

# terreinclassificatie voor regionale verspreidingsmodellen

GHL Verver

technische rapporten TR-81

Terreinclassificatie voor Regionale Verspreidingsmodellen

G.H.L. Verver

Verslag van drie maanden stage bij het KNMI in De Bilt, Januari 1986.

VOORWOORD

In de maanden oktober, november en december 1985 ben ik te gast geweest op het KNMI in De Bilt, afdeling Fysische Meteorologie. Mijn stagebegeleider was Han van Dop.

Ik ben het KNMI erkentelijk dat mij deze gelegenheid geboden is, en ik bedank Han van Dop voor het begeleiden van mijn werk.

Gé Verver

## 1. INLEIDING

Luchtverontreiniging wordt voor het grootste gedeelte geëmitteerd in de onderste honderd meter van de atmosfeer. Voor het modelleren van de verspreiding hiervan blijken verschillende eigenschappen van het landoppervlak van belang. Deze eigenschappen kunnen van invloed zijn op drie aspecten die de verspreiding van luchtverontreiniging bepalen, nl:

- 1) Het transport van mechanische energie (moment) naar het oppervlak.
- 2) Het warmtetransport van en naar het oppervlak.
- 3) Het transport van materiaal van en naar het oppervlak (depositie).

Vooraf bij de beschrijving van de verspreiding over een groter gebied (bv. enkele honderden kilometers) ontbreken vaak gegevens van het oppervlak, en wordt alleen een land/zee onderscheid gemaakt.

In dit verslag worden twee data sets beschreven die verschillende eigenschappen van het landoppervlak beschrijven. Aan de hand van deze gegevens worden verschillende parameters geschat, of wordt aangegeven hoe dit zou kunnen gebeuren.

## 2. BESCHRIJVING VAN DE DATA BESTANDEN

2.1 Wilson en Henderson-Sellers (1984) hebben een database aangemaakt met land cover, en "soil" gegevens. Deze gegevens hebben betrekking op gebieden van 1° bij 1° voor de gehele aarde. Voor de beschrijving zijn een groot aantal landkaarten gebruikt, en zijn 52 verschillende land-typen onderscheiden (zie voor een lijst hiervan tabel 1). De klassen zijn gemaakt op grond van vier factoren:

- 1) De hoogte van de oppervlakte elementen.
- 2) De dichtheid van de oppervlakte elementen.
- 3) De variatie van de landbedekking met het seizoen.
- 4) De vochtigheid van de bodem.

Per gebied van 1° bij 1° worden twee klassen toegekend:

- de primaire klasse, deze beschrijft (het best) meer dan 50% van het oppervlak.
- de secundaire klasse, deze beschrijft (het best) tussen 25 en 50% van het oppervlak.

Beide klassen kunnen aan elkaar gelijk zijn, in dat geval bestaat het oppervlak voor meer dan 75% uit één bepaalde klasse.

Bijlage A geeft beide klassen voor een gebied iets groter dan Europa.

Voor een beschrijving van de bodem zijn 21 klassen onderscheiden, zie Tabel 2. Het onderscheid is gemaakt op grond van drie factoren, nl.:

- 1) Kleur van de bodem (licht, midden, donker).
- 2) Structuur van de bodem (grof, midden, fijn).
- 3) Doorlaatbaarheid voor water (goed, beperkt, slecht).

Aan de hand van landkaarten wordt aan elk vierkant één klasse toegekend, die grond het beste beschrijft. Bijlage B geeft deze klasse voor een gebied iets groter dan Europa.

tabel 1 Landbedekking klassen (uit: Wilson and Henderson-Sellers 1984) met enkele ruwheidslengten  $z_0$  (uit o.a. Wieringa, 1983). De  $z_0$  is toegekend aan de klassen die voorkomen in het gebied tussen lengtegraden -12 en 26 en breedtegraden 36 en 64.

$z_0$ (m)	<u>Code</u>	<u>Type</u>
0.0002	00	open water
0.005	01	inland water
0.03	02	bog or marsh
---	03	ice
---	04	paddy rice
---	05	mangrove
1.0	10	dense needleleaf evergreen forest
0.5	11	open needleleaf evergreen woodland
1.0	12	dense mixed forest
0.5	13	open mixed woodland
0.5	14	evergreen broadleaf woodland
0.17	15	evergreen broadleaf cropland
---	16	evergreen broadleaf shrub
---	17	open deciduous needleleaf woodland
---	18	dense deciduous needleleaf forest
---	19	dense evergreen broadleaf forest
1.0	20	dense deciduous broadleaf forest
0.5	21	open deciduous broadleaf woodland
---	22	deciduous tree crop
---	23	open tropical woodland
0.35	24	woodland plus shrub
---	25	dense drought deciduous forest
---	26	open drought deciduous woodland
---	27	deciduous shrub
---	28	thorn shrub
0.07	30	temperate meadow and permanent pasture
0.1	31	temperate rough grazing
0.24	32	tropical grassland plus shrub
---	33	tropical pasture
0.24	34	rough grazing plus shrub
0.24	35	pasture plus tree
---	36	semi-arid rough grazing
---	37	tropical savanna
---	39	pasture plus shrub
0.17	40	arable cropland
0.17	41	dry farm arable
---	42	nursery and market gardening
---	43	cane sugar
0.24	44	maize
---	45	cotton
---	46	coffee
0.35	47	vineyard
0.17	48	irrigated cropland
---	49	tea
---	50	equatorial rainforest
---	51	equatorial tree crop
---	52	tropical broadleaf forest
0.03	61	tundra
0.17	62	dwarf shrub
---	70	sand desert and barren land
---	71	scrub desert and semi-desert
---	73	semi-desert and scattered trees
---	80	urban

tabel 2 Grondklassen (uit : Wilson and Henderson-Sellers, 1984)

<u>Code</u>	<u>Kleur</u>	<u>Aard</u>	<u>Afwatering</u>
11	licht	grof	goed
12	licht	middel	goed
14	licht	grof	slecht
15	licht	middel	slecht
16	licht	fijn	slecht
17	middel	grof	goed
18	middel	middel	goed
19	middel	fijn	goed
20	middel	middel	slecht
21	middel	middel	slecht
22	middel	fijn	slecht
23	donker	grof	goed
24	donker	middel	goed
25	donker	fijn	goed
32	donker	grof	slecht
27	donker	middel	slecht
28	donker	fijn	slecht
29	licht	-	matig
30	middel	-	matig
31	donker	-	matig
34	ijs	-	-

Voor zowel de landgebruik klassifikatie als de grond klassifikatie is een betrouwbaarheidsschatting uitgevoerd. Deze is gebaseerd op a) een waardering van de bronnen, b) mate van overeenstemming tussen de verschillende bronnen, c) de verandering van deze gegevens in de tijd en d) andere moeilijkheden bij de toekenning van de klassen.

Betrouwbaarheidsklasse 1 betekent de hoogste, en 5 de laagste betrouwbaarheid. Voor het gebied weergegeven in de bijlage A en B was de betrouwbaarheid voor het grootste gedeelte groot (1), en altijd matig (3) of beter.

2.2 Een tweede bron van gegevens betreft een beschrijving van de orografie van de hele aarde van het ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts). Per oppervlakte van  $1/6^\circ$  bij  $1/6^\circ$  is weergegeven:

- 1) de gemiddelde hoogte,
- 2) de maximale hoogte,
- 3) de minimale hoogte,
- 4) het land/zee masker.

### 3. WINDSNELHEIDSPROFIEL EN DE RUWHEID VAN HET OPPERVLAK

De windsnelheid horizontaal ( $u$ ) en verticaal ( $w$ ) kan weergegeven worden als een gemiddelde ( $\bar{u}$  en  $\bar{w}$ ) plus een afwijking van het gemiddelde ( $u'$  en  $w'$ ).

$$\begin{aligned} u &= \bar{u} + u' \\ w &= \bar{w} + w' \end{aligned}$$

De impulsinhoud van de horizontale windsnelheidfluctuaties is:  $\rho u'$ . Deze impulsinhoud wordt vertikaal getransporteerd met een snelheid  $w'$  (de gemiddelde verticale beweging  $\bar{w}$  wordt nul verondersteld). Vertikaal impulstransport wordt dus weergegeven door  $\overline{\rho u' w'}$ , waarbij de streep een gemiddelde aangeeft over een zeker tijdsverloop (bv. 10 minuten). In een neutrale laag worden verticale luchtverplaatsingen niet gehinderd of opgewekt door opwarming of afkoeling van de lucht (de Archimedes krachten zijn gelijk aan nul). In de onderste 60 tot 100 meter van de atmosfeer (de "oppervlaktelaag") is het vertikaal transport constant, en geldt per definitie:  $\tau = \rho u_*^2 = \rho \overline{u' w'}$ , waarin  $u_*$  de wrijvingsnelheid genoemd wordt en  $\tau$  de schuifspanning. De afmeting van de grootste verticale wervels wordt recht evenredig met de hoogte verondersteld:  $l = kz$ , waarin  $l$  de 'mixing length' is,  $k$  de Kármán constante en  $z$  de hoogte. Als aangenomen wordt dat het moment voor het grootste gedeelte door deze grote wervels wordt getransporteerd, dan kan geschreven worden (voor een vollediger discussie, zie Tennekes, 1973):

$$u_* = \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} kz \quad (1)$$



Aangenomen wordt dat de wrijvingsnelheid  $u_*$  constant is in de oppervlaktelaag. Integreren van (1) met als randvoorwaarde  $u(z_0) = 0$  levert het logaritmische windprofiel:

$$\bar{u}(z) \equiv \int_{z_0}^z \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \int_{z_0}^z \frac{u_*}{kz} = \frac{u_*}{k} \ln(z/z_0) \quad (2)$$

De ruwheidslengte is  $z_0$ . Deze is afhankelijk van de aard van het oppervlak. De relatie van  $z_0$  met de hoogte van obstakels is onduidelijk, en zal experimenteel bepaald moeten worden. De ruwheidslengte is dus niet direct meetbaar, maar een werkgrootheid. Het is de hoogte waar de windsnelheid, berekend volgens het logaritmische windprofiel, gelijk is aan nul.

Wieringa (1981) bespreekt 3 methoden om de  $z_0$  te bepalen:

1) Ruwheidsschatting aan de hand van een windprofielmeting ( $\overline{\frac{\partial u}{\partial z}}$ ). Het logaritmische windprofiel wordt "op de meetwaarden" gelegd; de  $z_0$  is dan eenvoudig, bijvoorbeeld met de kleinste kwadraten methode, te bepalen.

De oppervlakteruwheid moet over een zekere afstand homogeen zijn. Het windprofiel past zich van onder tot boven toe aan de ruwheid. Het profiel op een hoogte kleiner dan  $z$  is aangepast aan de ruwheid van het oppervlak over een afstand van  $\pm 50 z$  tot  $100 z$  bovenwinds. Dit houdt bijvoorbeeld in dat de wind op 60 meter (= mesowind) vrijwel constant is over een afstand van grofweg 5 km.

2) Een tweede methode om de  $z_0$  te bepalen is het meten van de mesowind ( $z = 60$  meter) vóór en na een scherpe ruwheidsovergang (bv. land/zee).

3) Door middel van een schatting van de turbulentie of waaiërigheid ("gustiness") :  $\sigma_u / \bar{u}(z)$ .

Er wordt van een effectieve ruwheid gesproken als het gaat om de ruwheid gemiddeld over een groter inhomogeen gebied. De windsnelheid op een kleine hoogte is dan nog wel afhankelijk van de lokale ruwheid, maar op een hoogte van bijvoorbeeld 60 meter wordt de windsnelheid beïnvloed door de gemiddelde ruwheid van  $\pm 5$  km bovenwinds, en fluctueert niet meer met kleine ruwheidsveranderingen. Als de ruwheid over nog grotere afstanden gemiddeld wordt, dan heeft deze  $z_0$  alleen nut om een soort gemiddeld windprofiel uit te rekenen, en heeft het niet direct

betrekking op één bepaalde plaats.

Op diverse manieren zijn de effectieve ruwheidslengten van een aantal "standaard" landschappen bepaald. Davenport onderscheidde 8 verschillende klassen landschappen, en daar zijn later de bijbehorende ruwheidslengten voor bepaald. In tabel 3 staan de door Wieringa (1983) bepaalde ruwheidslengten voor de verschillende terrein-typen.

---

Tabel 3 Visuele beschrijving gewijzigde van Davenport-ruwheidsklassen  
(uit:Wieringa, 1983)

---

1-zee $z_o=0,0002m$	Open zee of plas, met een vrije strijklengte van tenminste 5 km, (ongeacht de hoogte der eventuele golven).
2-glad: $z_o=0,005m$	Landoppervlak zonder merkbare obstakels of begroeiing. Bijvoorbeeld wad, strand, ijsvlakte, sneeuwlandschap zonder bomen.
3-open $z_o=0,03m$	Vlak land met alleen oppervlakkige begroeiing (gras) en soms geringe obstakels. Bijvoorbeeld startbanen, weideland zonder windsingels, braakliggend bouwland.
4-ruwweg open: $z_o=0,1m$	Bouwland met regelmatig laag gewas, of weideland met sloten die minder dan 20 slootbreedten van elkaar liggen. Verspreide obstakels (lage heggen, enkelvoudige rijen kale bomen, alleenliggende boerderijen) kunnen voorkomen op onderlinge afstanden van minstens 20x hun eigen hoogte.
5-ruw: $z_o=0,25m$	Bouwland met afwisselen hoge en lage gewassen. Grote obstakels (rijen bebladerde bomen, lage boomgaarden enzovoort) met onderlinge afstanden van omstreeks 15x hun hoogte. Wijngaarden, maisvelden en dergelijke.
6-zeer ruw: $z_o=0,5m$	Obstakelgroepen (grote boerenhofsteden, stukken bos en dergelijke) gescheiden door open ruimten van omstreeks 10x de typische obstakelhoogte. Voorts verspreid struikgewas, jong dicht opeen geplant bos en boomgaardgebieden.
7-gesloten: $z_o=1,0m$	Bodem regelmatig en volledig bedekt met vrij grote obstakels, met tussengelegen ruimten niet groter dan een paar obstakelhoogten. Bijvoorbeeld grote bossen, laagbouw in dorpen en kleine steden.
8-stadskern: $z_o \leq 2m$	Centrum van grote stad met afwisselend laag- en hoogbouw. Ook: bossen met grote oude bomen en veel onregelmatige open plekken.

---

#### 4. Berekening van de ruweidslengte $z_0$

Om van gegevens van Wilson en Henderson-Sellers gebruik te kunnen maken zijn aan de land-use klassen die voorkomen in het gebied van -12 tot 26 lengtegraden 64 tot tot 36 breedtegraden (weergegeven in bijlage A) ruweidslengten toegekend. Deze ruweidslengten staan in tabel 1 aangegeven.

Voor de middeling van de "primaire"  $z_0$  en de "secundaire"  $z_0$  zijn er verschillende mogelijkheden.

1) Middeling van de ruweidslengte zelf, bijvoorbeeld:

$$z_{0\text{ totaal}} = \frac{z_{0\text{ primair}} + z_{0\text{ secundair}}}{2}$$

De ruweidslengte  $z_0$  is een rekengrootheid en geen direct meetbare fysische grootheid. Je weet dus niet precies wat je in dit geval middelt.

2) Middeling van de "drag coëfficiënt" ( $C_d$ )

De drag coëfficiënt is:

$$C_d(z) = \frac{u_*^2}{u(z)^2} = (k/\ln(z/z_0))^2$$

op een van te voren vastgestelde hoogte  $z$  is de  $C_d$  alleen nog afhankelijk van de ruweidslengte  $z_0$ , en komt dan dus in principe in aanmerking voor middeling. Welke waarde moet  $z$  dan hebben? In figuur 1A staan de gemiddelde ruweidslengten berekend via de  $C_d(10)$  en via de  $C_d(60)$  volgens:

$$\overline{C_d}(z) = f_{\text{prim.}} C_{d \text{ prim.}}(z) + f_{\text{sec.}} C_{d \text{ sec.}}(z)$$

waarin  $f_{\text{prim.}}$  en  $f_{\text{sec.}}$  wegingsfactoren zijn, gelijk aan de fractie van het oppervlak met respectievelijk  $z_{0\text{ primair}}$  en  $z_{0\text{ secundair}}$ . Voor  $f_{\text{prim.}}$  en  $f_{\text{sec.}}$  zijn 0,67 resp. 0,33 gebruikt ( $f_{\text{prim.}} + f_{\text{sec.}} = 1$ ).

Een argument om voor  $z$  niet 10 m maar een grotere hoogte te kiezen is het gegeven dat op geringere hoogten de stress en de windsnelheid afhangen van de lokale ruwheid, en dus kan variëren binnen het vierkant waarvoor de gemiddelde ruwheid berekend is. Net als de  $z_0$  is de  $\overline{C_d}$  op geringere hoogten en met wisselende ruwheid een rekengrootheid, en niet eenvoudig te bepalen door bijvoorbeeld de stress en de windsnelheid te meten. Het logaritmische windprofiel is de beschrijving van het (stationaire) windveld in een neutrale grenslaag met een homogeen oppervlak. Dit pleit ervoor een hoogte te kiezen voor de middeling van de drag coëfficiënt waar de windsnelheid en de stress over het gridvierkant constant is. Het ligt dan voor de hand een hoogte te kiezen waar de geostrofische benadering voor de windsnelheid geldig is. De stress is dan 0, en de wind is onafhankelijk van de ruwheid (zie Wieringa, 1981). Middeling van deze  $C_d$ 's komt neer op een middeling van de stress:

$$\overline{C_d}(z_G) = \frac{u_*^{-2}}{(\overline{u(z)})^2} = \frac{u_*^{-2}}{G^2} = f_{\text{prim.}} \frac{u_{* \text{prim.}}^2}{G^2} + f_{\text{sec.}} \frac{u_{* \text{sec.}}^2}{G^2}, \text{ zodat}$$

$$u_*^{-2} = f_{\text{prim.}} u_{* \text{prim.}}^2 + f_{\text{sec.}} u_{* \text{sec.}}^2$$

#### 4.1 Berekeningswijzen voor de gemiddelde ruwheidslengte van een oppervlak met verschillende ruwheidselementen.

Hieronder worden 3 berekeningswijzen beschreven die een gemiddelde ruwheidslengte opleveren. Bij de berekening wordt uitgegaan van de volgende gegevens:

Er zijn 2 soorten oppervlak met een verschillende ruwheid:

SMOOTH (S) met een ruwheid van  $z_{0_s}$  van 0.03 m  
 ROUGH (R) met een ruwheid van  $z_{0_r}$  van 1.0 m

De van Kármán-constante  $k = 0,41$ .

De windsnelheid op 10 meter boven terreintype SMOOTH :  $u_S(10) = 5$  m/s. De fractie van het totale oppervlak dat bedekt wordt door terreintype SMOOTH en ROUGH is gelijk aan  $f_S$  resp.  $f_R$ , waarbij geldt :  $f_S + f_R = 1$ .

## 4.1.1 Berekeningswijze I (Van Dop, 1982):

De drag-coëfficiënt op  $z = 10$  meter wordt berekend volgens:

$$C_{d_S}(10) = (k/\ln(10/z_{o_S}))^2 \text{ en} \quad (1)$$

$$C_{d_R}(10) = (k/\ln(10/z_{o_R}))^2.$$

De drag-coëfficiënten worden gemiddeld, waarbij de bewegingsfactor voor elke terreinsoort gelijk is aan de fractie  $f$  van het oppervlak dat daarmee bedekt is. Dus :

$$\overline{C_d}(10) = f_S C_{d_S}(10) + f_R C_{d_R}(10) \quad (2)$$

In figuur 1A staat de  $\overline{C_d}(10)$  kan nu berekend worden m.b.v. de formule van de drag-coëfficiënt.

$$\overline{z_o} = 10 \exp \{k/(\overline{C_d}(10))^{1/2}\} \quad (3)$$

In figuur 1B staat de  $\overline{z_o}$  weergegeven als functie van de fractie  $f_R$ .

De wrijvingsnelheid boven terreinsoort SMOOTH kan berekend worden met het logaritmische windprofiel:

$$u_{*S} = \frac{u_S(10)}{k} \ln(10/z_{o_S}) \quad (4)$$

De windsnelheid op  $z = 60$  meter boven terreinsoort SMOOTH is nu:

$$u_S(60) = \frac{u_{*S}}{k} \ln(60/z_{o_S}) \quad (5)$$

Als aangenomen wordt dat:

$$u_S(60) = u_R(60) \quad (6)$$

dan kan de wrijvingsnelheid boven terreinsoort ROUGH berekend worden met:

$$u_{*R} = \frac{u_S(60)}{k} \ln(60/z_{oR}) \quad (7)$$

De stress wordt daarna gemiddeld volgens:

$$\overline{u_*^2} = f_R u_{*R}^2 + f_S u_{*S}^2 \quad (8)$$

In figuur 1C is de gemiddelde  $u_*$  weergegeven als functie van  $f_R$ .

De windsnelheid op  $z = 10$  m kan berekend worden volgens het logaritmische windprofiel, en met gemiddelde waarden voor  $u_*$  en  $z_o$ :

$$\overline{u}(10) = \frac{\overline{u_*}}{k} \ln(10/\overline{z_o}) \quad (9)$$

In figuur 1D staat  $\overline{u}(10)$  uitgezet tegen  $f_R$ .

Opmerking bij deze methode:

De drag-coëfficiënt kan ook geschreven worden als:

$$C_d(10) = \left(\frac{u_*}{u(10)}\right)^2 \text{ en dus ook:}$$

$$\overline{C_d}(10) = f_R \left(\frac{u_{*R}}{u_R(10)}\right)^2 + f_S \left(\frac{u_{*S}}{u_S(10)}\right)^2 = \left(\frac{\overline{u_*}}{u_S(10)}\right)^2 \quad (10)$$

Deze vergelijking kan aangeschreven worden tot:

$$\overline{u_*^2} = f_R \left(\frac{\overline{u}(10)}{u_R(10)} u_{*R}\right)^2 + f_S \left(\frac{\overline{u}(10)}{u_S(10)} u_{*S}\right)^2 \quad (11)$$

omdat  $u_R(10) \neq u_S(10) \neq \overline{u}(10)$  is deze vergelijking ongelijk aan vergelijking (8). Deze methode is dus niet helemaal consistent.

#### 4.1.2. Berekeningswijze 2

Deze is gelijk aan berekeningswijze 1, alleen wordt nu de drag-coëfficiënt of  $z = 60$  m gemiddeld.

$$C_{dS}(60) = (k/\ln(60/z_{oS}))^2 \text{ en} \quad (12)$$

$$C_{dR}(60) = (k/\ln(60/z_{oR}))^2$$

Middeling van deze  $C_d$ 's volgens:

$$\overline{C_d}(60) = f_S C_{dS}(60) + f_R C_{dR}(60) \quad (13)$$

In figuur 1A is de  $\overline{C_d}(60)$  weergegeven als functie van de fractie  $f_R$ .

De gemiddelde ruweidslengte  $\overline{z_o}$  kan nu berekend worden volgens:

$$\overline{z_o} = 60 \exp \{k/(\overline{C_d}(60))^{1/2}\} \quad (14)$$

In figuur 1 B staat de  $\overline{z_o}$  weergegeven als functie van de fractie  $f_R$ .

De berekening bij deze methode:

Voor de drag-coëfficiënt geldt bovendien:

$$\overline{C_d}(60) = f_R \left(\frac{u_{*R}}{u_R(60)}\right)^2 + f_S \left(\frac{u_{*S}}{u_S(60)}\right)^2 = \left(\frac{\overline{u_*}}{\overline{u}(60)}\right)^2 \quad (15)$$

Als aangenomen wordt dat  $u_{*S}(60) = u_{*R}(60) = \overline{u}(60)$ , dan is deze vergelijking gelijk aan vergelijking (8).

#### 4.1.3. Berekeningswijze 3 (volgens Smith & Carson)

De wrijvingsnelheid boven terreintype SMOOTH kan berekend worden met :

$$u_{*S} = \frac{u_S(10)}{k} \ln(10/z_{oS}) \quad (16)$$

De geostrofische wind wordt berekend met de volgende Rossby gelijkvormigheids vergelijking:

$$\ln\left(\frac{u_{*S}}{fz_{oS}}\right) = 1,01 + \left(\left(\frac{kG}{u_{*S}}\right)^2 - 5,142\right)^{1/2} \quad (17)$$

waarin  $f$  de Coriolis parameter is.

De geostrofische wind is per definitie onafhankelijk van de ruweid van het onderliggende oppervlak. Met bovenstaande vergelijking kan, nu  $G$  en  $z_{oR}$  bekend zijn,  $u_{*R}$  uitgerekend worden.

De stress wordt gemiddeld:

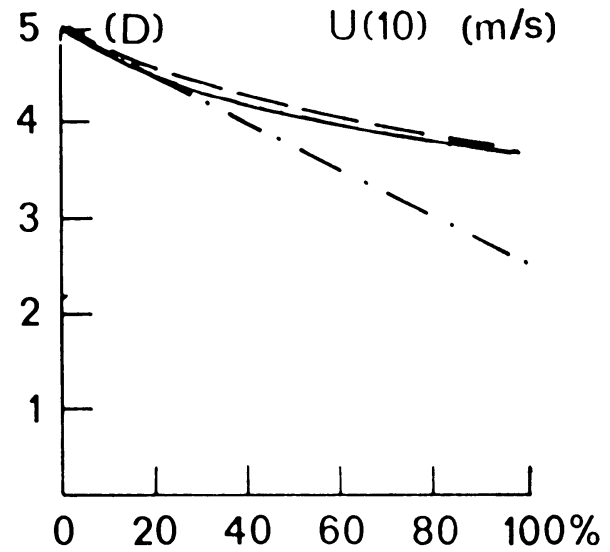
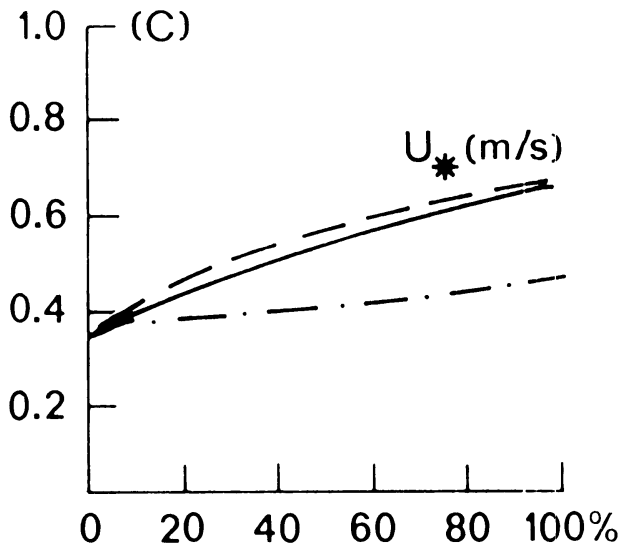
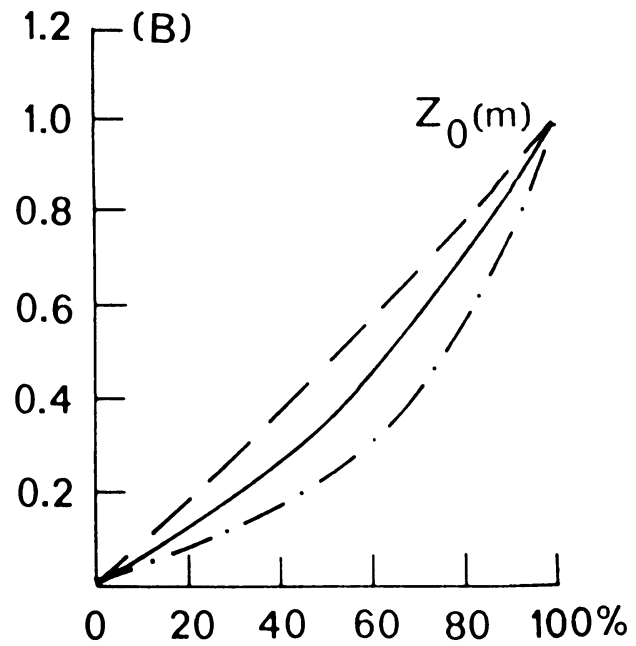
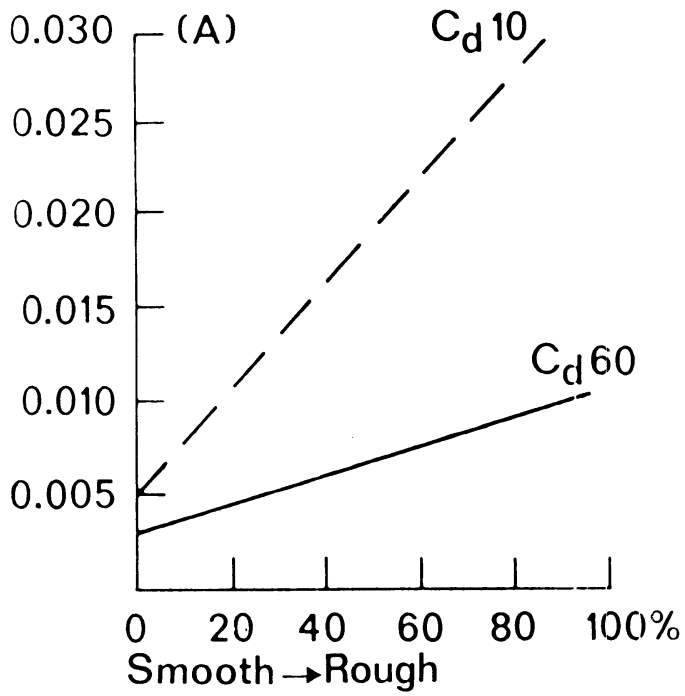
$$\overline{u_*^2} = f_S u_{*S} + f_R u_{*R}^2 \quad \text{Zie figuur 1C.} \quad (18)$$

De ruwheidslengte  $\overline{z}_0$  wordt weer berekend met de Rossby gelijkvormigheidsvergelijking, nu met  $G$  en  $\overline{u_*}$ . Zie figuur 1B.

Met behulp van het logaritmische windprofiel kan  $\overline{u}(10)$  berekend worden (met  $\overline{u_*}$  en  $\overline{z}_0$ ). Zie figuur 1D.

Bovenstaande drie berekeningsmethoden zijn overgenomen uit een correspondentie van Van Dop, Smith en Carson over dit onderwerp. Uit de figuren 1A t/m D blijken  $\overline{u_*}$  en  $\overline{z}_0$  nogal te verschillen van die verkregen door middeling van de  $C_d(60)$  of  $C_d(10)$ . Het Methode 1 bevat een tegenstrijdigheid (zie opmerking bij deze methode). Het lijkt beter de geostrofische wind te gebruiken bij de middeling, omdat dan de stress gemiddeld wordt. De juistheid hangt dan af van de berekening van de geostrofische wind, in dit geval de Rossby similarity vergelijking. Van deze vergelijking is ook gebruik gemaakt bij de berekening van  $\overline{z}_0$  voor de Wilson/Henderson-Sellers oppervlak klassifikatie.





- 1 — — - berekening volgens Van Dop  
 2 ————— variant van 1 ( $C_d(60)$  ipv  $C_d(10)$ )  
 3 — · — · — Smith & Carson

Figuur 1  $\bar{C}_d$ ,  $\bar{z}_0$ ,  $\bar{u}_*$ , en  $\bar{u}(10)$  als functie van de fractie ruw oppervlak bij verschillende middelingsmethoden. ( $z_{0R} = 1\text{m}$ ,  $z_{0S} = 0,03\text{m}$ ,  $u_s(10) = 5\text{ m/s}$ )

5. De bepaling van de gemiddelde ruwheid van  $1^\circ$  bij  $1^\circ$  oppervlakken

De  $u_{* \text{ prim.}}$  en  $u_{* \text{ sec.}}$  zijn berekend met behulp van de Rossby gelijkvormigheidsvergelijking, met  $z_{o \text{ prim.}}$  resp.  $z_{o \text{ sec.}}$  en met geostrofische wind  $G$  van 3, 5 en 8 m/s.

Voor deze drie winden is daarna de  $\bar{u}_*$  berekend volgens:

$$\bar{u}_*^2 = 0,67 u_{* \text{ prim.}}^2 + 0,33 u_{* \text{ sec.}}^2 \quad \text{Zie bijlage C}$$

De Rossby similarity vergelijking wordt daarna weer gebruikt voor de berekening van  $\bar{z}_o$ , met  $G = 3, 5$  en  $8$  m/s, en de daarbij horende  $\bar{u}_*$ . (Zie bijlage D).

Zoals te verwachten was variëerde de ruwheidslengten weinig als voor  $G$  achtereenvolgens 3, 5 en 8 m/s genomen wordt. In bijlage C staan de ruwheidslengten berekend met  $G = 5$  m/s. Deze week in alle gevallen 1 cm of minder af van de  $z_o$  berekend met  $G = 3$  of  $G = 8$  m/s.

Uit een vergelijking van de  $z_o$  berekend door Van Dop (1982) blijkt dat de waarden nogal laag uitvallen. Dit is te verklaren met de berekeningswijze (figuur 1B) en met het feit dat de schaal ( $1^\circ$  bij  $1^\circ$ ) veel grover was dan die bij Van Dop. Zeer ruwe gebieden, zoals steden, worden door het grove grid niet "opgemerkt". In het gebied waarvoor de  $\bar{z}_o$  berekend is kwam klasse 80 ("urban") niet één keer voor. Omdat het om zeer ruwe gebieden gaat, kunnen ze de gemiddelde  $z_o$  in werkelijkheid wel beïnvloeden.

Tot hier hadden de berekeningen voor  $z_o$  betrekking op relatief vlak terrein. Voor heuvelachtige gebieden geven Smith & Carson (1977):

$$z_o = \pm 0,2 \frac{\Delta h^2}{\bar{d}}$$

waarin  $\Delta h$  het gemiddelde hoogteverschil tussen dal en top is, en  $\bar{d}$  de gemiddelde horizontale afstand tussen twee toppen of dalen. deze "ruwheidslengte" is dus evenredig met de gemiddelde hoogte van de bergen t.o.v. het bijbehorende dal, en met de gemiddelde "steilheid" van het gebergte.

$\Delta h^2$  kan eventueel benaderd worden met gegevens uit de ECMWF database, nl.:  $\Delta h^2 = 4 * (\text{maximum height} - \text{mean height}) * (\text{mean height} - \text{minimum height})$ .

De helling of d is veel moeilijker te bepalen, en zal geschat moeten worden.

Als h erg groot wordt, zodat  $z_0$  in de orde van grootte van de grenslaag-hoogte komt, dan heeft het varzelfsprekend geen zin meer om met ruwheidslengten te werken waarboven het logaritmisch windprofiel zou moeten gelden.

## 6. DROGE DEPOSITIE VAN GASSEN EN DEELTJES

De depositie van gassen en deeltjes kan beschreven worden als:

$$V_{\text{depositie}} = - \frac{F}{C}$$

waarin:  $V_{\text{depositie}}$  de depositiesnelheid is in m/s

F de massa flux in  $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$

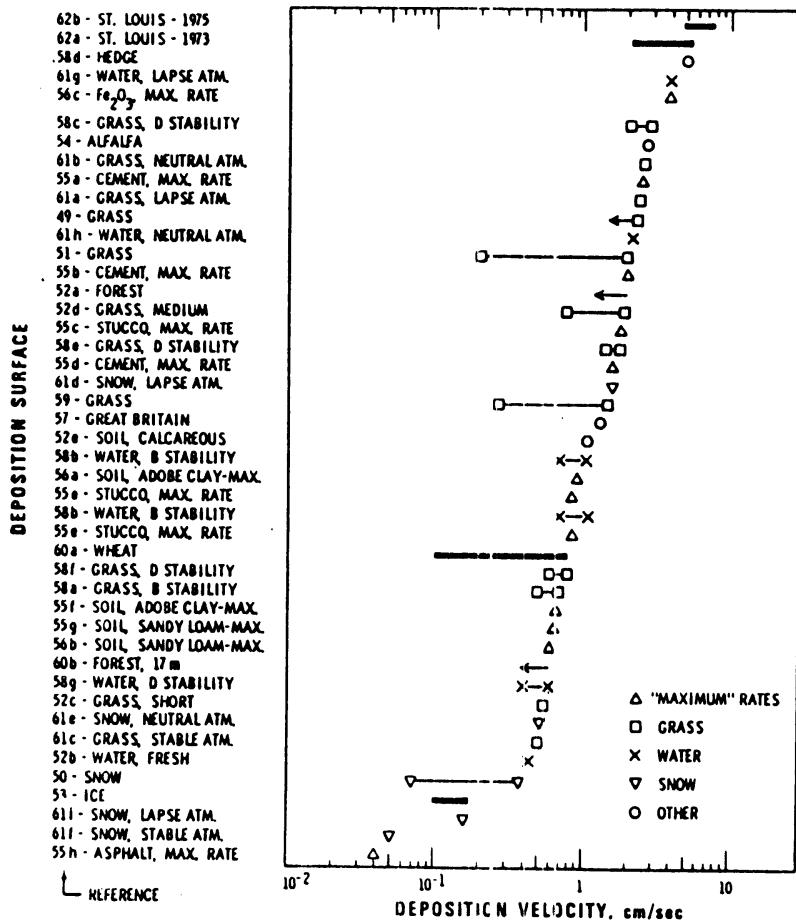
C de concentratie in  $\text{kg}/\text{m}^3$  op een hoogte van 1 of 1,5 meter.

Een groot aantal factoren beïnvloeden de depositiesnelheid:

- meteorologische factoren (stabiliteit, vochtigheid, windsnelheid, temperatuur),
- eigenschappen van het oppervlak (ruwheid, samenstelling van de bodem, eigenschappen van de vegetatie e.a.); deze factor is de reden dat de depositie hier besproken wordt,
- eigenschappen van het gas of aerosol (grootte en vorm van de deeltjes, Eddy- en moleculaire diffusie oplosbaarheid in water e.a.).

Uit het overzicht van Sehmel (1980) blijkt dat de experimenteel bepaalde droge depositiesnelheden voor gassen sterk uiteenlopen. Voor  $\text{SO}_2$  is deze relatief vaak bepaald, en staan de gevonden waarden in figuur 2.

De oplosbaarheid van gassen in water speelt een belangrijke rol voor de depositiesnelheid boven water of natte oppervlakken. In tabel 3 staan de depositiesnelheden voor verschillende depositiesnelheden van  $\text{SO}_2$  boven een aantal terreintypen. De toekenning



Figuur 2 Samenvatting van SO<sub>2</sub> depositiesnelheden  
 (overgenomen uit Sehmel, 1980)

van  $V_{\text{depositie}}$  aan de andere gassen is gebeurd op grond van de wateroplosbaarheid en de chemische reactiviteit van deze gassen, relatief t.o.v. SO<sub>2</sub>.

Aan de verschillende terreintypen van de Wilson/Henderson-Sellers database kan nu een  $V_{\text{depositie}}$  toegekend worden. Per gridvierkant van 1° bij 1° kan dan een voorzichtige schatting worden gemaakt van de gemiddelde depositiesnelheid voor de verschillende gassen, op de volgende manier:

$$V_{\text{depositie}} = f_{\text{prim.}} V_{\text{dep. prim.}} + f_{\text{sec.}} V_{\text{dep. sec.}}$$

De bewegingsfactoren  $f_{\text{prim.}}$  en  $f_{\text{sec.}}$  kunnen weer ongeveer evenredig zijn met het oppervlak, dus  $\pm 0,67$  en  $\pm 0,33$ .

Tabel 4 Depositie snelheden van verschillende gassen boven een aantal terreintypen. (Overgenomen uit NCAR (1985)).

Terrain Type	RUWHEIDS LENGTE <sup>a</sup> (cm)	Depositie snelheid (cm/s) <sup>b</sup>					
		O <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
Cropland and pasture	20	1.20	0.1	1.2	0.0006	0.70	0.20
Cropland, woodland and grazing land	30	1.20	0.1	1.2	0.0025	1.00	0.20
Grazed forest and woodland	90	1.10	0.1	1.4	0.0014	1.20	0.40
Ungrazed forest and woodland	100	1.48	0.1	1.5	0.0045	1.50	0.50
Swamp	20	1.00	0.1	1.0	0.0008	0.14	0.35
Metropolitan city	100	2.00	0.1	1.8	0.0050	1.50	0.30
Lake or ocean	0.01	0.10	1.6	0.6	0.0005	1.10	0.50

<sup>a</sup> From Sheih et al., 1979.

<sup>b</sup> From McMahon and Denison, 1979.

## LITERATUUR

- Davenport, A.G., 1960: "Rationale for determining design wind velocities", J. Am. Soc. Civ. Eng., Eng., st-86, 39 68.
- Dop, H. van, 1983: "Terrain classification and derived meteorological parameters for interregional transport models" Atmos. Envir., 17, 1099-1105.
- McMahon, T.A. and Denison, P.J., 1979: 'Empirical atmospheric deposition parameters--a survey", Atm. Envir., 13, pp. 571-585.
- National Centre for Atmospheric Research Boulder Colorado USA, 1985, "The NCAR Eulerian Regional Acid Deposition Model", NCAR Technical note 256+str.
- Sehmel, G.A., 1980: "Particle and dry deposition : A review". Atm. Envir., 14, pp. 983-1011.
- Sheih, C.M., Wesely, M.L. and Hicks, B.B., 1979: "Estimated dry deposition velocities of sulphur over the eastern United States and surrounding regions", Atm. Envir., 13, pp. 1361-1368.
- Smith, F.B. and Carson, D.J., 1977: "Some thoughts on the specification of the Boundary-layer relevant for numerical modelling", Bound. Layer Meteor., 12, 307-330.
- Tennekes, H., 1973: "The logarithmic wind profile", J. Atmos. Sci., 30, 234-238.
- United States Environmental Protection Agency, 1984: "Proceedings of the EPA-OECD international conference on long range transport models for photochemical oxidants and their precursors", Epa-600/9-84-006.

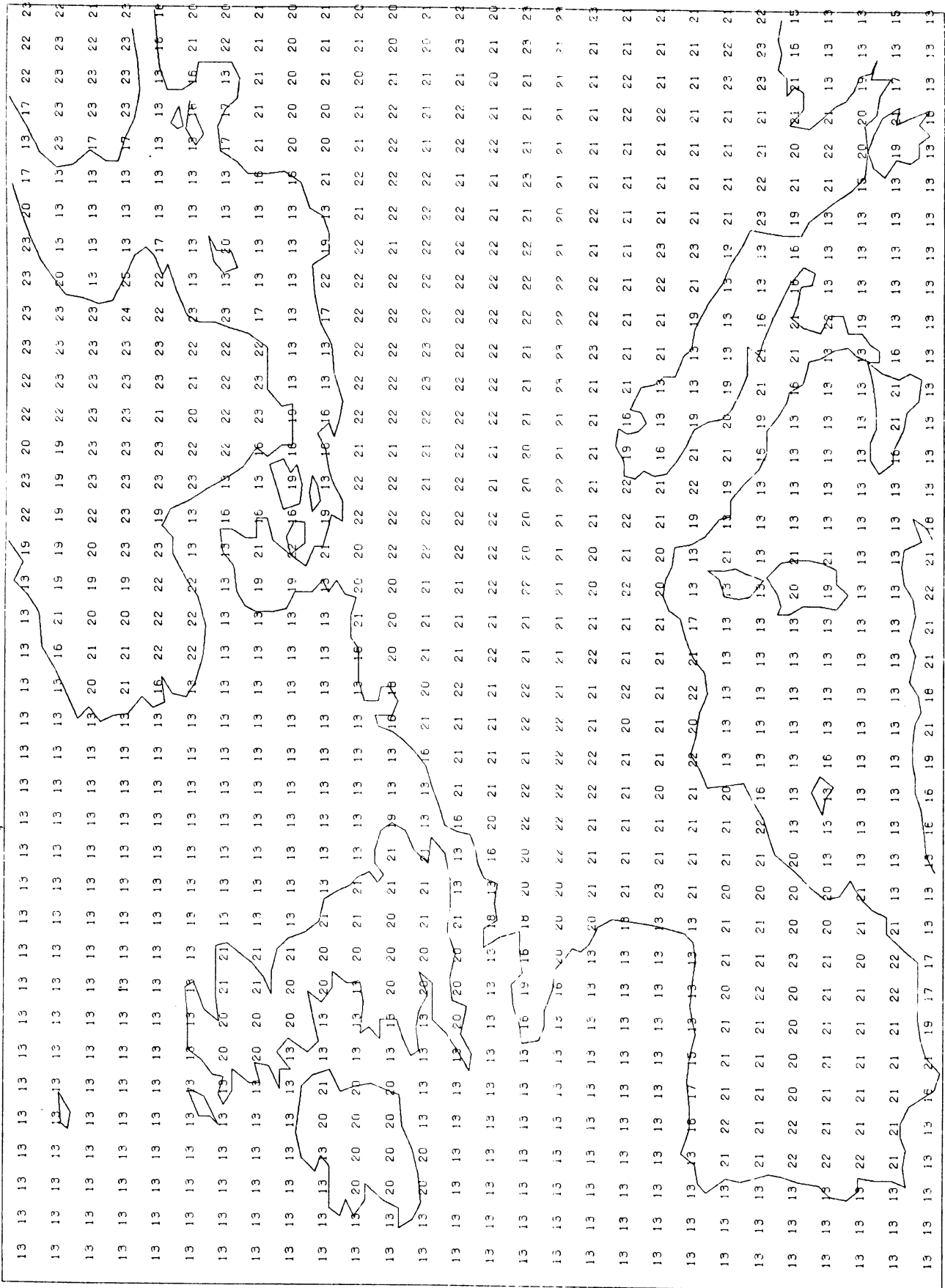
- Wieringa, J., 1981: "Estimation of mesoscale and local-scale roughness for atmospheric transport modelling", Air pollution modelling and its application (ed. C. de Wispelaere, Publ. Plenum, New York) pp. 279-295.
- Wieringa, J. en Rijkoort, P.J., 1983: "Windklimaat van Nederland", Staatsuitgeverij, Den Haag, Netherlands.
- Wieringa, J., 1986: Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages", to be published in 1986 by Quart. J. Roy Meteor. Soc. (2nd submission, January '86).
- Wilson, M.F. and Henderson-Sellers, A., 1985: "A global archive of land-cover and soil data for use in general circulation climate models", J. of Climatology, 5,119-143.





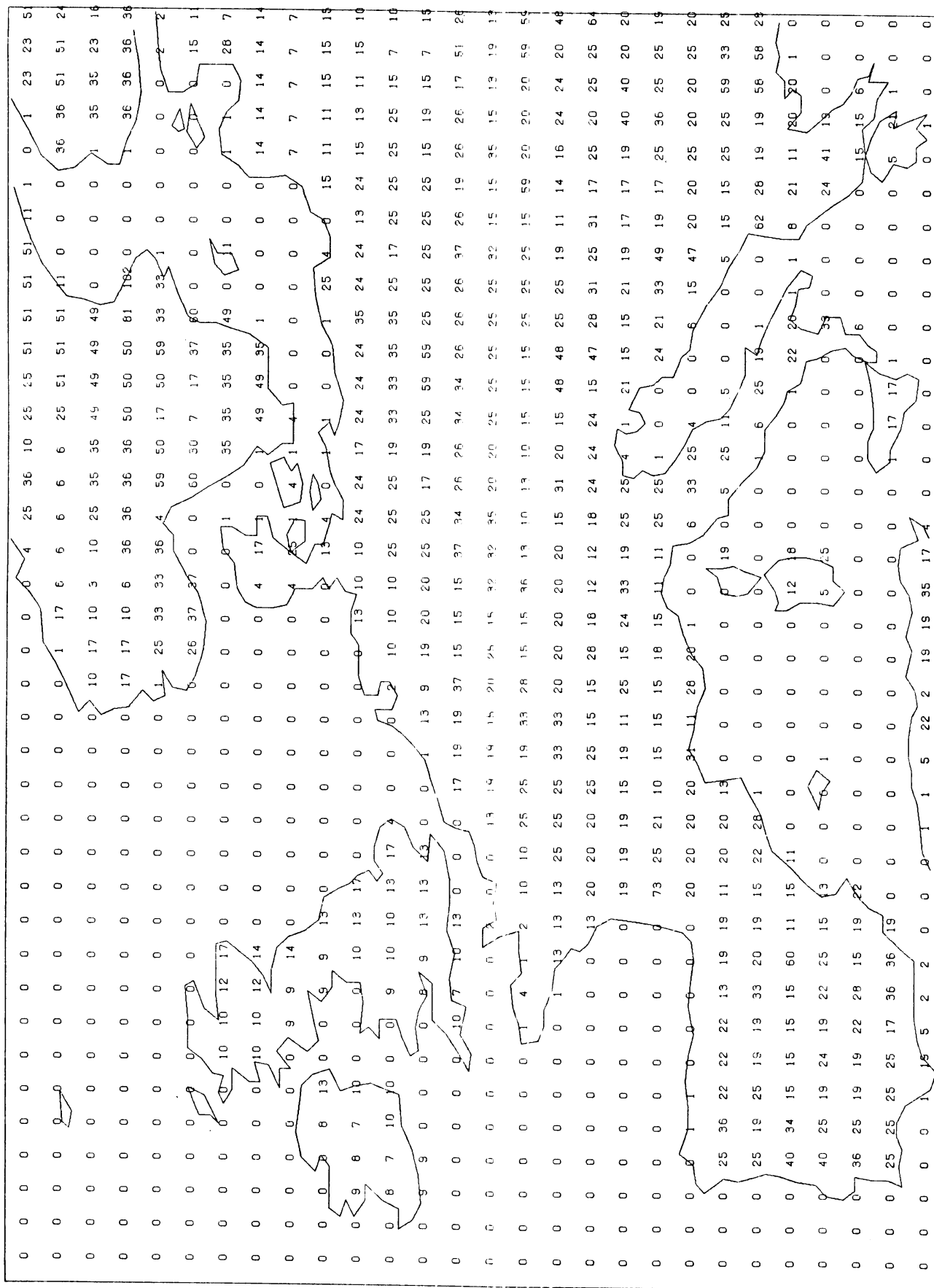


BIJLAGE C



Wrijvingsnelheden  $\bar{u}_*$  voor het gebied tussen 12° W.L. tot 26° O.L. en 36° tot 64° N.B. (grid 1° x 1°) (cm/s) ( $u_{*c} = 5$  m/s)

BIJLAGE D



Ruwheidslengten  $z_0$  in centimeters voor het gebied tussen 12° W.L. tot 26° O.L. en 36° tot 64° N.B. (grid : 1° x 1°)