



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



Model verticale windsnelheid

KNMI

Fontys Hogeschool Eindhoven
Toegepaste natuurwetenschappen

Sanne Thewessem

30 januari 2013

Model verticale windsnelheid

Het verbeteren van het model voor de bepaling van de verticale windsnelheid met behulp van weerballonnen.

In het kader van een stage in het derde jaar van de opleiding Technische Natuurkunde onderdeel van Fontys Hogeschool te Eindhoven.

Stageperiode van 3 september 2012 tot en met 1 februari 2013

Stagiair:	Sanne Thewessem
Stagebegeleiders:	Ad Stoffelen Jos de Kloe
Stagementor:	Helger van Halewijn

KNMI
Wilhelminalaan 10
3732 GK, De Bilt

Fontys
Rachelsmolen 1
5612 MA, Eindhoven

Samenvatting

Het doel van de stageperiode bij het KNMI is het bepalen van de verticale windsnelheid met behulp van weerballonnen. Dit wordt gedaan door de stijgsnelheid van de ballon te meten en te berekenen. Het verschil tussen deze waarden is de verticale wind. Er is een model gemaakt door een voorganger op deze stage met een nauwkeurigheid van 20 tot 40%. Het uiteindelijke doel is een nauwkeurigheid van 1 tot 2 %.

Om de stijgsnelheid te kunnen berekenen zijn er een aantal grootheden nodig. Een daarvan is de parametrisatie tussen de dragcoëfficiënt en het Reynoldsgetal. De dragcoëfficiënt is nodig voor het bepalen van de luchtweerstand. Er bestaat hiervoor geen goede theoretische bepaling, maar deze parametrisatie wordt empirisch bepaald. Om deze parametrisatie te bepalen wordt één jaar aan data gebruikt. Hiervoor is het model omgeschreven naar een gecompileerde taal, namelijk Fortran. Door het model om te schrijven naar Fortran, duurt het in plaats van ± 30 seconden nog maar ± 1 seconden. Door deze verbetering is het makkelijker om veel data door te rekenen. Dit is uitgevoerd en er is een nieuwe parametrisatie bepaald. Toepassing hiervan heeft grote invloed op de berekende waarde van de stijgsnelheid. De nieuwe parametrisatie die is bepaald lijkt uit twee regimes te bestaan. Door de temperatuurgradiënt te gebruiken als kleur voor de data, wordt de scheiding duidelijk en lijkt deze rond de tropopauze te liggen.

Er is ook gekeken naar het verschil tussen de parametrisaties voor dag-, nachtoplatingen en ozonsondes. Opvallend hierbij is dat de parametrisatie voor dag- en nachtoplatingen in het begin van de vlucht goed overeenkomen, terwijl de ozonsondes hier juist afwijken. Ook opvallend is dat bij de temperatuurgradiënt voor ozonsondes, de scheiding tussen de twee regimes niet ligt bij het punt waar de temperatuurgradiënt naar nul gaat, zoals bij de nachtoplatingen. Terwijl de scheiding wel nog op de hoogte van de tropopauze ligt. Een duidelijke verklaring voor de scheiding is niet gevonden.

Omdat de parametrisatie afhankelijk is van het model, past het zich aan op fouten en benaderingen die in het model worden gedaan. Daarom leiden niet alle aanpassingen die worden gedaan tot een verandering of verbetering. Om de bruikbaarheid te testen, wordt de data opgedeeld in 2 delen. Uit één deel wordt de parametrisatie bepaald en uit het andere deel wordt de gemiddelde verticale windsnelheid bepaald. En andersom, deze gemiddelden liggen dicht bij elkaar. Dit toont aan dat de methode goed reproduceerbaar is en dat er genoeg data wordt gebruikt voor het bepalen van de parametrisatie.

Daarnaast is er gekeken naar de simulatie van de temperatuur binnen de ballon. Dit gebeurt aan de hand van een differentiaalvergelijking die afhankelijk is van de diffusiecoëfficiënt. In plaats van het gemiddelde in de ballon te gebruiken, is deze afhankelijk gemaakt van de straal. Dit leverde een verbetering op.

Het doel om het model te verbeteren is bereikt, maar het uiteindelijke doel van een nauwkeurigheid van 1 tot 2% is nog niet bereikt. Het is lastig te zeggen wat de huidige nauwkeurigheid is, hiervoor is verificatie nodig met behulp van andere onafhankelijke metingen. Zo ligt de gemiddelde verticale wind over 5 maanden aan data, binnen een waarde van ± 0.1 m/s. Voor een losse meting ligt dit nog niet binnen een bereik van ± 0.1 m/s, vooral in het begin is er nog een grotere afwijking. Er zijn dan ook nog verbeteringen mogelijk.

Zo kan er dieper worden ingegaan op de invloed van de zon, zodat er ook naar dagoplatingen kan worden gekeken. Ook naar het vergelijken van het model met metingen om een goed beeld te krijgen van de juistheid van het model kan worden gekeken. In het huidige model wordt uitgegaan van een bol-symmetrisch systeem, terwijl de ballon niet gedurende de hele vlucht een perfecte bol blijft. Dit kan nader worden onderzocht. Ook is er nog geen verklaring gevonden voor de vorm van de parametrisatie tussen de dragcoëfficiënt en het Reynoldsgetal.

Voorwoord

Het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) is onderdeel van het ministerie van Infrastructuur en Milieu. Vanuit de werkkamer in de Bilt worden er 24 uur per dag weersverwachtingen voor het algemene publiek en de scheep- en luchtvaart verzorgd. Daarnaast worden er regionale en nationale waarschuwingen uitgegeven indien dit noodzakelijk is. De huidige waarneem- en modelsystemen worden steeds verder ontwikkeld. Ook wordt er onderzoek gedaan naar het begrijpen van belangrijke processen op het gebied van de atmosfeer, oceaan en de vaste aarde. Zo houdt de afdeling seismologie zich vooral bezig met het bestuderen van aardbevingen. De afdeling klimaat is bezig met het begrijpen en voorspellen van het klimaatsysteem. En ook waarnemingen die worden gedaan spelen een belangrijke rol bij het onderzoek. Het onderzoek gebeurt steeds meer aan de hand van vraagsturing vanuit de maatschappij en het bedrijfsleven.

De stage is uitgevoerd op de afdeling weeronderzoek en is een opvolging van Toon Rouws, voormalig stagiair op het KNMI. Door zijn model verder te ontwikkelen is er in relatief korte tijd goede vooruitgang geboekt.

Daarnaast zijn er enkele mensen die ik wil bedanken. Jos de Kloe wil ik bedanken voor de hulp die hij mij heeft geboden tijdens mijn stageperiode. Hij was altijd bereid mij te helpen, maar was toch kritisch zodat ik zelf goed bleef nadenken. Ook Ad Stoffelen wil ik bedanken voor het mogelijk maken van de stage en de sturing die hij heeft gegeven in het proces. Richard Rothe heeft mij laten zien hoe de weerballonnen worden opgelaten. Ook bleef hij het principe van het vul-systeem uitleggen tot ik het echt goed begreep. Henk Klein Baltink heeft mij geholpen met de informatie die ik nodig had voor het vergelijken van het model met metingen. Tot slot ook alle medewerkers op het KNMI die mij hebben geholpen en advies hebben gegeven.

Inhoudsopgave

Samenvatting	I
Voorwoord	III
1 Inleiding	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Duurzaamheid	2
1.4 Opbouw	3
2 Aanpak	5
3 Theorie	7
3.1 Krachtenevenwicht	7
3.2 Thermodynamisch proces	9
3.2.1 Adiabatische expansie	9
3.2.2 Warmtediffusie	10
3.2.3 Correctie	11
4 Het model	12
4.1 Opbouw van het model	12
4.2 Vergelijking modellen	14
5 Parametrisatie dragcoëfficiënt en het Reynoldsgetal	16
5.1 Uitzonderingen	17
5.2 Analyse	18
5.3 Opsplitsing	20

5.4	Temperatuur gradiënt	21
5.5	Aanpassing van de parametrisatie	23
6	Resultaten	25
6.1	Begincondities	25
6.2	Gemiddelde windsnelheid	26
6.3	Diffusie	29
6.4	Metingen	33
6.5	Vergelijking	34
7	Conclusie & Aanbevelingen	35
	Literatuurlijst	37

Hoofdstuk 1

Inleiding

1.1 Probleemstelling

De aanleiding voor het onderzoek naar verticale luchtstroming bij het KNMI is een nog te lanceren ESA satellietinstrument, Aeolus genoemd. Het gaat de wind in de atmosfeer meten, inclusief een projectie van de verticale windcomponent. Voor de voorbereiding op Aeolus satellietmissie zouden goede waarnemingen zeer welkom zijn. Omdat er maar weinig waarnemingen van verticale wind beschikbaar zijn, is er een onderzoek gestart naar de mogelijkheid om deze uit de metingen van radiosondes opgelaten met weerballonnen af te leiden. Een artikel van een Zwitserse onderzoeksgroep onder leiding van A. Gallice [1], was het startpunt van het onderzoek. Dit was het meest complete en nauwkeurige model voor zover bekend bij het KNMI.

Een radiosonde meet om de 2 seconden de belangrijkste grootheden zoals; temperatuur, luchtdruk, hoogte, luchtvochtigheid etc. Om hieruit de verticale wind te bepalen, kan de verticale stijgsnelheid bepaald worden met behulp van een model. Door deze waarde met de gemeten stijgsnelheid te vergelijken kan de verticale wind worden bepaald.

Er worden dagelijks twee weerballonnen opgelaten, rond 0 en 12 uur UTC, de gecoördineerde wereldtijd. Er is een archief aan metingen van de weerballonnen die bij het KNMI zijn verricht. Ook worden er wereldwijd vele weerballonnen opgelaten. Er veel data beschikbaar om het model te testen en uiteindelijk te gebruiken.

1.2 Doelstelling

Er is een model gemaakt door, Toon Rouws[2], een voorganger op deze stage. Nadeel van het model is dat het niet nauwkeurig genoeg is om gebruikt te kunnen worden voor de bepaling van verticale wind. Het doel van de stage is dan ook het verder uitwerken van het model om de verticale wind te bepalen. Het oorspronkelijke model heeft een nauwkeurigheid van 20 tot 40 % en het

uiteindelijke doel is een nauwkeurigheid van 1 tot 2 %. Dit is omdat de verticale wind een ordegrootte heeft van ± 0.1 m/s en de stijgsnelheid ordegrootte 5 m/s is.

Het didactische doel van deze stage is het voorbereiden op het toekomstige beroepsprofiel. Ook is de stageperiode een voorbereiding op het afstuderen en voor de ontwikkeling van competenties.

1.3 Duurzaamheid

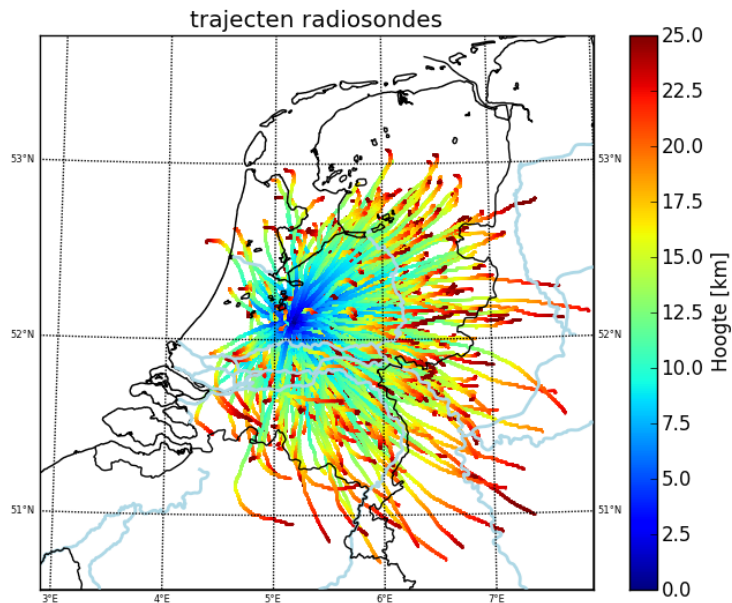
In het kader van het keurmerk duurzaam HBO wordt er ingegaan op de duurzaamheid en maatschappelijk verantwoord ondernemen. Binnen het KNMI bestaat er een milieucommissie [3], deze zorgt voor een vermindering van de milieubelasting van het instituut. Enkele veranderingen die zij hebben doorgevoerd zijn;

- Het uitdelen van mokken aan de werknemers van het KNMI. Om het aantal plastic wegwerpbekers te verminderen
- Het nieuwe computercentrum van het KNMI is dankzij de warmte- koudeopslag duurzaam.
- De huidige TL-verlichting wordt vervangen door LED-verlichting.

Op het moment zijn ze nog bezig een oplossing te zoeken voor het feit dat de computers 's nachts en in de weekenden aanstaan, terwijl ze niet worden gebruikt. De computers worden niet uitgezet omdat het systeembeheer dan updates uitvoert ze kunnen de computers op afstand nog niet aan en uitzetten. Ze bekijken of ze dit met het systeem 'wake up on LAN' wel kunnen realiseren. Er wordt ook gekeken naar de mogelijkheid om de computers 's nachts wel te gebruiken voor bijvoorbeeld langdurige berekeningen.

De duurzaamheid met betrekking op mijn opdracht is ook bekeken. Nadat de ballonnen zijn geknapt vallen ze naar beneden. Om te zorgen dat dit niet met een levensgevaarlijke snelheid gebeurt, zit er een parachute aan bevestigd. Aan het pakketje zit een brief bevestigd, hierin staat dat de vinder het kan inleveren bij het klein chemisch afval. De brief is in het Nederlands en Duits, want zoals in figuur 1.1 is te zien leggen de sondes grote afstanden af. Omdat het pakketje niet altijd op bewoond gebied terecht komt, is het belangrijk dat het grotendeels biologisch afbreekbaar is. Alleen in de batterij, die op waterbasis is, zit een kleine hoeveelheid schadelijke chemicaliën. De rest is biologisch afbreekbaar. De ozonsonde die eens per week wordt opgelaten is niet biologisch afbreekbaar, maar deze kan door de vinder worden teruggestuurd naar het KNMI.

De hoeveelheid Helium in de ballon wordt beperkt door het vul-systeem. De Helium wordt door de grond aangevoerd naar het systeem en het wordt automatisch afgesloten als er een bepaalde vulling is bereikt. Er is dus weinig verspilling van helium.



Figuur 1.1: trajecten afhankelijk van de hoogte van 1 jaar radiosondes

1.4 Opbouw

Dit verslag is opgebouwd in enkele onderdelen. Het eerste onderdeel dat wordt beschreven is de theorie. Hierin wordt uitgelegd wat voor krachten er werken op de ballon en hoe de vergelijkingen die in het model worden gebruikt zijn ontstaan. Vervolgens wordt er verder ingegaan op de opbouw van het model. Daarna zal de parametrisatie tussen de dragcoëfficiënt en het Reynoldsgetal aan bod komen. Vervolgens wordt in het hoofdstuk Resultaten gekeken naar de begincondities van het model en een eventuele aanpassing hiervan, de bepaling van de gemiddelde verticale wind, een aanpassing van de diffusie en wordt er gekeken naar de mogelijkheid om het model te vergelijken met metingen. Ook wordt het model vergeleken met de originele versie om een duidelijk beeld van het resultaat te geven. Tot slot zal er een conclusie worden getrokken en enkele aanbevelingen worden gedaan.

Hieronder staan nog enkele tabellen. In tabel 1.1 staan de types van de ballonnen en radiosondes die worden gebruikt op het KNMI met bijbehorende gewichten. De ballonnen worden geleverd door de fabrikant Totex [4]. Het type TA ballon bestaat uit latex gemaakt van een natuurlijk rubber en bij het TX type zijn er chemische componenten toegevoegd aan de latex. Verdere specificaties van het materiaal zijn niet bekend. In tabel 1.2 staan enkele constanten uitgelegd die in het verslag worden gebruikt.

ballontype	gewicht [kg]	gebruik
TA350	0.350	radiosonde zomer
TX350	0.350	radiosonde winter
TA1200	1.200	ozonsonde zomer
TX1200	1.200	ozonsonde winter

sondtype	gewicht [kg]	gebruik
RS92-SGP	0.380	regulier gebruik
gecombineerd; RS92-SGP radiosonde, O1f92 ozoninterface, ECC 6A ozonsonde	1.080	ozonsonde

Tabel 1.1: type ballon[5]

symbool	definitie	waarde	eenheid
R_u	universele gasconstante	8.31	$\frac{J}{mol \cdot K}$
g	valversnelling	9.81	$\frac{m}{s^2}$
M_{lucht}	molaire massa lucht	28.97	$\frac{g}{mol}$
M_{He}	molaire massa Helium	4.003	$\frac{g}{mol}$
C_s	constante van Sutherland lucht	120	—
T_0	referentie temperatuur lucht	291.15	K
η_0	referentie viscositeit lucht	$18.27 \cdot 10^{-6}$	$Pa \cdot s$

Tabel 1.2: Uitleg constanten

Hoofdstuk 2

Aanpak

Om de doelstelling te bereiken zijn er enkele mogelijkheden waaraan gewerkt kan worden. Ten eerste is het belangrijk om het besturingssysteem Linux en de programmeertaal Python te begrijpen. Ook het begrijpen van het bestaande model en de theorie hierachter horen hierbij. Vervolgens zijn er verschillende mogelijkheden om het model te verbeteren.

- Er kan naar de metingen in het archief worden gekeken om te bepalen welke factoren een belangrijke rol spelen. Zoals het verschil tussen de dag- en nachtoplatingen, turbulente en rustige weertypes.
- De parametrisatie tussen de dragcoëfficiënt¹ en het Reynoldsgetal² kan verder worden onderzocht. Er is niet bekend of de huidige parametrisatie klopt, maar het komt niet overeen met de resultaten van Gallice. Dit kan komen omdat niet hetzelfde type ballon is gebruikt, maar dit moet nog verder worden onderzocht.
 - Met behulp van data uit het archief kan er een nieuwe parametrisatie worden bepaald tussen de dragcoëfficiënt en het Reynoldsgetal.
 - Ook kan met behulp van de standaard deviatie worden gekeken naar eventuele uitzonderingen. Er kan nog verder worden onderzocht wat de oorzaak van deze uitzonderingen is.
- De nauwkeurigheid van de begincondities kan worden onderzocht door experimenten te doen. De spreiding in de massa van de ballon en de sonde kan worden bepaald. Ook de spreiding in het volume helium kan worden bepaald. De ballon wordt via een automatisch systeem gevuld met helium. Maar bij aanvang van de stage is niet bekend of dit systeem nauwkeurig genoeg is om te gebruiken als beginconditie voor het model.
- Er kan ook gekeken worden naar de verticale windsnelheid dicht bij de grond. Bekend is dat deze bij bepaalde weertypes, bijvoorbeeld mist, gelijk is aan nul.

¹De dragcoëfficiënt wordt gebruikt voor het bepalen van de luchtweerstand.

²Het Reynoldsgetal is een maat voor de turbulentie in de atmosfeer.

- Er kan gekeken worden naar de invloed van de zon bij de dagoplatingen. De invloed van de convectie kan worden berekend. Ook kan gekeken worden of de diffusie in het huidige model klopt of dat hiervoor een model kan worden gemaakt in bijvoorbeeld COMSOL.
- De nauwkeurigheid van de hoogte kan worden onderzocht. De hoogte wordt met behulp van gps gemeten, maar deze waarden zijn niet altijd compleet vanwege communicatie storingen. Daarom wordt de hoogte bepaald aan de hand van de druk en luchtvochtigheid. Er is niet bekend of dit nauwkeurig genoeg gebeurt. Ook het touw dat zich tussen de ballon en de sonde bevindt geeft een afwijking in de hoogte.
- Als het model veel metingen moet verwerken kan er gekeken worden naar het omzetten naar een andere programmeertaal zoals C of Fortran, hierdoor wordt het sneller en ook gemakkelijker in het gebruik.
- Het model kan worden vergeleken met het model van Gallice. Hieruit kunnen nog eventueel verbeteringen ontstaan.
- Verticale wind uit het model vergelijken met meting van de wind. Met behulp van bijvoorbeeld de radar.

Hoofdstuk 3

Theorie

3.1 Krachtenevenwicht

Om te begrijpen wat er in het model gebeurt, moet eerst worden gekeken naar de fysische achtergrond. Op de ballon werken de krachten die te zien zijn in figuur 3.1. Hierin zijn W_b , W_s en W_{He} het gewicht van de ballon, sonde en het Helium. Hiervoor geldt:

$$W_{tot} = m_{tot} \cdot g \quad (3.1)$$

Waarbij W_{tot} het totale gewicht is, m_{tot} de totale massa is en g de valversnelling.

Voor de drijfkraft geldt de wet van Archimedes: *De opwaartse kracht die een lichaam in een vloeistof of gas ondervindt is even groot als het gewicht van de verplaatste vloeistof of gas.* In formulevorm is dat:

$$F_b = V \cdot \rho \cdot g \quad (3.2)$$

Waarbij F_b de drijfkraft is, V het volume van het voorwerp en ρ de dichtheid. Voor de Free lift¹, F_{FL} , geldt:

$$F_{FL} = F_b - W_{tot} \quad (3.3)$$

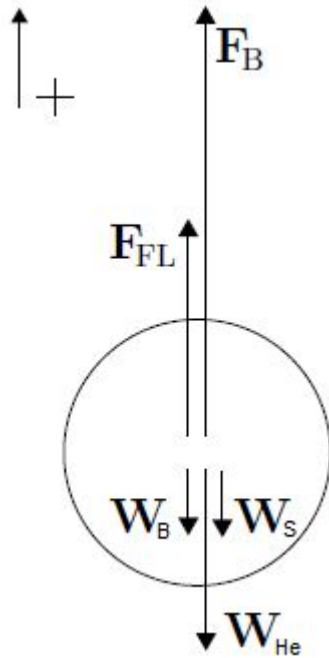
Om het startvolume van het Helium te bepalen wordt dit omgeschreven in:

$$V_0 = \frac{F_{FL0} + m_b \cdot g + m_s \cdot g}{\frac{P_0}{T_0} \cdot g \cdot \left(\frac{M_{lucht}}{R_u} - \frac{M_{He}}{R_u} \right)} \quad (3.4)$$

Waarbij V_0 het beginvolume is, P_0 en T_0 de begin druk en temperatuur zijn. M_{lucht} de molaire massa van lucht is en M_{He} de molaire massa van Helium. R_u is hierbij de universele gasconstante. m_s en m_b zijn de massa's van de sonde en de ballon. En dit kan vervolgens worden omgerekend naar de beginstraal, R_0 , van de ballon:

$$R_0 = \left(\frac{3}{4\pi} \cdot \frac{F_{FL0} + m_b \cdot g}{\frac{P_0}{T_0} \cdot g \cdot \left(\frac{M_{lucht}}{R_u} - \frac{M_{He}}{R_u} \right)} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.5)$$

¹De Free lift is de totale opwaartse kracht die op de ballon werkt.



Figuur 3.1: Krachtenevenwicht ballon

Tijdens de vlucht ondervindt de ballon ook weerstand van de lucht. Voor de luchtweerstand ook wel dragforce genoemd geldt:

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_{lucht} \cdot v_{rel}^2 \cdot A_{\perp} \quad (3.6)$$

Waarbij F_d de dragforce is, C_d de dragcoëfficiënt, ρ_{lucht} de dichtheid van lucht, v_{rel} de relatieve snelheid ten opzichte van het medium is en A_{\perp} het frontale oppervlakte is.

Er wordt aangenomen dat er geen versnelling plaats vindt en dus de som van alle krachten nul is. Daarom wordt de Free lift gelijk gesteld aan de luchtweerstand. Hieruit kan de verticale snelheid worden bepaald:

$$v_{rel} = \sqrt{\frac{8 \cdot g \cdot R}{3 \cdot C_d} \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot m_{tot}}{4 \cdot \rho_{lucht} \cdot \pi \cdot R^3}\right)} \quad (3.7)$$

De luchtweerstand is afhankelijk van de dragcoëfficiënt. Als de verticale wind nul wordt verondersteld kan de dragcoëfficiënt worden bepaald uit de inverse van formule 3.7. De dragcoëfficiënt ook aan de hand van de parametrisatie met het Reynoldsgetal bepaald. Voor het Reynoldsgetal geldt:

$$Re = \frac{\rho \cdot v_{rel} \cdot L_c}{\eta} \quad (3.8)$$

Hierbij is Re het Reynoldsgetal, ρ de dichtheid van het medium waardoor het object zich beweegt, L_c de karakteristieke lengte van het object en η de viscositeit. Voor de viscositeit van gassen geldt:

$$\eta = \eta_0 \cdot \frac{T_0 + C_s}{T + C_s} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.9)$$

Hierbij is C_s de constante van Sutherland, deze is specifiek voor ieder gas. T_0 en η_0 zijn de referentie temperatuur en viscositeit van het gas. Op het bepalen van deze parametrisatie wordt later in het verslag dieper ingegaan.

3.2 Thermodynamisch proces

3.2.1 Adiabatische expansie

Om de verandering in de straal van de ballon te bepalen wordt in de eerste stap aangenomen dat de temperatuur en de hoeveelheid gas constant zijn en er dus geen warmte wordt uitgewisseld met de omgeving, een adiabatisch proces. In werkelijkheid vindt er wel warmte uitwisseling plaats, daarom wordt later een correctie gedaan. De adiabatische expansie van de ballon wordt bepaald met behulp van de ideale gaswet:

$$P \cdot v = R_g \cdot T \quad (3.10)$$

Ook te schrijven als

$$V = \frac{m \cdot R_g \cdot T}{P} \quad (3.11)$$

Hierbij is P de druk, v het soortelijke volume, R_g de gasconstante, V het volume en T de temperatuur. Om de adiabatische expansie van het volume (V_{adia}), straal (R_{adia}) en de temperatuur (T_{adia}) te bepalen worden de volgende vergelijkingen gebruikt:

$$V_{adia} = \frac{P_1}{P_2} \cdot V_1 \quad (3.12)$$

$$R_{adia} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot R_1 \quad (3.13)$$

$$T_{adia}(r) = \frac{P_2}{P_1} \cdot T_1(r) \quad (3.14)$$

3.2.2 Warmtediffusie

De ballon wisselt tijdens de vlucht warmte uit met de omgeving. Dit is in de vorm van de diffusie door het rubber en in- of uitstraling van warmte. De zon heeft een grote invloed op de instraling. Aangezien er alleen naar nachtoplatingen wordt gekeken is de instraling verwaarloosd. Verder is de convectie in de ballon verwaarloosd en alleen naar de diffusie gekeken. De diffusie kan worden beschreven als een tweede orde differentiaalvergelijking, Incropera & Dewitt [6].

$$\frac{\delta}{\delta r} \left(\kappa \cdot \frac{\delta T}{\delta r} \right) = \rho \cdot c_p \cdot \frac{\delta T}{\delta t} \quad (3.15)$$

Waarbij δr de straal van de bol is, κ de warmtegeleidingscoëfficiënt, δT het temperatuurverschil, ρ de dichtheid, c_p de soortelijke warmtecapaciteit en δt de tijdsduur is.

De warmteverdeling in de ballon is ook afhankelijk van de diffusiecoëfficiënt. Voor de diffusiecoëfficiënt geldt de volgende vergelijking:

$$\alpha = \frac{\kappa}{\rho \cdot c_p} \quad (3.16)$$

Hierbij is α de diffusiecoëfficiënt. Het gemiddelde van de diffusiecoëfficiënt wordt bepaald door de ballon op te splitsen in bolschillen.

$$\delta V(r) = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot dr^3 \quad (3.17)$$

Hierbij is δV het volume van de bolschil en dr de dikte van de bolschil. Met behulp van dit volume kan de gemiddelde diffusiecoëfficiënt worden bepaald:

$$r_1 = i \cdot dr \quad (3.18)$$

$$r_2 = (i + 1) \cdot dr \quad (3.19)$$

$$\alpha_{gem} = \frac{1}{R^3} \sum_{i=0}^N (r_2^3 - r_1^3) \cdot \frac{\kappa(r_2)}{\rho(r_2) \cdot c_p} \quad (3.20)$$

Hier is R de totale straal van de bol en r_1 en r_2 de straal van de binnenste en buitenste schil.

Vergelijking 3.15 en 3.16 kunnen worden omgeschreven met behulp van bolcoördinaten naar de volgende vergelijking:

$$\frac{\delta T(r, t)}{\delta t} = \frac{\alpha_{gem}}{R^2} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\delta}{\delta r} \left(r^2 \cdot \frac{\delta T(r, t)}{\delta r} \right) \quad (3.21)$$

3.2.3 Correctie

Omdat het thermodynamisch proces niet volledig wordt beschreven door de bovenstaande stappen worden er nog enkele correcties toegepast. Voor de ideale gaswet, 3.11, wordt aangenomen dat tijdens de diffusie de druk constant blijft en de massa van het systeem niet verandert tijdens de vlucht. Dit kan worden omschreven naar:

$$\frac{V_2}{V_{adia}} = \frac{T_2}{T_{adia}} \quad (3.22)$$

Met behulp van vergelijkingen 3.22 en 3.12 kan het uiteindelijke volume en de uiteindelijke straal worden bepaald rekening houdend met temperatuursverandering:

$$V_2 = \frac{T_2}{T_{adia}} \cdot V_{adia} \quad (3.23)$$

$$R_2 = \left(\frac{T_2}{T_{adia}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot R_{adia} \quad (3.24)$$

Hoofdstuk 4

Het model

4.1 Opbouw van het model

De opbouw van het model is te zien in figuur 4.1. Eerst wordt de data ingelezen en gesorteerd, want deze staat niet in de juiste volgorde. Vervolgens wordt uit de hoogte en tijd de snelheid bepaald. Ook wordt er ‘smoothing’ toegepast, dit wil zeggen dat de ruis eruit wordt gefilterd. Dit wordt gedaan door op ieder punt in de snelheidscurve het gemiddelde te bepalen over een bereik van 200 datapunten. Deze gemiddelden vormen samen een nieuwe curve zonder ruis. Vervolgens wordt er een ‘loop’ in de tijd gedaan om de stijgsnelheid en drag-coëfficiënt te bepalen op ieder tijdstip. Dit wordt aan de hand van vergelijking 3.7 gedaan. Ook wordt de straal berekend. Dit gebeurt volgens het adiabatische proces, uitgelegd in hoofdstuk 3.2.1. De temperatuur wordt bepaald aan de hand van de tweede orde differentiaal vergelijking 3.15. Dit wordt numeriek opgelost met behulp van matrices, zoals beschreven in het verslag van Toon Rouws [2]. Vervolgens wordt er een correctie gedaan van de straal, omdat het geen adiabatisch proces is, zoals uitgelegd in hoofdstuk 3.2.3. Als de berekeningen zijn gedaan worden de gegevens in een bestand weggeschreven en kunnen er grafieken worden gemaakt.

Het oorspronkelijke model is geschreven in Python en het wordt omgeschreven naar Fortran. De reden van deze verandering is dat Fortran een gecompileerde taal is. Hierdoor wordt het uitvoeren van het model sneller en daardoor prettiger in het gebruik. Het maken van grafieken is niet mogelijk in Fortran, maar de output van het model kan in een tekstbestand worden gezet en door Python worden ingelezen.



Figuur 4.1: Stroomschema model

4.2 Vergelijking modellen

Er is gekeken naar het verschil in de uitkomsten van de modellen. In tabel 4.1, is gekeken naar het verschil tussen Python en Fortran. In tabel 4.2 is gekeken naar de invloed van het aantal Bytes in Fortran op de nauwkeurigheid van de reële getallen in het model. Hieruit blijkt dat het verschil relatief klein is en het 8-byte model wel twee keer zo snel werkt. Daarom is gekozen om verder te gaan met 8-byte. Ook is er gekeken naar de invloed van de ingegeven parameters. In tabel 4.3 is het aantal schillen en tijdstappen veranderd. De afwijking is bepaald ten opzichte van de originele instellingen van 100 schillen en 50 tijdstappen. Te zien is dat dit een grote invloed heeft op de tijdsduur van het model. De afwijkingen zijn voor beide modellen gelijk. Om een snel werkend model te hebben met een goede nauwkeurigheid is er gekozen om verder te testen met de instellingen van 50 schillen en 25 tijdstappen. Als het model in een later stadium een betere nauwkeurigheid dan 0.02 m/s heeft kan hier opnieuw naar worden gekeken. Ook is er gekeken naar de invloed van de opwaartse kracht, Free lift. De afwijking is bepaald ten opzichte van 11.47 N. In tabel 4.4 is goed te zien dat dit veel invloed heeft. Er is namelijk bij een verschil van 1.5 N al een afwijking van 0.22 m/s. Dit is dus een belangrijke factor voor een goede nauwkeurigheid.

Prog.	schillen [–]	tijdstappen [–]	tijdsduur [s]	afwijking t.o.v. [m/s]	totaal [%]	wind [%]
P	100	50	31.0			
F	100	50	18.5	0.001610	0.0355	0.6388
P	75	25	22.0			
F	75	25	3.0	0.001609	0.0355	0.636
P	50	25	16.0			
F	50	25	1.2	0.001607	0.0355	0.636

Tabel 4.1: Afwijking Fortran 4 bytes t.o.v. Python

Byte	schillen [–]	tijdstappen [–]	tijdsduur [s]	afwijking t.o.v. [m/s]	totaal [%]	wind [%]
8	100	50	7.29			
4	100	50	18.49	10e-5	0.0011	0.0203

Tabel 4.2: Afwijking 4 bytes t.o.v. 8 bytes in Fortran

schillen [-]	tijdstappen [-]	tijdsduur [s]	afwijking t.o.v. [m/s]	totaal [%]	wind [%]
100	50	31			
100	25	29	10e-5	0.0006	0.0115
75	25	22	0.00390	0.087	1.57
50	50	18	0.01899	0.42	7.53
50	25	14	0.01900	0.419	7.55
25	10	7	0.16	3.75	57.53

Tabel 4.3: Invloed parameters, afwijking t.o.v. 100 schillen en 50 tijdstappen in Python

schillen [-]	tijdstappen [-]	Free lift [N]	afwijking t.o.v. [m/s]	totaal [%]	wind [%]
50	25	11.47			
50	25	10.5	0.14	3.	56
50	25	10.0	0.22	5.	86
50	25	12.0	0.07	1.6	29
50	25	12.5	0.14	3.	56

Tabel 4.4: Afwijking Free lift t.o.v. 11.47 N

Hoofdstuk 5

Parametrisatie dragcoëfficiënt en het Reynoldsgetal

In hoofdstuk 3.1 is uitgelegd dat voor het bepalen van de stijgsnelheid in het model, de parametrisatie tussen de dragcoëfficiënt en het Reynoldsgetal nodig is. Omdat dit nog onbekend is, is hier verder onderzoek naar gedaan. Een Zwitserse onderzoeksgroep onder leiding van A. Gallice heeft deze parametrisatie bepaald uit 15 nachtoplatingen.

$$Cd(Re) = 4.808 \times 10^{-2} \cdot (\ln Re)^2 - 1.406 \ln Re + 10.490 \quad (5.1)$$

Toon Rouws heeft gedurende zijn stage een nieuwe parametrisatie bepaald uit 4 dagoplatingen.

$$Cd(Re) = 2094 \cdot (\ln Re)^{-0.64} \quad (5.2)$$

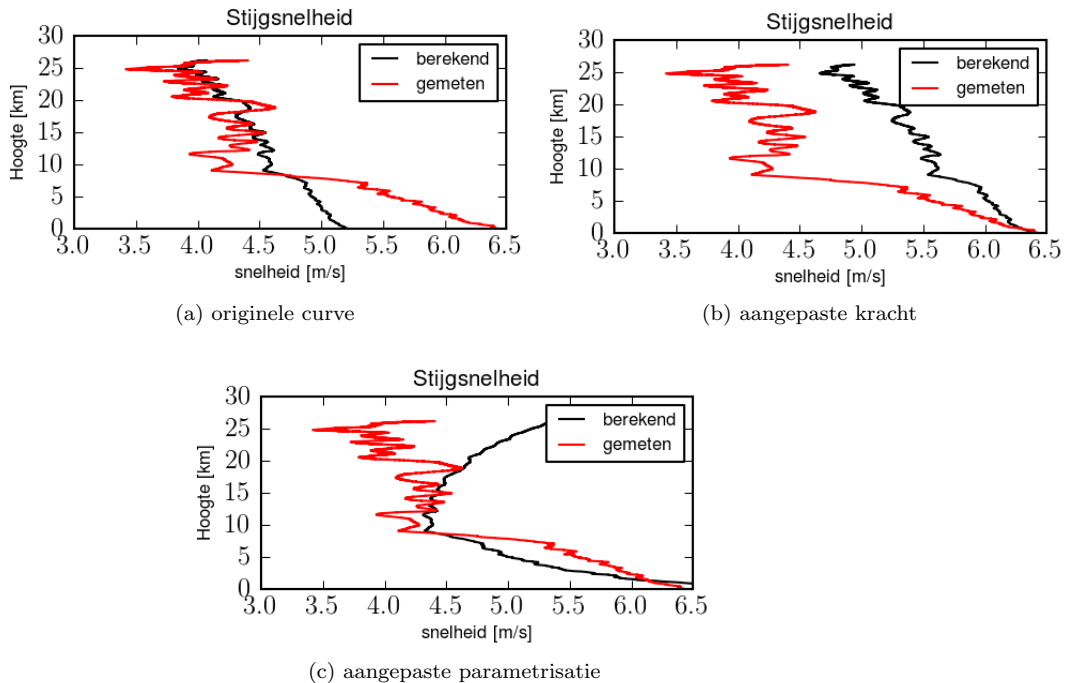
Deze parametrisaties komen niet overeen, daarom is er gekeken naar een nieuwe parametrisatie. Uit het archief van alle ballonoplatingen bij De Bilt is data gebruikt. Het model heeft van 298 nachtoplatingen uit 2012 de data doorgerekend. Dit is niet alle data, maar er zijn enkele uitschieters weggelaten. Vluchten waarbij de dragcoëfficiënt een waarde groter dan 2.0 heeft zijn weggelaten. Er is vanuit gegaan dat bij deze vluchten extreme omstandigheden waren of een meetfout heeft opgetreden. Bij de vluchten zijn de beginvolumes van het helium constant genomen. De parametrisatie tussen de dragcoëfficiënt en het Reynoldsgetal is te zien in figuur 5.4b. Ook de fit die met behulp van de kleinste kwadraten methode is gemaakt is hier te zien, de rode lijn. Voor de fit geldt de functie:

$$Cd(Re) = -0.1514 \cdot (\ln Re)^2 + 3.2779 \cdot \ln Re - 16.5353 \quad (5.3)$$

5.1 Uitzonderingen

Aan de hand van de standaard deviatie is bepaald welke curves uitschieters zijn. Van deze uitschieters is onderzocht waarom er een grote afwijking is. Bij een van deze uitschieters is opvallend dat er een hoge gemeten beginsnelheid is. De berekende beginsnelheid wijkt hier veel vanaf. De afwijking kan worden veroorzaakt door een te lage opwaartse kracht als beginconditie in het model. Door in het model deze kracht te verhogen komt de berekende snelheid in het begin wel overeen met de gemeten snelheid. Maar de rest van de snelheidscurve komt niet meer overeen. Ook moet de kracht worden verdubbeld om een goede beginsnelheid te krijgen. Hiervoor zou bij het oplaten een gewicht van ongeveer 1 kg moeten worden opgehangen. Aangezien dit onwaarschijnlijk is en het gewenste resultaat hier niet mee wordt bereikt, is er verder gezocht naar een andere oplossing.

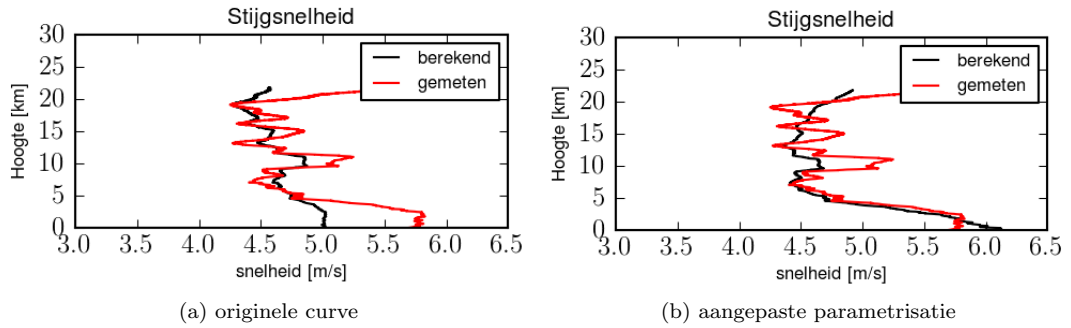
Vervolgens is de parametrisatie tussen de dragcoëfficiënt als functie van het Reynoldsgetal aangepast volgens de gemaakte fit. Dit leverde in het begin van de snelheidscurve een verbetering op maar op grotere hoogte niet, te zien in figuur 5.1. Dit kan komen omdat de fit aan het begin van de curves goed overeen komt maar aan het einde begint af te wijken. Omdat dit geval een uitschieter is, is het ook voor enkele willekeurige andere curves gedaan. Ook hier komt het begin van de curve goed overeen en is er pas aan het eind een afwijking. Dit is te zien in de figuren 5.2 en 5.3.



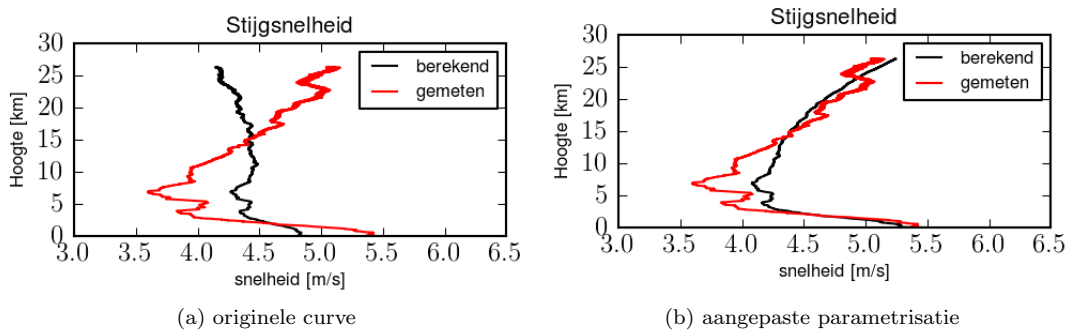
Figuur 5.1: uitzondering 01-06-2012

5.2 Analyse

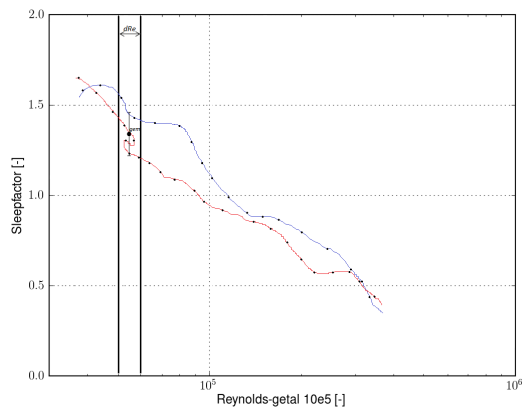
Het gemiddelde van alle data is bepaald door de grafiek op te splitsen en onder te verdelen in stukken. Van alle punten binnen dit bereik is vervolgens het gemiddelde bepaald. Zoals in figuur 5.4a is te zien voor twee willekeurige oplatings. Al deze gemiddeldes zijn vervolgens geplot. De plot van deze gemiddelden is te zien in figuur 5.4b. Om het gemiddelde te kunnen gebruiken in het model in plaats van een fit is het gemiddelde geëxtrapoleerd en gesmooth. Hierdoor zijn er minder afwijkingen van de fit en is de overgang tussen de eerste 10 km en de rest van de fit geleidelijker. Ook de standaarddeviatie is bepaald, op dezelfde manier als het gemiddelde. In figuur 5.5 is het gemiddelde en de standaarddeviatie geplot.



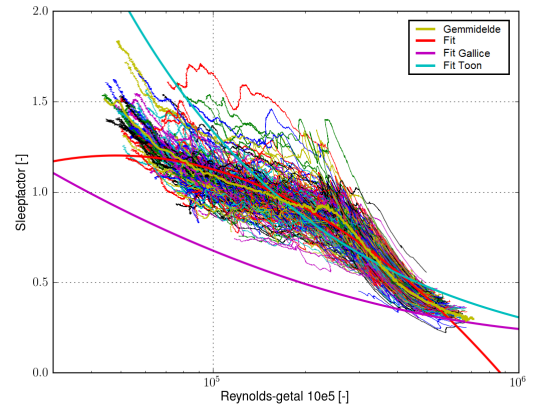
Figuur 5.2: willekeurige oplating 02-01-2012



Figuur 5.3: willekeurige oplating 03-07-2012

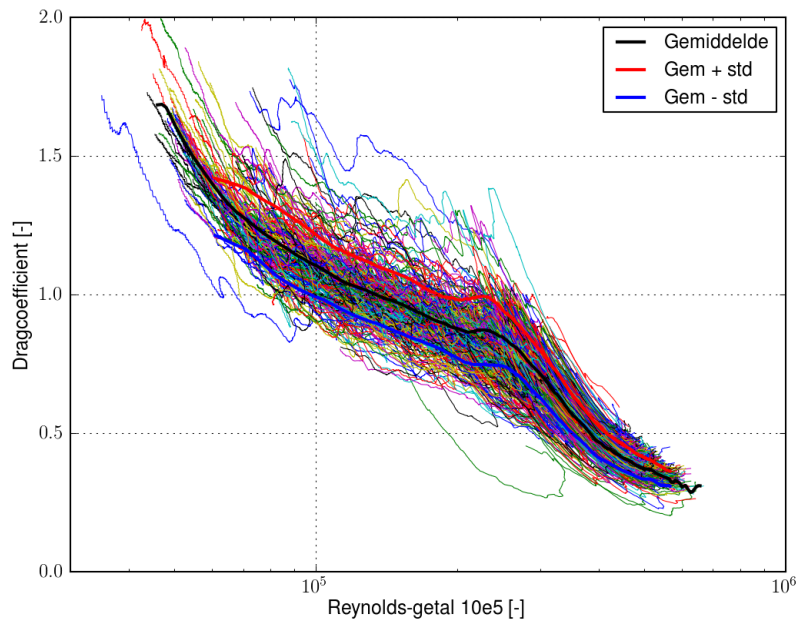


(a) bepaling gemiddelde curve



(b) Originele curve

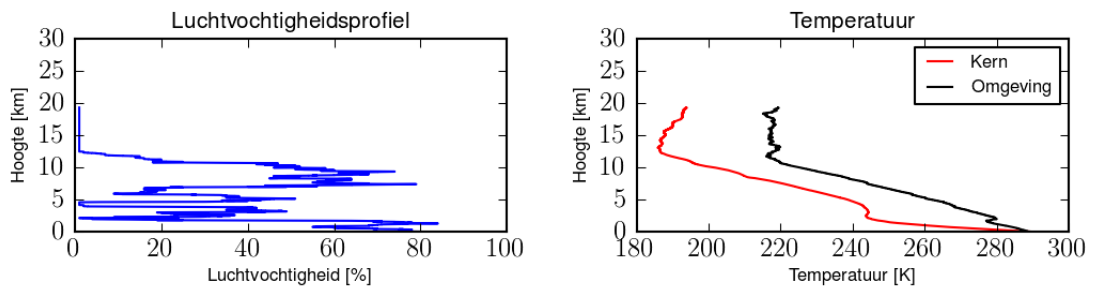
Figuur 5.4: Plot van nachtoplatingen in 2012



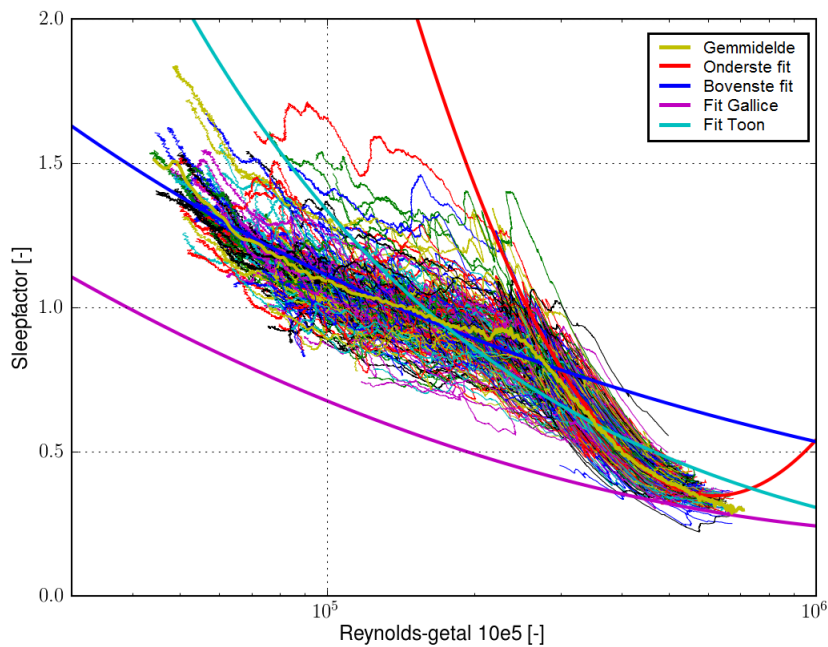
Figuur 5.5: parametrisatie met een geëxtrapoleerd gemiddelde en de standaarddeviatie

5.3 Opsplitsing

In figuur 5.4b is goed te zien dat het begin van de grafiek anders loopt dan het einde. Daarom is de grafiek opgesplitst in het gebied onder de 10 kilometer en hierboven. Hier lijkt een duidelijke grens te liggen. Er is ook een aparte fit gemaakt voor het onderste en bovenste stuk van de grafiek. Deze komen goed overeen met het gemiddelde. Er is ook gekeken naar de relatieve luchtvochtigheid en bij de meeste curves maakt deze een duidelijke sprong bij ± 10 kilometer, te zien in figuur 5.6. Het is duidelijk dat als de ballon in de troposfeer komt, in Nederland ongeveer bij 10 kilometer, hij zich anders gaat gedragen. Het resultaat van de splitsing is te zien in figuur 5.7



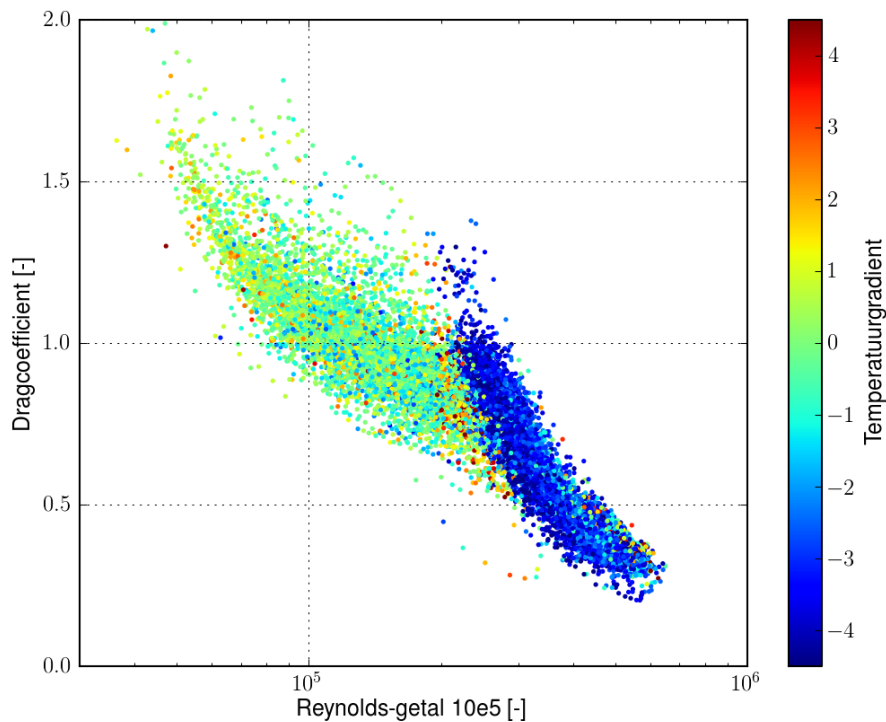
Figuur 5.6: 10 km grens



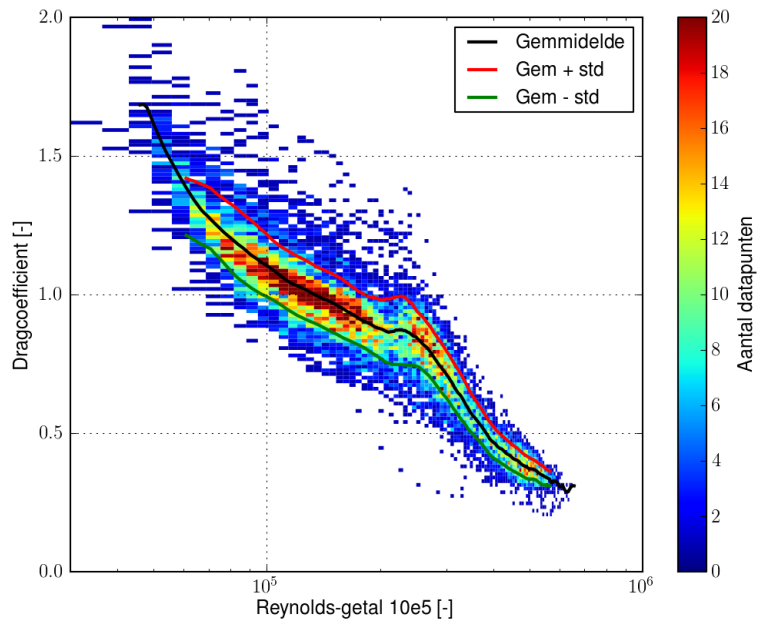
Figuur 5.7: Plot van nachtoplatingen in 2012 met splitsing

5.4 Temperatuur gradiënt

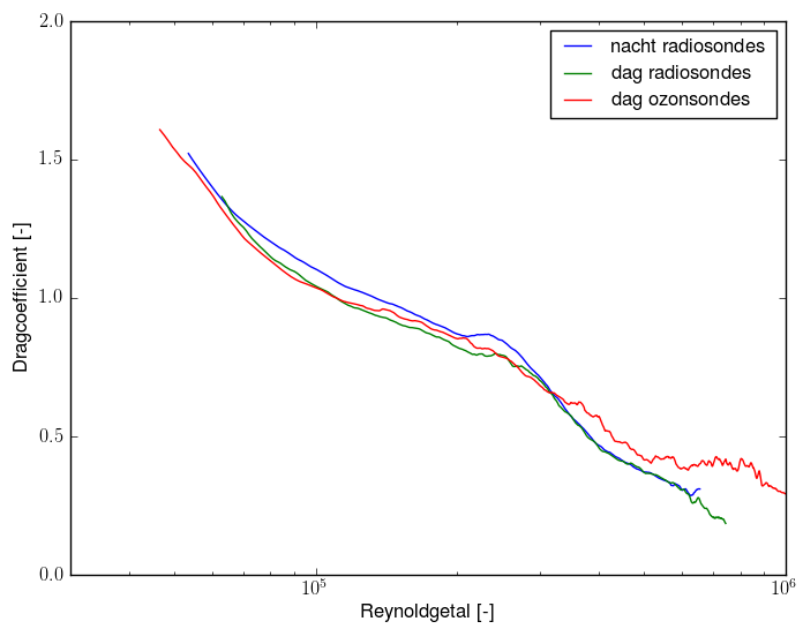
Er is gekeken naar de oorzaak van de splitsing bij ongeveer 10 km in de parametrisatie tussen het Reynoldsgetal en de dragcoëfficiënt. Hiervoor is de kleur van de data in de grafiek afhankelijk gemaakt van de temperatuur gradiënt. Zo kan worden gekeken of dit ook een scheiding oplevert. Om de temperatuur gradiënt te bepalen is voor iedere oplating de temperatuur als functie van de hoogte verdeeld in stukken met een bepaald hoogterebereik. Binnen dit hoogterebereik is vervolgens het verschil in temperatuur bepaald. In grafiek 5.8 is dit te zien met een hoogterebereik van 500 meter. Te zien is dat in het eerste deel van de curve de temperatuur gradiënt voornamelijk negatief is. En in het tweede deel is deze rond de nul. Dit komt overeen met de verwachting aangezien de temperatuur in de troposfeer daalt en vanaf de tropopauze constant blijft of zelfs iets stijgt. Om een beter inzicht te krijgen in de puntenwolk van de temperatuurgradiënt is ook de dichtheid bepaald. In figuur 5.9 is goed te zien dat de meeste punten zich rond het gemiddelde bevinden binnen de grenzen van de standaarddeviatie.



Figuur 5.8: Parametrisatie met kleur afhankelijk van temperatuurgradiënt



Figuur 5.9: Dichtheid van de meetpunten

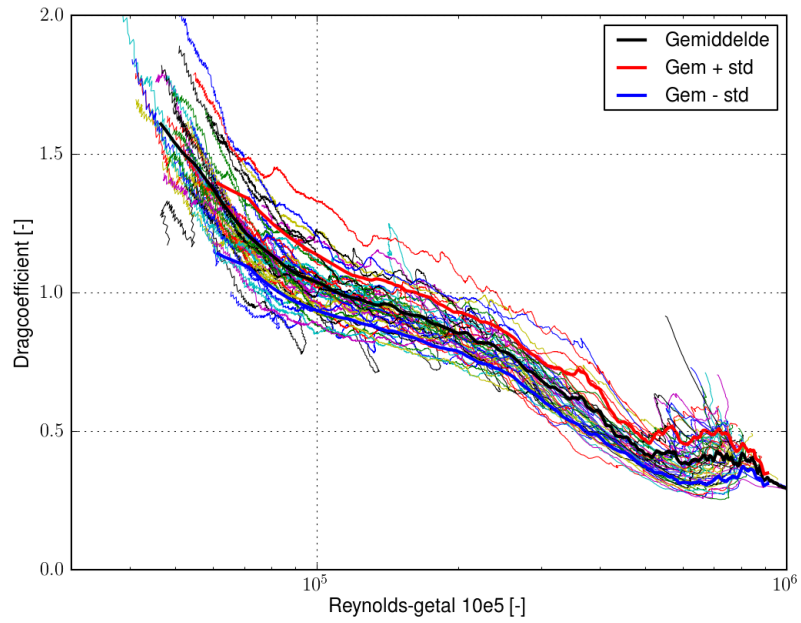


Figuur 5.10: Gemiddelden van verschillende parametrisaties

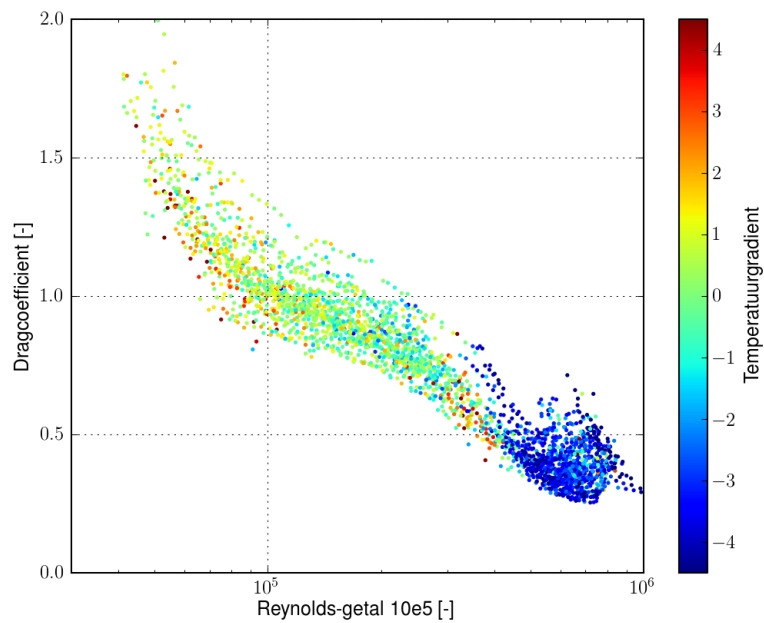
5.5 Aanpassing van de parametrisatie

De parametrisatie is afhankelijk van het model. Het wordt namelijk bepaald met behulp van de uitkomsten van het bestaande model. Het model berekent de dragcoëfficiënt op twee manieren; aan de hand van de parametrisatie en met behulp van vergelijking 3.7. Voor deze vergelijking is de snelheid nodig, dit is de onbekende en daarom wordt de gemeten stijgsnelheid gebruikt. Als dit voor alle data is gedaan kan hieruit de parametrisatie worden bepaald. Omdat deze methode wordt gebruikt past het model zich aan op fouten. Zo is er een fout gevonden in de bepaling van de diffusiecoëfficiënt. Vervolgens is dit verbeterd en is de parametrisatie opnieuw bepaald. Na deze aanpassing is de uitkomst van het model niet of nauwelijks veranderd.

Er is ook gekeken naar het verschil tussen dag-, nachtoplatingen en de ozonsondes. Dit is gedaan door voor de verschillende data een gemiddelde van de parametrisatie te bepalen en deze vervolgens te vergelijken. Bij het uitvoeren van het model voor dagoplatings- en ozonsondes is geen rekening gehouden met de invloed van de zon. De verschillen zijn te zien in figuur 5.10. De parametrisaties wijken niet veel van elkaar af. Bij lagere waarden van de dragcoëfficiënt zijn de waarden van de dag- en nachtoplatingen gelijk, dit is aan het begin van de vlucht. Dit kan komen omdat de ballon zich hier onder de bewolking bevindt en de zon minder invloed heeft, maar hier is verder geen onderzoek naar gedaan. Terwijl bij de ozonsondes in het begin juist een afwijking is ten opzichte van de dag- en nachtoplatingen. Aan het einde komen de waarden van de ozonsonde goed overeen met de dagoplatings- en nachtoplatingen. Voor de parametrisatie van de ozonsondes is ook de temperatuurgradiënt bepaald. De scheiding van de temperatuurgradiënt in de tropopauze wijkt af van de nachtoplatingen. Waar de scheiding bij de nachtoplatingen duidelijk rond een Cd van 1.0 ligt, is dit bij de ozonsondes rond een Cd van 0.5. Te zien in de figuren 5.8 en 5.12. Voor dit verschil is nog geen verklaring gevonden.



Figuur 5.11: Parametrisatie van 44 ozonsondes uit 2012



Figuur 5.12: Temperatuurgradiënt parametrisatie van 44 ozonsondes uit 2012

Hoofdstuk 6

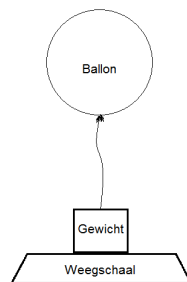
Resultaten

6.1 Begincondities

Krachtmeting

Het model heeft als beginconditie de opwaartse kracht nodig om het startvolume en de beginstraal te bepalen. De kracht kan worden gemeten vlak voor de oplating. De ballon wordt volgens de opstelling in figuur 6.1 bevestigd aan een weegschaal. Het verschil in massa voordat de ballon wordt bevestigd en nadat de ballon wordt bevestigd kan met behulp van de volgende formule worden omgerekend naar de kracht.

$$F = \Delta m \cdot g \quad (6.1)$$



Figuur 6.1: opstelling opwaartse kracht

Deze kracht kan vervolgens in het model met behulp van formule 3.4 worden omgerekend naar het beginvolume. Verwacht wordt dat deze constant is aangezien dit door een automatisch systeem wordt gevuld. Maar het blijkt dat er bij slecht weer handmatig een gewicht wordt toegevoegd aan het systeem. Dit gebeurt om ervoor te zorgen dat de ballon in het eerste deel van de vlucht snel genoeg omhoog gaat om geen bomen of gebouwen te raken. Hieruit kan

worden geconcludeerd dat het beginvolume niet constant is. Helaas wordt deze methode niet geregistreerd en is voor de archief metingen niet op te zoeken of dit van toepassing is. In tabel 6.1 zijn enkele metingen te zien. Bij de meting op 03-10-2012 was het slecht weer.

Datum	Gewicht [kg]	Kracht [N]
26-09-2012	1.144	11.22
28-09-2012	1.170	11.47
03-10-2012	1.310	12.85

Tabel 6.1: Metingen opwaartse kracht

Bepaling opwaartse kracht

Er kan worden onderzocht of de beginconditie ook uit het eerste deel van de vlucht kan worden bepaald. Dit zou ook betekenen dat alle data uit het archief kan worden gebruikt met de juiste beginconditie. Om te bepalen wat de opwaartse kracht moet zijn, wordt aangenomen dat de verticale wind in de eerste kilometer gelijk moet zijn aan nul. Er wordt naar de gemiddelde verticale windsnelheid gekeken in de eerste kilometer. De kracht wordt zo aangepast dat het gemiddelde richting nul gaat. Om te bepalen of dit een verbetering is wordt dit toegepast op 10 maanden data. Dit is verder uitgelegd in hoofdstuk 6.2.

6.2 Gemiddelde windsnelheid

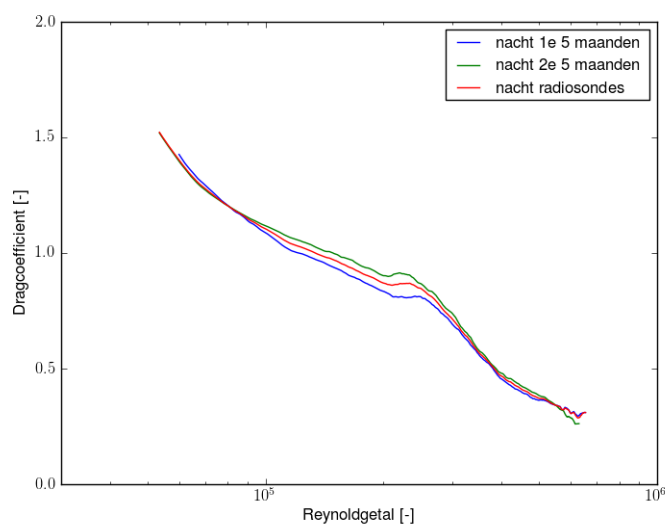
De parametrisatie tussen de dragcoëfficiënt en het Reynoldgetal is uit verschillende delen van de data bepaald. In figuur 6.2 is te zien dat het uit 10 maanden is bepaald, de rode lijn, en uit de eerste en tweede 5 maanden, de blauwe en groene lijn. Hier valt op dat er een afwijking is van de parametrisatie uit de eerste 5 maanden ten opzichte van de tweede 5 maanden. Dit verschil zou veroorzaakt kunnen worden door het verschil tussen zomer en winter. Zo is bekend dat er in de zomer een ander type ballon wordt gebuikt dan in de winter. Om een goed beeld te krijgen van de invloed hiervan, is het gemiddelde op twee manieren bepaald. Het gemiddelde is bepaald uit de tweede 5 maanden data met behulp van beide parametrisaties. Te zien in figuren 6.3 en 6.4. Maar omdat niet alleen de parametrisatie invloed heeft op het gemiddelde is het beginvolume ook op verschillende manieren bepaald. Zo is er gekeken naar de mogelijkheid om uit de eerste kilometer het beginvolume te halen. Deze methode werkt niet, omdat in het eerste gedeelte van de vlucht het touw wat zich tussen de ballon en de sonde bevindt nog bezig is met uitrollen. Daarom is er gekeken naar de tweede kilometer, de groene lijn, en het hele profiel, de blauwe lijn. Hiervoor is aangenomen dat de gemiddelde verticale wind over het hele profiel gelijk moet zijn aan nul. Ook voor een constant beginvolume is het gemiddelde bepaald, de rode lijn. Om een goed beeld te krijgen is er een profiel gemaakt, hierin wordt voor iedere 500 meter het gemiddelde bepaald van alle vluchten.

Het profiel van het gemiddelde heeft een grotere afwijking als de parametrisatie uit een ander deel van de data wordt bepaald dan dat het uit hetzelfde deel is

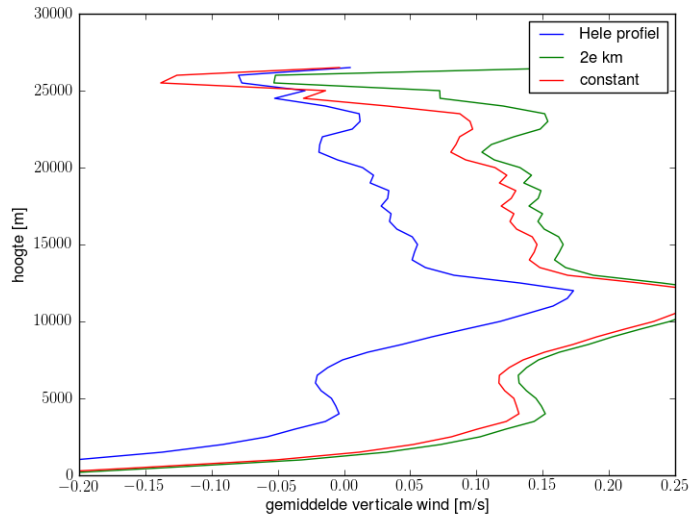
bepaald. Daarom wordt er verder gerekend met de parametrisatie bepaald uit 10 maanden. Vooral de profielen waar het beginvolume bepaald wordt uit de tweede kilometer en constant wordt gehouden wijken veel af bij het gemiddelde dat uit een ander deel van de data is bepaald dan de parametrisatie. Als het beginvolume uit het hele profiel wordt bepaald ligt het gemiddelde in beide gevallen het dichtste bij nul.

Maar bij alle profielen van het gemiddelde zijn er enkele opvallende afwijkingen te zien. Zo zijn de negatieve waarden in de eerste kilometer waarschijnlijk te verklaren door het uitrollen van het touw. Het is lastig om dit in het model mee te nemen. De afwijking kan ook door het vocht in de grenslaag komen. Dit heeft invloed op de viscositeit en hiermee de dragcoëfficiënt. De piek bij ± 10 km is rond de tropopauze. Bij het bepalen van de parametrisatie viel ook op dat hier een verandering is. Het kan dat er in dit gebied, gemiddeld gezien, werkelijk een positieve verticale wind is, maar het kan ook een fout in het model zijn. Er wordt vermoedt dat de afwijking op het einde van de vlucht bij ± 23 km verklaard kan worden door bijvoorbeeld Heliumverlies.

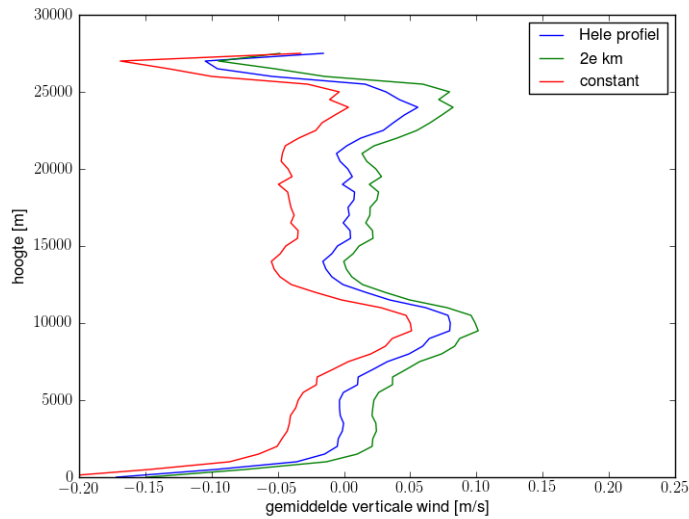
Het vermoeden dat er aan het einde van de vlucht een heliumlek is, is nader onderzocht. Bij een heliumlek wordt verwacht dat de gemeten snelheid lager is dan de berekende snelheid, dus een negatieve verticale wind. Daarom is dit getest door de heliumvulling aan te passen. Hiervoor wordt aangenomen dat op het einde van de vlucht de verticale wind gelijk is aan nul. Voor enkele profielen is de heliumvulling zo aangepast tot dat dit klopt, hier komt uit dat er meer heliumvulling in de ballon zit in plaats van minder. En in het profiel van de gemiddelde verticale wind is er eerst een stijging dan een daling en vervolgens een stijging. En bij Heliumverlies wordt er geen stijging verwacht. Het vermoeden van Heliumverlies is daarom geen verklaring voor deze afwijking.



Figuur 6.2: De parametrisatie bepaald uit 10 maanden, de 1e 5 maanden en de 2e 5 maanden.



Figuur 6.3: Profiel van de gemiddelde wind van de 2e 5 maanden aan nachtoplatingen, met de parametrisatie van de 1e 5 maanden.



Figuur 6.4: Profiel van de gemiddelde wind van de 2e 5 maanden aan nachtoplatingen, met de parametrisatie van de 2e 5 maanden.

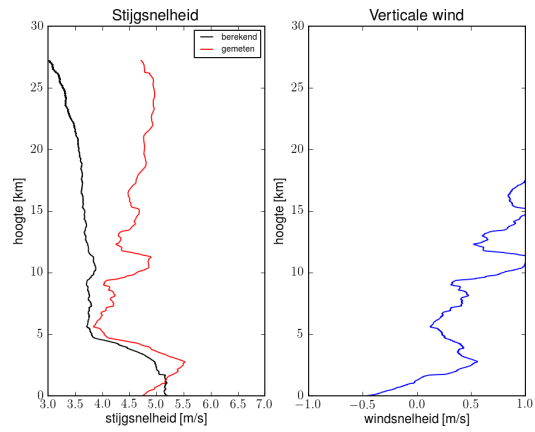
6.3 Diffusie

Er is gekeken naar de invloed van de diffusiecoëfficiënt op het model. Dit is gedaan aan de hand van een vergrotings-/verkleiningsfactor. Als dit een verbetering van het model oplevert kan het zijn dat er nog fouten zitten in de berekening van de diffusiecoëfficiënt. In de grafieken 6.5 en 6.6 is te zien dat een verlaging van de diffusiecoëfficiënt een grotere afwijking oplevert, maar een verhoging een mindere afwijking. Vooral op het einde van de vlucht gaat de berekende waarde dichter naar de gemeten waarde. Dit kan duiden op een fout in het model. Daarom is er nader onderzoek gedaan naar de berekening van de diffusiecoëfficiënt.

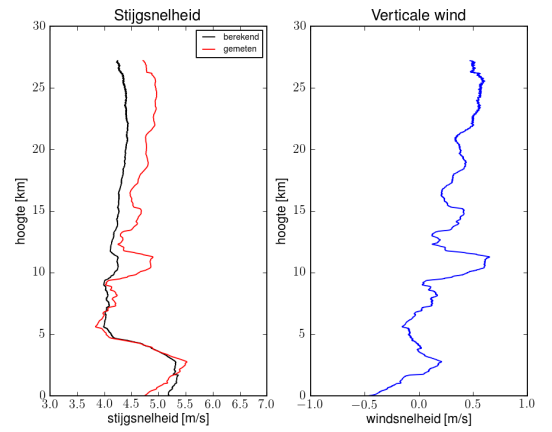
In het huidige model wordt de diffusie bepaald aan de hand van de gemiddelde diffusiecoëfficiënt in de ballon. Er is gekeken naar het verschil tussen de diffusie in de kern en de rand van de ballon. In figuur 6.7 is de diffusiecoëfficiënt als functie van het aantal bolschillen weergegeven. Er is te zien dat er een ruime verdubbeling is van de diffusiecoëfficiënt in de kern ten opzichte van de rand van de ballon. Om een betere uitkomst van het model te krijgen, is gekozen om de diffusie afhankelijk van de straal te berekenen. Bij de implementatie hiervan is differentiaalvergelijking 3.15, omgeschreven naar de afhankelijkheid van de straal. Er is voor gekozen niet de diffusiecoëfficiënt te gebruiken, maar de losse componenten uit vergelijking 3.16 apart te gebruiken.

$$\frac{\delta T(r,t)}{\delta t} = \frac{1}{\rho(r) \cdot c_p} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\delta}{\delta r} \left(\kappa(r) \cdot r^2 \cdot \frac{\delta T(r,t)}{\delta r} \right) \quad (6.2)$$

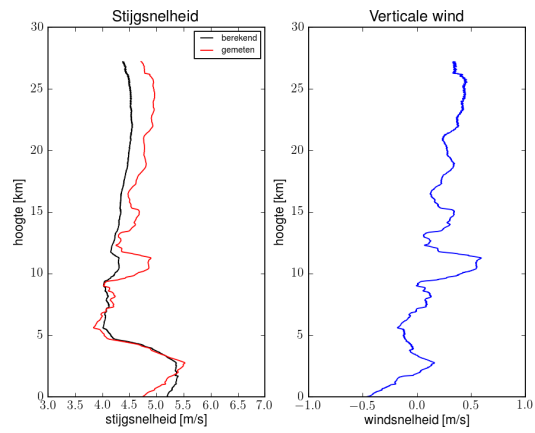
Om dit in het model te gebruiken is de differentiaalvergelijking opnieuw opgelost en geïmplementeerd. In figuur 6.8 is te zien dat de verandering een verbetering is ten opzichte van figuren 6.5b en 6.6b. Vooral op 05-09-2012 aan het einde van de vlucht is er een duidelijke verbetering.



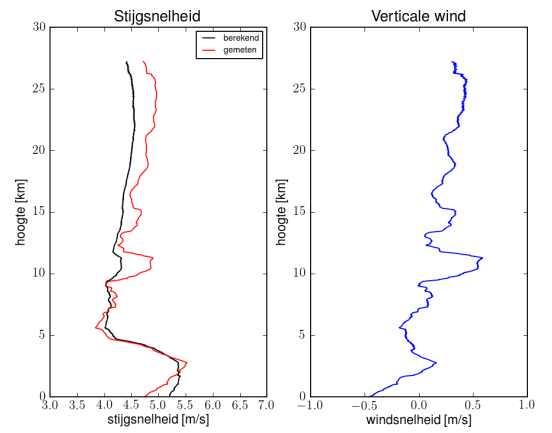
(a) factor 0.1



(b) factor 1



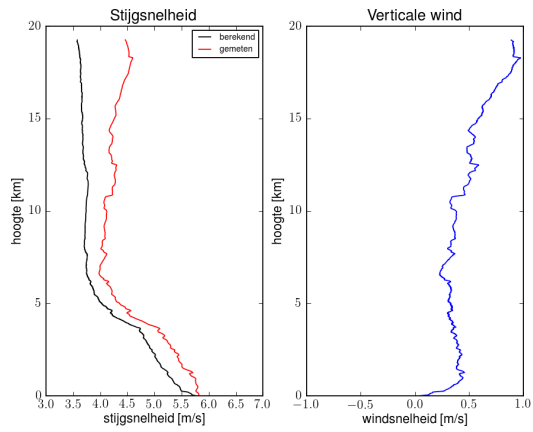
(c) factor 10



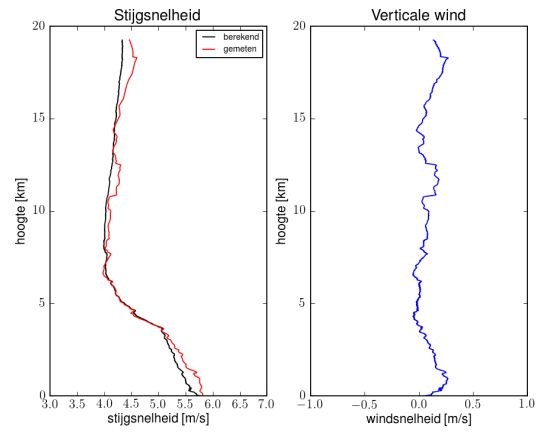
(d) factor 100

Figuur 6.5: Verschil factor diffusiecoëfficiënt van oplating: 05-09-2012 23:24

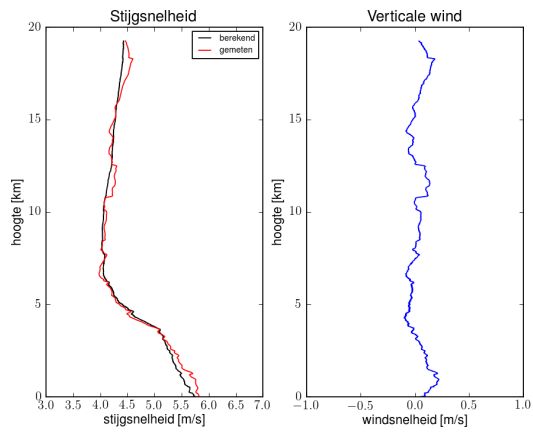
rood: gemeten stijgsnelheid, zwart: berekende stijgsnelheid, blauw: verschil



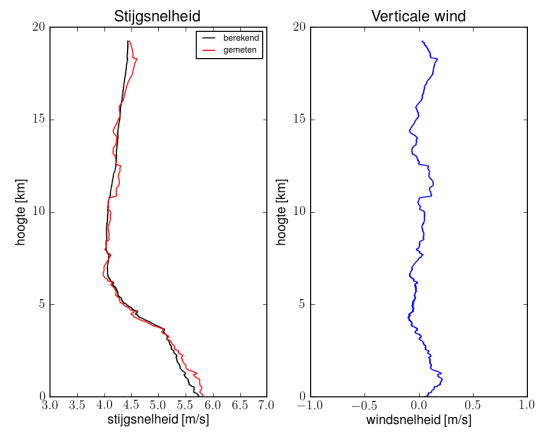
(a) factor 0.1



(b) factor 1



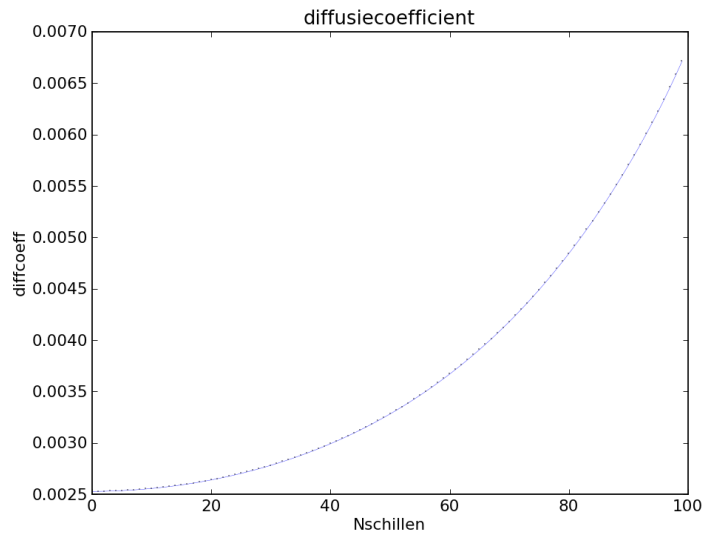
(c) factor 10



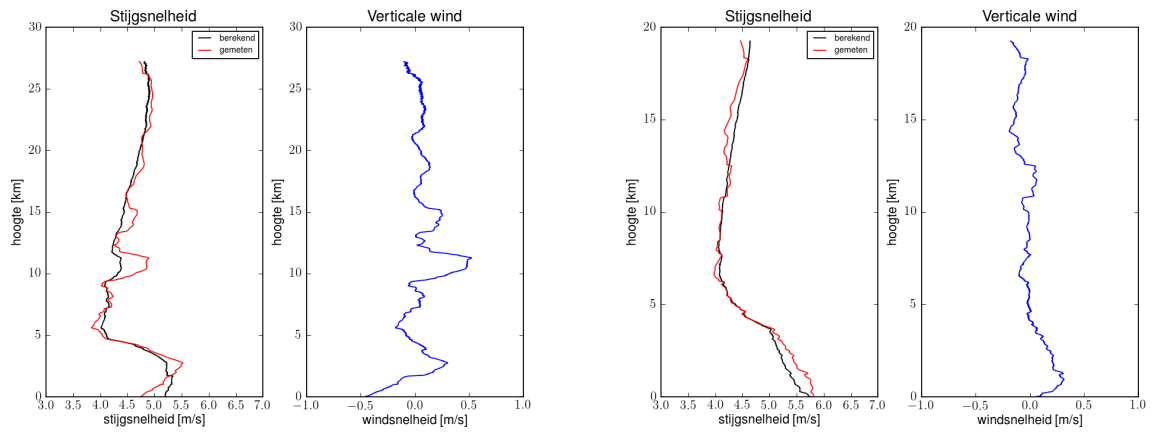
(d) factor 100

Figuur 6.6: Verschil factor diffusiecoëfficiënt van oplating:09-09-2012 23:28

rood: gemeten stijgsnelheid, zwart: berekende stijgsnelheid, blauw: verschil



Figuur 6.7: diffusiecoëfficiënt als functie van de straal



(a) oplating:05-09-2012 23:24

(b) oplating:09-09-2012 23:28

Figuur 6.8: Uitkomst model met diffusie afhankelijk van de straal.

rood: gemeten stijgsnelheid, zwart: berekende stijgsnelheid, blauw: verschil

6.4 Metingen

Radar

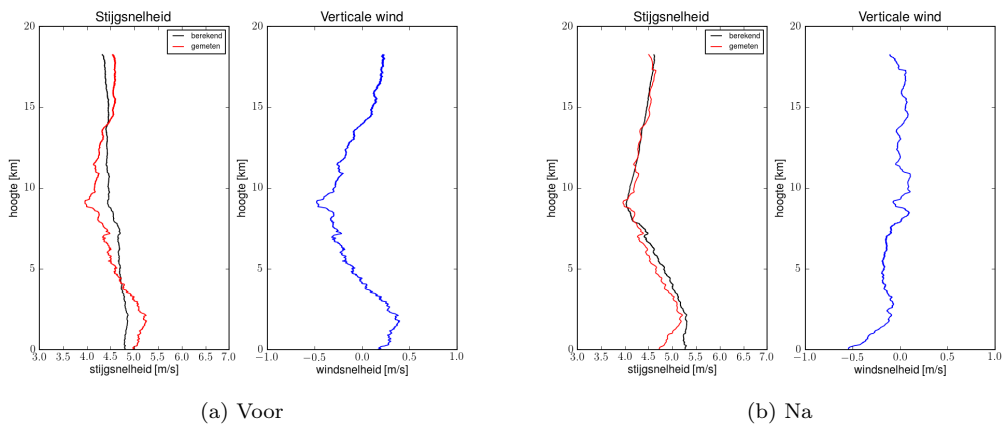
Er is met een radar deskundige gesproken over de mogelijkheid om het model met metingen van de verticale wind te vergelijken. Belangrijk hierbij is dat de verticale wind zeer lokaal is. De buienradar kan een optie zijn, aangezien deze op het terrein van De Bilt staat en hier ook de ballonnen worden opgelaten. Nadeel van deze methode is, dat de grootte van de deeltjes bekend moet zijn om de valsnelheid te kunnen bepalen. De grootte is erg variabel en waarschijnlijk lastig te bepalen. Ook kan het alleen worden gebruikt bij neerslag. Daarom is gekozen om hier niet verder op in te gaan tijdens deze stage.

Cabauw

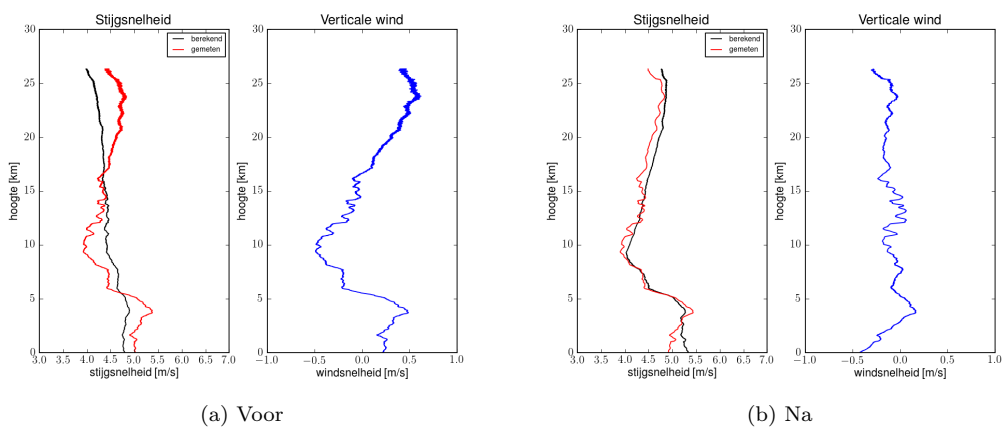
Er is ook gekeken naar de mogelijkheden van Cabauw. Bij Cabauw staat namelijk een toren met daarop sensoren en onderaan ook een wind-profiler. Er zijn hier enkele meetcampagnes geweest waar ballonnen zijn opgelaten. De data van deze opelingen kunnen worden gebruikt om te vergelijken. Hier zou veel tijd in gaan zitten, aangezien de plaats en tijd precies overeen moet komen met de meting van de wind profiler. En zoveel tijd was tijdens deze stage niet meer beschikbaar. Een ander nadeel hiervan is dat de wind profiler alleen in de onderste luchtlaag kan meten en de ballon tot hoogtes van 25 km gaat. Daarom is gekozen om hier niet verder op in te gaan.

6.5 Vergelijking

Om een beter beeld te krijgen van de verandering ten opzichte van het originele model. Zijn de resultaten naast elkaar gezet. Te zien in de figuren 6.9 en 6.10. Bij het huidige model komt de berekende waarde, zwart, beter overeen met de gemeten waarde, rood. Dit is ook de verwachting aangezien de verticale wind onder normale omstandigheden een ordegrrootte heeft van ongeveer 0,1 m/s. Alleen in het begin van de vlucht is er een grotere afwijking. Dus in de grenslaag is het model nog niet goed genoeg. Het kan zijn dat de ballon hier nog niet in evenwicht is en in het model wordt aangenomen dat er geen versnelling is het er dus een evenwicht is. Of er zit nog een andere fout in.



Figuur 6.9: Oplating 12-04-2012



Figuur 6.10: Oplating 12-10-2012

Hoofdstuk 7

Conclusie & Aanbevelingen

Conclusie

Er zijn enkele veranderingen gedaan aan het model die leiden tot een verbetering. Zo is het model omgeschreven naar de programmeertaal Fortran. Hierdoor is het sneller en prettiger in gebruik. De parametrisatie tussen de dragcoëfficiënt en het Reynoldsgetal is opnieuw bepaald. Ook de berekening van de temperatuur in de ballon is aangepast. De diffusiecoëfficiënt die hiervoor nodig is, is nu afhankelijk van de straal in plaats van een gemiddelde in de ballon.

Het doel om het model te verbeteren is dan ook bereikt, maar het uiteindelijke doel van een nauwkeurigheid van 1 tot 2% is nog niet bereikt. Het is lastig te zeggen wat de huidige nauwkeurigheid is. Zo ligt de gemiddelde verticale wind binnen een waarde van ± 0.1 m/s, maar als het model wordt uitgevoerd voor een losse meting is dit rond de 0.1/ 0.2 m/s, alleen in de grenslaag ligt dit hoger namelijk rond 0.5 m/s. De orde grootte van verticale wind onder normale omstandigheden is ± 0.1 m/s. Dit wil dus zeggen dat de nauwkeurigheid van het model niet goed genoeg is om onder deze omstandigheden te gebruiken. In geval van convectie kan de verticale wind oplopen tot enkele m/s en hier is het resultaat wel bruikbaar. Maar er zijn nog verbeteringen mogelijk.

Aanbevelingen

Ten eerste is er wel gekeken naar het verschil tussen dag- en nachtoplatingen, maar er is niet gekeken naar de invloed van de zon. De convectie kan worden bepaald, zodat dit ook in het model kan worden meegenomen. Eventueel kan met behulp van COMSOL de invloed van de zon in beeld worden gebracht.

Tijdens de stage is er gekeken naar de mogelijkheid om het model te vergelijken met metingen. Om dit goed te kunnen doen moet er met veel factoren rekening worden gehouden. Zo moet de meting op dezelfde plaats en hetzelfde tijdstip plaatsvinden als de ballon-oplating. Hier gaat veel tijd in zitten, maar dit kan bij een vervolg nader worden onderzocht.

In het huidige model wordt aangenomen dat het een bol-symmetrisch systeem is. Maar er is bekend dat de ballon niet gedurende de hele vlucht een perfecte bol is. Het is meer waarschijnlijk dat het een peervorm is. Als er geen bol-symmetrie is, heeft dit invloed op de berekening van de temperatuur en straal en daarmee ook op de stijgsnelheid. Als dit wordt aangepast, kan het een verbetering opleveren.

Voor de parametrisatie tussen de dragcoëfficiënt en het Reynoldsgetal is nog niet bekend of de scheiding van de parametrisatie te maken heeft met de tropopauze, aangezien dit bij de temperatuurgradiënt van de ozonsonde anders lijkt. Hier kan verder onderzoek naar worden gedaan.

Het hoogteverschil tussen de ballon en de sonde is ook nog niet meegenomen. Hiervoor zal gekeken moeten worden hoe lang het touw is. Maar ook hoe lang het duurt voordat het touw volledig is uitgerold en of het uitrollen altijd even lang duurt of dat hier verschillen in zitten.

Een andere aanname in het model is dat er geen versnelling plaats vindt tijdens de vlucht, er kan nader worden onderzocht of dit gedurende de hele vlucht klopt. Bekend is dat in het begin van de vlucht de katrol waar het touw aan zit nog uitrolt, dit levert een vertraging op.

Ook wordt er in de winter een ander type ballon gebruikt dan in de zomer. Dit kan invloed hebben op het model. De fabrikant geeft aan dat er een chemische component in de ballon wordt verwerkt, maar laat niet weten welke.

De grootste fouten in het model treden op in de grenslaag. Er kan worden onderzocht of dit verklaard kan worden door bijvoorbeeld de grotere hoeveelheid vocht in de atmosfeer. Het vocht heeft namelijk ook invloed op de viscositeit die wordt berekend en het Reynoldsgetal is afhankelijk van de viscositeit. Dit zou dus invloed kunnen hebben op de parametrisatie.

Literatuurlijst

- [1] A. Gallice et al., *Modeling the ascent of sounding balloons*.
<http://www.atmos-meas-tech.net/4/2235/2011>, 2011
blz. 1
- [2] Toon Rouws, *Model Weerballon*.
Fontys Hogescholen Eindhoven TNW, 2012
blz. 1, 12
- [3] KNMI milieucommissie, *Jaarverslag 2010 Milieucommissie*.
<http://info.knmi.nl/KNMI-breed/diensten/milieucommissie/bijlagen>,
2011
blz. 2
- [4] Fabrikant ballonnen, *Totex, Meteorological Balloons & Parachutes*.
<http://www.totex.jp>
blz. 3
- [5] KNMI, *Tweemaal daags de lucht in, Bovenluchtwaarnemingen*.
<http://www.knmi.nl/bibliotheek/weerbrochure.html>, 2012
blz. 4
- [6] Incropera & Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*.
6th edition, John Wiley and Sons Inc, US. 2006, pagina's 70-74.
blz. 10