

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

SCIENTIFIC REPORT

W.R. 78-13

A. A. M. Holtslag en F. T. M. Nieuwstadt

**De verspreiding van enkele luchtverontreinigende
stoffen, vanaf een eiland in de Noordzee.**

**Onderzoek op verzoek van de Stuurgroep studie
Noordzee eiland en terminal (Stunet).**



De Bilt, 1978

Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 78-13

U.D.C.: 551.510.42

ABSTRACT.

In this report we study the dispersal of pollutants over a water surface. This study is applied to the dispersion of emissions from an artificial island, which is projected in the North Sea at about 50 km from the coast.

In the first part of the report we discuss the differences between dispersion over a land and dispersion over a water surface. Due to low turbulence intensity which is primarily caused by the low roughness of the water surface, the dispersion over a water surface is generally less than the dispersion over a land surface.

For the calculation of concentrations averaged over a long term (year, season) a standardized model based on the Gaussian plume formula is available for a land surface. This model has been modified primarily with respect to its stability classes in order to take into account the different dispersion conditions over a water surface. The modifications in the model with respect to the mixing height and the dispersion coefficients for high sources remain a problem due to the lack of experimental information.

The modified model is applied to projected emissions from the island. Concentration patterns averaged over one year have been calculated for the components: NO_x , CO , C_xH_y , H_2S , SO_2 and particulates.

INHOUDSOPGAVE

<u>Hoofdstuk</u>	<u>Bladzijde</u>
Inleiding	1
1. De verspreiding van luchtverontreiniging	2
1.1. Algemeen	
1.2. De turbulentieintensiteit boven zee en boven land	4
1.3. Toepassing van het lange termijn model boven een zee-oppervlak	6
1.4. Enkele berekeningen ter illustratie	8
2. De verspreidingspatronen van enkele geëmitteerde stoffen	11
2.1. De uitvoering van de berekeningen	11
2.2. Vergelijking van een verspreidingspatroon boven land en zee	13
3. Conclusies	15
Literatuur	17
Figuren 1 tot en met 18	

Inleiding.

Door het KNMI is op verzoek van de studiegroep Milieu van de Stuurgroep Noordzee-eiland en Terminal (Stunet) een studie gemaakt van de verspreiding van luchtverontreiniging boven zee.

In hoofdstuk 1 worden verschillende aspecten van de verspreiding van luchtverontreiniging kwalitatief besproken. Tevens wordt ingegaan op het verschil tussen de verspreiding boven een land- en een zee-oppervlak.

Als bijdrage aan het Stunet-onderzoek naar de milieueffekten ten gevolge van emissies van een eiland in de Noordzee, worden in hoofdstuk 2 voor een aantal geëmitteerde stoffen de jaargemiddelde verspreidingspatronen berekend. Het gaat hierbij om de concentraties op het eiland zelf en om de concentraties aan de kust op zo'n 50 kilometer afstand van het eiland. De emissies zijn geschat door TNO (1977).

Tot slot worden in hoofdstuk 3 de conclusies van het onderzoek gegeven.

1. De verspreiding van luchtverontreiniging.

1.1 Algemeen.

Wanneer door een bron op een bepaalde hoogte verontreiniging in de atmosfeer gebracht wordt, dan wordt die verontreiniging meegevoerd met de gemiddelde wind. Doorgaans fluctueren windrichting en -snelheid ten gevolge van turbulente bewegingen in de atmosfeer. Dit heeft tot gevolg dat de verontreiniging uit een bron mengt met de omgevende lucht. Hierdoor vormt zich een pluim, waarvan de doorsnede met de afstand tot de bron toeneemt.

Een theoretische oplossing van de verspreiding door turbulente bewegingen is in de meeste gevallen niet mogelijk, behalve in het geval van dispersie door stationaire en homogene turbulentie. De eigenschappen van de turbulentie zijn dan geen functie van tijd en plaats (Tennekes en Lumley, 1972). In de atmosfeer zijn de turbulente bewegingen echter niet stationair ten gevolge van tijdsvariaties van de gemiddelde stroming, zoals bijvoorbeeld de dagelijkse gang. Ook is ten gevolge van de aanwezigheid van het aardoppervlak de turbulentie niet homogeen, maar afhankelijk van de hoogte. Toch zijn de resultaten uit de theorie van de homogene en stationaire tubulentie bruikbaar voor de verspreiding van luchtverontreiniging in de onderste lagen van de atmosfeer.

Voor een homogene en stationaire stroming kan namelijk tezamen met enige andere voorwaarden worden afgeleid, dat de concentratieverdeling in een pluim loodrecht op de pluimas Gaussisch is (KNMI, 1974). De vergelijking, voor de concentraties aan het aardoppervlak, wordt gegeven door:

$$\chi(x, y, 0; H) = \frac{Q}{\pi \bar{u} \sigma_y \sigma_z} \exp\left[\frac{-y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (1)$$

Waarin:

$\chi(x, y, 0; H)$ de gemiddelde concentratie in kgm^{-3} in het punt (x, y, z) met $z = 0$,

x	de horizontale afstand in m langs de x-as in de richting van de gemiddelde wind.
y	de horizontale afstand in m langs de y-as loodrecht op de gemiddelde windrichting,
z	de verticale afstand in m boven het aardoppervlak,
Q	de emissie in kgs^{-1} ,
\bar{u}	de gemiddelde windsnelheid, representatief voor de verspreiding in ms^{-1} .
H	de effectieve bronhoogte in m die gevonden wordt als de som van de schoorsteenhoogte en de pluimstijging,
σ_y en σ_z	respectievelijk de standaardafwijkingen in meters van de gemiddelde concentratieverdeling loodrecht op de pluimas in horizontale- en verticale richting.

De standaardafwijkingen zijn een maat voor de verspreiding van de verontreiniging en worden daarom dispersiecoëfficiënten genoemd. Deze coëfficiënten zijn ondermeer een functie van de turbulentie-intensiteit en de waarden ervan zijn gebaseerd op experimentele resultaten. Verder volgt uit vergelijking (1) dat bij overigens gelijke omstandigheden, de concentratie χ rechtevenredig is met de emissie Q uit de bron en omgekeerd evenredig met de windsnelheid \bar{u} . Door de invloed van de effectieve bronhoogte H treedt aan de grond een maximum concentratie op. Naarmate men H groter kiest neemt de concentratie af en treedt de maximum concentratie op een grotere afstand van de bron op.

In de praktijk is vergelijking (1) geschikt om gebruikt te worden voor afstanden van 1 tot circa 50 km en voor perioden in de orde van een uur. Vandaar dat men vergelijking (1) het "korte termijn Gaussische pluimmodel" noemt. Voor de berekening van concentraties gemiddeld over een seizoen of jaar wordt het zogenaamde lange termijn model gebruikt (zie Kleine Commissie modellen TNO, 1976). Men verkrijgt dit lange termijn model door vergelijking (1) over de beschouwde periode te sommeren. Bij de toepassing van het lange termijn model wordt gebruik gemaakt van een frequentieverdeling van stabiliteitsklassen (zie paragraaf 1.2), windsnelheidsklassen en windrichtingsklassen. Deze frequentieverdeling wordt berekend uit routine waarnemingen van meteorologische stations.

Bij de afleiding van het lange- en korte termijn model veronderstelt men volledige reflectie van de pluim aan het aardoppervlak, terwijl men geen rekening houdt met eventuele (foto)chemische reacties en depositie.

1.2 De turbulentieïntensiteit boven zee en boven land.

Zoals opgemerkt wordt luchtverontreiniging tijdens het meevoeren met de gemiddelde wind (advectie) verspreid door turbulente bewegingen in de atmosferische grenslaag. Deze turbulente bewegingen zijn zowel boven een land- als een zeeoppervlak aanwezig. Daarom kan in principe de verspreiding boven land en zee op dezelfde manier beschreven worden. Er dient echter rekening gehouden te worden met het feit dat boven een land- of zeeoppervlak verschillen in turbulentieïntensiteit kunnen optreden en dat deze turbulentieïntensiteit van verschillende parameters afhankelijk kan zijn.

De intensiteit van de turbulentie blijkt zowel boven land als boven zee een functie te zijn van de ruwheid van het oppervlak en de stabiliteit van de atmosfeer.

Wanneer de oppervlakteruwheid toeneemt resulteert dit in toenemende turbulentie en dus ook in een toenemende verspreiding. Van een zeeoppervlak ligt de ruwheidslengte in de orde van grootte van 1 mm (Nieuwstadt, 1977), maar van een landoppervlak varieert de ruwheidslengte met de terreingesteldheid, bebouwing en dergelijke van minder dan 1 centimeter tot enkele meters. We verwachten dus boven een zeeoppervlak een geringere verticale verspreiding dan boven een landoppervlak, voor verder vergelijkbare omstandigheden. Dit betekent dat de dispersiecoëfficiënten afkomstig van experimenten boven een landoppervlak, niet zonder correctie boven een zeeoppervlak toegepast kunnen worden.

De invloed van de stabiliteit is als volgt. Bij onstabielheid worden verticale bewegingen versterkt en daarmee de turbulentie en de verspreiding van luchtverontreiniging. Bij stabiele omstandigheden worden verticale bewegingen juist beperkt, zodat de verspreiding gering zal zijn. De stabiele situatie hangt samen met een temperatuur-inversie.

De overgangssituatie tussen stabiel en onstabiel noemt men neutraal. De stabiliteit van de onderste laag van de atmosfeer kan kwantitatief beschreven worden met de zogenaamde Obukhov-lengte. Een negatieve Obukhov-lengte betekent een onstabiele situatie, terwijl een positieve waarde een stabiele situatie weergeeft. Naarmate de absolute waarde van de Obukhov-lengte toeneemt wordt de situatie meer neutraal. Voor een discussie en een definitie van de Obukhov-lengte boven een land- en wateroppervlak wordt verwezen naar Nieuwstadt (1977).

Boven land wordt de stabiliteit van de atmosfeer met betrekking tot dispersieberekeningen doorgaans geclassificeerd in stabiliteitsklassen. Deze klassen volgen uit synoptische waarnemingen en zijn gemakkelijker te bepalen dan de waarde van de Obukhov-lengte. In figuur 1 kan men als functie van de tijd van de dag per seizoen en als functie van de windsnelheid en de bedekkingsgraad, de klasse bepalen. De klassen A tot en met C geven een onstabiele situatie aan (A sterk onstabiel, C zwak onstabiel), terwijl klasse E een zwak stabiele en klasse F een sterk stabiele situatie aan geeft. De klasse D duidt op neutrale omstandigheden.

Uit figuur 1 blijkt dat de stabiliteit boven land een karakteristieke dagelijkse gang vertoont. 's Nachts is de situatie vaak stabiel ten gevolge van de uitstraling van het aardoppervlak, waardoor er een temperatuurinversie ontstaat. Overdag is de situatie vaak onstabiel ten gevolge van de instraling, waardoor het aardoppervlak wordt verwarmd en er verticale turbulente bewegingen ontstaan. In- en uitstraling nemen toe bij een afnemende bedekkingsgraad van de bewolking. Doordat de instraling tevens afhankelijk is van het seizoen verschilt de bepaling van de stabiliteit overdag per seizoen.

Boven zee kan men om de stabiliteit te bepalen geen gebruik maken van figuur 1, omdat in tegenstelling met boven land de invloed van in- en uitstraling op de stabiliteit gering is. De stabiliteit wordt hier op de eerste plaats beïnvloedt door het temperatuurverschil tussen de lucht en het water. Dit temperatuurverschil vertoont vrijwel geen dagelijkse gang.

Daardoor is er boven zee geen dagelijkse gang in de stabiliteit (afgezien van een mogelijk kusteffekt), zoals boven land wel het geval is. Daarnaast wordt de stabiliteit boven zee beïnvloed door de vochtigheid, die het gevolg is van verdamping. In de meeste gevallen werkt dit effect licht onstabiliserend (Nieuwstadt, 1977).

Voor de bepaling van de stabiliteit boven zee kan men direkt gebruik maken van de Obukhov-lengte L . De waarde van L kan berekend worden uit routinemetingen van lichtscheperen (zie bij Nieuwstadt, 1977). Uit de waarnemingen van het lichtschip "Noordhinder" blijkt dat boven zee de atmosferische stabiliteit afhankelijk is van het seizoen, met andere woorden er is sprake van een jaarlijkse gang. In de herfst is de gemiddelde situatie onstabiel; dit is het gevolg van het feit dat het water langer warm blijft dan de atmosfeer. In de lente is de situatie juist stabiel wegens het feit dat het water in het algemeen koud is ten opzichte van de lucht. In de zomer en de winter is er sprake van een overgangssituatie. De verspreidingscondities zijn dus in het algemeen op zee in de herfst beter, dan in de lente.

Resumerend kunnen we zeggen dat boven zee de turbulentieïntensiteit beduidend af kan wijken van de intensiteit boven land en dat zodoende de verspreidingscondities boven zee anders zijn. In paragraaf 1.4 wordt dit aan de hand van enkele berekeningen met het lange termijn model getoond.

1.3 Toepassing van het lange termijn model boven een zeeoppervlak.

Voor de berekening van concentraties boven een landoppervlak is het in paragraaf 1.1 besproken lange termijn model gestandaardiseerd tot een zogenaamd "Nationaal model". Een uitgebreide beschrijving kan men vinden in "De Kleine Commissie modellen TNO (1976)". Voor berekeningen boven zee wordt zoveel mogelijk op het Nationale model aangesloten. Hierbij kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt met betrekking tot het gebruik van de stabiliteitsklassen, de dispersiecoëfficiënten en de menghoogte in het model.

Zoals eerder gezegd, wordt de turbulentieintensiteit en daarmee ook de waarden van de dispersiecoëfficiënten, bepaald door de stabiliteit en de ruwheid. In het Nationale model worden uitgaande van een stabiliteitsklassenverdeling van het beschouwde gebied over een bepaalde periode, de gemiddelde concentraties rondom een bron of bronnengroep berekend. Bij elke stabiliteitsklasse worden in dit model dispersiecoëfficiënten gebruikt. Daarom is het voor de toepassing van het Nationale model voor de verspreiding boven zee, nodig om de berekende waarden van de Obukhov-lengte te koppelen aan een stabiliteitsklasse.

Gebaseerd op de resultaten van Golder (1972) is een verband gekozen tussen stabiliteitsklassen en Obukhov-lengte. In figuur 2 zijn de waarden van de Obukhov-lengte, berekend uit waarnemingen van het lichtschip "Noordhinder" ($51^{\circ} 39' \text{ NB}$, $2^{\circ} 34' \text{ WL}$) over de periode 1960-1969, ingedeeld volgens stabiliteitsklassen. Tevens is een onderverdeling gemaakt naar windsnelheid en -richting, overeenkomstig met de onderverdeling van deze parameters in de frequentieverdeling van het Nationale model. De frequentieverdeling van figuur 2 wordt representatief geacht voor de Noordzee, ter hoogte van Nederland.

In het Nationale model wordt afhankelijk van de effectieve hoogte van de bron, gebruik gemaakt van de dispersiecoëfficiënten, volgens Pasquill of volgens Singer en Smith. Hierbij worden de coëfficiënten van Pasquill toegepast voor lage bronnen en de coëfficiënten van Singer en Smith voor bronnen met een effectieve hoogte groter dan 100 m.

Boven zee ontbreekt momenteel kennis omtrent de verspreiding op grotere hoogte en de manier waarop deze verspreiding beïnvloed wordt door de lage ruwheid van het zeeoppervlak.

Verwacht wordt dat de geringe ruwheidslengte de verspreiding op grotere hoogte beïnvloedt. Omdat in de dispersiecoëfficiënten van Singer en Smith geen correctieterm voor de ruwheid is opgenomen, wordt voor de berekening van de verspreiding boven zee voor alle bronhoogte gebruik gemaakt van de dispersiecoëfficiënten van Pasquill.

De ruwheidscorrectie op de Pasquill-coëfficiënten geschiedt conform de methode van het Nationale model. Hierbij wordt de ruwheidslengte van het zeeoppervlak gesteld op 1 mm (zie paragraaf 1.2).

De verspreiding van luchtverontreiniging wordt in verticale zin beperkt door de menghoogte. Met betrekking tot de menghoogte wordt in het Nationale model per stabiliteitsklasse een konstante waarde toegepast. De waarden van de menghoogte boven land en boven zee zullen in het algemeen verschillen; met name zal de dagelijkse gang in de menghoogte boven zee ontbreken. Maar bij gebrek aan waarnemingen en kennis van de menghoogte boven zee, wordt voor wat deze parameter betreft, het Nationale model ongewijzigd toegepast.

Met behulp van de distributiefunctie van stabiliteitsklassen boven zee (figuur 2) en rekening houdend met de hier boven vermelde modificaties, kan het Nationale model toegepast worden voor de berekening van lange termijn gemiddelde concentraties, tengevolge van de verspreiding van luchtverontreiniging boven de Noordzee.

Een schatting van de betrouwbaarheid van de concentraties berekend met het gemodificeerde model is in dit stadium moeilijk te geven, omdat het model boven zee niet getoetst is. Voor berekeningen boven land wordt echter vaak een factor 2 voor de betrouwbaarheid genomen.

1.4 Enkele berekeningen ter illustratie.

In deze paragraaf wordt met behulp van enkele berekeningen met het Nationale model, het verschil getoond in de concentraties ten gevolge van de verspreiding boven zee en boven land. Tevens wordt het verschil getoond tussen seizoensgemiddelde en jaargemiddelde concentraties boven een zeeoppervlak. Steeds is gerekend met een puntbron van 10 meter hoogte.

In figuur 3 is de over alle windrichtingen gemiddelde concentratie per eenheid van emissie (χQ^{-1}), uitgezet als functie van de afstand (x) tot de bron, voor drie verschillende verspreidings situaties.

In figuur 3.1 is het concentratieverloop gegeven voor de verspreiding boven land. Als situatie representatief voor de verspreiding boven land is gekozen voor de stabiliteitsklassenverdeling van Schiphol (zie Kleine Commissie modellen TNO) en een ruwheidslengte van 1 meter. Voor de situatie boven "zee" is de in figuur 2 vermelde, stabiliteitsklassenverdeling van het lichtschip Noordhinder gekozen en een ruwheid van 1 mm (figuur 3.3). Om alleen de invloed van de stabiliteitsklassenverdeling boven zee en boven land op de verspreiding te kunnen vergelijken is tevens met de stabiliteitsklassenverdeling van "Noordhinder" gerekend bij een ruwheid van 1 meter (figuur 3.2).

Vergelijking tussen figuur 3.1 en figuur 3.2 geeft dat bij een gelijk veronderstelde ruwheidslengte van zee- en landoppervlak, de concentraties op het land hoger zijn ten opzichte van de concentraties boven zee, op dezelfde afstand van de bron. De verklaring hiervoor is dat op zee de gemiddelde windsnelheid \bar{u} groter is dan boven land. De afname in de concentratie volgt dan uit het feit dat de concentratie χ omgekeerd evenredig is met \bar{u} (zie vergelijking 1), bij overigens gelijke omstandigheden. In figuur 3.3 is de voor het zeeoppervlak meer reële ruwheid van 1 mm toegepast. De vermindering van de ruwheid leidt tot kleinere waarden van de verticale dispersiecoëfficiënt in het Nationale model. Dit heeft tot gevolg dat ver weg van de bron (voorbij de maximumconcentratie) de concentraties toenemen. In de buurt van de bron worden de concentraties juist lager omdat ten gevolge van de kleinere dispersiecoëfficiënten, de pluim later de grond bereikt.

Uit figuur 3 kan geconcludeerd worden dat de jaargemiddelde concentraties met betrekking tot de verspreiding boven zee op een bepaalde afstand van de bron maximaal zo'n 50% hoger zijn dan bij een overeenkomstige verspreiding boven land. Dit effect wordt bepaald door de geringe ruwheidslengte van een zeeoppervlak ten opzichte van een landelijk gebied. De grotere gemiddelde windsnelheid op zee vermindert dit effect enigszins.

In figuur 4 wordt het verschil getoond tussen de jaar- en seizoensgemiddelde concentraties, bij de verspreiding boven zee.

Figuur 4.2 geeft de gemiddelde concentratie over een jaar bepaald met de stabiliteitsklassenverdeling van "Noordhinder" bij een ruwheid van 1 mm. De figuren 4.1 en 4.3 zijn bepaald met behulp van de stabiliteitsklassenverdelingen van de herfst en de lente. Zoals besproken in paragraaf 1.2 is in de herfst de gemiddelde situatie onstabiel, hetgeen resulteert in goede verspreidingscondities. Hierdoor neemt de waarde van de concentratie voorbij de maximale concentratie af ten opzichte van het jaargemiddelde. In de lente is de situatie juist stabiel, waardoor voorbij het maximum de concentratie toeneemt ten opzichte van de jaargemiddelde concentratie. In de buurt van de bron is de concentratieverandering ten opzichte van het jaargemiddelde voor de herfst en de lente juist omgekeerd, volgens dezelfde oorzaak besproken met betrekking tot figuur 3.

Voorbij het concentratiemaximum van de bron zijn de berekende concentraties voor de herfst een factor 2 lager dan de concentraties in de lente. De concentraties in de zomer en de winter volgen gemiddeld de jaarconcentraties van figuur 4.2.

2. De verspreidingspatronen van enkele geëmitteerde stoffen.

2.1 De uitvoering van de berekeningen.

Door Faber en De Vries (TNO, 1977) zijn ten behoeve van de berekening van de verspreidingspatronen, de emissies van een aantal industriële objecten op een eiland in de Noordzee geschat. Voor de geplande elektriciteitscentrale zijn zowel de emissies gegeven bij gebruik van olie, als bij gebruik van kolen als brandstof.

Voor de berekeningen zijn de volgende geëmitteerde stoffen in beschouwing genomen: SO_2 , NO_x , CO , H_2S , stof- en roetdeeltjes, verzadigde en onverzadigde koolwaterstoffen. Er wordt van uitgegaan dat de emissies continu en constant in de tijd zijn.

Er wordt gerekend met het in paragraaf 1.3 besproken gemodificeerde Nationale model. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de concentraties op en rondom het eiland tot op grotere afstand (tot de kust op circa 50 km).

Voor de concentratieverdeling op het eiland zelf is de bronnenconfiguratie van groot belang. Deze is in dit stadium nog onbekend. Daarom is voor een aantal effectieve bronhoogten in figuur 5 de over alle windrichtingen gemiddelde eenheidsconcentratie χQ^{-1} als functie van de afstand x tot de bron gegeven. Met behulp van deze figuur kunnen de concentraties ten gevolge van de afzonderlijke bronnen geschat worden. Doordat bij een eiland met afmetingen in de orde van 5 km bij 5 km de concentraties op het eiland voornamelijk bepaald worden door de laagste bronnen, zijn in figuur 5 alleen de concentratieverdelingen gegeven van bronnen met een effectieve hoogte H tot 50 m.

Ter illustratie: bij een effectieve hoogte $H = 20$ m ligt de waarde van de jaargemiddelde concentratie χ bij een emissie $Q = 10 \text{ gs}^{-1}$ op een afstand $x = 1$ km, volgens figuur 5 in de orde van:
$$\chi = 6 \cdot 10^{-7} \text{ sm}^{-3} \times 10 \text{ gs}^{-1} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ gm}^{-3} = 6 \text{ } \mu\text{gm}^{-3}.$$

In figuur 6 is het over alle windrichtingen gemiddelde $\chi Q^{-1} = f(x)$ gegeven voor oppervlakte bronnen met een effectieve hoogte $H = 20$ m. De afstand x wordt gerekend vanaf het centrum van de bron. Q is de totale emissie van de oppervlaktebron. Er moet op gelet worden dat binnen de grenzen van de oppervlaktebron, geen betrouwbare schatting van de concentraties met behulp van het gebruikte oppervlaktebronnen model bepaald kunnen worden (zie ook bij Kleine Commissie modellen TNO, 1976).

Met lokale invloeden op de verspreiding zoals door obstakels op het eiland, maar ook door het eiland zelf is geen rekening gehouden. Er is uitgegaan van een situatie waarbij de bronnen zich in een ongestoorde stroming boven zee bevinden. De invloed van het eiland zelf, zal aanleiding geven tot een betere verspreiding. Hierdoor zullen voornamelijk in de buurt van het eiland de concentraties lagere waarden aannemen. Uit experimenten (zie bij Raynor, et al, 1978) blijkt dat deze verbetering een factor 2 kan bedragen ten opzichte van een ongestoorde situatie. Op grotere afstand zal deze invloed van het eiland op de verspreiding echter nauwelijks effect hebben.

Rondom het eiland zijn voor de eerder genoemde componenten, de verspreidingsberekeningen uitgevoerd tot een afstand van 50 km van het eiland. Hierbij zijn alle bronnen in het centrum van het eiland geplaatst, omdat voor deze afstand de exacte bronconfiguratie geen rol speelt.

In de figuren 7 tot en met 17 zijn steeds de totale concentraties per component gegeven, van alle industriële objecten die de beschouwde component emitteren. (Het eiland is steeds aangegeven met een gearceerd vierkantje.) Tevens zijn voor een aantal componenten de verspreidingspatronen berekend, waarbij een onderscheid is gemaakt tussen een elektrische centrale gestookt op olie of op kolen.

De verspreidingspatronen van de stof- en roetdeeltjes, gegeven in de figuren 11 en 12, zijn berekend uit de emissies van deeltjes met een diameter kleiner dan $20 \mu\text{m}$. De grotere deeltjes (PCV, CaQ, Ureum, Na, P, KA, FL) hebben door hun afmeting en dichtheid een zodanige valsnelheid, waardoor snelle uitzakking plaats heeft.

Tevens worden de grotere deeltjes geëmitteerd uit lage bronnen. Uiteindelijk zullen alleen op en in de buurt van het eiland de concentraties, gegeven in de figuren 11 en 12, toenemen ten gevolge van de emissies van de grotere deeltjes.

Verder is bij berekening van de verspreidingspatronen een mogelijk effect van de kust op de verspreiding buiten beschouwing gebleven. Onder bepaalde omstandigheden (b.v. sterk stabiele situatie) zal een pluim uit een hoge bron boven zee nauwelijks verspreiden. Wanneer deze pluim de kust bereikt zal tengevolge van de grotere turbulentie-intensiteit boven land, de pluim snel verspreid worden. Hierdoor kunnen plaatselijk hoge concentraties optreden.

De figuren 5 tot en met 17 hebben betrekking op jaargemiddelde concentraties. In hoofdstuk 1 is ingegaan op de verspreidingscondities gedurende de verschillende seizoenen. Vooral in de lente wanneer de atmosferische omstandigheden boven zee overwegend stabiel zijn, kunnen de over deze periode gemiddelde concentraties beduidend hoger zijn, dan de aangegeven waarden in de figuren 5 tot en met 17.

2.2 Vergelijking van een verspreidingspatroon boven land en boven zee.

In figuur 18 is het verspreidingspatroon (met behulp van het ongewijzigde Nationale model) gegeven dat berekend is, uit de emissies van SO_2 (inclusief de bijdragen van een oliegestookte centrale). Als distributie functie van stabiliteitsklassen is gekozen voor die van Schiphol. De ruwheidslengte z_0 bedraagt 1 m en is karakteristiek voor een landoppervlak met een niet te hoge bebouwing (b.v. een industrieel gebied).

In figuur 17 daarentegen is het verspreidingspatroon gegeven voor dezelfde emissies, maar nu berekend met het Nationale model gemodificeerd voor de situatie boven zee.

Uit de in de hoofdstuk 1 gevoerde discussie zou verwacht mogen worden, dat de concentraties boven land in het algemeen lager zullen zijn dan de concentraties boven zee. Dit als gevolg van de hoge ruwheid van een landoppervlak ten opzichte van een zeeoppervlak. Een vergelijking tussen figuur 17 en 18 laat echter een ander resultaat zien.

De reden hiervoor is, dat het verspreidingspatroon in de figuren 17 en 18 voornamelijk bepaald wordt door de emissies uit de hoge bronnen. Met betrekking tot de dispersiecoëfficiënten voor deze hoge bronnen is in de modificatie van het Nationale model voor de situatie boven zee, de keuze gemaakt voor de coëfficiënten van Pasquill ten opzichte van de coëfficiënten van Singer en Smith in het ongewijzigde model. Omdat de coëfficiënten van Singer en Smith groter zijn dan die van Pasquill, zal de pluim de grond eerder bereiken, hetgeen resulteert in verhoogde concentraties.

Zoals reeds is opgemerkt in paragraaf 1.3, is de verspreiding uit hoge bronnen boven een zeeoppervlak nog onbekend terrein, zodat een directe vergelijking tussen de resultaten van figuur 17 en 18 moeilijk is.

3. Conclusies.

- 3.1 De turbulentieïntensiteit, waardoor de verspreiding van luchtverontreiniging mede bepaald wordt, is boven zee beduidend lager dan de turbulentieïntensiteit boven land, voornamelijk ten gevolge van de geringere ruwheidslengte van een wateroppervlak.
- 3.2 Ten behoeve van de berekening met verspreidingsmodellen worden boven land stabiliteitsklassen toegepast. Deze stabiliteitsklassen zijn niet zondermeer toepasbaar op de situatie boven een zeeoppervlak. Met behulp van de Obukhov-lengte, die uit routinemetingen boven zee geschat kan worden, kan echter een gemodificeerde definitie gegeven worden van de stabiliteitsklassen voor boven een zeeoppervlak. Met behulp van deze methode is een frequentieverdeling van stabiliteitsklassen samen te stellen, die geldig is voor de situatie boven een zeeoppervlak. Deze frequentieverdeling is toepasbaar in het bestaande "Nationale model".
- 3.3 In verband met verspreidingsberekeningen boven een zeeoppervlak kan men gebruik maken van dispersiecoëfficiënten volgens Pasquill, die gecorrigeerd moeten worden voor de geringen ruwheidslengte van het wateroppervlak. Hierdoor worden jaargemiddelde concentraties ten gevolge van emissies uit lage bronnen op zee maximaal zo'n 50% hoger dan concentraties op land. Hierbij is rekening gehouden met de grotere gemiddelde windsnelheid op zee, die concentratieverlagend werkt.
- 3.4 Van de atmosfeer boven zee ontbreekt kennis van de menghoogte. Tevens is de dispersie uit hoge bronnen boven een wateroppervlak grotendeels onbekend. Dit bemoeilijkt een vergelijking tussen een verspreidingspatroon berekend met behulp van een gemodificeerd model voor boven water en een verspreidingspatroon berekend met het ongewijzigde Nationale model voor een situatie boven land.

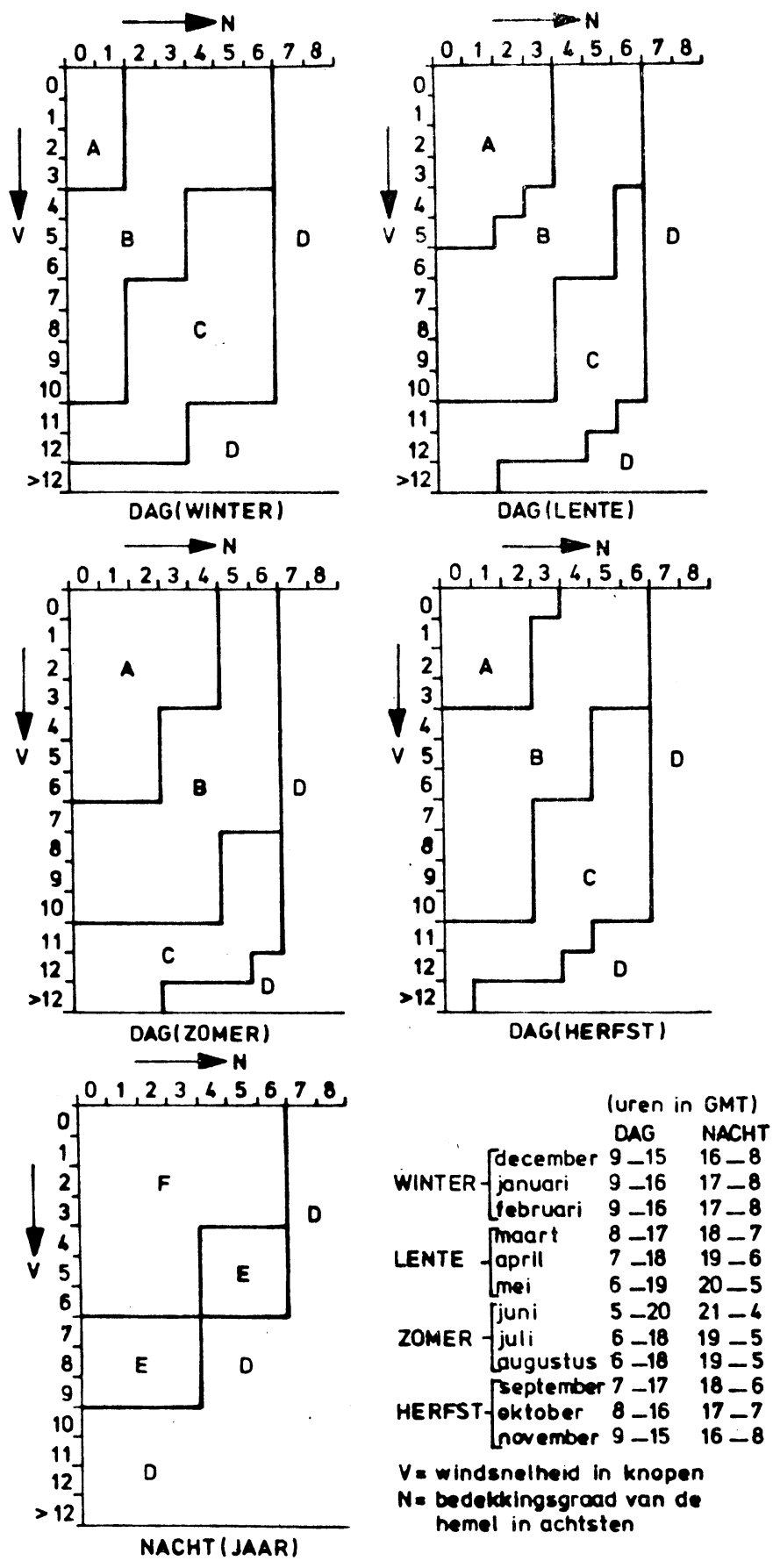
3.5 Onder stabiele omstandigheden (vooral in de lente) zijn de concentraties aanzienlijk hoger dan de jaargemiddelde concentraties, terwijl bij onstabiele omstandigheden (vooral in de herfst) juist aanzienlijk lagere concentraties gevonden worden, dan de berekende jaargemiddelde concentraties.

Dankbetuiging.

De Heer C.A. Engeldal heeft bijgedragen tot de resultaten, door het assisteren bij de uitvoering van de berekeningen met het lange termijn Gaussische pluimmodel.

Literatuur.

- Golder, D. 1972: Relations among stability parameters in the surface layer; Boundary layer Meteorology 3, p. 47-58.
- KNMI 1974: Luchtverontreiniging en weer; Staatsuitgeverij 's-Gravenhage.
- Nieuwstadt, F.T.M. 1977: The dispersion of pollutants over a water surface; Proc. of the 8th International Technical meeting on Air Pollution Modeling and its Application, Louvain-la-Neuve, Belgium.
- Raynor G.S., Brown R.M., 1978: a Comparison of diffusion from a small island and an undisturbed ocean site; Journal Applied Meteorology 17, p. 129-139.
Sethu Raman S.
- Tennekes, H. and 1972: a First course in Turbulence;
Lumley, S.L. MIT Press, Cambridge (USA) and London.
- TNO-Kleine Commissie 1976: Modellen voor de verspreiding van luchtveront-
reiniging, inclusief de waarden van parameters
in het lange termijn model;
Staatsuitgeverij 's-Gravenhage.
- Faber, F.K.G. en 1977: Concept-rapport: Schatting van lucht- en water-
Vries, G. de emissies ten gevolge van industriële aktivi-
teiten op een industrieel eiland in de
Noordzee.



Figuur 1.

Schema's van stabiliteitsklassen boven land.
 (A = sterk onstabiel, D = neutraal, F = sterk stabiel).

Figuur 2.: Frequentieverdeling van stabiliteitsklassen, onderverdeeld naar windsnelheid- en windrichtingsklassen, gebaseerd op de drie uurlijkse waarnemingen van het lichtschip "Noordhinder" (51° 39' NB, 2° 34' WL), in de periode 1960-1969. Totaal aantal waarnemingen 27.682 (uitval 5,3%).

		windrichting in graden.													
stabiliteitsklasse	waarden van Obukhov-lengte (m^{-1})	snelheid	350	20	50	80	110	140	170	200	230	280	290	320	totaal
A	$L^{-1} < -0.12$	1-2.5	80	124	85	86	116	95	86	81	51	79	77	101	1061
		3-5.5	7	23	34	83	58	59	35	19	7	20	17	11	373
		>5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	$-0.12 < L^{-1} < -0.04$	1-2.5	33	57	34	28	26	20	30	34	25	35	43	48	413
		3-5.5	112	129	157	214	160	130	115	87	88	118	129	161	1600
		>5.5	4	12	62	114	76	45	27	7	11	12	23	20	413
C	$-0.04 < L^{-1} < -0.015$	1-2.5	14	21	9	7	13	20	13	21	18	24	16	17	193
		3-5.5	192	217	161	156	109	83	105	103	177	152	161	199	1815
		>5.5	124	151	304	390	155	124	166	81	88	141	207	277	2208
D	$-0.015 < L^{-1} < -0.01$	1-2.5	17	16	16	16	24	11	18	29	31	23	17	15	233
		3-5.5	205	276	182	152	129	135	170	325	534	305	152	194	2759
		>5.5	757	721	720	518	284	273	792	1486	2737	1417	943	953	11601
E	$0.01 < L^{-1} < 0.05$	1-2.5	27	36	21	23	28	44	29	62	51	42	23	22	408
		3-5.5	68	124	193	202	135	169	203	343	426	165	87	58	2173
		>5.5	7	19	27	38	19	46	68	169	173	43	14	5	628
F	$0.05 < L^{-1}$	1-2.5	47	115	99	139	153	139	178	157	154	84	63	42	1370
		3-5.5	4	12	36	49	57	64	44	76	64	17	7	4	434
		>5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal per wind-snelheidsklasse		1-2.5	218	369	264	299	360	329	354	384	330	287	239	245	3678
		3-5.5	588	781	763	856	648	640	672	953	1296	777	553	627	9154
		>5.5	892	903	1113	1060	534	488	1053	1743	3009	1613	1187	1255	14850
Totaal-generaal			1698	2053	2140	2215	1542	1457	2079	3080	4635	2677	1979	2127	27682

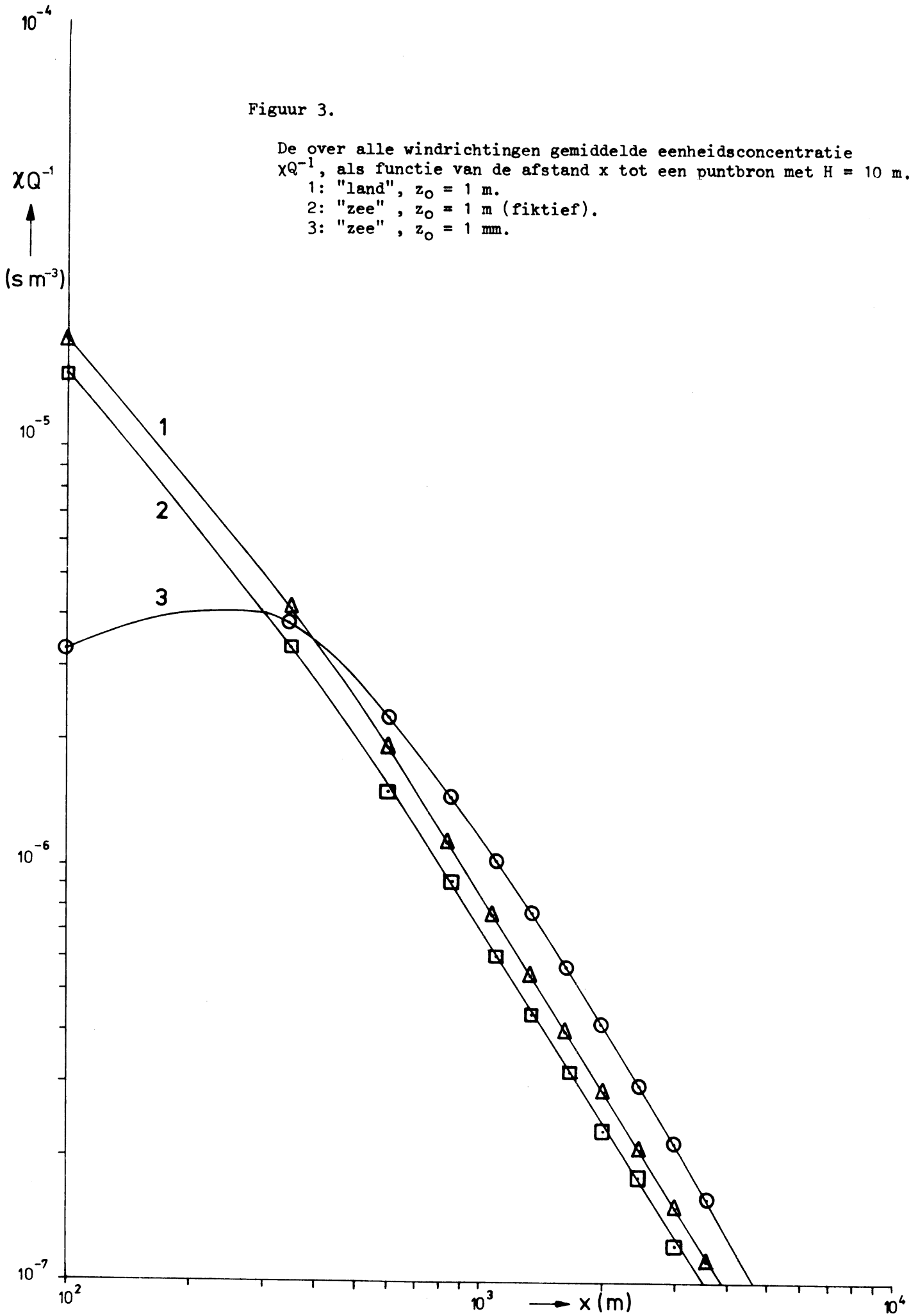
Figuur 3.

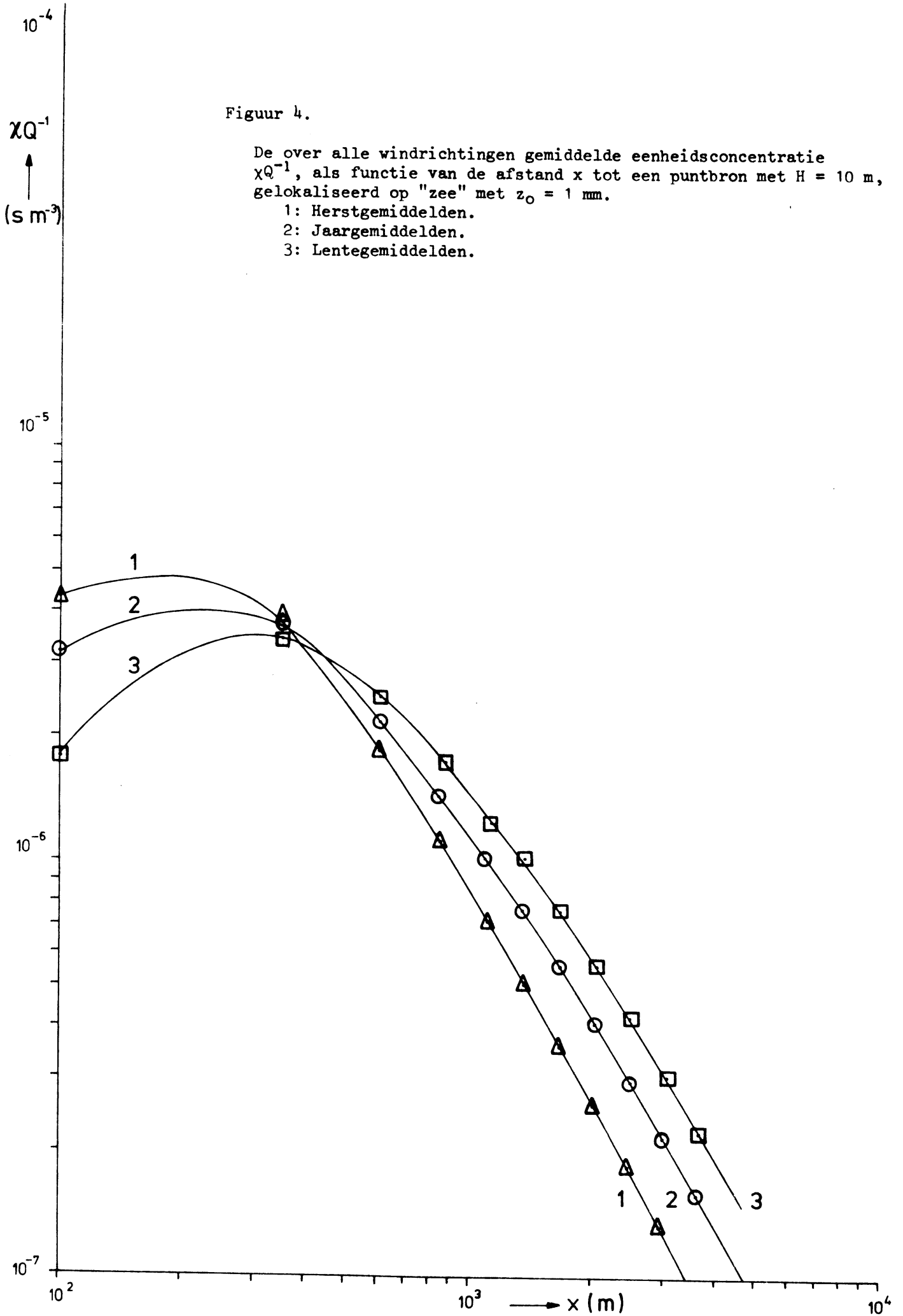
De over alle windrichtingen gemiddelde eenheidsconcentratie χQ^{-1} , als functie van de afstand x tot een puntbron met $H = 10$ m.

1: "land", $z_0 = 1$ m.

2: "zee", $z_0 = 1$ m (fiktief).

3: "zee", $z_0 = 1$ mm.

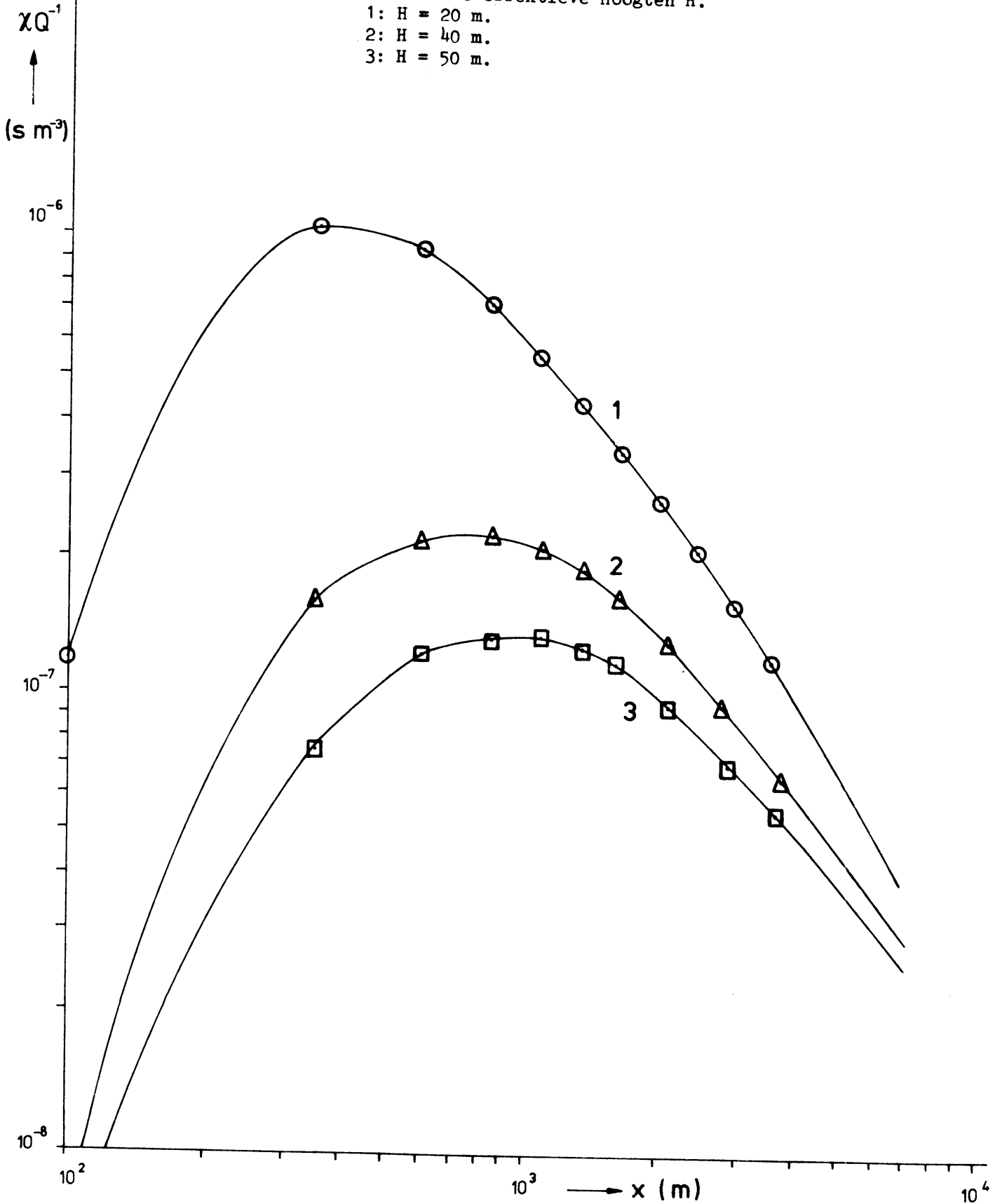




Figuur 5.

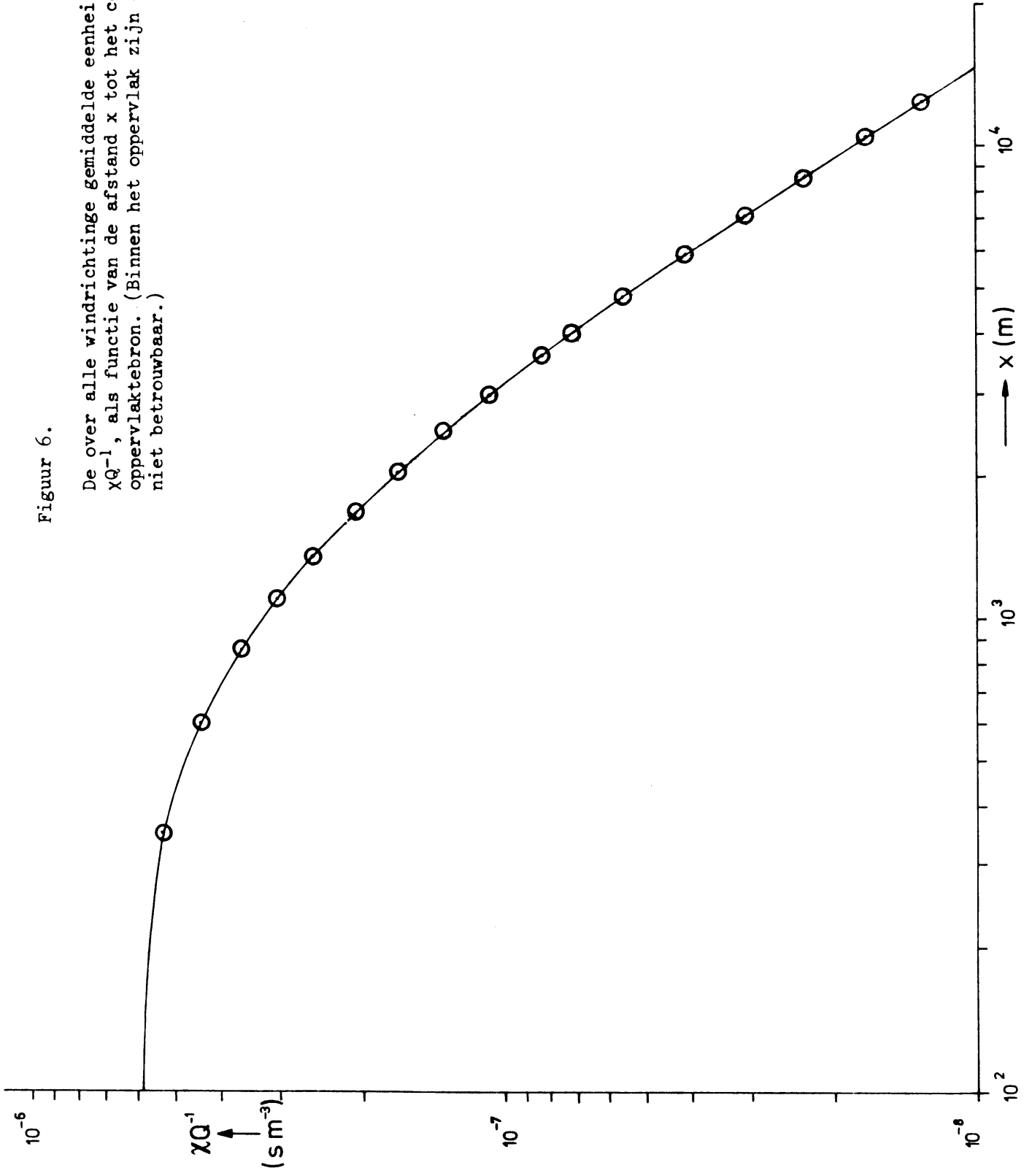
De over alle windrichtingen gemiddelde eenheidsconcentratie χQ^{-1} , als functie van de afstand x tot een puntbron met verschillende effectieve hoogten H .

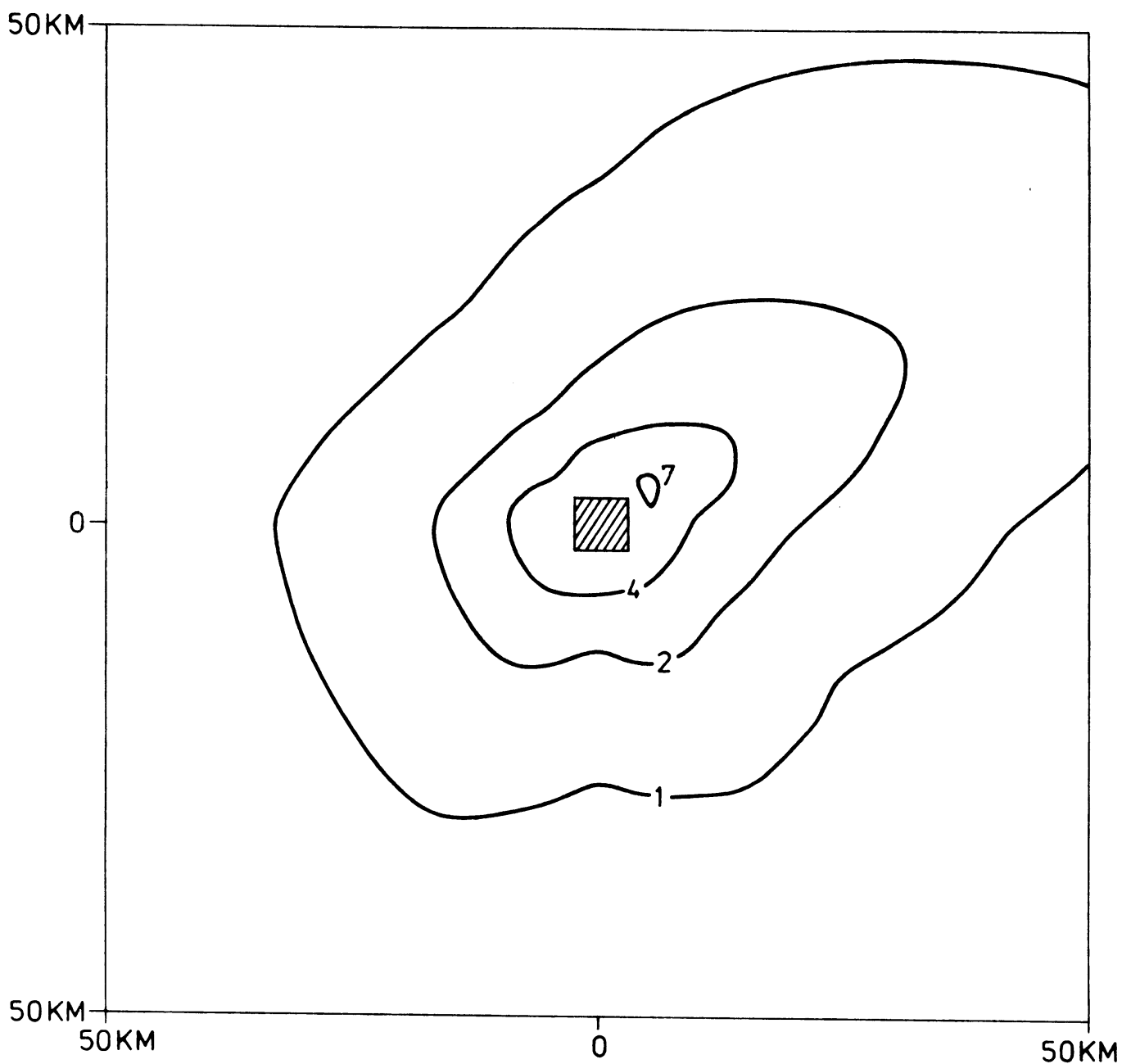
- 1: $H = 20$ m.
- 2: $H = 40$ m.
- 3: $H = 50$ m.



Figuur 6.

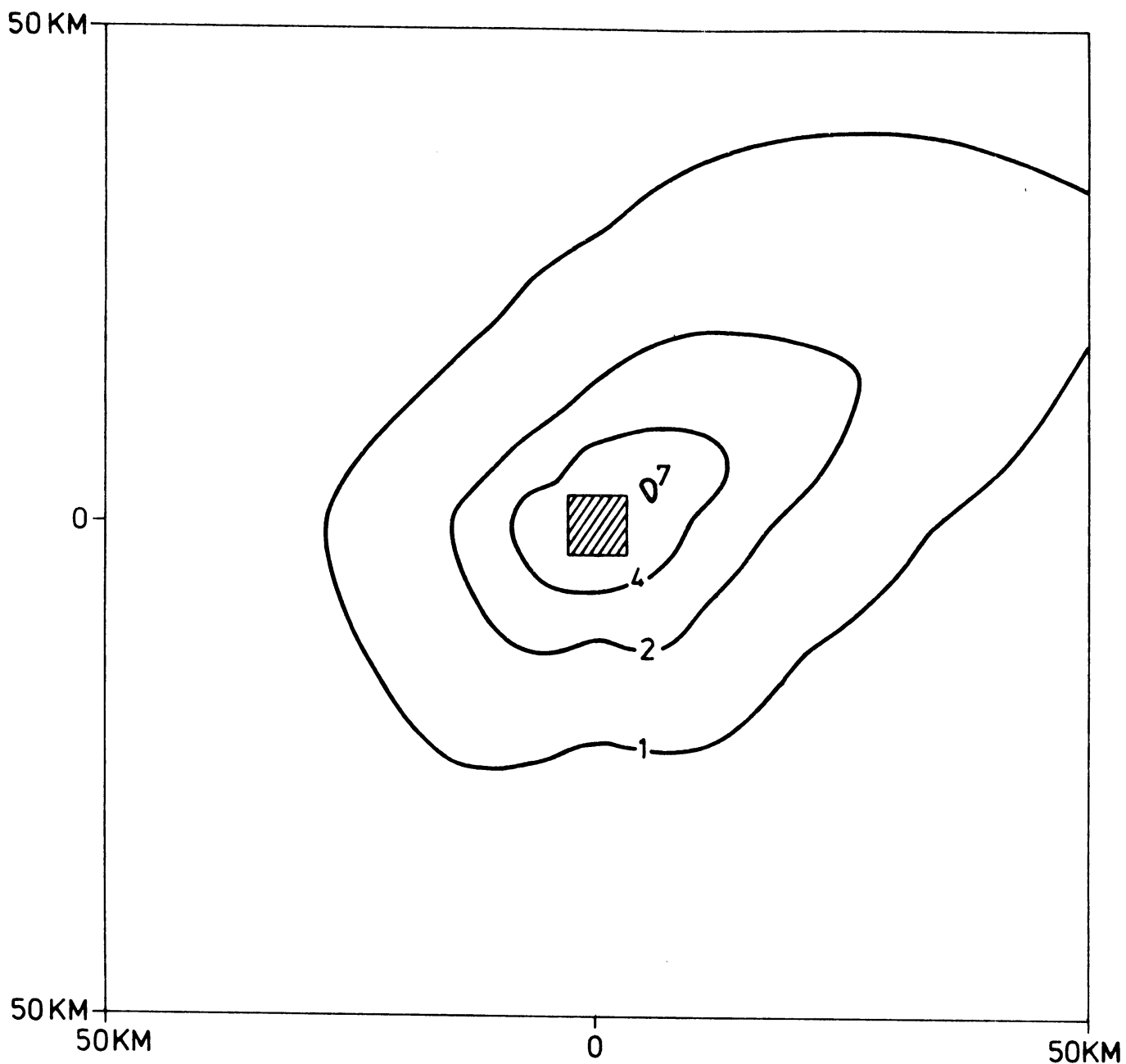
De over alle windrichtinge gemiddelde eenheidsconcentratie xQ^{-1} , als functie van de afstand x tot het centrum van een oppervlaktebron. (Binnen het oppervlak zijn de concentraties niet betrouwbaar.)





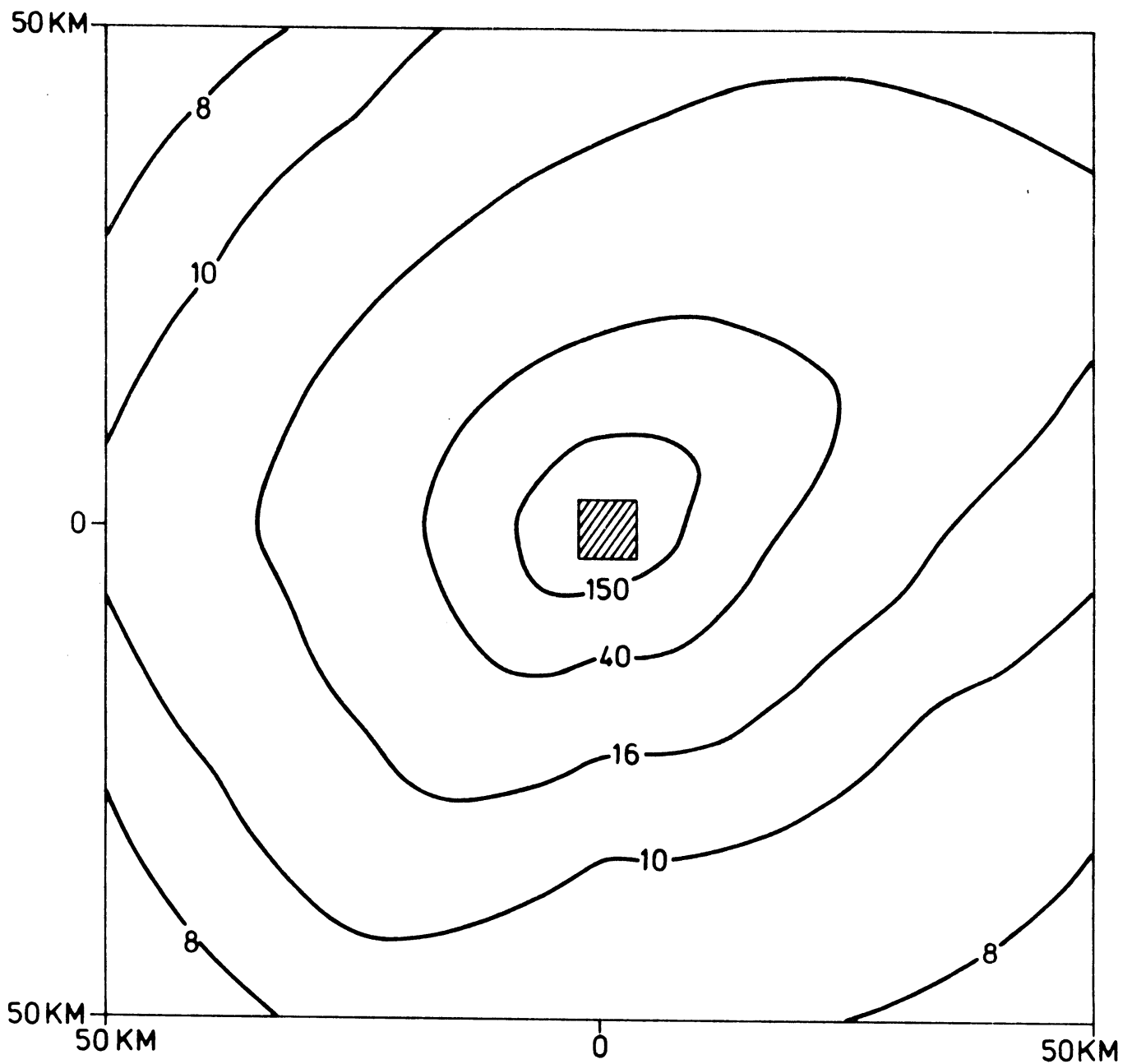
Figuur 7.

Het totale verspreidingspatroon van NO_x, gebaseerd op alle emissies, inclusief de bijdrage van een kolengestookte centrale. (1 cm = 6 km, concentraties in μgm^{-3} .)



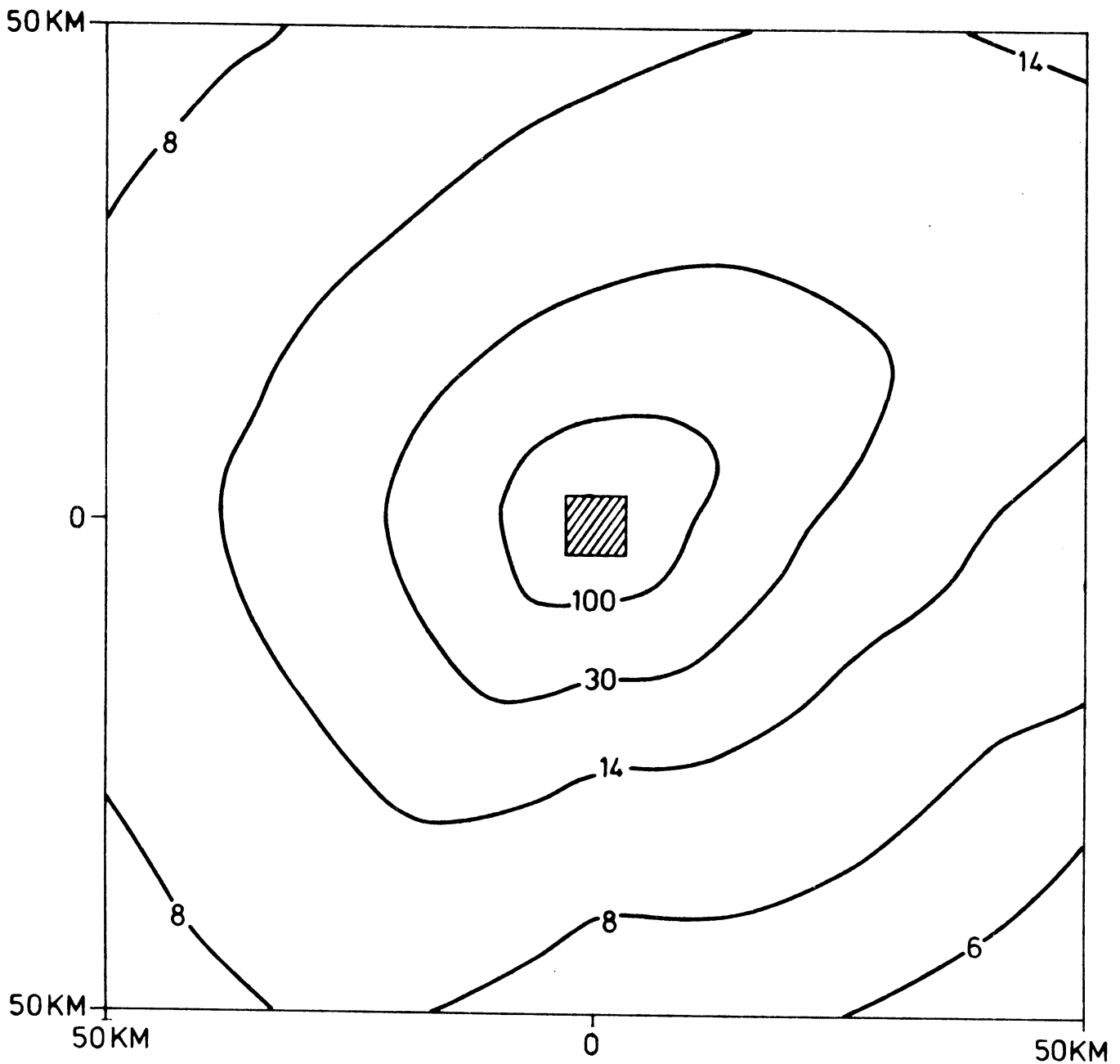
Figuur 8.

Het totale verspreidngpatroon van NO_x, gebaseerd op alle emissies, inclusief de bijdrage van een oliegestookte centrale. (1 cm = 6 km, concentraties in μgm^{-3} .)



Figuur 9.

Het totale verspreidingspatroon van CO, gebaseerd op alle emissies, inclusief de bijdrage van een kolengestookte centrale. (1 cm = 6 km, concentraties in $\mu\text{g m}^{-3}$.)



Figuur 10.

Het totale verspreidingspatroon van CO, gebaseerd op alle emissies, inclusief de bijdrage van een oliegestookte centrale. (1 cm = 6 km, concentraties in μgm^{-3} .)



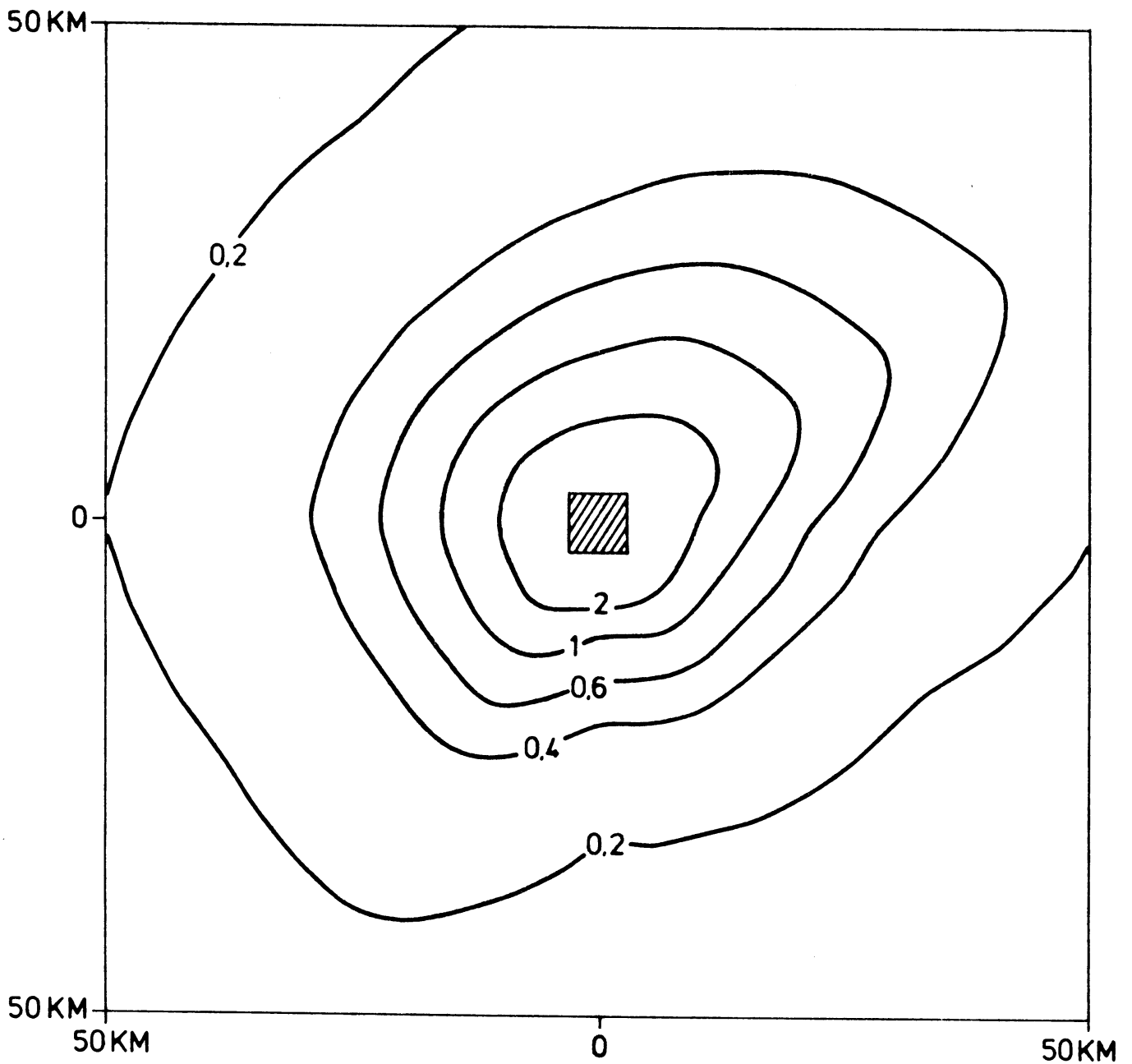
Figuur 11.

Het totale verspreidingspatroon van stof- en roetdeeltjes,
 gebaseerd op alle emissies, inclusief de bijdrage van een kolen-
 gestookte centrale.
 (1 cm = 6 km, concentraties in μgm^{-3} .)



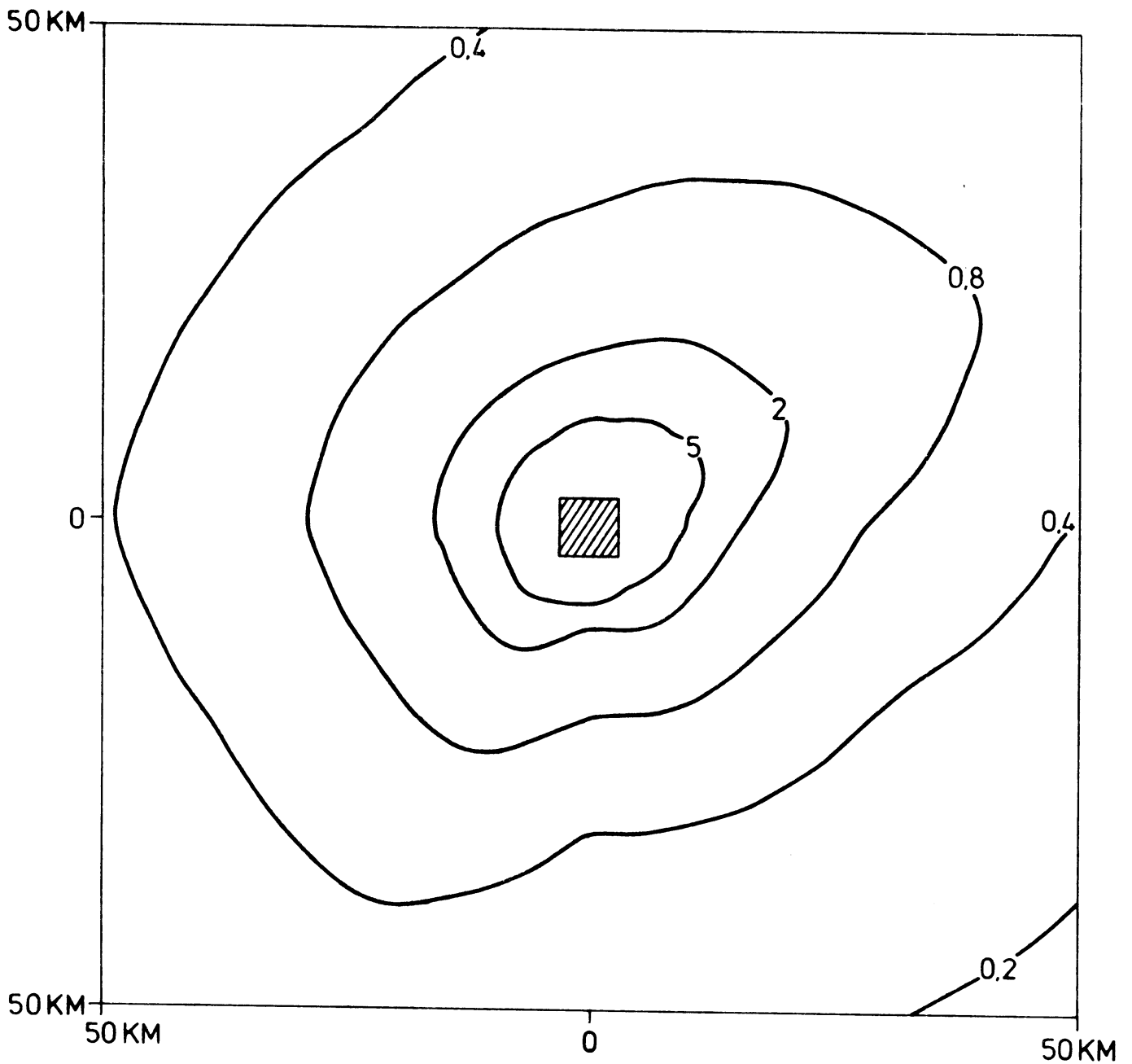
Figuur 12.

Het totale verspreidingspatroon van stof- en roetdeeltjes, gebaseerd op alle emissies, inclusief de bijdrage van een oliegestookte centrale.
 (1 cm = 6 km, concentraties in μgm^{-3} .)



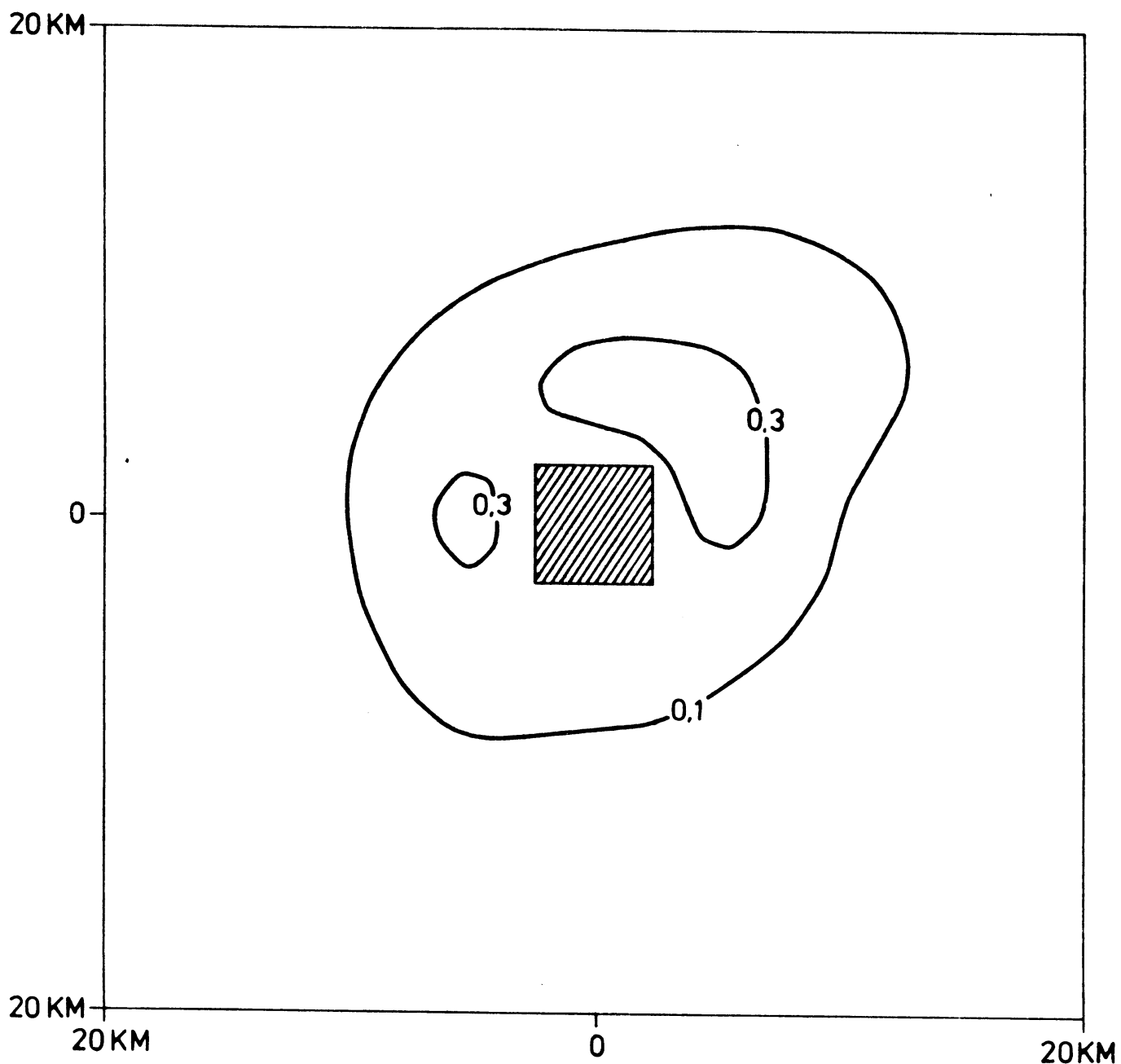
Figuur 13.

Het totale verspreidingspatroon van onverzadigde koolwaterstoffen, gebaseerd op alle emissies.
(1 cm = 6 km, concentraties in μgm^{-3} .)



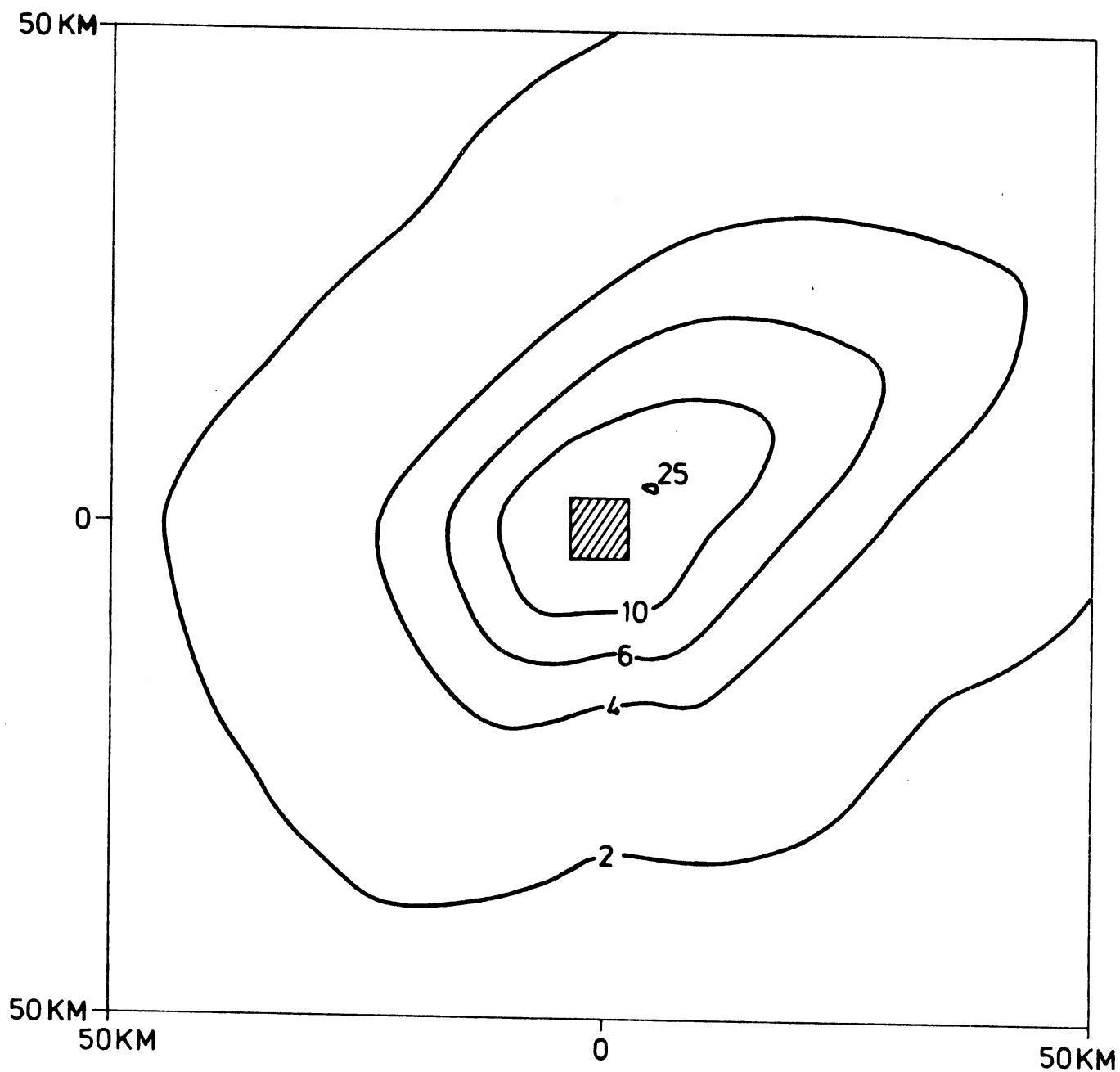
Figuur 14.

Het totale verspreidingspatroon van verzadigde koolwaterstoffen, gebaseerd op alle emissies.
(1 cm = 6 km, concentraties in μgm^{-3} .)



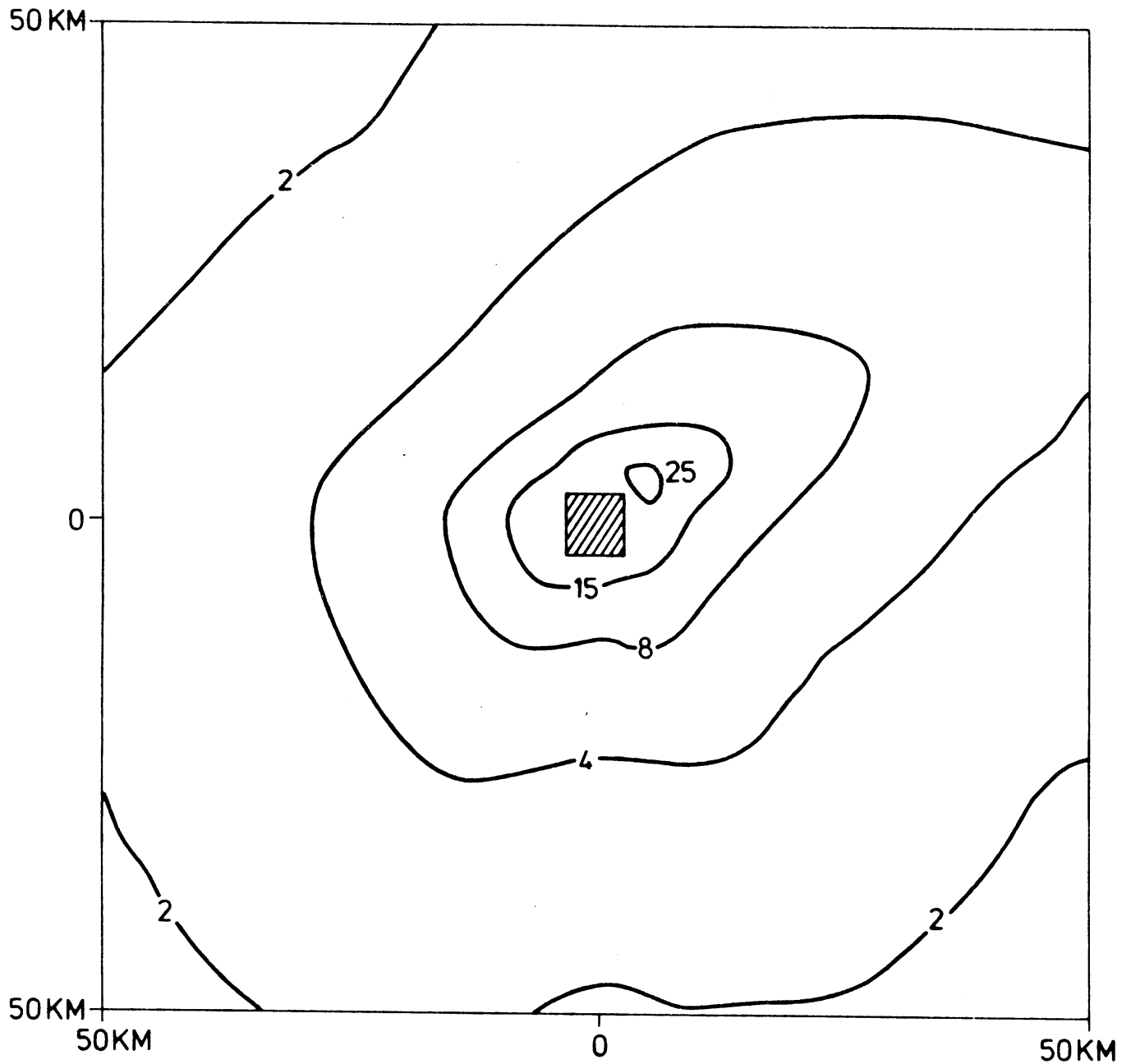
Figuur 15.

Het totale verspreidingspatroon van H₂S, gebaseerd op alle emissies.
(1 cm = 2,4 km, concentraties $\mu\text{g m}^{-3}$.)



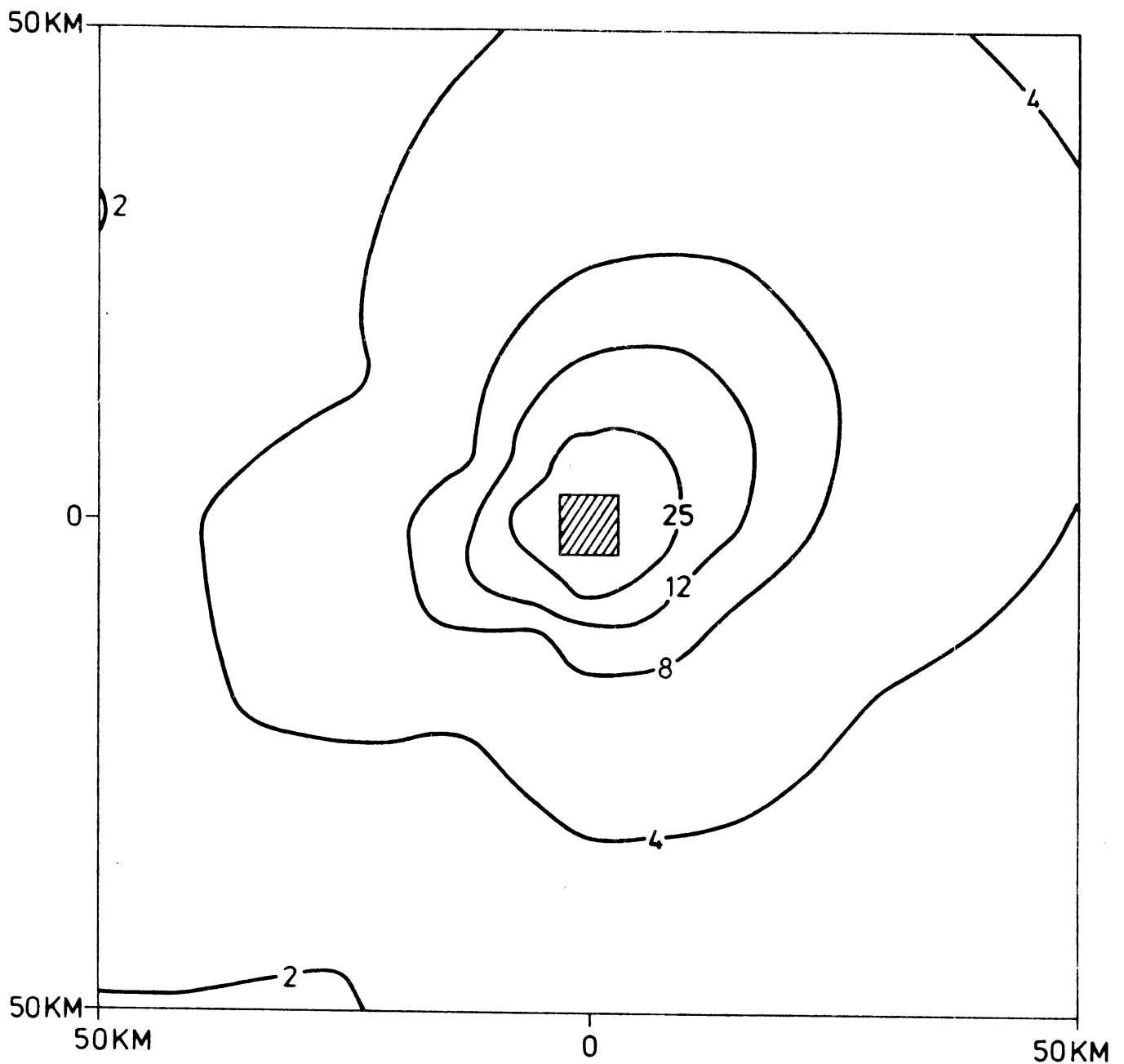
Figuur 16.

Het totale verspreidingspatroon van SO₂, gebaseerd op alle emissies, inclusief de bijdrage van een kolengestookte centrale. (1 cm = 6 km, concentraties in $\mu\text{g m}^{-3}$.)



Figuur 17.

Het totale verspreidingspatroon van SO₂, gebaseerd op alle emissies, inclusief de bijdrage van een oliegestookte centrale. (1 cm = 6 km, concentraties in $\mu\text{g m}^{-3}$.)



Figuur 18.

Als figuur 17 maar nu boven een landoppervlak met een ruwheids-
lengte van 1 m.