

Ermittlung flächenhafter Grundwasserspiegelnwerte mittels extremwertstatistischer und geostatistischer Methoden am Beispiel des Marchfeldes

Andreas Dalla-Via

JOANNEUM RESEARCH
Institut für WasserRessourcenManagement

andreas.dalla-via@joanneum.at

+43 / 0316 / 876 - 1375

.....
INNOVATION aus TRADITION

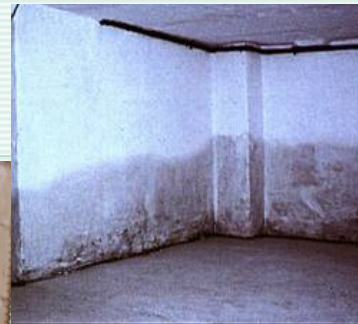
Überblick

1. Problemstellung
2. Datenanalyse
3. Extremwertstatistik
4. Geostatistik
5. Ergebnisse

.....
INNOVATION aus TRADITION

Problemstellung

- Nasse Keller durch Grundwasseranstieg
- Schäden an der Bausubstanz
- Schimmelbildung, Gesundheitsprobleme...
- Frage höchsten Grundwasserstand
- Andere Fragestellungen:
Deponien, Trocken-
und Nassbaggerungen...
- Anfragen an Behörden
und Fachabteilungen



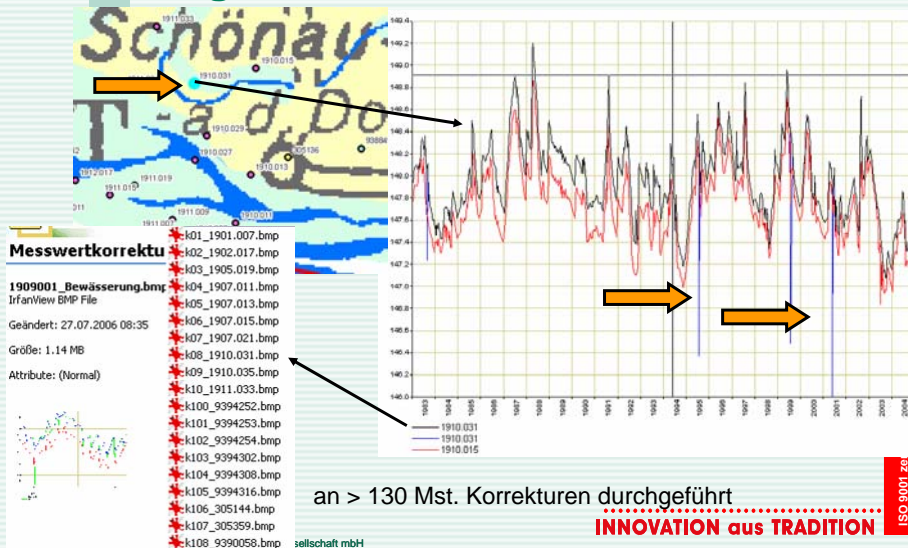
- Probleme:**
- Keine Messstellen in der Nähe
 - Welche Extremwerte darf ich verwenden?
 - Veränderte Randbedingungen?
 - Daten anderer Messnetze schwer verfügbar
 - Messfehler, Vermessungsfehler?
 - => schwierig Auskunft zu geben!

TRITION aus TRADITION

Datenanalyse – Grundwasser (Marchfeld – NÖ)



Bsp.: Datenfehlerkorrektur Vergleich mit Nachbarmessstellen



Plausibilitätskontrolle durch integrative Analyse

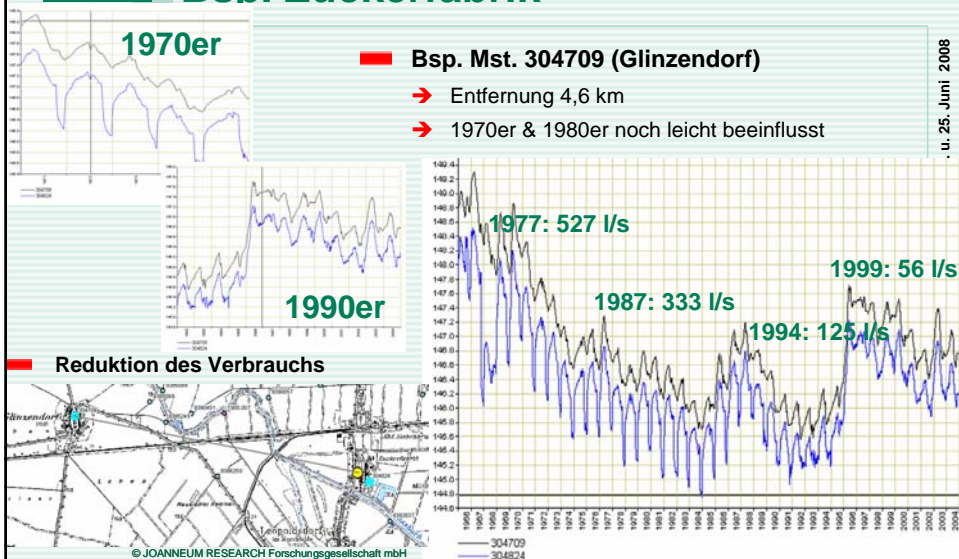
- Ganglinienvergleiche mit benachbarten Messstellen
- Plausibilitätskontrolle (Lage, Höhe...)
- Dokumentation in GW-Stammdatenbank
- Verwaltung in Zeitreihendatenbank mit GIS-Schnittstelle*

*G. ROCK – JOANNEUM RESEARCH

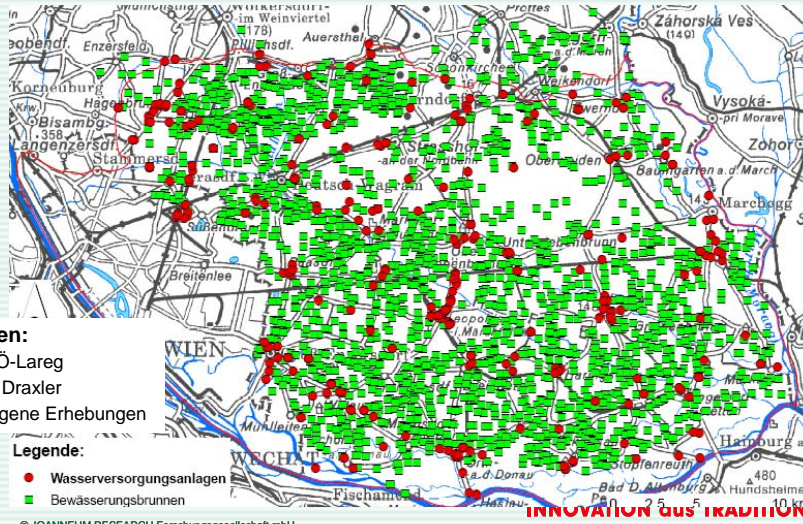
Veränderte Randbedingungen - Anthropogene Einflüsse

- Für welche Randbedingungen sollen berechnete Extremwerte gelten?
- Analyse (Beispiel Marchfeld):
 - Langfristige Entwicklung der Bewässerungsentnahmen
 - Großentnahmen (Bsp.: Zuckerfabrik)
 - Fließgewässer (KW Freudenau)
 - Donau Südrand (Eintiefungsprozess)

Wasserentnahmen - Ind. & Gewerbe Bsp. Zuckerfabrik



Bewässerung u. TW-Versorgung (Marchfeld)

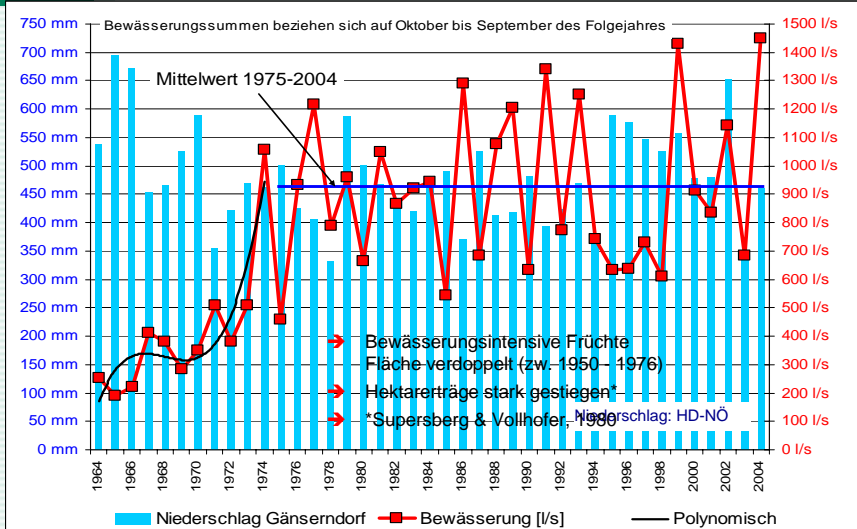


- Quellen:**
- NÖ-Lareg
 - J. Draxler
 - Eigene Erhebungen

- Legende:**
- Wasserversorgungsanlagen
 - Bewässerungsbrunnen

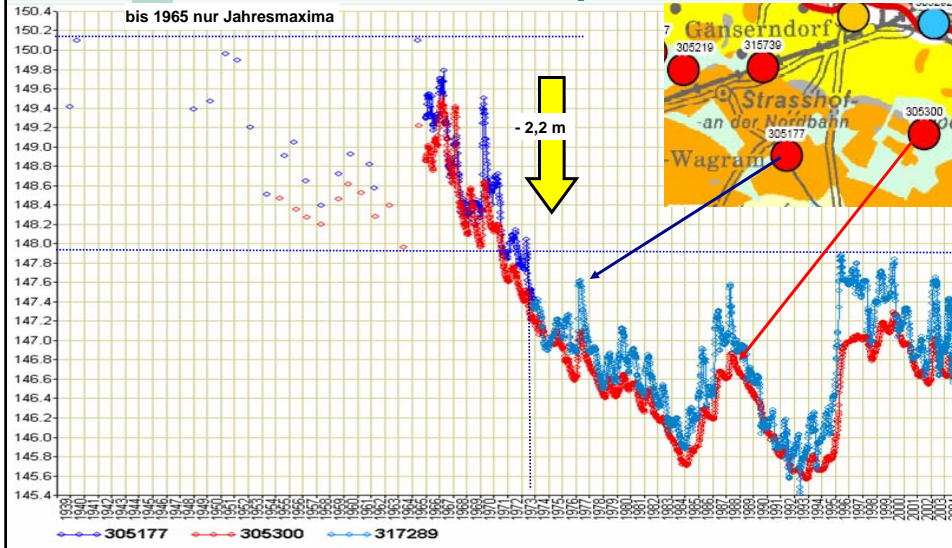
© JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

Landwirt. Entnahmen 1963-2004* (Marchfeld)

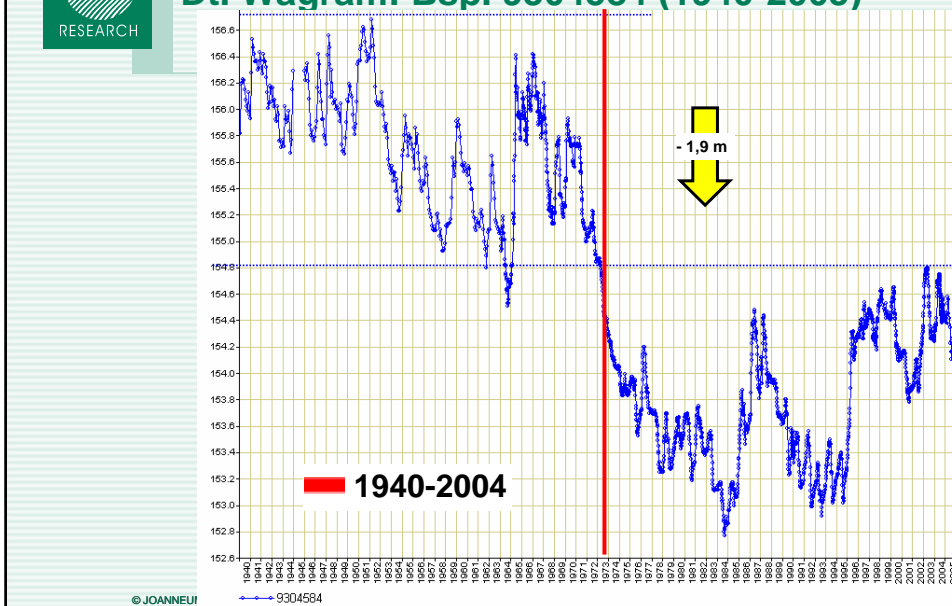


Quelle: Behr et al., 1984 bzw. Err. bzw. Betr.-Ges. Marchfeldkanal

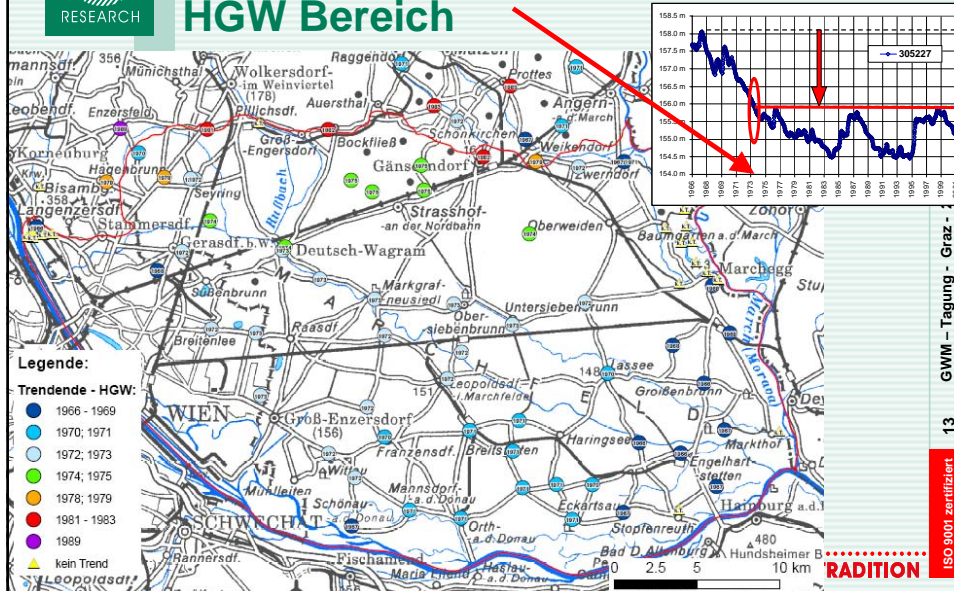
Auswirkungen auf Grundwasser: Marchfeld-Nord: Bsp. 1939-2004



Dt. Wagram: Bsp. 9304584 (1940-2005)



Jahr „Rückgangsende“ HGW Bereich



Veränderte Randbedingungen - Fließgewässereinfluss

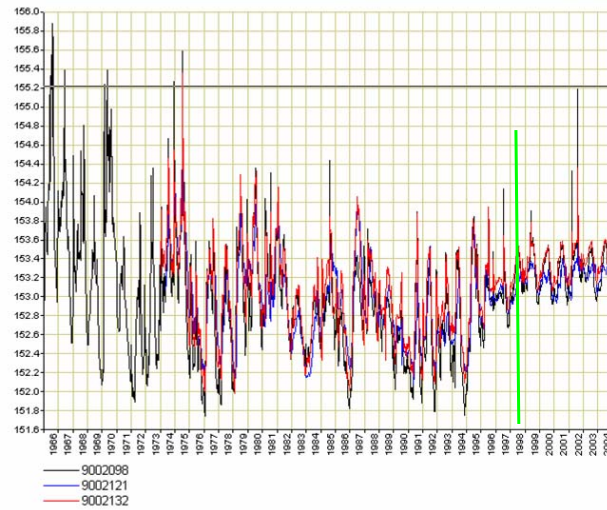
■ Auswirkungen auf das Grundwasser:

- KW Freudenau
- Donaeintiefung

Donau Westrand: KW Freudenau -Oberstrom

■ Vollstau 1998

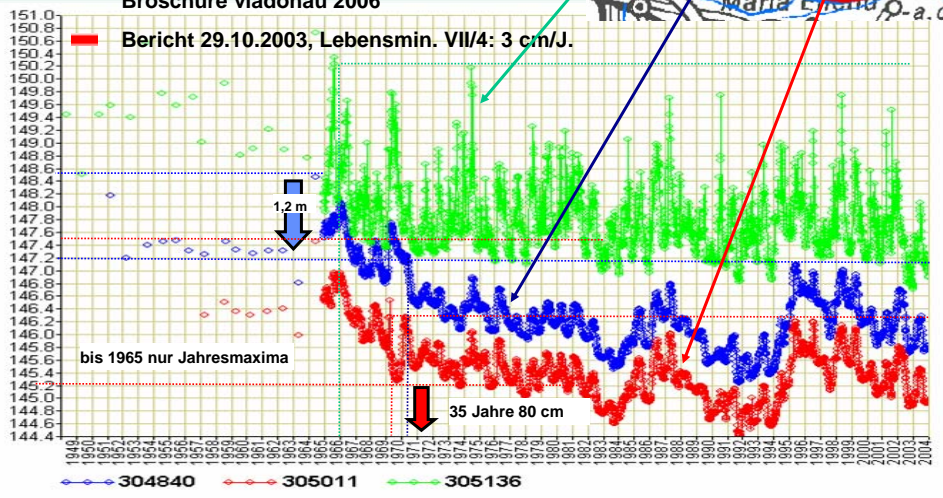
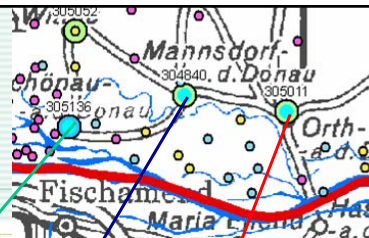
■ neue Dynamik



Donau Schönau - Stopfenreuth

■ Eintiefung: 1 m in 50 Jahren*
Broschüre viadonau 2006

■ Bericht 29.10.2003, Lebensmin. VII/4: 3 cm/J.



Zwischenstand

- **Messnetzabgleich**
- **Vermessungsfehler und Messfehler bereinigt**
- **Der für die gegenwärtigen Verhältnisse repräsentative Zeitraum wurde für jede einzelne Messstelle individuell definiert.**

Extremwertstatistische Auswertung

- **Eingangsgröße für extremstatistische Verteilungsfunktion =>**
- Jahrextremwerte:**
 - ➔ Für gegenwärtigen Verhältnisse repräsentativ...
 - ➔ Berücksichtigung von Datenlücken (lange Messintervalle)

Station	Jahr	HW	NW	HW_DAT	NW_DAT	STATT1	ENTF1	HW_ZP1	NW_ZP1	STATT2	ENTF2	HW_ZP2	NW_ZP2	STATT3	ENTF3	HW_ZP3	NW_ZP3
1950.004	1979			10.05.1979 07.00	17.11.1979 07.00	304489	545.3	17.11.1979 07.00	10.05.1979 07.00	304451	192.0	10.05.1979 07.00	17.11.1979 07.00	304477	1200.776907	17.11.1979 07.00	10.05.1979 07.00
1950.004	1980	168.12		10.05.1980 06.00	21.11.1980 07.00	304489	545.3	17.11.1980 07.01	10.05.1980 07.01	304451	192.0	10.05.1980 07.01	17.11.1980 07.01	304477	1200.776907	17.11.1980 07.01	10.05.1980 07.01
1950.004	1981	168.43	167.82	17.04.1981 06.00	18.07.1981 06.00	304489	545.3	17.04.1981 07.01	18.07.1981 07.01	304451	192.0	17.04.1981 07.01	18.07.1981 07.01	304477	1200.776907	17.04.1981 07.01	18.07.1981 07.01
1950.004	1982	168.82	167.42	05.02.1982 07.00	31.12.1982 07.00	304489	545.3	05.02.1982 07.01	31.12.1982 07.01	304451	192.0	05.02.1982 07.01	31.12.1982 07.01	304477	1200.776907	05.02.1982 07.01	31.12.1982 07.01
1950.004	1983	167.57	167.05	02.07.1983 06.00	30.12.1983 07.00	304489	545.3	25.06.1983 07.01	23.12.1983 07.01	304451	192.0	20.06.1983 07.01	18.12.1983 07.01	304477	1200.776907	27.06.1983 07.01	03.01.1983 07.01
1950.004	1984	167.67	167.01	14.12.1984 07.00	03.02.1984 07.00	304489	545.3	30.11.1984 07.01	27.01.1984 07.01	304451	192.0	28.11.1984 07.01	16.01.1984 07.01	304477	1200.776907	18.11.1984 07.01	30.01.1984 07.01
1950.004	1985	168.29	167.58	16.12.1985 07.00	25.01.1985 07.00	304489	545.3	27.12.1985 07.01	18.01.1985 07.01	304451	192.0	16.12.1985 07.01	28.01.1985 07.01	304477	1200.776907	16.12.1985 07.01	25.02.1985 07.01
1950.004	1986	168.35	167.35	21.03.1986 07.00	24.10.1986 07.00	304489	545.3	14.03.1986 07.01	10.05.1986 07.01	304451	192.0	14.07.1986 07.01	12.05.1986 07.01	304477	1200.776907	14.07.1986 07.01	05.05.1986 07.01
1950.004	1987	168.57	168.01	14.07.1987 06.00	30.01.1987 07.00	304489	545.3	27.06.1987 07.01	30.01.1987 07.01	304451	192.0	22.06.1987 07.01	02.02.1987 07.01	304477	1200.776907	22.06.1987 07.01	03.02.1987 07.01
1950.004	1988	168.77	167.95	26.03.1988 07.00	20.08.1988 06.00	304489	545.3	26.03.1988 07.01	20.08.1988 07.01	304451	192.0	23.03.1988 07.01	25.07.1988 07.01	304477	1200.776907	23.03.1988 07.01	01.02.1988 07.01
1950.004	1989	168.36	167.31	18.05.1989 06.00	22.04.1989 06.00	304489	545.3	18.05.1989 07.01	18.06.1989 07.01	304451	192.0	11.03.1989 07.01	17.04.1989 07.01	304477	1200.776907	11.03.1989 07.01	27.03.1989 07.01
1950.004	1990	168.25	167.84	29.04.1990 06.00	31.08.1990 06.00	304489	545.3	29.04.1990 07.01	31.08.1990 07.01	304451	192.0	22.03.1990 07.01	18.11.1990 07.01	304477	1200.776907	13.06.1990 07.01	18.02.1990 07.01
1950.004	1991	168.66	167.83	25.05.1991 06.00	05.10.1991 07.00	304489	545.3	10.06.1991 07.01	10.11.1991 07.01	304451	192.0	05.08.1991 07.01	04.11.1991 07.01	304477	1200.776907	05.08.1991 07.01	18.03.1991 07.01
1950.004	1992	168.24	167.88	10.04.1992 06.00	03.10.1992 07.00	304489	545.3	25.04.1992 07.01	26.09.1992 07.01	304451	192.0	22.06.1992 07.01	21.09.1992 07.01	304477	1200.776907	15.06.1992 07.01	28.09.1992 07.01
1950.004	1993	168.19	167.89	25.04.1993 06.00	22.08.1993 06.00	304489	545.3	20.03.1993 07.01	22.08.1993 07.01	304451	192.0	22.03.1993 07.01	23.08.1993 07.01	304477	1200.776907	22.03.1993 07.01	12.07.1993 07.01
1950.004	1994	168.17	167.83	12.05.1994 06.00	28.09.1994 06.00	304489	545.3	24.11.1994 07.01	27.10.1994 07.01	304451	192.0	29.06.1994 07.01	28.02.1994 07.01	304477	1200.776907	29.06.1994 07.01	21.02.1994 07.01
1950.004	1995	168.38	167.74	28.12.1995 07.00	25.08.1995 06.00	304489	545.3	28.12.1995 07.01	10.08.1995 07.01	304451	192.0	04.03.1995 07.01	24.04.1995 07.01	304477	1200.776907	18.03.1995 07.01	06.02.1995 07.01
1950.004	1996	168.95	168.09	10.04.1996 06.00	15.02.1996 07.00	304489	545.3	10.04.1996 07.01	15.02.1996 07.01	304451	192.0	20.05.1996 07.01	12.02.1996 07.01	304477	1200.776907	08.04.1996 07.01	12.02.1996 07.01
1950.004	1997	168.62	168.03	21.07.1997 07.01	30.06.1997 07.01	304489	545.3	14.07.1997 07.01	30.06.1997 07.01	304451	192.0	21.07.1997 07.01	02.06.1997 07.01	304477	1200.776907	21.07.1997 07.01	02.06.1997 07.01
1950.004	1998	168.20	167.83	23.03.1998 07.01	31.08.1998 07.01	304489	545.3	23.03.1998 07.01	08.06.1998 07.01	304451	192.0	19.01.1998 07.01	08.06.1998 07.01	304477	1200.776907	05.01.1998 07.01	29.06.1998 07.01
1950.004	1999	168.31	167.74	22.02.1999 07.01	02.02.1999 07.01	304489	545.3	24.05.1999 07.01	02.02.1999 07.01	304451	192.0	24.05.1999 07.01	18.01.1999 07.01	304477	1200.776907	15.11.1999 07.01	19.07.1999 07.01
1950.004	2000	168.32	167.80	10.04.2000 06.01	03.07.2000 06.01	304489	545.3			304451	192.0	21.06.2000 07.01	21.06.2000 07.01	304477	1200.776907	13.03.2000 07.01	14.08.2000 07.01
1950.004	2001	168.03	167.76	02.01.2001 07.01	12.06.2001 06.01	304489	545.3			304451	192.0	02.01.2001 07.01	16.02.2001 07.01	304477	1200.776907	02.01.2001 07.01	16.02.2001 07.01
1950.004	2002	168.56	167.90	09.09.2002 06.01	07.10.2002 06.01	304489	545.3			304451	192.0	07.01.2002 07.01	16.02.2002 07.01	304477	1200.776907		
1950.004	2003	168.73	167.80	10.02.2003 07.01	14.07.2003 06.01	304489	545.3			304451	192.0			304477	1200.776907		
1950.004	2004	168.59	167.99	05.04.2004 12.29	06.09.2004 12.50	304489	545.3			304451	192.0			304477	1200.776907		

Tritt eine Verschiebung des HW/NW-Wertes der untersuchten Messstelle von mehr als 30 Tage im Vergleich zu den Nachbarn auf so werden die Werte gelb markiert.

Hat der Nachbar eine Lücke zum Zeitpunkt des HW Wertes bei der zu untersuchenden Station so wird der Wert hellrot markiert (14 Tage)

Hat die zu untersuchende Station eine Lücke zum Zeitpunkt des HW Wertes beim Nachbar so wird der Wert dunkelrot markiert (14 Tage)


Hat der Nachbar eine Lücke zum Zeitpunkt des NW Wertes bei der zu untersuchenden Station so wird der Wert hellgrün markiert (14 Tage)

Hat die zu untersuchende Station eine Lücke zum Zeitpunkt des NW Wertes beim Nachbar so wird der Wert dunkelgrün markiert (14 Tage)

Station	Station
Jahr	Auswertejahr
Stat1	nächstgelegene Station
Entf1	Entfernung nächstgelegene Station
HW_ZP1	Zeitpunkt von HW bei nächstgelegener Station
NW_ZP1	Zeitpunkt von NW bei nächstgelegener Station
Stat2	zweitnächstgelegene Station
Entf2	Entfernung zweitnächstgelegene Station
HW_ZP2	Zeitpunkt von HW bei zweitnächstgelegener Station
NW_ZP2	Zeitpunkt von NW bei zweitnächstgelegener Station
Stat3	drittnächstgelegene Station
Entf3	Entfernung drittnächstgelegene Station
HW_ZP3	Zeitpunkt von HW bei drittnächstgelegener Station
NW_ZP3	Zeitpunkt von NW bei drittnächstgelegener Station

GWM – Tagung - C

ISO 9001 zertifiziert



Institut für
WasserRessourcenManagement
Hydrogeologie und Geophysik

Extremwertstatistische Verteilungsfunktionen

Theoretische Verteilungsfunktion*: $P(M_n \leq y) \approx G(y) = G\left(\frac{y - \lambda}{\delta}\right)$

$$G_{1,\alpha}(y) = \begin{cases} 0 & y < 0 \\ e^{-y^\alpha} & y \geq 0 \end{cases} \quad \alpha > 0$$

(Frechet-Verteilung)

$$G_{2,\alpha}(y) = \begin{cases} 1 & y > 0 \\ e^{-(y/\alpha)^\alpha} & y \leq 0 \end{cases} \quad \alpha > 0$$

(Weibull-Verteilung)

$$G_3(y) = e^{-e^{-y}} \quad \forall y \in \mathbb{R}$$

(Gumbel-Verteilung)

- *FANK & FUCHS, 1999 (Murtal)
- VOGT et al., 2006 (Raum - München)
- FANK, J. & K. FUCHS (1999): Anwendung der Extremwertstatistik in der Hydrologie von Porengrundwasservorkommen. - Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, 78, 31-45, Wien.
- VOGT N., H. LESEMANN & R. STIEGLER (2006): Festlegung von Bemessungsgrundwasserständen auf Grundlage statistischer Analysen. Zentrum Geotechnik der TU München; Wasserwirtschaft 10/2006.

© JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

INNOVATION aus TRADITION

ISO 9001 zertifiziert

GWM – Tagung - Graz - 24. u. 25. Juni 2008

20

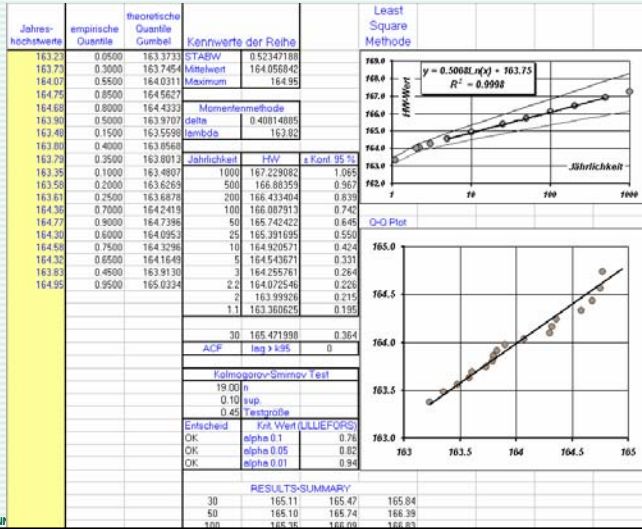
Wahl der Verteilungsfunktion

- Gumbel-Verteilung ergibt die plausibelsten Ergebnisse
- Güte der Anpassung der Verteilungsfunktion an die Stichproben wird für jede Messstelle überprüft:
- => Softwaremodul „Gumbelverteilung“

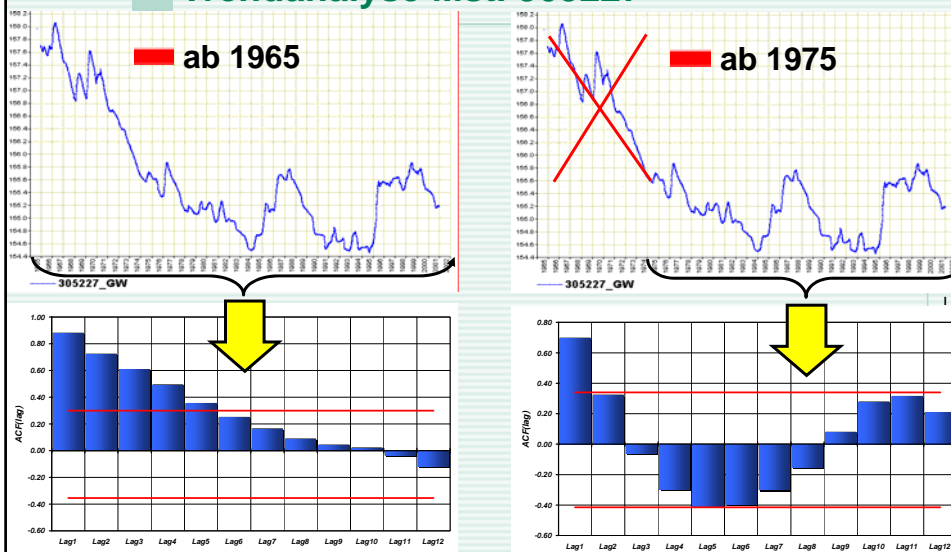
Softwaremodul Gumbelverteilung (FANK & FUCHS, 1999)

- Exploratorische Beurteilung der „Goodness of fit“ mittels des Kolmogorov-Smirnov Test (Überprüfung ob die unbekannte Verteilungsfunktion mit der hypothetischen Verteilungsfunktion (hier Gumbel-Verteilung) übereinstimmt.
- Verwendung der kritischen Werte nach Lilliefors (1967) zur Beurteilung des Hypothesentests verwendet.
- Die Prüfung auf Unabhängigkeit der Jahresextremwerte erfolgte mittels Autokorrelationsdiagrammen (ACF)
Bei einem Autokorrelationskoeffizienten ≤ 3 wurde die Messstelle verwendet.
- Grundwasserganglinien an Messstellen, welche nach Lilliefors und oder ACF zu verwerfen wären, werden nochmals analysiert:

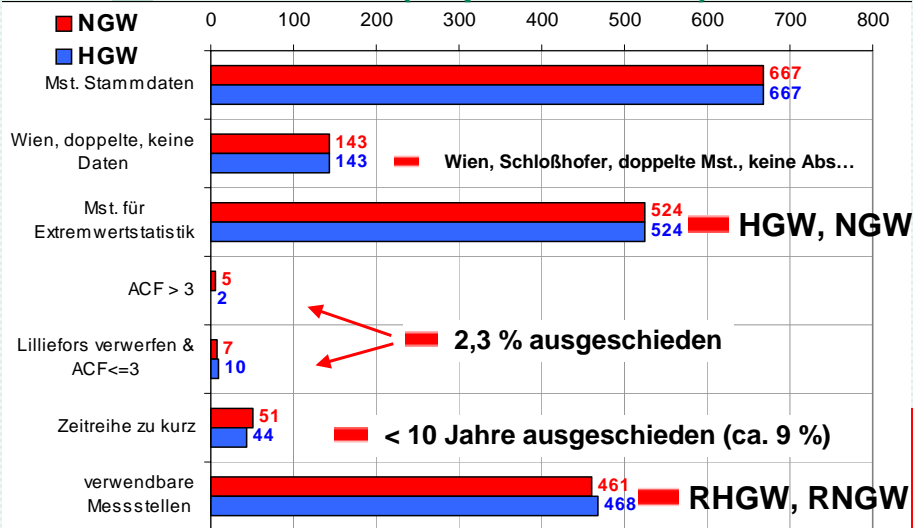
Gumbelmodell- auswertemodul (FANK & FUCHS, 1999)



Extremwertstatistik: Trendanalyse Mst. 305227



Gesamtübersicht: „Verwendbare“ Messstellen (Bsp. Marchfeld)



Geostatistik

- Ziel: Punktuelle Grundwasserspiegel-extremwerte in die Fläche übertragen
- Flurabstandsdarstellungen für das Marchfeld
- Methodenspektrum der Geostatistik (MATHERON, 1965 bzw. JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978).
- Geostatistical Analyst
 - Variographie (Strukturanalyse)
 - Modellanpassung
 - Modellvergleiche
 - Geostatistische Parametrisierung auf Karten

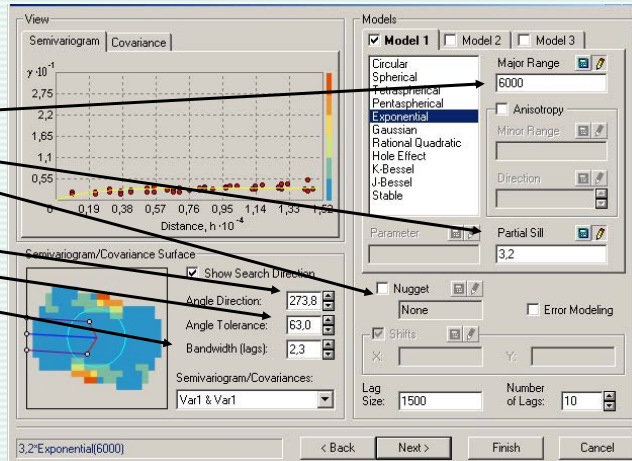
Variographie - Modellanpassung

Modellanpassung

- Range
- Sill
- Nugget

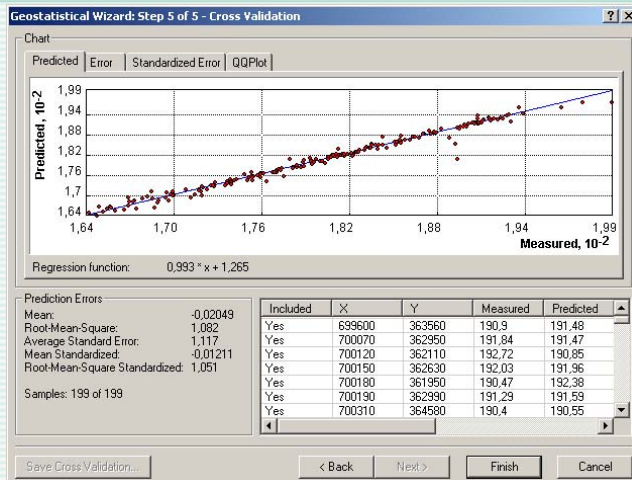
Suchrichtung

- Richtung
- Toleranz
- Bandweite



INNOVATION aus TRADITION

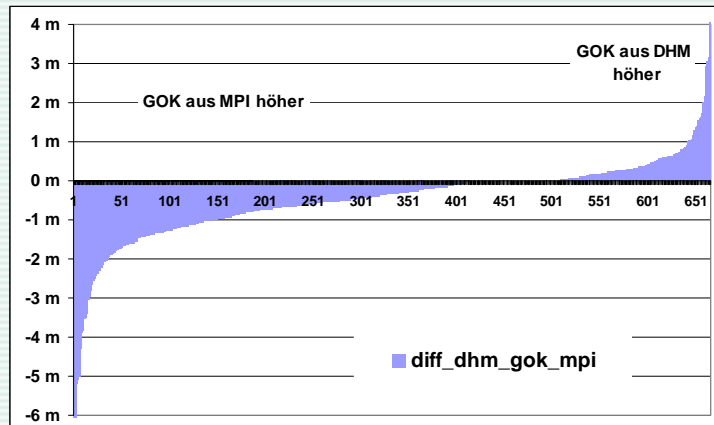
Geostatistische Interpolation Cross Validation



INNOVATION aus TRADITION

Qualität des Geländemodells Vergleich mit GOK aus Vermessung

■ **Mittelwert des Betrages
der Abweichungen: 85 cm**



Vor- und Nachteile: Flurabstand aus DHM ⇔ MPI

■ **Flurabstand aus DHM (Vorteile):**

- ➔ Gelände Höhenänderungen zwischen Messstellen (Vertiefungen von Fließgewässern, Erhebungen....) werden berücksichtigt.
- ➔ Hohe Signifikanz der geostatistischen Interpolation der Grundwasserspiegelhöhen

■ **Flurabstand aus DHM (Nachteile):**

- ➔ Ungenauigkeit des DHM (vgl. Abweichungen zur terrestrisch vermessenen Seehöhen an den Messstellen)

■ **Flurabstand aus MPI (Vorteile):**

- ➔ Flurabstände an den Messstellen beziehen sich auf terrestrisch vermessene Geländeoberkanten und sind somit im unmittelbaren Nahbereich der Messstellen exakt.

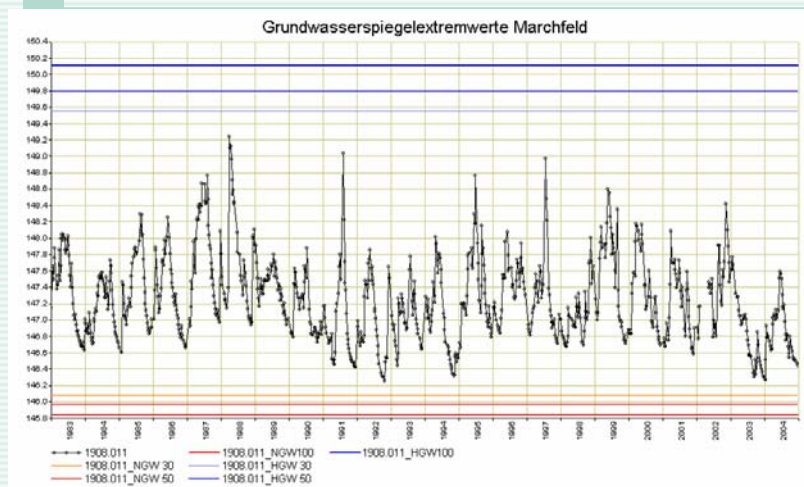
■ **Flurabstand aus MPI (Nachteile):**

- ➔ Flurabstandsänderungen auf Grund von markanten Geländeänderungen zwischen den Messstellen werden nicht berücksichtigt (Rinnen, Strassendämme...)
- ➔ Geringere Signifikanz bei der geostatistischen Interpolation der Flurabstände als bei der Regionalisierung absoluter Grundwasserspiegelhöhen.

Ergebnis Dokumentation:

- **Wichtig: Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse:**
 - ➔ Messdaten: Originale u. korrigierte Messdaten
 - ➔ Welche Messstellen und Zeiträume wurden warum verwendet
 - ➔ Gumbelverteilungsmodelle
 - ➔ Gangliniendokumentation

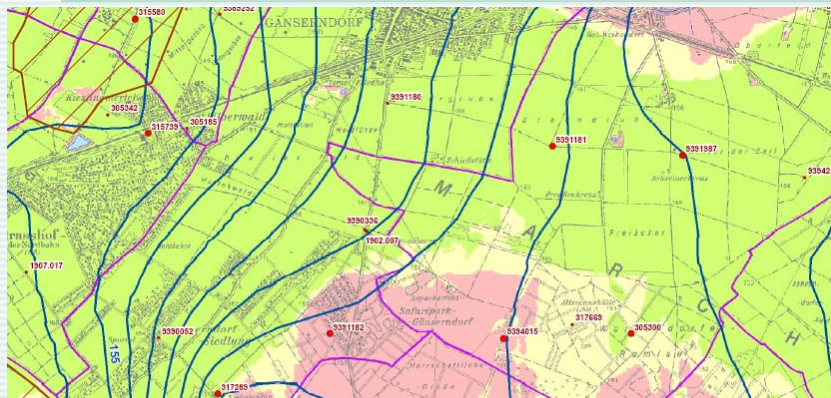
Gangliniendokumentation



Ergebnisse (Marchfeld)

- Karte 1: Flurabstandskarte bei HHGW (DHM)
- Karte 2: Flurabstandskarte bei HHGW (MPI)
- Karte 3: Grundwasserschichtenplan bei NNGW
- Karte 4: Flurabstandskarte HGW30 (DHM)
- Karte 5: Flurabstandskarte HGW30 (MPI)
- Karte 6: Flurabstandskarte HGW50 (DHM)
- Karte 7: Flurabstandskarte HGW50 (MPI)
- Karte 8: Flurabstandskarte HGW100 (DHM)
- Karte 9: Flurabstandskarte HGW100 (DHM)
- Karte 10: NGW30
- Karte 11: NGW50
- Karte 12: NGW100
- Karte 13: HGW 1965/66/67
- Karte 14: HGW 1996/1997
- Karte 15: HGW 2002/2003

Ergebnisse Marchfeld Kartenausschnitt HGW100 (DHM)



Kartenlegende:

- Messstellen (Interpolationsgrundlage)
- sonstige Messstellen
- Höhenlinien des Grundwasserstandes [m ü.A.]
- Projektgebiet
- Gemeindegrenzen
- Unsicherheitsbereiche**
- Grundwasserflurabstand [m]:**
- ≤ 2 m
- > 2 bis ≤ 4 m
- > 4 m

Ergebnisse: Darstellung und Zusatzinformationen auf Karten

- GW-Isolinien [m. ü. A.]
- Flurabstände (< 2 m; 2 - 4 m u. > 4 m)
- Punktinformationen in Tabelle auf Karte
 - Messstellenbezeichnung (HZB-Nr. bzw. DOKW-Nr.)
 - Geländeoberkante terr. Vermessung (m. ü. A.)
 - Datumsangabe zu Grundwasserspiegelextremwert bzw. Anzahl der zugrunde liegenden Jahre
 - Gemessener bzw. berechneter Grundwasserspiegelextremwert
 - Messzeitraum: bei HGW und NGW Karten

Zusammenfassung - Bewertung der Ergebnisse

- Trotz sorgfältiger Datenanalyse und –auswertung:
- Bei Detailplanungen müssen stets die lokalen Gegebenheiten berücksichtigt werden (Eingriffe an Oberflächengew., Drainagen...).
- Beachtung der Abweichungen zwischen Geländehöhen aus digitalem Geländemodell und terrestrischer Vermessung.
- Qualität der geostatistischen Interpolationsergebnisse ist stark von der Messstellenverteilung und eventuellen Gefälleänderungen abhängig.
- Die gewonnenen Ergebnisse sind auf regionaler Ebene als **zuverlässig** und **nachvollziehbar** zu bewerten.
- Trotz gewisser Unsicherheiten besteht zur Zeit **keine bessere Alternative zu der vorgestellten Vorgangsweise**.



Institut für
WasserRessourcenManagement
Hydrogeologie und Geophysik

Danke für die Aufmerksamkeit !

Andreas Dalla-Via

JOANNEUM RESEARCH
Institut für WasserRessourcenManagement

© JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

.....
INNOVATION aus TRADITION

GWM – Tagung - Graz - 24. u. 25. Juni 2008

37

ISO 9001 zertifiziert