

Bliksem!

Het saaie eind van een raar proces

NATUURKUNDE

Bliksem kent nog heel
veel raadsels.

Wetenschappers zien
„steeds vreemdere
dingen”.

Door onze medewerker
Laura Bergshoeff

'Gevaarlijk!" staat er in zwarte koeienletters op het lab van de Technische Universiteit Eindhoven. Luid gezoem klinkt wanneer stikstof vanuit een langwerpige fles naar een vat gepompt wordt, een soort grijze regenton met een raam erin. Warboelen aan kabels en knipperende lampjes maken van de ruimte een sciencefictionfilmset. „Raak niets aan”, waarschuwt natuurkundige Sander Nijdam. „Anders krijg je een flinke schok.” Nijdam's labassistent, een jonge man met rechthoekige bril, draait geconcentreerd aan een knop en zet de elektrische spanning aan. Vijftigduizend volt. Ter vergelijking, schrikdraad staat meestal onder duizend tot tienduizend volt. De lampen gaan uit. En dan: een flits.

Het is niet de ontzagwekkende bliksem tijdens een zomerse storm. De vertakkende bliksem in het lab in Eindhoven zit veilig opgesloten in het vat en is ongeveer zo klein als een hand. Een miniontleding. Eentje waar je dichtbij kunt komen om het

op je gemak te onderzoeken. „Echte onweerswolken zijn daar te gevaarlijk en te onvoorspelbaar voor”, zegt Nijdam.

Wat bliksemonderzoek zo aantrekkelijk maakt voor natuurkundigen, „is dat er nog zo veel is dat we er niet aan begrijpen”, gaat Nijdam verder. Elke seconde slaan er zo'n vijftig bliksemschichten in ergens op aarde. „En nog niemand weet precies hoe bliksem opstart.”

Hoe kan het dat we zulk frequent natuurgeweld nog niet begrijpen?

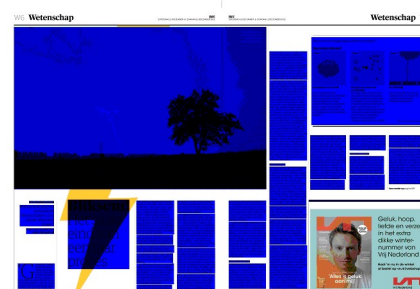
Het gaat in een flits voorbij. Boven zijn de deeltjes die onweer starten voor het menselijk oog onzichtbaar. En we kunnen niet door een onweerswolk heen kijken.

De afgelopen jaren komen antwoorden steeds dichterbij. „En tegelijkertijd wordt het juist steeds gekker”, zegt Ute Ebert terwijl ze voor een enorme boekenkast met bliksemboeken in haar werkkamer zit in Amsterdam. Ebert is natuurkundige aan het Centrum Wiskunde & Informatica (CWI) en bootst bliksem niet na in het lab, maar met wiskundige computermodellen. „Met betere meettechnieken zien we steeds vreemdere dingen in en rondom bliksem.”

Wat wetenschappers wél zeker weten is dat bliksem ontstaat door sterke elektrische lading in een onweerswolk. Die elektrische lading is het gevolg van botsende ijsdeeltjes in de wolk. De onweerswolken kunnen de elektrische lading niet meer aan en er ontstaat kortsluiting: de lading zoekt op brute wijze een kilometerslange weg naar buiten, soms richting de

aarde. Dat bliksem zo werkte, werd al rond 1750 geopperd door de Amerikaanse wetenschapper en *founding father* Benjamin Franklin. Om zijn hypothese te bewijzen, zou hij samen met zijn zoon William een vlieger met een metaaldraad hebben laten opstijgen in een onweerswolk. Er is wat controversie over of ze het experiment daadwerkelijk uitvoerden. Vast staat dat het niet de bliksem zelf was waar Franklin met zijn vlieger doorheen ging. Anders was hij wel geëlectrocuteerd.

Nu werken wetenschappers, in de traditie van Franklin, aan twee grote problemen rondom de natuurkunde achter het opstarten van de bliksem. Nijdam: „De eerste is hoe het kan dat de spanning in de onweerswolk hoog genoeg oploopt om uiteindelijk elektrische ontlading te laten ontstaan.” De tweede gaat over het allereerste deeltje dat de hele kortsluiting start. Er zijn wel theorieën. „Maar het is nog onzeker waar het deeltje precies vandaan komt. Dat moet nog uitgezocht worden.”



Kosmische deeltjes

In Eindhoven wijst Nijdam naar een camera naast het bliksemvat. „De camera gaat twintig miljoen keer per seconde aan en uit en maakt zo, door een klein raampje in het bliksemvat, heel veel foto's achter elkaar in verschillende belichtingen.” De monitor ernaast speelt de foto's van de bliksem achter elkaar af als een filmpje. De kleine bliksem strekt zich eerst uit naar beneden en na een tijdje vertakt die als een boomstam op zijn kop. „Deze ontlading wekken we zelf op, gewoon met een generator. In een onweerswolk heb je daar iets anders voor nodig. Daar ontstaat ontlading in drie stappen”, zegt hij terwijl hij drie vingers in de lucht steekt en aftelt. „Eén, het opladen van de wolk. Twee, het pad vrijmaken voor de elektrische ontlading. Drie, de ontlading zelf.”

Ijsdeeltjes en warme, opstijgende lucht vormen het ‘recept’ voor een elektrisch opgeladen wolk. De opstijgende lucht zorgt voor turbulentie in de wolk. Wanneer ijsdeeltjes in de turbulente onweerswolk botsen, wisselen ze elektronen uit. Dat zijn negatief geladen onderdelen van een atoom. De elektronen blijven plakken aan de zware hagelstenen in de wolk. Die zijn dan negatief geladen en de lichtere ijskristallen juist positief. Daarna zorgt de warme, opstijgende lucht en zwaartekracht voor een scheiding tussen de negatieve en positieve ijsdeeltjes. De opstijgende lucht neemt de lichte positief geladen ijskristallen mee omhoog en de zware negatief geladen deeltjes zakken door zwaartekracht naar beneden. Het gevolg is een elektrisch veld in de wolk: boven positief en onder negatief. „En met zo'n onstabiele situatie kan maar één ding gebeuren: de wolk wil ontladen, waarbij elektronen van de negatieve onderkant van de wolk naar een positieve kant schieten om de boel te stabiliseren. Meestal gebeurt dat binnen in de wolk. Soms van de onderkant van de wolk naar de aarde.”

Pad vrijmaken

Tot zo ver weten fysici het vrijwel zeker, maar de tweede stap, het pad vrijmaken voor de ontlading, wordt minder goed begrepen. Voor de bliksemschicht plaatsvindt, ontstaan kanalen van de wolk naar de aarde waar de elektronen in de derde stap doorheen kunnen schieten. Soms hebben die kanalen een diameter kleiner dan een millimeter en soms van enkele meters. Ze ontstaan wanneer de lucht onder de onweerswolk ioniseert. Nijdam: „Dat werkt ongeveer als volgt. In het elektrisch veld in de wolk beweegt een losgeslagen

elektron. Het losse elektron beweegt veel sneller dan de moleculen in de wolk.” En dan ontstaat er een kettingreactie. „De losse elektronen botsen tegen de lucht moleculen en bevrijden daarbij meer elektronen. Er blijven dan positieve ionen en nog meer losse negatieve elektronen over.” Ionisatie, heet dat. „Het probleem is nu dat niemand precies weet waar dat eerste losgeslagen elektron vandaan komt. Elektronen worden losgeslagen door elektronen die eerder zijn losgeslagen. Een kip-eiprobleem.”

Een verklaring waar Ebert en haar collega in 2015 op uitkwamen met behulp van computermodellen, is dat het eerste vrije elektron wordt losgeslagen door deeltjes met heel veel energie die van buiten het zonnestelsel komen. Door het heelal schieten continu van die deeltjes, ook richting de aarde. Dat is kosmische straling. Terwijl kosmische straling in rap tempo door de wolken scheert, zou het dat eerste elektron kunnen loshakken van een lichtmolecuul. Nijdam: „Een alternatief idee is dat het eerste losse elektron een overblijfsel is van een eerdere bliksem.”

In Eindhoven zet de labassistent de spanning uit en de lampen aan. Nijdam bestudeert het bliksemfilmpje op de monitor. „Hierop kan ik zien wanneer de ontlading in het vat startte en daaruit onderzoeken welke deeltjes er toen in zaten. In het vat zit ook kosmische straling. Het hakt overal dwars doorheen. Door de aarde, door mensen en ook door het vat. In het lab kan ik de deeltjes-samenstelling iets manipuleren. In computersimulaties kunnen we heel exact deeltjes toevoegen en weglaten. Met gegevens daaruit berekenen we wat de invloed van verschillende deeltjes is op de snelheid van de start van de ontlading.”

Hoewel natuurkundigen nog doorzoeken naar de afkomst van het eerste losse elektron, is het gevolg ervan in ieder geval helder. In de derde en laatste stap jakkeren de elektronen met een flits en een knal door een van de kanalen. Dat kan alleen als er in de tweede stap genoeg elektronen losgeslagen zijn om de ontlading te laten plaatsvinden.

Tien keer zo zwak

En dat is het tweede probleem. Om genoeg nieuwe elektronen van moleculen los te hakken, moeten de elektronen die al bevrijd zijn met heel veel snelheid door de wolk bewegen. En om genoeg snelheid te maken, hebben de elektronen een

heel sterk elektrisch veld nodig. „Het gekke is nu dat zulke sterke lokale elektrische velden nog nooit gemeten zijn in onweerswolken”, vervolgt Nijdam. „Nog nooit sinds de tientallen jaren dat we metingen doen in onweerswolken met ballonnen en vliegtuigen. De velden die we wel meten, zijn tien keer zo zwak als de velden die nodig zijn.” Er moet dus iets anders aan de hand zijn.

De Amerikaanse natuurkundige Joseph Dwyer werkt aan een theorie waarbij gammastraling de elektronen versnelt. Dat werkt ongeveer als volgt: de kosmische straling valt uiteen tot een elektron en zijn antideeltje, een positron. Het antideeltjespaar stoot elkaar af en daarbij schieten ze in rap tempo van elkaar weg. Wanneer de deeltjes botsen met andere elektronen, ontstaat er een nieuw gamma-deeltje dat weer uiteen kan vallen. Het resultaat: elektronen die met heel hoge snelheid heen en weer schieten. „De positron-feedback, kan de sleutel zijn tot het begrijpen van de initiatie van bliksem”, schrijft Dwyer in *Geophysical Research Letters* uit 2005.

Veel te exotisch, noemt Nijdam de hypothese. „Voor deze oplossing is echt een héél lang lokaal elektrisch veld nodig”, zegt hij met zijn armen wijd boven zich uitgestrekt. „De elektronen en positronen hebben lange banen, een soort landingsbanen, in tegengestelde richtingen nodig om te versnellen. Die moeten wel kilometerslang zijn. Het lijkt mij heel onwaarschijnlijk dat iedere onweerswolk vol zit met kilometerslange elektrische velden.”

Wat is volgens Nijdam dan wel een logische verklaring voor de (te) snelle elektronen? „Geen exotische deeltjes van buitenaf, maar gewoon de ijskristallen in de onweerswolken.” Franklin zou bijna drie eeuwen geleden met zijn vliegerexperiment al aangetoond hebben dat een elektrisch veld rondom een scherpe punt, zoals een naald, lokaal sterker is. Op basis van dit inzicht, bedacht hij overigens de bliksemafleider. „Ijskristallen hebben scherpe, naaldachtige randen. Die kunnen lokaal het elektrisch veld versterken en de elektronen daar versnellen.”

Nepijskristallen

Uit een zwarte doos in het lab haalt Nijdam allerlei soorten nepijskristallen. Hij rijgt een visdraad door de gaatjes in een aantal van hen. Als een soort parelketting.

„Het was niet verrassend dat we

een aantal jaar geleden in het lab zagen dat de kleine namaakbliksem eerder startte toen we ijskristallen in het vat hingen”, zegt Nijdam. „Dat was wat we verwachtten. Ook de bliksemmodellen van Ebert lieten in 2015 zien dat de ontlading startte naast een hagelsteentje, zolang het hagelsteentje scherp genoeg was. Ebert: „De volgende vraag is nu, hoe je een kleine ontlading naast een hagelsteentje verder opschaaft tot de kilometerslange bliksems.”

Terwijl wetenschappers door zoeken naar antwoorden, komen er de laatste jaren ook steeds meer nieuwe vragen bij. Ebert: „Zo stond de bliksemgemeenschap zo’n twee decennia geleden op zijn kop toen we op satellietbeelden zagen dat bliksem felle gammaflitsen uitstraalt.” Gammastraling heeft nog veel meer energie dan röntgen. Van gammastraling werd eerder altijd gedacht dat het op aarde alleen geproduceerd kon worden in kernreactoren en in natuurlijke radioactiviteit. Buiten de aarde ontstaat het bij bijvoorbeeld zwarte gaten en exploderende sterren. „De gammaflitsen zijn lastig te meten vanaf de grond, omdat de lucht tussen de wolken en de grond de gammastraling absorbeert. Wel in speciale onweerswolken in Japan bijvoorbeeld, die heel laag boven de grond hangen. Daar nemen wetenschappers de flitsen nu ook waar met sensoren. Ebert: „Een van de grote raadsels van nu is nog altijd hoe bliksem die gammaflitsen met enorm veel energie maakt.”

Radioactieve deeltjes

„En het wordt nog vreemder”, vervolgt Ebert. „De eerste flitsen zijn binnen enkele milliseconden voorbij, maar in 2017 zagen we in onze computermodellen dat de gammaflitsen radioactieve deeltjes maken in de onweerswolk. Het gevolg daarvan is dat er nog meer gammaflitsen ontstaan die langer duren dan de eerste, korte gammaflitsen.” Dat werkt ongeveer zo: „Gammaflitsen hakken neutronen los van zuurstof- en stikstofatomen in de lucht. Neutronen zijn onderdeel van de kern van een atoom. De losse neutronen kunnen de atoomkern van andere luchtatomen binnendringen. En daarbij ontstaan weer nieuwe, langere gammaflitsen.”

Ebert en haar collega’s waren blij toen in dezelfde week van het publiceren van hun modelresultaten Japanse wetenschappers de effecten van radioactieve deeltjes voor

het eerst ook in een onweerswolk waarnemen, terwijl ze niets van het onderzoek van het CWI afwisten. Is de gammastraling niet gevaarlijk? Ebert denkt van niet. „Er is, zover we weten, nog nooit iemand overleden aan de gammagloed rondom bliksem. En mocht je te dicht bij een blikseminslag staan, dan is de gammagloed niet je grootste zorg.”

We lopen door de gangen van het CWI en Ebert stopt bij de werkkamer van een jonge bliksemmodelleur. Geconcentreerd kijkt hij naar de computercodes in vrolijke kleuren op zijn beeldscherm. Op een whiteboard voor hem staan wiskundige formules. Ebert: „De volgende stap is nu om het gat tussen onze computermodellen en de labexperimenten van Nijdam en zijn collega’s te dichten. Als computermodelleers zijn we goed in het begrijpen en nabootsen van de microscopische processen in de lucht. In Eindhoven begrijpen ze vooral wat er gebeurt op grovere schalen. We hebben ook alle schalen daartussen nodig om te begrijpen wat er allemaal voor het bliksemen in de lucht gebeurt en hoe bliksem ontstaat.

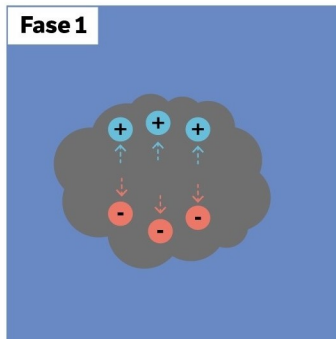
De felle flits die je tijdens een onweersbui uit het raam ziet, is slechts de saaie eindfase.”

Ontlading begint naast een scherp ijskristal

Hoe ontstaat bliksem?

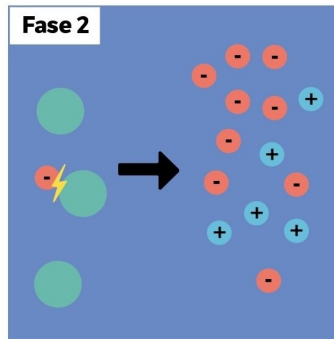
Waar komt het losgeslagen elektron vandaan?

Hoe ontstaat bliksem?



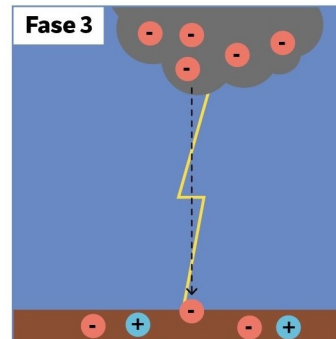
Het opladen van de wolk

Zware negatief geladen ijskristallen zakken naar beneden door zwaartekracht en lichte positief geladen ijsdeeltjes worden met warme, opstijgende lucht meegenomen omhoog. De bovenkant van de wolk is nu positief geladen en de onderkant negatief.



Het pad vrij maken voor de ontlading

Een losgeslagen elektron botst vervolgens met lucht moleculen. Daarbij worden meer elektronen losgeslagen. Een kettingreactie: er komen steeds meer elektronen vrij en de lucht ioniseert (= er blijven dan positieve ionen en nog meer losse negatieve elektronen over). Waar het losgeslagen elektron vandaan komt is overigens nog steeds een raadsel.



De ontlading

Door de ionisatie van de lucht ontstaan kanalen van de wolk naar de aarde en kan de ontlading plaatsvinden.

NRC 111221 / DJ / Bron: Sander Nijdam



Hevig onweer in de buurt van Ede, in de zomer van 2015.
FOTO STEFAN KOOPS/ANP