

# Licht en onzichtbaar

Ondergrondse energietransmissie met HVDC Light®

**Bovengrondse hoogspanningslijnen waren gedurende lange tijd het aangewezen middel voor het transport van elektrische energie over grote afstanden. Door de hoge kosten en de ongunstige eigenschappen vormden ondergrondse kabelverbindingen geen acceptabel alternatief.**

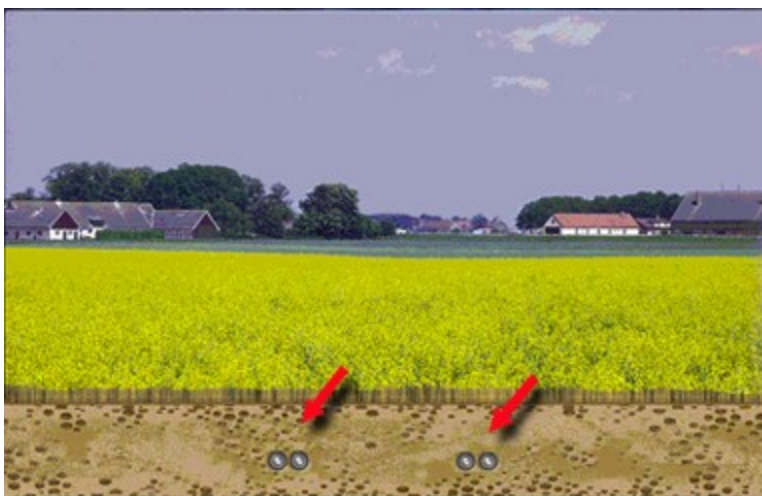
**De eigenschappen van HVDC Light® zorgen op dit terrein voor een revolutionaire omslag. In tegenstelling tot wisselspanning maakt het geheel andere gedrag van gelijkspanning dat HVDC Light® bij uitstek geschikt is voor een ondergrondse hoogspanningsverbinding.**

**Voorheen vormden de hoge kosten voor het ingraven van ondergrondse kabels een belangrijk bezwaar. De combinatie van grotere zorg voor onze leefomgeving en de invloed van bovengrondse hoogspanningsverbindingen in combinatie met nieuwe kostenbesparende technologie voor het aanleggen van ondergrondse verbindingen hebben voor een omslag in de waardering gezorgd. Ondergrondse verbindingen zijn nu aantrekkelijker dan ooit tevoren!**

Meer dan een eeuw lang waren elektrische transportnetten op bovengrondse hoogspanningslijnen gebaseerd. De belangrijkste reden voor deze voorkeur zijn de hoge kosten van een ondergrondse verbinding met dezelfde capaciteit.

In recente studies is aangegeven dat de kosten voor een ondergrondse verbinding een factor 5-15 hoger zijn dan voor een vergelijkbare bovengrondse verbinding. Toch zijn deze gegevens al weer achterhaald. Er zijn twee belangrijke oorzaken waarom de stelling niet meer actueel is:

- Tegemoetkoming aan strengere hedendaagse milieu-eisen leidt tot een kostenverhoging en tot een langere projecterings- en constructietijd van een bovengrondse hoogspanningsverbinding.
- Door recente technologische ontwikkelingen kunnen ondergrondse verbindingen tegen aanzienlijk lagere kosten dan voorheen gerealiseerd worden.



Licht en onzichtbaar. Ondergrondse energietransmissie met HVDC Light® spaart landschap en milieu en geeft geen waardeverlies.

## Gevolgen van strengere milieu-eisen

Er zijn verschillende redenen waarom ondergrondse hoogspanningsverbindingen beter aan hedendaagse milieu-eisen kunnen voldoen dan bovengrondse verbindingen.

### Ruimtebeslag

Voor een HVDC-kabel is belangrijk minder ruimte nodig dan voor een bovengrondse hoogspanningsverbinding. Voor een 380 kV bovengrondse hoogspanningsverbinding is een strook met een breedte van 60 meter nodig. Binnen deze strook mogen zich geen hoge bomen of bouwwerken bevinden. Voor een ondergrondse HVDC-verbinding is slechts een 4 meter breed aanlegpad noodzakelijk. Voor een bovengrondse verbinding met een lengte van 100 km is een grondoppervlakte van 600 hectare (1 hectare = 10.000 m<sup>2</sup>) nodig. Voor een HVDC-verbinding is slechts 40 hectare nodig. Dat is minder dan 6% dan het ruimtebeslag van een vergelijkbare hoogspanningsverbinding!

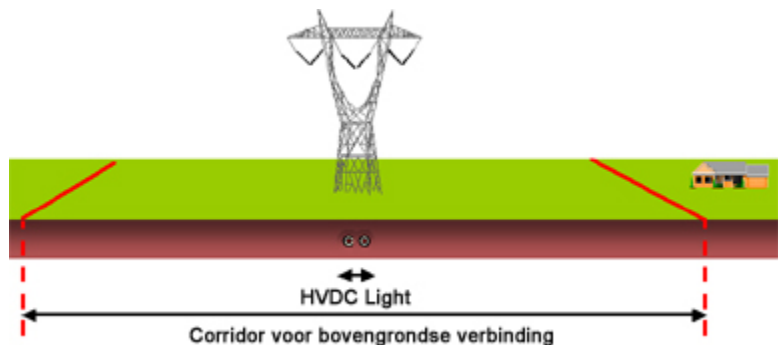
Ter plekke van woningen is voor een 380 kV bovengrondse hoogspanningsverbinding een bredere strook noodzakelijk om te kunnen voldoen aan het veiligheidsniveau van 0,4μT aan voor 50 Hz magnetische velden van hoogspanningsleidingen. De breedte bedraagt circa 300 meter bij conventionele hoogspanningslijnen.

### Waarneembaar geluid

De geluidsproductie van een bovengrondse hoogspanningsverbinding – die het grootst is bij vochtige weersomstandigheden – beperkt eveneens de mogelijkheid om dicht bij een hoogspanningsverbinding te bouwen. De breedte van deze geluidscorridor hangt af van plaatselijke verordeningen en van het ontwerp van de hoogspanningsverbinding. Bezwaarschriften kunnen de aanleg van een bovengrondse verbinding soms knap lastig maken. Voor een ondergrondse verbinding is er van een geluidsprobleem absoluut geen sprake.

### EMV

Magnetische en elektrische velden kunnen ook beperkingen voor het ruimtegebruik nabij een bovengrondse hoogspanningsleiding tot gevolg hebben. In diverse landen voert men een voorzichtig en terughoudend beleid ten aanzien van magnetische velden. Zowel het Nederlandse ministerie van Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer als het Swedish National Electrical Safety bevelen beide een veiligheidsniveau van 0,4μT aan voor 50 Hz magnetische velden van hoogspanningsleidingen. Dit veiligheidsniveau komt overeen met de veldsterkte die vandaag de dag in een stedelijke omgeving gebruikelijk is. In tegenstelling tot een wisselspanningsverbinding is een gelijkspanningsverbinding statisch (geen straling). Voor een gelijkspanningsverbinding hoeft geen “EMV-corridor” vrijgehouden te worden. Het veld boven de ingegraven ondergrondse kabel is beduidend kleiner dan het natuurlijke magnetische veld van de aarde.



## Tracé afgezet tegen verlies van CO2 reductie

Bossen zorgen voor een reductie van het CO<sub>2</sub>-gehalte. Kooldioxide wordt door bomen omgezet in hout en organisch materiaal. Een bos kan per jaar 9,2 ton CO<sub>2</sub> per hectare absorberen. Een 380 kV-hoogspanningsleiding met een lengte van 100 km door een gebied dat voor 25% bebost is, vertegenwoordigt een verlies van 1.380 ton aan CO<sub>2</sub>-reductie.

HVDC Light® technologie is in 1997 ingevoerd voor een proefproject van 3MW. In de tussentijdse tijd zijn de kabels en converters op spectaculaire wijze geëvolueerd in afmetingen en prestaties.

## Materiaalgebruik

De hoeveelheid materiaal die nodig is voor een bovengrondse verbinding is hoger dan voor een DC-verbinding. [Klik hier voor een vergelijking](#) van het gebruik van statische materialen voor een ondergrondse en een bovengrondse hoogspanningsverbinding.

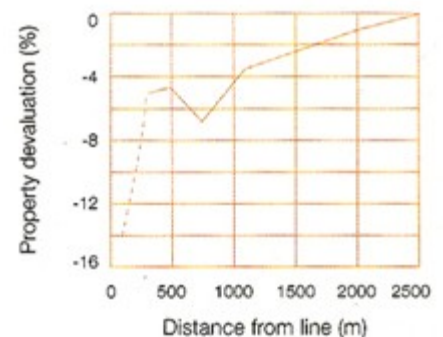
Als we lifecycle assessment (LCA) toepassen om de materiële impact van de “wie tot het graf” in kaart te brengen dan is er voor een bovengrondse verbinding een CO<sub>2</sub>-equivalent van 64,5 kg met meter ondergrondse kabel nodig. Voor een bovengrondse verbinding is deze waarde maar liefst 365,4 kg per meter. In andere woorden; de invloed op het milieu van een HVDC Light® verbinding bedraagt slechts 17,6 % van een vergelijkbare bovengrondse verbinding.

## Esthetische aspecten en grondprijzen

Diverse studies hebben aangetoond dat de aanleg van een bovengrondse hoogspanningsverbinding een negatieve invloed heeft op de ontwikkeling van de grondprijzen. Als voorbeeld noemen we een onderzoek uitgevoerd in het Verenigd Koninkrijk waar de onderzoekers vaststelden dat de grondprijs van stukken land op een afstand van 100 meter van een hoogspanningsverbinding 38% lager was dan voor vergelijkbare stukken land. Uit onderzoek in Finland bleek dat de waardevermindering omgekeerd evenredig is met de afstand tot de hoogspanningsverbinding.

Een recente uitspraak van de rechtbank in Utrecht bevestigt dat het plaatsen van bovengrondse hoogspanningslijnen afbreuk doet aan de waarde van een huis. De gemeente Bunnik heeft de huiseigenaar een schadevergoeding moeten betalen.

Nederland heeft een hoge bebouwingsdichtheid. Het is daarmee waarschijnlijk dat een bovengrondse hoogspanningsverbinding veel kavels zal beïnvloeden. Als we aannemen dat er zich gemiddeld over iedere 500 meter lengte van de hoogspanningsverbinding de volgende kavels bevinden:  
Vier kavels op 0-500 meter afstand (10% waardevermindering)  
Acht kavels op 500-1.000 meter afstand (5% waardevermindering)  
Zestien kavels op 1.000-1.500 meter afstand (3% waardevermindering)  
Twintig kavels op 1.500-2.000 meter afstand (2% waardevermindering)



Als we als gemiddelde waarde voor een kavel € 300.000,- aannemen dan is er bij een 100 km lange bovengrondse hoogspanningsverbinding sprake van een waardevermindering van € 100.800.000,-. Het maatschappelijk verlies aan landschapswaarde en cultuur historisch erfgoed is hier nog niet in meegenomen.

## **Vogelaanvaringen**

Het is een bekend fenomeen dat er veel sterfte is onder vogels ten gevolge van aanvaringen met hoogspanningslijnen. Diverse onderzoeken tonen aan dat er in Nederland ongeveer 1 miljoen draadslachtoffers vallen op de 3222 kilometer hoogspanningslijn per jaar, hetgeen overeenkomt met 310 draadslachtoffers per kilometer per jaar.

Het ondergronds brengen lost dit probleem volledig op.

## **Veiligheid**

Bij hoogspanningslijnen is er een gevaar voor elektrocutie door aanraking door bijvoorbeeld hoogwerkers, bootmasten, vishengels, vliegers of door brandsblusactiviteiten. Niet alleen aanraking met hoogspanningslijnen kan dodelijk zijn, dicht in de buurt ervan komen kan al te veel zijn, de stroom kan dan overslaan. Om die reden is het in de directe nabijheid van hoogspanningslijnen niet toegestaan branden te blussen zolang er nog spanning op staat. Ook is er een gevaar van neervallende lijnen bijvoorbeeld als gevolg van ijsafzetting en storm wat valschade en elektrocutie tot gevolg kan hebben. Bij een ondergrondse verbinding treden deze verschijnselen niet op.

## **Elektrische verliezen**

Als een ondergrondse HVDC Light® verbinding binnen een wisselspannings hoogspanningsnetwerk toegepast wordt dan kan het netwerk optimaler benut worden zodat er lagere elektrische verliezen optreden. De verliezen in de HVDC-verbinding zijn equivalent met de vermindering van het verlies in het wisselspanningsdeel van het netwerk. D.w.z. de HVDC verbinding kan gezien worden als een verbinding “zonder verliezen”. De gunstigere exploitatie van een netwerk met wisselspannings- en HVDC-verbindingen wordt veroorzaakt door twee aspecten: de spanning in het wisselspanningsdeel van het netwerk mag gemiddeld op een hoger nivo bedreven worden dan voorheen (want is beter onder controle) en er is sprake van een verlaging van reactieve verliezen.

Ter illustratie: bij een 350 MW verbinding (50% benutting) zijn er geen HVDC verliezen terwijl de verliezen in een wisselspanningsverbinding 5% bedragen. Dit betekent dat het energiebedrijf ieder jaar 76.650 MWh meer energie kan verkopen met een HVDC-verbinding.

De totale verliezen kunnen vertaald worden in een uitstoot van 45.990 ton CO2 per jaar.

## **Stabiliteit en betrouwbaarheid van het netwerk**

HVDC-systemen kunnen nooit overbelast raken, bovendien hebben zij een aanvullende gunstige eigenschap; de energiestromen en het spanningsniveau zijn regelbaar. HVDC kan uitstekend ingezet worden om energie-oscillatie te dempen. Ook kunnen cascade verstoringen, vooral wanneer twee punten in hetzelfde net via een parallelle verbinding met elkaar verbonden zijn, gedempt of voorkomen worden.

Een HVDC Light® converter is uitstekend geschikt om reactief vermogen te dissiperen of te genereren. HVDC Light® systemen zijn ongevoelig voor slechte weersomstandigheden als storm en ijsafzetting doordat de verbinding ondergronds is

## **De technische eigenschappen van ondergrondse transmissie**

Bij het projecteren van traditionele bovengrondse transmissielijnen is het gunstiger om een hoge spanning te kiezen voor transport over een grote afstand. In zo'n geval geldt dat bij een hogere spanning dat de transmissiecapaciteit groter is en de verliezen gereduceerd worden. Voor een ondergrondse traditionele wisselspanningskabel hebben we echter met geheel andere aspecten te maken. Als bij een ondergrondse traditionele kabelverbinding voor een hogere spanning zou worden gekozen dan neemt de reactieve energie absorptie van de kabel toe waardoor de technisch maximaal haalbare lengte van de kabel beperkt wordt in plaats van vergroot. De natuurkundige wetten werken in dit geval juist tegen een lage wisselspanningskabel. Gebaseerd op hedendaagse praktijkervaring geldt voor een ondergrondse wisselspanningskabel in een 380 kV AC-netwerk een maximale lengte van ongeveer 50 km.

**Ondergrondse HVDC-kabels hebben betere milieu-eigenschappen dan bovengrondse hoogspanningsverbindingen. De redenen zijn: materiaalgebruik, EMV, stabiliteit in het netwerk, waarneembaar geluid en ruimtebeslag.**

### **HVDC Light® is een nieuw transmissiesysteem speciaal ontworpen voor ondergrondse verbindingen**

De HVDC Light® technologie is gebaseerd op de volgende basiscomponenten:

- Geëxtrudeerde kabel technologie
- Converter technologie
- Besturings- en beveiligingstechnologie

Spanningsbronconverters belasten kabels minder dan conventionele HVDC converters, dit heeft de ontwikkeling van geëxtrudeerde kabels voor HVDC mogelijk gemaakt. Deze geëxtrudeerde kabels hebben een aantal specifieke voordelen tegenover traditionele geïmpregneerde kabels.

De voordelen van extruded cables zijn:

- Volledig olievrij
- Laag gewicht
- Zeer flexibel, goede hanteerbaarheid tijdens aanleg van de kabel
- Eenvoudige voorgefabriceerde koppelingen

Spanningsbronconverters beschikken ook over specifieke voordelen t.o.v. traditionele HVDC-converters zoals:

- Belangrijk kleinere afmetingen. Gemiddeld half zo hoog en een vloeroppervlak dat een kwart van het oppervlak van een traditionele converter beslaat
- Ideale regeling van spanningsniveau en reactief vermogen, zodoende beperking van risico op een "black out"
- Functioneren als "firewall" voor verstoringen in het netwerk en blokkeren cascade uitval dat in een AC-netwerk wel op kan treden
- Kunnen ingezet worden in zwakke netwerken en vereisen geen versterking van het bestaande netwerk
- Dragen in belangrijke mate bij aan een snelle opstart van een netwerk na een uitval door hun "black start" eigenschappen
- Inkoppeling van nieuwe stations (aftakkingen) probleemloos mogelijk.

Nieuwe snelle besturings- en beveiligingstechnieken maken het mogelijk om optimaal gebruik te maken van de positieve eigenschappen van spanningsbronconverters.

### **Technische ontwikkeling van HVDC Light® systemen**

HVDC Light® technologie is geïntroduceerd in 1997. De eerste installatie betrof een 3 MW proefproject. Sinds die tijd zijn de converters en kabels in een razend tempo ontwikkeld. Er is daarbij een enorme vooruitgang geboekt voor zowel beperking van de afmetingen als de eigenschappen. Momenteel heeft het grootste systeem dat in bedrijf is een vermogen van 330 MW bij een bedrijfsspanning van ongeveer 150 kV. Een 350 MW-systeem is op dit moment in aanleg. Inmiddels zijn ook systemen leverbaar met een vermogen tot 1.100 MW bij een bedrijfsspanning van ongeveer 300 kV. Het ontwerp van de converters is verbeterd door toepassing van nieuwe schakelingen waardoor het aantal componenten verminderd is en waardoor de verliezen in de converter met 60% teruggebracht zijn. In tegenstelling tot traditionele HVDC-systemen is een HVDC Light® systeem in belangrijke mate modulair opgebouwd waarbij op grote schaal gebruik gemaakt wordt van gestandaardiseerde halfgeleidercomponenten.

**Toegenomen milieubesef heeft de kosten voor bovengrondse hoogspanningleidingen doen toenemen. Bovendien treedt er door bezwaarschriften en aangespannen gerechtelijke procedures steeds vaker vertraging op bij de aanleg van bovengrondse hoogspanningsverbindingen.**

### **Technieken bij de aanleg**

Een belangrijk aspect bij de aanleg vormt de manier waarop de kabel gelegd wordt. Bij het Murraylink project in Australië is een zeer succesvolle methode toegepast waarbij gebruik gemaakt wordt van aangepast materiaal uit de pijpleidingindustrie. Er werd meer dan 3 kilometer kabel per dag aangelegd. De aanlegsom voor een 170 km lange kabel bedroeg het - voor zo'n project - zeer redelijke bedrag van \$ 7,6 miljoen. HVDC Light® kabels hebben een relatief laag gewicht (< 10 kg/m). De aanleg is eenvoudiger dan optische glasvezelkabels; het materiaal nodig voor de aanleg en de diepte van de kabels (1 tot 1,5 meter onder de oppervlakte) zijn overeenkomstig.



Bij het Murraylink project werd meer dan 3 km HVDC-kabel per dag aangelegd.

## **Kostenvergelijk**

### **Kostenvergelijk bovengrondse hoogspanningsleiding – Ondergrondse transmissie**

De nieuwe HVDC technologie beschikt over, zoals reeds geschreven, een aantal unieke eigenschappen. Dat geldt in het bijzonder voor verhoogde betrouwbaarheid van het netwerk. Voordat een strikte kostenvergelijking uitgevoerd wordt, is het zinvol om een evaluatie van de omstandigheden te maken. Indien er moeilijkheden zijn om toestemming voor aanleg van een bovengrondse hoogspanningsverbinding te verkrijgen dan is dit punt alleen al reden genoeg om voor HVDC Light® te kiezen.

In de volgende twee paragrafen worden voorbeelden gegeven van twee cases

#### **Case1; 700 MW verbinding over een afstand van 400 km**

We gaan ervan uit dat er aan minimaal vijf punten van tabel 2 voldaan wordt, te weten:

- Behoeftte aan een verbinding van minimaal 500-1.000 MW
- Afstand groter dan 100 km
- Lastige aspecten om vergunning voor bovengrondse verbinding te verkrijgen
- Risico van dynamische instabiliteit aanwezig
- Behoeftte aan snelle regelbaarheid van spanning en reactief vermogen om stabiliteit van het netwerk te garanderen

Een vergelijk van de directe investeringskosten geeft het volgende beeld:

De directe investeringskosten voor HVDC Light® inclusief converterstations ligt tussen de 275 en 420 miljoen US Dollar. De bandbreedte van dit bedrag wordt vooral veroorzaakt door verschillen in aanlegkosten door lokale omstandigheden en door lokale marktcondities.

Voor een bovengrondse hoogspanningsverbinding is er sprake van een grotere bandbreedte op kostengebied. Een door ICF consultancy in 2001 uitgevoerde studie toont aan dat er van enorme investeringsverschillen van land tot land sprake is. De directe investeringskosten liggen binnen de bandbreedte van 130 tot 440 miljoen US Dollar voor de hoogspanningsverbinding en de benodigde onderstations.

Bij vergelijk van de directe kosten zien we dat de ondergrondse HVDC Light® optie een factor 0,6 tot 3,2 keer de prijs van een bovengrondse hoogspanningsverbinding kost. Dit is beduidend minder dan de factoren 5-15 keer die vaak aangenomen worden.

Daarnaast moeten andere factoren in aanmerking genomen worden, zoals:

- Aanvullende investeringen in het geval van een bovengrondse verbinding voor apparatuur om spanning en reactief vermogen te beheersen
- Verliezen (in beide gevallen)
- Kosten voor acceptatie van de bovengrondse verbinding
- Kosten voor vertraging veroorzaakt door de aanvaardingsfase en de constructietijd
- Vergrote transmissiecapaciteit in het bestaande netwerk (bij keuze HVDC)
- Waardevermindering onroerende goederen

Als bovenstaande punten meegenomen worden in de evaluatie neemt de aantrekkelijkheid van het HVDC alternatief toe. Ga, als voorbeeld, uit van de volgende realistische aanname:

- Aanvullende reactieve compensatie \$ 25 miljoen
- Waardevermindering onroerende goederen \$ 25 miljoen
- Kapitalisering verhoogde transmissie capaciteit in bestaande netwerk \$ 50 miljoen

Als deze punten in overweging genomen worden stijgt de bandbreedte van het bovengrondse alternatief naar een waarde tussen 230 en 540 miljoen US Dollar. De bandbreedte van het HVDC Light® alternatief ligt in dit geval tussen 275 en 420 miljoen US Dollar. De kosten van beide alternatieven liggen dicht bij elkaar. Lokale omstandigheden bepalen in zo'n geval welke oplossing de gunstigste is.

### **Case2; 350 MW verbinding over een afstand van 100 km**

Een overeenkomstige oefening voor dit specifieke geval leidt tot een directe investering in de HVDC Light® optie van 110 tot 150 miljoen US Dollar. De aanleg van een bovengrondse hoogspanningsverbinding komt uit op een bedrag tussen 40 en 90 miljoen US Dollar. De relatieve directe investering van HVDC Light® kost een factor 1,2 tot 3,75 meer dan een bovengrondse hoogspanningsverbinding. De kapitalisering van de aanvullende punten die hierboven genoemd zijn, zorgen weer voor een aanzienlijke verkleining van de verschillen tussen de twee alternatieven.

### **Conclusie**

Zwaardere milieu-eisen bij de aanleg van hoogspanningsverbindingen leiden tot kostenverhoging en verhogen het risico van aanzienlijke vertraging bij realisatie. Nieuwe HVDC technologie in de vorm van HVDC Light® heeft er toe geleid dat er een economisch aanvaardbare en technisch zeer goed toepasbaar alternatief bestaat. Dit geldt in het bijzonder indien er een hoge mate van betrouwbaarheid en veiligheid nagestreefd wordt. De klassiek aanname dat een ondergrondse hoogspanningsverbinding 5-15 keer het bedrag van een bovengrondse verbinding kost, is achterhaald. Afhankelijk van lokale omstandigheden is de aanname reëel om er van uit te gaan dat de kosten voor een ondergrondse hoogspanningsverbinding met HVDC Light® ongeveer overeenkomen met de kosten voor aanleg van een bovengrondse hoogspanningsverbinding.

Last edited 2006-05-29