

# Vorhersage schwerer Gewitter durch Konvektionsindizes abgeleitet aus 12 UTC Radiosondenaufstiegen

Michael Kunz

Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Universität Karlsruhe / Forschungszentrum Karlsruhe

## Überblick

Mittels verschiedener Konvektionsindizes, abgeleitet aus Radiosondenaufstiegen um 12 UTC an der Station Stuttgart (1986-2003), wurden die vorkonvektiven Umgebungsbedingungen quantifiziert und mit Beobachtungsdaten verschiedener Systeme verglichen. Ziel war es dabei, aus der langjährigen Statistik die verschiedenen Indizes hinsichtlich ihrer Prognosefähigkeit für die Entstehung von Gewittern unterschiedlicher Intensität in den nachfolgenden Stunden zu bewerten und geeignete Schwellenwerte zu definieren.

Für die einfache Entscheidung „Gewittertag Ja/Nein“ ergaben sich die besten Ergebnisse für den Lifted Index LI (z.B. 80% Gewitterwahrscheinlichkeit bei  $LI < -1.73$ ). Schwere Gewitter, die mit schadenverursachendem Hagel oder schweren Sturmböen/lokalen Überflutungen verbunden waren, konnten mittels  $LI (< -2.3)$ , Deep Convective Index und verschiedenen Arten der CAPE mit einer Wahrscheinlichkeit von immerhin  $> 40\%$  prognostiziert werden.



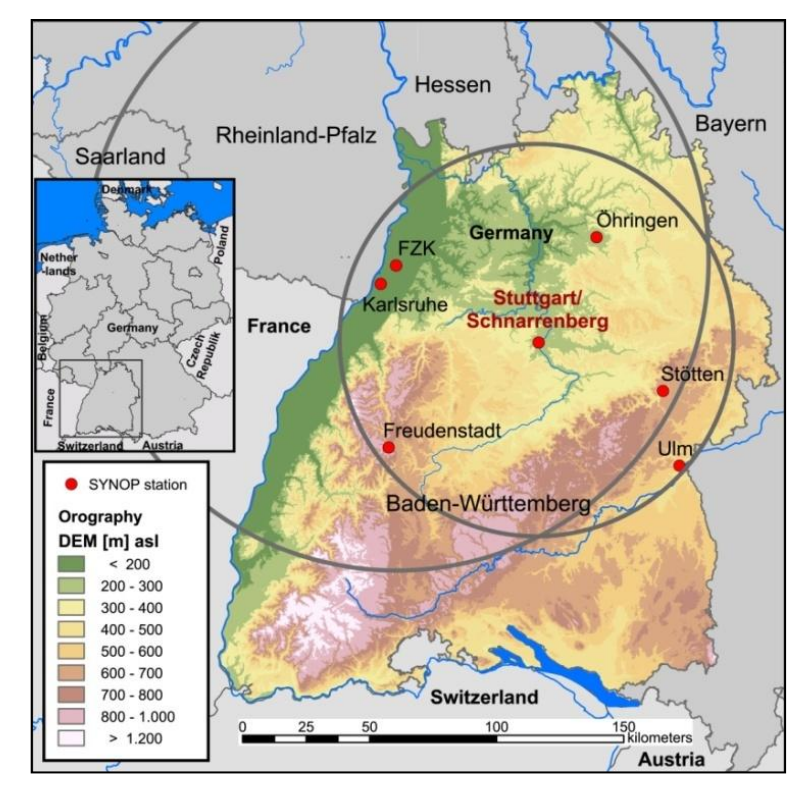
## Datensätze

### Radiosondenaufstiege: Konvektionsindizes

- ✗ Radiosondenaufstiege Stuttgart (siehe Abb. 1), 12:00 UTC, 1986-2003 April-Sept. (⇒ 3256 Profile)
- ✗ Berechnung und Evaluierung 80 verschiedener Konvektionsindizes (siehe Tabelle 1) mit verschiedenen Berechnungsmethoden (z.B. Mittelung über Luftschicht)
- ✗ Ausschluss: markante Frontdurchgänge an 66 Tagen ( $\Delta T$  in 12 h  $> 5$  K in 850 hPa)

### SYNOP-Stationen (SY)

- ✗ 6 Stationen 1986-2003; Umkreis  $R \leq 75$  km um Raso-Station
- ✗ ww-Code: Detektion Gewitter bis 20 km um Station (Donner/Blitz)
- ✗ 807 Gewittertage von 3059 Tagen



### Radar-Daten (RA)

- ✗ IMK C-Band 1998-2001
- ✗ TRACE-3D Zellverfolgung:  $Z_{max} \geq 65$  dBZ, Anzahl  $\geq 6$ ,  $V_{konv} \geq 120$  km<sup>3</sup>
- ✗ 60 Tage schwere Gewitter (Hagel)

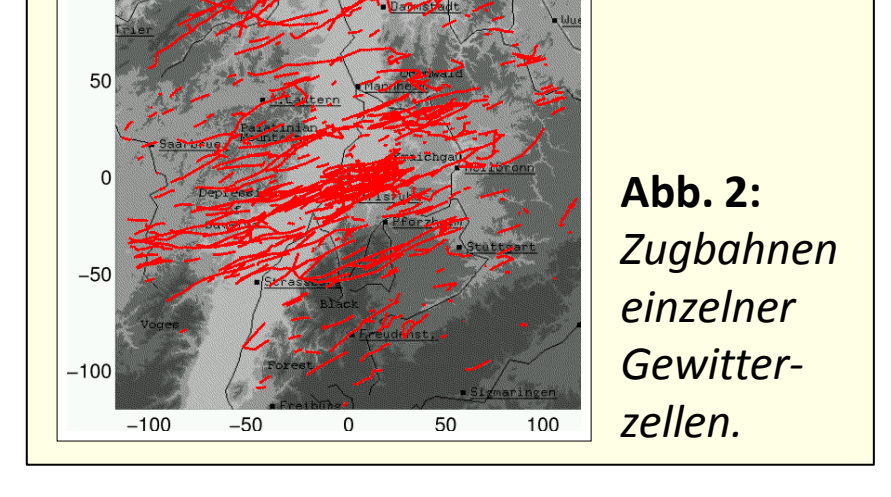


Abb. 2: Zugbahnen einzelner Gewitterzellen.

### Versicherungsdaten (SV)

- ✗ Gebäudeschäden 1986-2003
- ✗ Pflichtversicherung bis 1994 mit Monopolstruktur ⇒ 100% Dichte
- ✗ 124 Hageltage; 195 Tage mit Sturmböen/Überflutungen

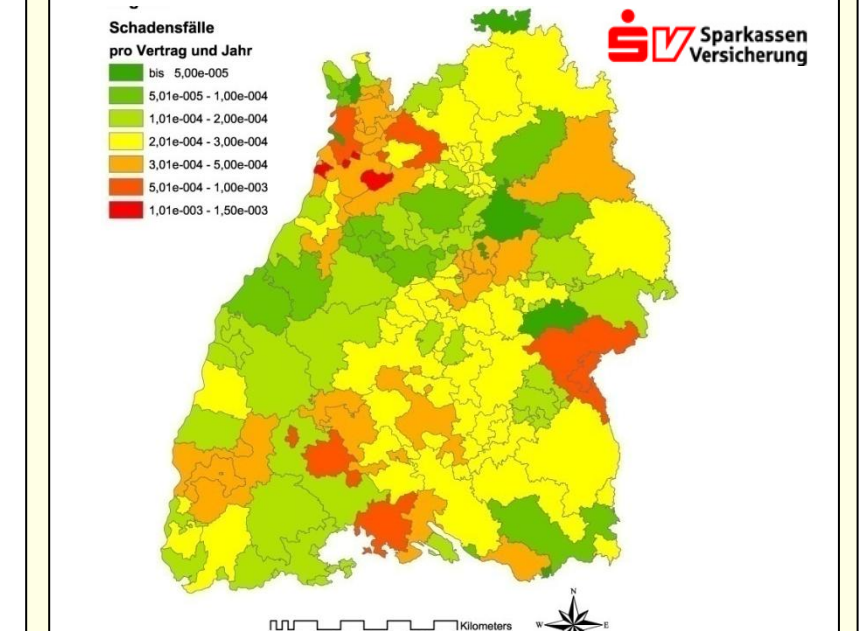
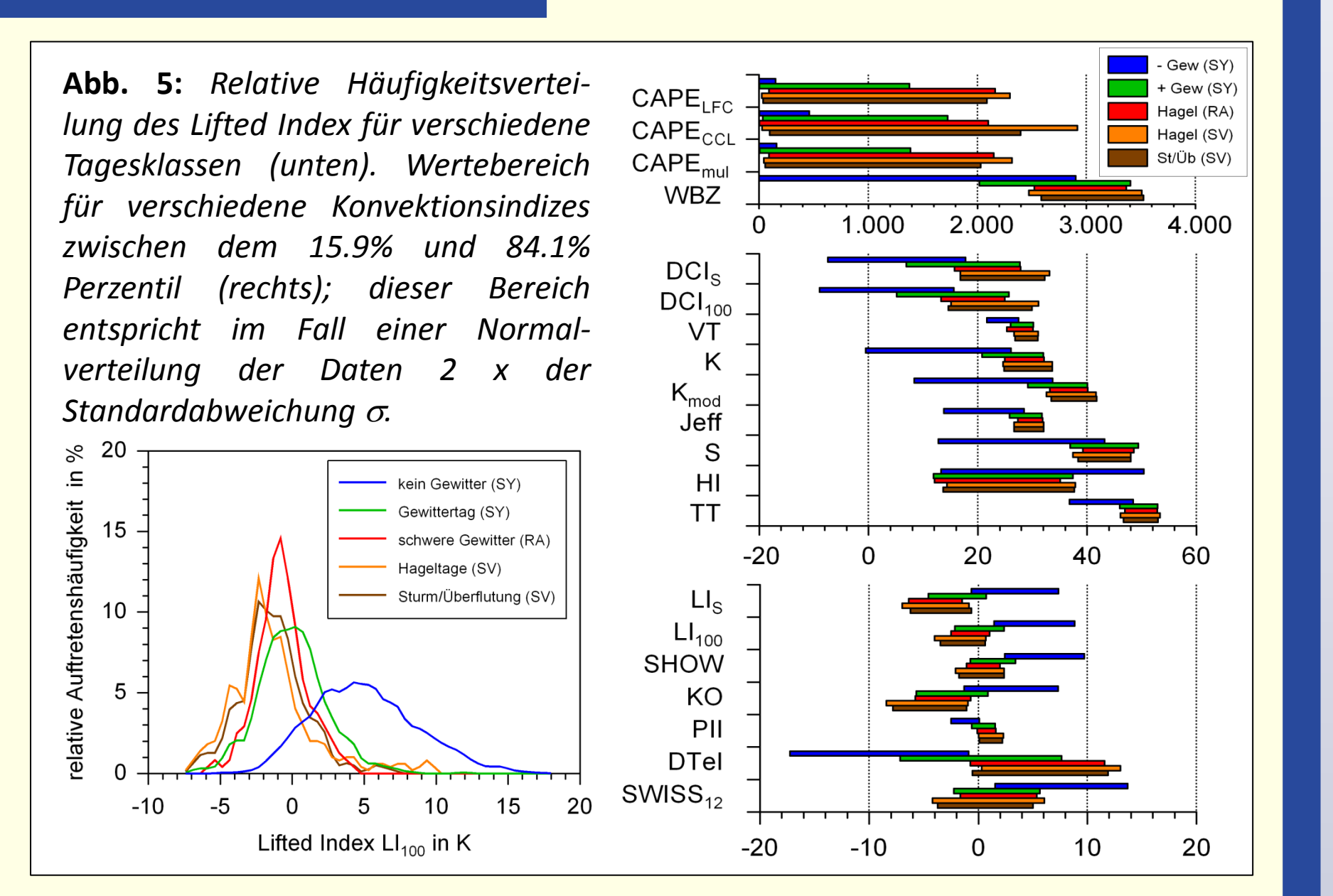


Abb. 3: Schadenfrequenz (= Anzahl Schäden/Anzahl Verträge) durch Hagel (Durchmesser  $> 20$  mm).

## Ergebnis I: Häufigkeitsverteilungen

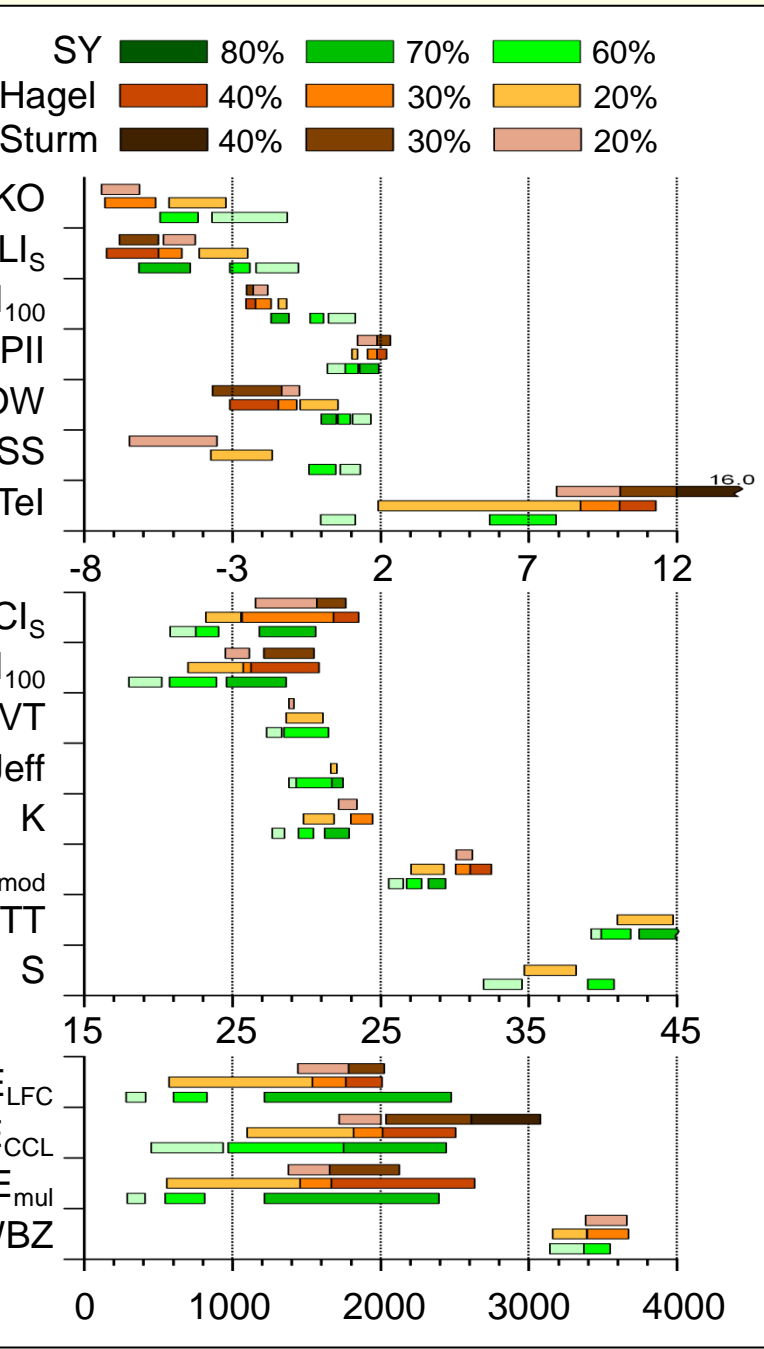
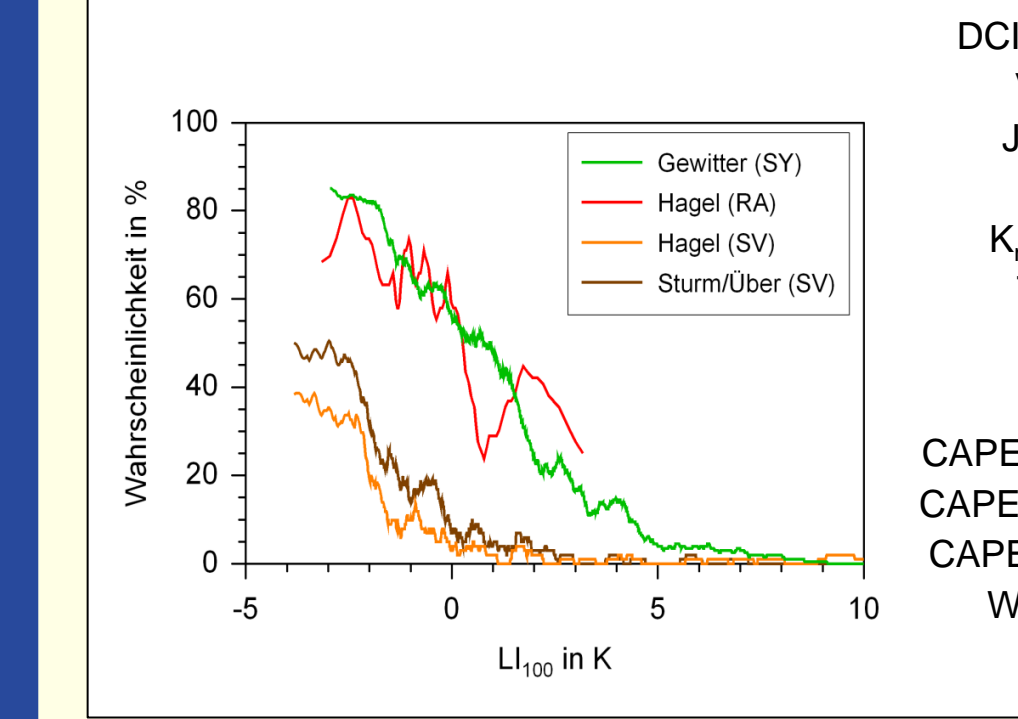
Je nach Charakterisierung der Tage ergeben sich unterschiedliche Häufigkeitsverteilungen für die verschiedenen Konvektionsindizes. Im Falle des Lifted Index  $LI_{100}$  (T, p, q, gemittelt über die untersten 100 hPa; Abb. 5, unten) kann beispielsweise in 62% aller Fälle zwischen Tagen mit/ohne Gewitter unterschieden werden.

Je besser die Trennung für die unterschiedlichen Tagesklassen, umso höher ist die Vorhersagegüte der Indizes zu bewerten (v.a.  $LI_{100}$ ,  $LI_S$ , SHOW, DTel, PII; Abb.5, rechts).



## Ergebnis II: Wahrscheinlichkeiten

Abb. 6: Wahrscheinlichkeit verschiedener Ereignisse als Funktion des Schwellenwerts  $\lambda(P)$  für den Lifted Index (unten). Diskrete Wahrscheinlichkeitsbereiche P und damit verbundene Schwellenwerte  $\lambda(P) \pm \sigma(P)$  der Konvektionsindizes, unterteilt nach Gewittertagen (SY), Hageltagen (RA und SV) und Tagen mit Sturm/Überschwemmung (SV).



Ziel war es, bestimmte Schwellenwerte der Konvektionsindizes mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen eines Ereignisses (Gewitter, Hagel, Sturmböen/Überschw.) zu verbinden. Je konvektiver der Wertebereich der Indizes, umso höher die berechnete Wahrscheinlichkeit  $P(\lambda)$ .

Z.B. kommt es bei  $LI_{100} \leq -1$  K mit einer Wahrscheinlichkeit von  $P \approx 80\%$  zu Gewittern, von  $P \approx 60\%$  zu Hagel und von  $P \approx 20\%$  zu Hagelschäden (Abb. 6, links).

Hohe Gewitterwahrscheinlichkeiten ( $P > 70\%$ ) ergeben sich für LI, DCI, CAPE, SHOW, PII, TT, K und Jeff.

## Methoden

### (a) Statistische Häufigkeitsverteilungen

Kriterien: gute Trennbarkeit der Häufigkeitsverteilungen für die Tage mit unterschiedlichen Ereignissen (kein Gewitter; Gewitter; Hagel; Sturmböen/Überflutung) über den Wertebereich der Konvektionsindizes.

→ Bestimmung diskreter Perzentile: 50% (= Median), 15.9% + 84.1% (=  $2\sigma$  für SNV)

### (b) Wahrscheinlichkeit

Kriterien: hohe Wahrscheinlichkeit für die korrekte Prognose aufgetretener Ereignisse (Gewitter; Hagel; Sturmböen/Überflutung).

→ Bestimmung der Wahrscheinlichkeit  $P$  ( $= \sum d_{\text{Gewitter}} / \sum d_{\text{alle}}$ ) und der Standardabweichung  $\sigma(P)$  für die Prognose verschiedener Ereignisse als Funktion des Schwellenwerts  $\lambda(P)$ .

### (c) Kategorische Verifikation

Kriterien: hohe Skill Scores (HSS, TSS, POD, CSI), geringe false alarm rate (FAR)

→ Bestimmung der 2 x 2 Matrixfelder (Kontingenztafel, Abb. 4) als Funktion des Schwellenwerts  $\lambda$  (Vorhersage).

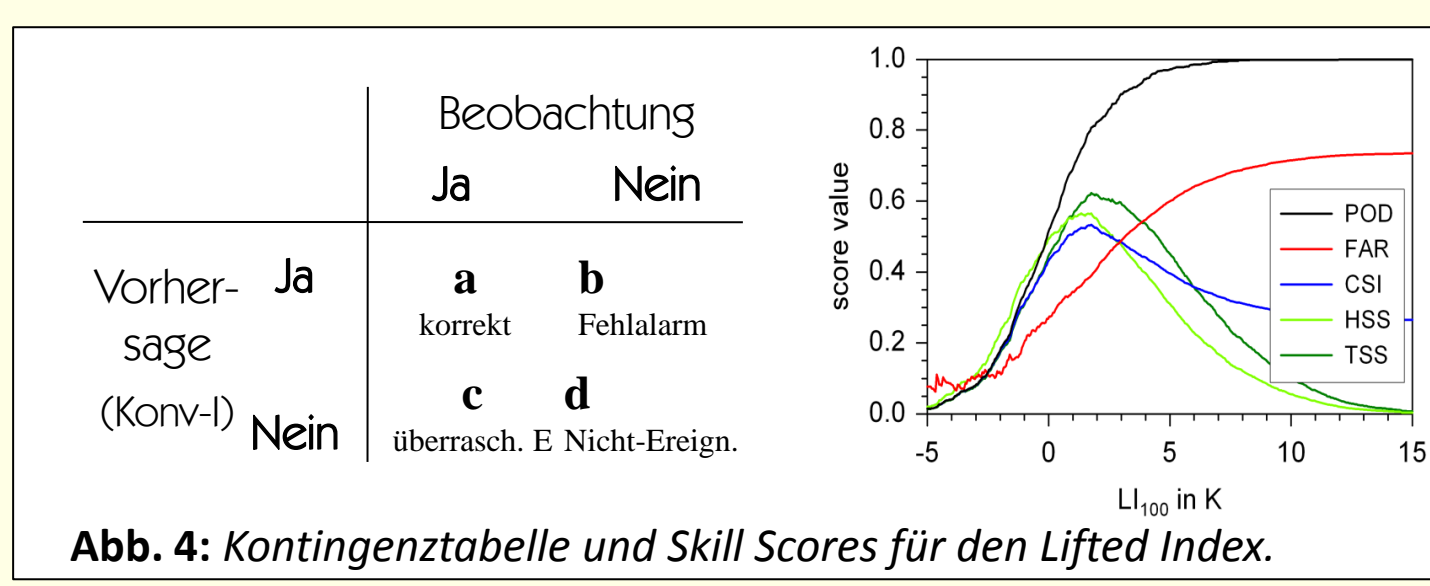


Abb. 4: Kontingenztafel und Skill Scores für den Lifted Index.

## Konvektionsindizes

Index	Gleichung
<b>A: Indizes für bedingte Instabilität</b>	
Vertical Totals	$VT = T_{850} - T_{500}$
Boyd Index	$BOYD = 0.1(Z_{700} - Z_{1000}) - T_{700} - 200$
<b>B: Indizes für latente Instabilität</b>	
Lifted Index	$LI_{100} = T_{500} - T'_{500}$
Deep Convective Index	$DCI = (T + Td)_{850} - LI_S$
Showalter Index	$SI = T_{500} - T_{850}^{dry}$
Convective available potential energy	$CAPE_{ELFC} = R_d \int_{P_{FC}}^{P_{EL}} (T'_v - T_v) dlnp$
	$CAPE_{ECL} = R_d \int_{P_{FC}}^{P_{EL}} (T'_v - T_v) dlnp$
	$CAPE_{mud} = R_d \int_{P_{FC}}^{P_{EL}} (T'_v - T_v) dlnp$
<b>C: Indizes für potentielle Instabilität</b>	
KD Index	$KD = 0.5(\theta_{e500} + \theta_{e700}) - 0.5(\theta_{e850} + \theta_{e1000})$
Delta-Phi	$\Delta\Phi = \theta_{e500} - \theta_{e200}$
Potential Instability Index	$PII = (\theta_{e250} - \theta_{e500}) / (Z_{500} - Z_{250})$
<b>D: Kombination aus A-C</b>	
Total Totals	$TT = (T + Td)_{850} - 2T_{500}$
K-Index	$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T - Td)_{700}$
modified K-Index	$K_{mod} = (T - T_{500}) + T_{d*} - (T - Td)_{700}$
Humidity Index	$HI = (T - Td)_{850} + (T - Td)_{700} + (T - Td)_{500}$
Jefferson Index	$JEFF = 1.6\theta_{e850} - T_{500} - 0.5(T_{700} - T_{d500}) - 8$
S-Index	$S = TT - (T - Td)_{700} - \Phi$
Wet Bulb Zero Height	WBZ
<b>E: Indizes für kinematische Eigenschaften</b>	
SWISS Index	$SWISS_{12} = LI_S - 0.1WSH_{0-3} + 0.1(T - Td)_{650}$
Severe Weather Threat Index	$SWEAT = 12T_{d850} + 20(TT - 49) + 2J_{850} + J_{500} + 125[\sin(d_{500} - d_{850}) + 0.2]$

Tab. 1: Zusammenfassung der Konvektionsindizes;  $\theta_e$  und  $\theta_{e*}$ : äquivalent-potentielle und wet-bulb pot. Temperatur, Z: geop. Höhe. Die tiefste Zahl bezeichnet bei  $T_x / T_d$  eine bestimmte Druckfläche, an den Indizes eine Mischung vom Boden bis X hPa darüber (s = Boden ohne Mittelung); ein Pfeil a → b bezeichnet die Hebung eines Luftpakets vom Niveau a nach b (Ausführliche Beschr. in Kunz, 2007). Bedingte Instabilität (A): Temperaturgradient zwischen trocken- und sättigungsadiabatisch; latente Instabilität (B): Aufsteigen eines feuchten Luftpakets in bedingt labile Schicht oberhalb des Konvektionsniveaus; potentielle Instabilität (C): Instabil. bei Hebung Luftsäule.

## Ergebnis III: Skill Scores und Schwellenwerte

Mittels verschiedener Skill Scores (Heidke Skill Score HSS, True Skill Statistics TSS) wurde die Vorhersagegüte der Indizes quantifiziert und sinnvolle Schwellenwerte  $\lambda$  für die Trennung in eintreffende Ereignisse vs. Nicht-Ereignisse bestimmt (Tabelle 2).

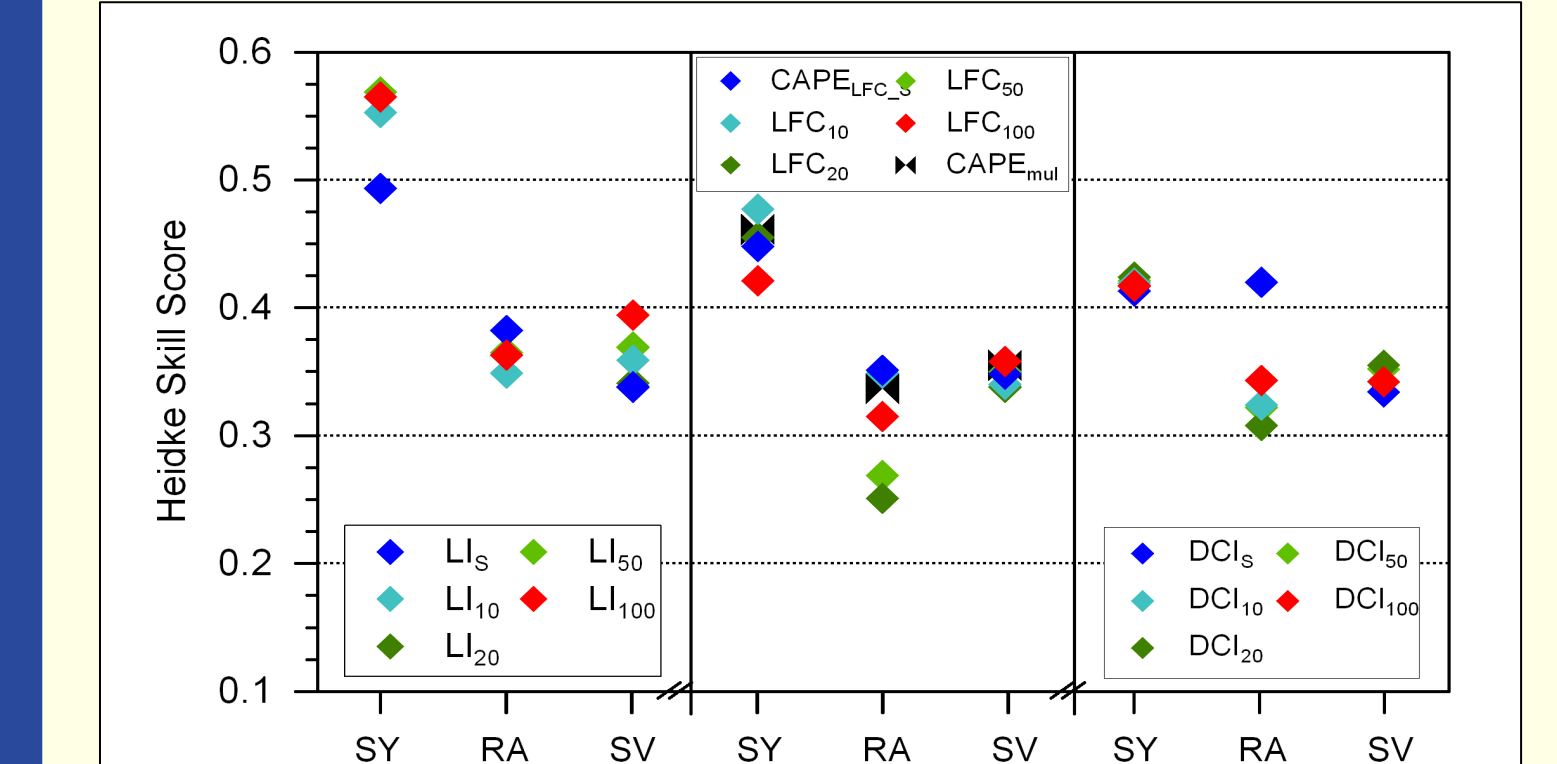


Abb. 7: Heidke Skill Score HSS für verschiedene Mittelungen von  $LI_S$ ,  $CAPE_{FC}$  und  $DCI_{100}$  (vom Boden bis X hPa) für unterschiedlich klassifizierte Tage SY (Gewitter), RA (Hagel), SV (Hagel schadenrel)..

Tab. 2: Ranking der Indizes (nach HSS) mit Schwellenwerten für versch. Ereignisse (Auswahl).

Index	Schwellenwert	HSS	TSS	POD	CSI	FAR
<b>(a) SY: Gewitter vs. Nicht-Gewitter</b>						
$LI_{100}$	$\leq -1.76$ K	0.57	0.62	0.81	0.53	0.39
SHOW	$\leq 2.51$ K	0.55	0.58	0.75	0.51	0.38
$LI_S$	$\leq -0.22$ K	0.49	0.54	0.73	0.47	0.43
$K_{mod}$	$\geq 33.9$ K	0.48	0.49	0.65	0.45	0.40
PII	$\geq -0.17$ K km <sup>2</sup>	0.47	0.52	0.72	0.46	0.44
TT	$\geq 48.1$ K	0.47	0.49	0.67	0.45	0.42
<b>(b) SV: schadenrelevanter Hagel vs. kein Hagel</b>						
$LI_{100}$	$\leq -2.07$ K	0.39	0.44	0.48	0.27	0.62
$CAPE_{CCL}$	$\geq 1763$ J kg <sup>-1</sup>	0.36	0.41	0.45	0.24	0.66
$CAPE_{mud}$	$\geq 1474$ J kg <sup>-1</sup>	0.36	0.39	0.43	0.24	0.65
$CAPE_{ELFC}$	$\geq 1474$ J kg <sup>-1</sup>	0.35	0.39	0.42	0.23	0.66
DTel	$\geq 10.3$ K	0.35	0.34	0.36	0.23	0.62
$DCI_{100}$	$\geq 25.7$ K	0.34	0.40	0.44	0.23	0.68
<b>(c) SV: schadenrelevanter verbreiteter Hagel vs. lokaler Hagel</b>						
PII	$\geq 2.71$ K km <sup>2</sup>	0.31	0.25	0.29	0.24	0.40
SWEAT	$\geq 287$	0.31	0.23	0.25	0.23	0.29
$DCI_{100}$	$\geq 35.4$ K	0.30	0.22	0.24	0.22	0.29
SHOW	$\leq 3.97$ K	0.30	0.22	0.24	0.22	0.29
$LI_{100}$	$\leq -4.21$ K	0.29	0.27	0.38	0.25	0.58
$CAPE_{CCL}$	$\geq 2431$ J kg <sup>-1</sup>	0.27	0.30	0.48	0.26	0.64

## Schlussfolgerungen

- ✗ Konvektionsindizes, abgeleitet aus 12 UTC Aufstiegen, können die vorkonvektiven Bedingungen in einem mesoskaligen Gebiet (hier:  $R = 75$  km) gut wiedergeben. Voraussetzung: kein markanter Luftmassenwechsel.
- ✗ Die Güte der Konvektionsindizes ist stark abhängig von der Gewitterart/-intensität und der Fragestellung (Gewittervorhersage, Schadenprognose, Konvektionsmaß, Rolle FAR).
- ✗ Höchste Wahrscheinlichkeiten und Gütemaße für  $LI_{100}$ ,  $DCI_{100}$ , SHOW, CAPE (lat. Inst.) und DTel, PII (pot. Inst.).
- ✗ Latente und potentielle Instabilität entscheidend (siehe Tabelle 1); Berücksichtigung kinetischer Parameter (z.B. SWEAT, SWISS) ergibt auch nur bei extremen Ereignissen niedrige Scores.
- ✗ Vorhersagezeitraum der Konvektionsindizes abgeleitet aus Radiosondenaufstiegen 1-12 h; entscheidender Zeitbereich für End-Nutzer bzw. für Warnungen vor extremen konvektiven Ereignissen  
⇒ Kombination mit Kurzfristvorhersagen (COSMO-DE/LMK) und Nowcasting-Tools sinnvoll

Haklander, A.J., und A. Van Delden, 2003: Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands. Atmos. Res., 67-68, 273-299.  
Kunz, M., und Ch. Kottmeier, Meteorologische Ereignisse mit großem Schadenspotenzial. In: KLARA – Klimawandel, Auswirkungen, Risiken, Anpassung. PIK Report Nr. 99, Hrsg. M. Stock, 161-172.  
Kunz, M., 2007: The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 7, 324-342.