Nederlandse organisatie
voor toegepast
natuurwetenschappelijk
onderzoek

TNO-rapport

FEL

Fysisch en Elektronisch
Laboratorium TNO

Postbus 96864
2509 JG 's-Gravenhage
Oude Waalsdorperweg 63
's-Gravenhage

Telefax 070 - 328 09 61
Telefoon 070 - 326 42 21

1

rapport nr.
FEL-91-B335

exemplaar nr.
8

titel

Beschrijving van het Rayflux ray tracing programma en vergelijking met andere modellen en metingen

AD-A245 413

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeksopdrachten TNO', dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© TNO

auteur(s):

Ir. A.C. van Koersel

DTIC
ELECTE
FEB 0 4 1992
S D
D

datum:

november 1991

rubricering

titel	: ongerubriceerd
samenvatting	: ongerubriceerd
rapporttekst	: ongerubriceerd
bijlage A	: ongerubriceerd

This document has been approved for public release and sale; its distribution is unlimited.

oplage	: 21
aantal bladzijden	: 62 (incl. bijlage, excl. RDP + distributielijst)
aantal bijlagen	: 1

92-02820

92 2 03 158

TNO

rapport no. : FEL-91-B335

titel : Beschrijving van het Rayflux ray tracing programma en vergelijking met andere modellen en metingen

auteur(s) : Ir. A.C. van Koersel

instituut : Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO

datum : november 1991

hdo-opdr.no. : A89KL661

no. in iwp '91 : 713.2

Onderzoek uitgevoerd o.l.v. : Ir. H. van Hoof

Onderzoek uitgevoerd door : Ir. A.C. van Koersel

SAMENVATTING (ONGERUBRICEERD)

In dit rapport wordt een beschrijving gegeven voor het gebruik van het Rayflux ray tracing programma, ontwikkeld door Dr. W.H.T. Huisman (Katholieke Universiteit Nijmegen). Dit programma kan worden gebruikt om de geluidoverdracht in de atmosfeer bij een groot aantal verschillende weers- en bodemcondities te voorspellen.

De resultaten van dit programma zijn vergeleken met een golfveld extrapolatie model, een ander ray tracing model en met metingen. Geconcludeerd kan worden dat Rayflux voor niet al te grote afstanden goede resultaten levert.

DTIC COPY INSPECTED 4

Accesion For
NTIS CRA&I ☑
DTIC TAB ☐
Unannounced ☐
Justification .....
By .....
Distribution /
Availability Codes
Dist | Avail and / or Special
A-1

report no.	:	FEL-91-B335
title	:	Description of the Rayflux ray tracing program and comparison to other models and measurements
author(s)	:	A.C. van Koersel
institute	:	TNO Physics and Electronics Laboratory
date	:	November 1991
NDRO no.	:	A89KL661
no. in pow '91	:	713.2
Research supervised by:		H. van Hoof
Research carried out by:		A.C. van Koersel

ABSTRACT (UNCLASSIFIED)

This report gives a description for the use of the Rayflux ray tracing program, developed by Dr. W.H.T. Huisman (Catholic University Nijmegen). The program can be used to calculate the acoustic transfer function in the atmosphere in a large number of different weather and soil conditions.
The results of the Rayflux program are compared to the results of a wave field extrapolation model, a different ray tracing model and measurements. As a result of the comparisons it can be stated that Rayflux gives good results for moderate ranges.

INHOUD

SAMENVATTING 2

ABSTRACT 3

INHOUD 4

1 INLEIDING 7

2 PROGRAMMASTRUCTUUR 11
2.1 Algemeen 11
2.2 De on-line help 11
2.3 Terminalkeuze 11
2.4 Beginwaarden 13
2.5 Luchtlagen 13
2.6 Temperatuurprofiel 15
2.7 Windsnelheidsprofiel 17
2.8 Geluidsnelheid 17
2.9 Geometrie en bodem 19
2.10 Frequenties 21
2.11 Eigenrays 21
2.12 Kaustieken 21

3 BEREKENING VAN DE EXCESS ATTENUATION MET DE "TUBE" METHODE 25
3.1 Theorie 25
3.2 Rekenvoorbeeld 27

4 BEREKENING VAN DE EXCESS ATTENUATION MET DE "FLUX" METHODE 31
4.1 Theorie 31

4.2	Rekenvoorbeeld	33
5	VERGELIJKING RAYFLUX MET EEN GOLFVELD EXTRAPOLATIE MODEL	39
6	VERGELIJKING RAYFLUX MET EEN RAY TRACING MODEL	45
7	VERGELIJKING RAYFLUX MET DE METINGEN VAN PARKIN EN SCHOLES	51
8	CONCLUSIES	55
REFERENTIES		57
APPENDIX A		

1 INLEIDING

Het Rayflux programma is ontwikkeld door Dr. W.H.Th. Huisman in het kader van zijn promotiestudie aan de KU Nijmegen in de groep eco-akoestiek, om o.a. de geluidvoortplanting in bossen te kunnen simuleren, zie Huisman [1].

Het programma is aangekocht in september 1989 door de groep 3.4.2, in het kader van de opdracht A89KL661 "Akoestische Helicopter Detectie" om voorspellingen te doen omtrent het bereik van akoestische sensoren onder verschillende meteorologische omstandigheden en boven verschillende bodemstructuren.

In de volgende 3 hoofdstukken volgt een stapsgewijze uitleg voor het gebruik van het programma, dat als gevolg van de vele opties voor de niet ervaren gebruiker enigszins onoverzichtelijk is.
Om degene die het Rayflux programma gaat gebruiken een overzicht te geven van de mogelijkheden en de aanpak van een berekening, is het aan te bevelen om deze hoofdstukken door te lezen in plaats van via de "trial en error" methode met hulp van de "on-line" help die door Rayflux wordt geboden aan de slag te gaan.

De laatste 3 hoofdstukken hebben betrekking op de vergelijking van de resultaten van het Rayflux programma met andere modellen, o.a. die van Nijs en Wapenaar (golfveldextrapolatie) [2], Vermaas (ray tracing) [3] en met de bekende metingen van Parkin en Scholes [4,5].

Rayflux is een ray tracing programma, met een groot aantal gebruiksmogelijkheden. Het programma heeft als invoer minimaal nodig een:

1. Temperatuurprofiel T(z)
2. Windsnelheidsprofiel u(z), windrichting
3. Bronhoogte
4. Ontvangerafstand
5. Bodemkarakterisatie.

Vervolgens is het mogelijk om de stralengang door het medium te berekenen en te plotten. Om de analyse van het stralenpatroon te vergemakkelijken zijn er voorts nog een aantal opties, waaronder een plot van de aankomsthoogte van de geluidstralen als functie van de lanceerhoek en een plot van de aankomsthoogte als functie van de looptijd.

Na analyse van het stralenpatroon kan de Excess Attenuation, de extra verzwakking van het geluid o.a. veroorzaakt door bodemreflectie en temperatuur en windeffecten, met twee verschillende methodes berekend worden.
Deze methodes zijn de "Tube" methode, beschreven in hoofstuk 3, en de "Flux" methode, beschreven in hoofdstuk 4.
Bij de berekening van de Excess Attenuation worden moleculaire absorptie en sferische uitbreiding van het geluid niet meeberekend.

Aan ray tracing zijn een aantal nadelen verbonden:

- Ray tracing is een hoog frequent benadering.
- Ray theorie faalt waar twee nabijgelegen stralen elkaar kruisen als gevolg van de buiging van het golffront door de geluidsnelheidsgradiënt in het medium (een zogenaamde kaustiek).
- Na het passeren van een kaustiek wordt de fase verkeerd berekend.
- Ray tracing is alleen toepasbaar als de geluidsnelheid toeneemt of constant is als functie van de hoogte. Bij een afnemende geluidsnelheid als functie van de hoogte treedt er opwaartse buiging van geluidstralen op, zodat ray tracing een gebied waar geen geluid wordt waargenomen voorspelt (een zogenaamde schaduwzone). In de praktijk blijkt er echter wel geluid in een schaduwzone te worden waargenomen.

Als echter rekening wordt gehouden met de bovengenoemde beperkingen, door:

- veranderingen in de atmosferische gradiënten groot te kiezen ten opzichte van de golflengte,
- reflectieoppervlakken groot te kiezen ten opzichte van de golflengte,
- de ontvanger in het verre veld van de bron te plaatsen,
- een geluidsnelheidsprofiel te kiezen waarin neerwaartse refractie optreedt,
- bij het berekenen van de intensiteit na het passeren van een kaustiek de juiste fasefactor toe te passen, kunnen we ervan uitgaan dat ray tracing correcte resultaten levert.

Om ongewenste focusserings effecten veroorzaakt door een geluidsnelheidsprofiel voor de lage frequenties te compenseren, heeft Huisman naast de normale eigenstralen methode een andere methode ontwikkeld om geluidniveaus te voorspellen.
Deze methode berekent het geluidniveau door het aantal geluidstralen die een bepaald oppervlak treffen te vergelijken met het aantal wat in het vrije veld dat oppervlak zou treffen. Dit levert voor lage frequenties een middeling op van de ongewenste focusseringseffecten over een gekozen luisteroppervlak.

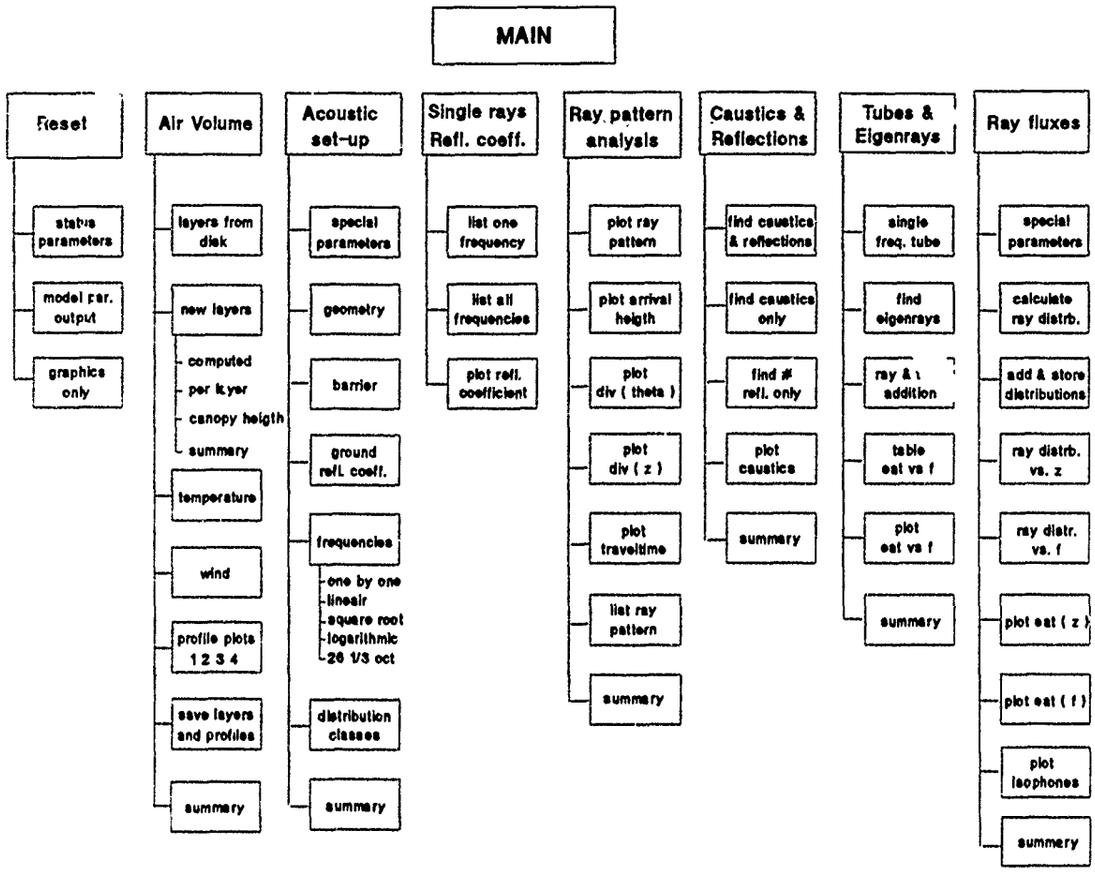


Fig. 1: De menustructuur van het Rayflux programma

2 PROGRAMMA BESCHRIJVING

2.1 Algemeen

Rayflux is een FORTRAN 4 programma, bestaande uit een hoofdprogramma voor de besturing door de gebruiker en een groot aantal subroutines voor de invoer, de berekeningen, de on-line hulpfunctie en de uitvoer.
Voor het plotten van grafieken is door groep 3.4.2 een eigen interface voor het aanwezige plotpakket (E-GUL) geschreven.
Het programma is menu gestuurd, met de mogelijkheid om alle menu's in een willekeurige volgorde aan te roepen. De menustructuur met alle opties is schematisch weergegeven in figuur 1.

De door de gebruiker te veranderen variabelen worden globaal opgeslagen. Dit maakt het mogelijk om b.v. geluidniveaus te berekenen en later de frequenties waarvoor de niveaus zijn berekend te veranderen, zodat als de niveaus geplot worden, onzin wordt geproduceerd.
De gebruiker dient zich hiervan terdege bewust te zijn.
Het programma kan worden gebruikt onder de GROS account op de VAX-cluster van groep 3.4.2. Het staat in de directory Flip:[Ton.Rayflux] en wordt gestart met het DCL commando "run rayflx".

2.2 De on-line help

Op ieder moment kan in het programma informatie verkregen worden via de help routine, door het intypen van een "?".
De on-line help is zeer nuttig en uitgebreid, en geeft in de meeste gevallen voldoende informatie om de berekening voort te zetten.

2.3 Terminalkeuze

In het programma is onder de menu optie "0. Reset", "0. Status Parameters" een optie opgenomen om het terminaltype te kiezen.
Voor gebruik op de VAX Cluster van groep 3.4.2 zijn hieraan een aantal mogelijkheden toegevoegd:

- VT241 terminal
- VT 241 + postscript file
- DEC-Windows
- DEC-Windows + postscript file
- DEC-Windows + hppcl file (kleur)

Het terminaltype na het opstarten is DEC-Windows, en kan via het bovengenoemde submenu veranderd worden. De grafische output files hebben de naam RAY_PLOT met de extensie PSC of PCL, en kunnen respectievelijk op de AGFA postscript laserprinter van de centrale VAX of op de LJ 250 plotter geprint worden.
De andere opties van de Status Parameters dienen niet veranderd te worden.

2.4 Beginwaarden

Bij het starten van het programma krijgen alle variabelen die door de gebruiker veranderd kunnen worden een beginwaarde, d.m.v. de subroutine INCOMM. Tijdens het verloop van het programma kunnen dezelfde beginwaarden opnieuw ingelezen worden met de optie "0. Reset", "1. Model Parameters en output".

2.5 Luchtlagen

Onder de optie "1. Air volume" "2. New Layers" kunnen luchtlagen gedefinieerd worden. Per luchtlaag is de geluidsnelheidsgradiënt constant.
De nauwkeurigheid van het ray tracing proces wordt mede bepaald door de laagdikte van het gedefinieerde luchtvolume.
Het maximaal aantal lagen wat gekozen kan worden is 80. De keuze van de laagdikte wordt gemaakt aan de hand van het geluidsnelheidsprofiel, en aan de hand van de hoogte tot waar het profiel berekend moet worden. Als vuistregel dient het profiel tot ongeveer 3 maal de bron of ontvangerhoogte (welke het grootst is) berekend te worden.
Daar waar de geluidsnelheid sterk verandert, dient een zo klein mogelijke laagdikte gekozen te worden, daar waar de geluidsnelheid weinig of niet verandert kan met een grotere laagdikte worden volstaan.

De "canopy height" is de effectieve hoogte van de vegetatie, en wordt gebruikt om een aantal parameters voor het logaritmische en flux temperatuur- en windsnelheidsprofiel te berekenen.

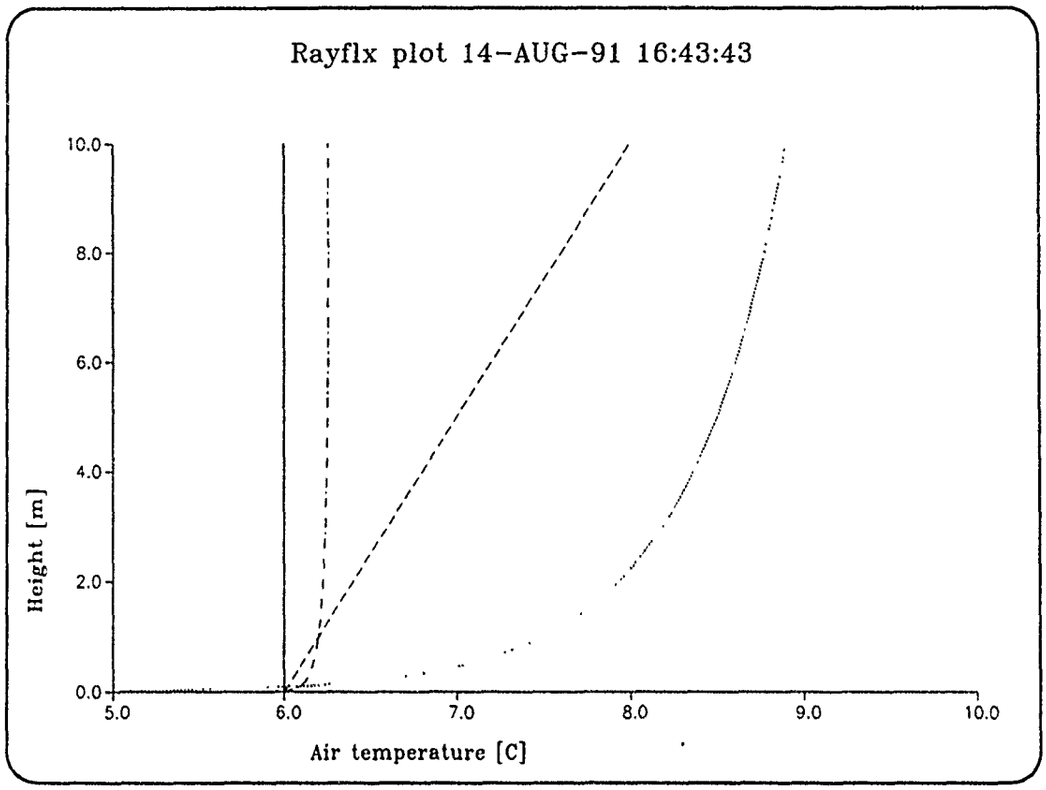


Fig. 2: De temperatuur in graden Celsius als functie van de hoogte, voor

--------	isotherm profiel, T(z) = 6.0 C
- - - - -	lineair profiel, T(10.01) = 8.0 C, T(0) = 6.0 C
.....	Logaritmisch profiel, T(10) = 9.0 C, T(0.1) = 6.1 C, d = 0.0, zH = 0.02
-.-.-.-.-	Flux profiel, met invoerparameters: d = 0.0, zH = 0.02, Td = 6.0, u* = 0.15, T* = 0.0212, Tav = 10.0 en Gamma = - 0.01.

N.B. Met optie 1 kunnen luchtlagen, samen met het berekende temperatuur en windsnelheidsprofiel uit een datafile worden ingelezen. Met optie 6 van het menu kunnen nieuwe profielen worden bewaard.

2.6 Temperatuurprofiel

Onder de optie "1. Air volume" "3. Temperature" kan een temperatuurprofiel gedefinieerd worden. Er zijn verschillende standaardprofielen die gebruikt kunnen worden, nl. isotherm, lineair, logaritmisch en flux. Ook is het mogelijk om de waarden per laag in te voeren. Het lineaire en isotherme profiel behoeven geen nadere toelichting.

Voor het logaritmische profiel moeten twee interpolatiepunten gegeven worden waartussen een curve berekend wordt. Indien in het luchtvolume een canopy hoogte is gedefinieerd wordt de curve vanaf de met de canopy hoogte berekende "zero plane displacement" berekend. Beneden de "zero plane" dienen temperatuur waarden met de hand te worden ingevoerd.

Het flux profiel wordt met de Monin-Obhukov gelijkheidstheorie berekend uit een aantal invoerparameters, zie b.v. Monteith [6] en Huisman [1], p.3-4:

- de "zero plane displacement"
- de warmte ruwheids lengte
- de temperatuur op de zero plane
- de wrijvings-snelheid
- de schalings temperatuur
- de gemiddelde temperatuur
- de adiabatische correctie factor.

Overeenkomstig met het logaritmisch profiel worden de waarden vanaf de "zero plane" berekend, en moeten de temperatuurwaarden beneden de zero plane met de hand ingevoerd worden.

De vier standaardprofielen zijn weergegeven in figuur 2, met daarbij de waarden van de ingevoerde parameters.
Het luchtvolume bestond uit 50 lagen van 0.1 m dikte, tot z = 5.0 m, vervolgens 5% toename per laag tot een hoogte van 10 m. Een dergelijke verdeling van de luchtlagen kan samengesteld worden via het submenu "1. Air volume" "2. New layers (+ reset profiles) "1. Computed: Constant + Increasing".

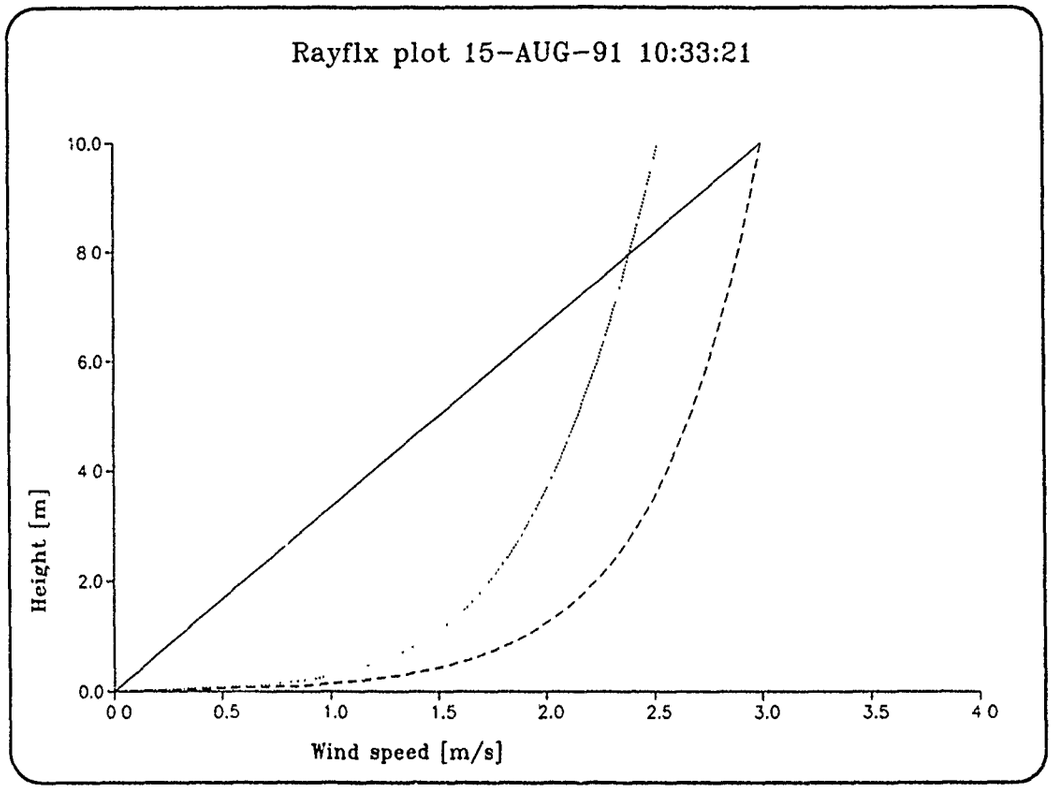


Fig. 3: De windsnelheid als functie van de hoogte, voor
- ------- lineair profiel, u(10.01) = 3.0
- - - - Logaritmisch profiel, u(10.01) = 3.0, u(2.0) = 1.0, d = 0, Zm = 0.02
- ····· Flux profiel, zie figuur 2.

2.7 Windsnelheidsprofiel

Onder de optie "1. Air volume" "4. Wind" kan een windsnelheidsprofiel gedefinieerd worden. Analoog aan het temperatuurprofiel zijn er een aantal standaardprofielen die gebruikt kunnen worden.
Opgemerkt dient te worden dat voor z = 0 de windsnelheid nul moet zijn.
Met optie 1, "Multiply current profile" kan een ingevoerd windsnelheidsprofiel met een constante waarde vermenigvuldigd worden, bv. om een afwijkende windrichting in rekening te brengen.

- Het lineaire profiel (optie 2) wordt berekend uit een ingevoerde snelheidswaarde aan de top van een profiel en u(0) = 0.

- Het logaritmische profiel (optie 3) wordt berekend uit een aantal invoerparameters. Dit zijn een of twee hoogte (z) en windsnelheid (u(z)) combinaties, de zero plane displacement en de warmte ruwheids lengte.

- Het flux profiel (optie 4) wordt berekend met dezelfde parameters als het temperatuur profiel met de Monin-Obhukov gelijkheidstheorie.

- Het power function profiel (optie 7) is een exponentieel profiel, en wordt berekend aan de hand van een windsnelheid op een gegeven hoogte en een gegeven exponent (zie formule 5.1).

Het is mogelijk om de aldus gedefinieerde profielen op disk te bewaren, met optie 6 van het Air volume menu.
Met optie 1 van dit menu kunnen ze later weer worden ingelezen.
In figuur 3 zijn een aantal windsnelheidsprofielen weergegeven.

2.8 Geluidsnelheid

De geluidsnelheid die het resultaat is van het gedefinieerde temperatuur en windsnelheidsprofiel wordt berekend met:

$$c(u,T) = 20.0467\sqrt{T + 273.15} + u \qquad (2.1)$$

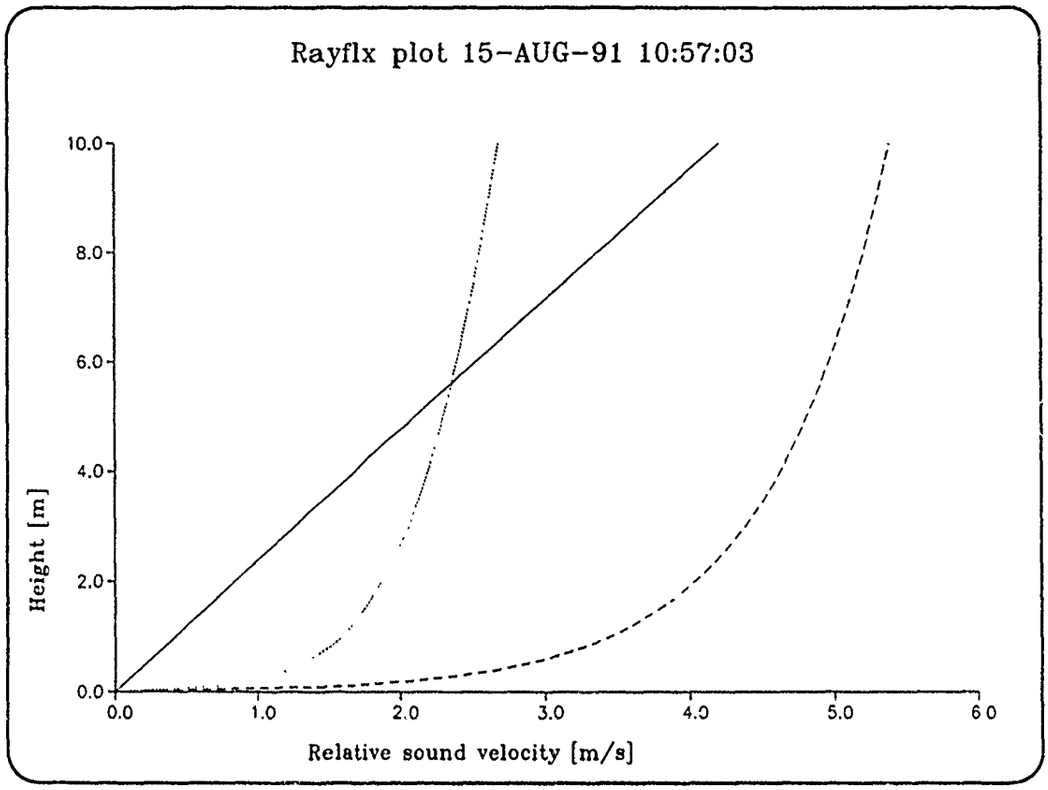


Fig. 4: De geluidsnelheid als functie van de hoogte, als gevolg van de temperatuur- en windsnelheidsprofielen weergegeven in resp. figuur 2 en 3.

-------- lineair profiel
- - - - Logaritmisch profiel
····· Flux profiel.

waarin:

c = geluidsnelheid [m/s]

u = windsnelheid [m/s]

T = temperatuur [°C]

De relatieve geluidsnelheden die het resultaat zijn van de ingevoerde temperatuur en windsnelheidsprofielen zijn weergegeven in figuur 4.

2.9 Geometrie en bodem

Met optie 2, "Acoustic set-up" kunnen de geometrie parameters ingevoerd worden.
Optie 2.1 is voor de invoer van een bronhoogte en een ontvangerafstand.
Met optie 2.2 "barrier" kan een geluidswal ingevoerd worden, hetgeen niet noodzakelijk is.
N.B.: Diffractie aan de geluidswal wordt niet meeberekend.

Met optie 2.3 "Ground + R.C." kan gekozen worden voor een drietal mogelijkheden om het grondeffect te berekenen. Allereerst worden twee parameters gevraagd, nl. de effectieve stromingsweerstand en de effectieve exponentiele verandering van de porositeit.
Vervolgens kan met drie verschillende methoden de reflectiecoëfficiënt van de bodem bepaald worden. De verschillende mogelijkheden zijn:

"0. Spherical wave", waarbij de reflectiecoëfficiënt berekend wordt met het variabele porositeits model van Attenborough [1] en een "ground wave function" volgens Wempen [7].
Hetzelfde model als in referentie 1 maar met anders gedefinieerde parameters staat in Attenborough [8]. Hierbij moet worden opgemerkt dat de verschillende definitie van de parameters een factor 2 verschil in de modellen veroorzaakt.

"1. Plane wave", waarbij de plane wave reflectiecoëfficiënt wordt gebruikt.

"2. No intensity loss, no phase shift".
Deze optie laat het bodemeffect, afgezien van reflectie, buiten beschouwing.

2.10 Frequenties

De frequenties waarvoor de Excess Attenuation wordt berekend kunnen gekozen worden met optie 2.4. Het maximum aantal frequenties wordt bepaald door de keuze van het aantal ontvangstvlakken voor de Flux methode (optie 2.5).
Voor de Tube methode kan echter in theorie worden volstaan met 1 ontvangstvlak.
Het minimum aantal ontvangstvlakken wat in het programma gekozen kan worden is echter 9, wat samengaat met het maximum aantal frequenties, 256.
Er zijn 5 opties waarmee de frequenties gekozen kunnen worden:

1. Een voor een invoeren van de frequentie.
2. Een lineaire verdeling
3. Een kwadratische verdeling
4. Een logaritmische verdeling
5. 26 terts tonen.

2.11 Eigenrays

Met ray tracing worden onder verschillende hoeken van de bron geluidstralen gelanceerd. De geluidstralen die de ontvanger (x,z) precies treffen noemen we eigenrays, en worden gekarakteriseerd door hun lanceerhoek.

Om de Excess Attenuation te berekenen, wordt voor iedere eigenray de bijdrage aan de intensiteit berekend, en uit deze intensiteit wordt de Excess Attenuation berekend. De eigenrays kunnen worden gevonden met de optie 6.2 "Find eigenrays", of door een plot van de aankomsthoogte van de stralen als functie van de lanceerhoek te maken.
Als de hoeken gevonden zijn die de eigenrays karakteriseren, kan de Excess Attenuation met behulp van optie 6.3 berekend worden.

2.12 Kaustieken

Voordat de Excess Attenuation berekend kan worden, dient het optreden van zogenaamde kaustieken te worden nagegaan. Een kaustiek treedt op als door de in het medium aanwezige temperatuur of snelheidsgradiënt het golffront naar binnen gebogen wordt. Hierdoor zullen twee naastgelegen geluidstralen elkaar kruisen. De plaats waar twee naastgelegen geluidstralen elkaar kruisen noemt men een kaustiek.

Volgens Pierce [10] kan het passeren van een kaustiek worden verrekend door het aanbrengen van een fasesprong van $\pi/2$, voordat de intensiteit wordt berekend.

Om in Rayflux de Excess Attenuation te berekenen moet de fasefactor voor iedere stralengroep of eigenray opgegeven worden.
Het aantal maal dat een kaustiek gepasseerd wordt, en de juiste fasefactor kan gevonden worden door analyse van de aankomsthoogtegrafiek, zie hoofdstuk 3 en 4.

De plaatsen waar kaustieken optreden kunnen worden gevonden met optie 5.1 "find caustics and reflections" of 5.2 "find caustics only", en ze kunnen worden geplot met optie 5.4 "plot caustics".

3 BEREKENING VAN DE EXCESS ATTENUATION MET DE "TUBE" METHODE

3.1 Theorie

In dit hoofdstuk wordt de berekening van de Excess Attenuation met de "Tube" methode beschreven. Met deze methode wordt de Excess Attenuation berekend door de buis intensiteit, afhankelijk van de geometrie en het bodemeffect, voor alle eigenrays te berekenen voor een ontvanger op een bepaalde afstand en hoogte.

De intensiteit t.g.v. geometrische divergentie is het quotiënt van de verzwakking van de energie van een buis begrensd door twee stralen, en de verzwakking die de energie binnen dezelfde buis in het vrije veld zou ondergaan.
Voor bijna horizontale stralen geldt volgens Huisman [1]:

$$I_{geo} = \frac{\tan(\Delta\theta_0)\, x_r}{\Delta z_a} \qquad (3.1)$$

waarin:

$\Delta\theta_0$ = hoek tussen de begrenzende stralen [gra]

Δz_a = aankomsthoogte tussen de begrenzende stralen [m]

x_r = horizontale afstand bron tot ontvanger [m]

I_{geo} = intensiteit t.g.v. geometrische divergentie [-].

Als ook het bodemeffect in rekening wordt gebracht geldt voor de intensiteit van een buis:

$$I_{tub} = I_{geo}\,(|Q|^2)^n \qquad (3.2)$$

waarin:

I_{tub} = buis intensiteit t.g.v. bodemeffect en geometrische divergentie [-]

Q = sferische reflectiecoëfficiënt [-]

n = aantal reflecties [-].

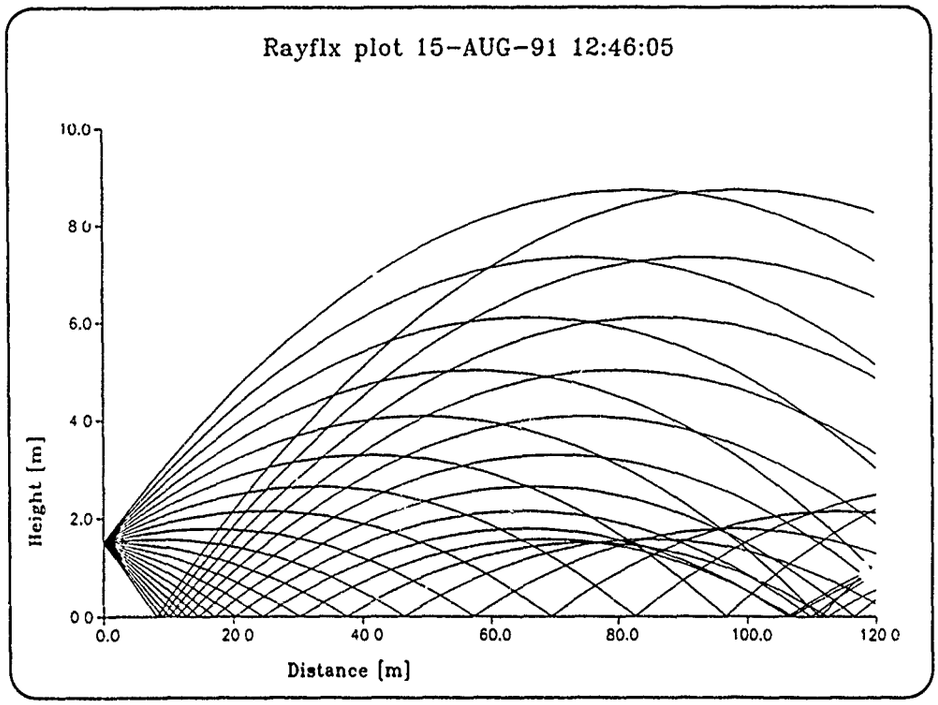


Fig. 5: Het stralenpatroon in een luchtvolume met een lineair windsnelheidsprofiel. De lanceerhoek van de stralen is -10' tot 10' met stapjes van een graad.

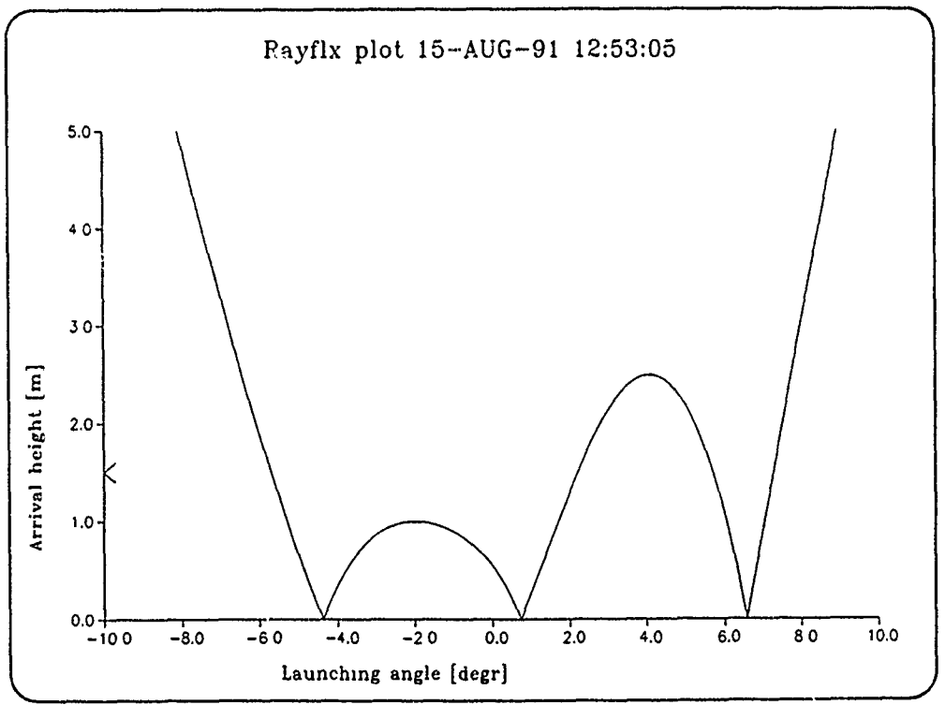


Fig. 6: De aankomsthoogte van de geluidstralen als functie van de lanceerhoek in het profiel met de in het rekenvoorbeeld aangegeven invoerparameters.

De Excess Attenuation wordt berekend door voor alle "eigenstralen", d.w.z stralen die van de bron naar de ontvanger lopen, de buis intensiteiten te berekenen en met de juiste fasefactor op te tellen.

Voordat de berekening gestart kan worden moeten een aantal parameters ingevoerd worden, die in de volgende paragrafen beschreven staan.

3.2 Rekenvoorbeeld

Luchtvolume: lagen van 0.1m van z = 0 tot 5 m, vervolgens met 5 % toename tot z = 10 m (75 lagen totaal).
Temperatuur: Isotherm 6 graden Celsius.
Windsnelheid: lineair snelheids profiel met u(10.01) = 7.17 m/s.

Bronhoogte: z = 1.50 m.
Ontvangerafstand: x = 120 m.

Bodem: eff. stromingsweerstand: 125000.0 Ns/m^4
Verandering porositeit: 0 m^{-1}
Berekening bodemreflecties via optie 2.3.1 " Spherical Wave"

Frequenties: Kwadratische verdeling(3), 120 freqs van 32 Hz tot 4.0 kHz.
Ontvangeroppervlakken: 20 oppervlakken van 0.5 m

Met de invoergegevens van paragraaf 3.2 is het stralenpatroon berekend wat in figuur 5 is weergegeven.

Met optie 6.2 "Find Eigenrays" kunnen de geluidstralen gevonden worden die een ontvanger op een gegeven hoogte precies treffen.
Bij het gebruik van optie 6.2 met f = 0, zijn eigenrays gezocht voor een ontvanger op z = 1.50 m, en worden eigenrays gevonden als het verschil in aankomsthoogte tussen de gelanceerde stralen en de ontvanger kleiner is dan 0.01 m.
Door Rayflux wordt een tabel gegenereerd, waaruit de waarden die het dichtst bij 1.50 m liggen overgenomen zijn in tabel 1.
Om te kunnen controleren of de gevonden lanceerhoeken correct zijn is een plot gemaakt van de aankomsthoogte van de geluidstralen als functie van de lanceerhoek, weergegeven in figuur 6.

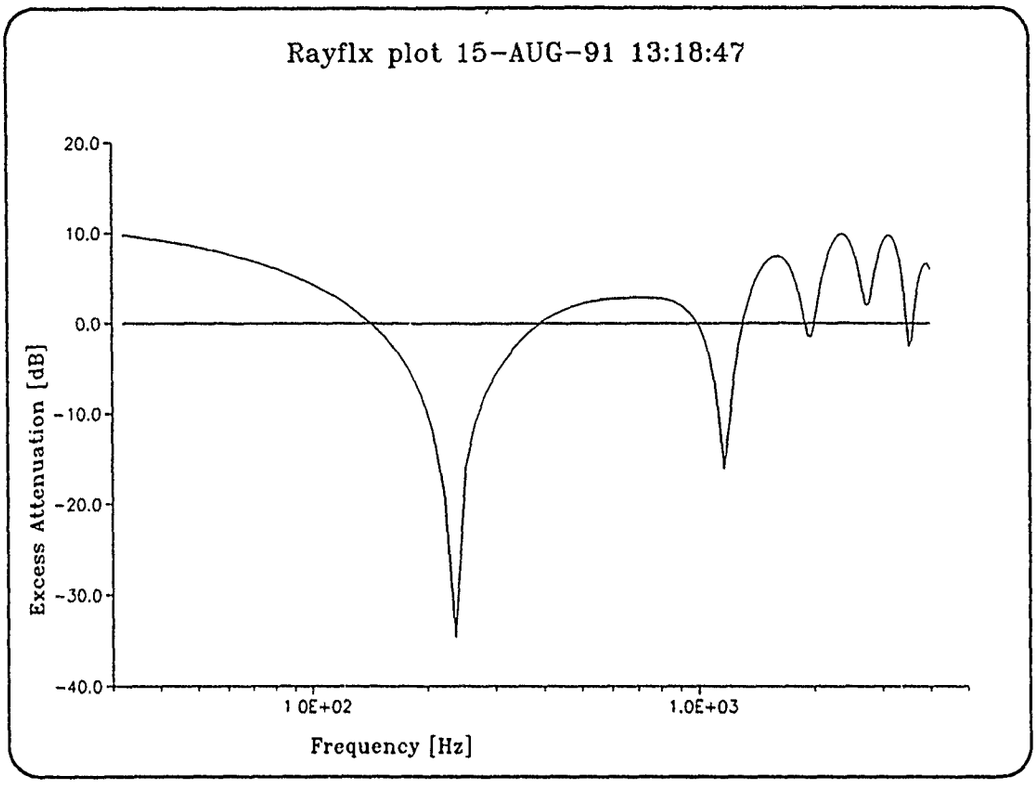


Fig. 7: De Excess Attenuation als functie van de frequentie berekend met de "Tube" methode, voor een ontvanger met z = 1.5 m.

Met optie 5.2 "Find Caustics only" kunnen de lanceerhoeken van de stralen gevonden worden die juist een kaustiek passeren. Deze lanceerhoeken zijn te vinden in figuur 6, als de lanceerhoeken waarvoor $dz/d\theta = 0$.
In dit geval passeren stralen met een lanceerhoek tussen -2.03 en 4.08 graden eenmaal een kaustiek, zie ook hoofdstuk 4 en Huisman [1], p 3.16.

De gevonden eigenrays die een kaustiek gepasseerd zijn, krijgen bij de berekening van de Excess Attenuation een extra fasedraaiing van $\pi/2$.
Tabel 1
De gevonden eigenrays in het testprofiel voor een ontvanger op z = 1.50 m, en de extra fasedraaiing van $\pi/2$ die bij het passeren van een kaustiek in rekening gebracht moet worden.

Eigenray	Lanceerhoek	Fasedraaiing
1	-5.70	0
2	2.23	$\pi/2$
3	5.70	0
4	7.29	0

Met optie 6.3 kan nu de Excess Attenuation met de Tube methode berekend worden, door de eigenstralen te lanceren, en de gevonden resultaten met de juiste fasedraaiing te sommeren.

Ingevoerd moet worden:
- de lanceerhoek van de straal (uit tabel 1).
- de breedte van de tube (in dit geval 0.01).

Vervolgens kan de gevonden waarde worden opgeteld in een matrix in het geheugen, met een gegeven fasedraaiing.
Hierna kan de volgende eigenray gelanceerd worden.
Nadat de buis intensiteit van alle vier eigenrays gesommeerd is, kan met optie 6.5 "Plot eat vs f" de Excess Attenuation als functie van de frequentie geplot worden. Bij het plotten moet optie 2, Ptubs gekozen worden om dezelfde figuur als figuur 7 te krijgen.

4 BEREKENING VAN DE EXCESS ATTENUATION MET DE "FLUX" METHODE

4.1 Theorie

In dit hoofdstuk wordt de berekening van de Excess Attenuation met behulp van de Flux methode beschreven. Omdat de berekening van de intensiteit met behulp van de Tube methode bij lage frequenties ongewenste focusserings effecten oplevert, is een tweede methode bedacht om de Excess Attenuation te berekenen.
Deze methode is gebaseerd op het berekenen van het aantal geluidstralen m, dat een verticaal ontvangstoppervlak passeert, vergeleken met het aantal stralen dat ditzelfde oppervlak in het vrije veld zou passeren, zie ook Huisman [1], p.4-10.

De verticale distributie van de gesommeerde intensiteit, genormeerd op het vrije veld, wordt gegeven door:

$$I(z) = \sum_m (|Q_m|^2)^{N_m} \frac{x_r \tan(\Delta\theta_o)}{\Delta z_c} \qquad (4.1)$$

met:

$I(z)$ = verticale distributie van gesommeerde intensiteit.
Q_m = reflectiecoëfficiënt van straal m
Δz_c = grootte van het luisteroppervlak
N_m = aantal reflecties ondergaan door straal m
$\Delta\theta_o$ = toename van de lanceerhoek van straal.

De intensiteit berekend met de stralendichtheid wordt dan gegeven door:

$$I_{dens} = \frac{1}{\Delta z_r} \int_{z_l}^{z_u} I(z)dz \qquad (4.2)$$

met:

I_{dens} = intensiteit van stralen dichtheid, inclusief grond effect genormeerd op het vrije veld.

I(z) = verticale distributie van gesommeerde intensiteit.

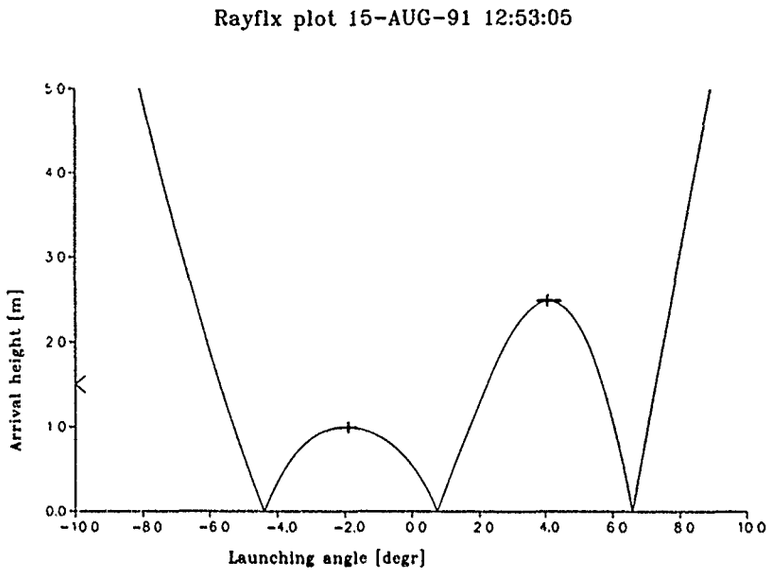
Deze verticale distributie van intensiteit wordt met het programma berekend per stralengroep. Vervolgens wordt deze verticale distributie van intensiteit met de juiste fasefactor gesommeerd. De stralengroepen worden bepaald door het aantal maal dat de stralen tegen de bodem zijn gereflecteerd en het aantal maal dat de stralen een kaustiek zijn gepasseerd.

4.2 Rekenvoorbeeld

De invoerparameters beschreven in hoofdstuk 3, nl. temperatuurprofiel, windsnelheidsprofiel, geometrie en bodem en frequenties, worden voor de berekening van de Excess Attenuation met de Flux methode op dezelfde manier ingevoerd als voor de berekening met de Tube methode.
Een nieuwe parameter die voor de Flux methode wordt ingevoerd is de grootte van het ontvangstoppervlak.
Met de optie 2.5 "Distribution classes" kan de grootte en het aantal van de ontvangstoppervlakken ingevoerd worden.
Zoals in paragraaf 3.5 staat vermeld hangt het aantal ontvangstoppervlakken samen met het aantal mogelijke frequenties waarvoor de Excess Attenuation bepaald kan worden.
Voor het voorbeeld is gekozen voor 62 frequenties, van 32 tot 4000 Hz en 40 oppervlakjes van 0.25 m.

Met dezelfde invoergegevens als beschreven in paragraaf 3.8 wordt een grafiek van de aankomsthoogte als functie van de lanceerhoek berekend.
Met behulp hiervan, en met optie 5.1 "Find caustics & #reflections" zoeken we de stralen die zgn. stralengroepen begrenzen.
Stralengroepen bepalen aaneengesloten stukken golffront die bij de ontvanger aankomen. Deze aaneengesloten stukken hebben een verschillend aantal refelecties ondergaan en zijn een verschillend aantal kaustieken gepasseerd, zie Huisman [1], p 3-17.

De begrenzende geluidstralen staan weergegeven in tabel 2.



Kaustieken	0		1		0	
Reflecties	1	2		1		0
Stralengroep	6	5	4	3	2	1

Fig. 8: De aankomsthoogte van de geluidstralen als functie van de lanceerhoek, met in de figuur de hoeken waarvoor de verschillende ontvangstoppervlakken getroffen worden.

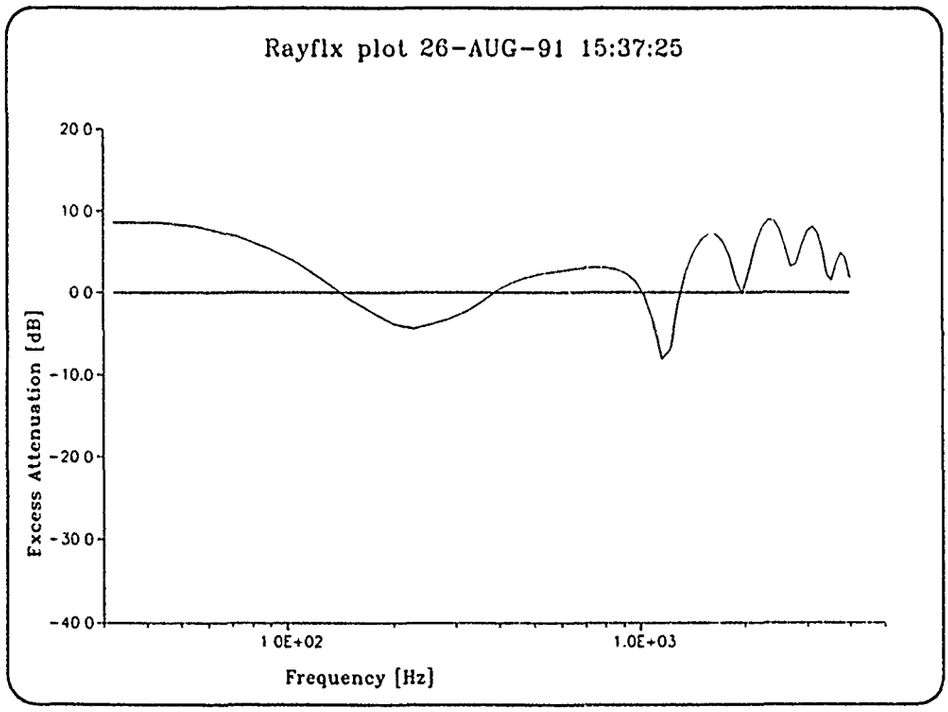


Fig. 9: De Excess Attenuation als functie van de frequentie berekend met de "Flux" methode, voor een ontvanger op z = 1.50 m.

Bij de berekening van de Excess Attenuation krijgen de stralengroepen die een kaustiek gepasseerd zijn een fasedraaiing van $\pi/2$. In dit geval betekent dit, dat alle stralen gelanceerd met theta tussen -2.03 en 4.08 graden een fasedraaiing van $\pi/2$ krijgen.

Tabel 2

groep	grenshoeken		aantal reflecties	aantal kaustieken
1	6.58	8.93	0	0
2	4.08	6.58	1	0
3	0.74	4.08	1	1
4	-2.03	0.74	2	1
5	-4.40	-2.03	2	0
6	-8.08	-4.40	1	0

Om een beter overzicht te geven zijn de hoeken die de stralengroepen begrenzen, weergegeven in figuur 8.

De berekende Excess Attenuation voor een ontvanger op z = 1.50 m is weergegeven in figuur 9. Een vergelijking met figuur 7, het resultaat van de Tube methode, toont goede overeenstemming, behalve voor de frequenties waar grote verzwakking als gevolg van het grondeffect optreedt.

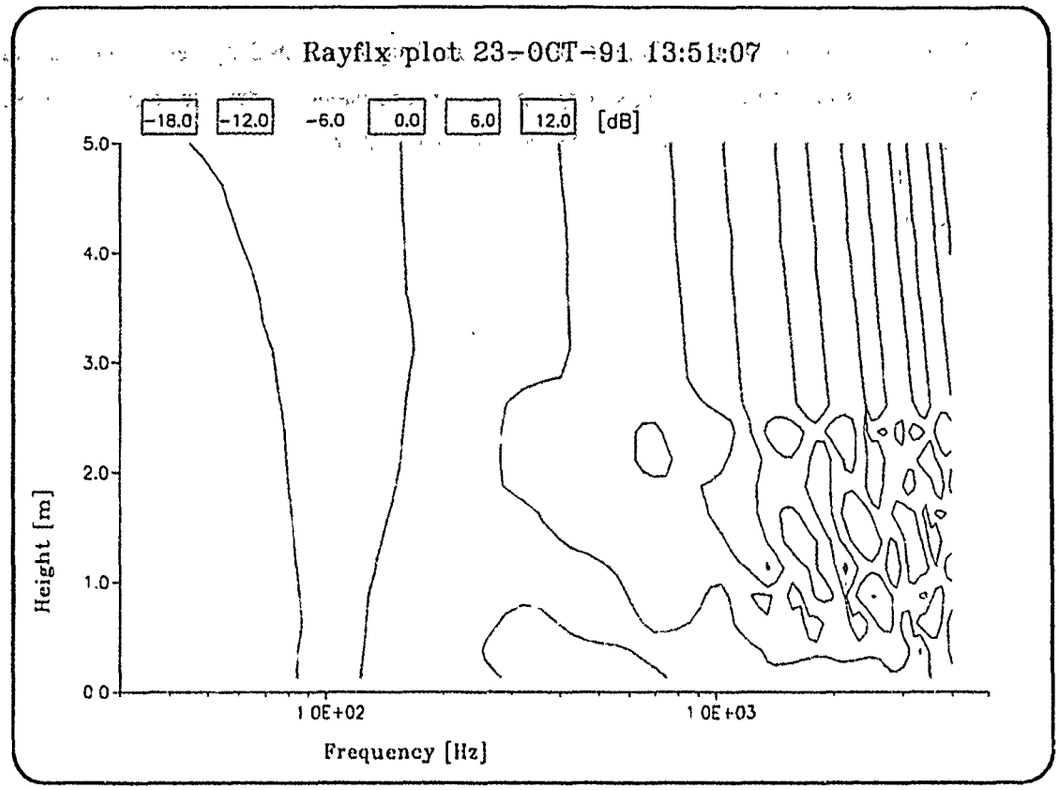


Fig. 10: De Excess Attenuation als functie van de frequentie en de hoogte, berekend met de "Flux" methode, weergegeven als zgn. isofonen.

Bij de Flux optie bestaat na het berekenen van de zogenaamde flux matrix de mogelijkheid om de Excess Attenuation als functie van de frequentie en hoogte weer te geven. Dit zijn de zogenaamde isofonenplots, die met optie 6.7 gemaakt kunnen worden. De plots kunnen gemaakt worden voor het geluiddrukniveau (sound pressure level), en voor het intensiteitsniveau (sound intensity level). In figuur 10 is de isofonenplot voor de in het voorbeeld berekende flux matrix geplot.
Om een betere presentatie van de isofonen mogelijk te maken worden de waarden van de flux matrix, met als header de begin en eind frequentie, en de begin en eind hoogte van de plot, in de outputfile isophone.dat weggeschreven.
Deze file wordt na iedere plot overschreven.
Met de voor deze toepassing ontwikkelde Mathematica routine, isophone.m (zie appendix A) kan deze file gelezen worden, en als een 3D figuur worden geplot, zie figuur 11.

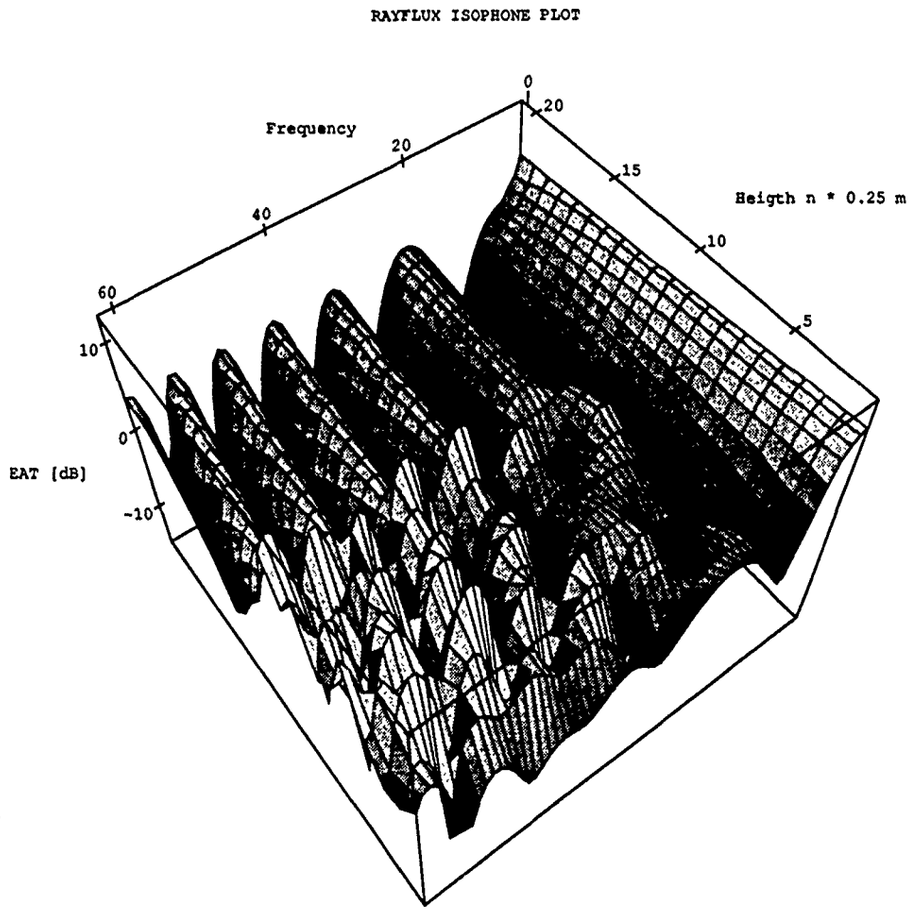


Fig. 11: 3D representatie van de Excess Attenuation als functie van de hoogte in stapjes van 0.25 m en de 62 gekozen frequenties, van 32 tot 4000 Hz.

5 VERGELIJKING RAYFLUX MET EEN GOLFVELD EXTRAPOLATIE MODEL

Nijs en Wapenaar [2] hebben een andere methode ontwikkeld waarmee de geluidvoortplanting boven een absorberende bodem kan worden berekend.
Deze methode is gebaseerd op de 2 weg golfvergelijking voor de Fourier getransformeerde van de akoestische druk P en deeltjessnelheid V in een gelaagd medium.

In het model van Nijs en Wapenaar wordt het grondeffect berekend met het 1 parameter model van Delany en Bazley [9], waarin de parameter de effectieve stromingsweerstand voorstelt.

Het windsnelheids profiel wordt gemodelleerd met:

$$u(z) = u_{10} (z/10)^{\alpha} \qquad (5.1)$$

waarin:
$u(z)$ = windsnelheid als functie van de hoogte in [m/s]
u_{10} = winsnelheid op 10 m hoogte [m/s]
z = hoogte [m]
α = exponent [-].

Dit is dezelfde methode van modelleren als de Power Function optie in Rayflux.

De vergelijking tussen beide modellen is uitgevoerd voor een aantal configuraties, waarvoor Nijs en Wapenaar de Excess Attenuation berekend hebben.

Configuratie 1, zie figuur 6 ref [2] pagina 1995.

Bron: 1.80 m.
Ontvanger: 200 m afstand op 1.60 m hoogte.
Bodem: effectieve stromingsweerstand: 2*10E5 Ns/m^4
Temperatuur: isotherm
Wind: a. lineair profiel, u(10) = 1.2 m/s
b. lineair profiel, u(10) = 5.0 m/s

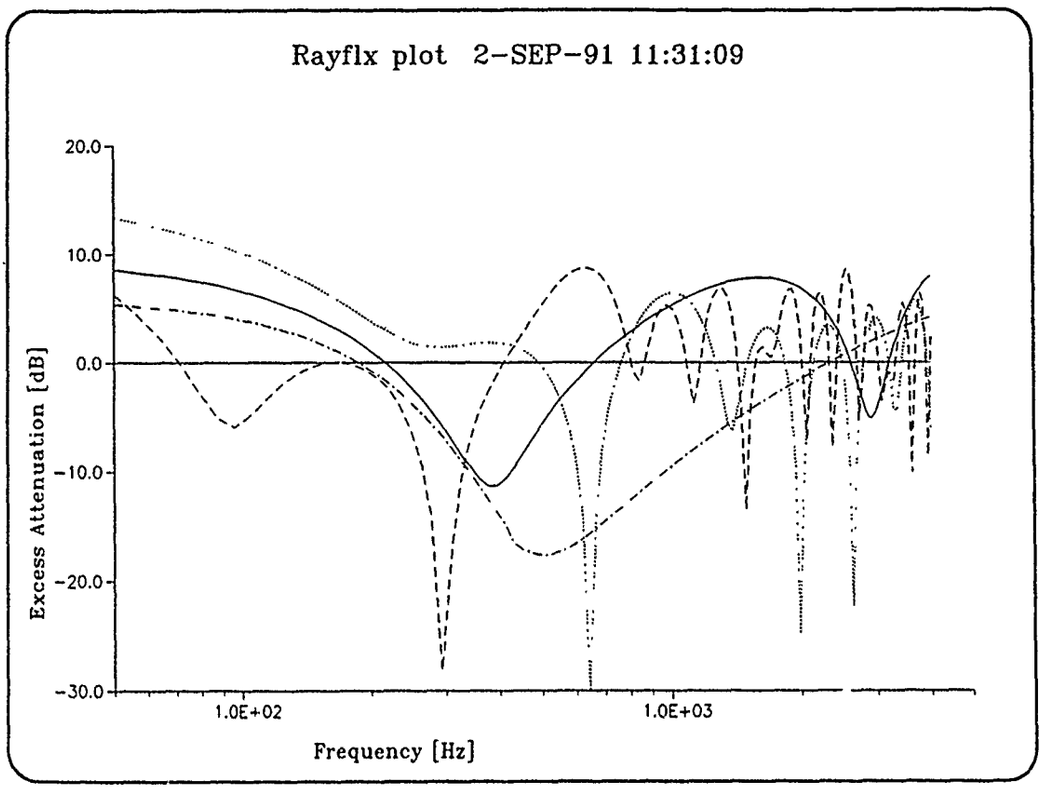


Fig. 12: De Excess Attenuation berekend met de Tube methode als functie van de frequentie voor 4 verschillende profielen, voor configuratie 1:

-------- lineair profiel, u(10) = 1.2 m/s
- - - - - lineair profiel, u(10) = 5.0 m/s
····· Power profiel, $\alpha = 0.14$, u(10) = 5.0 m/s
-.-.-.-.- geen wind.

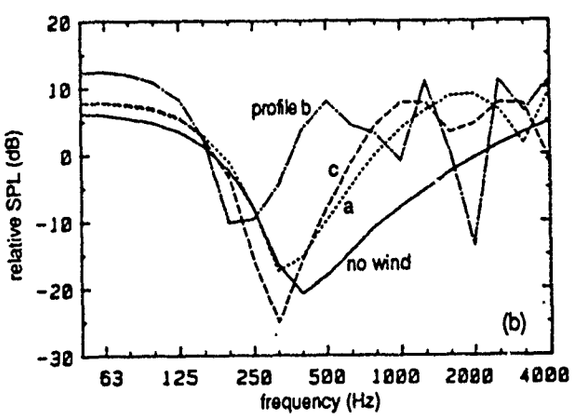


Fig. 13: Excess Attenuation voor configuratie 1, volgens Nijs en Wapenaar [5].

c. Power profiel, $\alpha = 0.14$, u(10) = 5.0 m/s

d. geen wind.

In figuur 12 is de Excess Atennuation weergegeven, berekend met de Tube methode voor de vier gebruikte profielen. Figuur 13 is een kopie van de originele figuur van Nijs en Wapenaar [2], figuur 6.
Een vergelijking van beide figuren toont goede overeenstemming, zowel voor het niveau als voor de ligging van de grond-effect minima.
De verschillen, zichtbaar in het hoogfrequent gedeelte van de figuur, worden vooral veroorzaakt door het feit dat Nijs en Wapenaar slechts 20 frequenties voor hun berekening gebruikt hebben, terwijl de Rayflux grafiek voor 124 frequenties berekend is.

Configuratie 2, zie [2], pagina 1996 (figuur 10).

Bron: 1.80 m.
Ontvanger: 200 m afstand op 1.60 m hoogte.
Bodem: effectieve stromingsweerstand: 5*10E4 Ns/m^4
Temperatuur: isotherm
Wind: Power profiel met = 0.14 en u(10):

a. geen wind

b. 2 m/s

c. 5 m/s

d. 10 m/s

In figuur 14 is de Excess Atennuation weergegeven berekend met de Tube methode voor de vier gebruikte profielen. Figuur 15 is een kopie van de originele figuur van Nijs en Wapenaar [2], figuur 10.

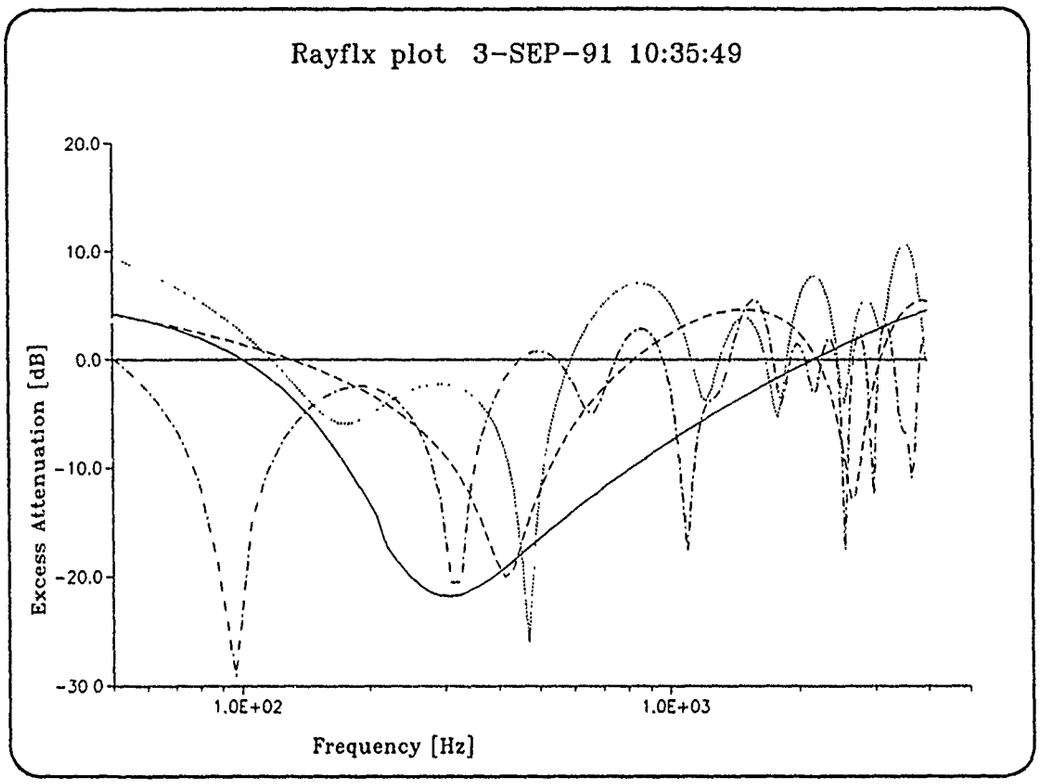


Fig. 14: De Excess Attenuation berekend met de Tube methode als functie van de frequentie voor 4 verschillende profielen, voor configuratie 2:
-------- geen wind.
- - - - - Power profiel, $\alpha = 0.14$, u(10) = 2.0 m/s
····· Power profiel, $\alpha = 0.14$, u(10) = 5.0 m/s
-.-.-.-.- Power profiel, $\alpha = 0.14$, u(10) = 10.0 m/s

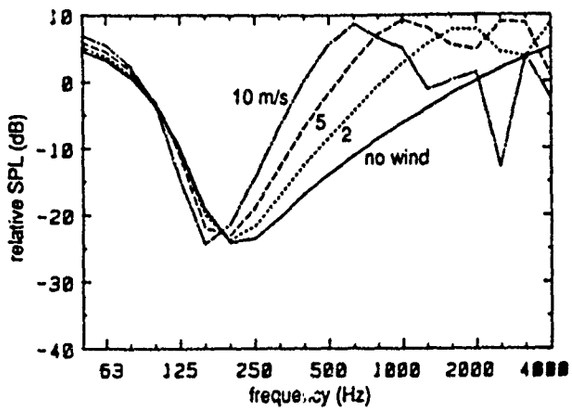


Fig. 15: Excess Attenuation voor configuratie 2, volgens Nijs en Wapenaar [5].

Een vergelijking toont alleen voor het profiel zonder wind overeenstemming.
Verder geven de berekeningen voor de verschillende profielen geen overeenstemmende resultaten.
Dit is duidelijk een illustratie van de beperkingen van beide methoden. Golfveldextrapolatie vraagt veel rekentijd in de hogere frequenties, waardoor Nijs en Wagenaar zich beperkt hebben tot 20 frequenties. Ray tracing modellen falen bij sterke gradiënten en/of lange afstanden in de lage frequenties, omdat de golflengte daar niet klein is in verhouding tot de structuren van de gradiënt.

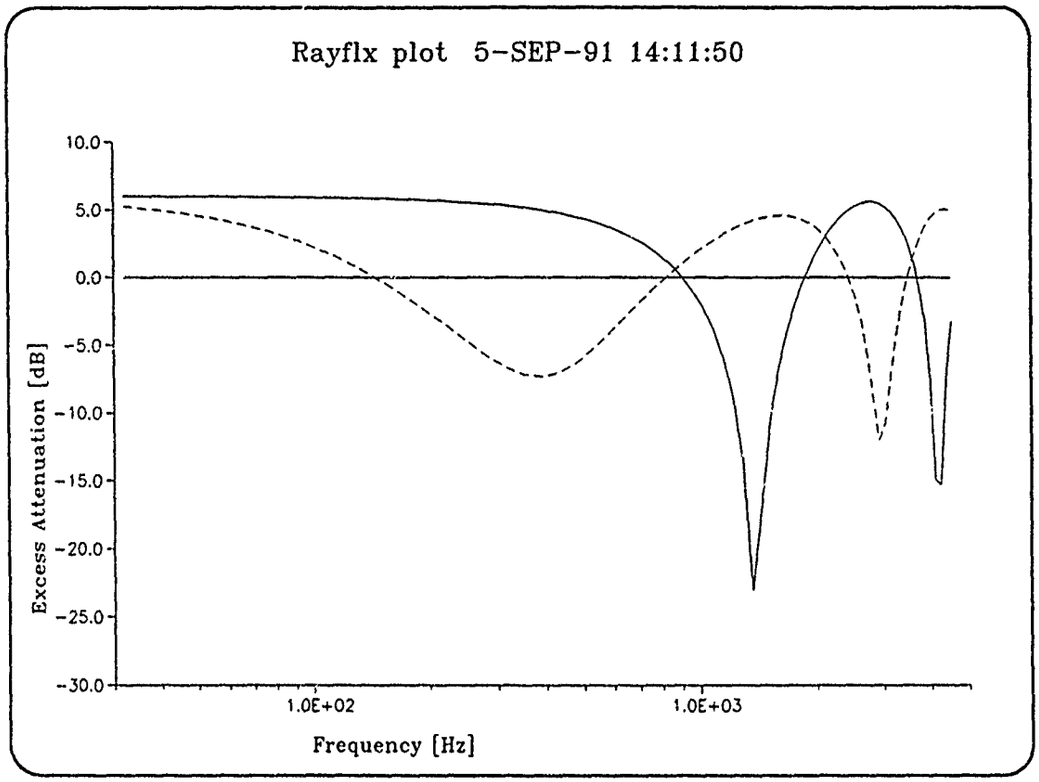


Fig. 16: Excess Attenuation voor configuratie 1, met
------- $\sigma =$ 1*10E9 Ns/m^4
- - - - $\sigma =$ 2*10E5 Ns/m^4

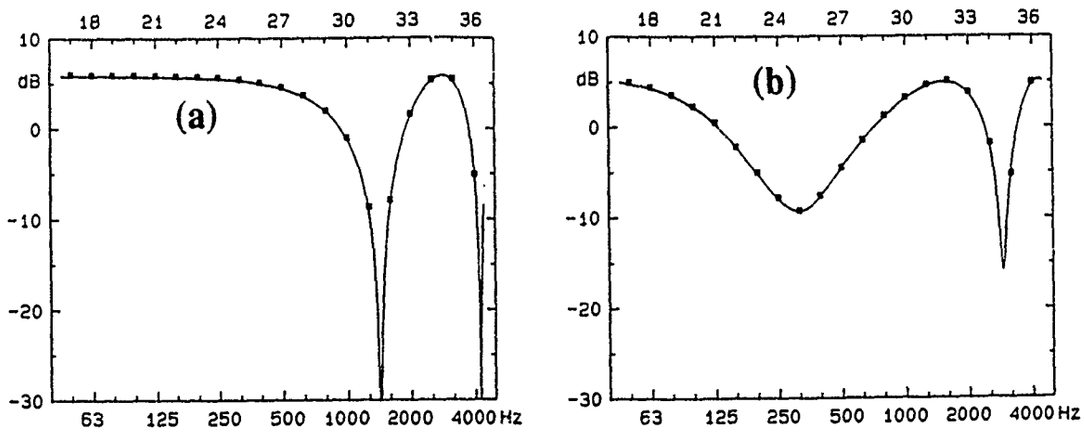


Fig. 17: De Excess Attenuation volgens Vermaas, pagina 27a.
a: harde bodem, b: $\sigma = 2*10E5$ Ns/m^4
Doorgetrokken lijn: Vermaas
Blokjes: Nijs en Wapenaar

6 VERGELIJKING RAYFLUX MET EEN RAY TRACING MODEL

Vermaas [3] heeft tijdens zijn afstudeeronderzoek aan de TU Delft, Afdeling der Technische Natuurkunde, Vakgroep Akoestiek en Seismiek, een nieuwe benadering van ray-tracing onderzocht en geimplementeerd.
Deze nieuwe benadering gaat uit van de lokale condities van het medium om het stralenpad te construeren. Het voordeel van deze benadering is dat de geluidsnelheidsgradiënt zowel van de hoogte z als van de afstand tot de bron x afhankelijk mag zijn.
Ook past hij (automatisch) de fase correctie toe bij het passeren van een kaustiek. De bodem wordt gemodelleerd met het 1 parameter model van Delany en Bazley [9].

Vermaas vergelijkt in zijn rapport de resultaten van het ray tracing programma met de resultaten van het golfveld extrapolatie model van Nijs en Wapenaar.
Aangezien Nijs en Wapenaar bij de Vakgroep Akoestiek en Seismiek in Delft werkzaam zijn, was de programmatuur ter beschikking om andere configuraties dan in de publikatie van Nijs en Wapenaar door te rekenen.

Uit het rapport van Vermaas [3] zijn een aantal door hem berekende voorbeelden geselecteerd, zodat resultaten van rayflux kunnen worden vergeleken met de ray tracing techniek en tegelijkertijd met de golfveld extrapolatie techniek van Nijs en Wapenaar [2].

Configuratie 1 (Vermaas pagina 27a).

Source: 1.8 m.
Receiver: x = 300 m, z = 10.0 m
Isotherm 6.0 graden celcius, geen windgradiënt.
a: (oneindig) harde bodem, $\sigma = 1.0*10E9$ Ns/m^4
b: $\sigma = 2*10E5$ Ns/m^4.

De resultaten van rayflux zijn berekend met de Tube methode. De Flux methode levert dezelfde resultaten, alleen het grond effect minimum ligt ongeveer 2 dB hoger.
Een vergelijking van figuur 16 en 17 toont een uitstekende overeenstemming tussen alle drie de gebruikte modellen. Er is een klein verschil in de hoogte van het grondeffect minimum voor $\sigma = 2*10E5$ Ns/m^4, hetgeen waarschijnlijk te wijten is aan de wijze van modellering van de bodem.

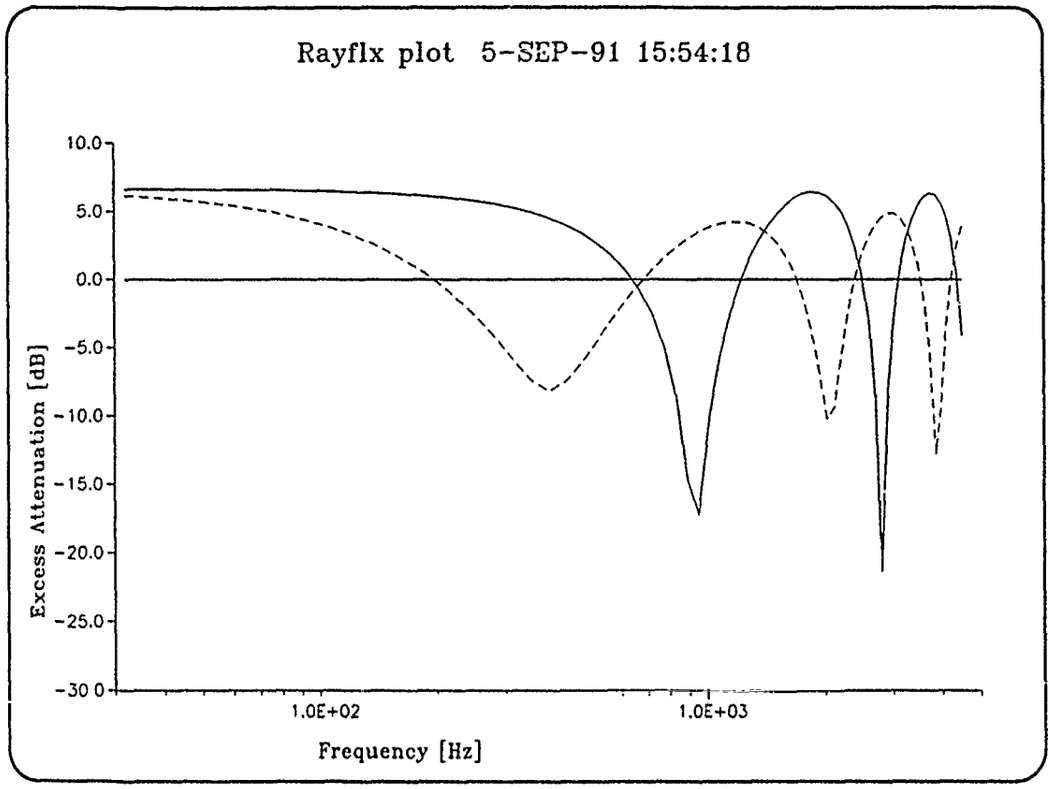


Fig. 18: Excess Attenuation voor configuratie 2, met
------- $\sigma = 1*10E9$ Ns/m^4
- - - - $\sigma = 2*10E5$ Ns/m^4

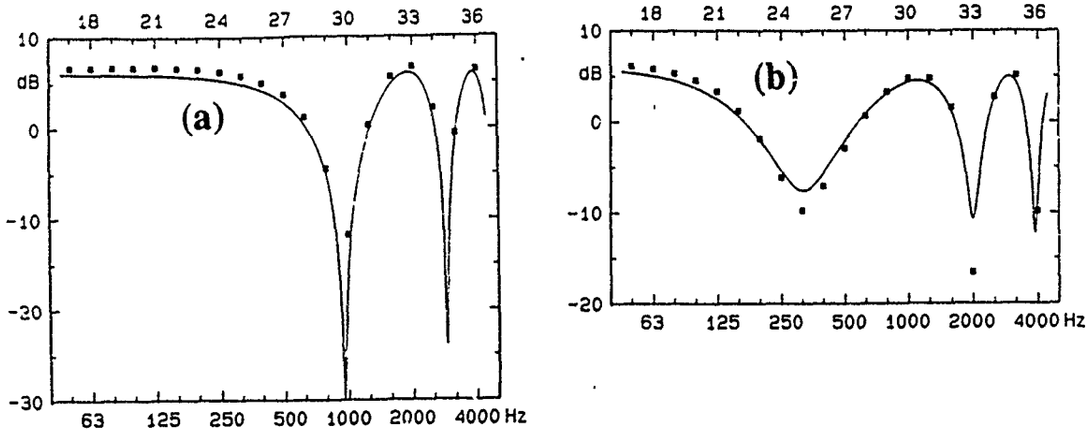


Fig. 19: De Excess Attenuation volgens Vermaas, pagina 30a.
a: harde bodem, b: $\sigma = 2*10E5$ Ns/m^4
Doorgetrokken lijn: Vermaas
Blokjes: Nijs en Wapenaar

Configuratie 2 (Vermaas pagina 30a).

Source: 1.8 m.
Receiver: x = 120 m, z = 4.0 m
Isotherm 6.0 graden celcius, windgradiënt u(z) = 0.12 z.
a: (oneindig) harde bodem, $\sigma = 1.0*10E9$ Ns/m^4
b: $\sigma = 2*10E5$ Ns/m^4.

Vergelijking van figuur 18 en 19 toont uitstekende overeenstemming tussen de drie modellen. De hoogte van het grond effect minimum vertoont slechts een klein verschil.

Volgens Vermaas is dit te verklaren doordat bij het optreden van een geluidsnelheidsgradiënt de golffronten die bij de luisteraar aankomen, niet meer bolvormig zijn. Als hij hiervoor corrigeert komen zijn resultaten exact overeen met die van Nijs en Wapenaar.
Omdat in Rayflux de bodem anders gemodelleerd wordt is het mogelijk dat de oorzaak van het verschil ligt aan de bodem modellering, of aan het door Vermaas gesuggereerde optreden van de afwijking van de bolvorm van het golffront.
Slechts een gedetailleerde vergelijking van de grondmodellering zal een antwoord kunnen geven op de vraag wat de oorzaak is van het verschil.

Configuratie 3 (Vermaas pagina 33a).

Source: 1.8 m.
Receiver: x = 300 m, z = 2.8 m
Isotherm 6.0 graden celcius, windgradiënt u(z) = 0.12 z.
a: (oneindig) harde bodem, $\sigma = 1.0*10E9$ Ns/m^4
b: $\sigma = 2*10E5$ Ns/m^4.

In figuur 20 is de Excess Atennuation weergegeven berekend met de Tube methode, in figuur 21 met de Flux methode.
Vergelijking van de figuur 20 en 22 toont dat de Tube methode goede overeenstemming vertoont met de ray tracing methode van Vermaas.

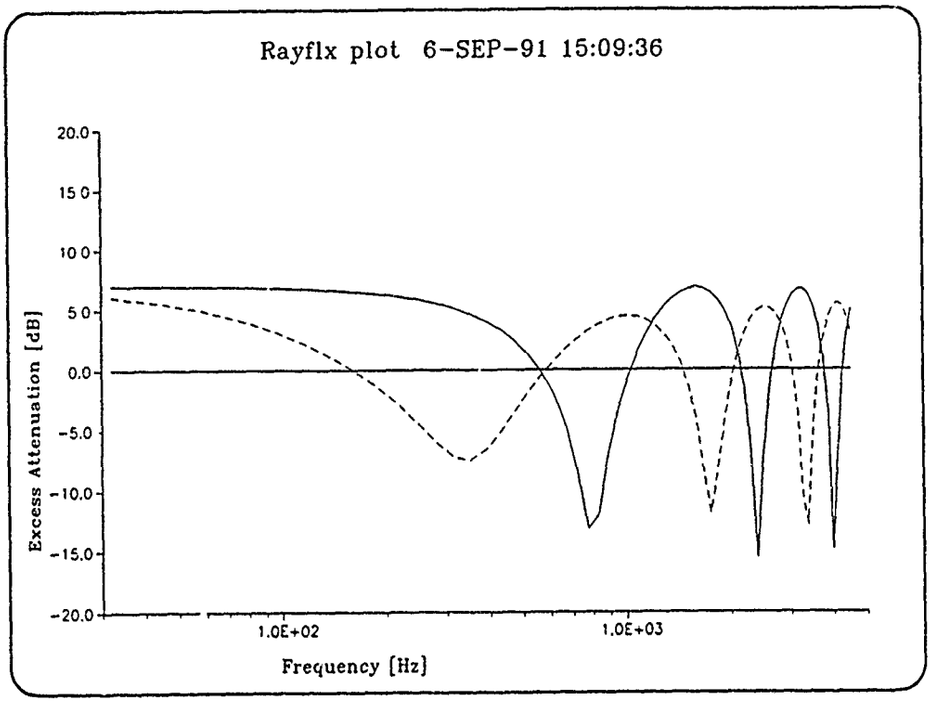


Fig. 20: Excess Attenuation voor configuratie 3, met Tube methode
------- $\sigma = 1*10E9$ Ns/m^4
- - - - $\sigma = 2*10E5$ Ns/m^4

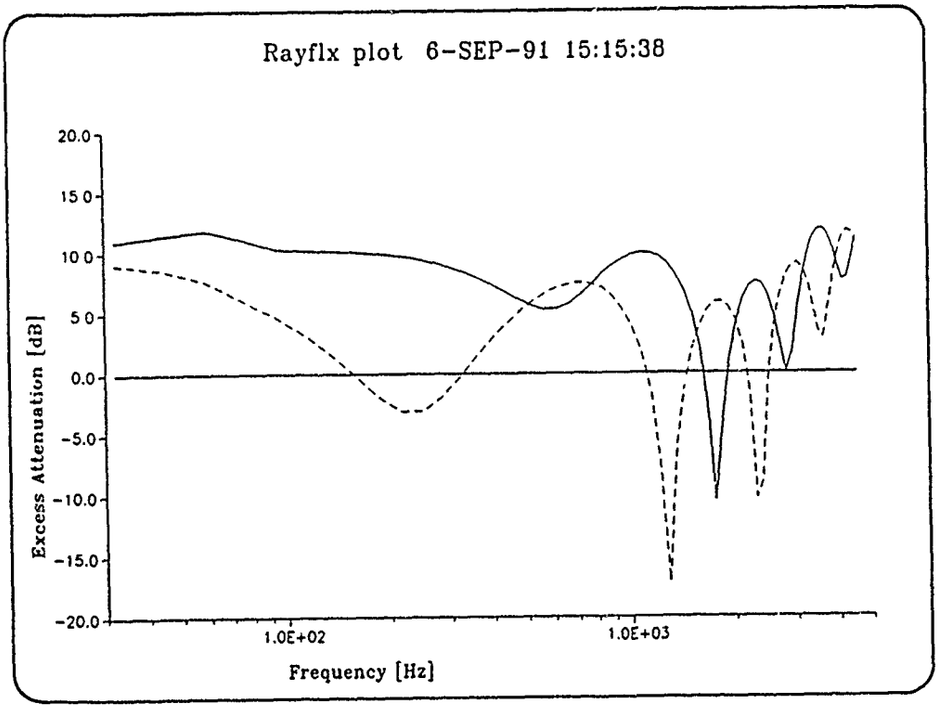


Fig. 21: Excess Attenuation voor configuratie 3, met Flux methode"
------- $\sigma = 1*10E9$ Ns/m^4
- - - - $\sigma = 2*10E5$ Ns/m^4

Er is een duidelijk verschil te zien tussen de Tube methode en de golfveld extrapolatie methode van Nijs en Wapenaar. Vermaas concludeert hieruit dat zijn model faalt in de nabijheid van een kaustiek.

Vergelijken we de Excess Attenuation berekend met de Flux methode, figuur 21, met de resultaten van de golfveldextrapolatie in figuur 22, zien we voor de harde bodem goede overeenstemming, en voor de absorberende bodem alleen een groot verschil in de hoogte van het grond effect minimum. Blijkbaar zijn de nadelen van de hoogfrequent benadering van ray tracing, met de flux methode op een juiste manier gecompenseerd. Wel is te zien dat in het hoogfrequente gedeelte tussen 3000 en 4500 Hz de met de Flux methode berekende Excess Attenuation duidelijk te groot is.

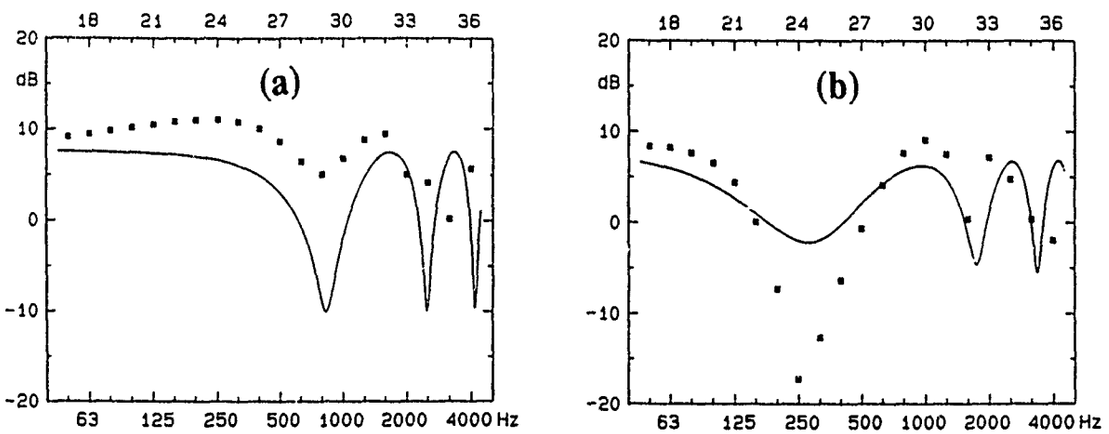


Fig. 22: De Excess Attenuation volgens Vermaas, pagina 33a.
a: harde bodem, b: $\sigma = 2*10E5$ Ns/m^4
Doorgetrokken lijn: Vermaas
Blokjes: Nijs en Wapenaar

7 VERGELIJKING RAYFLUX MET DE METINGEN VAN PARKIN EN SCHOLES

Door Parkin en Scholes zijn propagatiemetingen onder verschillende weersomstandigheden uitgevoerd, zie referentie [4,5], op een vliegveld in de buurt van Radlett en vervolgens op een vliegveld in de buurt van Hatfield.
De windsnelheid werd gemeten op een hoogte van 33 ft.
Tijdens de tweede meetsessie werd ook de temperatuur gemeten op een hoogte van 4 en 40 ft. Op grond van het gemeten temperatuurverschil werden de volgende condities vastgesteld:

dT < - 0.3 C: Lapse
dT < |0.3| C: Neutral
dT > 0.3 C: Inversion

De bodem bestond uit een toplaag van modderige klei op een grondlaag van kalkachtige klei met daarop gras van 4 tot 16 cm.
De microfoonafstanden waren 64,114,202,360,640,1140,2020 en 3600 ft, microfoon hoogte: 5 ft.
Het geluiddrukniveau werd gemeten in tertsbanden, van 50 tot 4000 Hz.
Het gemeten geluiddruk niveau werd gecorrigeerd voor moleculaire absorptie en sferische spreiding.
Als bron werd een vliegtuig straalmotor gebruikt, met een geschatte bronhoogte van 6 ft.

Als basis voor de vergelijking is figuur 13 van Parkin en Scholes genomen, voor de microfoon op 640 ft afstand, zie figuur 23. In deze figuur wordt de Excess Attenuation weergegeven voor twee atmosferische omstandigheden, nl inversie met weinig wind en neutraal met wind van gemiddeld 15 ft/s, zie figuur 23.

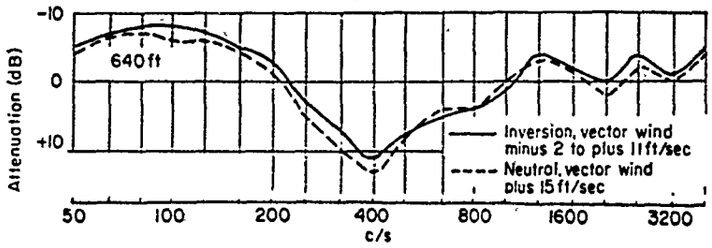


Fig. 23: De Excess Attenuation als functie van de frequentie, voor inversie met wind tussen 2 en 11 ft/s, en voor neutrale condities met wind van 15 ft/s, voor een microfoon op 195 m afstand van de bron.

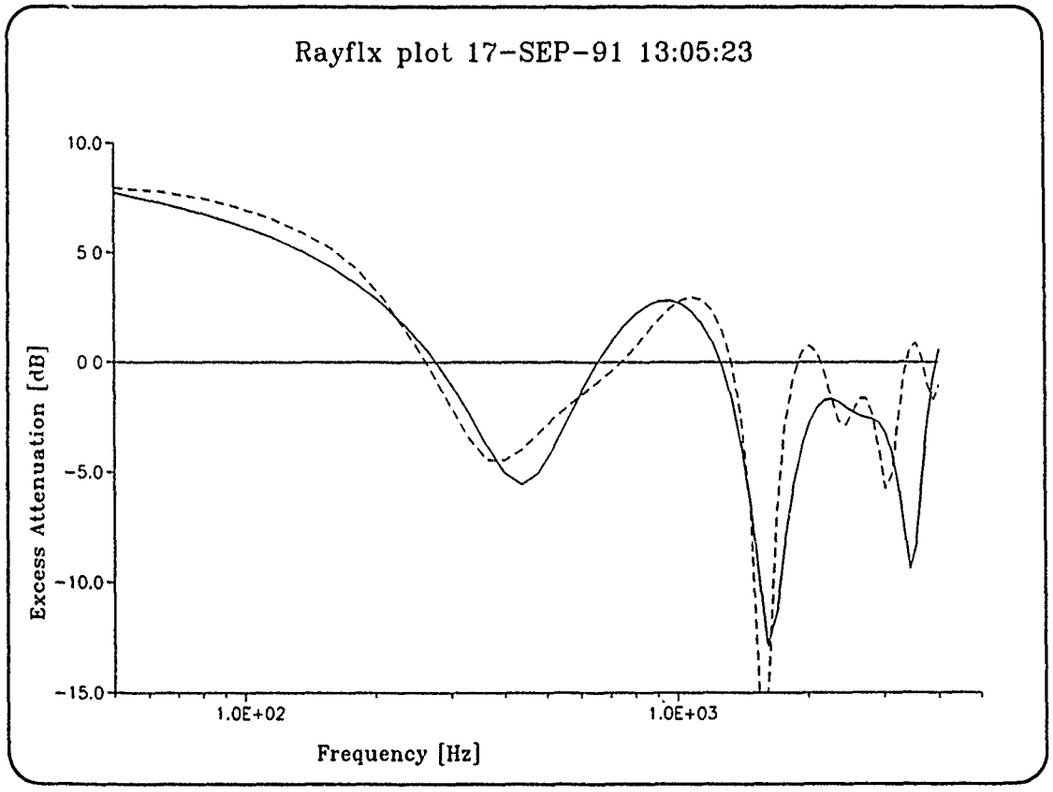


Fig. 24: De Excess Attenuation berekend met Rayflux
------- Tube methode
- - - - Flux methode

De verkregen waarde voor de Excess Attenuation is echter een gemiddelde van een aantal metingen met verschillende atmosferische omstandigheden, zodat de resultaten van rayflux alleen globaal hiermee vergeleken kunnen worden.

Om de bodem te modelleren met het door Rayflux gebruikte 2 parameter model zijn de resultaten van Embleton c.s. [12], Martens c.s. [13] en Attenborough [8] vergeleken voor gras met een lengte van ongeveer 10 cm.
Toepassing van het twee parameter model door Attenborough voor gras levert een waarde van 227.253 Ns/m^4 voor de effectieve stromingsweerstand, en 185 m^{-1} voor de effectieve exponentiele verandering van de porositeit.
De waarde van de effectieve stromingsweerstand gevonden door Embleton, 150.000 - 300.000, en door Martens, 189.000 +/- 91.000 vallen in hetzelfde bereik. Bij de toepassing van Rayflux is voor de effectieve stromingsweerstand 227000 Ns/m^4 genomen, en voor de effectieve exponentiële verandering van de porositeit 0 m^{-1}. Deze waarden geven de redelijke overeenstemming voor de ligging en hoogte van het grond effect minimum.

Figuur 24 toont de Excess Attenuation voor een ontvanger op 195 m afstand van de bron, berekend met de Tube en Flux methode. In het laagfrequente gebied is redelijke overeenstemming te zien. De ligging van het grond effect minimum komt ook redelijk overeen, de waarde ervan toont alleen een verschil van ongeveer 5 dB. De interferentieminima zijn in de figuur van Parkin en Scholes niet duidelijk aanwezig, maar dit is waarschijnlijk te wijten aan het effect van de middeling van een aantal metingen en het beperkte aantal frequenties.

8 CONCLUSIES

Uit de vergelijking van Rayflux met twee verschillende modellen is gebleken dat voor niet te grote afstanden Rayflux een redelijke voorspelling kan geven van de te verwachten Excess Attenuation op een ontvangtspositie.

Als er echter een groot aantal reflecties tegen de bodem zijn opgetreden, veroorzaakt door een sterke geluidsnelheidsgradiënt, of door een grote afstand vanaf de bron bij een kleine geluidsnelheidsgradiënt, dan neemt de overeenkomst met een golfveld extrapolatie model af. De oorzaak hiervan kan liggen in het ray tracing proces, of in de modellering van de bodem.

Ten aanzien van de vergelijking met metingen dient opgemerkt te worden dat een goede vergelijking slechts mogelijk is als het temperatuur en windsnelheids profiel op een groot aantal punten bekend is, en als de bodem parameters bekend zijn. Zoniet is slechts een globale vergelijking mogelijk, waarbij Rayflux voor korte afstanden goede resultaten levert.

Aangezien een groot aantal mogelijkheden zijn ingebouwd om de geluidsnelheidsgradiënt in de atmosfeer te modelleren, zowel boven open grond als in begroeide omgeving, is het programma eenvoudig te gebruiken om de overdracht van het geluid voor verschillende reële situaties te gebruiken.

REFERENTIES

1. W.H.T. Huisman, "Sound propagation over vegetation-covered ground", K.U. Nijmegen, feb 1990.

2. L. Nijs, C.P.A. Wapenaar, "The influence of wind and temperature gradients on sound propagation, calculated with the two-way wave equation", J. Acoust. Soc. Am. 87(5), may 1990.

3. E.A. Vermaas, "A new approach in calculating the outdoor sound propagation with a ray-tracing model in the presence of atmospheric gradients", TU Delft, feb 1989.

4. P.H. Parkin and W.E. Scholes, "The horizontal propagation of sound from a jet engine close to the ground, at Radlett", J. Sound. Vib. 1, 1964, p. 1-13.

5. P.H. Parkin and W.E. Scholes, "The horizontal propagation of sound from a jet engine close to the ground, at Hatfield", J. Sound. Vib. 2, 1965, p. 353-374.

6. J.L. Monteith, "Vegetation and the atmosphere", vol 1, Principles, A.P. 1975.

7. J. Wempen, "Outdoor sound propagation close to the ground", proc. sound propagation in forested areas and shelterbelts, K.U. Nijmegen, 1986.

8. K. Attenborough, 1985, "Acoustical impedance models for outdoor ground surfaces", J. Sound. Vib. 99, 521 544.

9. M.E. Delany and E.N. Bazley, "Acoustical properties of fibrous absorbent materials", Appl Acoust. 3, 105-116, (1970).

10. A.D. Pierce, Acoustics, "An introduction to its Physical principles and Applications", Acoustical Society of America, Woodbury, New York, 1989.

11. Wolfram. S., "Mathematica, A system for doing mathematics by computer", Addison Wesley, 1988.

12. T.W.F. Embleton, J.E. Piercy and G.A. Daigle, "Effective flow resistivity of ground surfaces determined by acoustical measurements", J. Acoust. Soc. Am, 74(4), 1983.

13. M.J.M. Martens, L.A.M. van der Heijden, H.H.J. Walthaus, and W.J.J.M. van Rens, "Classification of soils based on acoustic impedance, air flow resistivity and other physical soil parameters", J. Acoust. Soc. Am, 78(3), 1985.

Ir. A.C. Tuinenburg
(groepsleider)

Ir. A.C. van Koersel
(auteur)

In appendix A is een listing van het Mathematica pakket gegeven waarmee de isofoon data van het Rayflux programma geplot kan worden. Voor een beschrijving van Mathematica zie Wolfram [11].
Om het hieronder gegeven pakket te gebruiken moet Mathematica worden gestart, waarna dit pakket kan worden ingelezen. De isofonenfiguur wordt dan automatisch geplot in een window.

```
BeginPackage["Isophone`"]

Isophone::usage =   " Plotting isophones in a 3D plot
with data from flip:[ton.rayflux]isophone.dat;1 "


(* Reading the plotdata from rayflux output file isophone.dat *)

OpenRead[ "flip:[ton.rayflux]isophone.dat;1" ]

    i =         Read[ "flip:[ton.rayflux]isophone.dat;1",
                {Number,Number,Number,Number}
                ]

    data =      ReadList[ "flip:[ton.rayflux]isophone.dat;1",
                          Table[ Number,
                          { i[[4]] - i[[3]] + 1 }
                          ]
                ]

Close[ "flip:[ton.rayflux]isophone.dat;1" ]

(* Creating a (m-1,n-1) matrix *)

reddata =       data[[      Range[ 2, i[[2]] - i[[1]] + 1
                            ],
```

```
                    Range[ 2, i[[4]] - i[[3]] + 1
                    ]
          ]]

(* Normalize this matrix between 0 and 1 *)

normdata =    ( reddata + Abs[ Min[ reddata ] ])/
              ( Max[ reddata ] - Min[ reddata ] )

(* Make a matrix of graylevels with normdata as input *)

shades =      Table[
                    GrayLevel[ normdata[[k,l]] ],
                    {k, i[[2]] - i[[1]]},
                    {l, i[[4]] - i[[3]]}
              ]


(* Plot the data matrix *)

ListPlot3D[ data, shades ,
              PlotLabel -> " RAYFLUX ISOPHONE PLOT ",
              AxesLabel -> {   " Heigth Class Nr." ,
                               " Frequency Class Nr." ,
                               " EAT [dB]" },
              ViewPoint -> {-1.2,0.9,2.0},
              PlotColor -> False,
              Lighting -> False,
              BoxRatios -> {1,1,0.7},
              Framed -> True
]


EndPackage[ ]
```

REPORT DOCUMENTATION PAGE (MOD-NL)

1. DEFENSE REPORT NUMBER (MOD-NL)
TD91-3980

2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER

3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER
FEL-91-B335

4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO.
22063

5. CONTRACT NUMBER
A89KL661

6. REPORT DATE
NOVEMBER 1991

7. NUMBER OF PAGES
62 (INCL. 1 APPENDIX, EXCL. RDP + DISTRIBUTION LIST)

8. NUMBER OF REFERENCES
13

9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED
FINAL

10. TITLE AND SUBTITLE
BESCHRIJVING VAN HET RAYFLUX RAY TRACING PROGRAMMA EN VERGELIJKING MET ANDERE MODELLEN EN METINGEN
(DESCRIPTION OF THE RAYFLUX RAY TRACING PROGRAM AND COMPARISON TO OTHER MODELS AND MEASUREMENTS)

11. AUTHOR(S)
A.C. VAN KOERSEL

12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)
TNO PHYSICS AND ELECTRONICS LABORATORY, P.O. BOX 96864, 2509 JG THE HAGUE
OUDE WAALSDORPERWEG 63, THE HAGUE, THE NETHERLANDS

13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S)

14. SUPPLEMENTARY NOTES

15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 POSITIONS)

THIS REPORT GIVES A DESCRIPTION FOR THE USE OF THE RAYFLUX RAY TRACING PROGRAM, DEVELOPED BY DR. W.H.T. HUISMAN (CATHOLIC UNIVERSITY NIJMEGEN). THE PROGRAM CAN BE USED TO CALCULATE THE ACOUSTIC TRANSFER FUNCTION IN THE ATMOSPHERE IN A LARGE NUMBER OF DIFFERENT WEATHER AND SOIL CONDITIONS. THE RESULTS OF THE RAYFLUX PROGRAM ARE COMPARED TO THE RESULTS OF A WAVE FIELD EXTRAPOLATION MODEL, A DIFFERENT RAY TRACING MODEL AND MEASUREMENTS. AS A RESULT OF THE COMPARISONS IT CAN BE STATED THAT RAYFLUX GIVES GOOD RESULTS FOR MODERATE RANGES.

16. DESCRIPTORS
RAY TRACING
ATMOSPHERIC ACOUSTICS
COMPUTER PROGRAM

IDENTIFIERS
RAYFLUX
ACOUSTIC PROPAGATION
WAVE FIELD EXTRAPOLATION

17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)
UNCLASSIFIED

17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)
UNCLASSIFIED

17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
UNCLASSIFIED

18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT
UNLIMITED

17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)
UNCLASSIFIED