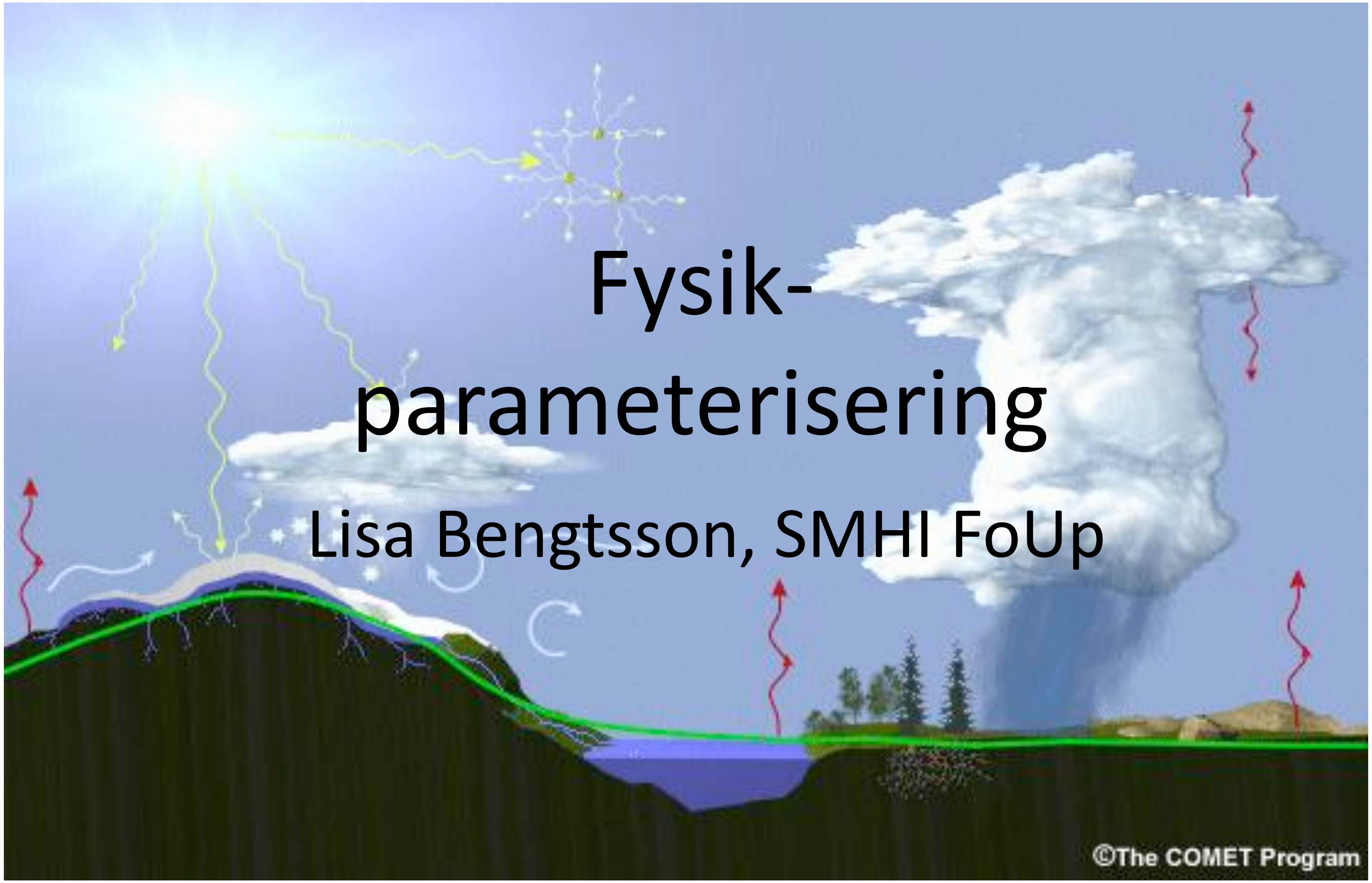
Fysik-parameterisering

Lisa Bengtsson, SMHI FoUp



Varför parameterisering

Wind Forecast Equations

1a. $$\frac{\partial u}{\partial t} = -u\frac{\partial u}{\partial x} - v\frac{\partial u}{\partial y} - \omega\frac{\partial u}{\partial p} + fv - g\frac{\partial z}{\partial x} + F_x$$

1b. $$\frac{\partial v}{\partial t} = -u\frac{\partial v}{\partial x} - v\frac{\partial v}{\partial y} - \omega\frac{\partial v}{\partial p} - fu - g\frac{\partial z}{\partial y} + F_y$$

Continuity Equation

2. $$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0$$

Temperature Forecast Equation

3. $$\frac{\partial T}{\partial t} = -u\frac{\partial T}{\partial x} - v\frac{\partial T}{\partial y} - \omega\left(\frac{\partial T}{\partial p} - \frac{RT}{c_p p}\right) + \frac{H}{c_p}$$

Moisture Forecast Equation

4. $$\frac{\partial q}{\partial t} = -u\frac{\partial q}{\partial x} - v\frac{\partial q}{\partial y} - \omega\frac{\partial q}{\partial p} + E - P$$

Hydrostatic Equation

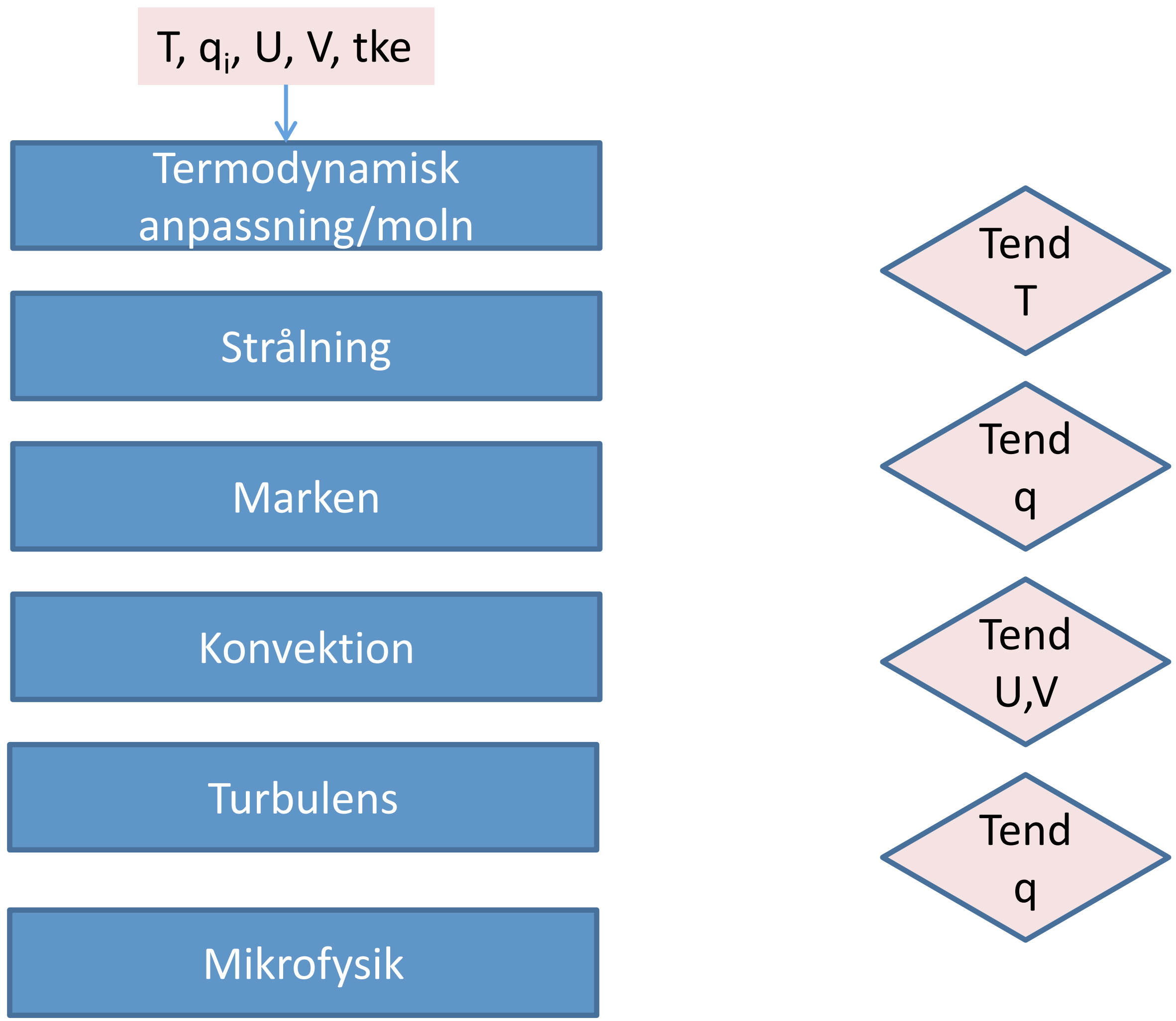
5. $$\frac{\partial z}{\partial p} = -\frac{RT}{pg}$$

Fysikaliska processer som är mindre än modellens gridavstånd beskrivs som funktion av de storskaliga variablerna U, V, W, T, q, p.

1. Den totala effekten av dessa ”sub-grid” processer påverkar den totala utvecklingen av de upplösta modellekvationerna.

2. Det finns ”väder” på ”sub-grid” skalan som är av intresse för meteorologen. T.ex stratocumulus moln, regn/snö, dimma…

Viktiga fysikprocesser

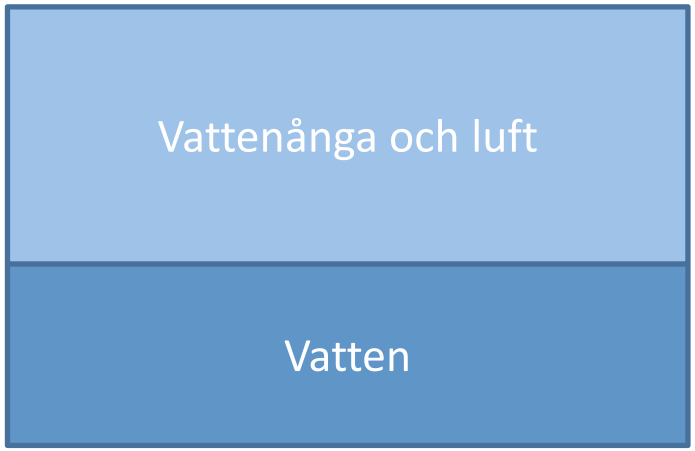


Moln




Vattenånga och dess termodynamiska effekt

- I atmosfären finns vatten i alla tre faser: fast, flytande och gas. I gasform följer vattenånga den allmänna gaslagen.
- $e = \rho_v R_v T$
- e = ångtryck (hPa)



Vid en viss temperatur uppstår jämvikt mellan avdunstning och kondensation. Utrymmet med vattenånga och luft sägs då vara mättat.

Trycket som uppstår pga vattenångan vid mättnad kallas mättnadsångtryck (saturation vapour pressure).

Termiskt sluten behållare

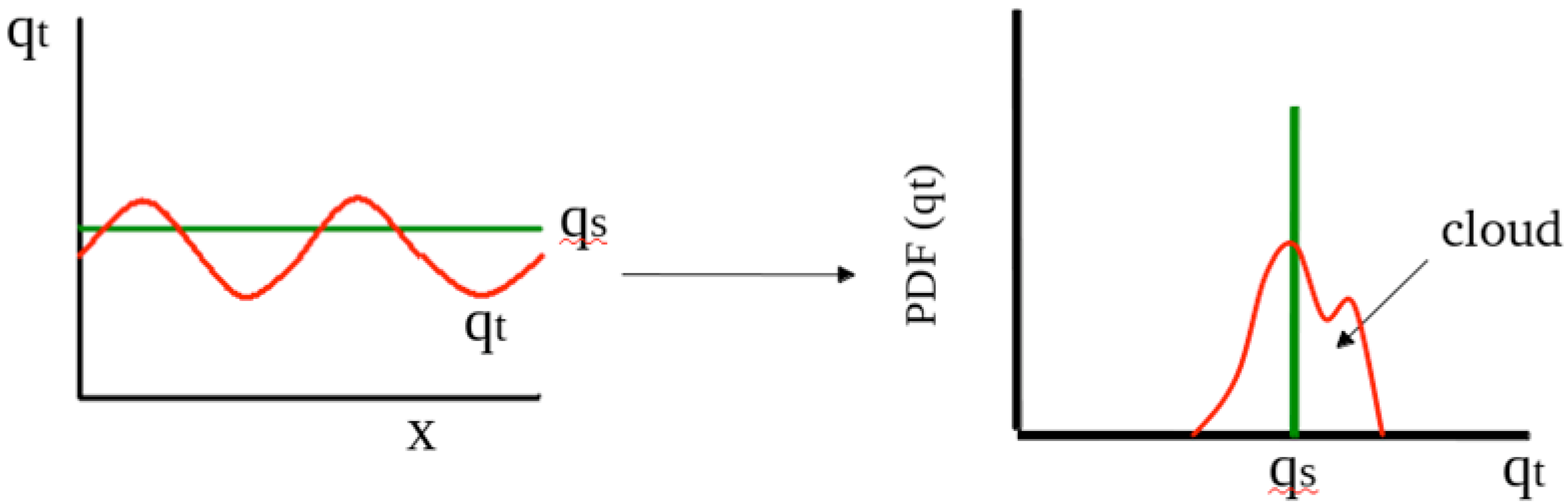
Clausius-Clapeyron förhållandet

- Mättnadsångtrycket beror enbart på temperaturen.
- Det leder till en viktig differentialekvation kallad ”Clausius-Clapeyron” ekvationen:
- $$\frac{de_s}{dT} = \frac{Le_s}{R_v T^2}$$

T (° C)	e_s (Pa)	e_i (Pa)	L_v (10^6 J kg^{-1})	L_s (10^6 J kg^{-1})
-40	18.9	12.8	2.603	2.839
-20	125.5	103.3	2.549	2.838
0	611.2	611.2	2.501	2.834
20	2339.4		2.453	
40	7384.3		2.406	

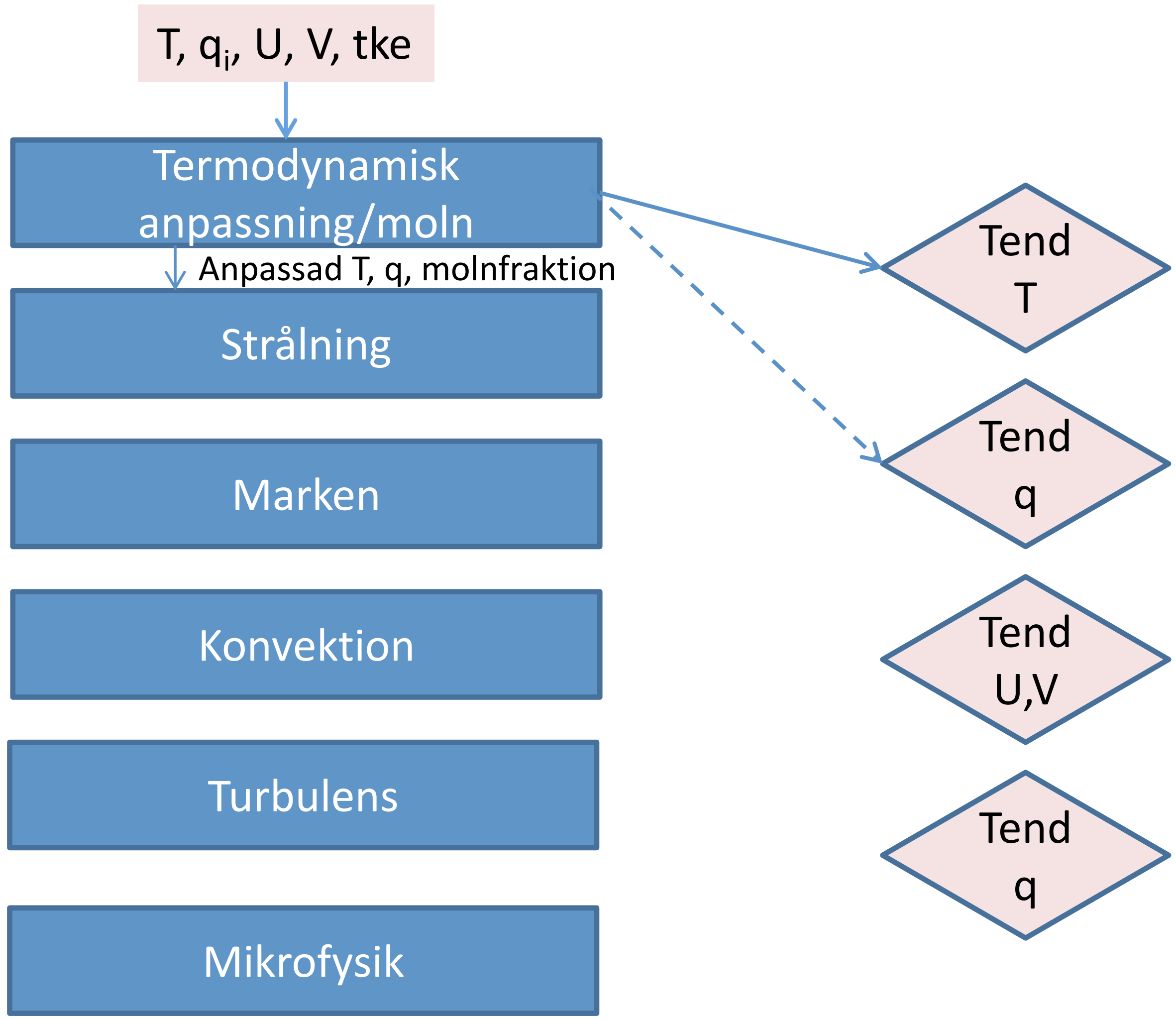
- $q_s(T,p) = \varepsilon \frac{e_s(T)}{p}$ Saturation specific humidity (kg/kg)

Moln

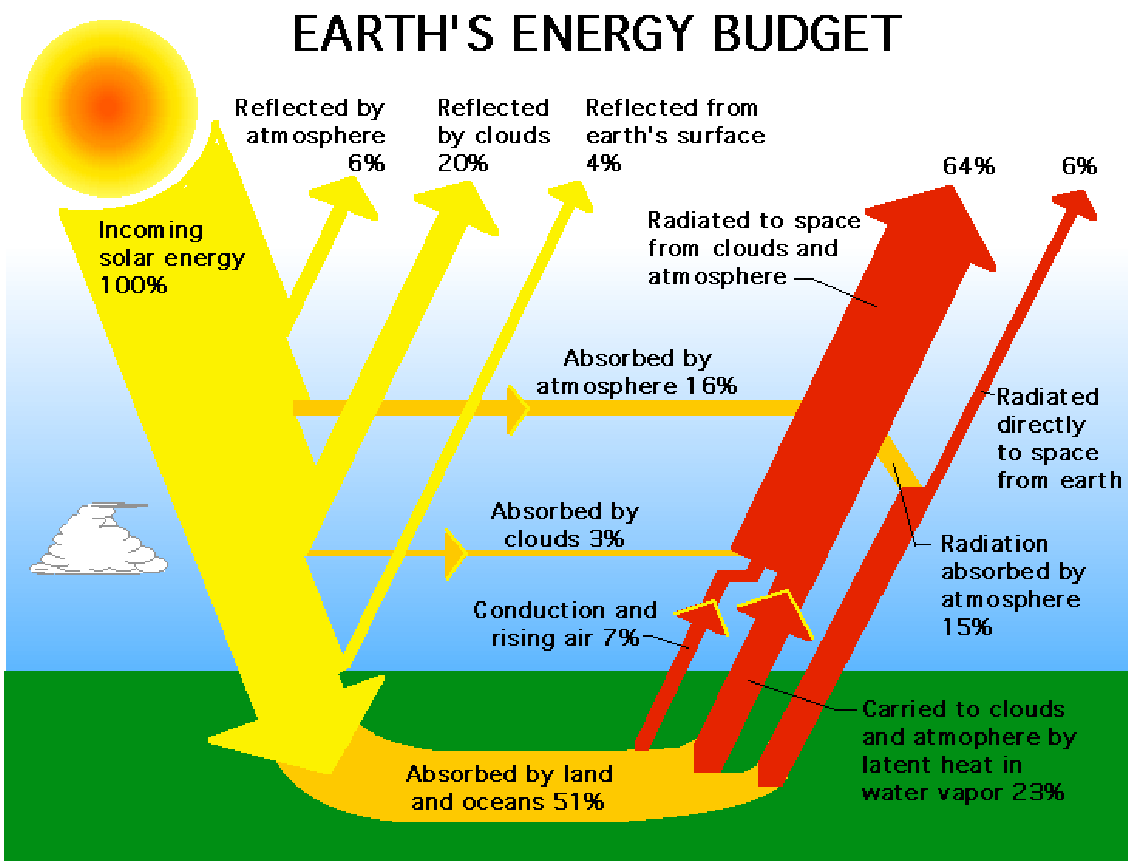


- Anta att det finns en inhomogen fördelning av vattenånga och temperatur inom en gridruta.
- Delar av gridrutan bli mättad och bildar moln om den relativa fuktigheten överstiger ett angivet kritiskt värde.
- Moln kan alltså bildas även om medelvärdet av gridrutans relativa fuktighet är mindre än 100%, och molnfraktionen i gridrutan blir ett värde mellan 0 och 1.

Viktiga fysikprocesser

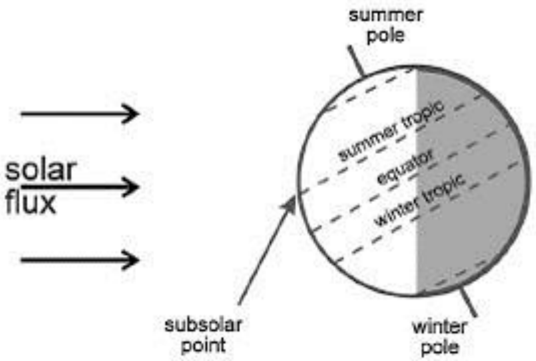


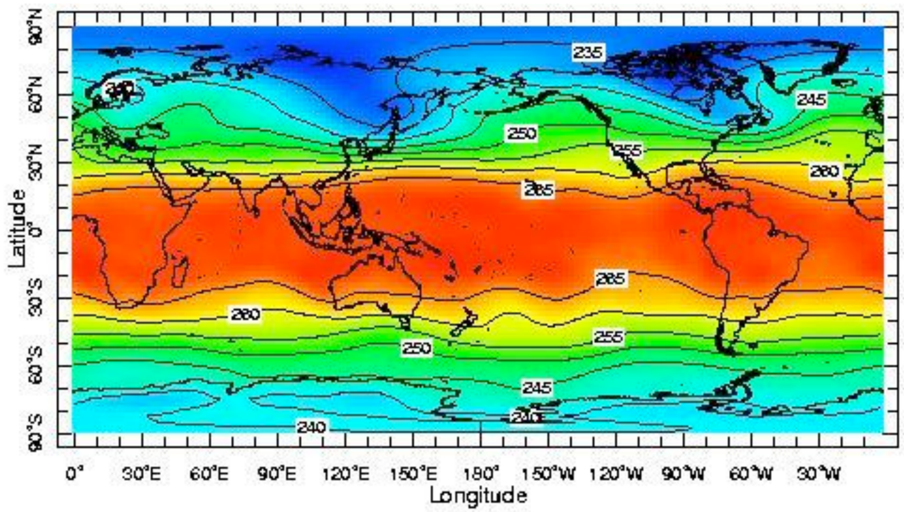
Strålning



- Totalt sett blir detta en strålningsbudget som i genomsnitt är
  - Större för markytan än för atmosfären
  - Större för låga latituder än för höga

Strålning



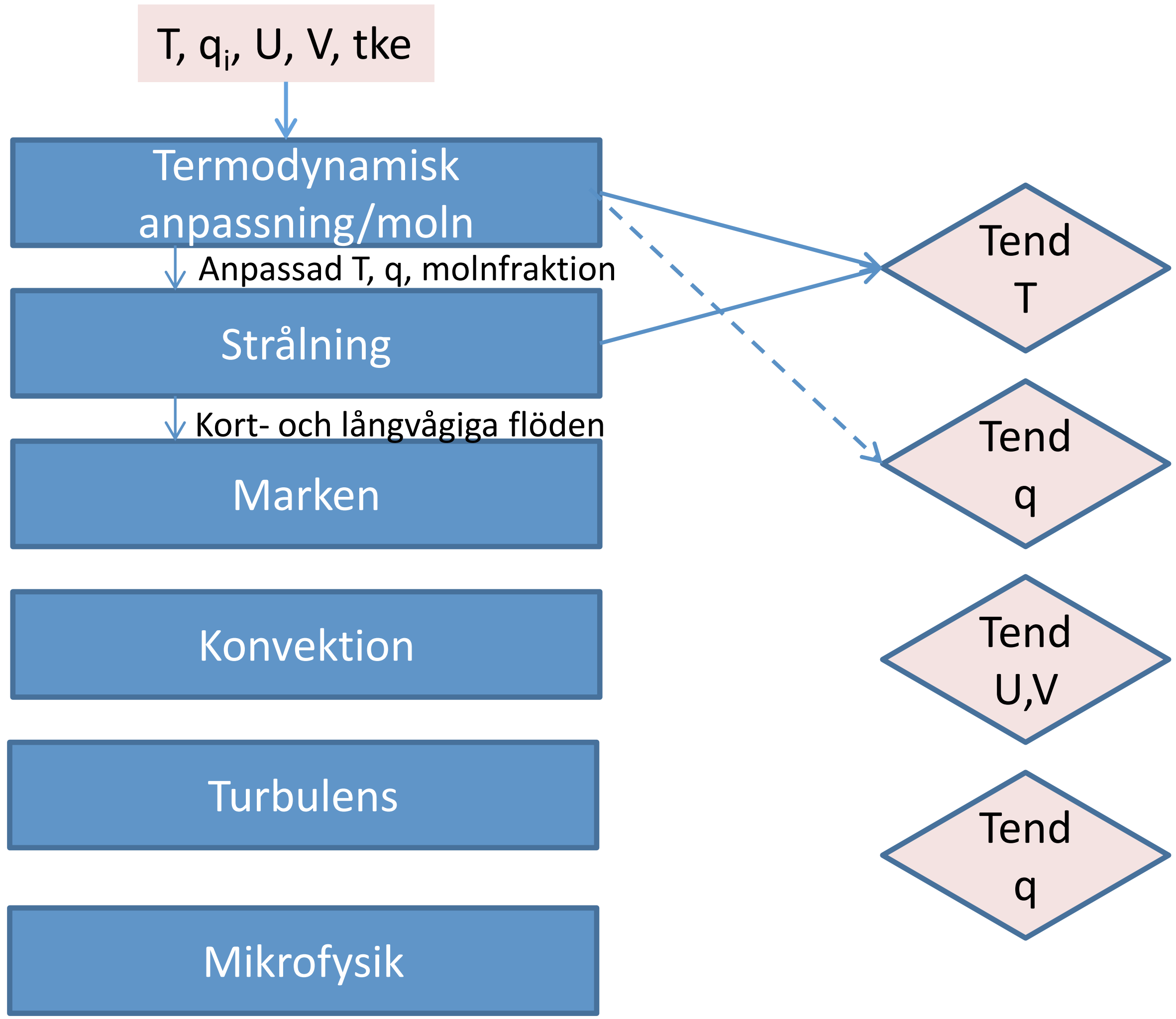


Pressure 500 mb Time Jan 2004

Det vi vill beskriva i en strålningsparameterisering är:

- Lång- och kortvågig strålningstransport för en atmosfär med och utan moln (med och utan aerosoler).
- Strålningsutbytet vid marken.
- Hur den vertikala och horisontella fördelningen av molnfraktion och molnvatten påverkar strålnings flöden.

Viktiga fysikprocesser



Markparameterisering

Marken är ett nedre randvillkor i den numeriska vädermodellen.

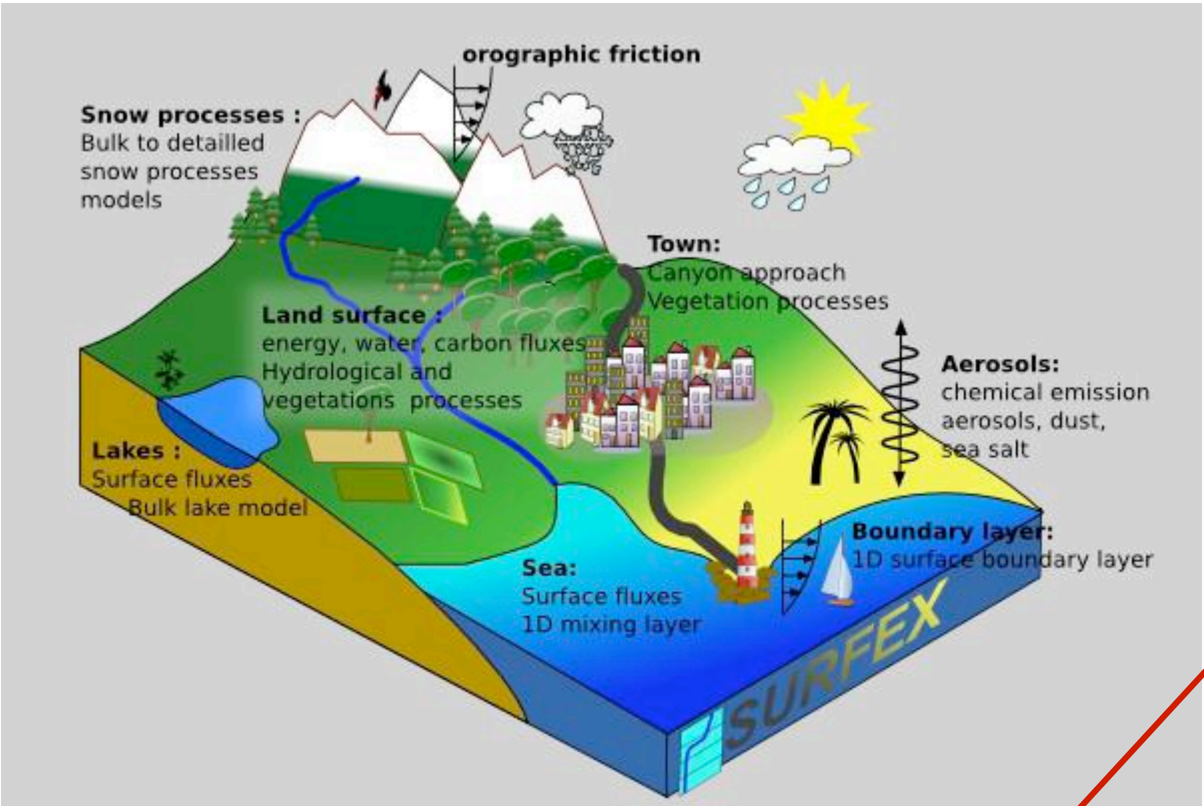
- Beskriva flödet mellan mark och atmosfär.
- För att göra det behöver man beskriva processer nära, på, och under markytan.
- Ge input till strålningsschemat (albedo, emissivity, Ts).

Exempel: Det latenta flödet från mark till atmosfär innebär att den energi som åtgår för att avdunsta vatten på markytan, återfås senare i atmosfären då vattenångan kondenserar högre upp i atmosfären, s.k. konvektion (cumulusmoln).

Exempel på inhomogen fördelning av fysiografi i en gridruta

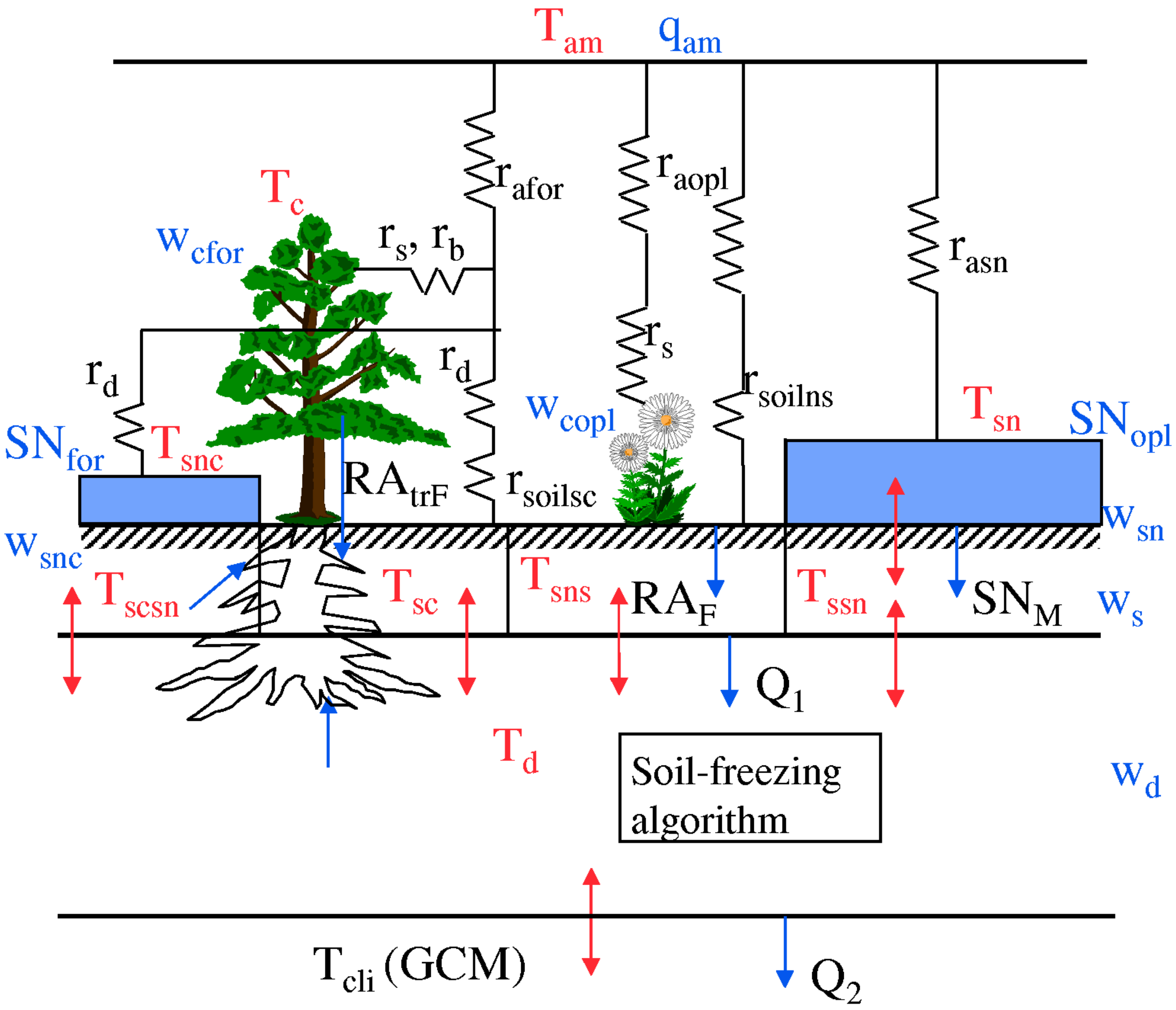
SURFEX

ECOCLIMAP

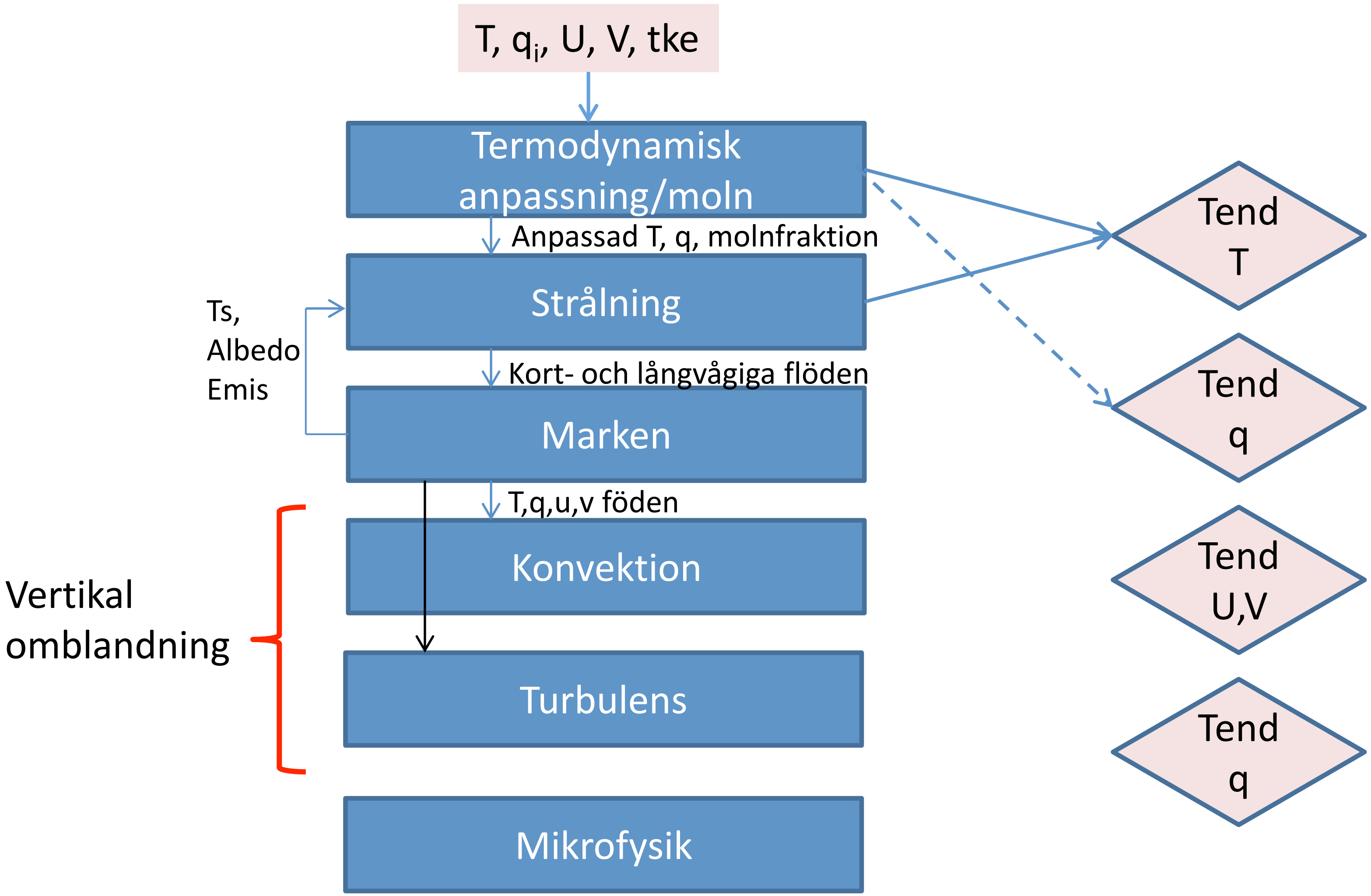


12	
1	NO
2	ROCK
3	SNOW
4	TREE
5	CONI
6	EVER
7	C3
8	C4
9	IRR
10	GRAS
11	TROG
12	PARK

Markparameterisering



Viktiga fysikprocesser



Konvektion

- Med konvektion i atmosfären menas: ”termiskt driven cirkulation, som uppstår då tyngdkraften verkar på en instabil vertikal fördelning av massa”.
- Spontan
  - “Buoyancy” driven (Arkimedes princip)
  - Den uppåtriktade kraften beror främst på lokala densitetsvariationer
- Forcerad
  - Icke-Buoyancy-driven
  - Den uppåtriktade kraften beror främst på den dynamiska tryckgradient

Arkimedes princip

- Ett föremål nedsänkt i vätska påverkas av en uppåtriktad kraft, som är lika stor som tyngden av den undanträngda vätskan
- Den uppåtriktade kraften kallas “buoyancy”

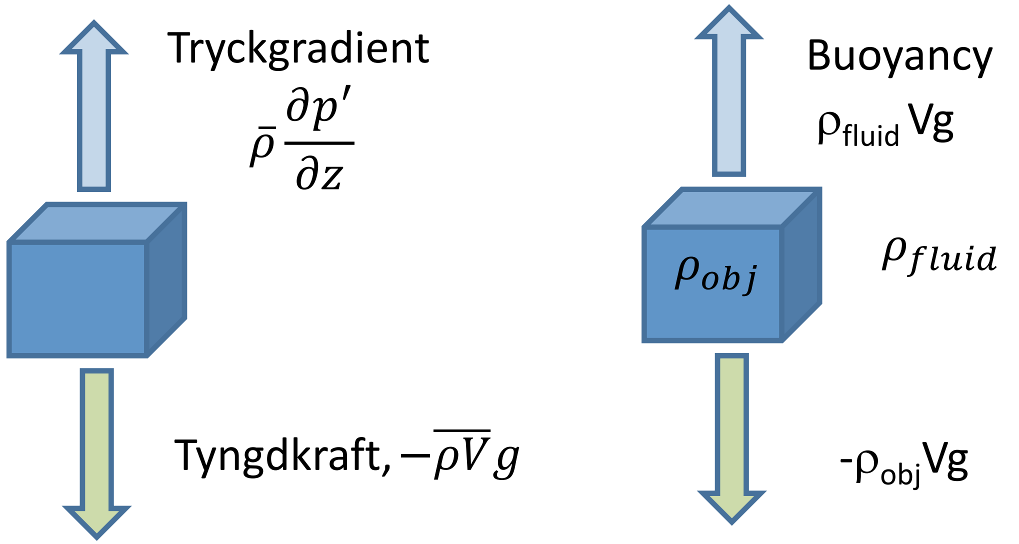
Konvektion

Tidsderivata för vertikalhastighet

$$\frac{dw}{dt} = -\bar{\rho}\frac{\partial p'}{\partial z} - g\left(\frac{\rho'}{\bar{\rho}}\right) \qquad p = \bar{p} + p' \qquad \rho = \bar{\rho} + \rho'$$

Buoyancy

$$B \equiv -g\left(\frac{\rho'}{\bar{\rho}}\right) \qquad B \approx g\left(\frac{T'}{\overline{T}}\right)$$



Spontan konvektion

Resulterande kraft: $\rho_{fl} V g - \rho_{obj} V g = (\rho_{fl} - \rho_{obj}) V g$

Den resulterande kraften är uppåtriktad om $\rho_{fl} > \rho_{obj}$

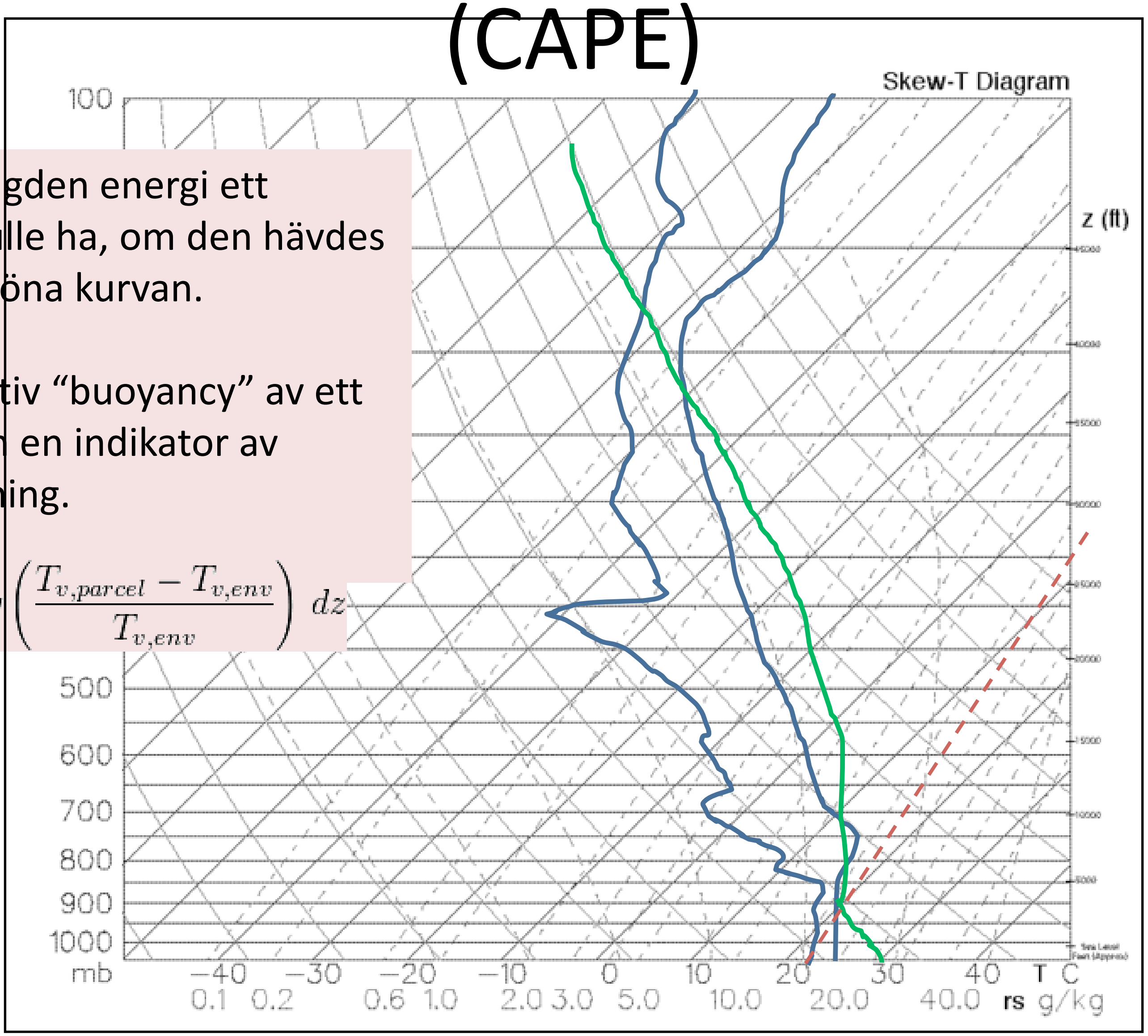
Den resulterande kraften är nedåtriktad om $\rho_{obj} > \rho_{fl}$

Convective Available Potential Energy (CAPE)

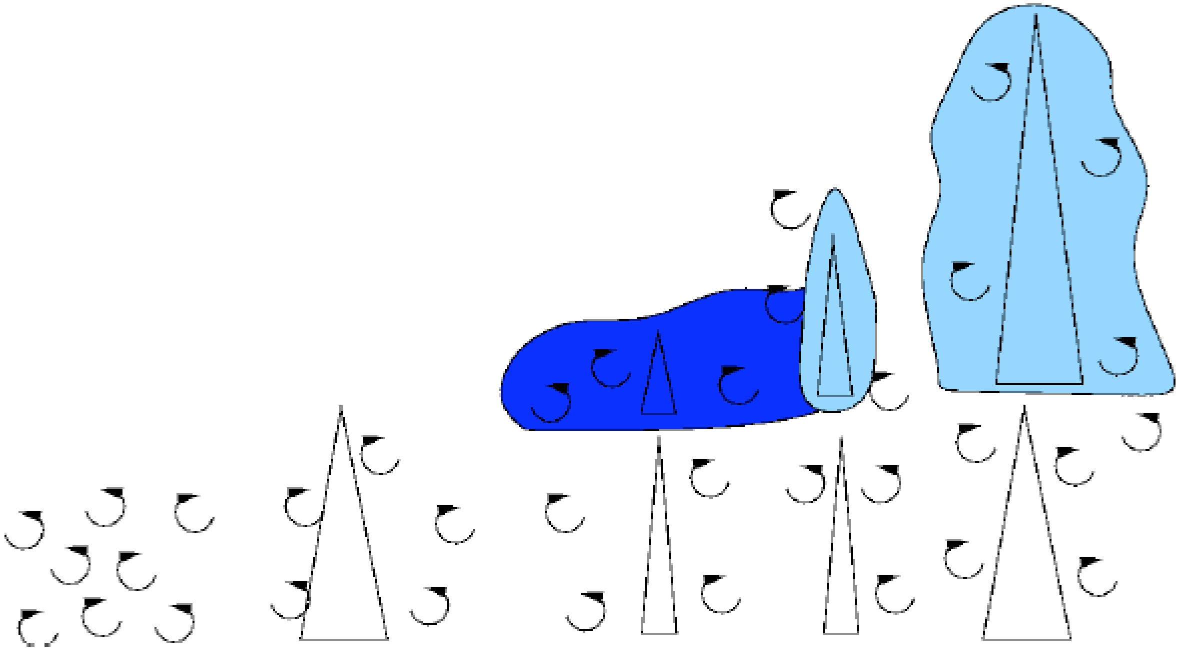
CAPE är mängden energi ett luftpaket skulle ha, om den hävdes enligt den gröna kurvan.

CAPE är positiv “buoyancy” av ett luftpaket och en indikator av ostabil skiktning.

$$CAPE = \int_{z_f}^{z_n} g \left(\frac{T_{v,parcel} - T_{v,env}}{T_{v,env}} \right) dz$$



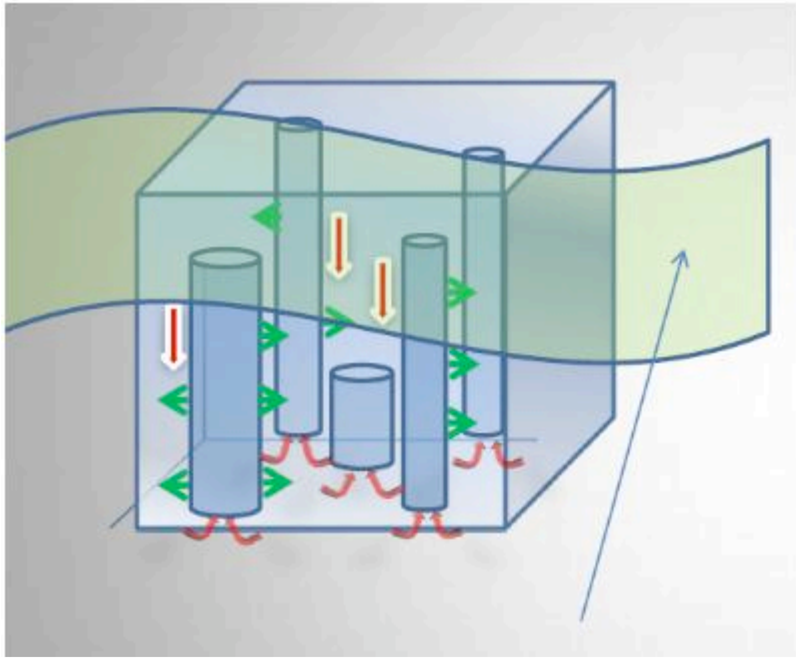
Konvektion



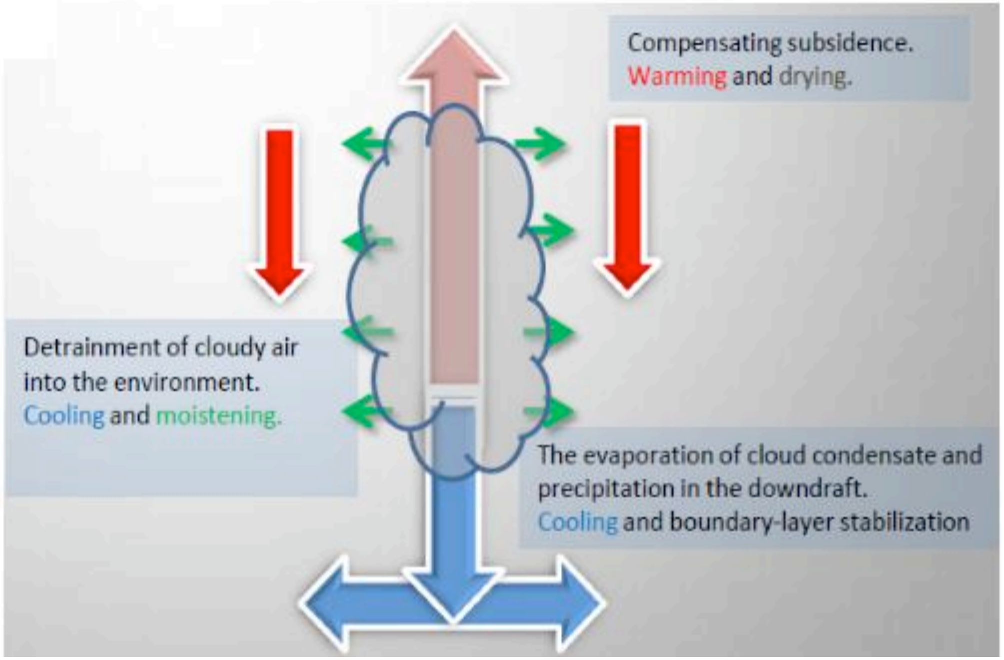
$$\overline{\rho}\frac{\partial\overline{\psi}}{\partial t}\ subgrid = \underbrace{-\frac{\partial\overline{\rho w'\psi'}}{\partial z}}_{transport} + \underbrace{\overline{S'}}_{e.g.\ microphysics}$$

The RHS terms have to be parametrised.

Massflöde



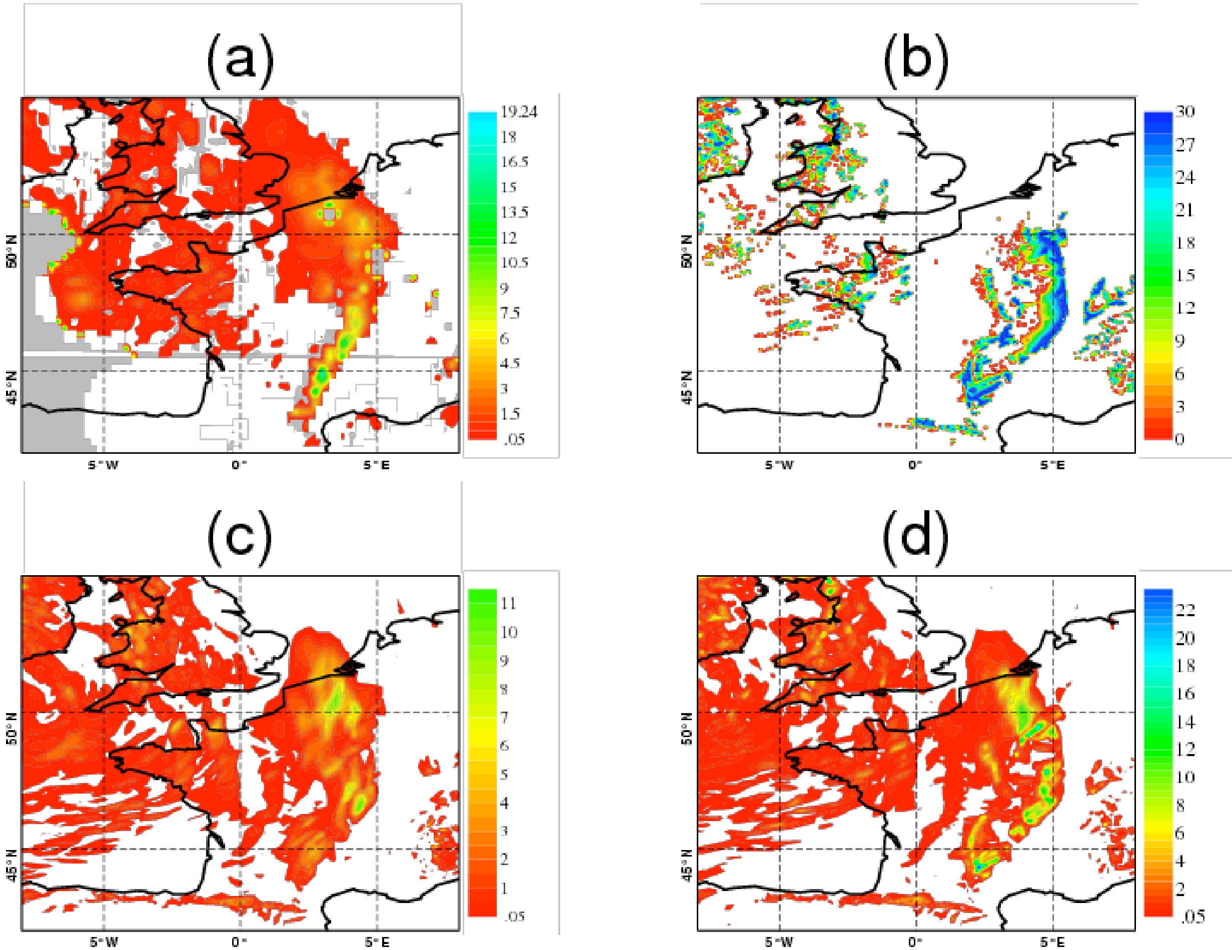
Storskaligt flöde



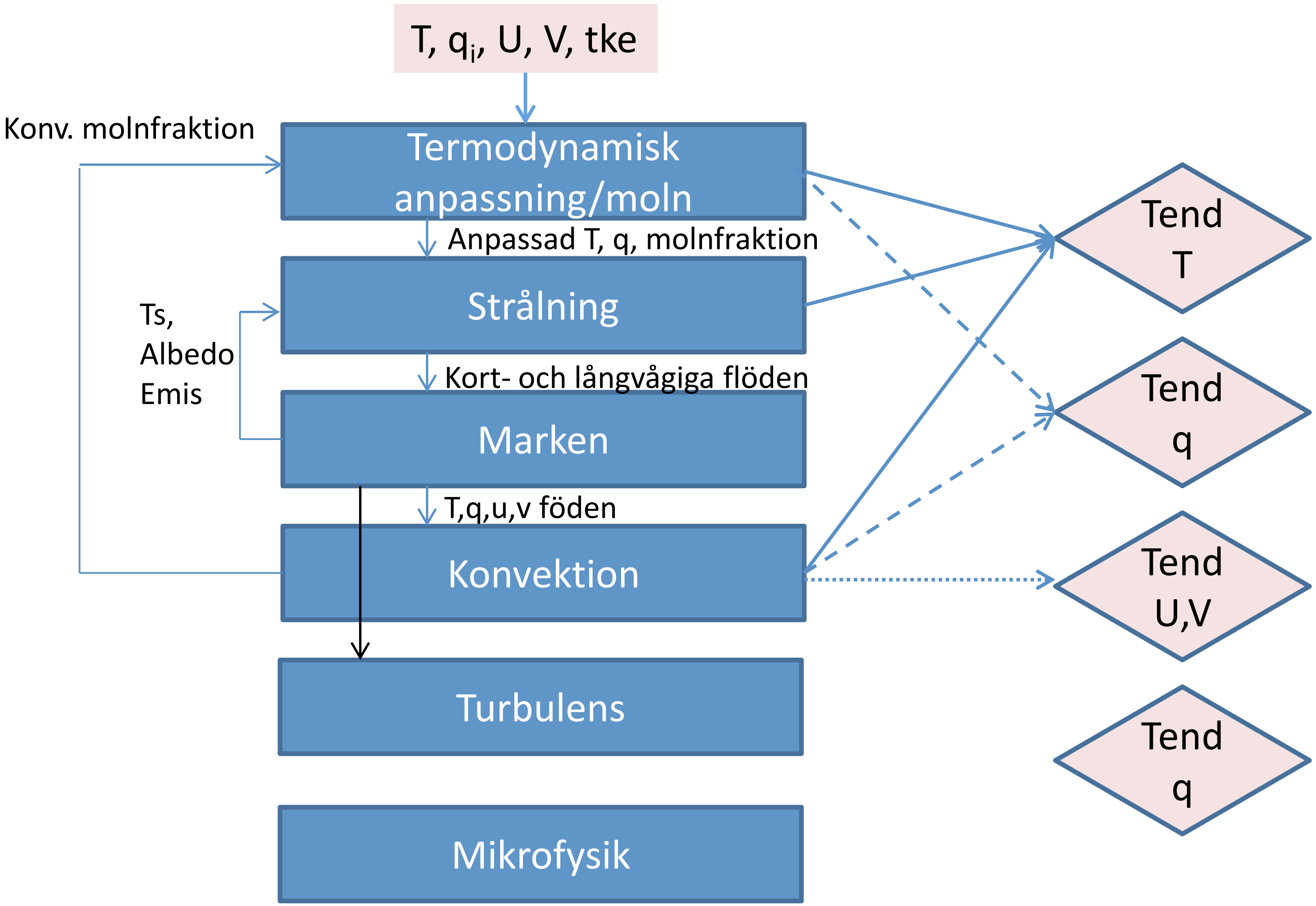
$$\overline{w'\varphi'} = -K\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial z} + \frac{\partial M_u(\varphi_u - \bar{\varphi})}{\partial z}$$

$$M_u = \sigma_u w_u$$

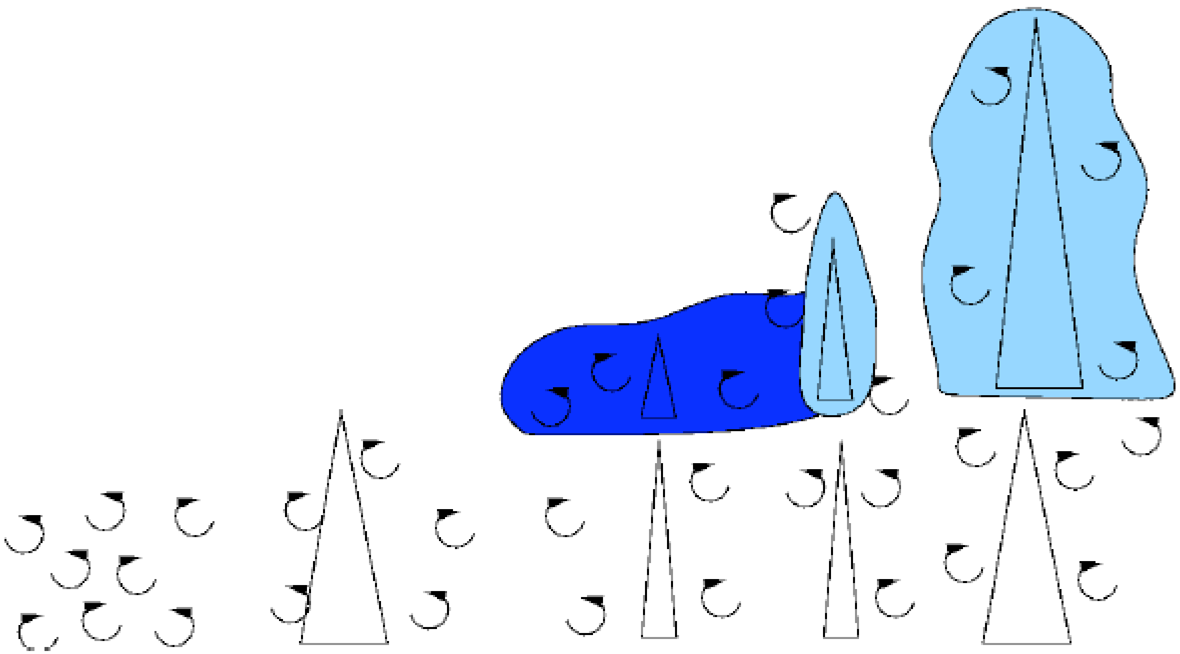
Exempel konvektion



Viktiga fysikprocesser

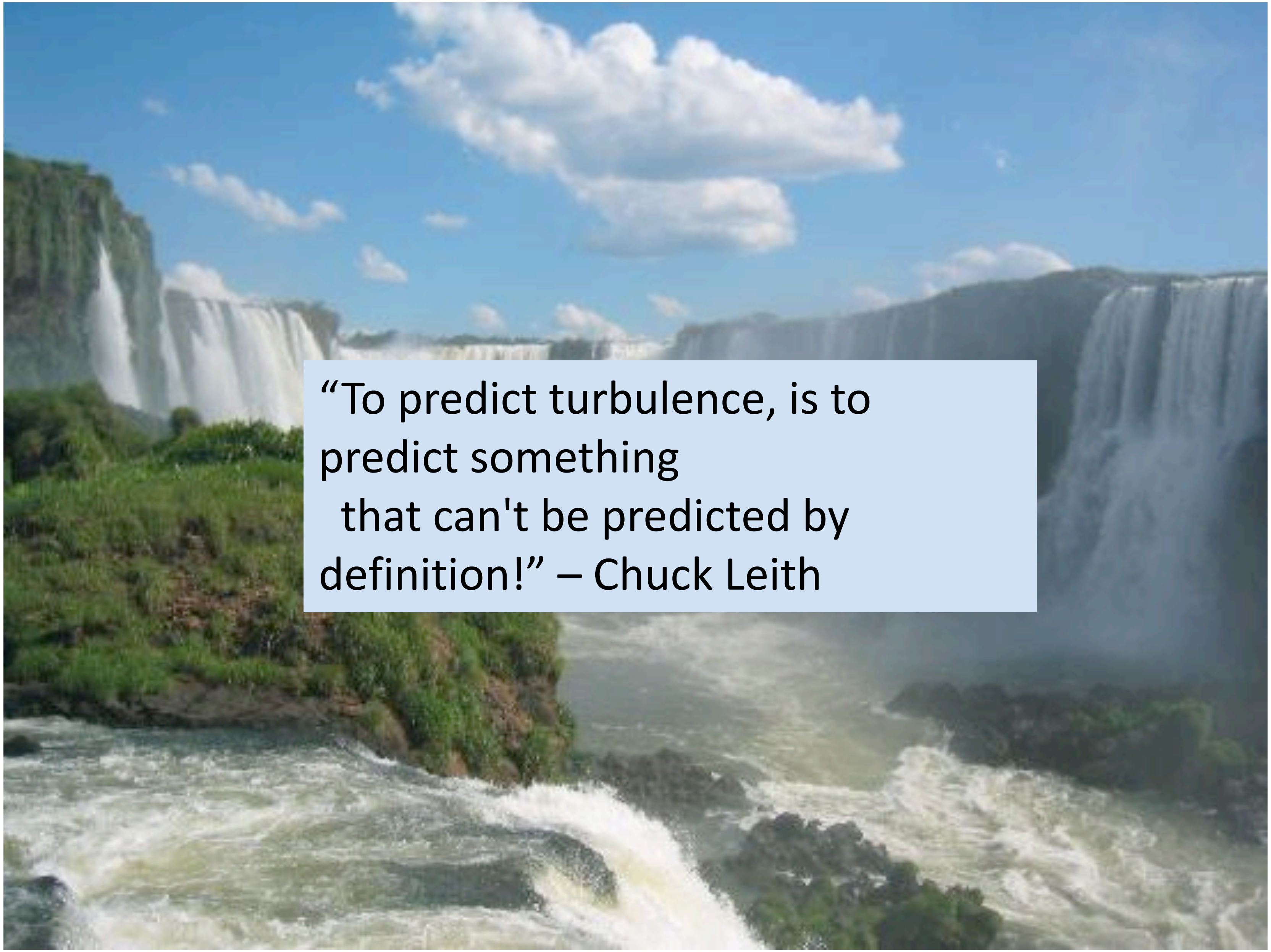


Turbulens



$$\overline{\rho}\frac{\partial\overline{\psi}}{\partial t}\ subgrid = \underbrace{-\frac{\partial\overline{\rho w'\psi'}}{\partial z}}_{transport} + \underbrace{\overline{S'}}_{e.g.\ microphysics}$$

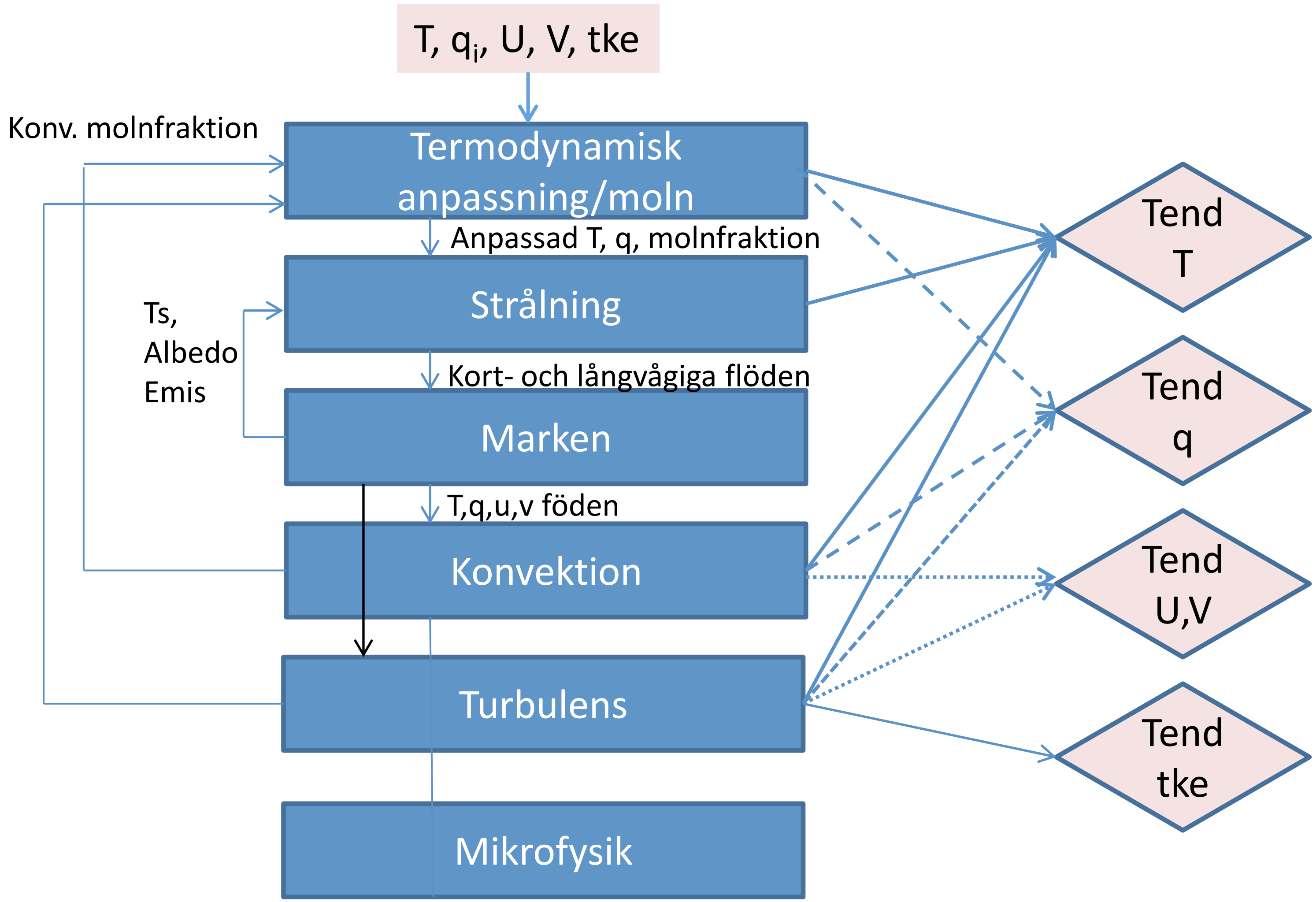
The RHS terms have to be parametrised.


“To predict turbulence, is to
predict something
that can't be predicted by
definition!” – Chuck Leith

Turbulens

- Vår uppgift består i att beräkna det vertikala turbulenta utbytet av värme, fuktighet och rörelsemängd.
- Som undre randvillkor används markflödet av sensibelt och latent värme, och momentumflödet på grund av den turbulenta friktionen.
- I vertikal led löser vi sedan "värmeledsekvationen", där värmeledskoefficienten ersätts med den turbulenta utbyteskosefficienten, ”K”.

Viktiga fysikprocesser



Mikrofysik

I mikrofysikschmeat vill vi beskriva processerna för

- Molnbildning
- Igångsättandet av nederbörd
- Avdunstning av moln och nederbörd.

För att göra det behöver vi beskriva fasövergången mellan vattenånga och molnkondensat (molndroppar) samt iskristaller.

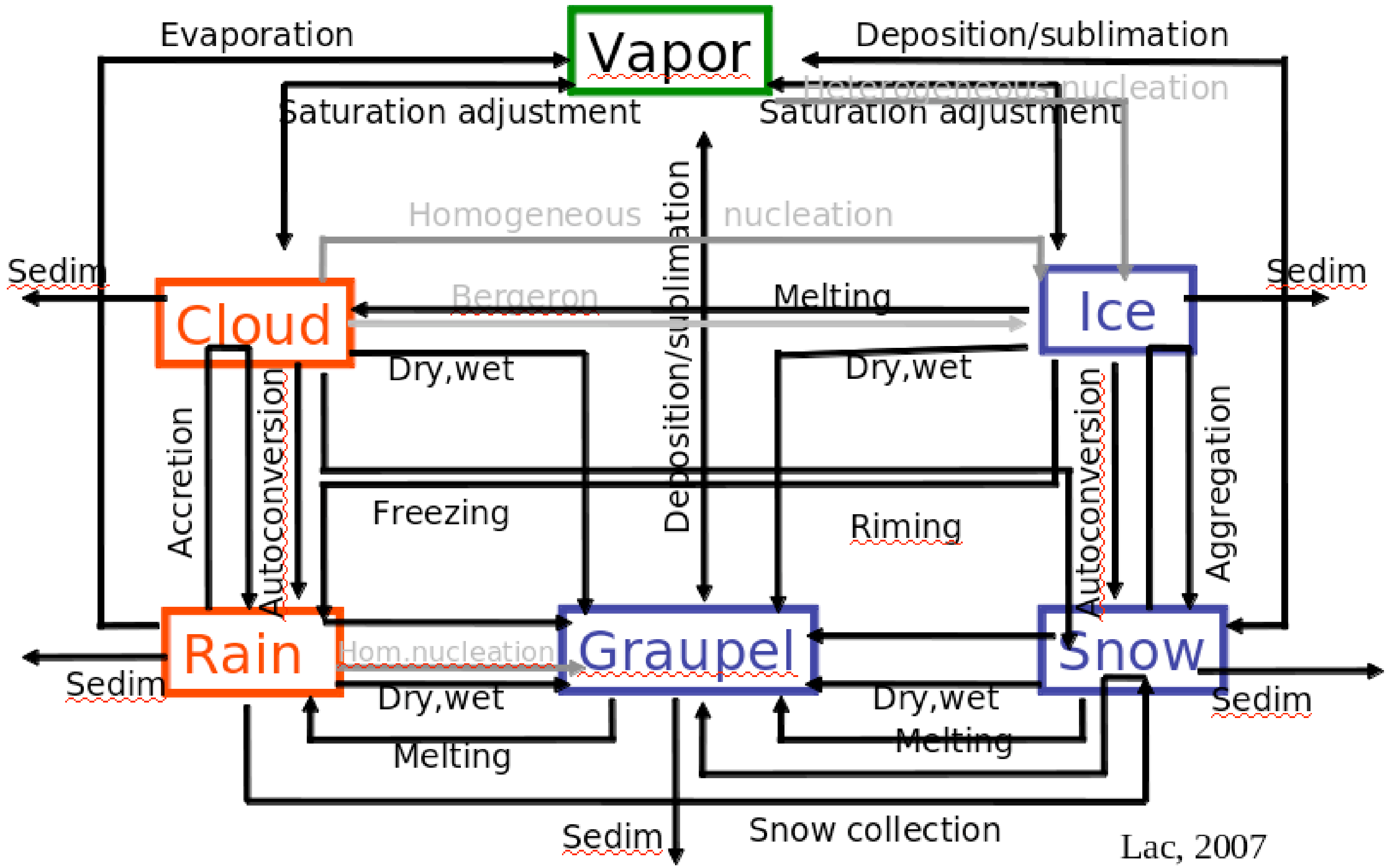
Mikrofysik

Nästa steg är att beskriva processer:

- Bildning av regn/snö/hagel från molndroppar och iskristaller
- Hur dessa advekteras och faller genom modellnivåerna
- Hur molndroppar/iskristaller/nederbörd avdunstar eller sublimeras.

Vi representerar molndroppar, iskristaller, regn, kornsnö, snö och hagel med olika storleksspektrum som är karaktäriserade av modellparametrar så som massa (blandningsförhållande).

Mikrofysik

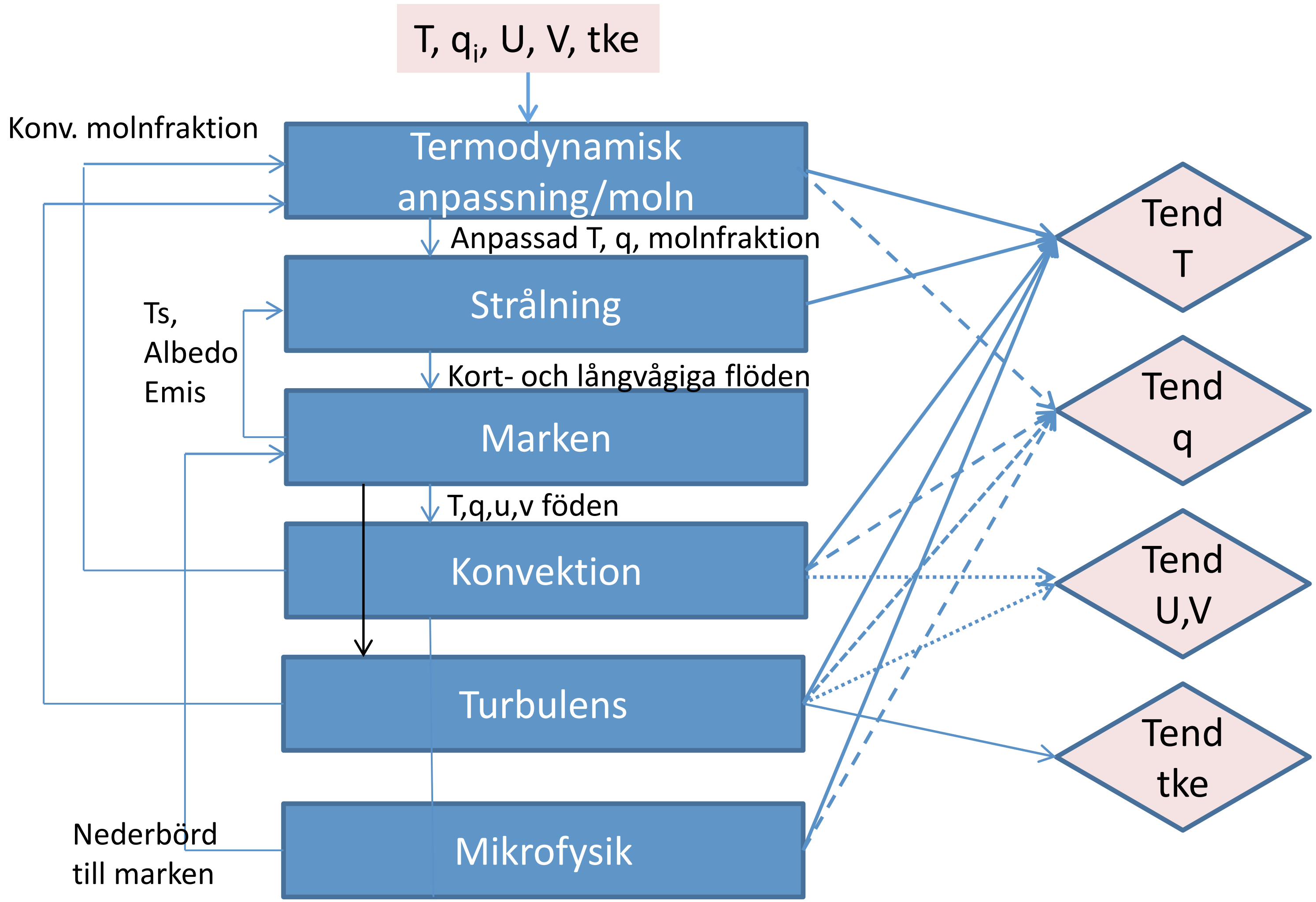


Vapor
Evaporation
Deposition/sublimation
Heterogeneous nucleation
Saturation adjustment
Saturation adjustment
Homogeneous nucleation
Deposition/sublimation
Sedim
Cloud
Bergeron
Melting
Ice
Sedim
Dry,wet
Dry,wet
Accretion
Autoconversion
Freezing
Riming
Autoconversion
Aggregation
Rain
Hom.nucleation
Graupel
Snow
Sedim
Dry,wet
Dry,wet
Melting
Melting
Sedim
Sedim
Snow collection
Lac, 2007

Mikrofysik

- *Oändlig datorkraft, och perfekt kunskap:* Följ varje enskild aerosol och partikel – historik, läge, storlek, form, massa, etc.
- *Men, vi har mindre kunskap, och mindre datorer:* Dela upp dropparna i olika kategorier av fast/flytande form, och beskriv dem som funktion av olika stroleksspektra. Dessa är i sin tur karaktäriserade av parametrar så som medelvärdet av massan i en gridruta, och/eller nummer koncentration.

Viktiga fysikprocesser

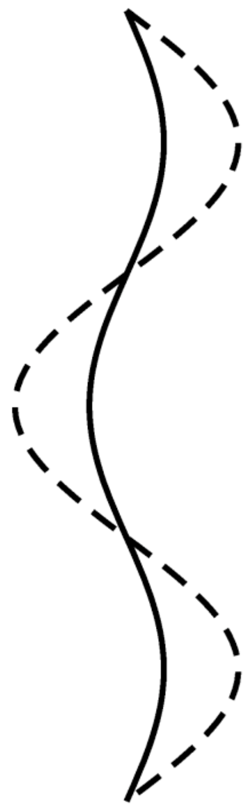


Turbulens

$$\overline{w'\varphi'} = -K\frac{\partial\bar{\varphi}}{\partial z} + \frac{\partial M_u(\varphi_u - \bar{\varphi})}{\partial z}$$

Exempel, byt ut phi mot T:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K\frac{\partial T}{\partial z}\right); \quad K = f(\mathbf{V}, \frac{\partial T}{\partial z}, TKE)$$



Konvergensen av flödet är proportionell
mot krökningen av profilen => utjämning

Verikaldiffusionen är extremt icke-linjär!!

OBS! Horisontell diffusion endast en numerisk process
p.g.a. H<<L. Dvs. Ingen fysik!