

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

TECHNISCHE RAPPORTEN

T.R. - 18

J. Reiff (vz), A.G.M. Driedonks (secr.),
B.J. de Haan, L.M. Hafkenscheid, L.C. Heijboer, H.R.A. Wessels.

OVER DE MOGELIJKHEDEN VAN MESOSCHAALMODELLERING
OP HET K.N.M.I.:

Verslag van de adviesgroep mesoschaalmodellen

De Bilt, 1982

Publikatienummer: K.N.M.I. T.R. - 18 (DM)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,
Dynamisch Meteorologisch onderzoek,
Postbus 201,
3730 AE De Bilt,
Nederland.

U.D.C.: 551.516 : 551.509.313 :
551.510.522

1. Inleiding

Mesoschaalmodellering staat de laatste jaren sterk in de belangstelling (zie o.a. de overzichtsartikelen van K. Browning, D. Etling, R. Pielke, en de proceedings van de IAMAP Conferentie in Hamburg (1981)).

Na een grote vooruitgang in het afgelopen decennium op het terrein van de weersverwachting op een termijn van 2-5 dagen vooruit, lijkt het erop dat in het komende decennium belangrijke vooruitgang geboekt zal gaan worden op twee andere gebieden: de zeer korte termijnverwachting (tot ca. 6 uur vooruit), de zgn. nowcasting, en de korte termijnverwachting (tot ca. 24 uur vooruit).

De verbetering in de nowcasting zal voornamelijk tot stand moeten komen via een beter gebruik van de moderne communicatiekanalen, de korte termijnverwachting (6-24 uur) zal verbeterd kunnen worden door de ontwikkeling van mesoschaalmodellen.

Deze ontwikkeling gaat niet aan het KNMI voorbij. In maart 1981 werd in het kader van deze ontwikkelingen door HFM en HDM, na overleg en met instemming van de beleidsgroep WO, een adviesgroep mesoschaalmodellering in het leven geroepen. Deze groep kreeg de opdracht binnen een jaar advies uit te brengen over de mogelijkheden om voor Nederland van belang zijnde mesoschaalverschijnselen met behulp van modellen te beschrijven.

2. Definities en werkwijze

Meteorologische verschijnselen spelen zich af op verschillende schalen. De macroschaal, of synoptische schaal, omvat de ultralange golven en grote, barocliene, stormdepressies in de atmosfeer. De microschaal, het andere uiteinde van de meetlat, omvatten de meteorologische processen op turbulentieschaal en de processen in individuele wolken. Daartussen liggen de mesoschaal, reikend vanaf "stadseffecten" en kleine tornado's (de meso γ -schaal volgens de classificatie van Orlanski, zie appendix 1), via "cloud clusters" en land-zee effecten (de meso β -schaal) tot frontale structuren en "polar lows" (de meso α -schaal).

In de praktijk liggen de schalen van deze verschijnselen tussen de 10 en 200 km. Omdat de tijdconstante van de verandering van de meteorologische verschijnselen samenhangt met de grootte van de meteorologische verschijnselen, betekent "het voorspellen van mesoschaal verschijnselen" het voorspellen op een termijn van ruwweg 6-24 uur:

Meso γ -verschijnselen (schaal rond 10 à 20 km) zullen hierbij soms niet veel verder dan 6 uur vooruit kunnen worden voorspeld, meso α -verschijnselen (schaal rond 300 km) vaak nog verder dan 24 uur.

Een overzicht van de verschillende mesoschaalverschijnselen, die voor de Nederlandse korte termijn voorspelling van belang zijn, wordt gegeven in appendix 2.

Om de verschillende ontwikkelingen op mesoschaalmodelgebied te kunnen signaleren, zijn de belangrijkste mesoschaalmodellen, met hun verschillende aspecten, geïnventariseerd (zie appendix 3, in het Engels). Ook is een overzicht gemaakt van verschillende aspecten van de mesoschaalanalyse, een belangrijk onderdeel van mesoschaalmodellering (appendix 4). De ontwikkelingen op het gebied van mesoschaalmodellen bij de verschillende meteorologische diensten in de wereld zijn samengevat in appendix 5.

Dit materiaal leidde, tezamen met een overzicht van de voor mesoschaal-modellering belangrijke omstandigheden op het KNMI, tot een aantal conclusies en aanbevelingen.

3. Inventarisatie

3.1. Voor Nederland belangrijke mesoschaalsystemen (appendix 2)

Hoewel we voortdurend met processen te maken te hebben waarbij "schalen" in elkaar overlopen, en elke classificering zijn beperkingen oproept, kunnen we meteorologische mesoschaalsystemen ruwweg verdelen in dynamisch-geforceerde mesoschaalsystemen en terrein-geforceerde mesoschaalsystemen. Dynamisch-geforceerde mesoschaalsystemen worden voornamelijk door de dynamica van "de stroming" geïnitieerd (opgliding, barocliene processen, enz.), terrein-geforceerde meso-schaalsystemen door de ondergrond (land/zee verschillen, orografie, enz.).

Voor Nederland zijn de volgende dynamisch-geforceerde mesoschaalsystemen van belang (zie ook appendix 2): Frontale structuren, polar lows, mesoschaal-onweerscomplexen.

Voor de terrein-geforceerde mesoschaalsystemen zijn dit de ontwikkeling van land/zee circulaties, cumuliforme bewolking, de luchtmassatransformatie (van zee → land) en het ontstaan en oplossen van lage stratus en mist. Orografisch geïnduceerde mesoschaalverschijnselen zijn voor Nederland nauwelijks van belang.

Naast deze mesoschaalverschijnselen is er van de kant van het luchtverontreinigingsonderzoek, het golfverwachtingsonderzoek en de luchtvaart belangstelling voor het voorspellen van de mesoschaalstructuur in het windveld boven Nederland, de grenslaaghoogte en de wolkenbasis.

3.2. De belangrijkste modellen (appendix 3)

In het begin van de zeventiger jaren werd begonnen met de ontwikkeling van 3-dimensionale mesoschaal roosterpuntmodellen. Een voorbeeld hiervan is Pielke (appendix 3.5), die een mesoschaalmodel voor Florida ontwierp, waarmee hij het ontstaan en het verloop van mesoschaalfronten, ontstaan door land/zee verschillen, kon simuleren. Dit model werd in later jaren op vele plaatsen op de wereld overgenomen om er (universitaire) studies mee te verrichten. Een recente ontwikkeling op het gebied van land-zee mesoschaalmodellen is die van Estoque (appendix 3.6). Zijn model wordt gebruikt voor het simuleren van mesoschaalverschijnselen bij "The Great Lakes".

Mesoschaalmodellen, ontworpen om orografische effecten te beschrijven, zijn tamelijk succesvol. In Duitsland wordt hier veel universitair onderzoek aan verricht, (appendix 3.8). In Australië en Frankrijk vinden deze modellen een begin van een operationele toepassing, (appendix 3.9).

Mesoschaalmodellen kunnen hydrostatisch of niet-hydrostatisch zijn. Algemeen kan gesteld worden dat voor het beschrijven van verschijnselen met een karakteristieke schaal < 10 km een niet-hydrostatisch model nodig is. Een dergelijk model is o.a. in Engeland ontwikkeld (appendix 3.2), voor de berekening van het gecombineerde effect van het onderscheid land-zee en orografie. Niet-hydrostatische modellen zijn

numeriek veel moeilijker te hanteren dan hydrostatische.

Het beschrijven van dynamisch-geforceerde mesoschaalsystemen met behulp van modellen gebeurt door het verkleinen van "Limited Area Models" (LAM's). Het domein van het model moet aanzienlijk groter zijn dan voor terrein-geforceerde modellen, bijvoorbeeld een zeewindmodel, omdat dynamische mesoschaalsystemen binnen de voorspeltermijn geadvecteerd kunnen worden over grote afstanden. Eén van de belangrijkste modellen van dit type is dat van Penn. State University (Anthes et al., appendix 3.4). Met dit model (met een roosterpuntafstand van ca. 50 km) is een aantal interessante simulaties van de ontwikkeling van neerslagsystemen, polar low, enz. uitgevoerd.

Andere modelonderzoekingen richten zich op de berekening van de gedetailleerde structuur van de grenslaag (Long and Shaffer, appendix 3.3). De randcondities aan de bovenkant moeten dan worden geleverd door bijvoorbeeld een "Limited area model". Het model heeft semi-operationeel gedraaid. Dit is echter in 1981 gestopt, omdat bleek dat een dergelijk "passief" grenslaagmodel te zeer afhankelijk was van de in die tijd slecht voorspelde bewolking uit het grootschalige model.

In Japan wordt vooral aandacht besteed aan luchtmassatransformatie (Yamagishi, appendix 3.7), waarbij de parametrisatie van "surface fluxes" en de condensatie in de atmosfeer een belangrijke rol spelen.

3.3. De wetenschappelijke ontwikkelingen

Parametrisaties.

In mesoschaal roosterpuntsmodellen is de roosterpuntafstand veel kleiner dan in de huidige LAM's, ca. 20-50 km tegenover 100 à 200 km. Dit betekent dat sommige processen die in LAM's geparametriseerd worden in mesoschaalmodellen expliciet zullen worden beschreven, terwijl andere processen op een andere wijze geparametriseerd zullen moeten worden. Belangrijke ontwikkelingen op het gebied van de parametrisering van bewolking en neerslag in mesoschaalmodellen vinden nu reeds plaats, zie Appendix 3.11, terwijl de parametrisatie van grenslaagbewolking en de interactie tussen grenslaagbewolking en straling nog veel aandacht zal vragen.

Mesoschaalanalyse.

Het operationeel gebruik van mesoschaalmodellen, die de evolutie van dynamisch-geforceerde mesoschaalsystemen voorspellen, is alleen dan verantwoord als er van een goede mesoschaalanalyse wordt uitgegaan. Speciaal een mesoschaalanalyse van het divergente deel van het windveld (de verticale bewegingen), het temperatuur- en vochtigheidsveld, en het horizontale windveld zijn hierbij van belang. Voor het maken van dergelijke analyses is het radiosonde netwerk te wijdmazig. Uurlijkse Synops gecombineerd met digitale radargegevens, radiosonde gegevens en satellietgegevens zouden een mesoschaal vochtigheidsveld, temperatuurveld en winddivergentie kunnen geven, (appendix 4, Browning, Tarbell). Synops gecombineerd met "mastgegevens" en kennis over de ruwheid van de ondergrond zouden het mesoschaal horizontale windveld kunnen geven. Voor zover bekend heeft alleen Tarbell een mesoschaalsysteem t.b.v. een mesoschaal roosterpuntsmodel opgezet. Dit systeem verkeert nog in de laboratoriumfase. Anderen gebruiken mesoschaalanalyses t.b.v. now-

casting experimenten (Browning) of luchtverontreinigingsonderzoek.

Initialisatie.

Omdat de initialisatieprocedure schalen gladstrijkt, die gedeeltelijk samenvallen met mesoschalen, is de initialisatie van mesoschaalmodellen een nog groter probleem dan de initialisatie in "Limited area modellen", waar de non-linear normal mode initialisatie nog steeds een probleem vormt. Er zijn echter aanwijzingen (Tarbell), dat een juiste mesoschaalanalyse van de winddivergentie, de vochtigheid en de temperatuur een grotere invloed op de 6-24 uren neerslagprognose heeft, dan het zorgvuldig in balans brengen van wind- en drukvelden.

Eén-dimensionale modellen (1-D modellen)

Er zijn vele specifieke mesoschaalverschijnselen, waarbij de dynamische ontwikkeling in het horizontale vlak in eerste instantie geen rol speelt, zoals luchtmassatransformatie, het ontstaan en oplossen van convectieve bewolking, stratus en mist. Zo lang 3-D roosterpuntmodellen geen gedetailleerd oplossend vermogen in de verticaal hebben, verwachten we dat bovengenoemde verschijnselen beter met 1-D modellen beschreven kunnen worden. Deze 1-D modellen gebruiken de resultaten van 3-D modellen voor de advectie en hebben wel een gedetailleerd oplossend vermogen in de verticaal. Verwacht wordt, dat sommige van deze modellen de komende jaren operationeel toepasbaar zullen worden. Daarnaast kunnen dit soort modellen gebruikt worden bij het ontwikkelen van parametrisaties in 3-D modellen.

- 3.4. De voor "mesoschaalmodellering" belangrijke operationele ontwikkelingen bij verschillende buitenlandse weerdiensten (zie ook appendix 5).

In Zweden wordt een één-dimensionaal grenslaagmodel ontwikkeld, dat aan een grootschalig roosterpuntmodel hangt. In Omaha (U.S.A.) is een operationeel 1-D grenslaagmodel ontwikkeld voor convectieve bewolking. Frankrijk en Australië ontwikkelen eenvoudige mesoschaalmodellen, die door orografie geïnduceerd worden of passen deze reeds toe. Engeland, de U.S.A. en Canada zijn op het ogenblik het verst met de ontwikkeling van de verschillende componenten (radar, satelliet-informatie) van iets wat op den duur een mesoschaalanalysesysteem moet gaan worden.

Het ECMWF-model voorspelt op experimentele basis bewolking. Uit zeer voorlopige resultaten blijkt, dat de frontale bewolking minstens tot 48 uur "goed" voorspeld wordt, terwijl grenslaagbewolking niet of nauwelijks voorspeld wordt.

4. De voor mesoschaalmodellering belangrijk omstandigheden op het KNMI

Er is een modelgroep, die een "Limited area model" ontwikkelt. Dit model kan bij verkleining van de roosterpuntafstand als basis voor een mesoschaalmodel dienen.

Er is een trajectoriëngroep, die o.a. de inspanning van de afdeling FM op grenslaaggebied en het gebied van de parametrisatie van surface fluxen toepast in een grenslaag/trajectoriënmodel.

Er is een BK4-groep, die over enige tijd zijn werk aan het BK4-model zal

gaan stoppen.

Er is een luchtverontreinigingsgroep, waarin een mesoschaalanalyse gemaakt wordt van het horizontale windveld (3-dimensionale analyse in de grenslaag) en het temperatuurveld (aan de grond).

Er is een computersysteem, dat voor 3-D mesoschaalmodellering te klein is. Een nieuw systeem, minstens een orde sneller dan het huidige en met een groter geheugen zal voor het operationeel draaien van een 3-D mesoschaalmodel noodzakelijk zijn.

De weerdienst heeft voldoende ondersteuning voor de voorspeltermijn langer dan 48 uur vooruit (statistische methoden gebaseerd op ECMWF-producten). Ze hoopt vanuit MO ondersteuning te krijgen bij het opzetten van een now-castingsysteem (0-6 uur vooruit), bij het opzetten van een subjectieve mesoschaalvoorspelling m.b.v. satellietfoto's (6-36 uur vooruit), en vooral bij het onderzoek naar het ontstaan en oplossen van mist, stratus en cumuliforme bewolking. Ze ziet veel in het opzetten van een mesoschaalmodel. Als het echter nog 8 à 10 jaar duurt voor zo'n model operationeel wordt, vindt ze het gewenst dat MO bij het ontwikkelen van zo'n model zoveel mogelijk "tussenproducten" de weerkamer inbrengt.

5. Konklusies en aanbevelingen.

De voorafgaande informatie bracht ons tot de volgende reeks van konklusies en aanbevelingen.

5.1. Algemene Konklusies.

1. Mesoschaalsystemen zijn te verdelen in:

- terrein-geforceerde mesoschaalsystemen. Voorbeelden hiervan zijn systemen die hoofdzakelijk door de orografie en/of land-zee verschillen worden geforceerd. Systemen die door dag/nacht verschillen worden geforceerd kunnen hier ook toe gerekend worden. Om een 6 tot 24 uren voorspelling van deze typen mesoschaal-systemen te maken is een mesoschaal-analyse over het algemeen niet noodzakelijk.
- dynamisch-geforceerde mesoschaalsystemen. Voorbeelden hiervan zijn de mesoschaal-structuren in frontale zones. Bij het voorspellen van deze typen systemen is een goede mesoschaalanalyse noodzakelijk. In de praktijk zullen er vaak mengvormen van beide voorkomen.

2. 3-D mesoschaalmodellen, die door de orografie geforceerde mesoschaal-systemen voorspellen, verkeren in het stadium van "begin van operationele toepassing" (Frankrijk) of worden uitgetest voor operationele toepassing (Australië).

3-D mesoschaalmodellen, die de door de land-zee overgang geforceerde mesoschaalsystemen voorspellen, zijn uitvoerig getest (Pielke, Carpenter, Estoque). Ze worden echter nog nergens operationeel toegepast.

3-D mesoschaalmodellen, die geforceerd worden door de dynamica, verkeren nog in het experimentele stadium (Anthes). Totdat er een bijbehorend operationeel mesoschaalanalysesysteem is ontwikkeld zullen deze modellen niet operationeel kunnen worden toegepast.

Verwacht wordt, dat dit nog ca. 6-10 jaren zal duren. Het voorspellen van mesoschaal-verschijnselen in frontale zones met behulp van een 3-D roosterpuntmodel zal naar onze mening nog langer duren. Voorlopig is dit een now-casting probleem. Er zijn vele 1-D mesoschaalmodellen in ontwikkeling, die specifieke dag/nacht verschijnselen of land/zee verschijnselen als mist, stratus en luchtmassa transformatie proberen te voorspellen, bijvoorbeeld het grenslaag/trajectoriënmodel. Deze groep modellen is verder niet onderzocht, maar vermoed wordt dat zeker sommige van deze modellen de komende jaren operationeel zullen gaan worden.

3. Bij de ontwikkeling van 3-D mesoschaalmodellen zijn de volgende onderwerpen te onderscheiden.
 - De parametrisatie. Hierbij zal de ontwikkeling van op mesoschaalprocessen gerichte parametrisatie van bewolking, neerslag en grenslaagprocessen nog veel aandacht vragen.
 - De analyse. Voor het maken van een mesoschaalanalyse is het radiosonde netwerk te wijdmazig. Vooral de analyse van winddivergentie (uit radar, synop + radiosonde), van temperatuur en vochtigheid en van het horizontale windveld zijn hierbij belangrijk.
 - De initialisatie.
4. Toekomstige 3-D mesoschaalmodellen in de ons omringende landen met een roosterpuntafstand van minder dan 50 km zullen zeer waarschijnlijk niet concurrerend voor Nederland zijn. Nederland ligt hooguit aan de rand van hun gebied en daar zijn de modelfouten het grootst.
5. 3-D mesoschaalmodellen met een roosterpuntafstand groter dan ca. 20 km zijn "hydrostatische modellen". Mesoschaalmodellen met een roosterpunt-afstand kleiner dan 20 km zullen soms, afhankelijk van de verschijnselen die het model beoogt te voorspellen, niet-hydrostatisch moeten zijn.
6. Mesoschaalsystemen worden gekarakteriseerd door schaal, advectiesnelheid en fysische processen. Aangezien deze karakteristieken voor de onderscheiden systemen verschillend zijn kan het zinvol zijn meerdere modellen te maken met specificaties toegespitst op een bepaald mesoschaalsysteem.

5.2. Op Nederland betrekking hebbende konklusies.

1. Voor Nederland belangrijke dynamisch-geforceerde mesoschaalverschijnselen als onweerscomplexen, polar lows, en posities van fronten en belangrijke terrein-geforceerde mesoschaalverschijnselen als land/zee cirkulaties moeten op een termijn van 6-24 uur vooruit noodzakelijkerwijs met een 3-D mesoschaalmodel voorspeld worden. Een hydrostatisch model met een roosterpuntafstand van ca. 20 km werkend op een te kiezen gebied van ca. 1000 bij 1000 km is hierbij, voor een termijn van 12 uur vooruit, voldoende. Voor een termijn van 24 uur zullen waarschijnlijk modellen met een roosterpuntafstand van ca. 50 km op een groter gebied gebruikt moeten worden. Het op het KNMI aanwezige LAM kan hierbij als uitgangspunt dienen. Randvoorwaarden

kunnen worden geleverd door het ECMWF-model.

2. Bij het voorspellen van dynamisch-geforceerde mesoschaalsystemen is een goede mesoschaalanalyse onontbeerlijk. De ontwikkeling van zo'n mesoschaalanalysesysteem kan hand in hand gaan met de ontwikkeling van een voor de operationele dienst bruikbaar now-casting systeem.
3. Voor Nederland belangrijke terrein-geforceerde mesoschaalverschijnselen, zoals lucht-massatransformatie, het ontstaan en oplossen van cumuliforme bewolking, stratus en mist kunnen ook met een 1-D model voorspeld worden. Het op het KNMI ontwikkelde grenslaag/trajektorienmodel kan hierbij als uitgangspunt dienen. De advektie van de luchtmasse moet hierbij worden berekend met behulp van de resultaten van het ECMWF of LAM model. Sommige van de voor een mesoschaalmodel belangrijke parametrisaties kunnen met zo'n 1-D model ontwikkeld en getest worden.

5.3. Aanbevelingen.

1. De adviesgroep vindt het gewenst zo spoedig mogelijk na het gereedkomen van een experimentele LAM-versie mesoschaalexperimenten te beginnen. Er moet aandacht worden besteed aan de numerieke beschrijving (diskretisaties) van de vergelijkingen, de parametrisaties van subgrid scale processen en de initialisatie van het model.
2. De adviesgroep vindt het gewenst dat de ontwikkeling van 1-D mesoschaalmodellen, zoals het grenslaag/trajektorienmodel, met kracht wordt voortgezet, zodat de operationele verwachting van terrein-geforceerde mesoschaalverschijnselen niet op de ontwikkeling van 3-D mesoschaalmodellen hoeft te wachten.
3. De adviesgroep vindt dat er zo spoedig mogelijk, zonder op andere ontwikkelingen te wachten, een mesoschaalanalyse systeem moet worden opgezet. Dit systeem zal kunnen bestaan uit een verkleind, vereenvoudigd, LAM, dat bijvoorbeeld elk uur ververst wordt met gegevens afkomstig uit Synops en de gedigitaliseerde radar. Dit systeem zal tevens als basis voor een operationeel bruikbaar now-casting systeem kunnen dienen.
4. De adviesgroep merkt op, dat het slechts dan mogelijk is 3-D mesoschaalmodellen operationeel te gebruiken, indien er bepaalde materiële voorzieningen aanwezig zijn. Een minimum voorwaarde is, dat er een computer beschikbaar moet zijn, die tenminste een orde sneller is en een groter geheugen bevat dan de huidige Burroughs-6800. Ook aan de waarnemingen, speciaal die op de Noordzee zullen hoge eisen gesteld moeten worden.

6. Referenties

Vele publikaties over mesoschaalmodellen zijn geraadpleegd. Deze zijn veelal expliciet vermeld in de appendices.

De belangrijkste overzichtsartikelen en verzamelingen van publikaties zijn:

K.A. Browning (1980): "Local Weather Forecasting".
Proc. Roy. Soc. London, A 371, 179-211.

D. Etling (1981): "Mesoscale Models", Promet, 11, Heft 1.

IAMAP Conference (1981): "Nowcasting: Mesoscale Observations and Short-Range Prediction". Proc. Symposium Hamburg, 25-28 August 1981.

Mesoscale Issue of the Journal of Atmos. Sciences, 38, (1981).

R.A. Pielke (1981): "Mesoscale Numerical Modeling, Advances in Geophysics, 23, 186-321.

Appendix 1. De indeling van meteorologische verschijnselen
in macro- en microscales volgens Orlanski.

SCALE DEFINITION				L_s	T_s	1 MONTH $(\beta L_s)^{-1}$	DAY $(t)^{-1}$	1 HOUR $(\frac{\beta L_s}{t})^{-1/2}$	1 MINUTE $(\frac{\beta L_s}{t})^{-1/2} (\frac{L_s}{t})$	SEC	
MACRO-SCALE	MACRO-SCALE		MACRO-SCALE	10,000 KM		Standing waves Ultra long waves Tidal waves					MACRO-SCALE
				2,000 KM		Baroclinic waves					MACRO β SCALE
INTERMEDIATE SCALE				200 KM		Fronts and Hurricanes					MESO-SCALE
			MESO-SCALE	20 KM		Nocturnal low level jet Squall lines Inertial waves Cloud clusters Mn. & Lake Disturbances					MESO β SCALE
MESO-SCALE	MESO-SCALE			2 KM		Thunderstorms I.G.W. C.A.T. Urban effects					MESO γ SCALE
				200 M		Tornadoes Deep convection Short gravity waves					MICRO-SCALE
			MICRO-SCALE	20 M		Dust devils Thermal Wakes					MICRO β SCALE
						Plumes Roughness Turbulence					MICRO γ SCALE
JAPANESE NOMENCLATURE	EUROPEAN NOMENCLATURE	G.A.T.E.	U.S.A. NOMENCLATURE	C.A.S.	CLIMATOLOGICAL SCALE	SYNOPTIC AND PLANETARY SCALE	MESO SCALE	MICRO-SCALE			PROPOSED DEFINITION

Scale definitions and different processes with characteristic time and horizontal scales (After Orlanski, 1975, Bulletin of the American Meteorological Society, 56, 5, p. 527).

Appendix 2. Een overzicht van mesoschaalverschijnselen, die voor de Nederlandse korte termijn (6-24 uur) weersvoorspelling van belang zijn.

Inleiding.

Van de voor de Nederlandse 6-24 uren voorspelling belangrijke mesoschaal-systemen, zoals structuren in frontale zones, mesoschaal onweerscomplexen, land/zee circulaties wordt hierna een overzicht gegeven¹⁾. Zoveel mogelijk wordt geprobeerd na te gaan,

- welke aspecten van deze systemen voor de Nederlandse voorspelling van belang zijn,
- hoe vaak ze per jaar voorkomen en in welk jaargetijde,
- wat de huidige stand van zaken bij het voorspellen van deze mesoschaal verschijnselen is,
- welke onderdelen in "het mesoschaalmodelleren" de nadruk moeten krijgen om tot een aanvaardbare objectieve voorspelling van deze verschijnselen te komen.

Daarnaast is het voor Nederlandse gebruikers van meteorologische voorspellingen (luchtverontreinigers, luchtvaart enz.) van belang om de mesoschaalstructuur van sommige velden 6 à 24 uur vooruit te kennen, bijvoorbeeld de mesoschaal structuur van het windveld, de grenslaaghoogte en de wolkenbasis. In het laatste gedeelte van deze bijlage zal daarom worden nagegaan, welke onderdelen van "het mesoschaalmodelleren" benadrukt moeten worden om deze mesoschaalstructuren objectief te kunnen voorspellen.

1. Dynamisch-geforceerde mesoschaalsystemen.

1.1. Positie en structuur van frontale zones.

a) Beschrijving en belang voor Nederland.

De laatste jaren zijn er veel studies verschenen, die een beschrijving geven van de structuur van frontale zones (Hobbs, J. Atm. Sci., 37, 568-596, Browning).

Het blijkt, dat de banden met intensive neerslag vaak samenhangen met de positie van de zogenoemde "conveyor belts". Het zijn deze, op mesoschaal georganiseerde, neerslagbanden waaruit gedurende korte tijd de meeste frontale neerslag valt.

Naast deze neerslagbanden kunnen soms echter ook de préfrontale neerslagbanden voor de 6-24 uren voorspelling van belang zijn.

1) Bij het classificeren van mesoschaalverschijnselen, het schatten van aantal opgetreden verschijnselen, het schatten van het aantal benodigde modellen, roosterpuntafstanden en grootte van benodigde modelgebieden valt aan een zekere subjectiviteit helaas niet te ontkomen. Schattingen moeten vaak als "orde van grootte aanduidingen" gezien worden.

b) Aantal.

In 1973 passeerden 50 warmtefronten, 95 koufronten (incl. occlusies) en nog ca. 20 neerslaggebieden, die met een trog verband hielden. Neerslagbanden zijn eerder regel dan uitzondering. Prefrontale banden komen vaak voor, maar zijn moeilijk te tellen omdat ze vaak schijnbaar de rol van het front overnemen.

c) Huidige stand van zaken.

De laatste jaren wordt de trekrichting en -snelheid en de mate van intensivering van frontale verstoringen steeds beter voorspeld. Bij het in gebruik nemen van LAM's met een roosterpuntafstand van 100-50 km zal deze ontwikkeling nog verder doorzetten.

De mesoschaalstructuur van fronten wordt aan de hand van langdurige ervaring door de meteoroloog over een periode van 6-24 uur grotendeels subjectief voorspeld. Het ziet ernaar uit, dat het nog vele jaren zal duren voordat mesoschaalmodellen dit zullen verbeteren.

d) Zo dit de komende 5 à 10 jaar al mocht lukken, dan

- is een zeer goede mesoschaalanalyse van de frontale structuur in de uitgangstoestand noodzakelijk;
- zal de parametrisatie van bewolking en neerslag in de numerieke modellen. de "convective adjustment", nog sterk moeten worden verbeterd. Mogelijk zal het "seeder-feeder" mechanisme in geparametriseerde vorm in de modellen moeten worden opgenomen;
- zal het aantal modellagen groot moeten zijn, de horizontale roosterpuntafstand zeer klein (ca. 10 à 20 km), en de ruimtelijke uitbreidheid van het gebied groot (ca. 1200 * 1200 km).

1.2. Mesoschaal Polar Lows.

a) Beschrijving en belang voor Nederland.

Dit zijn snel uitdiepende, uit koude lucht bestaande, mesoschaal-systemen met een grootte van ca. 200-500 km, die "gevoed" worden door de latente warmte afkomstig van het warme zeewater. Hun belang voor Nederland ligt vooral in het juist voorspellen van de bijbehorende neerslaghoeveelheid, neerslagintensiteit en stormactiviteit.

De "gespiegelde" vorm, boven land gevormde mesoschaalcomplexen die boven koud zeewater in elkaar zakken, brengen we ook in deze groep onder.

b) Aantal.

In de zuivere vorm, d.w.z. met gesloten circulatie, komen ze niet zo vaak voor (hoogstens enkele dagen per jaar). Het mechanisme (koude lucht boven warm water) speelde van 1956 1965 ca. 28 keer per jaar een rol bij onweer in het kustgebied. Het omgekeerde (gespiegelde) mechanisme zal niet minder vaak werkzaam zijn, maar is voor de meeste gebruikers minder belangrijk.

c) Huidige stand van zaken.

De huidige modellen vinden het systeem vaak te laat in hun analyse. Verder is het juist voorspellen van de baan en neerslagintensiteit moeilijk.

d) Noodzakelijke mesoschaalmodel-ontwikkelingen.

- Een verbeterde mesoschaalanalyse.
- Verbeterde "convective scale" parametrisatie om het uitdiepen en de bijbehorende neerslagintensiteit juist te kunnen voorspellen.
- Een gebied van ca. 1200 bij 1200 km met roosterpuntafstand van 25-50 km. Bij een ruwweg bekende advectierichting van het systeem zal het echter mogelijk zijn dit gebied tot ca. 700 bij 700 km te beperken.

1.3. Mesoschaal onweerscomplexen (Systemen met "diepe convectie").

a) Beschrijving van belang voor Nederland.

Met mesoschaal-onweerscomplexen worden mesoschaalverstoringen in de orde van 10-50 km bedoeld. 's Zomers ontstaan ze ter plaatse of worden soms vrij snel vanuit Oostelijke tot Zuidwestelijke richting naar ons land geadvecteerd, 's winters komen ze soms bij arctische lucht van de Noordzee binnen. (De grens polar low/mesoschaal-onweerscomplexen is moeilijk te trekken). In deze complexen heerst een convectie tot aan de tropopauze, de zogenaamde "diepe convectie". Voor Nederland is het voorspellen van neerslaghoeveelheid, neerslagintensiteit en buigheid van de wind van belang.

b) Aantal.

Echte warmte-onweders, d.w.z. bepaald door de verwarming van het landoppervlak, ontstaan op ca. 15 dagen per jaar. In de grote categorie onweders, die met fronten verband houden (ca. 54 per jaar), kan ook een behoorlijk aantal tot de afzonderlijk herkenbare mesoschaalcomplexen worden gerekend. (KNMI Publikatie 81, gemiddelden over 1956-1965).

c) Huidige stand van zaken.

- De winterse buiencomplexen leveren de minste moeite bij de voorspelling op. Ze ontstaan niet onverwacht; de baan die ze over ons land volgen en de bijbehorende neerslagintensiteit worden matig voorspeld.
- De zomerse buiencomplexen, die ter plaatse ontstaan, zijn "statistisch gezien" redelijk te voorspellen. De regio in Nederland waar ze optreden, het tijdstip waarop ze optreden, en de neerslagintensiteit vormen bij de voorspelling vaak nog een probleem.
- De uit zuidelijke richting geadvecteerde buiencomplexen kunnen soms verrassend onverwacht ontstaan en soms zeer snel naar Nederland geadvecteerd worden. Het "optreden" of juist "niet optreden" van deze complexen wordt dan ook nogal eens verkeerd voorspeld.

d) Noodzakelijke mesoschaalmodel-ontwikkelingen.

- Voor een objectieve 6-24 uur voorspelling van neerslagintensiteit zal een vaak betere parametrisatie van het "diepe conventie" proces noodzakelijk zijn.
In de huidige generatie modellen wordt dit proces slechts gebrekkig geparametriseerd.
- Om het al of niet optreden van onweerscomplexen, die vanuit het zuiden komen, te kunnen voorspellen is daarnaast nog een goede, maar vooral een "up to date" mesoschaalanalyse noodzakelijk.
- Een mesoschaal-bodemvochtanalyse en het op mesoschaal voorspellen van de verdamping is voor een regionalisatie van de verwachting een vereiste.
- Afhankelijk van de parametrisatie van het diepe convectieproces is een veellagen-model tot aan de tropopause noodzakelijk. Voor advectie vanuit het zuiden een model ter grootte van ca. 1000 x 1000 km met een roosterpuntafstand (afhankelijk van de mate waarin het gewenst is de geografische positie van het proces te beschrijven) van 10-40 km. Voor onweerscomplexen, die ter plaatse ontstaan of vanaf de Noordzee binnenkomen, is een veel kleiner model, ca. 400 bij 400 km, voldoende.

2. Terrein-geforceerde mesoschaalsystemen.

2.1. Land/zee circulaties.

a) Beschrijving en belang voor Nederland.

Land/zee circulaties ontstaan bij de overgang land/zee. Ze kenmerken zich door een in de loop van de dag toenemende wind vanaf zee, waarmee een zich ontwikkelend zeewindfront naar het binnenland wordt verplaatst.

De belangrijkste toepassingen van de bijbehorende mesoschaal windvoorspellingen liggen bij de luchtvaart (Schiphol, Zestienhoven), de luchtverontreiniging, de zeilsport, en in de toekomst de windenergiegebruikers.

b) Aantal.

In Nederland komen land/zee circulaties in hun pure vorm, met bijbehorend zeewindfront, niet of nauwelijks voor. Op warme zomerse dagen ontstaan er in de loop van de dag weleens mesoschaal land/zee wind circulaties. In de periode 1971-1976 kwam dit gemiddeld 20 keer per jaar voor. (Terpstra, WR 81-3).

c) Huidige stand van zaken.

Terpstra heeft een aantal criteria afgeleid waarmee het optreden van zeewindcirculatie op dit moment quasi-objectief voorspeld wordt.

d) Noodzakelijke mesoschaalmodelontwikkelingen.

- De huidige generatie mesoschaalmodellen biedt goede mogelijkheden om land/zee circulaties te kunnen voorspellen. (Pielke en analoge modellen, Estoque, Carpenter). In Nederland komen land/zee windcirculaties echter meestal onder veranderende synoptische omstandigheden voor, waardoor voor een objectieve voorspelling van het 6-24 uurs mesoschaalwindveld een goede mesoschaalanalyse ook noodzakelijk is.
- Een model tot 500 mbar lijkt voldoende, mits er goede randvoorwaarden voor de top van het model vanuit het LAM komen. Een roosterpuntafstand van ca. 10 à 20 km is noodzakelijk, terwijl een gebied van ca. 400 bij 400 km voldoende lijkt. (Zie ook punt 3).

2.2. Ontwikkeling van cumuliforme bewolking boven land.

a) Beschrijving en belang voor Nederland.

De dagelijkse gang valt hieronder, maar ook "luchtmassatransformatie": Als er in het voorjaar koude lucht vanaf de Noordzee Nederland binnenstroomt, ontstaat er vaak in de loop van de dag bewolking, die landinwaarts toeneemt. Dit verschijnsel is vooral van belang voor het regionaal voorspellen van zonnenschijn, maximumtemperatuur en neerslag.

b) Aantal.

In 1973 overheerste op 40 dagen de dagelijkse gang van de cumuli het weerbeeld overdag. Men kan aannemen dat in de meeste van deze gevallen er grote verschillen tussen kust en binnenland waren. Ook in vele andere synoptische situaties zijn dit soort regionale verschillen van groot belang.

c) Huidige stand van zaken.

Ervaring en kennis van het weer in Nederland is bij de huidige semi-objectieve voorspelling van deze verschijnselen van grote waarde. Een objectieve voorspelling van de grenslaaghoogte en het verticale temperatuur- en vochtprofiel in de troposfeer zal een objectieve 6-24 uurs voorspelling van deze verschijnselen kunnen verbeteren.

d) Noodzakelijke mesoschaalmodelontwikkelingen.

Het is niet onmogelijk dat een groot gedeelte van de dagelijksegang verschijnselen en luchtmassatransformatie-verschijnselen ook met een, relatief eenvoudig, grenslaag/trajectoriënmodel zijn te voorspellen.

2.3. Vorming en oplossen van lage stratus en mist.

a) Beschrijving en belang voor Nederland.

Dit is in de huidige weerkamerpraktijk een zeer veel voorkomend, maar ook zeer moeilijk te voorspellen verschijnsel. Het is van het grootste belang bij het voorspellen van zonneschijn, zicht (luchtvaart en vervoer), en minimum- en maximumtemperatuur.

b) Aantal.

In ruim 140 nachten per jaar is ergens in ons land wel sprake van mist of lage stratus (nog afgezien van frontale bewolking). Letten we op één locatie, dan treedt het verschijnsel in ca. 80 nachten op. Beperken we ons tot de gevallen, die voor de gebruiker hinderlijk zijn, dan blijven er (landelijk) 30 à 50 gevallen over.

c) Huidige stand van zaken.

Hoewel klimatologische kennis van Nederland bij het subjectief voorspellen van deze verschijnselen van grote waarde is, zal een objectieve voorspelling van de grenslaaghoogte en de relatieve vochtigheid in de grenslaag en juist boven de grenslaag deze voorspelling sterk kunnen verbeteren.

d) Noodzakelijke mesoschaalmodelontwikkeling.

Het kan zijn dat een redelijke 6-24 uurs voorspelling voor net vormen en oplossen van lage stratus met een relatief eenvoudig grenslaag/trajectoriënmodel ook mogelijk is, terwijl er voor het vormen en oplossen van mist elders verschillende eenvoudiger modellen ontwikkeld worden (Graudin, Hamburg 1981, p. 369). Bij een roosterpuntmodel is een groot aantal lagen in en juist boven de grenslaag (ca. 10 lagen tot 3 km) en een roosterpuntafstand van ca. 20 km noodzakelijk. Een gebied van 400 bij 400 km lijkt voldoende.

3. Algemene interesse in de volgende mesoschaalvelden.

3.1. Mesoschaalwindvelden.

a) Belang voor Nederland.

De belangrijkste toepassingsgebieden liggen in de luchtvaart (windsprong, windschering), de zeilsport, de golfverwachting, het energie- en luchtverontreinigingsonderzoek.

b) Huidige stand van zaken.

In het kader van het VoMil-model een begin gemaakt met het analyseren van het 3-dimensionale horizontale mesoschaalwindveld boven Nederland.

c) Noodzakelijke mesoschaalmodelontwikkelingen.

- Een model met een aantal lagen in en juist boven de grenslaag (± 10 lagen tot 500 mbar), een roosterpuntafstand van ca. 10 à 20 km over een gebied van ca. 400 bij 400 km is noodzakelijk.
- Waarschijnlijk een goede mesoschaalwindanalyse. (Het is onduidelijk hoe snel een model van een slechte analyse herstelt door middel van de interne dynamica in het model).

3.2. Mesoschaalgrenslaaghoogte en mesoschaalwolkenbasis.

a) Belang voor Nederland.

De belangrijkste toepassingsgebieden liggen in de kleine luchtvaart en de luchtverontreiniging. (Een juiste schatting van het ventilatievermogen van de atmosfeer).

b) Huidige stand van zaken.

Er wordt een quasi-objectieve 6-24 uurs voorspelling van de grenslaaghoogte en wolkenbasis gegeven.

c) Noodzakelijke mesoschaalmodelontwikkelingen.

Bij een roosterpuntmodel is een groot aantal lagen in en juist boven de grenslaag (ca. 10 lagen tot 3 km) en een roosterpuntafstand van ca. 20 km noodzakelijk. Een gebied van 400 bij 400 km lijkt voldoende.

Een redelijke 6-24 uurs voorspelling, ook met een grenslaag/trajectoriënmodel, is niet onmogelijk.

Appendix 3. A survey of different aspects of the most
important mesoscale gridpoint models

Introduction

Some characteristic aspects of the most important numerical mesoscale gridpoint models are summarized. These aspects include: Applications, mathematics (equations, variables, coördinates, domain), initial conditions, numerical features, physics and some results.

- Model : non-hydrostatic mesoscale model, 3-dim.
 Institute : Met. Office U.K.
 Literature : Tapp, M.C., and P.W. White, 1976, Quart. J. Roy. Meteor. Soc.,
 102, 277.
- Applications : test case: sea breeze (compared with Pielke-model); it is hoped
 to use it for fronts, cloud systems and topographically induced
 motion (see Carpenter, 1979, QJRMS).
 integration time: 24 hrs ; time step: 60 sec.
 computer time: 22 minutes on an IBM 360/195, for 10 hr forecast.
- Mathematics : equations : 3 equations of motion, continuity eq., thermody-
 namic eq.
 variables : u, v, w, P (Exner function $P = (p/p_s)^{R/c} P$), θ
 coordinates : x, y, z, t (no orography)
 domain : 33 x 36 ; grid distance: 11 km ; levels: 7
 upper level : 4820 m (case study)
 initial conditions : . potential temperature is analysed at all model
 levels (by interpolation from a synoptic NWP
 model).
 . pressure is calculated from θ by using the hydro-
 static approximation.
 . horizontal winds are obtained by solving the
 stationary Ekman equations (iteration procedure).
 . w is calculated by solving

$$\frac{D}{Dt} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g \right) = 0$$
, thus ensuring the maintenance
 of hydrostatic balance during the first time step.
 boundary conditions : lower : "constant flux" surface layer (75 m)
 $w = 0$ (no topography)
 upper : $\partial w / \partial t$ given by synoptic scale model.
 lateral : . the normal velocity tendencies are
 given from a synoptic-scale NWP model.
 . at inflow points the same holds for θ
 and for the tangential velocity.
 . at outflow points the tendency of θ is
 calculated by upstream advection, tan-
 gential winds are set equal to their
 values one grid point inside.
 . normal gradients for p calculated from
 the eqs. of motion l boundary.
- numerical features : staggered in space, not in time
 implicit scheme for sound waves
- Physics : orography : no
 surface exchanges : bulk aerodynamics (Clarke, 1970), Monin-
 Obukhov similarity, surface temperature
 prescribed, roughness length over sea:
 $z_0 = 0.032 u^2/g$ over land $z_0 = 4$ cm.
 turbulence : K-theory (O'Brien)
 horizontal diffusion : $K = 0.3 \delta x^2 \{ (\partial v / \partial x + \partial u / \partial y)^2 + \frac{1}{2} [(\partial u / \partial x)^2 +$
 (Leith, 1969) $(\partial v / \partial y)^2] \}^{\frac{1}{2}}$
 boundary layer height : no
 radiation : no
 clouds : no
 precipitation: no

- Model : non-hydrostatic mesoscale model, 3-dim
 Institute : Met. Office, UK
 Literature : Carpenter, 1979, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 105, 629-655.
 See also Tapp and White, QJRMS, 102, 277-296.
 The model is an extension of Tapp and White's with
 a) orography, b) variable large scale synoptic situation,
 and c) parameterization of the boundary layer.
- Applications: In the long run operational. Now: case study of a sea breeze.
 Computer time: 24 hr forecast on IBM 360/195 (not optimized)
 takes 5 hr CPU time, (and 150 k memory).
 It is expected that a complete model 24 hr run will take
 + 30 min on a CRAY 1.
- Mathematics : equations : 3 dim. equations of motion, cont. equation,
 thermodyn. equation.
 variables : u, v, $\dot{\eta}$, P (gereduceerde druk), θ
 coordinates : x, y, η , t $\eta = z - E(x,y) =$ orographic height.
 domain : 600 x 600 km, height 4 km, grid distance 10 km,
 10 levels.
 initial : See Tapp and White.
 conditions
 boundary : lower: at orography $\dot{\eta} = 0$, see paper.
 conditions upper: $\dot{\eta} =$ large-scale ω , determined from
 synoptic scale field.
 lateral: see Tapp and White.
 numerical : Implicit scheme, time step 90 S in moderate sta-
 features bility, less in convective conditions.
 Second order differences on staggered grid.
 Extension of 3-dim Arakawa's C grid.
 A time-filter is used to suppress sound waves.
- Physics : Surface exchanges through bulk aerodynamics,
 Convective adjustment by relaxation,
 Horizontal diffusion, Vertical diffusion: K-theory,
 Surface roughness: Variable,
 Boundary-layer height: stable and unstable boundary
 layer; an extra equation for h is used,
 Radiation: none,
 Clouds and precipitation: may be incorporated.
- Results : 1. Experiments with a fixed synoptic situation demon-
 strated that the sea breeze over Southern England
 could be reproduced reasonably well. No dramatic
 differences when orography was included or not.
 2. A changing synoptic situation was simulated by
 changing boundary conditions. Then the sea breeze
 was much better simulated (on June 14, 1975),
 after 18 hours.
 3. Another application of this model is given in M.J.
 Bailey et al., Meteor. Magazine 110, 147-161, 1981,
 for the Hampstead Storm, Aug. 14, 1975.
 From 06-18 GMT the model runs without any clouds.
 There results a small convergence zone between a
 sea breeze from the South and from the East. After-
 wards an observed Ac-layer is put into the model,
 intruding from the West, drifting slowly 100 km
 Eastwards between 12 and 18 GMT. This cloud layer

influences the model through the surface fluxes (the radiation is multiplied by 0.5). The model results change dramatically. At 18 GMT a sharp temperature difference exists over London with a closed cell circulation and large W-values. Main cause of this is the combined effect of the boundary of the clouded and cloudless area with the convergence zone of the sea breeze.

Conclusion: for the mesoscale convective activity the forecasting of a layer of clouds on the right time and place may be essential.

Model : hydrostatic mesoscale model, 3 dim.; many model options.
 Institute : Penn State University
 Literature : R.A. Anthes and T.T. Warner, 1978: Monthly Wea. Rev. 106, 1045-1078.
 T.T. Warner, R.A. Anthes, and A.L. McNab, 1978: Monthly Wea. Rev.,
106, 1079-1099.

Applications : Four case studies:
 1. Front + precipitation in Eastern United States
 2. Low wind speed experiment with surface forcing
 3. Thermally driven circulation
 4. Barrier flow

In Seaman, N., Otten, H., and R.A. Anthes (Proc. Coastal Zone Conf., The Hague 1982) this model is applied to the development of a polar low over the North Sea.

integration time: 12-30 hours; time step: ?
 computer time: 5000 sec/12 hrs on CDC 7600 (for exp. 2).

Mathematics : equations : 2 eqs. of motion on Lambert conformal projection,
 hydrostatic eq., thermodynamic eq., water vapor
 budget, continuity eq.
 variables : u, v, ω , ϕ , T, q
 coordinates : x, y, σ , t
 domain : variable, typically 300 x 300 km (exp. 2)
 grid : variable, typically 10 km (exp. 2)
 levels : variable, typically 12 (exp. 2)
 top of model : constant pressure surface, typically 500 mb.
 initial : .idealized (exp. 2, 3, 4)
 conditions : .realistic (exp. 1), then using observed radio-
 soundings at mandatory pressure levels, analysed
 with balance equation.
 boundary conditions : - lower : prognostic eq. for surface temperature,
 similarity profiles in the atmospheric
 surface layer, "effective" specific
 humidity at the surface.
 - upper : from observations or from larger scale
 forecast.
 - lateral : .specified from larger scale forecasts
 or from observations
 .coarse mesh surrounding fine mesh
 with two-way interacting interface.
 .specified as constant.

Numerical features : staggered grid in space, explicit scheme in time.

Physics : orography : yes
 surface : surface temperature calculated from prognostic
 exchange : equation, "effective" surface specific humidity,
 fluxes from similarity profiles in the surface
 layer or from bulk formulae, surface roughness
 specified.
 turbulence : k-model, with mixing length, stability dependent.
 horizontal : as in Smagorinsky (1965)
 diffusion :
 explicit b.l.: in case of bulk parameterization: h = height of
 height : first interior level: $h = (p_s - p_t) \cdot \Delta \sigma \cdot (1/g\rho_s)$;
 in case of high resolution boundary layer: h =
 height where $\partial\theta/\partial z > 1.3 \cdot 10^{-3}$ K/m.

radiation : surface net radiation calculated
(simple scheme)

clouds : . in conditionally stable environment:
excess water vapor over saturation is
removed and latent heat added to the
thermodynamic eq.
. in conditionally unstable environment:
cumulus convection scheme based on
water vapor convergence; interactive
cloud model.

precipitation: yes

- Model : hydrostatic mesoscale model, 3-dim.
 Institute : Exp. Met. Lab., NOAA (Now Univ. of W.-Virginia).
 Literature : R.A. Pielke, Monthly Wea. Rev. 102, 115-139 (1974).
- Applications : The first 3-dim experimental mesoscale model, applied to the sea breeze in Florida. This model is used later by several others.
- Mathematics : Usual primitive equations
 variables : u, v, w, θ, q
 coordinates : x, y, p, t
 domain : 400x400 km, height 4.8 km, grid distance 11 km, 8 levels
 initial conditions : From large scale field
 boundary conditions : lower : $u = v = w = 0$, prescribed surface humidities over land and sea
 upper : rigid lid
 lateral: $u = v = w = \partial p / \partial t = \partial \phi / \partial t = 0$.
- Physics : surface exchange : Time-varying heating function triggers surface fluxes of heat and momentum (no q -flux); variable z_0 over land and sea.
 turbulence : K-profile.
 b.-l. height: $h = 0.25 u_* / f$
 radiation : none.
- Results : After 5 hrs the model brings a well-developed sea-breeze front with vertical motions that are too strong. Model studies show that differential heating causes this effect. However the difference in roughness cannot be neglected. Pielke supposes that cumulus-development depends more on moisture convergence than on local evaporation.

Appendix 3.6

Model : hydrostatic mesoscale model, 3-dim
 Institute : Univ. of Miami, Fl., USA
 Literature : M.A. Estoque and J.M. Gross, "Further studies of a Lake Breeze, Part I and II", Monthly Wea. Rev., 109, 611-634. (1981).

Applications : The model is applied to study Lake Breezes at Lake Ontario, mainly the effects of topography and the prevailing flow. Two cases: no prevailing flow and uniform (4 ms^{-1}) southerly flow. The latter case is compared with observations.

Mathematics : Usual hydrostatic primitive equations.
 variables : $u, v, \theta, q, p^*, \sigma, \phi$
 coordinates : x, y, σ, t
 domain : $\pm 500 \times 500 \text{ km}$
 grid distance: 20 km (x-direction) 10 km (y-direction)
 levels : 5
 top : 12 km
 initial : idealized (uniform flow)
 conditions
 boundary : lower : similarity profiles in the surface layer; predictive equation for surface temperature
 upper : prescribed
 lateral: course mesh surrounding fine mesh; background flow geostrophic and stationary; cyclic conditions for the perturbations
 numerical : dynamic and thermodynamic variables staggered
 features : in the vertical; no staggering in the horizontal; simulated forward-backward scheme in time.

Physics : orography : yes
 surface : predictive eq. for surface temperature;
 exchange : constant flux layer with prescribed k ;
 turbulence : K-model (O'Brien)
 horizontal : as in Smagorinsky (1963), Mon. Wea. Rev., 102,
 diffusion : 115-139
 explicit : ?
 b.l. height
 radiation : solar radiation at the surface prescribed
 clouds : no (left out, not important in the lake breeze being studied).

- Model : Hydrostatic 3-dim model
 Institute : Japan Meteor. Agency
 Literature : Y. Yamagishi (1980), Journal of the Meteor. Soc. of Japan 58, 357-377.
 Extension of operational Japanese model (Nitta et al., J. Met. Soc. Japan 57, 308-331) with more levels in the boundary layer, and better vertical transport.
- Applications : Case studies of NW winter monsoon with large input of heat and moisture from the sea. Mainly air-mass transformation. In the near future (1981) the daily cycle will be tested.
- Mathematics : Usual hydrostatic primitive equations.
 variables : $u, v, \sigma, \theta, q, \phi$
 coordinates : x, y, σ, t
 domain : 2200x2200 km, height 100 mb,
 grid distance 63.5 km at 60°N (in near future 42.3 km), 13 levels, 35x35 grid points.
 initial conditions : balance equation and ω -equation for non-divergent wind resp.
 boundary conditions : coupled with large scale model, uses "smooth" boundary conditions (Davies, 1976).
 numerical features : leap-frog scheme, Euler backward method, vertical transfer implicitly, $\Delta t = 80$ s; surface fluxes and vertical diffusion are calculated each 400 s, moist convection each 1200 s.
- Physics : surface exchange : Monin-Obukhov similarity, $z_0 = 0.032 u_*^2/g$ over sea, T_{sea} constant, equation for surface temperature over land with daily cycle.
 turbulence : uses level 2 closure model (Mellor and Yamada)
 convective adjustment : instantaneous
 radiation : no
 clouds : no
- Results : For three days θ and q in the lowest 300 mb are compared with observations (at one point above sea). The results are not very good. Unfortunately they used sea-water temperatures in the model that differ 5°C (or 2°C) from observed values, leading to wrong surface fluxes. The predicted wind field also does not agree very well with the observations. However, Yamagishi shows clearly how flux parameterizations influence the model results and how large-scale condensation and convective adjustment affect the vertical transport (Fig. 13 and 14). He compares measured heat fluxes and evaporation with model results and concludes that the model underestimates the fluxes by more than 50%. From these experiments it can be concluded that:
- 1) it is important to initialize the wind field in the boundary layer and around mountains correctly.
 - 2) it is important to use correct sea water temperatures.
 - 3) attention must be given to the convective adjustment scheme. If this scheme acts too weakly the heating and moistening of the lowest level are too high.

Model : Several models reviewed in:
 Literature : D. Etling (1981), Mesoscale models, Thema-heft Promet 11, Heft 1.

Results : Etling gives a review of research models that calculate mainly topographically induced mesoscale systems. He gives the following categories:
 a) orography
 b) differences between land and sea (differential heating, different roughness)
 c) urban heat islands

ad a). He shows results of Buchold (1980), Annale der Meteorologie 16, 222-224, (non-hydrostatic model, grid distance 5 km), demonstrating mountain lee waves and the corresponding vertical motions. Remarkable are the windward- and leeward eddies at the mountain ridge.

Another study is done by S. Gross (1980), Ann. Met. 16, 219-221, (non-hydrostatic model, grid distance 5 km, theoretical study in the Rhine valley) who calculates the channelling effect of the flow in a valley and the daily cycle in it. Remarkable are the differences hydrostatic - non hydrostatic: in the latter the difference in wind direction with respect to the undisturbed flow is three times larger, (however no comparison with reality is given). The same type of problem is studied by H.J. Koppert (1980), Ann. Met. 16, 134-136, and F. Wolbaum (1980), Ann. Met. 16, 112-115.

ad b). The model of Pielke is used by Rohner (H. Rohner, Anwendung des Virginia Mesoscal Model für das Norddeutsche Küstengebiet, Thesis, FU Berlin) to simulate land/sea differences at the German Coast. He finds no strong sea-breeze fronts due to the strong synoptic winds. However, in his model results an initial SE wind (of 7.5 m/s), veers 20-30°, simultaneously decreasing, at the North Sea. This is further studied by Blumhagen (1980), Ann. Met. 16, 109-111 (grid distance 8 km, 33x36 grid points, 7 levels below 5 km, hydrostatic, surface fluxes, radiation, condensation). He compares with observations: the results are questionable.

ad c). The influence of St. Louis (USA) on the undisturbed flow (F.M. Vukovich (1976), J.A.M. 15, 417-440) is studied with a hydrostatic model. Extra heating, large roughness. The same type of results as with sea-breeze models. Strong vertical motions over the city.

- MODEL : hydrostatic primitive equation subsynoptical model 3dim.
- INSTITUTE : EERM - Direction de la Météorologie - FRANCE.
- LITTERATURE : No specific paper available but the main features can be found in COIFFIER et alii - PROJET AMETHYSTE, cahier n° 1, Note EERM 36, Octobre 1979 (Dynamics) - LEPAS et alii - PROJET AMETHYSTE, cahier n°3, Note EERM 56, Mars 1980 (Physics).
- APPLICATIONS : Adaption up to 27h of the 24h large scale forecasted fields (10-level version).
Short range forecasting model from 0 to 24 hours. Local forecasting of various parameters (Tmin, T max, Surface wind) with the 15- level version.
- MATHEMATICS : Equations : 2 eqs of motion, continuity eq, thermodynamic eq, water vapor mixing ratio eq., hydrostatic eq.
Variables : pronostic: $U = \frac{u}{m}$, $V = \frac{v}{m}$ (m scale parameter),
T, q, ps = surf. pressure; diagnostic : σ = generalized vertical velocity.
Coordinates : t, x, y, $\sigma = p/ps$.
Domain : On a polar stereographic projection $\Delta x = 38.1$ km at 60°N. Geographical extension 51x51 points - 15 levels.
Upper level : $p = 0$.
Initial conditions : Now : Interpolation from large scale analysis
Then : Small scale analysis followed by non-linear normal mode initialization.
Boundary conditions : upper : $\dot{\sigma} = 0$ at $\sigma = 0$
lower : $\dot{\sigma} = 0$ at $\sigma = 1$ ($p = ps$)
lateral : Davies-Kallberg's relaxation boundary conditions.
Numerical features : Arakawa's C - grid (space staggered)
Second order centered finite differences in space and time
Semi implicit time integration (gravity waves implicitly treated ; implicit scheme for vertical advection and diffusion).
- PHYSICS : Orography : yes.
Surface exchanges : Monin-Obukhov modified theory in order to have non-zero fluxes for $Ri = 0$.
Surface temperature : calculated from prognostic equation (Bhumralkar 1975).
Surface water content : 2 prognostic eqs for 2 quantities.
Diffusion : horizontal : non linear for psU, psV, θ and q
vertical : K theory ; stable case : mixing length ;
unstable case K =
Radiation : Rough features (emissivities, cooling to space approximation; applied every time step - Clouds : diagnostic relationship between humidity and cloud cover.
Precipitation : yes (Kessler 1969).
Convection : Kuo scheme (1974).
- RESULTS :
: - Daily 27 hour forecasts given by the 3 hours adaptation model (10- level version).
The wind vectors at the lowest level are used by the forecasters.
- 24 h forecasts with the 15- level model on test cases;
Study of cyclogenesis over Genoa Gulf and orographic effects over the Alps.

- MODEL** : hydrostatic mesoscale model 3 dim.
- INSTITUTE** : EERM - Direction de la Météorologie - FRANCE.
- LETTERATURE** : C. BLONDIN (1979) - Proceedings of the 1st symposium on Physico-Chemical Behaviour of Atmospheric Pollutants pp. 479-491.
- APPLICATIONS** : Thermally and topographically induced motion.
Test case : study of strong winds in the Rhône Valley (France).
- MATHEMATICS** : Equations : 2 eqs of motion, hydrostatic eq., continuity eq., thermodynamic eq., budget for water vapor mixing ratio.
Variables : prognostic $u, v, \theta, q = q_v + q_l, s$ (height of the upper boundary)
diagnostic $\pi = C_p \left(\frac{p}{p_{00}} \right)^{R/C_p}, w^*$.
Coordinates : $t, x, y, z^* = \bar{s}(z - z_g)/(s - z_g)$
(z_g = orographic height).
Domain : geographic extention, number of vertical levels and grid distance : variable ;
typically $400 \times 400 \text{ km}^2, \Delta x = \Delta y = 8 \text{ km}, 15 \text{ levels}$
Upper level : constant standard pressure level depending on study case and orographic context (500 mb or 200 mb)
Initial conditions : based on radar wind and radiosounding analysis.
Boundary conditions : lower : $u = v = w^* = 0$;
upper : $\pi = \text{cte } \partial \theta / \partial z = 0$;
lateral : two possibilities depending on study case
- open boundary conditions ;
- Davies type conditions .
Numerical features : Arakawa's C grid .
Second order centered finite differences in space and time
Semi-implicit scheme (external gravity wave and vertical diffusion implicitly treated).
- PHYSICS** : Orography : yes.
Surface exchanges : Monin-Obukhov theory giving u^*, θ^*, q^* .
Surface temperature : calculated from prognostic equation .
Diagnostic surface humidity content .
Diffusion : horizontal : Leith coefficient (1969) .
vertical : K theory (J.F. Louis 1979).
Radiation : complete and cloud interaction scheme (Geleyn 1978).
Clouds : $N = 1$ in a grid cell if $q_l > 0$.
Precipitation : No.
- RESULTS** : Studies on the wind structure in the french Rhône Valley show the effect of high inversion layer on flow pattern.
Good description of Mistral phenomena for fixed synoptic situation.

The parameterization of cumulus clouds in mesoscale models

References

On parameterization:

- Miyakoda and Sirutis (1977), Beitr. Phys. Atmos., 50, 445-487.
Haltiner and Williams (1980), Numerical prediction and dynamic meteorology, second edition, Wiley.
Pielke (1981), Mesoscale numerical modelling, in Advances in Geophysics, Academic Press.

On convective adjustment:

- Manabe, Smagorinsky and Strickler (1965), Mon. Wea. Rev., 93, 769-798.

On one-dimensional cloud models:

- Kuo (1974), J.A.S., 31, 1232-1240.
Arakawa and Schubert (1974), J.A.S., 31, 674-701
Anthes (1977), Mon. Wea. Rev., 105, 270-286.
Fritsch and Chapell (1980), J.A.S., 37, 1722-1733.

On explicit description of thermodynamics of moist air:

- Yamasaki (1975), Pap. Meteor. Geophys., 26, 63-91.
Rosenthal (1978), J.A.S., 35, 258-271.

In contrast to stratiform clouds, cumulus clouds have in general smaller horizontal dimensions and show an irregular pattern of vertical motions. With the possible exception of cumulonimbus clouds, they fall within the horizontal grid distances of a mesoscale model. Another characteristic is that the vertical extension of a cumulus cloud depends rather on the convective instability than on the vertical motions on the mesoscale (once condensation has started). In combination with effects as precipitation, gustiness of the wind, shadowing, and induced subsidence an accurate representation of the influences of cumulus clouds on the mesoscale is and will be one of the most important and difficult problems.

For a description of cumulus clouds in a mesoscale model, this model has to recognize and control the dynamic and thermodynamic structure of regions where this "moist convective" activity can initiate and further develop.

The methods which are used to describe (or parameterize) cumulus clouds are in increasing order of sophistication:

- * convective adjustment;
- * application of one-dimensional cloud models;
- * explicit description of thermodynamics of moist air.

In the first of these methods the temperature profile is made moist adiabatic in that part of a vertical column in which saturation occurs. Although in this way cumulus convection can be recognized, the control of their development is minimal, since the areas with conditional instability are removed instantaneously. There is no interaction with the mesoscale model in the sense that the horizontal flow pattern is not influenced directly by the parameterization.

In the second method this interaction is realized by a one-dimensional model. A splitting technique is used by which the dry adiabatic part of the equations is solved in alternation with the moist adiabatic part. It is assumed that the vertical distribution of the heating within clouds is essentially the same as the one within the volume of a grid column. A shortcoming of these methods is that arbitrary assumptions have to be made concerning the size of clouds, the ratio between cloudless and clouded areas, the equilibrium relations between clouds and the mesoscale, etc.

Since the time-scale of mesoscale phenomena and cumulus clouds is of the same order of magnitude, the supposed equilibrium does not exist. By comparison of simulations of three-dimensional cloud models with data sets, the prediction equations relating cumulus clouds and mesoscale phenomena may be found. Research on adequate parameterizations in this class is undertaken actively. Most one-dimensional models are relatively simple and require only a limited amount of computer time, which is a sine qua non for operational implementation.

In the third method the thermodynamics of moist convection are calculated explicitly on a fine-mesh ($\Delta x = 20$ km) grid implemented in areas where this convection is possible. In this way a strong coupling between clouds and mesoscale systems comes into the picture. A disadvantage of this method is that up till now it has been formulated on a grid with a non-uniform column distance: moist convection activity is controlled but to a lesser extent recognized.

Appendix 4. Mesoscale Analyses.

Literature: Proc. IAMAP-symposium Hamburg, 25-28 August 1981.

Impact of mesoscale analysis en mesoscale-model predictions.

- R.A. Anthes, E.Y. Hsie, D. Keyser and Y.H. Kuo. Impact of data and initialisation procedures on variations of vertical motion and precipitation in mesoscale systems. (pp. 245-257).
A 2-dimensional model of frontogenesis is used to investigate the role of initial moisture, temperature-, divergence- and vorticity-fields on mesoscale precipitation predictions. It turned out that over a 15-hour forecast period the mesoscale precipitation prediction did not depend strongly on mesoscale detail in the initial conditions. The sensitivity of a 3-dimensional model also has been studied. The 12-hour forecast is not sensitive to the initial divergent wind field. However, the model is sensitive to variations in the temperature and moisture fields. The use of balanced rather than observed temperatures leads to a significantly worse prediction of precipitation and circulation because of the associated error in the initial static stability and moisture fields.
- T.C. Tarbell, T.T. Warner and S.W. Wolcott. The initialisation of a mesoscale weather prediction model using satellite and precipitation data (pp. 259-264). A mesoscale analysis procedure that uses the radiosonde network, mesoscale satellite information, synoptic data is developed to determine the initial mesoscale moisture and divergence wind fields. (The procedure is also able to use radar data). It turned out that the predicted precipitation rate was significantly improved (especially the first 6 hours of the 12-hour forecast period) when these initial mesoscale fields were used in the 3-dimensional mesoscale forecast model of Anthes et al.

New mesoscale analysis techniques.

- Satellite radiances.
J.R. Eyre. Improvement of humidity analyses by direct use of Meteosat water vapour channel radiances. (pp. 63-66).
Satellite-radiances are compared with radiances calculated from initial estimates of atmospheric temperature and humidity fields. The differences are used to improve the analyses of those fields. This technique has been applied to the analysis of humidity in the middle and upper troposphere using Meteosat water vapour channel data. However it seems a powerful technique, applicable to mesoscale middle and lower water vapour radiances as well.
- Satellite winds.
D.K. Lee and D.D. Houghton. Utilizing satellite wind data in a mesoscale numerical model (pp. 265-270).
High resolution satellite wind data are incorporated in a mesoscale model. One case study shows not much improvement in a 6-hour forecast.
- Radar data.
Radar rain data can be used in mesoscale analysis scheme as described by Tarbell, Warner and Wolcott. (See before).
Radar wind data (with a much better resolution than satellite wind data) may be obtained from a technique described by:
C.G. Collier, Objective rainfall forecasting using data from the United Kingdom weather radar network (pp. 201-206).

Collier describes a technique used for very short-range forecasting (a few hours ahead). He uses two radar-pictures at 15 minutes intervals and derives winds. These winds are used in very short range forecasting, but (as they are not the winds of the system as a whole, but of some significant features of the cloud-system itself) may also be used in the meso-scale wind field analyses.

- Surface wind data.

J. Wieringa (KNMI) developed a technique to upgrade surface wind data in a way that they can be used in a mesoscale wind analysis.

- Analysis on isentropic surfaces.

One possible way to proceed in mesoscale modelling is calculating the meteorological variables above the boundary layer on isentropic surfaces instead of pressure surfaces. The advantage is that frontal zones are better described on isentropic surfaces and in the isentropic analysis scheme less information is lost.

E. Reimer at the Freie Universität of Berlin developed a 3-dimensional isentropic analysis: He developed correlation functions from radiosondes and surface observations. These functions are used throughout the troposphere. Literature: E. Reimer, *Contr. to Atm. Phys.* 53, (1980), 311-336.

E. Reimer, *Annale der Meteorologie* 16, (1980), 149-151.

Appendix 5. Meso-scale model development at different meteorological services.

Literature: Numerical Weather Prediction Progress Report for 1980.

Australia: - A moveable fine mesh (MFM) primitive equation model has recently been constructed. The MFM model is 'doubly nested' consisting of an exterior grid covering the Australian region and an interior moving grid capable of meso-scale resolution. The MFM-model includes topography and parametrisation for convection, boundary layer fluxes and internal viscosity. The MFM-model is currently (1980!) undergoing preliminary evaluation in case studies involving the simulation of 'southerly busters' or intense frontal discontinuities along the south east Australian coast.

- An important complementary initiative is the development of a local capability to retrieve high resolution temperature soundings from the Tiros-N satellite.

France : - A 36-km mesh 10-level primitive equation model (the AMF-model) is imbedded in a 10-level hemispheric model. The AMF-model provides forecasts adapted to the geography of France: The wind-vectors at 500 m above the terrain and cumulative precipitation over three hours. It works on a operational basis daily since August 1980.

- In 1980 a project named PERIDOT started. PERIDOT is a french acronym for Short-term Forecasting Integrating Observed and Teledetected Data. Under this project research will be carried out in the fields of data retrieval (TOVS satellite radiances), analysis, initialisation and forecasting. In 1980 the following progress was made:

The non-linear normal mode initialisation has been adapted for the first time to a model of limited dimensions. The method has been succesfully tested on the AFM-model. However the boundary conditions were simplified. Two cases of cyclogenesis have been studied in forecasts up to 12 hours ahead. An adaptation of a 15-level model to the PERIDOT project is in progress.

West-Germany:- A mesoscale model (channel version, grid length 63.5 km) containing the full hydrological cycle has been tested. The model contains a thermodynamic balance between water vapour and cloud water, it makes differences between fluid and solid precipitation, and the moist convection scheme uses within a convectively unstable area convective cells of different cloud top heights. A construction of a "Europe-version" of the model/a larger area with a nested model imbedded) is in progress. Only after 1983 when a new computer system will be installed the model will become operational.

- The analyses for this regional model will be developed at the Freie Universität at Berlin.

Japan : Sea appendix ^{3,7}, Y. Yamagishi.

United Kingdom : In 1980 the following report was made:
- Mesoscale analysis.

Work is in progress on the development of an objective method of distinguishing between air masses that have different characteristic properties, by making use of satellite observations and conventional upper air and surface reports (including current weather, visibility and cloud).

Work on mesoscale initialisation techniques has advanced along two main lines. First, a static initialisation has been developed as an extension of quasi-geostrophic ideas and including boundary layer effects, and orographic and non-adiabatic forcings. Secondly, an attempt is being made to closely combine the functions of analysis and initialisation in a single 4-dimensional balanced analysis, in which recursive filters (in time and space) are applied both to disperse the information from observations to grid points and to mutually adjust fields towards a balanced state. This method will run independently of a prognostic model.

- Mesoscale modelling.

Several experiments have been made on the numerical formulation of the model, mainly to find combinations that ensure greater numerical stability. The application of a simple energy-absorbing upper boundary condition appears to give more reliable pressure patterns. The neutrally stable acoustic modes of the model can be damped by a change in the semi-explicit scheme, substantially reducing noise in the pressure fields and stabilising the dynamics over orography. Replacing the central leap-frog advection by a second-order accurate single step Lax-Wendroff method has improved certain advection characteristics of the model.

A version of the model which incorporates the anelastic approximation (neglecting adiabatic compression in the continuity equation) appears to run satisfactorily with a longer time-step. It is being compared with the fully compressible version to assess the validity of the approximation.

A boundary layer turbulence parametrization scheme for the model, based on a prognostic turbulent energy equation, is being developed; the diffusion coefficients can then be determined from the turbulent energy using theoretically derived formulae.

The model is being used to simulate the low-level wind field (on a 1.6 km horizontal grid) over the Islands of Oahu (Hawaii), and Gotland (Sweden), and over a mountainous desert area in Nevada (USA). This work is a contribution to an international model-comparison project organised by the International Energy Agency to assess the feasibility of using numerical models to identify optimum sites for wind turbine generators. Further case studies to assess the quality and potential applications of mesoscale model forecasts are planned.

United States: In 1980 NMC had no special mesoscale projects.