**Hoogspanning**

[onderwerpsymbool Elektriciteit en Magnetisme]

[voor icoontjes]

Tijd

30-50 minuten

Bereik

Vanaf klas 4

Begrippen: transformator, elektrisch vermogen, spanningsdeling, vervangingsweerstand.

[inleidend kader]

Een vrij ingewikkelde demonstratie waarmee je laat zien dat elektrisch energietransport efficiënter is bij hoge spanning. Daarbij komen naast de transformator vrijwel alle basisbegrippen uit de elektriciteit aan de orde.

In simpele vorm kan deze proef ook al in de onderbouw, zonder teveel theorie, dienen om te laten zien dat transformeren nuttig kan zijn. Deze demonstratie kan niet worden uitgevoerd als leerlingenpracticum omdat er op de ‘hoogspanningslijn’ meer dan 40 V wisselspanning kan komen te staan, en dat kan gevaarlijk zijn.

[einde inleidend kader]

[23\_LtB\_foto1, onderschrift:]

*Zonder transformatoren: geen licht.*

[23\_LtB\_foto2, onderschrift:]

*Met transformatoren: het licht brandt!*

[23\_LtB\_foto3 onderschrift]

*Zo kan het ook.*

**Nodig**

Twee demonstratietransformatoren met, indien mogelijk, dezelfde transformatieverhouding (bijvoorbeeld 50 : 600), of twee (liefst gelijke) netadapters of beltransformatoren; wisselspanningsvoeding (0-30 V); wisselstroommeter(s) (bereik minimaal 0,5 A); wisselspanningsmeter(s), liefst digitaal met niet te kleine cijfers (bereik hangt af van de transformatoren, misschien wel 500 V).

Lampje (bijvoorbeeld 6 V;0,5 A) in fitting; lange dunne draden met een weerstand liefst wat groter als van het brandende lampje (constantaandraad 0,20 mm voldoet goed); stekkerpennen en schakel- of statiefmateriaal om de ‘hoogspanningslijn’ te bouwen; diverse snoeren, ook enkele hele lange.

**Voorbereiding**

1. Bouw een ‘hoogspanningslijn’ van de twee dunne draden, 1,5 à 2 m lang als de demonstratietafel dat toelaat.
2. Sluit aan de ene kant de voeding aan (wisselspanning!) en aan de andere kant het lampje.
3. Sluit een spanningsmeter aan op de bron.
4. Leg eventueel een tweede spanningsmeter klaar met lange snoeren (moeten de lengte van de hoogspanningslijn kunnen overbruggen).
5. Zet uit het zicht de twee transformatoren klaar, zó dat ze in een handomdraai in het circuit opgenomen kunnen worden.
6. Leg twee snoeren klaar die net zo lang zijn als de transportlijn.
7. Zet ook de stroommeter klaar.

**Uitvoering**

Maak er een verhaal van; een uitgebreider voorbeeld staat op [www.nvon.nl/showdefysica](http://www.nvon.nl/showdefysica).

*Links staat de elektriciteitscentrale, rechts is een dorp of stad, daartussen is de transportleiding.* (Leg even een papiertje op de draden voor het geval leerlingen achterin die niet zien). *De klant moet 6 volt hebben* (hangt af van het gebruikte lampje).

Zet de voeding op 6 V (gebruik de spanningsmeter), en constateer dat het licht niet of nauwelijks brandt. Meet de spanning bij de klant: veel te laag!

Meet eventueel ook de stroomsterkte, bereken het vermogen dat de klant krijgt en het verliespercentage.

Voer de spanning van de centrale op tot de klant wel 6 V krijgt; dan levert de centrale ... V (meten). Het relatieve verlies blijft hetzelfde.

Probleemanalyse: de verbruiker staat in serie met de transportlijnen; de spanning verdeelt zich dus over lijnen en klantbelasting.

Draai de bron terug naar 6 V. Meet de spanning over beide lijnen en de verbruiker en stel vast dat het totaal 6 V is.

*De lijnen hebben dus teveel weerstand in verhouding tot de verbruiker. De verbruiker heeft onvermijdelijk een zeer kleine weerstand omdat het een parallelschakeling is van ontelbare apparaten en lampen: dat geeft een zeer kleine vervangingsweerstand*.

Eerste oplossing: de weerstand van de lijn kleiner maken. Vervang de dunne draadjes door ‘normale’ snoeren (gewoon even parallel schakelen), dan is het probleem opgelost. Op deze schaal kan dat, maar in werkelijkheid is dat onbetaalbaar...

Bekijk het op een andere manier: Als de weerstand van de lijn niet makkelijk kleiner te krijgen is, dan moet er minder stroom doorheen, want het energieverlies is *I*2∙*R*. Maar het vermogen moet wel hetzelfde blijven. Dat kan als we de spanning hoger maken, want het getransporteerde vermogen is *U∙I*.

Dus de tweede oplossing is: twee transformatoren invoegen. De eerste transformeert omhoog en de tweede omlaag. Stel de ‘centrale’ weer in op 6 V en zie dat het licht nu wel goed brandt. Meet de spanning bij de verbruiker.

Meet ook de spanning op de transportlijn en kijk of dat (ongeveer) klopt met de transformatieverhouding.

Meet eventueel de stroomsterkte door de lijn (voorzichtig!) en stel vast dat die veel kleiner is dan zonder de transformatoren, dus *I2∙R* is veel kleiner.

Meet ook de spanning ‘over de lijn’ en stel vast dat die ook veel kleiner is. Het spanningsverlies is dus veel kleiner geworden terwijl de spanning veel groter is. Relatief hakt dat er dubbel in...

[23\_LtB\_4a, 4b en 4c; 4a en 4b naast elkaar of eventueel onder elkaar; 4c is de conclusie, die kan eronder; misschien een gekleurde achtergrond om er één figuur van te maken?]

*Beide schakelingen schematisch getekend.*

Bespreek tenslotte de hele schakeling nog eens: er zijn drie afzonderlijke stroomkringen met elk een bron en een verbruiker. Als de transformatoren ideaal zijn, is er alleen verlies in de transportlijn.

Indien gewenst kan dan alles wat nodig is worden gemeten en de hele schakeling worden doorgerekend. Daarvoor is de beste strategie: de hele schakeling tekenen, alle gegevens erin zetten en dan kijken waar je kunt beginnen met rekenen.

**Natuurkundige achtergrond**

Het is duidelijk dat hier de werking van de transformator bekend moet zijn, maar dat ook bijna alle basisbegrippen uit de elektriciteit een rol spelen. Die moeten natuurlijk wel bekend zijn; het ‘nieuwe’ van dit experiment is vooral de toepassing. Als zodanig kan het experiment een goede herhaling en integratie-oefening zijn, zeker als het ook doorgerekend wordt, of als er een goed rekenvoorbeeld volgt.

**Tips**

* Als bij de gebruikte transformatoren geen geschikte lampjes te vinden zijn kan een geschikte (vermogens)weerstand als belasting gebruikt worden, met ‘voor het oog’ een klein lampje parallel daaraan.
* Sommige collega’s hebben een ‘modelhoogspanning’ voor deze demonstratie; zie foto 3.
* Als je de proef alleen kwalitatief wilt doen, bijvoorbeeld in een onderbouwklas, kun je beginnen met het lampje direct op de centrale aan te sluiten en die zo in te stellen dat het lampje goed brandt. Dan de transportlijn ertussen en daarna de transformatoren.  
  Dan hoef je helemaal niets te meten om toch het principe te laten zien.

**Verder onderzoek**

Natuurlijk kan er volop verder geëxperimenteerd worden, bijvoorbeeld met verschillende belastingen, verschillende transformatieverhoudingen, verschillende lijnen. Maar niet zonder toezicht...

**Veiligheid en milieu**

Afhankelijk van de gebruikte voeding en transformatoren kan er een spanning van meer dan 40 V op de lijn komen, bij gebruik van netadapters of beltrafo’s zelfs honderden volt. Dus geen leerlingen vlakbij de opstelling en niet meer dan één hand aan de hoogspanning...

[Hier kan bij voldoende plaats nog het volgende stukje reservetekst]

Dit is een aspect waar ook nog nader op ingegaan kan worden: De spanning op de lijn is gevaarlijk hoog. Waarom kun je hem toch gerust met één hand vastpakken? Maar wat moet je beslist niet doen? En als je één punt zou aarden? Zie ook www.nvon.nl/showdefysica.

[eind reserve]