

# Sensitivität der Modellergebnisse gegenüber der räumlichen Diskretisierung und der Informationsdichte

Helge Bormann

Universität Oldenburg  
Institut für Biologie und Umweltwissenschaften  
AG Hydrologie

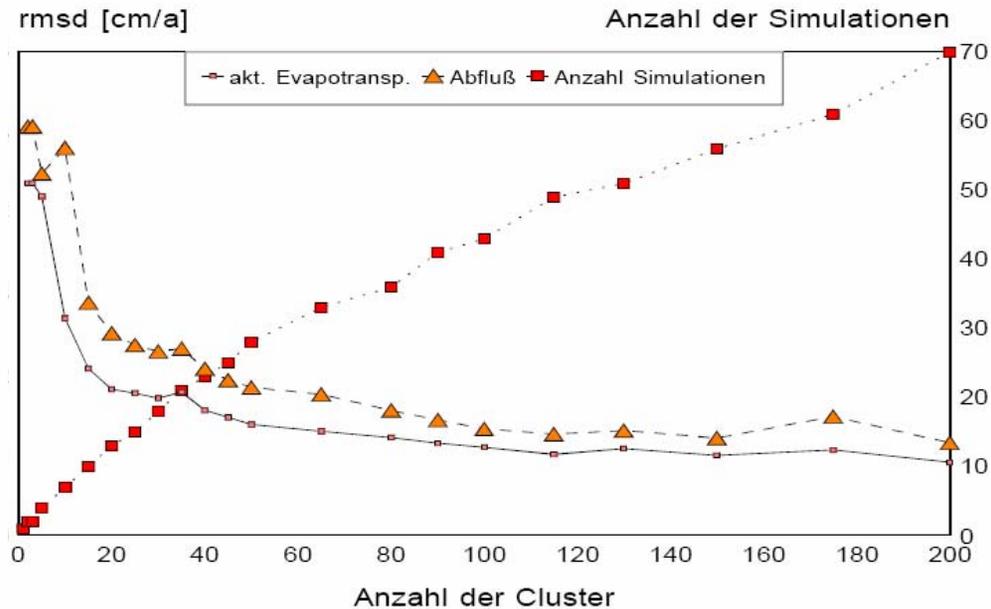
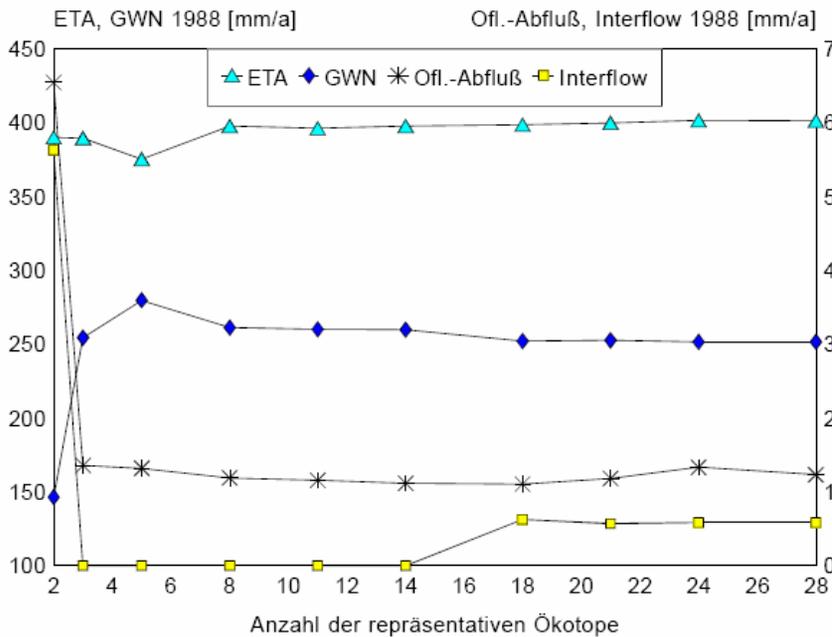
## Gliederung

- Rückblick auf vergangene Workshops
- Räumliche Diskretisierung
- Informationsdichte
- Schlussfolgerungen

## Workshop Rückblick

1997 Potsdam, 1998 Rauschholzhausen

→ Anzahl repräsentativer Ökotope (, Hydrotope, HRU)



Dieckrüger et al. 1998

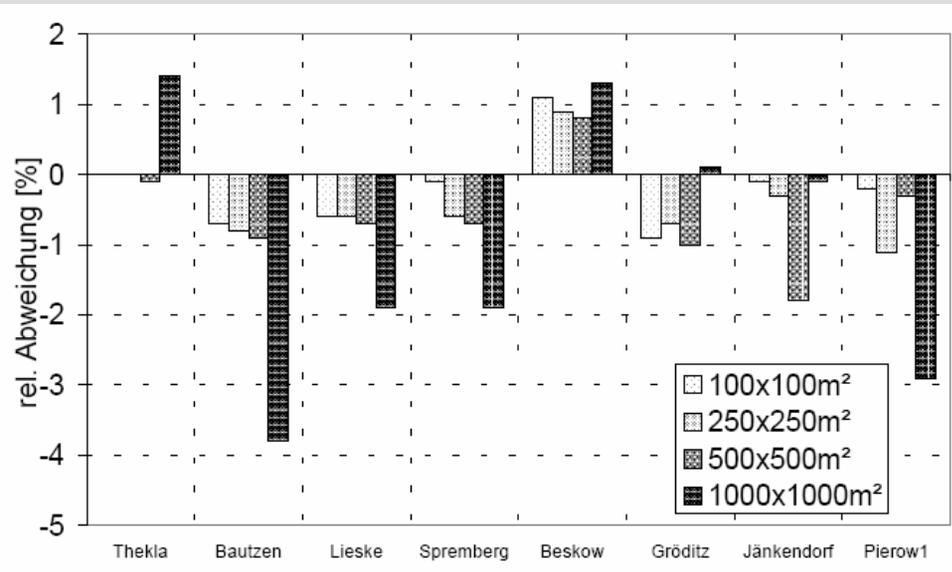
Bormann et al., 1999

# Sensitivität - räumliche Diskretisierung - Informationsdichte

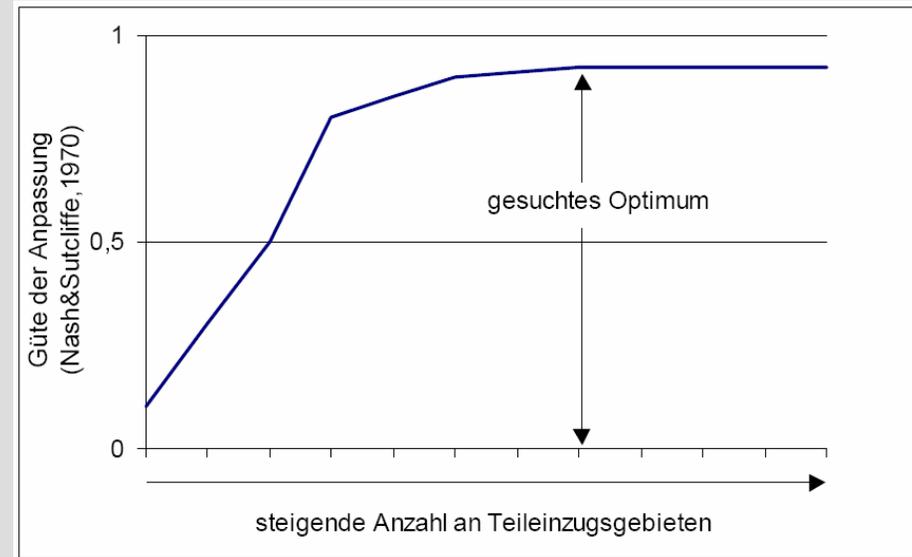
## Workshop Rückblick

1998 Gießen

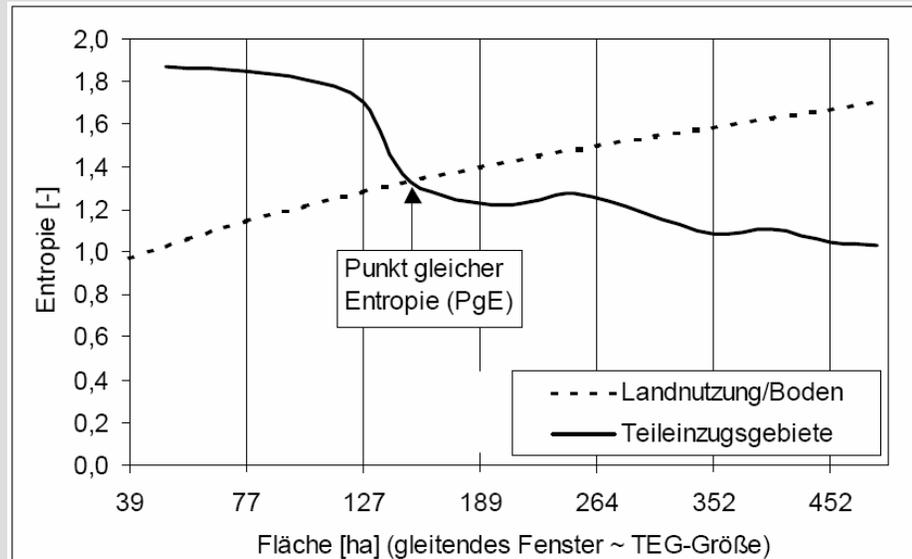
→ Entropie



Krause & Kunkel, 1999



Haverkamp et al., 1999



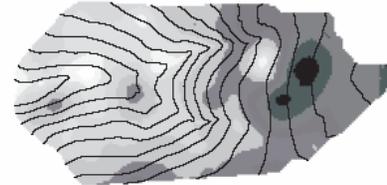
# Sensitivität - räumliche Diskretisierung - Informationsdichte

## Workshop Rückblick

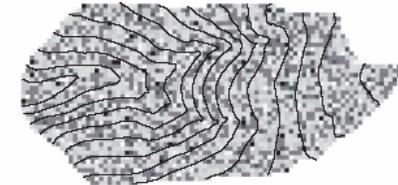
2001 Bonn

→ räumliche Strukturen

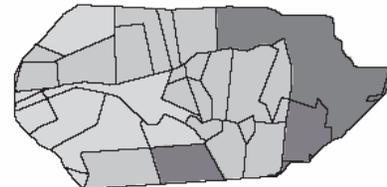
Ausgangsverteilung



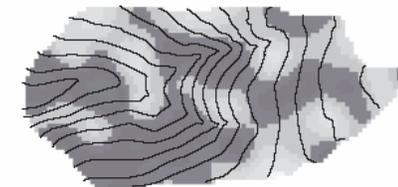
Zufall



Choroplethen



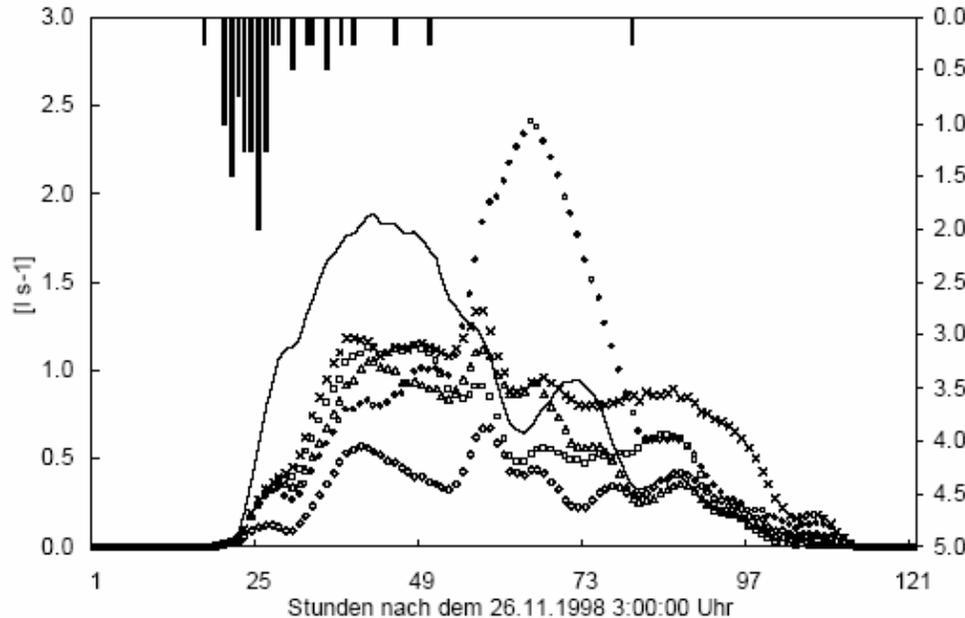
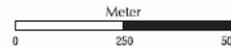
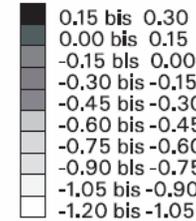
Stochastischer Prozess



Kond. Stochastischer Prozess



$\log_{10}(K_s [\text{cm h}^{-1}])$  A-Horizont



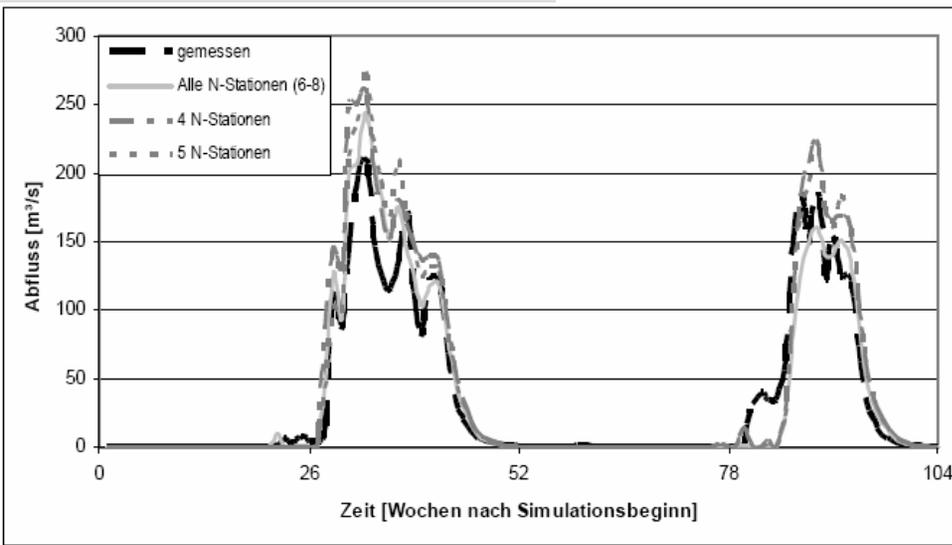
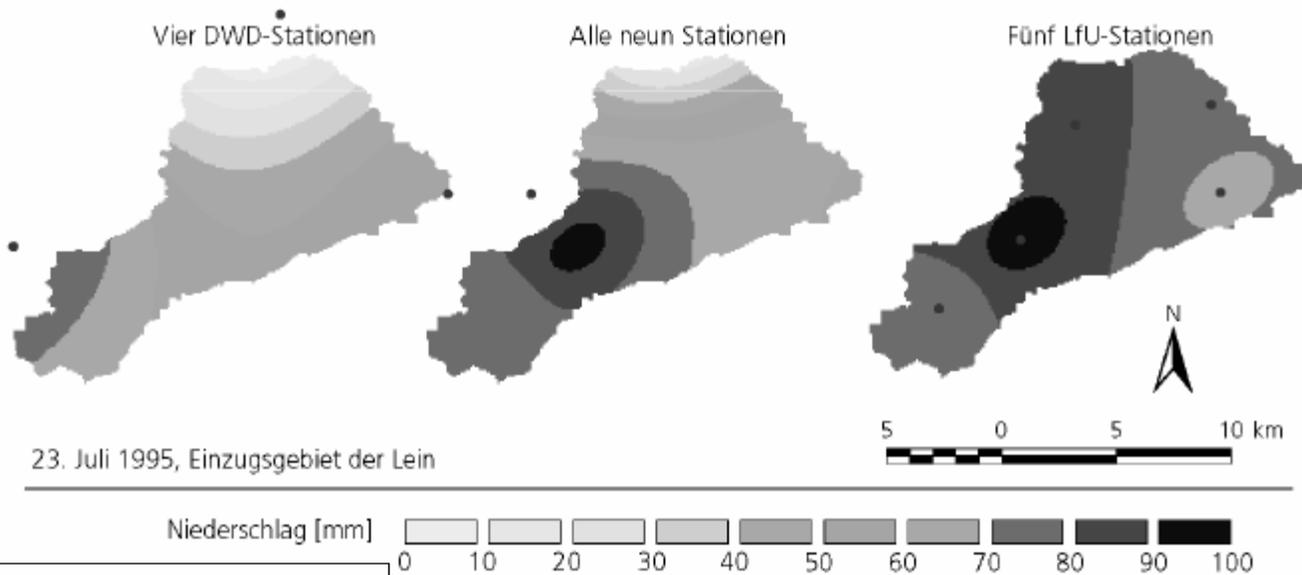
- Niederschlag
- Ausgangsdiskret. (0,61)
- Choroplethen (0,40)
- ◇ Homogen (0,23)
- Stoch. Sim. (0,63)
- × Zufall (0,57)
- △ Kond. Stoch. Sim. (0,39)

Herbst & Dieckrüger, 2002

## Workshop Rückblick

2002 Magdeburg

→ Niederschlags-  
Informationen



Bronstert & Niehoff, 2003

Bormann & Dieckrüger,  
2003

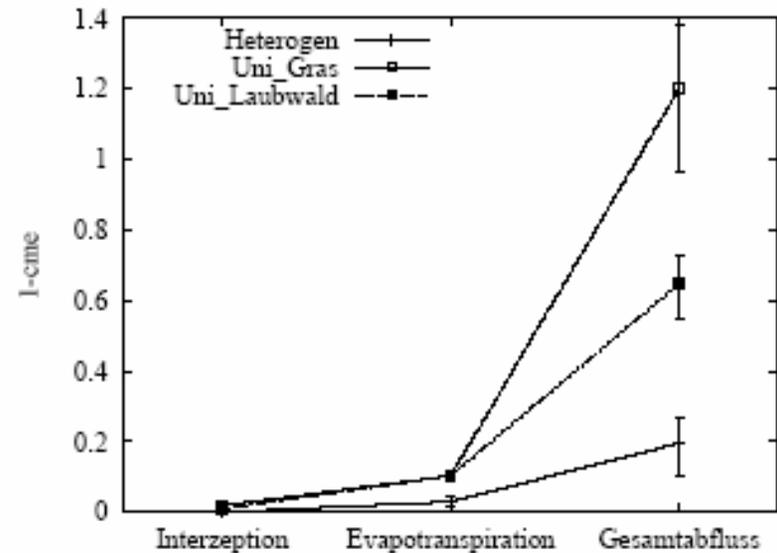
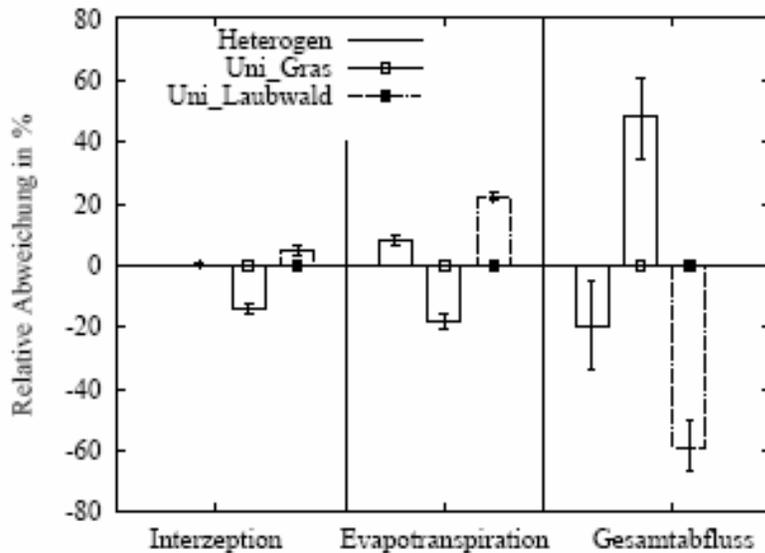
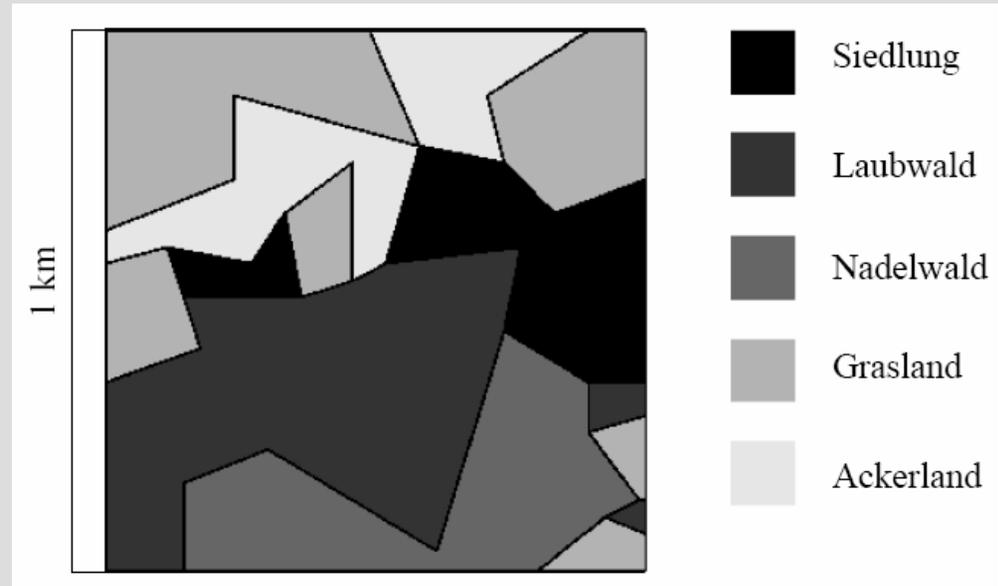
# Sensitivität - räumliche Diskretisierung - Informationsdichte

## Workshop Rückblick

2002 Magdeburg

→ Heterogenität von Simulationseinheiten

Stephan & Dieckkrüger, 2003

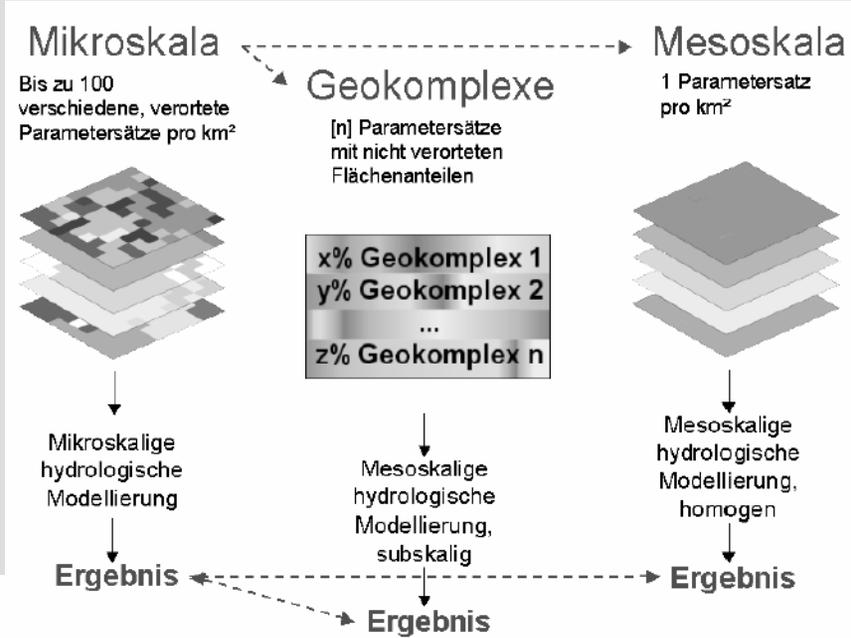


# Sensitivität - räumliche Diskretisierung - Informationsdichte

## Workshop Rückblick

2003 München

→ Heterogenität von Simulationseinheiten



Mikroscala



494,3 mm mittlere ET

132 mm •  $\dot{E}_T$

Geokomplexe



493,7 mm mittlere ET

133 mm •  $\dot{E}_T$

Mesoskala



495,2 mm mittlere ET

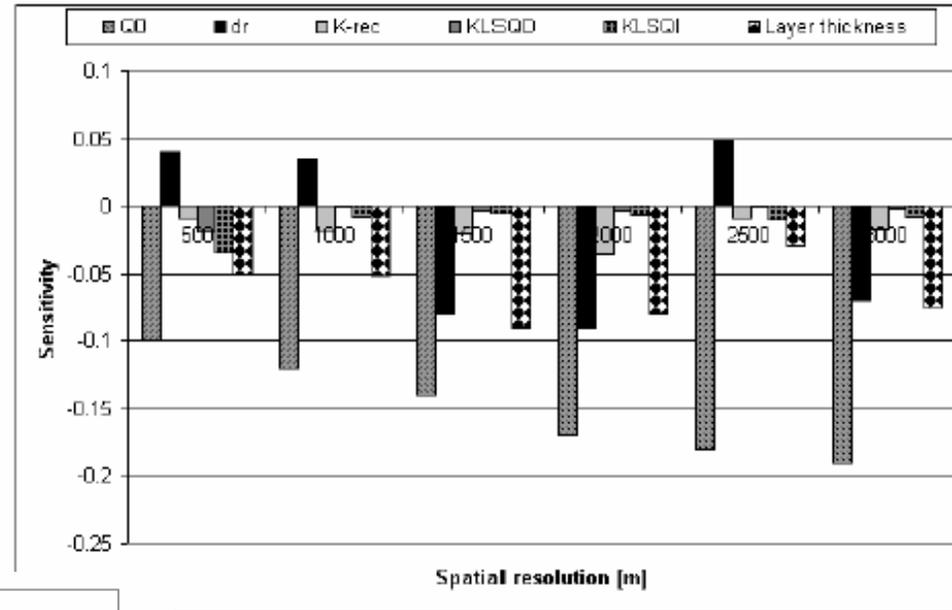
159 mm •  $\dot{E}_T$

# Sensitivität - räumliche Diskretisierung - Informationsdichte

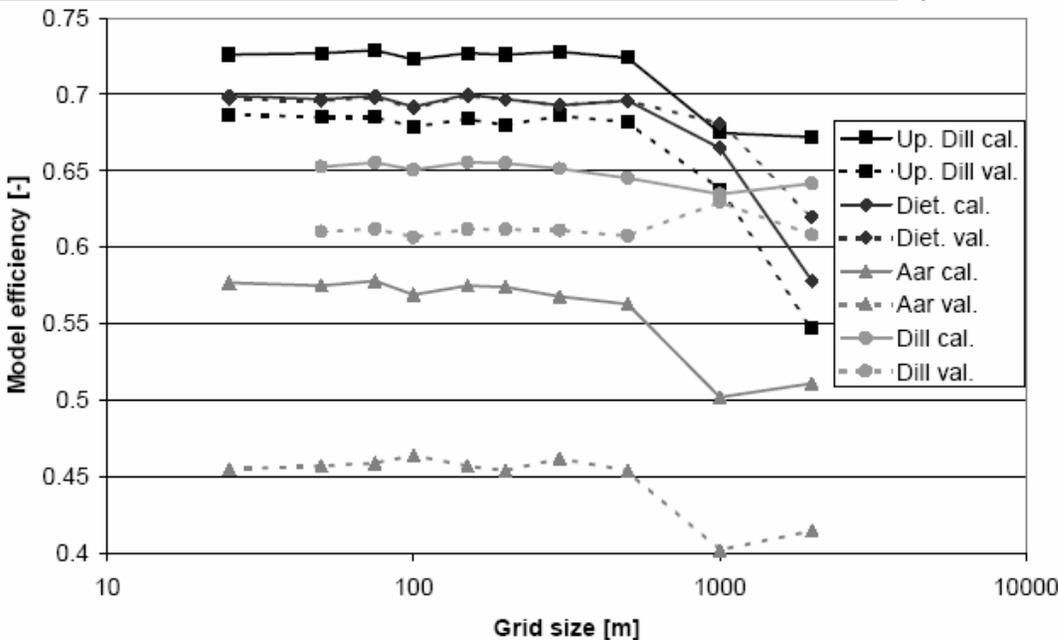
## Workshop Rückblick

2005 Freudenstadt

→ Rasterweite



Cullmann, 2006

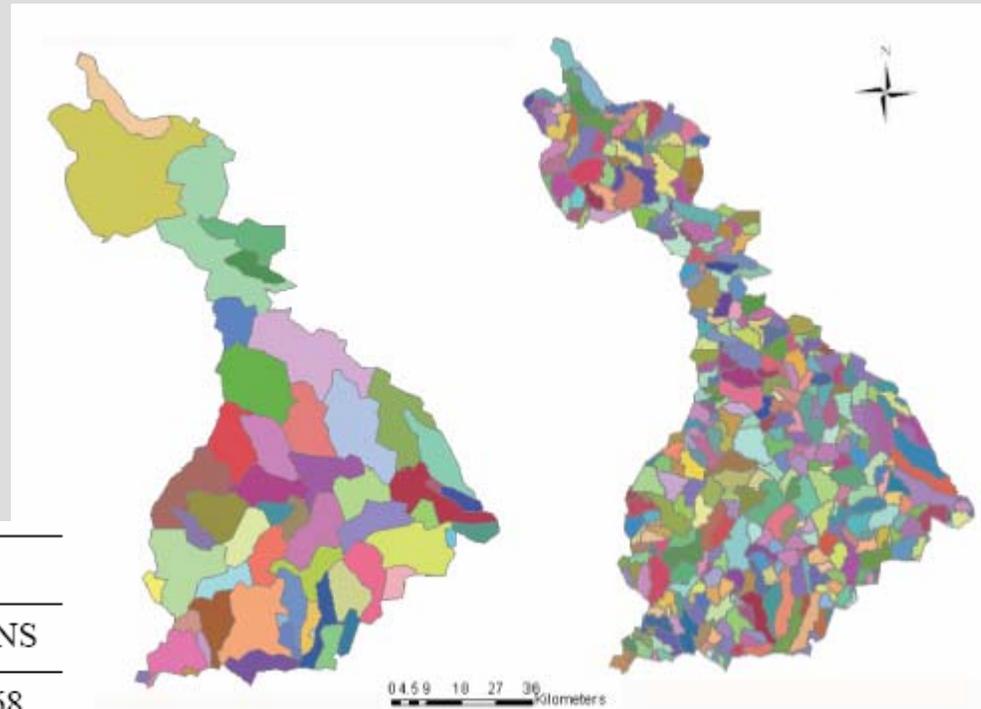


Bormann, 2006

## Workshop Rückblick

2005 Freudenstadt

→ HRU vs. TEZG



Year	SB		HRP	
	NS	logNS	NS	logNS
calibration period 1986	0.70	0.71	0.76	0.68
validation period 1987	0.43	0.45	0.76	0.68
1988	0.18	0.53	0.70	0.70
1989	0.60	0.74	0.75	0.69

Year	P	ETa	SB		HRP	
			$\Delta S$ [mm/a]	$\Delta S$ [% of P]	$\Delta S$ [mm/a]	$\Delta S$ [% of P]
1987	1009	598	-62	-6	-79	8
1988	736	586	106	14	82	11
1989	778	595	-50	-6	18	2
Mean <sup>a</sup>	687	527				

## Haupt-Workshop-Themen

- Sensitivität bzgl. Auflösung (hauptsächlich Raum, seltener Zeit)
- Darstellung / Berücksichtigung der subgrid-variability
- Auswirkungen von Mustern auf Prozesse  
(Effektive Parameter? Effektive Flüsse?)

## *Zu erwarten: Sensitivität ...*

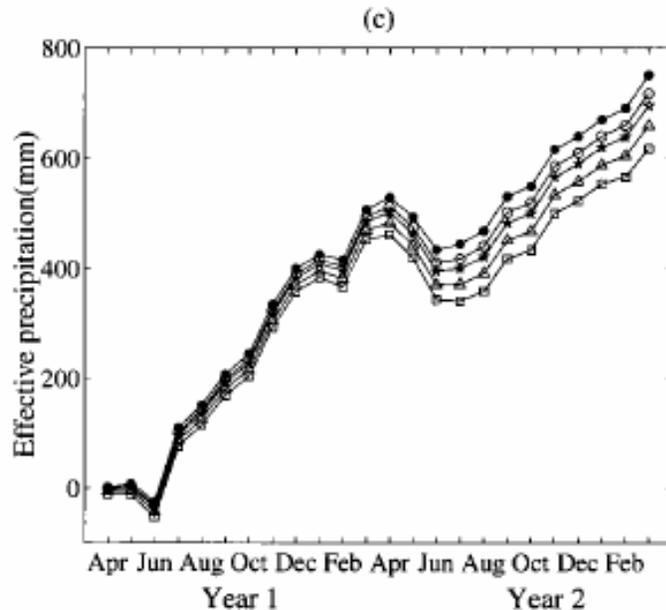
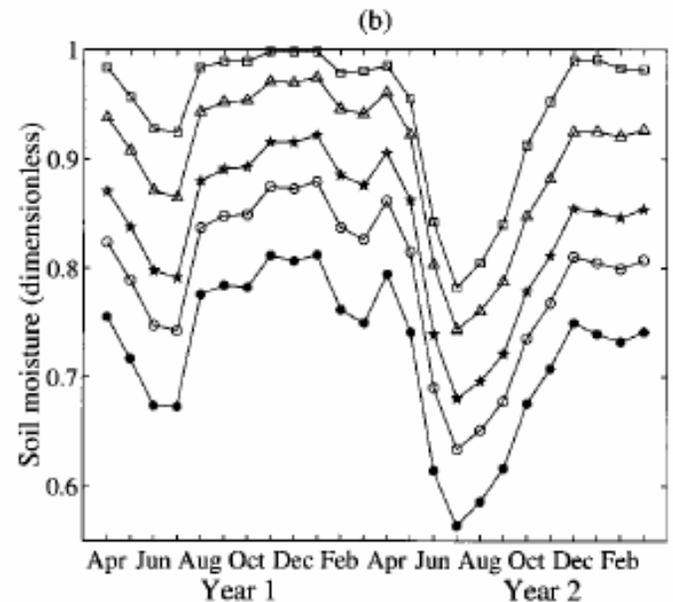
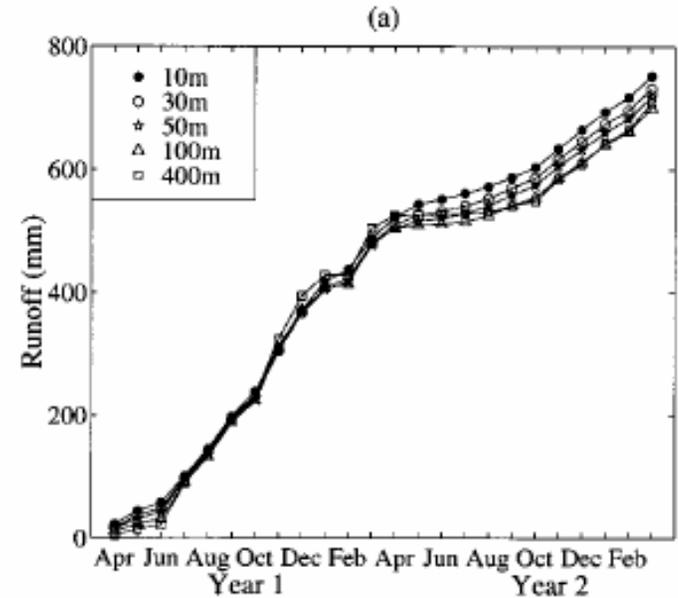
abhängig von

- Modelltyp (Bucket-Modell, Physikalisches Modell)?
- Zielgröße (Hochwasserabfluss, jährliche ET)?
- Gebiet(seigenschaften)?
- Kalibrierung vs. Partametrisierung?

## Räumliche Diskretisierung

Kuo et al. (1999) WRR  
*Variable source area hydrology model*

DEM-Aggregation:  
10 - 600m grid size



## Räumliche Diskretisierung

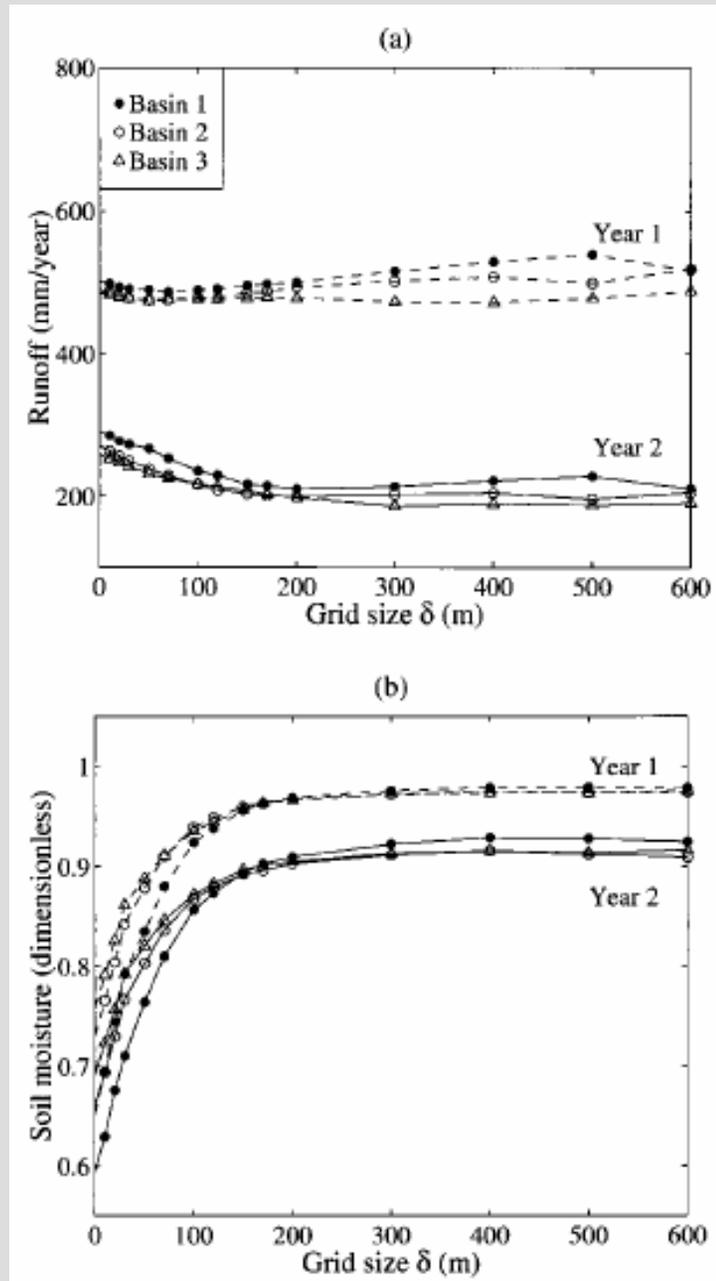
Kuo et al. (1999) WRR  
Variable source area hydrology model  
10 - 600m grid size

Ähnliche Muster in verschiedenen Jahren

Ähnliche Muster in verschiedenen EZG

Unterschiedliche Muster für  
verschiedene Wasserflüsse

Bedeutung des Pre-processings

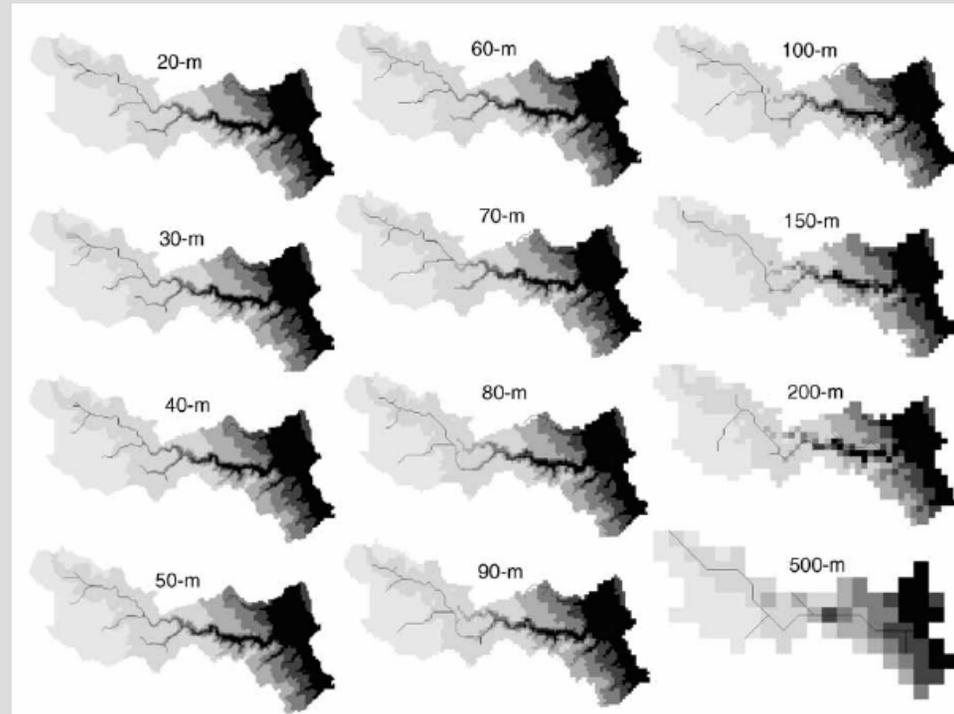


# Sensitivität - räumliche Diskretisierung - Informationsdichte

## Räumliche Diskretisierung

Chaplot (2005)  
Journal of Hydrology 312  
SWAT

DEM: 20 - 500m  
3 Bodenkarten  
(1:25.000, 1:250000, 1:500.000)



	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m	90 m	100 m	150 m	200 m	500 m
Altitude												
Min	264.04	264.04	264.04	264.66	264.87	265.16	265.24	264.13	265.10	265.18	265.92	268.25
Max	317.02	316.95	317.01	316.95	317.01	316.86	316.87	316.74	316.82	316.95	315.49	314.97
Mean	298.62	298.62	298.63	298.67	298.63	298.59	298.64	298.61	298.67	298.72	298.54	298.56
SD	12.98	12.99	12.99	12.96	12.96	12.97	12.96	13.01	12.93	12.96	13.04	12.75
Slope												
Min	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
Max	16.59	14.33	12.27	11.14	10.42	9.33	8.53	7.71	7.51	5.17	3.91	1.36
Mean	1.51	1.46	1.39	1.33	1.28	1.23	1.17	1.11	1.06	0.89	0.77	0.44
SD	2.01	1.89	1.76	1.63	1.51	1.42	1.31	1.20	1.12	0.85	0.70	0.32
Reaches length (m)	24,470	27,164	24,396	25,446	24,854	25,559	25,211	25,633	26,336	16,947	14,675	16,753
Area (ha)	2183	2184	2188	2211	2192	2134	2183	2174	2181	2099	2064	2200
Perimeter	41,240	39,960	41,040	41,100	40,560	41,440	40,320	40,140	40,200	37,500	34,800	36,000

## Räumliche Diskretisierung

### Chaplot - SWAT

	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m	90 m	100 m	150 m	200 m	500 m
<i>Runoff (<math>m^3 s^{-1}</math>)</i>												
Mean	0.037	0.037	0.039	0.038	0.040	0.038	0.040	0.041	0.036	0.052	0.043	0.043
MD		0.000	0.002	0.001	0.003	0.001	0.004	0.004	0.000	0.015	0.006	0.006
RMSD		0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	0.005	0.006	0.001	0.020	0.008	0.008
MAD		0.001	0.002	0.001	0.003	0.001	0.004	0.004	0.000	0.015	0.006	0.007
<i>p</i>	0.047	0.047	0.049	0.048	0.050	0.048	0.049	0.050	0.046	0.057	0.051	0.049
<i>Nitrogen (<math>ton N month^{-1}</math>)</i>												
Mean	3.58	4.18	4.17	3.44	4.13	3.65	3.51	3.63	3.12	4.78	3.74	0.27
MD		0.61	0.59	-0.14	0.55	0.07	-0.06	0.05	-0.46	1.20	0.16	-3.31
RMSD		0.90	0.88	0.50	0.81	0.15	0.45	0.12	0.87	1.87	0.38	5.92
MAD		0.60	0.59	0.26	0.55	0.07	0.24	0.05	0.46	1.21	0.24	3.28
<i>p</i>	6.40	6.95	6.93	6.03	6.87	6.50	6.15	6.48	5.30	7.56	6.24	3.02
<i>Sediment (<math>ton month^{-1}</math>)</i>												
Mean	65	69	68	62	65	66	64	64	53	72	55	24
MD		4	3	-4	0	1	-1	-1	-12	6	-10	-41
RMSD		8	5	11	3	2	7	2	25	12	25	85
MAD		4	3	5	1	1	4	1	12	7	10	41
<i>p</i>	138	144	141	128	136	139	133	136	108	144	110	51

- Räumliche Diskretisierung wichtiger als Maßstab der Bodenkarte
- Nährstoffe / Erosion sensitiver als Abfluss

# Sensitivität - räumliche Diskretisierung - Informationsdichte

## Räumliche Diskretisierung

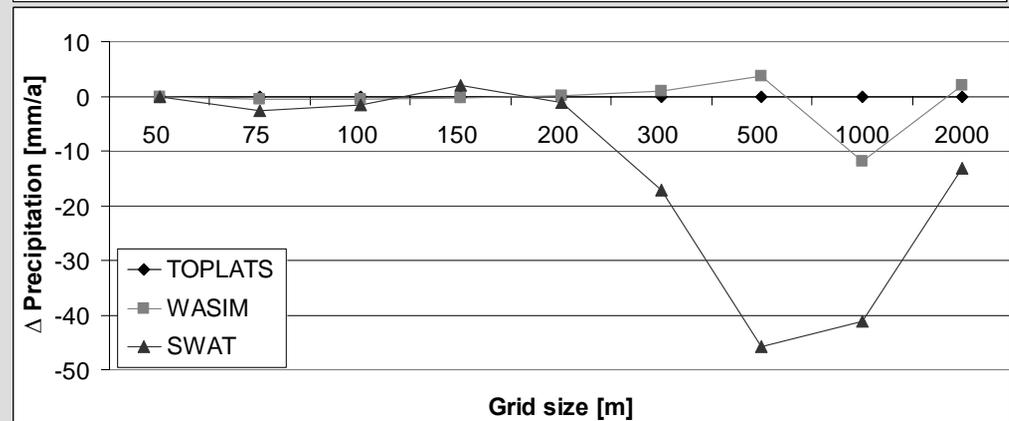
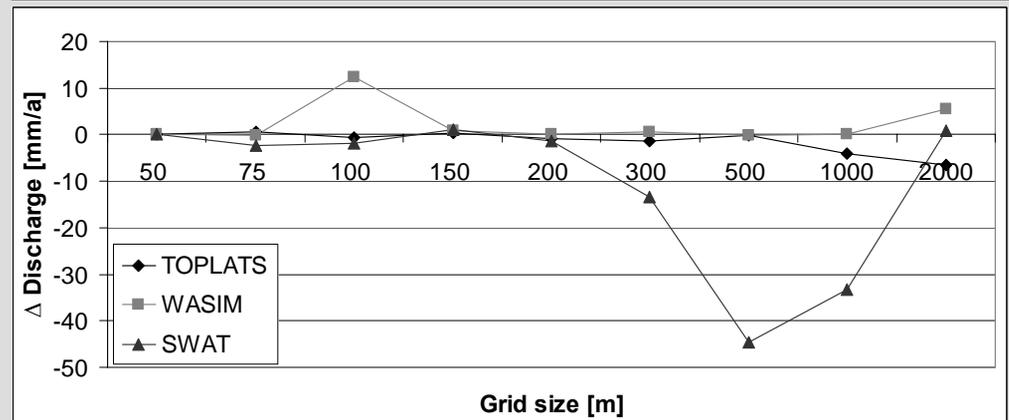
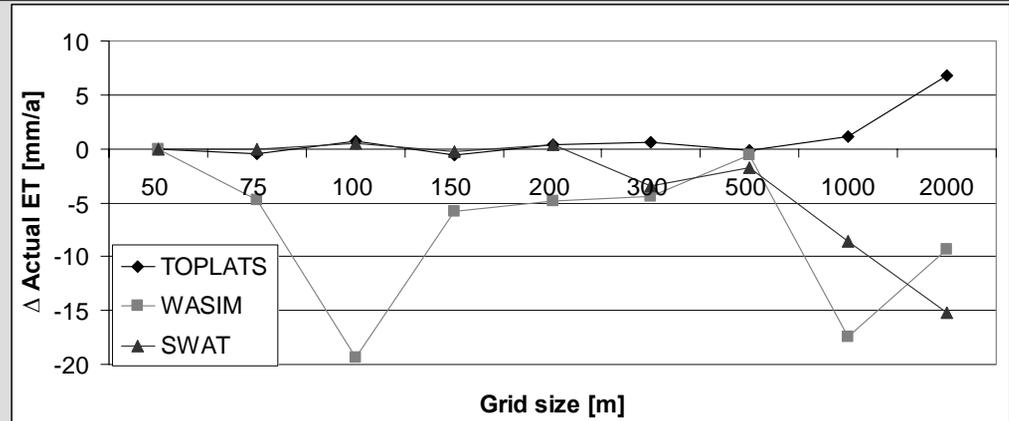
Bormann et al.  
(submitted to AWR)  
SWAT, WASIM,  
TOPLATS

Aggregation aller Daten

„Kalibrierung“ nur für  
kleinste Rasterweite

Modellspezifische  
Sensitivität

Bedeutung des  
Daten Pre-Processings?!



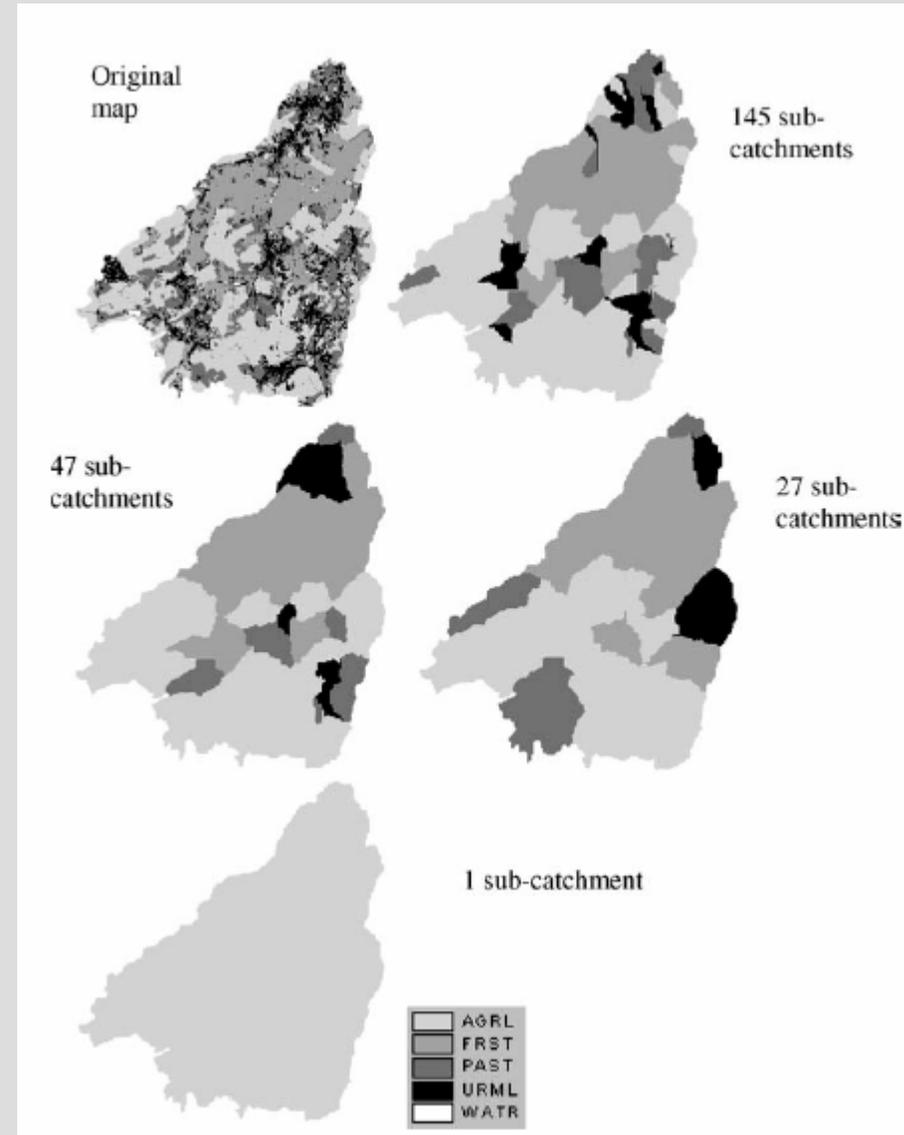
## Räumliche Diskretisierung

Romanowicz (2005)  
Ecological Modelling 187  
SWAT

Effect of **data preprocessing**  
(soil land use) and catchment  
**discretisation** on simulated  
hydrological processes

Soil profile data base  
1:25.000  
1:500.000

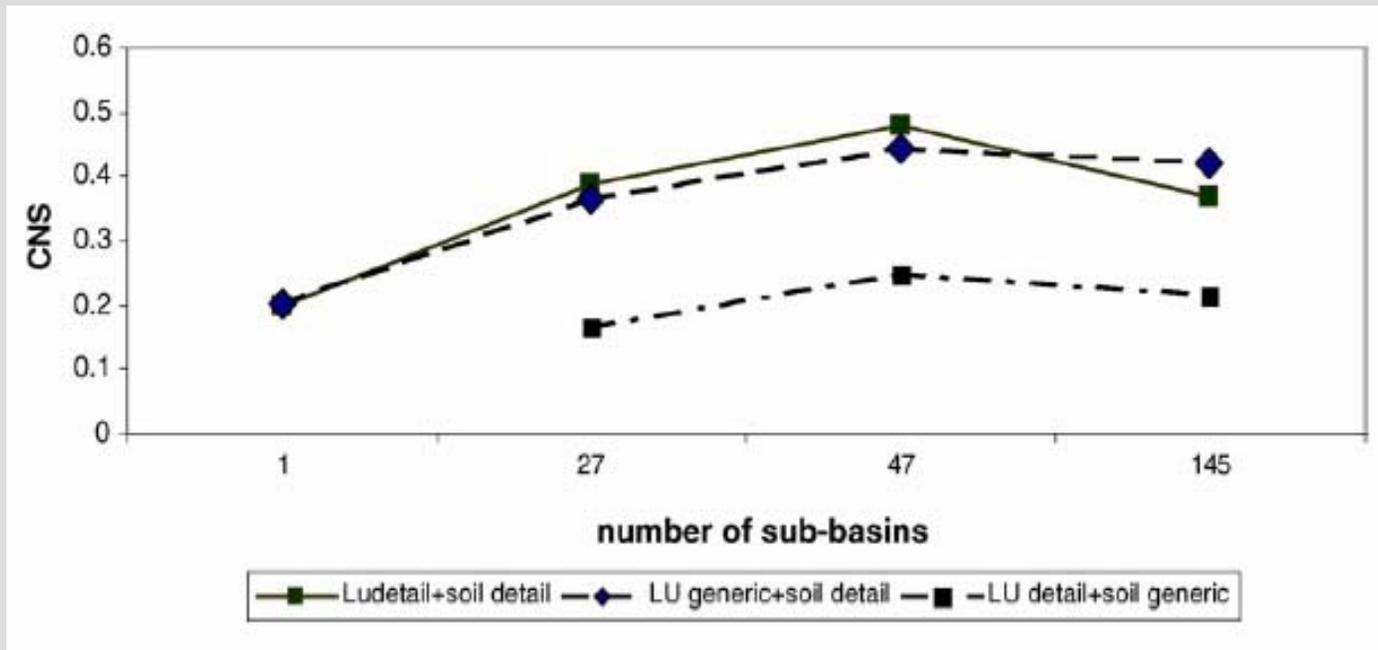
Detailed land use map  
Generalised land use map



land use information

## Räumliche Diskretisierung

Romanowicz (2005) Ecological Modelling 187  
SWAT



- Keine Kalibrierung
- SWAT extrem sensitiv bzgl. Landnutzungs- und Bodendaten
- Schlüsselparameter: „catchment size threshold value“

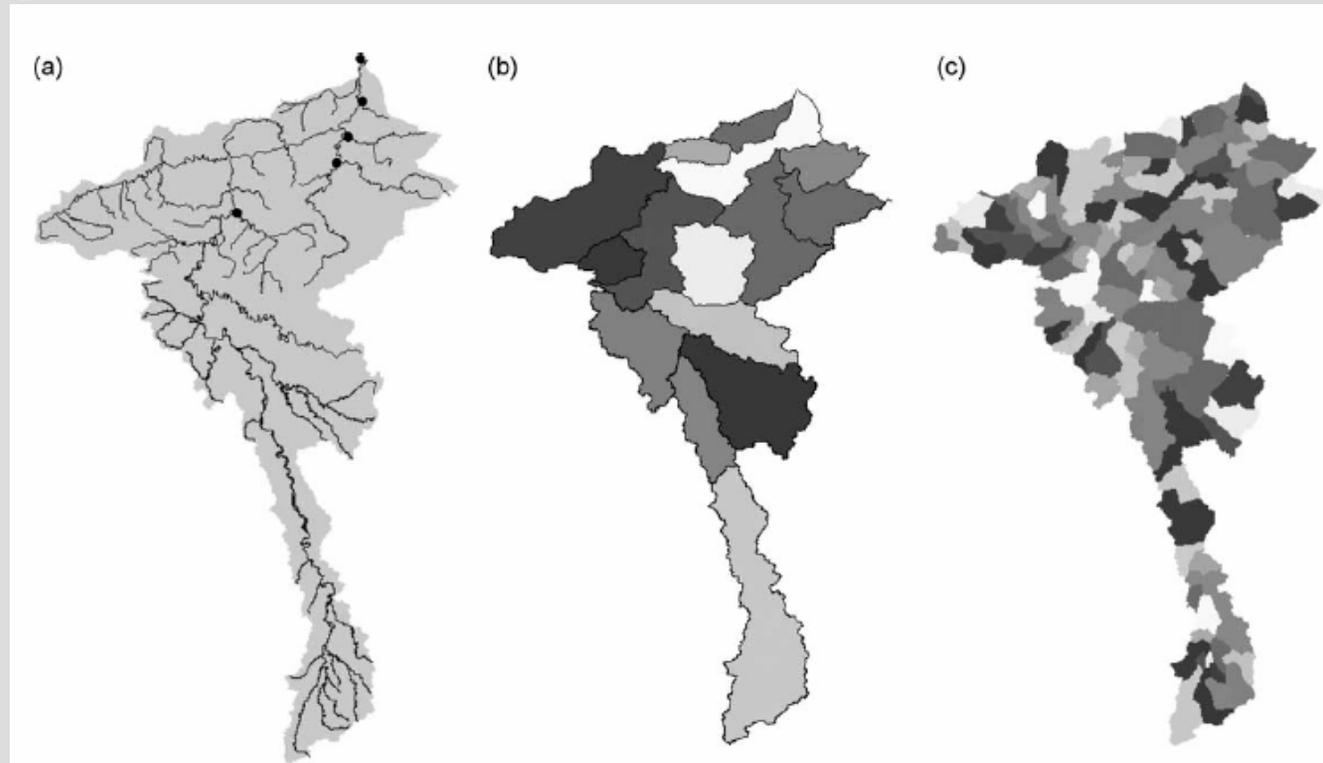
## Räumliche Diskretisierung

Booij (2005) Journal of Hydrology  
HBV

## EZG-Diskretisierung

118 TEZG  
15 TEZG  
1 EZG

Jeweils kalibriert



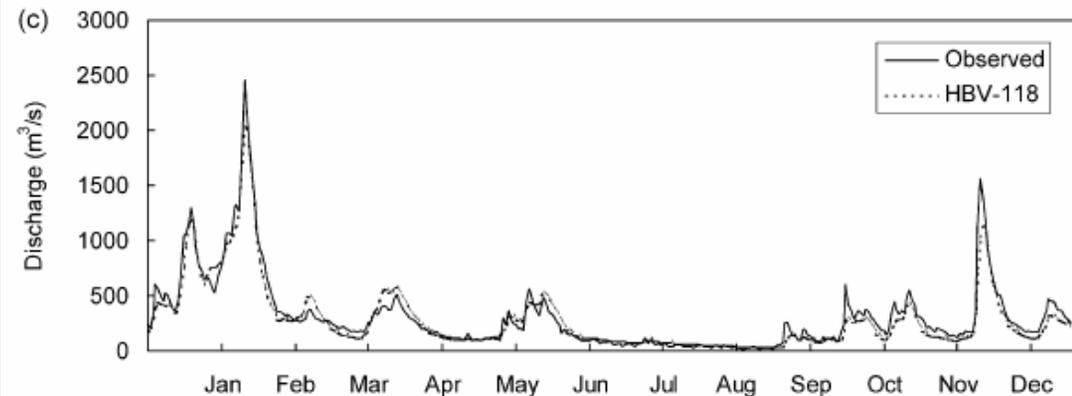
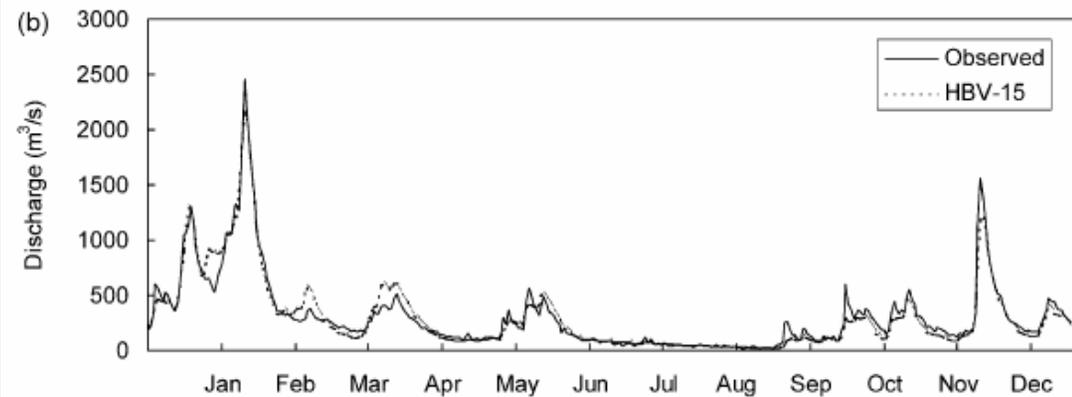
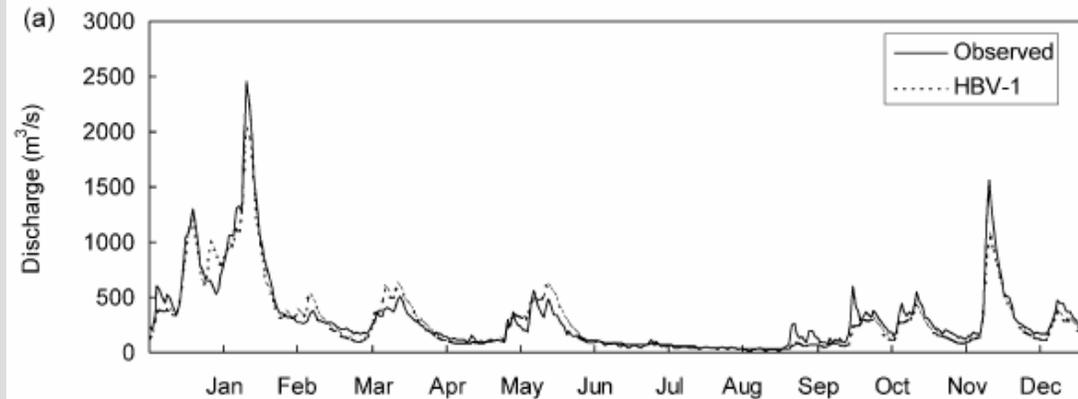
# Sensitivität - räumliche Diskretisierung - Informationsdichte

## Räumliche Diskretisierung

Booij (2005)  
HBV

Realistische Simulationen  
für alle 3 Modelle

Simulationsgüte mit  
zunehmender Anzahl von  
TEZG leicht steigend



## Räumliche Diskretisierung

Booij (2005), HBV

Realistische Simulationen für alle 3 Modelle

Simulationsgüte mit zunehmender Anzahl von TEZG leicht steigend

		$R^2$ (-)	Average		Standard deviation		RV(100)	
			Value ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	RVE <sup>a</sup> (%)	Value ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	Diff. <sup>a</sup> (%)	Value ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	REVE <sup>a</sup> (%)
Calibration	Observed	-	222	-	252	-	2929	-
	HBV-1	0.85	222	0	251	0	2719	-7
	HBV-15	0.87	231	+4	270	+7	2977	+2
	HBV-118	0.88	224	+1	255	+1	2896	-1
Validation	Observed	-	235	-	300	-	3703	-
	HBV-1	0.91	238	+1	307	+2	3817	+3
	HBV-15	0.92	244	+4	324	+8	4008	+8
	HBV-118	0.93	239	+2	303	+1	3772	+2

## Informationsdichte

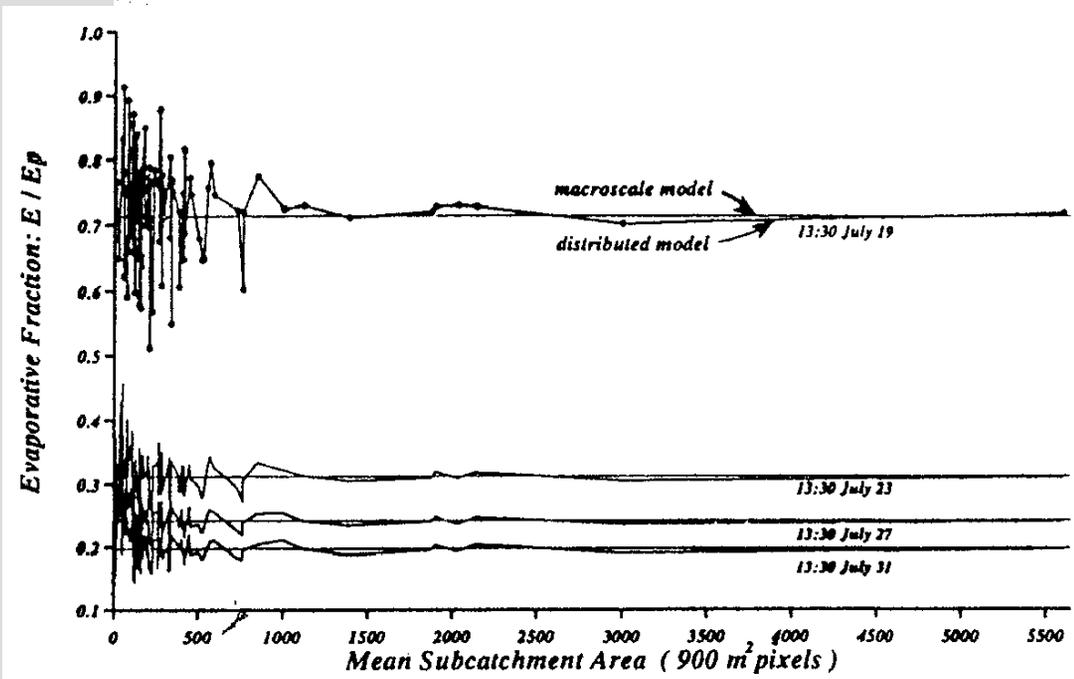
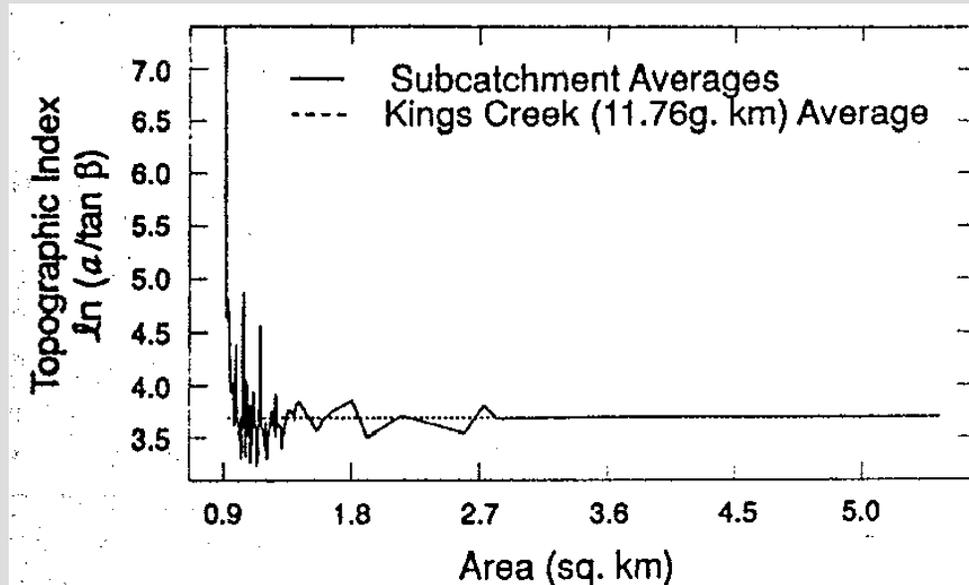
Strategien zur Berücksichtigung von Variabilität in Simulationseinheiten:

- Höhere Auflösung
- Häufigkeitsverteilungen
- Dominante Eigenschaften
- Effektive Parameter
- Ignoranz

## Informationsdichte

REA Konzept (Wood, 1995)

- **kritischen Skala**
- oberhalb REA: räumliches Verteilungsmuster der Gebietsmerkmale hat keinen Einfluss mehr auf die hydrologischen Prozesse
- Variabilität durch **Häufigkeitsverteilungen** beschreibbar
- Skala abhängig von Prozessen und evtl. zeitlich variabel



## Informationsdichte

Simulation heterogener Rasterzellen (Stephan, 2003)

- Landnutzung, Bodeneigenschaften, Wetterdaten, Topographie
- Systematische Untersuchung über den Effekt der Aggregation einzelner Datensätze (**dominante Eigenschaften?**)
- Aggregation der Bodendaten verursacht größte Unsicherheit
- Berücksichtigung der räumlichen Variabilität weiterer Eigenschaften gleichermaßen bedeutsam
- Abflussdaten allein reichen zur Modellvalidierung nicht aus!!

## Informationsdichte

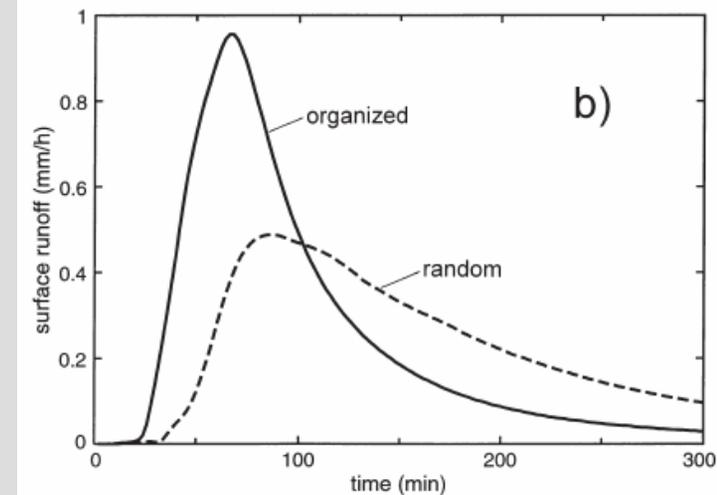
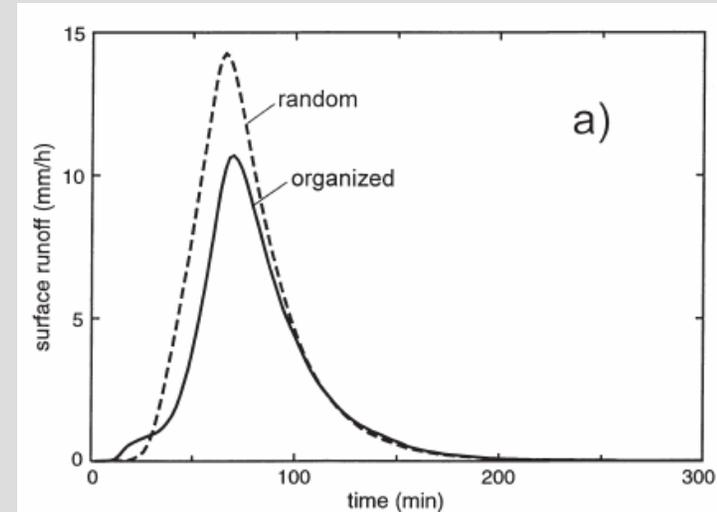
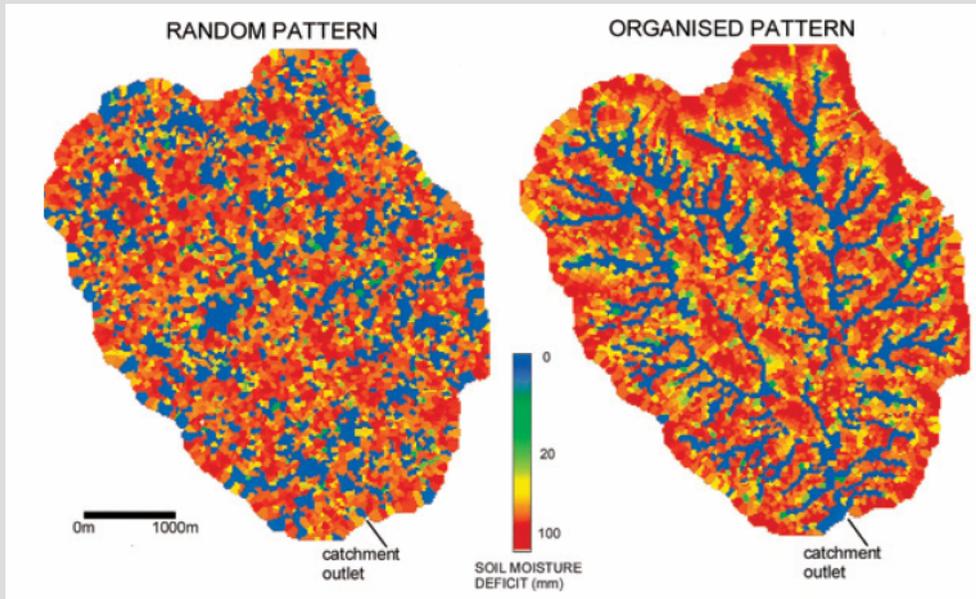
→ Darstellung von **Strukturen** notwendig?

Grayson & Blöschl (2000)

Thales Modell

Bodenfeuchtefelder

Niederschlag: a) 30 mm/h, b) 5mm/h



## Informationsdichte

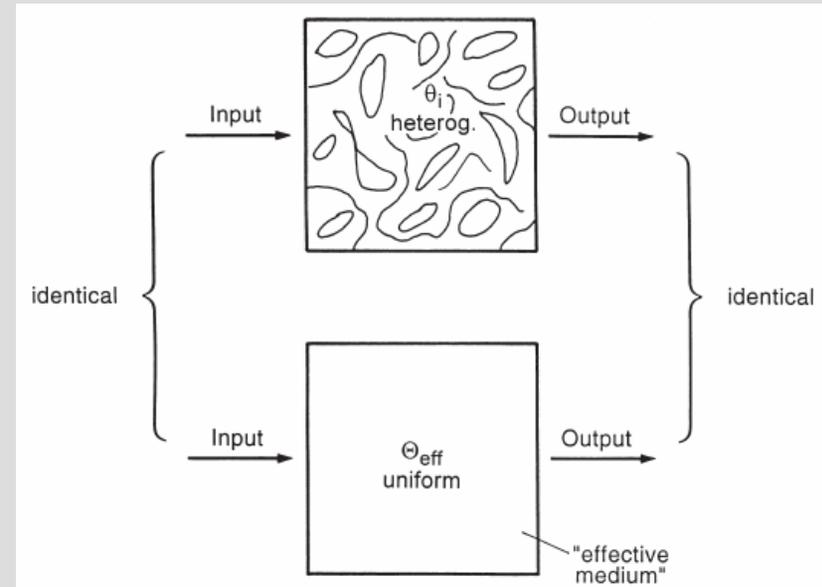
→ Funktioniert das Prinzip der **effektiven Parameter**?

→ Effektive Parameter abhängig von Randbedingungen!

(Bormann et al., 1999; Grayson & Blöschl, 2000)

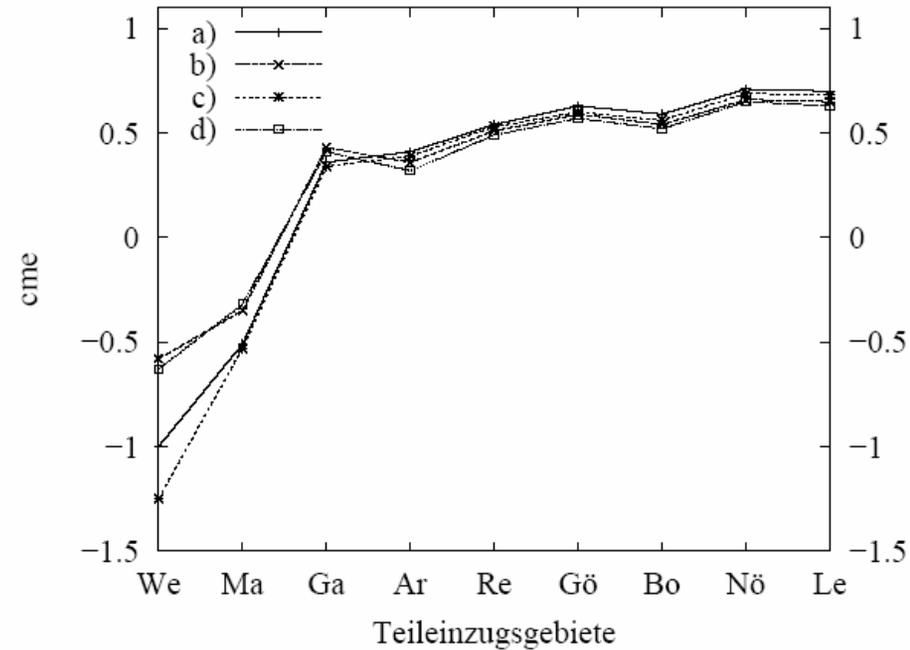
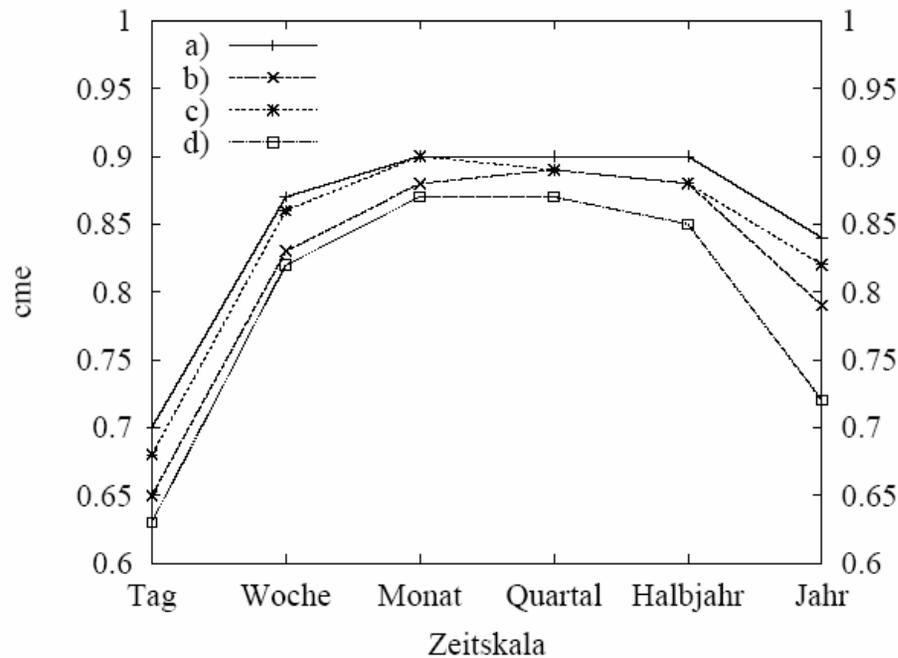
→ Manche Prozesse gutmütiger (Verdunstung) als andere (Abflussbildungsprozesse) (Bormann et al., submitted)

→ Einfluss der Zeitskala (Wasserbilanz vs. Event) und der Raumskala (EZG-Größe - Wegmitteln des Fehlers?)



## Große Ziel-Skala?

→ Wegmitteln von Fehlern?!



Stephan (2003)

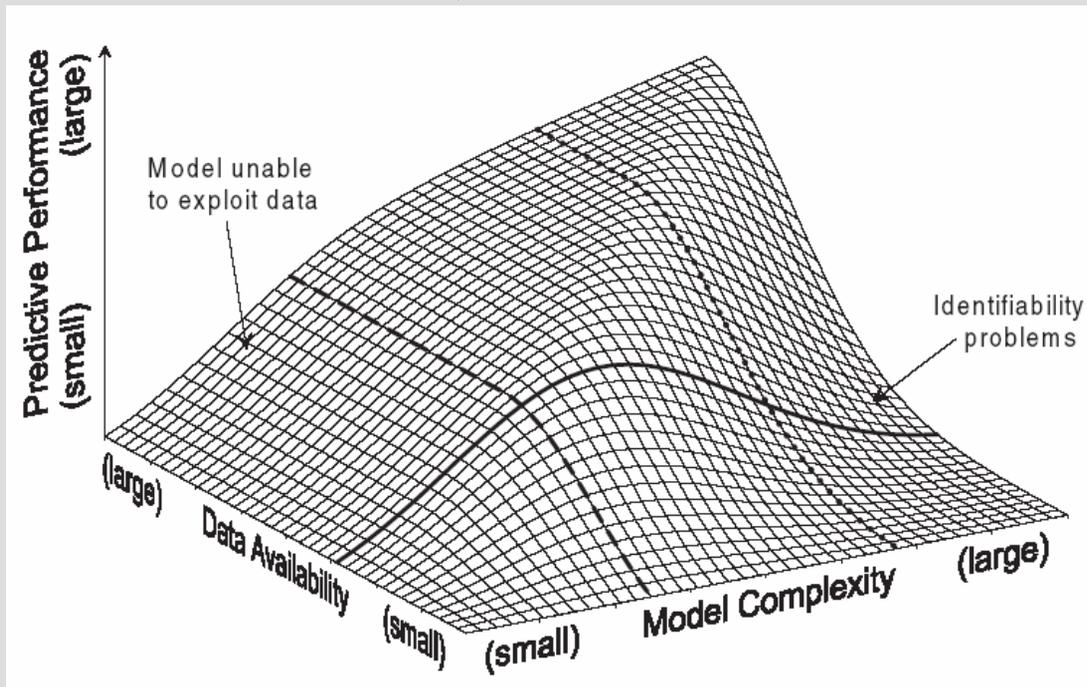
- a) wahrscheinlichste Landnutzung mit wahrscheinlichster Bodeninformation
- b) wahrscheinlichste Landnutzung mit aggregierter Bodeninformation
- c) heterogene Landnutzung mit wahrscheinlichster Bodeninformation
- d) heterogene Landnutzung mit aggregierter Bodeninformation

## Schlussfolgerungen

- Mindestmaß an Berücksichtigung von **Variabilität** notwendig
- Modelle kalibrierbar trotz geringerer Auflösung und Informationsdichte → **Kalibrierung von Fehlern**
- Unterschiedliche **Modell(konzept)e** ohne erneute Kalibrierung (unterschiedlich) **sensitiv** bzgl. Auflösung und Informationsdichte!
- Sensitivität abh. von **Zielgröße** (hydrologischem Prozess)!
- Übertragbarkeit der Modelle?  
(Kalibrierung, Gebietseigenschaften, Modelltyp, ...)
- Kann Prozessverständnis mit Diskretisierung und Informationsdichte in Einklang gebracht werden?

## Forschungsbedarf?

- Döll & Fohrer(1998): Bedarf allgemein gültiger Regeln zur räumlichen Skalierung
- Problem: Modellspezifik!



Grayson &  
Blöschl  
(2000)

- Systematischer Modellvergleich  
(Breuer et al., Bormann et al., submitted)

## Praxis...:

- Notwendigerweise mit den Daten / Informationen arbeiten, die im konkreten Fall zur Verfügung stehen
- Modellspezifische Sensitivitäts- und Unsicherheitsstudien

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!**

**Fragen - Kommentare - Anmerkungen?**