



Gabi Kraller¹, Michael Warscher²

Hydrologische Modellierung im Nationalpark Berchtesgaden

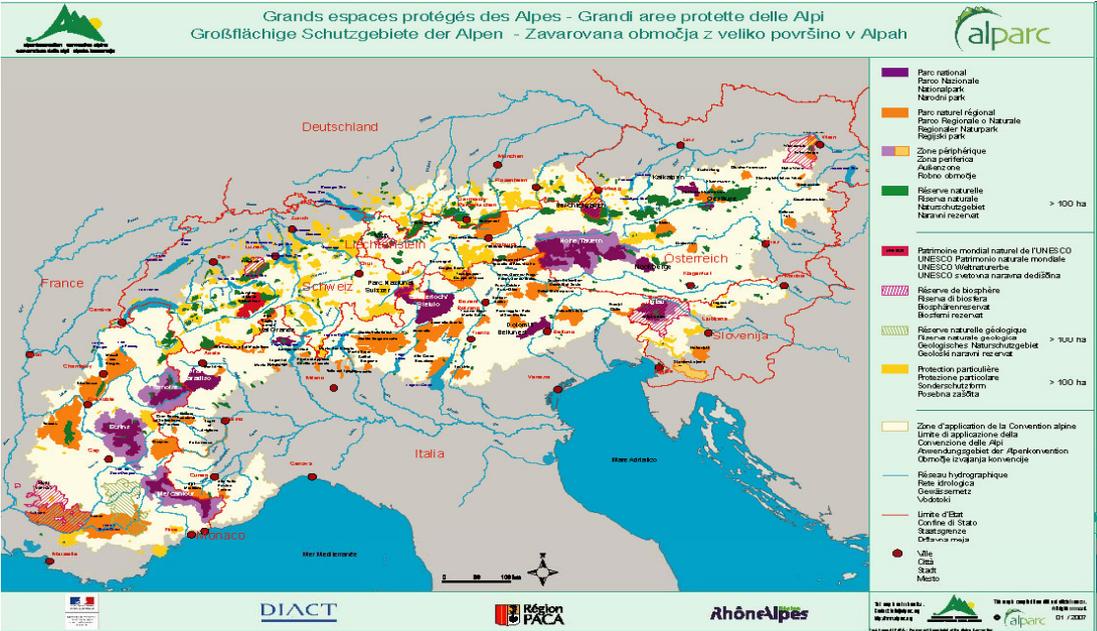
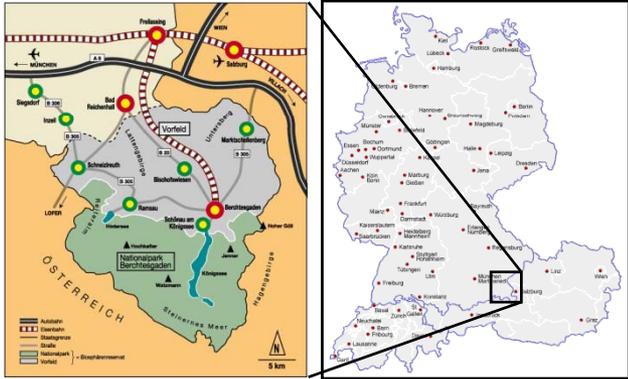
¹Department of Geography and Regional Science, University of Graz, Austria

²Institute for Meteorology and Climate Research, Atmospheric Environmental Research, Garmisch-Partenkirchen, Germany

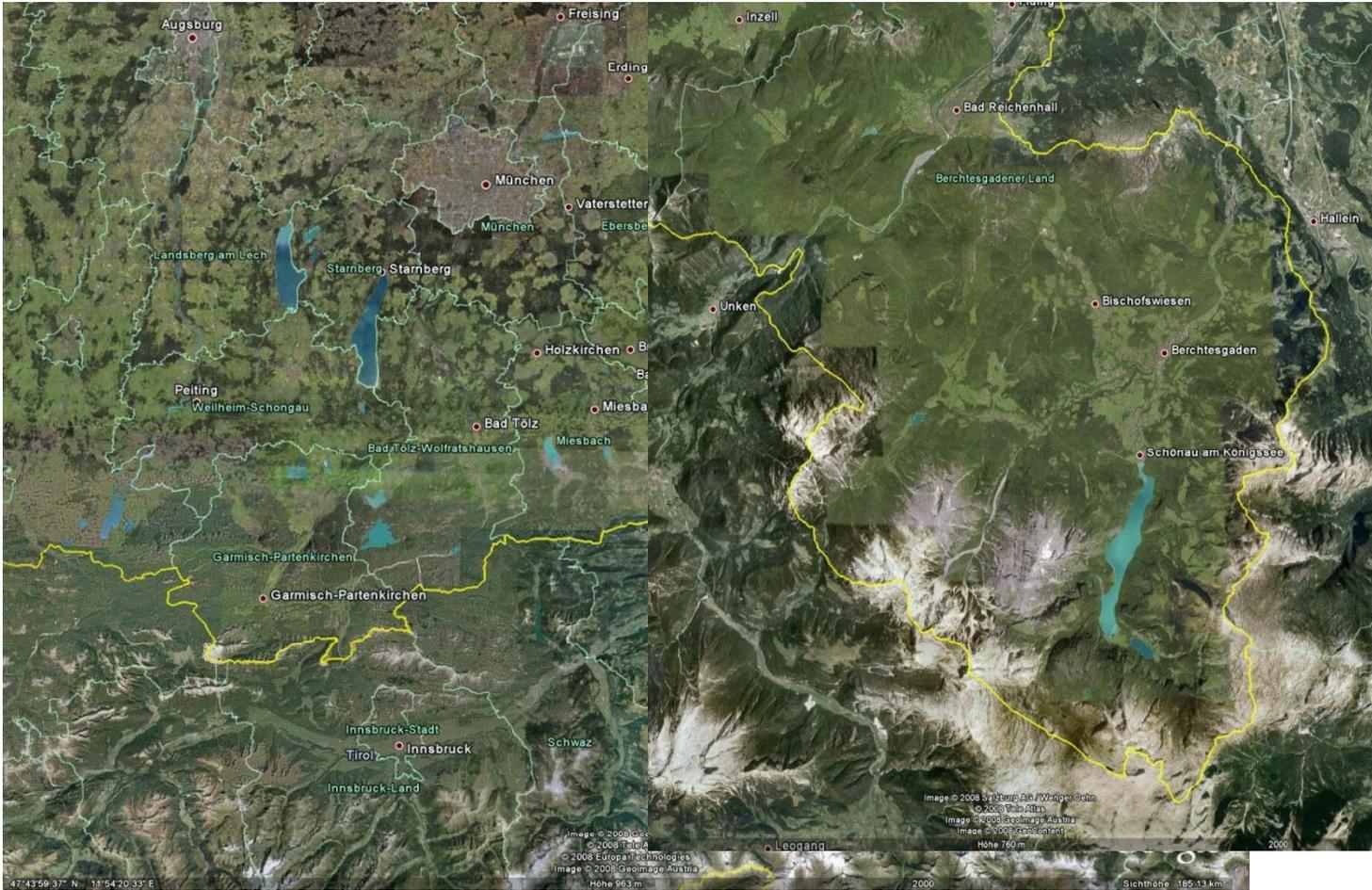


EINZIGER DEUTSCHER ALPENNATIONALPARK

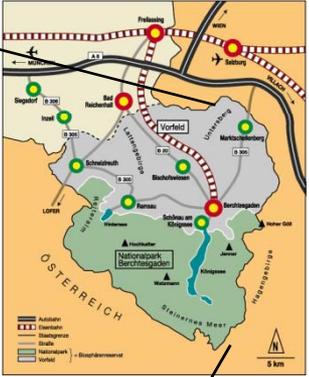
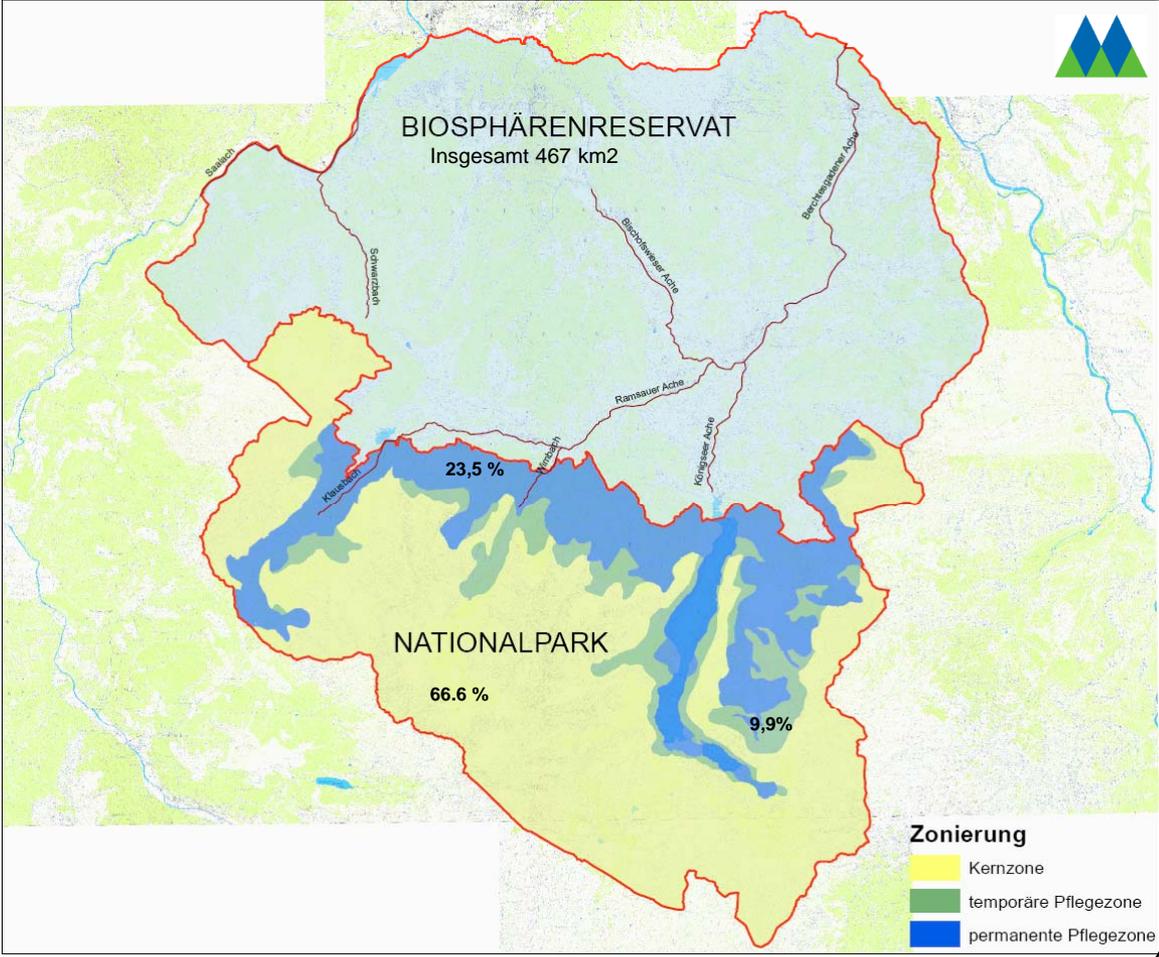
- 1910: Pflanzenschongebiet Berchtg. Alpen
- 1921: Naturschutzgebiet Königssee
- 1978: Nationalparkgründung: 210 km²
- 1990: Biosphärenreservat



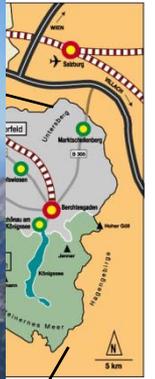
NP Berchtesgaden und Umgebung



NP Berchtesgaden und Umgebung



NP Berchtesgaden

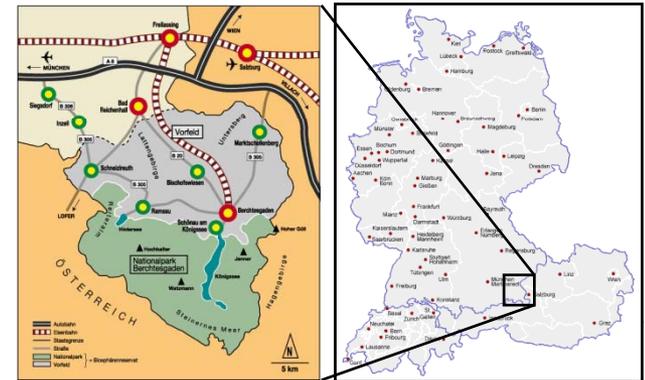




NP Berchtesgaden und Umgebung

BESONDERHEITEN:

- Königssee
- Wimbachgries
- Almwirtschaft



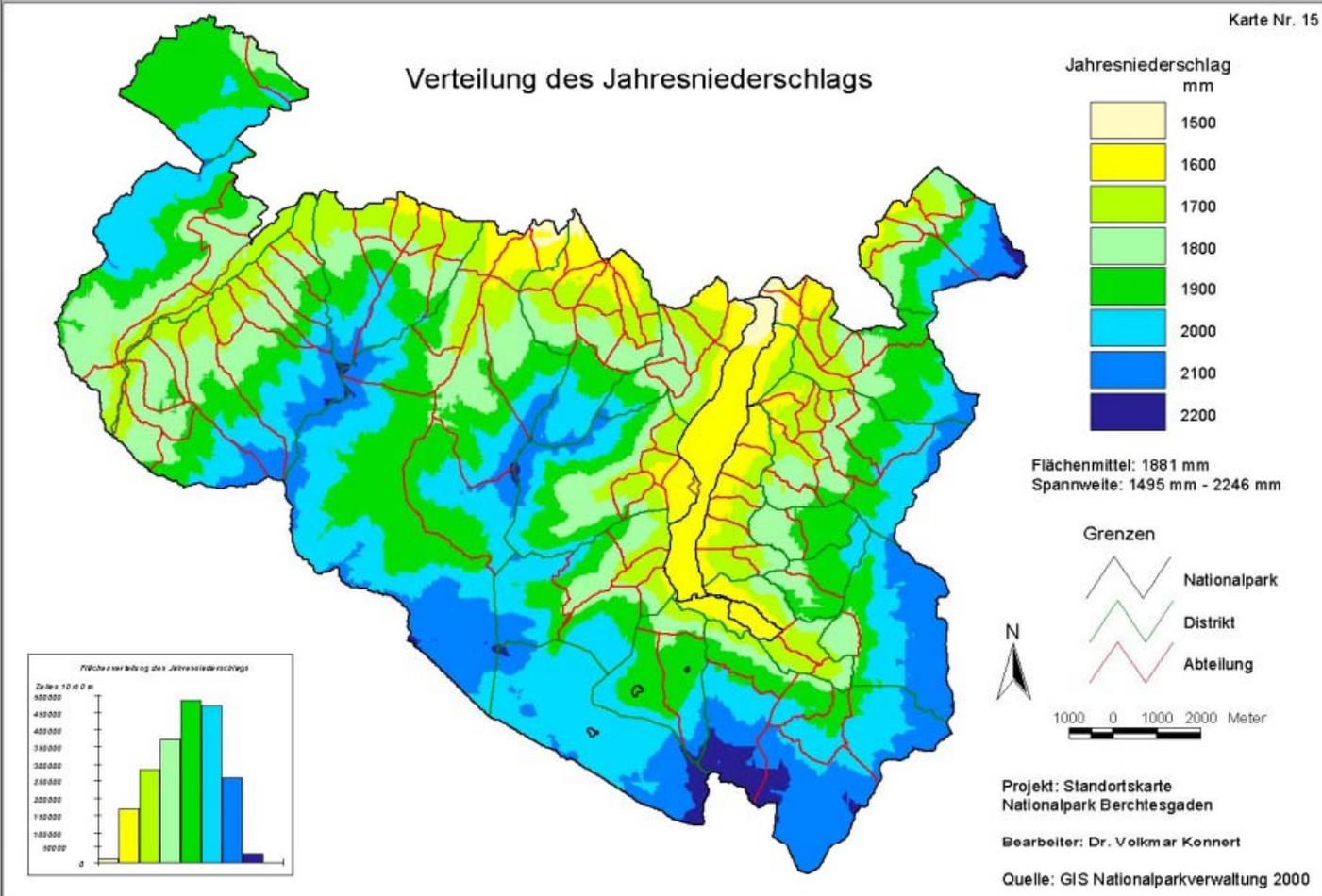


BERCHTESGADENER ALPEN

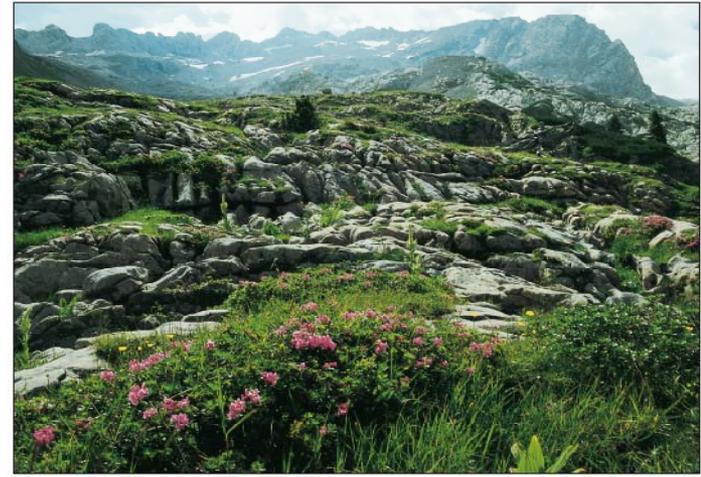
- 7 plateauartige Gebirgsstöcke
- Höhengradient: 2110 m
- Grobgliederung Biotoptypen:
 - 44,1 % Wälder
 - 21,0 % (Mager-)Rasenges.
 - 19,3 % Fels und Schuttfluren
 - 12,4 % Latschen
 - 3,2 % Seen und Gletscher



Nationalpark Berchtesgaden



Eindrücke Karst





- Große Schneemengen, lange Schneebedeckungsdauer
- Große räumliche und zeitliche Heterogenität der Schneedecke
- Schneeverfrachtung (Wind, Rutschungen, Lawinen)

- Schnee als Wasserspeicher
- Schmelzwasser, Abfluss

- Blaueisgletscher, Watzmanngletscher
- Ganzjährige Schnee- / Firnfelder
- Eiskapelle, Schöllhorneis
- Gutes Schneemessnetz in Zusammenarbeit mit Lawinenwarndienst Bayern





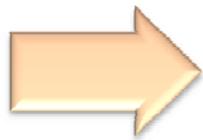
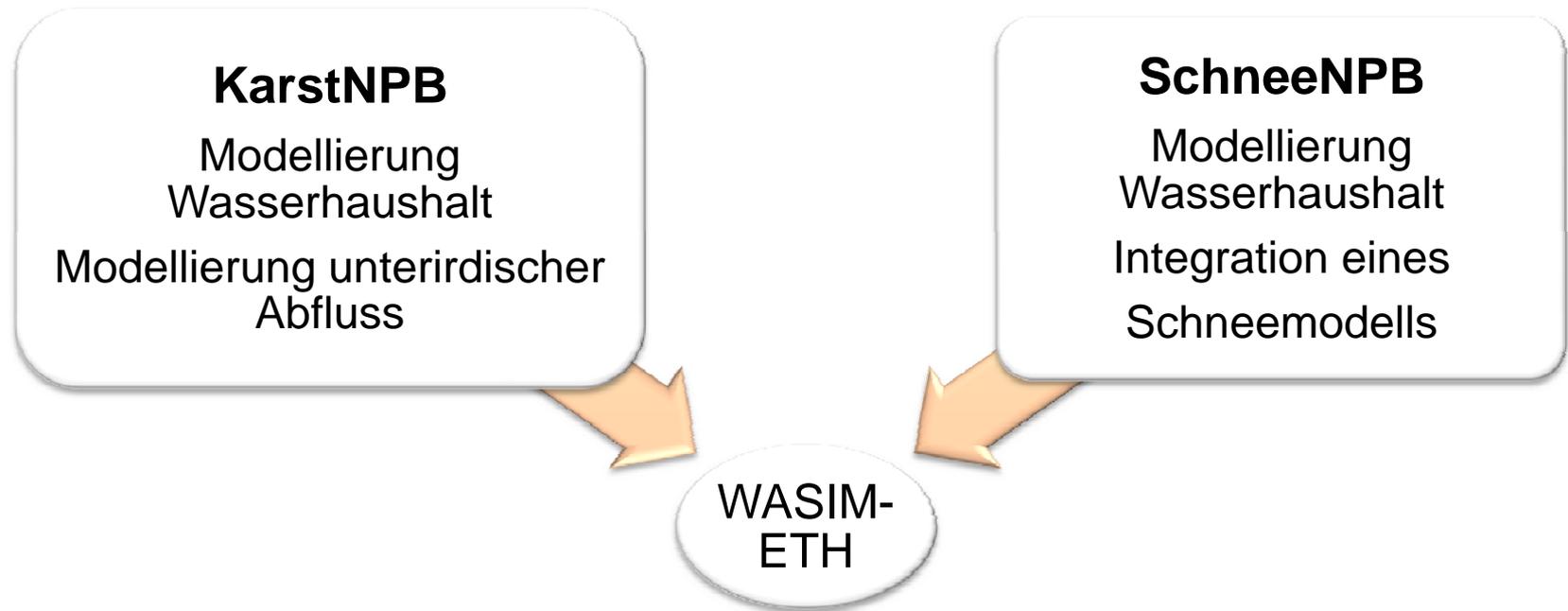
Langfristige Beobachtung globaler Klimaveränderungen und ihrer Auswirkung auf alpine Ökosysteme

- Langfristige Klimabeobachtung
 - Klimastationen, Auswertung der Daten, Qualitätssicherung

- Auswirkungen auf die Gebietswasserbilanz und Massenverlagerungen
 - Aufrechterhaltung Pegel
 - Abflussmessungen und Abtragsmessungen

- Auswirkung auf die Entwicklung der Schnee- und Eisdecken
 - Langfristige Beobachtung von Gletschern und Firnfeldern
 - Modellierungen zur Schneedeckenentwicklung

Modellierung des Wasserhaushaltes im Nationalpark Berchtesgaden



- Zusammenführung der Projekte
- Klimaszenarien



Hydrologisches Modell WaSiM-ETH

The hydrological model system

WaSiM-ETH

The Model Solutions Services Products Dialog [D] [E]

Navigation: Home



Welcome to the Website of WaSiM-ETH

The grid-based **Water Flow and Balance Simulation Model** WaSiM-ETH is a well-established tool for investigating the spatial and temporal variability of hydrological processes in complex river basins. The model can be seen as a reasonable compromise between detailed physical basis and minimum data requirements. Previous applications demonstrated that WaSiM-ETH is able to address successfully very **different hydrological problems** on a wide range of scales.

At present WaSiM-ETH is used by over **50 institutions** (universities, research centres, regional authorities and engineering offices). The results of model applications are shown in a large number of **publications**.

WaSiM News

10.01.2009
New Official Release
WaSiM-ETH 8.2.9 -> [More >](#)

17.03.2009
New Beta Version
WaSiM-ETH 8.3.2 -> [More >](#)

Last update: 21.11.2007 :: © WaSiM-ETH :: Disclaimer

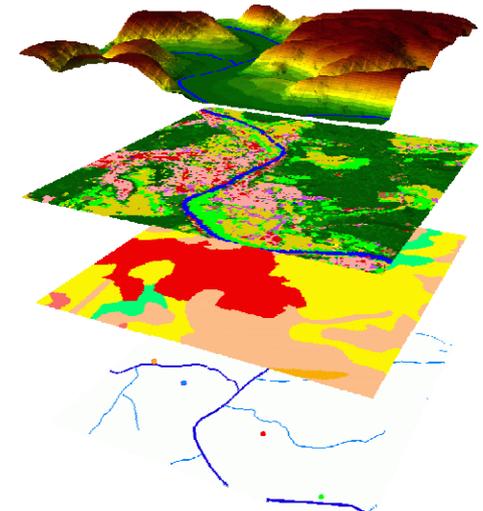


- modulares hydrologisches Modellsystem
- Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Variabilität hydrologischer Prozesse in komplexen Flusseinzugsgebieten
- Hohe Flexibilität: Lösung vielfältiger hydrologischer Fragestellungen auf verschiedenen Skalen
- Kompromiss zwischen detaillierten physikalischen Ansätzen und minimaler Anforderung an die Eingangsdaten
- Genutzt von über 50 Institutionen (Universitäten, Forschungszentren, Landesbehörden und Ingenieurbüros)
- <http://www.wasim.ch>

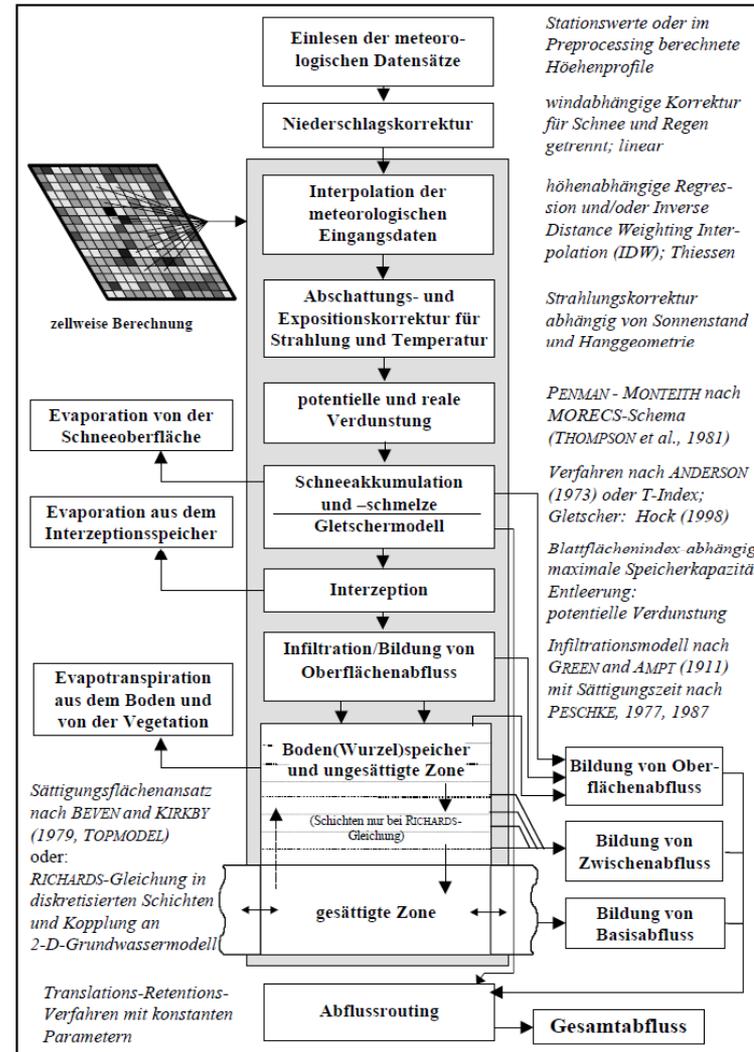


Datenbedarf WaSiM-ETH

- Geographische Daten (räumliche Rasterdaten)**
 minimal: digitales Geländemodell, Landnutzung und Bodenarten
 optional: Hangneigung, Fließgewässernetz, Teileinzugsgebiete, ...
- Meteorologische Daten (Zeitreihen an einzelnen Punkten)**
 minimal: Lufttemperatur und Niederschlag
 besser und Standard: Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchte
- Hydrologische Daten:**
 gemessener Abfluss an einzelnen Pegeln
 + ...
 (Bewässerung, Drainagen, Entnahmen, Grundwasserstände, Aquifereigenschaften, Leitfähigkeiten, Porosität, Tracermessungen...)



1		Temperatur (°C)		Reiteralm 1		Reiteralm 2		Reiteralm 3			
2		Schoenau		Jenner 1		Kuehroint		Funtenseetauern (Stuhljoch)			
YY	MM	DD	HH	1755	1670	1615	617	1200	1407	2445	
3	YY	MM	DD	HH	4560494	4560035	4560950	4573907	4576659	4572314	4572939
4	YY	MM	DD	HH	5279436	5279235	5278902	5275597	5272417	5270625	5261755
5	YY	MM	DD	HH	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
6	2001	1	1	0	-9999	-8.21	-12.69	-8.24	-7.91	-9999	-9999
7	2001	1	1	1	-9999	-8.81	-13.13	-8.84	-7.44	-9999	-9999
8	2001	1	1	2	-9999	-6.66	-12.18	-9.57	-6.73	-9999	-9999
9	2001	1	1	3	-9999	-5.16	-11.21	-10.12	-5.39	-9999	-9999
10	2001	1	1	4	-9999	-4.19	-8.73	-10.46	-4.53	-9999	-9999
11	2001	1	1	5	-9999	-3.56	-8.11	-10.74	-3.58	-9999	-9999
12	2001	1	1	6	-9999	-2.59	-5.14	-11.06	-2.94	-9999	-9999
13	2001	1	1	7	-9999	-1.86	-3.86	-10.99	-1.76	-9999	-9999
14	2001	1	1	8	-9999	-0.83	-2.74	-10.55	-0.36	-9999	-9999
15	2001	1	1	9	-9999	0.97	-1.43	-10.42	0.44	-9999	-9999
16	2001	1	1	10	-9999	3.42	2.01	-10.44	1.51	-9999	-9999
17	2001	1	1	11	-9999	5.11	5.69	-5.81	3.14	-9999	-9999
18	2001	1	1	12	-9999	6.54	7.22	-3.24	4.34	-9999	-9999
19	2001	1	1	13	-9999	7.64	8.54	-2.36	5.31	-9999	-9999
20	2001	1	1	14	-9999	7.52	7.19	-0.61	6.49	-9999	-9999
21	2001	1	1	15	-9999	9.07	7.02	-0.5	7.49	-9999	-9999
22	2001	1	1	16	-9999	7.64	4.61	-1.52	6.92	-9999	-9999
23	2001	1	1	17	-9999	5.19	2.41	-2.46	6.41	-9999	-9999
24	2001	1	1	18	-9999	5.94	1.22	-2.87	6.54	-9999	-9999
25	2001	1	1	19	-9999	4.16	0.91	-2.8	7.19	-9999	-9999
26	2001	1	1	20	-9999	4.01	1.24	-2.67	7.17	-9999	-9999
27	2001	1	1	21	-9999	4.74	2.11	-2.54	7.33	-9999	-9999
28	2001	1	1	22	-9999	4.04	1.69	-2.1	6.01	-9999	-9999
29	2001	1	1	23	-9999	4.19	1.59	-2.51	6.76	-9999	-9999
30	2001	1	2	0	-9999	4.54	1.97	-2.34	7.22	-9999	-9999
31	2001	1	2	1	-9999	5.27	2.74	-2.14	7.27	-9999	-9999
32	2001	1	2	2	-9999	5.01	3.17	-1.99	6.97	-9999	-9999





Modellkomponente	Modellansätze
Niederschlagskorrektur	temperatur- und windabhängige Korrektur nach Sevruk (1986); Korrektur erfolgt getrennt für Regen und Schnee
Interpolation der meteorologischen Eingangsdaten	<ul style="list-style-type: none"> (1) inverse distanzgewichtete (IDW) Interpolation (2) höhenabhängige Regression (3) Kombination aus (1) und (2) (4) Interpolation nach Thiessen-Polygon (5) bilineare Interpolation (6) bilineare Interpolation der Gradienten und Residuen (7) bikubische Spline-Interpolation (8) bikubische Spline-Interpolation der Gradienten und Residuen
Abschattungs-, Hangneigungs- und Expositionskorrektur für Strahlung und Temperatur	Ansatz nach Oke (1987)
Evapotranspiration	<ul style="list-style-type: none"> (1) Penman-Monteith (Monteith & U., 1990), auch für geschichtete Bestände (2) Ansatz nach Wendling (1975) (3) Ansatz nach Hamon (1961) (4) Ansatz nach Haude (1955)
Schneeakkumulation und Schneeschmelze	<ul style="list-style-type: none"> (1) Temperatur-Index-Methode (2) Temperatur-Wind-Index-Methode (Braun 1985) (3) einfache Energiebilanz-Methode (Anderson 1973)
Gletscherschmelze und -abfluss	<ul style="list-style-type: none"> (1) Temperatur-Index-Methode (2) Ansatz nach Hock (1999)
Interzeption	Mehrschichtspeichermodell
Phänologie	dynamische Berechnung mittels dreier Temperatursummenansätze (auch mit Berücksichtigung der Dormanz)
Bodenwasserdynamik	Infiltration nach Green und Ampt (1911) mit Erweiterung nach Peschke (1977, 1987); vertikale Wasserbewegung in der ungesättigten Bodenzone basierend auf der Richards-Gleichung (1931) mit Parametrisierung nach van Genuchten (1980)
Grundwasserdynamik	Finite Differenzen Methode; iterative Lösung der Strömungs- und Transportgleichung; Berücksichtigung geschichteter Grundwasserleiter
Stofftransport	Berücksichtigung von radioaktiven und nichtradioaktiven Tracern; Berechnung von (Mischungs-)Konzentrationen in allen Teilmodellen
Abflusskonzentration	Einzellinearspeicher-Kaskade mit Berücksichtigung von Translationszeiten
Abflussrouting	kinematischer Wellenansatz (Lighthill & Witham, 1955)



Technische Details

- Kein graphisches User-Interface, Steuerdatei
- Räumliche Daten (binär) und Zeitreihen (ASCII)
- Datenorganisation: ArcGIS und Excel
- Ergebnisanalyse und Visualisierung: IDL
- Linux-Workstation, 64-Bit, max. 4 Prozessoren
- Linux-Cluster am IMK-IFU in Garmisch
- C++, Parallelisierung: OpenMP

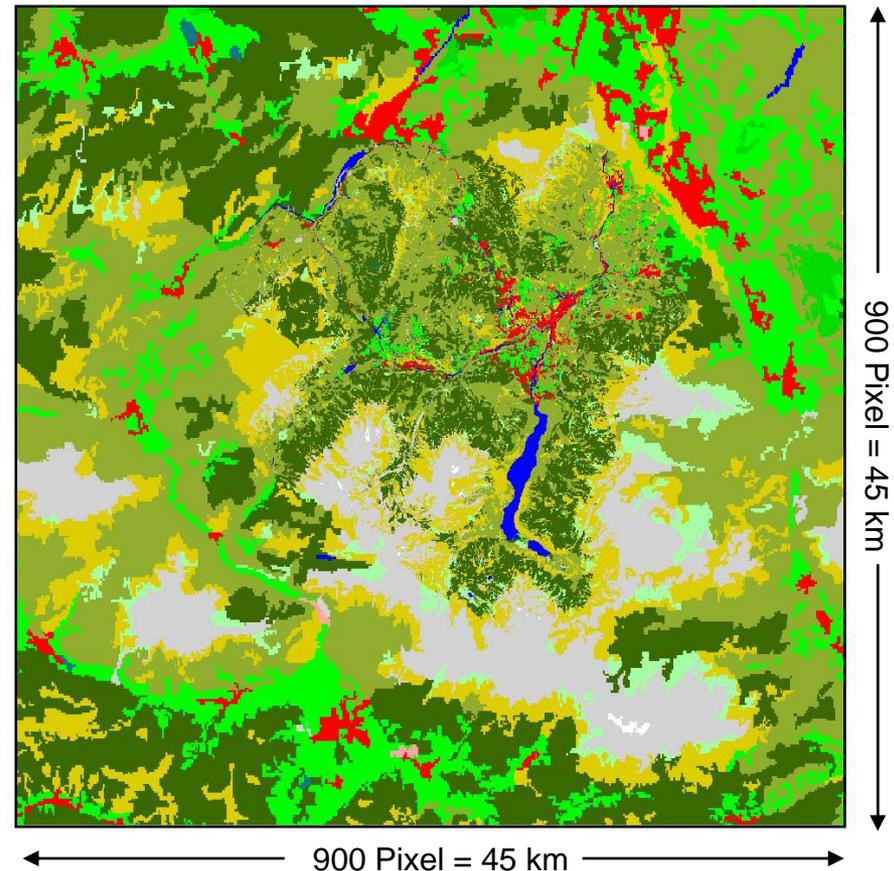


Aktueller Stand der Wasserhaushaltsmodellierung im Nationalpark Berchtesgaden



Vorhandene Daten

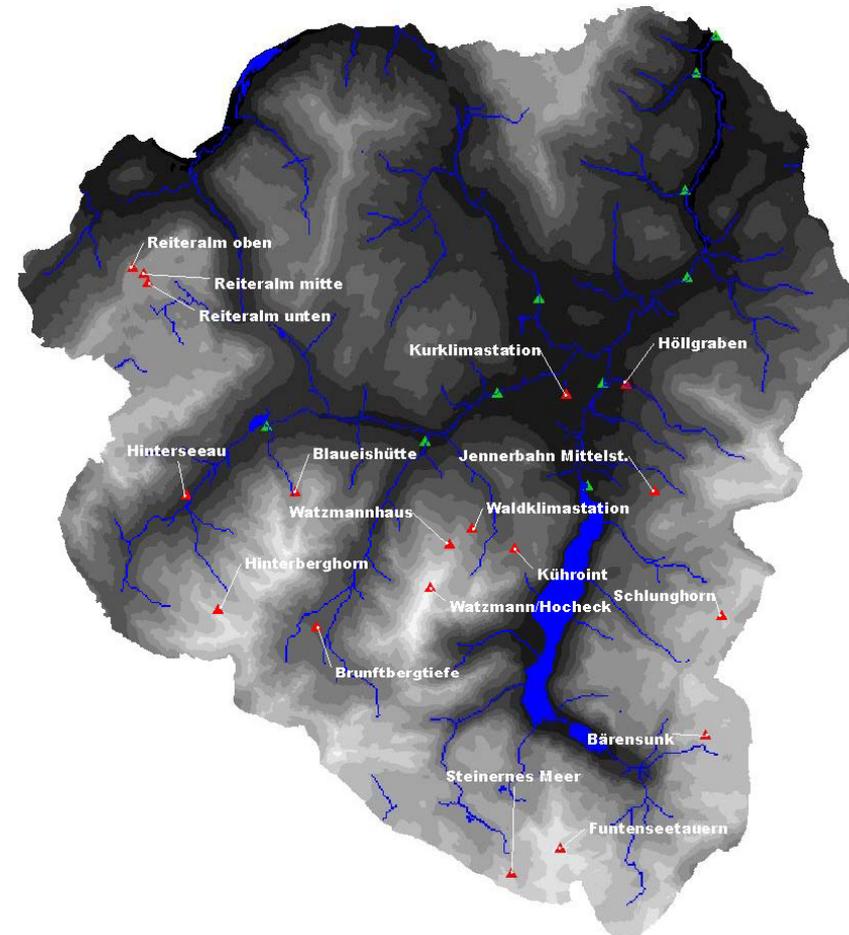
- **Digitales Geländemodell**
50 m räumliche Auflösung
- **Boden**
BÜK Bayern
Kartierung NPV
- **Landnutzung**
Corine Land Cover CLC
Klassifikation CIR Luftbild





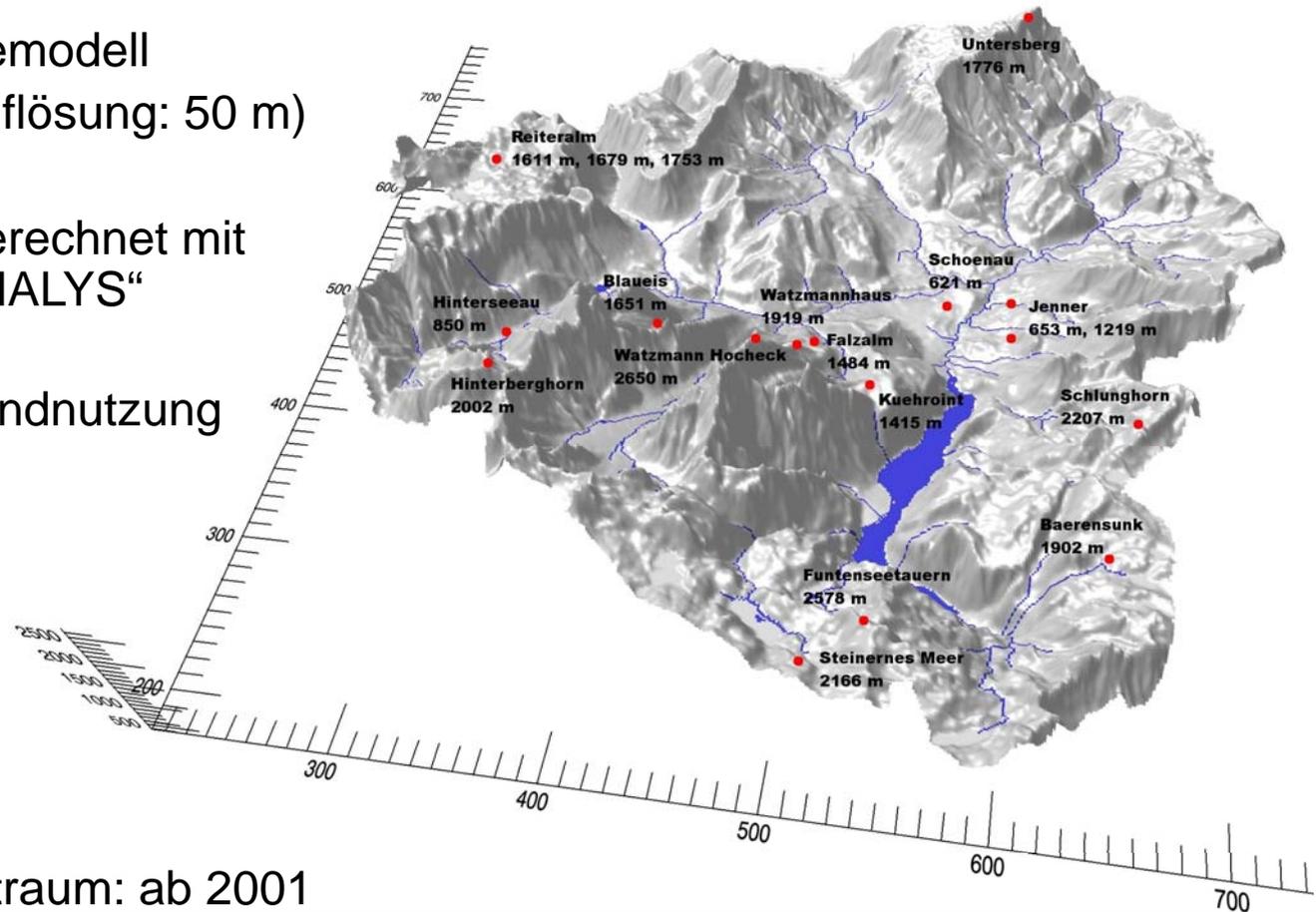
Vorhandene Daten

- Meteorologische Stationen
(Nationalparkverwaltung,
Lawinenwarndienst Bayern,
ZAMG)



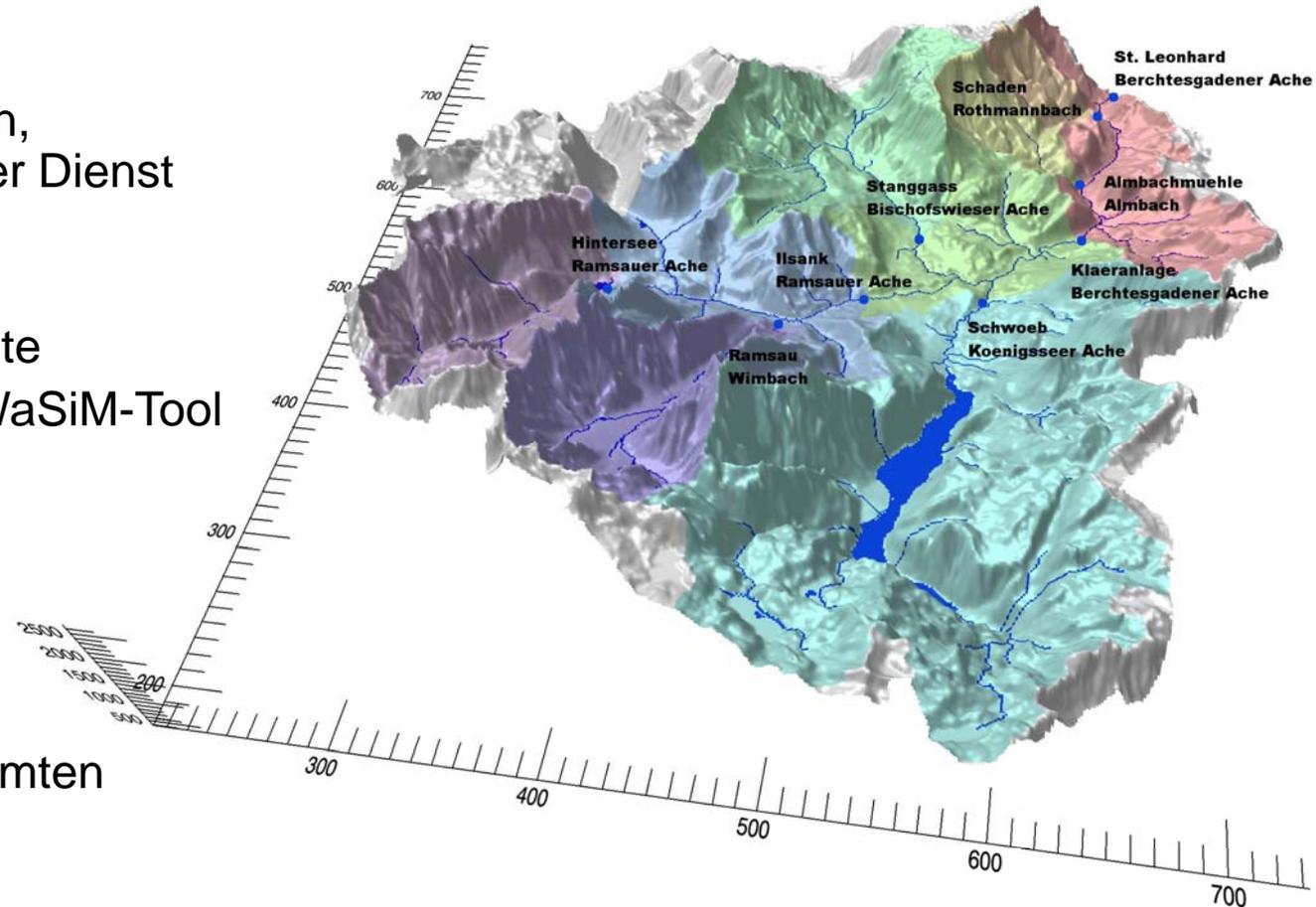


- Digitales Geländemodell
(geometrische Auflösung: 50 m)
- Fließgewässer berechnet mit
WaSiM-Tool „TANALYS“
- Seen aus CIR-Landnutzung
- Meteorologische
Stationen
- Geplanter
Modellierungszeitraum: ab 2001



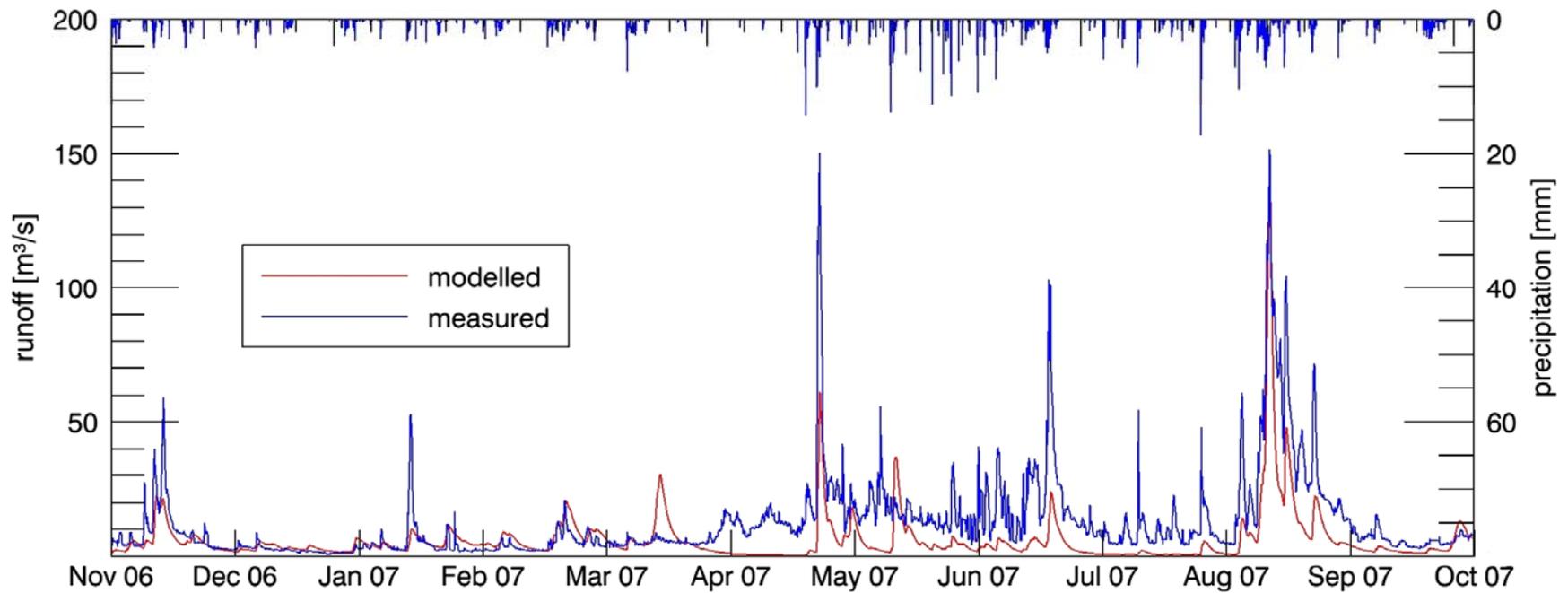


- Abflusspegel
(WWA Traunstein,
Hydrographischer Dienst
Salzburg)
- Teileinzugsgebiete
(berechnet mit WaSiM-Tool
„TANALYS“)
- Fläche des gesamten
Einzugsgebiets:
396 km²





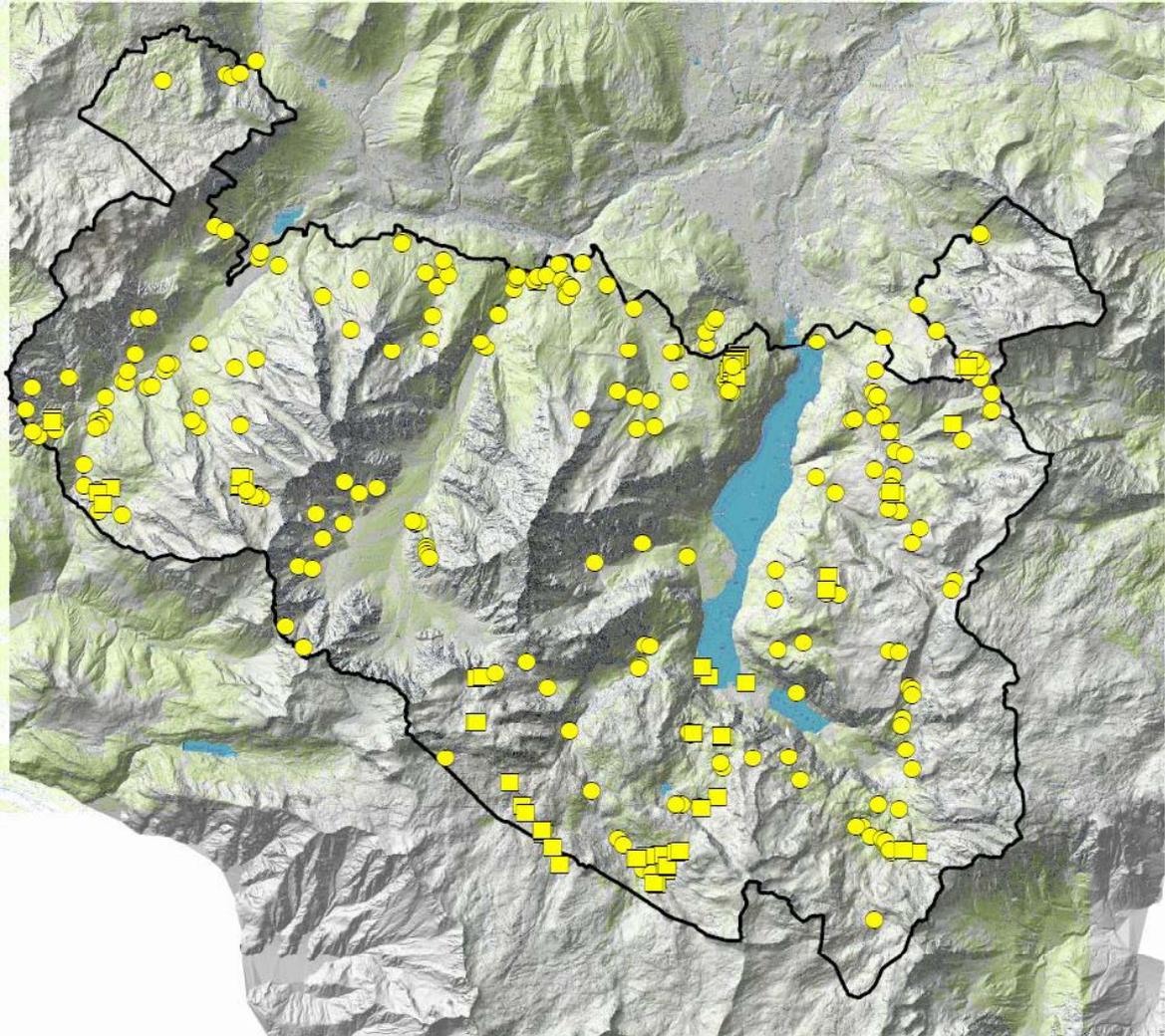
Abflusspegel St. Leonhard





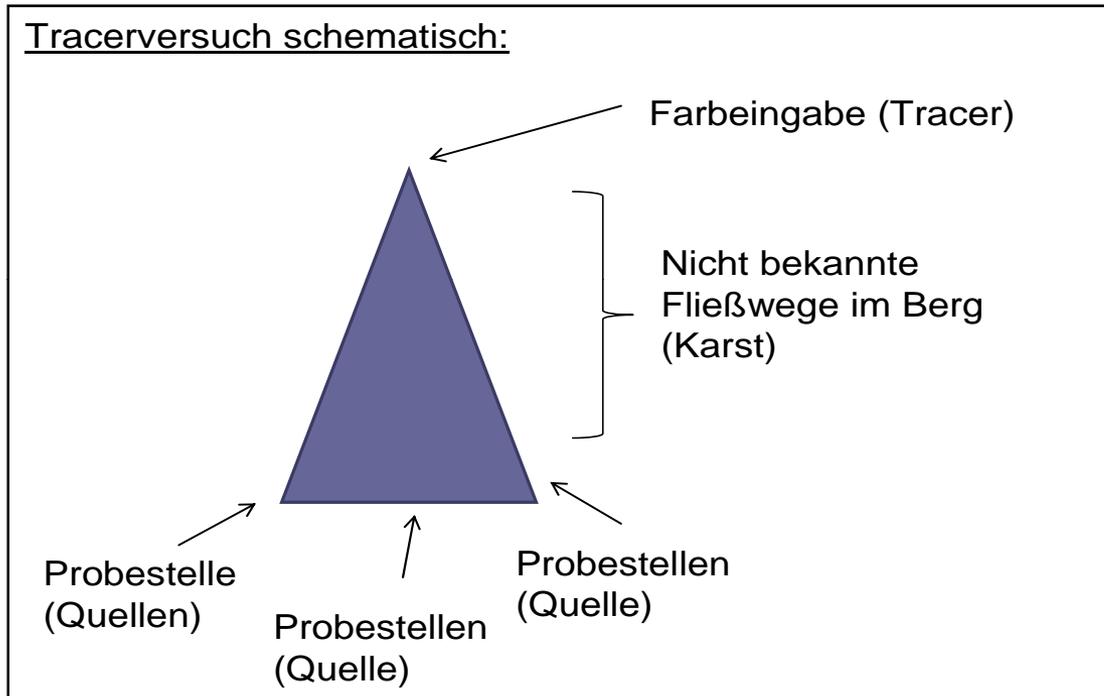
Grundwassermodellierung







Tracerversuch schematisch:



Farbeingabe



Probenahme





Quelle: Nationalparkverwaltung Berchtesgaden



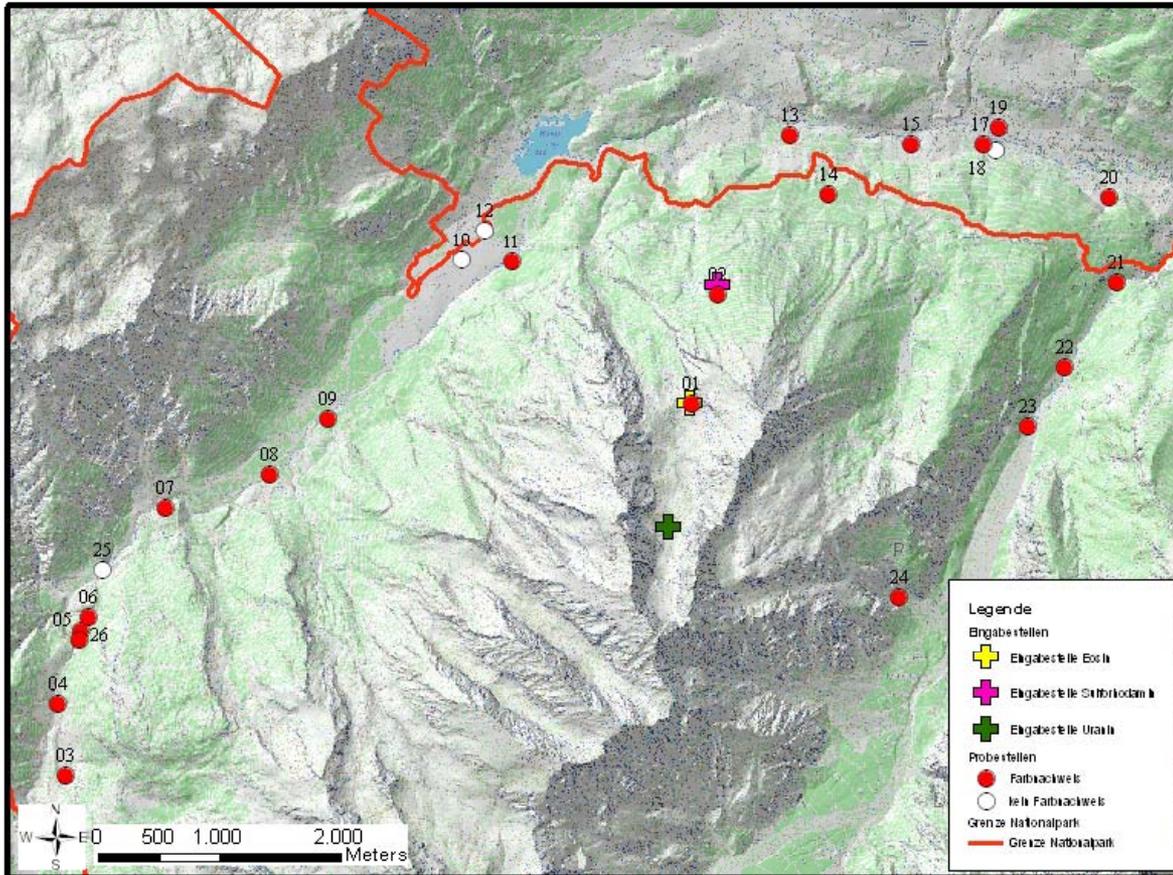
Masterarbeit

Quelle: Nationalparkverwaltung Berchtesgaden

Modellierung Tracerversuch 2001



Karstwassermarkierungsversuch Hochkalter 2001

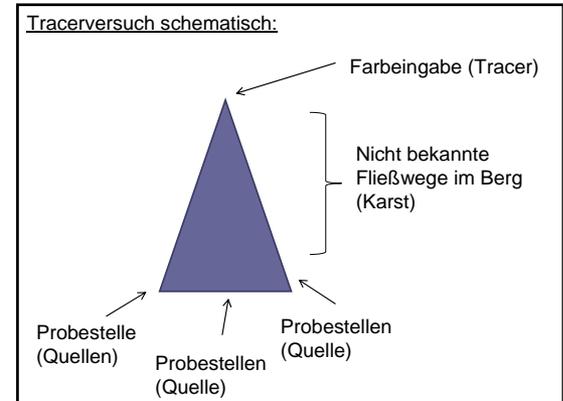


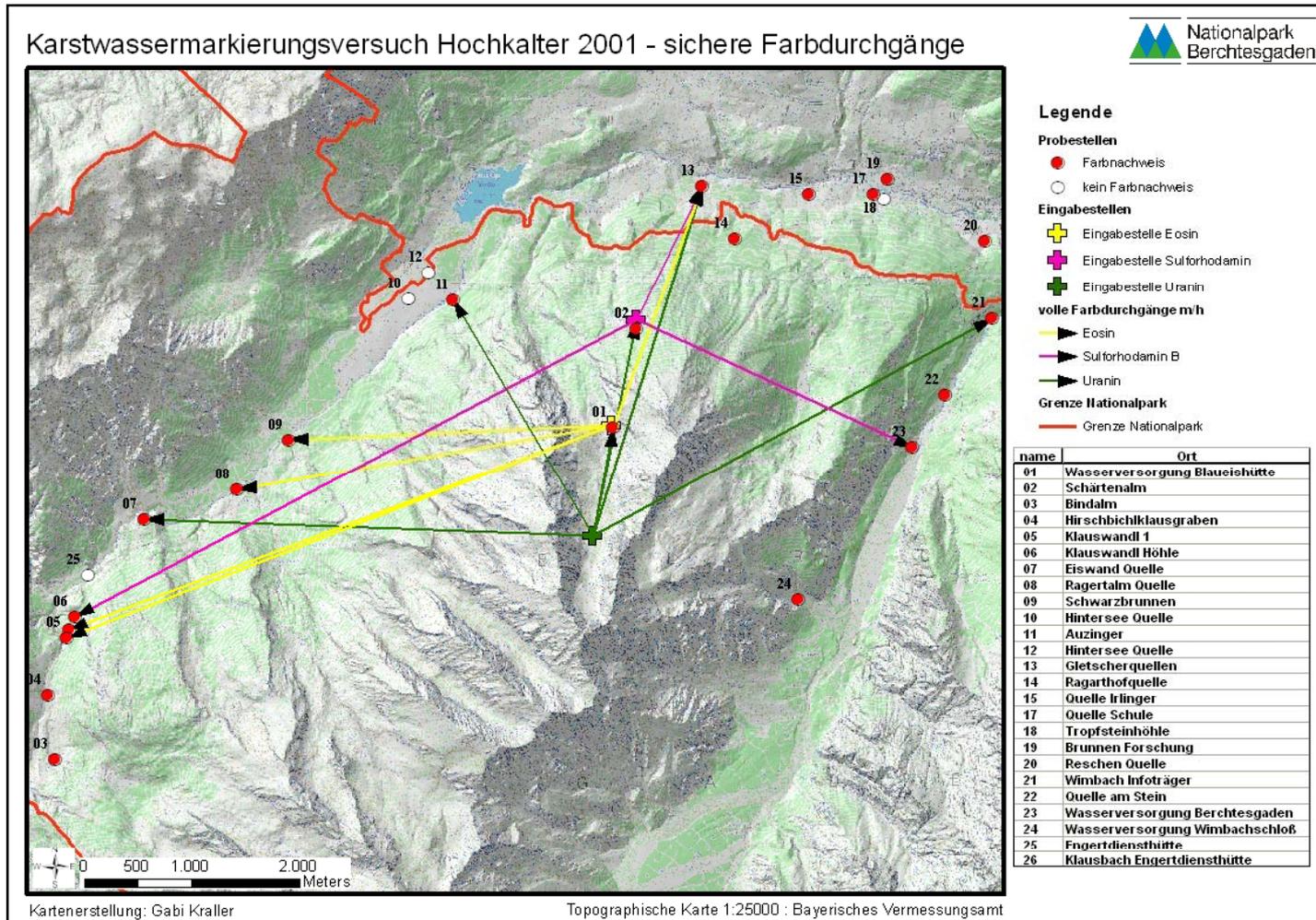
Kartenerstellung: Gabi Kraller

Topographische Karte 1:25000 : Bayerisches Vermessungsamt



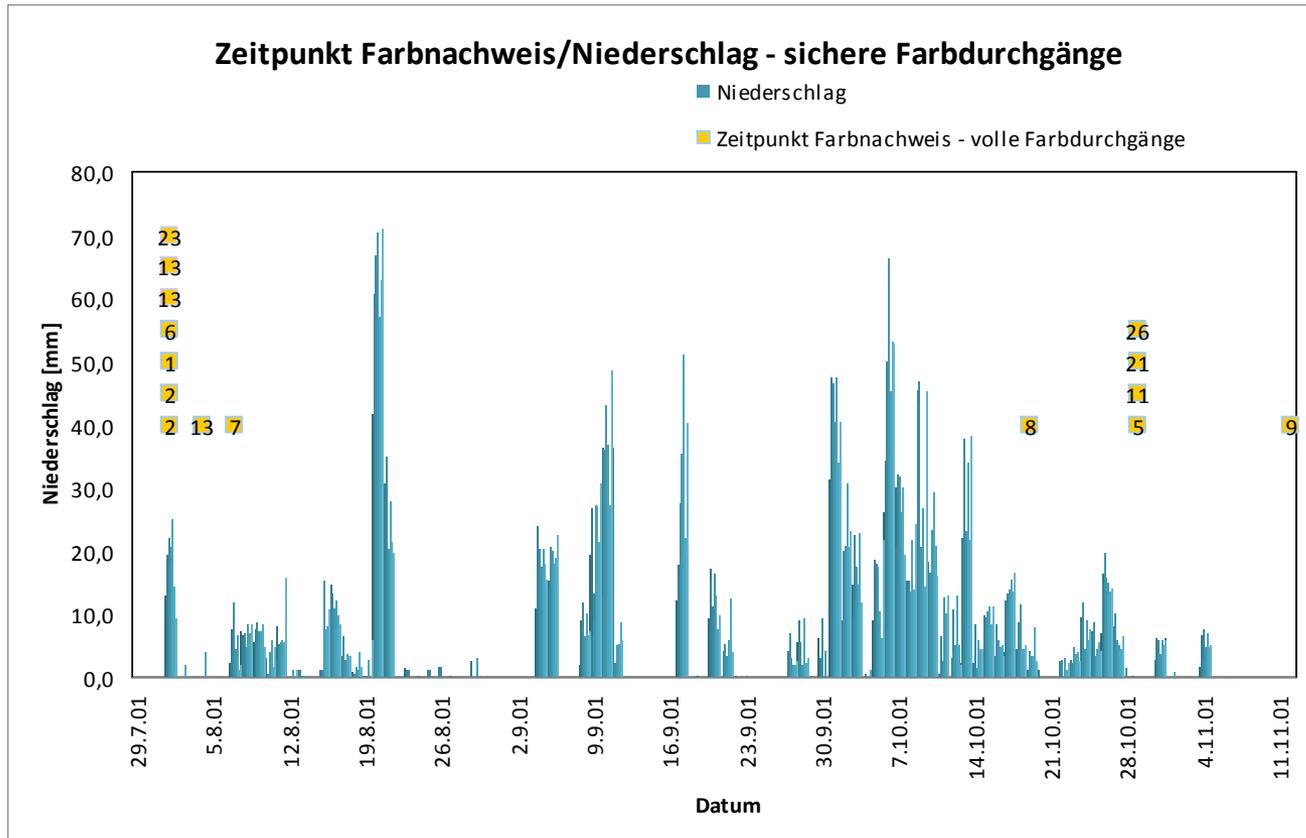
Blaueisgletscher



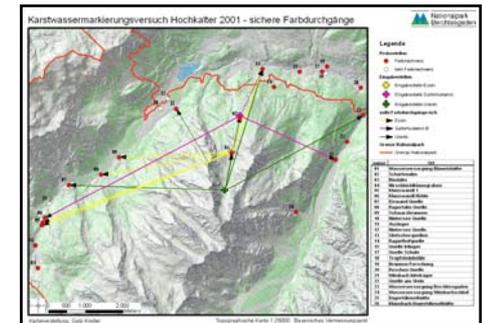




FARBACHWEISE/NIEDERSCHLAG

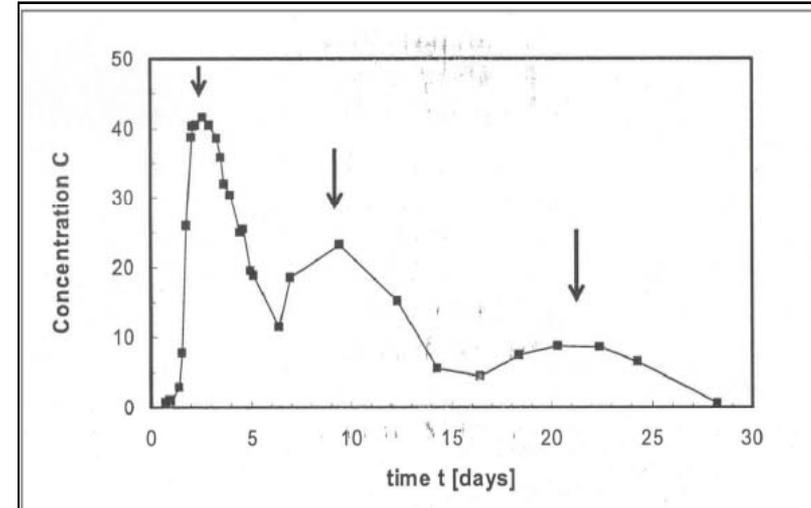
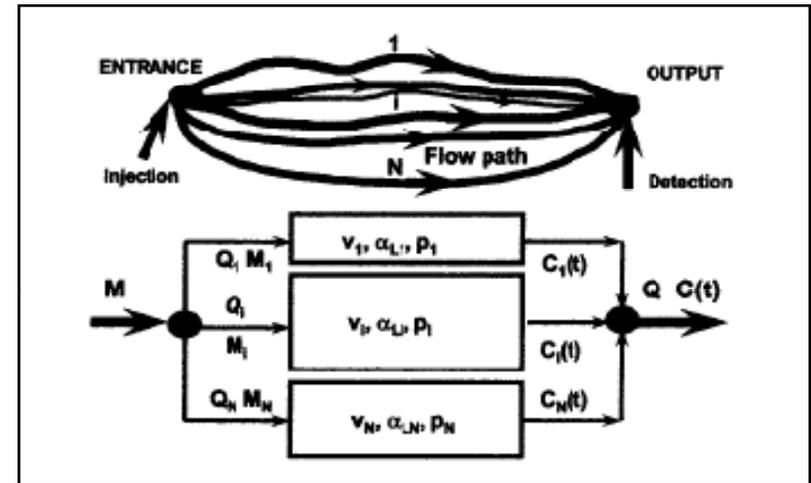


Eigene Darstellung





- Multiflow Dispersion Model (MFDM)
„Field“ und „Differ“ (Prof.Dr.Piotr Maloszweski, Helmholtz-Zentrum München)
- Annahme: das Wasser wird auf Fließwege aufgeteilt und wird mit den jeweiligen Parametern fortbewegt bis es sich an der Austrittsstelle (Quelle) wieder vereint
- Bestimmung von verschiedenen Parametern des Grundwassersystems (Fließgeschwindigkeit, Anzahl Fließwege, Wasservolumen pro Fließweg, Tracer Rückerhalt)
- Jeder Peak stellt einen Fließweg dar

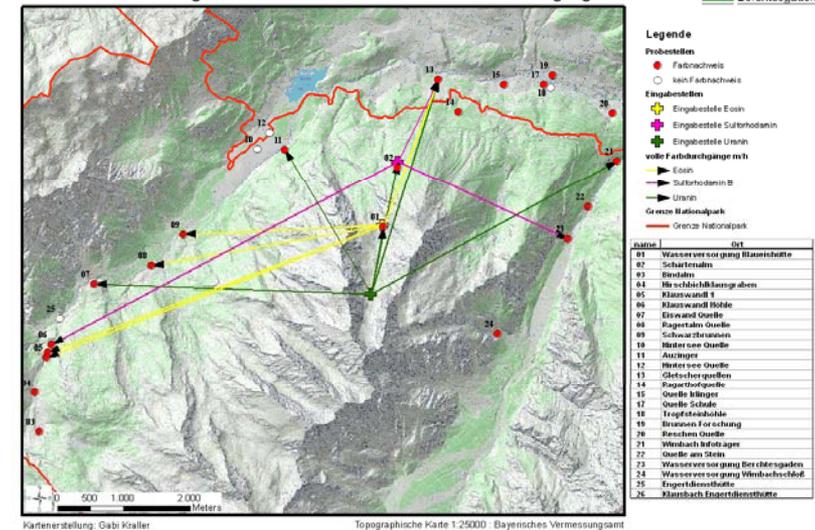




- Zu 15 Quellen traten kontinuierliche Farbdurchgänge auf
- Die 15 kontinuierliche Farbdurchgänge basieren auf insgesamt 33 Fließwegen (ein bis maximal fünf Fließwege)
- Korrelation zwischen Niederschlag 2001 und den Zeitpunkten der ersten Farbnachweise ist nur ansatzweise gegeben

- Starke Karstausprägungen vorhanden
- Einfluss auf den Wasserhaushalt?

Karstwassermarkierungsversuch Hochkalter 2001 - sichere Farbdurchgänge



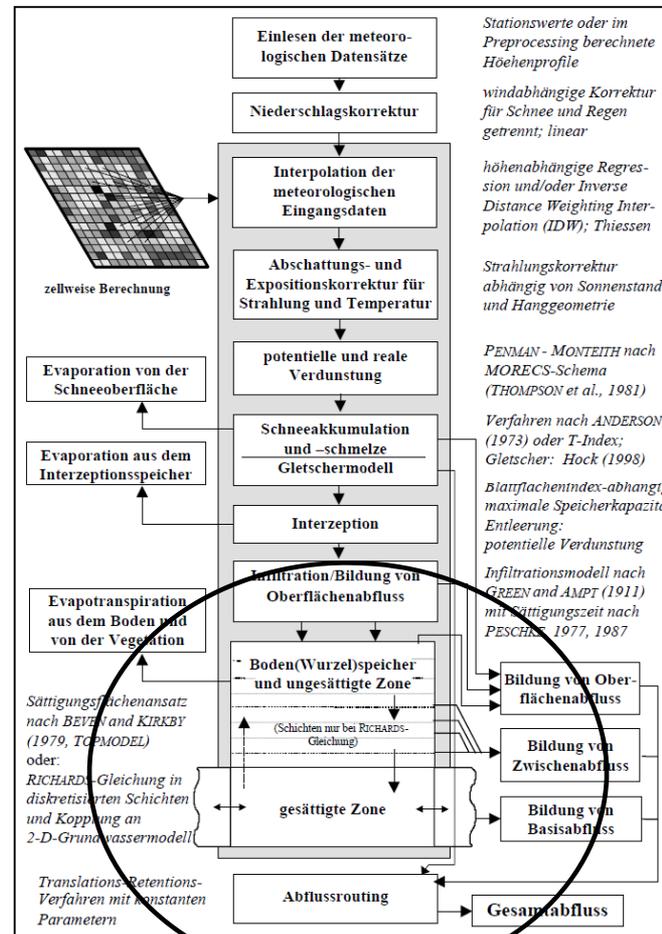


AUSWERTUNG UND MODELLIERUNG DES UNTERIRDISCHEN ABFLUSSES IM NATIONALPARK BERCHTESGADEN UND UMGEBUNG

WASIM - ETH



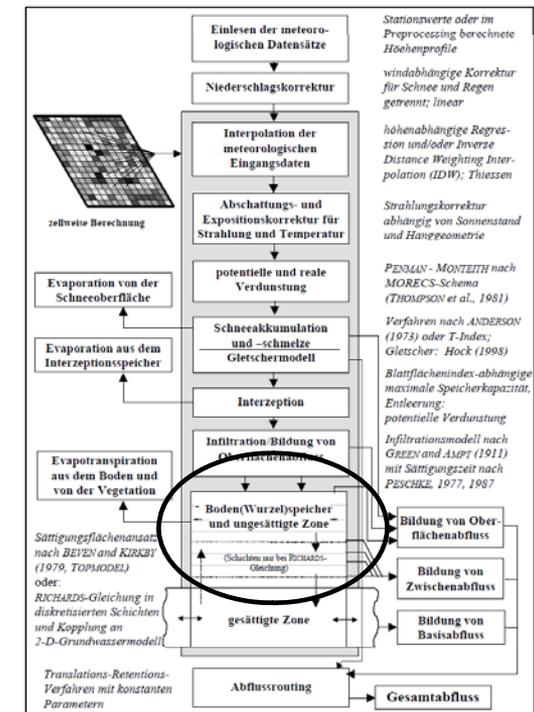
Wasser im Modell WaSiM





Bodenmodul (Richards-Gleichung)

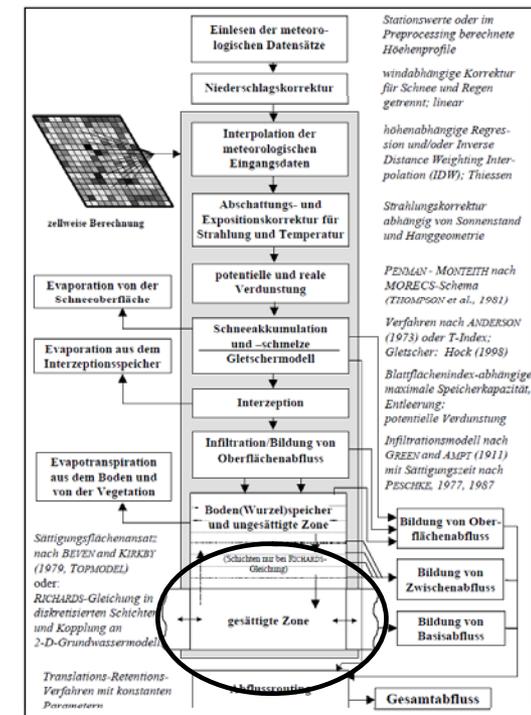
- Eindimensional vertikale Bewegung des Wassers in der ungesättigten Zone
- Beinhaltet:
 - Vertikale Flüsse, Infiltration/Exfiltration in Flüsse
 - Entnahme des verdunstenden Wassers
 - Berücksichtigung von Bewässerung und Drainagen
 - Berücksichtigung von Stauhorizonten und Überstau
 - Grundwasserstand/Grundwasserneubildung
 - Berechnung von Basisabfluss
 - Kopplung mit dem Grundwassermodell





Grundwassermodul

- Modellierung der Grundwasserströmung und des lateralen Stofftransports
- Ist mit dem Bodenmodell gekoppelt
- Zusätzliche Grids:
 - Aquifermächtigkeit
 - Speicherkoeffizient des Grundwassers
 - Leitfähigkeiten
 - Randzuflüsse
 - Konstante Druckhöhen
- Stofftransport im Grundwasser kann berücksichtigt werden





Wasserbilanz des Nationalparks:

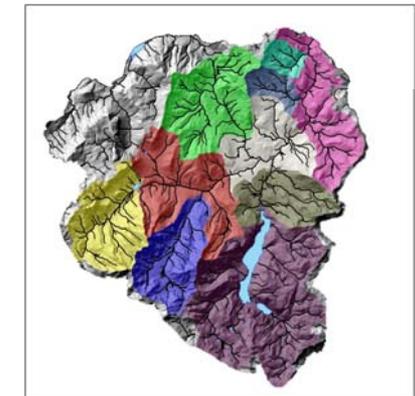
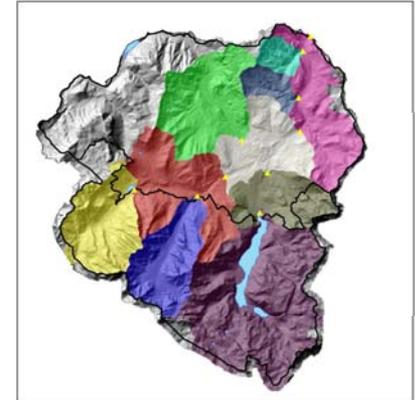
Wasserhaushaltsgleichung:

$$N = A + ET \pm S$$

(S = Karstspeicher/Schneespeicher)

Anwendung in verschiedenen Raum und Zeitskalen

- Lassen sich ein Karsteinfluß darstellen?
- Wie verhält sich S
- Karstproblem in seinem Ausmaß betrachten



Validierung mit Pegeldaten

Regionalisierung des Modellansatzes auf das gesamte Nationalparkgebiet



Weitere Schritte

Miteinbeziehen der Ergebnisse der Tracerversuche:

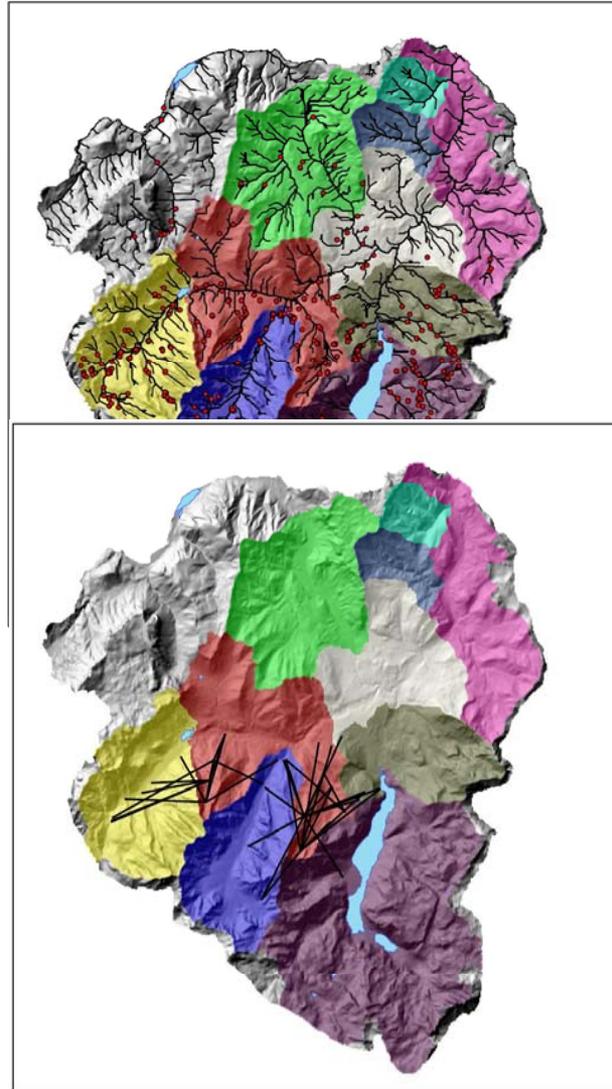
Stofftransport

- Modellierung von Transport von Tracern möglich
- Radioaktive Zerfallsprozesse,
- Vermischungsprozesse, Konzentrationsprozesse
- Tracer werden über ihre Konzentrationen erfasst
- maximal 9 Tracer gleichzeitig
- Teilmodul [substance_transport]

Abflussrouting

- Abschnitt [routing_model]
- Definieren der Abflussregeln
- Definition von Zu-, Ab-, und Überleitungen möglich
- Definition von Speichern möglich

Entwicklung eines neuen Karstmoduls



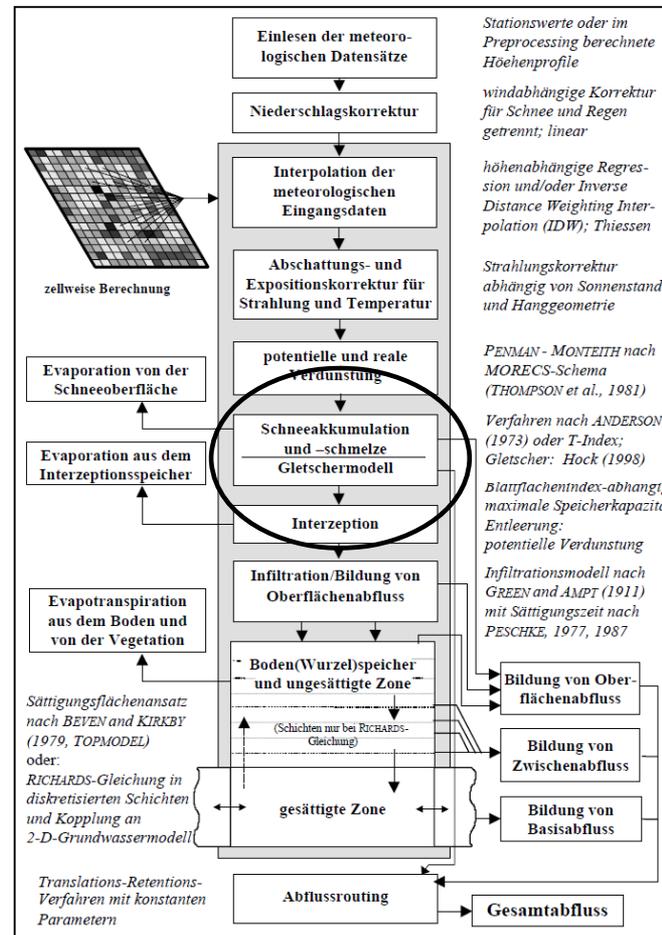


Modellierung der Schneedeckendynamik



- Schneedecke spielt in diesem Gebiet im Wasserhaushalt eine sehr große Rolle
- Schneemodellierung besonders anspruchsvoll (Topographie, Exposition, Beschattung, Windverfrachtung, Schneerutsche, Lawinen, Wald, Niederschlagsvariabilität, Temperaturunterschiede, ...)
- Schneemessungen vorhanden (SWE)
- Schneemodellierungs-Know-How + Schneemodell AMUNDSEN vorhanden

Wasser im Modell WaSiM

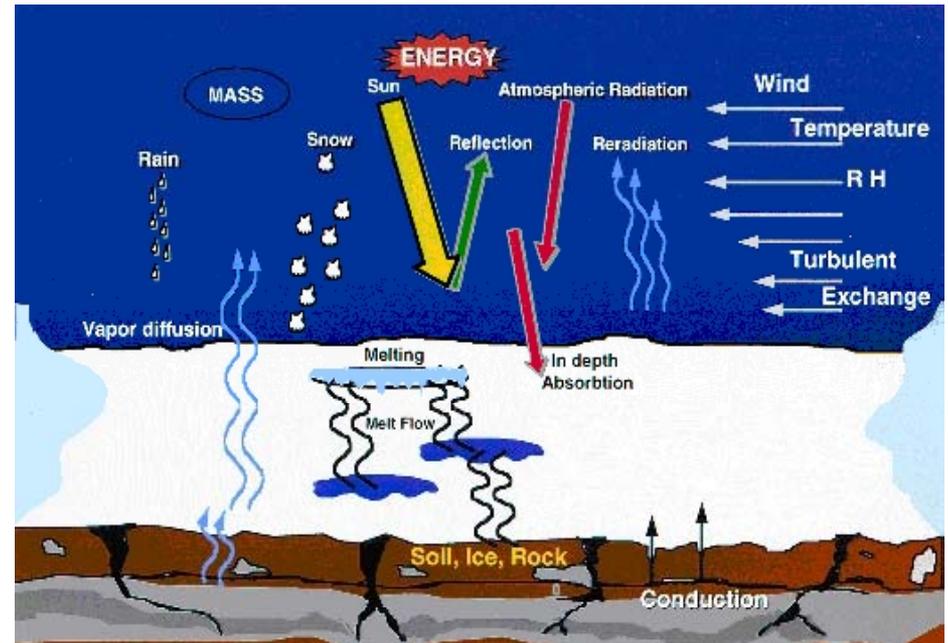




einfach / grob

- Temperatur-Index-Verfahren
(Tag-Grad Verfahren, z.B. in WaSiM)
- Energiebilanz der Schneedecke
(AMUNDSEN, SnowModel, Alpine3D, ...)
- Komplexes Mehrschichtmodell
(SNTHERM, SNOWPACK, ...)

komplex / fein





Schneeakkumulation

- Phasenunterscheidung des fallenden Niederschlags mit interpolierter Lufttemperatur für den jeweiligen Punkt

$$p_{Schnee} = \frac{T_{R/S} + T_{trans} - T}{2 \cdot T_{trans}} \quad \text{für } (T_{R/S} - T_{trans}) < T < (T_{R/S} + T_{trans})$$

mit	p_{Schnee}	Anteil Schnee am Niederschlag (0..1)
	T	Lufttemperatur [°C]
	$T_{R/S}$	Temperatur, bei der 50 % des Niederschlages als Schnee fallen [°C]
	T_{trans}	½ des Temperatur-Übergangsbereiches von Schnee zu Regen [K]



Schneesmelze

- Temperatur-Index-Ansatz
(Tag-Grad-Verfahren)

$$M = c_0 \cdot (T - T_{0,m}) \cdot \frac{\Delta t}{24} \quad \text{für } T > T_{0,m}, \text{ sonst } M = 0$$

mit M Schmelzrate in mm/Zeitintervall
 c_0 temperaturabhängiger Schmelzfaktor [$\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$]
 T Lufttemperatur, ggf. mit Modifikation nach Gleichungen (37) bis (39) [$^\circ\text{C}$]
 $T_{0,m}$ Grenztemperatur für Einsetzen der Schneesmelze [$^\circ\text{C}$]
 Δt Zeitintervall [h]

- Temperatur-Wind-Index-Ansatz

$$M = (c_1 + c_2 \cdot u) \cdot (T - T_{0,m}) \cdot \frac{\Delta t}{24} \quad \text{für } T > T_{0,m}, \text{ sonst } M = 0$$

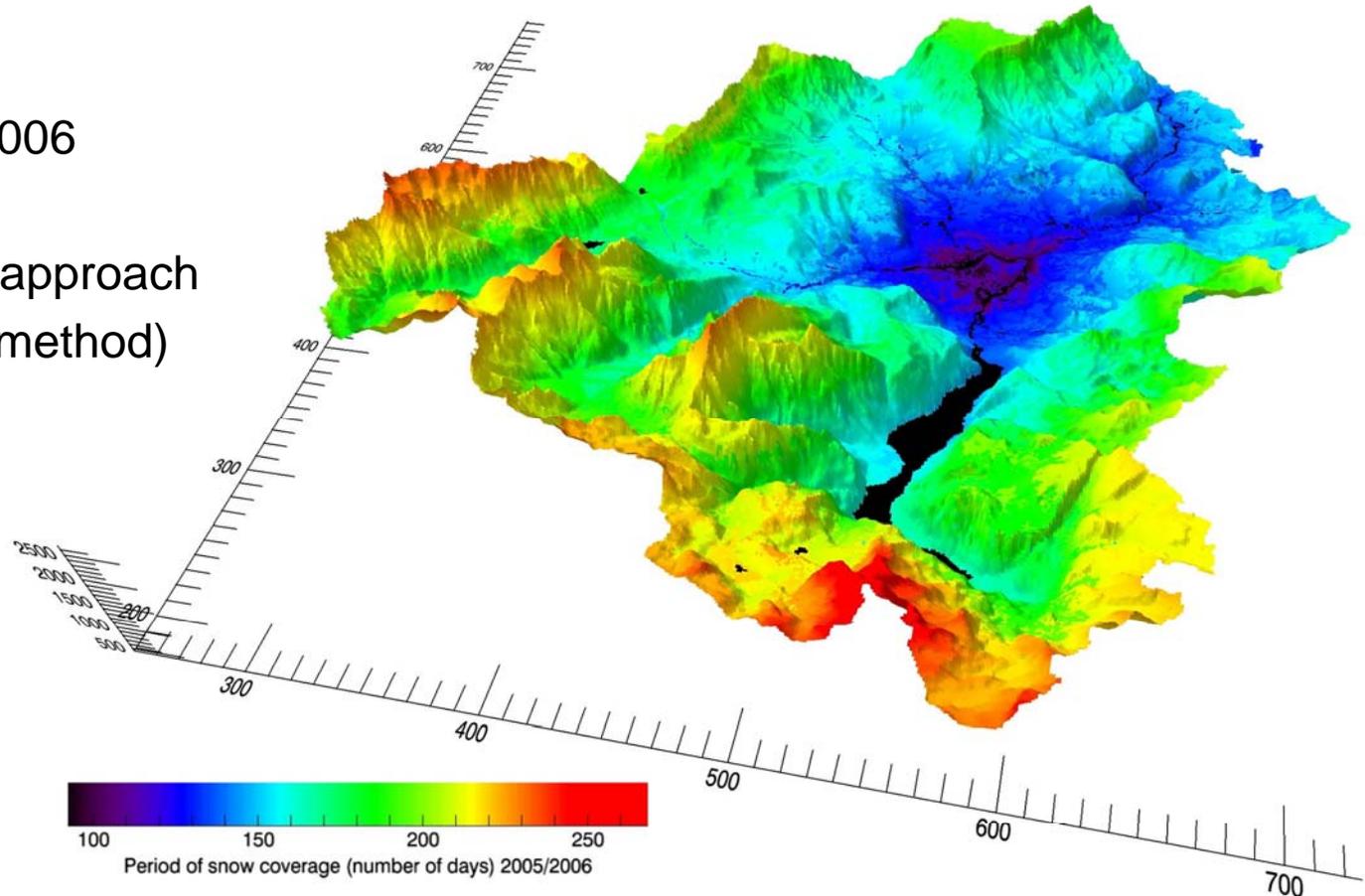
mit M Schmelzrate [mm/Zeitintervall]
 c_1 temperaturabhängiger Schmelzfaktor [$\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$]
 c_2 windabhängiger Schmelzfaktor [$\text{mm} \cdot (^\circ\text{C} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{d})^{-1}$]
 u Windgeschwindigkeit [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
 T Lufttemperatur, gegebenenfalls mit Modifikation nach Gln. (37) bis (39) [$^\circ\text{C}$]
 $T_{0,m}$ Grenztemperatur für Einsetzen der Schneesmelze [$^\circ\text{C}$]
 Δt Zeitintervall [h]

- Kombiniertes Ansatz nach
ANDERSON (1973) erweitert
nach BRAUN (1985)



Modelled days with
snow coverage
during winter 2005/2006

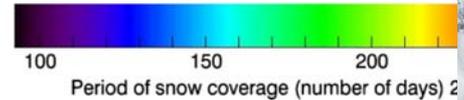
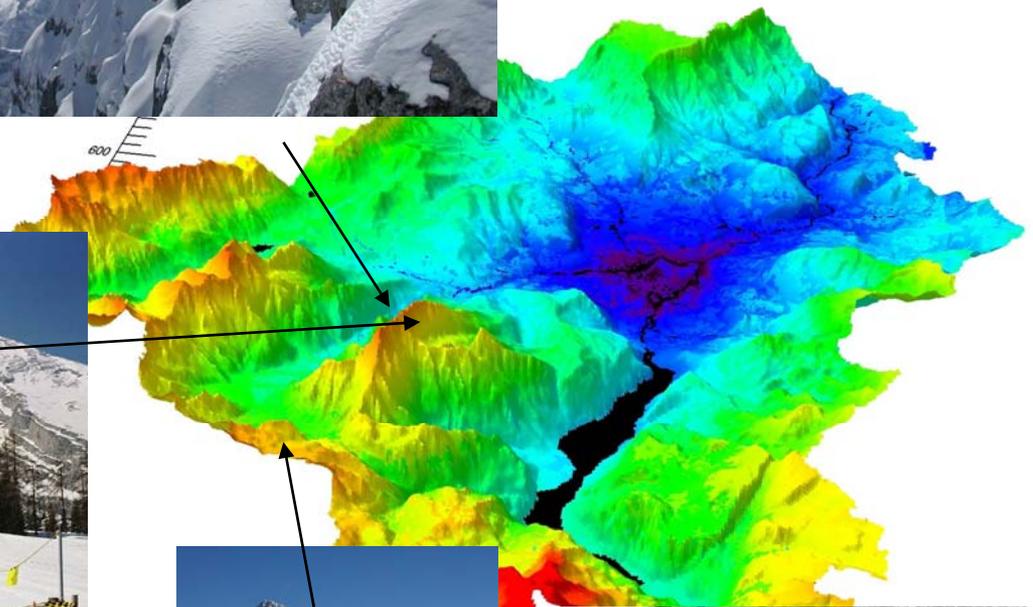
WaSiM Day-Degree approach
(Temperature-Index method)



Schnee im Modell WaS

Modelled days with snow coverage during winter 2005/2006

WaSiM Day (Temperature)





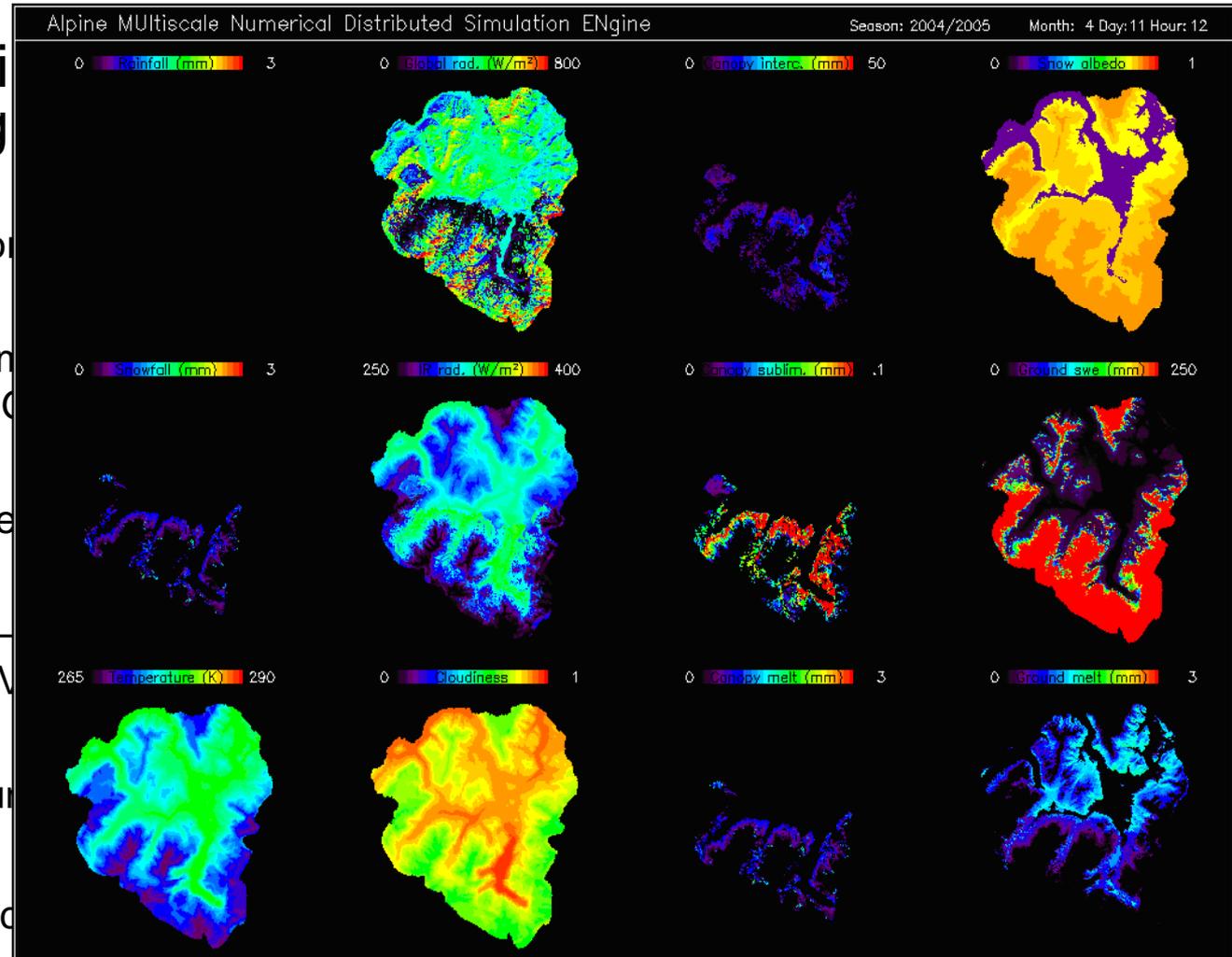
AMUNDSEN (**A**lpine **MU**ltiscale **N**umerical **D**istributed **S**imulation **EN**gine)

- stand-alone „Wissenschafts-Tool“
- Verbesserung der Schneemodellierung
- Prozessverständnis in der Schneehydrologie
- IDL (Interactive Data Language)
- „mittel-komplex“ → Energiebilanz der Schneedecke
- spezialisiert auf die Simulation der Schneedecke im Hochgebirge



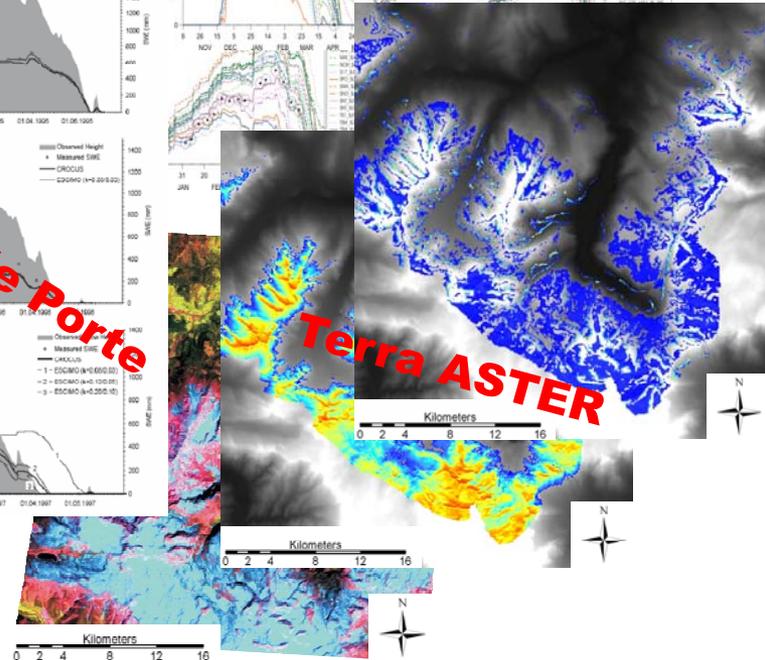
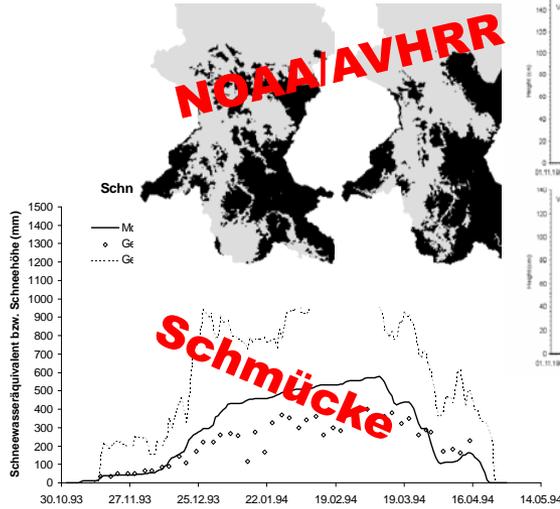
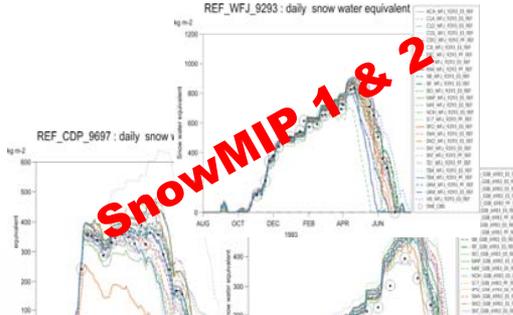
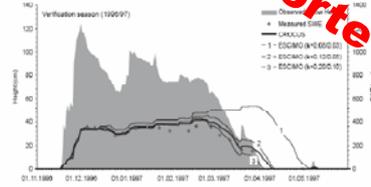
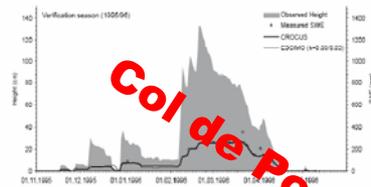
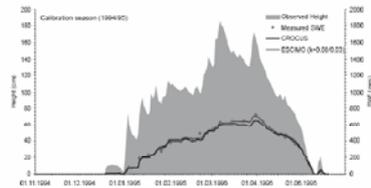
AMUNDSEN (Alpine Simulation ENgine)

- Interpolation der meteorologischen Daten
- Komplexes Strahlungsmodell mit oberflächenabhängiger Geometrie
- Veränderung der Schneehöhe
- Interaktion Vegetation – mikrometeorologische Verhältnisse
- Vollständige Energie- und Wasserbilanz
- Gravitative Schneerutschsimulation



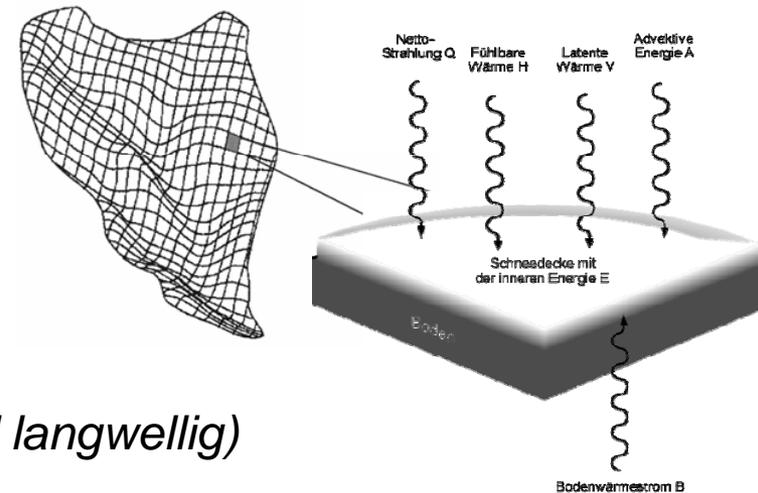


Entwicklung und Validierung





- Kern: ESCIMO (**E**nergy balance **S**now **C**over **I**ntegrated **M**odel)
- Energiebilanz der Schneedecke

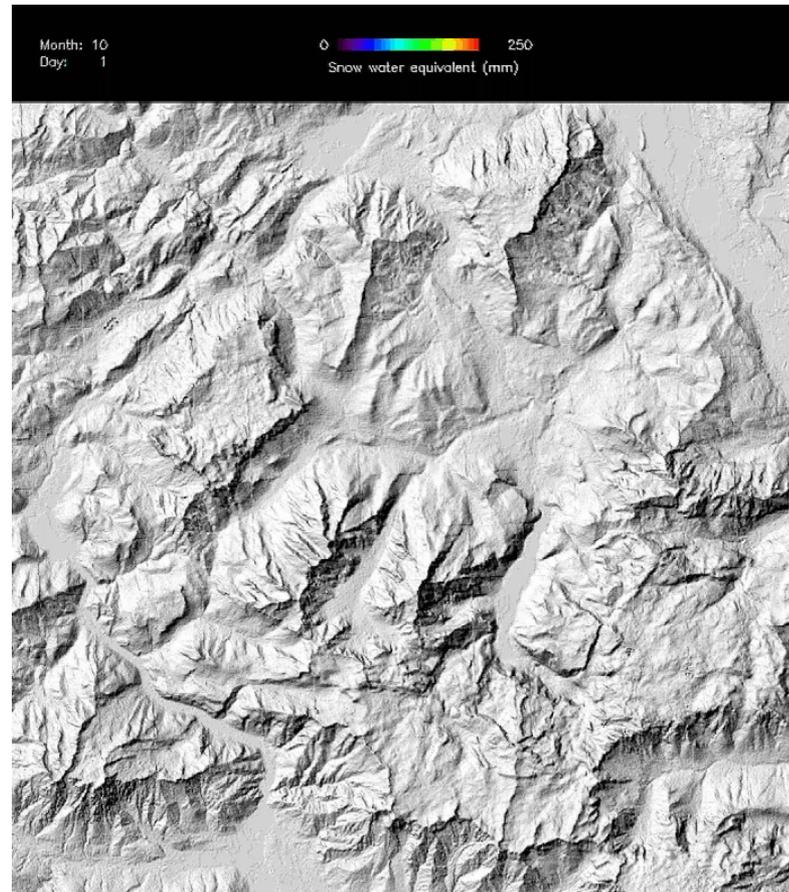


$$Q + H + E + A + B + M = 0$$

Q	<i>Strahlungsbilanz (kurz- und langwellig)</i>
H	<i>fühlbarer Wärmestrom</i>
E	<i>latenter Wärmestrom</i>
A	<i>advektive Energie durch Niederschlag</i>
B	<i>Bodenwärmestrom</i>
M	<i>zur Schmelze verfügbare Energie</i>



Schneewasseräquivalent (mm) 2003/2004





Was ist neu?

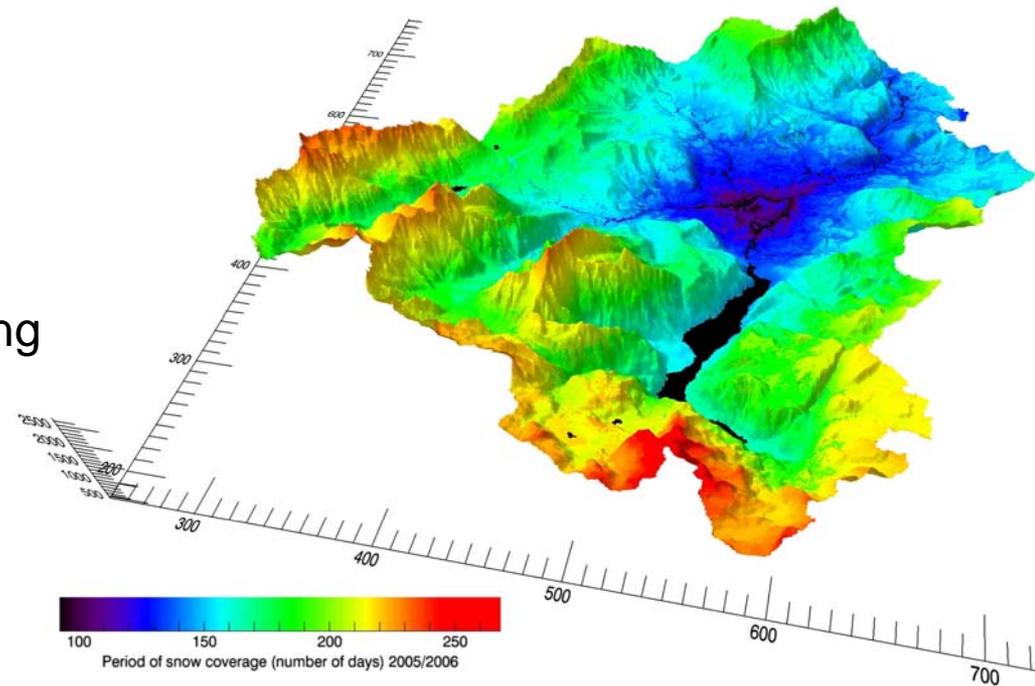
- vollständige Energie- und Massenbilanz der Schneedecke
- Interaktion Vegetation – Schnee
(Interzeptions- und Sublimationsprozesse, mikrometeorologische Verhältnisse)
- Reliefbedingte Strahlungsprozesse (Beschattung, oberflächenabhängige Geländereflexionen)
- Gravitative Schneerutschungen

Hochgebirge

Was wird an welcher Stelle in WaSiM eingebaut?



- Integration von AMUNDSEN in WaSiM
- Validierung der Schneemodellierung mit Stationsmessungen und MODIS-Daten
- Möglichst realistische Modellierung der Schneedeckendynamik in WaSiM
- Prozessverständnis in der Schneehydrologie





- Zusammenführung mit der verbesserten **Karstmodellierung**
- Kalibrierung und Validierung des neuen Modellsystems
- „Optimale“ Modellierung des Wasserhaushalts und der Abflussdynamik der Region
- Statistische Analyse der Wasserbilanz und der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten
- Abschätzung möglicher Veränderung des Wasserhaushalts mit Klimawandel (WaSiM angetrieben mit Ergebnissen eines RCM)

DANKE!

