

# Water en vuur

## -Theorie en bouwbeschrijving van de Kelvindruppelaar-

### Samenvatting

Met behulp van een Kelvindruppelaar kunnen spanningen worden opgewekt die voldoende groot zijn om in lucht vonken te laten overspringen. In dit document wordt eerst wat algemene theorie over atmosferische elektriciteit, alsmede de theorie van de Kelvindruppelaar behandeld. Daarna wordt beschreven hoe de druppelaar gebouwd kan worden en welke voorzorgsmaatregelen moeten worden genomen om ook daadwerkelijk vonken te produceren.

### Inleiding

In de aardatmosfeer heerst altijd een elektrisch veld. In buienwolken kan de veldsterkte zo hoog oplopen dat de doorslagspanning van de lucht wordt overschreden. In het laboratorium zou dan een vonk overspringen, maar bij een wolk leidt dat tot een kettingreactie: de bliksem.

Een Kelvindruppelaar creëert op eenvoudige wijze een ladingsverschil dat groot genoeg is om de doorslagspanning van lucht te overschrijden, waardoor er een ontlading (vonk) optreedt. De druppelaar is redelijk eenvoudig zelf te maken, maar het vergt veel doorzettingsvermogen en tijd om ook daadwerkelijk de vonken te genereren. Hier zal een uitleg worden gegeven over de werking van de Kelvindruppelaar en een bouwbeschrijving worden gegeven van de opstelling die is gebouwd door de leerstoelgroep Meteorologie en Luchtkwaliteit van Wageningen University.

### Doel

Het bouwen van een Kelvin-druppelaar, die in staat is om zulke hoge spanningen te genereren dat de doorslag-veldsterkte van lucht wordt overschreden en er vonkjes ontstaan (micro-bliksem).

### Theorie

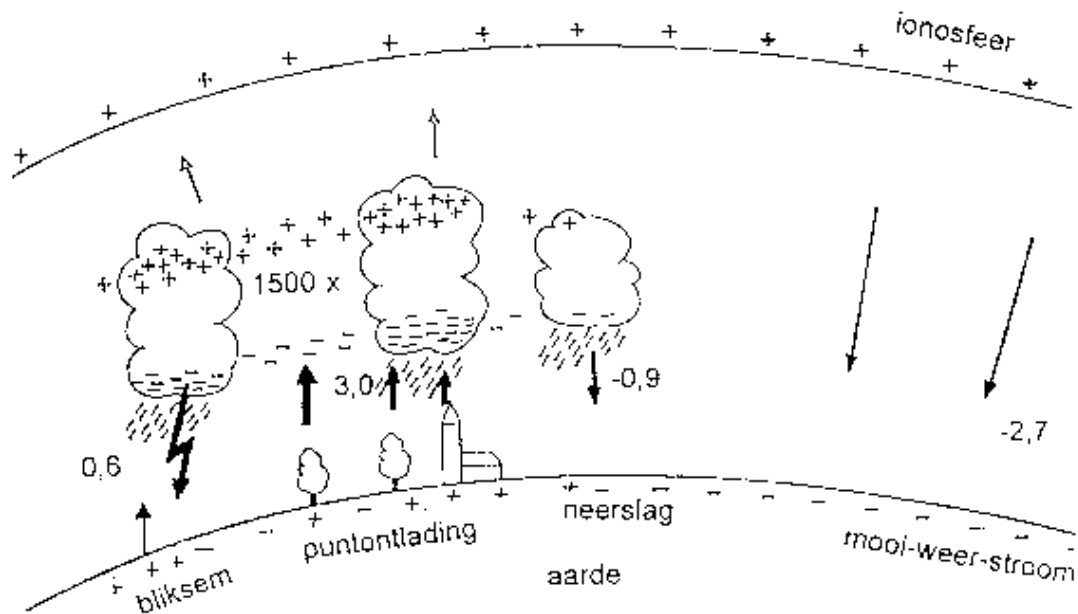
#### *Elektriciteit in de atmosfeer*

Zo rond 1750 toonde Benjamin Franklin aan dat onweer een elektrisch verschijnsel was, en dat het bij bliksem om een elektrische ontlading ging. Veel later ontdekte men dat onweer slechts een klein onderdeel is van een veel uitgebreidere elektrische activiteit in de atmosfeer (zie figuur 1).



# Water en vuur

## -Theorie en bouwbeschrijving van de Kelvindruppelaar-



Figuur 1: Stroomsterkten in microampère per vierkante km van het luchtelektrisch circuit; gemiddeld over de gehele aarde en over lange tijd (bron: [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl)).

Overal in de atmosfeer komen ladingsdragers voor: elektronen en positief of negatief geladen ionen. Ook kunnen ladingen gekoppeld zijn aan stofdeeltjes, waterdruppels of ijskristallen. Wanneer de positieve en negatieve ladingen op afstand van elkaar worden gebracht, door diverse processen van 'ladingscheiding' kunnen zeer hoge statische spanningen ontstaan, die zich uiteindelijk ontladen via bliksem.

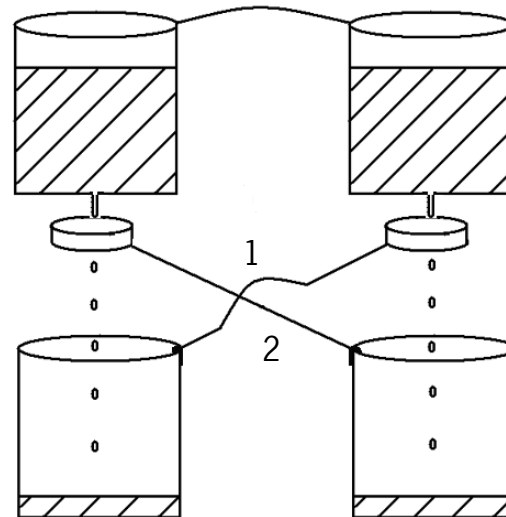
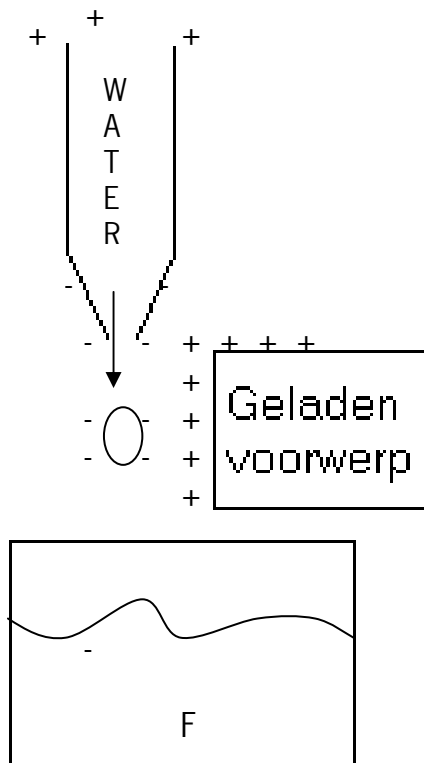
### Statische spanning

Als we met een zijden of wollen doek over een glazen of plastic staaf wrijven, dan worden er elektronen van het ene op het andere voorwerp overgebracht en krijgen ze een positieve of negatieve lading naargelang het voorwerp er elektronen bij krijgt of verliest. Als het gewreven voorwerp bestaat uit een isolerend materiaal, dan kunnen de aangebrachte elektronen niet door het materiaal weglekken en blijven aan het oppervlak. Ze blijven ter plekke of bewegen zich slechts over een heel kleine afstand. Een dergelijk geladen staaf of ballon kan voorwerpen aantrekken. De spanningen waarbij dit gebeurt zijn erg groot. Als een staaf een haar aantrekt of een papiertje kan optillen is het spanningsverschil zeker groter dan 1000 volt. Wanneer je met een ballon over je hoofd wrijft ben je in staat om enige tienduizenden volts spanningsverschil aan te leggen. Dit betekent echter niet dat er ook stroom loopt. Integendeel, als er enige stroom zou lopen dan zou het spanningsverschil meteen opgeheven zijn. Zodra het geladen voorwerp echter aangeraakt wordt, zullen de elektronen zich direct verplaatsen, om het ladingverschil op te heffen: De lading loopt weg door het lichaam naar de aarde en je kunt even een schok krijgen.

# Water en vuur

## -Theorie en bouwbeschrijving van de Kelvindruppelaar-

### De Kelvindruppelaar



Figuur 2: Theorie van lading scheiden wanneer water valt uit een reservoir, langs een geladen voorwerp, in een opvangbakje

Figuur 3: De opstelling van de Kelvindruppelaar

De Kelvindruppelaar genereert op een eenvoudige manier hoge spanningen. De 'motor' hierachter is de zwaarte-energie die vrijkomt bij vallend water. Door het laten druppelen van water door een metalen ring of blikje ontstaat een ladingsverschil van enkele duizenden volts. Dit ladingsverschil kan ontstaan door het precare ladingsevenwicht van water (met grote hoeveelheden positieve en negatieve ionen) uit balans te brengen. De Kelvindruppelaar is zo gebouwd dat een minieme verstoring van het ladingsevenwicht via positieve terugkoppeling uiteindelijk resulteert in grote ladingsverschillen.

Deze positieve terugkoppeling werkt als volgt (zie figuur 2): wanneer een elektrisch geladen voorwerp in de buurt van het druppelende water wordt gebracht, zal het elektrische veld van het geladen voorwerp de tegengesteld geladen ionen in het water uit het reservoir naar zich toetrekken en tegelijkertijd de gelijk-geladen ionen verder afstoten. Hierdoor wordt het water in de tip van de druppelaar tegengesteld (in de figuur: negatief) geladen aan het geladen voorwerp (in de figuur: positief). Het water dat naar beneden drupt, is dus ook negatief geladen en wanneer het opvangbakje goed geïsoleerd is zal dit ook negatief geladen worden.

Hoe de Kelvindruppelaar hier handig gebruik van maakt is geïllustreerd in figuur 3. Uit een reservoir dat elektrisch neutraal is druppelen twee straaltjes water. Eén van deze staaltjes

# Water en vuur

## -Theorie en bouwbeschrijving van de Kelvindruppelaar-

---

wordt negatief en de ander positief doordat de lading van het systeem altijd wel even uit balans is door invloeden van buiten. Wanneer dit ladingsverschil eenmaal tot stand is gekomen versterkt het zich alleen maar. Stel links is negatief geladen; dit water maakt het opvangreservoir negatief waardoor ook de ring rechts negatief wordt. Hierdoor zal er alleen positief water uit het reservoir rechts druppelen, dat er voor zorgt dat via het opvangbakje rechts, en de ring links, weer meer negatief wordt.

Dit systeem versterkt zichzelf, waardoor er een zeer hoge spanning tussen punten 1 en 2 kan ontstaan. Bij een spanningverschil hoger dan ongeveer 30000 volt per centimeter vindt er tussen punten 1 en 2 een ontlading door de lucht plaats.

### **Uitvoering**

#### *Materialen*

- een geïsoleerd statief
- 2 blikjes zonder bodem
- 2 blikjes met bodem (voor opvang)
- 1 metalen reservoir met in bodem twee kraantjes (of twee losse reservoirs met kraantje die geleidend met elkaar verbonden worden)
- stevige koperdraad

#### *Opstelling*

De Kelvindruppelaar van de vakgroep Meteorologie en Luchtkwaliteit is ontwikkeld naar aanleiding van vele vragen van middelbare scholieren.

De opstelling bestaat uit een teflon statief waaraan 1 reservoir met 2 kraantjes, 2 blikjes zonder bodem en 2 metalen opvangreservoirs zijn bevestigd. Isolatie is het belangrijkste van deze opstelling, elke vorm van elektrische geleiding tussen beide spanningskanten zorgt ervoor dat de proef mislukt. Figuren 4, 5 en 6 geven een duidelijk overzicht van de opstelling.

#### *Belangrijke punten waarop gelet moet worden tijdens het bouwen:*

- De bovenkant van de blikjes zonder bodem moet op dezelfde hoogte hangen als het punt waar de druppels uit het reservoir loslaten, zodat ladingscheiding mogelijk is.
- Beide opvangreservoirs moeten zeer goed van elkaar geïsoleerd zijn. Zorg dus dat hier een zeer goede isolator voor wordt gebruikt, bijvoorbeeld teflon. Zelfs plastic is te geleidend om het hoge spanningsverschil te handhaven. Zorg ook dat beide opvangreservoirs een voldoende hoogte ten opzichte van het tafelblad hebben.
- Voor een goede isolatie is het erg belangrijk dat alle onderdelen goed schoon gemaakt en droog zijn.



# Water en vuur

## -Theorie en bouwbeschrijving van de Kelvindruppelaar-

---



*Figuur 5: Detail van positionering van blikjes met kraantjes*

# Water en vuur

## -Theorie en bouwbeschrijving van de Kelvindruppelaar-

---

- Het weer speelt een belangrijke rol. Bij een hoge luchtvochtigheid is de lekstroom vaak te groot voor een goed resultaat. Het beste weer doet zich voor tijdens droge winterdagen.
- Het gebruik van hout moet worden vermeden. Hout is ten opzichte van kunststof een goede geleider doordat het met nat weer gemakkelijk water opneemt.
- Het spanningsverschil tussen beide ontladingspunten kan niet worden gemeten met een gewone voltmeter. Een voltmeter heeft geen oneindige weerstand, waardoor bij aansluiting de opstelling zichzelf zou ontladen. Een elektrostatische voltmeter kan wel worden gebruikt om de spanning te meten. Maar die voltmeter heeft echter maar een laag bereik (200 V). Een elektroscop kan goed worden gebruikt om te zien of zich überhaupt een lading opbouwt en of deze zich nog verder ontwikkelt. Een dergelijke spanningsdetector is onontbeerlijk bij het construeren van een Kelvindruppelaar.
- Om het hele proces in het begin te versnellen kan met behulp van een kunststof staaf al een lading op een van beide reservoirs worden aangebracht.
- De druppelsnelheid moet ongeveer 2 druppels per seconde zijn. Het is in ieder geval belangrijk dat er geen onafgebroken waterstraal stroomt.

### *Veiligheid*

De spanningen die gegenereerd worden zijn zeer hoog. Echter is het vermogen bijzonder laag. Bij mogelijk aanraking vloeit er niet veel lading, ook al is de spanning hoog. Je krijgt dus hooguit een onaangename schok. Om dit te voorkomen moet je er voor zorgen dat de opstelling ontladen is, voordat je hem aanraakt.

Dit experiment dient altijd uitgevoerd te worden onder begeleiding van een docent of toa. Wageningen University aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor schade die voortvloeit uit het verrichten van dit experiment buiten de campus van Wageningen University.

### **Suggesties voor vervolgonderzoek**

#### *Documentatie*

*Knetterende lichten. Onweer in natuurkundeles of profielwerkstuk.*

B.I. Michels, A.F. Moene, A.F.G. Jacobs. NVOX tijdschrift voor Natuurwetenschap op School 8 (2001). p. 411 – 417

Artikel over de natuurkundige achtergrond van onweer.

*Spanning tussen Hemel en Aarde.*

H.J. Dozeman, A.F.G. Jacobs. Meteorologica (2001). p. 25 – 30

Artikel over het aard-elektrisch veld en hoe dat wordt beïnvloed door het weer. Kopie van artikel via VWO-campus te verkrijgen.

<http://www.eskimo.com/~billb/emotor/Kelvin.html>



## Water en vuur

### -Theorie en bouwbeschrijving van de Kelvindruppelaar-

---

Site met veel aanvullende informatie over het hoe en wat van een Kelvindruppelaar.  
Moeilijke engelse site, maar met veel info.

[http://www.newphys.se/fnysik/3\\_1/Kelvin/index.html](http://www.newphys.se/fnysik/3_1/Kelvin/index.html)

Duidelijk site met iets minder diepgang.

<http://members.ozemail.com.au/~macinnis/scifun/elecmag.htm>

Site met een foto's van een voorbeeld.

### Oriëntatie op vervolgonderwijs

De atmosfeer en de elektrische eigenschappen van de atmosfeer komen aan bod in de specialisatie Meteorologie van de bacheloropleiding Bodem, Water, Atmosfeer.  
Kijk voor meer informatie op [www.wageningenuniversity.nl/bsc](http://www.wageningenuniversity.nl/bsc).

