

# Seeder-Feeder-Effekt

**Bader und Roach (1977): Orographic rainfall in warm sectors of depressions**

**Seminar in Theoretischer Meteorologie (WS 2007/2008) am 08. Oktober 2008**

**gehalten von**

**Felix Welzenbach** (Matrikelnummer: 0418288)

## Überblick

1. Teil: Ursprüngliche Theorie des Seeder-Feeder-Effekts

2. Teil: Orographic rainfall in warm sectors of depressions (Bader-Roach 1977)

1. Einleitung

2. Theorie

3. Physik des Ausfällprozesses („Washout process“)

4. Fallstudien

5. Einschränkungen des Modells

6. Schlussfolgerungen

## 1. Teil Ursprüngliche Theorie (nach Tor Bergeron 1950)

Starkniederschlag entsteht generell durch

- intensive Kondensation („Spender“ = „Feeder“)
  - unterhalb der Frostgrenze (viel Wolkenwasser vorhanden, oberhalb 500hPa weniger Hebung)
- effektive Niederschlagsauslösung („Auslöser“ = „Seeder“)
  - oberhalb Frostgrenze (unterkühlte Tröpfchen/Eiskristalle)
  - nur dann effektiv, wenn die Hydrometeore durch mächtige Wolkenschicht fallen
- beständiger Kontakt von Seeder- und Feeder-Wolke, z.B. Cb bei geringer vertikaler Windscherung (Amboss und Cu-Teil nicht getrennt), oder Aufgleitbewölkung ohne erhebliche trockene Zwischenräume
- Viel Niederschlag, wenn Wolke ortsgebunden (Orographie)

## Seeder-Feeder-Effekt-Typen - Beispiele



Juni 2004: Aufgleitniederschlag

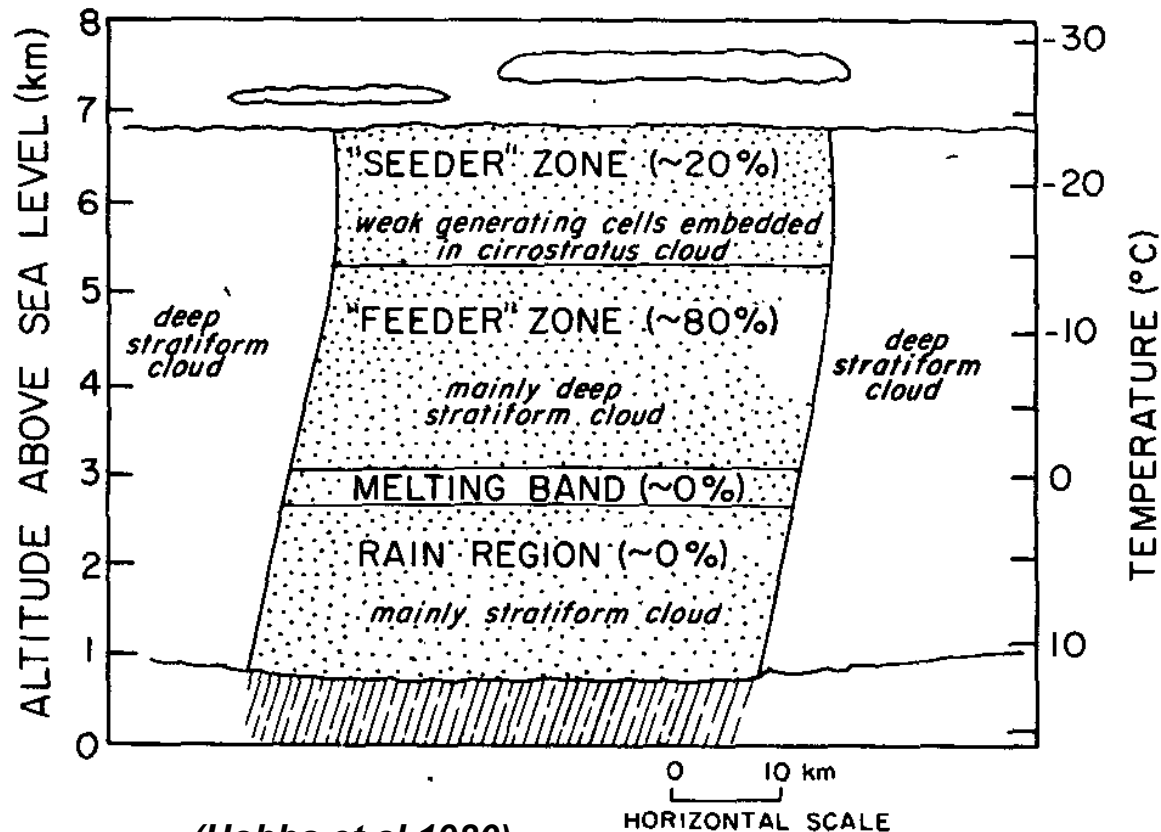


November 2005: Schneeschauer



## Ursprüngliche Theorie nach Tor Bergeron (1950)

### Schematischer Aufbau des Seeder-Feeder-Mechanismus:



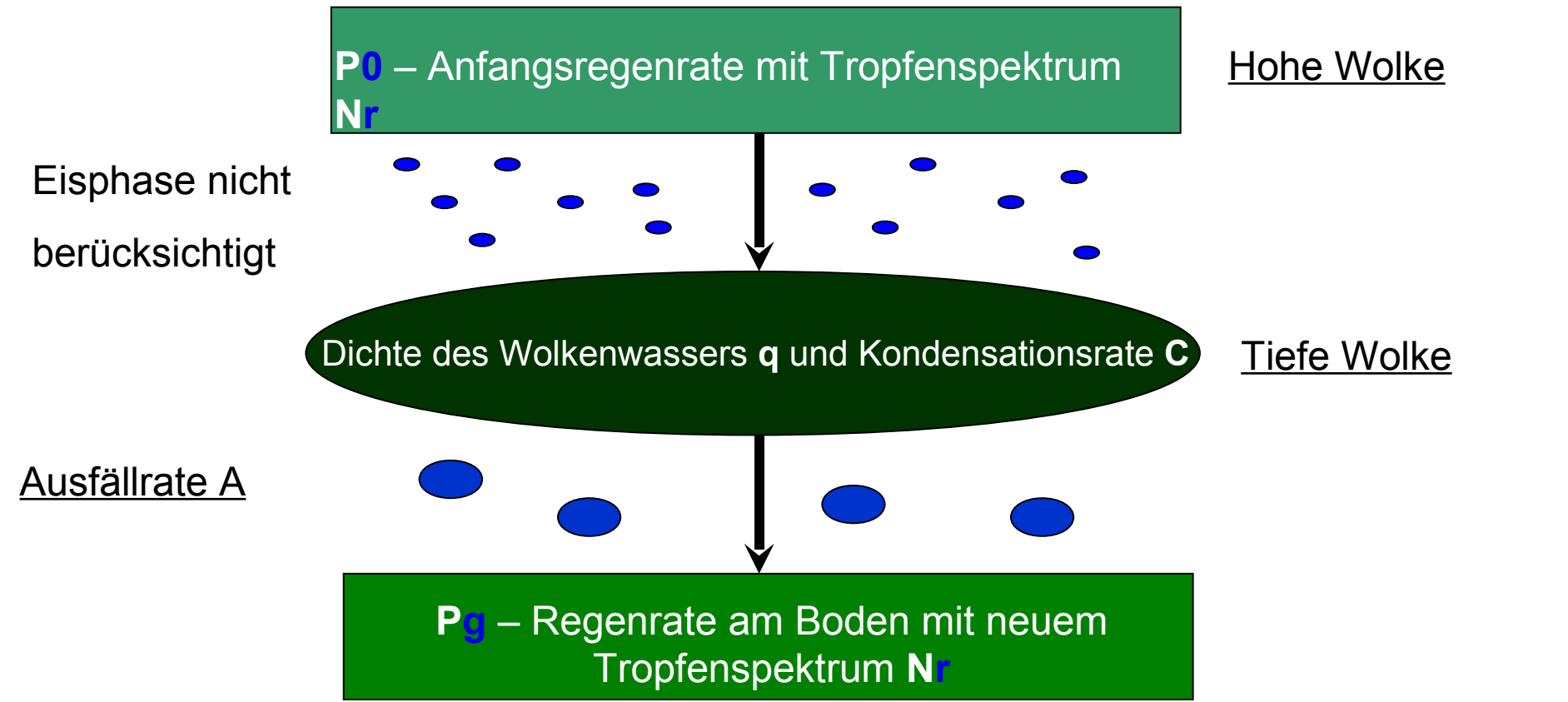
(Hobbs et.al 1980)

Houze (1993) erklärt Aufgleitniederschläge generell mit Seeder-Feeder-Effekt!

## Teil 2: Artikel von Bader & Roach (1977) - Einleitung

- Verstärkung der Niederschlagsrate über flachen Hügeln gegenüber Küstengebieten
- Wachstumsprozesse zu langsam, um Korrelation zwischen Relief und Niederschlagsmuster zu erklären
- Bergeron: Niederschlag aus (synoptischer Hebung resultierender) hoher Wolke fällt Wolkenwasser der tiefen Wolke aus
- Numerische Modellierung des „Wash out-process“
- Vergleich mit früheren Fallstudien von starkem orographischen Niederschlag über Hügeln in Südwales.

Konzept der numerischen Modellierung des Seeder-Feeder-Effekts



## 2. Theorie

### 2. a) Der orographische Wolkenwasser-Haushalt tiefer Wolken

**Kontinuitätsgleichung des Flüssigwassergehalts:**  $dq/dt = C - A$

$dq/dt$  = Änderung des LWC, der Luftbewegung folgend (Lagrange)

$C$  = Kondensationsrate bei hangaufwärts gerichteter Bewegung

$A$  = Ausfällrate des Wolkenwassers durch von oben fallenden Niederschlag

Annahme eines **stationären 2-dim** Zustands:

$$\frac{dq}{dt} = \cancel{\frac{\partial q}{\partial t}} + U \frac{\partial q}{\partial s}$$

$U$  = Windgeschwindigkeit entlang einer Trajektorie  $s$ , die normal zur Gebirgskette verläuft und eine spezifische Funktion der Höhe über Grund ist.

➔ Windprofil unabhängig vom Berg: „**Potentialströmung**“:  $w = U \frac{dh}{dx}$



## 2. Theorie

### 2. b) Der Kondensationsterm C

$$C = -w \underset{1}{\gamma_s} \underset{2}{\frac{d\rho_s}{dT}} \underset{3}{\frac{dT}{dz}} \quad \rho_s(T)$$

- 1) Vertikalgeschwindigkeit
- 2) Sättigungsadiabaten lapse rate
- 3) Änderung der Sättigungsdampfdichte mit der Temperatur (Clausius-Clapeyron-Beziehung)

$$C = -w \frac{dT}{dz} \frac{d\rho_s}{dT} = -w \frac{d\rho_s}{dz} = -w \underbrace{\frac{\partial \rho_s}{\partial z}}_{linear, da \frac{\partial \Theta_w}{\partial z} \sim 0}$$

## 2. Theorie

### 2. c) Der Ausfällterm A

$$A = \pi \int_0^\infty N_r E_r V_r r^2 q dr \quad [\text{kg/m}^3\text{s}] \quad \text{„Wolkenmasse“}$$

Regentropfenkonzentration  $N_r dr$

Sammeleffizienz  $E_r$

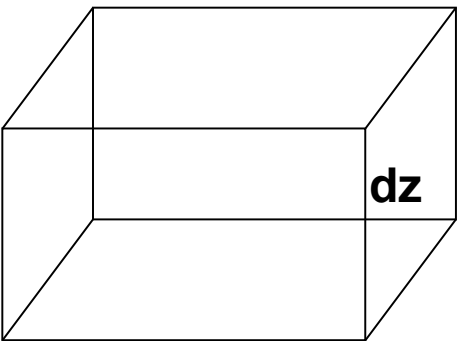
Fallgeschwindigkeit  $V_r$

Wolkentropfenwasserdichte  $q$

$$P = \frac{4}{3} \pi \int_0^\infty N_r V_r r^3 \rho dr \quad [\text{kg/m}^2\text{s}] \quad \text{„Regenmasse“}$$

$P$  = Niederschlagsrate

$\rho$  = Regentropfenwasserdichte



$$A = \frac{P_g - P_0}{\Delta z}$$



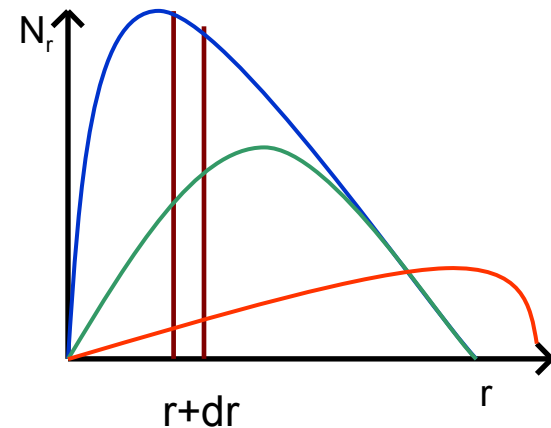
$$A = -\frac{\partial P}{\partial z}$$

Differenz zwischen  
Ausgangs- und  
Endniederschlagsrate =  
Zuwachs durch Ausfällen

## 2. Theorie

### 2. c) Berechnung der Niederschlagsrate am Boden

- Gleichungen werden über ein Gitter gelöst, das das Gebiet der tiefen Wolke umfasst
- vertikale Gitterlänge: 100m, horizontale Gitterlänge: 2km
- Windprofil, Feuchtpotentielle Temperatur, Wolkenschichtdicke und  $P_0$  bekannt



$N_r$ : nach Best (1950a) berechnet

$V_r$  nach empirischer Formeln von Best(1950b) und Foote and du Toit (1969) bestimmt

Annahme: mittlerer Wolkentropfenradius = 10  $\mu\text{m}$ ,  
dann gilt nach Mason (1971):

$$E_r = 0,4 \log_{10} r + 1 \text{ für } (r \leq 0,4)$$

$$E_r = 0,9 \text{ für } (r > 0,4)$$



## 2. Theorie

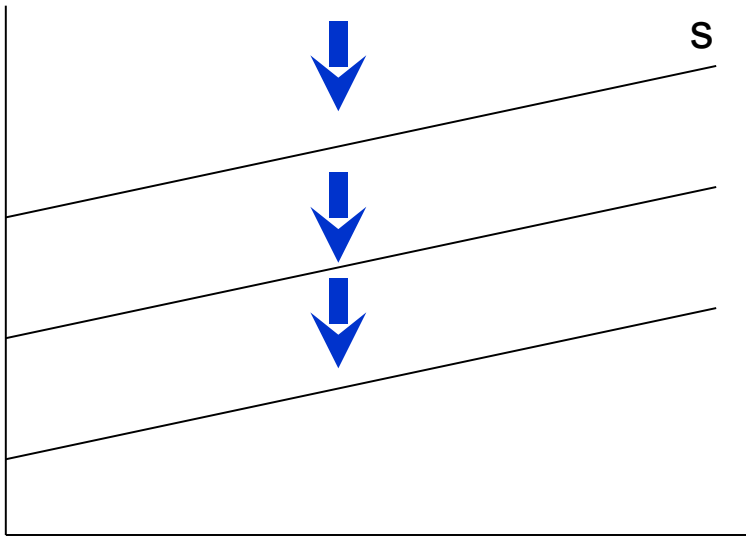
### 2. c) Berechnung der Niederschlagsrate am Boden

Rechenschritte:

1. Bestimmung der Ausfällrate

$$A = \Pi \int_0^\infty N_r E_r V_r r^2 q dr \rightarrow A = -\frac{\partial P}{\partial z}$$

H  $P_0, N_r, V_r, U, \rho_s, q$  bekannt



2. Bestimmung der Kondensationsrate

$$U \frac{\partial q}{\partial s} = C - A = -w \frac{\partial \rho_s}{\partial z} + \frac{\partial P}{\partial z}$$

$$\int_s^\infty U \frac{\partial q}{\partial s} ds = q(s)$$

**gesucht:  $N_r$  am Boden (und damit  $P_0$ )**



## 2. Theorie

### 2. c) Berechnung der Niederschlagsrate am Boden

Rechenschritte:

3. Tropfenradiusänderung berechnen aus

$$A = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad \Pi \int_0^\infty N_r E_r V_r r^2 q dr = \frac{4}{3} \Pi \frac{\partial}{\partial z} \int_0^\infty N_r V_r r^3 \rho dr$$

mit Annahme, dass Tropfenfluss konstant

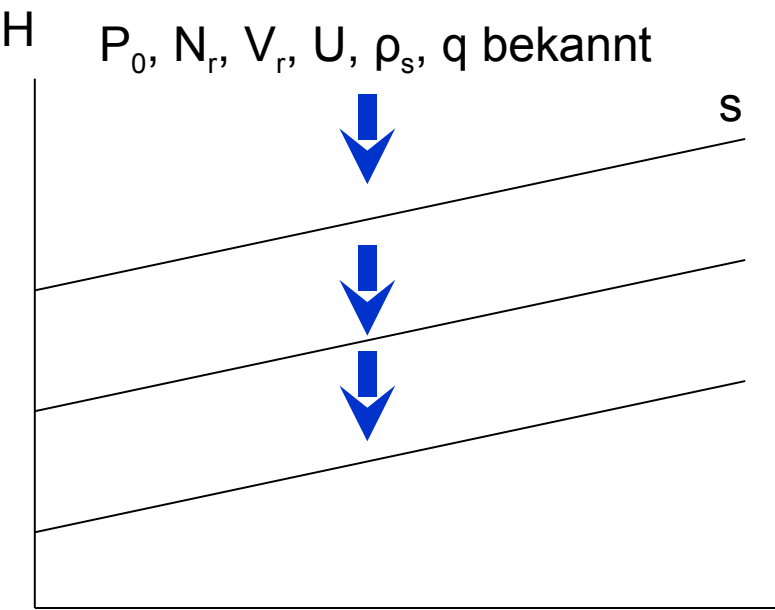
$$\frac{\partial}{\partial z} \int_0^\infty N_r V_r dr = 0$$

gilt:

$$\frac{\partial r}{\partial z} = -\frac{E_r q}{4\rho}$$

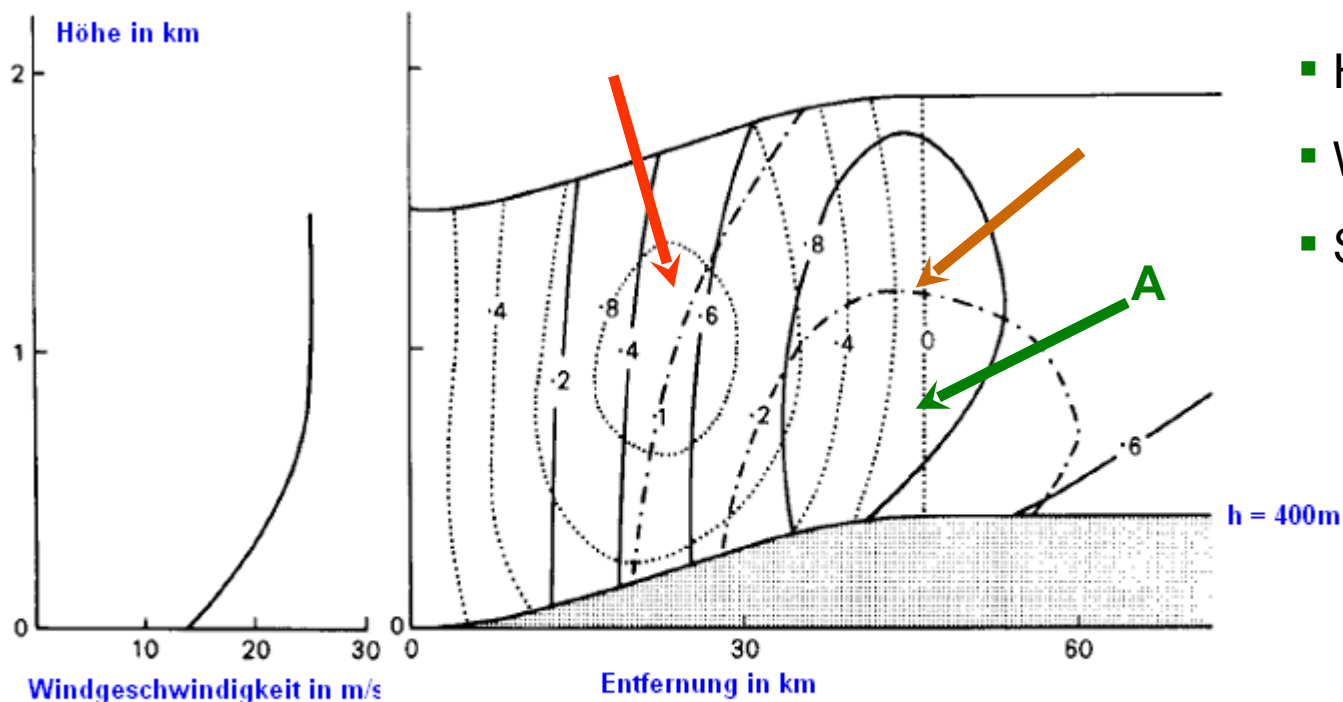
4. q einsetzen: neuer Radius, neues Tropfenspektrum,

**gesucht:  $N_r$  am Boden (und damit  $P_0$ )**



### 3. Physik des Ausfällprozesses

#### 3. a) Die Bildung der orographisch induzierten tiefen Wolke



- Hangneigung
- Windprofil
- Sättigungsdampfdichte
- q max. bei C = A

Abb. 1: Verteilung der Kondensrate C (punktiert), der Ausfällrate A (strichliert-punktiert) in  $\text{mg/m}^3 \text{ s}$  und Flüssigwassergehalt q (ausgezogene Linie) in  $\text{g/m}^3$  in einer orographischen Wolke von 1,5 km Dicke, wenn Niederschlag aus einer höheren Wolke mit 0,5 mm/h fällt. Feuchtpotentielle Temperatur =  $10^\circ\text{C}$ .



### 3. Physik des Ausfällprozesses

#### 3. b) Die Auswirkung des Ausfällens auf die Niederschlagsrate am Boden

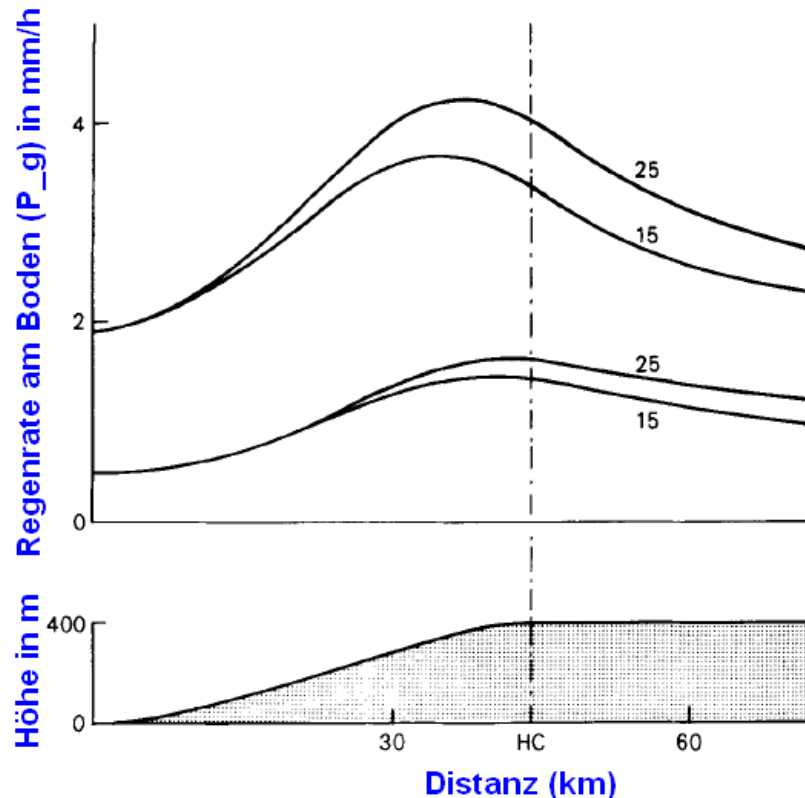


Abb.2: Regenrate  $P_g$  am Boden bei verschiedenen Regenraten  $P_0$  der hohen Wolke, und maximalen Windgeschwindigkeiten  $U$  in m/s.  
HC = Hill Crest (Bergkamm)

- $P_g$  hängt von  $P_0$  und  $U$  ab, in allen Fällen jedoch Maximum knapp vor dem Bergkamm.
- Wenn  $P_0$  konstant, dann nimmt  $P_g$  mit  $U$  zu, da Fluss an gesättigter Luft (und damit  $C$ ) zunimmt.
- eine 1,5km dicke orographische Wolke genügt, um die Regenrate am Boden um 1-2 mm/h zu erhöhen.

### 3. Physik des Ausfällprozesses

#### 3. b) Die Auswirkung des Ausfällens auf die Niederschlagsrate am Boden

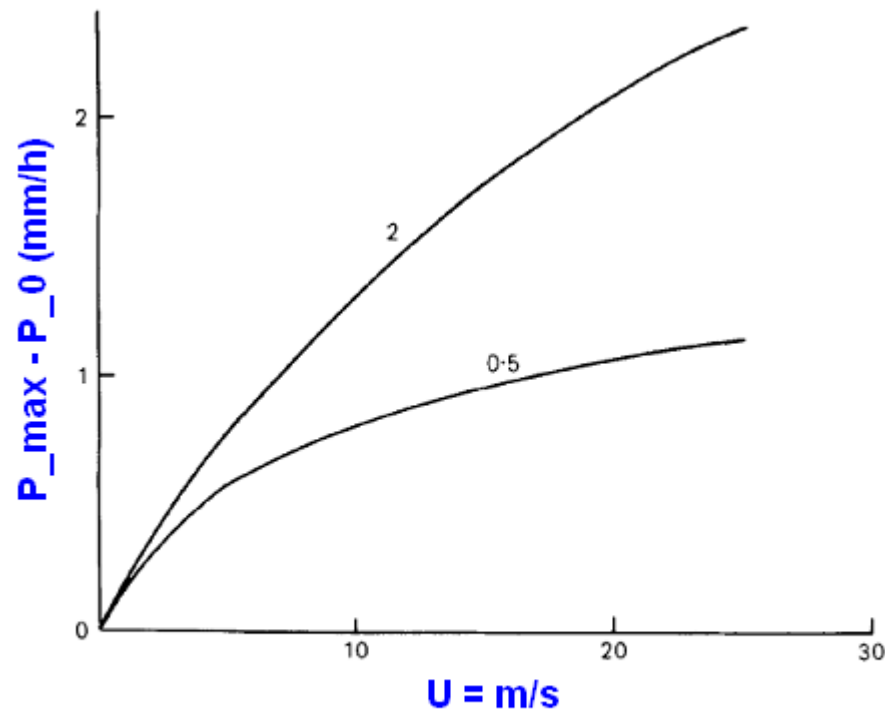


Abb.2: Änderung der maximalen Regenratenerhöhung ( $P_{\max} - P_0$ ), mit  $U$  und  $P_0$  (mm/h)

- Regenratenerhöhung nimmt zu, wenn  $P_0$  zunimmt
- Tropfengröße und –konzentration der hohen Wolke nimmt zu
- mehr Wolkentröpfchen können ausgewaschen werden.

### 3. Physik des Ausfällprozesses

#### 3. c) Effizienz des Ausfällens

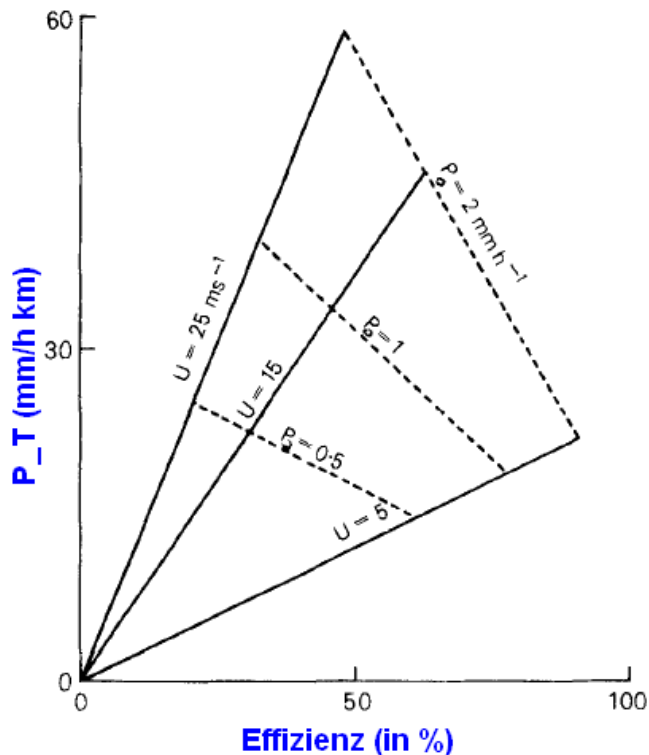


Abb.4: Integrierte Komponente der Regenrate  $P_T$  am Fuß des Berges bis zum Bergkamm als Funktion der Ausfällereffizienz für verschiedene  $U$  und  $P_0$

$$C_T = \int_0^S \int_0^H C \, dz \, ds; \quad P_T = \rho \int_0^S (P_g - P_0) \, ds$$

Kondensationsrate über Dicke der tiefen Wolkenschicht ( $H$ ) und vom Fuß bis zum Kamm des Berges ( $S$ ) integriert.

Niederschlagszuwachsrate entlang  $S$

$P_T$  kann durch

- a. Hohe  $P_0$ , niedriges  $U$  und hohe  $E$
  - b. Niedrige  $P_0$ , hohe  $U$  und niedrige  $E$
- erzeugt werden.

### 3. Physik des Ausfällprozesses

#### 3. c) Effizienz des Ausfällens

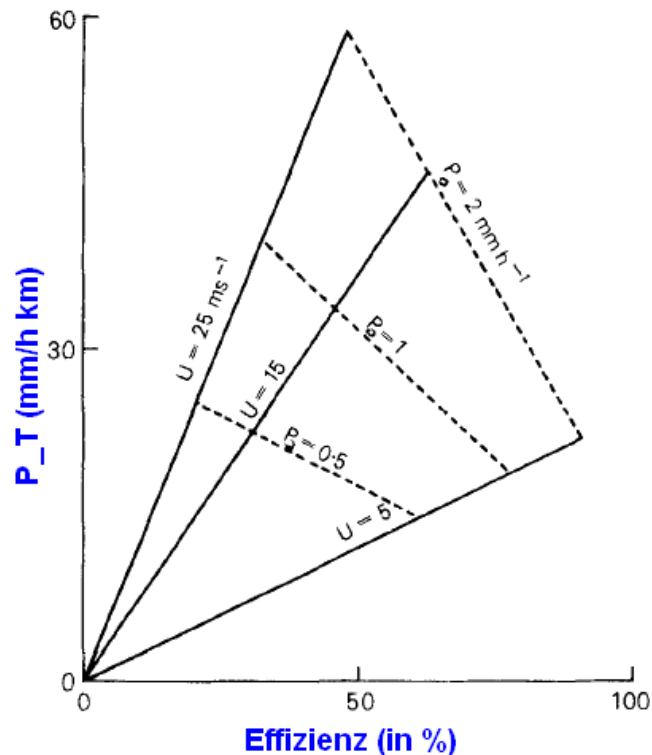


Abb.4: Integrierte Komponente der Regenrate  $P_T$  am Fuß des Berges bis zum Bergkamm als Funktion der Ausfällereffizienz für verschiedene  $U$  und  $P_0$

- viel Wolkenwasser bei starkem Wind vorhanden
- niedriges  $P_0$  führt zu geringem Ausfällen, folglich niedrige Effizienz
- hohes  $P_0$  bei geringem  $q$  führt starkem Ausfällen und hoher Effizienz

### 3. Physik des Ausfällprozesses

#### 3. d) Auswirkung der relativen Luftfeuchte

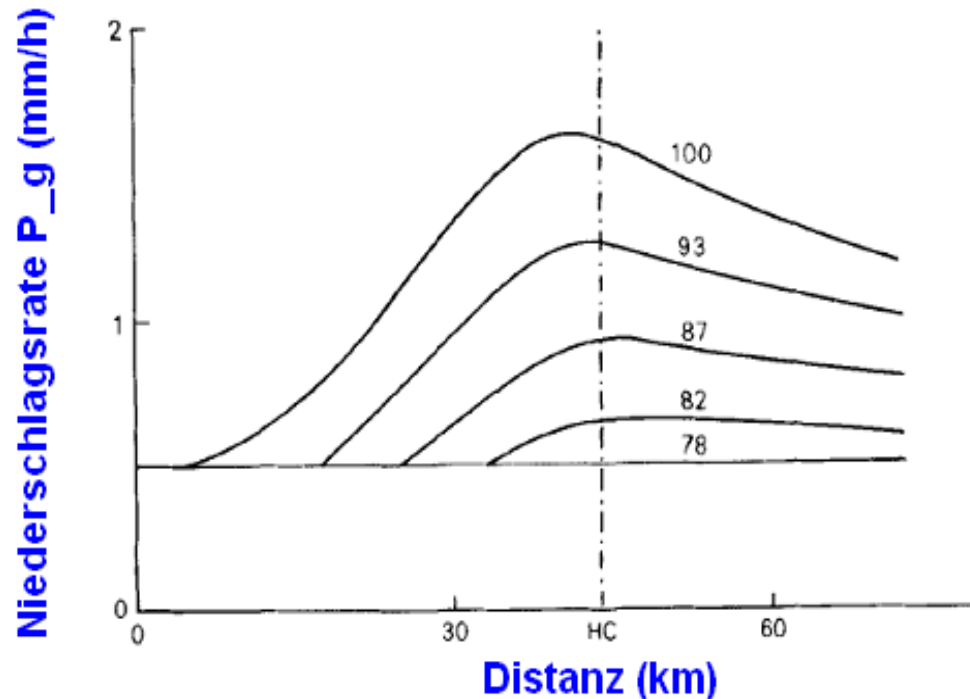


Abb.2: Auswirkung der stromaufwärtigen relativen Feuchte auf die Niederschlagsrate. Orographische Wolkendicke = 1,5km;  $P_0 = 0,5$  mm/h,  $U = 25$  m/s, relative Feuchte in Prozent

#### Bisherige Annahme:

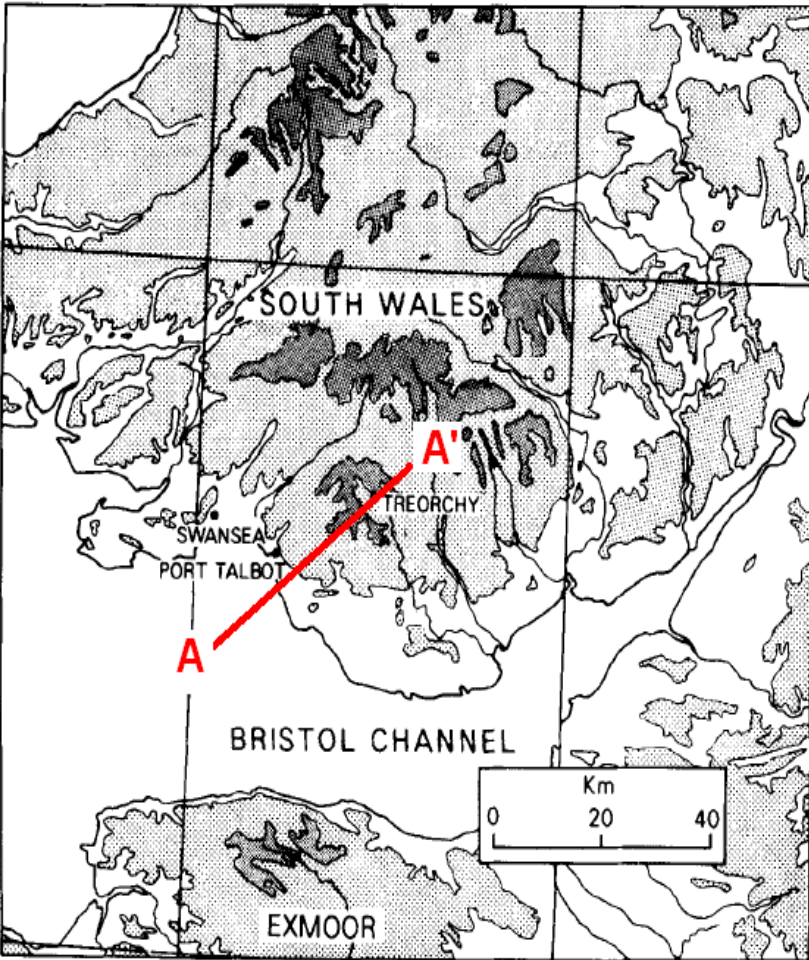
Luft, die den Berg hinaufströmt, ist gesättigt.

#### Bei niedrigeren Feuchten:

Geringeres  $q$ , Niederschlagsratenerhöhung auf Bergkamm beschränkt.

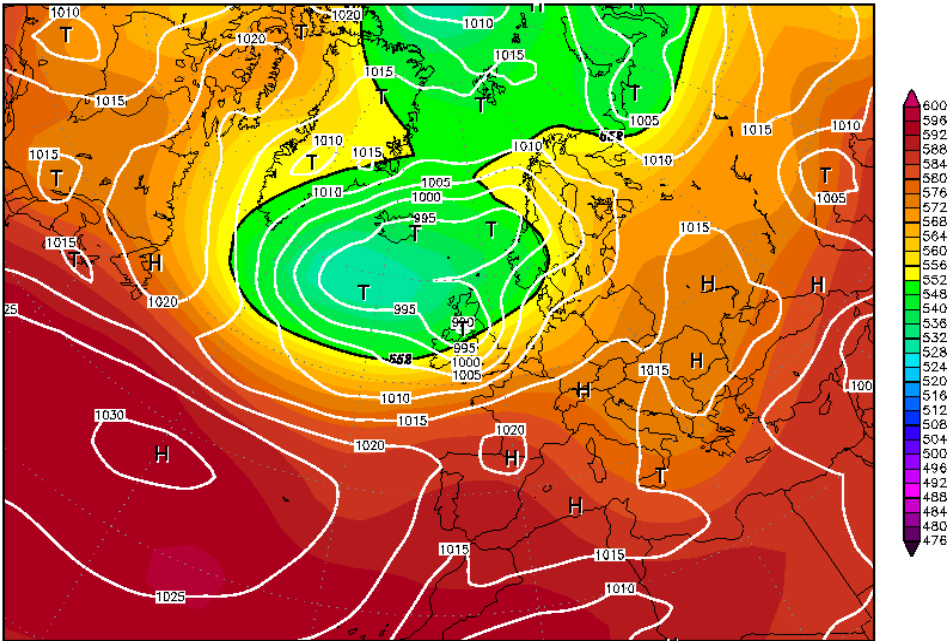
➤ Seeder-Feeder-Effekt nach Kaltfrontdurchgang vernachlässigbar

# 4. Fallstudien



AA': Verwendetes (geglättetes) orographisches Profil

05AUG1973 00Z  
500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

9 Starkniederschlagsereignisse in Südwaless:  
Innerhalb von Warmsektoren mit gut  
ausgeprägten Windmaxima in der  
Grenzschicht



## 4. Fallstudien

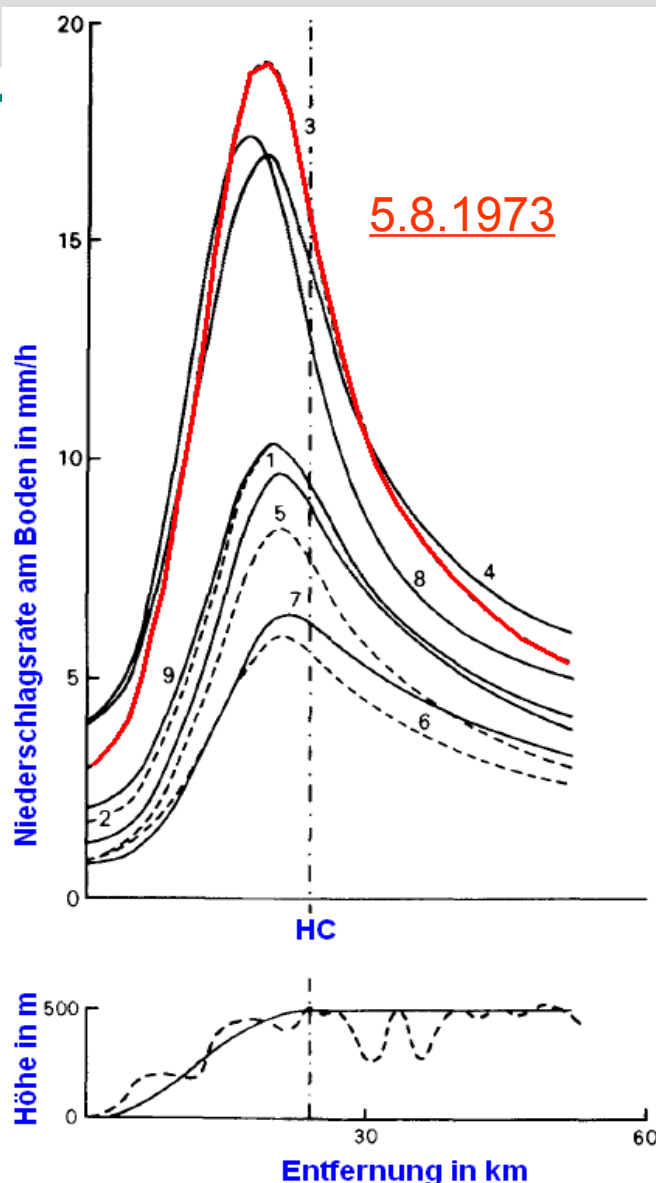
### Randbedingungen für Modellsimulationen:

- ✓ Windprofil typisch für Warmsektoren, d.h. der modellierte Bodenwind beträgt die Hälfte des Maximalwindes des bodennahen Starkwindbands.
- ✓ Luft in der Bodenschicht bis zu 3km Höhe gesättigt, wenn Küste überquert wird (d.h. vor der Hebung)
- ✓ Typisches Windprofil,  $\Theta_w$  und Niederschlagsrate an Küste durch Studie von Nash & Browning bekannt.

## 4. Fallstudien

### berechnete Regenratenverteilung aus allen 9 Fällen:

- Ausfällprozess erhöht Regenraten signifikant
- Maximum-Regenrate liegt knapp vor dem Kamm
- Im Lee des Kamms nimmt die Regenrate ab.
- orographische Verstärkung groß, wenn
  - a. Küsten-Regenrate hoch, entsprechend hohe Ausfäll-Effizienz
  - b. Feuchtpotentielle Temperatur groß, da Sättigungsdampfdruck mit Höhe zunimmt und C ebenfalls zunimmt.



gestrichelt: reales Profil  
durchgezogen: modelliert

## 4. Fallstudien

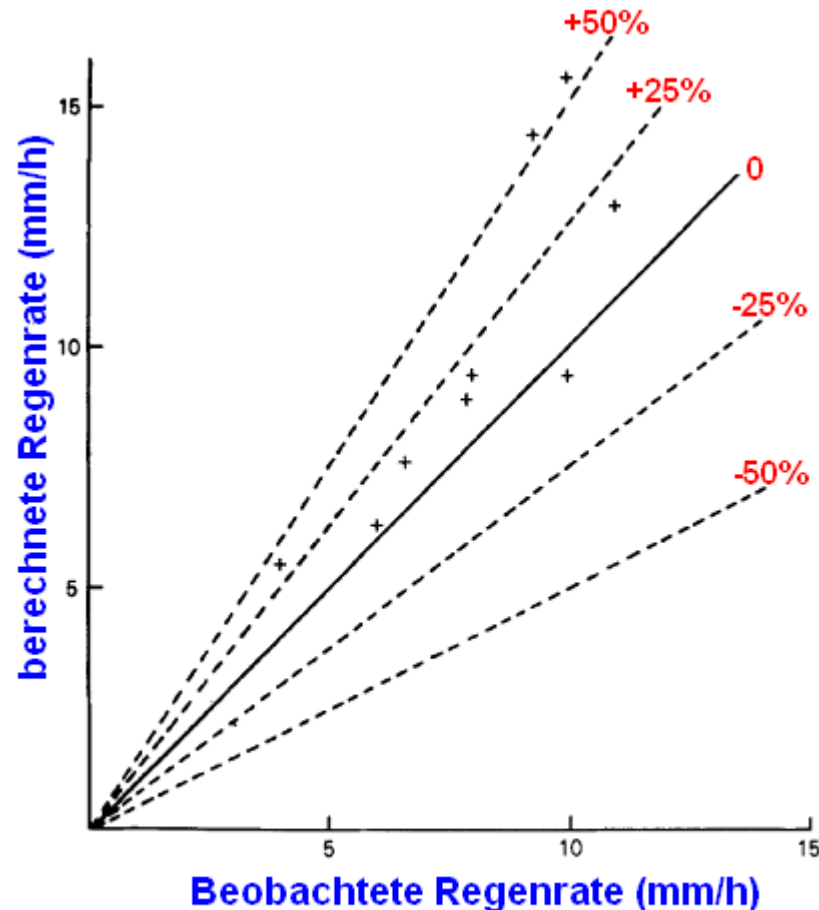


Abb 8 Vergleich zwischen beobachteten Regenraten in Treorchy und berechneten Regenraten von der Küste, 24km stromabwärts.

- bei größeren Wolkendicken (bis 3km) reicht die Wolke bis über die Frostgrenze
- Schneeflocken fallen herab und sammeln Wolkentropfen in anderer Weise als Regentropfen
- aber: keine Anomalien in der Abbildung -> Ausfällrate ähnlich.
- berechnete Regenraten überschätzen tatsächlich gefallenen Niederschlag
- Raten > 3mm/h nur bei starker Hebung oberhalb 700 hPa (unrealistisch in Warmsektoren), Wolkenfuß meist unter 3km
- Ausfällprozess über kleinen Hügeln effektiv, Verstärkung schwächer als vom Modell gerechnet

## 5. Einschränkungen des Modells

### a) Luftströmung über den Berg

- Annahme, dass Trajektorien dem Relief folgen, nur an der Oberfläche gültig, Amplitude von Schwerewellen nimmt mit der Höhe ab -> C überschätzt
- endliche Breite der Gebirgskette ermöglicht Umströmen -> reduzierte orographische Hebung und entsprechend reduzierter Niederschlag

### b) Trajektorien der Regentropfen

- Annahme, dass Regentropfen vertikal fallen -> horizontale Drift vernachlässigt, (nach dem „Ausfällen“ jedoch vermindert, wenn Tropfen weiter anwachsen)

### c) Regentropfengrößenspektrum

- Messungen des Regentropfengrößenspektrums über dem Erdboden nicht vorhanden, weshalb das Spektrum oberhalb der Wolke durch die „Best“- Verteilung (1950a) angenähert wurde (empirische Beziehung)
- Viele kleine Tropfen werden beim Fall durch größere Tropfen gesammelt – vom Modell nicht simuliert.
- Best-Verteilung überschätzt die Konzentration an kleinen Tropfen (Mason 1971) - > Anwendung auf Oberkante der tiefen Wolken vernünftig

## 6. Schlussfolgerungen

- ✓ Ausfall von Wolkentropfen durch Niederschlag aus höheren Wolken erhöht die Niederschlagsrate über Hügeln um mehrere mm/h
- ✓ im Modell: tiefe und hohe Wolke als getrennte Einheiten behandelt
- ✓ Annahme:  $P_0$  aus hoher Wolke von Bergen unbeeinflusst
- ✓ **aber:** Berg stört Luftströmung in der Höhe der hohen Wolke, bzw. sogar stromaufwärts des Kamms ( $P_0$  und  $P_g$  erhöht)
- ✓ selbst mit gröbster Auflösung der Dynamik ist die Niederschlagsverstärkung durch Ausfällen ersichtlich
- ✓ beschriebenes Modell von Dr. P.R. Jonas (Metoffice) als Grundlage für Ausfällschema in operationeller numerischer Vorhersage verwendet.

[ in den USA in operationeller Vorhersage heute verwendet:

[http://www.crh.noaa.gov/lmk/soo/docu/Precip\\_Type\\_Fcstg.pdf](http://www.crh.noaa.gov/lmk/soo/docu/Precip_Type_Fcstg.pdf) ]

## Literatur

Bader, M.J. und Roach, W.T, 1977, Orographic rainfall in warm sectors of depressions. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **103**, pp. 269–280.

Bergeron, T. (1950): *Über den Mechanismus der ausgiebigen Niederschläge*. Ber. Deut. Wetterd., **12**, 225-232.

Best, A.C., 1950a, The size distribution of raindrops, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **76**, 16-36

Houze, Robert A. Jr, Cloud Dynamics, 1993, Vol. **53**, Academic Press, 573 pp.

<http://www.wetterzentrale.de>



**DANKE FÜR EURE AUFMERKSAMKEIT!**

