

Einfluss der Schnee- und Gletscherschmelze auf den Abfluss in alpinen Einzugsgebieten Österreichs

H.P. Nachtnebel, H. Kling, M. Fuchs

Univ. of Natural Resources and Applied Life Sciences

Hans_peter.nachtnebel@boku.ac.at

Pöyry Energy GmbH

Harald.kling@poyry.com, martin.fuchs@poyry.com



Gliederung

Zielsetzung

Methodik

Daten & Anwendung

Diskussion

Zielsetzung

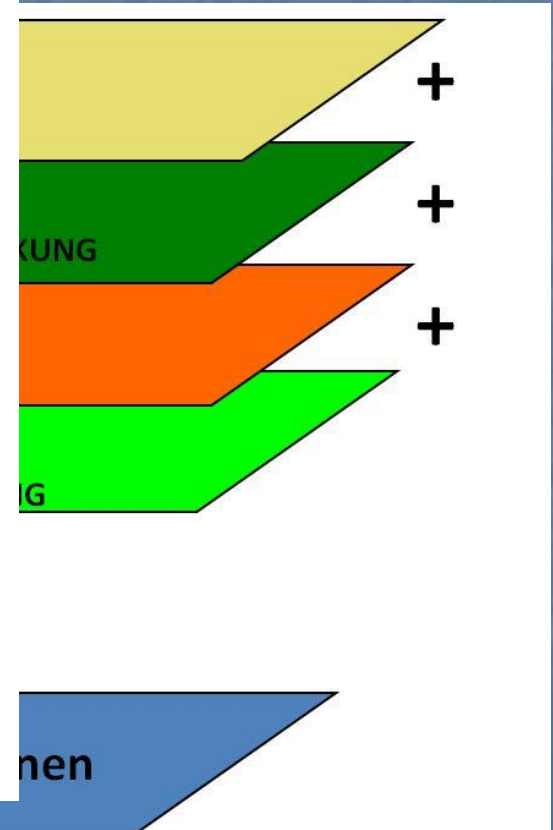
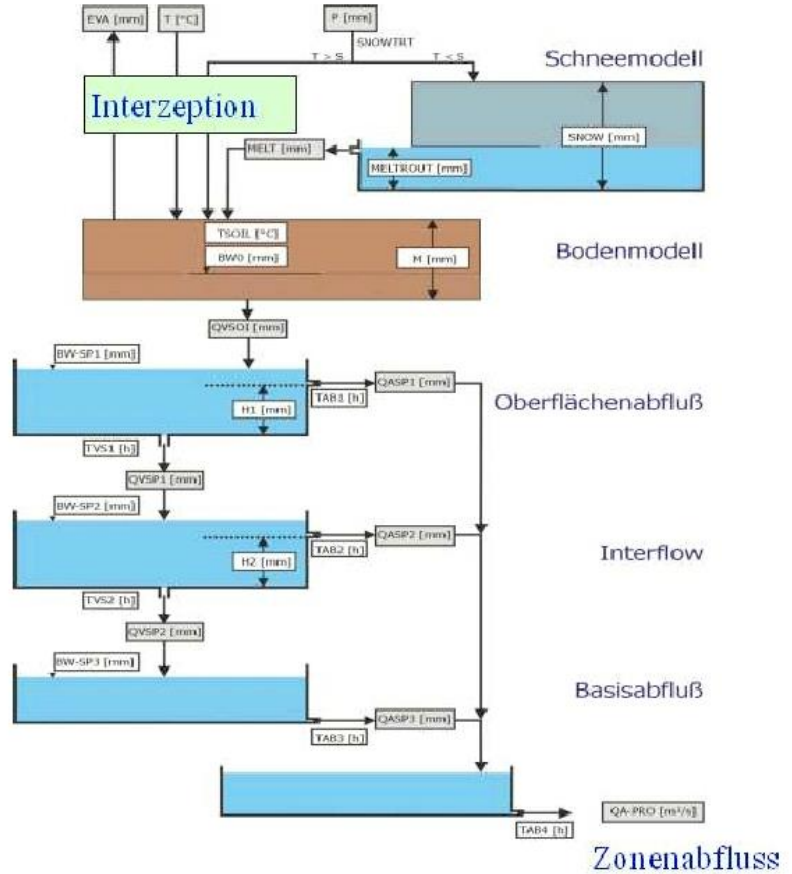
- Räumlich zeitliche Quantifizierung des Schnee- und Gletscherbeitrages auf den Abfluss um
 - die Wasserbilanz
 - die Abflussprognose
 - und die Folgen von Klimaveränderungen

für alpine Einzugsgebiete genauer zu erfassen.

Methodik

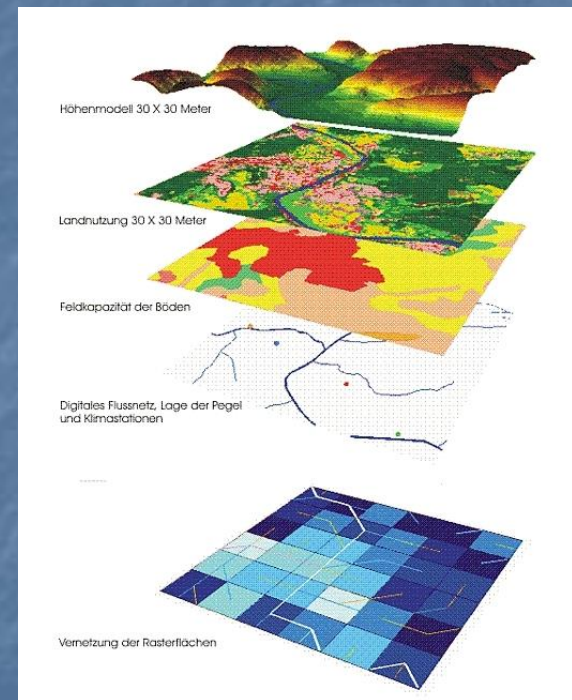
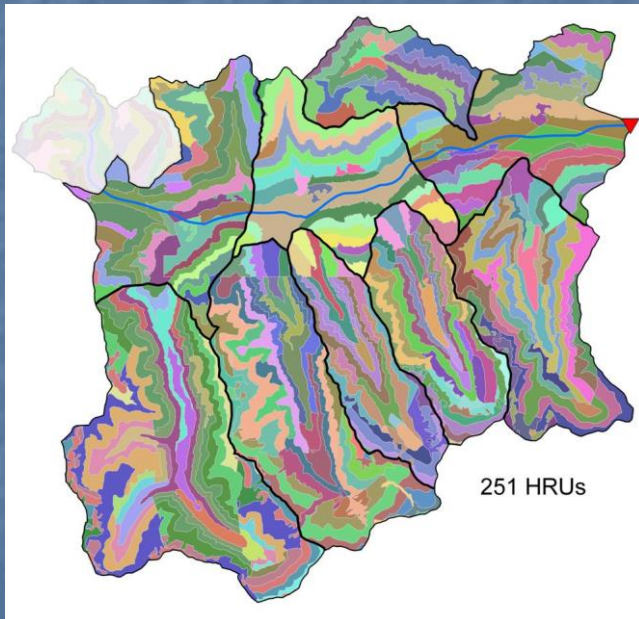
- Hohe räumliche Heterogenität
- Hohe zeitliche Dynamik, die aber von der Fragestellung abhängig ist.
- Räumlich detailliertes und in beliebigen Zeitschritten arbeitendes N-A Modell COSERO (Nachtnebel et al., 1993; Kling, 2006), ähnlich zu HBV Modell (Bergström, 1992)

Methodik



Methodik

- Bezüglich der räumlichen Unterteilung sind sowohl HRU's als auch grids möglich



(Ähnlich zu LARSIM)

Methodik

- Der Bodenspeicher ist nichtlinear
- Die übrigen Speicher sind linear

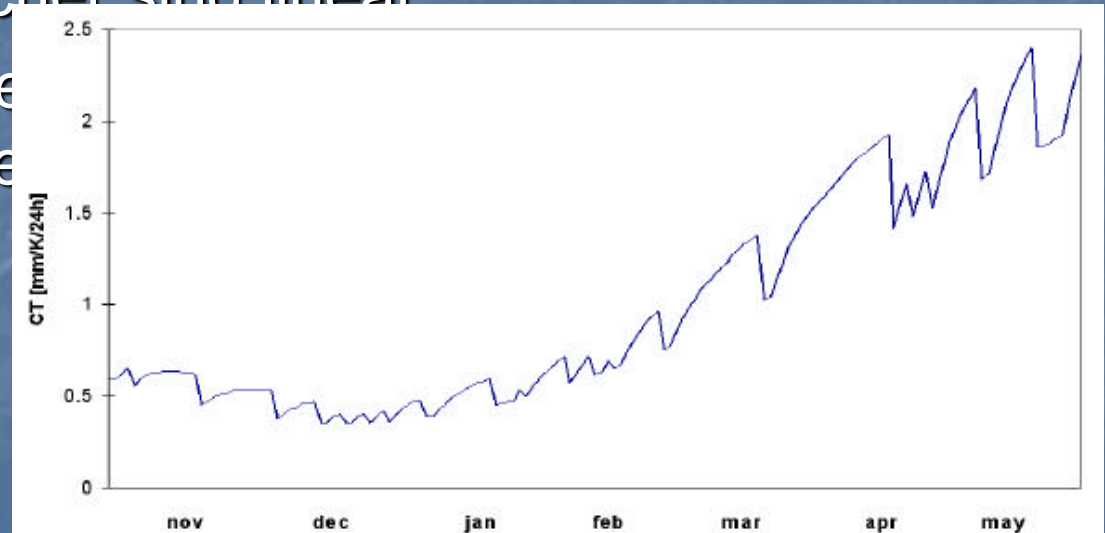
$$Q_{1ab}(t) = Q_{zu}(t) * (BW_0(t) / BW_{0max})^\beta$$

- Der Bodenspeicher wird durch Zuflüsse (N, Schneeschmelze) gefüllt und durch Verdunstung, Versickerung entleert
- Die Berechnung der aktuellen Verdunstung erfolgt über ein Bodenfeuchte limitiertes Modell

Methodik

- Bezüglich der räumlichen Unterteilung sind sowohl HRU's als auch grids möglich
- Der Bodenspeicher ist nichtlinear
- Die übrigen Speicher sind linear
- Die Schneeschmelze wird mit der Tagesmethode berechnet

$$\text{TEMPM} = \text{CT}(t) * T(t)$$

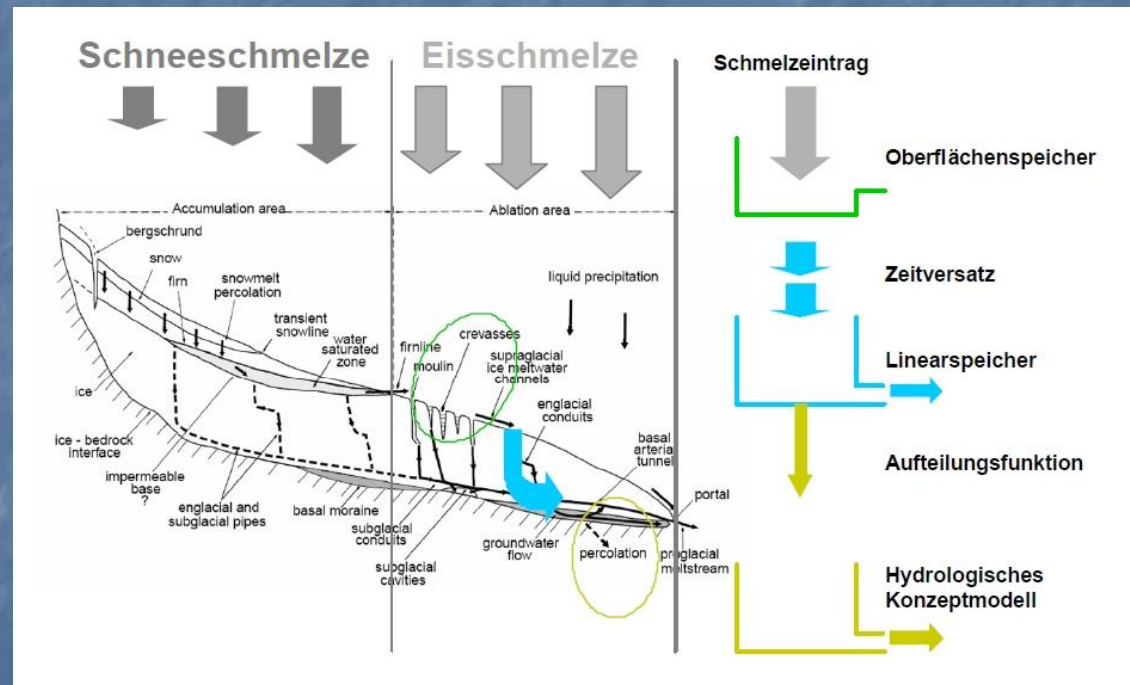


Methodik

- Bezüglich der räumlichen Unterteilung sind sowohl HRU's als auch grids möglich
- Der Bodenspeicher ist nichtlinear
- Die übrigen Speicher sind linear
- Die Schneeschmelze wird für jede Zone nach der Grad-Tagesmethode berechnet
- Kopplung mit vereinfachtem Gletschermodul

Gletscherbeitrag

Besteht aus einem Schneeschmelzbeitrag und nachfolgend aus einem Beitrag der Gletscherschmelze



Gletschermodul

Auf Grund der Gletscherinventare (Kuhn et al. 1999; Span et al., 2005) können Beziehungen zwischen

$$h = h(x)$$

$$F = F(x)$$

$$V = V(x)$$

x = Länge des Gletschers

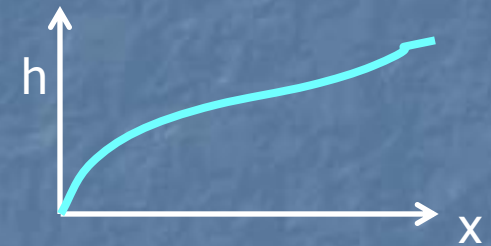
h = Mächtigkeit des Gletschers

F = Oberfläche des Gletschers

V = Volumen des Gletschers

für einzelne Gletscher aufgestellt werden.

(Im übrigen siehe K. Kraus, 1916; E. Krenek, 1927; E. Bloch, 1931)



Gletschermodul

- Unterteilung eines Gletschers in Höhenzonen
- Unterteilung einer Zone in Bereiche mit unterschiedlicher Mächtigkeit (statistisch)
- Die Berechnung der Gletscherschmelze erfolgt nach einem gemischten Temperatur / Strahlungsansatz nach Hock (1999)
- Ermittlung der Schmelze für jede Zone ergibt in Summe einen Gesamtverlust ΔV
- Auf Grund der bestehenden Funktionen $V(x)$, $F(x)$, $h(x)$ Neuermittlung der neuen räumlich verteilten Eisdecke

Datenbasis

- Was ist flächendeckend verfügbar ?
- Wie gut sind die Daten ?
- Niederschlag und Temperatur

Wasserbilanz Österreichs

- Der Hydrologische Atlas (2007): langjähriges Mittel des Jahresniederschlages
- Potentielle Verdunstung nach Penman Monteith

2.2

Mittlere Jahresniederschlagshöhe -
Modellrechnung mit unkorrigierten Daten
Mean annual precipitation -
Modelled with uncorrected data

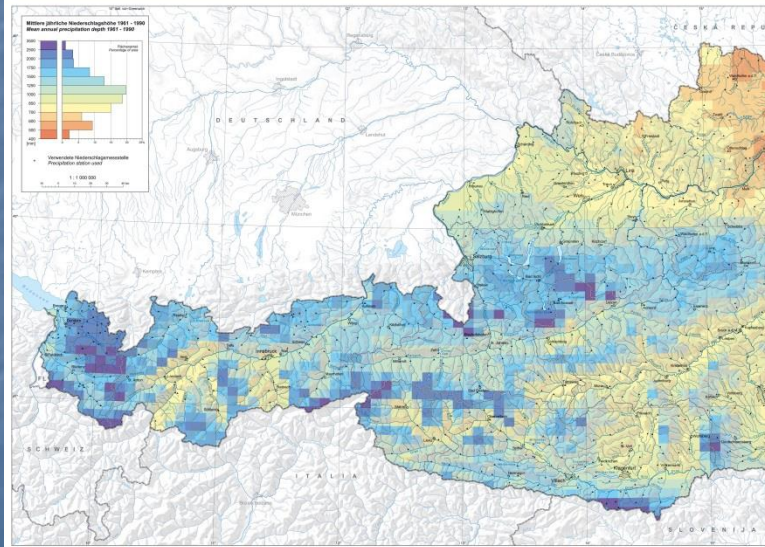
Wissenschaftliche Bearbeitung:
Svenjörk Eitzinger
2002

Datengrundlagen:
Data base:
1961 - 1990

Thematische Bearbeitung:
Thematic evaluation:
G. Bana, M. Bana, Wien
1961 - 1990

Kartografische Bearbeitung:
Cartographic evaluation:
G. Bana, G. Haderer, J. Fanz
1978-1980
K. Ritz, EUR Univ. Wien

Herausgeber/Publischer By:
H. P. Nachtnebel
© 2003
IHAO



3.2

Mittlere potentielle Jahresverdunstung
Mean annual potential evapotranspiration

Wissenschaftliche Bearbeitung:
Svenjörk Eitzinger
2001

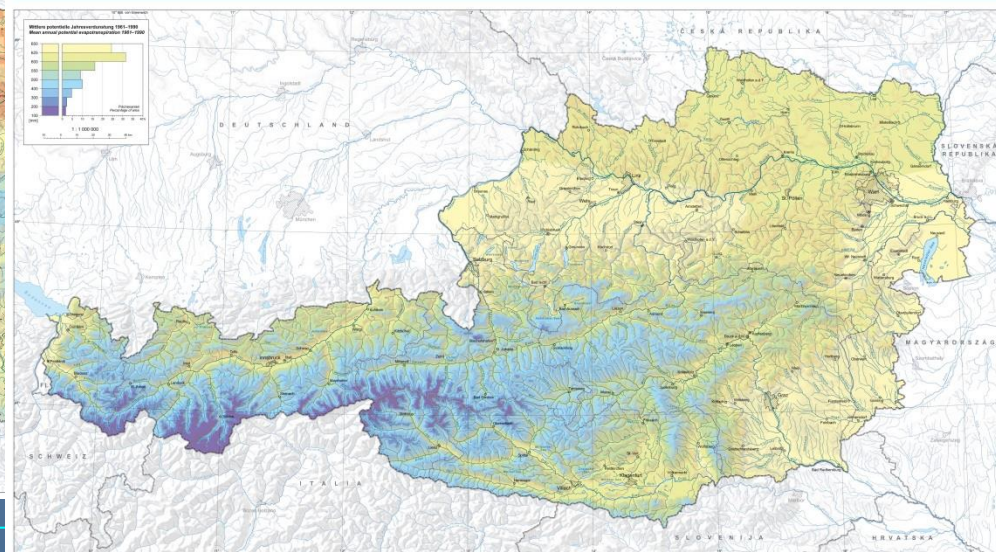
Datengrundlagen:
Data base:
1961 - 1990

Thematische Bearbeitung:
Thematic evaluation:
H. Dörmann, ZAMG Wien

Kartografische Bearbeitung:
Cartographic evaluation:
G. Bana, G. Haderer, J. Fanz
K. Ritz, EUR Univ. Wien

Herausgeber/Publischer By:
H. P. Nachtnebel
© 2003 Universität für Bodenkultur Wien
© 2003 Österreichischer Wasser-
bauverband
Österreichischer Kanal- und Kulturlandbau Wien

IHAO
Hydrologischer Atlas Österreichs



Wasserbilanz Österreich

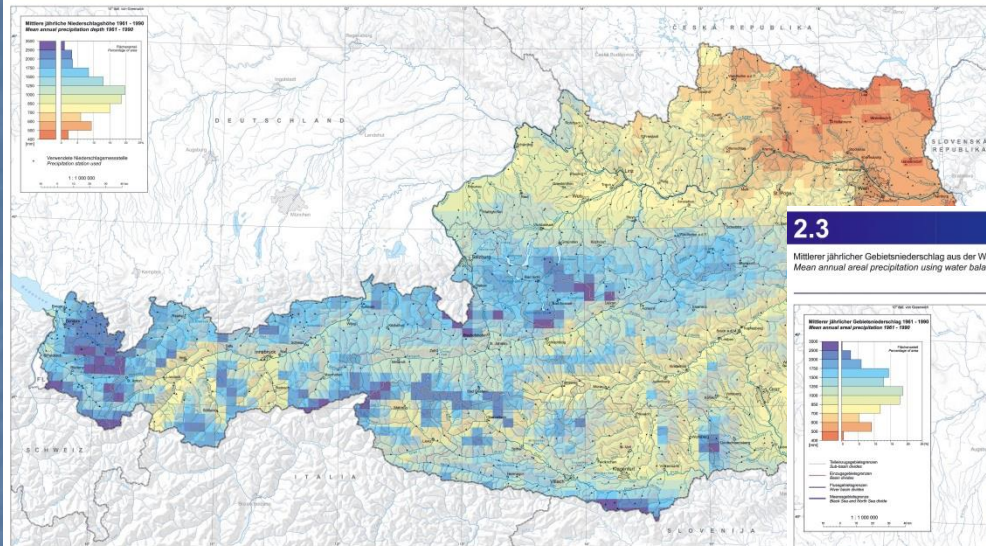
- Mit diesen Daten kann ein hydrologisches Modell angetrieben werden
- Es gilt die Bedingung $N=P-EVAP+\Delta S$
- ΔS kann aus den Gletscherdaten direkt ermittelt werden
- Die Bedingung kann für viele Einzugsgebiete nicht erfüllt werden
- In den höheren Lagen ist die Messnetzdichte sehr gering und fehlerbehaftet
- Daher wurde eine korrigierte Niederschlagsverteilung ermittelt

Wasserbilanz Österreich

2.2

Mittlere Jahresniederschlagshöhe -
Modellrechnung mit unkorrigierten Daten
Mean annual precipitation -
Modelled with uncorrected data

Wissenschaftliche Bearbeitung: Sonja Gatzert
Datenquellen: DWD 1981 - 1990
Thematische Bearbeitung: Thematik: Niederschlag
© Thales AG/IGW Wien
© Linzer, IZB-BA, FZV Wien
Kartographische Bearbeitung: Kartographie: Niederschlag
© Thales AG/IGW Wien
© Linzer, IZB-BA, FZV Wien
© 2003 Universität für Bodenkultur Wien
Herausgeber/Publizist für: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
© 2003 Universität für Bodenkultur Wien
Verantwortlich: Österreichischer Kurat- und Kulturlängling Wien
HAO
Hydrologischer Atlas Österreichs



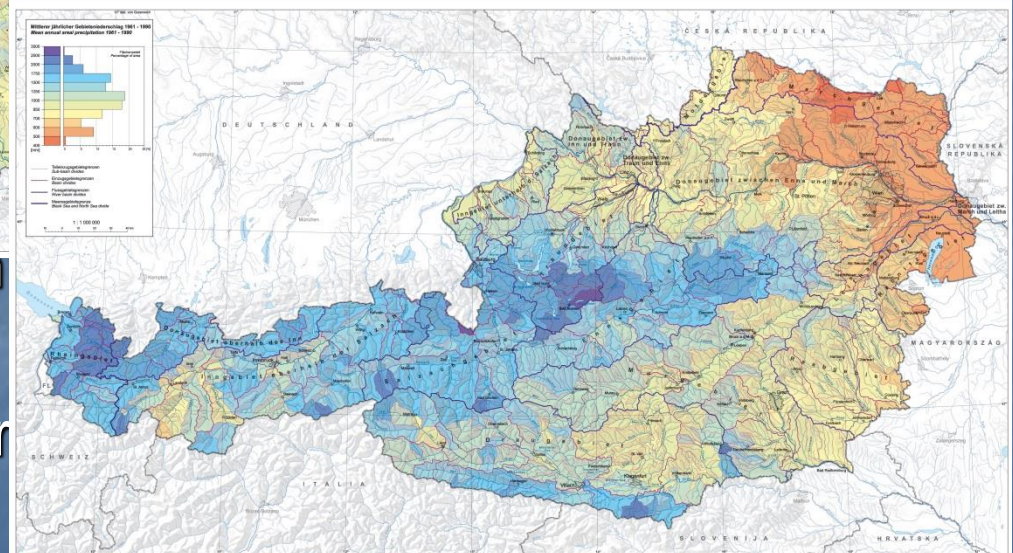
hydrologisches Modell

MAPLAS

2.3

Mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag aus der Wasserbilanz
Mean annual areal precipitation using water balance data

Wissenschaftliche Bearbeitung: Sonja Gatzert
Datenquellen: DWD 1981 - 1990
Thematische Bearbeitung: Thematik: Niederschlag
© Thales AG/IGW Wien
© Linzer, IZB-BA, FZV Wien
Kartographische Bearbeitung: Kartographie: Niederschlag
© Thales AG/IGW Wien
© Linzer, IZB-BA, FZV Wien
© 2003 Universität für Bodenkultur Wien
Herausgeber/Publizist für: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
© 2003 Universität für Bodenkultur Wien
Verantwortlich: Österreichischer Kurat- und Kulturlängling Wien
HAO
Hydrologischer Atlas Österreichs



- In den nördlicheren Lagen ungenau und fehlerbehaftet
- Daher wurde eine Korrektur ermittelt

Prognosemodelle

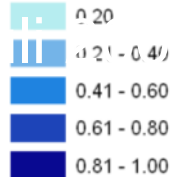
- Für etliche Gebiete Österreichs waren Echtzeitprognosemodelle für den Abfluss zu entwickeln
- (Enns, Salzach, Traisen, Ybbs, Obere Mur, Donau bis Bratislava)
- Die Prognoseläufe werden alle 15' für das Gesamtgebiet mit etlichen Kontrollpegel für ein Ensemble (50 +1) gerechnet
- Inn und Salzach weisen nennenswerte Gletscherbeiträge auf
- Validierung der Schnee- und Gletscherschmelzbeiträge

Modelldiagnose: Schneebedeckung

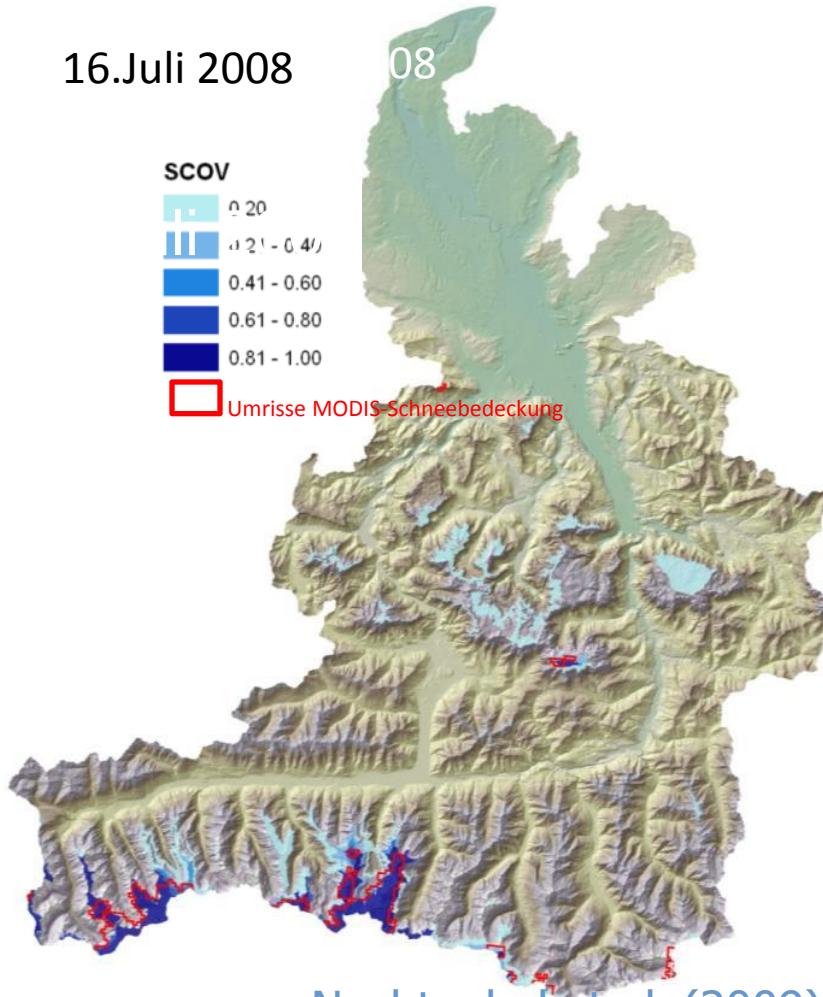
16.Juli 2008

08

SCOV

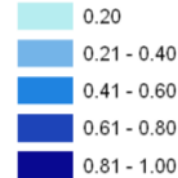


Umriss MODIS-Schneebedeckung

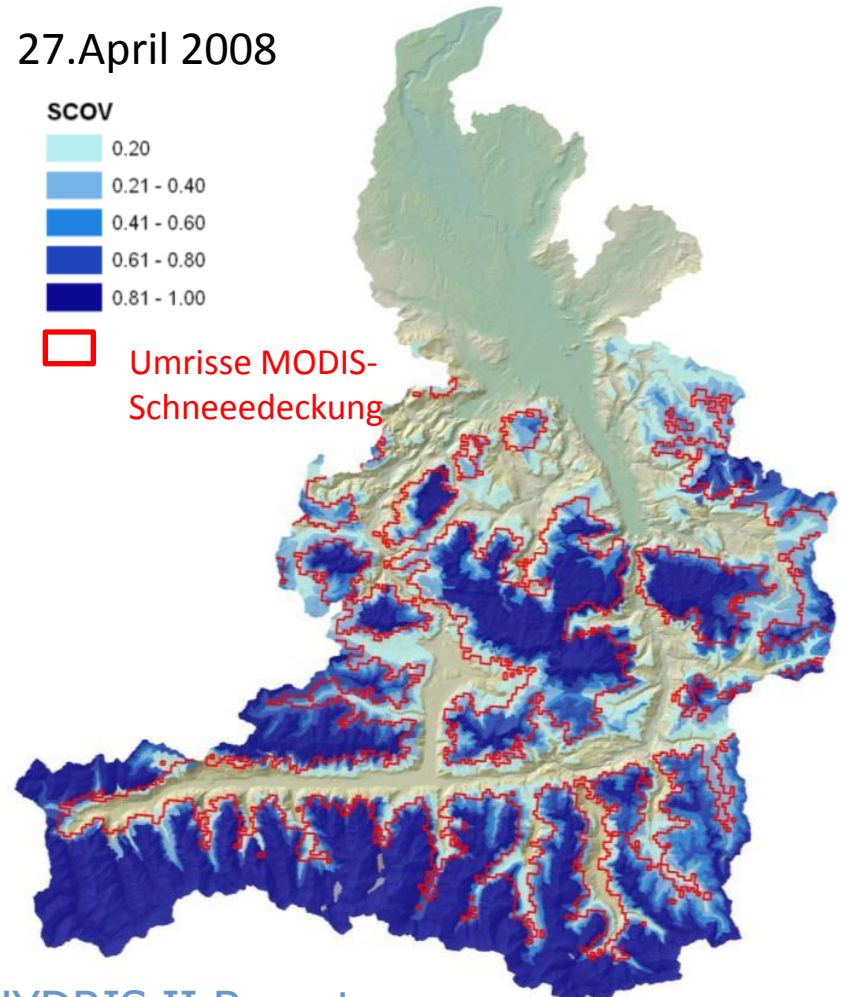


27.April 2008

SCOV



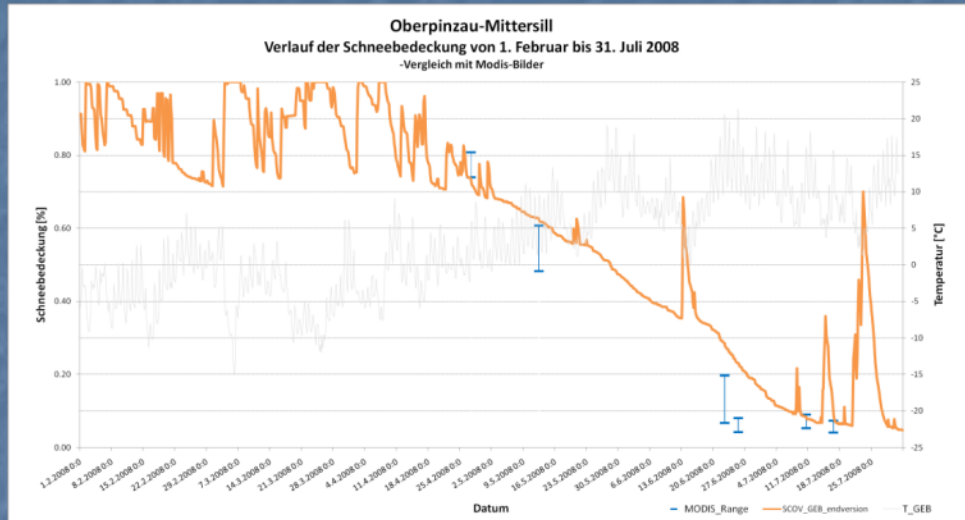
Umriss MODIS-Schneebedeckung



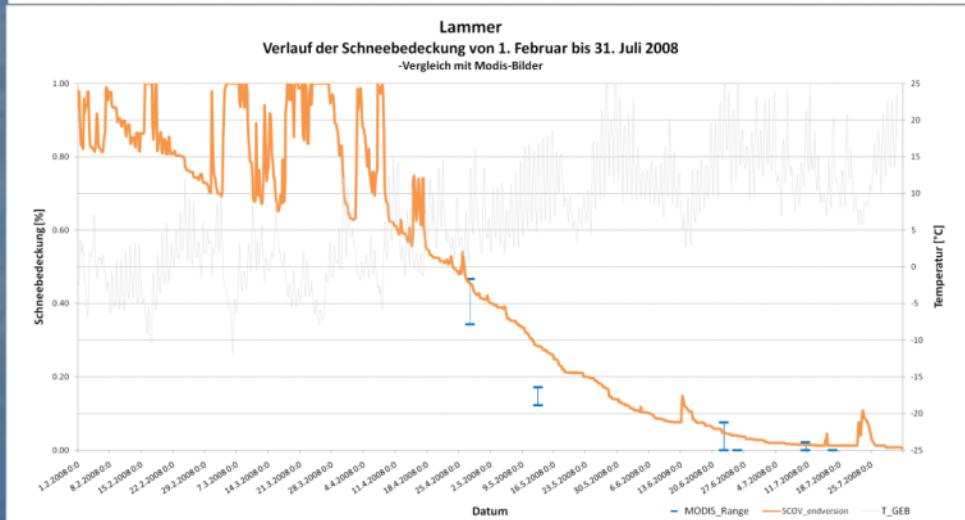
Nachtnebel et al.,(2009) HYDRIS II Report

Schneebedeckung Frühjahr 2008

Vergleich Modell - MODIS



Oberpinzgau bis
Mittersill



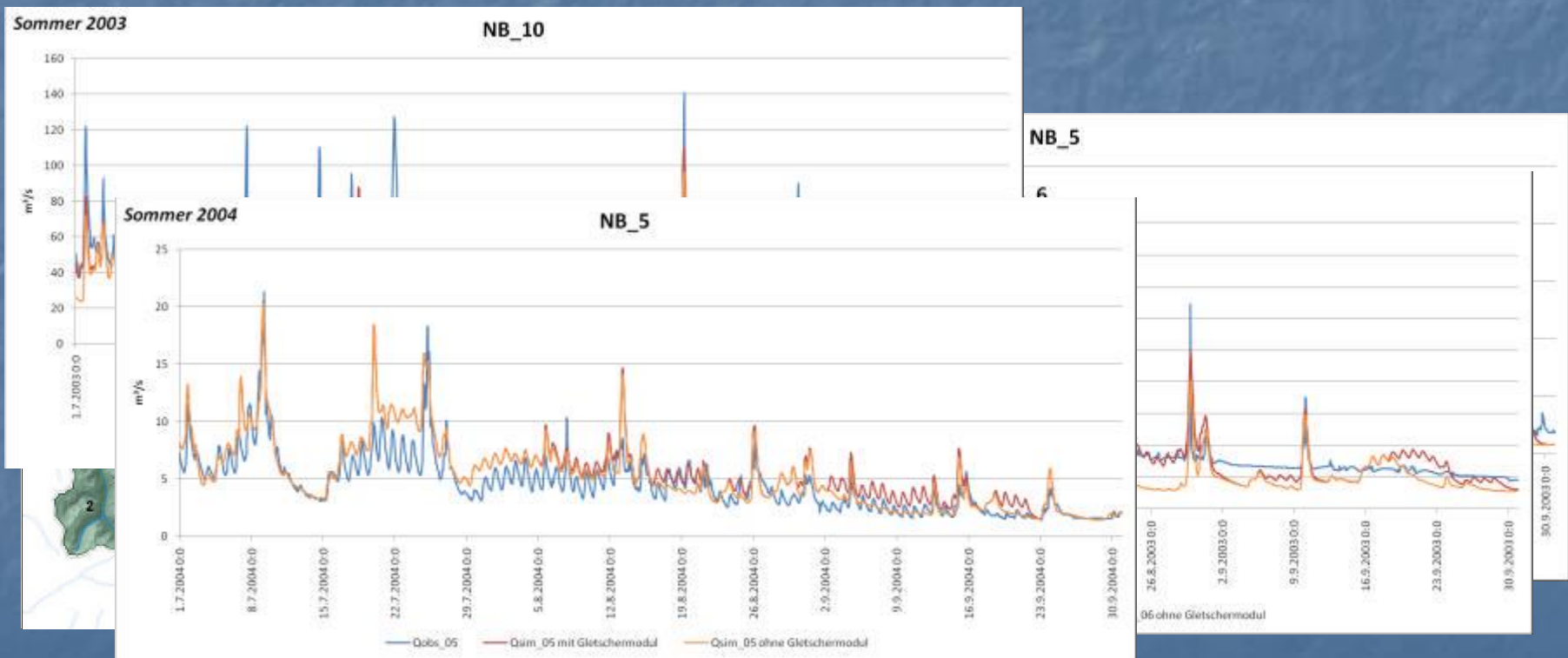
Lammer

Schneemodul

- Die Ausaperungsmuster passen gut, aber in kleinen Teilen des EZ (Kammlagen, Gipfel) werden Teile des Niederschlages akkumuliert.
- Umlagerung des Schnees (Wind, Lawinen) ist zu berücksichtigen.
- Frey & Holzmann (2015) integrierten eine Schneenumverteilungsroutine (abhängig von Gefälle und Landnutzung)

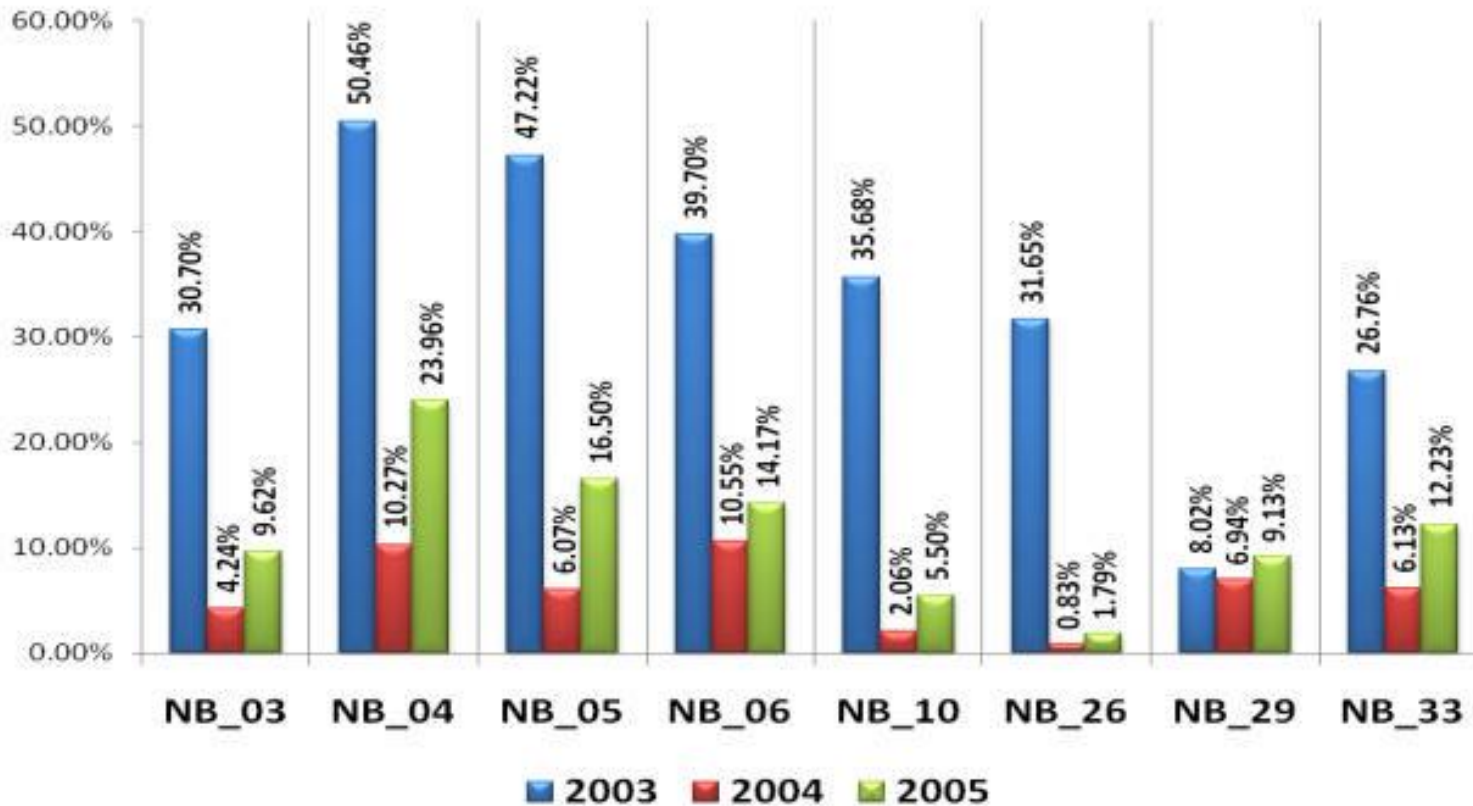
Gletscherbeiträge

- Überprüfung an verschiedenen Pegeln für gänzlich unterschiedliche Wetterabläufe



Gletscherbeiträge

Abflussanteil aus Gletscherzonen für die Sommermonate (VII,VIII,IX)



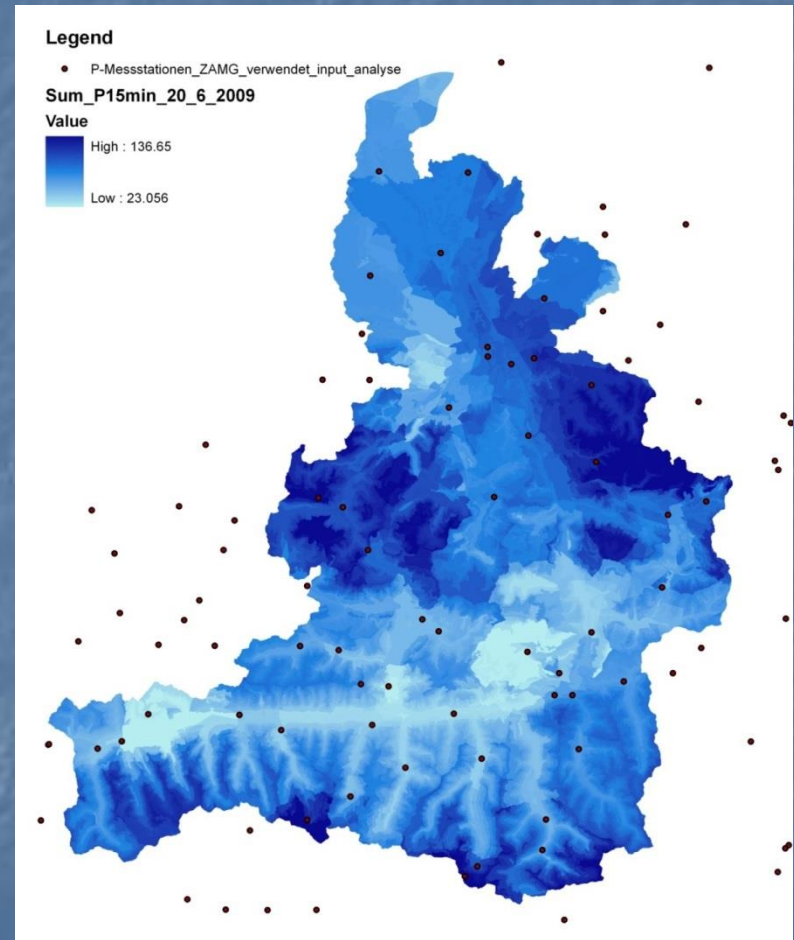
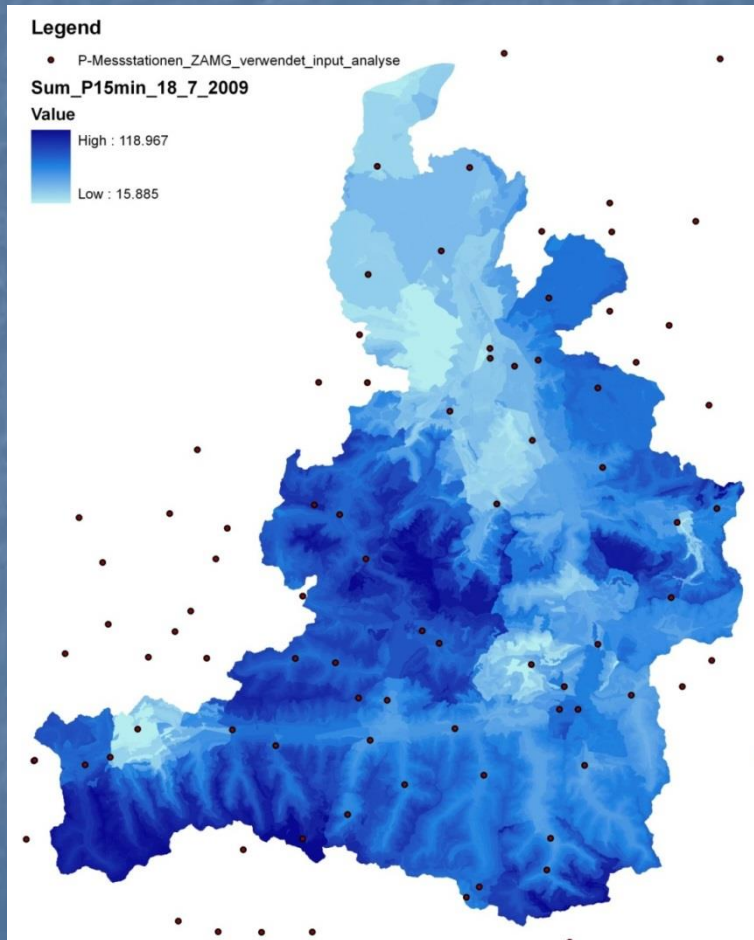
Gletscherbeiträge

Gewässer	Salzach	Obersulzbach	Untersulzbach	Habach	Salzach
Pegelname/	Wald	Sulzau	Neukirchen	Habach	Mittersill
EZ-Fläche (km ²)	206,81	80,83	40,52	45,65	590,71
Gletscherfläche (km ²)	14,25	20,21	8,1	5,1	49,96
Gletscherfläche (%)	6,9	25%	20	11	8,4
2003 (%)	30,7	50,46	47,22	39,70	35,68
2004 (%)	4,2	10,27	6,07	10,55	2,06
2005 (%)	9,62	23,96	16,50	14,17	5,50

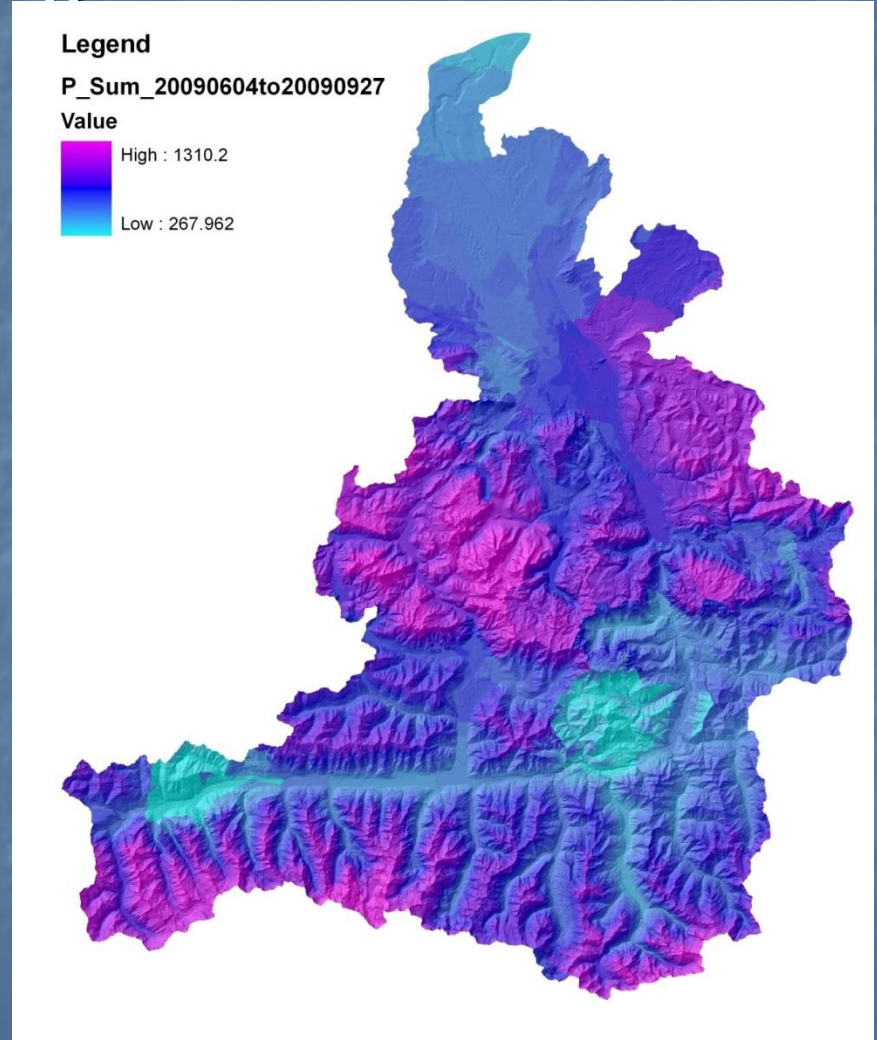
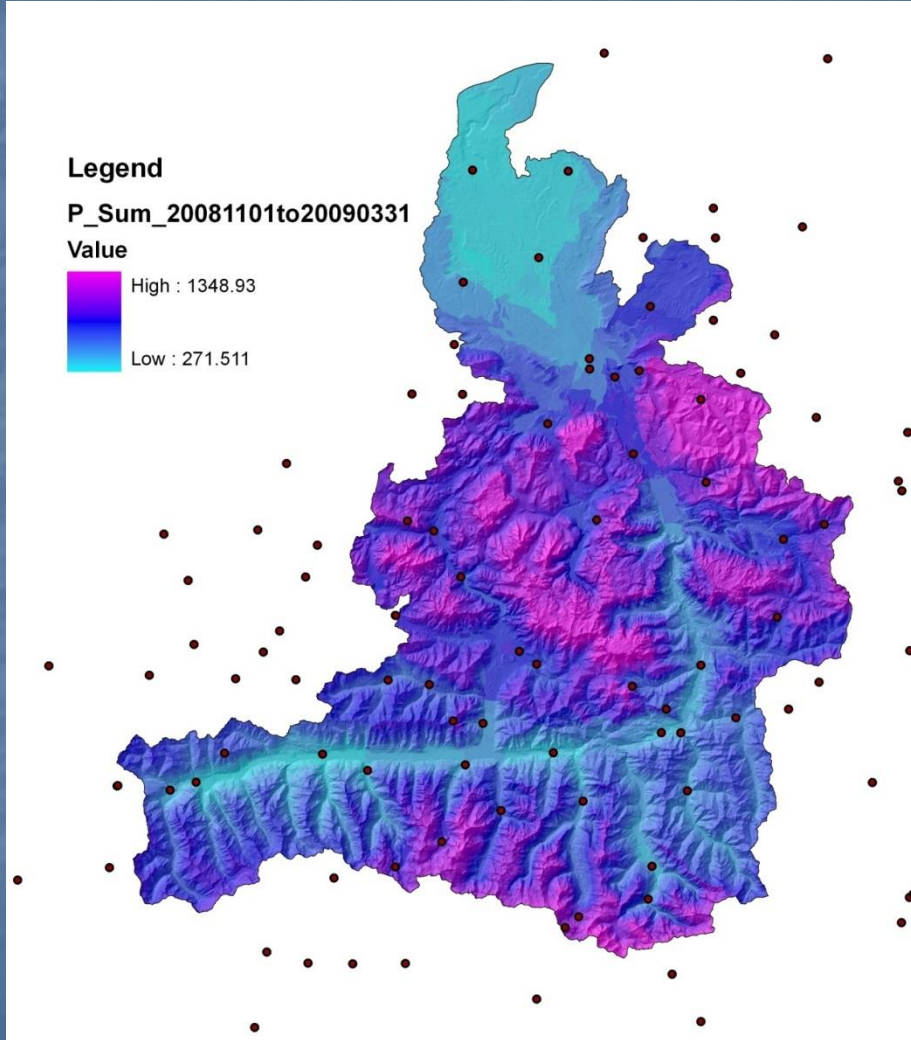
Aus Nachtnebel et al. (2009) Endbericht HYDRIS II Hydrologie

Koboltschnig & Schöner (2009), Holzmann et al. (2009) errechnen mit PREVAH-Modell einen Gletscherbeitrag mit 58% für August. Das Tagesmaximum des Schmelzbeitrages betrug nahezu 70% für den Pegel Mittersill

Niederschlagsdaten



Niederschlagsdaten



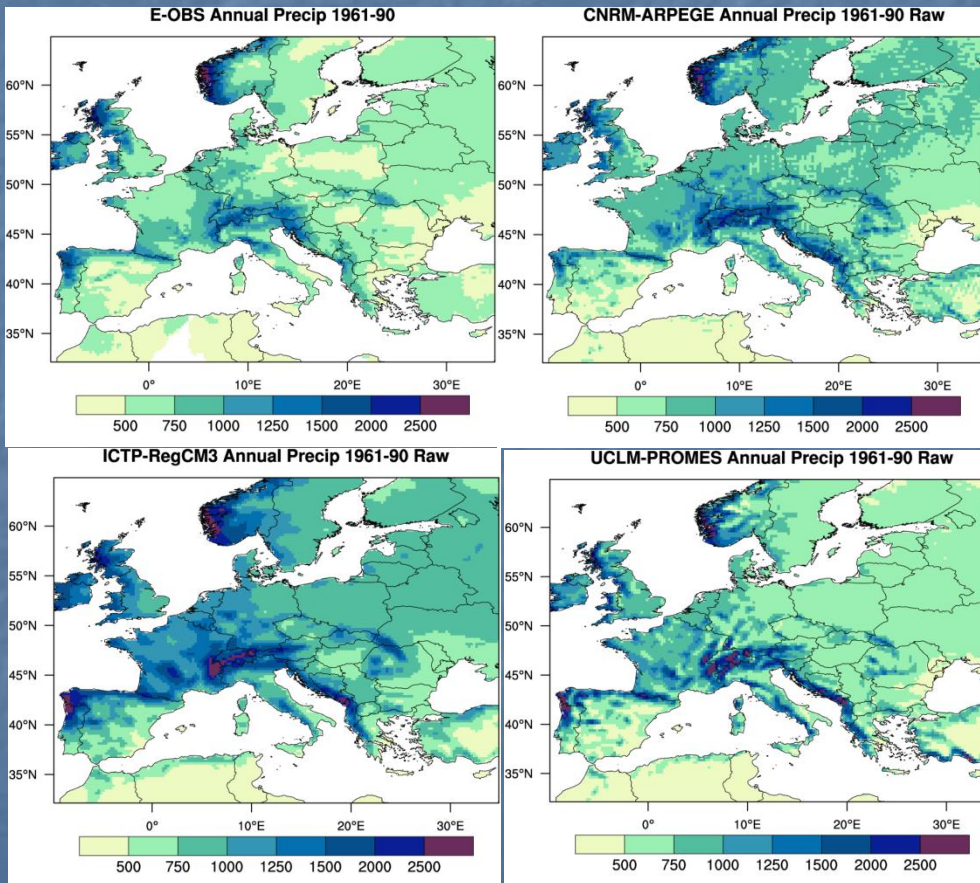
Prognosemodell

- Rechnet 50 +1 Läufe alle 15' für 8000 HRU's
- Gletschereinfluss ist deutlich erkennbar
- Langfristige Veränderungen des Gletschervolumens werden nicht berücksichtigt (eine neue Anfangsbedingung ist dann zu setzen)
- Wenige Messstellen im hochalpinen Bereich
- Messfehler treten trotz mehrfacher Kontrollen auf und werden erst lange im Nachhinein erkannt.
- Updating ist von zentraler Bedeutung

Simulation von Klimaeinflüssen

- Welches regionale Klimamodell ?
 - Viele RCMs
- Welche Daten sollen verwendet werden ?
 - N und T
 - Korrigiert oder unkorrigiert ?
- 2 Zugänge
 - Unkorrigiert und dann Mittelbildung über die RCMs
 - Korrigiert und dann die Spannweite analysieren

Input: Verwendung von T und P aus RCMs

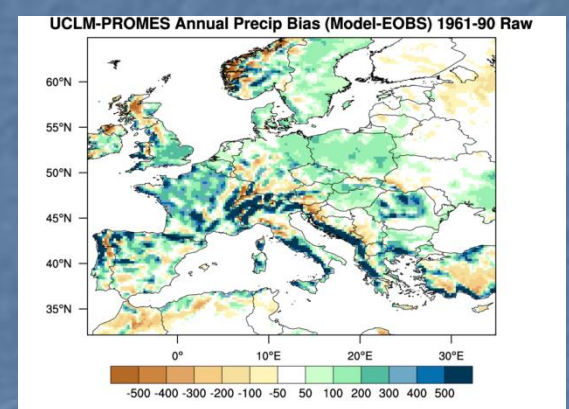
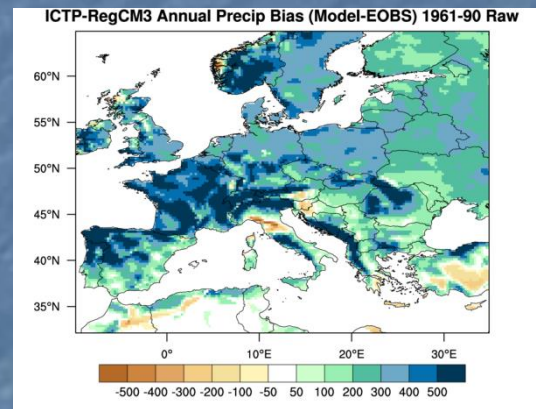
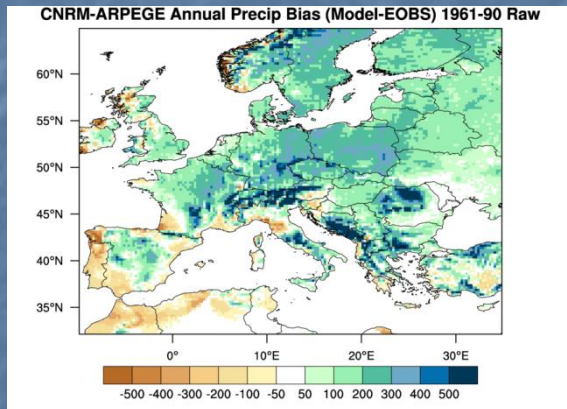


van der Linden P. & J.F.B. Mitchell (eds., 2009)
Ensembles project

Comparison of observations of mean annual precipitation (upper left) with raw GCM simulations for the control period 1961-1990.

Aus Nachtnebel et al., (2012)

Differenz zu Beobachtungsdaten



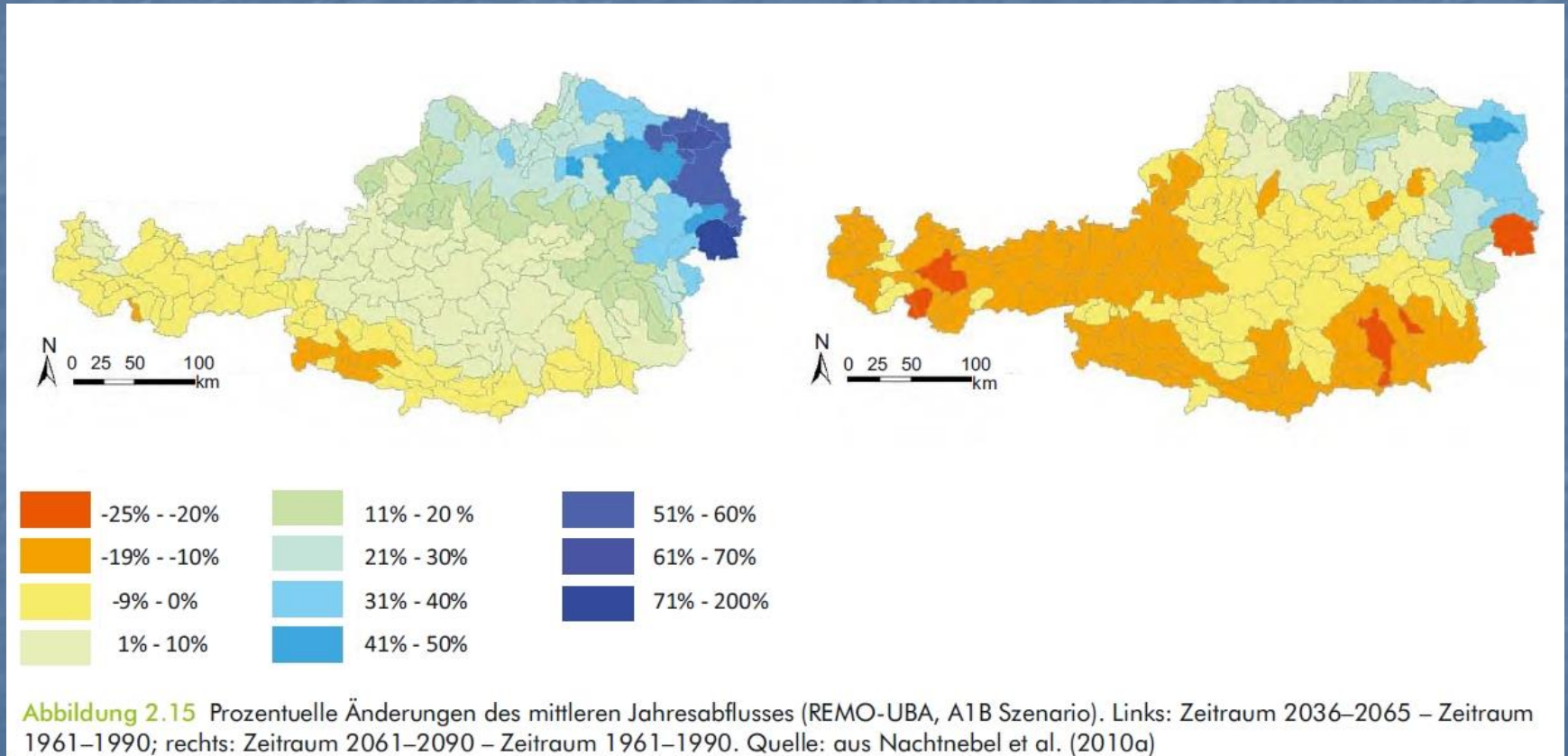
Absolute bias in mean annual precipitation of GCM precipitation for the control period 1961-1990

Bearbeitung der Daten

- Der Unterschied (statistische Parameter) zwischen Simulationen historischer Zeitabschnitte und Messdaten ist sehr groß
- Daher ist Korrektur sowohl für T und P nötig (Quantile Mapping, Deque, 2007) und bessere räumliche Auflösung (Formayer et al., 2011)
- REMO-UBA-Modell (A2, A1B, B1), sowie die A1B-Simulationen des ARPEGE-ALADIN und Reg-CM3 aus dem ENSEMBLES-Projekt
- Die Unsicherheit im saisonalen und langfristigen Abflussverhalten wurden in Nachtnebel et al., 2013; Stanzel und Nachtnebel (2010), Klein et al. (2011) und in Kling et al. (2012, 2015) analysiert.

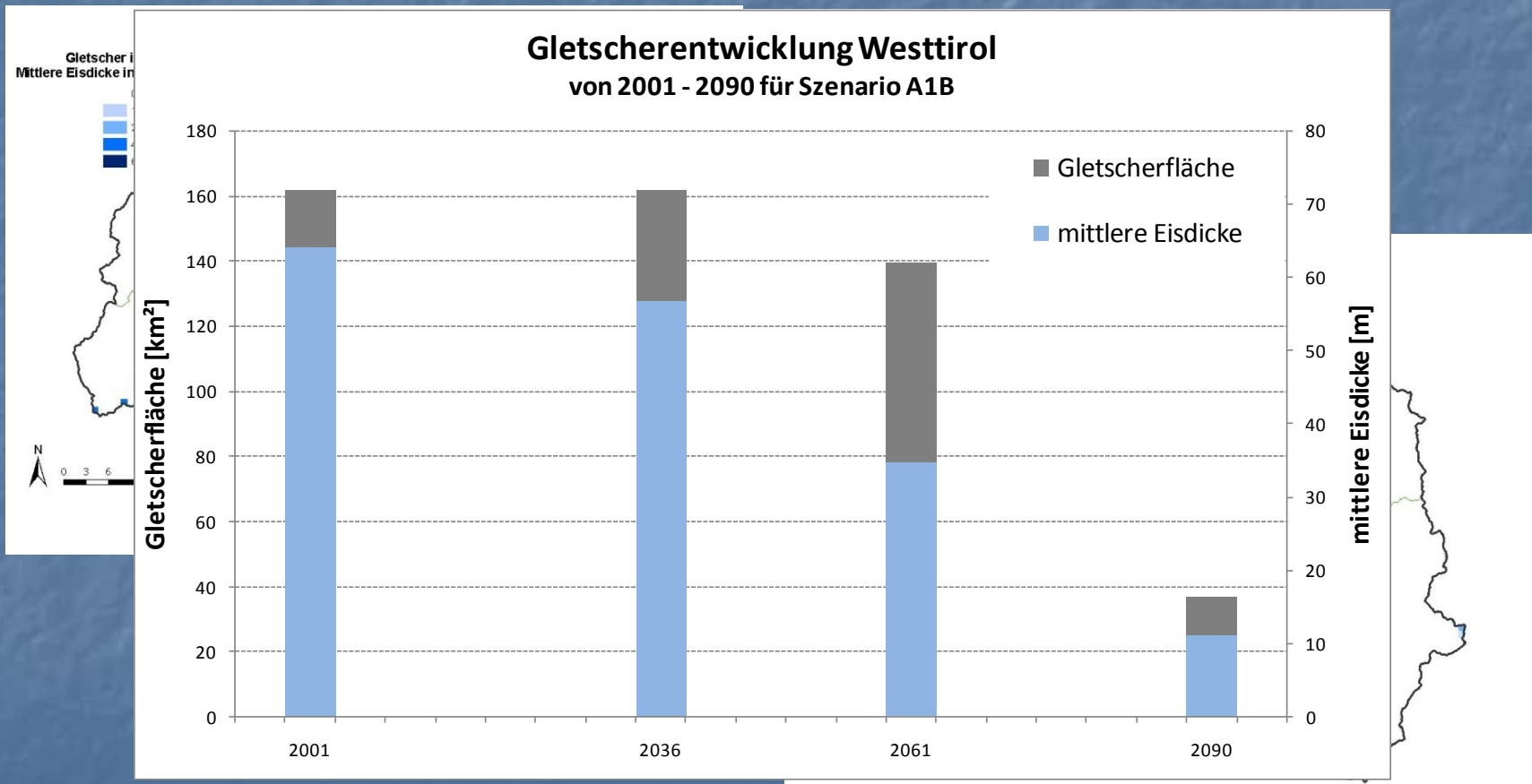
Ergebnisse

Veränderungen im langjährigen Abflussmittel



Ergebnisse

Veränderungen in den Gletscherflächen



Ergebnisse

Gletscherbeitrag zum Abfluss

- Zwischen 2040 und 2060 erreichen die Schmelzbeiträge ihr jährliches Maximum
- Ab dann Rückgang bis Ende 21 Jhdts.
- APCC (2014):
 - der Hintereisferner verlor vom Herbst 1964 bis zum 2007 21 m Wasseräquivalent, ca. 23 m Eisdicke
 - Der Effekt der Gletscher auf den Wasserhaushalt Österreichs ist vernachlässigbar.
 - Der Beitrag der Gletscher zum Abflussgeschehen ist aber von regionaler Bedeutung.

Gletscherveränderungen

- Das Abschmelzen der Gletscher setzt sich fort (sehr wahrscheinlich),
- ein substantieller Teil des zukünftigen Massenverlustes ist als Anpassung an die bereits vergangene Klima-änderung zu verstehen.
- Das Maximum im Gletscherbeitrag ist bereits erreicht (Marzeion et al., 2012)
- Im besten Fall stabilisieren sich die österreichischen Gletscher gegen Ende des 21. Jahrhunderts bei etwa 20 % des momentanen Eisvolumens

Zusammenfassung

- Darstellung der Gletscherschmelze mit einfachem hydrologischen Modell
- Kopplung mit Wasserbilanzmodell, Prognosemodell (kurz- und langfristig)
- Gletscherbeiträge zum Abfluss sind in den alpinen Gebieten wesentlich
- Einfluss für die Wasserbilanz Österreichs ist gering
- Große Unsicherheiten in den Inputdaten infolge geringer Messnetzdichte und der Meßproblematik

Danke für Ihre Aufmerksamkeit