



## 1 Introductie

HiSPARC heeft meetstations op verschillende scholen in heel Nederland staan. Met deze meetstations kunnen Extensive Air Showers (EAS) geanalyseerd worden. De stations variëren in het aantal detectorplaten en de vorm waarin die detectoren zijn opgesteld. De stations hebben twee of vier detectoren. Bij een station met vier detectoren kan de vorm een driehoek (zie verderop Figuur 3.2), parallellogram of vierkant zijn. Bij een station met twee detectoren liggen ze naast elkaar, waarbij de afstand soms kan variëren. Met alle stations zijn EAS te meten, maar stations met vier detectorplaten geven meer informatie over de richting van een EAS.

## 2 Richting reconstructie met twee detectoren

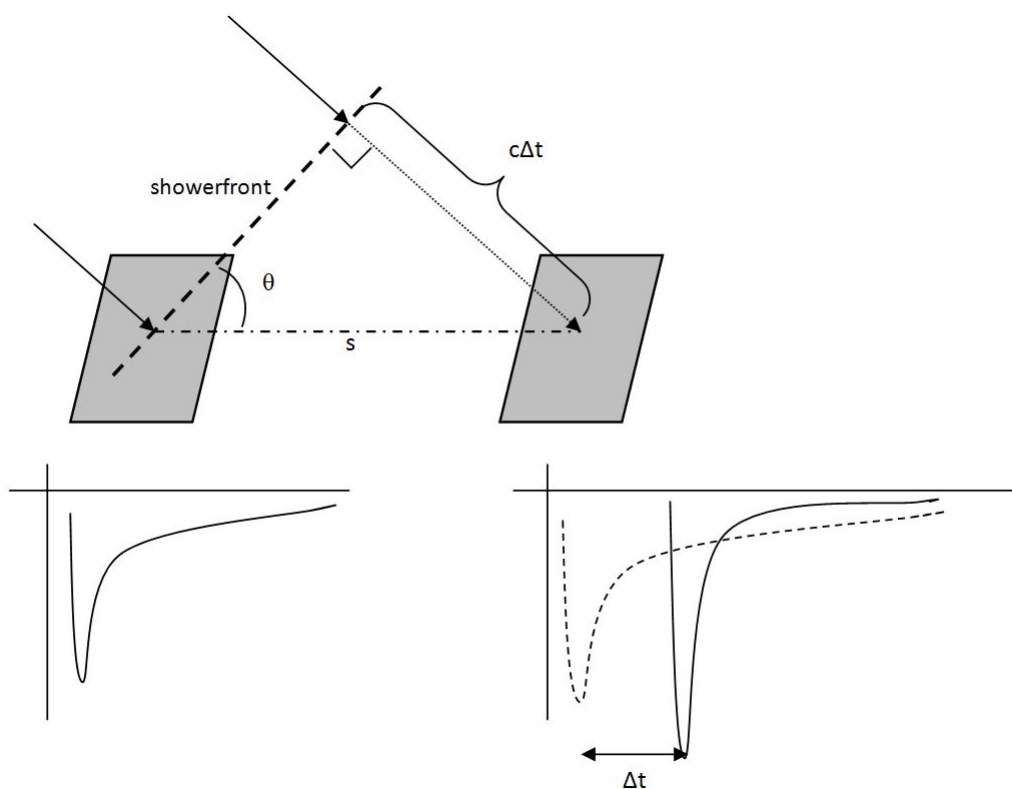
Een EAS wordt op aarde geregistreerd door detectorplaten in een HiSPARC-station. Elke detector heeft een eigen detectietijd voor de EAS. Uit deze tijdsverschillen is te reconstrueren uit welke richting de shower is gekomen. Er zijn echter belangrijke verschillen tussen hoekreconstructie met een station met twee detectorplaten en een station met vier detectorplaten. Bij een station met twee platen is de hoekreconstructie wat beperkter dan bij een station met vier platen. In Figuur 2.1 kun je zien dat het *shower front* twee detectorplaten passeert en het signaal van de tweede plaat een  $\Delta t$  later arriveert. Uit verschil tussen de aankomsttijd tussen de twee platen en de aanname dat het *shower front* met de lichtsnelheid beweegt, kan eenvoudig een hoek van het *shower front* met de platen uitgerekend worden. Deze hoek geeft echter geen uitsluitel over de richting vanwaar de lawine kwam. De berekende hoek is namelijk rotatie symmetrisch om de *s*-as, zie Figuur 2.2.

Een richtingbepaling van een *shower front* heeft minimaal drie detectoren nodig. Dat komt omdat een vlak pas volledig is bepaald door drie punten van het vlak. Om een reconstructie van richting te maken is dus een derde detector nodig. Scholen, die een station met twee detectoren hebben, kunnen ook een event gebruiken wat in coïncidentie is (dus vrijwel gelijktijdig gebeurt) met een event gemeten door een ander station in de buurt, zodat een ander station het derde benodigde punt kan leveren.

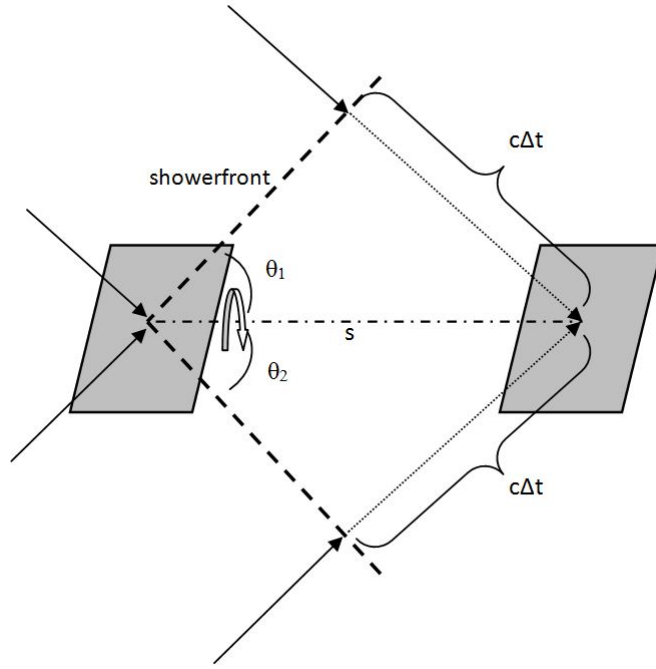
## 3 Richting reconstructie met drie of meer detectoren

In Figuur 3.1 is een situatie weergegeven van een vlak *shower front* waarvan de normaal (de shower as) een zenithhoek ( $\theta$ ) heeft met het (x,y)-vlak en een azimuthhoek( $\phi$ ) met de x-as.

Het front passeert detector 1. Een bepaalde tijd  $\Delta t_1$  later is het front bij detector 0. Evenzo is  $\Delta t_2$  het tijdsverschil tussen detector 0 en detector 2. Voor de hoekreconstructie zijn minimaal drie detectoren nodig. In de HiSPARC-opstelling zijn dit óf de drie buitenste detectorplaten van een station óf drie stations die dezelfde EAS meten. Al eerder is een dergelijke hoekreconstructie



**Figuur 2.1** – Het *shower front* (stippellijn) passeert de linker detector (grijs vlak) eerst. Een bepaalde tijd  $\Delta t$  later is het front bij de rechter detector. Het front reist met de lichtsnelheid en heeft dus schuin de afstand  $c\Delta t$  afgelegd. Eronder staan de signalen die de detectoren meten, die in de rechter detector komt dus  $\Delta t$  later, en kan een andere sterkte hebben.



**Figuur 2.2** – Een shower vanuit richting  $\theta_1$  heeft dezelfde  $c\Delta t$  als een shower uit richting  $\theta_2$ , die vanuit de aarde lijkt te komen. Het inkomende *shower front* is over alle hoeken tussen 0 en  $2\pi$  te roteren om s-as, waarbij de invalshoekhoek van de shower nog steeds klopt met bijhorende gemeten grootheden  $s$  en  $\Delta t$ . Met twee platen kun je de richting vanwaar de shower komt dus niet bepalen.

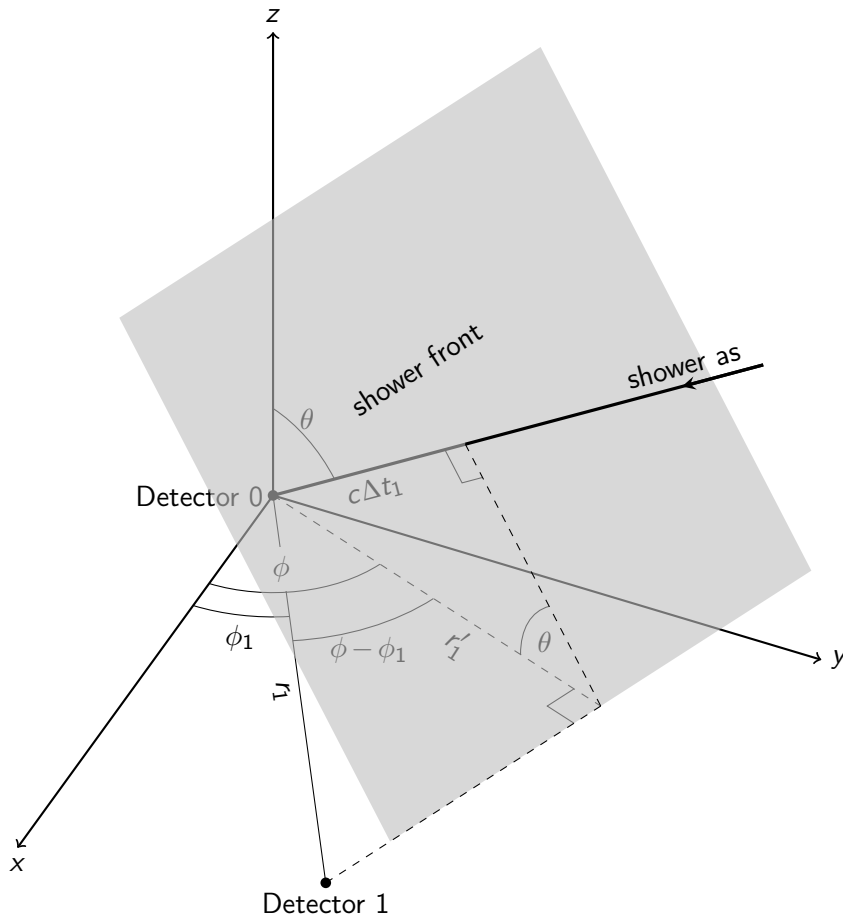
uitgevoerd met de volgende vergelijkingen, afgeleid door D. Fokkema [1]. Verdere uitleg over de richting reconstructie van een shower is te vinden in RouteNet<sup>1</sup> onder "Richting reconstructie primair deeltje".

$$\tan(\phi) = \frac{r_1 \Delta t_2 \cos \phi_1 - r_2 \Delta t_1 \cos \phi_2}{r_2 \Delta t_1 \sin \phi_2 - r_1 \Delta t_2 \sin \phi_1} \quad (3.1)$$

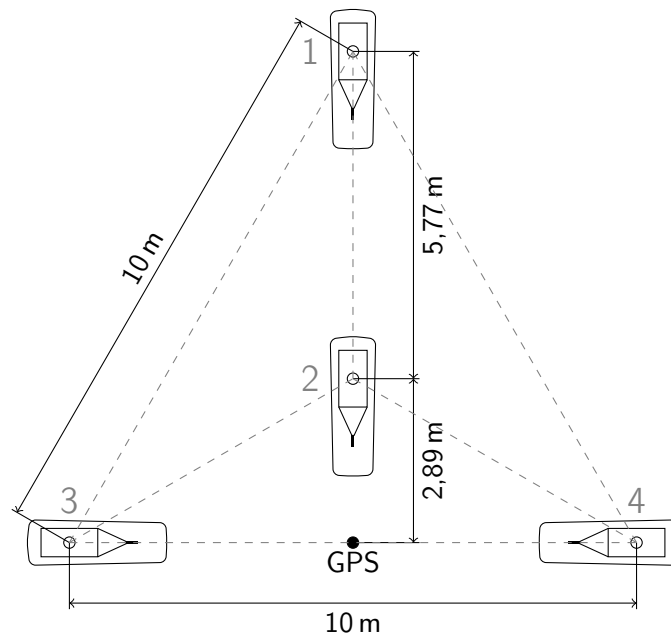
$$\sin(\theta) = \frac{c \Delta t_1}{r_1 \cos(\phi - \phi_1)} \quad (3.2)$$

Hierin is  $\phi_1$  de hoek tussen de detector 0 en detector 1 en  $r_1$  de afstand tussen deze detectoren.  $\phi_2$  is de hoek tussen detector 0 en detector 2 en  $r_2$  de afstand tussen deze detectoren.  $c$  is de lichtsnelheid.

<sup>1</sup>Te vinden op de site: <https://docs.hisparc.nl/routenet/routenet.html>



**Figuur 3.1** – Het *shower front* beweegt langs de *shower as* bereikt detector 1. Een bepaalde tijd  $\Delta t_1$  later is het front bij detector 0. Figuur overgenomen uit [1].



**Figuur 3.2** – Opbouw van een vier detectorstation. De detectoren op de hoekpunten liggen op een gelijkzijdige driehoek met zijdes van 10 m. De detectoren zijn ook genummerd, dit wordt bepaald door hoe ze aan de HiSPARC elektronica verbonden zijn.

Detector	Aankomsttijd
1	0,0 ns
3	7,6 ns
4	9,2 ns

**Tabel 1** – Aankomsttijden van een shower gedetecteerd door station 501. Detector 2 is weggelaten om dat het nauwkeuriger is de hoekpunten van de driehoek te gebruiken.

**Opdracht 1** Richting bepaling met een station. Bekijk tabel 1 met een meting van de aankomsttijden van een *shower front* bij drie detectoren van één station. De aankomsttijden zijn gegeven in ns. De detectoren van het station zijn opgesteld zoals in Figuur 3.2. Bereken hoek  $\phi$  en hoek  $\theta$  met behulp van de gegevens in tabel 1.

---



---



---



---

## Referenties

- [1] D.B.R.A. Fokkema, *The HiSPARC Experiment, data acquisition and reconstruction of shower direction*, PhD. thesis 2012