatie en een onderbouwde inschatting op basis van:

- algemeen beschikbare sectorkengetallen en referentieprojecten uit literatuur of brancheorganisaties,
- meetdata en ervaringscijfers uit eigen eerder uitgevoerde, vergelijkbare projecten, en/of
- input van leveranciers, gespecialiseerde adviseurs, en verhuurbedrijven.

Werkelijke energiemetingen leveren het meest accurate beeld, maar zijn niet voor elk project of elke projectfase noodzakelijk. Voor kleine, korte of goed vergelijkbare toepassingen kunnen referentieprofielen, ervaringscijfers of leveranciersinput volstaan, op voorwaarde dat de aannames realistisch en controleerbaar zijn. De volgende methoden zijn toepasbaar afhankelijk van de projectfase, schaal en beschikbare gegevens:

1. Energiemeting met dataloggers of kWh-meters:

- Dit is de meest betrouwbare methode, waarbij tijdelijke meetapparatuur op strategische punten (hoofdaansluiting, per zone, grote verbruikers) het opgenomen vermogen (kW) en/of energieverbruik (kWh) registreert met een bepaalde tijdsresolutie (bv. per minuut of per kwartier).
- Levert een gedetailleerd beeld van het werkelijke verbruiksprofiel (pieken, dalen, sluimerverbruik).
- Bij nieuwe projecten kan worden gemeten zodra de belangrijkste verbruikers operationeel zijn. Bij langdurige werven biedt vroege dataverzameling de mogelijkheid tot bijsturing tijdens het project en optimalisatie voor latere projecten. Baseer waar mogelijk initiële schattingen op meetdata van vergelijkbare, eerdere projecten.

2. Tussenstekkers of 'slimme modules' voor individuele apparaten:

- Voor individuele, kleinere apparaten of circuits bieden draadloze 'slimme' stekkers met ingebouwde meting een laagdrempelige oplossing.

- Data kunnen worden doorgestuurd naar een centraal platform, wat inzicht geeft in verbruik van specifieke toestellen (koelkasten, verlichting, audio) en helpt bij het identificeren van onverwachte of inefficiënte verbruikers.
- Bij nieuwe projecten: inzetten zodra apparatuur in gebruik is om aannames te toetsen en analyse te verfijnen.

3. Online monitoring via het gekozen energiesysteem:

- Veel moderne systemen (generatoren, batterijen, hybrides) hebben geïntegreerde monitoringsystemen die via een online portaal realtime inzicht bieden in belasting, (brandstof)verbruik, batterijstatus en storingsen.
- Waardevol voor data-analyse achteraf en realtime visualisatie en begrip van energiestromen.
- Dit faciliteert validatie van operationele strategieën (peak shaving, cycling) en dient als tool voor operationeel beheer en communicatie.
- Verzamelde data dient niet alleen voor sturing tijdens het lopende project, maar vormt ook waardevolle input voor planning van toekomstige, gelijkaardige projecten.
- Leveranciers benutten monitoring voor diagnostiek en optimalisatieadvies; het brengt vaak onnodig (sluimer)verbruik aan het licht (Sustafest, 2025). (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

4. Inventarisatie en inschatting (noodzakelijke start voor nieuwe projecten):

- Als directe metingen initieel niet haalbaar zijn, start met een systematische inventarisatie van alle aan te sluiten machines, hun nominale vermogen (typeplaatje) en een realistische inschatting van gebruiksduur en gelijktijdigheid.
- Actieve controle op onnodig draaiende apparatuur is hierbij een aandachtspunt.
- Beperkingen: nominaal vermogen is maximum en wordt zelden continu bereikt. De gelijktijdigheidsfactor (werkelijk maximaal gelijktijdig vermogen / som van de nominale vermogens) ligt typisch tussen 0,3-0,7¹⁹ (onderkant bij sterk gespreide verbruikers zoals handgereedschap en verlichting; bovenkant bij geconcentreerde proceslasten zoals bemaling of breekinstallaties). De gebruikte gelijktijdigheidsfactor moet steeds worden afgestemd op het specifieke projecttype en de projectfase; de hier vermelde range is louter indicatief. Simpelweg optellen leidt tot overschatting van de piekbehoefte.

-
- ¹⁹ Richtwaarden: grote installaties (> ± 20 aansluitingen, bouwplaatsen met veel motoren) halen vaak ≈ 0,3 of zelfs lager;
 - compacte sites of nieuwe, goed gecoördineerde projecten tonen in de praktijk ≈ 0,6–0,7;
 - voor laadinfra van elektrische voertuigen en machines moet gerekend worden met een gelijktijdigheidsfactor van 1,0, tenzij een actief 'smart charging' of load management systeem wordt toegepast.

- Het AREI specificeert geen standaard gelijktijdigheidsfactoren voor tijdelijke installaties; realistische inschatting of meting blijft belangrijk.
- De betrouwbaarheid hangt af van de kwaliteit van de input (gedetailleerde lijsten, realistische scenario's/planningen) en ervaring van de planner.
- Belangrijk: lessen trekken uit meetdata en ervaringscijfers van vergelijkbare projecten (zie methoden 1-3) om realistische gelijktijdigheidsfactoren te hanteren.

Goede praktijk: verbruiksanalyse

- Geef waar en wanneer mogelijk de voorkeur aan daadwerkelijke metingen boven loutere schattingen voor de meest accurate en objectieve data.
- Indien inschattingen onvermijdelijk zijn (vroege planningsfase nieuwe projecten): hanteer realistische, goed onderbouwde gelijktijdigheidsfactoren (bv. gebaseerd op data vergelijkbare projecten, of conservatief binnen 0,3-0,7 range) en documenteer alle aannames zorgvuldig.
- Plan meetcampagnes in zodra het project operationeel wordt om initiële inschattingen te valideren en bij te sturen.

5.2.2 ANALYSE VAN PIEKVERMOGEN, BASISLAST EN KRITIKALITEIT

Op basis van de verzamelde verbruiksdata (zie §5.2.1), is de volgende stap het analyseren en karakteriseren van het verbruiksprofiel:

- Piekvermogen identificeren:
 - Dit is de hoogste vermogensvraag (kW/kVA) die op enig moment wordt gemeten of realistisch wordt ingeschat.
 - Pieken zijn vaak kortdurend maar bepalend voor de minimale systeemcapaciteit.
 - Typische oorzaken: gelijktijdig opstarten van zware apparatuur, headliners of hoofdacts op festivals, piekmomenten in de catering.
- Basislast bepalen:
 - Dit is het vermogen dat vrijwel continu wordt afgenomen, ook tijdens rustigere periodes (bv. noodverlichting, beveiliging, IT, communicatie, continu draaiende pompen, koelingen).
- Verbruiksprofiel analyseren:
 - Het verschil tussen piek- en basislast kan groot zijn.
 - Bekijk het volledige profiel: hoogte, duur en frequentie van pieken en de stabiliteit van de basislast.
 - Bepaal ook welke verbruikers de pieken en basislast veroorzaken.

- Kritikaliteit van verbruikers evalueren:
 - Identificeer welke verbruikers absoluut niet mogen uitvallen (kritiek) en welke een onderbreking kunnen verdragen (niet-kritiek/onderbreekbaar). Deze indeling kan wijzigen tijdens de voortgang van een project of evenement, bijvoorbeeld tussen opbouw, uitvoering, nachtperiode, piekactiviteit en afbraak. Herbekijk de kritikaliteit daarom bij belangrijke fasewissels of wijzigingen in de planning.
 - Voorbeelden kritische verbruikers: veiligheidssystemen, medische apparatuur, kritieke bemalingspompen, koeling bederfelijke waren, essentiële communicatie, live-uitzendingen.
 - Voorbeelden onderbreekbaar (of minder kritiek): Decoratieve verlichting, comfortverwarming, laadstations gereedschap, niet-essentiële horeca-apparatuur buiten piekuren, achtergrondmuziek.

Deze indeling bepaalt welke lasten bij een tekort mogen worden afgeschakeld voor 'load-shedding'-strategie (zie §5.3.3). Ervaren leveranciers passen dit systematisch toe. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

Goede praktijk: Karakterisering verbruiksprofiel

- Analyseer het verbruiksprofiel gedetailleerd (piek, basis, sluimerverbruik, duur en frequentie van pieken) bij voorkeur via meetdata.
- Leg per verbruiker vast of hij kritiek of onderbreekbaar is. Dit bepaalt de nood aan back-up, buffering en load shedding.

5.2.3 INVULTABEL VERBRUIKSANALYSE

Na de verbruiksanalyse zijn de volgende gegevens nodig voor optimalisatie en systeemkeuze. De tabel hieronder is bedoeld als praktisch hulpmiddel om deze gegevens gestructureerd te verzamelen. Ze is geen verplicht document of standaardformulier voor vergunningen of aanbestedingen, maar kan wel worden gebruikt om de systeemkeuze intern te onderbouwen of toe te lichten aan opdrachtgever, leverancier, vergunningverlener of toezichthouder. Noteer bij elke waarde of ze gemeten of geschat is (kolom "Bron/methode"). Bij geschatte waarden is meestal een grotere veiligheidsmarge nodig.

Tabel 18: Invultabel voor verbruiksanalyse, optimalisatie en systeemkeuze

Parameter	Waarde	Bron/methode	Opmerkingen
Piekvermogen — demand peak (kW/kVA)		Meting / inschatting	15 min-gemiddelde
Piekvermogen — kortstondige piek (kW/kVA)		Meting / inschatting	Sec.–min. (bv. kraanopstart)
Basislast (kW/kVA)		Meting / inschatting	24/7 of bedrijfsuren
Power factor / aard last		Meting / specificaties	Indien relevant voor stroomkwaliteit

Parameter	Waarde	Bron/methode	Opmerkingen
Energievolume (kWh/dag, kWh totaal)		Meting / inschatting	Over de projectduur
Belastingsprofiel (representatief dag-/weekprofiel)		Meting / inschatting	Min. 1 min-resolutie
Gelijktijdigheidsfactor		Meting / vuistregel	0,3–0,7 typisch, projectspecifiek te toetsen
Kritische verbruikers		Inventarisatie	Welke tolereren geen onderbreking?
Projectduur en -planning		Projectdossier	Incl. doorlooptijd netaanvraag
Geluids-/emissie-eisen		Vergunning / context	Stedelijk, natuur, nacht?

5.3 OPTIMALISATIETECHNIKEN

Het doel is het totale verbruik te verlagen en pieken af te vlakken, te beginnen met het schrappen van onnodig verbruik.

Waar de locatie nog niet vastligt, kan de nabijheid van netinfrastructuur mee worden onderzocht. De eigenlijke haalbaarheid van een netaansluiting wordt behandeld in Hoofdstuk 6. De mate waarin een project zijn locatie of inplanting kan afstemmen op beschikbare netinfrastructuur verschilt sterk. Sommige activiteiten, zoals festivals of tijdelijke opstellingen, laten meer ruimte om bij de inplanting rekening te houden met nettoegang, terwijl bij andere activiteiten, zoals veel bouwerven, de locatie sterker vastligt. Dit onderscheid is echter niet absoluut: ook evenementen kunnen op moeilijk aansluitbare locaties plaatsvinden, terwijl op bouwerven soms wel netaansluiting mogelijk is.

De optimalisatietechnieken in deze paragraaf zijn gerangschikt van vraagzijdige-reductie (§5.3.1–5.3.4) naar systeemarchitectuur (§5.3.5). De impact verschilt per categorie:

- *Vraagzijdemaatregelen* (sluimerverbruik, planning, load shedding, quick wins) *verlagen verbruik en pieken*, maar wijzigen doorgaans niet de systeemkeuze zelf.
- *Energiezonering* (§5.3.5) deelt de site op in zones met een eigen profiel en eventueel een eigen voorziening, en kan bij grotere of complexere projecten een groot effect hebben.

5.3.1 AANPAK SLUIMERVERBRUIK

Sluimerverbruik (energieverbruik tijdens periodes van inactiviteit, zoals nachten en weekends) kan een groot, maar vaak vermijdbaar deel van het totale verbruik uitmaken.

- Identificatie: Continue monitoring (zie §5.2.1) toont welk verbruik blijft doorlopen tijdens nachten, weekends en pauzes.
- Maatregelen:
 - Gebruik van tijdschakelaars of centrale hoofdschakelaars voor circuits die volledig kunnen worden uitgeschakeld.
 - Toepassing van sensoren, bv. Bewegingsdetectie, voor verlichting in zones met intermitterend gebruik.

- Leg duidelijke uitschakelprocedures en verantwoordelijkheden vast.
- Afhankelijk van de situatie kan dit het totale verbruik met ongeveer 10–20% verlagen.

Goede praktijk: Detecteer en minimaliseer sluimerverbruik

- Spoor actief energieverbruik op tijdens inactieve periodes (nachten, weekends, pauzes).
- Gebruik tijdschakelaars, masterschakelaars en sensoren, en leg uitschakelafspraken vast

5.3.2 WERKTIJDEN EN PLANNING AFSTEMMEN

Planning en timing kunnen het piekvermogen verlagen. De praktische ruimte om werktijden, opstartmomenten of piekverbruik te spreiden verschilt per project. Ze hangt onder meer af van contractuele afspraken, veiligheidsvereisten, hinderbeperkingen, beschikbaarheid van personeel en materieel, en de planning van opdrachtgever, aannemer, onderaannemers of organisator. Deze optimalisatie vraagt daarom vroeg overleg tussen de betrokken actoren en kan niet altijd eenzijdig door de aannemer of uitvoerder worden bepaald.

Strategieën:

- Gespreid opstarten van grote verbruikers: een gefaseerde start verlaagt de opstartpiek.
- Coördinatie van activiteiten: plan energie-intensieve taken (lassen, zagen, testen van apparatuur) zodanig dat ze niet onnodig samenvallen.
- Specifiek voor grootschalige evenementen bestaat in sommige gevallen de mogelijkheid tot een tijdelijke capaciteitsverhoging van de netaansluiting door met de netbeheerder en lokale verbruikers af te stemmen dat bepaalde nabijgelegen verbruikers vrijwillig tijdelijk hun verbruik verminderen of afschakelen tijdens piekbelastingsmomenten (bv. tijdens hoofdacts). Dit vraagt vroeg overleg met de netbeheerder en betrokken lokale verbruikers.

Aanvullend:

- Minder tijdskritische, zware taken kunnen worden verschoven naar momenten met een lagere algemene belasting.
- Gebruik van dag-/nachtschema's voor systemen zoals klimaatregeling (verwarming, koeling in werketen) draagt bij aan effectief belastingsmanagement.

Goede Praktijk: Optimaliseer planning en timing van energie-intensieve activiteiten

- Vermijd onnodige gelijktijdige piekbelastingen door opstarttijden van grote verbruikers te spreiden.
- Stem energie-intensieve taken op elkaar af om de maximale gelijktijdige vraag te beperken.
- Benut dag-/nachtschema's en programmeerbare sturingen voor systemen zoals klimaatregeling.

5.3.3 GECONTROLEERDE LOAD SHEDDING

Load shedding vertrekt van de kritikaliteitsindeling uit §5.2.2. Bij een dreigend tekort worden niet-kritieke verbruikers tijdelijk afgeschakeld, om de continuïteit van essentiële functies te verzekeren (zie Figuur 5 in §4.7 voor het principeschema). Dit leidt tot een betere dimensionering van het energiesysteem: niet het absolute piekvermogen maar het kritische piekvermogen wordt leidend. De praktische implementatie (manueel, via EMS of via geprogrammeerde logica) wordt behandeld in §7.2.3. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

5.3.4 QUICK WINS: EENVOUDIGE ENERGIEBESPARENDE MAATREGELEN

Ook eenvoudige maatregelen kunnen het verbruik snel verlagen:

- **Verlichting:** Systematisch toepassen van LED-verlichting (reduceert het specifieke verbruik voor verlichting met 70-90%).
- **Regelingen:** Gebruik van timers en programmeerbare thermostaten voor bv. Verwarming en koeling (indicatief besparingspotentieel 25-40%).
- **Onderhoud:** Zorgen voor goed onderhoud en correcte kalibratie van apparatuur (bv. een slechte afstelling van pompen kan 15-20% meerverbruik veroorzaken).
- **Isolatie:** Toepassen van eenvoudige isolatiemaatregelen bij tijdelijke constructies (werfketen, tenten).
- **Opstart:** Het reeds genoemde sequentiële of gespreide opstarten van apparatuur.

Goede Praktijk: Pas laagdrempelige quick wins toe

- Implementeer systematisch energie-efficiënte basismaatregelen: LED-verlichting, correct onderhoud en kalibratie van apparatuur, basisisolatie van tijdelijke ruimtes, en sequentieel opstarten van machines.

5.3.5 ENERGIEZONERING

Voor grotere of complexere locaties is energiezonering een effectieve optimalisatiestrategie.

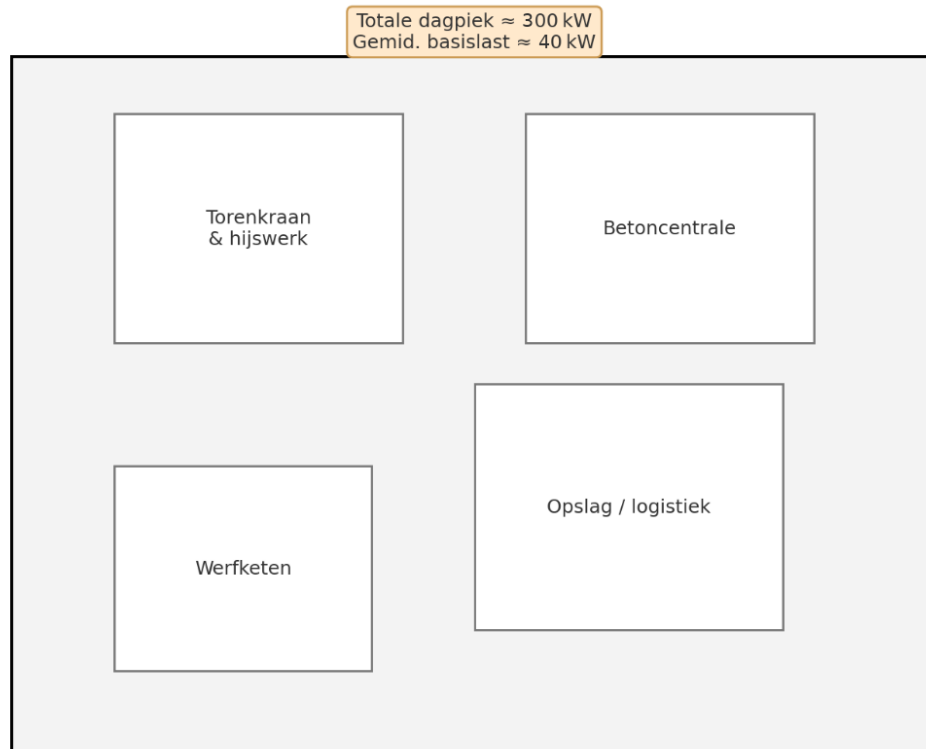
- Principe: De site wordt opgedeeld in functionele zones, elk voorzien van een energiesysteem dat specifiek is afgestemd op de (geoptimaliseerde) behoeften van die zone. Dit kan efficiënter zijn dan één groot, centraal en vaak overgedimensioneerd systeem.
- Voordelen:
 - Betere afstemming van vraag en aanbod per zone.
 - Verhoogde betrouwbaarheid (een storing blijft potentieel lokaal).
 - Mogelijkheid om technologieën gericht te combineren per zone.
 - Meer flexibiliteit.
- Voorbeeld: het vervangen van één grote generator door een combinatie van kleinere, correct gedimensioneerde units, batterijen en/of netaansluitingen voor verschillende werfzones. (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024-2025)

Goede Praktijk: Overweeg energiezonering voor complexe locaties

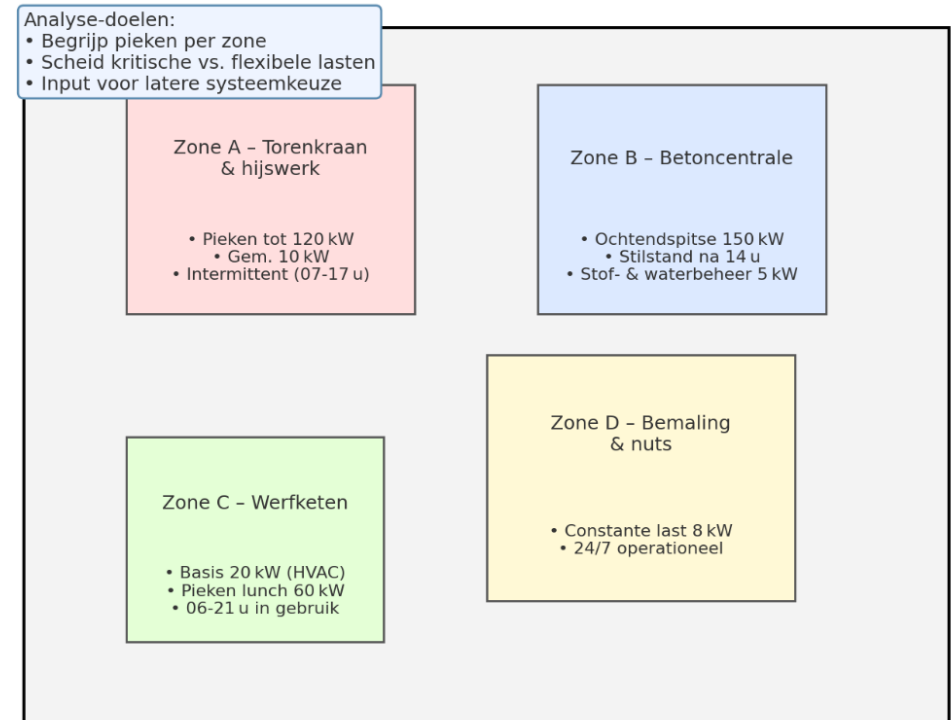
- Deel grotere of complexe werven/evenemententerreinen op in aparte energiezones.
- Stem de energievoorziening per zone af op de specifieke, geoptimaliseerde noden van die zone, wat kan leiden tot een efficiënter en betrouwbaarder totaalconcept.

Figuur 6 en Figuur 7 illustreren energiezonering op respectievelijk een grote, energie-intensieve bouwwerf en de Royerssluis-werf.

Grote bouwplaats gezien als één verbruiker



Energiezonering toegepast – analyse per zone



Figuur 6: Illustratie van energiezonering op een grote, energie-intensieve bouwwerf (cijfers en zones zijn indicatief)

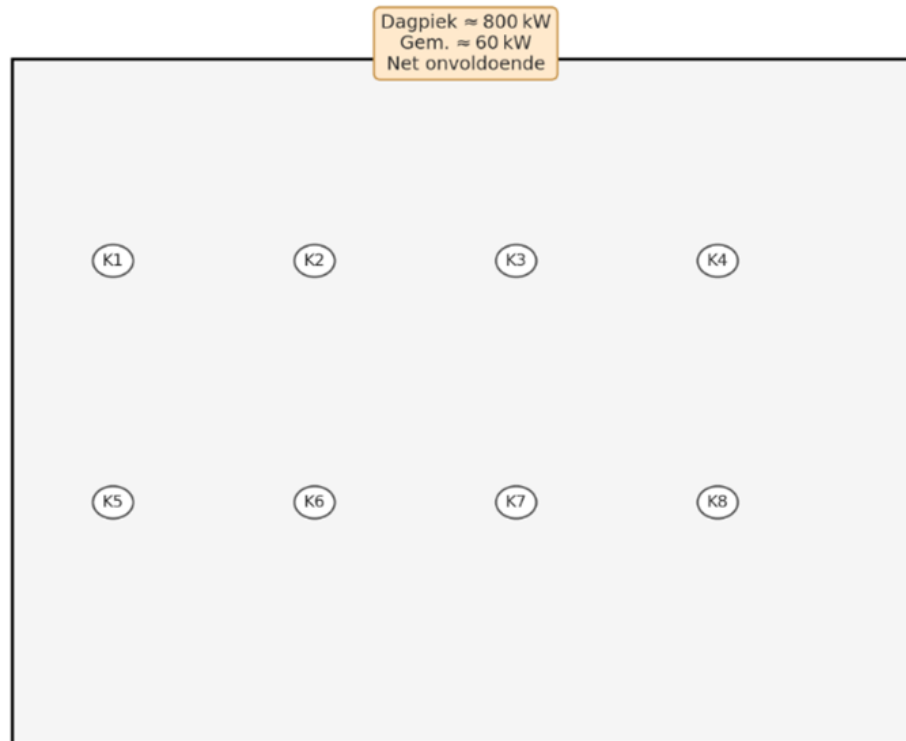
Links: "één geaggregeerde gebruiker"	Rechts: energiezoning (analyse)
- De volledige werf wordt als één last beschouwd. - Totale dagpiek ± 300 kW, basislast ± 40 kW.	- Dezelfde werf wordt opgesplitst in vier functionele zones. - Elke zone toont alleen haar belastingkenmerken (piek, gemiddelde, bedrijfsuren).

Zones (indicatieve voorbeeldgetallen):

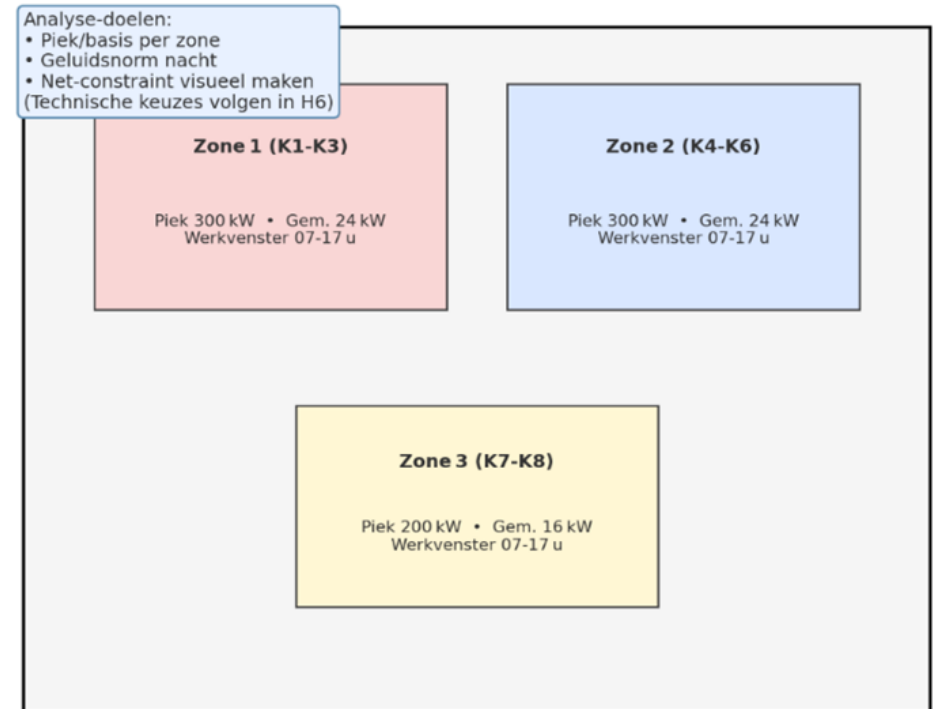
- A – Torenkraan & hijswerk: Intermitterende pieken tot 120 kW tussen 07-17 u.
- B – Betoncentrale: Ochtendspits 150 kW, nagenoeg stil na 14 u, restlast 5 kW.
- C – Werfketen: Basis 20 kW HVAC, lunchpiek 60 kW, in gebruik 06-21 u.
- D – Bemaling & nuts: Constante 8 kW continu (24/7).

Op basis van deze zoning kan dan als volgende stap (zie Hoofdstuk 6) een concreet en gepast systeem worden voorgesteld.

Royerssluis-werf - zonder segmentatie (8 torenkranen)



Segmentatie (energievonering) - alleen load-analyse



Figuur 7: Illustratie van energievonering voor de Royerssluis-werf

Links wordt de bouwplaats als één ongedifferentieerde last getoond. De gezamenlijke hijspieken van acht kranen brengen de dagpiek tot ± 800 kW*, terwijl het gemiddelde verbruik slechts ± 60 kW bedraagt.

Rechts staat exact dezelfde werf, maar nu gesegmenteerd:

Zone	Kranen	Piekvermogen	Gemiddelde last	Observatie
1	K1-K3	300 kW	24 kW	Intermitterend (07-17 u)
2	K4-K6	300 kW	24 kW	Intermitterend (07-17 u)
3	K7-K8	200 kW	16 kW	Intermitterend (07-17 u)

* berekend met ± 100 kW hijspiek en 8-10 kW gemiddeld per kraan

Dit praktijkvoorbeeld, en de criteria voor het gekozen systeem (Hoofdstuk 6), worden verder toegelicht in §8.3.1.

5.3.6 BEWUSTMAKING GEBRUIKERS

Ook gebruikersgedrag beïnvloedt het verbruik. Toestellen, verlichting, verwarming of koeling blijven vaak aan buiten de gebruiksuren. Leg daarom vast wie toestellen en zones uitschakelt, gebruik waar mogelijk dashboards of meters om verbruik zichtbaar te maken, en koppel afspraken aan automatische sturing, tijdschakelaars of masterschakelaars. Zo wordt energiebesparing minder afhankelijk van individuele aandacht.

5.4 CHECKLIST VERBRUIKSANALYSE EN OPTIMALISATIE

Deze checklist is een praktisch hulpmiddel om de belangrijkste aandachtspunten bij verbruiksanalyse en optimalisatie niet te missen. Ze is geen verplicht format dat voor elk project volledig moet worden ingevuld of gedocumenteerd. De toepassing en diepgang hangen af van de aard, omvang, duur, complexiteit en hindergevoeligheid van het project. Voor kleine of eenvoudige toepassingen kan een gerichte screening volstaan; voor grotere, langdurige, energie-intensieve of hindergevoelige projecten is een meer volledige doorloop aangewezen.

Goede Praktijk: doorloop checklist verbruiksanalyse en optimalisatie

- ☐ Voer een verbruiksanalyse uit, op basis van metingen, referentieprofielen, ervaringscijfers of een onderbouwde inschatting met duidelijke aannames (§5.2.1).
- ☐ Analyseer het verbruiksprofiel: piek, basislast, sluimerverbruik en kritikaliteit (§5.2.2).
- ☐ Detecteer en minimaliseer sluimerverbruik via tijdschakelaars, sensoren en uitschakelprocedures (§5.3.1).
- ☐ Spreid energie-intensieve activiteiten in de tijd om piekbelasting te verlagen, voor zover dit past binnen planning, veiligheid en contractuele afspraken (§5.3.2).
- ☐ Deel verbruikers in volgens kritikaliteit en voorzie load shedding waar zinvol (§5.3.3).
- ☐ Pas quick wins toe: LED, thermostaten, onderhoud, isolatie en gespreid opstarten (§5.3.4).
- ☐ Overweeg energiezonering bij grotere of complexere locaties (§5.3.5).
- ☐ Documenteer de resultaten op een passende manier, bijvoorbeeld via de invultabel uit §5.2.3, als input voor het beslissingskader (Hoofdstuk 6).

5.5 SECTORSPECIFIEKE BENADERINGEN IN ANALYSE EN OPTIMALISATIE

Dezelfde analysemethoden gelden voor alle sectoren, maar de aandachtspunten verschillen. Op bouwerven bepalen vooral kranen, bemaling, werfketen en procesinstallaties het profiel. Bij evenementen verschillen opbouw, show en afbouw sterk van elkaar. Voor andere toepassingen, zoals markten, kermissen, filmproducties en noodvoorzieningen, moet de analyse vooral gericht zijn op de dominante verbruikers en de kritieke randvoorwaarden.

5.5.1 BOUWPROJECTEN

Op bouwerven wordt het energieprofiel bepaald door een beperkt aantal herkenbare grootverbruikers, elk met een eigen analyse- en optimalisatieaanpak:

Tabel 19: Grootverbruikers bij standaard bouwprojecten

Grootverbruiker	Profiel	Primaire optimalisatie	Beperkingen
Torenkraan / hijswerk	Intermitterende pieken (100–200 kW, sec.–min.) op lage basislast (5–10 kW)	Spreiden van hijsbewegingen (§5.3.2); peak shaving met batterij (§4.7)	Piekplanning afhankelijk van bouwschema
Bemaling	Continue basislast (5–50+ kW, 24/7)	Efficiënte pompen; monitoring op overcapaciteit	Kritische last — load shedding zelden mogelijk
Werfketen	Dag/nachtpatroon (20–60 kW dag, 5–10 kW nacht)	Sluimerverbruik (§5.3.1); quick wins (§5.3.4)	Meerdere gebruikers; gedragsafhankelijk
Puinbreker / zeefinstallatie	Continue hoge last (100– 300+ kW)	Correct dimensioneren; fasering inzet	Procesgebonden; beperkte flexibiliteit

De verbruiksanalyse op bouwerven vergt specifieke aandacht voor twee punten:

(a) de gelijktijdigheidsfactor is moeilijk in te schatten omdat verschillende onderaannemers op wisselende momenten ander materieel gebruiken— actieve communicatie met de werfleiding en het gebruik van materieellijsten zijn belangrijk (§5.2.1), en

(b) de kritikaliteitsindeling verschuift per bouwfase (bemaling is kritisch tijdens grondwerken maar niet tijdens afwerking).

Bij grotere erven is energiezonering (§5.3.5) de optimalisatiestap met de grootste potentiële impact; zie Figuur 6 en Figuur 7 voor illustraties.

5.5.2 EVENEMENTEN

Het energieprofiel van een evenement verschilt per fase. Elke fase heeft een ander profiel, een andere prioriteit in de analyse en een andere optimalisatiefocus:

Tabel 20: Typische fases en energieprofielen bij evenementen

Fase	Typisch profiel	Prioriteit analyse	Prioriteit optimalisatie
Opbouw (dagen–weken)	Lage, variabele last; veel sluimerverbruik	Inventarisatie per zone; sluimerverbruik meten	Tijdschakelaars; LED; uitschakelprocedures (§5.3.1, §5.3.4)
Show (uren–dagen)	Extreme pieken (licht, audio, video); hoge kritikaliteit	Riders van artiesten; historische meetdata; kritikaliteitsindeling	Peak shaving; redundantie (N+1); load shedding van niet-kritieke zones (§5.3.3)
Afbouw (uren–dagen)	Dalend, vergelijkbaar met opbouw	—	Versneld afschakelen niet-actieve zones

Twee sectorspecifieke aandachtspunten:

- *Leren uit vorige edities:* In tegenstelling tot bouwerven, die vaak eenmalig zijn, keren evenementen doorgaans terug op dezelfde locatie. Meetdata van eerdere edities zijn daardoor de meest betrouwbare inputbron voor de verbruiksanalyse (§5.2.1). Het systematisch meten, analyseren en documenteren van elke editie is de beste basis voor optimalisatie bij volgende edities.
- *Energiezonering:* De functionele opdeling van het terrein (hoofdpodium, backstage, foodcourts, camping, parking) leent zich sterk voor energiezonering (§5.3.5), waarbij elke zone een eigen profiel en een eigen optimalisatiestrategie krijgt.

5.5.3 ANDERE TOEPASSINGEN

De basisprincipes van energieanalyse (§5.2) en optimalisatie (§5.3) zijn ook toepasbaar in andere contexten, telkens met een toepassingsspecifieke focus. Hieronder worden de vijf sectoren behandeld waarvoor de behoefteanalyse en optimalisatie de meest verschillende aandachtspunten kennen. Voor de overige sectoren uit §3.3 (tijdelijke huisvesting en zorg, agrarische toepassingen, hybride masten) gelden de principes uit §5.2 en §5.3 generiek, met de dominante parameters zoals aangehaald per subsectie in §3.3.

AMBULANTE HANDEL EN MARKTEN

- Analyse: de uitdaging is het totale verbruik correct in te schatten (veel kleine, zelfstandige gebruikers). Start met een inventaris per standhouder + ervaringscijfers. Energiemetingen op representatieve dagen bieden betrouwbaardere data.
- Optimalisatie: beperken van lokale hinder. Energiezonering, bijvoorbeeld via efficiënte, gedeelde energiehub per kramencluster. Stimuleren van energiezuinige apparatuur (LED, efficiënte koeling).

KERMISSEN EN ATTRACTIES

- Analyse: grote attracties (reuzenraden, achtbanen) kennen hoge en continue vermogensvragen (tientallen tot honderden kVA, zie §3.3.2). Het semipermanente karakter (weken op dezelfde locatie) maakt meetcampagnes haalbaar en waardevol.

- Optimalisatie: de langere opstellingsduur maakt een netaansluiting vaak haalbaar en economisch aantrekkelijk, wat aansluit bij het Grid First-principe. Bij off-grid inzet is correct dimensioneren op basis van het werkelijke (gemeten) profiel essentieel om overdimensionering te voorkomen.

MEDIA- EN FILMPRODUCTIES

- Analyse: Vaak korte, zware piekbelastingen (vooral verlichting). Stroomkwaliteit en lage geluidsvoorwaarden voor energiebron zijn hoofdpunten.
- Optimalisatie: Efficiënte apparatuur (vnl. LED-verlichting). Terugdringen sluimerverbruik. Minder ruimte voor energieplanning door strakke productie-/creatievereisten.

NOODVOORZIENINGEN EN TIJDELIJKE NUTSINFRASTRUCTUUR

- Analyse: Snelheid weegt zwaar door, gedetailleerde analyse vooraf vaak onmogelijk. Werken met gestandaardiseerde scenario's en materiaalsets voor snelle capaciteitsinschatting.
- Optimalisatie: Kritikaliteitsanalyse is binair (essentieel vs. minder kritiek). Optimalisatie is eenvoudig: enkel noodzakelijke verbruikers laten draaien (load shedding, §5.3.3) om brandstof/batterijcapaciteit te sparen.

MOBIELE LAADINFRASTRUCTUUR VOOR ELEKTRISCHE MOBILITEIT

- Analyse: Sterk wisselend verbruik; hoge, pulserende piekvermogens bij gelijktijdig laden van meerdere toestellen. Metingen van vergelijkbare installaties helpen de belasting in te schatten. Gezien de milieudoelstellingen van elektrische mobiliteit moet de energievoorziening voor laadinfrastructuur bij voorkeur CO₂-neutraal zijn. Terugval op fossiele generatoren (diesel) ondermijnt het duurzaamheidsdoel en wordt daarom afgeraden. Prioriteit ligt bij netaansluiting, batterijopslag met hernieuwbare laadstroom, of hybride systemen (§4.7) die fossiele back-up minimaliseren.
- Optimalisatie: Slimme laadstrategieën zoals sturing van laadmomenten in functie van capaciteit en prioriteit. Vaak inzet van batterijbuffers (§4.3) om pieken op te vangen. Bij kritieke situaties: laadsnelheid tijdelijk verlagen (vorm van load shedding) om overbelasting te voorkomen.

De sectorspecifieke voorbeelden tonen dat dezelfde analysemethodiek per context anders wordt ingevuld: de principes zijn gelijk, maar de accenten in data, planning en kritikaliteit verschillen. De geoptimaliseerde verbruiksprofielen vormen de directe input voor het beslissingskader in Hoofdstuk 6, dat de keuze maakt tussen netaansluiting, hybride configuraties of off-grid opties op basis van piekvermogen, energievolume, kritikaliteit, omgevingscontext en projectduur.

5.6 CONCLUSIE

De kwaliteit van de systeemkeuze in Hoofdstuk 6 hangt sterk af van de kwaliteit van de input. Gemeten data zijn betrouwbaarder dan inschattingen, en inschattingen zijn beter dan niets. Tegelijk geldt: een verbruiksanalyse die de feitelijke vraag niet onderbouwt, leidt tot overdimensionering, te hoge kosten en vermijdbare emissies.

De detailgraad van de analyse schaalt met het project: een onderbouwde inschatting bij kleine of eenvoudige toepassingen, een uitgewerkte analyse bij grotere, langdurige, energie-intensieve of hindergevoelige projecten.

De analyse levert kerngegevens op (zie Tabel 18): het piekvermogen, het energievolume, het belastingsprofiel (basislast, pieken, sluimerverbruik), de kritikaliteitsindeling per gebruiker en de projectduur inclusief de doorlooptijd voor een eventuele netaanvraag.

De optimalisatiestap is geen bijkomstigheid: door sluimerverbruik te identificeren, pieken te spreiden en eenvoudige energiebesparende maatregelen toe te passen (LED-verlichting, timers, basisisolatie) kan het totale verbruik met 10 tot 20% dalen. Energiezonering maakt het vervolgens mogelijk om per zone de voorziening af te stemmen op de geoptimaliseerde noden, in plaats van één groot centraal systeem te dimensioneren op de som van alle pieken.

De output van dit hoofdstuk is het geoptimaliseerde energieprofiel: de vraag die overblijft nadat alle redelijke besparingsmaatregelen zijn toegepast. Dat profiel is het vertrekpunt voor de systeemkeuze in Hoofdstuk 6.

DRAFT

HOOFDSTUK 6. BESLISSINGSKADER VOOR SYSTEEMKEUZE



HOOFDSTUK 6. BESLISSINGSKADER VOOR SYSTEEMKEUZE

6.1 UITGANGSPUNTEN EN TOEPASSINGSGEBIED

Dit hoofdstuk helpt gebruikers om per project een passend tijdelijk elektriciteitsvoorzieningssysteem te kiezen. Met “project” wordt hier elke tijdelijke toepassing bedoeld waarvoor de elektriciteitsvoorziening een afzonderlijke technische, economische of milieukundige keuze vormt, zoals een bouwwerf, evenement, tijdelijke installatie, tijdelijke nutsvoorziening of noodopstelling. De diepgang waarmee het kader wordt toegepast, hangt af van schaal, duur, complexiteit, energie-intensiteit en hindergevoeligheid van de toepassing. De keuze vertrekt van de behoefteanalyse uit Hoofdstuk 5, het technologieoverzicht uit Hoofdstuk 4 en de kosten- en milieuaspecten uit de vorige hoofdstukken.

Het beslissingskader is een hulpmiddel voor een onderbouwde systeemkeuze. Het is geen verplicht stappenplan dat voor elk project integraal en met dezelfde detailgraad moet worden doorlopen; de kernprincipes – Grid First, vergelijking van opties en milieu-impact als kernafweging – gelden ongeacht de projectomvang. Voor kleine of eenvoudige toepassingen kan een gerichte screening volstaan; voor grotere, langdurige, complexe, energie-intensieve of hindergevoelige projecten is een meer uitgewerkte analyse aangewezen.

Het beslissingskader volgt het Grid First-principe: eerst wordt nagegaan of een tijdelijke netaansluiting beschikbaar, tijdig realiseerbaar en proportioneel is. Als netstroom volstaat, is geen aanvullende bron nodig. Als het net slechts een deel van de vraag dekt, worden batterijopslag, generatoren of een combinatie daarvan onderzocht. Als netstroom niet of niet tijdig beschikbaar is, wordt een off-gridoplossing gekozen op basis van energievolume, piekvermogen, projectduur, betrouwbaarheidseisen, hinder en kosten.

- **Kernprincipe: bijna haalbaar ≠ niet haalbaar**

Wanneer een optie in het kader op één criterium net niet voldoet, is de eerste stap niet automatisch doorschuiven naar de volgende, complexere optie. De eerste stap is terugkeren naar de behoefteanalyse (Hoofdstuk 5) en toetsen of de vraag zelf kan worden aangepast: kan het piekvermogen omlaag door gespreid opstarten of load shedding (§5.3.2–§5.3.3)? Kan een gebruiker in de tijd worden verschoven? Is een gebruiker werkelijk kritisch, of kan hij als onderbreekbaar worden geclassificeerd?

Een aangepaste vraag kan een eenvoudiger en goedkopere configuratie alsnog haalbaar maken. Dit geldt bij elke stap in de cascade (§6.3 en §6.4), niet alleen aan het einde (§6.3.5).

- **Toepassingsniveau**

Het beslissingskader is primair bedoeld voor de keuze op projectniveau: welke configuratie past het best bij dit specifieke project, met dit energieprofiel en deze randvoorwaarden? Bij bouwbedrijven die systemen aankopen speelt de systeemkeuze echter vaak ook op vlootniveau: in welke systemen investeert het bedrijf over meerdere projecten heen? Het kader biedt ook daarvoor de afwegingslogica, maar de uiteindelijke investeringsbeslissing zal dan een bredere portefeuille-afweging vragen die buiten de scope van dit hoofdstuk valt. Bij bedrijven die systemen huren, is de keuze doorgaans sterker projectgebonden.

- **Beslissingsmoment**

De systeemkeuze moet worden gemaakt tijdens de projectvoorbereiding, niet bij werfopstart. Wanneer de werf al draait, is het doorgaans te laat om nog tijdig een netaansluiting aan te vragen; Grid First valt dan in de praktijk weg.

Bij bouwprojecten speelt ook de opdrachtgever hierin een belangrijke rol, via bestekken, duurzaamheidscriteria en projectplanning, en door tijdig te laten onderzoeken of een tijdelijke of definitieve netaansluiting mogelijk is.

De verantwoordelijke voor de energievoorziening hoort daarom vanaf de projectplanning betrokken te worden; bij grotere projecten wordt dit best als afzonderlijk planningsitem opgenomen, analoog aan bemaling of kraanplanning. De achtergrond bij dit knelpunt staat in §3.1.4 (bouw) en §3.2.4 (evenementen); de aanbevelingen voor verankering in §9.3.1.

- **Afbakening en aannames rond regelgeving en veiligheid**

Het kader veronderstelt dat de gekozen oplossing steeds wordt uitgewerkt en toegepast in overeenstemming met de geldende regelgeving en veiligheidsvereisten, waaronder milieu- en emissievoorwaarden, geluidsvoorwaarden, elektrische veiligheid, brandveiligheid, opstellingsvereisten en werfveiligheid. De relevante wettelijke en normatieve kaders en hun implicaties worden behandeld in Hoofdstuk 2 (regelgeving en randvoorwaarden) en Hoofdstuk 7 (praktische implementatie en veiligheidsmaatregelen). Als een configuratie niet kan voldoen aan deze randvoorwaarden, wordt ze binnen dit hoofdstuk beschouwd als niet-toelaatbaar voor de betreffende context.

- **Locatiekeuze als pré-toetsing**

Voor projecten waarvan de locatie (nog) niet vastligt — met name bij evenementen, maar ook bij bepaalde tijdelijke installaties — is de nabijheid van bruikbare netinfrastructuur een relevante factor bij de standplaatskeuze. Dit geldt voor projecten op vaste terreinen met bestaande aansluitingen, maar ook voor situaties waarin een tijdelijke aansluiting technisch haalbaar zou zijn mits een geschikte locatie wordt gekozen. Het verschil in locatiegebondenheid tussen sectoren is gradueel: festivals zijn vaak gebonden aan vaste terreinen met bestaande infrastructuur of tradities, terwijl bouwerven in veel gevallen wél een tijdelijke netaansluiting kunnen aanvragen. De aanbeveling luidt daarom: onderzoek bij elke standplaatskeuze waar dat redelijkerwijs mogelijk is of de locatie toegang biedt tot het distributienet, consistent met het Grid First-principe. Dit onderzoek vindt idealiter plaats vóór de eigenlijke systeemkeuze (§6.2).

6.1.1 DOEL VAN DIT HOOFDSTUK

Het beslissingskader heeft drie doelen:

- Projectverantwoordelijken (bv. werfleiders, projectmanagers, eventorganisatoren) ondersteunen bij een doordachte systeemkeuze op basis van een samenhangende afweging van technische prestaties, kosten, milieu-impact, hinder en operationele haalbaarheid. Voor praktische toepassing wordt dit uitgebreide kader voorafgegaan of aangevuld door een compacte beslisboom/cascade, die als toegangspoort dient. Die cascade geeft de volgorde van toetsing weer, terwijl dit hoofdstuk de onderliggende criteria, nuances en motivering uitwerkt.
- Helpen komen tot een gemotiveerde keuze die aansluit bij het energieprofiel en de randvoorwaarden van het project.
- De brug vormen tussen de technologieën (Hoofdstuk 4), de behoefteanalyse (Hoofdstuk 5) en de uitvoering (Hoofdstuk 7), door de opties te herleiden tot een realistische shortlist en die waar nodig gestructureerd te vergelijken.

Het kader behandelt milieu-impact niet als een neven criterium, maar als een kernafweging. Waar meerdere opties technisch en operationeel haalbaar zijn, krijgt de optie met de lagere milieu-impact de voorkeur, ook wanneer die niet de goedkoopste is. Een beperkte meerkost voor een schonere oplossing

kan gerechtvaardigd zijn, in het bijzonder in hindergevoelige contexten (stedelijk gebied, nabij kwetsbare natuur of publiek). Deze afweging wordt geconcretiseerd in de economische proportionaliteitstoets (§6.3, criterium B5) en in de MCA (§6.6, criterium 4).

Tabel 21: Positionering van Hoofdstuk 6 in de beslissingsflow

Stap	Hoofdstuk	Doel
Behoeftanalyse en optimalisatie	5	Wat is het geoptimaliseerde, reële energieprofiel?
Technologie-overzicht	4	Welke technologische opties zijn er beschikbaar (met hun kenmerken, voor- en nadelen)?
Onderbouwde systeemkeuze	6	Welke optie(s) uit Hoofdstuk 4 zijn het meest geschikt voor het profiel uit Hoofdstuk 5, rekening houdend met alle criteria?
Praktische implementatie	7	Hoe zetten we de gemaakte keuze veilig en efficiënt om in de praktijk?

De output van dit hoofdstuk is:

1. een gekozen systeemconfiguratie (bv. net-only, net + batterij, net + generator, off-grid batterij, off-grid hybride, ...), en
2. een beknopte motivatie die het gekozen systeem koppelt aan het energieprofiel (Hoofdstuk 5), de randvoorwaarden en de afweging tussen prestaties, kosten, milieu-impact, operationele robuustheid en betrouwbaarheid.

Wanneer de keuze op een generator valt (hetzij als aanvulling op het net, hetzij als standalone of hybride off-grid oplossing), is de analyse daarmee niet afgerond. De verdere keuze van het generatortype (vermogensklasse, emissiestadium) en de gebruikte brandstof (diesel, HVO, waterstof) bepaalt in belangrijke mate de effectieve milieu-impact en wordt behandeld in §7.3.2.

6.1.2 BENODIGDE INPUT UIT HOOFDSTUK 5

Minstens de volgende gegevens moeten beschikbaar zijn:

- Vermogen (kW en kVA): onderscheid tussen actief vermogen (kW) voor energiebalansen en schijnbaar vermogen (kVA) voor aansluiting, beveiliging en omvormers.
- Piek op twee tijdschalen:
- “Demand peak”: hoogste 15-minuten-gemiddelde (relevant voor aansluitvermogen, nettarieven en structurele belasting).

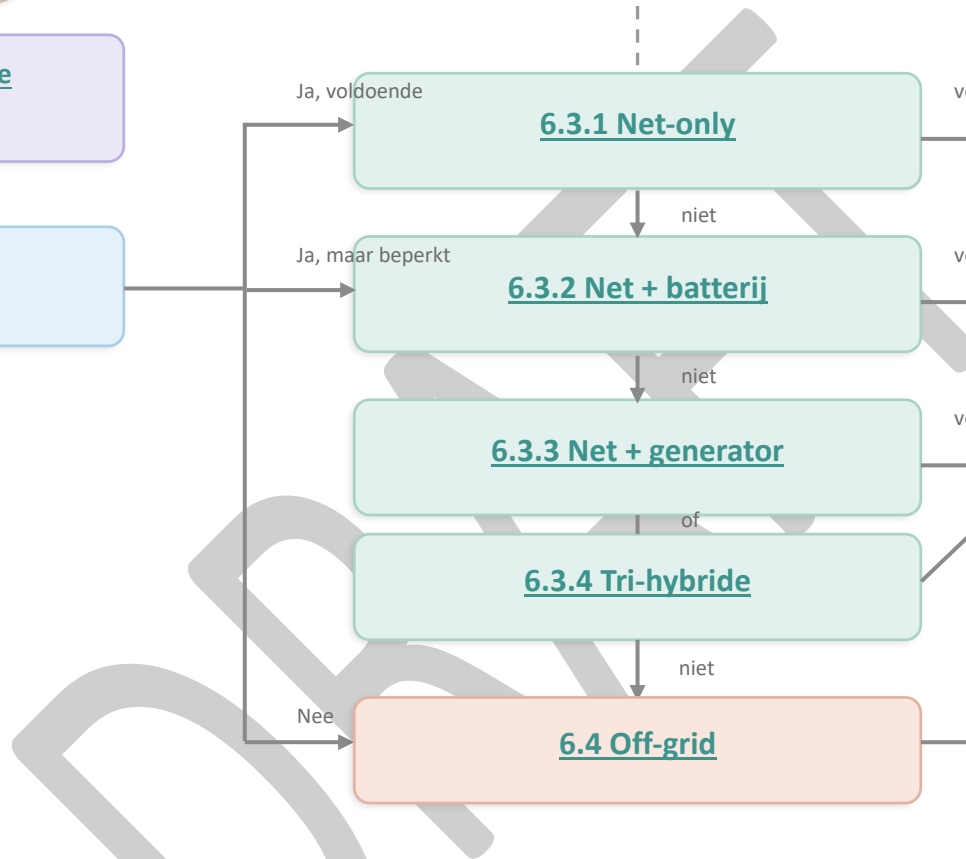
- “Kortstondige piek”: maximale piek over seconden tot minuten (relevant voor omvormer/generator stapbelasting en inschakelgedrag).
- Basislast (kW/kVA): minimaal (quasi-)continu vermogen tijdens bedrijfsuren en/of continu vermogen (24/7).
- Energievolume (kWh): energie per dag/week én totaal over de projectduur.
- Belastingprofiel: representatief dag-/weekprofiel met een tijdsresolutie die past bij de toepassing. Voor eenvoudige projecten volstaan referentieprofielen, kwartierwaarden of ervaringscijfers; bij sterk kortstondige lasten (hijsen, lassen, zware motorstarts) is meting op minuut- of secondenbasis aangewezen om het piekvermogen correct te bepalen.
- Power factor / aard van de last: indicatie van $\cos \phi$ en aanwezigheid van sterk niet-lineaire lasten (harmonischen) als dit relevant is voor stroomkwaliteit.
- Kritikaliteit en continuïteitseis: welke verbruikers “kritisch” zijn en welke maximale onderbrekingsduur toelaatbaar is (seconden/minuten/uren).
- Projectrandvoorwaarden: geluids- en emissie-eisen, opstelruimte, toegankelijkheid, veiligheidsafstanden, vergunningscontext, projectduur en planning.

Waar met richtwaarden of vuistregels wordt gewerkt, blijven deze indicatief. Bij twijfel primeert een projectspecifieke berekening of meting. Voor eenvoudige, kleinschalige of kortdurende projecten kan een vereenvoudigde behoefteanalyse uit Hoofdstuk 5 volstaan, bijvoorbeeld op basis van een inventaris, referentieprofielen, ervaringscijfers of leveranciersinput. Ook dan moeten piekvermogen, energievolume, kritische verbruikers en relevante randvoorwaarden minstens op hoofdlijnen worden ingeschat.

6.1.3 STRUCTUUR VAN HET BESLISSINGSKADER

Het beslissingskader is opgebouwd uit opeenvolgende stappen die onzekerheid reduceren en onnodige complexiteit vermijden:

- §6.2 – Haalbaarheid netaansluiting: screening via de distributienetbeheerder (DNB) en vastleggen van het instappunt (net haalbaar / beperkt / niet haalbaar).
- §6.3 – Netgebaseerde configuraties: keuze tussen net-only, net + batterij, net + generator en tri-hybride, waarbij de “voorkeursvolgorde” de afweging structureert maar geen absolute rangorde impliceert.
- §6.4 – Off-grid systemen: keuze tussen standalone batterij (§6.4.1), standalone generator (§6.4.2) en batterij + generator (§6.4.3). De paragraafvolgorde volgt de systeemcomplexiteit; de milieu-afweging en de expliciete vergelijking tussen §6.4.2 en §6.4.3 staan in de inleiding van §6.4.
- §6.5 – Redundantie-eis: behandeling van continuïteit en betrouwbaarheid als ontwerpvereiste (harde randvoorwaarde).
- §6.6 – Multicriteria-analyse (MCA): methodiek om, wanneer nodig, een beperkt aantal realistische alternatieven transparant en navolgbaar te vergelijken.



Figuur 8: Stappenplan voor het doorlopen van het beslissingskader

Noot: elke optie is slechts toepasbaar voor zover zij voldoet aan de geldende regelgeving en veiligheidsvereisten, waaronder AREI, VLAREM, brandveiligheid, geluidsvoorwaarden, emissievoorwaarden, opstellingsvereisten en lokale voorwaarden.

Het beslissingskader is opgebouwd als een stapsgewijs traject van eenvoudige naar complexere configuraties. Die volgorde loopt in veel gevallen ook van lagere naar hogere milieu-impact, maar niet altijd. Afhankelijk van het energieprofiel, de projectduur en de randvoorwaarden kan een latere optie in de hiërarchie functioneel of economisch beter passen dan een eerdere optie. Vanuit milieuoogpunt blijft een configuratie met minder generatoruren of minder lokale emissies in principe te verkiezen, voor zover zij technisch haalbaar en economisch proportioneel is. Binnen het off-grid kader kan een hybride oplossing (batterij + generator) daardoor een lagere milieu-impact hebben dan een standalone generator. Wie het stappenplan correct doorloopt, komt tot een onderbouwde en verantwoorde keuze, maar het instrument vervangt geen projectspecifieke beoordeling van de milieu-impact.

De drempels en rekenwaarden in dit hoofdstuk zijn indicatief. Ze dienen als snelle eerste toets (screening) om de meest kansrijke systeemconfiguratie te selecteren. Maak de definitieve keuze pas na projectspecifieke verificatie (netbeheerderbevestiging, kabelstudie, leveranciersdatasheets en/of TCO-berekening).

6.1.4 DOCUMENTATIE EN VERANTWOORDING

De CvGP creëert op zichzelf geen algemene juridische of contractuele verplichting om dit beslissingsproces te documenteren. Documentatie is in de eerste plaats bedoeld om de systeemkeuze intern te onderbouwen, kennis te borgen en de afweging tussen technische haalbaarheid, kosten, milieu-impact, hinder en veiligheid transparant te maken. De mate van documentatie hangt af van de schaal, duur, complexiteit en het risicoprofiel van het project en mag geen onnodige administratieve last creëren.

Het is niet de bedoeling dat deze documentatie standaard als administratieve bijlage bij meldingen of vergunningsaanvragen wordt toegevoegd. Externe toepassing is pas aan de orde wanneer dit expliciet volgt uit een bestek, contract, lokale voorwaarde, bijzondere vergunningsvoorwaarde of een gerichte vraag van de bevoegde instantie. In zulke gevallen moet de gevraagde onderbouwing proportioneel blijven. Voor vergelijkbare of terugkerende projecten kunnen globale analyses, referentieprofielen of standaardkeuzes volstaan, voor zover ze representatief zijn voor de concrete toepassing en de relevante randvoorwaarden.

De bedoeling van dit beslissingskader is niet om professionele afweging te vervangen, maar om ze transparanter, consistent en beter verdedigbaar te maken.

Voor standaardprojecten waarbij een netgebaseerde voorkeursconfiguratie rechtstreeks uit §6.3 volgt, kan een zeer beperkte vastlegging volstaan, bijvoorbeeld in een projectnota, werfvoorbereiding, offerte-vergelijking of intern dossier. Een afzonderlijk document is niet noodzakelijk wanneer de keuze op een andere manier voldoende navolgbaar is. De vastlegging kan beperkt blijven tot:

- het relevante energieprofiel uit Hoofdstuk 5,
- de getoetste criteria,

- en de gekozen configuratie.

Bij maatwerkprojecten waar meerdere opties uit §6.3 of §6.4 inhoudelijk zijn afgewogen, is een beknopte motivatie vereist. Die beschrijft welke configuraties zijn overwogen, welk criterium doorslaggevend was en hoe dit samenhangt met het belastingsprofiel en de projectrandvoorwaarden.

Wanneer een multicriteria-analyse (MCA) wordt toegepast (§6.6), wordt de volledige beslissingsmatrix gedocumenteerd. Dit omvat de geselecteerde alternatieven, de gehanteerde beoordelingscriteria, de weging en de onderbouwing van de scores.

Als wordt afgeweken van het “Grid First”-principe terwijl een netaansluiting volgens §6.2 in principe haalbaar was, wordt dit gemotiveerd. De documentatie vermeldt:

- welke netgebaseerde optie het dichtst bij haalbaarheid lag,
- welk criterium of welke randvoorwaarde doorslaggevend niet werd gehaald,
- en waarom projectaanpassing geen proportionele oplossing bood.

Tabel 22 geeft een overzicht van typische toepassingen en de systeemopties die in dit hoofdstuk verder worden uitgewerkt. De tabel is richtinggevend en vervangt het beslissingskader niet. De vermelde opties zijn geen automatische eindkeuze, maar opties die in de aangegeven context als eerste of prioritair moeten worden onderzocht. De definitieve keuze blijft afhankelijk van energieprofiel, projectduur, hindergevoeligheid, beschikbaarheid van netinfrastructuur, TCO en technische haalbaarheid.

Tabel 22: Typische toepassingen en richtinggevend eerste te toetsen systeemopties

Toepassing / activiteit	Kenmerken energieprofiel	Dominante optie(s)	Verwijzing
Kleinschalige renovatiewerken	Laag, stabiel verbruik	Net-only via bestaande infrastructuur waar mogelijk. Bij korte duur zonder bruikbaar aansluitpunt: standalone batterij bij laag energievolume of hindergevoelige context; kleine, moderne generator kan economisch uitkomen bij zeer korte duur of hogere autonomie-eis, mits minimale hinder- en emissiebeperking.	§6.3.1 / §6.4.1
Tijdelijke kantoren / werfketen	Constante basislast, beperkte pieken	Net-only (aftappen bestaande infra) of tijdelijke aansluiting (bij projectduur ≥ 8 weken voor vaste werken; ≥ 12 weken op dezelfde locatie voor verplaatsbare werken)	§6.3.1

Toepassing / activiteit	Kenmerken energieprofiel	Dominante optie(s)	Verwijzing
Tentoonstellingen / conferenties	Relatief constant verbruik	Net-only (aftappen bestaande infra); bij korte duur zonder beschikbaar aansluitpunt: standalone batterij	\$6.3.1 / \$6.4.1
Bouwprojecten met torenkraan	Intermitterende hoge pieken	Net + batterij	\$6.3.2
Evenementen met avond-/nachtprogramma	Piekmomenten + stilte-eis	Net + batterij als eerst te toetsen optie voor piekopvang wanneer netcapaciteit beperkt is of pieken kort zijn. Economische proportionaliteit hangt af van projectduur, aantal pieken, batterijgrootte, huurprijs en vermeden generatorgebruik; bij zeer korte inzet of beperkte pieken kan een andere configuratie economisch uitkomen.	\$6.3.2
Projecten met beperkte netcapaciteit	Basislast via net, pieken extern	Net + batterij	\$6.3.2
Langdurige infrastructuurwerken	Lange piekduur, hoge energie-inhoud	Net + generator	\$6.3.3
Industriële tijdelijke installaties	Kritische continuïteit	Net + generator / redundantie	\$6.3.3 / \$6.5
Projecten met beperkte netherlaadbaarheid	Batterij nuttig maar niet voldoende	Tri-hybride	\$6.3.4
Meetposten / monitoringinstallaties	Zeer laag verbruik, korte duur	Standalone batterij eventueel met zonnepanelen voor verlenging van de autonomie, bv. bij verlichting of verkeerssignalisatie	\$6.4.1
Kleine infopunten / tijdelijke kiosken	Laag energievolume	Standalone batterij	\$6.4.1
Korte evenementen met nul-emissie-eis	Laag verbruik, strikte randvoorwaarden	Standalone batterij	\$6.4.1

Toepassing / activiteit	Kenmerken energieprofiel	Dominante optie(s)	Verwijzing
Afgelegen werven met continu (24/7) verbruik	Hoog, stabiel verbruik	Standalone generator of batterij + generator, afhankelijk van belastingprofiel, draaiuren, hindergevoeligheid en proportionaliteit. Batterij + generator eerst toetsen bij variabele belasting of lage deellast; standalone generator kan uitkomen bij hoog, stabiel continu verbruik.	\$6.4.2 / \$6.4.3
Off-grid projecten met variabel profiel	Dal- en piekperiodes	Batterij + generator	\$6.4.3
Off-grid projecten met lage, continue belasting	< 5 kW continu, bv. pompen, werfketen, camerabewaking, signalisatie	Batterij + generator (all-in-one hybride)	\$6.4.3
Projecten met expliciete redundantie-eis	Ononderbreekbaarheid vereist	Redundantieconcept	\$6.5

Het is aangewezen de energievoorziening apart in de projectvoorbereiding op te nemen wanneer minstens één van de volgende situaties zich voordoet:

- (1) het verwachte vermogen overschrijdt circa 25 kVA,
- (2) de projectduur overschrijdt enkele weken,
- (3) de locatie is geluid- of emissiegevoelig, of
- (4) er is geen duidelijk bestaand aansluitpunt beschikbaar

6.2 IS EEN NETAANSLUITING HAALBAAR?

De eerste en meest aangewezen optie voor een tijdelijke elektriciteitsvoorziening is netstroom. Netgebaseerde oplossingen combineren in de meeste gevallen hoge betrouwbaarheid, beperkte operationele complexiteit en — bij voldoende capaciteit — een beperkte milieu-impact. Om die reden start het beslissingskader steeds met de vraag of een (tijdelijke) netaansluiting haalbaar, tijdig beschikbaar en technisch voldoende is voor het beoogde project.

6.2.1 TWEE VORMEN VAN NETGEBRUIK

In de praktijk bestaan twee verschillende vormen van netgebruik voor tijdelijke toepassingen:

1. Aftappen van bestaande infrastructuur: gebruik van een bestaande netaansluiting op of nabij de projectlocatie (bv. een bestaand aansluitpunt in een gebouw, een vaste aansluiting op een evenemententerrein, of een bouwstroomaansluiting op een beschikbaar punt). Dit vereist geen formele aanvraagprocedure bij de distributienetbeheerder (DNB) en kan doorgaans onmiddellijk worden ingezet, mits het beschikbare vermogen volstaat en er toestemming is van de aansluitingshouder.
2. Aanvraag van een nieuwe tijdelijke aansluiting bij de DNB: een formele procedure met een doorlooptijd die varieert van enkele weken (laagspanning, beperkt vermogen) tot meerdere maanden (middenspanning of hoger). Deze optie is pas proportioneel wanneer de projectduur voldoende lang is om de administratieve doorlooptijd, de kosten en de inspanning te verantwoorden.

Dit onderscheid is relevant omdat "net-only" als richtinggevende optie (§6.3.1) zowel kan verwijzen naar het gebruik van bestaande infrastructuur als naar een nieuw aangevraagde tijdelijke DNB-aansluiting. Bij korte of kleinschalige projecten zal aftappen van bestaande infrastructuur vaak de meest realistische netoptie zijn. Bij langere werven of toepassingen op een vaste locatie kan een nieuwe tijdelijke aansluiting echter wel proportioneel en aangewezen zijn. Tabel 22 maakt dit onderscheid waar nodig expliciet.

6.2.2 SCREENING OP BASIS VAN DISTRIBUTIENETBEHEERDER (DNB)-INFORMATIE

Wanneer aftappen van bestaande infrastructuur niet mogelijk is of niet volstaat, wordt zo vroeg mogelijk in het planningsproces een offerte of haalbaarheidsinschatting aangevraagd bij de distributienetbeheerder (DNB). Deze aanvraag vormt de centrale beoordelingsbasis voor deze stap. Het is niet de bedoeling dat de aanvrager zelf technische netstudies uitvoert of gedetailleerde berekeningen maakt; die verantwoordelijkheid ligt bij de DNB.

De aanvraag steunt op de energiebehoefteanalyse uit Hoofdstuk 5, in het bijzonder:

- het benodigde aansluitvermogen (kVA),
- het piekvermogen en de mate van gelijktijdigheid,
- de verwachte gebruiksduur en eventuele fasering van het project.

Correcte input is van belang om te vermijden dat de aansluiting later te krap blijkt of onnodig zwaar en duur wordt uitgevoerd. Bij de aanvraag is het van belang om expliciet een tijdelijke aansluiting te vragen, en geen definitieve aansluiting. In de praktijk is het onderscheid tussen beide trajecten bij de DNB niet altijd duidelijk voor de aanvrager, wat kan leiden tot langere doorlooptijden of een onnodig zwaar aanvraagproces. Bij onduidelijkheid over het juiste traject is voorafgaand informeel contact met de DNB aangewezen.

In de praktijk wordt het benodigde vermogen ook vaak overschat, wat leidt tot tragere procedures en hogere kosten. Een realistische dimensionering op basis van Hoofdstuk 5 is daarom nodig. Bij twijfel over de haalbaarheid kan vooraf informeel bij de DNB worden afgetoetst of een aanvraag voor het beoogde vermogen op de betreffende locatie realistisch is. Zo wordt vroeg duidelijk of een netgebaseerde oplossing een zinvol spoor is.

6.2.3 SPANNINGSNIVEAU EN DOORLOOPTIJD

Een belangrijk aandachtspunt in deze screening is het spanningsniveau waarop moet aangesloten worden. Tijdelijke aansluitingen op laagspanning (LS) kunnen in veel gevallen binnen enkele weken worden gerealiseerd, terwijl aansluitingen op middenspanning (MS) of hoogspanning (HS) vaak langere doorlooptijden vragen, variërend van meerdere maanden tot meer dan een jaar. In dergelijke gevallen is netstroom technisch misschien mogelijk, maar praktisch ongeschikt binnen de projectplanning.

Op basis van de beschikbare informatie van Fluvijs geldt als vuistregel dat aansluitingen tot 25 kVA doorgaans vlot kunnen worden gerealiseerd. Boven 25 kVA is bijkomend onderzoek nodig naar de lokale netcapaciteit en het belastingprofiel, wat de doorlooptijd kan verlengen.

Daarnaast kan ook de lokale netcapaciteit een beperkende factor zijn. Zelfs bij korte afstanden tot een aansluitpunt kan de beschikbare capaciteit ontoereikend zijn, wat kan leiden tot vermogensbeperkingen, aanvullende netstudies of extra kosten voor netversterking. Deze aspecten worden door de DNB beoordeeld en meegenomen in de offerte.

6.2.4 WANNEER IS EEN NIEUWE TIJDELIJKE AANSLUITING PROPORTIONEEL?

Een nieuwe tijdelijke DNB-aansluiting is doorgaans pas proportioneel wanneer de projectduur voldoende lang is om de doorlooptijd, administratieve inspanning en aansluitkosten economisch te verantwoorden. Als indicatieve richtwaarden gelden:

- Voor vaste werken (bouwwerven op een vaste locatie): een projectduur van minstens acht weken met nood aan elektriciteit.
- Voor verplaatsbare werken (werken die regelmatig van locatie wisselen, bv. wegenwerken): een projectduur op dezelfde locatie van minstens twaalf weken.

Deze drempels zijn gebaseerd op de Gentse bestekpraktijk voor eigen werven, onder meer het Gentse Collegebesluit van 7 maart 2024 (zie §2.3.7), en op achterliggende inschattingen en sectorbevragingen die in dat kader werden uitgevoerd. Ze zijn binnen het Begeleidingscomité besproken als praktische richtwaarden, maar vormen geen algemene Vlaamse norm of harde ondergrens. Ze houden niet alleen rekening met de administratieve doorlooptijd, maar ook met de economische haalbaarheid. In specifieke situaties kan een tijdelijke aansluiting al bij kortere duur proportioneel zijn, of pas bij langere duur, afhankelijk van vermogen, locatie, hindergevoeligheid, aansluitkost, beschikbare infrastructuur en planning.

Voor projecten korter dan deze drempels is een nieuwe tijdelijke aansluiting doorgaans niet proportioneel. Dit is geen absolute regel. Op locaties waar lokale hinder, luchtverontreiniging of geluid sterk doorwegen, kan een tijdelijke aansluiting ook bij kortere duur aangewezen zijn. Voorbeelden zijn smalle woonstraten met aaneengesloten bebouwing, dichtbevolkte stedelijke omgevingen, locaties nabij scholen, zorginstellingen of kwetsbare natuur, of projecten met nachtelijke werking. In dat geval zijn drie pistes mogelijk:

(1) aftappen van bestaande infrastructuur als die beschikbaar is,

(2) een off-grid oplossing (§6.4), of

(3) een combinatie van een kleinere netaansluiting of beperkte laagspanningsaansluiting, bijvoorbeeld in de grootteorde van 25–56 kVA waar dit door de DNB kan worden aangeboden, met een batterij om pieken op te vangen (§6.3.2). Een dergelijke beperktere aansluiting kan in sommige gevallen sneller realiseerbaar zijn dan een zwaardere aansluiting, indicatief binnen enkele weken tot circa 4–8 weken,

maar dit blijft afhankelijk van de lokale netcapaciteit, het gevraagde vermogen en de planning van de DNB.

Deze laatste optie kan in sommige gevallen een snellere en proportionelere oplossing zijn dan meteen een zwaardere netaanvraag.

Voor wegenwerken en andere verplaatsbare werken die frequent van locatie wisselen, is het Grid First-principe in de praktijk vaak niet toepasbaar via een nieuwe DNB-aansluiting. In die context is een off-grid oplossing (§6.4) doorgaans de realistische vertrekpositie.

6.2.5 FACTOREN DIE DE HAALBAARHEID BEPALEN

De beoordeling door de DNB wordt bepaald door verschillende technische, tijdgebonden en economische elementen. Relevante parameters zijn onder meer:

- het gevraagde vermogen en het belastingprofiel (continu, variabel, piekbelastingen);
- de beschikbare netcapaciteit op locatie;
- de afstand tot het aansluitpunt en de noodzakelijke infrastructuur;
- de doorlooptijd voor realisatie in verhouding tot de projectplanning;
- de totale aansluitkost, inclusief eventuele studiekosten of netaanpassingen.

Deze elementen worden hier niet gebruikt als beoordelingscriteria voor de aanvrager, maar dienen om te verduidelijken waarom een netaansluiting in bepaalde situaties niet of slechts beperkt haalbaar is. Verdere technische en implementatie-aspecten worden behandeld in Hoofdstuk 7.

Zodra de screening via de distributienetbeheerder (DNB) is afgerond, ligt vast of netstroom binnen planning en randvoorwaarden een realistische primaire elektriciteitsbron is. Bij uitkomsten met beperkingen (met name de overgang naar net + batterij (§6.3.2) of net + generator (§6.3.3)) is het aangewezen om de behoefteanalyse uit Hoofdstuk 5 kort te hernemen (profilering, gelijktijdigheid, fasering en sluimerverbruik) om te toetsen of de vraag nog kan worden bijgestuurd vóór een zwaardere of off-grid configuratie wordt gekozen.

§6.3 bouwt hierop voort en behandelt de conceptuele systeemkeuze bij beschikbare netstroom. Het doel verschuift van “kan netstroom?” naar “welke netgebaseerde configuratie voldoet aan het energieprofiel (Hoofdstuk 5) en de projectrandvoorwaarden?”. Daarbij geldt een hiërarchische logica: maximaliseer netgebruik en voeg pas aanvullende componenten (batterij, generator) toe wanneer dit nodig is om pieken, continuïteitseisen of andere randvoorwaarden af te dekken.

6.2.6 UITKOMST: VERDER MET NETGEBASEERD OF OFF-GRID (§6.3/6.4)

De uitkomst van §6.2 bepaalt het instappunt in §6.3 of §6.4:

- Uitkomst A (net haalbaar én voldoende): start bij §6.3.1 net-only en doorloop de hiërarchie enkel indien criteria niet gehaald worden.
- Uitkomst B (net haalbaar, maar beperkt):
 - *Eerst toetsen (Hoofdstuk 5):* Kan de vraag worden bijgestuurd vóór een zwaardere configuratie wordt gekozen? Kan het piekvermogen omlaag door gespreid opstarten

(§5.3.2) of load shedding (§5.3.3)? Biedt een kleinere netaansluiting (sneller beschikbaar, lagere kosten) in combinatie met een batterij een proportionelere oplossing dan een zwaardere netaanvraag?

- *Indien niet bijstuurbaar*: start bij §6.3.2 (net + batterij). Wanneer de piekduur, het energievolume, de herlaadbaarheid of de economische proportionaliteit een batterijoplossing uitsluit, wordt §6.3.3 (net + generator) getoetst.
- Uitkomst C (net niet haalbaar of niet tijdig):
 - *Eerst toetsen*: Waar de oorzaak “niet tijdig” is: kan een herziening van planning, fasering of energieprofiel (Hoofdstuk 5) alsnog een (beperkte) netoplossing mogelijk maken? Kan het project gefaseerd starten met een off-grid oplossing en na realisatie van de netaansluiting overschakelen?
 - *Indien niet bijstuurbaar*: ga naar §6.4 (Off-grid systemen).

De eerste optie in de hiërarchie die aantoonbaar voldoet, geldt als voorkeursconfiguratie. Waar met richtwaarden of vuistregels wordt gewerkt, blijven die indicatief; bij twijfel primeert projectspecifieke verificatie op basis van offertes, datasheets en (indien nodig) berekening, meting of leveranciersbevestiging.

Als een netaansluiting niet haalbaar is, ligt dat meestal aan doorlooptijd, kosten, beschikbaar vermogen of praktische beperkingen. Het Grid First-principe blijft wel het vertrekpunt.

6.3 NETGEBASEERDE SYSTEMEN

Wanneer het net niet volstaat en de resterende energievraag beperkt is, wordt vóór de keuze voor aanvullend generatorvermogen ook getoetst of een standalone batterij of batterijbuffer praktisch haalbaar is. Dit voorkomt dat net + generator automatisch als terugvaloptie wordt gekozen wanneer batterij-inzet de resterende pieken of stille periodes kan opvangen. De opties worden doorlopen in volgorde van toenemende systeemcomplexiteit (§6.3.1-6.3.4). De eerste optie die aantoonbaar voldoet, geldt als voorkeursconfiguratie. De kanttekening uit §6.1 blijft gelden: oplopende complexiteit valt niet altijd samen met oplopende milieu-impact. Als geen enkele netgebaseerde configuratie voldoet, gaat de analyse verder naar §6.3.5 en eventueel §6.4 (off-gridsystemen).

6.3.1 OPTIE A: NET ONLY – VOLLEDIGE NETVOEDING

Net only is geschikt wanneer het net de basisvraag, de 15-minutenpiek en de relevante kortstondige pieken kan dragen, en wanneer continuïteit en stroomkwaliteit geen back-up vereisen.

In tegenstelling tot §6.2, waar de infrastructurele haalbaarheid van de netaansluiting door de distributienetbeheerder (DNB) wordt beoordeeld, toetst deze paragraaf of net-only volstaat voor het energieprofiel en de projectvereisten. Dit geldt zowel bij aftappen van bestaande infrastructuur als bij een nieuwe tijdelijke DNB-aansluiting (zie §6.2.1 voor het onderscheid). Bij aftappen is de functionele toets dezelfde, maar het beschikbare vermogen wordt bepaald door de bestaande aansluiting en eventuele afspraken met de aansluitingshouder.

Bij langlopende projecten kan het verbruiksprofiel per bouwphase sterk verschuiven: van kraangebruik en bemaling in de ruwbouw naar verlichting, ventilatie en afwerkingsmachines in latere fasen. De haalbaarheidstoets wordt bij voorkeur per fase doorlopen, of minstens gedimensioneerd op het zwaarste verwachte profiel. Een configuratie die in één fase volstaat, kan in een andere ontoereikend zijn, of omgekeerd.

Haalbaarheidstoets (cumulatieve criteria):

- A1 – Het aansluitvermogen dekt het projectprofiel.

Het beschikbare aansluitvermogen dekt minstens de verwachte “demand peak” (15-minuten gemiddelde) met een realistische marge (bv. 10%).

Daarnaast wordt nagegaan of kortstondige pieken en inschakelstromen van projectspecifieke apparatuur (bv. motoren, kranen, lasinstallaties) kunnen worden opgevangen zonder buffering of extra vermogen.

- A2 – Pieken zijn kort en verstoren het gebruik niet.

Als kortstondige pieken optreden, moeten beveiligingen en spanningskwaliteit dit kunnen dragen zonder dat processen, comfort of veiligheid worden verstoord.

Gebruik meetdata of realistische aannames over duur en frequentie van pieken; beoordeel niet enkel één “maximaal getal”. Als richtlijn geldt dat piekvermogen maximaal 15 minuten per uur mag duren, wat overeenkomt met een capaciteitsfactor van 0,25 (piek actief 25% van de tijd)²⁰.

Deze richtwaarde dient als screening; doorslaggevend is de functionele impact van het piekgedrag binnen een net-only configuratie.

- A3 – Continuïteitseis laat ‘net-only’ toe

De continuïteitseisen van het project laten toe dat:

- korte onderbrekingen of spanningsonderbrekingen conform normale netexploitatie aanvaardbaar zijn,
- en kritische processen geen ononderbroken voeding vereisen.

Als de maximaal toelaatbare onderbreking lager ligt dan wat een net-only configuratie redelijkerwijs kan bieden, is een aanvullende configuratie (bv. batterij, ononderbreekbare stroomvoorziening (Uninterruptible Power Supply, UPS) of redundantieconcept) aangewezen (zie §6.5).

- A4 – Stroomkwaliteit en compatibiliteit

Het openbare net voldoet in principe aan de geldende kwaliteitsnormen (bv. NBN EN 50160), waarvoor de netbeheerder een inspanningsverbintenis heeft.

De gebruiker beoordeelt aanvullend of de specifieke projectapparatuur (bv. gevoelige elektronica, audio-installaties, IT, vermogenselektronica) deze netkwaliteit zonder bijkomende maatregelen verdraagt.

In sommige gebieden, met name aan het einde van lange landelijke netten of in zones met intensieve industrie, kunnen kwaliteitsproblemen optreden die gevoelige elektronica kunnen verstoren of

²⁰ Deze richtwaarde is gebaseerd op de gangbare dimensioneringspraktijk bij tijdelijke netaansluitingen. De verhouding 15 min/uur (capaciteitsfactor 0,25) is afgestemd met het Begeleidingscomité als pragmatische screeningswaarde. Voor de spanningskwaliteitstoleranties van het openbare net: zie EN 50160.

beschadigen (zie o.a. de kwaliteitsnorm NBN EN 50160 en de technische voorschriften C10/11 van Synergrid). In dergelijke gevallen is aanvullende bescherming of een alternatieve configuratie aangewezen.

- A5 – Operationele robuustheid blijft proportioneel

Het gebruik van een net-only configuratie leidt niet tot:

- een operationele complexiteit die niet in verhouding staat tot het project (bv. wanneer de netaansluiting door haar configuratie of locatie een verhoogd risico op uitval of verstoring met zich meebrengt), bv. door lange of kwetsbare kabeltracés, blootstelling aan bouwverkeer, of afhankelijkheid van een niet-redundant aansluitpunt,
- of een beheerlast die niet in verhouding staat tot de eenvoud van het concept.

Dit criterium heeft betrekking op de operationele betrouwbaarheid tijdens exploitatie, niet op aansluitings- of vergunningsaspecten (afgetoetst in §6.2).

Typische toepassingen

Voorbeelden van projecten die typisch aan deze criteria voldoen:

- Kleinschalige renovatieprojecten bij aftappen van bestaande infrastructuur; bij kortdurende werken zonder beschikbaar aansluitpunt kan een standalone batterij (§6.4.1) proportioneler zijn.
- Tijdelijke kantoorvoorzieningen, werfketen en langdurige bemalingen, mits projectduur en aansluitingsmogelijkheden een netaansluiting proportioneel maken of mits een bestaande aansluiting beschikbaar is, zie §6.2.4. Voor kritieke bemaling moet afzonderlijk worden nagegaan of back-up, alarmering of redundantie nodig is (§6.5).
- Evenementen met relatief constant verbruik, zoals tentoonstellingen of conferenties, mits bestaande aansluiting beschikbaar is op het terrein; voor korte evenementen zonder aansluitpunt is een standalone batterij (§6.4.1) vaak realistischer.
- Onderhoudswerken aan infrastructuur met beperkte elektrische uitrusting

Conclusie

Voldoet een project aan alle criteria? → Dan volstaat net-only. De implementatie hiervan wordt verder beschreven in Hoofdstuk 7.

Voldoet het project niet aan één of meer criteria? → Ga verder naar optie B (net + batterij, §6.3.2).

6.3.2 OPTIE B: NET + BATTERIJ – HYBRIDE ENERGIEOPSLAGSYSTEEM

Deze optie is geschikt wanneer het net beschikbaar is, maar pieken of randvoorwaarden (bv. een stilte, emissie-eis of geurbeperving) en buffer vereisen, en wanneer het net voldoende energie kan leveren om die buffer te herladen. De batterij voorkomt dan dat voor pieken of stille periodes meteen een aanvullende verbrandingsbron nodig is. Deze optie past vooral bij korte of onderbroken pieken, waarbij opslag functioneert als buffer en niet als primaire energiebron.

Haalbaarheidstoets: cumulatieve criteria

- B1 – Het net draagt de basislast en kan de batterij herladen

Het net dekt de basislast van het project en voorziet bovendien voldoende laadvermogen om de batterij tijdens dalperiodes of niet-piekuren te herladen.

Deze beoordeling gebeurt op basis van:

- het belastingprofiel (Hoofdstuk 5),
- de beschikbare laadtijd,
- en de verhouding tussen gemiddeld continu vermogen en beschikbaar aansluitvermogen.

Als indicatieve vuistregel kan gelden dat het beschikbare netvermogen een substantieel deel van het gemiddeld continu vermogen afdekt (orde van grootte $\geq 40\%$). Deze waarde is richtinggevend en geen harde grens; doorslaggevend is of het net effectief fungeert als primaire energiebron en niet louter als marginale bijlader.

- B2 – Batterijgrootte en brandveiligheid blijven beheersbaar

De vereiste batterijcapaciteit blijft binnen een schaal die op de locatie veilig en praktisch kan worden geplaatst en beheerd.

Voor gecertificeerde mobiele batterijsystemen (productveiligheid conform IEC 62619 of gelijkwaardig; transportbeproeving UN 38.3 of gelijkwaardig) gelden de eisen uit hun productcertificering als primair veiligheidskader. PGS 37-1 is opgesteld voor vaste installaties en is niet automatisch van toepassing op mobiele systemen. De technische en infrastructurele eisen uit PGS 37-1, zoals brandwerende compartimentering en grote veiligheidsafstanden, zijn niet zonder meer passend voor gecertificeerde mobiele BESS; welke bepalingen bruikbaar en proportioneel zijn, wordt per opstelling beoordeeld, in afstemming met de bevoegde overheid of hulpverleningszone²¹.

Voor de praktische omgang met brandveiligheid en meldingsplicht bij verschillende schaalgroottes wordt verwezen naar §7.2.4 en §7.3.3.

Grotere systemen (> 100 kWh) vereisen doorgaans grotere containers en bijkomende maatregelen (detectie, compartimentering, veiligheidsafstanden), wat de complexiteit verhoogt. Hoewel technisch haalbaar, moet dit proportioneel blijven ten opzichte van de beoogde functie van de batterij binnen het project.

²¹ De vergelijking met een elektrisch voertuig (60+ kWh, geen meldingsplicht) wordt in de sector vaak gemaakt, maar gaat niet volledig op: bij grotere mobiele BESS in containeropstelling spelen schaal- en insluitingseffecten (accumulatie van ontgassingsproducten in een afgesloten behuizing) een rol in de risico-inschatting die bij een open voertuig niet aan de orde zijn.

Vuistregel voor dimensionering²²:

$$\text{Capaciteit (kWh)} = (\text{Piekvermogen} - \text{Netcapaciteit}) \times \text{aantal uren piek per dag} \times 1,2$$

De factor 1,2 compenseert voor:

- beperkingen op ontlaaddiepte (DoD) (typisch 80–90% voor Li-ion),
- omvormingsverliezen (round-trip efficiëntie 90-95% op celniveau; systeemniveau 90-93%),
- een marge voor degradatie en operationele zekerheid.

Deze vuistregel geldt voor een min of meer constante (blokvormige) piek. Bij sterk wisselende belasting wordt de benodigde energie bepaald door de totale energie boven de netlimiet; het omvormervermogen wordt daarnaast afzonderlijk getoetst op de hoogste relevante piek.

- B3 – Herlaadbaarheid is aantoonbaar.

De batterij kan structureel worden herladen binnen het operationele regime van het project.

Toets dit via een eenvoudige energiebalans:

- beschikbare laadenergie uit het net (laadvermogen × laadtijd × efficiëntie),
- versus de dagelijks ontladen energie (incl. verliezen).

Als herladen niet betrouwbaar kan plaatsvinden, wordt de batterij een dominante energiebron in plaats van een buffer, en is een net + batterij configuratie functioneel niet robuust. In dat geval verschuift de beoordeling richting een net + generator (§6.3.3) of een tri-hybride configuratie (§6.3.4).

De screeningsvraag is concreet: kan het net de batterij binnen de beschikbare dalperiode (bv. nacht, pauzes, niet-piekuren) opnieuw voldoende laden om de volgende piekperiode te overbruggen? Als het antwoord "nee" is, volstaat een net + batterij configuratie niet.

Alternatieve laadconcepten, zoals het wisselen van batterijcontainers ("battery swap") zijn technisch mogelijk, maar worden binnen dit beslissingskader niet als standaardoplossing beschouwd wanneer het net onvoldoende structurele laadcapaciteit biedt. In dergelijke gevallen verschuift de energievoorziening naar externe laad- en transportlogistiek, wat de operationele complexiteit en indirecte milieu-impact verhoogt. Battery swap kan enkel proportioneel zijn bij zeer korte projecten of zeer lage energievolumes.

- B4 – Omgevingscondities en opstelplaats passen.

De omgevingscondities laten een veilige en duurzame exploitatie van batterijopslag toe.

Verifieer onder meer:

²² Deze vuistregel is bedoeld als eerste inschatting; het effectieve batterijontwerp moet steeds afgestemd worden op de specifieke bedrijfscycli en technische randvoorwaarden van het project.

- temperatuurbereik (typisch $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ tot $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ voor Li-ion, afhankelijk van datasheet),
- bescherming tegen vocht en mechanische belasting,
- en beschikbare opstelruimte en veiligheidsafstanden.

Bij afwijkende omstandigheden (extreme koude/warmte, beperkte ruimte) zijn aanvullende maatregelen nodig.

- B5 – Economische proportionaliteit en milieu-afweging

De beoordeling gebeurt via een projectspecifieke TCO-vergelijking op weekbasis, bij voorkeur op basis van actuele offertes. De vergelijking weegt niet alleen de directe financiële kosten, maar ook de vermeden milieu-impact (lokale luchtmissies, geur, geluid) wanneer een batterijoplossing een generator vervangt of vermijdt. In hindergevoelige contexten — woonwijken, nabijheid van scholen, zorginstellingen of kwetsbare natuur — kan een beperkte meerkost voor een batterijoplossing als goede praktijk worden beschouwd. Een abstracte procentuele drempel voor "aanvaardbare meerkost" is niet haalbaar; de afweging is projectspecifiek.

Oriëntatiepunten (indicatief, marktcondities 2025–2026):

- Vergelijking net + batterij t.o.v. standalone generator: er is niet altijd een meerkost. De uitkomst hangt af van huurprijs van batterij en generator, transport- en installatiekosten, elektriciteitsprijs, diesel- of HVO-prijs, generatorbelasting, draaiuren, projectduur en eventuele vermeden hinder- of emissiekosten. Bij korte inzet of lage benutting kan de batterij financieel duurder uitvallen; bij voldoende draaiurenreductie of hoge brandstofkosten kan net + batterij economisch gunstig zijn.
- Afweging t.o.v. netverzwaring (§6.3.1): een batterij kan economisch interessant zijn wanneer de netversterkingskost meer dan €15.000 bedraagt²³.
- Afweging t.o.v. grid + generator (§6.3.3): het omslagpunt ligt indicatief bij enkele weken tot maanden, sterk afhankelijk van belastingsprofiel, generatorklasse (Stage IIIA vs. V) en brandstofprijs²⁴.
- All-in-one hybride systemen (batterij + generator) tot ca. 30 kVA zijn qua transport- en installatiekosten nagenoeg gelijk aan een equivalente standalone generator; het verschil zit in de huurprijs. De bezettingsgraad bepaalt het omslagpunt.
- Deze richtwaarden zijn indicatief en verouderen snel. Baseer de finale beslissing steeds op actuele offertes, niet op de hier vermelde bedragen.

²³ De €15.000 drempel veronderstelt een typische projectduur van 20-25 weken. Bij kortere projecten ligt de drempel lager; bij langere projecten hoger.

²⁴ Aannames:

(a) Generatorhuur €200-450/week voor 50-100 kW;

(b) Brandstofverbruik 50-200 liter/week afhankelijk van belastingsprofiel bij €0,80/liter rode diesel (gemiddelde 2025);

(c) Totale generatorkosten indicatief €240-610/week.

Batterijhuur is hoger maar met nagenoeg geen brandstofkosten bij netaansluiting. Exacte cijfers zijn projectafhankelijk en moeten via offertes geïnterpreteerd worden.

De economische vergelijking mag niet als enige de doorslag geven: ook wanneer een batterijoplossing een beperkte meerkost heeft, kan deze als goede praktijk worden beschouwd wanneer daarmee relevante milieu- of hinderbaten worden gerealiseerd.

Richtlijn voor voorlopige dimensionering (indicatief):

- Omvormervermogen (kW/kVA): dimensioneer op de piek boven de netlimiet, op de relevante tijdschaal.
- Energiecapaciteit (kWh): inschatting als integraal van $(P_{load} - P_{net})$ over de periode van piekafvlakking, gedeeld door round-trip efficiency, en gecorrigeerd voor DoD en marge.

Voorbeelden van geschikte toepassingen:

- Bouwprojecten met zware, intermitterende elektrische uitrusting, zoals torenkranen;
- Evenementen met avond- en nachtprogramma's waarbij stille werking belangrijk is;
- Installaties in gebieden met geluidsgevoelige omgeving of emissierestricties;
- Projecten waar de netcapaciteit beperkt is en uitbreiding duur of traag is.

Conclusie:

Voldoet een project aan alle vijf deze criteria? → net + batterij geldt binnen dit beslissingskader als voorkeursconfiguratie.

Voldoet het project niet aan één of meer criteria? → Ga verder naar optie C (net + generator, §6.3.3).

6.3.3 OPTIE C: NET + GENERATOR – HYBRIDE MET FOSSIELE BACK-UP / PEAK SHAVING

Deze optie is passend wanneer het net aanwezig is, maar (i) piekperiodes te lang zijn voor een proportionele batterijoplossing, (ii) herladen via het net onvoldoende kan, of (iii) een redundantie-eis geldt. Deze optie is dominant bij langdurige piekbelasting of een hoge energie-inhoud, waar een batterijoplossing disproportioneel groot of complex zou worden.

Haalbaarheidstoets (cumulatief):

- C1 – Aantoonbare noodzaak.

Er wordt aangetoond dat:

- een net-only configuratie (§6.3.1) functioneel tekortschiet, en
- een net + batterij configuratie (§6.3.2) disproportioneel wordt door de vereiste energie-inhoud, laadbepalingen of schaal van batterijopslag.

Typische oorzaken zijn:

- langdurige piekbelasting (bv. meerdere uren per dag) waardoor de benodigde batterijcapaciteit snel toeneemt;

- onvoldoende laadvensters om een batterij betrouwbaar via het net te herladen;
- een nood aan zekere vermogensbeschikbaarheid over langere tijd.

Dit criterium voorkomt dat een generator wordt ingezet waar een batterij-oplossing functioneel volstaat.

Dit criterium is belangrijk in de logica van het beslissingskader: een generator wordt pas als aanvullende bron overwogen wanneer is aangetoond dat een net + batterij configuratie niet voldoet. Qua motivatie kan de gebruiker verwijzen naar het specifieke B-criterium (B1 t.e.m. B5) dat niet werd gehaald.

- C2 – Milieu-impact wordt geminimaliseerd binnen economische proportionaliteit.

Wanneer de inzet van een generator noodzakelijk is, worden maatregelen genomen om de milieu-impact zo laag mogelijk te houden. Deze maatregelen kunnen een meerkost veroorzaken, bijvoorbeeld door huur van een Stage V-generator of door gebruik van HVO in plaats van fossiele diesel. Die meerkost wordt meegenomen in de TCO-afweging, maar mag niet automatisch doorslaggevend zijn wanneer relevante milieu- of hinderbaten worden gerealiseerd. In hindergevoelige contexten kan een beperkte meerkost voor lagere emissies, minder geur of minder geluid als goede praktijk worden beschouwd. Dit omvat met name:

- Dimensionering: de generator wordt gedimensioneerd om langdurig in het optimale belastinggebied te draaien (typisch 60–80% van het nominale vermogen) en niet structureel in deellast (zie ook §7.3.2).
- Emissieklasse: bij keuze voor een dieselgenerator wordt bij voorkeur een Stage V-conforme motor ingezet. Oudere motorklassen (Stage IIIA en lager) worden enkel ingezet wanneer Stage V aantoonbaar niet beschikbaar is (zie §4.2 en §7.3.2).
- Brandstofkeuze: het gebruik van HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) of andere koolstofarme brandstoffen wordt actief overwogen wanneer beschikbaar en compatibel met de motor. Voor HVO geldt dat de klimaatwinst alleen mag worden meegeteld wanneer de herkomst en duurzaamheid aantoonbaar zijn onderbouwd; zie §4.5.1 voor de brandstofanalyse en §7.3.2 voor de praktische implementatievoorwaarden.
- Bedrijfsuren: de generator draait niet langer dan functioneel noodzakelijk. Waar mogelijk wordt een start-stopregeling of energiemanagementsysteem (EMS) ingezet om onnodige draaiuren te beperken.

Typische toepassingen

- Langdurige infrastructuurprojecten met onvoorspelbare piekvraag;
- Industriële installaties met kritische continuïteitseisen (100% redundantie, zie ook §6.5);
- Bouwplaatsen in afgelegen gebieden waar het net aanwezig maar beperkt is;
- Projecten met lange piekperiodes (>4 uur/dag) waar batterijen te groot worden.

Conclusie

Als aan de criteria C1 en C2 voldaan is, is net + generator een betrouwbaar en pragmatisch compromis. De implementatie wordt verder uitgewerkt in Hoofdstuk 7.

Als criterium C1 niet is voldaan → herbekijk eerst of een net + batterij configuratie (§6.3.2) alsnog haalbaar is, bijvoorbeeld door pieken te verlagen, verbruik te spreiden of batterijcapaciteit anders te kiezen. Als ook na opnieuw toetsen geen van de voorgaande opties voldoet → ga verder naar optie D (tri-hybride).

6.3.4 OPTIE D: NET + GENERATOR + BATTERIJ (TRI-HYBRIDE)

Een tri-hybride systeem combineert netstroom, batterijopslag en een generator, gestuurd door een EMS. Ze is vooral relevant in projecten waar net + batterij of net + generator afzonderlijk niet volstaat.

Een tri-hybride configuratie wordt typisch overwogen wanneer:

- het net beschikbaar is, maar onvoldoende of te onregelmatig om een batterij betrouwbaar te herladen;
- de batterij primair wordt ingezet voor pieken, stille periodes of lokale vermogenslevering;
- een generator nodig is om periodiek energie bij te laden, zonder langdurig of inefficiënt te draaien.

In de praktijk is deze configuratie niet beperkt tot grote projecten. Ze is vooral gangbaar op middelgrote werven met een beperkte netaansluiting (bv. 3×25 A) en intermitterende pieklast, zoals torenkraanvoeding: het net dekt de basislast, de batterij buffert de pieken en de generator laadt de batterij bij wanneer het net dat niet tijdig kan. De drempel voor toepassing is de gelijktijdige aanwezigheid van de drie functionele behoeften, niet de projectomvang.

Functionele rolverdeling

Bij tri-hybride moet de rol van elke component duidelijk zijn:

- Netstroom levert de structurele energie waar beschikbaar.
- De batterij fungeert als primaire vermogensbron voor pieken, intermitterende lasten en stille bedrijfsperiodes.
- De generator wordt niet continu ingezet, maar draait kortstondig op een hoog en efficiënt belastingniveau om:
 - de batterij bij te laden wanneer het net dit niet toelaat, of
 - uitzonderlijke vermogensvragen te ondersteunen.

Deze werkwijze voorkomt langdurig deellastbedrijf van de generator en kan, ondanks de extra component, minder generatoruren en lagere emissies opleveren dan een continu draaiende generator.

Wanneer is deze configuratie interessant?

Meerdere van onderstaande factoren moeten samen voorkomen:

- beperkte netcapaciteit in combinatie met uitgesproken piekdynamiek;
- de nood aan stille of emissiearme periodes, zonder dat batterij-only volstaat;

- een batterij die nuttig is, maar niet volledig via het net kan worden herladen;
- een projectduur waarbij reductie van generator-draaiuren een aantoonbare meerwaarde heeft.

Wanneer een generator wordt ingezet als onderdeel van een tri-hybride systeem, gelden dezelfde aanbevelingen als bij optie C (§6.3.3, criterium C2) met betrekking tot dimensionering, emissieklasse, brandstofkeuze en beperking van draaiuren.

Integratie en sturing

De meerwaarde van een tri-hybride configuratie veronderstelt een basisniveau van sturing (bv. start-stoplogica of een energiemanagementsysteem/EMS) dat de rolverdeling tussen net, batterij en generator actief aanstuurt. Zonder correcte afstemming vervalt het systeem in de praktijk naar generator-only gedrag, waarmee het voordeel van de configuratie verloren gaat. Dit aspect wordt verder uitgewerkt in §7.3.

Conclusie: dekt de tri-hybride configuratie het energieprofiel en de randvoorwaarden? → Implementatie via Hoofdstuk 7. Voldoet ook de tri-hybride niet? → Ga naar §6.3.5 voor heroverweging van de projectrandvoorwaarden en eventuele overgang naar off-gridsystemen (§6.4).

6.3.5 ALS GEEN ENKELE NETGEBASEERDE OPTIE VOLDOET

Situatie: Er is een netaansluiting beschikbaar (zie §6.2), maar geen van de opties A–D voldoet aan de criteria voor het project. Dit is de gedetailleerde uitwerking van het kernprincipe “bijna haalbaar ≠ niet haalbaar” (§6.1). Dit komt zelden voor bij standaard tijdelijke projecten en wijst meestal op zeer specifieke of conflicterende eisen (bv. combinatie van hoge pieken, lange piekduur, strikte hindercriteria en/of hoge continuïteitseisen) die een courante netgebaseerde oplossing onhaalbaar maken binnen de huidige projectrandvoorwaarden.

Vervolgstappen

Stap 1: Heroverweeg projectrandvoorwaarden en de behoefteanalyse (aanbevolen eerste stap)

Voordat netgebruik wordt verlaten, is het zinvol om te toetsen of het project of het energieprofiel kan worden aangepast (zie ook relevante paragrafen in Hoofdstuk 5: §5.3 en §5.5). Dit verlaagt vaak de complexiteit of maakt een netgebaseerde oplossing alsnog proportioneel.

Bijvoorbeeld:

- Kan het project worden opgesplitst in meerdere fasen met lagere gelijktijdige vraag?
- Kan de planning worden aangepast om betere netcapaciteit te benutten?
- Zijn er verbruikers die kunnen worden geëlimineerd, vervangen of anders aangestuurd?
- Is een andere opstelplaats mogelijk met betere nettoegang?
- Zijn alle eisen werkelijk hard, of is er ruimte voor heronderhandeling?

Besprek dit bij voorkeur met de opdrachtgever, de vergunningverlener (bij voorkeur vóór indiening van de vergunningsaanvraag, aangezien aanpassingen na vergunningverlening in veel gevallen een nieuwe procedure vereisen) en/of de netbeheerder.

Stap 2: Vergelijking van resterende realistische concepten (MCA of gerichte conceptstudie)

Als projectaanpassing niet mogelijk of wenselijk is, wordt de keuze herleid tot een beperkt aantal realistische concepten. Dit is doorgaans:

- een maatwerk netgebaseerd concept (bv. aangepaste dimensionering, sturing/EMS, andere rolverdeling tussen batterij en generator), en/of
- één of meerdere off-grid concepten, enkel wanneer netgebruik aantoonbaar niet voldoet (bv. onvoldoende vermogen, vergunningsbeperkingen, disproportionele doorlooptijd of kosten) of wanneer een eis off-grid in de praktijk afdwingt.

Wanneer er effectief meerdere alternatieven overblijven, kan een MCA (§6.6) helpen om de best passende optie navolgbaar te motiveren.

Documenteer expliciet (voor “Grid First”-verantwoording):

- welke netgebaseerde optie het dichtst bij haalbaarheid lag;
- welk criterium (of welke randvoorwaarde) doorslaggevend niet werd gehaald;
- waarom projectaanpassing niet mogelijk was;
- en waarom off-grid (indien van toepassing) proportioneel en verdedigbaar is.

6.4 OFF-GRID SYSTEMEN

Als uit de haalbaarheidstoets (§6.2) blijkt dat een netaansluiting onmogelijk is (bv. te duur, te laat of technisch niet realiseerbaar), wordt een off-gridsysteem gekozen.

Bij off-gridsystemen bepalen vooral het belastingprofiel, het totale energievolume en de geldende randvoorwaarden de geschiktheid van een oplossing; de systeemcomplexiteit of het aantal componenten is secundair. In tegenstelling tot het netgebaseerde kader (§6.3), waar de hiërarchie vertrekt van maximaal netgebruik, geldt bij off-gridsystemen geen intrinsieke voorkeursvolgorde.

Oplopende systeemcomplexiteit is bovendien niet hetzelfde als oplopende milieu-impact: een configuratie met batterij en generator (§6.4.3) kan in veel gevallen een lagere milieu-impact hebben dan een standalone generator (§6.4.2), doordat de generator minder draaiuren maakt en efficiënter wordt ingezet. In een off-grid context verschuift de afweging van netbeschikbaarheid naar de vraag welke combinatie van autonomie, hinderbeperking, flexibiliteit en proportionaliteit het best past bij het profiel van het project.

De drie hierna beschreven configuraties (standalone batterij, standalone generator en batterij + generator) dekken de meest voorkomende off-grid situaties af.

De afweging verloopt als volgt:

1. Zijn het energievolume en het piekvermogen zo laag dat een standalone batterij (eventueel met PV) het volledige project kan dekken zonder herlading ter plaatse? → §6.4.1 is de eerste toets.
2. Als een standalone batterij niet volstaat, worden standalone generator (§6.4.2) en batterij + generator (§6.4.3) als volwaardige alternatieven naast elkaar beoordeeld op basis van het belastingsprofiel, de projectduur, de omgevingscontext en de economische proportionaliteit. Geen van beide is per definitie "beter" dan de andere; de dominante oplossing wordt bepaald door de projectkenmerken.

Bij off-gridsystemen weegt milieu-impact zwaarder, omdat elke kWh lokaal wordt opgewekt. Het verschil in milieu-impact tussen een standalone generator en een batterij + generator-configuratie is daardoor groot en weegt mee als kernelement van de afweging, en moet dus apart worden meegenomen in de keuze.

Deze structuur wijkt bewust af van een sequentieel cascadesysteem. Een vaste volgorde 'eerst generator, dan hybride' is niet meer vanzelfsprekend: all-in-one hybride systemen (batterij + generator) kunnen in bepaalde toepassingen economisch vergelijkbaar zijn met standalone generatoren. In veel toepassingen kan een hybride oplossing vandaag al even kostenefficiënt of voordeliger zijn, met lagere generatoruren, minder brandstofverbruik en minder lokale emissies.

6.4.1 STANDALONE BATTERIJ

Een standalone batterijoplossing voorziet het volledige project van elektriciteit zonder lokale verbranding. De energie wordt vooraf extern geladen of beperkt ter plaatse bijgeladen (bv. via PV). Deze optie is alleen geschikt bij beperkte projectduur, beperkt energievolume en piekvermogen binnen de batterijcapaciteit.

Wanneer is deze optie geschikt?

Een standalone batterij is passend wanneer alle onderstaande voorwaarden zijn vervuld, of wanneer afwijkingen gemotiveerd worden:

- Zeer laag tot beperkt energieverbruik: het totale energievolume (kWh) over de projectduur blijft beperkt, zodat herladen tijdens het project niet of nauwelijks nodig is.
- Korte projectduur: typisch voor projecten van zeer korte duur (bv. 1–2 dagen), of toepassingen met onderbroken gebruik.
- Beperkt piekvermogen: het vereiste piekvermogen blijft binnen de continue vermogenscapaciteit van een mobiele batterijcontainer, zonder langdurige hoge ontlading.
- Strikte randvoorwaarden: situaties waar geluid, lokale emissies of uitlaatgassen niet zijn toegestaan (bv. binnenruimtes, tunnels, stedelijke context met nul-emissie-eis of andere locaties met strikte geluids- of emissierestricties).

Aanvulling met PV

Bij toepassingen met een zeer laag maar continu verbruik — zoals verlichting, verkeerssignalisatie, camerabewaking of meetposten — kan de autonomie van een standalone batterij worden verlengd door bijlading via een klein zonnepaneel. Dit vermindert de afhankelijkheid van de initiële batterijcapaciteit en kan de inzetduur significant verlengen. De effectieve bijdrage van PV is seizoens- en locatiegebonden (en in de winter beperkt) en moet realistisch worden ingeschat.

Afweging en aandachtspunten

Een standalone batterijoplossing is functioneel eenvoudig, maar kent duidelijke grenzen:

- Als het energievolume toeneemt, groeit de benodigde batterijcapaciteit snel, wat leidt tot grotere containers, hogere kosten en een zwaardere veiligheidscontext.
- Bij langere projecten ontstaat vaak een logistieke herlaadbehoefte. Externe herlading of batterijwissels zijn technisch mogelijk, maar verhogen het aantal transportbewegingen en

indirecte emissies en worden daarom niet als standaardoplossing beschouwd. Zie ook criterium B3 in §6.3.2.

- Voor zeer korte toepassingen moet ook de relatieve milieu-impact van transport worden meegenomen: het transport van een zware batterijcontainer kan disproportioneel zijn t.o.v. het effectieve energieverbruik.

Typische toepassingen

Voorbeelden van projecten waar deze optie proportioneel kan zijn:

- Meetposten en monitoringinstallaties, eventueel met PV-bijlading
- Kleine werfketen of tijdelijke infopunten
- Korte evenementen met laag verbruik
- Installaties in zones met absolute geluids- of emissiebeperkingen
- Kleinschalige renovatiewerken of kortdurende werken zonder beschikbaar netaansluitpunt (zie ook Tabel 22)

Conclusie

Voldoet het project aan deze voorwaarden?

→ Standalone batterij is de voorkeursoplossing binnen het off-grid kader.

Voldoet het project niet (bv. door te hoog energieverbruik, langere duur, hoge pieken)?

→ Beoordeel standalone generator (§6.4.2) en batterij + generator (§6.4.3) naast elkaar op basis van het belastingsprofiel, de omgevingscontext en de economische proportionaliteit (zie de afwegingslogica in de inleiding van §6.4).

6.4.2 STANDALONE GENERATOR

Een standalone generator voorziet het volledige project van elektriciteit via lokale energieopwekking. Deze configuratie is operationeel eenvoudig en breed inzetbaar, maar heeft een directe milieu- en omgevingsimpact op het vlak van luchtmissies (NO_x, fijnstof), CO₂-uitstoot, geur en geluid.

Vanwege die milieu- en omgevingsimpact is het bij elk off-grid project van belang om een standalone generator niet geïsoleerd te beoordelen, maar steeds te vergelijken met een batterij + generator configuratie (§6.4.3). In projecten met een hoog en stabiel energieverbruik kan een correct gedimensioneerde generator die langdurig in zijn optimale belastingsgebied draait, efficiënter en robuuster zijn dan een standalone batterij. Maar ook in die gevallen moet de vergelijking met §6.4.3 worden gemaakt, omdat een hybride opstelling de generator-draaiuren en daarmee de emissies sterk kan reduceren.

Wanneer is deze optie geschikt?

Een standalone generator is passend wanneer de volgende omstandigheden gezamenlijk gelden:

- Structureel hoog en continu energieverbruik: het project vraagt gedurende lange periodes een relatief constant vermogen dat niet door het net kan geleverd worden, waardoor een generator

efficiënt kan draaien in zijn optimale belastingsgebied. Een variabel belastingsprofiel met uitgesproken dal- en piekperiodes wijst eerder richting een batterij + generator configuratie (§6.4.3), ook bij hoog totaal energieverbruik.

- Langere projectduur: bij projecten van meerdere dagen tot weken wordt de benodigde energie-inhoud voor een batterij-only oplossing snel disproportioneel groot.
- Beperkte logistieke complexiteit: brandstoflevering is eenvoudiger en flexibeler dan het organiseren van herladen of wisselen van grote batterijcontainers.
- Geluid, geur en emissies zijn toelaatbaar: de projectlocatie en omgevingscontext laten de geluids-, geur- en emissie-impact van een continu draaiende generator toe. In hindergevoelige omgevingen (woonwijken, nabijheid van scholen, zorginstellingen, stedelijke context) is een standalone generator doorgaans niet de aangewezen keuze en moet een batterij + generator configuratie (§6.4.3) of een andere configuratie worden overwogen.

Afweging en aandachtspunten

Bij de keuze voor een standalone generator gelden de volgende aandachtspunten:

- Milieu-impact minimaliseren (vergelijkbaar met [criterium C2, §6.3.3](#))
- Bij inzet van een standalone generator vindt de volledige energieproductie lokaal plaats en ligt de milieu-impact per definitie hoger dan bij netgebaseerde oplossingen. Daarom gelden de volgende minimumaanbevelingen:
 - Dimensionering: de generator wordt gedimensioneerd om langdurig in het optimale belastingsgebied te draaien (typisch 60–80% van het nominale vermogen). Structurele deellast (< 30% van het nominale vermogen) leidt tot hoger specifiek brandstofverbruik, verhoogde slijtage en hogere emissies per geleverde kWh. Dit is een bijkomend argument om niet standaard "een maat groter" te dimensioneren en om bij variabele belastingsprofielen een hybride configuratie (§6.4.3) te overwegen, die de generator in het optimale werkpunt houdt.
 - Emissieklasse: generatoren waarvan de motor een EU-typegoedkeuring heeft als motor voor niet voor de weg bestemde mobiele machines: bij voorkeur Stage V-conform. Oudere motorklassen (Stage IIIA en lager) worden enkel ingezet wanneer Stage V aantoonbaar niet beschikbaar is. Bij onvermijdelijke inzet van Stage IIIA verdient HVO de voorkeur boven fossiele diesel (lagere netto-CO₂ en minder geur), maar dit compenseert het verschil met Stage V niet: Stage IIIA + HVO blijft op het vlak van fijnstof (factor 15–30) en NO_x (factor 3–8) aanzienlijk slechter dan Stage V op fossiele diesel (zie §4.2.5 en §4.5.1)
 - Brandstofkeuze: het gebruik van HVO of andere koolstofarme brandstoffen wordt overwogen wanneer beschikbaar en compatibel met de motor. Voor HVO geldt dat de klimaatwinst alleen mag worden meegeteld wanneer de herkomst en duurzaamheid aantoonbaar zijn onderbouwd; zie §4.5.1 voor de brandstofanalyse en §7.3.2 voor de praktische implementatievoorwaarden.
 - Milieu-impact: naast de directe luchtemissies en geluidsproductie moet ook rekening worden gehouden met de geurimpact en de indirecte emissies van brandstoftransport.

De verdere implementatierichtlijnen (dimensionering, onderhoud, brandstofbeheer, monitoring) zijn beschreven in §7.3.2.

Typische toepassingen

Voorbeelden van projecten waar een standalone generator proportioneel kan zijn:

- Off-grid infrastructuurwerken met continu en hoog verbruik en weinig variatie in het belastingsprofiel (bv. grote tijdelijke industriële installaties met stabiel vermogensprofiel);
- Afgelegen werven met voldoende afstand tot gevoelige omgeving;
- Projecten met voorspelbaar en stabiel belastingsprofiel.

Conclusie

Is het energieverbruik hoog en relatief constant, en zijn geluid en emissies toelaatbaar?

→ Standalone generator is een robuuste en pragmatische off-grid oplossing.

Is het belastingsprofiel sterk variabel, of spelen stilte- luchtkwaliteits- en efficiëntie-eisen een rol?

→ Ga verder naar §6.4.3 Batterij + generator.

Is het verbruik laag en continu (< 5 kW, bv. pompen, werfketen, camerabewaking, signalisatie)?

→ Beoordeel een batterij + generator configuratie (§6.4.3) als eerste optie. Bij dergelijke lage vermogens kan een all-in-one hybride systeem economisch vergelijkbaar zijn met een standalone generator, met minder draaiuren en lagere emissies.

6.4.3 BATTERIJ + GENERATOR

Een hybride configuratie met batterij en generator combineert lokale energieopwekking met energieopslag. In de praktijk is dit de meest veelzijdige off-grid oplossing voor tijdelijke projecten met een wisselend belastingsprofiel. De batterij en generator worden zodanig ingezet dat elke component zoveel mogelijk in zijn optimale werkingsgebied functioneert.

Wanneer is deze optie geschikt?

Een batterij + generator configuratie is passend wanneer meerdere van onderstaande kenmerken aanwezig zijn:

- Sterk variabel belastingprofiel: Afwisseling tussen lage basislast (nacht, pauzes, stand-by) en korte of middellange pieken (hijzen, piekproductie, evenementen).
- Te veel energie voor een standalone batterij, maar te variabel voor een efficiënt draaiende generator: Het totale energievolume is te groot voor een standalone batterij (§6.4.1), maar een generator-only oplossing (§6.4.2) zou langdurig in inefficiënte deellast draaien.
- Behoeft aan geluids-, emissie- of geurreductie: stilte of lage emissies zijn gewenst gedurende bepaalde periodes (bv. 's nachts, in stedelijke omgeving of nabij gevoelige receptoren), zonder de volledige batterij-only autonomie die een standalone batterij (§6.4.1) zou vragen.
- Projectduur van meerdere dagen tot maanden: De extra complexiteit van een hybride systeem wordt gecompenseerd door lagere brandstofkosten, minder draaiuren en verbeterde operationele flexibiliteit.

- Laag, continu verbruik (< 5 kW): Bij toepassingen zoals pompen, werfketen, camerabewaking of signalisatie kan een all-in-one hybride systeem (batterij + generator in één compacte unit) economisch vergelijkbaar zijn met een standalone generator van dezelfde vermogensklasse. De bezettingsgraad, niet de projectduur op zich, bepaalt hoe snel het kostenvoordeel zich manifesteert. Bij continu verbruik (24/7) zijn de besparingen op draaiuren en brandstof het grootst, waardoor een hybride oplossing ook bij korte projecten rendabel kan zijn.

Werking en functionele logica

In deze configuratie:

- de batterij levert de basislast en vangt korte pieken op, stil en emissievrij;
- de generator wordt enkel ingezet wanneer:
 - de batterij moet worden bijgeladen op hoog, efficiënt vermogen, of
 - uitzonderlijke pieken het batterijvermogen overschrijden.

Hierdoor draait de generator:

- minder uren,
- op hogere en stabielere belasting,
- en met lagere specifieke emissies en lager brandstofverbruik.

In de praktijk worden reducties van 50–70% op generator-draaiuren gerapporteerd bij typische bouw- en werfprofielen (zie o.a. §8.3.1 en §8.3.2 voor concrete voorbeelden), met aanzienlijke dalingen in brandstofverbruik, NO_x- en fijnstofemissies. De exacte besparing is sterk afhankelijk van het belastingsprofiel en de dimensionering.

Afweging en aandachtspunten

- Voor de generatorcomponent gelden dezelfde aanbevelingen als bij een standalone generator (§6.4.2): bij voorkeur Stage V-conform, correct gedimensioneerd op het laadprofiel, niet op de volledige piekvraag, en bij voorkeur op HVO of een andere koolstofarme brandstof wanneer beschikbaar. De verdere implementatierichtlijnen zijn beschreven in §7.3.2 (generatoren) en §7.3.3 (batterijsystemen).
- Integratie en sturing: De meerwaarde van deze configuratie veronderstelt een basisniveau van sturing (bv. start-stoplogica of EMS). Zonder correcte afstemming vervalt het systeem naar generator-only gedrag, waarmee het voordeel van de hybride configuratie verloren gaat. Dit aspect wordt verder uitgewerkt in §7.3.5.
- Milieu-impact bij generatorinzet: Ook in een hybride configuratie blijft de generator een bron van lokale emissies, geluid en geur wanneer deze draait. De winst zit in de reductie van het aantal draaiuren en het efficiënter inzetten van die uren. Bij de keuze van de generator gelden dezelfde milieuaanbevelingen als in §6.4.2 (emissieklasse, brandstofkeuze, dimensionering).

Typische toepassingen

De configuratie is proportioneel wanneer de eventuele meerkost t.o.v. een standalone generator in verhouding staat tot de winst in draaiuren, brandstof, emissies en hinder. Bij zeer korte inzet is de

configuratie economisch niet altijd voordeliger, maar kan de beperking van hinder en emissies de keuze alsnog verantwoorden. Voorbeelden van projecten waar dit het geval is:

- Bouwplaatsen met wisselend elektrisch materieel
- Evenementen met dag-/nachtprogramma
- Tijdelijke installaties met duidelijke dal- en piekperiodes
- Off-gridprojecten waar geluid en efficiëntie belangrijk zijn, maar niet absoluut
- Off-gridprojecten met lage, continue belasting (< 5 kW) voor bv. pompen, werfketen, camerabewaking, signalisatie.
- Hybride lichtmasten (ledmasten) voor terreinverlichting bij wegenwerken en evenementen, als compact all-in-one alternatief voor dieselgedreven verlichtingstorens (zie §3.3.8).
- Binnenstedelijke wegenwerken of nutswerken met bemaling, waar een hybride opstelling de generator-draaiuren en de geluids- en geurhinder voor omwonenden kan verlagen.

Conclusie

Is het belastingsprofiel variabel en het energievolume te groot voor batterij-only, terwijl generator-only inefficiënt of ongewenst is?

→ Batterij + generator is de voorkeursoplossing.

Is het verbruik laag en continu, en is de omgevingscontext hindergevoelig?

→ Een all-in-one hybride systeem verdient ook hier de voorkeur boven een standalone generator.

Tabel 23: Vergelijking standalone generator versus batterij + generator

Kenmerk	Standalone generator (§6.4.2)	Batterij + generator (§6.4.3)
Belastingsprofiel	Hoog, constant, weinig variatie	Variabel, pieken + dalen
Energievolume	Hoog, continu	Matig tot hoog
Milieu-impact	Continu emissies, geluid, geur	Gereduceerd (50–70% minder draaiuren)
Omgevingscontext	Afgelegen, weinig hindergevoelig	Stedelijk, hindergevoelig, nachtwerk
Economie (≤30 kVA)	Vergelijkbaar met hybride	Vergelijkbaar met standalone
Economie (>30 kVA)	Lagere CAPEX; hogere OPEX	Hogere CAPEX; lagere OPEX

Kenmerk	Standalone generator (§6.4.2)	Batterij + generator (§6.4.3)
Operationele complexiteit	Laag	Middel (EMS/start-stoplogica vereist)

Binnen het off-grid kader is geen van de configuraties (§6.4.1–§6.4.3) per definitie "beter" dan de andere. Belastingprofiel, energievolume en randvoorwaarden bepalen de dominante oplossing; niet de mate van elektrificatie of de systeemcomplexiteit. De afwegingslogica uit de inleiding van §6.4 blijft leidend: standalone batterij als eerste toets, daarna standalone generator en batterij + generator naast elkaar.

6.5 REDUNDANTIE-EIS (CONTINUÏTEIT EN BETROUWBAARHEID)

In sommige projecten volstaat het niet dat de energievoorziening *meestal* beschikbaar is. Continuïteit en stroomkwaliteit zijn dan harde ontwerpvoorwaarden: zelfs korte onderbrekingen of spanningsafwijkingen zijn onaanvaardbaar. Redundantie stuurt dan rechtstreeks de systeemkeuze.

Een redundantie-eis is gerechtvaardigd wanneer een onderbreking kan leiden tot:

- veiligheidsrisico's,
- ernstige operationele of financiële gevolgen,
- contractuele sancties (SLA's),
- reputatieschade of maatschappelijke impact.

De beoordeling of een redundantie-eis geldt, vloeit voort uit de kritikaliteitsanalyse in §5.2.2: welke gebruikers zijn als "kritisch" geclassificeerd, en wat is de maximaal toelaatbare onderbrekingsduur?

Typische voorbeelden zijn live broadcasting, internationale evenementen, "mission-critical" tijdelijke installaties en tijdelijke zorg- of noodvoorzieningen. Voor dergelijke projecten moet vooraf duidelijk worden vastgelegd:

- welke gebruikers kritisch zijn,
- welke maximale onderbrekingsduur aanvaardbaar is (milliseconden, seconden of minuten),
- en of ook stroomkwaliteit (spanningsdips, frequentievariëaties) kritisch is.

Zodra een redundantie-eis geldt, heeft dit directe gevolgen voor het beslissingskader. Enkelvoudige configuraties vallen dan af, ook wanneer ze energetisch of economisch geschikt lijken. Kosten en efficiëntie worden dan ondergeschikt aan betrouwbaarheid. Redundantie wordt daarom niet geïntegreerd als bijkomend criterium in §6.3 of §6.4, maar apart behandeld.

Redundantie bij beschikbare netaansluiting

Wanneer netstroom beschikbaar is, fungeert die meestal als hoofdbron. Een lokale back-up neemt over bij netuitval.

Een typische opbouw bestaat uit:

- netvoeding als hoofdbron,
- één of meerdere stand-by generatoren met automatische omschakeling (ATS),
- een UPS voor kritieke lasten als zelfs een onderbreking van enkele seconden niet toelaatbaar is.

Een batterijsysteem kan in bepaalde configuraties de rol van UPS en/of stand-by bron vervullen, met als voordeel een snellere omschakeltijd (milliseconden in plaats van seconden bij een generator met ATS) en stille werking. De keuze tussen generator- en batterijgebaseerde redundantie hangt af van de vereiste autonomieduur, het vermogen en de beschikbare opstelruimte.

Bij deze configuratie moet worden vastgelegd:

- de maximale toegestane onderbrekingstijd,
- het omschakelconcept (volgorde, prioriteiten),
- en de vereiste brandstofvoorraad en interventiecapaciteit.

Regelmatig testen van de omschakeling en de noodvoorzieningen is nodig om de effectieve betrouwbaarheid te garanderen.

Redundantie zonder netaansluiting (off-grid)

Wanneer geen net beschikbaar is, moet redundantie volledig via meervoudige lokale bronnen worden gerealiseerd. De keuze hangt af van de kritikaliteit van de toepassing en de aanvaardbare complexiteit.

Gangbare redundantieconcepten zijn:

- N+1: naast de N eenheden die nodig zijn om de kritische belasting te dragen, is één extra eenheid beschikbaar, zodat na uitval van één eenheid voldoende capaciteit overblijft,
- 2N: twee volledig onafhankelijke voedingen, toegepast bij zeer hoge kritikaliteit,
- een UPS om stroomkwaliteit te garanderen en onmiddellijke buffering te voorzien.

In een off-gridcontext kan een batterij + generator configuratie (§6.4.3) inherent een zekere mate van redundantie bieden: bij uitval van de generator levert de batterij tijdelijk verder, en omgekeerd. Dit is echter geen volwaardige redundantie in de zin van N+1 of 2N, tenzij batterij en generator elk afzonderlijk de volledige kritieke last kunnen dragen gedurende de vereiste autonomieduur. Bij projecten met een redundantie-eis moet dit uitdrukkelijk worden geverifieerd.

In deze situaties moeten naast de energieopwekking ook brandstoflogistiek, monitoring en interventieorganisatie worden geborgd. Zonder deze elementen verliest het redundantieconcept zijn waarde.

Positionering ten opzichte van MCA

Wanneer een redundantie-eis geldt, is redundantie een harde randvoorwaarde. Alternatieven die hier niet aan voldoen, worden uitgesloten vóór een eventuele multicriteria-analyse. De MCA (§6.6) vergelijkt in dat geval enkel configuraties die de vereiste redundantie al integraal bevatten.

Conclusie

Als een redundantie-eis van toepassing is, bepaalt deze de systeemopbouw en is dit geen extra optimalisatiecriterium. De praktische implementatie en technische uitwerking van redundante systemen worden verder behandeld in Hoofdstuk 7.

6.6 MULTICRITERIA-ANALYSE

Als de voorgaande stappen (§6.2 tot en met §6.5) geen duidelijke systeemkeuze opleveren, kan een multicriteria-analyse (MCA) helpen om de opties systematisch te vergelijken. De MCA is een gestructureerde methode om meerdere haalbare en toelaatbare systeemopties te vergelijken op basis van verschillende, vaak tegenstrijdige, beoordelingscriteria. Zo worden kosten, emissies, geluid, uitvoerbaarheid en betrouwbaarheid in één afwegingskader samengebracht.

De MCA is geen verplichte stap, maar een nuttig hulpmiddel wanneer de keuze niet eenduidig is. Voor een doorsnee project waarin het stapsgewijze kader een duidelijke uitkomst geeft, is de MCA overbodig.

In welke situaties is een MCA zinvol?

Een MCA is aangewezen wanneer:

- er meerdere technisch haalbare opties zijn, zonder duidelijke voorkeur;
- de keuze afhangt van tegenstrijdige prioriteiten (bv. laagste kost vs. laagste emissies vs. minste geluid);
- netgebaseerde en off-grid oplossingen vergelijkbaar scoren, of meerdere off-grid configuraties in aanmerking komen;
- de opdrachtgever een gemotiveerde en transparante keuze verwacht.

Opties die op voorhand niet voldoen aan harde voorwaarden – zoals eisen rond betrouwbaarheid, vergunningen of geluid – worden niet meegenomen in de analyse. Werk deze harde randvoorwaarden zo vroeg mogelijk in het traject uit, bij voorkeur al bij de projectvoorbereiding en de behoefteanalyse (Hoofdstuk 5). Wanneer een overheid dergelijke criteria als harde eis hanteert, kan een optie die pas in de MCA-fase afvalt, al aanzienlijke voorbereidingstijd hebben gekost.

Wat wordt vergeleken?

Beperk de vergelijking tot maximaal drie tot vier relevante configuraties. Dat kunnen zijn:

- de best passende netgebaseerde oplossing uit §6.3;
- één of meerdere off-grid configuraties uit §6.4;
- eventueel een hybride of alternatieve variant, als die technisch en organisatorisch haalbaar is.

Het doel is niet om alle denkbare opties af te dekken, maar om een onderbouwde keuze te maken tussen een beperkt aantal realistische alternatieven.

Waarop worden de opties beoordeeld?

De MCA hanteert een vaste set beoordelingscriteria, gegroepeerd in zes domeinen die samen bepalen of een energiesysteem geschikt is voor het project.

Niet alle zes domeinen werken op dezelfde manier. Twee ervan zijn drempelcriteria: een optie die hier niet aan voldoet, valt af vóór de MCA-scoring. De overige vier zijn wegingscriteria: ze worden gescoord en gewogen om de uiteindelijke rangorde te bepalen.

Drempelcriteria (ja/nee, vooraf toetsen):

1. Technische en functionele geschiktheid

Levert het systeem het vereiste vermogen, energievolume en de gevraagde stroomkwaliteit betrouwbaar binnen het belastingsprofiel en de continuïteitseisen? Een systeem dat technisch niet functioneert, is geen kandidaat.

2. Veiligheid en regelgeving

Kan de configuratie voldoen aan alle veiligheids- en vergunningsvereisten (AREI, VLAREM, ATEX, en Stage V waar dat contractueel, in de vergunning of lokaal is opgelegd)? Niet-conforme opties worden uitgesloten vóór verdere scoring. Opties die de drempeltoets doorstaan, kunnen onderling nog verschillen in vergunningscomplexiteit of -risico; dat verschil wordt meegenomen in de wegingscriteria (met name operationeel en strategisch).

Een optie die op een van deze twee domeinen niet voldoet, valt af. De toets gebeurt vooraf. Pas wanneer alle resterende opties technisch en regelgevend voldoen, worden ze vergeleken op de vier wegingscriteria.

Wegingscriteria (scoren en wegen):

3. Economisch

Vergelijkt de totale projectkost of TCO op basis van actuele prijzen, inclusief installatie, energie- of brandstofverbruik, onderhoud en eventuele netkosten, afgestemd op de projectduur.

4. Milieu-impact en hinder

Evalueert lokale luchtemissies (NO_x, fijnstof), geur en geluid tijdens gebruik, aangevuld met relevante keteneffecten zoals energieherkomst en logistieke impact, in verhouding tot de projectcontext.

5. Operationeel en logistiek

Toetst de praktische inzetbaarheid tijdens uitvoering, met aandacht voor installatie, monitoring, onderhoudsbehoefte, energie- of brandstoflogistiek en flexibiliteit bij wijzigingen.

6. Strategisch en contextueel

Beoordeelt de aansluiting bij organisatiedoelstellingen, stakeholderverwachtingen en reputatieoverwegingen, op een transparante en aantoonbare manier.

De weging van deze vier domeinen is contextafhankelijk en wordt per project bepaald. Niet elk domein weegt in elk project even zwaar, maar "lichter wegen" betekent niet "negeren": elk domein moet minstens voldoende scoren. De weging bepaalt de rangorde wanneer gekozen moet worden tussen opties die allemaal aan een minimumdrempel voldoen.

Tabel 24: Indicatieve wegingsvoorbeelden bij een MCA

Context	Zwaardere wegen	Lichter wegen
Werf in industriegebied, strakke planning	Economisch, operationeel	Milieu-impact, strategisch
Evenement in stadscentrum	Milieu-impact (geluid, emissies)	Economisch (beperkte meerprijs aanvaardbaar)
Overheidsopdracht met duurzaamheidseisen	Strategisch, milieu-impact	Operationeel (meer voorbereidingstijd beschikbaar)

Deze voorbeelden zijn illustratief. De feitelijke weging wordt projectspecifiek vastgelegd en gemotiveerd.

Hoe werkt de scoring?

De MCA verloopt samengevat in vijf stappen (Bijlage 3 werkt dit uit in zes stappen):

Stap 1 — Selecteer de haalbare configuraties uit het beslissingskader (typisch 3–4 opties).

Stap 2 — Toets de drempelcriteria: voldoet elke optie aan de technische functionaliteit en aan veiligheid/regelgeving? Zo niet → optie valt af.

Stap 3 — Weeg de domeinen volgens de projectcontext: bepaal welke van de vier wegingscriteria voor dit project zwaarder en welke lichter wegen, en motiveer die keuze.

Stap 4 — Scoor elke optie per domein. De scoring kan eenvoudig zijn (bv. +/0/– of een schaal van 1 tot 5), of meer uitgewerkt op basis van offertes, berekeningen en technische fiches. De gebruikte methodiek is minder belangrijk dan de transparantie en consistentie van de toepassing.

Stap 5 — Vergelijk. De MCA maakt de afweging transparant en verdedigbaar. Het doel is niet om een schijnbaar exact eindcijfer te bekomen, maar om de keuze te bespreken met opdrachtgevers, vergunningverleners of andere betrokken partijen.

Wat levert de MCA op?

De analyse toont:

- welke factoren de keuze bepalen,
- waar de belangrijkste afwegingen liggen,
- en waarom een bepaalde oplossing de voorkeur krijgt.

Kleine scoreverschillen vragen interpretatie en mogen niet mechanisch worden gelezen. Professioneel inzicht blijft noodzakelijk om de resultaten correct te duiden. Een concrete uitwerking van dit MCA-proces, inclusief shortlist, criteriascores en gewogen eindafweging, is opgenomen in praktijkvoorbeeld §8.3.7 en uitgewerkt in Bijlage 3.

Hoe moet dit worden vastgelegd?

Voor standaardprojecten volstaat:

- een overzichtelijke MCA-tabel,
- met een korte toelichting bij de gekozen weging en de voorkeursscore.

Voor complexere of gevoelige projecten:

- wordt de volledige analyse uitgewerkt,
- inclusief aannames en (indien relevant) een gevoeligheidsanalyse.

Rol van de MCA binnen het beslissingsproces

De MCA ondersteunt de besluitvorming, maar vervangt die niet. Ze bouwt verder op eerdere stappen, waaronder:

- de haalbaarheidstoets (§6.2),
- de systeemkeuzes (§6.3 en §6.4),
- de beoordeling van redundantie (§6.5).

De volledige methodiek, inclusief scoretabellen, wegingsformules en een uitgewerkt rekenvoorbeeld, is opgenomen in Bijlage 3. De meerwaarde van een MCA ligt niet in rekenkundige precisie, maar in het expliciet maken van afwegingen die anders impliciet of intuïtief zouden blijven.

6.7 CONCLUSIE

Dit hoofdstuk reikt een gestructureerd beslissingskader aan om tijdelijke elektriciteitsvoorzieningen te selecteren op basis van energiebehoefte, technische haalbaarheid, operationele betrouwbaarheid, kosten en milieu-impact. Centraal staat daarbij het principe “*Grid First*”, aangevuld met batterij- en generatoroplossingen wanneer dit functioneel of contextueel noodzakelijk is. De diepgang waarmee het kader wordt toegepast, schaalt met de omvang, duur en complexiteit van het project (zie het kader Proportionele toepassing bij DEEL 2); de kernprincipes gelden ongeacht de schaal. De uitgewerkte configuraties tonen aan dat voor het overgrote deel van tijdelijke projecten vandaag meerdere technisch valabele alternatieven bestaan, waaronder oplossingen met een veel lagere milieu-impact dan klassieke dieselgeneratoren.

Het kader loopt doorgaans van lagere naar hogere milieu-impact, maar dat is niet altijd gegarandeerd. Met name in het off-grid kader (§6.4) kan een hybride configuratie een lagere milieu-impact hebben dan een standalone generator. Het kernprincipe “bijna haalbaar ≠ niet haalbaar” (§6.1) zorgt ervoor dat de lezer bij elke stap eerst de vraag herbekijkt vóór hij opschaaft naar een complexere configuratie.

Wanneer de keuze op een generator valt (als aanvulling op het net, §6.3.3 of §6.3.4, of als standalone of hybride off-grid oplossing, §6.4.2 of §6.4.3), is de analyse daarmee niet afgerond. De verdere keuze van het generatortype (vermogensklasse, emissiestadium), de gebruikte brandstof (diesel, HVO, waterstof) en de bedrijfsvoering (dimensionering, start-stoplogica, EMS) bepalen in belangrijke mate de effectieve milieu-impact. Die vervolganalyse wordt behandeld in §7.3.2.

Tegelijk maakt de analyse duidelijk dat de keuze voor een zo duurzaam mogelijke oplossing in de praktijk niet vanzelfsprekend is. Dat heeft slechts in beperkte mate te maken met technische beperkingen. Veel

vaker spelen economische en organisatorische prikkels een doorslaggevende rol. In het bijzonder sturen drie factoren de markt vandaag nog systematisch richting minder milieuvriendelijke oplossingen:

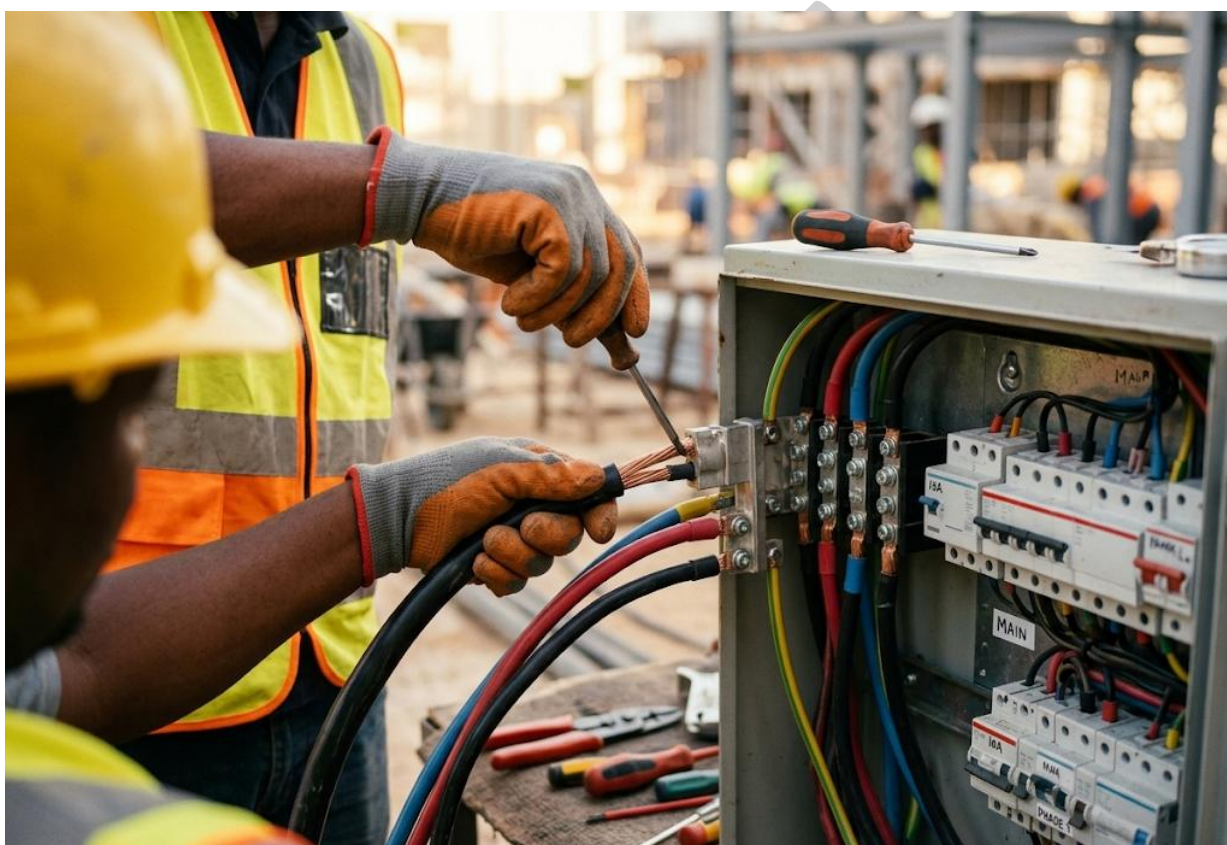
- het aanhoudend gebruik van goedkope, fiscaal bevoordeelde rode diesel (zie §2.2.3), waardoor de operationele kost van generatoren kunstmatig laag blijft;
- de blijvende beschikbaarheid en inzet van verouderde generatoren (bv. Stage IIIA), die nog ruim aanwezig zijn in verhuurvloten en het eigen machinepark van bedrijven en die goedkoop zijn in tweedehandsaankoop of verhuur maar een disproportionele emissie-impact hebben;
- en onvoldoende vraag naar duurzame oplossingen vanuit publieke en private opdrachtgevers, waardoor leveranciers en aannemers geen marktprikkel ervaren om te investeren in schoner materieel.

Deze factoren creëren een ongelijkheid tussen conventionele en duurzamere oplossingen, waardoor batterij- of hybride systemen economisch vaak worden weggedrukt, zelfs wanneer ze technisch en operationeel geschikt zijn. In die context is de uiteindelijke systeemkeuze niet louter het resultaat van een rationele afweging, maar ook van marktcondities en prijsmechanismen waarop de projectverantwoordelijke slechts beperkte invloed heeft.

Goede praktijk betekent niet automatisch de goedkoopste praktijk. Het beslissingskader is zo opgebouwd dat milieu-impact en vermeden hinder meewegen, met name in criterium B5 (§6.3.2) en in de MCA (§6.6). Een beperkte meerkost voor een schonere oplossing kan gerechtvaardigd zijn, in het bijzonder in hindergevoelige contexten. Die afweging is projectspecifiek en kan niet in een universele drempel worden gevat, maar moet wel bewust en navolgbaar worden gemaakt.

Tegelijk is duidelijk dat de verduurzaming van tijdelijke elektriciteitsvoorzieningen niet alleen via individuele projectkeuzes kan worden gerealiseerd. Structurele verschuivingen zijn nodig om het speelveld gelijkter te maken: in het fiscale kader, in de beschikbaarheid en handhaving van emissieklassen, in de vergunningspraktijk rond mobiele BESS, en in de coördinatie met brandweerdiensten. De aanbevelingen hiervoor worden uitgewerkt in Hoofdstuk 9. De uiteindelijke systeemkeuze is pas overtuigend wanneer ze technisch haalbaar én contextueel uitlegbaar is.

HOOFDSTUK 7. PRAKTISCHE IMPLEMENTATIERICHTLIJNEN



HOOFDSTUK 7. PRAKTISCHE IMPLEMENTATIERICHTLIJNEN

7.1 INLEIDING EN POSITIONERING

Na de systeemkeuze beschrijft dit hoofdstuk hoe de gekozen oplossing wordt geplaatst, gekeurd, beheerd en onderhouden. De richtlijnen zijn bedoeld als praktische checklist voor voorbereiding en uitvoering. De toepassing en detailgraad van deze richtlijnen schaaft met de aard, omvang en duur van het project; de basisprincipes — veilige opstelling, correcte keuring en beperking van hinder en emissies — gelden ongeacht de projectomvang. Dit hoofdstuk bundelt goede praktijken en aanbevelingen per technologie, met aandacht voor veiligheid, minder hinder en beperking van emissies. Correcte plaatsing, keuring en beheer bepalen of het gekozen systeem veilig en efficiënt werkt op de projectlocatie.

Tabel 25: Positionering van Hoofdstuk 7 in de beslissingsflow

Stap	Hoofdstuk	Doel
Behoeftanalyse en optimalisatie	Hoofdstuk 5	Wat is het geoptimaliseerde, reële energieprofiel?
Technologie-overzicht (kennisbasis)	Hoofdstuk 4	Welke technologische opties zijn er beschikbaar (met hun kenmerken, voor- en nadelen)?
Onderbouwde systeemkeuze	Hoofdstuk 6	Welke optie(s) uit Hoofdstuk 4 is/zijn het meest geschikt voor het profiel uit Hoofdstuk 5, rekening houdend met alle criteria?
Praktische implementatie en beheer	Hoofdstuk 7	Hoe wordt de gekozen configuratie veilig en efficiënt uitgevoerd in de praktijk?

De uitvoering loopt in de praktijk vaak mis door fouten in dimensionering, opstelling of beheer. Die fouten leiden tot prestatieverlies, extra kosten en veiligheidsrisico's. De uitvoering wordt bovendien complexer door de diversiteit aan technologieën (batterijen, hybride systemen, waterstof) en het uitgebreide regelgevend kader (AREI, VLAREM, Synergrid, ATEX).

Dit hoofdstuk geeft richtlijnen voor plaatsing, aansluiting, beheer, veiligheid en onderhoud, met nadruk op de Vlaamse context en toepasselijke Belgische en Europese regelgeving. De richtlijnen vervangen geen projectspecifiek ontwerp of risicoanalyse.

Daarom behandelt §7.2 algemene aandachtspunten voor elke tijdelijke stroomvoorziening. §7.3 geeft aanvullende richtlijnen per technologie.

7.2 ALGEMENE RICHTLIJNEN VOOR TECHNISCHE IMPLEMENTATIE EN BEHEER

7.2.1 PLANNING, FYSIEKE OPSTELLING EN OMGEVINGSASPECTEN

Vroege planning en een goede opstellingsplaats voorkomen latere problemen met veiligheid, bereikbaarheid en hinder.

- Betrek de energievoorziening vroegtijdig in de projectplanning, in overleg met de opdrachtgever, veiligheidscoördinatoren, de duurzaamheidsmanager indien aanwezig, de verhuurder, de installateur en de exploitant.
- Leg procedures vast en wijs de verantwoordelijkheden voor opvolging toe, bijvoorbeeld aan de werfleider (indien van toepassing), projectleider of duurzaamheidsmanager.
- Bepaal en respecteer veilige afstanden tot gebouwen en brandbare materialen, conform VLAREM II en de richtlijnen van de lokale hulpverleningszone; zie §2.3.3 voor opslag en §2.3.6 voor de rol van de brandweer. Volg de preventiemaatregelen rond bereikbaarheid en blusmiddelen. Zorg voor voldoende werkruimte en veilige toegang voor bediening en onderhoud, en beperk de toegang voor onbevoegden.
- Voorzie lekbakken, opvangvoorzieningen en andere maatregelen tegen bodem- en waterverontreiniging, zoals vereist door VLAREM II.
- Zorg voor een stabiele, draagkrachtige ondergrond en voldoende ventilatie.
- Beperk geluid, uitlaatgassen, geur en visuele hinder door de keuze van technologie, plaatsing en afscherming. Hoewel tijdelijke bouwterreinen vrijgesteld kunnen zijn van specifieke VLAREM-geluidsvoorwaarden, blijven de algemene zorgplicht en lokale politiereglementen gelden. De VLAREM-richtwaarden kunnen daarbij dienen als technisch referentiekader voor goede praktijk.

De beste opstelling is niet altijd de meest compacte: hinder, bereikbaarheid, veiligheid en beheer moeten samen worden afgewogen.

7.2.2 ELEKTRISCHE INSTALLATIE, DISTRIBUTIE EN KEURING

De elektrische installatie moet voldoen aan AREI Boek 1 en volgens goed vakmanschap worden uitgevoerd (zie §2.2.1).

- Zorg dat de volledige installatie, van bron tot gebruiker, voldoet aan AREI Boek 1. Dit vraagt in de praktijk aandacht voor correct gedimensioneerde kabels, geschikte kabeltypes en voldoende mechanische bescherming.
- Voorzie correct gedimensioneerde en selectieve beveiligingen, zoals automaten, zekeringen en differentieelstroominrichtingen (RCD's).
- Voorzie correcte aarding en potentiaalvereffening volgens het AREI.
- Een positief keuringsverslag van een erkend controleorganisme vóór de eerste ingebruikname is wettelijk verplicht en moet ter plaatse beschikbaar zijn.

7.2.3 OPERATIONEEL BEHEER, FLEXIBILITEIT EN MONITORING

Goed beheer beperkt kosten, storingen, draaiuren en emissies. De monitoringsinspanning schaalst met het project: voor standaardprojecten volstaat registratie van draaiuren, energieverbruik en brandstofverbruik (bv. via de facturatie of een eenvoudige uitlezing); voor grote, langdurige of hybride projecten is uitgebreide monitoring met kwartierdata, SoC-opvolging en EMS-logging aangewezen.

- Pas de capaciteit aan wanneer het energieprofiel verandert, bijvoorbeeld door fasering, modulaire opbouw of bij- en afschalen van units.

- Plan bij langlopende projecten, indicatief langer dan één jaar, of bij duidelijke fasewissels, bijvoorbeeld van ruwbouw naar afwerking, vaste evaluatiemomenten. Toets dan of de gekozen configuratie nog past bij het actuele energieprofiel en de gewijzigde projectomstandigheden. Als de actuele situatie duidelijk afwijkt van de aannames bij de start, wordt het beslissingskader uit Hoofdstuk 6 opnieuw doorlopen. Dit is ook relevant wanneer netcapaciteit wijzigt tijdens langlopende projecten of wanneer nieuwe aansluitingsmogelijkheden ontstaan die bij aanvang niet beschikbaar waren.
- Volg, waar relevant en beschikbaar, vermogen, energieverbruik (kWh), draaiuren, brandstofverbruik en, bij batterijen, de State of Charge (SoC) op. Zo kan worden gecontroleerd of de oorspronkelijke aannames nog kloppen en of bijsturing nodig is.
- Bij grote, langdurige of hybride systemen is een Energy Management System (EMS) aangewezen om monitoring te centraliseren en start-stoplogica, laadvensters en prioriteiten consequent toe te passen. Leg vooraf vast wie de instellingen beheert en hoe wijzigingen worden gelogd.
- Beschrijf wie beslist over bijsturingen, bijvoorbeeld de werfleider, wanneer wordt ingegrepen op basis van drempelwaarden en hoe incidenten, uitval of overschrijdingen worden gerapporteerd.

7.2.4 VEILIGHEIDSPRINCIPES EN RISICOBEBEER

Veiligheid vraagt meer dan technische conformiteit: ook procedures, verantwoordelijkheden en noodplanning moeten geregeld zijn.

- Zorg dat uitvoering en exploitatie voldoen aan de kaders uit Hoofdstuk 2, met name de Codex Welzijn op het Werk (§2.2.2), het AREI (§2.2.1), en VLAREM II (§2.3).
- Baseer maatregelen op een risicoanalyse die minstens elektrische risico's, brand, mechanische risico's, verkeer en logistiek, en interactie met publiek behandelt.
- Werk noodprocedures uit voor noodstop, alarmering, evacuatie. Integreer ze in het veiligheids- en noodplan van de site en voorzie duidelijke signalisatie, aanspreekpunten en bereikbaarheidsinformatie.
- Bij installaties waar interventie door hulpdiensten complex kan zijn, bijvoorbeeld betreedbare BESS-containeropstellingen of waterstofinstallaties, is proactieve afstemming met de lokale hulpverleningszone vóór plaatsing sterk aanbevolen, ook wanneer er geen expliciete vergunningsplicht geldt. Zorg dat de installatie bekend is, dat locatie en toegangen duidelijk zijn, en bezorg basisinformatie voor interventie: interventiefiche, noodstoplocaties en contactpersonen. Volg waar relevant bestaande richtlijnen, zoals de [Handreiking Brandveiligheid ESS voor BESS](#). (Persoonlijke communicatie Netwerk Brandweer Vlaanderen, 2025)
- Of voorafgaand overleg of melding aan de brandweer nodig is, hangt af van de lokale voorschriften, de schaal, de opstelling en het risicoprofiel; productcertificering sluit een projectspecifieke informatiebehoefte niet uit. Neem de aanwezigheid en locatie van het systeem in elk geval op in het veiligheidsplan van de site.
- Bij evenementen wordt aanbevolen om de locatie van batterijsystemen, ongeacht de grootte, aan te duiden op het inplantingsplan dat aan de hulpdiensten wordt bezorgd.

Risico's verschillen per technologie, maar de basis blijft dezelfde: preventie, tijdige detectie, beheerste interventie en duidelijke verantwoordelijkheden.

7.2.5 LEVENSCYCLUSBEHEER: ONDERHOUD EN BUITENGEBRUIKSTELLING

Onderhoud, inspectie, demontage en afvoer moeten vanaf de start worden ingepland.

- Laat onderhoud en inspecties uitvoeren door gekwalificeerd personeel, volgens fabrikantinstructies, wetgeving en goede praktijk. Houd een onderhoudslogboek bij en test veiligheidscomponenten periodiek.
- Plan demontage en afvoer conform de relevante milieuwetgeving (VLAREM, VLAREMA) en specifieke voorschriften, zoals ADR en de EU Batterijverordening; zie §2.1.4 voor details. Documenteer het proces.

7.3 IMPLEMENTATIERICHTLIJNEN PER TECHNOLOGIE

Naast §7.2 gelden per technologie aanvullende aandachtspunten. De richtlijnen in §7.2 over planning, elektrische installatie, veiligheid en onderhoud blijven gelden voor elke technologie en worden hier niet herhaald.

7.3.1 NETAANSLUITING

Een tijdelijke netaansluiting vraagt tijdige afstemming met de DNB en een correct uitgevoerde gebruikersinstallatie. De positionering van de netaansluiting in het beslissingskader en de afweging met andere opties worden behandeld in §6.2 en §6.3.

Aanvraag en planning

- Dien de aanvraag voor een tijdelijke netaansluiting tijdig in bij de DNB, in Vlaanderen doorgaans Fluvius, idealiter minstens 6-10 weken vóór de gewenste ingebruikname voor laagspanning (LS). De effectieve doorlooptijd hangt af van het gevraagde vermogen, de locatie en de netcapaciteit ter plaatse.
- Aansluitingen tot 25 kVA verlopen bij Fluvius doorgaans vlot. Bij hogere vermogens is bijkomend netonderzoek nodig, wat de doorlooptijd kan verlengen. Vraag bij twijfel vooraf advies aan de DNB, zodat snel duidelijk wordt of een netaansluiting haalbaar is.
- Houd rekening met langere doorlooptijden bij hogere vermogens, complexe locaties of wanneer netstudies of -versterkingen nodig zijn; zie §6.2 voor de haalbaarheidstoets en bijbehorende doorlooptijden.
- Voor middenspanning (MS) en hoogspanning (HS) kunnen doorlooptijden oplopen van meerdere maanden tot meer dan één jaar. Start deze trajecten vroeg op en volg de procedures van de DNB strikt.

Dimensionering en capaciteitsplanning voor netaansluitingen

- Baseer het gevraagde aansluitvermogen op het berekende of gemeten piekvermogen uit de behoefteanalyse (§5.2.2), met een realistische veiligheidsmarge, typisch 10–20%. Overdimensioneer niet: het gevraagde vermogen wordt in de praktijk vaak overschat, wat leidt tot hogere aansluitkosten zonder operationeel voordeel.
- Verifieer bij de DNB de drempels voor standaard LS-aansluitingen en de gevolgen van hogere vermogens voor kosten (vermogensvergoeding, studiekosten) en timing (zie §4.1.1 en §4.1.4).

- Kies het aansluitpunt zo dat kabeltrajecten kort blijven en bediening veilig mogelijk is.
- Overweeg bij hoge piekvermogens of een kleinere netaansluiting in combinatie met een batterij (peak shaving) een snellere en proportionelere optie kan zijn dan meteen een zwaardere netaanvraag; zie §6.3.2.

Elektrische installatie en keuring (gebruikersdeel):

- De installatie na het aansluitpunt valt volledig onder de verantwoordelijkheid van de projectuitvoerder en moet voldoen aan AREI Boek 1.
- Verifieer in het bijzonder correcte aarding, kabelselectie en -dimensionering (stroomvoerend vermogen, spanningsval, omgevingscondities) en selectiviteit van beveiligingen.
- Een positief keuringsverslag van een erkend controleorganisme is verplicht vóór ingebruikname en moet ter plaatse beschikbaar zijn.

Combinatie met lokale opwekking of opslag:

- Indien de netaansluiting wordt gecombineerd met lokale opwekking of opslag, gelden bijkomende eisen voor beveiliging, omschakeling en preventie van ongewenste teruglevering; zie §7.3.5.

Relevante regelgeving en richtlijnen voor implementatie:

AREI Boek 1; technische voorschriften DNB, bijvoorbeeld Fluvius; Synergrid C1/106, C1/107 en C10/11

7.3.2 DIESELGENERATOREN

Deze paragraaf behandelt plaatsing, dimensionering, brandstofbeheer, emissiebeperking en veiligheid bij dieselgeneratoren.

Dimensionering en capaciteitsplanning:

- Dimensioneer de generator op het piekvermogen, inclusief opstartstromen van zwaar materieel; zie §5.2.2. Vermijd daarbij systematische overdimensionering: een generator die lange tijd op lage deellast draait (< 30% van het nominale vermogen) verbruikt relatief meer brandstof, slijt sneller en produceert hogere emissies per geleverde kWh. Bij Stage V-generatoren met deeltjesfilter (DPF) veroorzaakt langdurige deellast bovendien roetopbouw in het filter, met risico op regeneratieproblemen en motorschade; zie §4.2.
- Kies de generator zo dat hij meestal in een efficiënt belastingsgebied draait, typisch 60–80% van het nominale vermogen.
- Houd rekening met *derating*: de reductie van het beschikbare vermogen ten opzichte van de nominale waarde door omgevingstemperatuur, hoogte en specifieke brandstofeigenschappen, conform fabrikantenspecificaties. Bij hoge omgevingstemperatuur daalt de luchtdichtheid, waardoor de motor minder zuurstof krijgt en het maximale vermogen afneemt. Fabrikanten specificeren de deratingfactoren in hun technische documentatie.
- Overweeg bij sterk variabele lasten of verhoogde continuïteitseisen meerdere kleinere generatoren in parallelbedrijf, mits correcte afstemming en beveiliging. Bij sterk wisselende lasten kan een batterijhybride (§7.3.5) de generator dichter bij zijn gunstige werkgebied houden.

Emissieklasse en brandstofkeuze:

- Zet in tijdelijke en verplaatsbare toepassingen enkel generatoren in waarvan de motor een geldige EU-typegoedkeuring heeft als motor voor niet voor de weg bestemde mobiele machines (NRMM, Verordening (EU) 2016/1628); motoren voor stationaire toepassingen, waarvoor soepelere emissie-eisen gelden, horen daar niet in thuis (§2.2.4). Zet bij voorkeur generatoren in die conform zijn met de Stage V-emissienorm. Stage V biedt de laagste emissies van fijn stof en NO_x voor mobiele toepassingen en is voor nieuw in de handel gebrachte motoren wettelijk verplicht..
- Oudere motorklassen, Stage IIIA en lager, worden enkel ingezet wanneer Stage V aantoonbaar niet beschikbaar is in het vereiste vermogensbereik. In hindergevoelige omgevingen, zoals nabij bewoning of andere gevoelige bestemmingen, wordt Stage V sterk aanbevolen.
- Retrofit van oudere generatoren naar lagere emissieniveaus is voor mobiele toepassingen in de praktijk zelden relevant: het is technisch complex en economisch meestal niet interessant bij vermogens onder 1 MW. Stage V-generatoren zijn in de meeste vermogensklassen beschikbaar en bieden een kosteneffectievere alternatief.
- Overweeg het gebruik van HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) of andere koolstofarme drop-in brandstoffen wanneer beschikbaar en compatibel met de motor; zie §4.5.1. Documenteer de brandstofkeuze voor traceerbaarheid.

Brandstofbeheer (Diesel/HVO en AdBlue®):

- Voorzie veilig en conform brandstofbeheer om operationele storingen en milieurisico's te vermijden.
- Geïntegreerde brandstoftanks ≤2.000 L vallen doorgaans niet onder VLAREM-rubriek 17, maar vereisen steeds maatregelen tegen bodemverontreiniging vanuit de zorgplicht. Externe tanks vallen wél onder rubriek 17.
- Voorzie steeds inkuiping of dubbelwandige uitvoering voor brandstof- en AdBlue®-opslag.
- Respecteer de ADR-regelgeving voor transport van diesel, HVO en AdBlue®; zie §2.1.5 voor het Europese kader en §2.3.4 voor de Vlaamse implementatie. Voor AdBlue® gelden de relevante product- en transportvoorschriften.
- Gebruik uitsluitend brandstoffen en hulpstoffen die door de fabrikant zijn toegestaan, bijvoorbeeld HVO als drop-inbrandstof, en documenteer dit voor traceerbaarheid.

Beperking van omgevingsimpact tijdens implementatie:

- Kies de opstellingslocatie zorgvuldig; zie §7.2.1. Houd rekening met afstand tot gevoelige functies, waaronder woningen, scholen, zorginstellingen, slaapkamers en kinderdagverblijven, en met veilige afvoer van uitlaatgassen.
- Gebruik waar nodig geluidsarme, "super-silent", uitvoeringen en aanvullende afscherming om hinder te beperken en te voldoen aan vergunningsvoorwaarden of lokale regels; zie §2.3.2.
- Voorzie bij tijdelijke plaatsing steeds een vloeistofdichte lekbak onder generator en brandstofopslag om bodemverontreiniging te voorkomen.

Exploitatie en opvolging

- Leg duidelijke procedures vast voor start en stop, brandstofbijvulling, inspecties en storingsmelding.
- Monitor draaiuren, belasting en brandstofverbruik om inefficiënt gebruik tijdig te detecteren en bij te sturen; zie §7.2.3.

Relevante regelgeving en richtlijnen voor implementatie:

EU Stage V-verordening (EU) 2016/1628 (§2.1.1); VLAREM II (§2.3, met name §2.3.1 voor rubrieken en §2.3.3 voor opslag); ADR (§2.1.5 voor het Europese kader, §2.3.4 voor de Vlaamse implementatie); AREI Boek 1 (§2.2.1); fabrikantinstructies.

7.3.3 BATTERIJSYSTEMEN

Deze paragraaf behandelt plaatsing, dimensionering, laden, monitoring en veiligheid van BESS. De technologie, prestaties en risico's van lithium-ionsystemen worden inhoudelijk toegelicht in Hoofdstuk 4, met name §4.3.

Dimensionering en capaciteitsplanning:

- Dimensioneer het ontladvermogen (kW/kVA) op de hoogste relevante piekbelasting van het project, inclusief kortdurende pieken; zie §5.2.2.
- Stem de energiec capaciteit (kWh) af op het gewenste gebruiksregime, zoals de duur van autonome of stille periodes, met een marge van typisch 20–30% voor DoD-beperkingen, systeemverliezen en operationele reserve.
- Zorg dat laad- en ontladsnelheden (C-rates) binnen de door de fabrikant opgegeven grenzen blijven om versnelde degradatie of veiligheidsrisico's te vermijden.
- Leg vooraf laadstrategie en minimum-SoC vast, bijvoorbeeld laden tijdens dalbelasting of in geconcentreerde blokken via generator of net. Volg de SoC continu op en stuur bij wanneer herladen niet tijdig lukt.

Installatie en fysieke opstelling (zie ook §7.2.1):

- Plaats BESS bij voorkeur in open lucht, op een stabiele, niet-brandbare ondergrond en beschermd tegen mechanische schade.
- Respecteer veilige afstanden tot gebouwen, brandbare materialen en publiek toegankelijke zones, gebaseerd op een projectspecifieke risicoanalyse en lokale richtlijnen. Gebruik ruimere afstanden nabij kwetsbare locaties, zoals scholen, kinderdagverblijven, zorginstellingen en opvanglocaties. Zie bijlage 5.16.6.3, §1, punt 1 van VLAREM II voor de analogie met vaste installaties.
- Voorzie voldoende natuurlijke of actieve ventilatie en bewaak de operationele temperatuur binnen de door de fabrikant opgegeven bandbreedte, typisch 10–35 °C voor Li-ion.
- Bij evenementen of andere publiekscontexten: houd rekening met evacuatie routes en publieksdichtheid en stem de opstelling vooraf af met de lokale brandweer.

Beheersing van veiligheidsrisico's (*thermal runaway*)

- Implementeer een ventilatiestrategie die bij een incident vrijgekomen gassen veilig afvoert en concentraties onder de onderste explosiegrens (LEL) houdt. Laat ontwerp en validatie uitvoeren door specialisten.
- Voor container-BESS: voorzie correct gedimensioneerde drukontlastingsvoorzieningen, zoals drukontlastingspanelen, en zorg dat de uitblaasrichting vrij blijft.
- Installeer detectiesystemen voor rook, temperatuur en off-gassing, gekoppeld aan alarmering en vooraf gedefinieerde acties, zoals noodventilatie en afschakeling.
- Ga terughoudend om met automatische blussystemen: conventionele systemen zijn vaak onvoldoende om *thermal runaway* te stoppen. Raadpleeg gespecialiseerde richtlijnen en fabrikanten.

Elektrische installatie en beheer

- De elektrische installatie moet voldoen aan AREI Boek 1, in het bijzonder voor DC-beveiliging, aarding en isolatiebewaking.
- Voorzie overstroom-, over/onderspannings- en differentiaalbeveiliging aan AC- en DC-zijde.
- Gebruik het Battery Management System (BMS) actief voor monitoring, alarmering en preventief beheer; benut waar mogelijk monitoring op afstand.

Transport en operationele limieten:

- Transport van Li-ion BESS valt onder ADR Klasse 9 (UN3480/3481). Respecteer de voorschriften voor verpakking, markering en maximale SoC tijdens transport, vaak $\leq 30\%$.
- Gebruik het systeem binnen de fabrikantgrenzen voor DoD, C-rate en temperatuur om levensduur en veiligheid te waarborgen.

Communicatie en informatie voor hulpdiensten (zie ook §7.2.4):

- Voor betreedbare BESS-containeropstellingen: stem vóór plaatsing af met de lokale hulpverleningszone; zie §7.2.4. Voor kleinere, compacte mobiele batterijsystemen met eigen productcertificering volstaat opname in het veiligheidsplan van de site. Bij evenementen wordt de locatie van batterijsystemen, ongeacht de grootte, aangeduid op het inplantingsplan.
- Integreer BESS-gegevens in het veiligheids- en evacuatieplan en voorzie een beknopte interventiefiche met kerninformatie.

(Persoonlijke communicatie Netwerk Brandweer Vlaanderen, 2025)

Relevante regelgeving en richtlijnen voor implementatie:

AREI Boek 1 (zie §2.2.1); VLAREM II (zie §2.3), ADR (zie §2.1.5 voor het Europese kader, §2.3.4 voor de Vlaamse implementatie); EU Batterijverordening 2023/1542; BVLAR-Richtlijn / Handreiking

Brandveiligheid Energieopslagsystemen >20 kWh (richtinggevend²⁵); [RIVM-briefrapport 2024-0012](#); fabrikantinstructies.

7.3.4 WATERSTOFSYSTEMEN (FC & H₂-ICE)

Deze paragraaf behandelt plaatsing, exploitatie en veiligheidsorganisatie van waterstofsysteem. De eigenschappen van waterstof en de systeemwerking worden behandeld in §4.4.

Explosieveiligheidsdocument (EVD) en risicobeheersing:

- Start steeds met een projectspecifieke risicoanalyse, vastgelegd in een explosieveiligheidsdocument (EVD) conform de Codex Welzijn op het Werk.
- Gebruik het EVD voor de ATEX-zonering, technische maatregelen, procedures en opleiding.

ATEX-zonering en technische maatregelen

- Bepaal en markeer ATEX-zones (0, 1, 2) rond opslag, leidingen, ontspanningspunten en gebruikstoestellen conform NBN EN 60079-10-1.
- Gebruik uitsluitend ATEX-gecertificeerde apparatuur die past bij de zone en gasgroep IIC (waterstof).
- Beperk ontstekingsbronnen via aarding, potentiaalvereffening, temperatuurbeheersing en strikt rookverbod.
- Voorzie voldoende natuurlijke of mechanische ventilatie, ontworpen voor het meest kritieke geloofwaardige lekscenario, met afvoer op hoogte.

Detectie, noodstop en procedures

- Plaats waterstofdetectie op hoge punten waar lekkend gas zich kan ophopen, gekoppeld aan alarmering en automatische veiligheidsacties, zoals ventilatie en afsluiting van de toevoer.
- Voorzie duidelijk gemarkeerde en goed bereikbare noodstopvoorzieningen (ESD) die de waterstoftoevoer veilig afsluiten.
- Werk bedienings- en noodprocedures uit en train het personeel. Voorzie werkvergunningen voor risicovolle handelingen.

Fysieke opstelling en installatie

- Plaats waterstofsysteem bij voorkeur in open lucht of in zeer goed geventileerde behuizingen. Houd ruime afstand tot kwetsbare locaties: woningen, slaapkamers, scholen, zorginstellingen en opvanglocaties voor baby's en peuters; zie bijlage 5.16.6.3, §1, punt 1 van VLAREM II. Naast het explosierisico is ook de geluidsimpact relevant bij de locatiekeuze. Overweeg waar nodig aanvullende geluidsafscherming.

²⁵ de scope-aanduiding >20 kWh verwijst naar het bereik van de BVLAR-richtlijn voor vaste installaties, niet naar een CvGP-drempel voor mobiele systemen

- Gebruik materialen en verbindingen die geschikt zijn voor waterstof. Voer druk- en lektesten uit vóór ingebruikname en periodiek tijdens exploitatie.

Logistiek en opslag

- Transport van waterstof (cilinders of bundels) valt onder ADR Klasse 2; zie §2.1.5 voor het Europese kader en §2.3.4 voor de Vlaamse implementatie.
- Opslag op locatie moet voldoen aan VLAREM II, onder meer artikel 5.16.4, met aandacht voor veiligheidsafstanden en brandpreventie.
- Drukvaten moeten voldoen aan de Richtlijn Drukapparatuur (PED).
- Leg procedures vast voor aansluiten, wisselen en afkoppelen van cilinders of bundels, en zorg voor passende opleiding.

Relevante kaders en documenten:

ATEX-richtlijnen & Codex Welzijn op het Werk (Boek III, Titel 4; zie §2.2.2); AREI Boek 1 (§2.2.1); VLAREM II (§2.3); ADR (§2.1.5 voor het Europese kader, §2.3.4 voor de Vlaamse implementatie); PED; NBN EN 60079-10-1; fabrikantinstructies.

7.3.5 GEÏNTEGREERDE SYSTEMEN (HYBRIDE / MICROGRIDS)

Dit onderdeel behandelt de praktische implementatie van geïntegreerde energiesystemen, zoals hybride generator–batterijopstellingen en tijdelijke microgrids. De systeemopbouw en regelstrategieën worden beschreven in §4.7. De richtlijnen voor de individuele componenten blijven gelden: generator (§7.3.2), batterij (§7.3.3), waterstof (§7.3.4), netaansluiting (§7.3.1). Dit omvat ook de milieuaspecten, veiligheidsvoorschriften en dimensioneringsregels die daar zijn beschreven.

Componentdimensionering in geïntegreerde systemen:

- Stem generator, net, PV, batterij en vermogenslektronica op elkaar af op basis van het energieprofiel.
- Dimensioneer de generator in een hybride opstelling op de gemiddelde basislast plus de benodigde laadstroom, niet op het piekvermogen. Piekbelastingen worden afgedekt door de batterij (peak shaving).
- Stel het EMS zo in dat Stage V-generatoren voldoende lang boven de minimale belasting draaien (>30–40%) om correcte DPF-regeneratie mogelijk te maken.
- Voor de generatorcomponent in een hybride opstelling gelden dezelfde milieu-eisen als bij standalone generatoren (§7.3.2): bij voorkeur Stage V-conform, bij voorkeur op HVO of een andere koolstofarme brandstof wanneer beschikbaar, en gedimensioneerd op het laadprofiel, niet op de volledige piekvraag. De hybride opstelling verlaagt alleen draaiuren en emissies als de generator correct gekozen en ingesteld is.
- Dimensioneer de batterij zodanig dat zowel het vereiste piekvermogen als de gewenste stille of autonome periodes kunnen worden geleverd binnen de DoD-limieten.
- Gebruik PV primair als bijlader via batterij en EMS, niet als autonome primaire bron. Voorzie curtailment of vermogensbegrenzing bij volle batterij.

Systeemintegratie en EMS-configuratie:

- Voorzie een centraal Energy Management System (EMS) dat componenten aanstuurt en gegevens uitwisselt.
- Verifieer spannings- en frequentiecompatibiliteit en correcte beveiliging op alle interfaces.
- Zorg voor robuuste communicatie tussen generatoren, omvormers en EMS, met aandacht voor compatibiliteit wanneer componenten van verschillende fabrikanten worden gecombineerd.
- Configureer het EMS met duidelijke prioriteiten (bv. net/hernieuwbaar → batterij → generator), start-stoplogica en laadstrategieën conform de projectdoelstellingen; zie §4.7.3.
- Leg vast wat het systeem doet bij storingen of communicatieverlies, bijvoorbeeld gecontroleerd terugvallen op generatorbedrijf.
- Bij parallelbedrijf van meerdere generatoren of omvormers: implementeer stabiele synchronisatie- en lastverdelingslogica.
- Besteed aandacht aan cyberveiligheid van EMS en communicatieverbindingen, zeker bij monitoring op afstand of sturing; zie IEC 62443.

Combinatie met netaansluiting:

- Bij koppeling met het openbare net: voorkom ongewenste teruglevering met geschikte technische maatregelen, tenzij dit is overeengekomen met de DNB.
- Gebruik automatische omschakelsystemen met betrouwbare mechanische of elektrische vergrendeling (interlocking), conform Synergrid-voorschriften C1/107 en C10/11.
- Test omschakel- en eilandbedrijfsscenario's vóór ingebruikname.

Beheer en onderhoud

- Stem onderhoud en inspectie van alle componenten op elkaar af en documenteer de verantwoordelijkheden.
- Voorzie opleiding voor bedienend personeel, met aandacht voor systeemgedrag, alarmering en noodprocedures.

Relevante kaders en documenten:

AREI Boek 1 (§2.2.1); Synergrid C10/11 en C1/107; IEC 62443; fabrikantinstructies en systeemdokumentatie.

7.3.6 ANDERE TECHNOLOGIEËN (BIOGAS, MIERENZUUR, ETC.)

Deze paragraaf behandelt aandachtspunten voor biogas, mierenzuur, methanol en vergelijkbare energiedragers. De eigenschappen en toepassingscontext van deze technologieën worden besproken in §4.5. Houd bij de opstelling ruime afstand tot kwetsbare locaties, zoals scholen, zorginstellingen en opvanglocaties voor baby's en peuters; zie bijlage 5.16.6.3, §1, punt 1 van VLAREM II.

Biogassystemen:

- Voer biogassystemen ATEX-conform uit, gezien het explosierisico van methaan (CH₄), naar analogie met waterstofsysteem (§7.3.4).
- Stel een projectspecifieke risicoanalyse en, waar vereist, een explosieveiligheidsdocument (EVD) op; zie §2.2.2.
- Voorzie gasbehandeling, zoals ontzwaveling, droging en filtering van siloxanen, vóór inzet in motor of brandstofcel om schade en storingen te voorkomen.
- Monitor de biogaskwaliteit systematisch bij variabele of externe aanvoer.
- Transport en aansluiting van (bio)methaan verlopen conform ADR en geldende gasnormen; zie casus §8.3.5.

Mierenzuur- en methanolsystemen:

- Beperk bij mierenzuur en methanol vooral de risico's van toxiciteit, corrosie en brandbaarheid; zie §4.5.3 en §4.5.4.
- Gebruik materiaalcombinaties die compatibel zijn met de gebruikte vloeistof en zorg dat het volledige systeem lekdicht is.
- Volg strikt de procedures uit het Safety Data Sheet of veiligheidsinformatieblad (SDS/VIB), inclusief PBM's en ventilatie-eisen.
- Voorzie middelen en procedures om morsingen veilig op te ruimen.
- Stem brandpreventie en -bestrijding af op het lage vlampunt en de specifieke brandbaarheid van methanol.
- Houd rekening met de lagere energiedichtheid ten opzichte van diesel bij logistieke planning en opslagcapaciteit. Transport valt onder ADR.
- Waarborg de vereiste brandstofzuiverheid, zeker bij systemen met katalysatoren, reformers of brandstofcellen.

Algemene overwegingen voor alternatieve systemen:

- Stem motor, brandstofcel of reformer af op de gebruikte brandstof.
- Monitor relevante parameters om prestaties en emissies op te volgen.
- Voorzie, indien van toepassing, periodieke controle van emissies en nabehandelingssystemen.

Relevante regelgeving en richtlijnen voor implementatie:

ATEX en Codex Welzijn op het Werk (§2.2.2); AREI Boek 1 (§2.2.1); VLAREM II (§2.3); ADR (§2.1.5 voor het Europese kader, §2.3.4 voor de Vlaamse implementatie); REACH/CLP; SDS/VIB; fabrikantinstructies en brandstofnormen.

7.4 CONCLUSIE

De meeste prestatieproblemen in de praktijk ontstaan door fouten in dimensionering, opstelling of beheer. Een te grote generator die lang op lage deellast draait, verbruikt relatief meer brandstof, slijt

sneller en produceert hogere emissies per geleverde kWh. Bij Stage V-generatoren met DPF veroorzaakt langdurige deellast bovendien roetopbouw met risico op regeneratieproblemen. Correcte dimensionering (typisch 60 tot 80% belasting) is daarmee een van de eenvoudigste en meest doeltreffende maatregelen.

Voor batterijsystemen verschuift het aandachtspunt van dimensionering naar veiligheid. Thermal runaway is een zeldzaam maar potentieel ernstig risico dat vraagt om ventilatie, detectie, drukontlasting en afstemming met de lokale hulpverleningszone bij betreedbare containeropstellingen. De veiligheidsaanpak verschilt per schaalgrootte: voor compacte mobiele units volstaat opname in het veiligheidsplan, voor betreedbare containers is voorafgaande afstemming met de brandweer aangewezen.

Waterstof en hybride systemen voegen complexiteit toe door ATEX-zonering, ADR-transport, brandstoflogistiek en EMS-integratie. Die complexiteit is beheersbaar met de juiste expertise, maar veronderstelt dat de projectverantwoordelijke voldoende gespecialiseerde kennis inschakelt en het volledige systeem niet met standaardprocedures beheert.

De richtlijnen in dit hoofdstuk vervangen geen projectspecifiek ontwerp of risicoanalyse. Zij geven de kaders en aandachtspunten waarbinnen dat ontwerp wordt gemaakt. De detailgraad van de toepassing schaalst met het project; de basisprincipes — veilige opstelling, correcte keuring, beperking van hinder en emissies — gelden ongeacht de projectomvang.

DRAFT

HOOFDSTUK 8

IMPLEMENTATIE: PRAKTIJKVOORBEELDEN EN BESTE PRAKTIJKEN



HOOFDSTUK 8. PRAKTIJKVOORBEELDEN EN BESTE PRAKTIJKEN

8.1 INLEIDING EN LEESWIJZER VOOR DE CASESTUDIES

De vorige hoofdstukken beschreven de energieanalyse, systeemkeuze, technologieën en uitvoering. Dit hoofdstuk laat zien hoe die stappen in praktijkvoorbeelden worden toegepast. De cases tonen hoe analyse, technologiekeuze en uitvoering in de praktijk samenkomen, vooral in Vlaamse en Belgische toepassingen.

Het hoofdstuk heeft twee doelen:

1. Tonen hoe de aanpak uit Hoofdstukken 4–7 werkt in bouw- en evenementencases.
2. Resultaten, aannames en leerpunten bundelen, met duidelijke vermelding van de databasis.

Dit hoofdstuk is als volgt gestructureerd:

- 8.2: Casestudie over de analyse en optimalisatie van de energiebehoefte (Hoofdstuk 5).
- 8.3: Casestudies in de bouwsector
- 8.4: Casestudies in de evenementensector,
- 8.5: Generieke lessen en goede praktijken

Elke casestudie volgt dezelfde structuur: een koppeling met de eerdere hoofdstukken, context en uitdagingen, toegepaste methode (Hoofdstukken 5–6), gekozen oplossing (Hoofdstuk 4), implementatie (Hoofdstuk 7), resultaten en leerpunten. De cases blijven beknopt; technische details staan in Hoofdstukken 4 en 7. In §8.3.7 wordt één casestudie verder uitgewerkt aan de hand van het volledige multicriteria-analysekader (Hoofdstuk 6). Deze uitwerking toont hoe een onderbouwde systeemkeuze tot stand komt wanneer meerdere technisch haalbare opties beschikbaar zijn.

Tabel 26 geeft een overzicht van de cases.

Belangrijk: bij elke case wordt vermeld of waarden *gemeten*, *afgeleid uit meetdata*, *geschat op basis van engineeringregels*, of fictief/illustratief zijn. Waar bedrijfsdata vertrouwelijk zijn, worden enkel grootteordes gegeven, met de belangrijkste aannames, zodat de lezer de toepasbaarheid correct kan inschatten. De cases in dit hoofdstuk zijn geen standaardoplossingen, maar voorbeelden die tonen hoe de aanpak in verschillende situaties kan worden gebruikt.

Tabel 26: Overzicht van de verschillende casestudies

Naam casestudie	Sector	Primaire uitdaging	Toegepaste oplossing
8.2 Analyse & optimalisatie bouwproject	Bouw	Potentiële overdimensionering; beperkt net	Analyse als oplossing
8.3.1 Hybride systeem torenkranen (Royerssluis)	Bouw	Piekvermogen kranen; geluidseisen; beperkt net	Hybride (Batterij + Generator)
8.3.2 Hybride optimalisatie van een inefficiënte ingezette generator	Bouw	Generator op lage deellast; DPF-problemen	Hybride (gen + batterij)
8.3.3 Mobiel laadplein voor elektrisch materieel	Bouw	Off-grid laden zwaar materieel; hoge pieken	Biogas gen + BESS buffer
8.3.4 Tijdelijk woonpark met microgrid	Bouw	Betrouwbaarheid continu (24/7); lange duur; TCO	Microgrid N+1 redundantie + BESS
8.3.5 Biogas logistiek (Nederland)	Bouw	Logistieke keten alternatieve brandstof	Biogas (RWZI) met compressie/transport
8.3.6 H₂-ICE asfaltmachine	Bouw	Lokale emissie-eis; zwaar materieel	H ₂ -ICE retrofit
8.3.7 'Tri-Hybride' systeem werfvoeding	Bouw	Beperkt net; variabele last; maximale efficiëntie	Net + BESS + Generator (tri-hybride)
8.4.1 Boomtown Festival monitoring	Evenementen	Verbruik op het net verder verlagen	Meting per kring; optimalisatie
8.4.2 Nerdland Festival waterstofgeneratoren	Evenementen	Zero-emissie showcase; geen net; geluid	PEM-brandstofcel (2×100 kVA)
8.4.3 Broadcasting grote evenementen	Evenementen	Absolute betrouwbaarheid (live TV)	N+1/2N redundantie + UPS

8.4.4 Centralisatie op foodtruckfestival (illustratief project, geen concreet project)	Evenementen	Geluidsoverlast vele kleine generatoren	Centrale stille generator + distributie
8.4.5 Pukkelpop HVO-inzet	Evenementen	CO ₂ -reductie grootschalig; bestaande vloot	Volledige overschakeling naar HVO100

8.2 CASESTUDIE: ANALYSE EN OPTIMALISATIE VAN ENERGIEBEHOEFTE OP EEN BOUWPROJECT

Deze fictieve case toont hoe verbruiksanalyse overdimensionering kan vermijden.

Context

De case gaat uit van een fictief maar representatief bouwproject van circa twee maanden in een stedelijke omgeving. De voorziene energieverbruikers omvatten één middelgrote torenkraan, twee werfketens (ingericht als kantoor en refter), en een periodieke avondactiviteit op de site met specifieke sfeerverlichting en een kleine cateringopstelling. Er is aanwezigheid van een bestaande, maar beperkte netaansluiting, bijvoorbeeld 3x25A, equivalent aan circa 17 kVA. Die aansluiting is primair bedoeld voor de werfketen.

Uitdagingen en behoefteanalyse

De uitdaging is de werf voeden zonder meteen een te grote generator te plaatsen. Daarvoor moet eerst de werkelijke vraag bovenop de bestaande netaansluiting worden bepaald. Bijkomende uitdagingen zijn het beperken van operationele kosten, zoals brandstof en huur, en het verlagen van milieu-impact en hinder in de stedelijke context.

Afgrenzing net versus mobiele voeding: in deze case wordt aangenomen dat de bestaande netaansluiting ($3 \times 25A \approx 17 \text{ kVA} \approx 17 \text{ kW}$ bij $\cos \phi \approx 1$) prioritair de werfketens voedt. De torenkraan en avondactiviteit worden niet, of slechts beperkt, op deze aansluiting voorzien, waardoor aanvullende mobiele voeding nodig is. Als de torenkraan wél mee op de netaansluiting zit, moet het gelijktijdig vermogen als som van de deelverbruikers worden berekend.

Aanpak (Hoofdstuk 5)

In plaats van meteen een technologie te selecteren (Hoofdstuk 6), worden de stappen uit Hoofdstuk 5 doorlopen:

1. **Gedetailleerde verbruiksanalyse (cf. §5.2):** De verwachte energiebehoefte wordt per hoofdcategorie gekwantificeerd, bij voorkeur op basis van meetdata van vergelijkbare projecten (zie §5.2.1, methode 1 en 2), of via onderbouwde inschattingen (zie §5.2.1 methode 4):

- *Torenkraan*: piekvermogen geschat op 25 kW, kortdurend; gemiddeld vermogen ca. 8 kW tijdens bedrijf, enkel op werkdagen en niet continu²⁶.
- *Werfketen* (2x): basisverbruik via net ca. 2 kW, onder meer verlichting en IT; pieken tot 8 kW totaal door verwarming of airco. Patroon: werkdagen, met potentieel sluimerverbruik.
- *Avondactiviteit*: maximaal 3 kW, onder meer verlichting en koeling. Patroon: specifieke avonden, 18u-22u.
- *Basislast site (nacht)*: continu minimaal 1-2 kW, onder meer beveiliging en stand-bygebruik.

2. **Kritikaliteitsanalyse (cf. §5.2.2)**: verbruikers worden ingedeeld naar belangrijkheid:

- *Kritiek*: basisvoorzieningen keten (werkuren), nachtbeveiliging.
- *Belangrijk*: torenkraan (tijdens hijsen), verwarming/koeling keten (tijdens aanwezigheid).
- *Niet-kritiek*: sfeerverlichting in de avond, opladen van niet-essentieel gereedschap en catering buiten pieken. Deze analyse bepaalt welke verbruikers back-up nodig hebben en welke kunnen worden afgeschakeld (load shedding, §5.3.3).

3. **Identificeren optimalisatiemaatregelen (cf. §5.3)**: concrete acties worden geïdentificeerd:

- Minimaliseren sluimerverbruik (§5.3.1): timers, sensoren, uitschakelprocedures.
- Optimaliseren van planning (§5.3.2): vermijden gelijktijdige opstart zware verbruikers.
- Implementeren quick wins (§5.3.4): LED-verlichting, thermostaatinstellingen.
- Gebruikersbewustmaking (§5.3.6): communicatie over energiebewustzijn.

De uitkomst is nog geen technologiekeuze, maar een scherper verbruiksprofiel als input voor Hoofdstuk 6.

Implementatieaanpak (analyse)

De implementatie bestaat uit het uitvoeren van de analyse, via metingen of schattingen, en het doorvoeren van de geïdentificeerde optimalisatiemaatregelen, zoals timers plaatsen en personeel instrueren.

Resultaten en effectmetingen

²⁶ Torenkranen vertonen korte pieken (seconden) en een veel lager gemiddeld vermogen. Indicatief: piek 20–120 kW, gemiddeld 5–20 kW afhankelijk van kraantype, hijsfrequentie en werflogistiek. In deze fictieve case wordt verder gerekend met een *middelgrote* kraan (piek 25 kW, gemiddeld 8 kW) als illustratieve waarde.

De analyse levert de volgende kwantitatieve inzichten:

- Realistisch piekvermogen: de werkelijke aanvullende piekbehoefte, bovenop het 17 kVA net, wordt primair bepaald door de kraan (25 kW). De totale site-piek is hoger (ca. 33 kW), maar de behoefte die niet door het net gedekt wordt, is lager dan de som van alle nominale vermogens (>50 kW). Dit voorkomt het onnodig selecteren van een overgedimensioneerde mobiele elektriciteitsvoorziening, zoals een generator of batterijopslag, en maakt het mogelijk om alternatieven zonder generator te overwegen.
- Basislast gekwantificeerd: de continue basislast varieert van 1-2 kW 's nachts tot circa 10 kW overdag, waarbij het net een groot deel kan dekken.
- Optimalisatiepotentieel: door optimalisatiemaatregelen kan het totale energieverbruik indicatief met 15-20% dalen²⁷.
- Inzicht in kritikaliteit: de analyse toont dat slechts een deel van de last continu kritiek is. Dat biedt flexibiliteit voor de uiteindelijke systeemconfiguratie, bijvoorbeeld door pieken af te vlakken met beperkte batterijopslag en het bestaande net maximaal te benutten, zonder aanvullende generator. Omdat netstroom beschikbaar is, toont de analyse dat een generator mogelijk volledig kan worden vermeden, of enkel nodig is als back-up of piekvoorziening.

Leerpunten en aanbevelingen

Voer de energiebehoefteanalyse (Hoofdstuk 5) uit vóór de technologieselectie (Hoofdstuk 6). Vraagzijdige optimalisaties zijn vaak de meest kosteneffectieve maatregelen en moeten altijd worden overwogen. Het onderbouwde energieprofiel vormt de basis voor een gefundeerde technologiekeuze. Dit illustreert het principe "bijna haalbaar ≠ niet haalbaar" (§6.1): door de vraag te analyseren vóór de technologiekeuze, blijkt een eenvoudiger configuratie haalbaar, namelijk net + beperkte batterijopslag in plaats van net + generator.

8.3 PRAKTIJKVOORBEELDEN IN DE BOUWSECTOR

De bouwsector omvat zowel compacte renovaties in stedelijke kernen als uitgestrekte infrastructuurwerken op afgelegen locaties. De energiebehoefte verschilt sterk tussen projecten en tussen projectfasen, bijvoorbeeld ruwbouw en afwerking. Beperkte netaansluitingen, geluids- en emissierestricties en betrouwbaarheidseisen maken de keuze voor tijdelijke stroomvoorziening moeilijker. De volgende cases tonen mogelijke aanpakken.

8.3.1 HYBRIDE SYSTEEM VOOR TORENKRANEN – ROYERSSLUIS ANTWERPEN

Illustreert: hybride peak shaving (§4.7, §6.4.3), EMS-sturing (§7.3.5), en zonering (§5.3.5).

Context & uitdaging

Bij de bouw van de Royerssluis, gelijktijdig uitgevoerd met de Oosterweelwerken in Antwerpen, hadden acht torenkranen – een uitzonderlijk grote kraanopstelling - stroom nodig in een stedelijke omgeving met strikte nachtelijke geluidsvoorwaarden uit de omgevingsvergunning. Het lokale elektriciteitsnet had

²⁷ De piek (≈33 kW) en besparingsrange (≈15–20%) zijn indicatief en gebaseerd op een engineering-inschatting van gelijktijdigheid en sluimerverbruik (geen meetcampagne). In reële projecten worden deze waarden bij voorkeur gevalideerd met meetlogging.

onvoldoende capaciteit. Het profiel van de torenkranen maakte klassieke dimensionering ongunstig: zeer korte hijspieken tot 100 kW, gedurende 10–30 seconden, tegenover een laag gemiddeld verbruik van 5–10 kW. Een conventionele oplossing met grote dieselgeneratoren per kraan zou langdurig op lage belasting draaien en de geluidsvoorwaarden overschrijden.

Oplossing & uitvoering

De werf werd opgedeeld in energiezones: twee kranen werden aangesloten op het beperkt beschikbare net, de overige zes verdeeld over twee hybride systemen. Elk hybride systeem omvatte een batterijpakket van 80 kWh en een Stage V-dieselgenerator van 60 kVA.

Het Energy Management System (EMS) stuurde de interactie tussen de componenten. Overdag draaide de generator op een constant, efficiënt werkpunt, 70–80% belasting, om de batterij te laden. De batterij leverde het piekvermogen voor hijsbewegingen. 's Nachts schakelde de generator volledig uit; de opgeladen batterij voedde het minimale nachtverbruik geluidloos. Monitoring op afstand volgde systeemprestaties en batterijstatus continu op.

Resultaten

De brandstofbesparing bedroeg circa 45% ten opzichte van een scenario met conventionele generatoren gedimensioneerd op piekvermogen, met een evenredige CO₂-reductie. De nachtelijke werking verliep stil (<50 dB(A)) door batterijvoeding. De batterijbuffer zorgde voor stabiele spanning, wat gunstig was voor de kraanelektronica.

Exacte verbruiksdata zijn niet publiek; de percentages zijn indicatief en gebaseerd op leveranciersinformatie.

Inzichten

Korte hijspieken vereisen niet automatisch een grote generator. Door de werf in zones op te delen, kon het beperkte net twee kranen voeden en werd voor de overige kranen een batterij-generatorcombinatie ingezet. De batterij ving de pieken op; de generator kon kleiner worden gekozen en op een gunstigere belasting draaien.

8.3.2 BOUWWERF MET HYBRIDE OPTIMALISATIE VAN EEN INEFFICIËNT INGEZETTE GENERATOR

Illustreert: overdimensionering detecteren via monitoring (§5.2), right-sizing van de generator (§7.3.2) en DPF-problematiek bij deellast (§4.2).

Context & uitdaging

Een bouwwerf in stedelijke context met één torenkraan, twee werfketen, en sterk wisselend dagprofiel beschikte over een dieselgenerator van 100 kVA. Energiemonitoring toonde aan dat deze generator gedurende meer dan 70% van zijn draaiuren op zeer lage belasting draaide (<30% van nominaal vermogen). Deze situatie was het gevolg van dimensionering op theoretische vermogensoptellingen in plaats van werkelijk verbruik. Ze leidde tot drie problemen: hoog specifiek brandstofverbruik, technische problemen met het Stage V-nabehandelingssysteem, met name DPF-verzadiging door te lage uitlaattemperaturen bij deellast, en onnodige emissies en geluidshinder.

Oplossing & implementatie

De generator van 100 kVA werd vervangen door een hybride systeem: een passend gedimensioneerde Stage V-generator van 30 kVA, gekoppeld aan een batterijopslagsysteem van 40 kWh, vermoedelijk op basis van LFP-chemie. De generator werd gedimensioneerd om de gemiddelde dagbelasting efficiënt te dekken, terwijl de batterij piekbelastingen opving en periodes met lage of geen vraag overbrugde.

Het EMS hanteerde een cycling-strategie: de generator draaide enkel wanneer nodig om de batterij op te laden, steeds op een efficiënt werkingspunt, typisch 70–80% belasting. Zodra de batterij voldoende geladen was, schakelde de generator automatisch uit. De batterij ving de verbruikspieken op en voorzag tijdens dalperiodes, zoals nachten en weekends, in stille en lokaal emissievrije stroomvoorziening.

Resultaten

De brandstofbesparing bedroeg 40-70% ten opzichte van de oorspronkelijke situatie, afhankelijk van het specifieke belastingsprofiel. De bandbreedte weerspiegelt de variatie in uitgangssituaties; de hoogste besparingen treden op bij een initiële belasting <30%. De onderhoudskosten daalden door minder draaiuren en het vermijden van DPF-problematiek. Lokale emissies, zoals CO₂, NO_x en fijnstof, en geluidshinder daalden mee.

De terugverdientijd varieert van enkele maanden tot enkele jaren, afhankelijk van de initiële inefficiëntie, brandstofprijzen, gebruiksintensiteit en beschikbare subsidies. Bij hoge oorspronkelijke inefficiëntie en intensief gebruik kan de TCO op middellange termijn gunstig uitvallen ondanks de hogere initiële investering; steun kan de investering verder verlagen, maar enkel wanneer de installatie aan de voorwaarden van een regeling voldoet (zie Bijlage 2).

Specifieke verbruiksdata en investeringsbedragen zijn niet publiek; de percentages zijn gebaseerd op ervaringen met vergelijkbare retrofits.

Inzichten

- Zonder meetdata was de structurele deellast mogelijk niet tijdig gedetecteerd. Continue monitoring toont wanneer bijsturing nodig is.
- Dimensionering op theoretische optellingen van nominale vermogens leidt vaak tot overdimensionering. Meetdata geven de werkelijke behoefte beter weer.
- Generatoren die langdurig onder 30–40% belasting draaien, verbruiken niet alleen meer brandstof per kWh, maar veroorzaken ook technische problemen, zoals DPF-verzadiging, bij moderne Stage V-motoren. Hybride systemen kunnen beide problemen beperken.
- De hogere initiële investering van hybride systemen kan worden gecompenseerd door operationele besparingen, met name bij hoge initiële inefficiëntie, een lange projectduur (>3–6 maanden), intensief gebruik en beschikbare subsidies.
- Het vervangen van een inefficiënt ingezette generator door een hybride systeem kan kosteneffectief zijn, zelfs tijdens een lopend project.

8.3.3 MOBIEL LAADPLEIN VOOR ELEKTRISCH BOUWMATERIEEL

Illustreert: off-grid laadinfrastructuur (§6.4.3), biogas als alternatieve brandstof (§4.5.2) en BESS als laadbuffer (§4.3).

Context & uitdaging

De toenemende inzet van elektrisch zwaar bouwmaterieel, zoals graafmachines en wielladers, vraagt voldoende laadcapaciteit op locaties zonder zware netaansluiting. Dit komt vaak voor bij grootschalige infrastructuurwerken of projecten in afgelegen gebieden. Drie uitdagingen moesten worden opgelost: hoog, pulserend piekvermogen leveren, 50–150 kW per machine; meerdere machines tegelijk snel laden; en diesel vervangen door een duurzamere energiebron in een off-grid context. De opdrachtgever wilde biogas uit een lokale RWZI gebruiken.

Oplossing & implementatie

Er werd een geïntegreerd mobiel laadplein in containerformaat ontwikkeld. Het systeem bestond uit een biogascompatibele generator als primaire energiebron, een batterijpakket als buffer tussen generator en laders, meerdere DC-snelladpunten voor het materieel en een EMS om de energiestromen te beheren.

De biogasgenerator draaide relatief constant om de batterijen op te laden. De batterijen leverden het hoge, pulserende vermogen voor het snelladen. Het EMS beheerde via smart charging de laadsnelheid per aangesloten machine. Zo werd overbelasting voorkomen en kon prioriteit worden gegeven op basis van de laadstatus van de machinebatterijen.

De biogaslogistiek omvatte aanvoer van gecompriemd gas in cilinderbundels of containers en periodieke wissel, typisch elke 1–3 dagen afhankelijk van het verbruik. Dit vereiste coördinatie met de biogasleverancier voor tijdige aanvoer en planning van containerwissels.

Resultaten

Het systeem maakte off-grid laden van zwaar elektrisch materieel mogelijk. De machines werkten lokaal zonder uitlaatemissies; de emissies verschoven naar de biogasgenerator op het laadplein. Het project toonde het potentieel van biogas uit lokale bronnen, zoals RWZI's, als duurzame brandstof voor tijdelijke toepassingen. De fossiele CO₂-impact kan lager liggen dan bij diesel, afhankelijk van herkomst en ketenberekening. Bij verbranding op locatie blijven lokale verbrandingsemissies bestaan.

De batterijbuffer ving de laadpieken op en maakte het mogelijk de generator kleiner te dimensioneren dan het totale piekvermogen van alle laadpunten samen.

Kwantitatieve data over verbruik, zoals m³ biogas, geladen kWh en aantal machines, en over kosten zijn niet publiek.

Inzichten

- Bij complexe dynamische lasten, zoals snelladers, vergen load balancing en systeemstabiliteit een controlesysteem dat communiceert met de laadpunten, bijvoorbeeld via ISO 15118 of OCPP.
- Het combineren van generator, batterij, laders en controlesysteem vereist specifieke expertise in hardware-integratie en software-aansturing. Dit is complexer dan het plaatsen van een standaardgenerator. Grondige planning en ervaring met vergelijkbare systemen zijn nodig.
- De haalbaarheid hangt sterk af van beschikbaarheid van een lokale biogasbron, transportafstand en -frequentie, opslagcapaciteit ter plaatse en een back-upscenario bij verstoring van de toevoer. Dit moet vroegtijdig in de projectplanning worden meegenomen.
- De batterij moet voldoende capaciteit hebben voor laadpieken (kW) en buffering tussen generatordraaicycli (kWh). Te grote batterijen verhogen de kosten onnodig; te kleine batterijen beperken de flexibiliteit.

- Voor off-grid toepassingen waar direct elektrisch laden niet mogelijk is en duurzaamheid zwaar weegt, biedt biogas een tussenoplossing tussen diesel en volledig hernieuwbare oplossingen zoals groene waterstof.

8.3.4 TIJDELIJK WOONPARK MET MICROGRID

Illustreert: microgrid (§4.7), N+1 redundantie (§6.5) en TCO bij een langlopend project (§6.3.2, B5).

Context & uitdaging

Een semi-permanent woonpark met een operationele duur van één tot twee jaar vereiste stroomvoorziening voor bewoning. Het energieverbruiksprofiel was typisch residentieel: continue vraag, 24/7, met duidelijke pieken in ochtend en avond. Naast nachtrust en beperkte luchtemissies in een woonomgeving waren hoge leveringszekerheid en voorspelbare energiekosten over de volledige projectduur belangrijke eisen. Er was geen netaansluiting beschikbaar, of de aansluiting was niet haalbaar binnen projecttermijn en budget²⁸.

Oplossing & implementatie

Er werd een lokaal microgrid geplaatst met meerdere generatoren in N+1-configuratie, een centraal batterijopslagsysteem voor efficiëntieverhoging en nachtelijke autonomie, en een centraal EMS dat generatoren, batterij en lasten aanstuurt.

Het EMS stuurde het microgrid aan met als doel lager brandstofverbruik en hoge betrouwbaarheid. De generatoren draaiden primair in hun gunstig belastingsgebied om de batterij te laden. De batterij ving pieken op en overbrugde daluren en nacht via een cycling-strategie. Bij storingen detecteert het systeem de afwijking automatisch en neemt de redundante generator de last over. Monitoring op afstand maakte beheer, prestatieopvolging en onderhoudsplanung mogelijk met beperkte impact op de bewoners.

Resultaten

De brandstofbesparing bedroeg meer dan 50% ten opzichte van een scenario met continu draaiende generatoren, gedimensioneerd op piekvermogen en zonder batterijbuffer of EMS-optimalisatie. Deze besparing vertaalde zich in een gunstige Total Cost of Ownership over de lange looptijd, 12–24 maanden, ondanks de hogere initiële investering. Het break-evenpunt wordt typisch bereikt na 6–12 maanden, afhankelijk van brandstofprijzen en verbruiksintensiteit.

De N+1-redundantie zorgde voor hoge leveringszekerheid; exacte onderbrekingsdata zijn niet publiek. Het lagere brandstofverbruik verminderde de brandstofgerelateerde CO₂-uitstoot.

Specifieke projectdata, zoals aantal wooneenheden, piekvermogen, dagverbruik, brandstofvolumes en investeringsbedragen, zijn niet publiek. De besparingen zijn gebaseerd op leveranciersinformatie voor vergelijkbare projecten.

Inzichten

²⁸ Dit type case, een semi-permanent woonpark zonder vaste nutsvoorzieningen, is atypisch maar illustratief voor de microgrid-aanpak bij langdurige off-grid toepassingen met hoge leveringszekerheids- en comforteisen. De case is niet bedoeld als model voor structurele huisvesting zonder nutsaansluiting, maar toont hoe tijdelijke microgrid-technologie een betrouwbare oplossing kan zijn wanneer netaansluiting niet haalbaar is.

- Bij projecten met een looptijd >6–12 maanden kan de hogere initiële investering in batterij, EMS en redundantie rendabel worden door operationele besparingen. De TCO-analyse moet deze langetermijnbesparing meenemen.
- Het voorspelbare dagelijkse verbruikspatroon, met pieken in ochtend en avond en dalen tijdens de nacht, maakt EMS-optimalisatie mogelijk. De batterij kan 's nachts de basislast leveren, waardoor generatoren circa 8 uur per dag volledig kunnen worden uitgeschakeld.
- Bij bewoning of andere toepassingen waar uitval niet aanvaardbaar is, is N+1-redundantie een ontwerpvereiste. De meerkost moet worden afgewogen tegen de impact van stroomuitval op bewoners. Voor dit type toepassing kan een beschikbaarheid van >99% vereist zijn.
- Voor installaties op afstand is monitoring op afstand nuttig voor proactief onderhoud, efficiënte foutopsporing, minder fysieke interventies, brandstof- en prestatieopvolging en continuïteit buiten kantooruren.
- De microgrid-aanpak is geschikt voor tijdelijke woon- of werklocaties, zoals woonparken, basiskampen en tijdelijke kantoorlocaties, waar betrouwbaarheid en efficiëntie over langere tijd (>6 maanden) belangrijk zijn en continue werking vereist is.

Bron: algemene praktijkinformatie over vergelijkbare microgridtoepassingen.

8.3.5 BIOGASLOGISTIEK VOOR BOUWPLAATSEN (NEDERLAND)

Illustreert: logistieke keten voor alternatieve brandstoffen (§4.5.2) en aanbestedingssturing via milieukostenindicator (MKI) (§9.1.1).

Context & uitdaging

In Nederland ontstond, mede door duurzaamheidscriteria in openbare aanbestedingen zoals de MKI, behoefte aan duurzamere brandstofalternatieven voor dieselgeneratoren op bouwplaatsen. Een doel was het valoriseren van biogas uit lokale reststromen bij rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's). De hoofduitdaging was niet de generator zelf, maar een betrouwbare en efficiënte logistieke keten om het geproduceerde biogas van de bron naar de bouwplaats te brengen.

Oplossing & implementatie

De logistieke keten omvatte vijf stappen: productie van biogas bij RWZI's; zuivering tot geschikte kwaliteit, typisch >85% CH₄ en verwijdering van H₂S, CO₂ en vocht; compressie tot hoge druk, bijvoorbeeld 200 bar, om het transportvolume te beperken; vervoer in gascontainerbundels vergelijkbaar met industriële gassen; en inzet van compatibele gasgeneratoren op de bouwplaats.

Operationeel betekende dit dat volle biogascontainers naar de werf werden getransporteerd en aangesloten op de generatoren, waarna lege containers werden vervangen door volle. Dit vereiste gespecialiseerd ADR-transport en aangepaste handling op de werf.

Een belangrijk technisch element ter plaatse was een drukreducerstation, vaak met verwarming. Dit verlaagt de hoge druk uit de containers naar de werkdruk van de generator en voorkomt bevriezing door gasexpansie, het Joule-Thomson-effect. De verwarming voorkomt ijsvorming die het systeem kan blokkeren, vooral bij hoge debieten en lage buitentemperaturen. Monitoring van gasdruk en automatische omschakeling tussen containers zorgden voor continue toevoer zonder manuele tussenkomst tijdens bedrijf.

Resultaten

Het project toonde de technische haalbaarheid van gecomprimeerd biogas voor mobiele toepassingen op bouwplaatsen aan. De generatoren konden zonder grote aanpassingen draaien op biogas in plaats van diesel of aardgas. Het project toonde dat een lokale reststroom kan worden omgezet in een bruikbare energiebron voor mobiele toepassingen.

De logistieke keten bleek operationeel haalbaar, maar complexer en arbeidsintensiever dan conventionele dieselvoorziening: containers moesten frequent worden gewisseld, typisch elke 1–3 dagen afhankelijk van het verbruik, ADR-transport was vereist en de levering moest met de RWZI worden gecoördineerd. Exacte kostencijfers zijn niet beschikbaar. In algemene zin wordt gerapporteerd dat gecomprimeerd biogas per energie-eenheid duurder is dan diesel, terwijl ook logistieke kosten, zoals transport en handling, hoger liggen. De haalbaarheid hangt sterk af van subsidies, MKI-eisen in aanbestedingen en CO₂-prijzen.

Kwantitatieve data over volumes, kosten en specifieke CO₂-reductie zijn niet publiek; de beschrijving is gebaseerd op het logistieke concept en de technische haalbaarheid.

Inzichten

- Bij gasvormige alternatieve brandstoffen vormt de logistieke keten minstens even grote uitdaging als de conversietechnologie zelf. De betrouwbaarheid en kosten van de logistiek bepalen de haalbaarheid. Dit geldt ook voor waterstof en andere gasdragers.
- Gecomprimeerd gas vereist een drukreducerstation met verwarming, een veiligheidszone rond de opslag, aangepaste motoren of generatoren en opgeleid personeel voor handling. Deze infrastructuur brengt extra investering en complexiteit mee.
- De economische haalbaarheid van biogas voor tijdelijke toepassingen hangt sterk af van MKI-eisen die duurzame brandstoffen belonen, beschikbare subsidies, lokale beschikbaarheid van biogas, transportafstand en toekomstige CO₂-prijzen of -boetes.
- De kwaliteit van het biogas, met name het H₂S-gehalte, moet goed worden gecontroleerd. Te hoge H₂S-concentraties (>100 ppm) kunnen leiden tot corrosie en motorschade. Opwerking tot geschikte kwaliteit, bijvoorbeeld >85% CH₄ en <100 ppm H₂S, is nodig voor betrouwbare werking.
- Voor zeer grote projecten of hoge energiebehoeften wordt containerlogistiek onpraktisch. Een pijpleiding vanaf een nabijgelegen RWZI is in theorie denkbaar, maar in de praktijk sterk begrensd: het tracé loopt doorgaans over openbaar domein of terrein van derden, wat vergunningen en zakelijk rechten vereist. De haalbaarheid hangt af van de afstand, de projectduur, de bereidheid van de betrokken partijen en de beschikbare vergunningsruimte. Voor standaard tijdelijke projecten is dit geen realistische piste.

8.3.6 H₂-ICE AANGEDREVEN ASFALTMACHINE

Illustreert: H₂-ICE als transitietechnologie (§4.4), retrofit als circulaire aanpak en NO_x-nabehandeling bij waterstofverbranding.

Context & uitdaging

Een asfaltspreidmachine moest worden ingezet in een gevoelige zone met strikte lokale emissie-eisen, bijvoorbeeld een Natura 2000-gebied of stedelijke luchtkwaliteitszone, waar geen lokale CO₂- en

fijnstofemissies werden toegestaan. Volledige elektrificatie van dergelijk zwaar, energie-intensief materieel, typisch 50–150 kW continu, werd als technisch of economisch niet haalbaar beschouwd door de beperkte beschikbaarheid van elektrische asfaltmachines, de hoge energiebehoefte en de uitdagingen rond laadinfrastructuur op mobiele werven. De uitdaging was lokaal quasi-emissievrij werken met betrouwbare, praktisch inzetbare technologie en beheersbare waterstoflogistiek.

Oplossing & implementatie

Er werd gekozen voor retrofit: de bestaande dieselmotor werd vervangen door een waterstofverbrandingsmotor (H₂-ICE). De benodigde waterstof werd aangevoerd vanuit cilinderrekken op de machine zelf. Een voordeel van retrofit was dat bestaande interfaces, zoals de aandrijflijn, grotendeels behouden bleven.

De waterstoflogistiek bestond uit het periodiek vervangen van lege cilinderrekken door volle, typisch dagelijks of om de 1–2 dagen, afhankelijk van verbruik en cilindercapaciteit. H₂-ICE stelt doorgaans minder hoge eisen aan waterstofzuiverheid dan PEM-brandstofcellen en wordt voor zware toepassingen vaak als mechanisch robuuster beschouwd.

Hoewel H₂-ICE geen lokale CO₂ of fijnstof uitstoot, kan het wel stikstofoxiden (NO_x) vormen door hoge verbrandingstemperatuur met lucht. Hiervoor was een nabehandelingssysteem nodig, bijvoorbeeld SCR zoals bij moderne dieselmotoren, om te voldoen aan luchtkwaliteitseisen in gevoelige zones. Een praktisch voordeel is dat service en onderhoud aan H₂-ICE grotendeels kunnen worden uitgevoerd door monteurs die vertrouwd zijn met verbrandingsmotoren. Brandstofcellen vragen meer gespecialiseerde expertise.

Resultaten

De retrofit naar H₂-ICE maakte lokaal quasi-emissievrij werken mogelijk: geen CO₂-uitstoot, geen fijnstofproductie (PM) en NO_x-emissies die via SCR-nabehandeling werden teruggebracht tot een aanvaardbaar niveau voor gevoelige zones. Dit voldeed aan de emissie-eisen voor de projectlocatie. Voor machines die moeilijk volledig te elektrificeren zijn, kan H₂-ICE als transitietechnologie dienen.

De retrofitbenadering bood circulaire voordelen: de bestaande machine bleef langer bruikbaar en de milieu-impact van de productie van een volledig nieuwe machine werd vermeden.

Gerapporteerde uitdagingen waren arbeidsintensieve waterstoflogistiek, dagelijkse of tweedaagse cilinderwisselingen, beperkte autonomie dan diesel, hogere operationele kosten en nood aan veiligheidsprotocollen voor personeel.

Kwantitatieve data over verbruik, zoals kg H₂/uur en autonomie, vergelijkende kosten, specifieke NO_x-reductie en retrofitinvestering zijn niet publiek.

Inzichten

- Waterstofverbrandingsmotoren kunnen een praktisch transitiepad zijn voor zwaar materieel dat moeilijk te elektrificeren is. Ze vormen een tussenoplossing tussen diesel en brandstofcel: mechanisch eenvoudiger en goedkoper dan PEM-brandstofcellen, maar met NO_x-emissies waarvoor nabehandeling nodig blijft, en met lager rendement, circa 30–45% (LHV) tegenover 40–60% voor een brandstofcel.
- Net als bij andere waterstoftoepassingen blijft logistiek een aandachtspunt: kosten, frequente cilinderwissels, veiligheid, opleiding van personeel, procedures en beschikbaarheid van

leveranciers en vulpunten. Dit is vergelijkbaar met biogas, maar veiligheidsaspecten zijn kritischer.

- Het ombouwen van bestaand materieel kan een circulair alternatief zijn voor de aankoop van nieuwe machines, mits technisch haalbaar, economisch verdedigbaar en regelgevend toegestaan, bijvoorbeeld wat typekeuring van aangepast materieel betreft.
- H₂-ICE heeft doorgaans lagere kosten, eenvoudiger onderhoud, lagere zuiverheidseisen voor H₂ en een hogere tolerantie voor brandstofvariatie en ruwe bedrijfscondities dan brandstofcellen. Nadelen zijn NO_x-emissies, waarvoor nabehandeling nodig is, en een lager rendement. Bij bouwprojecten kan robuust gedrag onder zware condities zwaarder wegen dan maximaal rendement.
- H₂-ICE is vooral relevant bij strikte lokale emissie-eisen voor CO₂ en PM, zware toepassingen in ruwe omgevingen en retrofit van bestaand materieel. H₂-ICE is minder geschikt voor stille omgevingen, omdat het geluidsniveau vergelijkbaar kan zijn met diesel, en voor toepassingen met zeer lange autonomie-eisen, omdat de waterstofopslag beperkt blijft.
- Deze case illustreert de toenemende druk vanuit het Stikstofdecreet (§2.3.1) om emissiearm materieel in te zetten nabij Speciale Beschermingszones (SBZ-H), ook wanneer de machine zelf niet indelingsplichtig is

8.3.7 GEOPTIMALISEERDE WERFVOEDING MET 'TRI-HYBRIDE' SYSTEEM

Illustreert: tri-hybride configuratie (§6.3.4), MCA-doorloop (§6.6, Bijlage 3) en Grid First bij beperkt net.

Context & uitdaging

Een binnenstedelijke bouwwerf - nieuwbouw meergezinswoning, ruwbouwfase met één torenkraan en twee werfketen - beschikte over een beperkte netaansluiting (3×25 A, circa 17 kVA). Die aansluiting werd regelmatig overschreden. Zonder verdere analyse zou de standaardoplossing een grote dieselgenerator als primaire energiebron zijn, terwijl de bestaande netaansluiting dan grotendeels onderbenut blijft.

De uitdaging bestond erin om drie doelstellingen te combineren:

- de beperkte, relatief goedkope en lokaal emissievrije netstroom maximaal benutten;
- generatorgebruik, brandstofverbruik, emissies en geluid beperken;
- een betrouwbare stroomvoorziening behouden bij een sterk fluctuerende vraag.

Oplossing & implementatie

Er werd gekozen voor een tri-hybride systeem met drie gekoppelde energiebronnen:

- de bestaande netaansluiting, goed voor ongeveer 15–17 kW continu vermogen;
- een centraal batterijsysteem van ongeveer 40–80 kWh als energiehub;
- een dieselgenerator van ongeveer 30–60 kVA, gedimensioneerd om de batterij efficiënt bij te laden.

Het energiemanagementsysteem (EMS) stuurde de energiestromen. De batterij voedde de werfverbruikers en ving pieken op. De netaansluiting leverde continu basisvermogen en laadde de batterij bij tot aan de aansluitingslimiet. De generator startte enkel wanneer de energievraag hoog was en de batterij onder een vooraf ingestelde drempel zakte.

Wanneer de generator draaide, gebeurde dit kortstondig op een gunstig werkingpunt, typisch rond 70–80% belasting. Daarna schakelde hij opnieuw uit. Realtime monitoring van netinvoer, batterijstatus, generatoruren en werfverbruik was nodig om deze strategie correct te laten functioneren.

Resultaten

De beperkte netaansluiting werd maximaal benut. De generator draaide minder uren dan in een klassieke configuratie en werkte, wanneer hij actief was, in een gunstiger belastingsgebied. Daardoor daalden brandstofverbruik, lokale emissies en geluidsproductie.

De combinatie van net, batterij en generator verhoogde ook de bedrijfszekerheid. Bij tijdelijke netuitval konden batterij en generator de continuïteit ondersteunen. Omgekeerd kon de netaansluiting, bij beperkte belasting, het systeem voeden zonder generatorinzet.

Specifieke projectdata, zoals de verhouding tussen netinvoer en generatorproductie, brandstofbesparing en TCO, zijn niet publiek beschikbaar. De genoemde voordelen zijn gebaseerd op het werkingsprincipe en op praktijkervaring met vergelijkbare systemen.

Toepassing van het MCA-kader

Omdat een net-only oplossing niet volstond en meerdere configuraties technisch haalbaar bleven, werd een multicriteria-analyse toegepast volgens §6.6 en Bijlage 3. De shortlist bestond uit vier opties:

- net + generator;
- net + batterij;
- net + batterij + generator;
- volledig off-grid generator.

Alle opties voldeden aan de minimale eisen rond veiligheid en regelgeving. Ze werden daarom verder vergeleken op technische, economische, milieu-, operationele en contextuele criteria.

Technische criteria

De tri-hybride configuratie scoorde het sterkst op technische robuustheid. De batterij ving korte pieken en snelle lastwisselingen op, terwijl net en generator instonden voor de energielevering. In vergelijking met net + generator leverde dit een stabiel systeem op, met minder inschakelpieken en een betere stroomkwaliteit.

Economische criteria

De initiële kost van het tri-hybride systeem lag hoger dan bij een klassieke generatoroplossing. Door de langere projectduur en het lagere brandstofverbruik kon de totale kost over de projectduur echter gunstiger uitvallen. Net + generator bleef eenvoudiger en goedkoper op korte termijn, maar verloor terrein bij langere looptijd en hogere brandstofprijzen.

Milieu-impact

Door de maximale benutting van netstroom en de beperkte generatorwerking scoorde het tri-hybride systeem beter op lokale emissies en geluid. In vergelijking met een off-grid generator werd het aantal draaiuren duidelijk verlaagd. Dat vertaalde zich in minder CO₂-uitstoot, minder NO_x- en fijnstofemissies en minder geluidshinder op de werf en in de omgeving.

Operationele criteria

Operationeel vroeg het tri-hybride systeem meer configuratie en opvolging dan eenvoudiger oplossingen. Die hogere complexiteit werd deels gecompenseerd door meer flexibiliteit, automatische prioritering van energiebronnen en minder nood aan brandstofleveringen. Net + generator scoorde beter op eenvoud, maar bood minder sturingsmogelijkheden.

Veiligheid en regelgeving

Alle beschouwde opties voldeden aan de relevante vereisten uit AREI, VLAREM en de emissieregelgeving. De tri-hybride configuratie introduceerde geen fundamenteel nieuwe veiligheidsrisico's ten opzichte van klassieke oplossingen, maar vroeg wel duidelijke afspraken over EMS-instellingen, omschakellogica, noodprocedures en onderhoudsverantwoordelijkheden.

Strategische/contextuele criteria

Voor deze werf wogen hinderbeperking, professioneel energiebeheer en het vermijden van onnodig generatoregebruik zwaar door. De tri-hybride oplossing sloot het best aan bij die context, omdat ze efficiënt netgebruik combineerde met lagere generatorinzet en voldoende bedrijfszekerheid.

Samenvattende MCA-uitkomst

Bij een hogere weging van milieu-impact, TCO en operationele flexibiliteit behaalde de tri-hybride configuratie de hoogste totaalscore. Bij een korte projectduur of wanneer eenvoud doorslaggevend is, kan een net + generator-oplossing hoger scoren. In deze specifieke context leidde de MCA tot een gemotiveerde keuze voor tri-hybride werfvoeding.

Tabel 27: Indicatieve MCA-scores tri-hybride case (illustratief)

Criterium	Weging	Net + gen	Net + bat	Tri-hybride	Off-grid gen
Economisch (TCO)	25%	3	3	4	2
Milieu-impact & hinder	30%	2	4	4	1
Operationeel & logistiek	25%	4	3	3	4
Strategisch & contextueel	20%	2	3	4	1
Gewogen totaal		2,8	3,3	3,8	2,0

Schaal 1–5; scores zijn indicatief en projectspecifiek. Zie Bijlage 3 voor de volledige methodiek.

Inzichten

- Een beperkte netaansluiting hoeft niet tot een grote generator te leiden. Door net, batterij en generator gecoördineerd aan te sturen, kan het beschikbare netvermogen maximaal worden benut en blijft de generator beperkt tot situaties waarin hij functioneel nodig is.
- De meerwaarde staat of valt met de EMS-configuratie. De prioriteitslogica, start-stopdrempels, laadvensters en fail-safe-instellingen moeten projectspecifiek worden ingesteld en getest. Zonder correcte sturing dreigt een tri-hybride systeem in de praktijk te functioneren als een gewone generatoroplossing met extra componenten.
- De case verschilt van Royerssluis (§8.3.1). Daar werd de werf opgedeeld in zones, waarbij twee kranen op het net draaiden en de overige kranen via hybride systemen werden gevoed. In deze case voeden net, batterij en generator dezelfde last via één geïntegreerd EMS. Dat maakt de configuratie complexer, maar ook flexibeler.

8.4 PRAKTIJKVOORBEELDEN IN DE EVENEMENTENSECTOR

8.4.1 BOOMTOWN FESTIVAL - ENERGIEMONITORING EN OPTIMALISATIE

Context & uitdaging

Boomtown is een meerdaags stadsfestival op de Kouter in het centrum van Gent, georganiseerd door Democracy. Het festival gebruikt de lokale netaansluiting en heeft geen dieselgenerator. Duurzaamheid is al jaren een kernwaarde van de organisatie, onder meer met herbruikbare bekertjes sinds 2016. In het kader van het MusicAIRE-project wilde de organisatie onderzoeken hoe het elektriciteitsverbruik verder kon dalen. De vraag was dus niet welke voorziening nodig was, maar welke verbruikers de vraag bepalen en waar een besparing mogelijk is.

Oplossing & implementatie

In opdracht van Democracy mat de onderzoeksgroep Electa Gent (KU Leuven) tijdens de editie van vrijdag 15 tot en met woensdag 20 juli 2022 het verbruik van drie afzonderlijke kringen aan de kiosk: bar 1 (3×32 A), bar 2 (3×32 A) en het podium voor licht en geluid (3×63 A). De metingen gebeurden met een eigen ontwikkelde meetkast die spanningen en stromen meet. Energiemeters bepalen het verbruik, een microcontroller leest ze uit en stuurt de data door naar een database. De data werden gekoppeld aan het optredensprogramma, de gemiddelde dagtemperatuur en het aantal verkochte consumpties per bar. De cijfers hieronder gelden voor deze drie kringen en niet voor het volledige festivalterrein.

Resultaten

De drie kringen verbruikten samen 2.025 kWh over zes dagen, net iets meer dan de helft van het jaarverbruik van een standaardgezin (ongeveer 3.500 kWh). Het maximale gemeten totale piekvermogen bedroeg 35 kW (bar 1: 9,2 kW, bar 2: 8 kW, podium: 20,8 kW) en de gemeten baseload 8 kW. De som van de afzonderlijke pieken (38 kW) ligt hoger dan de totale piek, omdat de maxima van de kringen niet samenvielen.

De bars hadden een nagenoeg constant verbruik doorheen de dag, met een lichte stijging tijdens de optredens. Het verbruik van het podium was volledig geconcentreerd in de uren van de optredens: de piek lag veel hoger dan die van de bars, maar het totale podiumverbruik was vergelijkbaar met dat van één bar. Per optreden liep het verbruik uiteen van 7,5 tot 27,6 kWh (gemiddeld 6,7 tot 15,8 kW). De drie optredens met het hoogste gemiddelde verbruik vonden plaats op maandag, de "dag van de zware gitaren". De auteurs verklaren dit wellicht door extra verlichting die de bands bovenop de aanwezige lichtinstallatie plaatsten. Er was geen duidelijk verschil tussen het verbruik van een band en dat van een

dj. Het verbruik van de bars volgde vooral de buitentemperatuur; het aantal verkochte consumpties had een kleinere invloed.

Het rapport vergelijkt de netvoeding ook met alternatieven. Boomtown was in werkelijkheid op het net aangesloten, wat volgens de energiemix tijdens het festival ongeveer 425 kg CO₂ betekende. Op een locatie zonder netaansluiting zou naar alle waarschijnlijkheid een generator van 60 kVA worden ingezet. Die draait niet op vollast, terwijl het rendement van een dieselmotor daalt van ongeveer 35% bij vollast tot ongeveer 17% bij 15% belasting. Voor de opgemeten kringen zou dat ongeveer 1.275 liter diesel vragen, met een CO₂-uitstoot van ongeveer 3.315 kg, bijna acht keer meer dan via het net. Volledig op zonne-energie draaien zou in het ideale geval van continu heldere hemel een installatie van 50 kWp (ongeveer 350 m²) en een batterij van 500 kWh vragen. Dat is voor een tijdelijk evenement op de Kouter niet realistisch, en bij bewolking is meer nodig. Het rapport rekent verder voor dat 35 personen die eenmaal heen en terug van Brugge naar Boomtown rijden evenveel energie verbruiken als de opgemeten kringen tijdens het volledige festival. Bij ongeveer 3.000 dagelijkse bezoekers verbruikt de verplaatsing van bezoekers volgens de auteurs vrij zeker meer energie dan het festival zelf.

Het rapport benadrukt dat Boomtown door de netaansluiting een atypisch festival is, zodat de resterende maatregelen een eerder beperkte invloed hebben op het elektriciteitsverbruik. Het noemt toch de volgende verbeterpunten:

- Sluimerverbruik: de podiumkring verbruikte 's nachts na de optredens continu ongeveer 2.000 W. Het rapport raadt aan met de licht- en geluidstechniekers na te gaan waar dit verbruik vandaan komt en of het kan worden uitgeschakeld. Dat zou ongeveer 90 kWh besparen, een kleine 5% van het gemeten totaal. Volgens de Sustafest-podcast werd dit nachtelijk sluimerverbruik in 2023 tot ongeveer een vierde herleid.
- Verlichting: het podium gebruikte al overwegend LED-verlichting. De extra, niet-LED verlichting die sommige bands zelf meebrachten viel op in de metingen. Boomtown kan als voorwaarde stellen dat extra eigen verlichting enkel LED mag zijn. Het rapport kwantificeert de besparing niet en verwacht een zeer beperkte invloed op het totale verbruik.
- Koeling: het verbruik van de bars wordt vooral bepaald door de buitentemperatuur. Nieuwere, beter geïsoleerde en energiezuinigere frigo's verlagen het verbruik. Frigo's met glazen deur hebben een lagere isolatiewaarde dan frigo's met geïsoleerde deur; het rapport noemt het weglaten van glazen deuren als mogelijkheid, naar het voorbeeld van Colruyt bij bakdiepvriezen, met een kleiner effect op een tijdelijk evenement.
- Mobiliteit: het energieverbruik voor het vervoer van personen en goederen ligt volgens het rapport wellicht een veelvoud boven het elektriciteitsverbruik op het festival. Leveranciers dicht bij Gent en stimulansen voor bezoekers om met trein of fiets te komen kunnen dat verlagen.
- Eigen opwekking: een tijdelijke PV-installatie voor enkele dagen is niet optimaal. Het rapport stelt een vaste, kleine installatie voor die het hele jaar produceert, naar het voorbeeld van Glastonbury. Een installatie van 5 kWp zou 4.000 tot 5.000 kWh per jaar opwekken, ongeveer twee keer het opgemeten verbruik.

Bron: (Lavaert, 2022); het resultaat van 2023 uit (Sustafest, 2025).

Inzichten

- Meten per kring maakt zichtbaar waar het verbruik zit. Bij Boomtown had het podium de hoogste pieken maar een totaalverbruik vergelijkbaar met één bar, terwijl het verbruik van de bars de buitentemperatuur volgde. Dat onderscheid vraagt afzonderlijke meetkringen (§5.2.1).

- Het gelijktijdige piekvermogen (35 kW) lag lager dan de som van de afzonderlijke pieken (38 kW). Voor de aansluiting is het gelijktijdige piekvermogen bepalend (§5.2.2).
- Op een locatie met netaansluiting is de winst op elektriciteit klein: dezelfde vraag via een generator zou bijna acht keer meer CO₂ veroorzaken. Dit sluit aan bij het Grid First-principe (§6.2).
- Bij terugkerende evenementen kunnen meetgegevens gericht worden ingezet. Het sluimerverbruik van het podium, in 2022 vastgesteld op ongeveer 2.000 W, werd in 2023 tot ongeveer een vierde herleid (Sustafest, 2025).

8.4.2 WATERSTOFGENERATOREN VOOR EVENEMENT (NERDLAND FESTIVAL)

Context & uitdaging

Nerland Festival 2024 wilde de foodcourt volledig lokaal emissievrij van stroom voorzien. Het project had ook een demonstratief karakter: de organisatie wilde tonen dat waterstoftechnologie inzetbaar is voor tijdelijke stroomvoorziening op evenementen. Op de locatie was geen geschikte netaansluiting beschikbaar. De combinatie van nul lokale CO₂-, NO_x- en fijnstofemissies, laag geluid en demonstratiewaarde sloot dieselgeneratoren uit. HVO bood wel klimaatwinst over de keten, maar geen lokale emissievrije werking. Een batterij-only oplossing was voor een driedaags festival praktisch moeilijk door het vereiste energievolume.

Oplossing & implementatie

Er werden twee parallel geschakelde PEM-brandstofcelgeneratoren van elk 100 kVA ingezet. De brandstofcellen werden gevoed met gecertificeerd groene waterstof uit cilinderbundels. Elke unit beschikte over een geïntegreerde batterijbuffer van ongeveer 44 kWh om snelle lastwisselingen op te vangen en de werking te stabiliseren.

De voorbereiding vroeg een uitgebreid veiligheidstraject. Vooraf werden de nodige veiligheidsstudies (o.a. het explosieveiligheidsdossier) uitgevoerd, met afstemming met de brandweer (lokaal en Gent-Zeehaven), gemeente en de waterstofleverancier, en duidelijke procedures uitgewerkt. Rond de waterstofopslag en het drukreducerstation werd een ATEX-veiligheidszone ingesteld, afgebakend met fysieke barrières en gecontroleerde toegang.

Enkel daartoe opgeleid en bevoegd personeel mocht de waterstofbundels hanteren, conform de vastgelegde ATEX- en veiligheidsprocedures. Het wisselen van de slangen werd uitgevoerd door één technicus. Continue gasdetectie was gekoppeld aan alarmering. Bij detectie van waterstof op 20% van de Lower Explosive Limit (LEL), wat overeenkomt met circa 0,8 vol% H₂ in lucht, trad het alarmsysteem in werking. Noodstopprocedures en evacuatieplan waren vooraf vastgelegd.

Omdat de foodcourt 24/7 stroom nodig had, bleef de waterstofinstallatie tijdens het festival continu in bedrijf en onder druk, waardoor bundelwissels niet mogelijk waren. De volledige waterstofvoorraad (14 cilinderbundels op 300 bar) werd daarom vooraf binnen de ATEX-zone opgesteld.

Resultaten

De foodcourt werd betrouwbaar van stroom voorzien, zonder gerapporteerde uitval. De werking was lokaal emissievrij: er was geen uitstoot van CO₂, NO_x of fijnstof ter plaatse. Het geluidsniveau lag onder 55 dB(A), duidelijk lager dan bij conventionele generatoren.

Over het festival werd ongeveer 225 kg waterstof verbruikt voor ongeveer 3,5 MWh elektriciteit. Dit komt overeen met circa 15–16 kWh elektriciteit per kg H₂, of een totaalrendement van ongeveer 45–50%, inclusief batterijverliezen.

De lokale CO₂-besparing ten opzichte van diesel bedroeg ongeveer 3,15 ton CO₂. Die berekening vertrekt van 3.500 kWh elektriciteitsvraag, een indicatieve dieselopbrengst van 3 kWh per liter, en 2,7 kg CO₂ per liter diesel²⁹:

$3.500 \text{ kWh} / 3 \text{ kWh per liter} \approx 1.167 \text{ liter diesel}$

$1.167 \text{ liter} \times 2,7 \text{ kg CO}_2 \text{ per liter} \approx 3,15 \text{ ton CO}_2$

De klimaatimpact over de volledige keten hangt sterk af van de productiemethode van de waterstof. In deze case werd gecertificeerd groene waterstof gebruikt. Alleen dan is de klimaatwinst over de keten geloofwaardig. Bij grijze waterstof ligt de CO₂-reductie veel lager, en bij blauwe waterstof hangt ze af van de afvanggraad en methaanverliezen in de keten.

De case kreeg veel media-aandacht en had duidelijke educatieve waarde. Bezoekers konden kennismaken met waterstoftechnologie in een concrete toepassing. Die zichtbaarheid was voor deze case een belangrijk deel van de meerwaarde.

De kosten lagen duidelijk hoger dan bij een klassieke dieseloplossing. Indicatief ging het om €15.000–20.000 tegenover €2.000–4.000 voor een dieselopstelling, afhankelijk van huurconstructie, waterstofprijs en eventuele sponsoring.

Inzichten

- Waterstofbrandstofcellen kunnen lokaal emissievrije en stille stroom leveren, maar de technologie vraagt veel voorbereiding, gespecialiseerde logistiek en een hoog veiligheidsniveau. De huurprijs van brandstofcellen ligt aanzienlijk hoger dan die van diesel- of HVO-generatoren. Ook de waterstofprijs en de kost voor transport, opslag en gecertificeerd personeel verhogen de totale kost.
- De voorbereidingstijd mag niet worden onderschat. Voor een eerste toepassing kunnen vier tot twaalf maanden nodig zijn voor veiligheidsstudies, vergunningen, afstemming met hulpdiensten en operationele procedures.
- Deze technologie past vooral bij evenementen waar lokale emissievrije werking, geluidsbepalking en demonstratiewaarde zwaar doorwegen en waar voldoende budget en voorbereidingstijd beschikbaar zijn. Voor reguliere evenementen zonder showcasewaarde blijft waterstof op korte termijn doorgaans te duur en organisatorisch te belastend.
- De regelgevende en vergunningscontext voor waterstof bij evenementen is nog in ontwikkeling. Een beter afgestemd kader tussen overheid, brandweer en sector kan toekomstige toepassingen vereenvoudigen.

²⁹ Aannames: specifiek verbruik dieselgenerator 3,0 kWh/L bij gemiddelde belasting (zie §4.2); emissiefactor 2,7 kg CO₂/L diesel (IPCC default voor gasolie). Dit betreft de vermeden directe, lokale uitstoot (tank-to-wheel); de well-to-wheel besparing hangt af van de productieroute van de waterstof (zie hieronder).

8.4.3 BROADCASTING BIJ GROTE EVENEMENTEN

Context & uitdaging

Bij grote live televisie- of radio-uitzendingen, zoals internationale sportevenementen, UEFA- of FIFA-finales en Olympische Spelen, is de stroomvoorziening voor OB-vans, serverracks, camera-infrastructuur en zendapparatuur bedrijfskritisch.

De eisen liggen veel hoger dan bij reguliere evenementen. Korte onderbrekingen, spanningsdips of frequentieafwijkingen zijn in de praktijk niet aanvaardbaar. Een uitval kan leiden tot onmiddellijke onderbreking van de uitzending, contractuele sancties, reputatieschade en juridische aansprakelijkheid. De kost van falen ligt vele malen hoger dan de meerkost van een redundante stroomvoorziening.

Oplossing & implementatie

Voor dit type toepassing worden gespecialiseerde, meerlagige energiesystemen gebruikt. Die bestaan typisch uit:

- meerdere parallel geschakelde hoogwaardige generatoren, vaak Stage V en soms gevoed met HVO;
- online UPS-systemen tussen generatoren en kritieke lasten;
- N+1- of 2N-redundantie, afhankelijk van de kritikaliteit;
- fysiek gescheiden circuits voor kritieke broadcastinstallaties en minder kritieke verbruikers;
- permanente technische aanwezigheid op de site.

Power management controllers zorgen voor automatische synchronisatie, lastverdeling en omschakeling. De UPS-systemen leveren een stabiele sinusgolf, filteren storingen en overbruggen de korte periode die een back-upgenerator nodig heeft om over te nemen. Voorafgaande tests van omschakeling, belasting en fail-over zijn standaard.

Resultaten

Dergelijke systemen worden ontworpen voor zeer hoge beschikbaarheid. De exacte beschikbaarheid hangt af van het ontwerp, de uitvoering en de meetmethode, maar de configuratie is erop gericht dat één defecte component de uitzending niet onderbreekt.

De stroomkwaliteit wordt streng bewaakt. Typische eisen zijn een stabiele spanning, lage harmonische vervorming en een frequentie binnen nauwe marges. Ook bescherming tegen bliksem, elektromagnetische interferentie en storingen door omliggende infrastructuur krijgt aandacht.

De kosten liggen veel hoger dan bij reguliere evenementenopstellingen. Voor grote internationale evenementen kan het gaan om €50.000–250.000 of meer, afhankelijk van vermogen, duur, redundantieconcept en vereiste technische ondersteuning. Die meerkost wordt aanvaard omdat de gevolgen van uitval veel zwaarder wegen.

Bron: Algemene praktijkinformatie uit de broadcast-powersector (2025).

Inzichten

- Broadcasting toont dat de weging van criteria sterk kan verschillen per toepassing. Bij kritieke uitzendingen primeren betrouwbaarheid en stroomkwaliteit op kostenefficiëntie. Een standaard generatoroplossing is hier onvoldoende, ook wanneer het nominale vermogen zou volstaan.
- Dit type systeem vraagt gespecialiseerde kennis. Ontwerp, testprocedures, noodscenario's en technische aanwezigheid moeten worden uitgevoerd door partijen met ervaring in broadcast-power. Voor reguliere evenementen zou deze opzet meestal overgedimensioneerd zijn, maar bij live-uitzendingen is ze verdedigbaar door de hoge kost van falen.

8.4.4 GECENTRALISEERDE ENERGIEVOORZIENING VOOR EEN FOODTRUCKFESTIVAL (FICTIEF)

Context & uitdaging

Bij een typisch foodtruckfestival brengt elke truck vaak zijn eigen kleine generator mee, meestal in de vermogensklasse van 3–5 kVA. Bij 30 tot 50 foodtrucks leidt dat tot een groot aantal verspreide generatoren op het terrein. Die toestellen verschillen vaak in leeftijd, onderhoudstoestand en geluidsniveau.

De traditionele aanpak veroorzaakt drie problemen:

- cumulatieve geluidshinder, soms boven 80 dB(A);
- lokale luchtverontreiniging door oudere of slecht onderhouden motoren;
- relatief hoog brandstofverbruik door veel kleine generatoren die op lage deellast draaien.

Strikte lokale geluidsvoorwaarden (bv. een maximaal geluidsdrukkniveau van 60 dB(A) op de terreingrens, opgelegd via de evenementenvergunning) vormen uitdaging.

Conceptuele oplossing

Een alternatief is om de decentrale generatoren te vervangen door één centrale stroomvoorziening, strategische geplaatst aan de rand van het terrein en afgeschermd met geluidswering.

Vanuit deze centrale bron wordt een tijdelijk distributienet aangelegd met 3-fasige 400 V-voeding en CEE-aansluitingen per foodtruck.

Individuele kWh-meters maken het mogelijk om het verbruik per standhouder zichtbaar te maken en eventueel door te rekenen.

De centrale bron wordt bij voorkeur niet als één grote generator uitgevoerd. Een festival kent een sterk wisselend dagprofiel, langzame opbouw, piek rond de maaltijden, snelle afname, waardoor een enkele grote generator het grootste deel van de tijd in deellast draait (zie §7.3.2). Twee mogelijke opstellingen:

- **Cascade van twee kleinere generatoren** (bv. 2 × 30 kVA Stage V, eventueel op HVO): de tweede unit schakelt pas bij wanneer de vraag de capaciteit van de eerste overstijgt. Bij lage vraag draait slechts één generator, op een gunstiger belastingsniveau.
- **Generator + batterij** (bv. 30 kVA Stage V + batterijbuffer van 30 kWh): de batterij vangt inschakelpieken, de opbouwfase en de rustige avonduren op; de langdurige maaltijdpiek wordt door de generator(en) gedekt (zie §6.4.3).

Beide opstellingen verminderen de deellastproblematiek, verlagen het brandstofverbruik en beperken geluid en emissies tijdens de rustigere periodes.

Verwachte effecten op basis van engineering-inschatting

Een gecentraliseerde opstelling kan het brandstofverbruik met meer dan 40% verlagen. Die winst komt door:

- efficiëntere centrale opwekking met moderne Stage V-generator(en) in cascade of met batterijbuffer;
- hogere gemiddelde belasting van de centrale generator;
- minder inefficiënte deellast bij kleine individuele generatoren;
- betere dimensionering op basis van gelijktijdigheid.

Ook het geluidsniveau kan duidelijk dalen: van verspreide, cumulatieve hinder naar één gecontroleerde bron die akoestisch beter kan worden geplaatst en afgeschermd. Daarnaast dalen lokale emissies, omdat moderne generatoren oudere kleine toestellen vervangen.

Tegenover deze voordelen staan hogere organisatiekosten, meer voorbereiding, nood aan veilige bekabeling, mogelijke weerstand van standhouders die hun eigen generator willen blijven gebruiken, en het risico van één centraal uitvalpunt. Dat laatste kan worden beperkt door een back-upgenerator of batterijbuffer te voorzien.

Inzicht

Deze fictieve case toont het potentieel van centralisatie bij evenementen met veel kleine verbruikers. De winst zit niet alleen in brandstofbesparing, maar vooral in controle: één professionele installatie is beter te dimensioneren, te monitoren, te plaatsen en te beveiligen dan tientallen individuele generatoren.

In stedelijke contexten kan geluid de belangrijkste reden zijn om voor centralisatie te kiezen. De praktische drempels liggen vooral bij organisatie, afrekening, bekabeling en verantwoordelijkheidsverdeling. Een centraal systeem werkt alleen wanneer de organisator vooraf duidelijke afspraken maakt met standhouders over vermogen, aansluiting, verbruik en kostenverdeling.

Deze case is illustratief. De vermelde besparingen zijn gebaseerd op engineering-inschattingen, niet op meetdata uit een concreet project.

8.4.5 HVO-INZET OP EEN GROOT FESTIVAL (PUKKELPOP)

Context & uitdaging

Pukkelpop is een van de grootste muziekfestivals in België en heeft een omvangrijke, verspreide energiebehoefte. Historisch werd die stroomvraag grotendeels ingevuld met dieselgeneratoren op verschillende plaatsen op het terrein.

De organisatie wilde de ecologische voetafdruk van de stroomvoorziening op korte termijn verlagen, zonder de volledige energie-infrastructuur te vervangen. De uitdaging bestond erin een directe CO₂-reductie te realiseren binnen een bestaande generatorvloot, met behoud van betrouwbaarheid en zonder ingrijpende technische aanpassingen.

Oplossing & implementatie

Voor de edities 2023 en 2024 werden de dieselgeneratoren op het festivalterrein gevoed met HVO100 in plaats van fossiele diesel. HVO100 is een drop-in brandstof voor veel moderne dieselmotoren, waardoor geen fundamentele technische aanpassingen aan de generatoren nodig waren, op voorwaarde dat de fabrikant het gebruik toestaat.

De keuze voor HVO paste binnen een breder duurzaamheidstraject. Ze bood een snelle en zichtbare reductie van de fossiele CO₂-uitstoot, terwijl de bestaande generatorinfrastructuur bruikbaar bleef. Dit maakte HVO operationeel veel eenvoudiger dan waterstof, volledige elektrificatie of een volledig batterijgedreven systeem.

De grootste uitdaging lag bij de logistiek. Voor een groot festival gaat het om aanzienlijke volumes brandstof, indicatief 50.000–100.000 liter over enkele dagen. Dit vraagt tijdige contractering, bulklevering, opslag en distributie naar generatoren verspreid over het terrein.

Resultaten

De organisatie rapporteerde een grote reductie van de CO₂-uitstoot door stroomopwekking. Een reductieclaim van ongeveer 90% is alleen geloofwaardig wanneer de HVO geproduceerd is uit gecertificeerde afval- en reststromen, zoals gebruikt frituurvet of industriële reststromen, en niet uit grondstoffen met een hoog ILUC-risico.

De werkelijke ketenreductie hangt af van:

- de gebruikte grondstof;
- het productieproces;
- transportafstand en logistiek;
- certificering volgens erkende schema's, zoals ISCC-EU of REDcert.

Bij een indicatief verbruik van 75.000 liter en een meerkost van €0,50 per liter komt de bijkomende brandstofkost uit op ongeveer €37.500. De meerkost kan variëren met de HVO-marktprijs, contractvoorwaarden en dieselprijs. Voor een groot festival kan dit worden verantwoord binnen een bredere duurzaamheids- en imagostrategie.

De strategische waarde is moeilijk te kwantificeren, maar reëel: positieve communicatie, betere positionering naar bezoekers en sponsors, en een zichtbare stap in de vergroening van de festivalwerking.

De inzet van HVO kan worden gezien als een eerste transitiestap. Verdere reductie vraagt bijkomende maatregelen, zoals energiemetingen, batterijbuffers voor pieken, hybride configuraties en meer gebruik van netstroom waar dat praktisch haalbaar is.

Bron: Pukkelpop-perscommunicatie en praktijkinformatie uit de festivalsector.

Inzichten

- HVO100 is een pragmatische manier om snel de fossiele CO₂-uitstoot van bestaande generatoren te verlagen. Het vraagt geen nieuwe systeemarchitectuur en is daardoor eenvoudiger toepasbaar dan waterstof of volledige elektrificatie.

- De klimaatwinst wordt bepaald door de herkomst van de brandstof. Zonder duurzaamheidscertificaat is een reductieclaim onvoldoende onderbouwd. HVO uit afval- en reststromen kan een grote CO₂-reductie opleveren; HVO uit voedselgewassen of grondstoffen met hoog ILUC-risico kan de klimaatwinst sterk beperken of zelfs teniet doen.
- Voor grote festivals is HVO logistiek haalbaar, maar niet goedkoop. De meerkost moet bewust worden meegenomen in het budget. De keuze is vooral verdedigbaar wanneer duurzaamheid, reputatie en stakeholderverwachtingen meewegen naast de directe energieprijis.
- HVO vervangt geen energie-optimalisatie. Het verlaagt de ketenimpact van generatorgebruik, maar laat de lokale inzet van verbrandingsmotoren bestaan. De grootste winst op langere termijn komt uit minder generatoruren, betere dimensionering, hybride systemen en maximaal gebruik van beschikbare netstroom.

8.5 GENERIEKE LESSEN EN BESTE PRAKTIJKEN UIT HET VELD

Deze lessen zijn gedistilleerd uit de bedrijfsbezoeken, interviews en cases in dit hoofdstuk. Niet elke les geldt voor elk project; de toepassing schaalst met de aard, omvang en duur van het project (zie het kader Proportionele toepassing bij DEEL 2). De beleidsmatige vertaling van deze lessen staat in §9.3.

8.5.1 ANALYSE EN DIMENSIONERING

1. Meet of schat eerst het verbruiksprofiel: basislast, pieken, duur van de pieken, sluimerverbruik en kritikaliteit per gebruiker.
2. Dimensioneer nooit op de som van nominale vermogens zonder gelijktijdigheid. Gebruik een expliciete gelijktijdigheidsfactor of meetdata.
3. Specificeer bij batterijen altijd kWh én kW/kVA: energie-inhoud en piekvermogen/omvormervermogen.
4. Gebruik een eenvoudig rekenanker voor diesel: ~3,0–3,7 kWh/L en ~2,7 kg CO₂/L, indicatief en belastingafhankelijk.

8.5.2 BESLUITVORMING EN TECHNOLOGIEKEUZE

1. Vraagreductie vóór bronkeuze: sluimerverbruik en efficiëntiemaatregelen kunnen tegen lage kost een reductie in de orde van 10–20% opleveren.
2. Hybride systemen zijn vooral zinvol bij deellast, korte pieken en sterk wisselende profielen.
3. Gebruik correcte emissietaal: “lokaal emissievrij” geldt enkel wanneer op de gebruikslocatie geen emissies vrijkomen. Als emissies elders in de keten optreden, specificeer dan “emissievrij aan de machine”, “geen lokale emissies” of “reductie ten opzichte van de referentiesituatie”.
4. Leg randvoorwaarden vast voor claims over besparing en terugverdientijd: startpunt, inzetduur, loadfactor, brandstoflogistiek en certificering van HVO, H₂ of biomethaan.

8.5.3 LOKALE STURING EN AANBESTEDINGSPRAKTIJK

1. Lokale besturen kunnen via aanbestedingsvoorwaarden en politiereglementen sturen op het weren van oudere, vervuilende generatoren, ook zonder formeel LEZ-kader of specifieke VLAREM-rubriek. Stad Gent past dit toe via aanbestedingsvoorwaarden en hinderbeperkende

maatregelen; Stad Antwerpen hanteert een vergelijkbare aanpak via het politiereglement. Deze lokale praktijkvoorbeelden tonen hoe indirecte sturing vandaag al werkt waar het algemene Vlaamse kader beperkt doorwerkt (zie ook §2.3.7 en §9.3.4).

2. De formulering van milieu- en geluidseisen als prestatie-eisen, zoals maximale CO₂-uitstoot per kWh of geluidsdrukniveau op de terreingrens, laat meer ruimte voor innovatieve oplossingen dan het voorschrijven van specifieke technologieën (zie §9.1).

8.5.4 STURING EN INTEGRATIE

1. Het succes van hybride en tri-hybride systemen hangt in de praktijk minstens evenveel af van de correcte configuratie van het energiemanagementsysteem (EMS) als van de componentkeuze zelf. Zonder actieve sturing vervalt een hybride systeem naar generator-only gedrag (§8.3.1, §8.3.2, §8.3.7). De EMS-configuratie — prioriteitslogica, start-stopdrempels, laadvensters — moet projectspecifiek worden afgestemd en getest vóór ingebruikname.
2. Bij alternatieve brandstoffen (biogas, waterstof) is de aanvoer, compressie, transport en opslag van biogas minstens even bepalend als de conversietechnologie. Haalbaarheidsstudies die enkel de generator beoordelen zonder de brandstofsupply chain, zijn onvolledig (§8.3.5, §9)

8.5.5 VEILIGHEID EN AANVAARDING VAN NIEUWE TECHNOLOGIEËN

1. Nieuwe technologieën (waterstof, mobiele BESS, biogas) vragen een specifiek veiligheidskader dat bij de eerste inzet vaak nog niet gestandaardiseerd is. §8.3.5De case Nerdland (§8.4.2) toont dat de voorbereidingstijd voor veiligheidsstudies, vergunning en afstemming met de brandweer bij een eerste toepassing 4–12 maanden kan bedragen.
2. De veiligheidseisen voor mobiele BESS en waterstofinstallaties worden door lokale hulpverleningszones nog niet uniform beoordeeld (zie §2.3.6). Dit leidt tot onzekerheid voor projectverantwoordelijken en vertraagt de adoptie van duurzamere alternatieven, ook wanneer deze technisch gereed zijn.
3. Uit de cases blijkt dat de drempel voor proactieve afstemming met de brandweer in de praktijk sterk verschilt per technologie en per hulpverleningszone. Bij de Nerdland-case (§8.4.2) vergde de afstemming maanden voorbereiding; bij compacte mobiele batterijsystemen verliep de inpassing via het standaard veiligheidsplan. De implementatierichtlijn staat in §7.2.4 de aanbeveling voor uniformere brandweerbeoordeling staat in §9.3.4.

DEEL 3: NAAR EEN DUURZAME TOEKOMST

Deel 2 (Hoofdstukken 5–8) beschreef hoe een projectverantwoordelijke de elektriciteitsbehoefte analyseert, een systeem kiest en de gekozen oplossing uitvoert. Die werkstroom ondersteunt een onderbouwde keuze per project. Hoe snel de sector als geheel omschakelt, hangt echter af van factoren die buiten het bereik van één project liggen. Deel 3 (Hoofdstuk 9) behandelt daarom de voorwaarden voor verdere verduurzaming: wat overheden, opdrachtgevers, leveranciers en verhuurbedrijven, sectorfederaties en netbeheerders vandaag kunnen doen, en wat op korte, middellange en lange termijn haalbaar is.

Vier factoren bepalen sterk hoe snel de omschakeling verloopt: de fiscaliteit van fossiele brandstoffen, de handhaving van emissie- en conformiteitseisen, het ontbreken van gerichte financiële stimuli en de vraag vanuit publieke en private opdrachtgevers. Ze keren doorheen Hoofdstuk 9 terug.

Hoofdstuk 9 vertaalt in §9.1 duurzame principes naar aanbestedingen en bestekken: minimale eisen, gunningscriteria, monitoring en verificatie, en voorbeeldclausules.

§9.2 schetst een gefaseerd transitiepad met acties op korte (nu–3 jaar), middellange (3–7 jaar) en lange termijn (7+ jaar).

§9.3 werkt de aanbevelingen uit per stakeholdergroep: eindgebruikers, opdrachtgevers, leveranciers en verhuurbedrijven, overheden en vergunningverleners, technologieontwikkelaars en onderzoekers, sectorfederaties en netbeheerders.

De aanbevelingen in Deel 3 zijn richtinggevend en indicatief. Ze maken geen deel uit van de werkstroom in Deel 2. Ze worden pas bindend voor een project wanneer een bestek, contract, vergunning of lokaal reglement ze overneemt (§6.1.4).

HOOFDSTUK 9. TRANSITIEPAD NAAR EEN DUURZAME PRAKTIJK



HOOFDSTUK 9. TRANSITIEPAD NAAR EEN DUURZAME PRAKTIJK

De vorige hoofdstukken beschreven hoe tijdelijke elektriciteitsvoorziening kan worden geanalyseerd, gekozen en uitgevoerd. Dit hoofdstuk beschrijft welke stappen de milieu-, klimaat- en hinderimpact verder kunnen verlagen. De richting sluit aan bij nationale en internationale milieu- en klimaatdoelstellingen en bouwt voort op inzichten uit de praktijk.

Het hoofdstuk bespreekt wat vandaag al kan, wat op korte en middellange termijn haalbaar is en welke voorwaarden nodig zijn voor verdere omschakeling.

De overheid beïnvloedt de omschakeling als opdrachtgever, dienstverlener, regelgever en handhaver. Elk van die rollen bepaalt mee welke oplossingen in de markt doorbreken. Daarom behandelt §9.1 hoe duurzame principes kunnen worden vertaald naar aanbestedingen en contractuele afspraken. §9.2 schetst vervolgens een gefaseerd transitiepad met acties op korte, middellange en lange termijn. In §9.3 worden de implicaties hiervan uitgewerkt per stakeholdergroep: eindgebruikers, opdrachtgevers, leveranciers en verhuurbedrijven, overheden, technologieontwikkelaars, sectorfederaties en netbeheerders.

Het geschetste transitiepad is indicatief en vertrekt vanuit wat vandaag technisch en operationeel haalbaar is. Vier factoren bepalen sterk hoe snel de omschakeling verloopt. Individuele projectverantwoordelijken hebben hierop slechts beperkte invloed:

1. Fiscaliteit van fossiele brandstoffen: zolang rode diesel door de accijnsverlaging aanzienlijk goedkoper blijft dan reguliere diesel en koolstofarme alternatieven, blijft fossiele mobiele opwek in een groot deel van de markt economisch aantrekkelijk. Dit prijsverschil varieert in de tijd en beïnvloedt rechtstreeks de Total Cost of Ownership van alternatieve systemen.
2. Handhaving van emissie- en conformiteitseisen: Stage V geldt als productvereiste bij het op de markt brengen van nieuwe motoren (Verordening (EU) 2016/1628). Voor het gebruik van bestaand, rechtmatig op de markt gebracht materieel bestaat in Vlaanderen geen algemene minimale emissieklasse, en waar een bestek, vergunning of lokaal reglement wél een emissieklasse voorschrijft, wordt de naleving niet systematisch gecontroleerd, noch op de emissieklasse zelf, noch op de integriteit van nabehandelingssystemen (DPF, SCR). Daardoor ontstaat een ongelijk speelveld: investeringen in Stage V-technologie, hybride systemen of emissiearme oplossingen renderen minder, wat de vlootvernieuwing afremt.
3. Ontbreken van gerichte financiële stimuli: in tegenstelling tot buurlanden (zie §2.4) beschikt Vlaanderen niet over een subsidie-instrument voor emissiearm of emissievrij tijdelijk materieel. De bestaande instrumenten (Ecologiepremie+, GREEN) zijn primair ontworpen voor vaste installaties bij de onderneming; mobiele of tijdelijk ingezette systemen vallen daardoor niet vanzelfsprekend binnen het toepassingsgebied (zie Bijlage 2).
4. Onvoldoende vraag vanuit publieke en private opdrachtgevers: zolang bestekken en contracten geen eisen stellen aan emissieklasse, geluid of energiebron, ervaren leveranciers en aannemers geen marktprikkel om in schoner materieel te investeren.

Daardoor worden technisch haalbare en efficiëntere oplossingen vandaag nog niet overal gekozen. Deze vier factoren keren daarom doorheen dit hoofdstuk terug. De omschakeling kan niet door één partij

alleen worden gerealiseerd. De directe regulatoire druk in Vlaanderen is momenteel beperkt, onder meer door de vrijstellingen van rubriek 12.1 VLAREM II voor dieselgeneratoren op bouwerven. De transitiedruk loopt vandaag hoofdzakelijk indirect, via aanbestedingseisen van opdrachtgevers of in specifieke contexten zoals projecten nabij Speciale Beschermingszones (SBZ-H). De voorbeelden van Stad Gent en Stad Antwerpen (zie §2.3.7) illustreren hoe lokale overheden vandaag indirecte sturing organiseren waar het algemene Vlaamse kader beperkt doorwerkt.

De aanbevelingen en tijdslijnen in dit hoofdstuk zijn geschreven met de huidige marktomstandigheden als vertrekpunt. Tegelijk tonen ze waar gerichte beleidskeuzes, aanbestedingspraktijken en sectorafspraken het verschil kunnen maken. Wanneer economische prikkels en handhaving beter worden afgestemd op de klimaat- en milieudoelstellingen, kan de transitie van tijdelijke elektriciteitsvoorziening sneller verlopen. De fasering is indicatief: maatregelen kunnen parallel lopen en per sector sneller of trager ingang vinden.

9.1 RICHTLIJNEN VOOR OVERHEIDSOPDRACHTEN

De overheid is een belangrijke versneller van de transitie naar duurzamere tijdelijke elektriciteitsvoorziening, zowel als grote afnemer als via haar voorbeeldfunctie voor de markt. Door in bestekken duidelijke prestatie-eisen en gunningscriteria op te nemen, kan zij duurzame technologieën actief stimuleren, en tegelijk ook innovatie in de sector bevorderen.

9.1.1 KADER VOOR DUURZAME AANBESTEDINGEN

Aanbestedingen sturen investeringsbeslissingen bij leveranciers en bepalen welke oplossingen schaal en maturiteit bereiken. De manier waarop eisen en gunningscriteria worden geformuleerd, is daarom minstens zo bepalend als de beschikbare technologie zelf.

Een duurzaam aanbestedingskader vertrekt niet van het voorschrijven van specifieke technieken, maar van prestaties. Dit sluit rechtstreeks aan bij het beslissingskader in Hoofdstuk 6, waar de systeemkeuze afhankelijk is van het energieprofiel, randvoorwaarden en projectcontext. Aanbestedingen die ruimte laten voor die afweging, vermijden dat projecten worden vastgezet op oplossingen die in een specifieke context niet optimaal zijn of snel verouderen. De uitdaging is minimale prestaties vast te leggen zonder één technologie op te leggen.

Een geïntegreerde beoordeling op basis van de drie pijlers economie, milieu en omgeving is daarbij aangewezen:

- Economisch verschuift de focus van loutere huur- of aankoopprijs naar de totale kost over de gebruiksduur. Instrumenten zoals Total Cost of Ownership (TCO), Life Cycle Costing (LCC) ondersteunen de financiële vergelijking over de gebruiksduur, inclusief brandstofverbruik, onderhoud en operationele inzet. De CO₂-Prestatieladder is een afzonderlijk aanbestedings- en managementinstrument dat de klimaatprestatie van organisaties belooft; ze vervangt geen projectspecifieke TCO- of LCC-berekening. Dit sluit aan bij de economische criteria uit §6.6 en voorkomt dat oplossingen met lage instapkosten maar hoge gebruikskosten systematisch bevoordeeld worden.
- Ecologisch ligt de nadruk op meetbare impact: uitstoot van CO₂, NO_x en fijnstof, geluidsproductie en energie-efficiëntie. Afhankelijk van de context kan ook indirecte impact worden meegenomen, zoals transportbewegingen of materiaalgebruik. Deze elementen komen overeen met de milieucriteria die in het MCA-kader (§6.6) worden gehanteerd, maar krijgen hier een aanbestedingsmatige vertaling.

- Sociaal en omgevingsgericht gaat het vooral om hinderbeperking voor de omgeving: geluid, geur, luchtkwaliteit en visuele impact. In stedelijke contexten of bij evenementen kan dit een doorslaggevend criterium zijn, zelfs wanneer een oplossing technisch goed functioneert.

In de praktijk signaleren leveranciers dat milieucriteria steeds vaker apart worden meegenomen in gunningsbeslissingen (Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten, 2024–2025). Een methodiek die daarbij aan belang wint, is de Milieukostenindicator (MKI). Deze zet milieu-impact om in een monetaire schaduwprijs en laat toe om oplossingen onderling te vergelijken. In Vlaanderen is MKI voor tijdelijke elektriciteitsvoorziening nog niet gestandaardiseerd, maar piloottoepassingen kunnen waardevol zijn als voorbereiding op toekomstige beleidskaders (zie ook §9.2.3).

Een toekomstgericht aanbestedingskader vermijdt technologie-voorschrijvende formuleringen. In plaats van een specifieke technologie voor te schrijven (bv. “een dieselgenerator Stage V”), kan minimaal voldoen aan de Stage V-emissiegrenswaarden worden geëist. Dat laat elke oplossing toe die evenveel of minder uitstoot — tot en met emissieloze systemen. Aanvullend kan worden gewerkt met functionele eisen, zoals maximale CO₂-uitstoot per geleverde kWh of een geluidsdruk niveau op een bepaalde afstand van de installatie.

Praktijkvoorbeeld: het raamcontract van Stad Antwerpen voor generatorverhuur hanteert een minimumeis van < 66 dB(A) op 7 m (niet-conform vanaf 66 dB(A)), met oplopende gunningspunten voor stillere toestellen.

Dit laat toe om verschillende configuraties (netgebaseerd, hybride of off-grid) objectief te vergelijken binnen het beslissingskader van Hoofdstuk 6, zonder innovatie af te remmen. Deze principes gelden niet alleen voor publieke aanbestedingen. Ook private opdrachtgevers sturen via contracten en bestekken.

Voor ondernemingen die onder duurzaamheidsrapportering (Corporate Sustainability Reporting Directive - CSRD) of de EU-taxonomie vallen, kunnen emissies van werf- en evenementactiviteiten meewegen in de waardeketenrapportering, waardoor de bestek- en gunningsprincipes uit deze paragraaf analoog toepasbaar zijn in private contracten.

Tegelijk bieden normen die in een bestek worden opgenomen, een effectief instrument om de ambitie juridisch afdwingbaar te maken: wat in een norm als goede praktijk wordt beschreven, wordt bij opname in een bestek een contractuele verplichting. Daarbij is het van belang dat de meerkost voor een schoner energiesysteem van bij de start wordt voorzien in de projectbudgettering. Wanneer het bestek geen ruimte laat voor een duurzamere configuratie, is er in de uitvoeringsfase weinig marge om nog bij te sturen.

Tot slot zijn schaal, looptijd en consistentie belangrijk. Langere contracten en voldoende volume maken investeringen in kapitaalintensievere oplossingen zoals batterijsystemen of hybride configuraties economisch haalbaar. Stelselmatige toepassing van duurzaamheidscriteria — niet ad hoc per dossier, maar als standaard in alle relevante aanbestedingen — geeft leveranciers de voorspelbaarheid die nodig is om te investeren. Uniforme bepalingen over bestekken heen vermijden dat inschrijvers per dossier zware projectspecifieke motiveringen moeten opbouwen zonder zekerheid op gunning. Door investeringszekerheid te bieden, kan de overheid indirect bijdragen aan vlootvernieuwing en marktontwikkeling.

9.1.2 MINIMALE EISEN EN TECHNISCHE SELECTIECRITERIA

Technische specificaties in bestekken bepalen welke oplossingen mogen meedingen. Ze beïnvloeden ook hoe leveranciers hun systemen dimensioneren, configureren en beheren. De uitdaging bestaat erin minimale prestaties te borgen, zonder oplossingen voortijdig vast te pinnen op één technologie.

Drie begrippen structureren deze paragraaf: selectiecriteria bepalen wie mag deelnemen (geschiktheid van de inschrijver); minimale technische eisen bepalen welke oplossingen conform zijn; gunningscriteria (§9.1.3) bepalen wie wint.

Emissie- en geluidsvereisten

Voor luchtverontreinigende stoffen geldt dat nieuwe mobiele generatoren wettelijk moeten voldoen aan de Europese Stage V-emissienormen (Verordening (EU) 2016/1628). De verplichting geldt formeel bij het op de markt brengen van nieuwe motoren; er bestaan geen geldende algemene emissienormen die rechtstreeks op het gebruik zelf van toepassing zijn. Een bestek kan Stage V-conformiteit wel verplichten en de controle ervan voorschrijven. Verificatie kan gebeuren via:

- CE-verklaring van overeenstemming en typegoedkeuring van de motor,
- motor- en serienummer,
- visuele aanwezigheid van nabehandelingssystemen (DPF, SCR, AdBlue®), als ondersteunende aanwijzing; dit vormt op zichzelf geen bewijs van de emissieklasse of van de correcte werking.

Het typegoedkeuringsplaatje met de emissieklasse is verplicht zichtbaar op de motor aangebracht (Uitvoeringsverordening (EU) 2017/656) en laat eenvoudige visuele controle toe.

Dit garandeert formele conformiteit, maar zegt weinig over reële emissies tijdens gebruik. In standaardbestekken zijn emissieklasse-eisen (minimaal voldoen aan de Stage V-emissiegrenswaarden), gecombineerd met brandstofcertificering (bv. HVO conform EN 15940 met ISCC-EU-certificaat), het werkbare en controleerbare instrument. Prestatie-eisen zoals maximale CO₂-uitstoot per geleverde kWh (bij voorkeur well-to-wheel) zijn vooral bruikbaar bij grote projecten met monitoring (§9.1.4), waar de opdrachtgever over de beoordelingscapaciteit beschikt om ze te specificeren en te verifiëren.

Geluid kan op twee manieren worden begrensd. Het geluidsvermogensniveau (LWA), inherent aan het toestel, is geschikt als selectie criterium omdat het onafhankelijk is van de opstelling. De LWA staat verplicht op het toestel gelabeld (Richtlijn 2000/14/EG, zie §2.1.2) en is daarmee direct verifieerbaar. Alternatief kan de geluidsdruk op een vaste afstand (bv. 7 of 10 meter) worden gespecificeerd om de impact op de directe omgeving te begrenzen; het werkelijke geluidsniveau ter plaatse hangt dan mede af van opstelling en omgeving.

Efficiëntie en brandstofkeuze

Naast emissies is energie-efficiëntie een bepalende factor. Bestekken zouden minimale rendementen of maximale specifieke verbruiken kunnen voorschrijven, bijvoorbeeld in L/kWh bij verschillende belastingsgraden. Praktijkvoorbeelden hiervan zijn niet bekend; de voorbeeldclausules in §9.1.5 bieden een meer beproefd instrument. Dit voorkomt dat sterk overgedimensioneerde of inefficiënt ingezette systemen worden aangeboden.

Voor dieselmotoren kan worden gevraagd dat deze technisch geschikt zijn voor HVO100 conform EN 15940. Het effectief gebruik van HVO kan worden verplicht of gestimuleerd, mits duidelijke eisen rond herkomst en certificering. Brandstoffen uit afval- en reststromen verdienen daarbij de voorkeur; grondstoffen met hoog ILUC-risico worden best uitgesloten (zie ook §4.5.1).

Slimme functies en monitoring

Moderne systemen beschikken over functies die het verbruik en de emissies sterk kunnen verlagen, zoals automatische start-stop, vermogensbeheer of koppeling met batterijopslag. Vraag daarom automatische start-stop, vermogensbeheer of batterijintegratie wanneer die relevant zijn voor het

energieprofiel. Waar die kennis bij de opdrachtgever ontbreekt, kan de eis functioneel worden geformuleerd (bv. "de inschrijver stelt maatregelen voor die deellastbedrijf en draaiuren beperken") of wordt een studiebureau ingeschakeld.

Bij grotere of langdurige projecten is monitoring nodig voor controle en bijsturing. Voor kleine projecten volstaat registratie van draaiuren en verbruik via de facturatie. Bij grotere projecten kunnen de minimale eisen omvatten:

- continue registratie van energieproductie en brandstofverbruik,
- rapportage van efficiëntie (kWh per liter) en geschatte CO₂-uitstoot,
- toegang tot geaggregeerde data voor de opdrachtgever.

Deze gegevens zijn bruikbaar voor controle en leveren tegelijk input voor toekomstige projecten en verfijning van het beslissingskader (Hoofdstuk 6).

Levensduur en circulariteit

Ten slotte kunnen bestekken aandacht besteden aan levensduur en herbruikbaarheid. Modulaire systemen, herstelbaarheid en afspraken over terugname of verwerking aan het einde van de levensduur dragen bij aan een circulaire benadering. Bv. tweedelevengebruik van batterijmodules, terugname- en refurbishmentprogramma's van verhuurders, of modulaire uitbreiding in plaats van vervanging. Dergelijke criteria zijn vandaag nog minder gangbaar, maar winnen aan belang naarmate tijdelijke energievoorziening professioneler en breder inzetbaar wordt.

9.1.3 GUNNINGSCRITERIA EN EVALUATIEMETHODEN

Waar selectiecriteria bepalen wie mag deelnemen en minimale eisen (§9.1.2) bepalen welke oplossingen conform zijn, bepalen gunningscriteria wie wint. In de praktijk ligt hier de grootste hefboom om emissiearmere tijdelijke stroomvoorziening te laten doorbreken. Zonder aangepaste gunningslogica blijven innovatieve of emissiearme oplossingen benadeeld door hogere instapkosten.

Een evenwichtige set gunningscriteria sluit aan bij de beoordelingsdomeinen uit de MCA (§6.6), maar vertaalt deze naar criteria die juridisch verdedigbaar en praktisch controleerbaar zijn. De kern ligt niet in het aantal criteria, maar in hun onderlinge weging en in de manier waarop ze objectief beoordeeld worden.

Prijs versus kwaliteit

Een dominante weging van de prijs (bv. >70%) stuurt de markt vrijwel automatisch richting conventionele generatoroplossingen, ook wanneer alternatieven technisch en operationeel geschikt zijn. Dit effect wordt versterkt door lage brandstofprijzen en bestaande, afgeschreven vloot. Om dit te doorbreken is een verschuiving nodig naar een "economisch meest voordelige offerte", waarbij kwaliteit en milieu-impact sterk meewegen.

Goede praktijk is om de prijs te beperken tot 40 à 60% van de totale score, waarbij de resterende weging wordt toegekend aan kwaliteits- en duurzaamheidscriteria. De exacte verhouding blijft contextafhankelijk, maar moet worden gemotiveerd.

Inhoudelijke kwaliteitscriteria

Relevante kwaliteitscriteria zijn onder meer:

- Technische passendheid: mate waarin de voorgestelde configuratie past bij het energieprofiel en de randvoorwaarden van het project (cf. Hoofdstuk 5 en Hoofdstuk 6). Dit voorkomt dat standaardoplossingen zonder projectspecifieke onderbouwing worden aangeboden.
- Operationele aanpak: kwaliteit van dimensionering, beheer, monitoring en onderhoud. Dit criterium beloont oplossingen die niet alleen op papier, maar ook in exploitatie beter presteren.
- Flexibiliteit en schaalbaarheid: vermogen om het systeem aan te passen bij wijzigende projectfasen of vermogensbehoeften, wat vooral relevant is bij langere of gefaseerde projecten.

De uitdaging is dat deze criteria haalbaar moeten zijn in een offertecontext. Te gedetailleerde vooranalyses als offertevereiste verplichten inschrijvers tot grote tijdsinvestering zonder zekerheid op gunning. Een evenwicht is nodig tussen de informatiewaarde van het criterium en de inspanning die het van de inschrijver vraagt. Dat geldt ook voor netaansluitingen: vraag in de offertefase geen verworven aansluiting maar een plan van aanpak met terugvaloptie (zie §9.1.5, clause A). Idealiter vraagt de opdrachtgever de aansluiting zelf tijdig aan (zie §9.3.2). Kwaliteits- en duurzaamheidscriteria hebben een prijs; de opdrachtgever neemt die bewust mee in de raming en is bereid ze te vergoeden.

Deze criteria laten toe om te toetsen of de inschrijver de logica van het beslissingskader correct toepast, zonder het kader zelf te herhalen in het bestek. De opdrachtgever organiseert dan ook de beoordelingscapaciteit om deze logica te toetsen, intern of via een studiebureau.

Milieu- en hindercriteria

Milieucriteria verdienen een afzonderlijke en voldoende zware weging. Afhankelijk van de context kunnen dit zijn:

- geschatte CO₂-uitstoot over de projectduur;
- emissies van NO_x en fijnstof;
- geluidsimpact, met onderscheid tussen dag- en nachtbedrijf;
- aantal draaiuren van verbrandingsmotoren³⁰.

Belangrijk is dat deze criteria kwantitatief of semikwantitatief worden beoordeeld. Louter beschrijvende teksten (“duurzame oplossing”, “lage emissies”) zijn moeilijk vergelijkbaar en juridisch kwetsbaar. Waar exacte berekeningen niet haalbaar zijn, kunnen bandbreedtes of klassen worden gebruikt.

Praktijkvoorbeeld: het raamcontract van Stad Antwerpen voor generatorverhuur combineert een minimumeis (< 66 dB(A) op 7 m; niet-conform bij overschrijding) met oplopende gunningspunten voor stillere toestellen (15 punten onder 50 dB(A), aflopend tot 0 punten bij 63–65 dB(A)). Dit model werkt omdat de minimumeis de ondergrens borgt en het puntensysteem verdere verbetering beloont.

Voorkomen van onbedoelde effecten

Gunningscriteria moeten vermijden dat ongewenst gedrag wordt beloond, zoals:

³⁰Dit criterium kan ook worden ingezet als sturingsmechanisme: een maximum aan draaiuren per dag of dagdeel stuurt offertes richting hybride of batterijgebaseerde configuraties

- overdimensionering om theoretisch betere prestaties te tonen;
- onderschatting van brandstofverbruik;
- optimalisatie voor de score, niet voor de praktijk.

Dit vraagt om duidelijke aannames, referentieprofielen of controlemechanismen, en sluit aan bij de aanbeveling uit §6.6 om aannames te documenteren.

9.1.4 MONITORINGS- EN VERIFICATIEPROTOCOLLEN (GROTE PROJECTEN)

Eisen in een bestek werken alleen als controle en bijsturing zijn geregeld. Monitoring en verificatie hebben een kostprijs die in de opdracht wordt voorzien. In tijdelijke elektriciteitsvoorziening is dit extra relevant, omdat prestaties sterk afhangen van reëel gebruik en niet enkel van het aangeboden systeem. Stem de controle af op de grootte en duur van het project. De meeste elementen zijn voornamelijk relevant voor grootschalige of langdurige projecten; voor kleinere projecten volstaat een eenvoudigere aanpak.

Contractuele grenswaarden voor emissies, geluid of efficiëntie zijn alleen bruikbaar wanneer het bestek ook de meetgrootte, meetmethode, meetlocatie, bedrijfsconditie en rapporteringswijze vastlegt. Zonder die verificatieregels verdient een controleerbare product- of gebruikseis de voorkeur boven een niet-handhaafbare prestatiegrens.

Afspraken tijdens gebruik

Contracten kunnen prestatieverplichtingen opnemen die gelden gedurende de volledige looptijd van het project, zoals:

- maximale toegelaten emissies of geluidsniveaus tijdens exploitatie;
- maximale draaiuren van verbrandingsmotoren per dag of dagdeel, als sturend mechanisme richting hybride of batterijgebaseerde configuraties;
- verplicht gebruik van bepaalde brandstoffen (bv. HVO) indien aangeboden.

Deze verplichtingen moeten voldoende concreet zijn om controleerbaar te blijven, maar mogen geen disproportionele administratieve last creëren.

Monitoring en rapportage

Monitoring is de basis van controle en bijsturing. Minimale contractuele vereisten kunnen zijn:

- registratie van energieproductie per bron (net, batterij, generator);
- brandstofverbruik en geschatte emissies;
- logboeken van storingen, onderhoud en interventies.

De gegevens helpen ook om latere bestekken beter te maken.

Controlemechanismen en sancties

Zonder sancties blijven verplichtingen vrijblijvend. Contracten kunnen voorzien in:

- bijsturingsmechanismen bij afwijkingen (bv. verplicht aanpassen van configuratie of bedrijfsvoering binnen een afgesproken termijn, vóór sanctionering);
- financiële sancties of malussen bij overschrijding van afgesproken grenzen;
- ontbinding of uitsluiting bij systematische of zware inbreuken.

Het is daarbij belangrijk dat sancties realistisch, proportioneel en afdwingbaar zijn. Overdreven complexe controles of zware boetes zonder duidelijke meetbasis werken contraproductief en verhogen het risico op betwistingen.

Leren en terugkoppelen

Tot slot verdient ook kennisborging aandacht. Door evaluatie na afloop van het project (bijvoorbeeld via een korte prestatie-evaluatie) kan de opdrachtgever nagaan in welke mate de gekozen eisen en criteria effectief hebben geleid tot betere prestaties. Deze feedback kan rechtstreeks worden gebruikt om toekomstige bestekken te verfijnen en het beslissingskader (Hoofdstuk 6) verder te valideren of aan te scherpen.

9.1.5 VOORBEELDCLAUSULES VOOR BESTEKKEN (INDICATIEF)

De onderstaande voorbeeldclausules zijn indicatief en bedoeld als inspiratiebron voor opdrachtgevers. Ze illustreren hoe de principes uit §9.1.1–§9.1.4 kunnen worden vertaald naar bestekteksten, maar zijn niet juridisch gevalideerd en niet geschikt voor directe overname in een bestek zonder projectspecifieke aanpassing en juridische toetsing. De clausules vereisen bij gebruik steeds afstemming op de aard, schaal en juridische context van het project.

A. CLAUSULE – FUNCTIONELE EIS (“GRID FIRST” EN MOTIVATIEPLICHT)

Elektriciteitsvoorziening – functionele eis

De opdrachtnemer motiveert de voorgestelde tijdelijke elektriciteitsvoorziening op basis van het energieprofiel van het project (vermogen, pieken, energievolume) en de geldende randvoorwaarden. Indien een netaansluiting technisch en organisatorisch haalbaar is, wordt deze als primaire energiebron ingezet, tenzij gemotiveerd wordt aangetoond waarom dit niet proportioneel of niet haalbaar is. Afwijkingen van dit principe worden verantwoord in de offerte. Indien de DNB de aansluiting niet of niet tijdig kan realiseren, documenteert de opdrachtnemer dit (offerte, weigering of doorlooptijd van de DNB) en stelt hij het best beschikbare alternatief voor conform §6.3–§6.4.

Doel: verankert het “Grid First”-principe zonder een specifieke technologie op te leggen.

B. CLAUSULE – MINIMALE PRESTATIE-EISEN (EMISSIONS EN GELUID)

Milieu- en hinderprestaties

De tijdelijke elektriciteitsvoorziening moet zodanig worden uitgewerkt dat geluidshinder en emissies worden beperkt. Indien verbrandingsmotoren worden ingezet, dienen deze minimaal te voldoen aan Stage V-emissienorm (Verordening (EU) 2016/1628) of gelijkwaardig³¹ en correct te worden

³¹ De toevoeging “of gelijkwaardig” volgt de systematiek van de regelgeving overheidsopdrachten voor technische specificaties en vermijdt dat materieel met aantoonbaar gelijkwaardige emissieprestatie onder een andere certificering (bv. US EPA Tier 4 final) wordt uitgesloten. Gelijkwaardigheid wordt door de inschrijver aangetoond.

gedimensioneerd om langdurig deellastbedrijf te vermijden. De opdrachtnemer beschrijft de genomen maatregelen ter beperking van geluid en emissies.

Doel: legt ondergrenzen vast zonder innovatieve oplossingen uit te sluiten.

C. CLAUSULE – GUNNINGSCRITERIUM DUURZAAMHEID (VOORBEELD)

Gunningscriterium: duurzaamheid en hinderbeperking (X punten)

De kwaliteit van de voorgestelde elektriciteitsvoorziening wordt beoordeeld op basis van:

- geschatte CO₂-uitstoot over de projectduur;
- mate van inzet van netstroom en/of energieopslag;
- aantal draaiuren van verbrandingsmotoren;
- geluidsimpact tijdens exploitatie, te concretiseren per project: bv. geluidsvermogensniveau conform EN ISO 3744, of geluidsdruk op vaste afstand.

De beoordeling gebeurt op basis van een transparante onderbouwing door de inschrijver.

Doel: vertaalt MCA-logica (§6.6) naar een aanbestedingscontext.

D. CLAUSULE – MONITORING EN RAPPORTAGE

Monitoring en rapportage

De opdrachtnemer houdt gedurende de looptijd van het project een beknopte registratie bij van:

- energieproductie per bron (net, batterij, generator);
- brandstofverbruik (indien van toepassing);
- relevante storingen of afwijkingen.

Deze informatie wordt op verzoek van de opdrachtgever ter beschikking gesteld.

Doel: maakt controle mogelijk zonder zware administratieve lasten.

E. CLAUSULE – OPERATIONELE BIJSTURING

Bijsturing tijdens uitvoering

Indien tijdens de uitvoering blijkt dat de gekozen configuratie disproportioneel veel hinder of emissies veroorzaakt ten opzichte van de aangeboden oplossing, kan de opdrachtgever vragen om redelijke bijsturing van de exploitatie of configuratie, binnen de technische mogelijkheden van het systeem.

Doel: vermijdt dat een suboptimale exploitatie gedurende de volledige looptijd behouden blijft.

F. CLAUSULE – NIET-NALEVING

Niet-naleving

Structurele afwijkingen van de aangeboden en contractueel vastgelegde elektriciteitsvoorziening kunnen aanleiding geven tot corrigerende maatregelen of contractuele sancties, conform de algemene contractvoorwaarden.

Doel: behoudt afdwingbaarheid zonder het bestek juridisch te overladen.

9.2 TRANSITIEPAD NAAR DUURZAMERE OPLOSSINGEN

De analyse in de voorgaande hoofdstukken maakt duidelijk dat duurzame tijdelijke elektriciteitsvoorziening in veel situaties technisch en operationeel haalbaar is. De toepassing in de praktijk blijft echter achter bij dat potentieel. Dat komt doordat kosten, regelgeving, handhaving en gewoontes nog niet dezelfde richting uitwijzen.

Daarom is een gefaseerde aanpak nodig. Die vertrekt van de bestaande praktijk en stuurt geleidelijk bij, met aandacht voor proportionaliteit en uitvoerbaarheid:

- netgebruik en elektrificatie worden eerst onderzocht en toegepast waar ze haalbaar en proportioneel zijn;
- batterij- en hybride systemen worden stapsgewijs opgeschaald;
- conventionele generatoren worden doelgerichter en efficiënter ingezet, en niet langer automatisch als standaardoplossing beschouwd.

Het transitiepad is opgebouwd in tijdshorizonten. Elke fase veronderstelt andere instrumenten en actoren, maar bouwt voort op de vorige.

9.2.1 KORTE TERMIJN (NU - 3 JAAR)

1. Van generator als standaard naar Grid First als werkpraktijk

In veel projecten valt de keuze de facto op een generator: niet uit voorkeur, maar omdat de netaansluiting te laat wordt aangevraagd. Wanneer de werf al draait, is de mogelijkheid om een aansluiting aan te vragen doorgaans voorbij — Grid First valt dan in de praktijk weg. Op korte termijn is de belangrijkste stap de workflow aanpassen: de netaanvraag hoort in de projectvoorbereiding, waar mogelijk al door de opdrachtgever of bouwheer. Dit vraagt geen nieuwe regelgeving, maar wel:

- vroegtijdige betrokkenheid van de energievoorziening in de projectvoorbereiding, waar mogelijk al door de opdrachtgever of bouwheer;
- standaardisatie van de netcheck bij opdrachtgevers en aannemers;
- motivatie wanneer netstroom niet wordt gebruikt.

2. Versneld uitfasen van de meest vervuilende generatoren

Hoewel Stage V-generatoren beschikbaar zijn, blijven oudere generatoren (bv. Stage IIIA) in omloop door hun lage kost, ruime beschikbaarheid en eenvoudiger onderhoud (geen nabehandelingssystemen). Volgens de sector is de beschikbaarheid van Stage V-materieel vandaag geen knelpunt meer; het zijn vooral het ontbreken van afdwingbare gebruikseisen (de inzet van Stage IIIA is legaal) en van controle op naleving — waaronder fraude met nabehandelingssystemen bij Stage V — die de vlootvernieuwing vertragen. Op korte termijn is het realistisch en effectief om:

- het gebruik van oudere emissieklassen actief te ontmoedigen in aanbestedingen en vergunningen;

- Stage V als minimale prestatienorm te hanteren bij elke inzet van generatoren, met prioriteit in hindergevoelige omgevingen (stedelijke context, nabijheid van bewoning en gevoelige bestemmingen, nabijheid van kwetsbare natuur zoals SBZ-H);
- correct dimensioneren en vermijden van langdurig deellastbedrijf mee te nemen in bestekken en controles.

Dit leidt tot directe emissiereductie zonder systeemverandering. Ter vergelijking: in Nederland worden in stedelijke gebieden Stage V of emissievrije systemen opgelegd, terwijl in buitengebieden (niet in Natura 2000) soms nog Stage IIIA wordt toegestaan. Aan dit stelsel zijn echter ook financiële stimuli gekoppeld die in Vlaanderen momenteel ontbreken.

3. Gerichte inzet van batterijen als piek- en stilte-oplossing

Batterijsystemen hoeven op korte termijn geen volledige vervanging van generatoren te zijn om waarde te bieden. Hun grootste meerwaarde ligt vandaag in:

- piekafvlakking bij beperkte netcapaciteit;
- stille en emissievrije periodes (nacht, avond, publieksmomenten);
- reductie van draaiuren van generatoren.

Door batterijen als functionele component te positioneren (en niet als “alternatief systeem”), daalt de drempel voor toepassing en blijven kosten en risico’s beheersbaar.

4. Afdwingbaarheid via opdrachtgevers en vergunningverlening

De korte-termijntransitie wordt in sterke mate gestuurd door opdrachtgevers en lokale overheden. Concreet door:

- het opnemen van functionele eisen en gunningscriteria (zie §9.1 en §9.1.5);
- het vermijden van vrijblijvende duurzaamheidsambities zonder opvolging;
- proportionele monitoring en rapportage, gericht op leerervaring en bijsturing, niet op sanctionering;
- het opnemen van bijzondere voorwaarden over emissies, geluid of energiebron in omgevingsvergunningen, mits juridisch onderbouwd, projectgebonden en proportioneel (zie §9.3.4)

De overheid kan deze code als leidraad aanbieden voor de onderbouwing van energiekeuzes in projecten, zonder dat het gebruik ervan verplicht wordt gesteld. Het gebruik op vrijwillige basis kan al bijdragen aan een meer onderbouwde en transparante aanpak.

Deze aanpak creëert marktzekerheid zonder innovatie te blokkeren.

5. Erkenning van huidige marktverstoringen

Bepaalde externe factoren remmen de transitie af, in het bijzonder:

- de lage en fiscaal bevoordeelde prijs van rode diesel;

- het ontbreken van financiële prikkels voor stillere en emissiearme oplossingen;
- het ontbreken van afdwingbare gebruikseisen én van stimulansen voor de inzet van Stage V, batterijen en hybride systemen.

Op korte termijn kunnen deze factoren niet volledig worden gecorrigeerd, maar ze moeten wel worden meegenomen in de interpretatie van keuzes en in de verwachtingen ten aanzien van projectverantwoordelijken. In de huidige Vlaamse context is er voor aannemers geen prikkel om Stage V, batterijen of hybride systemen te gebruiken zolang de overheid het niet oplegt en er geen kostenconsequentie staat op afwijking. Als rode diesel wordt afgeschaft of aanzienlijk duurder wordt, verschuift het omslagpunt fors naar duurzamere alternatieven. Een aanpassing van het accijnsregime dient echter in zijn volledige context te worden bekeken (voor alle bouwmachines, niet alleen generatoren) en gekoppeld aan flankerende financiële stimuli. Embuild Vlaanderen vraagt expliciet om een integrale effectanalyse voorafgaand aan accijnswijzigingen

6. Wegwerken van rechtsonzekerheid voor duurzamere technologieën

De juridische grijze zone voor mobiele BESS in VLAREM II (zie §2.3.1) en de inconsistente brandweervoorwaarden voor waterstofinstallaties vormen op korte termijn een concrete rem op de adoptie van groenere technologieën. Uit de praktijk blijkt dat lokale brandweervoorwaarden duurzamere alternatieven actief kunnen blokkeren — concreet werden waterstofgeneratoren voor evenementen onhaalbaar door afwijkende opslagvereisten, terwijl mobiele batterijsystemen worden onderworpen aan extra brandweervoorwaarden zonder vergelijkbare eisen voor elektrische voertuigen met gelijkaardige opslagcapaciteit. Een gecoördineerde Vlaamse aanpak met brandweer, overheid en sector is noodzakelijk om deze rem weg te nemen (zie ook §9.3.4).

7. Kennisverspreiding en opleiding

Kennisdeling over de verschillende systemen, hun toepassingsgebied en randvoorwaarden is nodig voor alle doelgroepen, inclusief opleiding van uitvoerend personeel. Dit omvat zowel technische kennis (werking en beperkingen van batterij-, hybride en waterstofoplossingen) als praktische vaardigheden (veilige handling, EMS-instellingen, monitoring). De ontwikkeling van een volwaardige interactieve keuzehulp, die het beslissingskader vertaalt naar een digitale tool met projectspecifieke input, valt buiten de scope van deze code, maar wordt sterk aanbevolen als vervolgtraject.

9.2.2 MIDDELLANGE TERMIJN (3-7 JAAR)

Waar de korte termijn draait om optimalisatie binnen het bestaande kader, vraagt de middellange termijn om verschuivingen. Duurzamere oplossingen moeten evolueren van “goede praktijk” naar “normale praktijk”. Dat vereist schaal, voorspelbaarheid en institutionele verankering.

1. Van projectkeuze naar portefeuillestrategie

In deze fase verschuift de focus van individuele projecten naar programmatische keuzes. Grote opdrachtgevers, verhuurders en aannemers beheren niet langer losse installaties, maar portfolio's van tijdelijke energievoorzieningen. Dat maakt het mogelijk om:

- investeringen in batterijen, hybride systemen en monitoring over meerdere projecten te spreiden;
- leerervaringen systematisch te benutten;
- standaardconfiguraties te ontwikkelen voor terugkerende toepassingen.

Door die schaalwerking daalt de relatieve meerkost van duurzame systemen en neemt hun inzetbaarheid toe.

2. Batterij- en hybride systemen als standaardoptie bij variabele belasting

Op de middellange termijn worden batterij-ondersteunde configuraties de standaardkeuze voor projecten met een variabel belastingsprofiel. Ze zijn niet in alle gevallen emissievrij, maar ze:

- gaan efficiënter om met wisselende energievraag;
- beheersen geluid en lokale emissies beter;
- zijn robuuster bij veranderende projectomstandigheden.

Waar voldoende netcapaciteit of laadmogelijkheden beschikbaar zijn, worden netaansluiting en batterijen de primaire energiebron en verschuift de generator naar een ondersteunende of conditionele rol. In off-gridtoepassingen met een hoog en continu energieverbruik kan lokale opwekking ook op middellange termijn een hoofdrol behouden. Deze verschuiving is vooral zichtbaar bij werven, evenementen en tijdelijke infrastructuur met duidelijke dag- en nachtreghimes.

3. Uitbreiding en ontsluiting van publieke aansluitpunten

Overheden faciliteren als beheerder van het openbaar domein: het aanbod vaste aansluitpunten op pleinen en evenementenlocaties uitbreiden én het gebruik laagdrempelig maken. Vandaag vergt activering soms een interventie ter plaatse door een stadsmedewerker; bij nieuwe evenementenlocaties worden aansluitkasten structureel ingepland. Stad Antwerpen beschikt over meer dan 400 aansluitpunten en toont dat structurele beschikbaarheid generatorinzet bij kleine evenementen vermijdt.

4. Verankering van prestaties in regelgeving en aanbestedingen

In deze fase wordt duurzaamheid minder vrijblijvend. Verwacht wordt dat:

- functionele prestatie-eisen (emissies, geluid, efficiëntie) systematisch worden verankerd in aanbestedingen;
- minimale prestatieklassen impliciet of expliciet worden opgelegd;
- monitoring en rapportage normaler worden, zij het proportioneel.

Dit leidt niet tot technologiedwang, maar tot een prestatiegedreven markt waarin inefficiënte oplossingen steeds minder competitief worden.

5. Afbouw van structurele marktverstoringen

Een echte versnelling veronderstelt dat externe prikkels beter in lijn komen met beleidsdoelen. In de middellange termijn ligt een geleidelijke afbouw van het fiscale voordeel voor fossiele brandstoffen voor de hand. Dat creëert:

- een eerlijker vergelijkingsbasis tussen generatoren, hybride systemen en batterijoplossingen;
- meer voorspelbaarheid voor investeringsbeslissingen;
- ruimte voor marktgedreven transitie in plaats van ad-hoc-verplichtingen.

Belangrijk is dat deze afbouw gefaseerd en voorspelbaar gebeurt, zodat actoren zich kunnen aanpassen.

6. Professionalisering van energieplanning en -monitoring

Energievoorziening wordt in deze fase een volwaardig onderdeel van projectbeheer. Monitoring verschuift van controle-instrument naar ontwerpinstrument:

- verbruiksdata worden gebruikt voor dimensionering van volgende projecten;
- afwijkingen leiden tot bijsturing in plaats van louter rapportage;
- leveranciers evolueren van verhuurder naar energiepartner.

Deze professionalisering verlaagt faalkosten en vergroot het vertrouwen in alternatieve configuraties.

7. Ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur

De beschikbaarheid van groene waterstof in België en Vlaanderen is momenteel beperkt tot piloot- en demonstratieprojecten, en de infrastructuur voor productie en distributie is nog in opbouw. De complexe en dure logistiek van waterstof — vanwege de lage energiedichtheid per volume — draagt bij aan de totale kosten en vormt een uitdaging.

Gezien het beperkte potentieel voor grootschalige lokale productie van hernieuwbare energie, zetten de Belgische en Vlaamse waterstofstrategieën sterk in op de import van (groene) waterstof en afgeleide moleculen (bv. ammoniak, methanol). De havens van Antwerpen-Brugge spelen hier een hoofdrol als potentiële import- en transithub voor Noordwest-Europa. Deze importafhankelijkheid brengt uitdagingen mee op het vlak van geopolitiek, transportkosten en infrastructuurontwikkeling.

Financiële stimulansen en ondersteunend beleid zijn noodzakelijk om waterstofprojecten economisch haalbaar te maken. De ondersteuning wordt vormgegeven via kanalen zoals IPCEI (Important Projects of Common European Interest), het Vlaamse relanceplan 'Vlaamse Veerkracht', VLAIO-steun (Ecologiepremie+, Strategische Ecologiesteun) en federale initiatieven. Binnen dit kader passen de federale ambitie voor 150 MW elektrolysecapaciteit en Vlaamse projecten zoals Hyoffwind (25 MW) en Terranova Hydrogen.

Op middellange termijn blijven waterstoftoepassingen voor tijdelijke stroomvoorziening geconcentreerd in niches waar de voordelen (nul lokale emissies, hoog vermogen, lange autonomie) opwegen tegen de hoge kosten — met name in of nabij kwetsbare natuurgebieden, in zero-emissiezones of bij langdurige off-grid inzet met hoge milieu-eisen (zie ook §4.4 en §5).

8. Technologische ontwikkelingslijnen

Parallel met de marktorganisatorische verschuivingen evolueren ook de beschikbare technologieën. De volgende ontwikkelingen zijn relevant voor de middellange termijn:

- Nieuwe batterijchemieën: Natrium-ion (Na-ion) batterijen vervangen lithium door het veel ruimere en goedkopere natrium, met lagere kosten en verminderde afhankelijkheid van kritische grondstoffen. De energiedichtheid ligt momenteel nog lager dan bij Li-ion, maar de technologie evolueert snel richting commerciële toepassingen. Solid-state batterijen vervangen het vloeibare elektrolyt door een vaste stof, met potentieel verhoogde veiligheid en hogere energiedichtheid; zij bevinden zich nog grotendeels in de ontwikkelingsfase.
- Flowbatterijen: Systemen zoals de Vanadium-Redox Flowbatterij (VRFB) slaan energie op in vloeibare elektrolyten in externe tanks. Het kenmerkende voordeel is de onafhankelijke

schaalbaarheid van vermogen (stackgrootte) en energiec capaciteit (tankvolume), met zeer lange levensduur (tienduizenden cycli), hoge recycleerbaarheid en inherente veiligheid. Flowbatterijen zijn momenteel vooral gericht op (semi-)stationaire toepassingen (TRL 8–9 voor VRFB) en zijn voor mobiele tijdelijke toepassingen nog niet gangbaar, maar kunnen op termijn relevant worden voor semi-permanente locaties.

- Geavanceerde digitale sturing: Energiebeheersystemen (EMS) worden steeds geavanceerder door toepassing van artificiële intelligentie (AI) en machine learning (ML): predictief onderhoud, zelflerende optimalisatie van energiestrategieën (anticiperend op verbruikspatronen, energieprijzen, weersvoorspellingen) en fijnmaziger beheer van energiestromen. DC microgrids — gelijkstroomdistributie binnen tijdelijke locaties — kunnen conversieverliezen reduceren bij een hoog aandeel DC-bronnen (zon, batterij) en DC-lasten (LED, elektronica); standaardisatie en beveiliging zijn echter nog aandachtspunten.
- Integratie met mobiliteit (V2G/V2L): Het concept waarbij batterijen van elektrische voertuigen energie terugleveren aan het lokale net of de last (Vehicle-to-Grid/Load) biedt potentieel voor tijdelijke stroomvoorziening: EV's als mobiele opslagcapaciteit. Praktische implementatie voor grootschalige toepassingen is nog complex (beschikbaarheid V2G-voertuigen, aggregatorplatform, logistiek) maar het concept wint aan relevantie naarmate het EV-wagenpark groeit.
- Geïntegreerde hernieuwbare units: Mobiele 'plug-and-play' oplossingen die (uitklapbare) zonnepanelen combineren met een ingebouwd batterijpakket, omvormers en EMS, soms aangevuld met een aansluiting voor een externe bron (net of generator) als back-up, maken de inzet van zonne-energie in tijdelijke situaties laagdrempeliger.

9.2.3 LANGE TERMIJN (7+ JAAR)

Op lange termijn verschuift tijdelijke elektriciteitsvoorziening van een geïsoleerde projectoplossing naar een geïntegreerd onderdeel van het bredere energiesysteem. Duurzaamheid is dan geen onderscheidend kenmerk meer, maar de standaardverwachting.

1. Emissievrije oplossingen als standaard

Wanneer batterijtechnologie zich verder ontwikkelt en laadinfrastructuur zich uitbreidt, worden emissiearme of lokaal emissievrije oplossingen de standaard waar dit haalbaar is. Verbrandingsmotoren verdwijnen niet volledig, maar worden beperkt tot uitzonderlijke situaties met zeer hoge vermogensvraag, lange autonomie-eisen of redundantievereisten.

De keuze voor fossiele opwekking vraagt dan motivatie, vergelijkbaar met hoe vandaag het niet gebruiken van netstroom moet worden verantwoord.

2. Tijdelijke installaties als onderdeel van het energiesysteem

Tijdelijke energievoorzieningen evolueren naar flexibele systeemcomponenten:

- mobiele batterijen fungeren als buffer, piekshaver of noodreserve;
- installaties kunnen tijdelijk stroom afnemen én terugleveren;
- projecten worden afgestemd op netbelasting en beschikbaarheid.

Deze rol vraagt aangepaste tarieven, aansluitvoorwaarden en regels voor teruglevering of flexibiliteit, maar biedt tegelijk kansen om tijdelijke installaties actief bij te laten dragen aan systeemstabiliteit.

3. Verdere elektrificatie van materieel en processen

Parallel met de energievoorziening elektrificeren ook verbruikers verder: bouwmachines, podiumtechniek, tijdelijke HVAC en logistieke apparatuur. Hierdoor:

- verschuift het belastingsprofiel naar voorspelbaardere patronen;
- wordt batterij- en netgebaseerde voeding eenvoudiger te dimensioneren;
- neemt de nood aan lokale verbranding verder af.

De interactie tussen verbruikers en energievoorziening wordt daarmee sterker geïntegreerd.

4. Levensduur, hergebruik en recyclage als selectiecriteria

In deze fase wordt niet alleen gekeken naar gebruiksemissies, maar naar de volledige levenscyclus van systemen. Ontwerp, materiaalkeuze, herbruikbaarheid en end-of-life verwerking worden selectiecriteria.

Energy-as-a-Service-modellen winnen aan belang: prestaties en beschikbaarheid worden geleverd als dienst, terwijl eigenaarschap, onderhoud en recycling bij de aanbieder blijven. Dit versterkt de prikkel om duurzame en robuuste systemen te ontwikkelen.

5. Regelgeving legt grenzen vast; de markt vult de oplossingen in

Op lange termijn is regelgeving minder sturend op technologie en meer op systeemgedrag. Emissies, hinder en efficiëntie worden begrensd via algemene kaders, terwijl de markt zelf invulling geeft aan de oplossingen. Een concrete optie is regeling via deel 6 van VLAREM II (voorwaarden voor niet-ingedeelde inrichtingen), met duidelijke overgangstermijnen, naar analogie met de bestaande regeling voor verplaatsbare transformatoren in hetzelfde deel (art. 6.13.1.1), waarop ook de BESS-aanbeveling in §9.3.4 aanstuurt. Dat zou gewestbrede handhaving mogelijk maken zonder de bestaande indelingsstructuur te wijzigen.

6. Waterstofladder en allocatievraag

Op lange termijn wordt de allocatievraag voor groene waterstof steeds relevanter. De relatief lage ketenefficiëntie van de waterstofroute (elektriciteit → H₂ → elektriciteit, met een round-trip efficiëntie van slechts 25–40%, zie §4.4.5) impliceert dat aanzienlijk meer primaire hernieuwbare energie nodig is om 1 kWh via waterstof te leveren dan via directe elektrificatie of batterijopslag (RTE >90%). Hernieuwbare elektriciteit is een waardevolle en schaarse hulpbron; het inzetten ervan voor waterstofproductie voor toepassingen die ook direct geëlektrificeerd kunnen worden, leidt op systeemniveau tot een laagwaardige allocatie.

Dit concept — vaak aangeduid als de "Waterstofladder" — benadrukt dat groene waterstof idealiter wordt gereserveerd voor 'no-regret' toepassingen: sectoren waar directe elektrificatie technisch zeer moeilijk of onmogelijk is (bv. bepaalde industriële processen op hoge temperatuur, zwaar langeafstandstransport). Voor tijdelijke stroomvoorziening betekent dit dat waterstof op lange termijn zijn plaats behoudt in niches waar hoog vermogen, lange autonomie en nul lokale emissies tegelijkertijd vereist zijn en waar directe elektrificatie niet haalbaar is — maar niet als brede vervanger van netgebaseerde of batterijoplossingen.

9.3 STAKEHOLDER-SPECIFIEKE AANBEVELINGEN

De transitie naar een duurzame tijdelijke elektriciteitsvoorziening is een gedeelde verantwoordelijkheid. Elke partij heeft een andere rol: gebruikers bepalen de vraag, leveranciers het aanbod, overheden de eisen en netbeheerders de nettoegang. De aanbevelingen hieronder zijn per groep geordend.

9.3.1 EINDGEBRUIKERS (AANNEMERS, EVENTORGANISATOREN, ENZ.)

Eindgebruikers bepalen vaak welke oplossing uiteindelijk wordt gevraagd of gehuurd. Hun invloed zit vooral in de manier waarop de energievraag wordt omschreven, gepland en opgevolgd.

De grootste winst ligt bij een betere vraagbepaling en dimensionering. Projecten vertrekken nog te dikwijls van grove aannames of worst-case vermogens, wat te groot gekozen generatoren of aansluitingen en een inefficiënt gebruik van generatoren in de hand werkt. Door verbruiksprofielen systematisch te meten of te analyseren, desnoods op basis van vergelijkbare eerdere projecten, wordt realistischer dimensioneren mogelijk en worden batterij- of hybride oplossingen haalbaar.

Eindgebruikers beïnvloeden de markt ook via prestatie-eisen rond emissies, geluid, monitoring of rapportage. Zulke contractuele eisen verleggen de aandacht van louter beschikbaar vermogen naar geleverde prestatie. Ook eenvoudige bepalingen, zoals het registreren van energieverbruik en draaiuren, wijzigen de prikkels tijdens uitvoering en opvolging.

Ook de projectplanning vormt een duidelijke hefboom. Energievoorziening wordt vaak pas laat bekeken, terwijl netaansluitingen, laadstrategieën en hybride opstellingen vroege afstemming vereisen. Wanneer energie apart wordt meegenomen in de voorbereidingsfase, ontstaan oplossingsrichtingen die later niet meer realiseerbaar zijn. Dit veronderstelt dat de verantwoordelijke voor de energievoorziening wordt betrokken bij de projectplanning, en niet pas bij de bestelling van materieel (zie ook §6.1).

Bij projecten met langere looptijd of hogere vermogens loont het om energie als ontwerpparameter te behandelen. Dat vertaalt zich in fasering van verbruikers, een onderscheid tussen kritische en niet-kritische lasten en bewuste keuzes rond nacht- en weekendverbruik. Dergelijke ingrepen verlagen de milieubelasting en vereenvoudigen tegelijk het operationele beheer.

Ten slotte telt de bereidheid om alternatieven te aanvaarden. Hybride systemen, batterijen of tijdelijke netaansluitingen vragen soms een aangepaste werf- of evenementorganisatie. Projecten die hier ruimte voor voorzien, blijken in de praktijk stabiel en beter beheersbaar. Vergelijk de totale kosten over de projectduur (huur, brandstof, onderhoud) in plaats van enkel de huurprijs; een eenvoudige weekvergelijking tussen generator-only en generator + batterij maakt het verschil al concreet.

Argumenten voor wie eindgebruikers wil overtuigen (opdrachtgevers, adviseurs)

Het overtuigen van eindgebruikers verloopt het effectiefst wanneer het kostenverhaal concreet en transparant wordt gemaakt op een schaal die de eindgebruiker herkent. Abstracte TCO-berekeningen werken minder dan een concrete weekvergelijking voor een specifiek generatortype.

Bij kleinere aannemers en éénmanszaken verloopt de besluitvorming anders dan bij grote bouw- of infrastructuurbedrijven. De systeemkeuze wordt primair bepaald door directe kosten en beschikbaarheid, minder door TCO-analyse of milieuprestaties. Er is doorgaans geen werfleider die de energievoorziening als apart item opvolgt en geen monitoring van draaiuren of verbruik. De drempel om te investeren in batterijen of hybride systemen is hoog, ook wanneer de terugverdientijd gunstig is. Dit is niet uit onwil, maar omdat de investeringscapaciteit beperkt is en de perceptie van risico groot.

Voor deze doelgroep zijn twee hefbomen het meest effectief:

1. een concreet en transparant kostenverhaal op de schaal die zij herkennen, bv. een weekvergelijking van draaiuren en brandstofkosten voor een specifiek generatortype, en
2. stimulansen die de instapkost verlagen, zoals de steun- en aftrekmaatregelen in Bijlage 2 waar de investering ervoor in aanmerking komt, flexibele huurconstructies bij verhuurbedrijven, of gerichte subsidies voor vlootvernieuwing.

De verhuurmarkt is hier een belangrijke hefboom: wanneer het aanbod bij verhuurbedrijven verschuift naar Stage V, batterijen en hybride systemen, bereikt de transitie ook de kleine aannemer zonder dat die zelf moet investeren.

9.3.2 OPDRACHTGEVERS (PUBIEK EN PRIVAAT)

Opdrachtgevers sturen de transitie via bestekken, contracten en projectplanning. Vier hefbomen zijn bijzonder effectief:

- tijdige netaanvraag: waar mogelijk vraagt de opdrachtgever zelf de tijdelijke netaansluiting aan in de projectvoorbereiding, vóór de aannemer de werf betreft (zie §6.2 en §9.3.1);
- toepassing van de bestek- en gunningsprincipes uit §9.1, met budgettaire consequenties van duurzaamheidseisen bewust meegenomen in de raming;
- beoordelingscapaciteit organiseren om de aangeboden oplossingen te toetsen, intern of via een studiebureau;
- duurzaamheidsrapportering (CSRD) en de EU-taxonomie maken emissies van werf- en evenementactiviteiten rapporteerbaar, waardoor de principes uit §9.1 ook in private contracten toepasbaar worden.

9.3.3 LEVERANCIERS EN VERHUURBEDRIJVEN

Leveranciers en verhuurbedrijven bepalen welke systemen beschikbaar zijn voor projecten. Zij bepalen ook hoe deze systemen in projecten worden ingezet.

Leveranciers dragen de verantwoordelijkheid voor een vlootbeheer dat rekening houdt met strengere emissie-, geluids- en monitoringseisen. Naarmate opdrachtgevers vaker eisen formuleren rond emissies, geluid en opvolging, neemt de inzetbaarheid van oudere generatoren af. Gefaseerde vernieuwing richting Stage V, hybride configuraties en batterijopslag wordt daardoor een voorwaarde om in toekomstige opdrachten te kunnen blijven meedingen. Uitstel vergroot het risico dat installaties hun economische waarde verliezen zodra controle en aanbestedingseisen aanscherpen. De sector geeft aan dat Stage V-beschikbaarheid vandaag geen knelpunt vormt; bij voldoende marktvraag wordt het aanbod snel opgeschaald.

Leveranciers moeten steeds vaker ook adviseren over dimensionering, sturing en monitoring. Hybride en geïntegreerde systemen vragen afstemming op het reële belastingsprofiel van een project. Dat veronderstelt inzicht in dimensionering en sturing. Leveranciers die deze kennis opbouwen, kunnen gerichter adviseren en vermijden dat installaties tijdens exploitatie terugvallen op inefficiënt generatoregebruik.

Monitoring ondersteunt deze rol. Door verbruik en belasting tijdens het project op te volgen, kunnen instellingen tijdig worden aangepast. Dit verhoogt de betrouwbaarheid van de installatie en biedt transparantie richting opdrachtgever. De verzamelde gegevens maken het bovendien mogelijk om toekomstige projecten beter te onderbouwen.

Leveranciers dragen ook verantwoordelijkheid in de toepassing van regelgeving. Het inzetten van oudere generatoren kan het gelijke speelveld ondergraven en investeringen in schonere oplossingen afremmen wanneer de naleving van bestek- en vergunningsvoorwaarden onvoldoende wordt gecontroleerd. Een consequente koppeling tussen toepassing en aangeboden configuratie versterkt de geloofwaardigheid van de sector en bevordert eerlijke concurrentie.

Ook verzekeraars worden belangrijker. Het premiebeleid en de acceptatievoorwaarden voor nieuwe technologieën (BESS, waterstof) beïnvloeden de bereidheid van leveranciers om hierin te investeren. Leveranciers die vroeg aantoonbare praktijkervaring, certificering en gestandaardiseerde veiligheidsprocedures opbouwen, versterken hun dossier richting verzekeraars. Premievoordelen zijn daarmee niet gegarandeerd, maar het risicoprofiel wordt beter onderbouwd.

Ten slotte ontstaan nieuwe contractvormen. Wanneer prestaties centraal worden gesteld, verschuift het accent van loutere toestelverhuur naar dienstverlening rond energievoorziening. Dat vraagt duidelijke afspraken, maar sluit aan bij de richting die opdrachtgevers steeds vaker inslaan.

9.3.4 OVERHEDEN EN VERGUNNINGVERLENERS

Overheden beïnvloeden de transitie via hun rol als opdrachtgever, regelgever, vergunningverlener, handhaver en – via de distributienetbeheerders en als beheerder van het openbaar domein – als dienstverlener (aanbod en doorlooptijd van aansluitingen, evenementenkasten op pleinen en marktlocaties). De effectiviteit van dit beleid hangt nauw samen met de eenduidigheid en de afdwingbaarheid van de geldende kaders. De volgende aanbevelingen focussen op het wegnemen van juridische barrières en het creëren van een uniform speelveld.

Modernisering en harmonisatie van het VLAREM-kader

De huidige versnippering over verschillende VLAREM-rubrieken (o.a. 6.4, 12.1 en 31.1) zorgt voor onduidelijkheid bij zowel exploitanten als handhavers (zie §2.3).

- Onderzoek of tijdelijke mobiele generatoren onder één specifieke rubriek kunnen worden gebracht. Baseer de drempels voor meldings- en vergunningsplicht op de werkelijke milieu-impact (emissieklasse) in plaats van enkel op het vermogen.
- De huidige vrijstelling voor bouw- en sloopactiviteiten in rubrieken 12.1 en 31.1 kan de verdere inzet van ouder materieel in de hand werken. Een herziening waarbij deze vrijstelling wordt gekoppeld aan minimale emissienormen (bv. Stage V) vermijdt dat identiek materieel op een bouwterrein aan minder voorwaarden onderworpen is dan bij evenementen, waar rubriek 12.1 boven 150 kW wél geldt.

Juridisch kader voor batterijopslag (BESS)

Tijdelijke batterijsystemen worden vandaag geconfronteerd met een interpretatiezone in VLAREM II. Artikel 6.13.1.1 vermeldt verplaatsbare transformatoren op bouwplaatsen expliciet, maar bevat geen vergelijkbare bepaling voor verplaatsbare batterijsystemen. Voor batterijen verwijst hoofdstuk 6.13 naar vast opgestelde batterijen, waardoor voor mobiele BESS op bouwterreinen onduidelijk blijft of en in welke mate deze voorwaarden van toepassing zijn. Deze onduidelijkheid werd ook tijdens het begeleidingscomité bevestigd (zie §2.3.1 en §9.2.1).

De CvGP beveelt daarom aan dat de Vlaamse overheid onderzoekt of artikel 6.13.1.1 van VLAREM II kan worden verduidelijkt of uitgebreid met verplaatsbare batterijsystemen op bouwplaatsen, naar analogie met de bestaande opname van verplaatsbare transformatoren. Daarbij moet worden nagegaan welke

voorwaarden uit afdeling 6.13.2 rechtstreeks toepasbaar zijn en welke voorwaarden aangepast moeten worden aan mobiele container- of skidopstellingen.

Een eerste technische haalbaarheidsinschatting wijst erop dat vooral de voorwaarde inzake onderbrenging in een afzonderlijk lokaal, ruimte of kast met specifieke brandreactie- en brandwerendheidseisen aanpassing vraagt. Deze bepaling is geschreven voor vaste batterijen in gebouwen en is niet zonder meer vertaalbaar naar mobiele BESS-containers. Een aangepaste benadering kan uitgaan van de containerbehuizing als functioneel brandcompartiment, aangevuld met eisen rond interne compartimentering, detectie, ventilatie, afstand tot brandbare materialen, bereikbaarheid voor hulpdiensten en noodprocedures.

De overige voorwaarden lijken op hoofdlijnen beter vertaalbaar, mits projectspecifieke invulling. De geluidsvoorwaarden vormen doorgaans geen beperkende factor voor BESS. Ventilatie-eisen sluiten aan bij bestaande ontwerpprincipes van batterijcontainers, maar moeten worden afgestemd op batterijchemie, koelconcept en incidentafvoer. De bepalingen rond verwarming en blusmiddelen vragen vooral herformulering voor outdoorcontaineropstellingen. Een periodieke controle van het batterijmanagementsysteem (BMS), de elektrische installatie en de veiligheidssystemen kan daarbij een zinvolle aanvulling zijn op de bestaande elektrische keuring.

Het wegnemen van deze interpretatiezone kan de rechtszekerheid verhogen en vermijden dat aannemers of leveranciers uit voorzorg terugvallen op de vertrouwde dieselgenerator. De Nederlandse PGS 37.1 kan daarbij als inspiratiebron dienen voor de uitwerking van technische veiligheidsvoorwaarden, zonder deze één-op-één over te nemen in de Vlaamse context.

Daarnaast blijft een Vlaams kader voor de brandveilige opstelling van tijdelijke BESS-installaties nodig om uiteenlopende voorwaarden tussen hulpverleningszones te vermijden. Dit is een van de meest urgente knelpunten die tijdens de opmaak van deze CvGP naar voren kwamen: lokale brandweervoorwaarden vormen in de praktijk een rem op de adoptie van groenere technologieën. Een gecoördineerde aanpak met Netwerk Brandweer Vlaanderen, de Vlaamse overheid en de sector is daarom aanbevolen.

Implementatie van het Stikstofdecreet

De emissies van niet-ingedeelde generatoren op bouwterreinen zijn door de recente stikstofwetgeving direct relevant geworden voor de vergunningverlening van grotere projecten.

- Gevalideerde emissiefactoren bestaan al in de Vlaamse rekenbladen voor N-emissies van puntbronnen (vlaanderen.be/stikstof-in-vlaanderen). Aanbeveling: deze actualiseren en uitbreiden naar HVO en batterij-/hybrideconfiguraties, en breder ontsluiten bij vergunningverleners en studiebureaus. Dit versnelt de passende beoordeling voor stikstofdepositie en vermijdt inefficiënte ad-hoc-berekeningen.

Ondersteuning van lokale besturen

Lokale overheden en politiediensten hebben vaak onvoldoende handvatten voor de technische beoordeling van tijdelijke installaties.

- Een praktische veldgids voor politie en milieu-inspectie: hoe de emissieklasse herkennen (typegoedkeuringsplaatje, zie §2.1.1 en Uitvoeringsverordening (EU) 2017/656), wanneer netstroom als niet-haalbaar geldt, en welke geluidsvoorwaarden gelden. Dit instrument sluit aan bij de handhavingsaanbeveling hieronder en kan helpen bij het opleggen en handhaven van consistente voorwaarden. De voorbeelden van Stad Gent en Stad Antwerpen (zie §2.3.7) illustreren hoe lokale besturen vandaag via aanbestedingsvoorwaarden en politiereglementen

indirecte sturing organiseren, en kunnen als referentie dienen voor andere gemeenten, evenals de voorbeeldclausules in §9.1.5 van deze code. Lokale initiatieven tonen de hefboomkracht van steden en gemeenten. Streef tegelijk naar een uniforme Vlaamse aanpak: bouwbedrijven werken over gemeentegrenzen heen en hebben baat bij een consistent kader voor vergunningen, aanbestedingen en veiligheidsvoorwaarden. Dat verhoogt de rechtszekerheid en beperkt de administratieve complexiteit.

Handhaving en fiscale prikkels

Zonder effectieve handhaving en marktconforme prikkels blijft vlootvernieuwing uit.

- Controle op emissieklasse kan waar mogelijk aansluiten bij bestaande terreininspecties door bevoegde toezichthouders. Een elektrische keuring kan zonder aangepaste rechtsgrond en opdracht niet worden uitgebreid tot emissiecontrole; wel kan worden onderzocht of keurings- of werfdocumenten het motor- en typegoedkeuringsnummer systematisch vermelden, zodat bevoegde handhavers dit eenvoudig kunnen verifiëren. Dit veronderstelt wel dat eerst emissienormen voor de gebruiksfase worden vastgelegd (zie hierboven). Een generieke Vlaamse gebruiksnorm, bv. via deel 6 van VLAREM II, met overgangstermijnen, zou gewestbrede handhaving mogelijk maken zonder de bestaande indelingsstructuur te wijzigen.
- Het huidige prijsvoordeel van 'rode diesel' (accijnsvoordeel voor mobiel materieel) vormt een drempel voor de adoptie van batterijen en hybride systemen. Een voorspelbare, gefaseerde afbouw van dit voordeel zou de TCO van duurzame alternatieven competitiever maken. Een aanpassing van het accijnsregime dient echter in zijn volledige context te worden bekeken, voor alle bouwmachines, niet alleen generatoren, en gekoppeld aan flankerende financiële stimuli. Embuild Vlaanderen vraagt expliciet om een integrale effectanalyse voorafgaand aan accijnswijzigingen. De opbrengsten kunnen gericht worden ingezet om de meerkost van tijdelijke netaansluitingen te verlichten.

Ter vergelijking: in Nederland wordt emissieloos materieel gesubsidieerd als onderdeel van een breder programma (SSEB, zie §2.4), hoewel Stage V niet langer in aanmerking komt voor financiële ondersteuning. Vlaanderen beschikt momenteel niet over een vergelijkbaar specifiek programma; algemene steunmaatregelen dekken mobiele of tijdelijke toepassingen niet vanzelfsprekend (zie Bijlage 2). Dat vormt een bijkomende verklaring voor het tragere transitietempo.

9.3.5 TECHNOLOGIEONTWIKKELAARS EN ONDERZOEKERS

Technologieontwikkelaars en onderzoeksinstituten ondersteunen de transitie door drempels te verlagen die brede toepassing vandaag beperken. Hun bijdrage ligt vooral in toepasbaarheid en robuustheid.

Een belangrijk aandachtspunt is betrouwbaarheid onder reële gebruiksomstandigheden. Tijdelijke toepassingen worden gekenmerkt door verplaatsing, wisselende belasting en beperkte ruimte. Ontwikkeling en validatie moeten hierop worden afgestemd, omdat oplossingen die in gecontroleerde omgevingen functioneren dat niet automatisch doen op werven of evenementen.

Standaardisering vormt een tweede werkpunt. De integratie van generatoren, batterijen en sturing verloopt moeizaam door beperkte compatibiliteit tussen systemen van verschillende fabrikanten. Meer open interfaces en eenduidige communicatieafspraken verlagen integratie-inspanningen en maken samengestelde systemen eenvoudiger inzetbaar.

Onderzoek kan daarnaast bijdragen door praktijkkennis te objectiveren. Dimensionering en systeemkeuze steunen vandaag vaak op ervaring. Metingen en goed gedocumenteerde cases maken deze keuzes beter onderbouwd en verhogen de reproduceerbaarheid van succesvolle configuraties.

Een aanvullende rol ligt in kennisvertaling. De meerwaarde zit vaak in het toegankelijk maken van bestaande technologie voor uitvoerders en opdrachtgevers, zodat toepassing niet afhankelijk blijft van gespecialiseerde expertise. Dat geldt ook voor deze code zelf: de vertaling naar opleidingen, tools en sectorspecifieke handvatten bepaalt haar effect in de praktijk (zie §9.3.6 en de compacte beslisboom in Bijlage 4).

Een concreet aandachtspunt betreft de actualisering en uitbreiding van emissiefactoren voor tijdelijk materieel. De Vlaamse rekenbladen voor N-emissies van puntbronnen (zie §9.3.4) bestaan al, maar dekken HVO en batterij-/hybrideconfiguraties nog niet. Uitbreiding en validatie zijn nodig voor een efficiënte passende beoordeling in het kader van het Stikstofdecreet.

9.3.6 SECTORFEDERATIES

Sectorfederaties nemen een brugpositie in tussen beleid, markt en praktijk. Hun meerwaarde ligt niet in technische detailsturing, maar in het creëren van gedeelde referentiekaders en het verminderen van fragmentatie binnen de sector.

Een eerste rol is het mee ondersteunen van kennisverspreiding, samen met overheid en kennisinstellingen, via opleidingen, infosessies en ledencommunicatie die complexe regelgeving en technologische keuzes vertalen naar werkbare handvatten. Embuild Vlaanderen neemt hierin doorgaans een ondersteunende rol op. Het delen van gevalideerde praktijkvoorbeelden helpt om abstracte principes concreet te maken en verlaagt de drempel voor toepassing. Een compacte beslisboom is opgenomen als Bijlage 4. Per configuratie wordt de verwachte lokale milieu-impact visueel aangegeven via een kleurcode (laag naar hoog), zodat de milieuambitie in één oogopslag leesbaar is.

Daarnaast kunnen federaties bijdragen aan sectorale afspraken die verder gaan dan de minimale wettelijke vereisten. Vrijwillige engagementen — bijvoorbeeld rond het gebruik van Stage V-generatoren voor primaire stroomvoorziening, minimale monitoringvereisten of transparante rapportage van energieverbruik — creëren duidelijkheid en een gelijk speelveld. Zulke afspraken kunnen formele regelgeving aanvullen en, bij voldoende deelname, de toepassing versnellen; ze vervangen geen regelgeving waar uniforme afdwingbaarheid nodig is.

Een derde rol ligt in beleidsdialoog. Federaties verzamelen signalen uit de praktijk en brengen deze onderbouwd binnen bij beleidsmakers. Ze kunnen knelpunten rond handhaving, vergunningen of fiscaliteit benoemen en tegelijk realistische alternatieven voorstellen. Die brugfunctie is essentieel om beleid beter te laten aansluiten bij de uitvoeringsrealiteit en om onbedoelde neveneffecten tijdig te signaleren.

9.3.7 NETBEHEERDERS

Netbeheerders bepalen in hoge mate of duurzame oplossingen haalbaar zijn. De beschikbaarheid, timing en voorwaarden van een tijdelijke netaansluiting sturen rechtstreeks de keuze tussen elektrificatie en fossiele opwekking.

Een eerste uitdaging is transparantie over netcapaciteit. Initiatiefnemers hebben vandaag vaak pas laat zicht op wat technisch mogelijk is, waardoor ontwerpkeuzes noodgedwongen worden gemaakt op basis van onzekerheid. Digitale instrumenten die beschikbare capaciteit per locatie inzichtelijk maken, zouden projectplanning verbeteren en onnodige aanvragen vermijden. Fluvius geeft aan dat een voorafgaande

aftoetsing van het gewenste vermogen op een specifieke locatie vandaag al mogelijk is en aannemers in staat stelt om vroegtijdig te weten of een netaanvraag zinvol is (zie ook §7.3.1).

Daarnaast vraagt de procedure voor tijdelijke aansluitingen om meer flexibiliteit. Voor kleinere vermogens — tot 25 kVA verlopen aansluitingen bij Fluvius doorgaans vlot — kan een vereenvoudigd en versneld traject het verschil maken tussen netgebruik en noodgedwongen generatorinzet. Ook gestandaardiseerde aansluitpunten op frequente locaties — zoals evenemententerreinen of grote bouwzones — verlagen administratieve en technische drempels.

Netbeheerders kunnen bovendien bijdragen door slimmer dimensioneren te ondersteunen. In plaats van te vertrekken van een theoretische piekbelasting, kan gewerkt worden met realistische verbruiksprofielen, in combinatie met batterijopslag of vermogensbeheer. Een kleinere netaansluiting in combinatie met een batterij kan in bepaalde gevallen een snellere en meer proportionele oplossing zijn dan een zwaardere netaanvraag (zie §6.3.2). Dit vergt wel dat projectontwikkelaars tijdig inzicht hebben in hun energiprofiel en dat monitoringgegevens kunnen worden gedeeld. Fluvius signaleert dat het gevraagde vermogen in de praktijk wordt overschat, wat leidt tot hogere kosten en langere procedures. Een goede dimensionering op basis van een realistische behoefteanalyse (Hoofdstuk 5) is daarom niet alleen relevant voor de systeemkeuze, maar ook voor de netaanvraag zelf.

Tot slot ontstaat een nieuwe rol in het kader van flexibiliteitsdiensten en netondersteuning. Mobiele batterijsystemen en tijdelijke installaties kunnen op termijn bijdragen aan netstabiliteit door pieken te bufferen of flexibel vermogen aan te bieden. Dat veronderstelt aangepaste marktmechanismen, duidelijke contractuele afspraken en datadeling over lokale netbelasting. Deze toepassingen duiken eerst op bij grotere, herhaalbare projecten, maar zijn een belangrijke schakel in de verdere integratie van tijdelijke systemen in het energiesysteem.

BIJLAGE 1: MEDEWERKERS VAN DE CODE VAN GOEDE PRAKTIJK

KENNISCENTRUM VOOR BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN

- Kristof Custers
- Greet Janssens

BBT-kenniscentrum

p/a VITO

Boeretang 200

2400 MOL

E-mail: bbt@vito.be

CONTACTPERSONEN FEDERATIES BELGIË

- Griet Goossens - Embuild Vlaanderen
- Wouter Vaesen - Bouwunie
- Jan De Meyer – Evenementen (The Power Shop)
- Joëlle Germain – Sigma (secretaris)

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de federaties in het begeleidingscomité voor deze studie.

CONTACTPERSONEN ADMINISTRATIES/OVERHEIDSINSTELLINGEN

- Koen Hindrix, Departement Omgeving – Afdeling GVLVB: Gebiedsontwikkeling en Vergunningen Limburg en Vlaams-Brabant
- Mirka Van der Elst, Stad Gent (Dienst Milieu en Klimaat)
- Jelle Verhaegen, VMM (Afdeling lucht)
- Els Van Duyse, Stad Antwerpen (Dienst Klimaat en Leefmilieu)
- Gilke Pée, Departement Omgeving – Afdeling Beleid (Team Omgevingshinder)
- Benny Mertens, Fluvius
- Kurt Decleene, Stad Antwerpen (Dienst Milieu-interventie)

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de administraties en andere overheidsinstellingen in het begeleidingscomité voor deze studie.

VERTEGENWOORDIGERS UIT BEDRIJFSWERELD

- Erwin Theys, Eneria
- Vincent Locquet, Locquet Power & Light

- Eddie Bormans, Hunter & Van Twist
- Stefaan Lammertijn, Vandaele Power
- Gil De Backer, Near Grid Solutions
- Kris Burggraeve, Atlas Copco
- Pieter Willems, Atlas Copco
- Alexander Vendrig, JCB

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de bedrijven in het begeleidingscomité voor deze studie.

LECTOREN

Extern:

- Netwerk Brandweer Vlaanderen

De Code van Goede Praktijk (of delen ervan) werd aan bovenstaande personen voorgelegd ter kritisch nazicht.

BEZOCHTE BEDRIJVEN TIJDENS HET UITVOEREN VAN DE STUDIE

- Locquet Power & Light
- Atlas Copco - Fimatec
- Eneria
- Hunter & Van Twist
- Vandaele Power
- The Power Shop
- Near Grid Solutions

BIJLAGE 2: SUBSIDIES EN FINANCIËLE STIMULANSEN

Steunmaatregelen kunnen de totale eigendomskosten (total cost of ownership, TCO) van een tijdelijke elektriciteitsvoorziening beïnvloeden. De vermelding van een maatregel betekent echter niet dat een project of systeem ervoor in aanmerking komt. Dat hangt onder meer af van de technologie, de onderneming die investeert, het gebruik van de installatie, de plaats van de investering en de aanvraagvoorwaarden. Vooral voor mobiele systemen en verhuurunits is een afzonderlijke toets nodig. Controleer daarom de actuele voorwaarden vóór een investering wordt besteld of steun in een kostenvergelijking wordt opgenomen.

Ecologiepremie+

De Ecologiepremie+ is een Vlaamse subsidie voor technologieën op de limitatieve technologieënlijst van het Vlaams Agentschap Innoveren & Ondernemen (VLAIO). Op de lijst die geldt voor aanvragen vanaf 1 januari 2026 staat geen algemene technologie voor een zelfstandig batterijopslagsysteem. De vroegere vermelding van technologie 201099 en de daaraan verbonden voorwaarden over batterijcapaciteit en lokaal geproduceerde groene stroom zijn dus niet bruikbaar als actuele voorwaarden voor batterijsteun. Een batterij kan wel een onderdeel zijn van een andere, uitdrukkelijk vermelde technologie; dat maakt een afzonderlijke batterij voor werfstroom nog niet subsidiabel. Investeringsen die uitsluitend worden verhuurd, komen volgens VLAIO niet in aanmerking voor de Ecologiepremie+. Bij exploitatie op een vestiging van een andere onderneming gelden specifieke voorwaarden. (VLAIO, 2026)

GREEN-investeringssteun

GREEN ondersteunt onder voorwaarden bedrijfsspecifieke investeringen in de vergroening, elektrificatie of energie-efficiëntie van warmtegebruik en productieprocessen. De projectkosten moeten minstens € 50.000 bedragen. VLAIO sluit batterijen voor de opslag van elektriciteit uitdrukkelijk uit van deze regeling. GREEN is daardoor geen vangnet voor een mobiele batterij die niet voor de Ecologiepremie+ in aanmerking komt. Voor een bredere investering in een productieproces moet de toepasselijkheid afzonderlijk worden nagegaan. (VLAIO, 2026)

Investeringsaftrek

De investeringsaftrek is een fiscaal voordeel, geen subsidie op de aankoop prijs: een deel van de investeringswaarde wordt afgetrokken van de belastbare winst. Voor bepaalde nieuwe investeringen kunnen eenmanszaken en kleine vennootschappen de basisaftrek van 10% toepassen. Voor investeringen in 2026 bedraagt de verhoogde thematische aftrek 40% voor ondernemingen die aan de voorwaarden voldoen. Een batterij kan onder categorie 8, tijdelijke opslag van elektrische en thermische energie, vallen. Voor die categorie is onder meer een voorafgaande energiestudie of energieaudit vereist. De investering moet minstens € 1.000 bedragen en een terugverdientijd van minstens drie jaar hebben; voor grote vennootschappen geldt daarnaast een grens voor de interne rentevoet. Een aftrek van 40% betekent niet dat 40% van de aankoop prijs wordt terugbetaald. (VLAIO, 2026) (VLAIO, 2026)

Voor de thematische aftrek is een attest van het Vlaams Energie- en Klimaatagentschap (VEKA) nodig. In september 2026 geldt een overgangsregeling voor de aanvraag en het voorleggen van attesten; de actuele procedure en termijnen moeten bij VEKA en VLAIO worden gecontroleerd. De plaats waar de investering wordt uitgevoerd is relevant voor de bevoegde gewestelijke instantie. Bij een mobiele installatie die op verschillende locaties wordt ingezet, vraagt dit bijzondere aandacht. (Vlaamse Overheid, 2026)

Een verhuurbedrijf heeft niet automatisch recht op investeringsaftrek voor apparatuur die het ter beschikking stelt. De fiscale regels bevatten uitsluitingen en uitzonderingen bij overdracht van het

gebruiksrecht aan derden. Ook bij leasing moet worden vastgesteld wie de investering fiscaal kan aftrekken. Laat de toepasbaarheid voor een verhuurvloot daarom per constructie beoordelen. De gewone basisaftrek mag evenmin zonder toets worden verondersteld voor apparatuur die fossiele brandstoffen gebruikt: daarvoor geldt een afzonderlijke uitsluitingslijst. (FOD Financiën, 2026)

Strategische ecologiesteun en Ecoboostlening

Voor een grootschalig, bedrijfsspecifiek en innovatief energieopslagproject kan de strategische ecologiesteun van VLAIO worden onderzocht. De minimale investering bedraagt € 1,5 miljoen. VLAIO vermeldt grootschalige energieopslag met een uniek of innovatief karakter als mogelijke toepassing. Dit is geen algemene subsidie voor standaardbatterijen op afzonderlijke werven of evenementen. (VLAIO, 2026) (VLAIO, 2026)

De Ecoboostlening van de Participatiemaatschappij Vlaanderen (PMV) kan voor bepaalde zelfstandigen, kmo's en vzw's met economische activiteit een financieringsmogelijkheid zijn. Opslag van hernieuwbare energie staat bij de mogelijke investeringen. Het gaat om een terug te betalen lening, niet om een subsidie. De financieringsvoorwaarden en de eventuele inzet voor een mobiele toepassing moeten worden nagegaan. (VLAIO, 2026) (VLAIO, 2026)

Energiepremies voor niet-woongebouwen

De actuele energiepremies via Fluvius en VEKA richten zich hoofdzakelijk op investeringen in bestaande niet-woongebouwen, zoals relighting en bepaalde investeringen na een energieaudit. Ze kunnen bijvoorbeeld relevant zijn voor een vaste evenementenlocatie, werkplaats of bedrijfsgebouw, maar vormen geen algemene steun voor een verplaatsbare batterij of generator. Sinds 1 maart 2026 kan voor niet-woongebouwen geen Mijn VerbouwPremie meer worden aangevraagd. De premie voor investeringen na een energieaudit of energiestudie wordt vanaf 1 januari 2027 afgeschaft. (VLAIO, 2026)

Sectorspecifieke steun en capaciteitsvergoeding

Het Vlaams Landbouwinvesteringsfonds (VLIF) kan onder eigen voorwaarden investeringen in energieopslag op land- en tuinbouwbedrijven ondersteunen. Het toepasselijke steunpercentage en de vereisten hangen af van de investering en de geldende aanvraagperiode. Deze regeling is geen algemene steunmaatregel voor tijdelijke elektriciteitsvoorziening in de bouw- of evenementensector. (Agentschap Landbouw & Zeevisserij, 2026) (Agentschap Landbouw & Zeevisserij, 2026)

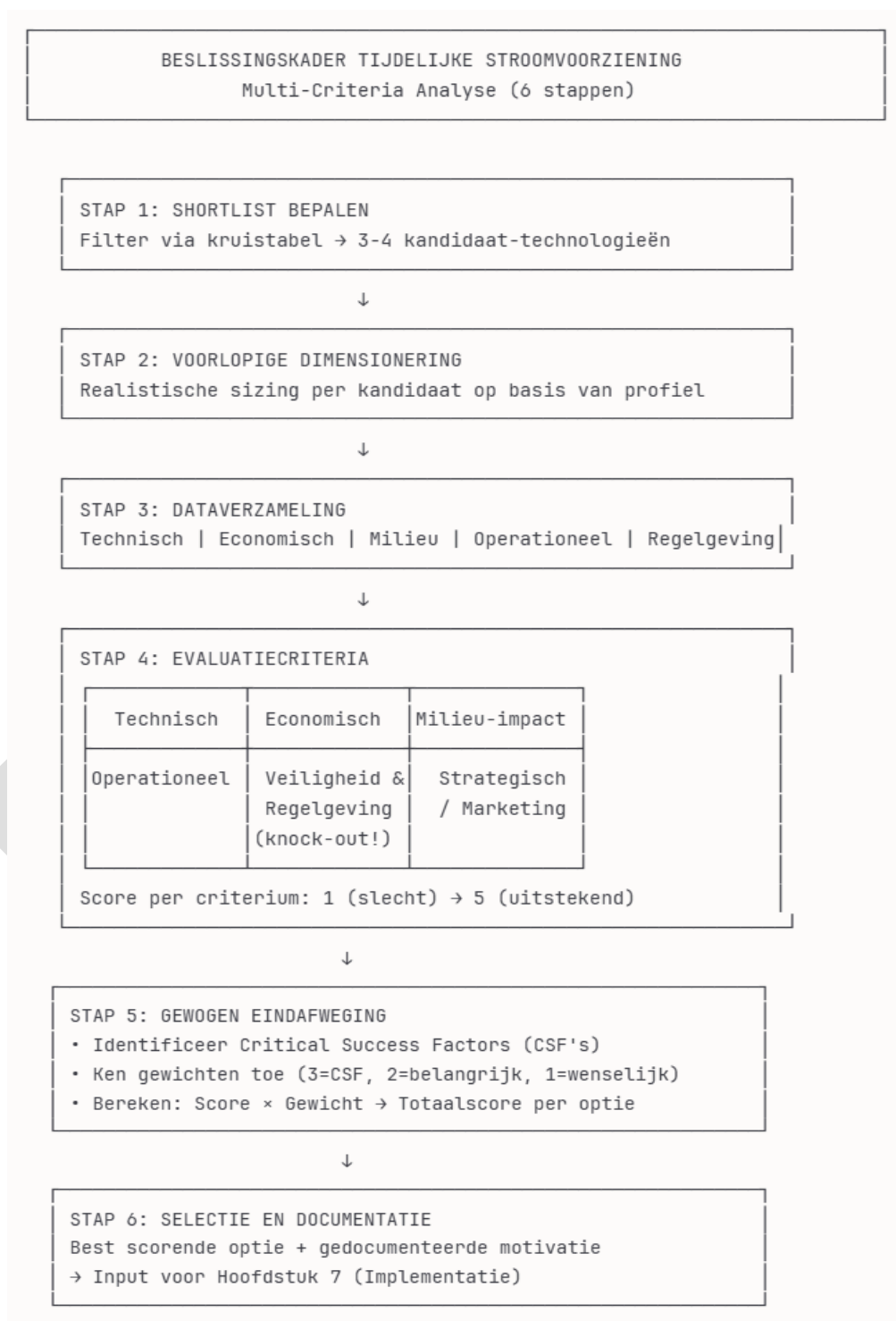
Het federale capaciteitsremuneratiemechanisme (CRM) vergoedt via veilingen elektriciteitscapaciteit die na prequalificatie beschikbaar is voor de bevoorradingszekerheid. Ook opslag kan in beginsel deelnemen. Het CRM is geen investeringspremie voor de aankoop van een batterij. Neem eventuele CRM-inkomsten alleen op in een TCO-berekening als deelname en de bijbehorende beschikbaarheidsverplichtingen voor het concrete project aantoonbaar haalbaar zijn. (FOD Economie, 2026)

Toepassing in de kostenvergelijking

Bereken de TCO in eerste instantie zonder veronderstelde steun. Voeg steun pas toe in een afzonderlijk scenario wanneer de investering, de aanvrager en het gebruik aan de voorwaarden kunnen voldoen. Houd daarbij subsidie, fiscale aftrek en lening uit elkaar: zij beïnvloeden de kosten op verschillende manieren. Bij huur verlaagt steun aan de verhuurder de huurprijs voor de gebruiker niet automatisch. Controleer ook de aanvraagtermijnen en de regels voor cumulatie van steun voor dezelfde investeringskosten bij VLAIO, VEKA, PMV of de bevoegde federale instantie.

BIJLAGE 3: MULTICRITERIA-ANALYSE

De MCA wordt alleen gebruikt wanneer het stapsgewijze kader geen duidelijke keuze oplevert. Voor de meeste projecten volstaat het stappenplan. Stem de diepgang af op de grootte, complexiteit en impact van het project (zie ook Stap 6). Het MCA-proces verloopt in zes stappen:



Figuur B3.1: Stappenplan voor de multicriteria-analyse (MCA)

STAP 1 - SHORTLIST BEPALEN

De eerste stap is alle mogelijke opties terugbrengen tot 3 à 4 realistische kandidaten. Een te brede lijst maakt de verdere analyse onnodig complex; een te korte lijst kan een relevante optie uitsluiten.

Onderstaande tabel werkt als snel filter: ze elimineert systeemopties die ongeschikt zijn voor de projectkenmerken.

1. Bepaal de projectkenmerken (piekvermogen, looptijd, emissie-eisen, logistiek)
2. Doorloop de tabel en identificeer welke technologieën een ✓ (geschikt) of Δ (mogelijk geschikt) scoren
3. Elimineer technologieën met een ✗ (niet geschikt)
4. De overblijvende opties vormen uw lijst voor verdere analyse

Tabel B3.1: Kruistabel die als shortlist-filter kan dienen voor mogelijke systemen

Project-ontwerpcriterium /	Net solo	Net + batterij	Net generator (back up of piekshaving)	Net batterij + generator (tri-hybride)	Diesel Stage V	Diesel + BESS (hybride off-grid)	HVO (Stage V-motor)	BESS-solo	H ₂ -brandstofcel	H ₂ -verbrandingsmotor (H ₂ -ICE)	Andere biogene / e-fuels ³²
Piek < 100 kVA	✓	✓	✓	⚠ ³³	✓	✓	✓	⚠	⚠	⚠	⚠
Piek 100-300 kVA	⚠ ³⁴	✓	✓	✓	✓	✓	✓	⚠	⚠	⚠	⚠
Piek > 300 kVA	✗	⚠	✓	⚠	✓	✓ ³⁵	✓	✗	⚠	⚠	⚠
Afstand tot net ³⁶ ≤ 50 m (kabel ≤ 125 mm ²)	✓	✓	✓	✓	⚠	⚠	⚠	⚠	⚠	⚠	⚠

³² Bio-LNG, e-methanol, GTL, synthetische diesel, biodiesel (FAME), biogas/bioCNG, enz. Scores variëren sterk per brandstoftype en herkomst. Over het algemeen lagere directe emissies dan fossiele diesel, maar beschikbaarheid, infrastructuur, kostprijs én motorcompatibiliteit zijn sterk projectafhankelijk. HVO heeft aparte kolom vanwege drop-in compatibiliteit en bredere beschikbaarheid.

³³ Technisch mogelijk maar economisch vaak niet gerechtvaardigd. Complexiteit en kosten wegen meestal niet op tegen voordelen bij kleinere vermogens.

³⁴ Vereist 3×250A of hoger, wat niet overall beschikbaar is. Controleer beschikbare netcapaciteit bij netbeheerder.

³⁵ Technisch haalbaar maar vereist economische afweging. Bij hoge vermogens wordt de benodigde batterijcapaciteit voor grote piekafvlakking zeer groot (>500 kWh), wat leidt tot hoge CAPEX en complexe logistiek.

³⁶ Deze richtwaarden (50 m / 200 m) zijn een praktijkrichtlijn in de Vlaamse/Belgische bouwsector voor tijdelijke netten. Ze vormen een snelle indicatie gebaseerd op de afweging tussen de variabele kosten van kabels (koper, aanleg, spanningsvalcompensatie) en de vaste kosten van een generatoropstelling.

Project-ontwerpcriterium /	Net solo	Net + batterij	Net generator (back up of piekshaving)	Net + batterij + generator (tri-hybride)	Diesel Stage V	Diesel + BESS (hybride off-grid)	HVO (Stage V-motor)	BESS-solo	H ₂ -brandstofcel	H ₂ -verbrandingsmotor (H ₂ -ICE)	Andere biogene / e-fuels ³²
Afstand tot net 50 – 200 m	⚠ ³⁷	⚠	⚠	✓	✓	✓	✓	⚠	⚠	✓	⚠
Afstand tot net > 200 m	✗ ³⁸	⚠ ³⁸	⚠ ³⁸	✗	✓	✓	✓	✗	⚠	✓	⚠
Looptijd < 1 maand	⚠ ³⁹	⚠ ³⁹	⚠ ³⁹	⚠	✓	✓	✓	⚠	⚠	⚠	⚠
Looptijd > 1 mnd, ≥ 8 h/dag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	⚠	⚠	⚠

³⁷ Economische afweging nodig. Kabelkosten (ca. €50-150/m) en spanningsval kunnen oplopen. Bij >6 weken projectduur vaak nog rendabel, bij kortere projecten twijfelgeval.

³⁸ Net-oplossingen bij >200m:

- Nieuwe kabelaanleg >200m: De netaansluiting wordt technisch zeer complex (hoge kabelsectie, spanningsval, civiele werken). Voor alle net-gebaseerde oplossingen (solo, +BESS, +Generator) economisch meestal niet haalbaar (kosten €25.000-45.000).
- Bestaande netaansluiting ter plaatse: Indien projectlocatie reeds over (beperkte) netaansluiting beschikt (bijvoorbeeld bij hergebruik industrieterrein, tijdelijk gebruik gebouw), kunnen hybride oplossingen (Net + BESS of Net + Generator) wel haalbaar zijn waarbij het net de basislast levert en batterij/generator de ontbrekende capaciteit aanvult.

³⁹ Aansluitkosten (studiekosten, materiaalkost, arbeidskosten voor installatie) vaak niet rendabel bij projectduur <4 weken, tenzij bestaand aansluitpunt geactiveerd kan worden.

Project-ontwerpcriterium /	Net solo	Net + batterij	Net generator (back up of piekshaving) +	Net batterij + generator (tri-hybride) +	Diesel Stage V	Diesel + BESS (hybride off-grid)	HVO (Stage V-motor)	BESS-solo	H ₂ -brandstofcel	H ₂ -verbrandingsmotor (H ₂ -ICE)	Andere biogene / e-fuels ³²
Emissie-eis (stad)	✓	✓	✓	✓	⚠	✓	✓ ⁴⁰	✓	✓	⚠	✓
Strikte geluidseis (bv. nachtwerk in woonwijk)	✓	✓	⚠	⚠	⚠	✓	⚠	✓	✓	⚠	⚠
Complexe logistiek (brandstof laden) /	✓	✓	⚠	⚠	✓	⚠	⚠	⚠	✗	⚠	⚠
CAPEX (indicatief)	€	€€	€	€€€-€€€€	€€	€€€	€€	€€€	€€€€	€€€ ⁴¹	€€€€
OPEX (indicatief)	€	€	€-€€	€	€€	€	€€€	€	€€€	€€€-€€€€ ⁴¹	€€€

⁴⁰ HVO reduceert CO₂ (klimaat), maar de lokale luchtkwaliteit (NOx/PM) hangt af van de motor (Stage V), niet van de brandstof. Oude generatoren op HVO stoten nog steeds veel NOx uit.

⁴¹ De kostenklassen voor H₂-ICE zijn kwalitatieve indicaties. De CvGP bevat geen afzonderlijke, vergelijkbare kostengegevens voor H₂-ICE; toets CAPEX en OPEX met actuele offertes en brandstofprijzen

Legenda:

✓ = Standaard geschikt: Technologie is voor dit criterium zonder specifieke voorwaarden toepasbaar

△ = Mogelijk geschikt onder voorwaarden: Technologie kan toegepast worden maar vereist specifieke maatregelen, aanpassingen of is economisch minder aantrekkelijk. Controleer de voetnoten en beslisregels.

✗ = Niet geschikt: Technologie is ongeschikt voor dit criterium en moet worden geëlimineerd

DRAFT

Pas indicatieve beslisregels toe voor verdere verfijning. Deze regels zijn gebaseerd op veelvoorkomende scenario's en kritische drempelwaarden, maar dienen steeds getoetst en aangepast te worden aan de unieke projectcontext:

- Piekvermogen < 30 kVA & last $\leq$ 50% van de tijd: Overweeg BESS-solo; blijft er toch < 24 uur autonomie, voeg een compacte Stage V-generator toe.
- Piekvermogen 30-300 kVA met sterk variërende last: Toets eerst of netstroom volstaat, eventueel met een batterij voor piekafvlakking. Volstaat die configuratie niet, onderzoek een netgebaseerde oplossing met generator. Is geen tijdig bruikbare netaansluiting mogelijk, overweeg dan een off-gridcombinatie van batterij en generator met een Stage V-motor. Laat de batterij pieken en perioden met lage belasting opvangen en dimensioneer de generator voor efficiënte belasting tijdens zijn draaiuren.
- Piekvermogen > 300 kVA, continu draaien (> 8 u/dag): Een Stage V-generator kan economisch gunstig zijn; toets dit met een TCO-berekening.
- Netbeschikbaarheid (zie ook §4.1 en §6.2): Indien netaansluiting $\geq 3 \times 63$ A beschikbaar binnen ca. 50 m: geef prioriteit aan aansluiten op het net, eventueel met een BESS voor piekafvlakking; generator enkel als noodreserve. Indien geen net beschikbaar & looptijd project < 5 dagen: overweeg huur van een mobiele hybride set om investeringskosten te vermijden.
- Emissiezone & regelgeving: Bij projectspecifieke NO_x -/PM-limieten: minstens Stage V; HVO kan worden overwogen waar compatibel en beschikbaar; overweeg hybride of BESS-solo wanneer het vermogen dit toelaat (zie de vermogensregels hierboven). Waterstoftoepassingen: enkel te overwegen indien (a) vergunning voor H_2 -opslag haalbaar is, (b) geluidslimieten zeer streng zijn (enkel van toepassing voor H_2 -brandstofcel), én (c) er sprake is van langdurig bedrijf (> 3 dagen) met een stabiel belastingsprofiel.
- Geluid:
Bij strenge geluidseisen, bijvoorbeeld avond- of nachtwerk nabij woningen, toets het verwachte geluidsniveau op de relevante beoordelingspunten aan de toepasselijke voorwaarden. Onderzoek een standalone batterij of brandstofcel. Een hybride systeem kan ook geschikt zijn als de generator buiten de geluidgevoelige uren draait of aantoonbaar aan de voorwaarden voldoet. Houd bij die beoordeling rekening met het geluidsvermogen van de bron, de afstand, de opstelling en eventuele afscherming.
- Logistiek & brandstoftoegang: Indien site moeilijk bereikbaar is voor frequente brandstofleveringen (bijvoorbeeld > 1 uur rondrit tankwagen): overweeg een BESS-dominant systeem, eventueel met een PV-oplaadpunt, om diesel-/HVO-aanvoer te beperken tot bijvoorbeeld één levering per week.
- Impact rode diesel: Indien het fiscale voordeel van rode diesel wegvalt (project buiten België of wanneer de opdrachtgever rode diesel uitsluit): bij een gelijk brandstoftarief voor witte diesel/HVO kan een hybride systeem sneller rendabel worden; herbereken de TCO met actuele prijzen, afhankelijk van bedrijfsduur en belastingsprofiel.

Overgang vanuit het stapsgewijze kader (§6.2–§6.5)

Wanneer de MCA wordt opgestart vanuit het stapsgewijze kader — omdat geen optie uit §6.3 (netgebaseerd) of §6.4 (off-grid) eenduidig aan alle criteria voldoet — kan het zinvol zijn om de best presterende grid-optie uit §6.3 alsnog mee te nemen in de MCA, ook al voldeed deze niet volledig. Dit geldt in twee situaties:

- Situatie 1: Een grid-optie voldeed bijna (bv. faalde op één criterium).
- Situatie 2: Meerdere grid-opties faalden, maar één optie zat het minst ver van haalbaarheid af.

Voeg aan uw shortlist toe:

De best presterende grid-optie uit §6.3, ook al voldoet deze niet aan alle criteria

Hoe bepaalt u welke grid-optie u meeneemt?

- Situatie 1: die optie
- Situatie 2: de optie die het minst ver van haalbaarheid af zat
- Bij twijfel: neem de optie met de laagste geschatte TCO mee

Voorbeeld (vereenvoudigd, zonder optie D):

- Optie A (Grid only) faalde op criterium A5 (kwetsbaar kabeltracé)
- Optie B (Grid+batterij) faalde op criteria B2 én B5 (te grote batterij, niet rendabel)
- Optie C (Grid+generator) faalde op criterium C2 (milieu-impact niet geminimaliseerd)

→ Neem Optie A mee in MCA (faalde op minste criteria)

Praktische uitwerking in de MCA:

Deze grid-optie wordt in Stap 2 - Voorlopige dimensionering per geselecteerde optie en Stap 3 - Dataverzameling behandeld op exact dezelfde manier als de off-grid kandidaten. In Stap 4 - Evaluatiecriteria scoort deze optie mogelijk negatief op het gefaalde criterium, maar kan elders sterk presteren (bv. lage emissies, lage OPEX). Dit kan enkel wanneer het gefaalde criterium geen knock-outcriterium is: een optie die de technische geschiktheid of de veiligheid en wettelijke conformiteit niet haalt, valt ook hier af (zie Stap 4 en §6.6)

Belangrijke noot:

Indien deze grid-optie uiteindelijk de hoogste gewogen score behaalt in Stap 5 - Gewogen eindafweging, motiveer dan in de interne MCA-documentatie waarom een grid-optie die niet aan alle criteria van §6.3 voldoet, toch verkozen wordt boven off-grid alternatieven. De scores zijn gebaseerd op het bovenstaande scenario; in een reëel project worden ze onderbouwd met concrete data uit Stap 3 en de evaluatie uit Stap 4.

Stap 6 - Selectie en documentatie van de finale keuze. Dit is een afwijking van de hiërarchische logica van §6.3, maar kan gerechtvaardigd zijn indien de voordelen zwaarder wegen dan het gefaalde criterium.

Resultaat: Een shortlist van 3 tot 4 kandidaat-technologieën die het meest consistent goed scoren voor uw specifieke projectsituatie.

Belangrijk: Deze tabel en beslisregels bieden globale richtlijnen. Projectsamenhangende omstandigheden kunnen afwijkingen rechtvaardigen. Bij twijfel over de geschiktheid van een technologie, neem deze mee in de shortlist voor verdere detailevaluatie in de volgende stappen.

STAP 2 - VOORLOPIGE DIMENSIONERING PER GESELECTEERDE OPTIE

Doel: voor elke kandidaat een realistische, vergelijkbare eerste dimensionering maken. Deze dimensionering is voorlopig; de definitieve dimensionering gebeurt na keuze, met leveranciersdata en detailontwerp.

Algemene regels:

- Gebruik kW/kWh voor energiebalansen; gebruik kVA waar aansluiting, beveiliging of omvormervermogen dit vereist.
- Dimensioneer altijd op het belastingsprofiel ($P(t)$ en $E(t)$), niet op één enkel piekgetal.
- Documenteer aannames ($\cos \phi$, efficiënties, DoD, temperatuurcorrecties).

Indicatieve dimensioneringsprincipes:

1. Netaansluiting:

- Dimensioneer op demand peak (15-min) met marge en verifieer kortstondige pieken/inrush.

2. Dieselgenerator:

- Dimensioneer het generatorvermogen zodanig dat de gemiddelde operationele belasting 60-80% bedraagt (gunstige efficiëntie en correcte werking van nabehandeling). Voor Stage V-motoren met actieve nabehandeling is een minimale belasting van ca. 25-30% noodzakelijk om voldoende uitlaatgastemperatuur te waarborgen. Vermijd structureel bedrijf onder deze drempel.
- Gebruik datasheetverbruikscurves voor TCO (L/h bij 50/75/100% load), niet één vaste kWh-prijs.

3. Hybride (generator + batterij):

- Generator: dekt basis- tot gemiddelde last en laadt batterij in efficiënte blokken.
- Batterij: dekt dynamiek, pieken en/of stille periodes.
- Dimensioneer energie (kWh) op de gewenste autonomie of stille periode, met correctie voor DoD en efficiëntie.

4. Batterijsysteem (standalone):

- Vermogen: dekt de hoogste relevante kortstondige piek (kW/kVA).
- Energie: dekt totale energiebehoefte voor gewenste autonomie, gedeeld door round-trip efficiëntie en gecorrigeerd voor DoD + marge.

5. Brandstofcel (+ bufferbatterij):

- Brandstofcel: dekt basis- tot gemiddelde last.
- Bufferbatterij: dekt snelle lastveranderingen en pieken.

- Dimensioneer op profiel en op beschikbaarheid/logistiek van brandstof, en verifieer dynamisch gedrag.

Belangrijk: Documenteer alle aannames. Deze dimensionering is voorlopig; de finale dimensionering gebeurt in §7.3 na systeemkeuze.

Resultaat van stap 2: Per kandidaat een eerste dimensionering met aannames die als basis dienen voor de dataverzameling in Stap 3 en de verdere evaluatie in Stap 4.

STAP 3 - DATAVERZAMELING

Na het opstellen van een shortlist (Stap 1) en voorlopige dimensionering per optie (Stap 2), volgt de dataverzameling per kandidaat. Deze data vormen de basis voor de evaluatie in Stap 4.

Doel: een dossier per kandidaat-optie samenstellen waarin de scores in Stap 4 op verifieerbare data steunen in plaats van op aannames.

Te verzamelen informatie per gedimensioneerde systeemoptie:

1. Technische specificaties (passend bij de dimensionering)

Verzamel technische gegevens voor de gekozen dimensionering:

- Nominaal vermogen (kW of kVA) en piekvermogen (indien verschillend)
- Voor batterijsystemen: nuttige energiec capaciteit (kWh), ontlaad diepte, omvormervermogen
- Rendement of efficiëntiecurve onder verschillende belastingscondities
- Stroomkwaliteit: spanningsstabiliteit, frequentiestabiliteit, harmonische vervorming (THD)
- Reactiesnelheid en opstarttijd
- Afmetingen, gewicht, en ruimtebeslag van de installatie
- Omgevingsvereisten (temperatuurbereik, vocht, ventilatie)
- Schaalbaarheid en modulariteit

Bronnen: Hoofdstuk 4 biedt generieke technische informatie per technologie. Aanvullend zijn nodig: leveranciersspecificaties, technische datasheets, en eventueel offertes of gesprekken met leveranciers voor projectspecifieke configuraties.

2. Kostenschattingen (CAPEX en OPEX)

Verzamel concrete en realistische kostenschattingen die specifiek zijn voor de gedimensioneerde configuratie en de projectduur:

Kapitaalkosten (CAPEX):

- Aankoopprijs (indien aankoop) of totale huurkosten over de projectduur
- Kosten voor transport, installatie en de-installatie

- Eventuele kosten voor netaansluiting (aanleg, studiekosten)
- Engineering- en ontwerpkosten
- Kosten voor randapparatuur (tanks, transformatoren, beveiliging, apparatuur voor monitoring)
- Kosten voor locatieaanpassingen (fundering, afscherming)

Operationele kosten (OPEX):

- Brandstofkosten (volume × prijs, inclusief correcte accijnsregeling)
- Elektriciteitskosten voor netgebruik of laden
- Preventief en correctief onderhoud (planning, reserveonderdelen, arbeid)
- Personeelskosten voor bediening en monitoring
- Verzekeringen
- Verbruiksgoederen (AdBlue®, smeermiddelen, filters)
- Monitoring- en beheerskosten (EMS-software, datadiensten)
- Eventuele emissierechten of CO₂-compensatie
- Afvalverwerking

Andere financiële factoren:

- Restwaarde (bij aankoop)
- Afschrijvingskosten
- Financieringskosten (indien relevant)
- Beschikbare subsidies (zie Bijlage 2)

Perspectief bij de economische analyse:

De economische evaluatie kan vanuit twee perspectieven worden benaderd, afhankelijk van de positie van de gebruiker:

1. Vanuit een investeringsperspectief (koper/eigenaar): de focus ligt op de TCO over de levensduur van de apparatuur. De beslissing is gebaseerd op de rentabiliteit over meerdere toekomstige projecten. Bedrijven die investeren in materieel maken deze afweging doorgaans niet projectspecifiek maar over hun volledige projectportefeuille.
2. Vanuit een projectperspectief (huurder): de focus ligt op de totale projectkost. De beslissing wordt bepaald door de meest kostenefficiënte oplossing voor de specifieke duur en vereisten van één enkel project.

De weging van CAPEX versus OPEX verschilt wezenlijk tussen beide perspectieven. Documenteer welk perspectief wordt gehanteerd.

Bronnen: Leveranciersoffertes, marktprijzen voor brandstof/elektriciteit, historische onderhoudsdata, subsidieregelingen (zie Bijlage 2).

3. Milieudata (gerelateerd aan de configuratie)

Verzamel informatie over de milieu-impact, zowel lokaal als over de volledige keten:

- Directe emissies naar lucht (NO_x, PM, CO, HC) in g/kWh of g/uur
- Broeikasgasemissies (CO₂eq) - totale keten (*well-to-wheel* of *cradle-to-gate*)
- Voor netstroom: actuele CO₂-intensiteit Belgische mix (gCO₂eq/kWh)
- Voor generatoren: brandstoftype en herkomst, emissiefactoren
- Voor batterijen: LCA-data productie, CO₂-intensiteit laadstroom
- Geluidsniveau (L_{WA} of LpA @ gespecificeerde afstand)
- Ruimtebeslag en visuele impact
- Risico op bodem-/waterverontreiniging (brandstof, olie, elektrolyt)

Bronnen: Hoofdstuk 4 (per technologie), leveranciersdocumentatie, gestandaardiseerde emissiefactoren (IPCC, EMEP/EEA), actuele netdata (Elia, co2emissiefactoren.be), LCA-databases.

4. Operationele data

Verzamel informatie over de bruikbaarheid tijdens plaatsing en gebruik:

- Verwachte betrouwbaarheid (MTBF, praktijkervaringen)
- Back-up en redundantiemogelijkheden
- Flexibiliteit en schaalbaarheid tijdens project
- Gebruiksgemak (bediening, training nodig?)
- Monitoring- en controlemogelijkheden (monitoring op afstand, EMS)
- Mate van automatisering
- Onderhoudsintervallen en -complexiteit
- Beschikbaarheid technische service en reserveonderdelen
- Brandstof- of energielogistiek (betrouwbaarheid aanvoer, opslagvereisten)
- Operationele autonomie

Bronnen: Leveranciersinformatie, gebruikerservaringen, referentieprojecten, operationele handboeken.

5. Informatie over regelgeving en subsidies

Verzamel informatie over naleving van regelgeving en financiële stimulansen:

- Conformiteit met AREI (elektrische veiligheid)
- Voldoen aan emissienormen (Stage V, etc.)
- ATEX/Codex-conformiteit (indien explosiegevaarlijke atmosferen)
- Vergunningen en toelatingen (VLAREM, lokale regelgeving)
- Geluidsvoorwaarden (VLAREM II, lokale eisen)
- Toepasbaarheid subsidieregelingen (Europees, federaal, Vlaams - zie Bijlage 2)
- Voorwaarden voor subsidies (bijvoorbeeld % groene laadstroom voor batterijen)

Bronnen: Hoofdstuk 2 (regelgeving), leveranciersdocumentatie (certificaten, conformiteitsverklaringen), vergunningverlenende instanties, overzicht subsidieregelingen (Bijlage 2).

Documentatie en organisatie:

Organiseer de verzamelde data systematisch per kandidaat-optie, bij voorkeur in een gestructureerd overzicht of spreadsheet. Dit vergemakkelijkt de vergelijking in Stap 4 en maakt het proces transparant en reproduceerbaar. Documenteer bronnen en aannames voor traceerbaarheid en verantwoording.

Aandachtspunt: investeer voldoende tijd in deze stap en verifieer waar mogelijk via meerdere bronnen. De kwaliteit van de dataverzameling bepaalt de betrouwbaarheid van de systeemkeuze.

Overgang naar stap 4: Met een compleet dossier per optie is de basis gelegd voor de systematische evaluatie aan de hand van de evaluatiecriteria.

STAP 4 - EVALUATIECRITERIA

Evalueer elke kandidaat op zes criteriacyategorieën. Maak waar mogelijk het scoringssysteem “ankerbaar”: koppel scores aan meetbare indicatoren of duidelijke drempels.

Aanbevolen aanpak:

- Gebruik knock-out criteria voor wettelijke conformiteit en harde randvoorwaarden (bv. niet vergund = niet verder scoren).
- Gebruik een beperkte scoreschaal (bv. 1–5), maar definieer per criterium wat “1” en “5” betekenen in termen van meetwaarden of aantoonbare eigenschappen.

Documenteer bron en onzekerheid per score (datasheet, offerte, meting, expert judgement).

Tabel B3.2: Overzicht van de MCA-evaluatiecriteria

Criterium	Hoofdvraag
Technisch	kan het systeem vermogen, energie, stroomkwaliteit en continuïteit leveren binnen randvoorwaarden?
Economisch	TCO over projectduur op basis van actuele prijzen en profiel.

Criterium	Hoofdvraag
Milieu-impact	lokale emissies en klimaatimpact, gekoppeld aan energiedrager en efficiëntie.
Operationeel	logistiek, onderhoud, monitoring, foutgevoeligheid, implementatiesnelheid.
Veiligheid & regelgeving	conformiteit en veiligheidsdossier (knock-out waar relevant)
Strategisch/marketing	past de keuze bij organisatiedoelen en stakeholdercontext (kwalitatief, maar transparant)?

Belangrijke noot: Niet alle criteria zijn even belangrijk voor elk project. In stap 5 wordt bepaald welke criteria zwaarder doorwegen op basis van projectspecifieke prioriteiten.

TECHNISCHE CRITERIA

Deze criteria toetsen of een systeem technisch in staat is de energievraag (zoals bepaald in Hoofdstuk 5) binnen de projectcontext te dekken met de vereiste kwaliteit.

De evaluatie aan de hand van technische criteria omvat onder meer de volgende aspecten:

- **Vermogen en belastbaarheid:** Verifieer of het systeem het vereiste piekvermogen en de continue basislast (zoals bepaald in Hoofdstuk 5) betrouwbaar kan leveren, inclusief een adequate en onderbouwde veiligheidsmarge. Beoordeel hierbij ook de capaciteit van het systeem om inschakelstromen van specifieke, zware apparatuur op te vangen zonder de stabiliteit in gevaar te brengen.
- **Spanningskwaliteit:** Evalueer of de kwaliteit van de geleverde elektrische stroom – met name de stabiliteit van spanning en frequentie, de mate van harmonische vervorming, en het gedrag bij spanningsdips of -pieken – voldoet aan de toleranties en eisen van de meest gevoelige aangesloten apparatuur, zoals gespecificeerd in de behoefteanalyse (Hoofdstuk 5).
- **Reactiesnelheid en opstarttijd:** Analyseer de reactiesnelheid van het systeem op plotselinge en grote belastingsveranderingen, alsook de benodigde opstarttijd vanuit een koude start of standby-modus. Ga na of deze karakteristieken compatibel zijn met de operationele eisen en de dynamiek van het project, zoals afgeleid uit de contextanalyse.
- **Schaalbaarheid en modulariteit:** Kan het systeem eenvoudig worden op- of afgeschaald als de energiebehoefte tijdens het project verandert?
- **Energie efficiëntie:** Analyseer de energie-efficiëntie (rendement) van het systeem onder verschillende, realistische belastingscondities, gebruikmakend van de technologie-specifieke data uit Hoofdstuk 4 en het gedetailleerde belastingsprofiel uit Hoofdstuk 5. Overweeg de directe impact van deze efficiëntie op het brandstof- of energieverbruik (relevant voor OPEX) en de totale milieu-impact.
- **Compatibiliteit:** Controleer de compatibiliteit van het energiesysteem met de specifieke elektrische aard van de te voeden lasten (bv. overwegend inductieve, capacatieve, of niet-

lineaire lasten die harmonischen kunnen genereren). Beoordeel tevens de stabiliteit, betrouwbaarheid en veiligheid bij eventuele parallelschakeling met andere energiebronnen, indien dit een relevante configuratie is voor het project.

- **Energiebron (beschikbaarheid en geschiktheid):** Evalueer de praktische beschikbaarheid, betrouwbaarheid van aanvoer, en algehele geschiktheid van de benodigde primaire energiebron (bv. diesel, HVO, aardgas, netstroom, waterstof, direct zonlicht) op de specifieke projectlocatie (context uit Hoofdstuk 3). Overweeg hierbij logistieke aspecten, de noodzakelijke infrastructuur, en eventuele vergunningtechnische vereisten voor de gekozen energiebron.

Deze technische criteria fungeren vaak als een initiële 'knock-out' fase in het selectieproces: een systeem dat niet voldoet aan de technische vereisten, zoals het leveren van het benodigde vermogen, het garanderen van de vereiste stroomkwaliteit, of het veilig kunnen opereren binnen de projectcontext, is per definitie ongeschikt, ongeacht de eventuele positieve prestaties op andere criteria zoals kosten of milieu-impact.

ECONOMISCHE CRITERIA

Deze criteria beogen een volledig en realistisch beeld te schetsen van alle directe en indirecte kosten (TCO) die verbonden zijn aan de selectie, installatie, het operationeel gebruik en eventueel de verwijdering of ontmanteling van een tijdelijk energiesysteem gedurende de volledige projectlevensduur of gebruiksperiode.

De TCO omvat alle relevante kosten:

Kapitaalkosten (CAPEX):

- Aankoopkosten van de apparatuur (indien het systeem wordt aangekocht) of de totale huurkosten over de geplande projectduur.
- Kosten voor installatie en de-installatie, inclusief transport naar en van de locatie, fysieke plaatsing, elektrische aansluiting en benodigde bekabeling.
- Kosten gerelateerd aan een eventuele netaansluiting, waaronder studiekosten, aanlegkosten, het eenmalige aansluitingstarief, en eventuele periodieke netvergoedingen (zie ook de technische details in §4.1.1 en de economische aspecten in §4.1.4).
- Engineering- en ontwerpkosten voor de energie-installatie.
- Aanschafkosten voor eventueel benodigde randapparatuur, zoals externe brandstoftanks, transformatoren, apparatuur voor monitoring, of specifieke beveiligingscomponenten.
- Kosten voor eventuele vereiste aanpassingen aan de projectlocatie zelf, zoals het voorzien van een geschikte fundering, afscherming, of beveiligingsmaatregelen.

Operationele kosten (OPEX):

- Brandstofkosten, berekend als het totale verbruikte volume vermenigvuldigd met de prijs per eenheid (bv. liter, m³, kg). Een belangrijk aandachtspunt hierbij is het correct inschatten van het specifiek brandstofverbruik (bv. g/kWh of L/kWh) van het systeem onder het verwachte, reële belastingsprofiel (zoals geanalyseerd in Hoofdstuk 5), rekening houdend met de efficiëntiecurven van de gekozen technologie (data uit Hoofdstuk 4). Vergeet hierbij niet de

correcte accijnsregeling (bv. rode diesel, zie §2.2.3) en de impact van brandstofprijsschommelingen mee te nemen.

- Kosten voor de afname van netstroom, inclusief het variabele verbruikstarief, vaste netwerkkosten, en toepasselijke heffingen en belastingen.
- Onderhoudskosten, zowel voor preventief gepland onderhoud als voor onvoorziene correctieve interventies, inclusief de kosten voor reserveonderdelen en arbeid.
- Personeelskosten gerelateerd aan de bediening van het systeem, de dagelijkse monitoring, het bijtanken of laden, en eventueel benodigde specifieke training.
- Verzekeringskosten die specifiek betrekking hebben op de energie-installatie.
- Kosten voor verbruiksgoederen, zoals AdBlue®/Diesel Exhaust Fluid (DEF) voor Stage V-generatoren, smeermiddelen, of filters.
- Monitoring- en beheerskosten, bijvoorbeeld voor softwarelicenties van energiemanagementsystemen (EMS) of datadiensten voor monitoring op afstand.
- Eventuele kosten voor de aankoop van emissierechten of voor CO₂-compensatiemaatregelen, indien van toepassing of vereist.
- Kosten voor de afvalverwerking van verbruikte materialen, zoals olie, filters, of vervangen onderdelen van het systeem.

Andere financiële factoren:

- Restwaarde van het systeem (bij aankoop): De geschatte marktwaarde van de apparatuur aan het einde van de geplande gebruiksduur of het project.
- Afschrijvingskosten (bij aankoop), relevant voor de boekhoudkundige en fiscale behandeling van de investering.
- Financieringskosten, indien de aankoop van het systeem (deels) via een lening of leasing wordt gefinancierd.
- Kosten voor risicobeheersing, zoals specifieke verzekeringspolissen voor de energie-installatie of bijkomende investeringen in beveiliging tegen diefstal of vandalisme.
- Subsidies en financiële stimulansen (Europees, federaal, Vlaams): Actuele steunmaatregelen kunnen de TCO van bepaalde, met name duurzamere, systeemopties positief beïnvloeden. Het is daarom nodig om de beschikbaarheid, toepasbaarheid en voorwaarden van dergelijke regelingen grondig te onderzoeken. Een overzicht van de belangrijkste maatregelen in Vlaanderen (status september 2026, onderhevig aan wijzigingen) staat in Bijlage 2: Subsidies en Financiële Stimulansen.

De economische evaluatie reikt dus veel verder dan enkel de initiële kosten. Het toepassen van een TCO-benadering is zeer belangrijk, zeker bij het vergelijken van energiesystemen met sterk uiteenlopende kostenprofielen, zoals traditionele dieselgeneratoren (die vaak een lagere initiële kapitaalkost maar hogere operationele kosten kennen) versus duurzamere alternatieven zoals batterijsystemen, hybride configuraties of waterstofgebaseerde oplossingen (die doorgaans een hogere kapitaalkost hebben, maar potentieel lagere operationele kosten en/of toegang tot subsidies kunnen bieden). Een grondig

onderzoek naar actuele subsidiemogelijkheden en het meewegen van eventuele subsidievoorwaarden (bijvoorbeeld minimale percentages groene energie voor het laden van batterijen om in aanmerking te komen voor bepaalde steun) als potentiële technische of operationele randvoorwaarden, zijn noodzakelijk voor een correcte en volledige economische afweging.

Indicatief rekenvoorbeeld: TCO-vergelijking per draaiuur (prijspeil 2025)

Onderstaande tabel illustreert hoe een TCO-vergelijking kan worden opgebouwd voor een standalone dieselgenerator (60 kVA) versus een hybride configuratie (30 kVA generator + 40 kWh batterij) bij een typisch werfprofiel met variabele belasting. De waarden zijn indicatief en bedoeld als rekensjabloon, niet als universele kengetallen. Projectsamenstellende offertes en actuele brandstofprijzen vervangen deze ranges.

Tabel B3.3: TCO-vergelijking voor een standalone generator versus een hybride configuratie

Kostenpost	Standalone generator (60 kVA)	Hybride (30 kVA gen + 40 kWh BESS)
Afschrijving/huur	€2,50–3,50/draaiuur	€4,00–6,00/draaiuur (hogere CAPEX, maar minder draaiuren)
Onderhoud	€2,00–3,50/draaiuur	€1,00–2,00/draaiuur gen + €0,50–1,00/draaiuur BESS
Brandstof (rode diesel, €0,70–0,85/L)	€4,00–8,00/draaiuur (afhankelijk van belasting)	€2,00–4,00/draaiuur (minder draaiuren, hogere belasting)
Totaal indicatief	€8,50–15,00/draaiuur	€7,50–13,00/draaiuur
Draaiuren per week (typisch)	50–80 uur	15–30 uur (generator; batterij levert daluren)

Het verschil in draaiuren is doorslaggevend: bij een hybride configuratie draait de generator minder uren en op hogere belasting, waardoor het specifieke verbruik (L/kWh) en de onderhoudsfrequentie dalen. De TCO-balans kantelt doorgaans in het voordeel van hybride bij projecten langer dan 4–6 weken met een variabel belastingsprofiel. Bij een continu en stabiel hoog verbruik (>80% belasting) blijft een standalone generator vaak kostenefficiënter.

Bronnen: indicatieve waarden op basis van leveranciersinformatie en bedrijfsbezoeken (2024–2025). Ranges zijn breed omdat kosten sterk afhankelijk zijn van huur- vs. aankoopmodel, belastingsgraad, brandstofprijs en projectduur.

MILIEU-IMPACT CRITERIA

Deze criteria evalueren de milieu-impact van het systeem, zowel lokaal (projectlocatie) als over de keten (levenscyclus systeem + energiedrager). Doel: een keuze die de negatieve milieu-effecten beperkt binnen de geldende wetgeving en projectsamenstellende duurzaamheidsdoelen. Hoofdstuk 4 biedt per technologie milieu-informatie als startpunt (§4.1.5 netstroom, §4.2.5 dieselgeneratoren, etc.); die wordt in deze stap verfijnd met projectsamenstellende data.

De beoordeling van de milieu-impact omvat de volgende aspecten:

- Levenscyclusanalyse (LCA) perspectief: Een volledige projectspecifieke LCA is vaak complex en tijdrovend, maar een *levenscyclusperspectief* is wel mogelijk en aanbevolen. Dit houdt in dat niet enkel de gebruiksfase van het systeem wordt beschouwd, maar dat ook de milieu-impact van de productie van de apparatuur (inclusief grondstofwinning en fabricage), de productie en het transport van de energiedrager (zoals brandstof of de elektriciteit voor het laden), en de verwerking of recycling van het systeem aan het einde van zijn levensduur, zo goed mogelijk worden meegewogen. Hoofdstuk 4 biedt per technologie al relevante overwegingen en data met betrekking tot LCA-aspecten.
- Directe emissies naar de lucht:
 - Luchtkwaliteit (lokale impact): Evalueer de directe uitstoot van luchtverontreinigende stoffen op de projectlocatie, met name stikstofoxiden (NO_x), fijnstof (PM-massa en PM-aantal of ultrafijnstof PN), koolmonoxide (CO), en onverbrande koolwaterstoffen (HC). Neem ook geurhinder apart mee in de beoordeling, met name bij generatoropstellingen in de nabijheid van bewoning of publiek. Beoordeel de conformiteit met de geldende emissienormen (zie §2.1.1) en houd rekening met de reële effectiviteit van nabehandelingssystemen onder de verwachte operationele omstandigheden, zoals beschreven in Hoofdstuk 4.
 - Broeikasgassen (globale/ketenimpact): Kwantificeer de uitstoot van broeikasgassen – voornamelijk koolstofdioxide (CO₂), maar ook methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) – uitgedrukt in CO₂-equivalenten. Dit vereist een analyse/inschatting van de CO₂-intensiteit van de *volledige energieketen*:
 - Voor netstroom (in België): Gebruik de meest actuele en representatieve 'consumption-based' CO₂-intensiteitsdata (uitgedrukt in gCO₂eq/kWh) voor de Belgische elektriciteitsmix (zie de discussie en indicatieve waarden in 4.1.5 en 4.3.5). Gezien de fluctuaties in deze waarde, geniet het gebruik van recente, dynamische bronnen (bv. Elia, AIB, co2emissiefactoren.be) de voorkeur boven verouderde jaargemiddelden, vooral indien laadstrategieën voor batterijsystemen hierop afgestemd kunnen worden (bv. laden tijdens periodes met een 'groenere' netstroom).
 - Voor generatoren: De uitstoot wordt bepaald door het type en de specifieke herkomst van de brandstof (bv. fossiele diesel, HVO uit afvalstromen of primaire gewassen, biogas, de 'kleur' van waterstof), de verbruikte hoeveelheid brandstof, en het rendement van het systeem. Maak gebruik van gestandaardiseerde en gevalideerde emissiefactoren per brandstof en per productieroute (zie Hoofdstuk 4).
 - Voor batterijopslagsystemen: Hoewel er geen directe operationele emissies zijn, wordt de impact op broeikasgassen bepaald door de LCA van de batterijproductie (inclusief grondstofwinning en productie-energie) en door de CO₂-intensiteit van de elektriciteit die gebruikt wordt voor het opladen van de batterij.
- Geluidsoverlast: Beoordeel het te verwachten geluidsniveau van het energiesysteem tijdens bedrijf op de omgeving. Dit is een tweetrapsproces:
 1. Bron: Evalueer het geluidsvermogen (L_{WA}) van het systeem zelf, een vaste eigenschap van de machine (zie Hoofdstuk 4 voor typische waarden).

2. Immissie: Maak een inschatting van het resulterende geluidsdrukniveau (LpA) op de meest gevoelige punten in de omgeving (bv. de gevel van de dichtstbijzijnde woning). Deze inschatting moet rekening houden met de afstand, de aanwezigheid van obstakels (bv. gebouwen, schermen) en mogelijke reflecties. De berekening van geluidsimmissie is niet triviaal en vereist in complexe situaties specialistische expertise. Voor een eerste oriëntatie kan worden gewerkt met vereenvoudigde afstandswetten (bv. -6 dB per verdubbeling van de afstand in vrij veld), maar bij projecten nabij gevoelige receptoren verdient een meer gedetailleerde berekening of meting de voorkeur.

Vergelijk dit geschatte immissieniveau met de geldende lokale regelgeving (bv. VLAREM II, gemeentelijke verordeningen) en de specifieke geluidsgevoeligheid van de projectomgeving, zoals vastgesteld in de contextanalyse (Hoofdstuk 3). Een strategische plaatsing en eventuele afscherming zijn maatregelen om de impact te beheersen.

- Andere milieuaspecten:
 - Evalueer het risico op bodem- en waterverontreiniging door potentiële lekkages van brandstof, smeerolie, AdBlue®, koelvloeistof, of elektrolyt uit batterijen. Beoordeel de adequaatheid van preventieve maatregelen (bv. lekbakken, dubbelwandige tanks).
 - Beoordeel het fysieke ruimtebeslag van de installatie en de visuele impact ervan op de omgeving, met name in publiek toegankelijke of landschappelijk waardevolle gebieden.
 - Analyseer de milieu-impact geassocieerd met het transport van de apparatuur naar en van de locatie, alsook de logistiek van brandstofleveringen of energietoevoer.
 - Overweeg de herkomst en duurzaamheid van de materialen die in de apparatuur zijn gebruikt, en de mogelijkheden voor hergebruik of hoogwaardige recycling aan het einde van de levensduur (relevant voor LCA).
 - Indien de projectlocatie zich in of nabij ecologisch gevoelige zones bevindt, beoordeel dan de potentiële impact op lokale biodiversiteit en ecosystemen (bv. door verstoring, lichtvervuiling). Houd er rekening mee dat projecten in of nabij dergelijke zones onderhevig kunnen zijn aan een bijkomende vergunningsplicht vanuit de ruimtelijke ordening, wat de doorlooptijd en complexiteit van het project aanzienlijk kan beïnvloeden.

Kanttekening bij de diepgang van analyse:

Deze Code van Goede Praktijk is een hulpmiddel, ontworpen om betere keuzes mogelijk te maken. Ze beoogt geen extra administratieve verplichting op te leggen. De diepgang van de analyse moet altijd proportioneel zijn aan de schaal en de potentiële impact van het project.

- Voor kleinschalige projecten (bv. projecten die enkel onder een VLAREM klasse 3-melding vallen), is een volledige, gedocumenteerde MCA disproportioneel. Hier volstaat het om de logica van het stapsgewijze kader (§6.2 – 6.5) te volgen of een kwalitatieve afweging te maken op basis van de belangrijkste criteria.
- De analyse is een intern instrument: De documentatie van de systeemkeuze is primair bedoeld als een intern instrument voor professioneel projectbeheer en kennisborging, niet als een verplicht extern rapport voor de overheid, tenzij dit expliciet wordt geëist in een vergunning of aanbesteding. Dit is een uitdrukkelijke consensus uit het begeleidingscomité: de documentatie

mag niet uitgroeien tot een standaard administratieve bijlage bij meldingen of vergunningsaanvragen.

- **Proactief vooroverleg:** In plaats van een zware procedure achteraf, wordt voor complexe of gevoelige projecten vooroverleg met de vergunningverlenende overheid (bv. de gemeente) en adviserende instanties (bv. de brandweer) sterk aanbevolen. Een dergelijk overleg in een vroeg stadium kan onduidelijkheden wegnemen en helpt om de vereiste diepgang van de analyse correct in te schatten, waardoor een zwaar vergunnings- of handhavingstraject vaak vermeden kan worden. De specifieke eisen van de vergunningverlenende overheid, al dan niet vastgelegd na vooroverleg, blijven altijd primeren.

OPERATIONELE CRITERIA

Deze criteria richten zich op de *bruikbaarheid tijdens plaatsing, gebruik en onderhoud* van het geselecteerde tijdelijke energiesysteem gedurende het dagelijks gebruik op de projectlocatie. Ze bepalen in grote mate hoeveel opvolging door de gebruiker nodig is, de benodigde personele inzet, en de praktische efficiëntie.

Aspecten van operationele evaluatie:

- **Betrouwbaarheid en continuïteit stroomlevering:** Verwachte operationele betrouwbaarheid (MTBF, praktijkervaringen); effectiviteit back-up/redundantiesystemen; impact stroomonderbrekingen.
- **Flexibiliteit en schaalbaarheid:** Inspelen op variaties energievraag; mogelijkheid op-/afschalen; compatibiliteit met bestaande infrastructuur.
- **Gebruiksgemak en monitoring:** Complexiteit dagelijkse bediening; noodzaak getraind personeel; kwaliteit remote monitoring (realtime data, status, alarmen, rapportages, EMS - zie §4.7); mate van automatisering.
- **Onderhoud en service:** Vereiste onderhoudsintervallen, complexiteit procedures; duur onderhoud en impact op beschikbaarheid; beschikbaarheid/reactiesnelheid technische service en reserveonderdelen.
- **Brandstof- of energielogistiek:** Betrouwbaarheid/complexiteit aanvoer energiedrager; opslagvereisten (volume, veiligheid, vergunningen, ruimte); praktische aspecten bijtanken/laden; operationele autonomie (o.b.v. opslag vs. verbruik).

VEILIGHEIDS- & REGELGEVINGSCRITERIA

Deze categorie van criteria toetst in welke mate een potentiële systeemkeuze en de bijbehorende operationele concepten voldoen aan *alle toepasselijke wettelijke normen, veiligheidsvoorschriften, en eventuele projectspecifieke of sectorale regelgeving*. Het waarborgen van veiligheid en conformiteit is een voorwaarde voor de selectie en latere inzet van elke tijdelijke energievoorziening. Het doel van dit criterium binnen het beslissingskader (Hoofdstuk 6) is om te beoordelen of een systeem in staat is om op een veilige en conforme wijze te opereren binnen de projectcontext, en om opties die hieraan inherent niet kunnen voldoen, uit te sluiten. De gedetailleerde praktische implementatierichtlijnen voor het waarborgen van veiligheid per technologie worden behandeld in Hoofdstuk 7.

De evaluatie onder deze criteria omvat een beoordeling van de volgende aspecten, waarbij de focus ligt op systeem en leverancier aan de eisen kunnen voldoen:

Inherente veiligheidsrisico's van de technologie:

- Beoordeel of de inherente veiligheidsrisico's van de overwogen technologie (zoals brandbaarheid, explosiegevaar, toxiciteit, elektrische gevaren, risico's bij *thermal runaway* – zie de specifieke risicoprofielen in Hoofdstuk 4) beheersbaar zijn binnen de projectcontext en met de beschikbare middelen en expertise.
- Ga na of er voor de specifieke risico's van een technologie algemeen aanvaarde preventieve en mitigerende maatregelen bestaan die in de praktijk effectief kunnen worden toegepast. Een systeem waarvan de risico's niet beheersbaar zijn binnen de projectcontext, dient te worden uitgesloten.

Conformiteit met essentiële regelgeving en normen:

- Verifieer de conformiteit van het aangeboden systeem met de dwingende wettelijke en regelgevende kaders die relevant zijn voor de technologie en de toepassing. Dit omvat (maar is niet beperkt tot, zie Hoofdstuk 2 voor een uitgebreid overzicht):
 - **Elektrische veiligheid (AREI):** Kan het systeem worden geïnstalleerd en geëxploiteerd conform de basisvereisten van het AREI (bv. mogelijkheid tot correcte aarding, voorzieningen voor differentieelbeveiliging)? Wordt een geldige AREI-keuring gegarandeerd?
 - **Emissienormen (bv. Stage V):** Voldoen de aangeboden verbrandingsmotoren aan de geldende emissienormen voor nieuwe apparatuur?
 - **Explosieveiligheid (ATEX/Codex):** Voor systemen met brandbare gassen (bv. waterstof, biogas), is de leverancier in staat om een ATEX-conforme oplossing te leveren en de gebruiker te ondersteunen bij het opstellen van een explosieveiligheidsdocument (EVD)?
 - **Opslag en transport gevaarlijke stoffen (VLAREM, ADR):** Kan de opslag en het transport van benodigde brandstoffen, chemicaliën of batterijen plaatsvinden conform de geldende regelgeving?
 - **Geluidsvoorwaarden (VLAREM):** Kan het systeem, eventueel met standaard voorziene geluidsdemping, opereren binnen de algemeen geldende of projectspecifieke geluidslimieten?

Vergunningsaspecten en toelatingen:

- Identificeer de noodzakelijke vergunningen of toelatingen voor de plaatsing en exploitatie van het overwogen systeem op de specifieke projectlocatie (input uit §2.3.6 en Hoofdstuk 3).
- Beoordeel de haalbaarheid en de te verwachten doorlooptijd voor het verkrijgen van deze vergunningen. Een systeem waarvoor de benodigde vergunningen redelijkerwijs niet tijdig verkregen kunnen worden, is mogelijk niet geschikt.

De evaluatie onder dit criterium is dus een *voorafgaande toetsing* van de veiligheid en conformiteit. Het gaat erom te bepalen of een systeem *in principe* voldoet of kan voldoen aan de essentiële eisen, en of de risico's inherent aan de technologie beheersbaar zijn. Systemen die hierop negatief scoren, bijvoorbeeld omdat ze niet voldoen aan de emissieklasse die het bestek, de vergunning of het lokale reglement voorschrijft, omdat hun veiligheidsrisico's disproportioneel zijn voor de toepassing, of omdat benodigde vergunningen onhaalbaar blijken, kunnen in deze fase van het selectieproces worden geëlimineerd.

STRATEGISCHE/MARKETING CRITERIA

Deze criteria beoordelen of de gekozen energievoorziening past bij de bredere projectdoelen. Dat kan relevant zijn bij publieksevenementen, stedelijke projecten, projecten met hoge duurzaamheidsambities of opdrachten met eisen van de opdrachtgever. Beoordeel hierbij de zichtbaarheid van de oplossing, de communicatie naar publiek of omwonenden, de bijdrage aan duurzaamheidsdoelen en het risico op greenwashing. Kies alleen voor een hogere score wanneer de milieu- of hinderwinst aantoonbaar is.

De evaluatie aan de hand van strategische en marketingcriteria omvat onder meer de volgende aspecten:

- **Imago en duurzaamheidsperceptie:** In een klimaatbewuste maatschappij kan een zichtbaar duurzame energieoplossing (batterijopslag met zonnepanelen, HVO-brandstof, stille generatoren) het imago versterken, concurrentievoordeel bieden en MVO-doelstellingen ondersteunen. Verouderde, vervuilende dieselgeneratoren kunnen daarentegen leiden tot negatieve percepties en reputatieschade. Beoordeel of de oplossing aansluit bij de strategische positionering en de projectdoelen.
- **Stakeholder acceptatie en relaties:** Analyseer hoe relevante groepen de energievoorziening zullen waarnemen. Voldoet deze aan verwachtingen rond emissies, geluid, veiligheid en betrouwbaarheid? Dit is van belang bij publieksevenementen, projecten in dichtbevolkte gebieden en voor organisaties die duurzaamheid prioriteren. Stakeholderperceptie beïnvloedt de 'social license to operate'.
- **Balans tussen marketing en reëel milieuvoordeel (risico op greenwashing):** Vermijd 'greenwashing' door systemen te kiezen op basis van aantoonbare milieuvoordelen, niet alleen marketingwaarde. Een batterijsysteem geladen met vervuilende netstroom of dubieuze 'duurzame' brandstof biedt weinig werkelijk voordeel. Transparante communicatie over keuzes, motivatie én beperkingen draagt bij aan de geloofwaardigheid.

Voorbeelden van hoe strategische overwegingen de keuze kunnen beïnvloeden zijn:

- Een muziekfestival kan bewust kiezen voor een combinatie van batterijpakketten en generatoren op HVO-brandstof, niet alleen om geluidsoverlast en CO₂-uitstoot te minimaliseren, maar ook om een duurzaam en verantwoord imago uit te dragen naar bezoekers, artiesten en sponsors.
- Een bouwbedrijf dat actief is in binnenstedelijke herontwikkelingsprojecten, kan de logica van het beslissingskader (Hoofdstuk 6) volgen: eerst de haalbaarheid van een netaansluiting onderzoeken, eventueel in combinatie met een BESS voor pieken, en pas wanneer een netaansluiting niet haalbaar is, overstappen naar Stage V-generatoren — eventueel in hybride configuratie, en dit proactief communiceren als een bewijs van hun engagement voor een schonere en stillere bouwplaats, wat kan helpen bij het winnen van aanbestedingen of het verkrijgen van goodwill bij omwonenden.
- Een tijdelijke pop-up retailconcept kan een opvallende, esthetisch geïntegreerde energieoplossing met zonnepanelen en een kleine batterij gebruiken, deels als functionele stroomvoorziening, maar evenzeer als een signaal dat de innovatieve en duurzame waarden van het merk onderstreept.

Hoewel strategische criteria kwalitatief en moeilijk kwantificeerbaar zijn, kunnen ze doorslaggevend zijn waar publieke perceptie of duurzaamheid kernwaarden zijn. De 'boodschap' van de energievoorziening wordt onderdeel van de product/dienstbeleving. Dit kan leiden tot zwaardere weging van geluid,

emissies en duurzaamheidsimago in de MCA, zelfs bij hogere TCO. Betrek communicatie/marketing bij de weging voor strategisch onderbouwde keuzes, indien nodig.

STAP 5 - GEWOGEN EINDAFWEGING

Na de evaluatie in stap 4 volgt de gewogen eindafweging: het toekennen van relatieve gewichten aan criteria en het berekenen van totaalscores per optie. Dit leidt tot een traceerbare rangschikking en een transparante basis voor de systeemkeuze. Deze stap veronderstelt dat vooraf een selectie is gebeurd op basis van veiligheid en wettelijke conformiteit; enkel opties die aan deze randvoorwaarden voldoen, worden verder beoordeeld. Het toekennen van gewichten is inherent projectspecifiek, maar dient te stroken met het algemene beleidskader. Voor overheidsopdrachten wordt verwezen naar de principes van GPP (Green Public Procurement) van de Europese Commissie⁴² en de Vlaamse richtlijnen voor duurzaam aankopen⁴³.

Veiligheid en wettelijke conformiteit (o.a. AREI, VLAREM en relevante product- en emissienormen) fungeren als knock-outcriteria (Pass/Fail) en maken geen deel uit van de gewogen scoreberekening. Een systeem dat niet veilig of niet conform is, wordt uitgesloten en kan nooit 'winnen' op basis van kosten, milieu-impact of andere voordelen.

Een gestructureerde manier om prioriteiten te bepalen helpt bij het maken van een evenwichtige en verantwoorde keuze. De volgende methodiek biedt houvast:

1. Identificeer kritische succesfactoren (Critical Success Factors - CSF's): Bepaal, idealiter in overleg met de belangrijkste stakeholders (technisch, financieel, operationeel), de 3-5 factoren die belangrijk zijn voor projectsucces. Dit kunnen economische (bv. strikt budget), operationele (bv. absolute betrouwbaarheid), milieutechnische (bv. naleving strenge emissienormen) of praktische (bv. beperkte opstelruimte) factoren zijn. De projectcontext is hierbij leidend; zo zal voor evenementen absolute betrouwbaarheid vaak een CSF zijn, terwijl bij langlopende bouwprojecten de TCO zwaarder kan wegen.
2. Ken gewichten toe aan criteria: Wijs aan elk relevant criterium uit Stap 4 - Evaluatiecriteria een gewicht toe dat het relatieve belang voor het specifieke project weerspiegelt. Een eenvoudige schaal (bv. 3 punten voor CSF's, 2 voor belangrijke criteria, 1 voor wenselijke criteria) kan hierbij helpen. Motiveer het gekozen gewicht voor meer transparantie.
3. Beoordeel opties per gewogen criterium (scoren): Evalueer elke haalbare technologie (de 'shortlist' na de eerste toetsing) op de (geprioriteerde) criteria. Ken een score toe (bv. van 1=slecht tot 5=uitstekend) op basis van de informatie uit Hoofdstuk 4 (inclusief de vergelijkende matrix in §4.8.1), aangevuld met specifieke data uit offertes, leveranciersgesprekken of gevalideerde praktijkervaringen.
4. Bereken gewogen totaalscores: Vermenigvuldig voor elke technologie de score op elk criterium met het toegekende gewicht. De som van deze gewogen scores per technologie levert een gewogen totaalscore op. De optie met de hoogste gewogen totaalscore is, volgens de vastgestelde prioriteiten, de best scorende optie volgens de gekozen criteria.

Noot: De weging van criteria is een bepalende stap in het MCA-proces. Het is de fase waarin de unieke projectprioriteiten en de waarden van de organisatie worden vertaald in een objectief afwegingskader.

⁴² https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/green-public-procurement_en

⁴³ <https://www.mvovlaanderen.be/nl/thema/duurzaam-aankopen>

Een zorgvuldige en gemotiveerde weging maakt de onvermijdelijke compromissen (bv. tussen kosten en milieu-impact) transparant en verdedigbaar. Dit gestructureerde proces maakt prioriteiten expliciet en helpt om de beslissing te motiveren.

De praktijk wijst vaak op een spanningsveld tussen economische criteria (bv. lagere CAPEX) en milieu- of regelgevingscriteria (bv. de wens of eis voor Stage V of nul-emissie). De context, zoals de aanwezigheid van strikte milieueisen van de opdrachtgever of de handavingsgraad, zal de uiteindelijke weging sterk beïnvloeden. Een gemotiveerde weging is daarom wenselijk voor een verantwoorde besluitvorming. Deze afweging vindt enkel plaats tussen systemen die vooraf als veilig en wettelijk conform zijn beoordeeld. Tabel B3.4 geeft een voorbeeld:

Scenario voor het voorbeeld: Een middelgroot, meerdaags evenement in een stedelijk park. De CSF's zijn Geluidsimpact ('s nachts moet het stil zijn) en Implementatiesnelheid (korte opbouwtijd). TCO en Lokale emissies zijn belangrijk, maar minder kritisch. Ruimtebeslag is wenselijk.

Optie A (Hybride systeem): Scoort uitstekend op Geluidsimpact (5) en Lokale emissies (5) door de batterij. De implementatie is complexer en duurt langer (score 2). De TCO is redelijk (score 4).

Optie B (Stage V Generator): Scoort matig op Geluidsimpact (3) en Lokale emissies (2). Is echter zeer snel te implementeren (score 4). De TCO is voor deze korte duur competitief (score 3).

In dit scenario wint Optie A (42 punten) het van Optie B (35 punten), voornamelijk omdat de hoge gewichten op geluid en emissies de lagere score op implementatiesnelheid compenseren. Dit toont hoe de weging de uitkomst stuurt.

Tabel B3.4: Voorbeeld van een gewogen (vereenvoudigde) scoreberekening

criterium	Prioriteit	Optie A: Score (Gewogen)	Optie B: Score (Gewogen)
Geluidsimpact	3 (CSF)	5 (15)	3 (9)
Implementatiesnelheid	3 (CSF)	2 (6)	4 (12)
TCO	2 (Belangrijk)	4 (8)	3 (6)
Lokale emissies	2 (Belangrijk)	5 (10)	2 (4)
Ruimtebeslag	1 (Wenselijk)	3 (3)	4 (4)
Totaal		42	35

De scores zijn gebaseerd op het bovenstaande scenario; in een reëel project worden ze onderbouwd met concrete data uit Stap 3 en de evaluatie uit Stap 4.

STAP 6 - SELECTIE EN DOCUMENTATIE VAN DE FINALE KEUZE

Selecteer de best scorende optie als voorkeurskeuze, tenzij u gemotiveerd afwijkt op basis van risico's, harde randvoorwaarden of nieuwe informatie.

De documentatie van de MCA is een intern werkdokument, bedoeld voor professioneel projectbeheer en kennisborging. Ze is niet bedoeld als een standaard administratieve bijlage bij meldingen of vergunningsaanvragen, tenzij dit expliciet wordt geëist in een vergunning of aanbesteding. Voor bedrijven die investeren in materieel over meerdere projecten kan de MCA ook op portefeuilleniveau worden uitgevoerd, waarbij de afweging niet per project maar over een reeks representatieve toepassingsprofielen wordt gemaakt.

Minimumdocumentatie (interne nota volstaat):

- Samenvatting energieprofiel en randvoorwaarden (input uit analysefase).
- Shortlist + waarom andere opties afvielen (knock-out of beperkte geschiktheid).
- Voorlopige dimensionering per kandidaat (met aannames).
- Scoringmatrix met bronvermelding per criterium.
- Gewichten + motivatie, en (indien uitgevoerd) korte gevoeligheidscheck, bijvoorbeeld bij andere brandstofprijs of langere looptijd.
- Finale keuze + hoofdargumenten, inclusief eventuele gemotiveerde afwijking van de hoogste score.

BIJLAGE 4: COMPACTE BESLISBOOM

Compacte beslissboom voor tijdelijke elektriciteitsvoorziening

STAP 0 Situatie in kaart	STAP 1 Beperk de vraag	STAP 2 Net beschikbaar?	STAP 3 Netgebaseerde configuratie	STAP 4 Batterij off-grid?	STAP 5 Generator: hybride of standalone
-----------------------------	---------------------------	----------------------------	--------------------------------------	------------------------------	--

Statuut en gebruik

- Deze beslissboom is een hulpmiddel, geen verplicht stappenplan (§6.1). Ze geeft de volgorde waarin opties best onderzocht worden. De uitkomst is geen automatische keuze, maar de eerst te toetsen configuratie. De code creëert op zichzelf geen verplichting om de afweging te documenteren (§6.1.4).
- Verifieer de indicatieve grenzen altijd projectspecifiek met informatie van de distributienetbeheerder (DNB), offertes, technische fiches, eventueel beschikbare meetdata en lokale voorwaarden.
- Niet-conforme opties vallen af vóór verdere vergelijking. Toets de toepasselijke regelgeving en voorwaarden: steeds het AREI (§2.2.1), de Codex Welzijn op het Werk en ATEX waar relevant (§2.2.2), en de relevante VLAREM-bepalingen (§2.3, o.a. geluidsvoorwaarden §2.3.2 en brandstofopslag §2.3.3); ADR bij transport van gevaarlijke goederen (§2.1.5); lokale voorwaarden (bv. politiereglement) en brandweeradvies waar dat gevraagd of aangewezen is (§2.3.6, o.a. voor batterij- en waterstofopstellingen en brandstofopslag).
- Blijven na de stappen meerdere realistische configuraties over: vergelijk proportioneel; gebruik bij complexe of hindergevoelige projecten bij voorkeur de multicriteria-analyse (§6.6 en Bijlage 3).

Lokale impact op de gebruikslocatie: ● **zeer laag** ● **afhankelijk van draaiuren** ● **hoog zonder mitigatie**

De lokale impactindicatie is kwalitatief en heeft uitsluitend betrekking op directe luchtemissies, geur en geluid tijdens het gebruik. Veiligheid, ruimtebeslag, brandrisico's en de ketenimpact — zoals de elektriciteitsmix of de brandstofproductie (§4.8) — worden elders in de code getoetst.

STAP 0 — Breng de situatie in kaart (§5.2, §6.1)

Pas de beslissboom zo vroeg mogelijk in de project- of werfvoorbereiding toe. Wanneer de projectlocatie nog kan worden gekozen, neem de nabijheid van bruikbare netinfrastructuur mee als voorafgaande locatietoets. Breng, in verhouding tot de omvang en complexiteit van het project, minstens de volgende informatie in kaart. Gebruik waar beschikbaar meetdata van het elektriciteitsverbruik (een eerdere fase, vorige editie of vergelijkbaar project); bij eenvoudige toepassingen kunnen onderbouwde inschattingen, technische fiches of gegevens van vergelijkbare projecten volstaan:

- beschikbare netinfrastructuur op of nabij de locatie;
- piekvermogen in kW en kVA: 15-minutenpiek én kortstondige pieken (§5.2.2);
- basislast en totaal energievolume;
- belastingsprofiel per dag en per week, met dal- en piekperiodes;
- kritische en niet-kritische verbruikers, zoals bemaling, veiligheid, koeling of publieksfuncties; bepaal voor kritische verbruikers ook de maximaal toelaatbare onderbrekingsduur;
- projectduur en fasering;
- geluids-, geur- en emissievoorwaarden uit vergunning, bestek of (lokale) regelgeving;
- hindergevoeligheid van de omgeving: bewoning, scholen, zorginstellingen, publiek toegankelijke zones of kwetsbare natuur;
- opstelruimte, bereikbaarheid en veiligheidscontext.

Twee signalen sturen de rest van de beslisboom: in een **hindergevoelige omgeving** of bij strikte geluids-, geur- of emissievoorwaarden krijgen netstroom, batterij en hybride oplossingen extra gewicht; bij **kritische continuïteit** wordt de redundantie-eis van §6.5 toegepast op de gekozen configuratie (redundantie: een reserve-eenheid of een dubbele voeding, zodat de voeding bij uitval van één component doorloopt).

STAP 1 — Beperk eerst de vraag (§5.3, checklist §5.4)

Onderzoek vóór de systeemkeuze welke van de volgende maatregelen mogelijk en zinvol zijn:

- vermijd gelijktijdige pieken door fasering, sequentieel opstarten en energiezonering;
- spoor sluimerverbruik op en beperk het;
- gebruik waar mogelijk meetdata van het energieverbruik; werk anders met onderbouwde inschattingen, referentieprofielen of ervaringscijfers; dimensioneer niet op de som van alle nominale vermogens;
- pas waar mogelijk load shedding toe voor niet-kritische verbruikers (het gecontroleerd tijdelijk afschakelen ervan bij een dreigend capaciteitstekort, §5.3.3).

Richtwaarde: optimalisatie van de vraagzijde kan afhankelijk van de uitgangssituatie 10–20% reductie van het verbruik opleveren, vaak met relatief eenvoudige maatregelen (§5.3). Gebruik de geoptimaliseerde vraag als basis voor stap 2 tot en met 5.

STAP 2 — Is netstroom beschikbaar of tijdig realiseerbaar? (§6.2)

Onderzoek eerst een bestaande aansluiting, op of nabij de locatie, daarna een nieuwe of verzwaarde tijdelijke aansluiting via de DNB (§6.2.2). Beoordeel beschikbaar vermogen, afstand tot het aansluitpunt, totale doorlooptijd tot bruikbare netvoeding en totale aansluitkost.

Indicatieve doorlooptijden op basis van de huidige DNB-praktijk; geen gegarandeerde termijnen (§4.1 Tabel 7, §6.2.3–6.2.4):

- < 25 kVA (laagspanning): 2–4 weken, doorgaans geen netstudie;
- 25–56 kVA: 4–8 weken, netstudie vereist;
- 56–100 kVA: 2–4 maanden, netstudie vereist; > 100 kVA of middenspanning: 3 tot 12+ maanden, netstudie vereist;
- lokaal praktijkvoorbeeld (Stad Gent): de bestekpraktijk voor eigen werken hanteert als richtwaarde 8 weken elektriciteitsbehoefte bij vaste werken of 12 weken op dezelfde locatie bij verplaatsbare werken, om waar mogelijk (voldoende netcapaciteit, tijdige levering van de netkast, voldoende verbruik in die periode) naar een tijdelijke aansluiting te sturen (§6.2.4); het zijn richtwaarden, geen algemene norm of harde ondergrens;
- in hindergevoelige situaties kan een tijdelijke aansluiting ook onder deze termijnen verantwoord zijn (§6.2.4);
- de haalbaarheidsinschatting en de offerte van de DNB (beschikbaar vermogen, doorlooptijd, kost) zijn steeds doorslaggevend.

→ **JA**: ga naar stap 3. Dekt het net de volledige vraag, toets dan eerst net-only (3a); is het net beperkt, herbekijk eerst de vraag (stap 1) en toets daarna net + batterij (3b) (§6.2.6).

→ **NEE**: herbekijk eerst de elektriciteitsvraag, planning en fasering; onderzoek of het project tijdelijk off-grid kan starten en na realisatie van de aansluiting kan overschakelen op netstroom. Blijft netstroom niet haalbaar of proportioneel: ga naar stap 4 — off-grid.

STAP 3 — Kies de netgebaseerde configuratie (§6.3)

3a. Dekt het net de basislast, de 15-minutenpiek én de continuïteitseis?

Toets of het net de basislast en de 15-minutenpiek dekt met een realistische, projectspecifieke marge. Beoordeel daarnaast de duur en frequentie van kortstondige pieken en inschakelstromen en de gevolgen

voor het gebruik: het net, de beveiligingen en de aangesloten apparatuur moeten die kunnen opvangen zonder ongewenste uitschakeling of ontoelaatbare spanningsvariatie. Ga na of de continuïteitseis (§6.5) met net-only kan worden gehaald zonder aanvullende buffering of reservevoeding (indicatieve richtlijn: zie §6.3.1). Volstaat het netvermogen, maar niet de continuïteit, toets dan aanvullende buffering of reservevoeding volgens §6.5.

JA — Net-only (§6.3.1)

Lokale impact: • **zeer laag**

- bij aftappen van bestaande infrastructuur wordt het beschikbare vermogen bepaald door de bestaande aansluiting en de afspraken met de aansluitingshouder (§6.3.1);
- bij kritische gebruikers: continuïteit, stroomkwaliteit en redundantie toetsen (§6.5).

3b. De pieken overstijgen het beschikbare vermogen: kan een batterij ze opvangen?

Toets de criteria B1–B5 (§6.3.2):

- het net draagt de basislast en kan de batterij aantoonbaar herladen binnen de dalperiodes;
- batterijgrootte, opstelruimte en brandveiligheid blijven beheersbaar;
- ruwe eerste schatting van de benodigde batterijcapaciteit (kWh) bij een min of meer constante piek: $(\text{piekvermogen} - \text{netcapaciteit}) \times \text{aantal uren piek per dag} \times 1,2$ (§6.3.2, criterium B2); gebruik voor de definitieve dimensionering het werkelijke belastingsprofiel en de leveranciersberekening (ontladingdiepte, efficiëntie, temperatuur, reserve);
- de kost is proportioneel tegenover vermeden generatorgebruik; beoordeel huur of aankoop, brandstof, onderhoud, transport, monitoring, emissies, geluid en hinder.

JA — Net + batterij (§6.3.2)

Lokale impact: • **zeer laag**

- de batterij fungeert als buffer en kan binnen het dagelijkse bedrijfsregime structureel via het net worden herladen;
- in een hindergevoelige omgeving kan een beperkte extra kost proportioneel en verdedigbaar zijn wanneer hierdoor generatorgebruik, geluid, geur of emissies dalen.

3c. Als net + batterij niet volstaat: kan het netvermogen tijdig en proportioneel worden verhoogd?

Toets of een verzwaarde of bijkomende tijdelijke aansluiting binnen planning en kost haalbaar is (§6.2.3–6.2.4). Zo ja: herneem stap 3a met het nieuwe vermogen. Bij hoge netverzwakingskost kan net + batterij economisch interessanter zijn (§6.3.2).

3d. Als verhoging niet kan: is aanvullend generatorvermogen nodig?

Toets C1 (aantoonbare noodzaak) en C2 (milieu-impact minimaliseren) uit §6.3.3. Generatorvermogen is onder normale werking bedoeld als aanvullend vermogen of back-up; bij een netuitval kan het tijdelijk de kritische of, indien zo gedimensioneerd, de volledige last voeden.

JA — Net + generator (§6.3.3) of tri-hybride: net + batterij + generator (§6.3.4)

Lokale impact: • **afhankelijk van draaiuren**, belasting, brandstof en emissieklasse

- bij net + generator levert het net de structurele energie en dekt de generator het langdurige tekort of de vereiste back-up;
- bij tri-hybride buffert de batterij pieken en stille periodes; de generator wordt enkel ingezet wanneer het net de batterij onvoldoende kan herladen of uitzonderlijk extra vermogen nodig is;
- kies tri-hybride wanneer de batterij een duidelijke functie behoudt voor pieken, stille periodes of hinderbeperking; kies net + generator wanneer de aanvullende vraag langdurig en hoog is en batterijopslag geen proportionele meerwaarde biedt;

- pas minstens de generatoraanpak uit stap 5 toe.

Voldoet geen enkele netgebaseerde configuratie, herbekijk dan vraag, fasering of planning (stap 1) of ga naar stap 4.

STAP 4 — Off-grid: volstaat een batterij, eventueel met zonnepanelen? (§6.4.1)

Een standalone batterij is passend wanneer samen geldt:

- beperkt totaal energievolume en doorgaans een korte of onderbroken inzet; de projectduur op zich is niet doorslaggevend, maar een langere inzet is alleen passend wanneer autonomie en laadstrategie projectspecifiek zijn aangetoond;
- het piekvermogen blijft binnen het continue vermogen van de batterijomvormer;
- laden vóór, tijdens of tussen de gebruikperiodes is praktisch haalbaar via externe lading, batterijwissel of hernieuwbare bijlading; externe herlading en batterijwissels zijn geen standaardoplossing en worden ook op transport, logistiek en indirecte milieu-impact beoordeeld; laadt een generator ter plaatse de batterij structureel bij, dan gaat het om batterij + generator (§6.4.3), niet om een standalone batterij;
- opstelruimte en brandveiligheid zijn beheersbaar.

Strikte geluids-, geur- of emissievoorwaarden versterken deze optie bijkomend, bijvoorbeeld bij binnenruimtes, nachtwerk of locaties met een expliciete eis van lokaal emissievrije werking. Zonnepanelen, mobiel of op werfketen en containers, kunnen de autonomie verlengen bij laag continu verbruik zoals verlichting, verkeerssignalisatie, camerabewaking of meetposten. De PV-bijdrage is seizoens- en locatiegebonden en in de winter beperkt; beschouw PV enkel als hoofdbron wanneer een projectspecifieke opbrengst- en autonomieberekening dit onder de maatgevende seizoensomstandigheden aantoont.

JA — Standalone batterij, eventueel met PV (§6.4.1)

Lokale impact: • **zeer laag**

- batterijcapaciteit en omvormervermogen volstaan;
- brandveiligheid en opstelling zijn afgestemd op de sitecontext;
- PV wordt realistisch ingeschat volgens seizoen, locatie en beschikbare ruimte.

→ NEE: ga naar stap 5.

STAP 5 — Off-grid met generator: hybride of standalone? (§6.4.2–6.4.3)

Minimumaanpak bij elke generatorinzet (geldt voor 5a, 5b en stap 3d; §6.4.2, §7.3.2):

- Emissieklasse: enkel generatoren waarvan de motor een EU-typegoedkeuring heeft als motor voor niet voor de weg bestemde mobiele machines (NRMM, Verordening (EU) 2016/1628). Stage V als uitgangspunt; oudere motorklassen (Stage IIIA en lager) te vermijden, in het bijzonder in een hindergevoelige omgeving; enkel in te zetten wanneer Stage V aantoonbaar niet beschikbaar is in het vereiste vermogensbereik;
- Dimensionering: dimensioneer zodat de generator hoofdzakelijk in het door de fabrikant aanbevolen efficiënte belastingsgebied werkt, indicatief rond 60–80%; vermijd structurele deellast < 30%;
- Draaiuren: beperk draaiuren en monitor draaiuren, belasting en brandstofverbruik;
- Brandstof: overweeg aantoonbaar duurzaam gecertificeerde HVO of een andere koolstofarme brandstof wanneer die compatibel is met de motor (§4.5.1); de brandstofkeuze verandert de emissieklasse niet en vervangt de voorkeur voor Stage V niet;
- Hinder: beperk hinder via opstelling, afstand tot receptoren en omkasting (§7.2.1).

Batterij of PV: onderzoek of die alsnog een deel van de pieken, stille periodes of basisvoorzieningen kan overnemen.

5a. Variabel, onderbroken of laag continu verbruik

Is het belastingsprofiel variabel of onderbroken, met duidelijke dal- en piekperiodes of een dag-nachtritme? Of gaat het om een continue belasting die laag is in verhouding tot het vermogen van een technisch

geschikte generator — waardoor generator-only structureel in lage deellast zou draaien — indicatief in de grootteorde van enkele kilowatt, bijvoorbeeld voor kleine pompen, camerabewaking of signalisatie? Voor een werfkeet wordt de werkelijke basislast afzonderlijk bepaald.

JA — Batterij + generator (§6.4.3)

Lokale impact: • **doorgaans lager dan generator-only**, mits correcte dimensionering en sturing; de reductie in draaiuren, brandstof en emissies is projectspecifiek (§8.3.1–§8.3.2)

- dimensioneer de generator op het laadprofiel, niet op de volledige piekvraag;
- stel de start-stopsturing of het energiemanagementsysteem (EMS) correct in en test ze; zonder sturing vervalt het systeem tot generator-only gedrag;
- zonnepanelen kunnen de draaiuren verder beperken, vooral bij laag continu verbruik.

5b. Hoog, stabiel en langdurig verbruik

Is het verbruik structureel hoog, stabiel en langdurig, en kan het net dit niet leveren? Dan zijn standalone generator (§6.4.2) en batterij + generator (§6.4.3) volwaardige alternatieven: vergelijk beide op TCO én milieu-impact.

Bij dit profiel kan een correct gedimensioneerde standalone generator efficiënt zijn. Toch moet ook dan worden nagegaan of batterij-inzet de draaiuren, pieken, hinder of emissies zinvol kan beperken.

Een generator als hoofdvoorziening is dus alleen verdedigbaar na de vergelijking met batterij- of hybride inzet die §6.4.2 vereist, en wanneer die inzet technisch of economisch niet proportioneel is of geen duidelijke milieu- of hinderwinst oplevert.

Generator als hoofdvoorziening (§6.4.2)

Lokale impact: • **hoog zonder mitigatie**; in een hindergevoelige omgeving doorgaans niet de aangewezen keuze (§6.4.2)

- alleen wanneer net-, batterij- en hybride opties na vergelijking niet passend of niet proportioneel blijken (§6.4.2);
- niet gebruiken als de hinder of regelgeving niet aanvaardbaar is;
- generatoren zonder geldige typegoedkeuring voor mobiele toepassingen, slecht onderhouden of structureel overgedimensioneerde generatoren zijn geen aanvaardbare uitkomst; de leeftijd op zich is niet doorslaggevend — emissieklasse, technische staat, dimensionering en bedrijfsvoering wel.

In elk geval

- Leg de keuze proportioneel en beknopt vast (§6.1.4). Een afzonderlijk document is niet nodig wanneer de afweging al navolgbaar is in de werfvoorbereiding, offerte of projectnota. Motiveer waar relevant waarom een eerder onderzochte optie niet passend was of waarom Stage V niet beschikbaar was.
- Bij kritische continuïteit: werk een redundantieconcept uit (§6.5), bijvoorbeeld N+1 (één reserve-eenheid bovenop het minimale vereiste vermogen) of 2N (twee volledig onafhankelijke voedingen).
- Blijven meerdere realistische opties over: voer een proportionele vergelijking uit; gebruik voor complexe, langdurige of hindergevoelige projecten de multicriteria-analyse (§6.6 en Bijlage 3).

BIJLAGE 5: FINALE OPMERKINGEN

[Wordt aangevuld na de laatste consultatieronde met de finale opmerkingen van het begeleidingscomité en de eventuele reactie van VITO.]

DRAFT

BIBLIOGRAFIE

- A greener future. (n.d.). *Research findings show energy consumed by UK Festival sector could power ten thousand homes*. Retrieved from <https://www.agreenerfuture.com/blog-agf/agfblog/research-findings-show-energy-consumed-by-uk-festival-sector-could-power-ten-thousand-homes#:~:text=might%20be%20necessary,0.026>
- Agentschap Landbouw & Zeevisserij. (2026). *Handleiding: aantonen elektriciteitsverbruik en -productie ikv productieve investeringssteun VLIF*. Retrieved from <https://lv.vlaanderen.be/sites/lv/files/2025-09/LV%20Handleiding%20aantonen%20verbruikshistoriek.pdf>
- Agentschap Landbouw & Zeevisserij. (2026). *VLIF-steun voor productieve investeringen*. Retrieved from <https://lv.vlaanderen.be/subsidies/vlif-steun/vlif-investeringssteun-voor-land-en-tuinbouwers>
- Atlas Copco. (n.d.). *The route to Stage V compliance and beyond*. Retrieved from <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/construction-technique/portable-energy/documents/pfl-downloads/stage-v-generators/Stage-v-generators-ebook.pdf>
- (2024-2025). *Bedrijfsbezoeken leveranciers en fabrikanten*.
- BloombergNEF. (2024). *Lithium-Ion Battery Pack Prices See Largest Drop Since 2017, Falling to \$115 per Kilowatt-Hour*. Retrieved from <https://about.bnef.com/insights/commodities/lithium-ion-battery-pack-prices-see-largest-drop-since-2017-falling-to-115-per-kilowatt-hour-bloombergnef/>
- Boels Rental. (2023). *Stage V diesel engines: facts and fables*. Retrieved from <https://group.boels.com/en/news/stage-v-diesel-engines-facts-and-fables/>
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. (n.d.). Retrieved from https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Dieselpartikelfilter/dieselpartikelfilter_node.html
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). (n.d.). Retrieved from https://www.bafa.de/DE/Aussenwirtschaft/Ausfuhrkontrolle/ausfuhrkontrolle_node.html
- Callmepower. (2025). *Prijs per kWh mei 2025*. Retrieved from <https://callmepower.be/nl/energie/leveranciers/luminus/tarieven>
- Crown Oil Fuels and Lubricants. (n.d.). *BS 14214 Biodiesel Specifications*. Retrieved from <https://www.crownoil.co.uk/fuel-specifications/bs-14214/>
- CSTEP. (2025). *The diesel generator dilemma: Reliable power, unwanted emissions*. Retrieved from [https://cstep.in/the-diesel-generator-dilemma-reliable-power-unwanted-emissions/#:~:text=A%20DG%20set%20can%20roughly,and%20nitrogen%20oxides%20\(NOx\).](https://cstep.in/the-diesel-generator-dilemma-reliable-power-unwanted-emissions/#:~:text=A%20DG%20set%20can%20roughly,and%20nitrogen%20oxides%20(NOx).)
- Cummins. (2021). *Cummins begins testing of Hydrogen Fueled Internal Combustion Engine*. Retrieved from <https://www.cummins.com/news/releases/2021/07/13/cummins-begins-testing-hydrogen-fueled-internal-combustion-engine>
- DABM Afdeling 1. *Algemene definities*. (n.d.). Retrieved from <https://navigator.emis.vito.be/detail?wold=65092>
- Den Hartog b.v. (n.d.). *GTL vs HVO uitstoot*. Retrieved from <https://www.denhartogbv.com/brandstof/biobrandstoffen/verschil-hvo-diesel-en-gtl/>
- DENS. (2025). *X2 Hydrogine generator*.
- Departement Omgeving. (n.d.). *Werftank bij generator - VLAREM*. Retrieved from <https://omgeving.vlaanderen.be/nl/decreten-en-uitvoeringsbesluiten/wetwijzer/werftank-bij-generator-vlarem>
- Ecoinvent. (n.d.). *Life Cycle Assessment (LCA)*. Retrieved from <https://ecoinvent.org/life-cycle-assessment/>
- Electronics Tutorials. (2025). *Battery Energy Storage Systems*. Retrieved from <https://www.electronicstutorials.ws/blog/battery-energy-storage-systems.html>
- Enerdata. (2025). *Belgium Energy Information*. Retrieved from <https://www.enerdata.net/estore/energy-market/belgium/>

- Energyville. (n.d.). *TOTEM: Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials*. Retrieved from <https://energyville.be/en/product/totem-tool-om-de-totale-milieu-impact-van-materialen-te-optimaliseren/>
- European Commission. (2019). *Sustainability criteria for biofuels specified*. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/memo_19_1656
- European Hydrogen Observatory. (2024). *The European hydrogen market landscape*. Retrieved from https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/sites/default/files/2024-11/The%20European%20hydrogen%20market%20landscape_November%202024.pdf
- Federatie Butaan Propaan. (2021). *Visiedocument Biopropan - De sleutel in de energietransitie*. Retrieved from https://www.febupro.be/wp-content/uploads/2021/10/FeBuPro_Visiedocument_20211021_LR_NL.pdf
- Fluvius. (2019). *Tijdelijke werfaansluiting*. Retrieved from <https://www.fluvius.be/nl/media/3106>
- Fluvius. (2025). *Aansluiting elektriciteit klanten op het laagspanningsnet 2025*. Retrieved from https://www.vlaamsenutsregulator.be/sites/default/files/Distributienettarieven_2025/Aansluitingstarieven/3.fluvius_2025_elektriciteit_ls_op_dc.pdf
- Fluvius. (2025). *Aansluittarieven elektriciteit 2025*. Retrieved from <https://www.fluvius.be/nl/publicatie/aansluittarieven-elektriciteit>
- Fluvius. (n.d.). *Ik ga bouwen: hoe vraag ik een werfaansluiting voor elektriciteit aan?* Retrieved from <https://www.fluvius.be/nl/aansluitingen/werfaansluiting-aanvragen>
- FOD Economie. (2026). *Capaciteitsremuneratiemechanisme*. Retrieved from <https://economie.fgov.be/nl/themas/energie/bevoorradingszekerheid/elektriciteit/capaciteitsmechanismen/capaciteitsremuneratiemechanis>
- FOD Financiën. (2025). Retrieved from https://financien.belgium.be/nl/douane_accijnzen/ondernemingen/applicaties-da/professionele-diesel
- FOD Financiën. (2026). *Investeringsaftrek voor vennootschappen die niet opteren voor het belastingkrediet voor onderzoek en ontwikkeling*. Retrieved from <https://financien.belgium.be/sites/default/files/downloads/121-275-u-2026-nl.pdf>
- Forman, G. S., Hahn, T. E., & Jensen, S. D. (2011). *Greenhouse Gas Emission Evaluation of the GTL Pathway*. *National Library of Medicine*. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21936580/>
- FuelCell Energy. (2022). *How does a fuel cell work?* Retrieved from <https://www.fuelcellenergy.com/blog/how-does-a-fuel-cell-work/>
- Greater London Authority. (2020). *Non-Road Mobile Machinery (NRMM) Practical Guide v.4*. Retrieved from https://www.london.gov.uk/sites/default/files/nrmm_practical_guide_v4_sept20.pdf
- Green skills for hydrogen. (2024). *Green Hydrogen Cost and reduction potential*. Retrieved from https://greenskillsforhydrogen.eu/wp-content/uploads/2024/07/2024-Juni-4-V03-Masterclass-WHB_-Greenskill4h2_Green-Hydrogen-Cost-and-reduction.pdf
- Himoinsa. (n.d.). *S5 Range - Generator sets with Stage V engines*. Retrieved from <https://www.himoinsa.com/s5-range-generator-sets-with-stage-v-engines/product-launch/news-list/news/89/eng.html>
- Hoofdstuk 7 *Tijdelijke handelingen*. (n.d.). Retrieved from EMIS Navigator: <https://navigator.emis.vito.be/detail?wold=75003>
- IFPEN. (2025). *Biofuels Dashboard 2024*. Retrieved from <https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/biofuels-dashboard-2024>
- ILUC Guidehouse. (2024). *ILUC - High and low ILUC-risk fuels*. Retrieved from <https://iluc.guidehouse.com/>
- Informatiepunt Leefomgeving. (n.d.). *Maatregelen emissiereductieplicht*. Retrieved from <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/technische-bouwactiviteit/emissiereductieplicht-bouwen-slopen/maatregelen-emissiereductieplicht/>
- Inspectie Leefomgeving en Transport. (2024). *Onderzoeken naar het VTH-stelsel*. Retrieved from <https://www.ilent.nl/over-ilt/rol-in-vth-stelsel>

- International Agency for Research on Cancer. (2012). *IARC: Diesel engine exhaust carcinogenic* (Press release N° 213). Retrieved from https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr213_E.pdf
- Joule Case. (2022). *Energy and Carbon Impact of Various Outdoor Events*. Retrieved from <https://www.joulecase.com/blog/energy-and-carbon-impact-of-various-outdoor-events#:~:text=present%20an%20opportunity,to%20audio%20equipment>
- Kalkan, S. T. (2020). Life Cycle Assessment for Biogas/Biomethane Production. *2nd International Eurasian Conference on SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY (EurasianSciEnTech 2020)*. Researchgate. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/348383505_Life_Cycle_Assessment_for_BiogasBio_methane_Production
- Lavaert, C. L. (2022). *Energiemetingen 'Boomtown 2022'*. Electa, KU Leuven, in opdracht van Democracy. Market Data Forecast. (2024). *Europe Lithium-Ion Batteries Market*. Retrieved from <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/europe-lithium-ion-batteries-market>
- Mobilitätsmagazin. (2025). *Ausnahmegenehmigung für die Umweltzone: Welche Ausnahmen gelten wann und wo?* Retrieved from <https://www.bussgeldkatalog.org/ausnahmegenehmigung-umweltzone/>
- National Renewable Energy Laboratory. (2020). *Emergency Diesel Generator Reliability and Installation Energy Security*. Retrieved from <https://docs.nrel.gov/docs/fy20osti/76553.pdf>
- Nowtricity. (2025). *Current emissions in Belgium*. Retrieved 05 13, 2025, from <https://www.nowtricity.com/country/belgium/>
- Onsemi. (2023). *Know your battery energy storage systems*. Retrieved from <https://www.onsemi.com/company/newsroom/blog/industrial/know-your-battery-energy-storage-systems>
- (2025). Persoonlijke communicatie Netwerk Brandweer Vlaanderen.
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2024). *Regeling stimulerend Schoon en Emissieloos Bouwen voor medeoverheden (SPUK SEB)*. Retrieved from <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/spuk-seb>
- SAE Mobilus. (2025). Potential for Reduction in NRMM Real-World Emissions. doi:10.4271/2025-01-8489
- Salti. (n.d.). *Le Stage V arrive chez Salti*. Retrieved from <https://www.salti.fr/actualites/le-stage-v-arrive-chez-salti>
- Service Public. (n.d.). *Circuler en zone à faibles émissions mobilité (ZFE ou ZFE-m)*. Retrieved from <https://entreprendre.service-public.fr/vosdroits/F38025>
- SFC Energy. (n.d.). *How the SFC Direct Methanol Fuel Cell works*. Retrieved from <https://www.sfc.com/technology/direct-methanol/>
- Sintef. (2011). *PEMFC Lifetime and Durability: an overview*.
- Sustafest. (2025).
- The International Council on Clean Transportation. (2016). *European Stage V Non-road emissions standards*. Retrieved from https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-Stage-V_policy%20update_ICCT_nov2016.pdf
- TNO. (2021). *AUB (AdBlue verbruik, Uren, en Brandstofverbruik): een robuuste schatting van NOx en NH3 uitstoot van mobiele werktuigen*. Retrieved from <https://publications.tno.nl/publication/34638924/7T4USy/TNO-2021-R12305.pdf>
- TNO. (2024). *Binnenvaart test biobrandstof FAME voor snelle verduurzaming*. Retrieved from <https://www.tno.nl/nl/newsroom/insights/2024/10/binnenvaart-verduurzamen-met-fame/>
- Transport & Environment. (2019). *High & low ILUC risk biofuels*. Retrieved from https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2019_01_High_low_ILUC_TE_briefing_final.pdf
- Vetus. (n.d.). *D-LINE and M-LINE Engines approved for HVO*. Retrieved from <https://vetus.com/vetus-campaigns/d-line-and-m-line-on-hvo-fuel/>
- Vilt. (2024). *Kan Vlaams biogas bijdragen tot oplossing energiecrisis?* Retrieved from <https://vilt.be/nl/nieuws/vlaams-biogas-kan-russische-invloed-terugdringen>

- VITO. (2020). VITO VISION / Jaargang 2020 / Editie mei. Retrieved from https://www.natuurwaardeverkenner.be/download/vito_vision_nl_april20_lr.pdf
- Vlaamse nutsregulator. (2023). *Rapport met betrekking tot de kwaliteit van de dienstverlening en de aansprakelijkheid van de elektriciteitsdistributienetwerkbeheerders en de beheerder van het plaatselijk vervoernet van elektriciteit in het Vlaamse Gewest in 2023*. Retrieved from <https://www.vlaamsenutsregulator.be/sites/default/files/document/rapp-2024-19.pdf>
- Vlaamse Overheid. (2025). *ADR 2025 en nationale regelgeving*. Retrieved from <https://www.vlaanderen.be/mobiliteit-en-openbare-werken/vervoer-van-gevaarlijke-goederen-over-de-weg-adr/adr-2025-en-nationale-regelgeving>
- Vlaamse Overheid. (2026). *Thematische aftrek voor investeringen in hernieuwbare energie, energiebesparing of met een gunstige impact op het klimaat*. Retrieved from <https://www.vlaanderen.be/thematische-aftrek-voor-investeringen-in-hernieuwbare-energie-energiebesparing-of-met-een-gunstige-impact-op-het-klimaat>
- VLAIO. (2026). *Ecoboostlening voor groene investeringen*. Retrieved from <https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/subsidi databank/maatregelen/ecoboostlening-voor-groene-investeringen>
- VLAIO. (2026). *Energiepremies voor ondernemingen*. Retrieved from <https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/subsidi databank/maatregelen/energiepremies-voor-ondernemingen>
- VLAIO. (2026). *Investeringsaftrek*. Retrieved from <https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/subsidi databank/maatregelen/investeringsaftrek>
- VLAIO. (2026). *Opslag groene stroom steunmogelijkheden*. Retrieved from <https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/subsidi databank/maatregelen/opslag-groene-stroom-steunmogelijkheden>
- VLAIO. (2026). *Strategische ecologiesteun*. Retrieved from <https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/subsidi databank/maatregelen/strategische-ecologiesteun>
- VLAIO. (2026). *Wat houdt de GREEN investeringssteun in?* Retrieved from <https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/green-investeringssteun/wat-houdt-de-green-investeringssteun>
- VLAIO. (2026). *Welke ondernemingen en welke investeringen komen in aanmerking voor de ecologiepremie+?* Retrieved from <https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/ecologiepremie/welke-ondernemingen-en-welke-investeringen-komen-aanmerking-voor-de-ecologiepremie?>
- Volvo Penta. (n.d.). *Volvo Penta battery energy storage subsystems*. Retrieved from <https://www.volvopenta.com/en-us/industrial/battery-energy-storage/>
- Waterstofnet. (2020). *Een Vlaamse waterstofstrategie 2025 - 2030*. Retrieved from https://www.waterstofnet.eu/_asset/_public/WIC/2020-12-7Vlaamse-waterstofstrategie-WIC.pdf

DRAFT

Vlaams BBT-kenniscentrum
VITO
Boeretang 200
B-2400 Mol
bbt@vito.be

emis.vito.be/bbt