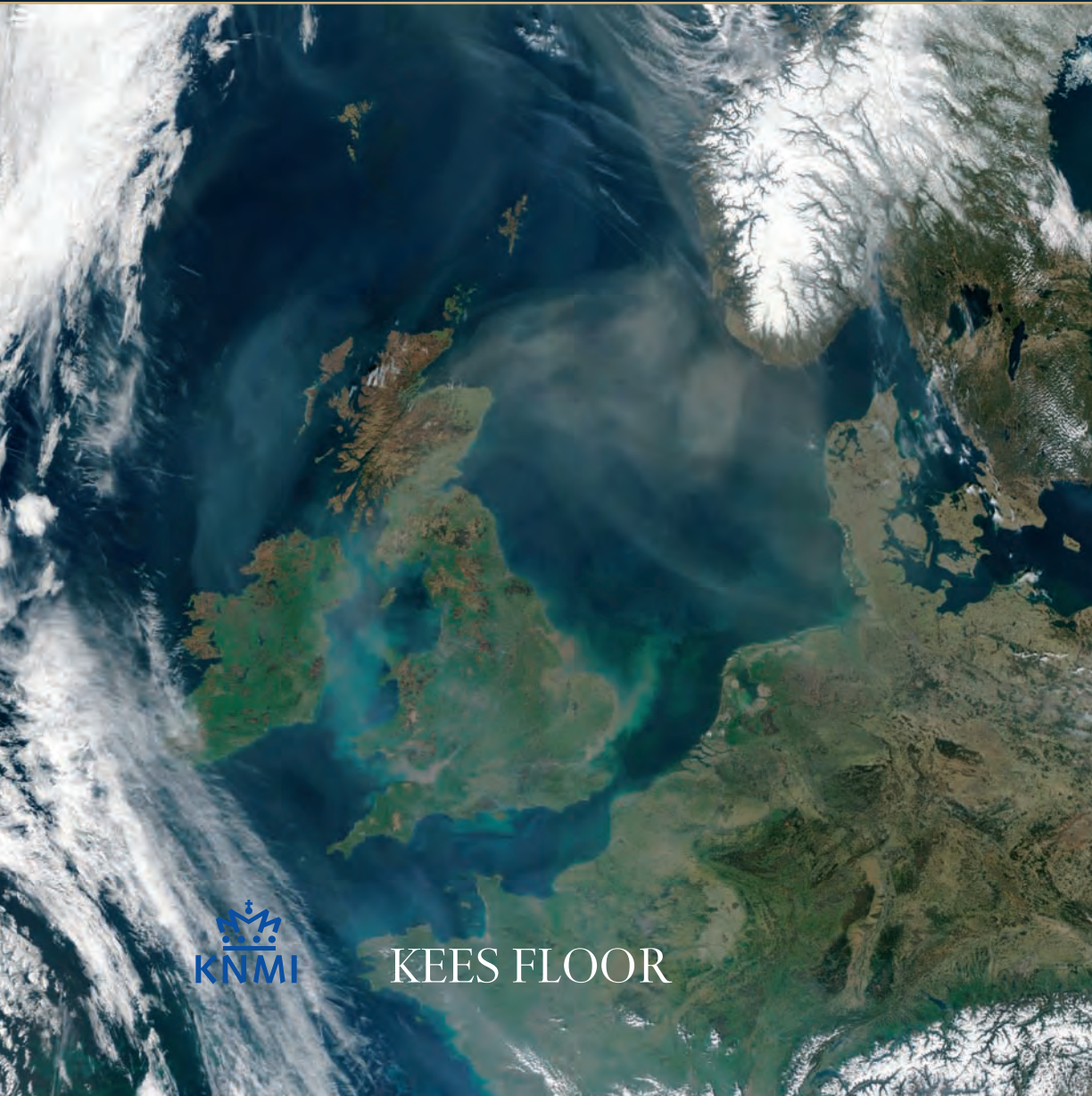




WEERKUNDE

METEOROLOGIE VOOR IEDEREEN



KEES FLOOR

Inhoud

	Voorwoord	11
1	Weer en samenleving	12
1.1	Het KNMI	12
1.2	Gevaarlijk weer en weeralarm	13
1.2.1	Zware storm	13
1.2.2	Stormvloeden	13
1.2.3	Windstoten	14
1.2.4	Zwaar onweer	15
1.2.5	Sneeuwstorm	15
1.2.6	IJzel	16
1.3	Verdere gevaren en ongemakken	18
1.3.1	Mist	18
1.3.2	Gladheid	18
1.3.3	Zware neerslag en overstromingsregens	19
1.3.4	Vorst	20
1.4	Gevaren voor de luchtvaart	21
1.4.1	Ijsaanzetting	22
1.4.2	Turbulentie	22
1.4.3	Windschering	23
1.5	Rampenmanagement	23
1.6	Samenvatting en conclusies	23
2	Algemene circulatie	24
2.1	Inleiding	24
2.2	Warme evenaar, koude polen	25
2.3	Een evenwichtssysteem	26
2.4	De draaiing van de aarde	27
2.5	Beperkingen van het model	29
2.6	De algemene circulatie	30

3	De atmosfeer	33
3.1	Verticale indeling	33
3.1.1	Troposfeer	33
3.1.2	Stratosfeer	34
3.2	Samenstelling van de lucht	35
3.3	Luchtdruk en luchtdrukpatronen	36
3.4	Gaswet	38
3.5	Verticaal evenwicht; stabiliteit	39
3.6	Waarnemen en monitoren van de atmosfeer	42
4	Straling, warmte, temperatuur	45
4.1	Inleiding	45
4.2	Zonnestraling	45
4.3	Aardse straling	46
4.4	De rol van de wind	47
4.5	De rol van bewolking	48
4.6	Gladheidssituaties door straling	50
4.7	Temperatuur	50
4.8	De stad als 'warmte-eiland'	52
4.9	Stralingsbalans	52
5	Luchtdruk en wind	54
5.1	Verband tussen luchtdruk en wind	54
5.2	Wind, een krachtenspel	56
5.3	Samenhang weer en luchtdrukpatronen	59
5.4	Structuur van de wind	61
5.5	Turbulentie	61
5.6	Windverandering met de hoogte	62
5.7	Gemiddelde wind	64
5.8	Windstoten	66
5.9	Windstoten in buien	68
5.10	Wind en temperatuur	68
6	Luchtvochtigheid	70
6.1	Inleiding	70
6.2	Aggregatietoestanden	70
6.3	Dampspanning of dampdruk	71

6.4	Andere vochtigheidsmaten	74
6.4.1	Relatieve vochtigheid	74
6.4.2	Dauwpunttemperatuur of dauwpunt (Td)	74
6.4.3	Natteboltemperatuur	74
6.5	Condensatiekernen en vrieskernen	75
6.6	Afkoelingsprocessen in de atmosfeer	76
6.7	Afkoeling door opstijging	76
7	Zicht, mist en dauw	79
7.1	Zicht	79
7.1.1	Heiligheid, nevel en mist	79
7.1.2	Meteorologisch zicht	80
7.1.3	Zichtbare baanlengte (RVR) en schuin zicht (SVR)	80
7.1.4	Zicht in neerslag	80
7.2	Mist	81
7.2.1	Mist en dauw	81
7.2.2	Stralingsmist	82
7.2.3	Advectieve mist	83
7.2.4	Regenmist en frontale mist	85
7.2.5	Rijp, ruige rijp en witte dauw	85
7.3	Gedrag van mist	86
7.3.1	Mist op de Noordzee	86
7.3.2	Jaarlijkse en dagelijkse gang van mist	87
7.4	Typische mistsituaties	88
7.4.1	Hogedrukgebieden	88
7.4.2	Trekhoog	89
7.4.3	Frontpassages	90
7.4.4	Land-zeecirculaties	90
8	Dagelijkse gang	91
8.1	Inleiding	91
8.2	Gang van de zonnestraling en de aardse straling	91
8.3	Uitstraling door de aarde	92
8.4	Dagelijkse gang van de temperatuur	92
8.5	Invloed op massakarakter	93
8.6	Dagelijkse gang van de wind	94
8.7	Dagelijkse gang van de bewolking	95
8.8	Dagelijkse gang van de vochtigheid	97
8.9	Lokale effecten	98

9	Bewolking	99
9.1	Inleiding	99
9.2	Samenstelling van wolken	100
9.3	Wolkenclassificatie	100
9.4	Cumuliforme bewolking	102
9.5	Stratiforme bewolking	105
9.6	Bewolking op satellietbeelden	109
9.7	Tot slot	111
10	Neerslag en buien	112
10.1	Inleiding	112
10.2	Ontstaan van neerslag	112
10.3	Regen en motregen	115
10.4	Onderkoelde regen en ijsregen	116
10.5	Ijzel	116
10.6	Sneeuw	117
10.7	Buien en onweer	119
10.8	Ontwikkeling van buien	120
10.9	Levenscyclus van een onweersbui	120
10.10	Complexvorming	122
10.11	De vorming van hagel	123
10.12	Soorten onweersbuien	124
10.13	Elektrische en akoestische verschijnselen	125
10.13.1	Mooiweerstroom	127
10.13.2	De ladingsverdeling in een wolk	128
	<i>De bliksem</i>	128
	<i>Ontwikkeling van voorontlading en vangontlading</i>	129
10.14	Bliksemgevaar	130
10.15	De luchtcirculatie in en om een zware bui	131
10.16	Tornado's en hozen	132
10.17	Radar en neerslag	134
10.18	Zicht in regen- en sneeuwbuien	135
10.19	Zicht in een hagelbui	136
11	Weersituaties	137
11.1	Inleiding	137
11.2	Weertype	137
11.3	Grootschalige weersystemen	138
11.4	Luchtsoorten	139

11.5	Luchtsoortclassificatie	141
11.6	Koude en warme massa	142
11.7	Fronten en weeromslagen	143
11.8	Stromingspatronen	143
12	Depressies, fronten en andere neerslagproducerende weersystemen	145
12.1	Inleiding	145
12.2	Weersystemen en weer	145
12.3	Frontale zones en weer	145
12.4	Weersystemen en luchtmassa's	146
12.5	Passage van een warmtefront	147
12.6	Warme sector	149
12.7	Passage van een koufront	149
12.8	Passage van een occlusie	150
12.9	Luchtmassabuien	150
12.10	Builenlijnen en troggen	150
12.11	Conceptuele modellen	151
12.12	Nieuwe ontwikkelingen	151
13	Weersverwachtingen	153
13.1	Waarnemingen	153
13.2	Wereld Meteorologische Organisatie	153
13.3	Wereldwijde telecommunicatie	154
13.4	Weerprognoses	154
13.5	Atmosfeermodellen	154
13.6	Statistische verwachtingen	157
13.7	Betrouwbaarheid	157
13.8	Ensembleverwachtingen	158

9. Bewolking

9.1 Inleiding

De hemel toont vrijwel elk moment weer een andere aanblik. De bewolking is voortdurend aan verandering onderhevig. Wolken komen dan ook voor in talrijke, verschillende vormen. Ze vormen een afspiegeling van luchtstromingen in de atmosfeer en van natuurkundige processen die daarin plaatsvinden. Zo is bijvoorbeeld direct uit het aanzien van een wolk af te leiden of hij vloeibaar water bevat of ijskristallen.

We kunnen verschillende wolkentypen onderscheiden door te letten op hun kenmerken. Zo zijn er wolken die in de hoogte (verticaal) lijken te groeien terwijl andere juist meer horizontaal uitgespreid zijn. Ook valt er uit sommige wolken neerslag, terwijl dit bij andere wolken juist niet het geval is. In alle gevallen is de stabiliteit van de atmosfeer van belang op de hoogte waar de bewolking voorkomt of ontstaat.

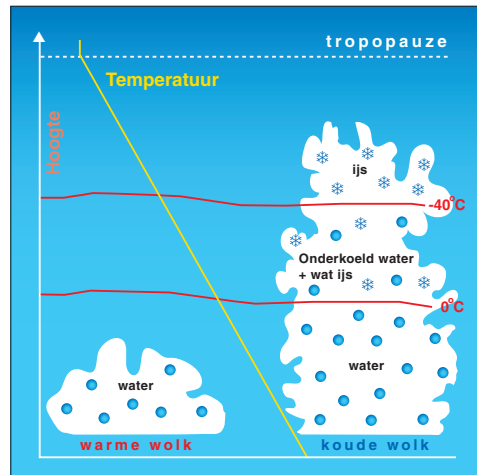
Willen we bewolking gaan herkennen dan is het belangrijk om allereerst naar het aanzien van de wolk te kijken. Dit aanzien is afhankelijk van een aantal factoren:

- De samenstelling: water of ijs; zie 9.2.
- De horizontale en verticale afmetingen van de wolk.
- De sterkte en de kleur van het licht dat op de wolk valt. Schijnt het zonlicht tegen de zijkant, bovenkant of onderkant van de wolk.
- De plaats van waaruit naar de wolk gekeken wordt. Zien we de wolk vanaf de zijkant of staan we direct onder de wolk.

Voor het weerbeeld spelen wolken een belangrijke rol of zijn ze zelfs bepalend. Zo brengen sommige wolken langdurige neerslag terwijl bij andere wolken de zon nog goed zichtbaar is. Wolken beïnvloeden ook de hoeveelheid zonnestraling die op het aardoppervlak valt en de aardse uitstraling. Zo kan bewolking in winterse nachten een sterke afkoeling van het aardoppervlak voorkomen en de kans op mist en/of gladheid verkleinen.

9.2 Samenstelling van wolken

Een wolk bestaat uit een verzameling van uiterst kleine waterdruppels, ijskristallen of – bij wolken met een grote verticale ontwikkeling – een mengsel daarvan. Onder in zogeheten gemengde wolken komen dan voornamelijk waterdruppeltjes voor, gevolgd door een laag met onderkoelde druppeltjes, vervolgens een gemengde laag met zowel onderkoelde druppeltjes als ijskristallen en ten slotte daarboven een laag met uitsluitend ijskristallen (zie figuur verdeling deeltjes in wolk). Juist dit verschil in samenstelling van de wolk geeft een heel ander uiterlijk aan de bewolking. Kijken we naar de temperatuurverdeling waarbij deze samenstelling voorkomt, dan kan in het algemeen gezegd worden dat in het gedeelte van de wolk waar de temperatuur boven 0° Celsius is waterdruppels voorkomen. Bij temperaturen tussen 0 en -12° Celsius bestaat de wolk uit onderkoelde waterdruppeltjes. Bij een temperatuur lager dan -12° neemt het aantal ijskristallen in de wolk toe. In de laag tussen -12 en -23° komen dan ook zowel onderkoelde waterdruppels alsook ijskristallen voor. Hoe lager de temperatuur, des te groter is het percentage ijskristallen. Is de temperatuur beneden de -40°, dan bestaat de wolk uitsluitend uit ijskristallen.



'Warme wolken' bestaan uit uitsluitend vloeibaar water; in koude wolken komen daarnaast ook onderkoeld water en ijs voor.

9.3 Wolkenclassificatie



Luke Howard.

Iedereen heeft wel eens naar de hemel gekeken en de bewolking bestudeerd. Dit is niets nieuws want al vele eeuwen kijken mensen geboeid naar het aanzien van de hemel. Bekend is dat zeelieden en boeren de wolken gebruiken voor het voorspellen van het (lokale) weer. Minder bekend is dat de Engelse natuurkundige Luke Howard zich al in de 18e eeuw bezighield met wolken. Ook hij keek naar de lucht en zag dat de wolken voortdurend aan veranderingen onderhevig waren. Gefasci-

neerd door wat hij waarnam, onderzocht hij of er een bepaalde structuur in te onderkennen was. Dat bleek inderdaad het geval.

Allereerst ontdekte hij drie verschillen typen wolken:

- Gelaagde bewolking op een en hetzelfde niveau,
- opbollende bewolking of stapelwolken die zich meer in de hoogte leken te ontwikkelen, en
- bewolking met een meer vezelachtige structuur.

Ook combinaties van deze verschillende wolkentypen waren volgens hem mogelijk. Maar nog kon hij niet alle wolken die hij waarnam, indelen. De stap naar wolkenclassificatie maakte hij door de genoemde wolkentypen te combineren met het aanzien, de samenstelling en hoogte van deze wolken. De zo ontwikkelde classificatie leverde uiteindelijk 10 wolkengeslachten op. Deze indeling wordt nog steeds wereldwijd gebruikt door de meteorologische diensten. De naamgeving van de wolkengeslachten is in het Latijn omdat dit in de tijd van Howard de voertaal was voor wetenschappelijke publicaties. We zullen deze wolkengeslachten achtereenvolgens beschrijven. Allereerst wordt bij de indeling onderscheid gemaakt tussen 'gelaagde' bewolking en 'stapelwolken'.

Gelaagde bewolking wordt ook wel 'stratiform' genoemd vanwege de vaak grote horizontale uitgestrektheid van de wolk en gaat in de naamgeving vergezeld van de term 'stratus'. Voorbeelden hiervan zijn *Cirrostratus*, *Altostratus*, *Nimbostratus* en *Stratus*; deze bewolkingstypen zijn in het algemeen achtereenvolgens zichtbaar tijdens de passage van een warmtefront.

Stapelwolken daarentegen worden wel 'cumuliforme' bewolking genoemd omdat dit type bewolking zich hoofdzakelijk in verticale richting uitstrekt; in de naamgeving is dit terug te vinden in de term 'cumulus' (ophoping). Wolkennamen met cumulus erin zijn bijvoorbeeld: *Cumulus*, *Cumulonimbus*, *Alto cumulus* en *Cirrocumulus*.



Schets van een *Cumulonimbus*wolk door Luke Howard.

9.4 Cumuliforme bewolking

Cumulus (CU)

Deze afzonderlijke wolken hebben vaak scherpe en duidelijke randen en ontwikkelen zich in verticale richting. De bovenkant van deze bewolking ziet er soms uit als een 'bloemkool'; dit aanzien wordt veroorzaakt door snelheidsverschillen tussen de stijgbewegingen in de wolk. Doordat cumuluswolken boven land in de meeste gevallen overdag ontstaan worden ze beschenen door de zon en zijn ze tegen een heldere achtergrond vaak verblindend wit. Daarentegen is



de onderzijde donkerder doordat het zonlicht in de wolk verstrooid en geabsorbeerd wordt door de aanwezige waterdruppels. De hoogte waarop deze wolk voorkomt (en in de weerkunde gaat het dan over de wolkenbasis), is tussen het aardoppervlak en circa 2200 m. Soms heeft cumulus een wat meer gerafeld uiterlijk, bijvoorbeeld doordat er wat meer wind aanwezig is op de hoogte waarop de bewolking ontstaan is. Kleinere cumuluswolken noemt men ook wel 'mooiweerwolken', omdat ze zich ontwikkelen bij zonnig en helder weer. Als ze zich verder ontwikkelen of uitspreiden in horizontale richting, is het met de zon gedaan. Regen valt er echter pas als de cumulus verder doorgroeit tot een cumulonimbus.

Cumulonimbus (CB)

Als een cumuluswolk door verregaande onstabieleit zich verder verticaal ontwikkelt en daarbij het niveau bereikt waarbij de temperatuur en de vrieskernen de waterdruppels boven in de wolk doen overgaan in ijskristallen, ontstaat de cumulonimbuswolk. Deze heeft in de meeste gevallen aan de basis een donker aanzien en bezit aan de bovenzijde een vezelachtige of streperige structuur, vaak in de



vorm van een aambeeld. Uit cumulonimbi valt neerslag; valstrepen onder de wolk geven daarvoor soms een aanwijzing. De bovengenoemde uiterlijke kenmerken zijn niet waar te nemen als er een egaal (donker)grijs wolkendek is waaruit buiige neerslag valt. In dat geval wordt de cumulonimbuswolk aan het zicht onttrokken door aanwezige altostratus- of nimbostratusbewolking. De hoogte waarop deze wolk voorkomt (en in de weerkunde gaat het dan zoals gezegd over de wolkenbasis) is tussen het aardoppervlak en circa 2200 m; de toppen daarentegen bereiken altijd het niveau waarop ijskristallen aanwezig zijn en kunnen met name in de zomermaanden, tot 20 km of meer reiken. Veel meer over cumulonimbuswolken is te vinden in het volgende hoofdstuk.

Stratocumulus (SC)

Deze bewolking is de meest voorkomende in West-Europa en bestaat uit één wolkenlaag waarin vrijwel altijd donkere en lichtere gedeelten afwisselend voorkomen. Soms zijn de elementen met elkaar versmolten en vormen dan een gesloten wolkenlaag. Hoewel deze wolken overwegend uit waterdruppels bestaan, kan het voorkomen dat de randen rafelig zijn.



Neerslag zal uit deze bewolking alleen kunnen vallen als het een voldoende dikke laag is, waarbij dan het aanzien van de wolk donkergrijs zal zijn.

Stratocumulusbewolking kan ontstaan als bijvoorbeeld een mistlaag oplost aan het aardoppervlak, eerst overgaat in stratus (zie verderop), waarna het lijkt alsof de wolkenbasis verder stijgt. De hierbij aanwezige turbulentie zorgt dan voor enige mate van onstabieleit. Deze bewolking komt ook vaak voor als aan het eind van de dag de onstabieleit afneemt en daardoor de wolkentoppen van de in de loop van de dag ontstane cumuluswolken inzakken en de wolkenbasis wat uitspreidt.

Alto cumulus (AC)

Bij deze wolken wisselen openingen en wolkelementen elkaar vaak op regelmatige wijze af. De randen zijn meestal gerafeld en de wolken hebben enige verticale ontwikkeling. Alto cumuluswolken met bovenstaande kenmerken worden ook vaak 'schapenwolken' genoemd. Andere soorten van alto cumulus zijn de wolken die meer een lens- of amandelvormig aanzien hebben.

Is in de wolkenlaag een rij van torens of losse elementen in de vorm van (fel witte) vlokken te onderscheiden, dan is deze bewolking als goede voorspeller van onweer te gebruiken, meestal binnen 24 uur. Altocumulusbewolking bestaat doorgaans uit waterdruppels, behalve in die gevallen waarin de temperatuur zeer lage waarden bereikt en de wolk daardoor ook ijskristallen bevat.

De altocumuluswolk ontstaat als gevolg van onstabiele en/of turbulente op een niveau tussen 2200 en 5500 m, bijvoorbeeld doordat er sterke verschillen in windrichting en/of snelheid aanwezig zijn tussen twee aangrenzende niveaus. Een andere ontstaansoorzaak kan zijn dat bewolking van het geslacht altostratus of nimbostratus overgaat in altocumulusbewolking.



Cirrocumulus (CC)

Cirrocumulusbewolking zit vrij hoog, namelijk boven de 5500 m; daardoor bestaat deze volledig uit ijskristallen. Door de grote afstand tot het aardoppervlak zijn de afzonderlijke elementen alleen zéér klein waar te nemen. De elementen zijn wel vaak (evenals altocumulus) regelmatig gerangschikt aan de hemel. Deze helwitte wolken geven de hemel vaak een fraai aanzien. Zoals de naam ook al aangeeft, is er verticale ontwikkeling waar te nemen bij deze

wolken. Ze ontstaan dan ook als gevolg van wrijvingseffecten nabij een (verticaal) golvend warmtefrontvlak. In de stijgende luchtbeweging zal de bewolking ontstaan en in de dalende luchtbeweging zal deze aan oplossing onderhevig zijn.

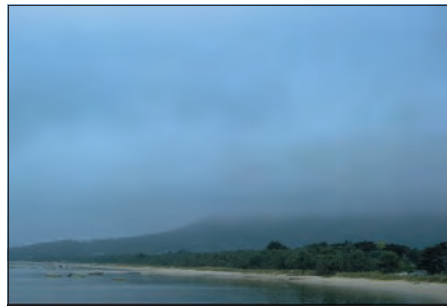
Ook kan deze bewolking ontstaan in bergachtige gebieden waarbij aan de lijzijde hiervan in de bovenlucht een golvend patroon waar te nemen is.



9.5 Stratiforme bewolking

Stratus (ST)

Deze wolken komen hoofdzakelijk voor nabij het aardoppervlak. Soms zelfs bevindt de basis zich op het aardoppervlak en is er mist. Doordat deze bewolking dicht bij het aardoppervlak voorkomt, bestaat ze meestal uit waterdruppeltjes. Alleen als de temperatuur in de wintermaanden ver beneden het vriespunt ligt, bestaat de wolk soms uit ijskristallen.



Het aanzien van de wolk is een gelaagde grijs wolkendek waarin vrijwel geen structuur valt te ontdekken. In het algemeen geldt: hoe donkerder de wolk, des te groter de kans op wat neerslag. Veel valt er niet uit; het zal hoofdzakelijk licht motregenen, of – in de winter – motsneeuwen. Soms is de bewolking zo dun dat de zon door deze wolk heen te zien is; neerslag is dan uitgesloten. Het ontstaan van mist is in hoofdstuk 7 al aan bod gekomen; stratus kan ontstaan als de mist, als gevolg van opwarming van het aardoppervlak, optrekt. Stratus ontstaat ook als in mistsituaties de wind aantrekt, waardoor er menging van lucht plaatsvindt. Ook ontstaat stratus nabij het aardoppervlak (tot ongeveer 300 m hoogte) als gevolg van het samenspel van verdamping en condensatie wanneer uit een dikke wolkenlaag neerslag valt door een minder vochtige luchtlaag.