

# NLT-module over energieopslag verbindt wiskunde en de praktijk

In een land waar het veel waait, is de wind een interessante energiebron. Maar hoe stem je met windenergie vraag en aanbod op elkaar af? Hoe overbrug je windstille periodes, hoe vang je pieken op in het energieverbruik? De NLT-module 'Energie-eiland' gaat over de duurzame opslag van windenergie. In de module komen verschillende invalshoeken aan bod, waarbij flink gebruikt wordt gemaakt van wiskunde.

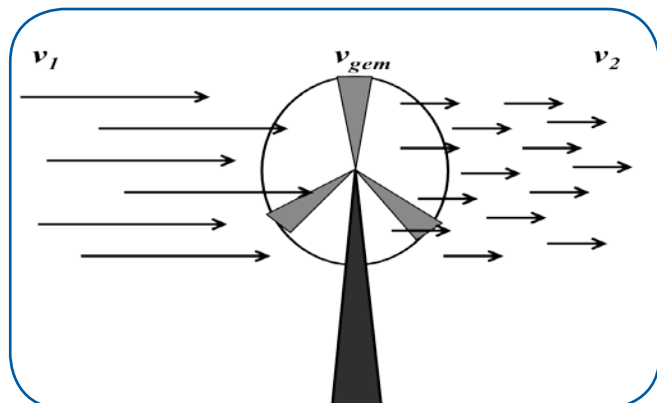


De NLT-module 'Energie-eiland' is geschreven door dertien leraren in opleiding aan de masteropleiding Science Education & Communication (SEC) van de TU Delft. De eindredactie van de module was in handen van Wim Sonneveld, vakcoach bij SEC en docent natuurkunde en NLT bij de Gereformeerde Scholengemeenschap Randstad in Rotterdam. Hij vertelt ons iets over de inhoud van de module en zijn ervaringen ermee in de klas.

## Wet van Betz

"De module start met een inleiding over de elektriciteitsvoorziening in Nederland", vertelt Sonneveld. "met onderwerpen zoals vraag en aanbod, transport en opslag. Ook komen de voor- en nadelen aan bod van centrale en decentrale opwekking van elektriciteit en wat elektriciteitsbedrijven doen om betrouwbaar te kunnen leveren. Bij deze stof gebruiken leerlingen standaard wiskundige vaardigheden zoals grafieken lezen en procent rekenen. In de volgende hoofdstukken gaat de module in op het benutten van windenergie. Als wiskundige uitdaging hebben de auteurs hier de Wet van Betz ingebracht."

Deze wet gaat over het maximale hoeveelheid energie die je uit wind kunt halen. Als luchtmoleculen tegen de wieken van een windmolen aanbotsen, wordt namelijk maar een deel van hun energie omgezet in bruikbare energie. De wet van Betz stelt dat het niet mogelijk is om een hoger rendement te halen dan 59,3%. De theoretisch afleiding is voor leerlingen van 5 en 6 vwo een stevige wiskundekluit.



De snelheid van de wind voor en na de windmolen

Voor een kort tijdsbestek  $t$  kan worden afgeleid dat de hoeveelheid energie die in de lucht zit, beschreven kan worden met

$$E_{in} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^2 \cdot v_{gem} \cdot t \quad (\text{zie bladzijde 35 van de module})$$

met  $\rho$  de dichtheid van de lucht,  $A$  het frontaaloppervlak van de rotorbladen en  $v_{gem} = \frac{v_1 + v_2}{2}$ .

Op dezelfde manier kun je  $E_{uit}$  berekenen. De energie die een windmolen in een tijdsbestek  $t$  opneemt is dan

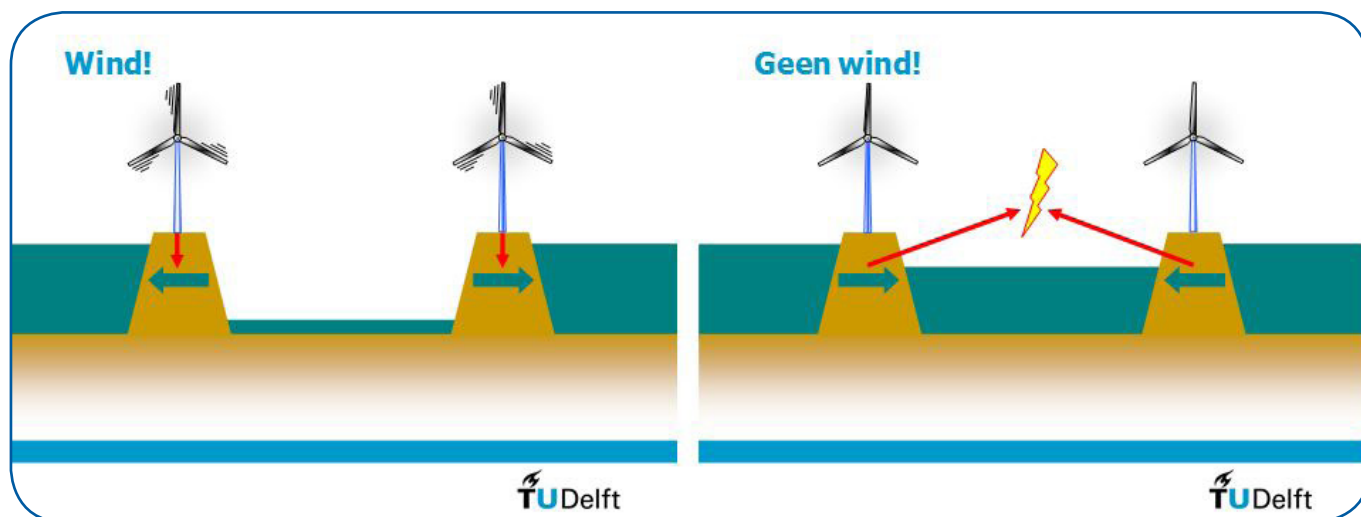
$$E_{opgenomen} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot v_{gem} \cdot t$$

De leerlingen moeten dit uitwerken tot de derdegraadsvergelijking

$$E_{opgenomen} = c (1 + x - x^2 - x^3), \quad \text{met } c = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot t \cdot v_1^3$$

$$\text{en } x = \frac{v_2}{v_1}.$$

"Met de stof die ze tot dan toe gehad hebben, moeten ze in staat zijn om dit te doen, maar ze vinden het erg lastig om haakjes weg te werken", is de ervaring van Sonneveld. "Als je het stap voor stap voordoet, kunnen ze het goed volgen, maar zelf lukt het meestal niet." Daarna lukt het ze wel om zelf het gunstigste rendement te berekenen. "Als je vraagt waar het optimum van de functie ligt, hoor je vaak 'o ja, dat doe je met de afgeleide', dat is bekend terrein. Het maximale rendement blijkt gewoon een breuk te zijn, namelijk  $\frac{16}{27}$ , precies de 59,3% uit de Wet van Betz."



Het principe van het energie-eiland: als het waait wordt water uit het reservoir omhoog gepompt naar het omringende zeewater, bij windstilte stroomt zeewater via turbines het reservoir in (bron: NLT-module Energie-eiland)

### Relaties tussen de vakken

Voor de opslag van windenergie gaat de module dieper in op het Energie-eiland. Daarbij wordt met de energie die windmolens leveren water uit een reservoir omhoog gepompt naar het omringende zeewater. Als het windstil is, kan het totale systeem toch energie leveren omdat je dan zeewater weer via turbines in het reservoir terug kan laten lopen.

“Gevorderde leerlingen kunnen hier met een integraal de energieopslagcapaciteit van het eiland berekenen,” vertelt Sonneveld, “aan de hand van de verandering van het waterpeil in het reservoir. In de praktijk gebruiken de meeste leerlingen een eenvoudigere methode waarbij je met het gemiddelde waterpeil rekent.”

De auteurs van de module komen vanuit verschillende vakgebieden en hebben in groepjes de verschillende hoofdstukken geschreven. Daarin zit wiskunde, natuurkunde en scheikunde verwerkt plus een aantal maatschappelijke en economische onderwerpen. Ook ontwerpen komt aan bod. “Bij NLT worden voortdurend relaties gelegd tussen de vakken. Zo zien leerlingen dat je wiskunde nodig hebt om de natuurkunde te begrijpen. Maar het omgekeerde geldt ook. De afgeleide van de derdegraadsvergelijking die ze bij de Wet van Betz gebruiken, heeft twee nulpunten. Vanuit de natuurkunde moeten ze beredeneren welk nulpunt wel en welk nulpunt geen betekenis heeft. Zo leren ze om vanuit een concrete situatie een abstracte beschrijving te maken en abstracte oplossingen te toetsen aan de realiteit.”

**“Zo zien leerlingen dat je wiskunde nodig hebt om de natuurkunde te begrijpen. Maar het omgekeerde geldt ook.”**

### Significant beter

De leerlingen van Sonneveld vinden Energie-eiland een afwisselende module en vinden dat ze hun vakken echt nodig hebben om de module te kunnen doen. “Ze werken in groepjes waarin de een goed is in het ene vak en de ander in een ander vak. Het is interessant om te zien hoe ze samenwerkend leren. Als ze elkaar dingen kunnen uitleggen, hebben ze het echt onder de knie.” Sonneveld geeft zijn leerlingen een instaptoets voor en een uitstaptoets na een NLT-module. Zo constateert hij dat leerlingen wiskundige vaardigheden na afloop van een module significant beter beheersen dan ervoor. Door wiskunde op realistische vraagstukken toe te passen leren ze wat ze ermee kunnen doen. Sonneveld pleit er dan ook voor dat meer wiskundedocenten mee gaan draaien in het vak NLT.

Wilt u zelf aan de slag met (de wiskunde uit) de NLT-module ‘Energie-eiland’ dan kunt u het lesmateriaal downloaden op [http://betavak-nlt.nl/lesmateriaal/modules/gecertificeerde\\_vwo\\_modules/modules/Energie\\_eiland/](http://betavak-nlt.nl/lesmateriaal/modules/gecertificeerde_vwo_modules/modules/Energie_eiland/).