


Inhoud

Hoofdstuk 20, Bliksem

1. Beschrijving 20-1
 - 1.1 benaming van de basisgrootheid 20-1
 - 1.2 definities, omschrijving van de begrippen 20-1
 - 1.2.1 atmosferisch elektrisch stroomcircuit 20-1
 - 1.2.2 onweer 20-1
 - 1.2.3 bliksem 20-2
 - 1.2.4 donder 20-3
 - 1.2.5 wolk – wolk ontladingen 20-3
 - 1.2.6 wolk – grond ontladingen 20-3
 - 1.3 grootheden met bijbehorende eenheden 20-7
 - 1.4 elementcodes 20-8
2. Operationele eisen 20-9
 - 2.1 bereik 20-9
 - 2.2 waarneemresolutie in verband met berichtgeving 20-9
 - 2.3 vereiste nauwkeurigheid 20-9
 - 2.4 vereiste waarneemfrequentie en -tijdstippen 20-10
 - 2.5 vereiste data-aanwezigheid per specifieke periode 20-10
3. Instrumenten en techniek 20-11
 - 3.1 techniek en specificaties 20-11
 - 3.1.1 historie 20-11
 - 3.1.2 globale Systeembeschrijving 20-12
 - 3.1.3 plaatsbepaling 20-13
 - 3.1.4 discriminatie 20-14
 - 3.1.5 stroomsterkte 20-15
 - 3.1.6 nauwkeurigheid systeem 20-15
 - 3.2 Data uitvoer 20-15
 - 3.2.1 bliksemdata in HDF5 formaat 20-15
 - 3.2.2 FLITS-beeldproduct en opslag beelddata in HDF5 formaat 20-16
 - 3.2.3 dataverwerking elektrische ontladingen ten behoeve van weercode 20-16
 - 3.2.4 datagebruik 20-17
 - 3.3 onderhoud- en calibratieprocedures 20-18
 - 3.3.1 procedures 20-18
 - 3.3.2 onderhoudschema 20-19
4. Procedures 20-21
 - 4.1 procedures bij uitval automatische waarnemingen 20-21
 - 4.2 procedures voor achteraf validatie 20-21
 - 4.3 procedures voor inspectie 20-21
5. Herleiding van parameters: dataherleiding van lokalisaties en discriminaties 20-23
 - 5.1 waarnemen van bliksemontladingen met radiofrequente golven 20-23
 - 5.2 lokalisatie van bliksemontladingen en inslagen 20-23
 - 5.3 discriminatie van bliksemontladingen en inslagen 20-26
 - 5.4 afleiding van de stroomsterkte 20-26



- 
- 6. Opstellingseisen en omgevingscondities 20-27
 - 6.1 opstellingseisen en –voorzieningen 20-27
 - 6.2 condities m.b.t. omgeving en meetlocatie, c.q. representativiteit waarnemingen 20-27
 - 6.3 condities mbt electromagnetische omgeving 20-28

Referenties 20-31



Bliksem

1. Beschrijving

1.1 benaming van de basisgrootheid

De WMO spreekt van “atmospherics”. Hiermee wordt bedoeld het stelsel van electromagnetische golven, die het gevolg zijn van bliksem ontladingen (lightning discharges) in de atmosfeer. Bliksemdetectie is gericht op het lokaliseren van de bronnen van deze atmospheric, namelijk de bliksemflitsen (flashes). {WMO, no. 8, *Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, part II, chapter 7, Locating the sources of atmospheric, WMO, Genève, 1996, ref.14*}

De benaming van het waar te nemen meteorologische fenomeen is “Bliksem” (internationale aanduiding: “Lightning”).

1.2 definities, omschrijving van de begrippen

{zie ook: “Luchtelektriciteit en onweer”, H.R.A. Wessels, KNMI, de Bilt, gepubliceerd in: *Zenit*, 17, 1990, blz.258-264, ref.1}

1.2.1 atmosferisch elektrisch stroomcircuit

Onweer is onderdeel van een uitgebreide elektrische activiteit in de atmosfeer. Men spreekt in dit verband van het luchtelektrisch stroomcircuit. In de atmosfeer komen ladingsdragers voor, zoals elektronen en positief of negatief geladen moleculen, ionen genaamd. Dergelijke ladingen worden veroorzaakt door kosmische stralen en -in mindere mate - door natuurlijke radioactiviteit. Tevens kunnen ladingen gekoppeld zijn aan stofdeeltjes, waterdruppels of ijskristallen. De vaste aarde en de oceanen zijn goede geleiders. De geleidbaarheid in de onderste 20 km van de atmosfeer is echter slecht. Vanaf ca. 50 km hoogte is er sprake van een spectaculair toenemende ionisatie. Deze laag is de ionosfeer. De ionosfeer heeft een continu spanningsverschil van +300000 volt ten opzichte van het aardoppervlak: het zo geheten mooi weer veld. Ondanks de slechte geleiding van lucht is er toch sprake van een kleine lekstroom tussen ionosfeer en aarde. Deze stroom maakt deel uit van het luchtelektrisch circuit. De lekstroom uit de ionosfeer bedraagt gemiddeld slechts 2.7 microampère per vierkante km aardoppervlak. Over de hele aarde gerekend is de totale stroomsterkte 1400 ampère. De stroom wordt gegenereerd door een 'batterij' in het luchtelektrisch circuit, namelijk alle onweersbuien die op een bepaald moment op de hele aarde aanwezig zijn, gemiddeld ca. 1500. Omdat die buien een totale lekstroomsterkte van 1400 ampère in stand houden laadt een gemiddelde onweersbui de ionosfeer derhalve met ca. 1 ampère.

1.2.2 onweer

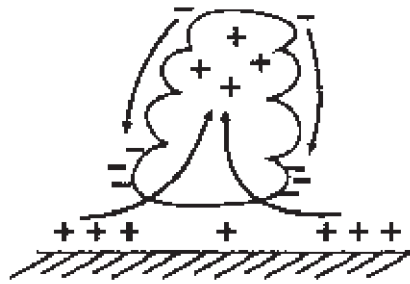
In sterk stijgende luchtstromingen kunnen buien ontstaan: daarbij is onweer mogelijk. Volgens de Internationale Wolkenatlas (*WMO no.407, International cloud atlas, WMO, Genève, 1987, ref.15*) is de definitie van onweer: “Eén of meer plotselinge elektrische ontladingen, waarneembaar als een lichtflits (bliksem) en een scherp rommelend geluid (donder)”. Men spreekt van weerlicht, als de bliksem in of achter een wolk oplicht, zodat het eigenlijke bliksemkanaal onzichtbaar blijft.

Wat onweer betreft, onderscheidt men warmtebuien, die bijvoorbeeld boven zonbeschenen grond ontstaan en frontale buien, die te maken hebben met langstreckende storingen (depressies, fronten) in de atmosfeer. In beide soorten buien gebeurt van alles met druppels en ijskristallen: verticale bewegingen, onderlinge botsingen, bevroering of smelten. Bij die processen kan op allerlei manieren overdracht van lading plaats vinden.

In de meeste buien verzamelt zich positieve lading boven in de wolken en de negatieve lading onder in de wolken. Het spanningsverschil tussen beide ladingen kan wel 300 miljoen volt bedragen, zodat de top sterk positief is ten opzichte van de ionosfeer en de onderzijde negatief ten opzichte van aarde. Aldus wordt de toestand gecreëerd die de opwaartse stroom veroorzaakt en dus uiteindelijk de oplading van de ionosfeer. Het gaat hierbij om drie processen:

- puntontlading (vanuit hoge objecten als torens en bomen): gemiddeld 3 microampère per vierkante km opwaarts;
- ontlading via bliksem: gemiddeld 0.6 microampère per vierkante km opwaarts;
- 0.9 microampère per vierkante km neerwaarts in de lading die met vallende neerslag de aarde bereikt.

Netto totaal opwaarts dus 2,7 microampère per vierkante km.



Figuur 1. Verplaatsing van geladen deeltjes bij de vorming van stapelwolken.

Verskillende mechanismen kunnen leiden tot ladingsscheiding. De belangrijkste voorwaarde voor het ontstaan van een onweerswolk is de sterke opstijgende luchtstroom.

1.2.3 bliksem

De ladingsverdeling in de onweerswolk hoeft op zichzelf nog niet tot het ontstaan van plotselinge ontladingen, de bliksems, te leiden. Het gaat om een scala van factoren en triggers die uiteindelijk de bliksem veroorzaken. Door een onregelmatige verdeling van de ladingen in de wolk kan plaatselijk vonkvorming optreden. Hierdoor vindt dan ionisatie plaats en neemt de geleiding sterk toe. De hoogste spanningsverschillen verplaatsen zich waardoor elders weer vonken ontstaan en herhaalt zich het proces. Deze kettingreactie leidt tot een zichzelf voortplantend geleidend kanaal, de zogenaamde voorontlading. Deze voorontlading is een kanaal c.q. stelsel kanalen gevuld met lading. De daalsnelheid van de voorontlading is ca. 1500 km/sec. Eén of meer takken van de voorontlading kunnen dicht bij de grond komen, bijvoorbeeld op 100 m hoogte. Het kanaal heeft dan ongeveer de elektrische spanning van de wolk en de veldsterkte (volt per meter hoogteverschil) boven de grond loopt enorm op. Met name vanuit spitse punten kan dan krachtige vonkvorming in de richting van het naderende voorontladingskanaal optreden. Men noemt dit om begrijpelijke redenen de vangontlading. De vangontlading is een stelsel vonken vanuit spitse punten. Zodra de vangontlading contact maakt is er een kort-



sluiting ontstaan tussen de ladingscentra in wolk en aarde. Door grote elektronenverplaatsing van de wolk naar de aarde vindt dan de hoofdontlading plaats. Dit verschijnsel, dat met hevig oplichten gepaard gaat, verplaatst zich met ca. 100000 km/sec. Vanwege de snelle herverdeling van lading in de wolk kan dit bliksemproces zich een aantal malen herhalen. Wat als één bliksem wordt waargenomen, bestaat dus vaak uit een aantal zogenaamde 'deelbliksems'.

1.2.4 donder

De hoge temperatuur van het bliksemkanaal, 30000 °C, wordt in zeer korte tijd bereikt. De lucht in het kanaal zet zo snel uit, dat men van een explosie kan spreken. Een scherpe explosie-knal horen we dan ook bij een nabije inslag.

Op grotere afstand gaat het effect van de betrekkelijk lage geluidssnelheid, ruim 300 m/sec, een rol spelen. Indien het verste deel van het bliksemkanaal 5 km verder weg is dan het meest nabije deel, zal de donder minstens 15 sec aanhouden. Echo's kunnen het rollend effect van de donder nog versterken.

1.2.5 wolk – wolk ontladingen

Deze betreffen bliksems die niet de grond bereiken. Met name als de wolkenbasis hoog is, zoals in de tropen, of in ons land op hete zomerdagen, vinden de meeste ontladingen in de wolken plaats. Soms is dit binnen één wolk, soms tussen verschillende wolken. De zo gevormde bliksems kunnen soms wel 100 km lang zijn.

1.2.6 wolk – grond ontladingen

Men spreekt bij wolk – grond ontladingen ook van “inslagen” of “bliksem-inslagen”.

Vier typen worden onderscheiden: negatief neerwaarts, negatief opwaarts, positief neerwaarts, positief opwaarts.

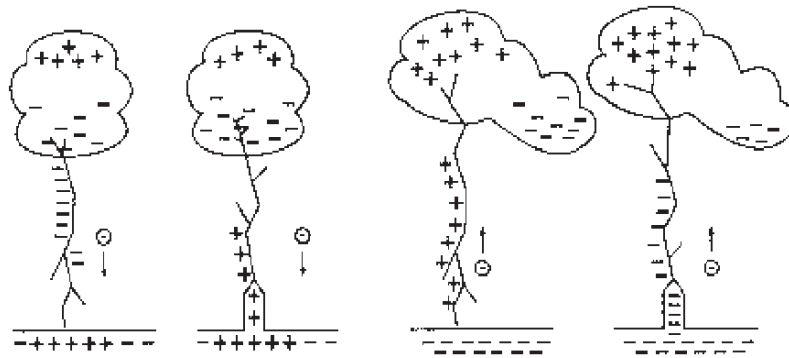
- *negatief versus positief (negatief: elektronen van wolk naar aarde; positief: elektronen van aarde naar wolk)*

Gewoonlijk bevindt zich de negatieve lading in de wolk boven het aardoppervlak. Er ontstaat dan een elektronenstroom van wolk naar aarde, waarbij men dan spreekt van een negatieve ontlading. Zo'n ladingsverdeling in de wolk hoeft echter niet altijd het geval te zijn. Als de wolktop bijvoorbeeld door de wind wegdrijft ten opzichte van de basis, kan ook een positieve lading min of meer vrij boven de grond optreden en zich naar de aarde ontladen. Dit pleegt vooral bij koud weer te gebeuren, in ons land dus vooral in herfst en winter. Deze voorkeur is niet onaannemelijk, omdat zich dan het -10 à -20 graad Celsius niveau met positieve lading op hoogten van slechts 2 à 3 km bevindt en niet op 4 à 6 km zoals in de zomer. Hierbij transporteren de ontladingen elektronen omhoog, zodat de plusstroomrichting naar de aarde gericht is. Men noemt dit positieve ontladingen. Kenmerkend voor positieve ontladingen is voorts de afwezigheid van meervoudige ontladingen. Dit houdt mogelijk verband met de mate waarin elektronen uit het aardoppervlak kunnen worden vrijgemaakt.

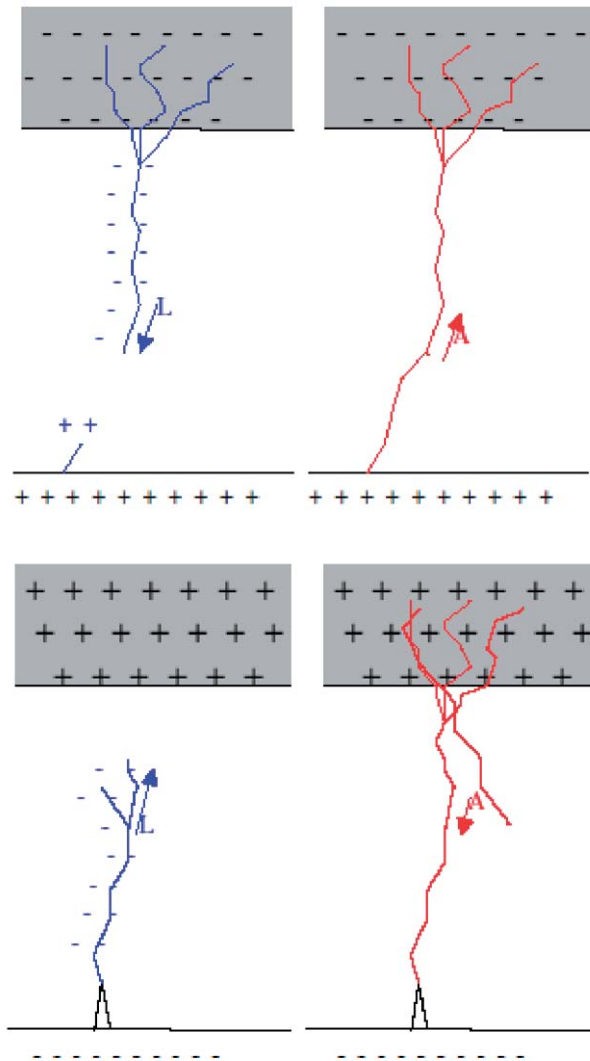
- *neerwaarts versus opwaarts (neerwaarts: voorontladingskanaal verplaatst zich vanuit de wolk neerwaarts richting aarde; opwaarts: voorontladingskanaal verplaatst zich vanuit het aardoppervlak opwaarts richting de wolk)*

Gewoonlijk verplaatst het voorontladingskanaal zich vanuit de wolk neerwaarts richting de aarde. Indien de onweersbui over ongelijk terrein trekt, kan de veldsterkte boven de hoogste toppen (uitsteeksels, berg- of heuveltoppen in geaccidenteerd terrein, etc.) zo hoog oplopen dat de voorontlading daar begint

en zich opwaarts verplaatst tot in de wolken. Dergelijke bliksems zijn minder hevig dan natuurlijke bliksems boven egaal terrein. Bliksems met beide typen voorontladingen (neerwaarts, c.q. opwaarts) komen zowel bij positieve als negatieve wolken voor, zodat we in totaal - gelet op ladingsverdeling en beginpunt - 4 typen bliksems kunnen onderscheiden. Zie figuur 2.



Figuur 2. Vier typen blikseminslagen: negatief neerwaarts, negatief opwaarts, positief neerwaarts, positief opwaarts.



Een gemiddelde bliksem haalt ca. 30 kiloampère. Bij positieve bliksems komen soms waarden van 300 kiloampère voor. Hoe sneller de stroomsterkte stijgt, hoe meer storing of schade de bliksem in bijvoorbeeld nabije elektronische apparaten kan veroorzaken, ook al worden deze niet zelf getroffen. Deze uitwerking op afstand heet inductie.

1.3 grootheden met bijbehorende eenheden

De detectie van een ontlading betreft de registratie van een aantal grootheden die de ontlading kenmerken. De volgende grootheden zijn per ontlading van operationeel belang:

<i>tijdstip</i>	<i>datum/tijd</i>
longitude	geografische lengte
latitude	geografische breedte
type gebeurtenis	CC-ontlading; CG-inslag negatief; CG-inslag positief {negatief versus positief: zie par.1.2.6; CC: cloud – cloud discharge (wolk – wolk ontlading); CG: cloud – ground discharge (wolk – aarde ontlading)}
positie afwijking	mogelijk lokalisatie afwijking igv CG inslagen
stijgtijd	stijgtijd van geïnduceerde stroom igv CG inslagen
daaltijd	daaltijd van geïnduceerde stroom igv CG inslagen
stroom	stroomsterkte van CG inslag

Een serie ontladingen wordt opgeslagen in HDF5 format (Hierarchical Data Format version 5). Het bestand bevat hierbij de volgende gegevens:

- Aantal geregistreerde ontladingen in gespecificeerd tijdsbestek;
- Referentie datum/ tijd met betrekking tot begin van gespecificeerd tijdsbestek;
- Set ontladingen, waarbij per ontlading de data van bovengenoemde grootheden is opgeslagen (datum/ tijd is genoteerd als time offset ten opzichte van referentie datum/tijd).

{Zie verder par. 3.2 en KNMI HDF5 Data Format Specification V3.5, Hans Roozkrans, Iwan Holleman, KNMI Intern Rapport, IR 2003-05, KNMI, De Bilt, 2003, ihb par. 5.8 Discharge group; ref.21}

De gebruikte eenheden zijn conform het internationale stelsel van eenheden (SI)

{Het Internationale Stelsel van Eenheden (SI), Nederlands Meetinstituut NMI, Delft, 1994; ref.2}

<i>grootheden</i>	<i>eenheid(SI)</i>
aantal geregistreerde ontladingen in gespecificeerd tijdsbestek	aantal (integer)
referentie datum/tijd	jaar, maand, dag, uur, minuut, sec
tijd offset tov referentie	seconde (s)
longitude	decimale (boog)graad
latitude	decimale (boog)graad
type gebeurtenis	1-cijfer code: start CC:1, CC-ontlading:2; eind CC:3; CG-inslag eerste:4; CG-inslag volgende:5; enkel punt:0
positie afwijking	meters (m)
stijgtijd/daaltijd	seconde (s)
stroomsterkte	amp re (A) CG-ontlading neg.: CG-ontlading pos.:è

1.4 elementcodes

De basisparameters zijn gecodeerd met een hoofdletter:

- piekstroom: I;
- stijgsnelheid: S;
- daalsnelheid D;
- wolk – wolk ontladingen: CC;
- wolk – grond ontladingen: CG.

In de berichtgeving SYNOP, KLIM en METAR wordt de informatie met betrekking tot bliksem/ onweer/ weerlicht verwerkt in de weercode. Zie handboek meteorologische codes (ref.3) en hoofdstuk 14 van dit Handboek.

2. Operationele eisen

Het KNMI heeft 2 hoofdgebruikers van bliksemgegevens:

- De sector WA: gebruik onweersdata ten behoeve van de generatie van de weercode, alsmede voor een ruimtelijke visualisering met het oog op het vaststellen van de intensiteit en trekrichting van onweersbuiencomplexen.
- De sector WM, inh de afdelingen KD en OD/BWS: gebruik data met het oog op de nauwkeurige lokalisering (tijd, plaats) van schade door inslagen en inductie in verband met verzekeringkwesities; alsmede voor het maken van periodieke weeroverzichten (dag, maand, jaar) en voor klimatologie.

Belangrijke gebruikers buiten het KNMI: Koninklijke Luchtmacht KLu, Koninklijke Marine, Luchtverkeersleiding Nederland LVNL; Weerbureau Weathernews, Koninklijk Meteorologisch Instituut in België KMI, e.a..

De operationele eisen zijn ontleend aan de specifieke voorwaarden van deze gebruikersgroepen.

2.1 bereik

KD en OD/BWS: eisen mbt geografisch bereik:

In het Maandoverzicht van het Weer in Nederland MOW wordt een overzicht gepresenteerd van dagen met tenminste 1 bliksemontlading per blok van 50 à 50 coördinaten volgens de Rijksdriehoeksmeting. Eveneens wordt (sinds oktober 2004) een overzicht gepresenteerd met een frequentieverdeling van het aantal ontladingen per 50 x 50 km² vak. Het gaat bij deze overzichten om het totale gebied van 0 – 300 (West -> Oost) en 300 – 650 (Zuid – Noord) in bedoeld coördinatenstelsel. Dit gebied, geheel Nederland en een deel van de Noordzee, bepaalt voor de KD de voorwaarde mbt het minimale geografische bereik van bliksemdetectie. *WA: eisen mbt geografisch bereik:* Vereist minimaal ruimtelijke bereik ten behoeve van detectie: de gehele Benelux en een stuk Noordzee grenzend aan Nederland en België tot 50 km uit de kust.

2.2 waarneemresolutie in verband met berichtgeving

De tijdsresolutie van het bliksemdetectiesysteem is 100 µsec. Per 1 minuut wordt de informatie door het systeem ververst.


De operationele resolutie wordt bepaald door het gebruik:

- a) De generatie van de weercode vereist iedere 10 minuten een bericht met alle voor de weercode relevante blikseminformatie.
- b) De analyse van incidenten (blikseminslagen e.a.) en klimatologie vereisen informatie op basis van de 1 minuut dataopslag.

2.3 vereiste nauwkeurigheid

In het proces van automatisering van de visuele waarnemingen (*Zie: Evaluatierapport Automatisering Visuele Waarnemingen Ontwikkeling Meetsystemen, Wiel Wauben en Hans de Jongh; , KNMI Technisch rapport; TR-216, KNMI, De Bilt, 1999, ref. 13*) is in het verband van de automatische generatie van de weercode nauwkeurige informatie met betrekking tot bliksemdetectie vereist:

- a) binnen een straal van 15 km rondom IEDER waarneemstation in Nederland met een Present Weather-sensor, ten behoeve van het vaststellen van licht of matig c.q. zwaar onweer;

- 
- b) in een schil van 15 tot 20 km rondom IEDER waarneemstation in Nederland met een Present Weather-sensor ten behoeve van het vaststellen van weerlicht.

Teneinde “licht of matig onweer” en “zwaar onweer” te kunnen onderscheiden, worden aan het systeem de volgende detectie eisen gesteld voor het gebied binnen een straal van 15 km rondom IEDER waarneemstation in Nederland met een Present Weather-sensor:

- Licht of matig: Minder dan 1 ontlading per seconde (omdat een 10 minuten interval wordt beschouwd, gaat het feitelijk om minder dan 600 ontladingen in bedoelde 10 minuten periode);
- Zwaar: 1 of meerdere ontladingen per seconde (omdat een 10 minuten interval wordt beschouwd, gaat het feitelijk om ≥ 600 ontladingen in bedoelde 10 minuten periode).

De Klimatologische Dienst behoeft voor het uitbrengen van expert-advies inzake de waarschijnlijkheid van blikseminslagen c.q. inductie als gevolg van bliksemontladingen een ruimtelijke detectienauwkeurigheid van 500 meter. Hierbij wordt een zekerheid aangenomen van minimaal 50% voor een inslag binnen een straal van 500 meter rondom het punt zoals gelokaliseerd door het systeem.

{NB de plaatsingsnauwkeurigheid is eerder 2 à 3 km; zie TR-268 , ref. 16}

2.4 vereiste waarneemfrequentie en -tijdstippen

Het FLITS systeem kent drie tijd intervallen: 1 minuut, 5 minuut, en 24 uur. Alle gegevens per gedetecteerde ontlading (tijdstip, locatie, stijgtijd, daaltijd, stroomsterkte e.a.) worden verzameld en opgeslagen in een bestand cf. dataformat HDF5 {*KNMI HDF5 Data Format Specification V3.5, Hans Roozkrans, Iwan Holleman, KNMI Intern Rapport, IR 2003-05, KNMI, De Bilt, 2003; ref.21*}.

Per 10 minuten wordt mede op basis van bovenstaande gegevens een weercode gegenereerd, welke als basis dient voor de halfuurlijkse METAR, c.q. uurlijkse SYNOP/ KLIM.

2.5 vereiste data-aanwezigheid per specifieke periode

De weercode $w_a w_a$ wordt niet gegenereerd indien van één of meer van de gerelateerde parameters, inclusief dus de onweerparameters, het 10 minuten blok ontbreekt. Deze conditie impliceert derhalve de noodzaak van 100% beschikbaarheid van data.

De Klimatologische Dienst KD behoeft voor een gegarandeerd expert-advies in principe een 100% beschikbaarheid van data.

Feitelijk impliceren bovengenoemde 100 % condities een permanente beschikbaarheid van het detectiesysteem, inclusief datatransportsysteem.

In de praktijk is 100% niet realistisch. In het Service Level Agreement SLA met betrekking tot Operationele Systemen tussen Hoofd Operationele Data OD en Hoofd Instrumentele Afdeling INSA is voor bliksemdetectie een beschikbaarheidspercentage van 97% per jaar afgesproken (zie ref. 19, SLA bliksemdetectie).

3. Instrumenten en techniek

3.1 techniek en specificaties

{literatuur:

- - *Bliksemdetectie met het KNMI-KLU netwerk*, H.R.A. Wessels, KNMI, de Bilt, referentie: <http://www.knmi.nl/voorl/nader/blkunt.htm>, ref. 4;
- *SAFIR beeldproduct voor real-time gebruik*, Iwan Holleman, KNMI Intern rapport; IR 2002-03, KNMI, De Bilt, 2002; ref. 12;
- *TR-268 Evaluation of a lightning detection system*, 2004, Hans Beekhuis, Iwan Holleman; ref. 16.}

3.1.1 historie

Tussen 1976 en 1987 gebruikte het KNMI een netwerk van bliksem tellers. Dat zijn radio-ontvangers die storingen boven een bepaalde drempel registreren. Met enige moeite kon daarmee de regionale inslagdichtheid geschat worden (Wessels, 1977, ref. 5).

Rond 1980 kwamen twee soorten systemen ten behoeve van bliksemdetectie beschikbaar, waarmee vrij nauwkeurig de plaats van inslagen bepaald kon worden. De eerste soort gebruikt antennes waarmee de richting van bliksemstoringen wordt gemeten. Met twee van zulke antennes kan door middel van kruispeiling de plaats van de bliksem gevonden worden. Bij de tweede soort wordt de positie van bliksems bepaald uit de verschillen in looptijd van de radiostoring naar een drietal antennes. Inmiddels zijn er systemen in de handel die beide methodes combineren. Bij dergelijke netwerken staan de antennes op ruim 100 km van elkaar, zodat een vrij groot gebied bewaakt kan worden. In 1987 werd een netwerk volgens de looptijdmethode in gebruik genomen door de NV.KEMA (Janssen, 1989, ref. 6). Het KNMI kon real time beschikken over de data van het KEMA-netwerk. Voor de bliksemregistratie en het bliksemonderzoek in Nederland, inclusief op het KNMI, was dit een belangrijke stap voorwaarts.

De bovengenoemde netwerken hadden als bezwaar dat ze weinig gevoelig zijn voor horizontale ontladingen. Die kunnen echter toch gevaar opleveren en bovendien kunnen ze een waarschuwing bieden voor even later optredende inslagen. Daarom gebruikt het KNMI - in samenwerking met de Koninklijke Luchtmacht en de Koninklijke Marine - sinds 1995 een netwerk dat alle typen ontladingen registreert. Dit systeem berust op interferometrie en is bekend onder de handelsnaam SAFIR (Surveillance et Alerte Foudre par Interférométrie Radioélectrique). Het Nederlandse netwerk - toen nog bestaande uit 3 stations: Valkenburg, Deelen en De Kooy - is in 1997 gekoppeld aan een vergelijkbaar netwerk van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI/IRM), bestaande uit drie detectiestations (Oelegem, La Gileppe en Mourcourt). De gebruikswaarde voor de zuidelijke provincies in Nederland is daarmee aanmerkelijk verbeterd. Tevens is aldus het detectiegebied vergroot tot Noord Frankrijk en de Zuidelijke Noordzee en is zo ook de waarschuwings-tijd voor onweer effectief uitgebreid.

In januari 2000 is een meetmast in Hoogeveen in gebruik genomen waarmee de dekking in noordoost Nederland is toegenomen.

Het aangepaste systeem FLITS (Flash Localisation by Interferometry and Time of Arrival System) is operationeel geworden op 18 december 2003. Het FLITS-

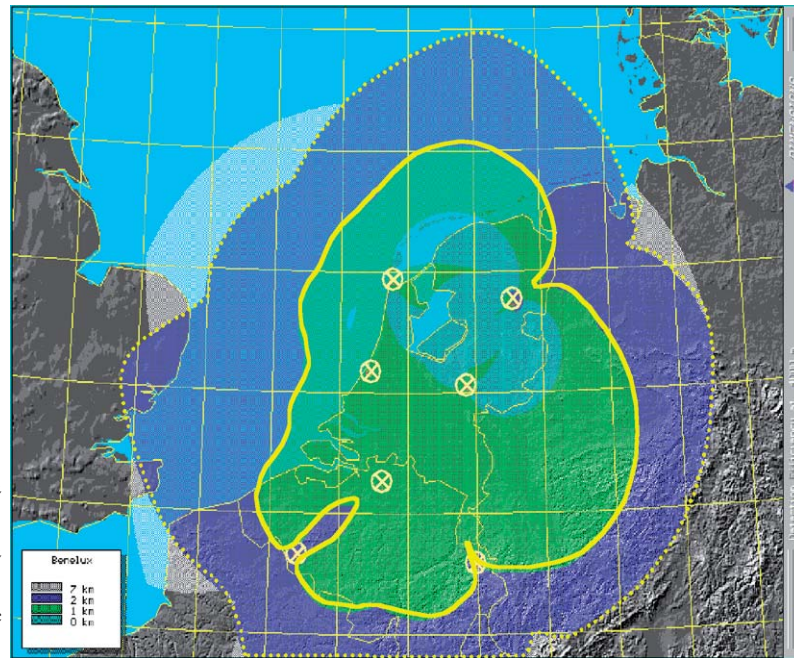
systeem is een upgrade van het SAFIR-systeem. De masten zijn moderner, evenals de processing van de software.

Het nieuwe systeem impliceert 2 detectiemethodieken:

- detectie van CC ontladingen met behulp van interferometrie (dat was ook al mogelijk met het SAFIR-systeem);
- detectie van CG ontladingen op basis van looptijd en interferometrie.

Mede als gevolg van de aanpassingen kan een hogere nauwkeurigheid van de locatiebepaling gerealiseerd worden.

3.1.2 globale systeembeschrijving



Figuur 3 Het FLITS-netwerk.
De detectiestations zijn in de figuur gemarkeerd: De Kooy, Valkenburg, Deelen, Hoogeveen Oelegem, Mourcourt en La Gileppe. De kleurschaal toont de berekende nauwkeurigheid van de plaatsbepaling.

Op vier plaatsen in Nederland, te weten in Valkenburg, Den Helder, Deelen, Hoogeveen, staan bliksemstations die de ontladingen detecteren. Een bliksemstation bevat een mast van 17,5 m hoog, welke is uitgerust met 3 sensoren:

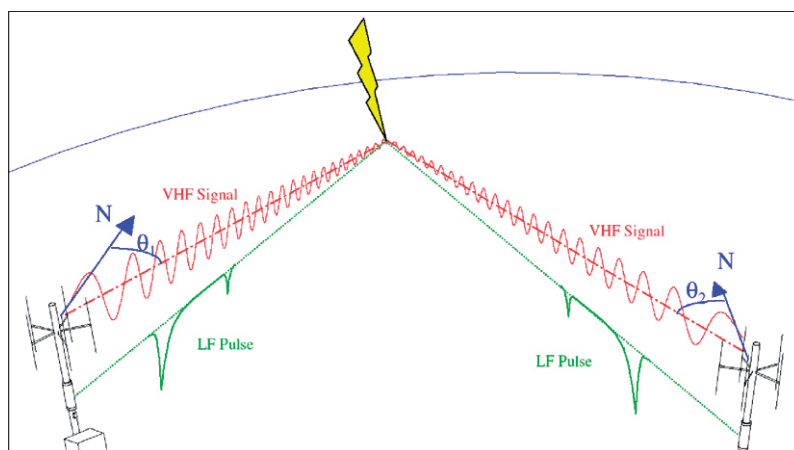
- Een GPS antenne voor het vastleggen van de tijd en de onderlinge synchronisatie van de stations met een nauwkeurigheid van 1 μ sec.
- Vijf plaatsbepalingsantennes, elk bestaande uit een verticale dipool antenne in een gelijkzijdige vijfhoek (zie foto, fig.4). Het ontvangstgebied is rond 110 MHz. Dit is in het zogeheten Very High Frequency (VHF)-gebied. De richting van de ontlading wordt bepaald uit het faseverschil tussen de signalen op de antennes afkomstig van dezelfde bliksem.
- Een lange-golf-antenne (≤ 4 MHz) ten behoeve van signaalanalyse. De ontvangst is in het zogeheten Low Frequency (LF)-gebied.

De meetresultaten van de masten worden naar een centrale unit op het KNMI in De Bilt gezonden. Aldaar worden de meetgegevens verzameld en worden de relevante grootheden berekend en opgeslagen (zie par.1.3).

Een foto van de bliksemdetectiemast in Hoogeveen is hieronder afgebeeld (figuur 4).



Figuur 4. Bliksemdetectiemast
Hoogeveen
(foto: Ronald van de Vate)



Figuur 5. VHF en LF golfvormen zoals
waargenomen door een koppel
detectiestations

3.1.3 plaatsbepaling

Het systeem kent 2 optionele methodes voor de plaatsbepaling van ontladingen:

- Time of Arrival (TOA); hierbij wordt gebruik gemaakt van de tijdsverschillen tussen de ontvangen LF-signalen op de diverse detectiestations;
- Direction Finding: hierbij wordt gebruik gemaakt van de waargenomen hoeken van de ontvangen VHF- signalen op de diverse detectiestations.

Beide methodes worden nader beschreven in par. 5.

Indien twee detectiemasten ongeveer gelijktijdig een signaal registreren, is er grote zekerheid dat het om dezelfde bliksem gaat. Van iedere bliksemontlading wordt door een station met behulp van interferometrie de hoek ten opzichte van het werkelijke noorden bepaald door middel van de VHF lokalisatieantenne op de mast. Door combinatie van de synchrone hoekmetingen van 2 of meer verschillende stations kan een opgetreden ontlading worden gelokaliseerd. Synchronisatie van de stationsgegevens geschiedt met behulp

van de tijdregistraties met de GPS-antennes van de stations. Er wordt eerst een voorlopige locatie bepaald, waarin looptijden nog niet zijn verdisconteerd. Vervolgens worden met behulp van de looptijden de signalen, zoals die door de detectie stations zijn opgevangen, gecorrigeerd. Daarna wordt nogmaals berekend of de waargenomen ontladingen tot dezelfde bliksemontlading hebben behoord. De algoritmen voor de lokalisatie van de ontladingen op basis van de hoekmetingen hebben de volgende, door de geometrie bepaalde, beperkingen:

- de hoek tussen de lijn van het station naar de ontladingsbron en de lijn van deze bron naar het andere betrokken station moet groter zijn dan 15 booggraden en kleiner dan 150 booggraden;
- de afstand van de betrokken stations tot de ontladingsbron moet groter zijn dan 20 km en kleiner dan 250 km.

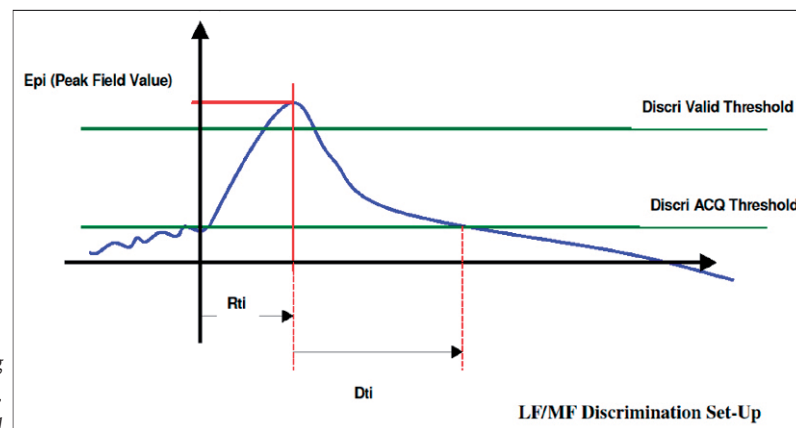
Een derde station moet dan uitkomst bieden.

De plaatsbepaling gebeurt met een hoge tijdsresolutie, zodat achtereenvolgens verschillende lokalisaties van een lang bliksemkanaal worden vastgelegd. In de software worden deze lokalisaties getypeerd in 4 klassen:

- Type 0: Enkele lokalisatie die niet in verband kan worden gebracht met andere lokalisaties.
- Type 1: Startpunt van een ontladingsspoor, het begin van een reeks van met elkaar in verband gebrachte lokalisaties.
- Type 2: Tussenvoegsel van een ontladingsspoor.
- Type 3: Eindpunt van een ontladingsspoor.

3.1.4 discriminatie


Er zijn in FLITS twee methoden om het onderscheid wolk – wolk ontlading versus wolk – grondontlading te maken



Figuur 6: typische Eveld verandering bij een CG, R_{ti} =stijgtijd, D_{ti} =daaltijd

1) De methode zoals die ook in het SAFIR systeem werd gebruikt

Deze discriminatie methode is gebaseerd op de stijg- en daaltijden van de door de LF sensor gemeten veldsterkte veranderingen. Deze veranderingen treden het sterkst op bij een grondinslag. De daaltijd is hierbij de meest belangrijke parameter. Wanneer er een veldsterkte verandering boven een zekere drempelwaarde wordt gevonden, die minstens doorstijgt tot de validatie drempel, wordt aangenomen dat die verandering is veroorzaakt is door een grondontlading. Uit de op deze golfvorm bepaalde stijgtijd (R_{ti}) en Daaltijd (D_{ti}) is een schatting te maken over de opgetreden stroomsterkte. Een detectiestation dat te dicht bij de ontlading ligt, wordt uitgesloten van de discriminatie en



stroomsterkte bepaling. Ook wordt vastgesteld of het een negatieve dan wel een positieve bliksem was (zie par. 1.2.6).

2) De TOA-methode

In het FLITS-systeem is het ook mogelijk om met de LF-signalen een plaatsbepaling te doen, te weten op basis van looptijdmetingen (TOA). Als zo'n plaatsbepaling succesvol is geweest, wordt daarmee bekend dat het een grondinslag betreft, en is de positie met een grotere nauwkeurigheid te berekenen. De plaatsbepaling voor grondinslagen vindt dus plaats middels de LF-ontvangst, dit is de modus waarin FLITS momenteel werkt. Nadere details staan beschreven in par.5.

3.1.5 stroomsterkte

Met de plaatsbepaling is ook de afstand van de ontlading bekend en kan uit de, op de LF antennes, gemeten signaalamplitude de stroomsterkte van de bliksem worden berekend (zie par.5.4).

3.1.6 nauwkeurigheid systeem

De nauwkeurigheid van de plaatsbepaling wordt voor een belangrijk deel bepaald door de nauwkeurigheid van de hoekmeting vanaf de stations. Een realistische schatting voor systematische en toevallige fouten in de hoekmeting is ± 0.5 booggraden. De hieruit resulterende plaatsnauwkeurigheid wordt weergegeven in figuur 3.

Een andere oorzaak van onnauwkeurigheid in de lokalisering is het traject van het bliksemkanaal. Dit is zelden precies verticaal, zodat de bron van de sterkste radiostraling zich niet precies boven het inslagpunt hoeft te bevinden. Verder is het mogelijk dat de voortplanting van de radiogolven niet precies langs rechte lijnen verloopt. De onnauwkeurigheid zal in het algemeen dus iets groter zijn dan in figuur 3 wordt gesuggereerd.

Door defecten of wegvallende verbindingen in (een deel van) het systeem kan informatie met betrekking tot ontladingen verloren gaan. Gemiddeld blijkt dit een aantal uren per jaar het geval te zijn. Het systeem heeft voldoende capaciteit om ook bij intensief onweer de signaalverwerking te kunnen bijhouden.

Desgewenst kan de gebruiker criteria instellen ten behoeve van het onderscheid tussen verticale en horizontale ontladingen of het verwerpen van signalen beneden een bepaalde drempelwaarde, bv. 10000 A. De optie 100 % detectie maakt namelijk de kans groot dat valse alarms door storingen worden gegenereerd (andere ontladingen dan bliksemontladingen, bijv. in energiecentrales, of bliksemontladingen elders, dwz ver van Nederland). Valse alarms komen bij FLITS overigens nauwelijks voor.

Vergelijking met de in de Nederlandse Norm NEN-1014 gepubliceerde parameters (NNI, 1992, ref. 7) toont een redelijke overeenstemming voor de stijgsnelheid en de stroom, althans voor de negatieve inslagen.

3.2 Data uitvoer

3.2.1 bliksemdata in HDF5 formaat

De lokalisatie- en discriminatiedata die door het KNMI bliksemdetectiesysteem worden geproduceerd worden op het systeem geaccumuleerd over 1 minuut, 5 minuten, en 24 uur en opgeslagen in KNMI-HDF5 bestanden. De inhoud van de bestanden staat beschreven in het interne rapport van Rooze-



krans en Holleman: ref.21, ihb par. 5.8 Discharge group. Voor alle waargenomen ontladingen bevat het HDF5 bestand:

1. Tijdstip
2. Lengtegraad en breedtegraad
3. Nauwkeurigheid van lokalisatie
4. Discriminatie/Typering: wolk-wolk of wolk-grond ontlading

Indien het een wolk-grond ontlading (inslag) betreft bevat het bestand ook nog:

5. Stijg- en daaltijd
6. Stroomsterkte

Bovendien bevatten de HDF5 bestanden informatie over de status van de verschillende detectie stations op een 1-minuut basis.

Zie ook par. 1.3.

3.2.2 FLITS-beeldproduct en opslag beelddata in HDF5 formaat

Bij de definitie van het real-time FLITS beeldproduct is in de eerste plaats rekening gehouden met de waarschuwingfunctie van het bliksem detectiesysteem. Elke waargenomen horizontale of verticale ontlading moet zichtbaar zijn in het beeldproduct. Daarom is gekozen voor een accumulatie product, waarbij per beeldpunt alle waargenomen ontladingen worden geteld. Informatie over stroomsterkte en -richting is niet essentieel voor de waarschuwingfunctie, bovendien is deze informatie niet betrouwbaar voor individuele ontladingen. Voor horizontale ontladingen is in principe het ontladingsspoor in ruimte en tijd beschikbaar, maar dit spoor is grotendeels onbruikbaar door de lokalisatie onnauwkeurigheid van het FLITS systeem. In het real-time FLITS beeldproduct worden de horizontale ontladingen daarom gepresenteerd als één totale ontlading in het midden van het spoor. Het midden van het ontladingsspoor wordt bepaald door middeling van de uiterste punten van het horizontale ontladingsspoor. Op deze manier is de telling van horizontale en verticale ontladingen in het beeldproduct gelijkwaardig.

Om de combinatie van radar neerslagbeelden en de gedetecteerde ontladingen zo eenvoudig mogelijk te maken, zijn de geografische projectie en uitsnede van het FLITS beeldproduct identiek gekozen aan die van de radarproducten van het KNMI. Het toeval wil dat de grootte van de beeldpunten in het radarbeeld, 2,5 bij 2,5 km, heel goed past bij de lokalisatienauwkeurigheid van het FLITS systeem. Het weergeven van de lokalisatiegegevens op hetzelfde rooster als de radarproducten leidt dus niet tot noemenswaardig verlies in lokalisatienauwkeurigheid.

Het KNMI HDF5 beeldformaat zoals dit is gedefinieerd voor Omnivoorbeelden (Roozkrans and Holleman, 2003; ref.21) biedt de mogelijkheid om meerdere beelden met dezelfde geografische projectie en uitsnede op te slaan in één HDF5 bestand. In het FLITS beeldproduct wordt gebruik gemaakt van deze mogelijkheid door in één bestand twee accumulatiebeelden op te slaan: één met alle waargenomen ontladingen en één met alle waargenomen verticale ontladingen (inslagen).

{Zie ook: I. Holleman, SAFIR beeldproduct voor real-time gebruik, KNMI IR 2002-03, 2002: ref.12}

3.2.3 dataverwerking elektrische ontladingen ten behoeve van weercode

Ten behoeve van de automatisch te genereren weercode in de 10' AWS-data, SYNOP, KLIM en METAR (zie hoofdstuk 14 van dit Handboek) dient de volgende informatie met betrekking tot onweer beschikbaar te zijn:

- Detectie van (horizontale c.q. verticale) bliksemontladingen in een schil tussen 15 tot 20 km rondom iedere operationele KNMI Present Weather-sensor;
- Detectie van (horizontale c.q. verticale) bliksemontladingen binnen een straal van 15 km rondom iedere operationele KNMI Present Weather-sensor; vaststelling of er sprake is van minder dan 1 ontlading per seconde (impliceert licht of matig onweer), dan wel 1 of meerdere ontladingen per seconde (impliceert zwaar onweer).

Uit de 5'-bestanden wordt iedere 10 minuten voor alle betrokken meteorologische stations in Nederland het aantal ontladingen berekend binnen de gebieden begrensd door de 2 stralen van 15 km resp. 20 km rondom het betreffende station. Indien het juiste bestand niet aanwezig is, zal een foutmelding worden gegenereerd en het aantal ontladingen op -1 worden gezet met kwaliteit 1. Indien maar één van de twee 5-minuut bestanden aanwezig is, zal, indien op of nabij het station ontladingen hebben plaatsgevonden, dit aantal toch worden gemeld maar met kwaliteit 5. Zijn in het ene beschikbare bestand geen ontladingen waargenomen op of nabij het station dan wordt dit aantal op -1 gezet met kwaliteit 1. Indien het bestand (met de juiste aanmaaktijd) leeg is, hebben er geen ontladingen plaatsgevonden en wordt het aantal ontladingen op 0 gezet met kwaliteit 10.

{RIS-algoritmen, Versie 3.0, ihb par. A8 Safir, W.Wauben, KNMI INSA-IO, KNMI, De Bilt, 2001; ref. 11};

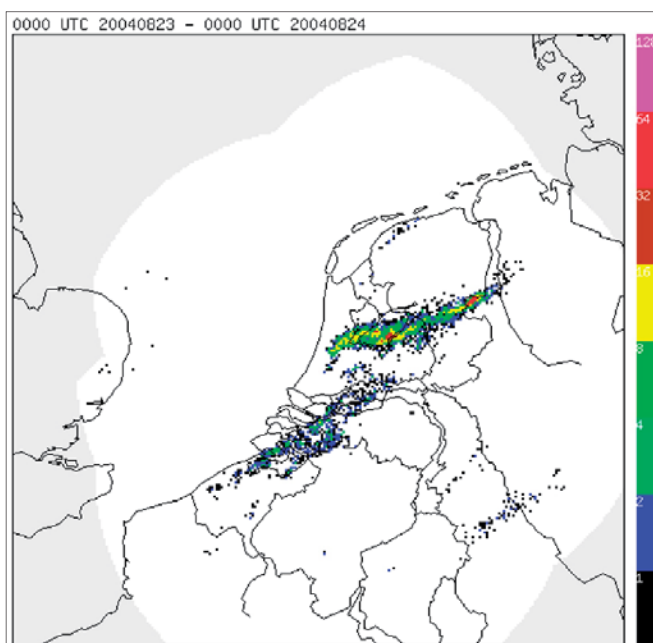
Nota Bene:

Bij de omzetting van HDF5 data naar de 10 minuten database CIBIL vindt filtering plaats. Er zijn twee filters ingebouwd om valse meldingen van het bliksem detectie systeem te verminderen:

- Het niet meetellen van "losse" ontladingen. Dit wordt gestuurd door FLITS_SINGLEP_FILTER=ON|OFF: waarde moet ON zijn;
- Het tellen van de "overall" bliksem activiteit over het gebied dat FLITS beslaat. Dit wordt gestuurd door FLITS_ACTIVITY_COUNT=0..1000 De waarde is nu 2.

Zie ook *LIGHTNING HDF data to CIBIL LDU_CIB3R3.doc 17 dec 2003 beekhuis*, ref. 17.

3.2.4 datagebruik



Figuur 7. Het totaal aantal ontladingen gepresenteerd door FLITS gedurende 23 augustus 2004. Merk op dat deze buien een aantal zeer actieve momenten hebben gekend http://info.knmi.nl/~holleman/data/LGT_NL21_LAP_24H//2004/08/200408240000.png

Het systeem genereert data ten behoeve van visualisatie en opslag/ archivering:

De volgende functionaliteiten zijn van toepassing:

- Regionale informatie over bliksems wordt toegevoegd aan radar-neerslag-beelden, zodat alle betrokken gebruikers de actuele beelden kunnen zien, die tonen waar de buien zitten en welke buien met onweer gepaard gaan. In het door de KNMI-sector WA onderhouden Bliksem en Radar Animate Scherm BRAS zijn zowel de radarbeelden als de bliksem gegevens ook afzonderlijk te bekijken. Daarnaast toont BRAS ook producten als Zomerhagel en Echotop hoogtekaarten.
- De meetdata is geïmplementeerd in de weercode generator tbv het automatisch bepalen van de weercode in de 10'AWS-data, SYNOP, KLIM en METAR (zie hoofdstuk 14 van dit Handboek).
- De bliksemgegevens worden door WM/OD beschikbaar gesteld aan WM/KD ten behoeve van archivering in een historisch bestand. WM/KD gebruikt deze gegevens onder meer om schade meldingen te verifiëren en ten behoeve van het maandelijks overzicht van het weer MOW. Om de toegankelijkheid van de HDF5 bestanden te verbeteren, is er een programma beschikbaar dat een bliksem HDF5 file kan uitlezen en kan omzetten naar op tekst gebaseerde tabellen. Dit programma heet "hdf2dis" en is beschikbaar op het windows- en unix-platform. Zie verder ref. 17.

3.3 onderhoud- en calibratieprocedures

3.3.1. procedures

FLITS is een van de BIK componenten (beelden satelliet, radar, bliksem). Voor al deze componenten is een overkoepelende beheerregeling opgesteld die actueel wordt gehouden door WM/OD.

{Zie: *Beheerregeling BIK versie 3.1*, ref.18}.

In deze beheerregeling zijn de taken van de betrokken afdelingen nauwkeurig vastgelegd. Zie ook hoofdstuk 4.

In hoofdlijnen geldt:

1. De computer hardware/OS is in beheer bij MI/WTB,
2. Het functioneel beheer met betrekking tot de datadistributie ligt bij WM/OD,
3. Het applicatie beheer ligt bij MI/IO,
4. Het technisch beheer van de meetmasten ligt bij MI//MSB.

Het technisch beheer heeft taken die betrekking hebben op het onderhoud van de meetmasten. In die zin heeft het onderhoud invloed op de kwaliteit van de metingen.

Dit wordt afgedekt door de volgende iso-procedures.

- a) Beheersprocedure preventief onderhoud
(<http://info.knmi.nl/mi-insa/iso/iso223.pdf>)
- b) Beheersprocedure correctief onderhoud
(<http://info.knmi.nl/mi-insa/iso/iso224.pdf>)
- c) Naar de gebruikers toe is de aanwezigheidsprestatie van het bliksem-detectiesysteem vastgelegd in: SLA Operationele systemen: toepassingsgebied: bliksemdetectie systeem (Ref.19)

3.3.2 onderhoudschema

Door MI/MSB wordt een aantal belangrijke zaken uitgevoerd:

- a) Controle van de meetmasten onsite;
- b) Analyse van de data op interne consistentie en het vaststellen van de optimale configuratie.

a. Controle van de meetmasten onsite

Tweemaal per jaar worden de meetmasten gecontroleerd door MI/MSB. Deze controles vinden bij voorkeur plaats in de maand mei (vlak voor het bliksemseizoen) en in de maand september/oktober. De controle in mei is een uitgebreide test op de technische toestand van het station, terwijl in het najaar een korte inspectie op het programma staat.

Als er reden bestaat de mast te strijken, wordt op de luchtmachtbases assistentie verleend door medewerkers van de basis (de "mastenploeg").

De volgende checklist is van toepassing bij de controle van een detectiestation: {<C> is controle, met afvinken op onderhoudstaat, <M> staat voor meting met vastleggen van resultaten}

Inspectie mechanische opstelling (mei oktober)

1. Controle of tuien op spanning staan. Idem of de mast loodrecht staat <C>
2. Kasten controleren op sporen van vervuiling of condens, eventueel reinigen <C>

Controle antenne array d.m.v. staande golfmeter

1. Noteren van de staande golf verhouding voor elke dipool afzonderlijk <M>
2. Bij gevonden afwijkingen of twijfel wordt de mast gestreken en het array geïnspecteerd en gerepareerd.

Controle elektronica


1. Controle voedingsspanningen <C>
2. Spanning safeguard battery <M>
3. Verwarmings systeem, deur schakelaar
4. Interferometrische ontvanger + test van de antennes (jaarlijks)
5. Detection level van de LF sensoren <C>
6. Controle calibratie
 - noordrichting <M>
 - hoekcontrole test uitvoeren <M>

{benodigde hardware: SMA-kabels+splitter, voltmeter-scoop, calibratie generator; benodigde software: SAFZAP}

b. Analyse van de bliksemdata

Elk kwartaal wordt er een analyse gemaakt van de kwaliteit van het bliksemdetectie systeem. Deze tests worden verricht door MI/MSB. De tests worden uitgevoerd op de ruwe data die het systeem op disk bewaart. De onderstaande tests worden uitgevoerd en in een rapport vastgelegd. De rapporten geven een overzicht per maand van de volgende punten:

- a. VHF-systeem: Analyse van ruwe data met betrekking tot de azimut en amplitude verdeling. Doel van deze test is het bepalen van (periodieke) externe storing door radiostations e.d. en het krijgen van een beeld van het storingsniveau in de omgeving van de meetmast.
- b. VHF-systeem: Analyse van de lokalisaties van de ontladingen. Doel van de test is een inzicht te krijgen in de lokalisatie nauwkeurigheid door inspectie van de error-driehoeken.
- c. VHF-systeem: Het bepalen van de noord-correctie door middel van de coherentie test. Uit de lokalisatie wordt een nieuwe waarde van de noord-correctie bepaald.

- 
- d. VHF-systeem: bepalen van de detectie capaciteit. Uit een analyse van de detectie per sensor-paar is een uitspraak te doen over de detectie efficiëntie.
 - e. Ruimtelijke verdeling van alle ontladingen over het detectie gebied. Controle of de verdeling van ontladingen over Nederland en België artefacten vertoont.
 - f. LF-Systeem: Stroomverdeling van de verticale ontladingen. Hieruit blijkt of de distributie van de gemeten stroomsterkten de voor bliksem activiteit normale verdeling heeft. Afwijkingen zijn een indicatie voor fouten in de opstelling of apparatuur.
 - g. Bepalen van de acquisitie statistiek van de stijg- en daaltijden. Uit de statistiek op stijg- en daaltijden is de omgevingsinvloed van gevoeligheid van de LF ontvanger te bepalen.
 - h. Ruimtelijke verdeling van alle CG-ontladingen over het detectie gebied: controle of de verdeling van wolk-grond ontladingen over Nederland en België artefacten vertoont.

4. Procedures

4.1 procedures bij uitval automatische waarnemingen

De berichtgeving (SYNOP/KLIM/METAR) vereist in principe de 100% beschikbaarheid van bliksemdata (vgl. operationele eisen, ihb par. 2.5 van dit hoofdstuk). De afdeling WM/KD heeft in het geval van expertadvisering inzake voorgevallen bliksemincidenten eveneens een 100% databeschikbaarheid. Deze vereisten impliceren een permanente operationele beschikbaarheid van het detectiesysteem, inclusief datatransportsysteem.

FLITS is één van de BIK-componenten (beelden satelliet, radar, bliksem). Voor al deze componenten is een overkoepelende beheerregeling opgesteld die actueel wordt gehouden door WM/OD (Zie: *Beheerregeling BIK versie 3.1*, ref 18). In deze beheerregeling zijn de taken van de betrokken afdelingen nauwkeurig vastgelegd (zie 3.3.1).

Ten behoeve van de procesbewaker is er voor alle BIK componenten een storingshandleiding opgesteld. Zie

<http://info.knmi.nl/%7Ebinnendi/BIK%20Storingsprocedure/Bliksem/Storingshandleiding%20FLITS.htm>

4.2 procedures voor achteraf validatie

Er vindt automatische validatie plaats van de bliksemgegevens, verdachte ontladingen worden overeenkomstig “gelabeld”. De afdeling WM/OD/BWS stelt de gevalideerde gegevens, alsmede de statusgegevens van het bliksemdetectiesysteem beschikbaar voor WM/KD.

De bestanden met gevalideerde bliksemgegevens worden dagelijks in de directory `\Od\Bliksem\Gevalideerd` van de machine `bcsao2` klaargezet. Het bestand met gevalideerde bliksemgegevens heeft (bijvoorbeeld) als naamgeving `040911.FLT` waarbij `040911` staat voor het jaar, de maand en de dag waarop de gegevens betrekking hebben. In dit voorbeeld 11 september 2004.

Tevens worden dagelijks de bestanden met statusgegevens van het detectiesysteem in de directory `\Od\Bliksem>Status` van bovengenoemde machine klaargezet. Het bestand met statusgegevens heeft (bijvoorbeeld) als naamgeving `STAT0409.11` waarbij `0409.11` staat voor het jaar, de maand en de dag waarop de gegevens betrekking hebben. In dit voorbeeld 11 september 2004. In het bestand is per station het aantal seconden beschikbaarheid over het etmaal aangegeven. Vervolgens is per minuut vermeld wat per antenne de beschikbaarheid was over de afgelopen minuut.

De statusberichten zijn te vinden op de website van BWS, zie:


<http://info.knmi.nl/wm-od/od-bws/nl/bws.htm>

Het gehele proces wordt in detail beschreven in “Productieproces FLITS” van Bert Bergman, zie:

http://info.knmi.nl/wm-od/od-bws/nl/productieprocessen/onweer/flits_handleiding.htm

4.3 procedures voor inspectie

De 4 bliksemdetectie masten in Nederland zijn alle gesitueerd op of zeer nabij een meteorologisch meetstation van het KNMI c.q. de krijgsmacht (Klu, Kon.



Mar.): *De Kooy, Valkenburg, Deelen, Hoogeveen*. Genoemde stations worden, evenals alle andere operationele meetstations van het KNMI, gemiddeld 2 maal per jaar geïnspecteerd door een stationsinspecteur van WM/OD/BWS. De betrokken functionaris beoordeelt in het kader van het inspectiebezoek of de meetomstandigheden van de bliksemmast aan de gestelde condities voldoen (vgl. par.6). Indien dit niet het geval is, kwalificeert de inspecteur de betreffende locatie voor wat betreft bliksemdetectie met onmiddellijke ingang als onvoldoende. Afhankelijk van de situatie beoordeelt de stationsinspecteur welke correctieve acties ondernomen dienen te worden om een en ander te herstellen conform de operationele eisen. De acties kunnen variëren van een opdracht c.q. verzoek aan de beheerder van het betreffende terrein tot aanpassing van de terreinsituatie tot de start van een procedure om een nieuw terrein te zoeken. Bij defecten aan de meetopstelling wordt een opdracht voor herstel aan de afdeling MI/MSB gestuurd. Van alle inspectiebezoeken wordt een rapport opgesteld door de stationsinspecteur. Dit rapport wordt in het Stations Administratie en Informatie Systeem (SAIS) opgeslagen. Een notificatie van het beschikbaar komen van het rapport wordt per e-mail verspreid.

5. Herleiding van parameters: dataherleiding van lokalisaties en discriminaties

5.1 waarnemen van bliksemontladingen met radiofrequente golven

Voor het automatisch waarnemen van bliksemontladingen en inslagen worden over het algemeen radiofrequente golven in het "(Very) Low Frequency (VLF/ LF)" gebied en/of in het "Very High Frequency (VHF)" gebied gebruikt. Het waarnemen van de bliksemontladingen gebeurt via passieve remote sensing, dat wil zeggen dat er géén radiofrequente golven worden uitgezonden maar dat er wordt "geluisterd" naar radiofrequente golven die door de bliksemontladingen worden geproduceerd. Het bereik, de selectiviteit, de lokalisatiemethode zijn afhankelijk van de gebruikte frequentieband (Cummins, 2000, ref. 20).

a. (Very) Low Frequency

De frequenties in de VLF/ LF band liggen ruwweg tussen de 100 Hz en 4 MHz. Door refractie in de atmosfeer en reflectie tegen de ionosfeer propageren de VLF en LF signalen over zeer grote afstanden langs het aardoppervlak. Deze frequentiebanden worden al sinds lange tijd gebruikt om blikseminslagen te detecteren, maar ze zijn echter niet geschikt om wolk-wolk ontladingen te detecteren. Wolk-wolk ontladingen produceren door de geringe stroomsterkte veel minder VLF/LF straling dan blikseminslagen (wolk-grond).

Conclusie: De VLF en LF frequentiebanden zijn uitermate geschikt om te discrimineren tussen wolk-wolk en wolk-grond ontladingen.

b. Very High Frequency

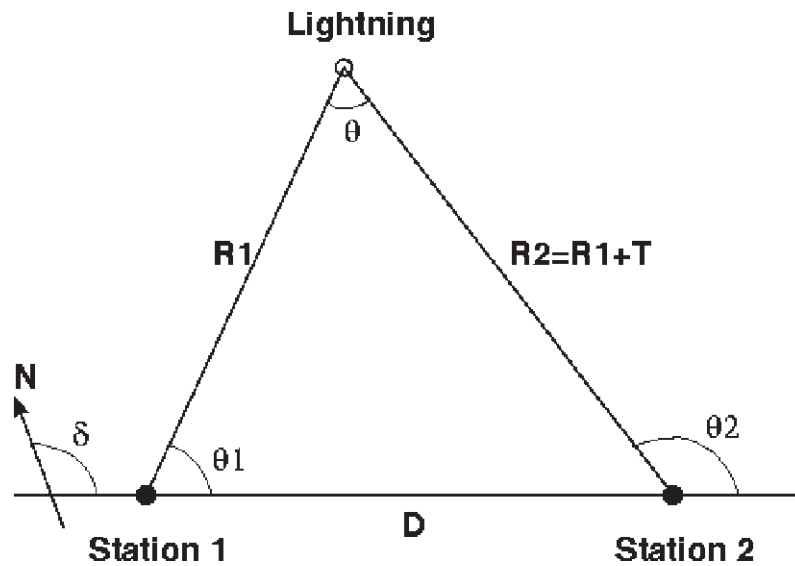
De frequenties in de VHF band liggen grofweg tussen de 30 en 300 MHz. Doordat de VHF straling zich bij benadering in rechte lijnen voorplant, kunnen ontladingsbronnen in 3-dimensies worden gelokaliseerd, maar het bereik van detectiesystemen op basis van VHF banden is hierdoor wel geringer. Wolk-wolk en wolk-grond ontladingen produceren vergelijkbare hoeveelheden VHF straling.

Conclusie: De VHF-frequentieband is uitermate geschikt voor het waarnemen van de totale hoeveelheid bliksemontladingen.

5.2 lokalisatie van bliksemontladingen en inslagen

Voor het lokaliseren van bliksemontladingen en inslagen is een netwerk van stations (=antennes) benodigd. Er zijn twee verschillende manieren om ontladingen te lokaliseren met een netwerk van waarneemstations: "Time-Of-Arrival (TOA)" of "Direction Finding (based on Interferometry)". Het KNMI bliksemdetectiesysteem FLITS van Dimensions (Vaisala Inc.) kan beide methodes toepassen. De principes van de beide lokalisatiemethodes worden toegelicht aan de hand van figuur 8, waarin de geometrie voor twee detectiestations schematisch is weergegeven. De formules voor lokalisatie zijn gebaseerd op een plat vlak situatie. In werkelijkheid zal echter rekening gehouden moeten worden met de ellipsoïde vorm van de aarde, wat de vergelijkingen een stuk gecompliceerder maakt. In figuur 8 zijn twee waarneemstations (1 en 2) op een afstand D weergegeven. De verbindinglijn tussen deze stations maakt een hoek δ met het noorden (N). De afstanden van de ontlading (Lightning) tot de beide waarneemstations zijn respectievelijk R_1 en R_2 . De hoeken tussen de waarneemrichting van de ontlading en de verbindingas tussen de twee stations zijn θ_1 en θ_2 .

Figuur 8 Schematisch overzicht van de geometrie voor de lokalisatie van een ontlading met twee detectiestations.



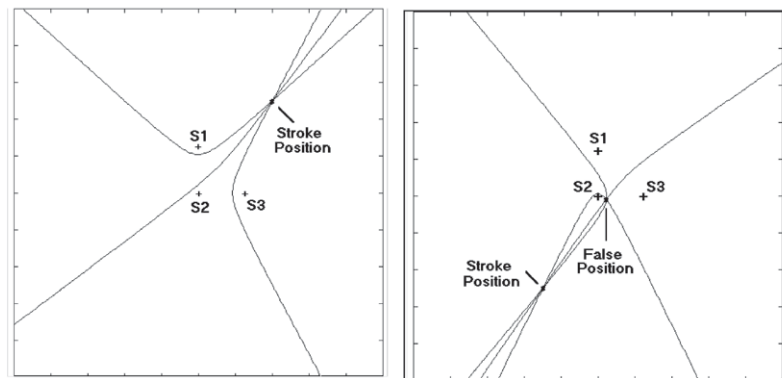
a. Lokalisatie met Time-of-Arrival

De Time-of-Arrival (TOA) methode voor het lokaliseren van blikseminslagen maakt gebruik van de tijdsverschillen in de waargenomen radiofrequente signalen voor verschillende detectiestations. In figuur 8 is het tijdsverschil (\times de lichtsnelheid) voor een ontlading, waargenomen door de twee stations, aangegeven met T . Met behulp van de cosinusregel volgt dan voor de afstand van de inslag tot het eerste detectiestation:

$$R_1(\theta_1) = (D^2 - T^2) / [2T (1 + (D/T) \cos(\theta_1))] \equiv r_0 (1+e) / (1+e \cos(\theta_1))$$

{ met $r_0 = (D - T)/2$, $e = D/T$ }

Hierbij geldt dat het tijdsverschil T nooit groter kan zijn dan de afstand tussen de stations D en dus geldt dat $e = D/T > 1$. Hieruit volgt dat de oplossingsfunctie $R_1(\theta_1)$ wordt beschreven door een hyperbool. Derhalve leveren de TOA waarnemingen van twee detectiestations geen eenduidige lokalisatie op. Er zijn dus waarnemingen en dus hyperbolen van meer stationsparen nodig voor een eenduidige lokalisatie van de bliksemontlading. Uit de voorbeelden in figuur 9 blijkt dat zelfs bij gebruik van 3 stations niet in alle gevallen een eenduidige lokalisatie mogelijk is. Er zijn minimaal 4 waarneemstations nodig voor een lokalisatie van bliksemontladingen met de TOA methode. Het KNMI bliksemdetectiesysteem (FLITS) biedt de mogelijkheid om de TOA lokalisatie methode toe te passen op de ontvangen LF signalen (uit de 4 MHz discriminatie antennes).



Figuur 9 Links: een eenduidige Time-Of-Arrival lokalisatie met 3 waarneemstations en rechts een niet-eenduidige lokalisatie. (Figuur uit Cummins (2000), ref.20)

Conclusie: Vanwege de gebruikte frequentieband (LF -> 4 MHz) worden met behulp van de TOA-methode alleen blikseminslagen (wolk-grond) gelokaliseerd.

b. Lokalisatie met Direction Finding based on Interferometry

De Direction Finding based on Interferometry methode voor het lokaliseren van bliksemontladingen maakt gebruik van de waargenomen hoeken van de ontvangen radiofrequente signalen voor verschillende detectiestations. In figuur 8 zijn de waargenomen hoeken voor de 2 stations aangegeven met θ_1 en θ_2 . Normaal gesproken bepalen de detectiestations de hoek van de ontvangen straling ten opzichte van het noorden, de azimut. Het verband tussen de hoek met de verbindinglijn tussen de 2 stations en de azimut α is:

$$\theta_1 = \delta - \alpha_1 \quad (\text{idem } \theta_2 = \delta - \alpha_2)$$

(δ = de hoek tussen de verbindinglijn tussen de 2 stations met het noorden)

Met behulp van de sinusregel volgt dan voor de afstand van de ontlading tot het eerste detectiestation (R_1):

$$R_1 = D \sin(\theta_2) / \sin(\theta) = D \sin(\theta_2) / \sin(\theta_2 - \theta_1)$$

(D = de afstand tussen de 2 waarnemstations)

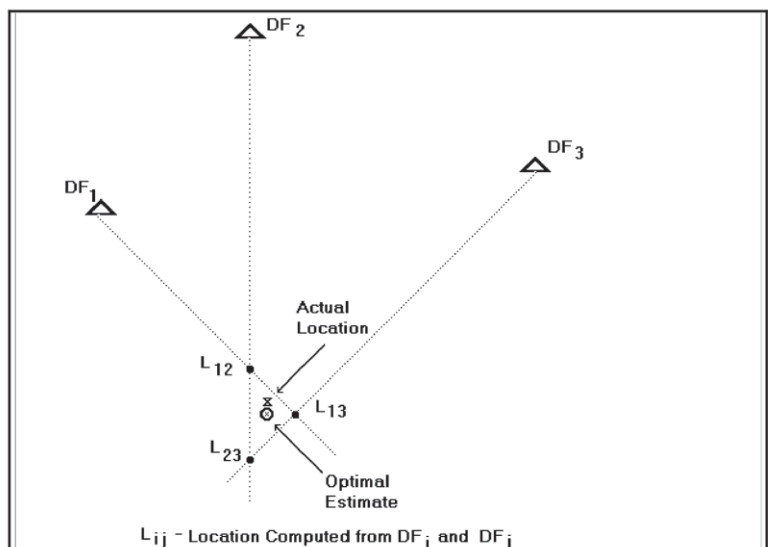
Over het algemeen geven de hoekwaarnemingen van 2 detectiestations een eenduidige lokalisatie van de bliksemontlading, maar als $\sin(\theta) \approx 0$ is er geen eenduidige oplossing. Dit is het geval wanneer de bliksemontlading zich op zeer grote afstand c.q. op of in de buurt van de verbindinglijn tussen de 2 stations bevindt. In dit laatste geval moet de waarneming van een derde station uitkomst bieden.

In figuur 10 is nog een ander voordeel van het gebruik van 3 detectiestations grafisch weergegeven, namelijk voor een inschatting van de nauwkeurigheid van de lokalisatie met behulp van de Direction Finding methode.

Het KNMI bliksemdetectiesysteem (FLITS) biedt de mogelijkheid om de Direction Finding lokalisatie methode toe te passen op de ontvangen VHF signalen (uit de 110 MHz lokalisatie antennes). De hoeken worden bepaald met behulp van interferometrie.

Conclusie: Vanwege de gebruikte frequentieband (VHF -> 110 MHz) worden met behulp van de Direction Finding -methode alle blikseminslagen gelokaliseerd, echter zonder discriminatie tussen wolk - grond ontladingen en wolk -wolk ontladingen.

Figuur 10 Lokalisatie van bliksemontladingen met de Direction Finding methode voor 3 waarnemstations. Dit geeft de mogelijkheid om de nauwkeurigheid te schatten. (Figuur uit Cummins (2000), ref.20)



5.3 discriminatie van bliksemontladingen en inslagen

Discriminatie tussen wolk-wolk ontladingen en wolk-grond ontladingen (blikseminslagen) is mogelijk omdat het ontvangen VLF/LF signaal vrijwel uitsluitend wolk –grond ontladingen detecteert, terwijl het ontvangen VHF signaal alle typen ontladingen geeft.

Er zijn twee verschillende manieren om typen ontladingen te discrimineren met behulp van het netwerk van waarnemstations:

- selectie van ontladingen met behulp van “Time-Of-Arrival (TOA)” methode (zie boven),
- op basis van de gemeten stijg- en daaltijden van het VLF/LF signaal.

a. Time-Of-Arrival (TOA)

Waargenomen ontladingen worden als een blikseminslag geclassificeerd als de lokalisatie met behulp van TOA methode succesvol is. (zie 5.2.a). Dat wil zeggen dat een (bijna gelijktijdig) VLF/LF signaal op tenminste 4 detectiestations moet zijn waargenomen voordat een ontlading als een inslag wordt geclassificeerd.

b. Stijg- en daaltijden

Waargenomen ontladingen worden als een blikseminslag geclassificeerd als de stijg- en daaltijden van de waargenomen VLF/LF signalen op een aantal stations binnen een bepaalde bandbreedte vallen. Het aantal stations waarvoor de waargenomen stijg- en daaltijden binnen de bandbreedte moeten vallen is instelbaar van minimaal 2 tot maximaal het aantal beschikbare stations (7 voor KNMI).

{Cummins ea. 2000, ref.20}

5.4 afleiding van de stroomsterkte

De stroomsterkte van de bliksemontlading kan worden bepaald uit de elektrische veldsterkte van het waargenomen VLF/LF signaal. Er is namelijk een direct verband tussen de elektrische veldsterkte (of vermogen) van de opgewekte radiofrequente straling en de stroomsterkte tijdens de bliksemontlading. De bliksemontlading is eigenlijk een soort dipoolantenne waardoor een sterke wisselstroom loopt. Voor de elektrische veldsterkte E loodrecht op een dipoolantenne geldt theoretisch (zie I.S. Grant and W.R. Phillips, Electromagnetism, p436-437):

$$E \propto I_0 / R$$

waarbij I_0 de stroomsterkte door de dipoolantenne is en R de afstand tot de antenne. Als de afstand tot de ontlading bekend is door de lokalisatie, kan de maximale stroomsterkte dus bepaald worden uit de waargenomen (maximale) elektrische veldsterkte. In het bliksemdetectie systeem wordt de volgende semi-empirische relatie gebruikt:

$$I_0[\text{kA}] = E[\text{V/m}] R[\text{m}]^b / a$$

waarbij a en b constanten zijn die gelijk zijn aan 58098 en 1.137. De constante b is groter dan 1 om de afgeleide stroomsterkte te corrigeren voor de verzwakking van de VLF/LF straling in de atmosfeer.

6. Opstellingseisen en omgevingscondities

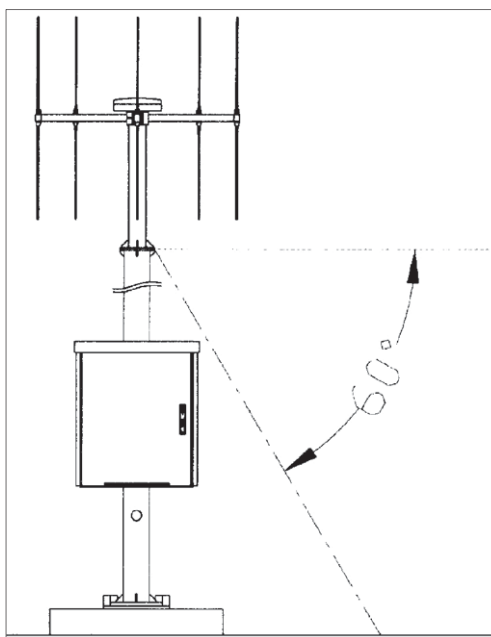
6.1 opstellingseisen en -voorzieningen

Het station bestaat uit een mast, met op de top gemonteerd de lokalisatie antenne set, de discriminatie sensor en de GPS-antenne. Aan de voet van de mast bevindt zich de kast met elektronica. De mast plus antennes (incl. dipolen) zijn 16,4 meter hoog. Dit is de optimale hoogte voor het verkrijgen van de beste signaal-ruis verhouding. De mast wordt op zijn plaats gehouden door middel van een dubbele set van 4 tuidraden. Deze draden zijn verankerd in 4 betonblokken op de hoekpunten van een vierkant van 10 m². De mast zelf is ook gemonteerd op een betonblok. De gehele constructie (mast, antennes, tuidraden) weegt iets minder dan 170 kg. Onder aan de mast zit een draaipunt die het mogelijk maakt de mast (met een handrad) bij voorkomende gevallen neer te laten. De elektronikakast bevat onder meer de stroomvoeding en de modem. Het volume van de kast is 760 x 890 x 460 mm, het gewicht ongeveer 70 kg.

Uit veiligheidsoverwegingen dient de mast in een goed afgescheiden gebied geplaatst te zijn.

6.2 condities m.b.t. omgeving en meetlocatie, c.q. representativiteit waarnemingen

De locatie moet uitzicht bieden op een vrije 360 graden horizon rondom het systeem. Binnen een straal van 100 meter rond de mast mogen zich geen geleidende objecten bevinden, in het bijzonder bouwwerken met metalen daken of metalen hekken. Eveneens binnen deze straal van 100 meter mogen zich geen objecten (gebouwen, installaties enz.) bevinden die uitrijzen boven de antennes. In de zone met een straal van 10 meter rondom de mast mogen zich geen objecten (gebouwen, installaties enz.) bevinden die het kegelvlak met de top van de mast als bovenpunt en een tophoek van 60 graden doorprikken (zie figuur 11).

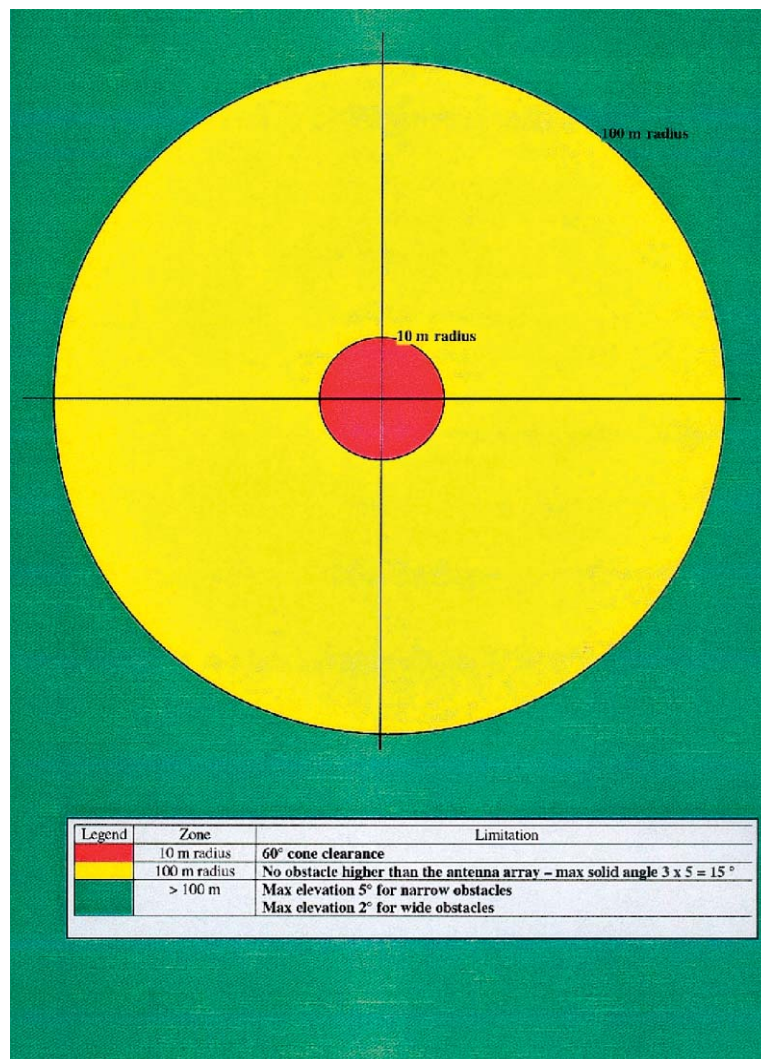


Figuur 11. Obstakelvrije ruimte binnen 10 meter van de mast (figuur uit ref. 22)

Er mogen zich in de buurt van de antennes geen uitstekende voorwerpen zoals bliksemgeleiders e.d. bevinden in verband met het eventueel optreden van vonken die de detectie kunnen verstoren.

Binnen een straal van 100 meter rondom de bliksemdetectiemast zijn alleen incidentele obstakels getolereerd die, bekeken vanuit de top van de mast, een horizontvlak hebben van maximaal 15 booggraden². Voorbeeld: een gebouw op 90 meter afstand met breedtehoek = 5 booggraden en hoogtehoek = 3 booggraden is dus net acceptabel.

Buiten een straal van 100 meter rondom de bliksemdetectiemast zijn alleen obstakels (gebouwen, heuvels) getolereerd waarvan de maximale hoogtehoek, bekeken vanuit de top van de mast, minder is dan 2 booggraden in het geval van brede objecten en 3 tot 5 booggraden bij smalle objecten.



Figuur 12. Obstakelvoorschriften voor het gebied rondom de detectiemast (figuur uit ref. 22)

6.3 condities mbt electromagnetische omgeving

Bij het zoeken van een geschikte plek voor de mast zal grondig onderzocht moeten worden in hoeverre er in de omgeving storingsbronnen zijn, welke signalen met frequenties uitzenden die het systeem onterecht als bliksem sig-



nen zou kunnen interpreteren. In dit verband kunnen genoemd worden:

- radio- en navigatieverkeer vliegtuigen, schepen, e.a.
- zenders radioamateurs
- zendmasten mobiele telefoon, mobiel internetverkeer (UMTS)¹ e.d.
- schakelinstallaties bij centrales, hoogspanningskabels, elektriciteitskasten, e.d.
- motoren van vliegtuigen, auto's etc.

De VHF-band is gekozen tussen 110 en 118 MHz. Dit frequentiegebied is wereldwijd gereserveerd voor navigatie apparatuur in de luchtvaart en derhalve goed controlebaar. Zenders in dit verband (vgl VOR en ILS-apparatuur)² zijn in het algemeen goed identificeerbaar. Hiermee kan dus rekening worden gehouden bij het zoeken van een locatie en het selecteren van de geschikte frequentieband voor bliksemdetectie. Het bliksemstation vereist voor een goed operationeel functioneren een bandbreedte van 2 MHz die vrij is van storende zendapparaten en die een zeer lage achtergrondruis heeft. Voor het vaststellen van de validiteit van de site is dit een cruciale voorwaarde.

De LF-sensoren opereren in het gebied van 100 Hz – 4 MHz . Spectrum analyse moet aantonen in hoeverre er storende zendapparatuur in de omgeving is. Ieder ontvangen signaal in het onderhavige gebied van dergelijke apparatuur kan door het detectiesysteem worden geaccepteerd. Derhalve moet vermeden worden dat de bliksemmast binnen de storende invloedssfeer van een krachtige VLF-zender wordt geplaatst.

Voorafgaand aan de installatie c.q. bij verplaatsing van het detectiestation zal een dergelijk frequentieonderzoek worden uitgevoerd. De RijksDienst voor Radiocommunicatie RDD heeft dit gedaan voorafgaand aan de vestiging van elk detectiestation. Het gaat hierbij dus om een controle met betrekking tot storende frequenties (zie ref.22). Via regelmatige data-analyse en validatie kunnen storingen eveneens aan het licht worden gebracht (zie par 3.3 en 4.2). OD/BWS beveelt aan om per detectiestation iedere 4 jaar een uitgebreid frequentieonderzoek te doen c.q. tussentijds indien de validatie van data daartoe aanleiding geeft.

{zie: *Specifications of site selection for SAFIR Detection Station, specifications manual SAFIR 3000-R3, spec.install. Version 3.3, Vaisala SA, december 2002: ref.22*}

(Footnotes)

¹ UMTS: Universal Mobile Telecommunication System

² ILS: Instrument Landing System, VOR: VHF Omni-Range

Referenties

1. Luchtelectriciteit en onweer, H.R.A.Wessels, KNMI, De Bilt, gepubliceerd in: Zenit, 17, 1990, blz.258-264;
2. Het Internationale Stelsel van Eenheden (SI), Nederlands Meetinstituut NMI, Delft, 1994;
3. Handboek Meteorologische Codes, versie 7.0, P.IJ.de Vries, 2003;
4. Bliksemdetectie met het KNMI-KLU netwerk, H.R.A.Wessels, KNMI, De Bilt, {referentie: <http://www.knmi.nl/voorl/nader/blkunt.htm>}
5. H.R.A.Wessels, 1977, A network of lightning counters in the Netherlands, KNMI Scientific Report 77-6;
6. M.J.G.Janssen, 1989, The LPATS III system in The Netherlands; critical evaluation of the results. Proceedings of the International Conference on Lightning and Static Electricity, Bath (UK);
7. NNI, 1992, Bliksembeveiliging/Protection against lightning. Nederlands Normalisatie Instituut. NEN 1014;
8. H.R.A.Wessels, 1998, Evaluation of a radio interferometry lightning positioning system. KNMI Scientific Report 98-04;
9. Calibratieprocedures van het KNMI-IJklaboratorium volgens ISO-9001, A. van Londen, Insa/IO, KNMI, De Bilt, 1994.
10. KNMI Catalogus; DL/OBS/LGHT/NETH: Lightning Detection Data Netherlands; 28 april 2003;
11. RIS-algoritmen, Versie 3.0, ihb par. A8 Safir, W.Wauben, KNMI INSA-IO, KNMI, De Bilt, 2001;
12. SAFIR beeldproduct voor real-time gebruik, Iwan Holleman, KNMI Intern rapport; IR 2002-03, KNMI, De Bilt, 2002;
13. Evaluatierapport Automatisering Visuele Waarnemingen Ontwikkeling Meetssystemen, Wiel Wauben en Hans de Jongh, KNMI Technisch rapport; TR-216, KNMI, De Bilt, 1999;
14. WMO, no. 8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, part II, chapter 7, Locating the sources of atmospheric, WMO, Genève, 1996;
15. WMO no.407, International cloud atlas, Volume II, WMO, Genève, 1987;
16. Evaluation of a lightning detection system, 2004, Hans Beekhuis, Iwan Holleman KNMI Technisch rapport; TR-268; KNMI, De Bilt, 2004;
17. LIGHTNING HDF data (CIBIL LDU_CIB3R3.doc 17 dec 2003 en hdf2dis_gebruik1.txt), Beekhuis;
18. Beheerregeling BIK versie 3.1 Martin van Binnendijk, (zie ook url <http://info.knmi.nl/%7Ebinnendi/BIK%20Storingsprocedure/Documentation/Beheer%20BIK%20v3.1.pdf>);
19. SLA Operationele systemen: toepassingsgebied: bliksemdetectie systeem; Document bliksem: 2004/V1.0 d.d. 12 jan 2004 getekend 17 jan 2004;
20. Overview of Lightning Detection in the VLF, LF, and VHF Frequency Ranges, K. L. Cummins and M. J. Murphy, ILDC, 2000;
21. KNMI HDF5: Data Format Specification v3.5, H. Roozkrans and I. Holleman, KNMI IR 2003-05, KNMI, De Bilt, 2003;
22. Specifications of site selection for SAFIR Detection Station, specifications manual SAFIR 3000-R3, spec.install. Version 3.3, Vaisala SA, december 2002;