

Institut für  
WasserRessourcenManagement  
Hydrogeologie und Geophysik

***GRUNDWASSERSTRÖMUNGSMODELL  
MARCHFELD***

*UNIV.-DOZ. DR. J. FANK, ING. G. ROCK, DR. A. DALLA-VIA,  
DR. W. POLTNIG, MAG. J. C. DRAXLER & M. PLIESCHNEGGER*

AUFTRAGGEBER:  
AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG

---

Institut für  
WasserRessourcenManagement  
Hydrogeologie und Geophysik

***GRUNDWASSERSTRÖMUNGSMODELL  
MARCHFELD***

*UNIV.-DOZ. DR. J. FANK, ING. G. ROCK, DR. A. DALLA-VIA,  
DR. W. POLTNIG, MAG. J. C. DRAXLER & M. PLIESCHNEGGER*

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung und Problemstellung .....	13
2	Datengrundlagen.....	14
2.1	Basisdaten - Datenanforderungskatalog.....	14
2.2	Systemparameter, Kontrollgrößen .....	17
2.3	GIS-Daten.....	17
2.4	Grundwassermodelle und Grundlagenstudien im Marchfeld.....	18
2.5	Messdaten .....	18
2.5.1	Grundwasserstandsdaten .....	18
2.5.2	Daten von Wasserspiegellagen an Oberflächengewässern.....	19
2.5.3	Grundwasserentnahmedaten.....	20
2.5.4	Daten für die Definition der Grundwasseranreicherung.....	20
2.6	Das Messnetz.....	20
3	Grundwasserströmungsmodell .....	21
3.1	Hydrogeologisches Konzeptmodell.....	21
3.1.1	Begrenzung und Morphologie des Grundwassergebietes.....	21
3.1.2	Grundwasserstauer .....	22
3.1.3	Die Grundwasserneubildung über auf der Gebietsfläche infiltrierende Niederschläge .....	26
3.1.4	Ermittlung der Bewässerungsentnahmen aus dem Grundwasser .....	41
3.1.5	Bedeutende Grundwasserentnahmen für Trink- und Nutzwasserversorgungen.....	51
3.1.6	Die Interaktion Oberflächengewässer – Grundwasser .....	55
3.1.7	Das Grundwassersystem .....	58
3.2	Mathematisches Modell.....	60
3.2.1	Kontinuitätsgleichung und Darcy'sches Gesetz.....	60
3.2.2	Die Interaktion von Oberflächengewässern und Grundwasser .....	61
3.2.3	Rand- und Anfangsbedingungen .....	62
3.2.4	Die Lösung des mathematischen Modells mit Hilfe der Finiten Elemente Methode (FEM) .....	63
3.3	Instationäre Kalibration des Grundwasserströmungsmodells.....	63
3.3.1	Allgemeines .....	63
3.3.2	Definition der Randbedingungen .....	64
3.3.3	Kalibrationsergebnisse.....	65
4	Simulationsrechnung Konsensentnahme mit Hilfe des kalibrierten Grundwasserströmungsmodells .....	99
4.1	Szenariendefinition und methodische Grundlagen .....	99
4.2	Ergebnisse der Simulationsrechnung .....	100
5	Instationär berechnete Brunneneinzugsgebiete .....	101
5.1	Methodische Grundlagen zur instationären Berechnung von Brunneneinzugsgebieten.....	101
5.1.1	EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien .....	101
5.2	Instationär berechnete Brunneneinzugsgebiete .....	103
5.2.1	Instationär berechnete Einzugsgebiete von Trinkwasserversorgungsanlagen ..	103
5.2.2	Instationär berechnete Einzugsgebiete von Einzelwasserversorgungsanlagen ..	105

6	Trinkwasserhoffnungsgebiete - Sicherung der Trinkwasser-Ressourcen (Vorsorge).....	106
6.1	Idee.....	106
6.2	Vorgaben.....	106
6.3	Vorgangsweise / Methodik.....	106
6.3.1	Berechnung der Beurteilungsparameter.....	107
6.3.2	Mehrzieloptimierung.....	107
6.4	Ergebnis.....	109
6.4.1	Kriterium 1 - Hoher Grundwasserdurchsatz.....	109
6.4.2	Kriterium 2 – Große theoretische Entnahmemenge.....	109
6.4.3	Ziel Gesamt - Hoher Grundwasserdurchsatz und große theoretische Entnahmemenge.....	109
7	Zusammenfassung.....	111
8	Literatur.....	116

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: aus H. PERESSON in G. WESSELY (2006): Geologie der Österreichischen Bundesländer – Niederösterreich. - 416 S., 655 Abb., 26 Tab., S.255-258, Geol. B.-A., Wien. ....	23
Abbildung 2: Verwendete Interpolationspunkte für die Erstellung der Stauerkarte (Anmerkung: rote Punkte sind Vertices von Isolinien) .....	24
Abbildung 3: Modellverbund zur Definition räumlich und zeitlich differenzierter Wasserbilanzglieder und der Grundwasserneubildung für das Marchfeld.....	28
Abbildung 4: Ergebnisse der Auswertung der Wasserbuchaufzeichnungen im niederösterreichischen Teil des Marchfeldes hinsichtlich der landwirtschaftlichen Bewässerung a) Katasterparzellen (dunkelgrau) mit Bewässerungsbrunnen b) Katasterparzellen (schwarz), auf denen eine Bewässerung bewilligt ist.....	29
Abbildung 5: Flussdiagramm zur Berechnung der Wasserbilanzglieder und der Grundwasserneubildung eines Hydrotops in einer Vegetationsperiode.....	32
Abbildung 6: Behandlung unterschiedlicher Landnutzungsstrukturen und Fruchtfolgen .....	33
Abbildung 7: Auswirkung unterschiedlicher Rotation der Fruchtfolgeglieder auf die Grundwasserneubildung eines Feldverbundes .....	34
Abbildung 8: Zeitliche Entwicklung der Wasserkreislaufparameter eines Hydrotops bei aktueller Bewässerung und einer Bodenwasserspeicherfähigkeit von 100 mm. Die zugrunde liegende Fruchtfolge setzt sich aus den Gliedern Zuckerrübe, Kartoffel, Winterweizen, Winterweizen, Winterweizen, Zuckerrübe, Körnermais, Winterweizen, Weizen, Winterweizen zusammen. ....	36
Abbildung 9: Grundwasserneubildungsklassen und deren Flächenanteile sowie deren Absolutflächen im Marchfeld.....	37
Abbildung 10: Verteilung der mittleren Jahressumme der Grundwasserneubildung im Marchfeld (Periode 1993 – 2004) *Abschätzung für Wien siehe Kap. 3.1.3.1. ....	38
Abbildung 11: Vergleich der mittleren Wasserbilanzgrößen im Marchfeld (Periode 1993 – 2004) für verschiedene Bewässerungsszenarien .....	39
Abbildung 12: Ganglinien des Niederschlags, der aktuellen Verdunstung und der Grundwasserneubildung eines Hydrotops mit der Modellfruchtfolge und einem Boden mit 100 mm nutzbarer Feldkapazität als Input für das Grundwasserströmungsmodell. ....	41

Abbildung 13: Bewässerungsentnahmen im Marchfeld (Flussdiagramm zur Methodik).....	43
Abbildung 14: Katastralgemeinden und bearbeitete Bewässerungsanlagen im Untersuchungsgebiet	46
Abbildung 15: Thiessen-Polygone im Untersuchungsgebiet (Marchfeld).....	50
Abbildung 16: Entwicklung der Entnahmen im Marchfeld zwischen 1965 und 1990 (modifiziert nach Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal, 1994).....	54
Abbildung 17: Entwicklung der landwirtschaftlichen Entnahmen im Marchfeld 1963-2004 (Quellen: BEHR et al. (1984) bzw. Daten der BETRIEBSGESELLSCHAFT MARCHFELDKANAL Jahressummen von Oktober bis September des Folgejahres) und Kalenderjahressummen des Niederschlags in Gänserndorf (Quelle: HYDROGRAPHISCHER DIENST NIEDERÖSTERREICH) 1975-2005: MW: 918 l/s	55
Abbildung 18: Auftreten des höchsten bzw. niedersten gemessenen Grundwasserstandes an Messstellen im Marchfeld für den Zeitraum 1975 – 2004: Dargestellt die Anzahl der Messstellen für Minimum (rot) und Maximum (blau) nach Jahren.....	59
Abbildung 19: Instationäre Modellkalibration: Vergleich der berechneten Grundwasserstandsganglinie mit den Messdaten beispielhaft an der Grundwasserstandsmessstelle 9002216 der Magistratsabteilung 45 in Wien (Beispiel für Dokumentation der Kalibrationsqualität aller Messstellen in Anhang C und Anhang D – siehe DVD_1). .....	66
Abbildung 20: Instationäre Modellkalibration: Scatterplot der gemessenen Grundwasserspiegellagen im Vergleich zu den zeitgleichen berechneten Grundwasserständen beispielhaft an der Grundwasserstandsmessstelle 9002216 der Magistratsabteilung 45 in Wien (Beispiel für Dokumentation der Kalibrationsqualität aller Messstellen in Anhang C und Anhang D – siehe DVD_1).....	66
Abbildung 21: Instationäre Modellkalibration: Zeitlicher Verlauf der Differenzen zwischen den gemessenen und den zeitgleichen berechneten Grundwasserständen beispielhaft an der Grundwasserstandsmessstelle 9002216 der Magistratsabteilung 45 in Wien (Beispiel für Dokumentation der Kalibrationsqualität aller Messstellen in Anhang C und Anhang D – siehe DVD_1).....	67
Abbildung 22: Instationäre Modellkalibration: Doppelsummenkurve der Absolutwertänderungen der Grundwasserspiegellage der gemessenen und der zeitgleichen berechneten Grundwasserstände beispielhaft an der Grundwasserstandsmessstelle 9002216 der Magistratsabteilung 45 in Wien (Beispiel für Dokumentation der Kalibrationsqualität aller Messstellen in Anhang C und Anhang D – siehe DVD_1).....	67

Abbildung 23: Auswahl von Grundwasserstandsmessstellen im Marchfeld, an denen die Kalibrationsqualität des instationär kalibrierten Grundwasserströmungsmodells im Bericht detailliert dokumentiert wurde ( große grüne Quadrate: ausgewählte Beispielmessstellen mit Beobachtungslücken kleiner 60 Tage) und orange Quadrate (Beispielmessstellen mit Lücke größer 60 Tage) die im folgenden dargestellt werden.....	72
Abbildung 24: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9002216 (Wien Donau Nord).....	74
Abbildung 25: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9002178 (Wien Donau Süd) .....	74
Abbildung 26: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9384260 (Gerasdorf BilGeb1).....	75
Abbildung 27: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9002224 (Wien Donaustadt BilGeb1).....	75
Abbildung 28: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 326686 (Marchfeld Süd BilGeb2) .....	76
Abbildung 29: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9392837 (Leopoldsdorf BiGeb2).....	76
Abbildung 30: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 326678 (Haringsee BilGeb3) .....	77
Abbildung 31: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 331215 (Loimersdorf BilGeb3).....	77
Abbildung 32: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 322685 (Hagenbrunn – Nordwestliches Marchfeld).....	78

Abbildung 33: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 304584 (Deutsch Wagram BilGeb4).....	78
Abbildung 34: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 304683 (Gänserndorf Weidenbach BilGeb4).....	79
Abbildung 35: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9391180 (Gänserndorf BilGeb4; 1700 m südl. von 304683).....	79
Abbildung 36: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 301309 (Obersiebenbrunn; BilGeb5).....	80
Abbildung 37: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 305300 (Gänserndorf Ost BilGeb5).....	80
Abbildung 38: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 326520 (Marchegg).....	81
Abbildung 39: Verifizierung des instationären Grundwassermodells Marchfeld durch Gegenüberstellung der Messwerte und der Rechenergebnisse an der Messstelle 9391888 (Zwerndorf).....	82
Abbildung 40: Verifizierung des instationären Grundwassermodells Marchfeld durch Gegenüberstellung der Messwerte und der Rechenergebnisse an der Messstelle 9392696 (Mühlhaufen BilGeb3).....	82
Abbildung 41: Vergleich gemessener mittlerer Grundwasserspiegellagen mit berechneten mittleren Grundwasserspiegellagen - Messstellen mit Beobachtungslücken kleiner 60 Tage und einer Beobachtungszeit von mindestens 10 Jahren in Scatterplotdarstellung (Kalibrationsmessstellen).....	84
Abbildung 42: Vergleich gemessener mittlerer Grundwasserspiegellagen mit berechneten mittleren Grundwasserspiegellagen an allen Messstellen mit Beobachtungslücken größer 60 Tage und einer Beobachtungszeit von kleiner 10 Jahren in Scatterplotdarstellung (Verifikationsmessstellen).....	85



Abbildung 43: Residuen an Messstellen mit einer Beobachtungslücke kleiner 60 Tage und einer Beobachtungsdauer von mindestens 10 Jahren. ....	87
Abbildung 44: Bilanzierungsgebiete im Marchfeld .....	92
Abbildung 45: Instationäre Bilanz der Donau für den gesamten Modellierungszeitraum.....	97
Abbildung 46: Instationäre Bilanz der Donau für das Jahr 1997 .....	98

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Datenanforderungskatalog - Basisdaten.....	14
Tabelle 2: Systemparameter und Kontrollgrößen .....	17
Tabelle 3: Die mittlere klimatische Wasserbilanz des Marchfeldes (Periode 1993 – 2004) nach unterschiedlichen Einheiten .....	35
Tabelle 4: Konsensmengen im Marchfeld (* laut GIS-Datensatz der NÖ-Landesregierung - Grundlage für Erhebungen) .....	51
Tabelle 5: Realentnahmen (Aufzeichnungsintervalle und Berücksichtigung im Modell) .....	52
Tabelle 6: Instationäre Modellkalibration: Kennwerte der Modellkalibration beispielhaft dargestellt an der Grundwasserstandsmessstelle 9002216 der Magistratsabteilung 45 in Wien.....	70
Tabelle 7: Ausgewählte Messstellen für detaillierte Dokumentation - Lage samt Zuordnung zu den fünf Bilanzgebieten (kurz BilGeb). .....	73
Tabelle 8: Gesamtbilanz (Mittelwerte der Bilanzkomponenten über den gesamten Berechnungszeitraum).....	94
Tabelle 9: Teilgebietsbilanzen der Bilanzgebiete 1 bis 5 in [l/s] (Mittelwerte der Bilanzkomponenten über den gesamten Berechnungszeitraum).....	95
Tabelle 10: Teilgebietsbilanzen der Bilanzgebiete 1 bis 5 in [Mio. m <sup>3</sup> /Jahr] (Mittelwerte der Bilanzkomponenten über den gesamten Berechnungszeitraum).....	96
Tabelle 11: Grundwasserentnahmen im Marchfeld (Auswahl bedeutender Trink- und Nutzwasserbrunnen) als Grundlage für die Simulationsvariante Konsensentnahme. ....	99
Tabelle 12: Anzahl der Bahnlinien je km <sup>2</sup> in Abhängigkeit von Zellweite und Zeitschrittweite zur Generierung instationär berechneter Brunneneinzugsgebiete für eine Modellzeit von 13 Jahren .....	102
Tabelle 13: Konsensmengen ausgewählter Trinkwasserversorgungsanlagen als Grundlage für die instationär berechneten Einzugsgebiete und für die Variante Konsensentnahme.....	104
Tabelle 14: Grundlagen für die instationäre Berechnungen der Einzugsgebiete von Einzelwasserversorgungsanlagen .....	105

## Kartenverzeichnis

- Karte 1: Beobachtungsnetz Grundwasserstand und Wasserspiegellagen von Oberflächengewässern, sowie Lage der Grundwasserentnahmen für die Datenbasis des Grundwasserströmungsmodells
- Karte 2: Morphologie des Grundwasserstauers im Marchfeld
- Karte 3: Quartärmächtigkeit im Marchfeld aus dem Verschnitt des Geländemodells mit dem Grundwasserstauer
- Karte 4: Finite Elemente Netz für das Grundwassermodell Marchfeld
- Karte 5: Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im Modellgebiet Marchfeld
- Karte 6: Grundwasserisohypsenplan und Grundwassermächtigkeit für IST-Zustand bei Niederwasserverhältnissen (1.9.1995)
- Karte 7: Grundwasserisohypsenplan und Grundwassermächtigkeit für IST-Zustand bei Mittelwasserverhältnissen (1.2.2001)
- Karte 8: Grundwasserisohypsenplan und Grundwassermächtigkeit für IST-Zustand bei Hochwasserverhältnissen (1.6.1996)
- Karte 9: Karte der Differenzen der mittleren Grundwasserspiegellagen der Variante Konsens und IST-Zustand
- Karte 10: Instationäre Einzugsgebiete von Trinkwasserversorgungsanlagen (Mittlere Verweildauer)
- Karte 11: Instationäre Einzugsgebiete von Einzelwasserversorgungsanlagen (Mittlere Verweildauer)
- Karte 12: Instationäre Einzugsgebiete von Trinkwasser- und Einzelwasserversorgungsanlagen (Mittlere Verweildauer)
- Karte 13: Trinkwasserressourcenvorsorge Zielerreichungskriterium 1: Hoher Grundwasserdurchsatz
- Karte 14: Trinkwasserressourcenvorsorge Zielerreichungskriterium 2: Große theoretische Entnahmemenge
- Karte 15: Trinkwasserressourcenvorsorge Ziel Gesamt: Hoher Grundwasserdurchsatz und große theoretische Entnahmemenge

Karte 16: Hoffungsgebiete Kriterien 1 und 2, Einzugsgebiete von Wasserversorgungsanlagen und Einzelwasserversorgungen sowie ausgewählte Bahnlinien.

# 1 Einleitung und Problemstellung

Das Marchfeld, ein quartärer Sedimentationsraum der Donau im Osten Österreichs stellt ein wasserwirtschaftlich bedeutendes Grundwasserreservoir dar, das intensiv für die Trink- und Nutzwassergewinnung sowie für landwirtschaftliche Bewässerungszwecke genutzt wird. Das Marchfeld wird im Süden von der Donau, im Osten von der March und im Norden vom Übergang der quartären Ablagerungen in das Hügelland des Weinviertels begrenzt. Die Westgrenze wird durch den Hügelzug des Bisamberges gebildet (siehe Karte 1).

Aus hydrogeologischer Sicht ist die Unterscheidung der Ablagerungen der Austufe der Donau, der nördlich anschließenden Niederterrasse und der Hochterrasse von Bedeutung (Durchlässigkeiten). Wesentlich ist auch die durch jungtektonische Vorgänge geprägte Ausformung des Grundwasserstauers, der in einem Großteil der Fläche an der Grenze der quartären zu den neogenen Sedimenten festgelegt werden kann (siehe 3.1.2). Aufgrund der hohen wasserwirtschaftlichen Bedeutung des Grundwassers im Marchfeld ist dieses durch ein dichtes Netz an Grundwasserstandsmessstellen erschlossen (siehe Karte 1). Durch die Errichtung des Marchfeldkanals, der zur Stabilisierung des Grundwasserregimes mit Entnahmestellen für landwirtschaftliche Bewässerung sowie mit Grundwasseranreicherungsanlagen eingerichtet wurde, erfuhr das Monitoring-Netzwerk eine Verdichtung entlang des Marchfeldkanals (siehe Karte 1). Die Grundwasserströmungssituation zeigt generell ein donauparalleles Abströmen des Grundwassers von ENE nach WSW.

Seitens des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung wurde JOANNEUM RESEARCH, Institut für WasserRessourcenManagement – Hydrogeologie und Geophysik beauftragt, für das Grundwassergebiet – abgegrenzt nach der Wasserrahmenrichtlinie – ein, für einen langen Zeitraum (1993 bis 2004) instationär auf Tagesbasis kalibriertes Grundwasserströmungsmodell zu erstellen, um die Einzugsgebiete der Trink- und Nutzwasserversorgungen im Marchfeld nach dem von ROCK & KUPFERSBERGER (2002) vorgestellten Verfahren bestmöglich abgrenzen zu können (siehe Kap. 5) und um Trinkwasserhoffungsgebiete zur Sicherung der Trinkwasserressourcen im Marchfeld zu ermitteln (siehe Kap. 6).

## 2 Datengrundlagen

### 2.1 Basisdaten - Datenanforderungskatalog

Aufgrund bisheriger Erfahrungen in der Modellierung von Grundwassersystemen und auf Grund der oben genannten Anforderungen wurde in Absprache mit dem Auftraggeber – als Ausgangsbasis für das Modellierungsprojekt - folgender Datenanforderungskatalog zusammengestellt (siehe Tabelle 1).

*Tabelle 1: Datenanforderungskatalog - Basisdaten*

<b>Daten</b>	<b>Gruppe</b>	<b>Quelle</b>	<b>Kontakt</b>
Bohrdatenbank	Geologie	Geologischer Dienst NÖ Landesregierung	Ing. Michael Pernerstorfer
Div. geologische Studien	Geologie	Universität Wien	Dr. Kurt Decker
Div. geologische Studien	Geologie	GBA	Frau Dr. Heinrich
Geologie	Geologie	NÖ Landesregierung (WA5)	Dr. Staindl
Stauerkarte MAF Süd	Geologie	viadonau	
Schotterabbau	Geologie	NÖ Landesregierung (WA5)	Dr. Staindl / Dr. Rakaseder
Baumaßnahmen in Wien	Geologie	NÖ Landesregierung (WA 5)	Dr. Staindl (ASV Bez. Gänserndorf)
UVE Flussbaul. Gesamt- projekt östl. v. Wien	Geologie/ Hydrologie	viadonau	Dr. Schmalfuß Tel.: 01/480801012)
GW-Daten Hydrogr. Dienst	Grundwasser	NÖ Landesregierung (Hydrographischer Dienst)	Dr. Ehrendorfer
GW-Daten Marchfeldkanalges.	Grundwasser	Marchfeldkanal Betriebsgesellschaft	DI Weyermayr
GW-Daten AHP	Grundwasser	AHP	DI Einsiedler
GW-Daten Wien	Grundwasser	MA 45 (Wien)	Dr. Pekarek & DI Janac

GW--Daten Wien WV	Grundwasser	MA 31 (Wien)	
GW-Daten viadonau	Grundwasser	Abteilung Hydrographie der viadonau	DI Kölbl (Hydrogr), DI Fehringer (Abt.-Chef)
OG-Daten Hydrogr. Dienst	Fließgewässer	NÖ Landesregierung (Hydrographischer Dienst)	DI Krammer
OG-Daten AHP	Fließgewässer	AHP	DI Einsiedler
OG-Daten Wien	Fließgewässer	MA 45 (Wien)	Dr. Pekarek & DI Janac
OG-Daten Wien	Fließgewässer	MA 31 (Wien)	
OG-Daten Marchfeldkanal-Betriebsges.	Fließgewässer	Marchfeldkanal Betriebsgesellschaft	DI Weyermayr
OG-Daten viadonau	Fließgewässer	Hydrographie d. viadonau	DI Kölbl (Leiter Hydrographie), DI Fehringer
HD-NÖ v.a. Lufttemp. & Niederschlag	Klima	NÖ Landesregierung (Hydrographischer Dienst)	WA5 Mag. Salzer
ZAMG Großenzersdorf & Franzensdorf	Klima	ZAMG	Draxler
Nutzbare Feldkapazität der Böden des MAF (Murer)	GIS	Wasserwirtschaft NÖLAG	Dr. Rakaseder
Landnutzung	GIS	NÖGIS	Höllriegl
Digitale Katastermappe	GIS	NÖGIS	Lhotka
Topographische Karten	GIS	NÖGIS	Höllriegl
Administrative Grenzen	GIS	NÖGIS	Höllriegl
Geologie	GIS	NÖGIS	Höllriegl
Farborthofotos	GIS	NÖGIS	Höllriegl
Einzugsgebiete, Grundwassergebiete...	GIS	NÖGIS	Höllriegl

WGEV-Messstellen und Daten seit 1992	Qualitätsdaten	NÖ Landesregierung	Dr. Rakaseder
Naßbaggerungen Abbautiefen...	Bewässerung	Bescheide NÖLAREG	Dr. Rakaseder
Bewässerungsflächen, -zeiten	Bewässerung		Flächen (Rakaseder) Zeiten (Cepuder)
Fruchtfolgen	Bewässerung	BOKU (Wien)	Cepuder
Bewässerungsbrunnen	Bewässerung	NÖ Landesregierung	Dr. Rakaseder
Studie Eichenstandorte Nachtnebel	Studien	BOKU - Nachtnebel	
Grundwassermodell Östl. Donauraum (Nachtnebel)	Studien	BOKU - Nachtnebel	Fürst
GWM – Stallinger Feld	Studien	TU-Wien	Blaschke et al. (1992)
Div. Wasserwirtschaftliche Geodaten	GIS	NÖ Landesregierung	Rakaseder
Wasserentnahmen Konsensmengen	Hydrologie		Rakaseder
Tatsächliche Wasserentnahmen (1993-2004)	Hydrologie	EVN Obersiebenbrunn, Iglo, Zuckerfabrik, WW Deutsch-Wagram, Baxter, OMV, Obersiebenbrunn, Kieswerke	Dalla-Via (Erhebungen bei Wasserversorgern und Gemeinden)



## 2.2 Systemparameter, Kontrollgrößen

In Tabelle 2 sind die für das Grundwassermodell benötigten Systemparameter und Kontrollgrößen dargestellt (siehe Kap. 3).

Tabelle 2: Systemparameter und Kontrollgrößen

Datensatz	Beschreibung	Möglicher Lieferant
Bohrungen	Bohrprotokolle, Bohrprofile, Logs etc.	Bohrdatenbank HADES, Wasserversorger
Sedimentanalysen	Kornverteilungskurven, Kf-Wertbest.	
Pumpversuche	Pumpversuchsprotokoll PV-Auswertungen	Grundlagenstudien (siehe NÖ LAREG)
GW Modelle	Schutz- und Schongebietsvorschläge GW-Hoffnungsgebiete	NÖ LAREG
Grundwasserstandsdaten	Lagepläne der Messstellen Koordinaten Messpunkthöhen Zeitreihen der GW-Spiegelbeobachtung	HD NÖ LAREG AHP Marchfeldkanal Betriebsges. MA45

## 2.3 GIS-Daten

Von der NÖGIS (AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG – LANDESBAUDIREKTION) wurden u.a. folgende digitalen GIS-Daten zur Verfügung gestellt:

- Topographische Kartendaten: ÖK 50, ÖK 200 und ÖK500
- Digitales Höhenmodell Rasterweite 10 m (DHM10)
- Kataster und Luftbilder
- Digitale geologische Karte
- Bezirks und Gemeindegrenzen
- und folgende shape-files:

land050, bez050	fluss500, see010,	grufe001 & gruma001	bauland010
gem050, kg050	gw_bed050	corine_2_100	warvf050
orte500	waschon050	corine_3_100	natnpdon05
watershed100k	wald050, dauer200	Raumglied200	lsgeb050
fluss010, fluss200,	bauland010	pgowu050	natsgeb050

## **2.4 Grundwassermodelle und Grundlagenstudien im Marchfeld**

Für mehr oder weniger große Teilbereiche des Marchfeldes wurden und werden Grundwasserströmungsmodelle erstellt. Folgende Grundwasserströmungsmodelle dienen als Grundlage für die Kalibration des vorliegenden Grundwassermodells.

Grundwasserströmungsmodell Stallinger Feld (BLASCHKE et al, 1992)

Expertensystem Grundwassermodell Östlicher Donauraum (NACHTNEBEL et al., 1991)

Flussbauliches Gesamtprojekt östlich von Wien - UVE (KORDINA et al, 2004)

Grundwassermodell für das Flussbauliche Gesamtprojekt östlich von Wien von A.P. BLASCHKE (folgend „FGP3-Modell“ genannt)

Grundwassermonitoring und Umweltmanagement im Stauraum des KW Freudenau (DREHER et al., 2002)

Erfahrungen des „Grundwassermodells Marchfeld“ im Auftrag der Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal (SIMULTEC, 1989) sind im Grundwasserströmungsmodell Stallinger Feld (BLASCHKE et al, 1992) integriert. Das „Grundwassermodell Lobau“ (im Auftrag der MA45 - Stadt Wien) der GRUPPE WASSER steht noch in Bearbeitung und stand im Detail daher nicht zur Verfügung. Relevante Informationen wurden von A.P. BLASCHKE zur Verfügung gestellt.

Eine externe wissenschaftliche und wasserwirtschaftliche Begleitung des vorliegenden Grundwassermodells Marchfeld wurde von Prof. A.P. BLASCHKE von der TU-Wien im Auftrag der NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG durchgeführt.

Hinweise und Anmerkungen zu den verwendeten Grundlagenstudien sind den jeweiligen Kapitel zu entnehmen. Alle verwendeten Grundlagenstudien sind dem Literaturverzeichnis zu entnehmen.

## **2.5 Messdaten**

### **2.5.1 Grundwasserstandsdaten**

Die grundwasserhydrologischen Datengrundlagen stammen vom HYDROGRAPHISCHEN DIENST (AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG – GRUPPE WASSER – ABTEILUNG FÜR HYDROLOGIE), im folgenden kurz HD genannt, von der Magistratsabteilung 45 der Stadt Wien (kurz MA45) – Hauptnetz des HYDROGRAPHISCHEN DIENSTES, von der Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal (kurz MAK) und von der VERBUND AUSTRIAN HYDRO POWER, im folgenden kurz AHP (darin sind viadonau Daten enthalten) genannt. Grundwasserstandsdaten der MA31 wurden auf Grund der für die Fragestellung

ausreichend hohen Messstellendichte im Stadtgebiet von Wien (nicht Kernbereich des Grundwassermodells) nicht miteinbezogen.

Insgesamt standen Grundwasserdaten von 667 Messstellen zur Verfügung. Zum Teil scheinen einige Messstellen nicht auf Karten auf, weil sie zu weit vom Modellgebiet entfernt liegen oder weil es sich um „doppelte“ Messstellen handelt (ein und dieselbe Messstelle in zwei Monitoringprogrammen mit unterschiedlichen Bezeichnungen), weil Messstellen aufgelöst und durch Messstellen in unmittelbarer Nähe ersetzt wurden und die alten Zeitreihen zur Ergänzung der aktuellen Messstelle verwendet wurde (10 Fälle) oder weil die Messstellen auf der Schloßhoferterrasse liegen. Somit wurden 524 Messstellen verwendet (vgl. DALLA-VIA & FANK, 2007).

Im Zuge der zuerst durchgeführten Datenanalyse zeigten sich an einigen Messstellen vermutliche Datenfehler bzw. kurzzeitige offenbar lokale Beeinflussungen (Entnahmen, Bauarbeiten...). Diese wurden v. a. hinsichtlich ihrer Bedeutung für die extremwertstatistische Auswertung (siehe DALLA-VIA & FANK, 2007) in Absprache mit dem Auftraggeber korrigiert.

Als Messstellenkurzbezeichnung wurden die entsprechenden primären Kurzbezeichnungen der einzelnen Datenquellen (z. T. Datei-bezeichnungen der Grundwasserzeitreihen) verwendet. An Messstellen mit parallelen oder aufeinanderfolgenden Monitoring wurden vor allem die HD-Bezeichnungen verwendet, in Fällen an denen ältere Grundwasserdaten zur Ergänzung von aktuellen Grundwassermessstellen verwendet wurden, wurde die Bezeichnung der neuen Messstelle verwendet.

## **2.5.2 Daten von Wasserspiegellagen an Oberflächengewässern**

Im Marchfeld gibt es eine Vielzahl an Messungen von Wasserspiegeln an Oberflächengewässern. Für die Donau wurden seitens der AHP Wasserspiegelganglinien an den Pegeln Wildungsmauer, Freudenu, Ostbahnbrücke, Floridsdorferbrücke, Reichsbrücke, Nußdorf, Kuchelau und Korneuburg zur Verfügung gestellt. Unterhalb von Wildungsmauer (Strom-km 1894.72) standen für die Kalibration leider keine Messungen mehr zur Verfügung, da seitens viadonau trotz mehrmaliger Telefonate keine Daten von Oberflächengewässern zur Verfügung gestellt wurden. Für die Modellkalibration konnten die Wasserspiegelganglinien der Donau aus den kennzeichnenden Wasserständen der Donau (KWD1996) und den Daten der AHP größtenteils gut ermittelt werden. Lediglich im Bereich der Marchmündung, wo die Wasserspiegel von Donau und March nicht allein aus den kennzeichnenden Wasserspiegeln von Donau und March ermittelt werden können, konnten mittels der vorhandenen Daten die Donauganglinien nicht ausreichend genau ermittelt werden. In diesem Bereich wäre eine verbesserte Modellkalibration möglich gewesen, wenn Durchfluss- und Wasserspiegelganglinien von Donau und March in diesem Bereich zur Verfügung gestanden hätten. Für die March wurden seitens der MAK Wasserspiegelganglinien am Pegel Angern und Markthof zur Verfügung gestellt. Mittels dieser Daten konnte wiederum über die Tabelle der kennzeichnenden Wasserstände (KWM1996) die

Wasserspiegelganglinien ermittelt werden. Aber auch an der March gilt wie bereits für die Donau erwähnt, dass der Zusammenfluss zwischen March und Donau mittels Daten der viadonau besser beschrieben hätte werden können. Seitens HD Niederösterreich wurden weiters Wasserspiegel und Durchflussganglinien an Rußbach, Stempfelbach und Weidenbach zur Verfügung gestellt. Wertvolle Informationen über den Einfluss der Oberflächengewässer auf das Grundwasser konnten auch noch diversen Unterlagen der MAK entnommen werden.

### **2.5.3 Grundwasserentnahmedaten**

Grundlage für die Erhebung von Grundwasserentnahmedaten im niederösterreichischen Teil des Marchfeldes war ein GIS-Datensatz der NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG in dem Entnahmebrunnen samt Bezeichnung und Konsensmengen dargestellt sind. In weiterer Folge wurden von allen Brunnen die tatsächlichen Entnahmemengen für den Modellzeitraum bei den Brunneneigentümern - meist Wasserversorger – erhoben

Nähere Angaben zur Datenqualität und der Umsetzung der Entnahmemengen im Grundwassermodell sind Kap. 3.1.5 zu entnehmen.

### **2.5.4 Daten für die Definition der Grundwasseranreicherung**

Daten über die Grundwasseranreicherung wurden seitens der Marchfeldkanal Betriebsgesellschaft bereitgestellt. Diese umfassen Zeitreihen der Grundwasseranreicherung für das Stallingfeld West (SB5, SB6) und Ost sowie die Anreicherung Rußbach-Mühlbach. Diese Zeitreihen wurden für die Ermittlung der Randbedingungen zur Definition der Grundwasseranreicherung benutzt. Im Raum Wien gibt es noch Hinweise auf Einleitungen von gefördertem Grundwasser in den Donau-Oder-Kanal und in diverse Altarme. Aufgrund ungenügender Angaben konnten diese Informationen nicht in das Modell eingearbeitet werden. Die Auswirkungen auf die Strömungsverhältnisse im Marchfeld sind gering, da die Augewässer der Lobau den Grundwasserspiegel in diesem Bereich stark steuern. Dies zeigt sich in der guten Übereinstimmung zwischen gerechneten und gemessenen Grundwasserständen östlich des Donau-Oder-Kanals.

## **2.6 Das Messnetz**

Die Aufbereitung der dargestellten Datenbasis ergibt das in Karte 1 dargestellte Beobachtungsnetz für die Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells, unterschieden nach Entnahmebrunnen, Beobachtungsnetz Grundwasserstand und Beobachtungsnetz Oberflächengewässer. Anhang A fasst die Grundwassermessstelleninformationen nach deren Lage (Rechtswert, Hochwert), den unterschiedlichen Betreibern (HD-NÖ, AHP, MAK und MA45), den Beobachtungszeitraum und die minimalen, mittleren und maximalen Grundwasserspiegelhöhen über den gesamten Beobachtungszeitraum zusammen.

## **3 Grundwasserströmungsmodell**

### **3.1 Hydrogeologisches Konzeptmodell**

Grundlage jeder Grundwasserströmungsmodellierung bildet die Vorstellung des (Hydro-)geologen und Hydrologen über das Strömungsverhalten des Grundwassers, der Interaktion des Grundwasserkörpers mit den Oberflächengewässern, den relevanten Prozessen der Grundwassererneuerung und der Interaktion des zu untersuchenden Grundwasserkörpers mit den benachbarten Teilsystemen über die Randbedingungen. Diese Vorstellungen und Annahmen, die auch die Auftrennung aller physikalischen Einflussnahmen auf den Grundwasserkörper in relevante und weniger bedeutsame Prozesse beinhaltet, bildet das grundlegende hydrogeologische Konzeptmodell, welches die Basis für die numerische Modellierung ist.

#### **3.1.1 Begrenzung und Morphologie des Grundwassergebietes**

Das Marchfeld stellt ein im überwiegenden Teil durch natürliche Berandungen abgegrenztes Grundwassergebiet dar: Im Westen und Süden bildet die Donau eine hydraulische Berandung. Im Osten wird das Marchfeld durch die March begrenzt. Im Norden bilden Lössterrassen, die durch mehrere Fließgewässer (Rußbach oder Weidenbach) durchschnitten werden, die Begrenzung.

Erstellung und Ergebnis der unteren Randbedingung, dem Grundwasserstauer, ist in Kap. 3.1.2 beschrieben. Die Oberflächenmorphologie und das vorhandene Terrassensystem ist aus der digitalen Geologischen Karte des Landes Niederösterreich und deren Erläuterungen bekannt, welche vom Auftraggeber übermittelt wurden.

Der westliche und südliche Modellrand ist geprägt von fluviatilen und glaziofluviatilen Ablagerungen (Kiese und Aulehme) die den jüngsten quartären Talboden bilden. Dieser Randstreifen ist zwischen 2 und 5 km breit. Daran schließt Richtung Osten bzw. Norden der sogenannte „Ältere Talboden“ an, der sich ebenfalls aus Kiesen und Aulehmen zusammensetzt und mit rund 400 km<sup>2</sup> den Großteil des zentralen Marchfeldes einnimmt. Nördlich davon befindet sich die „Gänserndorfer Terrasse“ – Hochterrasse, die im Westen und Osten von der Terrasse von Ornding begrenzt wird. Diese Terrasse hat eine mittlere Breite von rund 5 km und eine Länge von rund 40 km. Nördlich davon sind quartäre Löße und Lößlehme vorzufinden.

Sedimentzusammensetzungen des obersten Grundwasserhorizontes sind aus Bohrprofilbeschreibungen (siehe 3.1.2) bekannt. Die Quartärmächtigkeit wurde mittels Differenzenbildung von digitalem Höhenmodell und Grundwasserstauerkarte ermittelt.

Die Oberflächenmorphologie stellt eine wichtige Grundlage für die Bodenformen im Untersuchungsgebiet dar, welche wiederum für die flächenhafte Grundwasserneubildung von immenser Bedeutung sind (siehe Kap. 3.1.3).

### **3.1.2 Grundwasserstauer**

#### **3.1.2.1 Unterlagen**

Informationen zum Stauer und zu den abgesenkten Quartärbecken geben vor allem nachfolgende Literatur bzw. Unterlagen:

M. SCHUCH (1980), R. GRILL (1968) und G. WESSELY (2006)

HADES - Bohrungsdatenbank der Niederösterreichischen Landesregierung

Der Isohypsenplan der Tertiäroberkante („Tegel-Oberkante“) im Marchfeld in R. GRILL (1968) deckt den Großteil des Untersuchungsgebietes ab. Im Nahebereich zur Donau gibt es zahlreiche Bohrungen in der Bohrungs-Datenbank, die Informationen zur Quartärbasis aufweisen und für die Erstellung der Stauerkarte mit verwendet wurden.

Im nördlichen und westlichen Randbereich des Untersuchungsgebietes ergeben sich aus den verwendeten Unterlagen für die Erstellung eines Stauer-Rasters minimale Datenlücken. Durch Schätzen der Stauerhöhen wurden diese Datenlücken in diesen Bereichen geschlossen.

Bohrdaten der DonauConsult im Nahbereich zur Donau.

Die Erstellung der Stauerkarte erfolgte in Zusammenarbeit mit A. DARSOW von der Universität Wien.

#### **3.1.2.2 Neotektonik des Marchfeldes**

Die Neotektonik des Marchfeldes wird von H. PERESSON in G. WESSELY (2006, S. 255-258) beschrieben (siehe Abbildung 1).

Das Marchfeld liegt im Bereich einer tektonisch aktiven Zone, wobei das derzeit wirksame tektonische Hauptelement eine linkssinnige Seitenverschiebung ist, die aus dem Bereich des Mürztales kommend über die Mitterndorfer Senke Richtung Nordosten zieht. Nördlich der Donau setzt sie sich in der Lasseer Senke fort. Diese Seitenverschiebung bewirkt mehrere Brüche, die im Quartär bis heute zu Absenkungen des präquartären Untergrundes im Nahebereich der Hauptstörung führten.

Als markanteste strukturelle Elemente entstanden dabei die generell Südwest – Nordost streichenden und mit mächtigen Quartärsedimenten gefüllten Senken des Aderklaa-Beckens, der Obersiebenbrunner Senke und der Lasseer Senke.

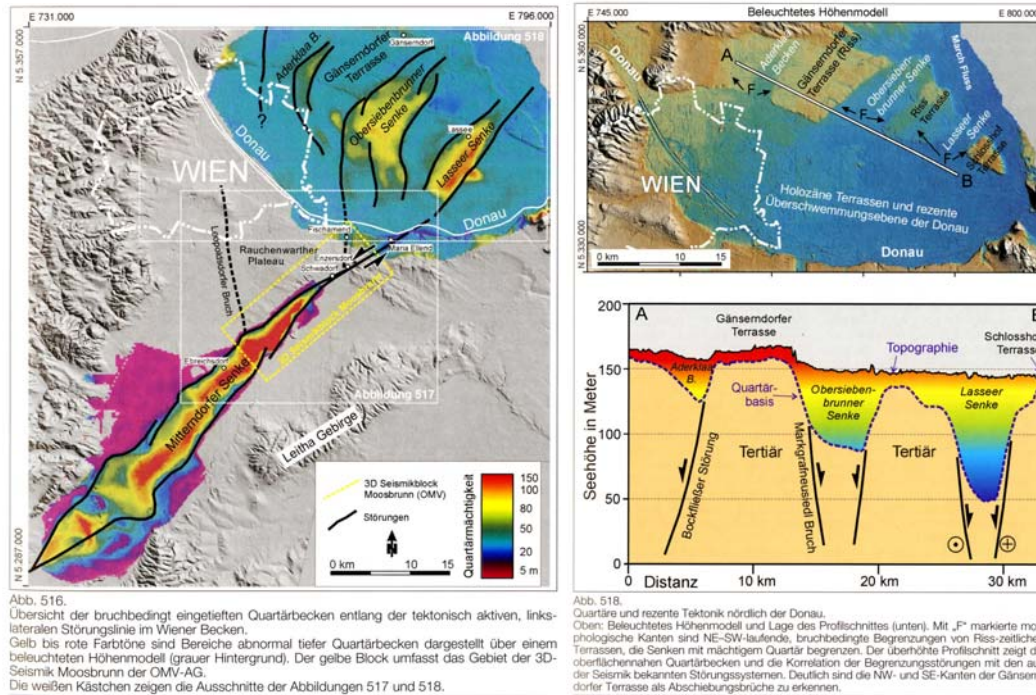


Abbildung 1: aus H. PERESSON in G. WESSELY (2006): *Geologie der Österreichischen Bundesländer – Niederösterreich*. - 416 S., 655 Abb., 26 Tab., S.255-258, Geol. B.-A., Wien.

### 3.1.2.3 Methodik

Für die Erstellung der Stauerkarte wurde ein Punktdatensatz mit Höheninformationen zur Staueroberkante zusammengestellt, der für die Stauerinterpolation verwendet wurde.

Die bereits bestehende Auswertung der Höhenlage der Tertiäroberkante im Marchfeld von R. GRILL (1968) wurde digitalisiert, so dass dieser Datensatz bereits interpolierte Sekundärdaten zur Stauerhöhe darstellt.

Aus der Bohrdatenbank der Niederösterreichischen Landesregierung (HADES) wurden all jene Bohrungen, die Angaben zur Höhenlage des Stauers aufwiesen (Primärdaten), verwendet und mit den Sekundärdaten von R. GRILL (1968) zu einem Interpolationsdatensatz zusammengefügt.

Die mit diesem Datensatz berechnete Stauerkarte wies interpolationsbedingt auf Grund fehlender Informationen in den Randbereichen unplausible Stauerhöhen auf. Dies zeigte sich bei der Einbeziehung der Höheninformationen aus dem digitalen Höhenmodell und der geologischen Karte des Gebietes.

Daher wurde der für die Stauererstellung verwendete Datensatz im Bereich um die Schlosshofterrasse und in den nördlichen und westlichen Randbereichen mit geschätzten Stauerhöhendaten ergänzt (siehe Abbildung 2).

Für die Modellierung der bekannten jungen, tektonischen Eintiefungen der Lasseer Senke, Obersiebenbrunner Senke und Aderklaaer Senke war es erforderlich einen Liniendatensatz zu generieren, der als Bruchlinien bei der Stauerinterpolation Berücksichtigung findet.

Diese Polylinien (Breaklines\_Stauer) wurden in Anlehnung an die in Abbildung 1 bekannten Brüche und nach den Ergebnissen der ersten Interpolationsschritte digitalisiert und für die letztgültige Stauerberechnung (Version 8) mit verwendet.

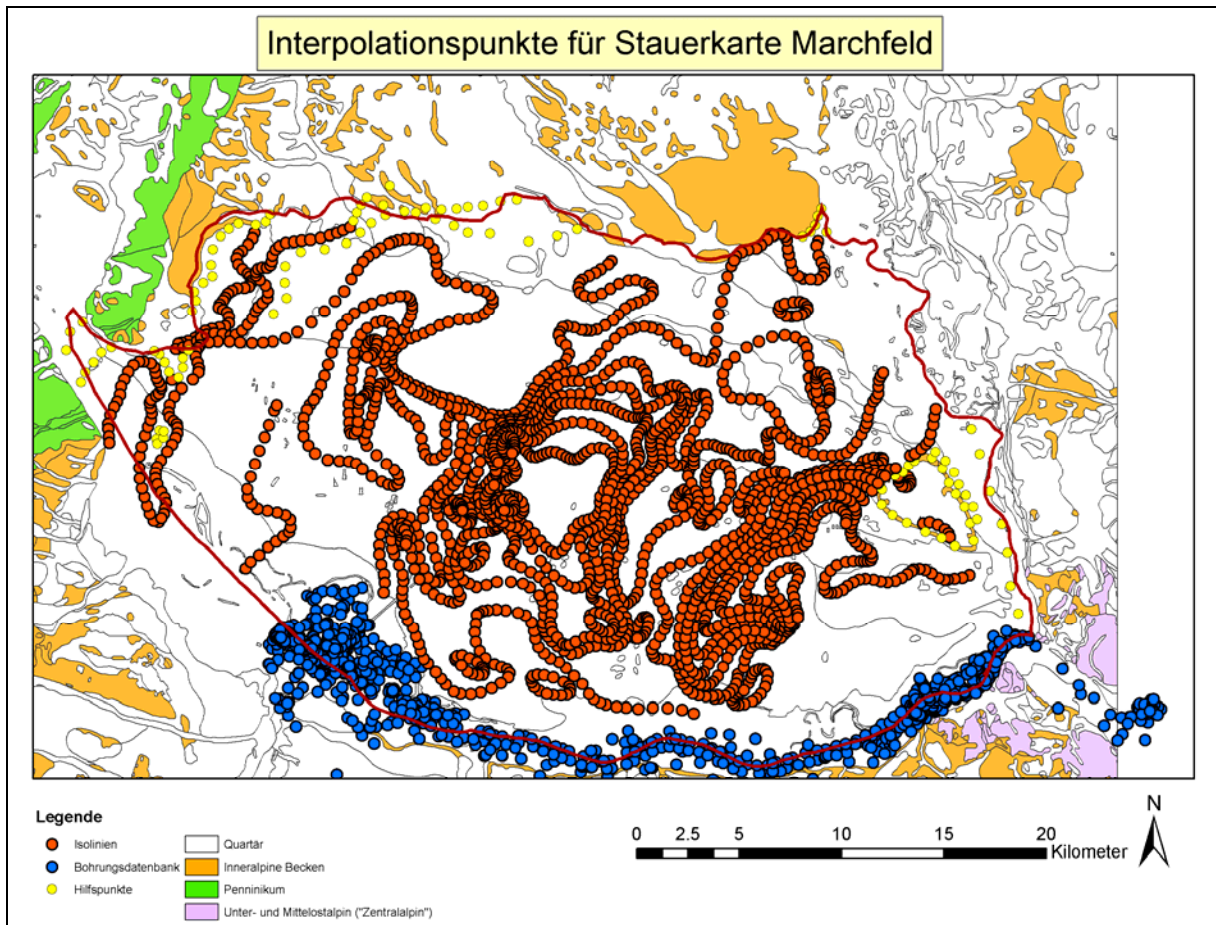


Abbildung 2: Verwendete Interpolationspunkte für die Erstellung der Stauerkarte (Anmerkung: rote Punkte sind Vertices von Isolinien)

#### 3.1.2.4 Stauerkarte

Der Raster für den Grundwasserstauer (Quartärbasis) wurde mit den Standard-Einstellungen im Spatial-Analyst von ArcGIS 9.1 erstellt. Als Ergebnis liegt der in Karte 2 dargestellte Raster (25x25 m) des Grundwasserstauers (Quartärbasis) vor.

Die drei etwa Nordost – Südwest streichenden Eintiefungen der Quartärbasis (Lasseer Senke, Obersiebenbrunner Senke, Aderklaaer Senke) sind gut zu erkennen und weisen von Westen nach



Osten eine fortschreitende Eintiefung auf. Der Hauptbruch begrenzt die Lasseer Senke im Osten und bewirkt dort eine Verwurfshöhe der Quartärbasis von bis zu 80 m.

Östlich dieses Bruches erhebt sich das vorquartäre Grundgebirge im Bereich der Schlosshofterrasse über Gelände. Die Böschung der Schlosshofterrasse wird von Neogenschichten gebildet. Die dort angetroffenen Grundwässer gehören nicht zum Hauptgrundwasserkörper, welcher in der quartären Talfüllung fließt.

Sowohl nach Nordosten als auch nach Südwesten gehen die Senkungszone in die nicht abgesenkten Bereiche über, so dass im Bereich der Donau kein ausgeprägtes Untergrundrelief vorliegt.

Das generelle Gefälle des Grundwasserstauers (Quartärbasis) ist mit Ausnahme der tektonischen Senkungsgebiete und der Hochlage des Neogens im Bereich der Schlosshof Terrasse gegen Südosten gerichtet.

### **3.1.3 Die Grundwasserneubildung über auf der Gebietsfläche infiltrierende Niederschläge**

Eine Analyse der wesentlichen Einflussgrößen auf das Grundwassersystem des Marchfeldes und dessen Dynamik ergab neben der Wechselwirkung des Grundwassers mit den Oberflächengewässern (einschließlich des Marchfeldkanals und dessen Bewirtschaftung) eine hohe Relevanz der Grundwasserentnahmen für die landwirtschaftliche Bewässerung und trotz der Lage des Marchfeldes im ostösterreichischen Trockengebiet der örtlich differenzierten Grundwasserneubildung aus infiltrierenden Niederschlägen. Aus vielen Untersuchungen (z.B. J. FANK, 1999) ist bekannt, dass diese neben den meteorologischen Rahmenbedingungen vor allem durch die auftretenden Bodenverhältnisse und der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweise und Kulturführung geprägt ist. Ziel der hier vorgestellten Arbeiten war es also einen Modellverbund zu implementieren, der es erlaubt, die räumlich und zeitlich differenzierte Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag zu berechnen (Abbildung 3).

#### **3.1.3.1 Material und Methoden**

Da flächendeckende Aussagen über das gesamte Marchfeld Ziel der Auswertungen waren, mussten Auswertemethoden gesucht werden, die es erlauben auf statistisch vorliegende Datenbestände zugreifen zu können. Kernpunkte des in Abbildung 3 dargestellten Modellverbundes sind (a) die Erfassung der landwirtschaftlichen Bewässerungssituation aus den Wasserbuchaufzeichnungen als Grundlage für die Erarbeitung der Grundwasserentnahmeganglinien (GW EG) und deren örtliche Fixierung (GW ES) sowie der Bewässerungsflächen (B-Fl.) und der Bewässerungsganglinien (B-Ggl.), (b) die Ableitung von Fruchtfolgen (FF) aus den Landnutzungserhebungen (LNS), die auf der Ebene von Katastralgemeinden verfügbar sind, (c) die Berechnung der Wasserkreislaufparameter (PM-ET RC Calc.) für die Hydrotupe (Flächen gleicher Charakteristik hinsichtlich Wetter, Boden, Bewirtschaftung) des Marchfeldes auf Basis des FAO-Penman-Monteith Algorithmus (ALLEN et al., 1998). Als Werkzeug zur Verschneidung der einzelnen geografischen Informationslayer sowie zur Gestaltung der resultierenden kartografischen Darstellungen wurde das Programmpaket ARCGIS eingesetzt. Die Übertragung der Auswertergebnisse in Randbedingungen (W-BC, RC) der Grundwasserströmungsmodellsoftware (FEFLOW) erfolgte durch eigens programmierte, mit ARCGIS gekoppelte Prozessoren (GWM-PPWBC, GWM-PPRC).

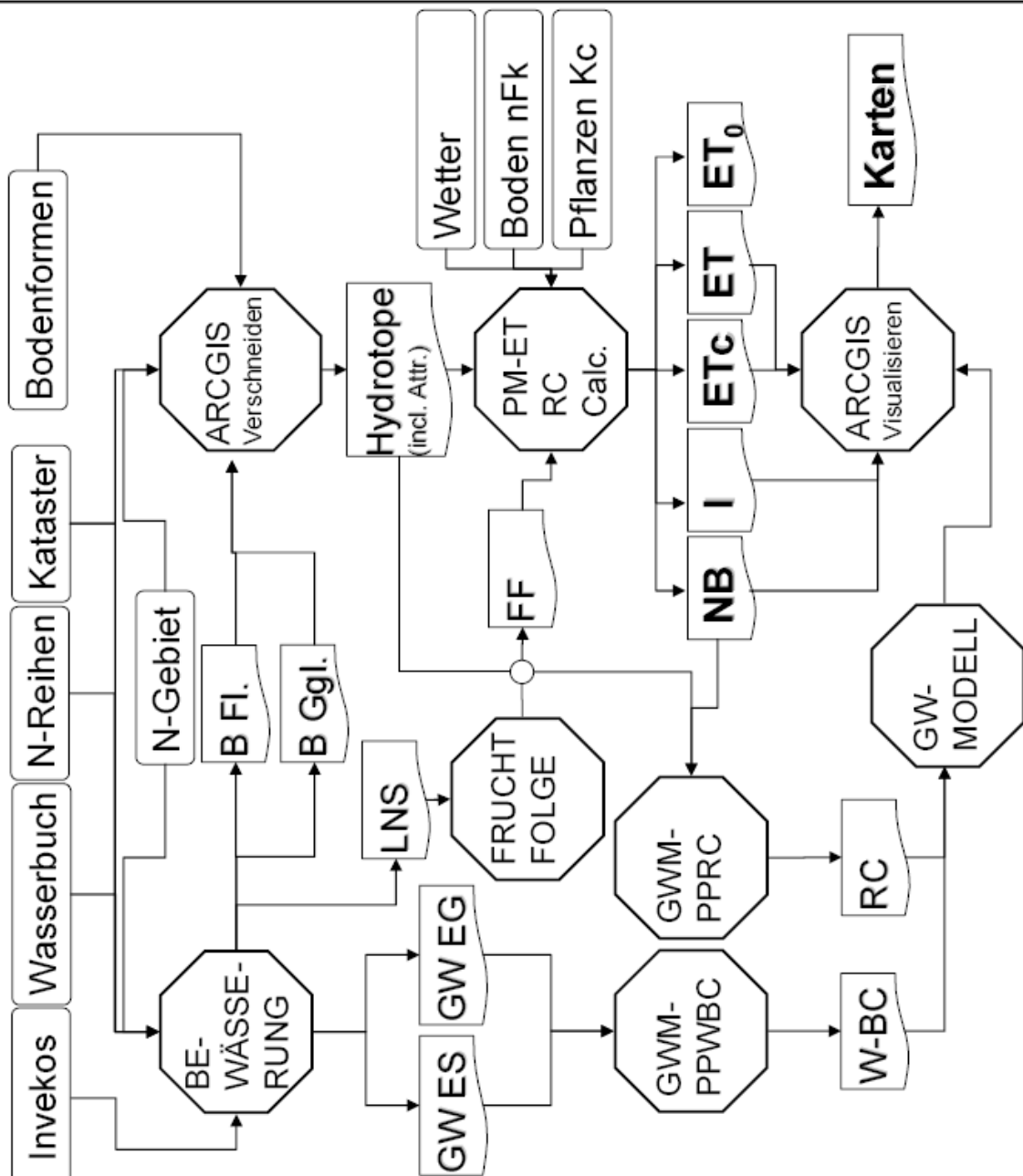
Für das Stadtgebiet von Wien wurde die Grundwasserneubildung grob abgeschätzt. Für das gesamte Stadtgebiet wurde angenommen, dass 10 % der Flächen entwässert werden (Kanal), 10 % direkt durch Versickerung in das Grundwasser eingeleitet werden und für 80 % der Flächen wurde die Grundwasserneubildung mittels Grasreferenzverdunstungsmodell ermittelt. Eine weitere räumliche Differenzierung war nicht vorgesehen.

### 3.1.3.2 Datengrundlage

Von den beiden meteorologischen Vollstationen Obersiebenbrunn und Hirschstetten (letztere Station befindet sich in Wien, südlich von Süßenbrunn) (Lage siehe Abbildung 15) wurden die Tageswerte der Parameter Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit als Eingangsdatensatz für die PENMAN-MONTEITH Berechnung verwendet. Niederschlagsganglinien über den gesamten Auswertzeitraum (1993 – 2004) standen an insgesamt 13 Messstellen zur Verfügung. Die Regionalisierung der Niederschlagsinformationen für das Marchfeld erfolgte unter Verwendung der ArcView Extension „Arealrain“, mit der aus den Punktinformationen (Niederschlagsstationen) Thiessen-Polygone und ihre Gewichtung berechnet werden.

Die Speicherkapazität des obersten Horizontes und der Wurzelzone der Böden des Marchfeldes wurden als GIS-Layer (Quelle: BA FÜR WASSERWIRTSCHAFT - INSTITUT FÜR KULTURTECHNIK UND BODENWASSERHAUSHALT in Petzenkirchen) seitens des Auftraggebers zur Verfügung gestellt (Bodenformen mit Attribut Boden nFk). Den Wald- und Siedlungsgebieten werden Bodenwasser-Speicherfähigkeiten in Anlehnung an die benachbarten landwirtschaftlich genutzten Böden zugeordnet.

Zur Auswertung der Kulturartenverteilung der einzelnen Katastralgemeinden des Marchfeldes wurden von den absoluten Flächen aus der INVEKOS-Datenbank (INVEKOS Abkürzung für „Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem“; Einführung durch EU zur Durchsetzung einer einheitlichen Agrarpolitik in den EU-Mitgliedsstaaten) die relativen Flächenanteile einer Kultur errechnet und die Kulturen, die einen Anteil von mindestens 1 % in einer Katastralgemeinde erreichen für die weitere Bearbeitung herausgefiltert. Für die resultierenden 37 Kulturarten wurden Anbau- und Erntezeitpunkte bei der Landwirtschaftskammer erhoben. Definierte Fruchtfolgen für das Marchfeld wurden aus SUPERSBERG & CEPUDER (1990) übernommen, welche in drei Anbauregionen mit vordefinierten Anteilen als Fruchtfolgemischungen (FFM) auftreten. Kulturarten mit einem Anteil von > 4 % in den einzelnen Katastralgemeinden, die in SUPERSBERG & CEPUDER (1990) nicht vorkommen werden zu agrarisch sinnvollen Einzelfruchtfolgen (FFS) kombiniert.



- Abkürzungen:**  
**N** Niederschlag  
**B FI.** Bewässerungsflächen  
**B Ggl.** Bewässerungsganglinie  
**LNS** Landnutzungsstruktur  
**GW ES** Grundwasser Entnahmestandort  
**GW EG** Grundwasser Entnahmeganglinie  
**GWM-PPWBC** Präprozessor W-BC  
**W-BC** Well Boundary Condition  
**GWM-PPRC** Präprozessor RC  
**RC** Recharge Boundary Condition  
**FF** Fruchtfolge  
**nFk** nutzbare Feldkapazität  
**Kc** Verdunstungskoeffizienten  
**PM-ET RC Calc.** Wasserbilanz Berechnungsmodul  
**NB** Grundwasserneubildung  
**ET** Verdunstungsformen  
**I** optimale Bewässerung

Abbildung 3: Modellverbund zur Definition räumlich und zeitlich differenzierter Wasserbilanzglieder und der Grundwasserneubildung für das Marchfeld

### 3.1.3.3 Landwirtschaftliche Bewässerung

Die Grundwasserentnahmen zu Bewässerungszwecken wurden auf Basis von Bewilligungsbescheiden aus dem digitalen Wasserbuch der niederösterreichischen Landesregierung – Bewässerungsart mit jährlichem Zeitraum und Menge sind im Bescheid vorhanden – ermittelt. Die unterschiedlichen Kulturen der einzelnen Katastralgemeinden, sowie die Entnahmeflächen und die bewässerten Parzellen in den Katastralgemeinden werden aus den Bewilligungsbescheiden abgeleitet, um die tatsächlichen Entnahmeflächen (Abbildung 4a) und Bewässerungsgebiete (Abbildung 4b) durch Verschnitt mit dem Grundstückskataster eingrenzen zu können. Insgesamt ergeben sich für das Untersuchungsgebiet 4290 Grundstücke auf denen Grundwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung entnommen wird. Jeder Grundwasserentnahmefläche wird ein bzw. in manchen Fällen mehrere Bewässerungsbrunnen als Entnahmeort für das Grundwassermodell zugeordnet. Aus diesen Entnahmeflächen werden insgesamt 12344 potentiell bewässerte Grundstücke versorgt.

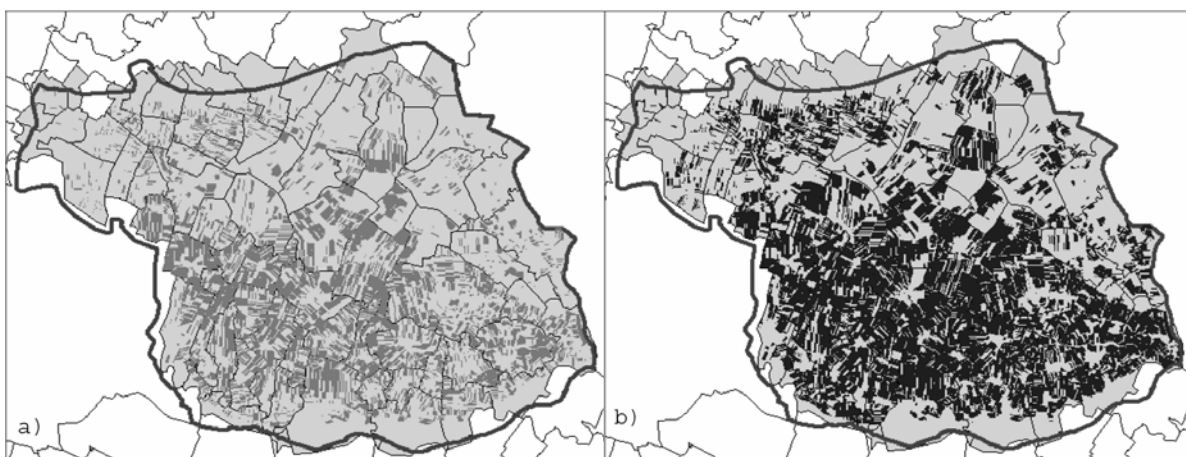


Abbildung 4: Ergebnisse der Auswertung der Wasserbuchaufzeichnungen im niederösterreichischen Teil des Marchfeldes hinsichtlich der landwirtschaftlichen Bewässerung  
a) Katasterparzellen (dunkelgrau) mit Bewässerungsbrunnen  
b) Katasterparzellen (schwarz), auf denen eine Bewässerung bewilligt ist.

Die Bewässerungshöhe und der Bewässerungszeitraum der einzelnen Kulturen werden aus SUPERSBERG & CEPUDER (1990) sowie aus den Wasserbucheintragen abgeleitet. Die Jahresbewässerungsmengen werden auf den Bewässerungszeitraum unter Berücksichtigung unterschiedlichen Wasserbedarfs der Kulturen in den einzelnen Bewässerungsmonaten aufgeteilt. Die resultierenden Ganglinien einer potentiellen (täglichen) Bewässerung für jede Katastralgemeinde und jedes Einzugsgebiet einer Niederschlagsstation (Thiessen-Polygone) – insgesamt 139 Ganglinien - werden um den Niederschlag vermindert, indem an allen Tagen an denen die Niederschlagsmenge  $> 5 \text{ mm}$  ist oder die durchschnittliche Verdunstungsleistung ( $5 \text{ mm d}^{-1}$ ) das Wasserdargebot des aktuellen und der vorangegangenen Tage nicht voll ausschöpft, keine Berechnung durchgeführt wird. Der Ausnützungsgrad der wasserrechtlich bewilligten Bewässerungskonsense variiert im Mittel über den gesamten Auswertzeitraum (1993 - 2004) zwischen 64 und 71 % (siehe Kap. 3.1.4).

### 3.1.3.4 Ermittlung der Wasserbilanzglieder

Die hier vorgestellte Auswertemethode beruht auf der Lösung der Wasserbilanzgleichung  $P+I-ET-D-\Delta S=0$  ( $P$ =Niederschlag,  $I$ =Bewässerung,  $ET$ =aktuelle Verdunstung,  $D$ =Grundwasserneubildung,  $\Delta S$ =Änderung des gespeicherten Bodenwassers; alle Parameter in mm) des Wurzelraumes für einen Tag und einen ebenen Standort mit homogenen Wetter-, Vegetations- und Bodeneigenschaften. Das von ALLEN et al. (1998) vorgestellte Verfahren zur Ermittlung des Pflanzenwasserbedarfs wurde um ein selbst entwickeltes Einschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell nach dem Speicher-Überlaufkonzept erweitert.

Der Berechnungsablauf zur Ermittlung der Wasserbilanzglieder für ein Hydrotop und eine Kulturart auf einem definierten Boden, der durch den verfügbaren Bodenwasserspeicher charakterisiert wird, ist in Abbildung 5 dargestellt. Die erforderlichen meteorologischen Input-Daten – Tagesminimum und Tagesmaximum der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte, Tagesmittelwert der Windgeschwindigkeit und Tagessumme der Globalstrahlung – der verwendeten Wetterstationen sowie die Niederschlags- und Bewässerungszeitreihen werden in einer Zeitreihen-Datenbank (DB Weather) vorgehalten. Pflanzenkennwerte aller in der Auswertung auftretenden Kulturpflanzen (tabellierte Pflanzen-Transpirationskoeffizienten, Zeitpunkte der Pflanzenentwicklungsstadien und mittlere Pflanzenwuchshöhe aus ALLEN et al. (1998)) sind aus einer Pflanzendatenbank (DB-Plants) verfügbar und die erforderlichen Bodendaten – die nutzbare Feldkapazität des oberflächennahen Bodenlayers (sSSL) und die nutzbare Feldkapazität des Wurzelraumes (sSRL) werden in einer Bodendatenbank (DB Soil) vorgehalten. Die Datenbanken sind Eigenentwicklungen auf Basis MS-ACCESS. Für jedes Hydrotop und jeden Zeitschritt (1 Tag) wird aus den meteorologischen Daten und den Lageinformationen der Station (Seehöhe und geographische Länge) unter Verwendung des FAO-Penman-Monteith Verfahrens die Gras-Referenzverdunstung ( $ET_0$ ) berechnet. Unter Berücksichtigung des Pflanzenentwicklungsstadiums und der Wuchshöhe der aktuell vorliegenden Kulturpflanze zum Auswertedatum wird der tabellierte Pflanzen-Transpirationskoeffizient mit aktuellen Wetterinformationen regionalspezifisch korrigiert und daraus der Pflanzen-Transpirationskoeffizient ( $K_{cb}$ ) berechnet. Die Tageswasserbilanz der obersten Bodenschicht mit einer Mächtigkeit von 10 cm (WB SSL) errechnet den Evaporationskoeffizienten ( $K_e$ ) für den auszuwertenden Tag. Die potentielle Pflanzentranspiration ( $T_c$ ) errechnet sich dann aus  $ET_0 \cdot K_{cb}$ , die Evaporation ( $E$ ) aus  $ET_0 \cdot K_e$ , die potentielle Evapotranspiration ( $ET_c$ ) ist die Summe aus  $E+T$ . Aus der Tageswasserbilanz für den aktuell vorliegenden Wurzelraum (WB SRL) wird der Wasserstresskoeffizient berechnet und die  $T_c$  auf die aktuelle Transpiration ( $T$ ) abgemindert. Die aktuelle Evapotranspiration ( $ET$ ) errechnet sich als Summe von  $E+T$ . Aufgrund der Kenntnis des aktuell herrschenden Bodenwasserspeicherzustandes kann zu jedem Zeitpunkt auch die erforderliche Wassermenge für eine optimale Bewässerung ( $I_{opt}$ ) errechnet werden – Ober- und Untergrenze des Speicherdefizites im Boden sind pflanzenabhängig und daher einstellbar. Diesem FAO-Verdunstungsberechnungsmodul ist ein Bodenwasserhaushaltsmodell nachgeschaltet, in dem aus der Tageswasserbilanz für den gesamten Wurzelraum (RC Calc.) die Grundwasserneubildung im aktuellen Zeitschritt berechnet wird. In einem

konkreten Rechenlauf wird dieses Verfahren für beliebig aufeinander folgende Zeitschritte angewandt, wobei die Kulturdaten von Fruchtfolgen lückenlos hintereinander zu schalten sind. Als Initial-Bedingungen des Bodenwasserspeichers sind entweder gesättigte oder sehr trockene Ausgangszustände wählbar.

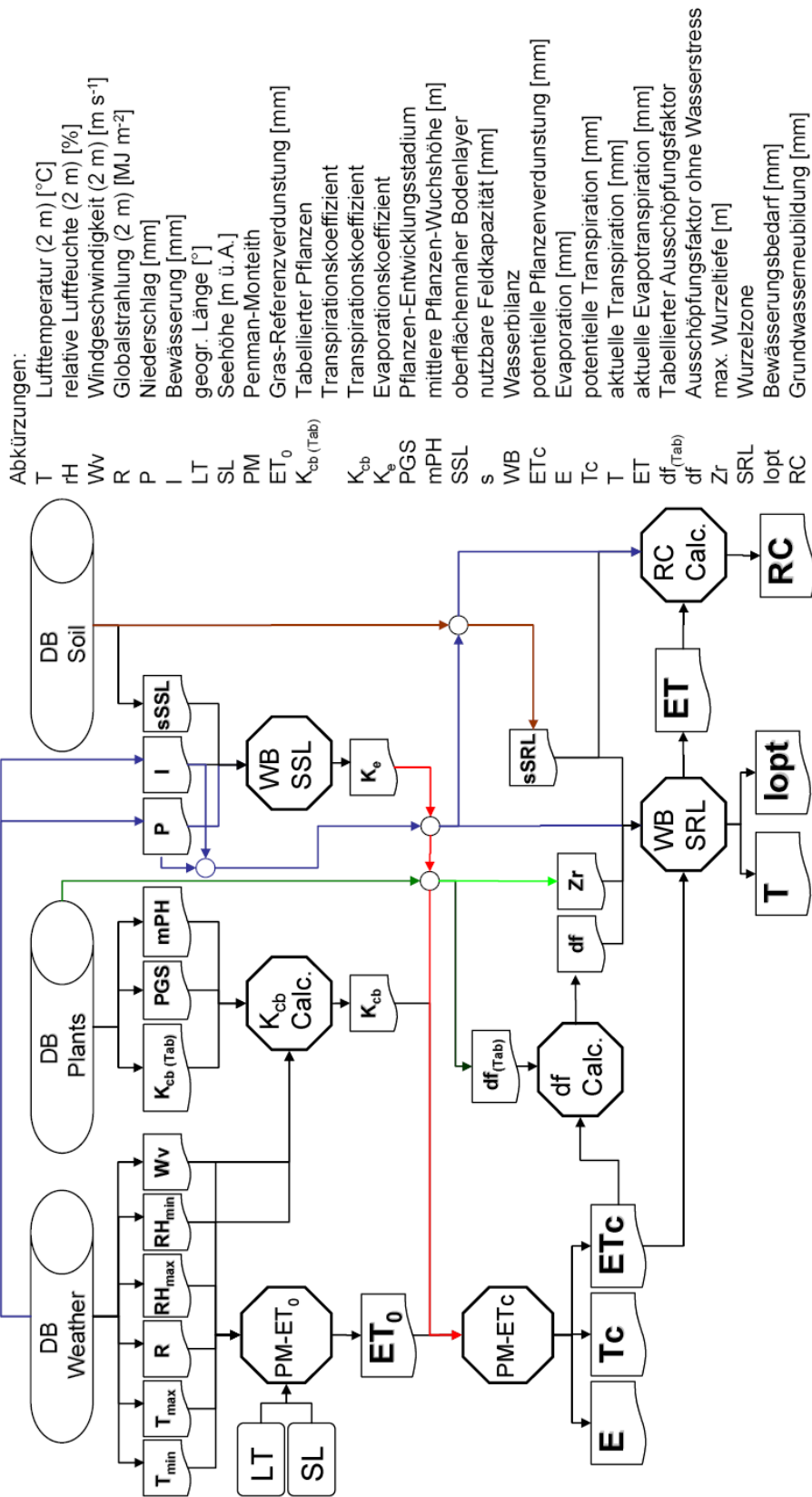


Abbildung 5: Flussdiagramm zur Berechnung der Wasserbilanzglieder und der Grundwasserneubildung eines Hydrotops in einer Vegetationsperiode



Während für eindeutig definierte Fruchtfolgen, wie Einzelfruchtfolgen aber auch Wald, Gewässer und Siedlung aus der Landnutzungsauswertung, dieses hier skizzierte Verfahren direkt angewendet werden kann, erfordern Fruchtfolgenmischungen wie in Abbildung 6 dargestellt eine spezifische Behandlung. Da in diesem Fall die Verortung der einzelnen Fruchtfolgen nicht bekannt ist, sondern nur deren Anbauregion, werden alle Fruchtfolgen für alle in dieser auftretenden Wetter- und Bodeneigenschaften berechnet und die Ergebnisse danach im „Ergebnismixer“ entsprechend der Flächenverteilungen zusammengeführt (Erg.-Mixer). Dadurch ist gewährleistet, dass alle möglichen Fruchtfolgeglieder unter den unterschiedlichen Standortbedingungen Berücksichtigung finden und als Ergebnis für eine Anbauregion typische statistisch berechnete mittlere Wasserbilanzglieder vorliegen.

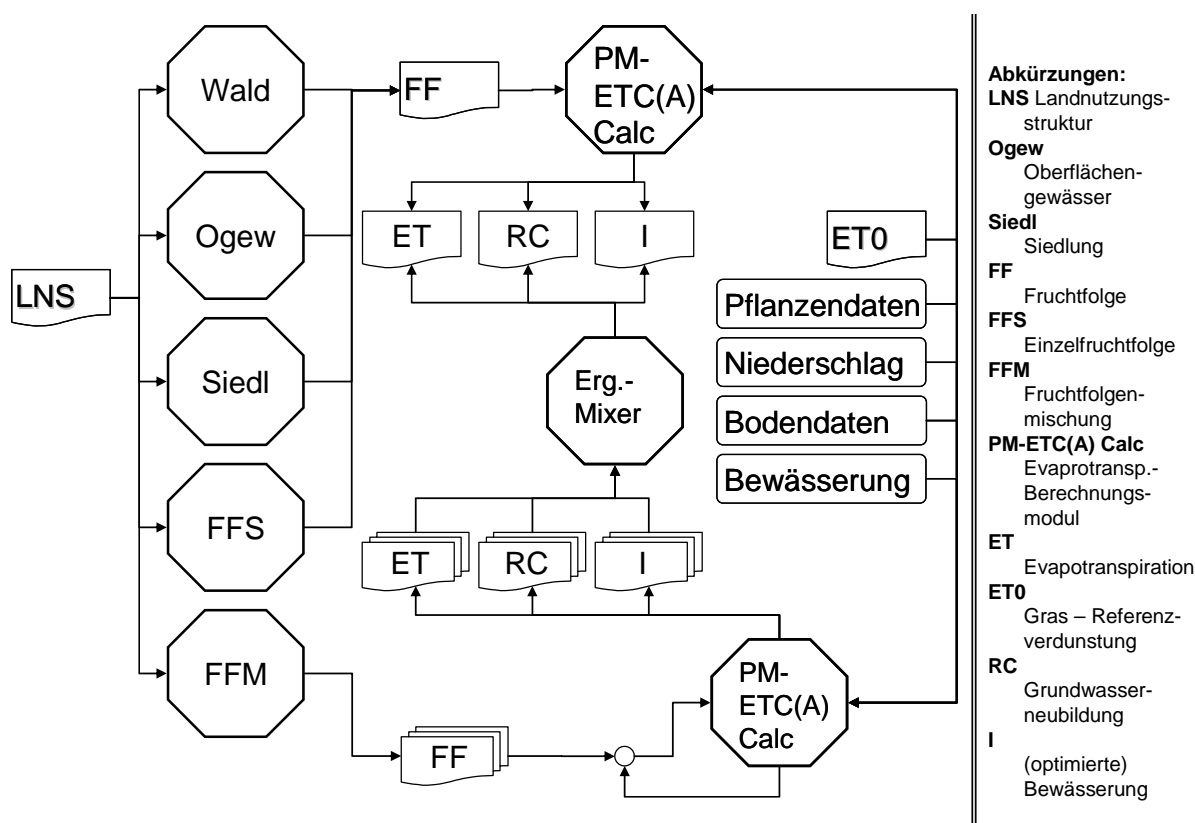


Abbildung 6: Behandlung unterschiedlicher Landnutzungsstrukturen und Fruchtfolgen

Ein weiteres Problem, das einer Sonderbehandlung zugeführt werden muss, stellt die Fruchtfolgerotation dar. Die Einzelfruchtfolgen wurden aus einer Auswertung von Kulturartenverteilungen auf Katastralgemeindeebene erarbeitet. Somit ist zwar die grundsätzliche Verortung der Fruchtfolge möglich, allerdings ist nicht bekannt, in welcher Reihenfolge die Fruchtfolgeglieder auf den einzelnen Feldern der landwirtschaftlichen Nutzfläche geführt werden. In Abbildung 7 ist die Auswirkung unterschiedlicher Rotation der Fruchtfolgeglieder auf die Grundwasserneubildung eines Feldverbundes mit gleichen Bodenverhältnissen ( $n_{Fk} = 100 \text{ mm}$ ) dargestellt. Während bei der gewählten Fruchtfolge im Mittel über den Auswertezitraum (MW in Abbildung 7) von 12 Jahren die Grundwasserneubildung in den einzelnen Feldern nur wenig variiert, sind die jährlichen Neubildungsraten in Abhängigkeit von der gewählten Rotation der

Fruchtfolgeglieder signifikant abhängig. So liegt im Extremfall des Jahres 1996 die Grundwasserneubildung unter Körnermais bei 232 mm, unter Winterweizen nur bei 112 mm, die Differenz liegt demnach bei 120 mm. Dieses Problem wird nun in der praktischen Anwendung dadurch gelöst, dass jede Einzelfruchtfolge auf einem Hydrotop derart rotiert wird, dass das Anfangsglied der Fruchtfolge immer um eine Fruchtfolgeperiode verschoben wird. Jedes Hydrotop wird praktisch in so viele Felder zerlegt, wie unterschiedliche Fruchtfolgeglieder auftreten, die Wasserbilanzglieder für jedes Feld gesondert berechnet und danach jeweils der Mittelwert (MIX in Abbildung 7) über die Einzelrechnungen für alle Bilanzglieder gebildet.

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	MW	
Feld 1	93	37	176	112	136	229	36	121	91	222	27	101	115	Weizen
Feld 2	86	38	130	115	133	213	133	61	63	309	27	95	117	Winterweizen
Feld 3	121	10	127	138	83	177	89	69	96	172	76	87	104	Zuckerrübe
Feld 4	92	37	197	140	128	230	36	93	73	249	27	101	117	Kartoffel
Feld 5	103	19	102	232	126	173	118	42	105	154	27	75	106	Körnermais
Feld 6	75	39	130	117	177	223	88	61	63	270	27	115	115	
MIX	95	30	144	142	131	207	83	75	82	229	35	96		

Abbildung 7: Auswirkung unterschiedlicher Rotation der Fruchtfolgeglieder auf die Grundwasserneubildung eines Feldverbundes

### 3.1.3.5 Ergebnisse

#### 3.1.3.5.1 Die klimatische Wasserbilanz des Marchfeldes

Zur Berechnung der klimatischen Wasserbilanz des Marchfeldes wurden die Layer „Meteorologie“, „Niederschlag“, „Bewässerung“, „Bodenwasserspeicher“ und „Fruchtfolge“ mit Hilfe von ARCGIS verschnitten und 2898 Hydrotope mit gleichen Charakteristika generiert. Für diese Hydrotope wurden nach dem in Kap. 3.1.3.4 dargestellten Verfahren die täglichen Wasserbilanzglieder berechnet. Im gesamten Marchfeld treten diese Hydrotope in insgesamt 44448 Polygonen auf. Zur Stabilisierung des Systems aufgrund unsicherer Ausgangsbedingungen des Wassergehaltes wurde eine Vorlaufzeit von einem Jahr berechnet.

In Tabelle 3 ist die mittlere klimatische Wasserbilanz des Marchfeldes über den Zeitraum 01.01.1993 bis 31.12.2004 zusammenfassend in unterschiedlichen Einheiten dargestellt. Als Systeminput wurde eine Niederschlagshöhe von 557 mm oder annähernd  $16400 \text{ l s}^{-1}$  ermittelt. Dazu ist aktuell von einer Bewässerungshöhe von 39 mm ( $\sim 1100 \text{ l s}^{-1}$ ) auszugehen. Die wasserrechtlich genehmigte Bewässerungsmenge aus dem Grundwasser des Marchfeldes liegt bei  $56.5 \text{ Mio. m}^3 \text{ a}^{-1}$ , die aktuelle bei  $36.2 \text{ Mio.}$ , der mittlere Ausschöpfungsgrad liegt demnach bei 64 %. Den Inputmengen aus Niederschlag und Bewässerung steht eine aktuelle Gebietsverdunstung von 536 mm oder etwa

15800 l s<sup>-1</sup> gegenüber. Diese aktuelle Verdunstung weist gegenüber der potentiellen ein Defizit von 149 mm auf. Die Grundwasserneubildung liegt im 12jährigen Gebietsmittel bei 54 mm oder 1580 l s<sup>-1</sup>.

*Tabelle 3: Die mittlere klimatische Wasserbilanz des Marchfeldes (Periode 1993 – 2004) nach unterschiedlichen Einheiten*

	mm	m <sup>3</sup> y <sup>-1</sup>	l s <sup>-1</sup>
<b>Niederschlag</b>	557	5.16E+08	16361
<b>Bewässerung</b>	39	3.62E+07	1149
<b>Gras-Referenzverdunstung</b>	772	7.15E+08	22682
<b>Potentielle Verdunstung</b>	685	6.35E+08	20136
<b>Aktuelle Verdunstung</b>	536	4.97E+08	15751
<b>Grundwasserneubildung</b>	54	4.98E+07	1580

Die zeitliche Entwicklung der Wasserkreislaufparameter für ein bewässertes Hydrotop mit einer Bodenwasserspeicherfähigkeit von 100 mm und den angeführten Fruchtfolgegliedern ist in Abbildung 8 dargestellt. In tabellarischer Form sind die Jahressummen der Wasserbilanzglieder für die Einzeljahre der Periode 1993 bis 2004 sowie die mittleren Jahressummen angeführt. Obwohl die Summenkurven über die Zeit optisch einen sehr regelmäßigen Verlauf zeigen, ist aus den Jahreswerten deutlich die für dieses Klimagebiet typische hohe Variabilität gerade der Grundwasserneubildung (Werte zwischen 33 und 298 mm a<sup>-1</sup>) erkennbar. Deutlich sichtbar ist auch, dass die Wasserbilanz nicht in jedem Jahr ausgeglichen ist, das größte Jahresdefizit beträgt im Jahr 2003 -46 mm.

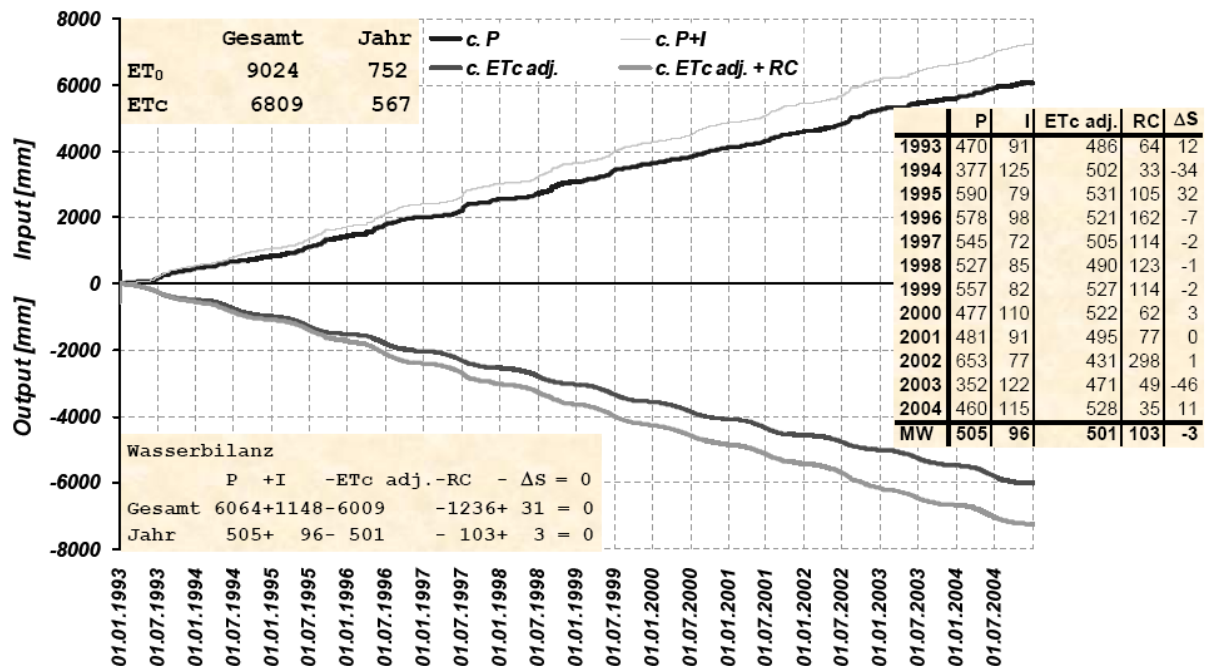


Abbildung 8: Zeitliche Entwicklung der Wasserkreislaufparameter eines Hydrotops bei aktueller Bewässerung und einer Bodenspeicherkapazität von 100 mm. Die zugrunde liegende Fruchtfolge setzt sich aus den Gliedern Zuckerrübe, Kartoffel, Winterweizen, Winterweizen, Winterweizen, Zuckerrübe, Körnermais, Winterweizen, Weizen, Winterweizen zusammen.

Diese zeitliche Variabilität der Bilanzglieder sowohl auf Tageswert-Basis als auch in Jahressummenwerten ist neben der relativ geringen Variabilität des Niederschlagsgeschehens in erster Linie von der Bewässerung, den Bodenverhältnissen und in besonderem Maß von der Art und der zeitlichen Aneinanderreihung der verschiedenen Fruchtfolgeelemente abhängig.

Eine Aufteilung der Grundwasserneubildung in unterschiedlichen, regelmäßig linear abgestuften Klassen, wie in Abbildung 9 dargestellt, zeigt, dass der überwiegende Teil des Marchfeldes durch eine mittlere Jahresneubildung von 50 - <75 mm (etwa 45 % der Gesamtfläche) charakterisiert werden kann. Die Hydrotöpfe mit einer Grundwasserneubildung von < 75 mm a<sup>-1</sup> nehmen in Summe mehr als 83 % der Gesamtfläche des Marchfeldes ein. Flächen mit hohen mittleren jährlichen Grundwasserneubildungsraten (> 100 mm a<sup>-1</sup>) sind nur in einem untergeordneten Ausmaß von etwa 5 % vertreten.

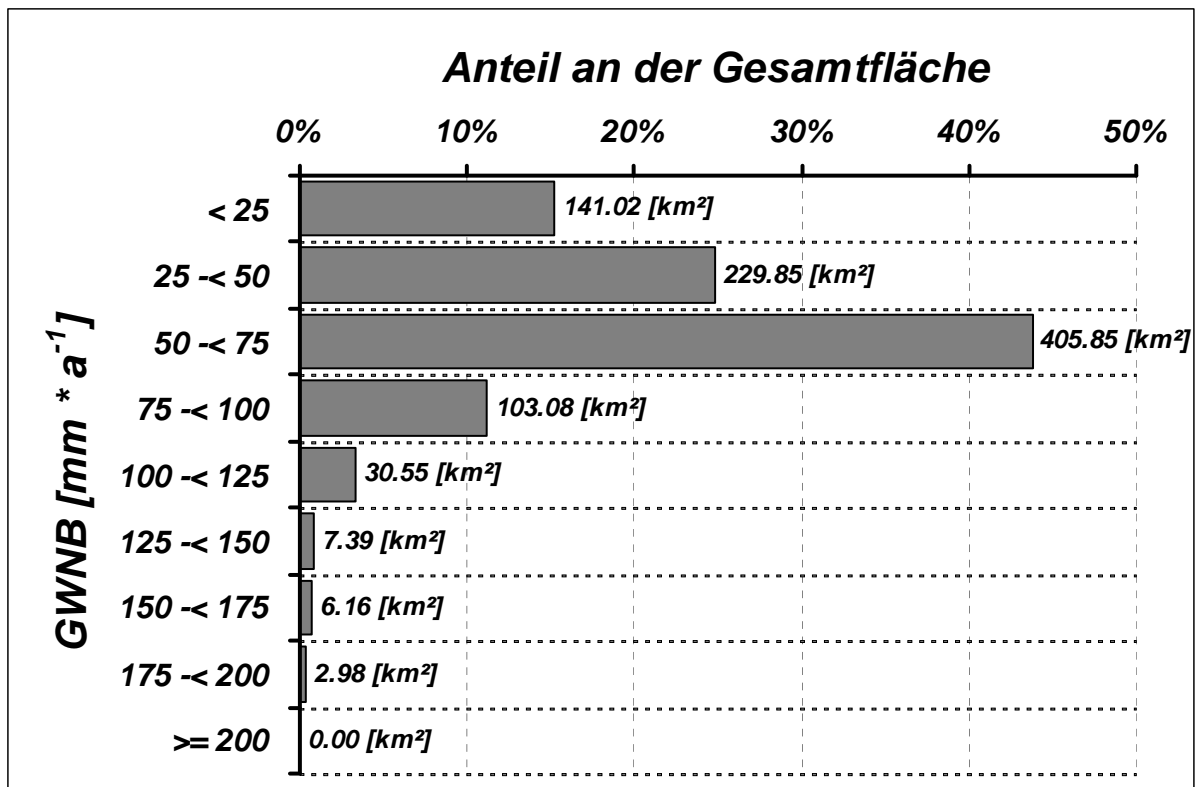


Abbildung 9: Grundwasserneubildungsklassen und deren Flächenanteile sowie deren Absolutflächen im Marchfeld

In Abbildung 10 ist schließlich die flächenhafte Verteilung der mittleren Jahressumme der Grundwasserneubildung des Marchfeldes bei der im Auswertzeitraum vorliegenden landwirtschaftlichen Bewässerungssituation dargestellt. Die räumliche Variabilität, berechnet aus der räumlichen Verteilung der 2898 Hydrotope auf 44448 Teilflächen reicht von < 50 mm bis > 150 mm und ist in der unterschiedlichen Verteilung der Niederschläge, im differenzierten Bodenwasserspeicher, der unterschiedlichen Bewässerung sowie der unterschiedlichen Landnutzung begründet. Aus Darstellungsgründen wurde nur noch eine Untergliederung der Grundwasserneubildung in vier Neubildungsklassen vorgenommen.

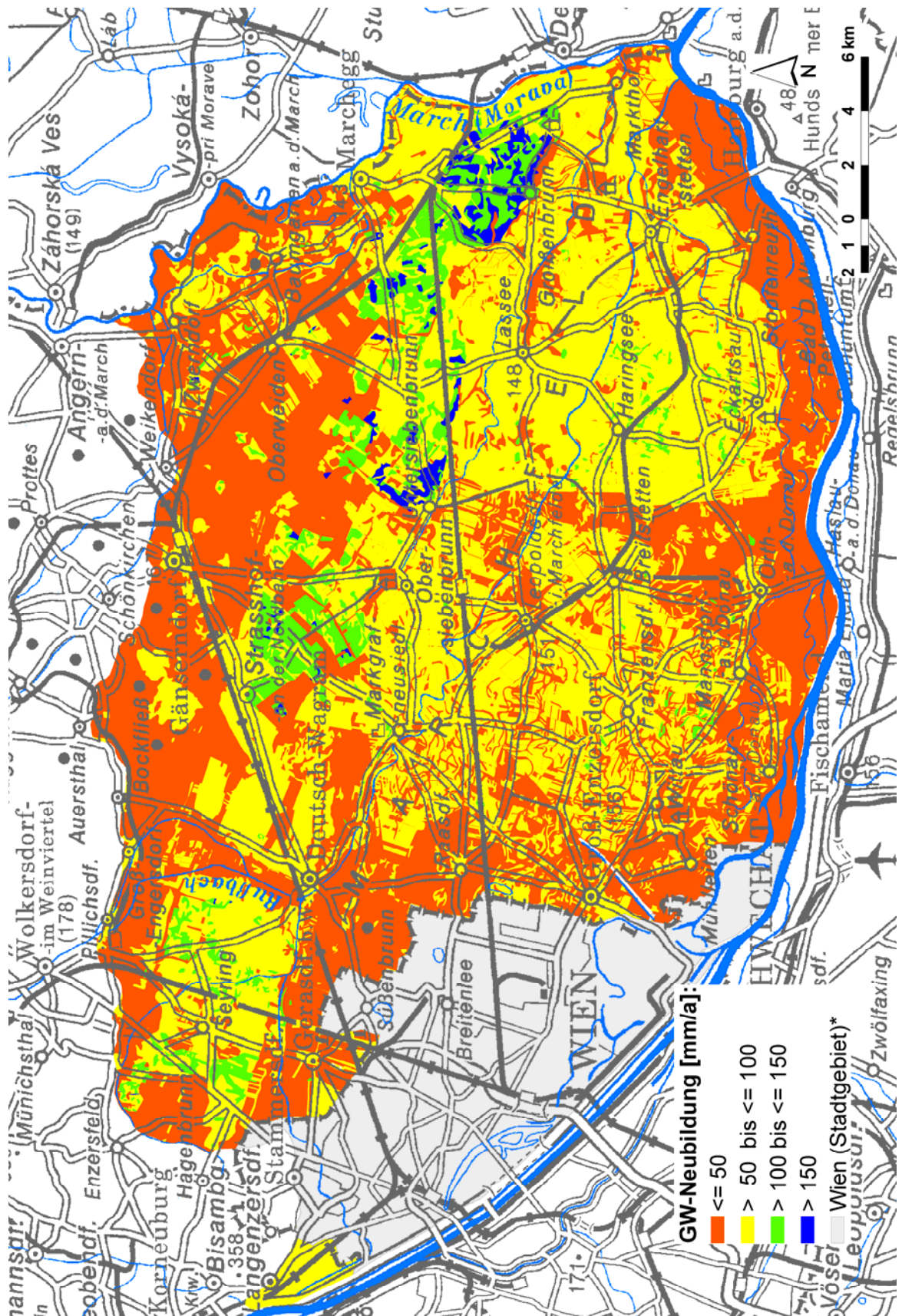


Abbildung 10: Verteilung der mittleren Jahressumme der Grundwasserneubildung im Marchfeld (Periode 1993 – 2004) \*Abschätzung für Wien siehe Kap. 3.1.3.1.

Sowohl diese räumliche Heterogenität als auch die oben diskutierte zeitliche Variabilität der Anreicherung des Grundwassers über infiltrierende Niederschläge zeigen die Notwendigkeit einer detaillierten Analyse und Auswertung aller vorhandenen Informationen als Basis für die instationäre Kalibration von regionalen Grundwasserströmungsmodellen. Werden diese Daten nicht verfügbar gemacht, müssen die Defizite im Rahmen der Kalibration der Systemparameter des Grundwassermodells kompensiert werden.

### 3.1.3.5.2 Auswirkung unterschiedlicher Bewässerungsszenarien

Zusätzlich zur aktuellen klimatischen Wasserbilanz des Marchfeldes wurden mit dem hier vorgestellten Modellverbund verschiedene Szenarien der landwirtschaftlichen Bewässerung berechnet und der Vergleich der mittleren Wasserbilanzgrößen des Zeitraumes 1993 bis 2004 im Marchfeld in Abbildung 11 dargestellt. Alle Angaben werden dabei in Millionen m<sup>3</sup> Wasser je Jahr angeführt.

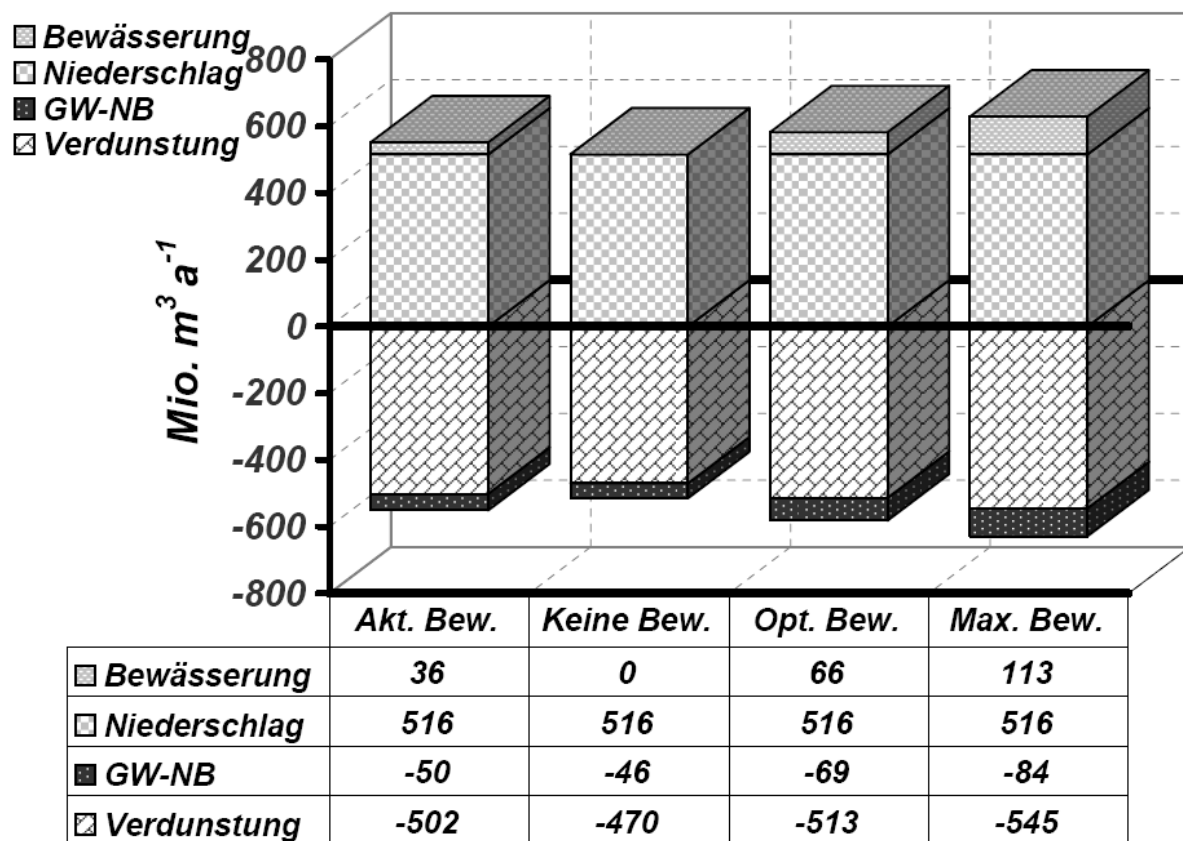


Abbildung 11: Vergleich der mittleren Wasserbilanzgrößen im Marchfeld (Periode 1993 – 2004) für verschiedene Bewässerungsszenarien

Die unterschiedlichen berechneten Szenarien waren (1) Aktuelle Bewässerung wie in Kap. 3.1.3.5.1 angeführt, (2) Keine Bewässerung aus dem Grundwasser, (3) Optimale Bewässerung als Rechenergebnis des Modellverbundes unter der Annahme, dass alle in Variante 1 bewässerten



Flächen optimal mit Wasser versorgt werden und (4) Maximale Bewässerung mit der Annahme, dass die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche optimal bewässert wird.

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen, dass neben der Verdunstung, also der Pflanzenwasserverfügbarkeit auch die Grundwasserneubildung von der Höhe der Bewässerung beeinflusst wird. So würde der Verzicht auf Bewässerung eine Reduktion der Grundwasserneubildung von 4 Mio. m<sup>3</sup> bewirken, allerdings würde die Grundwasserentnahme um 36 Mio. m<sup>3</sup> zurückgehen. Eine optimale Bewässerung der aktuell bewässerten Flächen würde eine Erhöhung der Grundwasserneubildung um 19 Mio. m<sup>3</sup> bei gleichzeitigem Anstieg des Wasserbedarfs um 30 Mio. m<sup>3</sup> hervorrufen.

### **3.1.3.6 Schlussfolgerungen**

Für die Ermittlung der räumlich und zeitlich differenzierten Grundwasserneubildung als obere Randbedingung für die Grundwassermodellierung, spielt auch die räumliche und zeitliche Differenzierung der landwirtschaftlichen Bewässerung im Marchfeld eine bedeutende Rolle, letztere nicht nur als Einflussgröße der Grundwasseranreicherung, sondern auch und in besonderem als Grundwasserentnahme über die Bewässerungsbrunnen. Durch die gezielte Auswertung der wasserrechtlichen Bewilligungsbescheide für die landwirtschaftliche Bewässerung aus dem Grundwasser unter Berücksichtigung der Anbauverhältnisse und der Korrektur der Ergebnisse über die im Untersuchungszeitraum 1993 bis 2004 herrschenden Niederschlagsverhältnisse konnten Ganglinien der Bewässerungsentnahme aus verorteten Entnahmestandorten generiert werden (siehe Kap. 3.1.4).

Die Erstellung der klimatischen Wasserbilanz auf Tagesbasis unter Berücksichtigung der Witterungsbedingungen, der Bewässerung, der Bodenverhältnisse und der Kulturführung der Landwirtschaft unter Verwendung von allgemein zugänglichen Daten ergab Tageswerte der Wasserbilanzglieder Niederschlag, Bewässerung, Verdunstung und Grundwasserneubildung für über 44000 Einzelflächen im Marchfeld. In Abbildung 12 ist der zeitliche Verlauf dieser Parameter für ein Hydrotop ohne Bewässerung mit 100 mm Bodenwasserspeicherkapazität dargestellt.

Wie die Ganglinie der Grundwasserneubildung in Abbildung 12 zeigt, sind in Abhängigkeit von bestimmten Witterungsbedingungen und dem Zusammentreffen mit bestimmten Kulturarten auch kurzfristig relative hohe Neubildungsraten zu erwarten, welche auf die Dynamik des Grundwasserkörpers naturgemäß einen großen Einfluss ausüben. Aufgrund des gewählten Modells zur Ermittlung der Neubildung – ein Kapazitätsmodell für den gesamten Bodenwasserspeicher des Wurzelraumes – kann dieses Ergebnis nur als eine möglichst gute Anschätzung der wahren Verhältnisse gewertet werden, die zeitliche Akzentuierung der Neubildung ist höher als in der Realität. Die gewählte Methode stellt allerdings ein Verfahren dar, das es erlaubt in einem vertretbaren zeitlichen und finanziellen Rahmen auf Basis von vorliegenden Daten bestmöglich wesentliche



Eingangsparameter für die Grundwasserströmungsmodellierung zu generieren und damit die Aussagesicherheit des Modells deutlich zu erhöhen. Ein Ersatz des Kapazitätsmodells durch ein numerisches Modell der ungesättigten Zone wäre denkbar, hätte jedoch für dessen Erstellung und Parametrisierung den Zeitrahmen und die Kosten des Projektes wesentlich überschritten.

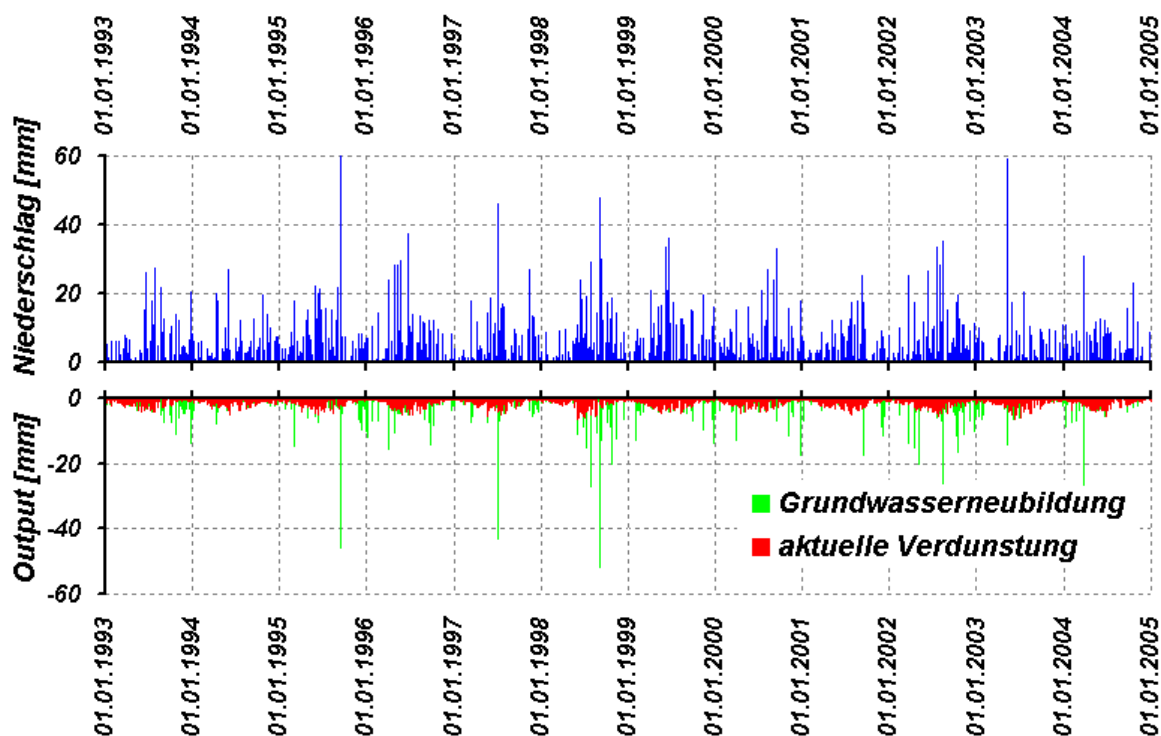


Abbildung 12: Ganglinien des Niederschlags, der aktuellen Verdunstung und der Grundwasserneubildung eines Hydrotops mit der Modellfruchtfolge und einem Boden mit 100 mm nutzbarer Feldkapazität als Input für das Grundwasserströmungsmodell.

### 3.1.4 Ermittlung der Bewässerungsentnahmen aus dem Grundwasser

#### 3.1.4.1 Ziel und Methodik

Die Ermittlung der Bewässerungsentnahmen dienen als Grundlage für die Berechnung der Grundwasserneubildung (siehe 3.1.3). Außerdem werden die ermittelten Entnahmen als Modellrandbedingung verwendet (siehe 3.1.5.). Unter Berücksichtigung von Klimadaten (Niederschlag, Temperatur) und Landnutzungsinformationen (Fruchtfolgen) wurde für das Modellgebiet (auf Katastralgemeindebasis) Bewässerungsganglinien für den Zeitraum 1992-2004 erstellt.

Dazu werden die Wassermengen (ausschließlich Grundwasserentnahmen, kein Oberflächenwasser) zu Bewässerungszwecken auf Basis von Bewilligungsbescheiden aus dem digitalen Wasserbuch der niederösterreichischen Landesregierung ermittelt. Die unterschiedlichen Kulturen der einzelnen Katastralgemeinden, sowie die Entnahmeflächen und die bewässerten Flächen in den

Katastralgemeinden werden erhoben, um die tatsächlichen Bewässerungsgebiete und Entnahmestandorte eingrenzen zu können.

Die Ganglinien – für jede Katastralgemeinde und jedes Einzugsgebiet einer Niederschlagsstation (Thiessen-Polygone) – einer potentiellen (täglichen) Bewässerung werden um den Niederschlag vermindert. Diese Daten werden über ein GIS-System verortet und mit einer zusätzlichen Verschneidung mit der nutzbaren Feldkapazität für die Ermittlung der Grundwasserneubildung aufbereitet. Die Methodik zur Ermittlung der Bewässerungsmengen wird in Abbildung 13 an Hand eines Flussdiagramms veranschaulicht.

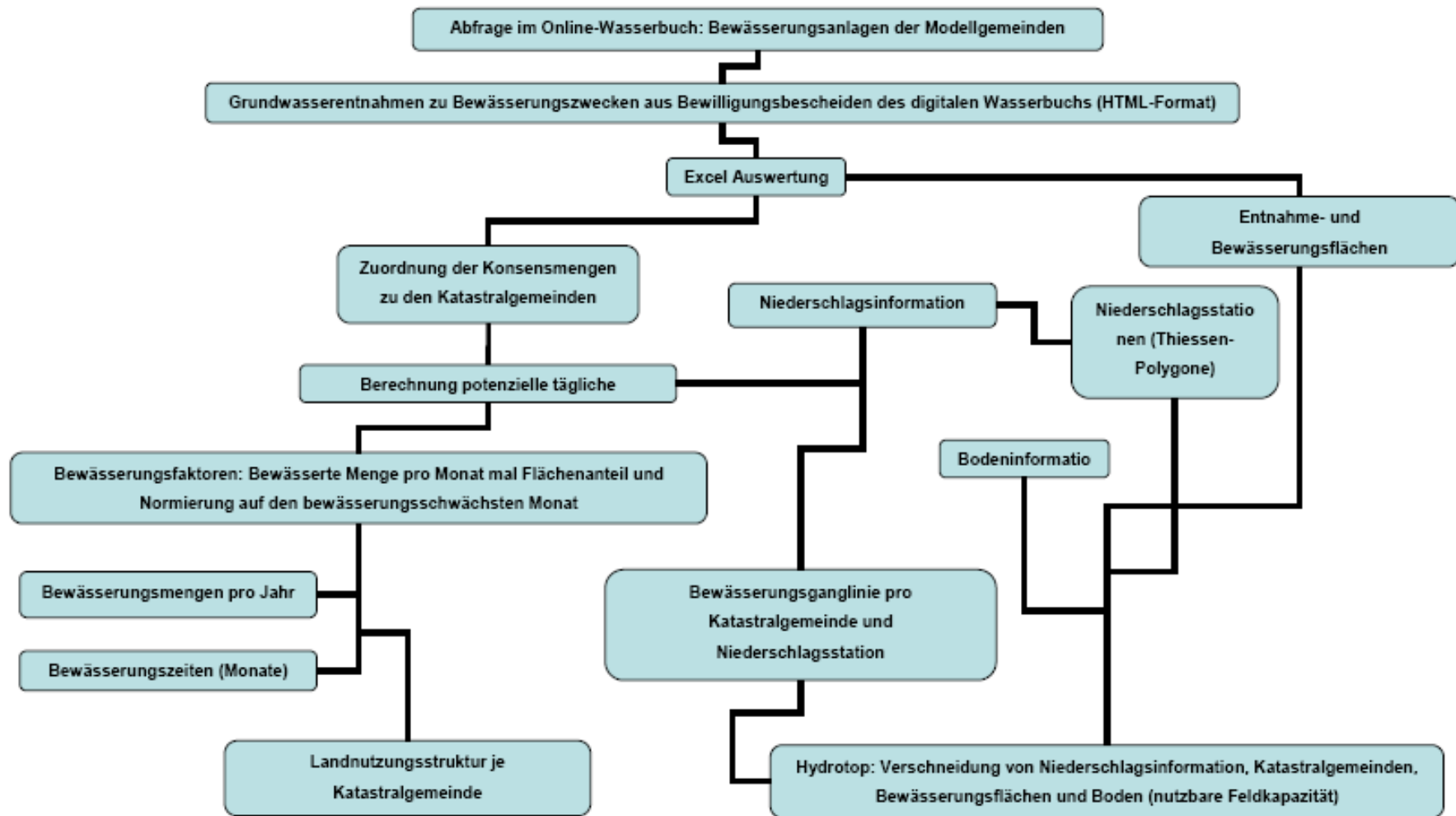


Abbildung 13: Bewässerungsentnahmen im Marchfeld (Flussdiagramm zur Methodik)

### 3.1.4.2 Datengrundlagen

Die Stammdaten zu den Bewässerungsanlagen des Marchfeldes wurden aus dem online verfügbaren Wasserbuch des Landes Niederösterreich bezogen (Abfragedatum: 21.8.2006).

Diese Wasserbuchabfrage in 97 Katastralgemeinden ergab 2148 Bescheide für Bewässerungsanlagen (BA; Anlagen, die überwiegend der landwirtschaftlichen Bewässerung dienen, nicht z.B. Sportplatz- oder Tennisplatzbewässerung oder Parkanlagen, aber BA für die Bewässerung von Gärten, Parks, Wiesen, Obstkulturen, Obstgärten, Gärtnereien).

Für die Ermittlung der Bewässerungsmengen wird weiters auf Informationen aus den Bewilligungsbescheiden zurückgegriffen. Die Bezirkshauptmannschaften als Wasserrechtsbehörde erteilen Bescheide bzgl. der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung, dem folgende Angaben u.a. zu entnehmen sind:

- das jährliche Maß der Wasserbenutzung für eine bestimmte Gesamtfläche zur Beregnung
- die Bindung an (grundbuchsmäßig) bezeichnete Grundstücke
- die Anzahl der Brunnen und ihrer Grundstückslage
- Beregnungszeitraum: 1. April bis 30. September in der Zeit von 19:00 Uhr bis 10:00 Uhr des folgenden Tages
- Die Beregnung hat je nach Bedarf zu erfolgen, darf aber die Angaben laut Beregnungsplan (Feldfrucht, max. Jahresmenge in mm, max. je Einzelgabe und Zeitraum) für die jeweilige Fruchtart nicht überschreiten.
- Die in den Beregnungsplänen genannten Jahresmengen sind auf den Bedarf in Trockenjahren abgestimmt.
- Bei Verabreichung der max. Einzelgaben ab 30 mm ist zwischen den einzelnen Regengaben ein Zeitabstand von mindestens 8 Tagen einzuhalten, um das Wasser weitestgehend im durchwurzelten Bodenhorizont verfügbar halten zu können.
- Im Sinne eines vorbeugenden Grundwasserschutzes und einer sparsamen Wasserverwendung ist die Beregnung in Normaljahren ohne Trockenperioden auf die Ertrags- und Qualitätssicherung, nicht jedoch auf die Erzielung mengenmäßiger Höchstertäge auszurichten, um langfristig die Beregnungsmöglichkeiten zum Ausgleich des natürlichen Wassermangels erhalten zu können.
- Die Notwendigkeit einer Beregnung bzw. die Höhe der Beregnungsmengen und der Intervalle im Wesentlichen von den angebauten Kulturarten, der Kulturdauer, den Fruchtarten, den Niederschlägen, der Niederschlagsverteilung, den Bodenverhältnissen (z.B. Bonitäten, Wasserhaltevermögen) der aktuellen Bodenfeuchtesituation etc. abhängig ist.
- Eine Abweichung vom vorliegenden Beregnungsplan ist laut INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFT AN DER UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR (SUPERSPERG & CEPUDER, 1990) in extremen Trockenjahren

aus fachlicher Sicht vertretbar.

Die Umsetzung der im Bescheid enthaltenen Auflagen wurde bei der Ermittlung der Bewässerungsmengen berücksichtigt (siehe 3.1.4.4 und 3.1.4.73.1.4.7).

Die Aufzählung der Grundstücke in den Bescheiden beinhaltet die bewässerbaren Grundstücke. Bei der methodischen Umsetzung wurde berücksichtigt, dass sich die tatsächlich bewässerten Flächen auf Grund der jeweils angebauten Kulturart verändern. Bei Getreide (Buchweizen, Grünschnittroggen, Hartweizen, ...) wurden Beispielsweise laut Angaben des INSTITUTS FÜR KULTURTECHNIK & BODENWASSERHAUSHALT in Petzenkirchen (FEICHTINGER & MURER, 2003) keine Bewässerung angenommen.

Nach Analyse der Bescheide ergab sich aus folgenden Gründen eine Reduktion von 2148 auf 1369 Bescheide:

- 603 Bescheide: Rechtlicher Status erloschen
- 85 Bescheide: Wasserentnahme aus Oberflächengewässern
- 69 Bescheide: Wassermengen nicht eruierbar
- 22 Bescheide fielen durch Lage außerhalb es Modellgebietes weg

Die insgesamt 73 Katastralgemeinden und bewilligten Bewässerungsanlagen sind in Abbildung 14 dargestellt. Die Punkte in Abbildung 14 geben aber keinen exakten Aufschluss über die Anzahl und Verteilung der Brunnen, weil eine Bewässerungsanlage aus mehreren Brunnen bestehen kann.

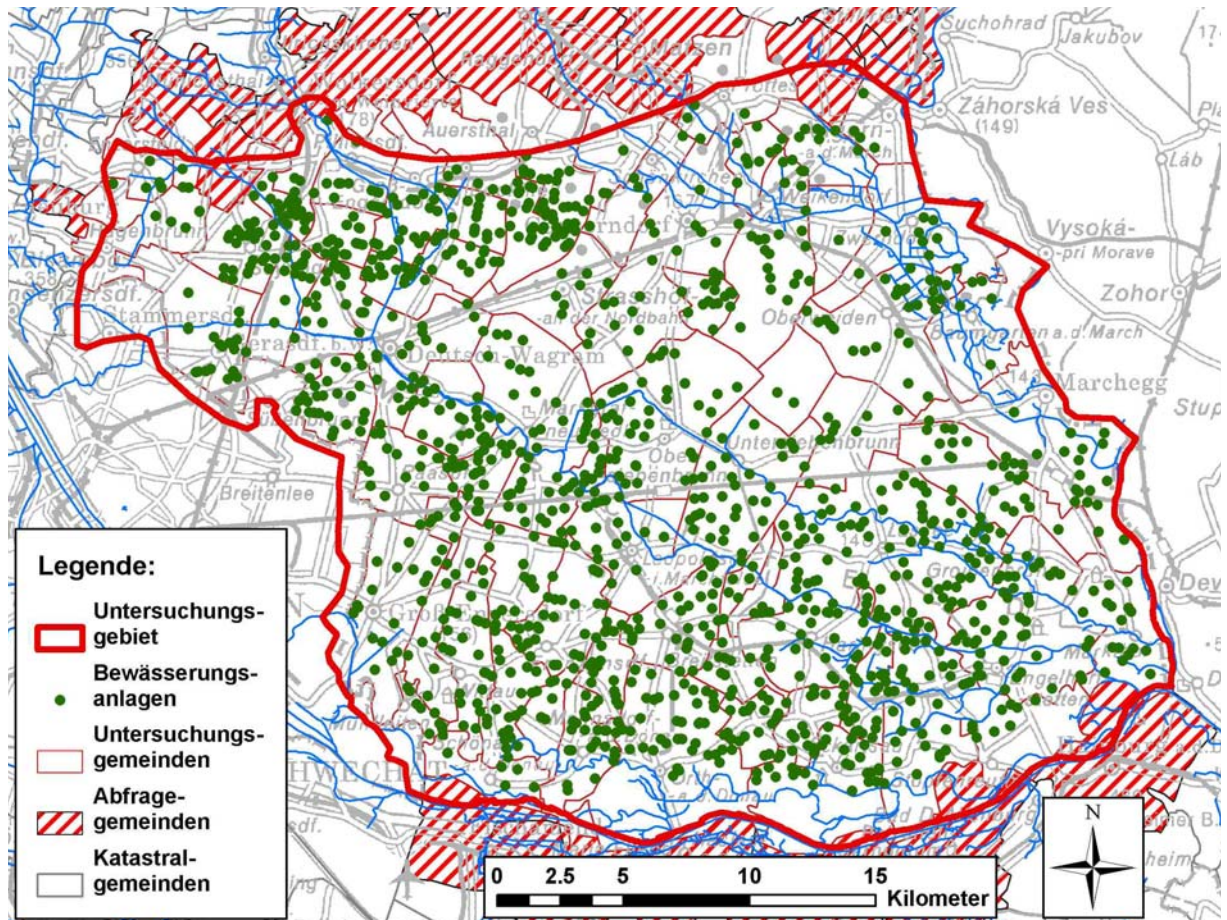


Abbildung 14: Katastralgemeinden und bearbeitete Bewässerungsanlagen im Untersuchungsgebiet

Aus den Angaben verbleibender Bescheide werden nun die Bewässerungsmengen der einzelnen Katastralgemeinden berechnet. In Fällen in denen die Brunnen einer Bewässerungsanlage auf zwei oder mehrere Katastralgemeinden verteilt sind, wurde die Entnahmemenge anteilig zur jeweiligen Anzahl der Brunnen in den Katastralgemeinden auf die Katastralgemeinden verteilt. Die Bewässerungsmenge wurde im Verhältnis zu den bewässerbaren Flächen aufgeteilt. Die dabei vorhandenen Unsicherheiten sind für die lokale Verteilung der Bewässerungsmengen zu vernachlässigen, da die Entfernungen zwischen Brunnen und der ihnen zugeordneten bewässerbaren Fläche meist unter 200 m liegen.

#### **3.1.4.3 Verortung der Bewässerungs- und Entnahmeflächen**

Die Verortung der Bewässerungs- und Entnahmeflächen erfolgte mit Hilfe der aus den Bescheiden stammenden Grundstücksnummern.

Bei Lage eines Brunnens auf einer Grundstücksgrenze, wurde der Brunnen dem erstgenannten Grundstück zugeordnet. In rund 1,7 % der Fälle scheinen Grundstücksbewässerungen in mehreren Bescheiden auf. Es wird angenommen, dass es sich in diesen wenigen Fällen um Teilbewässerungsbescheide handelt. Es ergibt sich jedoch für die Abschätzung der Bewässerungsmengen kein Fehler, da jedes Grundstück nur einmal berücksichtigt wurde.

Im Falle von zum Zeitpunkt der Wasserbuchabfrage in Bearbeitung stehenden Bescheiden, erfolgte auf Grund geänderter Grundstücksnummern eine Zuordnung über „alte Katasterpläne“. Es konnten dennoch 32 Entnahmeflächen und 97 Bewässerungsflächen nicht verortet werden.

#### **3.1.4.4 Berücksichtigung der Landnutzung für die Bewässerungsmengen**

Die Auswertung der Kulturlächen der Katastralgemeinden wurde von der Bezirksbauernkammer Gänserndorf (INVEKOS-Datenbank) zur Verfügung gestellt. Kulturen mit einem Flächenanteil kleiner 1 % je Katastralgemeinde wurden nicht weiter berücksichtigt. Danach wurden die bewilligten Bewässerungszeiten (Monate) und die durchschnittlichen Bewässerungsmengen je Landnutzungsform pro Jahr erhoben. Dabei werden für die Berechnungsmengen folgende Quellen herangezogen:

- Wasserrechtlicher Bescheid der BH Gänserndorf von einer großen BA mit zahlreichen Kulturen
- Beregnungsbedarf im Marchfeld (SUPERSPERG & CEPUDER, 1990)
- Auswertungen vom INSTITUT FÜR KULTURTECHNIK & BODENWASSERHAUSHALT IN PETZENKIRCHEN (IKT) im Auftrag des BMLFUW (FEICHTINGER & MURER, 2003)
- Angaben der BEZIRKSBAUERNKAMMER GÄNSERNDORF (DI MAYER)

Bei den kulturspezifischen Beregnungszeiträumen wird auf Angaben aus den wasserrechtlichen Bescheiden (Beregnungsplan) und auf Angaben von SUPERSPERG & CEPUDER (1990) zurückgegriffen. Das bewässerungsintensive Feldgemüse wird in den INVEKOS-Daten nicht weiter differenziert.

In Anlehnung an FEICHTINGER & MURER (2003) und Bescheiden der BH Gänserndorf wurden bei der Festlegung der Bewässerungsmenge und –zeit folgende Annahmen getroffen:

- Bei Getreide (Buchweizen, Grünschnittroggen, Hartweizen, ...) wird laut FEICHTINGER & MURER (2003) keine Bewässerung angenommen.

- Unterschiedlich bewirtschaftete Wiesen- und Weidenflächen (einmähdige Wiese, Futtergräser, Kulturweiden, ...) werden ebenfalls nicht bewässert.
- Hirse, Körnererbse, Körnermais, Mais Corn-Cob-Mix (CCM), Mohn, Öllein, Ölsonnenblume, Silomais, Sommer- und Winterwicken werden als Berechnungskulturen angenommen.

Somit verbleiben insgesamt 27 Kulturen mit einem Flächenanteil von mindestens 1 % in ihrer Katastralgemeinde als bewässerte Kulturen.

Die Bewässerungsmengen für ein Jahr wurden nun auf die Monate in denen bewässert wird aufgeteilt. Dabei werden die Mengen nicht gleichmäßig über die Monate verteilt, sondern den Literaturangaben von SUPERSPERG & CEPUDER (1990) folgend, die Hauptbewässerungszeiten mit größeren Wassermengen bedacht. Bei fehlenden Angaben wird auf Angaben von DI MAYER zurückgegriffen.

Für jede Katastralgemeinde werden nun die Verhältnismengen der einzelnen Monate berechnet, indem die Bewässerungsmenge jeder Kultur, die in dem betreffenden Monat mit einer bestimmten Menge bewässert wird, mit dem Flächenanteil in Prozent multipliziert wird. Dann wird der Faktor auf den bewässerungsschwächsten Monat normiert. So ergibt es sich z.B., dass in der Katastralgemeinde Aspacherfeld im Juli fünfzig Mal so viel Wasser für die Bewässerung verwendet wird als im Oktober.

Die bewilligten Entnahme-/Bewässerungsmengen [ $\text{m}^3$  /Jahr] werden nun für jeden Monat nach diesen Faktoren aufgeteilt. Danach werden die Daten mit den Angaben aus der Niederschlagsinformation kombiniert.

#### **3.1.4.5 Grundlagen für die Erstellung von typischen Fruchtfolgen**

Für die Berechnung der Grundwasserneubildung sind unter anderem die Anbau- und Erntezeitpunkte der einzelnen Kulturen erforderlich. Diese Angaben werden nach Rücksprache mit DI MAYER (BEZIRKSBAUERNKAMMER GÄNSERNDORF) und DI WASNER (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER) für 37 Kulturen, die einen Anteil größer gleich 1 % in einer Katastralgemeinde erreichen, erhoben.

Definierte Fruchtfolgen für das Marchfeld wurden von Prof. P. CEPUDER (Universität für Bodenkultur) übernommen. Dabei werden vier verschiedene Fruchtfolgen definiert, welche in drei Anbauregionen mit vordefinierten Anteilen auftreten.

Der Flächenanteil der einzelnen Fruchtfolgen innerhalb der jeweiligen Katastralgemeinden wurde aus der Flächendifferenz zwischen der landwirtschaftlichen Nutzfläche und den Flächen von Kulturen, welche nicht in der Fruchtfolge vorkommen gebildet.



#### **3.1.4.6 Bearbeitung der Niederschlagsinformation**

Das Stationsnetz von 14 Niederschlagsstationen (Stationen innerhalb der Modellierungsgrenzen) ergeben eine gute Abdeckung des Marchfeldes. Einige Stationen außerhalb des Modellierungsgebiets reichen bei einer Thiessen-Polygon-Berechnung zwar im Nordwesten und im Südosten in das Gebiet herein, diese sind aber für die Modellierung unwesentlich.

Die Station Salmhof (116426) wurde bei der Thiessen-Polygon-Erstellung nicht berücksichtigt, weil die Datenreihen der Station nicht den gesamten Modellierungszeitraum abdecken. Auf Grund der relativ hohen Ähnlichkeit der Niederschlagsverteilung und –summen (Jahrssummen +/- 5 %) an der Station Salmhof im Vergleich mit den benachbarten Stationen Marchegg (109587; 2,2 km entfernt) bzw. Baumgarten an der March (109686; 3,6 km entfernt), konnte diese ersetzt werden.

Folgende 13 Niederschlagsstationen wurden herangezogen (in Klammer: HZB-Nummer):

Raasdorf (108167), Orth an der Donau (108514), Eckartsau (108522), Franzensdorf (108969), Deutsch-Wagram (109199), Gänserndorf (109561), Marchegg (109587), Obersiebenbrunn (109595), Markthof (109603), Niederweiden (109611), Baumgarten an der March (109686), Lasseer (109694) und Leopoldsdorf im Marchfeld (109736).

Die Erstellung der Thiessen-Polygone aus den vorgegebenen Niederschlagsstationen erfolgte über die ArcView Extension „Arealrain“. Mit der Extension werden aus den Punktinformationen (Niederschlagsstationen) Thiessen-Polygone und ihre Gewichtung für das Modellgebiet ermittelt (siehe Abbildung 15).

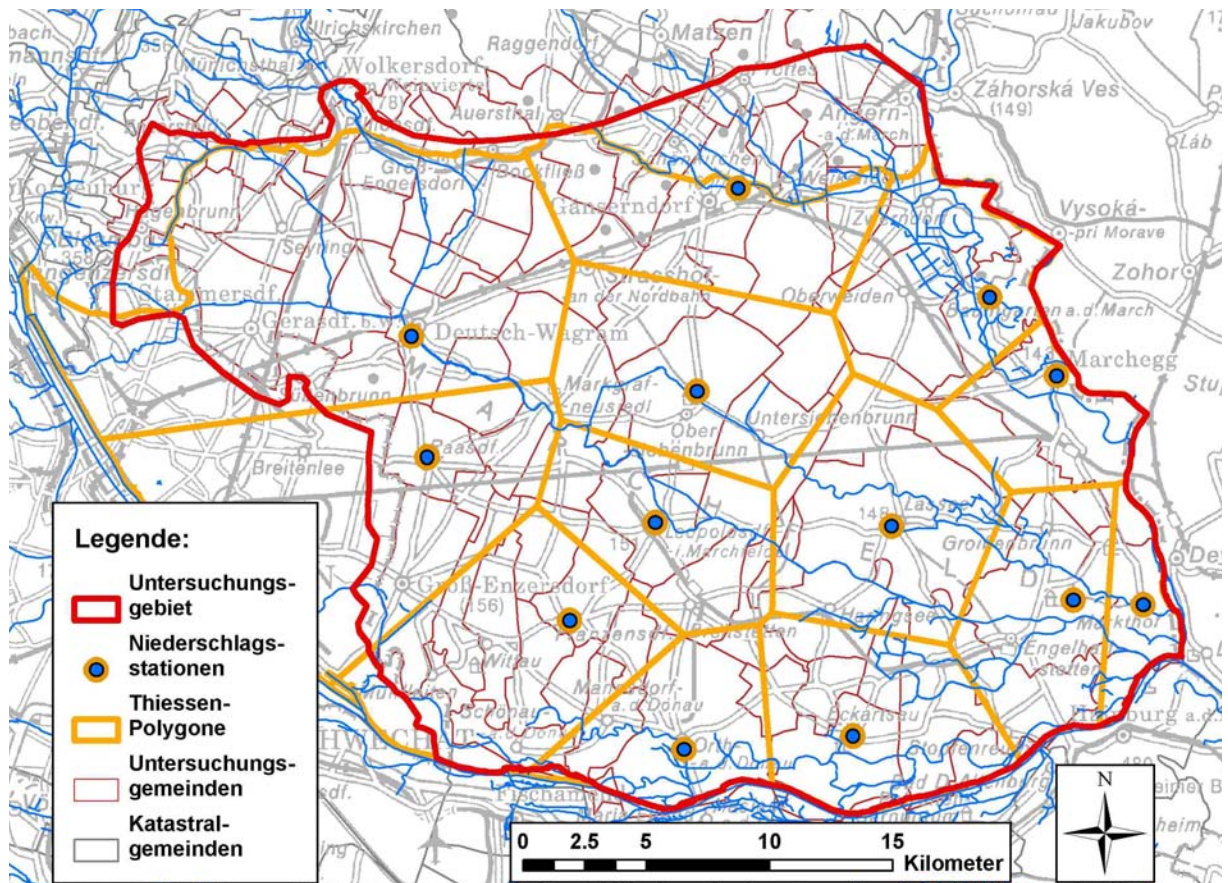


Abbildung 15: Thiessen-Polygone im Untersuchungsgebiet (Marchfeld)

### 3.1.4.7 Ermittlung des zeitlichen Verlaufes der Bewässerung

Der zeitliche Verlauf der Bewässerung wurde aus den potenziellen Bewässerungsmengen (tägliche Bewässerung) und den Niederschlagsdaten abgeleitet. Durch Verschneidung der Thiessen-Polygone mit den Katastralgemeinden erhält man 139 unterschiedliche zeitliche Bewässerungsverläufe.

Bei größeren natürlichen Niederschlägen (größer 5 mm) werden keine Bewässerungen durchgeführt.

Für die Ermittlung von Bewässerungstagen wurde von einer durchschnittlichen potentiellen Verdunstungsleistung von 5 mm ausgegangen (SUPERSPERG & CEPUDER, 1990). Als Bewässerungstage wurden jene Tage angenommen an denen der zuletzt gefallene Niederschlag durch die 5 mm Tagesverdunstung dem Boden nicht mehr zur Verfügung steht (Rest < 5 mm). Somit wird für jedes Teilgebiet (Verschnitt Thiessen-Polygone und Katastralgemeinde) eine Bewässerungsganglinie gewonnen.

Die Ausnutzung der Konsensmengen variiert demnach in den Katastralgemeinden im Mittel über den gesamten Modellierungszeitraum (13 Jahre) zwischen 64 und 71 %. Eine sehr hohe Jahresvariabilität wurde in der Katastralgemeinde Untersiebenbrunn (Station Leopoldsdorf im Marchfelde) ermittelt (54 % in einem feuchten Jahr (1995) bis 86 % in einem trockenen Jahr (2000)).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass basierend auf Bewässerungsdaten aus Wasserbuchbescheiden, Niederschlagsdaten und Landnutzungsinformationen es möglich wurde den zeitlichen Verlauf (Tagesbasis) der Bewässerungsentnahmen und Bewässerungsmengen auf Katastralgemeindeebene zu ermitteln, was eine wichtige Grundlage für die Berechnung der Grundwasserneubildung im Marchfeld darstellt.

### 3.1.5 Bedeutende Grundwasserentnahmen für Trink- und Nutzwasserversorgungen

#### 3.1.5.1 Allgemeines

Es wurden zum einen Konsensentnahmen (Quelle: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung) für den niederösterreichischen Teil des Marchfeldes und zum anderen tatsächliche Entnahmen bei den Gemeinden und anderen großen Wasserversorgern (Konsensmenge > 10 l/s) erhoben.

#### 3.1.5.2 Konsensentnahmen von großen Trink- und Nutzwasserbrunnen

Die laut Wasserbuch relevanten Konsensentnahmen (> 10 l/s) im niederösterreichischen Teil des Marchfeldes wurden von der NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG zur Verfügung gestellt und sind der Tabelle 4 zu entnehmen. Die tatsächlich für Modellvariante „Konsensentnahme“ berücksichtigten Konsensentnahmen sind im Kapitel 4 (Tabelle 11) zusammengefasst.

*Tabelle 4: Konsensmengen im Marchfeld  
(\* laut GIS-Datensatz der NÖ-Landesregierung - Grundlage für Erhebungen)*

Brunnenbezeichnung	Bemerkung	Kons [l/s]*
NÖSIWAG, Br. Obersiebenbrunn 1-3	Daten bekommen	100
Unifrost Ges.m.b.H, Br. 1-3 Iglo (Frenzel Austria Frost)	Daten bekommen	55
Gem. Gänserndorf, Friedhof-Br.1-3	Daten bekommen	45
Gem. Gänserndorf, Rathausbr. 1-2	Daten bekommen	14
Gem. Dt. Wagram, Br. Fabrikstr.1 & 2 (20 & 10l/s) Helmahof	Daten bekommen	30
Gem. Dt. Wagram, Br. Sportpl. 3Br. TWA Dt. Wagram Hagerf.	Daten bekommen	3
WVA Mannsdorf	Daten bekommen	18
WVA Erholungszentrum Lasseer (ab 1997: Q < 100 m <sup>3</sup> /Jahr)	Daten bekommen	15
WVA Zwerndorf (Gem. Weiden)	Daten bekommen	12
Gem. Weiden, Br. 1-2	Daten bekommen	10
WVA Agrana (Trinkwasser) Zuckerfabrik Leopoldsdorf	Daten bekommen	11
Immuno AG, Br. 1-2 Orth a.d. Donau (Anm: jetzt Baxter)	Daten bekommen	20
WV Gem. Haringsee (KG Fuchsenbigl)	existiert nicht mehr	33
Raasdorf	Br. 1994 stillgelegt	15
Unitas Ges.m.b.H 3Br.	Br. 1988 stillgelegt	10
OMV	keine Brunnen >10l/s	

#### 3.1.5.3 Realentnahmen von großen Trink- und Nutzwasserbrunnen

Die tatsächliche Entnahmemenge von Trink- und Nutzwasserbrunnen wurde an allen Brunnen im niederösterreichischen Teil des Marchfeldes erhoben, die eine Konsensmenge von größer oder gleich

10 l/s aufweisen. In der Tabelle 4 sind alle Brunnenbetreiber angeführt von denen versucht wurde die Realentnahmen zu erheben. In der Spalte „Bemerkungen“ in Tabelle 4 ist angemerkt, ob die Daten zu bekommen waren oder warum die Daten nicht verfügbar waren. Laut Auskunft der OMV verfügt diese über keinen Brunnen mit einer Konsensmenge von größer 10 l/s (was auch dem GIS-Layer über Brunnen und deren Konsensmengen der NÖ Landesregierung entspricht).

Folgende Probleme stellten sich bei der Entnahmedatenerhebung:

Die Aufzeichnungsintervalle der Entnahmemengen variieren sehr stark (zum Teil nur Jahressummen). Zum Teil fehlen Entnahmemengen einzelner Jahre oder es konnten nur ungefähre Jahressummen der Entnahmen bekannt gegeben werden. Die Zuordnung (Bezeichnung, Lage...) der Entnahmebrunnen zu den GIS-Daten-Sätzen der NÖ-LANDESREGIERUNG war nicht immer eindeutig.

Tabelle 5: Realentnahmen (Aufzeichnungsintervalle und Berücksichtigung im Modell)

Brunnen	Aufzeichnungsintervall	GWM
NÖSIWAG, Br. Obersiebenbrunn 1-3	Tages- bzw. Monatsmittel	J
Unifrost Ges.m.b.H, Br. 1-3 Iglo (Frenzel Austria Frost)*	Monatsmittel (Lücken ab 2000 durch typischen Jahresgang ersetzt)	J
Gem. Gänserndorf, Friedhof-Br.1-3 (neu Brunnen 3-5)**	Monatsmittel für gesamten Zeitraum	J
Gem. Gänserndorf, Rathausbr. 1-2 (geringf. Nutzung)**	Keine Daten (nicht relevant)	N
Gem. Dt. Wagram, Br. Fabrikstr.1 & 2 (20 & 10l/s) Helmahof	Monatsmittel für gesamten Zeitraum	J
Gem. Dt. Wagram, Br. Sportpl. 3Br. TWA Dt. Wagram Hagerf.	Monatsmittel für gesamten Zeitraum	J
WVA Mannsdorf	Monatsmittel ca. 4,5 l/s	J
WVA Agrana (Trinkwasser) Zuckerfabrik Leopoldsdorf	Jahressummen aufgeteilt auf September bis Dezember	J
Immuno AG, Br. 1-2 Orth a.d. Donau (Anm: jetzt Baxter)	Monatsmittel ca. 4 l/s	J
MA31 Brunnen Lobau – Wien***	Monatsmittel	J
WVA Erholungszentrum Lasseer (ab 1997: Q < 100 m <sup>3</sup> /Jahr) davor ca. 1 l/s (geringfügige Nutzung)	Realentnahmen nicht relevant (< 1 l/s)	N
WVA Zwerndorf (Gem. Weiden)	Keine Aufzeichnungen (nur geringfügige Nutzung)	N
Gem. Weiden, Br. 1-2	Nicht relevant (nur geringfügige Nutz.)	N

\* Die Monatssummen für alle Brunnen (1993-1999) wurden zu 33 % dem Brunnen NW6 und zu je 22 % den Brunnen 1 – 3 zugeordnet.

\*\* Laut Stadtgemeinde Gänserndorf werden die Rathausbrunnen 1 und 2 nicht bzw. nur mehr geringfügig genutzt und die Brunnen Friedhof 1-3 werden inzwischen als Brunnen 3-5 geführt.

\*\*\*Für Zeiträume, wo keine Entnahmen definiert sind (1.1.1993 bis 31.12.1995 und Datenlücken), wurde das Mittel über den Zeitraum (vorhandene Entnahmen) eingesetzt.

Für den von der Stadt Wien bedeckten Teil des Marchfeldes wurden die Realentnahmen folgender Entnahmestandorte der MA31 im Modell berücksichtigt: Schüttelau 1&2, Gänsehaufen, Rohrwörth, Kreuzgrund und Markethäufel. Die Lage der berücksichtigten Entnahmebrunnen in Wien ist in Karte 9 dargestellt. Die Sperrbrunnen der MA45 in der Wiener Lobau sind im Grundwassermodell nicht berücksichtigt und laut A.P. BLASCHKE für das Grundwassermodell nicht relevant.

#### **3.1.5.4 Entnahmen von einzelwasserversorgten Gemeinden**

Für die instationäre Berechnung von Einzugsgebieten von Einzelwasserversorgungsanlagen in der Konsensvariante wurden auf der Basis von Einwohnerzahlen von Katastralgemeinden und unter der Annahme eines mittleren Wasserverbrauches von 150 l/Person und Tag die entsprechenden Entnahmemengen der Brunnen ermittelt. Mit Ausnahme zweier Katastralgemeinden mit einer Einwohnerzahl von über 2000 wurden in jeder Katastralgemeinde ein Brunnen gesetzt. Die zu Grunde liegenden Einwohner- und Verbrauchszahlen sowie die Anzahl der Brunnen sind in Tabelle 14 (in Kap. 5.2.2) dargestellt.

#### **3.1.5.5 Bewässerungsentnahmen**

Bewässerungsentnahmen stellen im Untersuchungsgebiet eine sehr bedeutende Randbedingung für das Grundwassersystem dar. Die Methodik und die Erläuterungen zu den sehr umfangreichen Erhebungen sind in Kap. 3.1.4 zu entnehmen.

#### **3.1.5.6 Entwicklung der Entnahmemengen seit Mitte der 1960er Jahre**

Grundwasserentnahmen stellen, in entsprechend naher Entfernung zum Entnahmebrunnen, neben Grundwasserneubildung und randlichen Zu- und Abflüssen, in vielen Fällen den bedeutendsten Steuerfaktor des Grundwasserspiegels im Marchfeld dar (DALLA-VIA & FANK, 2004, 2006 & 2007).

Neben dem möglichen Einfluss größerer Entnahmebrunnen können aber auch, wie im Marchfeld, bei entsprechender Anzahl auch Bewässerungsbrunnen (siehe Kap. 3.1.4) mit geringen Konsensmengen die Grundwasserspiegelentwicklungen maßgeblich beeinflussen. Laut Erhebungen der ERRICHTUNGSGESELLSCHAFT MARCHFELDKANAL (1994) sind die Gesamtentnahmen im Marchfeld zwischen 1965 und 1990 von rund 850 l/s auf 1650 l/s angestiegen (siehe Abbildung 16). Der Anteil der landwirtschaftlichen Bewässerung an der Gesamtentnahme ist in diesem Zeitraum von rund 37 % auf 62 % gestiegen. Nach einem starken Rückgang des Grundwasserspiegels in großen Teilen des Marchfeld (v.a. zentrales nördliches Marchfeld) entstand bis Ende der 1970er Jahre ein Problembewusstsein und es folgten erste Untersuchungen der Zusammenhänge zwischen Grundwasserspiegelrückgang und Anstieg der Entnahmen für Bewässerungszwecke (SUPERSBERG & VOLLHOFER, 1980). In dieser Arbeit wurde u.a. der landwirtschaftliche Strukturwandel im Marchfeld nach dem 2. Weltkrieg an Hand landwirtschaftlicher Statistiken näher untersucht. Auf Grund der Erhöhung des Flächenanteiles von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen mit erhöhtem Bewässerungsbedarf (Bsp. Zuckerrübe: 1950: 5.023 ha; 1976: 10.231 ha) und auf Grund steigender Hektarerträge (Bsp. Zuckerrübe: 1950: 292,7 dt/ha; 1979: 481,4 dt/ha) stieg der Bewässerungsbedarf stark an.

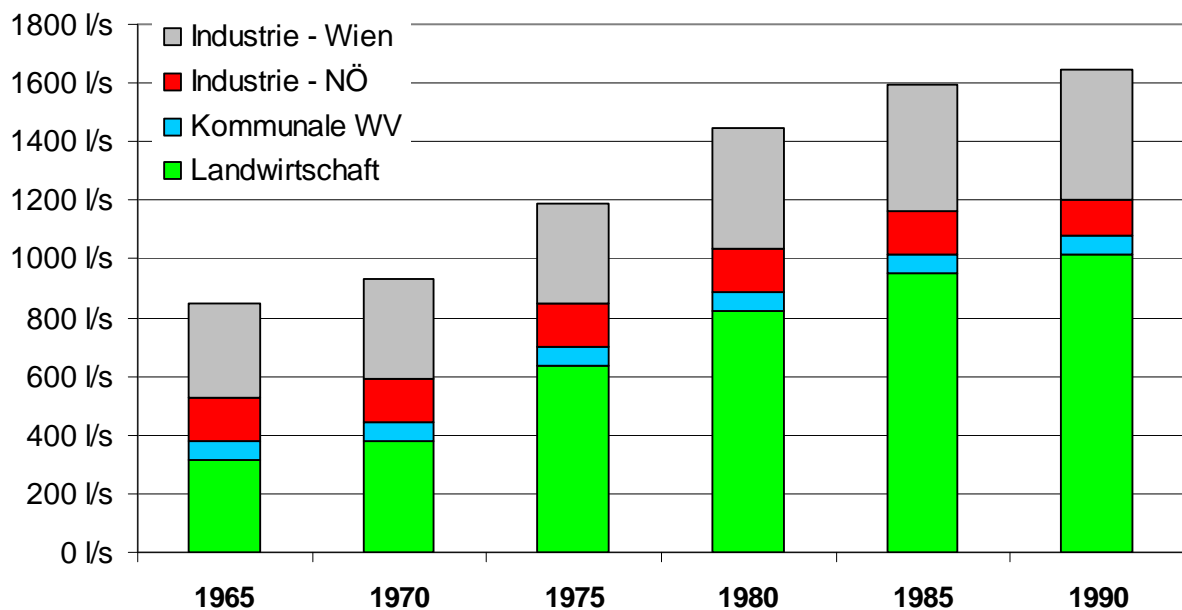


Abbildung 16: Entwicklung der Entnahmen im Marchfeld zwischen 1965 und 1990 (modifiziert nach Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal, 1994)

Im Rahmen von Untersuchungen von BEHR et al. (1984), der ERRICHTUNGSGESELLSCHAFT MARCHFELDKANAL (1994) und aktuellen Erhebungen der Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal (DALLA-VIA & FANK, 2007) wurden für den Zeitraum 1964 bis 2004 die jährlichen Entnahmemengen für Bewässerungszwecke abgeschätzt. Demnach stiegen die jährlichen Entnahmen von ca. 250 l/s in den 1960er Jahren auf Werte zwischen 700 l/s und 1300 l/s ab Mitte der 1970er Jahre. Die mittlere Entnahme im Zeitraum 1975-2005 beträgt laut diesen Daten ca. 918 l/s (siehe Abbildung 17). Die Gegenüberstellung mit den Niederschlagsmengen zeigt nur bedingt die Abhängigkeit des Verbrauches vom Klima, da sich die Bewässerungsentnahmen jeweils auf den Zeitraum Oktober bis September des Folgejahres beziehen, während die Niederschlagssummen sich auf das Kalenderjahr beziehen. Zeitgleich mit dem Anstieg der Entnahmemengen zeigen Grundwasserganglinienanalysen an der überwiegenden Zahl der Messstellen mit ausreichend langen Zeitreihen (seit Mitte der 1960er Jahre) einen signifikanten Grundwasserspiegelrückgang. Analysen zeigen, dass Dauer und Betrag des Rückganges je nach hydrologischen Rahmenbedingungen im Marchfeld sehr unterschiedlich ausgeprägt sind. Im zentralen nördlichen Teil des Marchfeldes sind die Rückgangsbeträge am höchsten und die Rückgangsdauer am längsten). Im zentralen Bereich des Marchfeldes ist derselbe Trendverlauf wie im nördlichen Marchfeld in einer verminderten Ausprägung zu erkennen. Vergleicht man die Maximalhöhen des Grundwasserspiegels vor und nach Mitte der 1970er Jahre, so ist das Wasserspiegelniveau im Zentralbereich um rund 1 – 2 m und im nördlichen Bereich um 2 -3 m gesunken. Im südlichen zentralen Teil des Marchfeldes ist diese Entwicklung ebenfalls festzustellen, wobei hier trotz des Eintiefungsprozesses der Donau der rückläufige Trend schwächer ausfällt (DALLA-VIA & FANK, 2007).

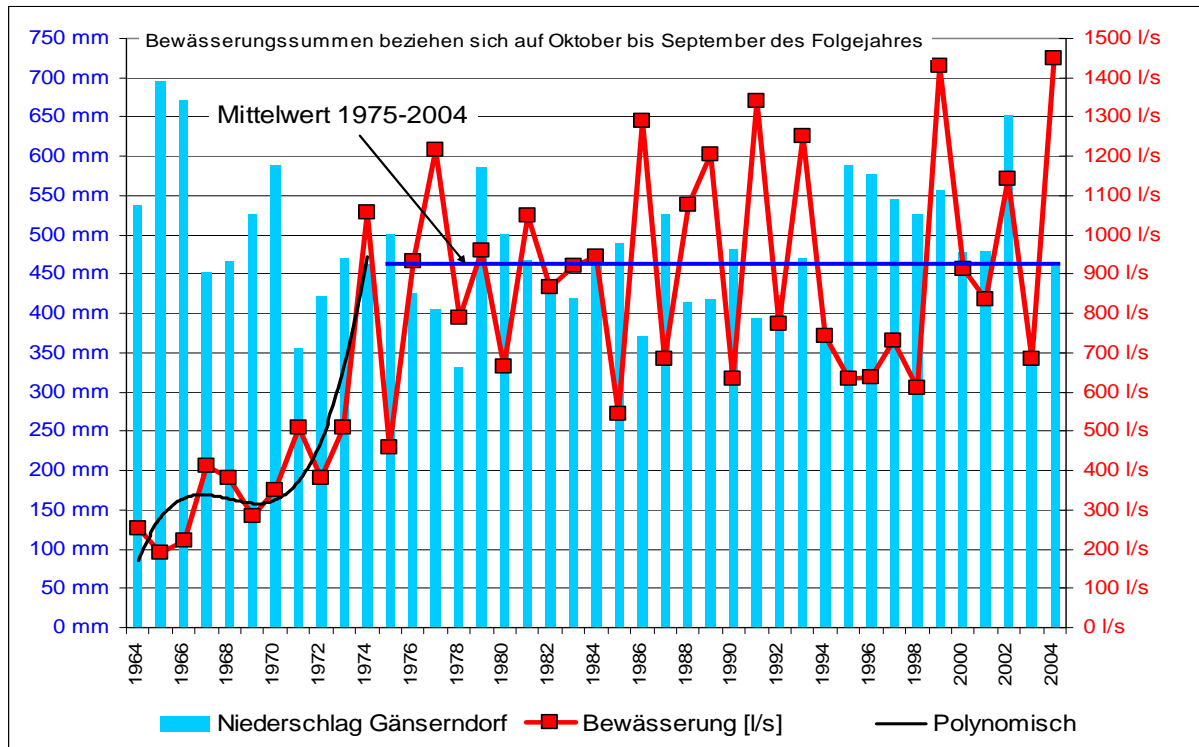


Abbildung 17: Entwicklung der landwirtschaftlichen Entnahmen im Marchfeld 1963-2004 (Quellen: BEHR et al. (1984) bzw. Daten der BETRIEBSGESELLSCHAFT MARCHFELDKANAL Jahressummen von Oktober bis September des Folgejahres) und Kalenderjahressummen des Niederschlags in Gänserndorf (Quelle: HYDROGRAPHISCHER DIENST NIEDERÖSTERREICH) 1975-2005: MW: 918 l/s

### 3.1.6 Die Interaktion Oberflächengewässer – Grundwasser

#### 3.1.6.1 Allgemeines

Das Marchfeld wird im Westen und Süden von der Donau und im Osten von der March begrenzt. Die bedeutendsten Zuflüsse aus dem Norden sind der Rußbach, welcher bei Pillichsdorf das Marchfeld erreicht und quer durch den zentralen Teil des Marchfeldes vorwiegend in südöstlicher Richtung kurz vor Einmündung der March in die Donau mündet und der Weidenbach, welcher am nordöstlichen Rand des Marchfeldes bei Zwerndorf in die March mündet. Der Stempelbach verläuft im südöstlichen Marchfeld vom Raum Untersiebenbrunn über Lasseer nach Markthof, wo er in die March mündet. Nicht unerwähnt bleiben darf natürlich der Marchfeldkanal, welcher etwa auf der Höhe Langenzersdorf von der Donau gespeist wird und bei Deutsch Wagram in den Rußbach mündet.

Das Marchfeldkanalprojekt wurde ab 1987 verwirklicht um die drohende Wasserknappheit im Marchfeld abzuwenden. Das Marchfeldkanalsystem besteht aus einem fast 100 km langen, neu geschaffenen Gewässernetz, mit dem Donauwasser in das Marchfeld geführt und verteilt wird. Die Hauptaufgabe ist die Sicherung der Wasserversorgung für Landwirtschaft, Gewerbe und Industrie sowie Kommunen. Im Mittel strömen zwischen 4000 und 6000 l/s Donauwasser über das Marchfeldkanalsystem. Die Wasserverteilung erfolgt bedarfsabhängig, entweder durch direkte

Entnahme von Oberflächenwasser oder durch Grundwassererneuerung über drei Versickerungsanlagen (Quelle: Homepage der BETRIEBSGESELLSCHAFT MARCHFELDKANAL im Oktober 2006).

### **3.1.6.2 Modellumsetzung der Interaktion Oberflächengewässer/Grundwasser**

Die Interaktion zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser wurde über die sogenannte „Cauchy-Randbedingung“ (Randbedingung der 3. Art – auch als Leakage-Randbedingung bekannt) definiert. In Feflow können sowohl der Wasserspiegel als auch die Gewässersohle zur Begrenzung der Infiltration von Oberflächenwasser in das Grundwasser definiert werden. Die sogenannten Leakage-Koeffizienten, welche die Durchlässigkeit des Gewässerbettes beschreiben werden in Feflow für die In- und Exfiltration getrennt definiert. In den folgenden Texten wird als Infiltration immer das Fließen von Oberflächenwasser ins Grundwasser und als Exfiltration immer das Eindringen von Grundwasser in Oberflächengewässer bezeichnet. Für Fließgewässerabschnitte, deren Sohle immer niedriger als der angrenzende Grundwasserspiegel ist, kann die Definition der Gewässersohle entfallen.

#### **3.1.6.2.1 Donau**

Für die Donau wurden mittels der gemessenen Wasserstandganglinie am Pegel Wildungsmauer (AHP 1894.052) über die kennzeichnenden Wasserstände der Donau für 1996 (KWD96) für alle Strom-km-Marken die Wasserspiegelganglinien für den gesamten Berechnungszeitraum geschätzt. Die Schätzungen stimmen grundsätzlich gut mit den gemessenen Werten überein. Im Bereich oberhalb des Einlaufbauwerkes der „Neuen Donau“ sind die Wasserspiegelschätzungen vor 1996 (vor der Errichtung des KW Freudenu) um etwa 35 cm höher als die gemessenen. Nach 1996 stimmen aber auch in diesem Bereich die Schätzungen sehr gut mit den Messungen überein. Im Bereich der Marchmündung weichen die Werte jedoch auf Grund der nicht in den kennzeichnenden Wasserständen enthaltenen Information über die Überlagerung unterschiedlicher March- und Donaudurchflüsse ab.

Für die Definition der Randbedingungen wurden diese geschätzten Wasserspiegelganglinien dann mittels Interpolation auf die Modellknoten umgerechnet und als Transfer-Randbedingungen definiert. Als Leakage Koeffizienten ( $1/d$ ) wurden für den Abschnitt Strom-km 1880 bis 1917 für die Exfiltration  $100/d$  und für die Infiltration  $500/d$  definiert. Für den Abschnitt oberhalb des Einlaufbauwerkes „Neue Donau“ wurde ein Leakage-Koeffizient für die Infiltration von  $20/d$  definiert.

#### **3.1.6.2.2 Neue Donau**

Für den Bereich zwischen Wehr 2 und KW-Freudenu (Strom-km 1918.5 – 1921.0) wurden auf Grund der gemessenen Grundwasserganglinien nicht die Wasserspiegel der „Neuen Donau“, sondern die Wasserspiegel des Hauptgerinnes der Donau als Randbedingung verwendet. Im Bereich zwischen



KW-Freudenau und Wehr 1 (Strom-km 1921.0 – 1926.0) wurde als Randbedingung die gemessene Wasserstandsganglinie der „Neuen Donau“ am AHP-Pegel 1918.57 verwendet. Für den oberen Staubereich von Wehr 1 bis zum Einlaufbauwerk (Strom-km 1926.0 – 1938.0) wurde die Wasserstandsganglinie des AHP-Pegels 1926.053 verwendet. Die Abdichtung im Bereich des Ausleitungsbauwerkes wurde nicht in das Modell integriert. Der Leakage-Koeffizient für die Infiltration beträgt zwischen 10 /d und 40/d, für die Exfiltration zwischen 100/d und 500 /d.

#### 3.1.6.2.3 Donau-Augewässer

Die Wasserspiegel für die Leakage-Definition der Augewässer der Donau wurden aus dem „FGP3-Modell“, sowie aus dem „Grundwassermodell Lobau“ (für den Bereich Wien) übernommen. Für den Fadenbach waren keine ausreichenden Unterlagen für die Definition der Leakage-Randbedingungen vorhanden.

#### 3.1.6.2.4 MAK, Rußbach, Obersiebenbrunnerkanal, Stempfelbach, Weidenbach und Seyringer Graben

Der Marchfeldkanal (MAK) gilt als dicht. Weil der Wasserspiegel entlang der gesamten Fließstrecke über dem Grundwasser liegt gibt es außerdem keine Exfiltration von Grundwasser in den Marchfeldkanal.

Am Rußbach existieren zur Sicherung seiner Vorflutfunktion (für das Grundwasser sowie für die vorhandenen Seitengräben) zwischen der Mündung in die Donau und circa Fluss-km 10.0 eine Reihe von hydraulischen Maßnahmen. Es existieren sowohl Drainagen, die frei in den Rußbach entwässern als auch Drainagen, an denen das anfallende Wasser mittels Pumpwerken in den Rußbach abgeführt wird. Der Rußbach ist abgedichtet und kann nur zur Zeiten von extremen Hochwasser (ab  $6.0 \text{ m}^3/\text{s} + 0.5 \text{ m}$ ), Wasser an das Grundwasser abgeben. Als Wasserspiegel zur Definition der Leakage-Randbedingungen wurden die Werte aus dem „FGP3-Modell“ übernommen. Diese Wasserspiegel entsprechen in etwa den gemessenen Wasserspiegel in den Drainageschächten. Im Modell wurde von der Mündung des Mühlganges bis zur Mündung in die March – wie im FGP3-Modell - nur Exfiltration definiert. Oberhalb der Einmündung des Mühlganges wurden die Wasserspiegel aus dem Geländemodell ermittelt. Die Leakage-Koeffizienten für Exfiltration betragen 8 /d. Im Bereich oberhalb der Einmündung des Mühlganges wird auch die Möglichkeit von Infiltration ins Grundwasser angenommen (Leakage-Koeffizient für Infiltration beträgt in diesem Bereich 5 /d).

Der Obersiebenbrunnerkanal (OSK) gilt wie der Marchfeldkanal als dicht und liegt wie dieser über dem Grundwasserspiegel.

Der Stempfelbach ist wie der Rußbach dicht. Ab Obersiebenbrunn bis Lasse existieren Drainagen, ab Lasse gibt es natürliche Exfiltration von Grundwasser in den Stempfelbach, an der Mündung wird gepumpt. Im Modell wurde – wie im FGP3-Modell - für den Stempfelbach nur Exfiltration von

Grundwasser angenommen. Die für die Leakage-Randbedingungen notwendigen Wasserspiegelhöhen wurden aus dem „FGP3-Modell“ übernommen, der Koeffizient für die Exfiltration beträgt 8 /d.

Für den Weidenbach wurden aus den Wasserstandmessungen am Pegel Bad-Pirawarth und den für Mittelwasser definierten Wasserständen aus dem „FGP3-Modell“ Wasserspiegelganglinien geschätzt, die für die Definition der Leakage-Randbedingungen notwendig waren. Die Wasserspiegel aus dem „FGP3-Modell“ wurden durch Abschätzungen aus dem Höhenmodell ergänzt.

Zur groben Abschätzung der Interaktion zwischen Grundwasser und Seyringer Graben wurden die Wasserspiegel des Seyringer Graben aus dem Geländemodell geschätzt und als konstant definiert. Der Wasserstand wurde mit 20cm angenommen. Als Leakage-Koeffizienten wurden für die Infiltration 5 /d und für die Exfiltration 50 /d angenommen. Im Abschnitt wo der MAK und der Seyringer Graben parallel fließen wurde der Seyringer Graben als dicht angenommen.

#### 3.1.6.2.5 March, Marchauen

Für die March wurden mittels der Wasserstandsganglinie am Pegel Angern und den kennzeichnenden Wasserständen 1996 der March (KWM96) die Wasserstandsganglinien an allen km-Marken geschätzt. Im Mündungsbereich wurden die Wasserstandsganglinien mit der Ganglinie der Donau abgeglichen. Durch die Verwendung der kennzeichnenden Wasserstände von Donau und March kann das dynamische Zusammenwirken jedoch nicht ausreichend rekonstruiert werden. Im Vergleich mit den angrenzenden Grundwasserspiegeln zeigt sich, dass bei geringeren bis mittleren Durchflüssen zu niedrige Donau- und Marchwasserspiegel entstehen. Bei hohen Abflüssen ergibt diese Schätzmethode gute Übereinstimmungen mit den Messungen. Eine Verbesserung der Randbedingungen in diesem Bereich wäre durch eine Serie von 1D-Abflußberechnungen von Donau und March mit den entsprechenden Tagesdurchflüssen möglich. Die Koeffizienten für die Infiltration betragen 50 /d, jene für die Exfiltration 200 /d. Für die Definition der exfiltrierenden Wirkung der Marchauengewässer standen keine Unterlagen zur Verfügung. Diese konnten daher im Modell nicht berücksichtigt werden.

### 3.1.7 Das Grundwassersystem

#### 3.1.7.1 Geplante Modellierungsperiode

Für die Erstellung des instationären Grundwasserströmungsmodells wurde ein Zeitraum von 12 Jahren (1993 bis 2004) gewählt (1992 Vorlaufjahr für Ermittlung der Grundwasserneubildung), da für eine möglichst allgemeine Gültigkeit eines derartigen Modells der Modellierungszeitraum möglichst unterschiedliche hydrologische Perioden umfassen sollte. Wie Grundwasserganglinienanalysen zeigen wird dieses Ziel durch den gewählten Zeitraum in hohem Maße erreicht. Zum einem liegen die ausgeprägten Grundwasserhochstände der Jahre 1996/1997 als auch 2002/2003 in der

Modellierungsperiode, zum anderen wird der an den meisten Messstellen in den Jahren 1992/93 erreichte jemals gemessene niederste Grundwasserstand miterfasst (siehe Abbildung 18).

Durch die Wahl eines Modellierungszeitraumes in der jüngeren Vergangenheit werden die gegenwärtig vorherrschenden hydrologischen Randbedingungen (Fließgewässerniveauhöhen, Kraftwerke, Grundwasserentnahmen und -anreicherungen) am besten beschrieben. Die Veränderungen vieler dieser Randbedingungen (vgl. DALLA-VIA & FANK, 2007) in den letzten Jahrzehnten hat das Grundwasserspiegelniveau in weiten Teilen um mehrere Meter verändert (meist gesenkt).

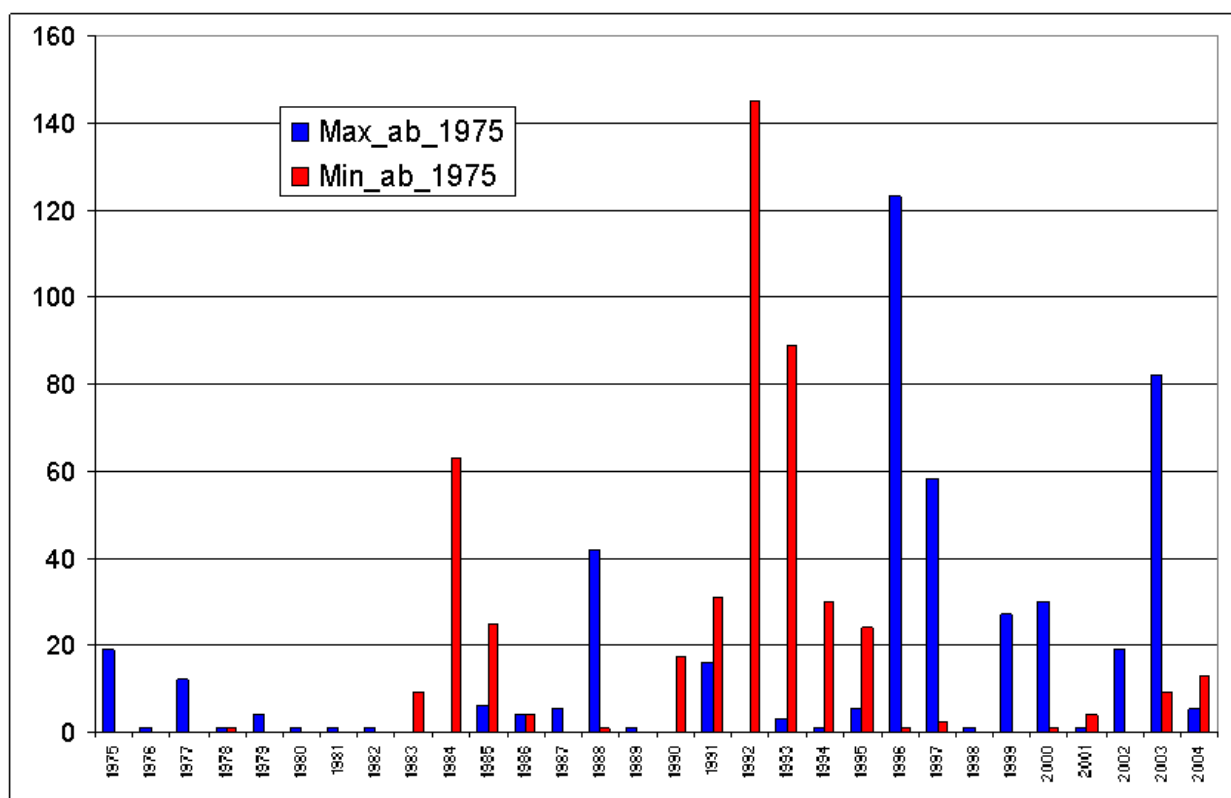


Abbildung 18: Auftreten des höchsten bzw. niedersten gemessenen Grundwasserstandes an Messstellen im Marchfeld für den Zeitraum 1975 – 2004: Dargestellt die Anzahl der Messstellen für Minimum (rot) und Maximum (blau) nach Jahren.

### 3.1.7.2 Regionale Unterschiede im Systemverhalten

Neben dem Vergleich von Auswerteperioden unterschiedlicher Länge eignet sich die mittlere Jahresgrundwasserstandsganglinie natürlich auch hervorragend, um das unterschiedliche Verhalten des Grundwassers im Jahreszyklus in verschiedenen Teilgebieten zu charakterisieren. Grundsätzlich ist zwischen dem stark fließgewässerbeeinflussten Modellrand im Westen, Süden und Osten und dem zentralen Teil des Marchfeldes zu unterscheiden. Die Übergänge sind fließend. Während der erstgenannte Bereich im hohen Maße von Donau bzw. March beeinflusst wird sind es im Zentralen

Bereich vor allem die Entnahmemengen und die Grundwasserneubildung, welche die Dynamik prägen.

### 3.2 Mathematisches Modell

Wie in fast allen Bereichen der Natur- und Ingenieurwissenschaften basieren die Untersuchungsmethoden auch in der Analyse der Grundwasserströmung auf einem Verständnis der physikalischen Prozesse, die in den meisten Fällen durch mathematische Formeln und Gleichungen beschrieben werden können. Die grundlegende Fließgleichung ist das Gesetz von DARCY. In Kombination mit der Kontinuitätsgleichung, die den Massenerhalt an Wasser während des Flusses durch ein poröses Medium beschreibt, resultiert eine partielle Differentialgleichung der Grundwasserströmung. Die gut bekannten Gleichungen für stationären und instationären Fluß treten als eine Komponente eines „boundary value problems“ in Erscheinung.

#### 3.2.1 Kontinuitätsgleichung und Darcy'sches Gesetz

Die Experimente von Henry DARCY (DARCY, 1856) zeigten, dass der spezifische Durchfluß  $v$  durch eine mit Sand gefüllte Säule proportional ist der durchflossenen Fläche, proportional ist dem Unterschied in der Wasserspiegellage zwischen Eintritts- und Austrittsbereich und umgekehrt proportional ist der Länge des Filters. Das daraus abgeleitete DARCY'sche Gesetz kann in der Form

Gleichung 1 
$$v = -K \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

niedergeschrieben werden, wobei  $K$  eine Proportionalitätskonstante, bekannt als hydraulische Leitfähigkeit darstellt. Da  $\Delta h$  (die Unterschiede in der Spiegellage) und  $\Delta l$  (Filterlänge) beide eine Längendimension aufweisen, wird klar, dass  $K$  die Dimension einer Geschwindigkeit haben muss.

In einem Kontroll-Einheitsvolumen beschreibt das Gesetz der Massenerhaltung für den stationären Fluss durch ein gesättigtes poröses Medium, dass die Flussrate in das Kontrollvolumen gleich ist der Flussrate aus dem betrachteten Volumen. Die Kontinuitätsgleichung führt dieses Gesetz in die mathematische Form

Gleichung 2 
$$-\frac{\delta(\rho v_x)}{\delta x} - \frac{\delta(\rho v_y)}{\delta y} - \frac{\delta(\rho v_z)}{\delta z} = 0$$

Unter der Annahme einer inkompressiblen Flüssigkeit konstanter Dichte  $\rho$  führt das Einsetzen des DARCY'schen Gesetzes für  $v_x, v_y, v_z$  zur Strömungsgleichung für stationären Fluss in einem anisotropen gesättigten porösen Medium:

Gleichung 3 
$$\frac{\delta}{\delta x} \left( K_x \frac{\delta h}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left( K_y \frac{\delta h}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left( K_z \frac{\delta h}{\delta z} \right) = 0$$

Für ein isotropes und homogenes poröses Medium reduziert sich diese Gleichung zu

Gleichung 4 
$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta z^2} = 0,$$

der grundlegenden Laplace'schen Differentialgleichung. Die Lösung dieser Gleichung ist eine Funktion  $h(x, y, z)$ , die das hydraulische Potential an jedem Punkt in einem dreidimensionalen Strömungsfeld beschreibt.

Das Gesetz der Erhaltung der Masse für instationären Fluss in einem gesättigten porösen Medium fordert, dass die in ein Kontrollvolumen einströmende Masse gleich ist der austretenden sowie der Änderung des Speicherinhaltes des Kontrollvolumens in einem Zeitschritt. Die Gleichung erhält also die Form

Gleichung 5 
$$-\frac{\delta(\rho v_x)}{\delta x} - \frac{\delta(\rho v_y)}{\delta y} - \frac{\delta(\rho v_z)}{\delta z} = \frac{\delta(\rho S_s)}{\delta t}.$$

Unter Einsetzen des DARCY'schen Gesetzes ergibt sich daraus die Strömungsgleichung für instationären Fluss durch ein gesättigtes anisotropes poröses Medium. Unter der Annahme von Homogenität und Isotropie nimmt diese Gleichung die Form

Gleichung 6 
$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta z^2} = \frac{S_s}{K} \frac{\delta h}{\delta t},$$

bestens bekannt als Diffusionsgleichung, an. Die Lösung  $h(x, y, z, t)$  beschreibt die Potentialhöhe an jedem Punkt eines Strömungsfeldes zu jedem Zeitpunkt. Diese Strömungsgleichung basiert auf dem DARCY'schen Gesetz (DARCY, 1856), auf der Potentialtheorie von HUBBERT (1940), sowie den Konzepten der Aquifer Elastizität von MEINZER (1923) und des effektiven Stresses von TERZAGHI (1925).

### 3.2.2 Die Interaktion von Oberflächengewässern und Grundwasser

Um die In- bzw. Exfiltration von Oberflächengewässern zu beschreiben, kann das Leakageprinzip benutzt werden. Nach dem Gesetz von DARCY ist der Durchfluss durch eine Trennschicht zwischen zwei benachbarten Aquiferen proportional zu dem zwischen ihnen bestehenden Piezometerhöhengefälle mit dem Durchlässigkeitsbeiwert der Trennschicht als Proportionalitätsfaktor. Der Leakagefaktor kombiniert die beiden Größen Durchlässigkeit und Dicke der Trennschicht. Im Falle der Interaktion des Grundwassers mit Oberflächengewässern ist die treibende Piezometerhöhendifferenz, welche die In- bzw. Exfiltration bestimmt, die Differenz zwischen der

Grundwasserhöhe und dem Wasserspiegel des Oberflächengewässers. Dies gilt so lange, wie die Grundwasserhöhe nicht unter die Sohle des Oberflächengewässers fällt. Der Austausch pro Bezugsfläche lautet

$$\text{Gleichung 7} \quad q_L = \frac{k_f}{d}(h_r - h) = l(h_r - h),$$

mit  $q_L$  als spezifischer Austauschrate,  $k_f$  als Durchlässigkeitsbeiwert der Kolmatierungsschicht,  $d$  als Dicke dieser Schicht,  $h_r$  als Höhe des Flusswasserspiegels über dem Bezugsniveau und  $h$  als Höhe des Grundwasserspiegels über Bezugsniveau. Der Leakagefaktor  $l$  fasst wieder Durchlässigkeit und Dicke der Trennschicht zusammen. Fällt der Grundwasserspiegel unter die Sohle des Oberflächengewässers, so wird der Durchfluss unabhängig von der Höhenlage des Grundwasserspiegels. Die treibende Höhendifferenz ist dann im wesentlichen die Differenz zwischen dem Wasserspiegel und der Höhenlage der Sohle des Oberflächengewässers über Bezugsniveau ( $b_r$ ):

$$\text{Gleichung 8} \quad q_L = l(h_r - b_r).$$

### 3.2.3 Rand- und Anfangsbedingungen

Die in Kap. 3.2.1 angeführten Strömungsgleichungen sind partielle Differentialgleichungen zweiter Ordnung für die unbekannte Piezometerhöhenverteilung als Funktion der Zeit und des Ortes  $h(x, y, t)$ . Zu ihrer Lösung sind Anfangs- und Randbedingungen erforderlich. Für stationäre Probleme werden nur Randbedingungen benötigt. Die Anfangsbedingungen bestehen aus einer gegebenen Piezometerhöhenverteilung zum Zeitpunkt, zu dem die Simulation beginnt.

Es gibt mehrere Arten von Randbedingungen:

- Randbedingungen der ersten Art (DIRICHLET-Bedingungen) schreiben die Piezometerhöhen als Funktion der Zeit am Rand vor. Ein Spezialfall der Randbedingungen erster Art ist der Festpotentialrand mit zeitlich unabhängiger konstanter Piezometerhöhe.
- Randbedingungen der zweiten Art (NEUMANN-Bedingungen) schreiben den Zufluss oder Abfluss auf dem Rand vor, d.h. sie legen im isotropen Aquifer den Gradienten des Grundwasserspiegels senkrecht zum Rand fest. Ein Spezialfall dieser Randbedingung ist der undurchlässige Rand. Wenn Randbahnlinien das Modellgebiet begrenzen, werden diese wie undurchlässige Ränder behandelt.
- Randbedingungen der dritten Art (CAUCHY-Bedingungen) stellen eine Kombination aus Randbedingungen der ersten und zweiten Art dar. Sie schreiben eine Linearkombination  $(\alpha h + \beta \delta h / \delta n)$  auf dem Rand vor. Verwendet werden diese Randbedingungen zur Beschreibung

halbdurchlässiger Ränder, wie z.B. bei Leakage aus einem Oberflächengewässer. Dabei wird das äußere Potential durch einen Widerstand abgeschwächt im Aquifer wirksam.

### **3.2.4 Die Lösung des mathematischen Modells mit Hilfe der Finiten Elemente Methode (FEM)**

Für die mathematische Lösung der Strömungsgleichung existieren analytische und numerische Verfahren. Für einfachste Fälle ist die Strömungsgleichung geschlossen lösbar. Die erforderlichen Annahmen wie unendlich ausgedehnter Aquifer, Isotropie, Homogenität etc. schränken die Anwendung dieser Lösungen stark ein und geben nur eine unvollkommene Beschreibung natürlicher Verhältnisse. Für regionale Strömungsprobleme sind die Voraussetzungen der analytischen Lösungen im allgemeinen nicht erfüllt. Deshalb muss diese numerisch gelöst werden. Ein numerisches Strömungsmodell stellt eine räumlich und zeitlich diskretisierte Wasserbilanz eines Gebietes dar.

Die Finite Elemente Methode stellt eine diskrete Beschreibungsmöglichkeit der Grundwasserströmung dar, die direkt von den physikalischen Bedingungen der Grundwasserströmung ausgeht, nämlich von der Gültigkeit des Darcy'schen Gesetzes und von der Kontinuitätsbedingung. Die Erfüllung der Kontinuitätsbedingung ist vom Diskretisierungsgrad abhängig. Je kleiner die Dreieckselemente sind, desto besser kann der exakte Verlauf der Potentialverteilung approximiert werden. Eine zweite Abhängigkeit zur Erfüllung der Kontinuität ist durch die Form der Dreieckselemente gegeben. Ein gleichseitiges Dreieck stellt dabei die beste Form der Elemente dar.

Die Methode der Finiten Elemente ermöglicht es, über die physikalische Beschreibung im Innern und an den Rändern der Elemente die Potentialhöhen in den Knotenpunkten zu bestimmen. Dabei sind die Durchflussmengen als Knotenpunktergiebigkeiten aufzufassen. Bei der exakten Lösung der Strömungsgleichung erscheint die Potentialhöhenverteilung als Potentialfläche über der Strömungsebene, die stetig, glatt und in den meisten Fällen gekrümmt ist. In der diskretisierten Strömungsebene hängt die Gestalt der Potentialfläche von den Potentialhöhen an den Knotenpunkten des Netzes ab. Dabei wird vorausgesetzt, dass sich die Potentialhöhe innerhalb und auf den Rändern eines Dreieckselementes linear in jede Richtung ändert, d.h., dass die von den Potentialhöhen der Knotenpunkte aufgespannte Raumfläche eine Ebene ist. Ergebnis der Berechnung der Knotenpunktergiebigkeiten für alle Knotenpunkte eines Strömungsmodells bildet ein lineares Gleichungssystem, dessen Lösung die diskrete Potentialhöhenverteilung in dem Strömungsfeld liefert.

## **3.3 Instationäre Kalibration des Grundwasserströmungsmodells**

### **3.3.1 Allgemeines**

Das Grundwassermodell Marchfeld wurde mit der Modellierungssoftware Feflow (Version 5.3.0.5) erstellt und instationär kalibriert. Das Modellnetz besteht aus 33.267 Finiten Elementen und 17.132 Knoten. Das Modell wurde in Tagesschritten berechnet (12 Jahre => 4.383 Zeitschritte.). Das

Finite Elemente Netz wurde entlang von Fließgewässern und größeren Entnahmebrunnen verdichtet (siehe Karte 4).

### **3.3.2 Definition der Randbedingungen**

Mathematisch gesehen bedeutet die Grundwassermodellierung die Lösung partieller Differentialgleichungen 2. Ordnung mit Hilfe numerischer Verfahren. Diese Lösung ist nur durch die Vorgabe von Ausgangs- und Randbedingungen möglich. Die Randbedingungen beschreiben die Interaktion des Grundwassers im Modellgebiet mit seiner Umgebung. Im gegenständlichen Modell wurden unterschiedliche Arten von Rand- und Ausgangsbedingungen verwendet.

- Die untere Begrenzung des Grundwasserleiters - der Grundwasserstauer – wurde aus Bohrungen punktuell abgeleitet. Für den quartären Aquifer des Schotterkörpers des Marchfeldes bilden die unterlagernden Sedimente aufgrund des Durchlässigkeitsunterschiedes von mehreren Zehnerpotenzen einen quasi „dichten“ Rand. Die Wasserführung in den unterlagernden geologischen Einheiten und der Wasseraustausch zwischen quartärem Schotterkörper und Tertiär kann als vernachlässigbar gering angenommen werden. Die Datengrundlagen und Methoden zur Erstellung des Grundwasserstauers sind Kap. 3.1.2 zu entnehmen. Die untere Randbedingung des Grundwassermodells ist in ihrer flächenhaften Ausprägung als Morphologie des Grundwasserstauers in Karte 2 dargestellt.
- Die obere Randbedingung des Grundwasserströmungsmodells stellt die Wassernachlieferung über infiltrierende Niederschläge dar. Für die instationäre Kalibration des Modells sind kurzfristig auftretende Spitzen der flächenhaften Grundwasserneubildung in ihrer räumlichen und zeitlichen Variabilität von Wichtigkeit. Die Ableitung dieser Randbedingung aus den Basisdaten und die Übertragung auf das Modellnetz wurde in 3.1.3 erörtert. Eine im Marchfeld bedeutende obere Randbedingung stellt die landwirtschaftliche Bewässerung dar, welche den Sättigungsgrad des Boden- und der ungesättigten Zone erhöht und somit indirekt die Grundwasserneubildung durch infiltrierende Niederschläge erhöht (siehe 3.1.3.3)
- Als Ausgangsspiegellage für die instationäre Modellierung des Grundwassersystems wurde der Grundwasserstand zum Stichtag 1.1.1993 verwendet. Diese Vorgangsweise gewährleistet, dass bereits die Startspiegellage eine möglichst optimale Repräsentanz der tatsächlichen Grundwasserverhältnisse darstellt. Ein „Einschwingen“ der Modellberechnung über einen längeren Zeitraum kann dadurch entfallen.
- Die Startverteilung der Durchlässigkeiten im Untersuchungsgebiet wurde entsprechend den geologischen Einheiten definiert.



- Die Verteilung des Porenvolumens – ein wichtiger Systemparameter zur Beschreibung der Speicherkapazität in der instationären Modellierung – wurde aus Literaturwerten zur Speicherkapazität quartärer Kies-Sandgemische (BENDER, 1984; Matthess & UBELL, 1983) abgeleitet, immobile Wasseranteile wurden Ergebnissen in FANK (1999) entnommen, der Wert schließlich flächendeckend mit 10 % definiert.
- Relevante Grundwasserentnahmen als wesentliche Kontrollgröße der Relevanz der kalibrierten Durchlässigkeiten und Porenvolumina mitberücksichtigt. Entnahmemengen für größere Trink- und Nutzwasserversorgungen stammen aus Erhebungen (siehe Kap. 3.1.5). Die Ableitung der Entnahmen für landwirtschaftliche Bewässerung sind Kap. 3.1.4 zu entnehmen. Die Mengen sind in der Grundwasserbilanz (siehe Kap. 3.3.3.6) zusammengefasst.
- Die Nordberandung des Modellgebietes wurde als Zuflussrandbedingung realisiert. Die Zuflussmengen wurde im Zuge Kalibration angepasst.
- Der West- und Südrand des Modells (Donau) und der Ostrand (March) wurde durch Randbedingungen der 3. Art (CHAUCHY – Bedingung) realisiert. Die detaillierte Umsetzung ist in 3.1.6.2 dargestellt.
- Der Marchfeldkanal, der Rußbach, Weidenbach, Stempfelbach und die anderen relevanten Fließgewässer wurden in jenem Bereich in dem sie im Grundwassermodell einen inneren Rand darstellen als Randbedingungen der 3. Art (Chauchy – Bedingung) realisiert. Die detaillierte Umsetzung ist Kap. 3.1.6.2 zu entnehmen.

### **3.3.3 Kalibrationsergebnisse**

#### **3.3.3.1 Grundlagen zur Dokumentation der Qualität der Kalibrationsergebnisse**

Die Dokumentation der Kalibrationsqualität wurde getrennt für 241 Kalibrationsmessstellen (langzeitig beobachtete Messstellen mit einer maximalen Aufzeichnungslücke kleiner 60 Tage) und 347 Verifikationsmessstellen (Messstellen mit einer maximalen Aufzeichnungslücke größer 60 Tage) durchgeführt.

Für jede Messstelle wurde ein Vergleich zwischen Messung und Rechnung in der zeitlichen Entwicklung (Abbildung 19), ein Vergleich der gemessenen Spiegellagen mit den zeitgleichen, berechneten Grundwasserspiegellagen (Abbildung 20), der zeitliche Verlauf der Differenzen zwischen Messung und zeitgleichen Rechenergebnissen (Abbildung 21) sowie die Doppelsummenkurve der Absolutwertänderungen der Grundwasserspiegellage der gemessenen und der zeitgleichen berechneten Grundwasserstände (Abbildung 22) grafisch dargestellt.

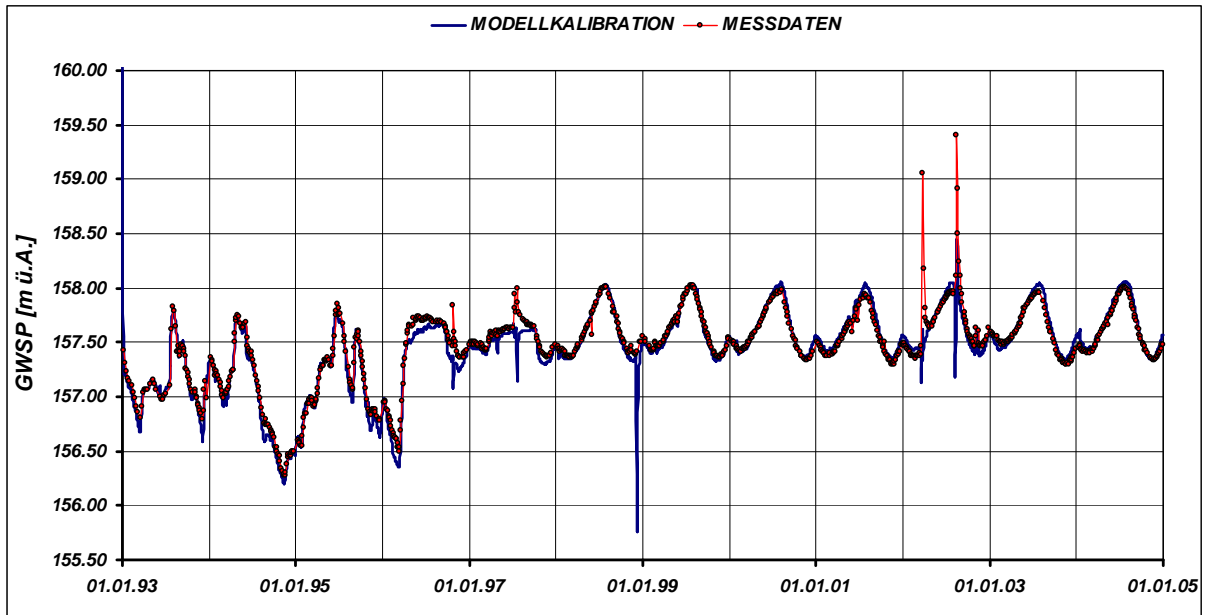


Abbildung 19: Instationäre Modellkalibration: Vergleich der berechneten Grundwasserstandsganglinie mit den Messdaten beispielhaft an der Grundwasserstandsmessstelle 9002216 der Magistratsabteilung 45 in Wien (Beispiel für Dokumentation der Kalibrationsqualität aller Messstellen in Anhang C und Anhang D – siehe DVD\_1).

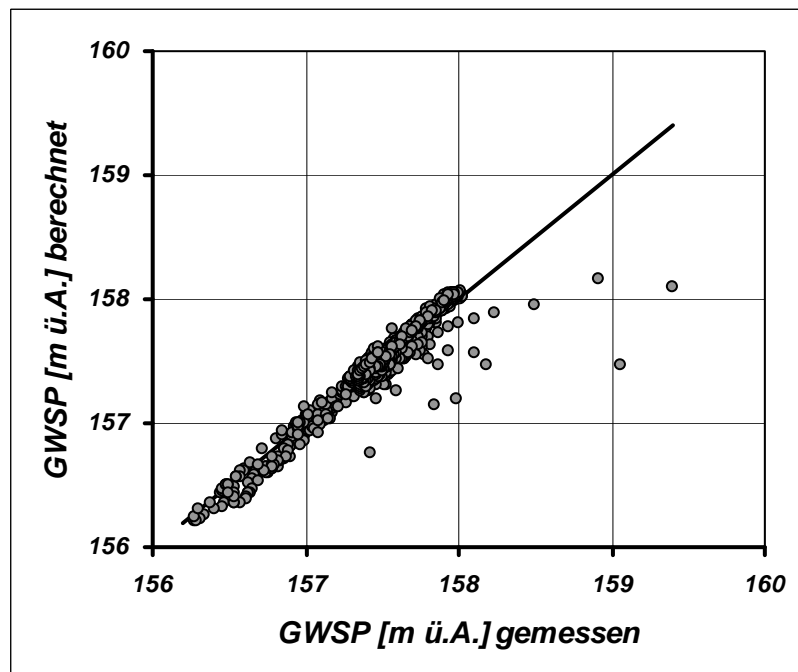


Abbildung 20: Instationäre Modellkalibration: Scatterplot der gemessenen Grundwasserspiegellagen im Vergleich zu den zeitgleichen berechneten Grundwasserständen beispielhaft an der Grundwasserstandsmessstelle 9002216 der Magistratsabteilung 45 in Wien (Beispiel für Dokumentation der Kalibrationsqualität aller Messstellen in Anhang C und Anhang D – siehe DVD\_1).

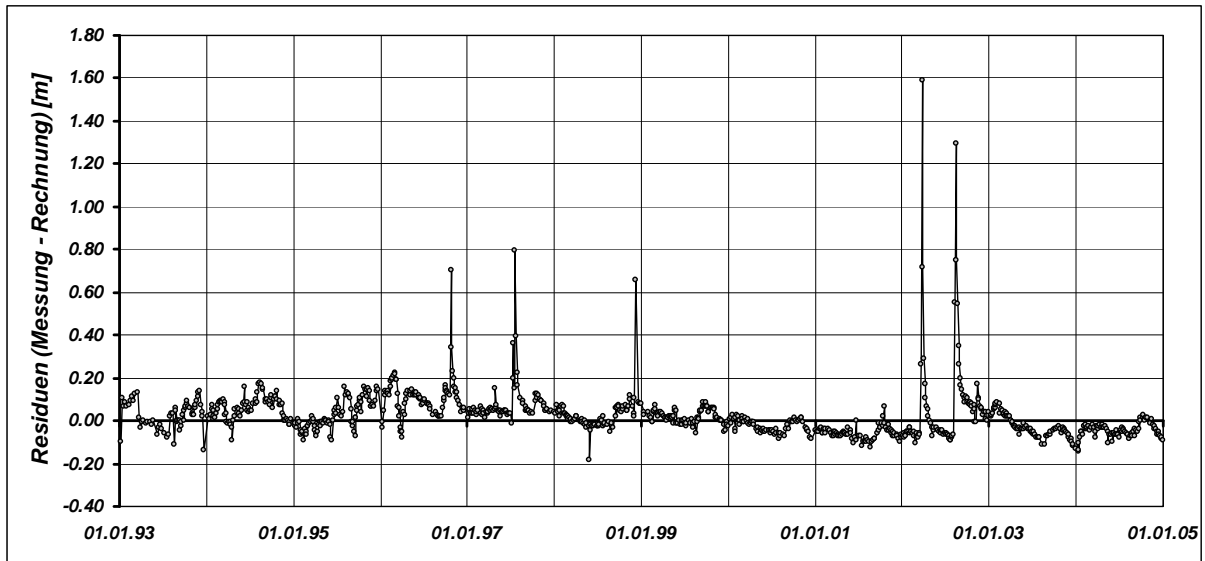


Abbildung 21: Instationäre Modellkalibration: Zeitlicher Verlauf der Differenzen zwischen den gemessenen und den zeitgleichen berechneten Grundwasserständen beispielhaft an der Grundwasserstandsmessstelle 9002216 der Magistratsabteilung 45 in Wien (Beispiel für Dokumentation der Kalibrationsqualität aller Messstellen in Anhang C und Anhang D – siehe DVD\_1).

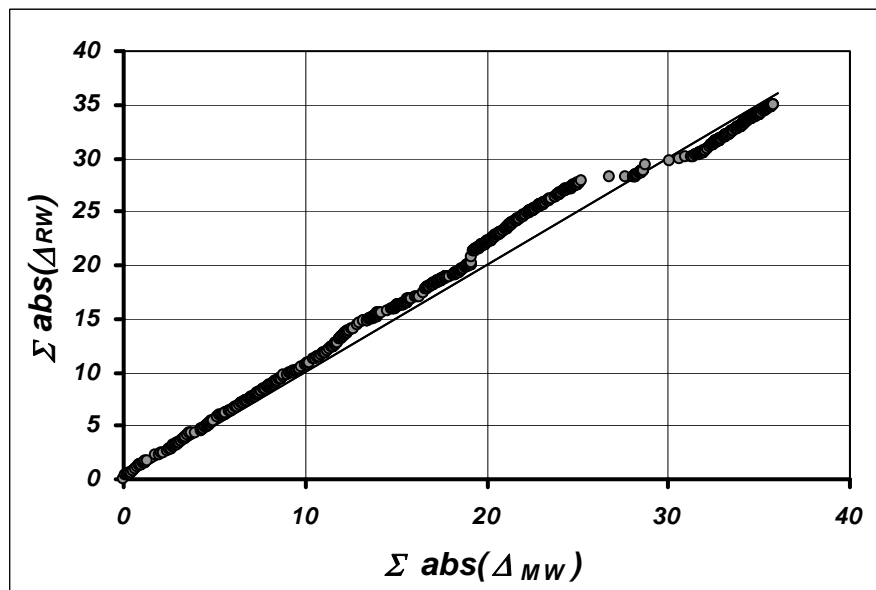


Abbildung 22: Instationäre Modellkalibration: Doppelsummenkurve der Absolutwertänderungen der Grundwasserspiegellage der gemessenen und der zeitgleichen berechneten Grundwasserstände beispielhaft an der Grundwasserstandsmessstelle 9002216 der Magistratsabteilung 45 in Wien (Beispiel für Dokumentation der Kalibrationsqualität aller Messstellen in Anhang C und Anhang D – siehe DVD\_1).

Die Kennwerte der instationären Modellkalibration für jede Messstelle wurden analog zu den Angaben in Tabelle 6 erstellt. Neben Minimum, Mittelwert und Maximum der Messdaten im Vergleich zu den äquivalenten Berechnungsergebnissen wurde auch eine Fehlerstatistik basierend auf statistischen Kriterien für die zeitgleichen Beobachtungstermine nach folgenden Formeln berechnet

(O = Observation [Messwert]; P = Prediction [Berechnungsergebnis]; n = Anzahl der zeitgleichen

Wertepaare; Mittelwert der Messwerte  $\bar{O} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{n}$  ):

RES\_MIN: größte negative Abweichung [m]:  $\min_{i=1}^n (O_i - P_i)$   
 Der Wert ist sehr stark von einzelnen Ausreißern abhängig, die oft aus messfehlerbehafteten Daten oder für den Kalibrationszeitraum wenig aussagekräftigen Einzelereignissen resultieren. Zur Beurteilung der Kalibrationsgüte ist RES\_MIN nur schlecht geeignet.

RES\_MEAN: mittlere Abweichung [m]:  $\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n}$   
 Bei ausreichend langen Messreihen und großer Anzahl von Wertepaaren ist RES\_MEAN zur Beurteilung der Kalibrationsqualität gut geeignet und sollte möglichst nahe bei 0 liegen. Dieser Parameter allein birgt aber in der Bewertung die Gefahr eines systematischen Fehlers in der Berechnung (ähnlich viele stark positive und stark negative Abweichungen heben sich auf).

RES\_MAX: größte positive Abweichung [m]:  $\max_{i=1}^n (O_i - P_i)$   
 Der Wert ist sehr stark von einzelnen Ausreißern abhängig, die oft aus messfehlerbehafteten Daten oder für den Kalibrationszeitraum wenig aussagekräftigen Einzelereignissen resultieren. Zur Beurteilung der Kalibrationsgüte ist RES\_MAX nur schlecht geeignet.

RMSQ: mittlere Residuenquadratsumme [m<sup>2</sup>]:  $\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}$   
 Um dem möglichen systematischen Fehler in RES\_MEAN zu begegnen, werden die Residuen quadriert. Dadurch werden aber Extremwerte der Differenzen – wie sie bei extremen Grundwasserständen häufig auftreten (da das Modell nicht in erster Linie für Extrembeobachtungen kalibriert wird) - stark überbewertet. Dieser Effekt ist daran zu erkennen, das RES\_MEAN<sup>2</sup> deutlich kleiner ist als RMSQ.

SQR(RMSQ): Wurzel(RMSQ) [m]:

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}}$$

Durch die Verwendung dieses Parameters kann die Modellbewertung anhand üblicherweise verwendeter Messgrößen durchgeführt werden, die Überbewertung der Extremwerte der Differenzen bleibt aber erhalten. Zur Bewertung der Kalibrationsgüte ist dieser Parameter sehr gut geeignet und sollte möglichst nahe 0 liegen, die zulässige Schranke sollte allerdings deutlich höher als die gewünschte mittlere Abweichung gesetzt werden.

RMSE: mittlerer Fehler [% von  $\bar{O}$ ]:

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \cdot 100$$

Der „root mean square error“ sollte möglichst nahe bei 0 liegen. Durch die Angabe der Abweichung der Berechnungsergebnisse von den beobachteten Daten in % des Mittelwertes der Beobachtungen ist dieser Parameter stark von der mittleren Höhe des Grundwasserspiegels abhängig. Bei regionalen Modellen mit großen Differenzen in der mittleren Grundwasserspiegellage im Untersuchungsgebiet sind die Ergebnisse an den einzelnen Messstellen nicht direkt miteinander vergleichbar. Bei Verwendung der Bezugshöhe Meeresspiegel werden die prozentualen Abweichungen der Modellrechnung von den Messdaten in den meisten Fällen sehr klein.

CRM: Koeffizient der mittleren Residuenmasse [-]:

$$\frac{\left( \sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i \right)}{\sum_{i=1}^n O_i}$$

Der „coefficient of residual mass“ sollte möglichst nahe bei 0 liegen, kann aber auch negative Werte erlangen. Der Koeffizient beschreibt unter der Annahme unabhängiger Residuen (also eines Fehlens eines systematischen Fehlers in der Kalibration) jenen Anteil an Daten einer Messstelle, der durch das numerische Modell nicht wiedergegeben wird. Der Parameter ist zur Bewertung der Kalibrationsqualität von Modellen als Vergleich von unterschiedlichen Messstellen untereinander sehr gut geeignet und liefert v.a. Informationen darüber, in welchen Bereichen noch Kalibrationsarbeiten erforderlich sind.

$$\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}$$

CD: Koeffizient der Modelldetermination [-]:  
 Der „coefficient of determination“ ist eine Maßzahl für den Anteil der Gesamtvarianz der beobachteten Daten, der durch die Modellrechnung beschrieben wird. Das Ergebnis dieser Berechnung sollte möglichst nahe bei 1 liegen. Dieser Parameter ist sehr gut geeignet, die Qualität der Modellrechnung im Vergleich der einzelnen ausgewerteten Beobachtungsstellen zu beschreiben.

Tabelle 6: Instationäre Modellkalibration: Kennwerte der Modellkalibration beispielhaft dargestellt an der Grundwasserstandsmessstelle 9002216 der Magistratsabteilung 45 in Wien

9002216	MESSUNG	BERECHNUNG
MINIMUM	156.27	156.21
MITTELWERT	157.46	157.44
MAXIMUM	159.40	158.16
FEHLERSTATISTIK		
RES_MIN	größte negative Abweichung [m]	-0.186194
RES_MEAN	mittlere Abweichung [m]	0.022720
RES_MAX	größte positive Abweichung [m]	1.590092
RMSQ	mittlere Residuenquadratsumme [m <sup>2</sup> ]	0.012911
SQR(RMSQ)	Wurzel(RMSQ) [m]	0.113624
RMSE	Mittlerer Fehler [%]	0.072159
CRM	Koeffizient der mittleren Residuenmasse [-]	0.000144
CD	Koeffizient der Modelldetermination [-]	0.927882

Generell ist aber festzuhalten, dass die Qualität der Modellkalibration gerade, bei über einen längeren Zeitraum instationär kalibrierten Modell, an jeder beobachteten Messstelle in erster Linie durch den visuellen Vergleich (siehe Anhang\_C und Anhang\_D) der gemessenen Grundwasserstandsdaten mit der berechneten Ganglinie zu prüfen ist. Die Berechnung der oben angeführten statistischen Parameter liefert aber die Möglichkeit, diesen n-dimensionalen Raum der regional verteilten Zeitreihen auf eine einzelne Kenngröße je Beobachtungsstelle zu reduzieren und damit Aussagen über die regionale Verteilung der Kalibrationsqualität zu erhalten.

### 3.3.3.2 Beispiele zur Dokumentation der Kalibrationsqualität

Grundsätzlich existiert an allen relevanten Messstellen eine vollständige Auswertung der Modellkalibration (siehe Anhang B, C und D). Aus der Vielzahl dieser Daten wurden für die Dokumentation der Qualität der Modellkalibration ein Subset von Grundwasserstandsmessstellen ausgewählt (maximale Messdatenlücke kleiner als 60 Tage und Messdatenreihe größer 10 Jahre), das in der Folge die Güte der instationären Modellierung des Grundwassers des Marchfeldes

dokumentieren soll. Die Lage dieser ausgewählten Grundwasserstandsmessstellen ist in Abbildung 23 dargestellt.

Die statistischen Kennwerte aller Messstellen mit Beobachtungslücken kleiner 60 Tage und aller Messstellen mit größeren Lücken sind in tabellarischer Form im Anhang B dargestellt.

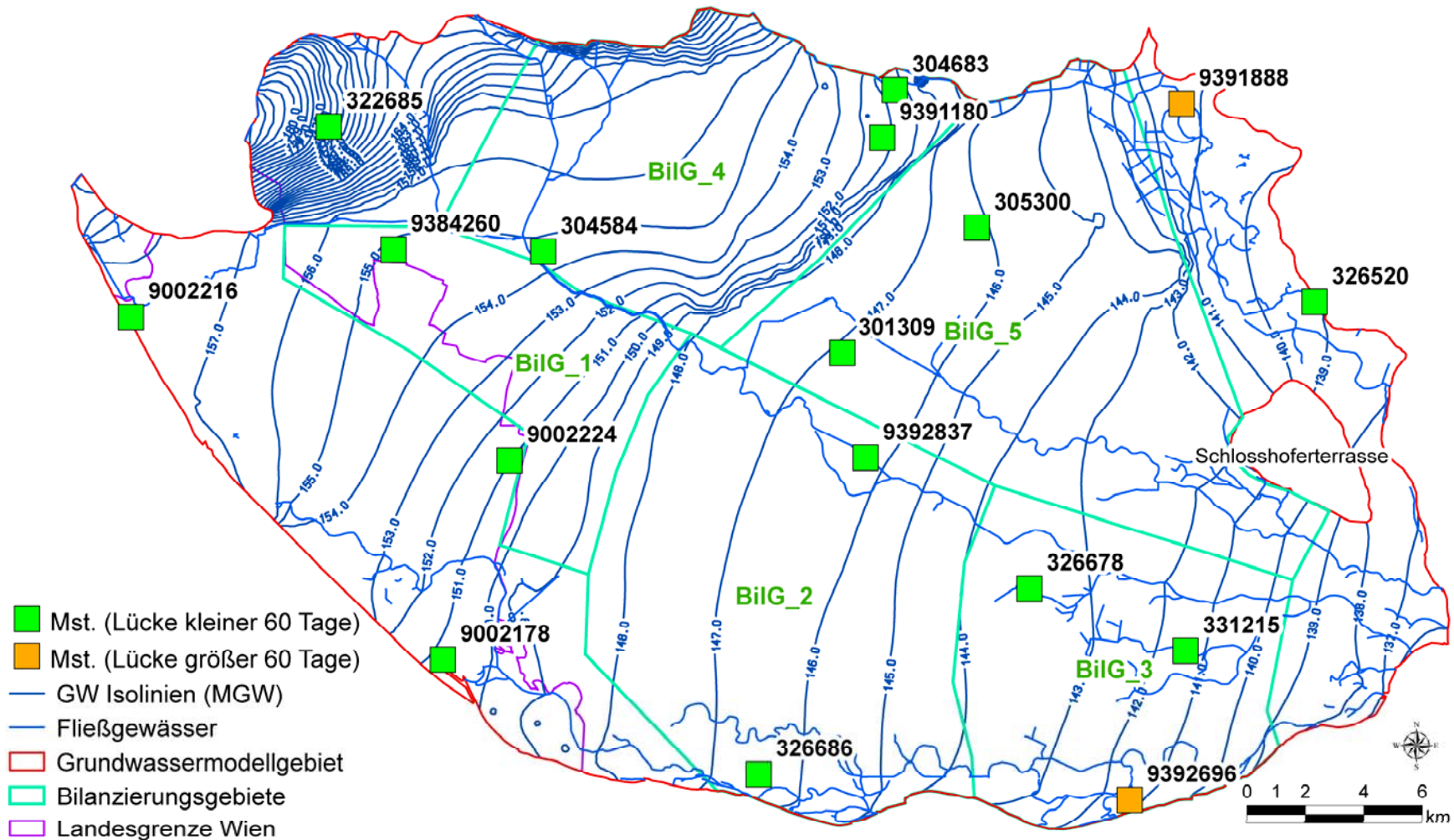


Abbildung 23: Auswahl von Grundwasserstandsmessstellen im Marchfeld, an denen die Kalibrationsqualität des instationär kalibrierten Grundwasserströmungsmodells im Bericht detailliert dokumentiert wurde ( große grüne Quadrate: ausgewählte Beispielmessstellen mit Beobachtungslücken kleiner 60 Tage) und orange Quadrate (Beispielmessstellen mit Lücke größer 60 Tage) die im folgenden dargestellt werden.



- Messstellenkategorien
  - Messstellen, die zur Kalibration des Modells verwendet wurden (Kalibrationsmessstellen). An diesen Messstellen sind Grundwasserstandsmessdaten nahezu über den gesamten Modellierungszeitraum (1.1.1993 bis 31.12.2004) verfügbar
  - Messstellen, die zur Modell-Verifikation verwendet wurden (Verifikationsmessstellen). An diesen Messstellen sind nur in Teilzeitbereichen Messdaten vorliegend oder es bestehen größere Aufzeichnungslücken

In den folgenden Darstellungen wird die Kalibrationsqualität an ausgewählten Messstellen im Marchfeld durch den Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegellagen zu den Berechnungsergebnissen über der Zeitachse dargestellt. Die Lage der Messstellen ist Abbildung 23 zu entnehmen. Die Dokumentation wird für jene Messstellen durchgeführt, die in der Abbildung 23 als großes grünes Quadrat dargestellt sind.

*Tabelle 7: Ausgewählte Messstellen für detaillierte Dokumentation - Lage samt Zuordnung zu den fünf Bilanzgebieten (kurz BilGeb).*

Lfd. Nr	Messstelle	Lage	mittl. Messwert	mittl. Kalibrationsw.	Residuen	Jahre
1	9002216	Wien Donau Nord	157.46	157.44	0.0227	12.0
2	9002178	Wien Donau Süd	151.18	151.34	-0.1572	12.0
3	9384260	Gerasdorf BilGeb1	154.17	154.29	-0.1167	12.0
4	9002224	Wien Donaustadt BilGeb1	150.78	150.92	-0.1361	12.0
5	326686	Marchfeld Süd BilGeb2	146.98	146.94	0.0390	12.0
6	9392837	Leopoldsdorf BiGeb2	146.06	146.27	-0.2072	12.0
7	326678	Haringsee BilGeb3	143.22	143.39	-0.1704	12.0
8	331215	Loimersdorf BilGeb3	141.21	141.34	-0.1273	12.0
9	322685	Hagenbrunn (Nordwest)	172.33	172.55	-0.2159	12.0
10	304584	Deutsch Wagram BilGeb4	154.16	154.37	-0.2075	12.0
11	304683	Gänsernsdorf BilGeb4	150.50	150.48	0.0165	12.0
12	9391180	Gänsernsdorf BilGeb4	151.38	151.31	0.0665	12.0
13	301309	Obersiebenbrunn BilGeb5	146.57	146.94	-0.3676	12.0
14	305300	Gänserndorf Ost BilGeb5	146.58	146.19	0.3807	12.0
15	326520	Marchegg	139.18	139.38	-0.2006	12.0
16	9392696	Mühlhaufen BilGeb3	142.09	141.86	0.2374	4.2
17	9391888	Zwerndorf	141.45	141.45	0.0016	12.0

Die grundsätzlich sehr hohe Qualität der instationären Kalibration des Grundwasserströmungsmodells über den gesamten Modellierungszeitraum von 1993 bis 2004 ist anhand der Grafiken in Abbildung 24 bis Abbildung 38 ersichtlich.

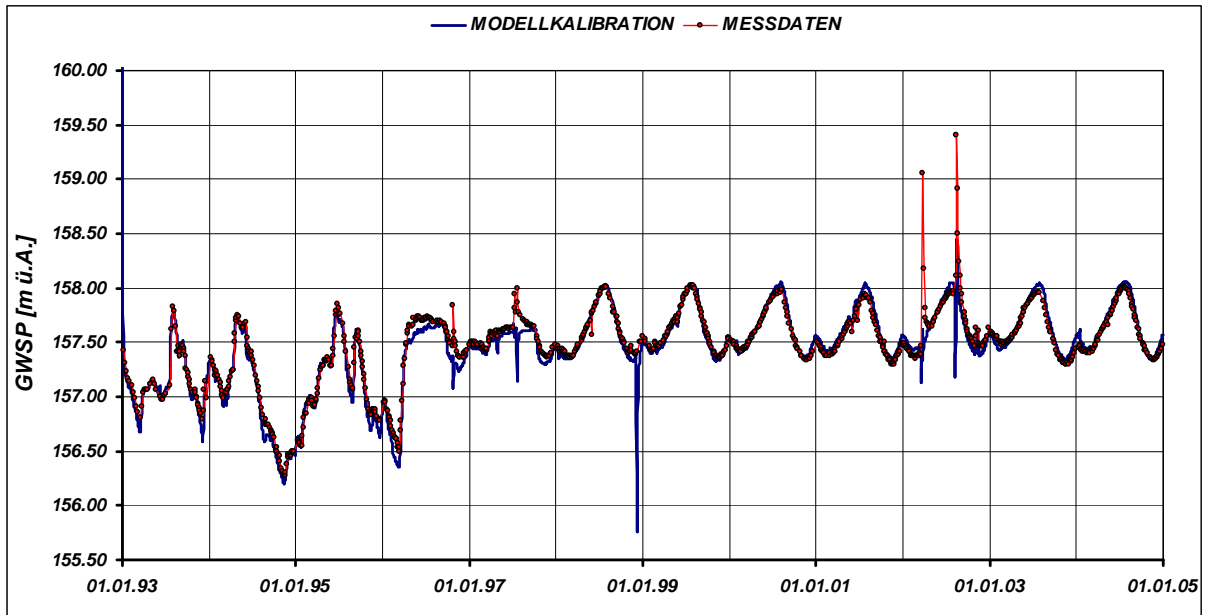


Abbildung 24: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9002216 (Wien Donau Nord)

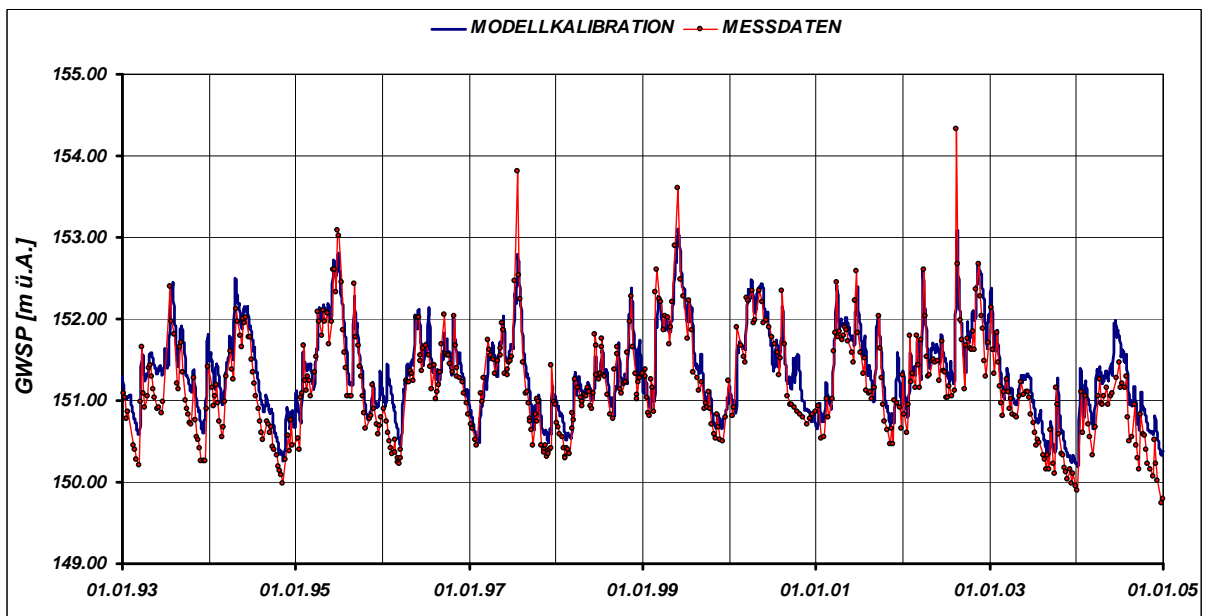


Abbildung 25: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9002178 (Wien Donau Süd)

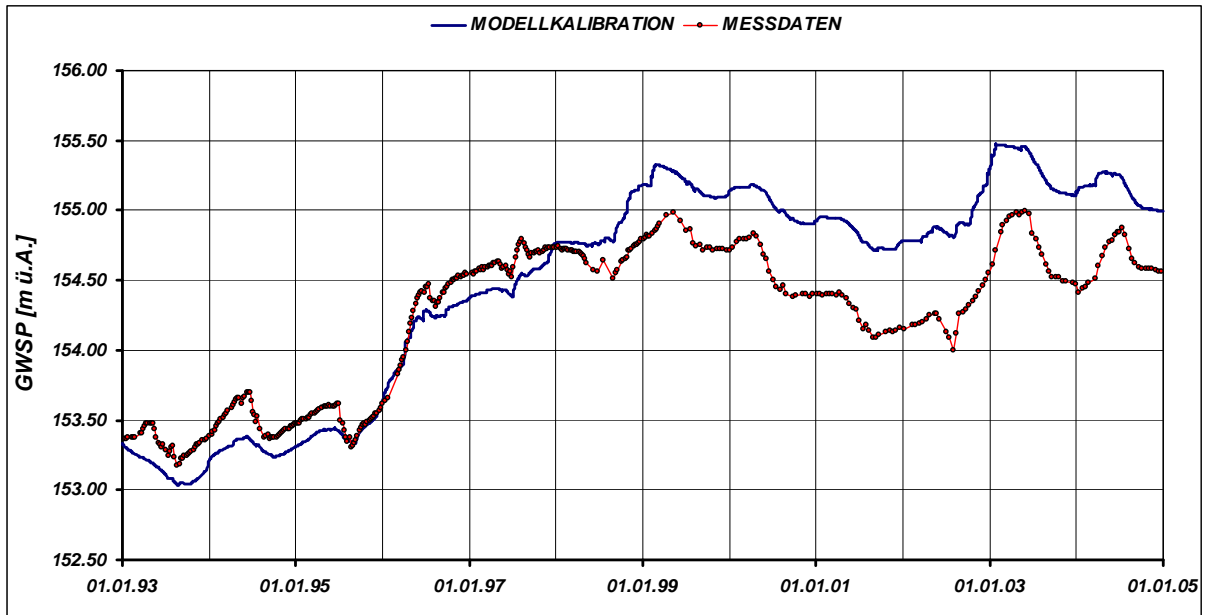


Abbildung 26: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9384260 (Gerasdorf BilGeb1)

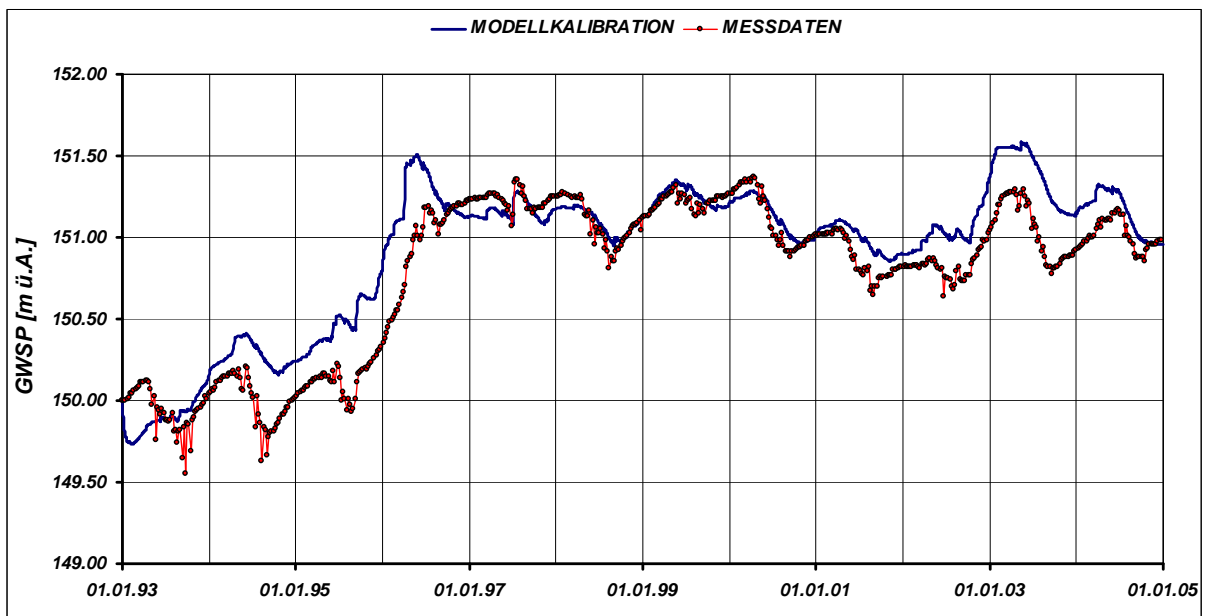


Abbildung 27: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9002224 (Wien Donaustadt BilGeb1)

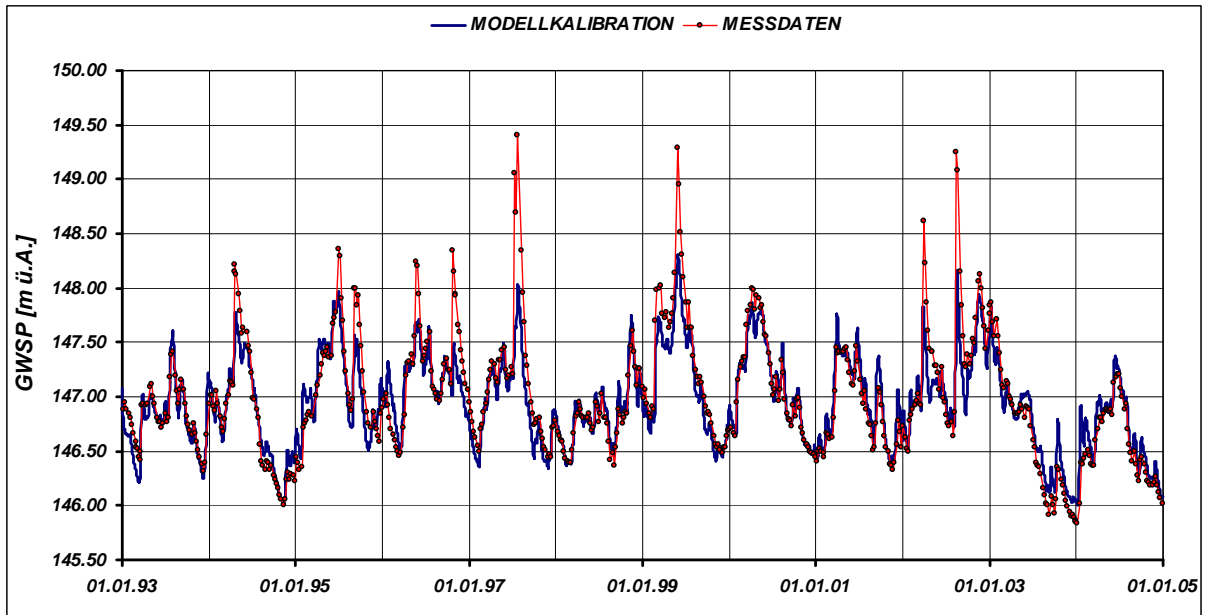


Abbildung 28: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 326686 (Marchfeld Süd BiGeb2)

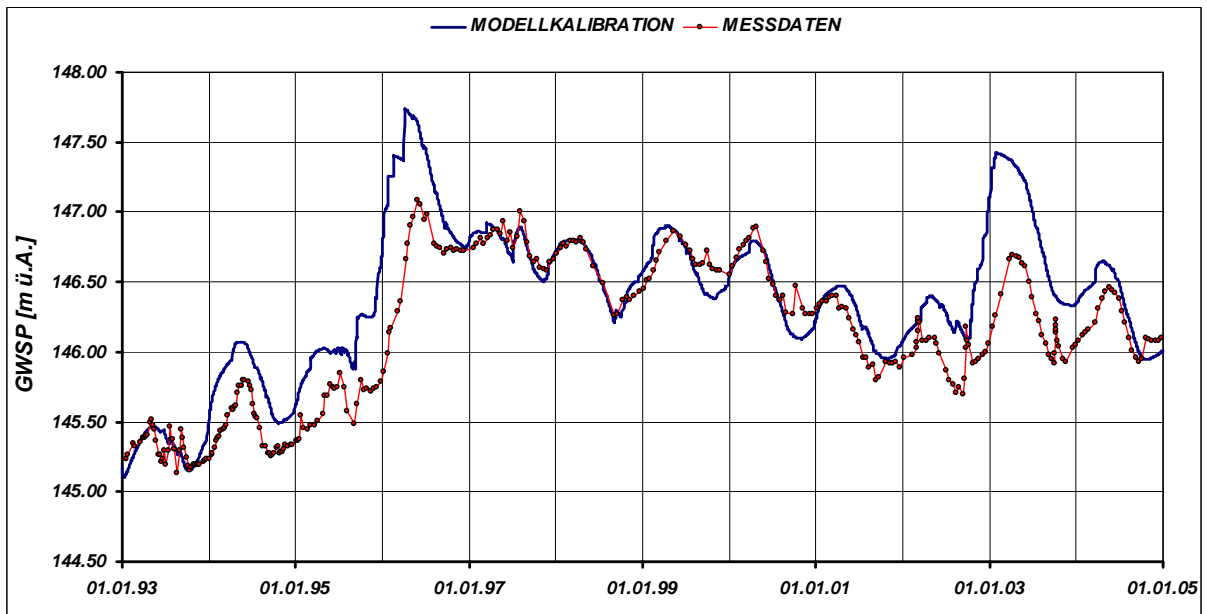


Abbildung 29: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9392837 (Leopoldsdorf BiGeb2)

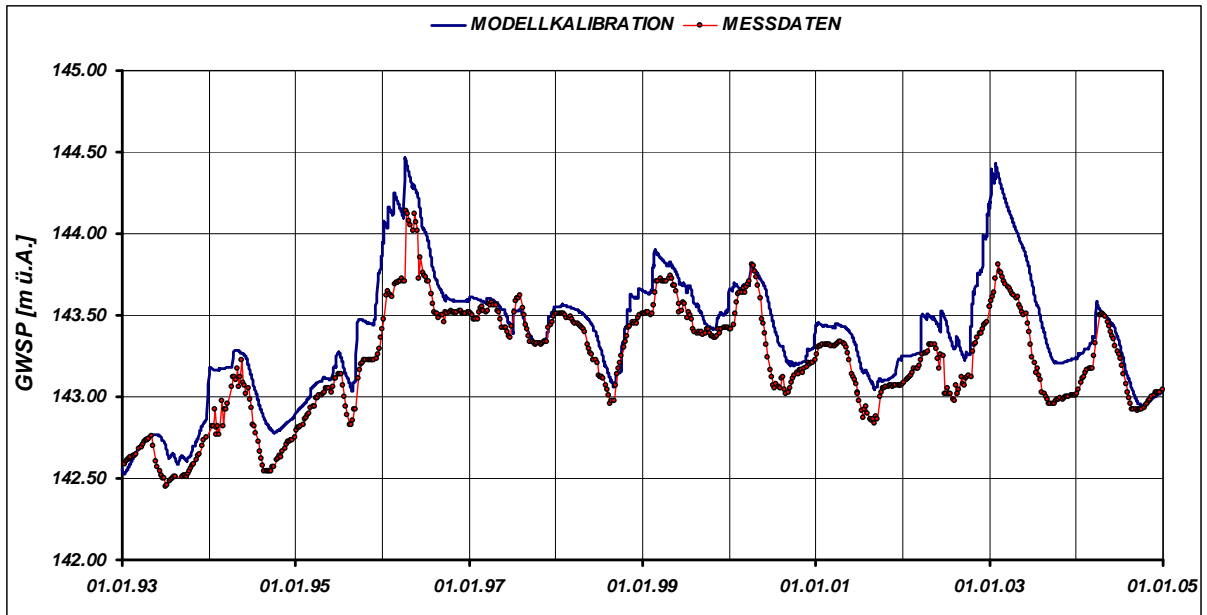


Abbildung 30: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 326678 (Haringsee BilGeb3)

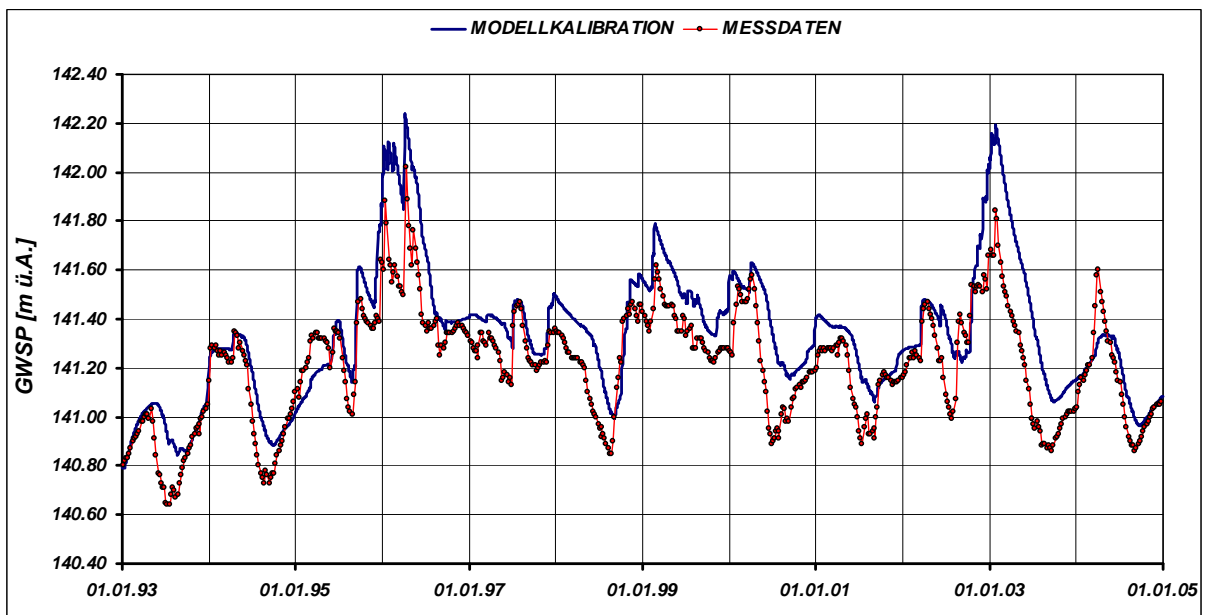


Abbildung 31: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 331215 (Loimersdorf BilGeb3)

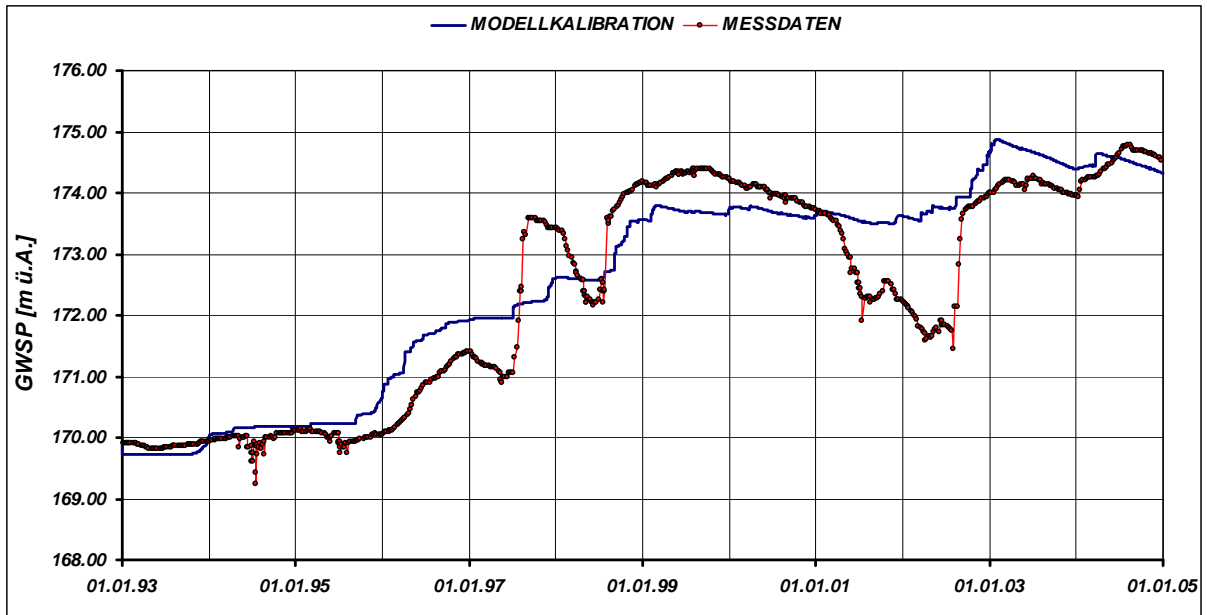


Abbildung 32: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 322685 (Hagenbrunn – Nordwestliches Marchfeld)

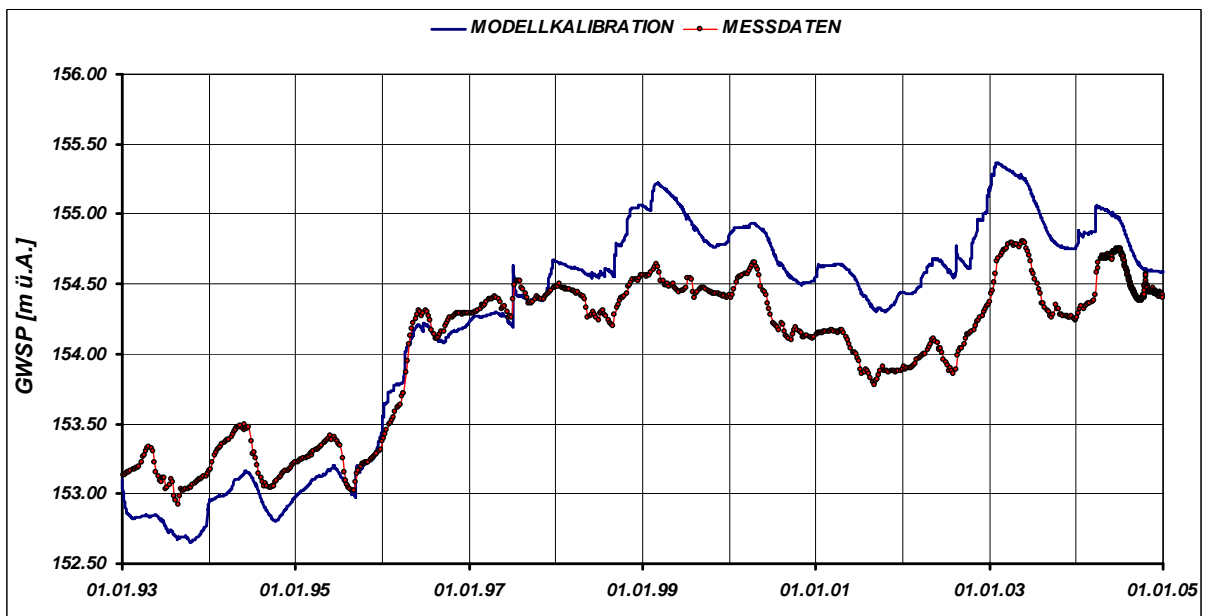


Abbildung 33: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 304584 (Deutsch Wagram BilGeb4)

Die Bedeutung der instationären Einbindung von Fließgewässern wird an der Messstelle 304683 bei Gänserndorf deutlich ersichtlich (siehe Abbildung 34). Die markante Grundwasserspiegeldynamik bedingt durch den Weidenbach ist in der berechneten Ganglinie nicht erkennbar, da der Weidenbach nur stationär im Grundwassermodell enthalten ist.

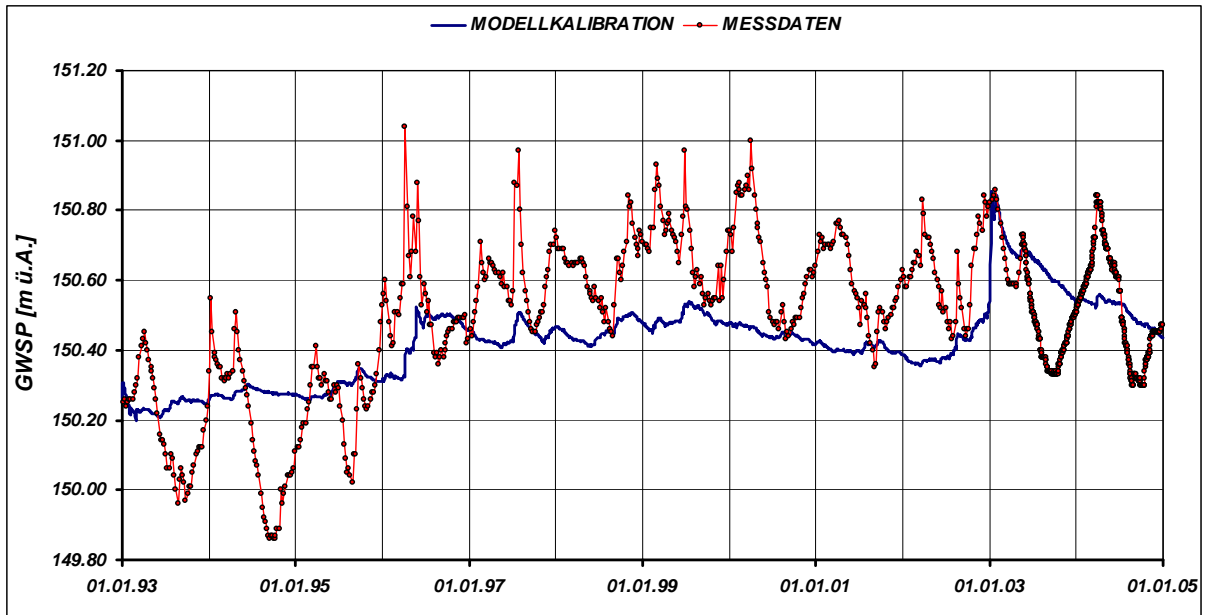


Abbildung 34: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 304683 (Gänsernsdorf Weidenbach BilGeb4)

Die rund 1700 m südlich gelegene Messstelle 9391180 weist auf Grund der größeren Entfernung zum Weidenbach einen deutlich unterschiedlichen Verlauf auf, der durch das Modell gut wiedergegeben werden kann (siehe Abbildung 35).

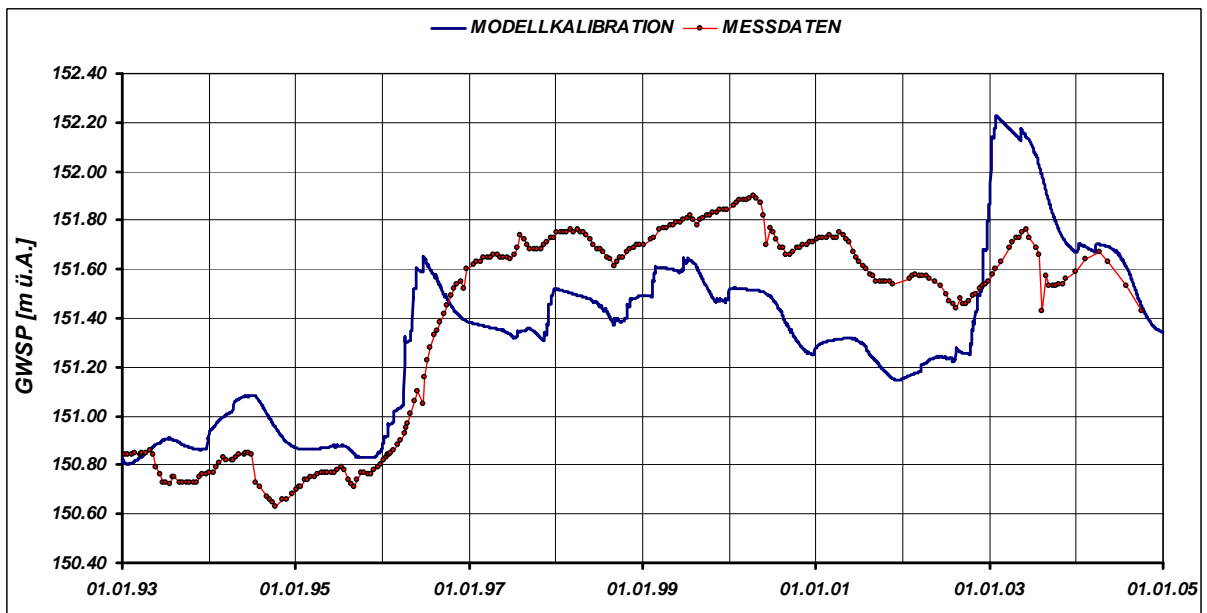


Abbildung 35: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 9391180 (Gänserndorf BilGeb4; 1700 m südl. von 304683)

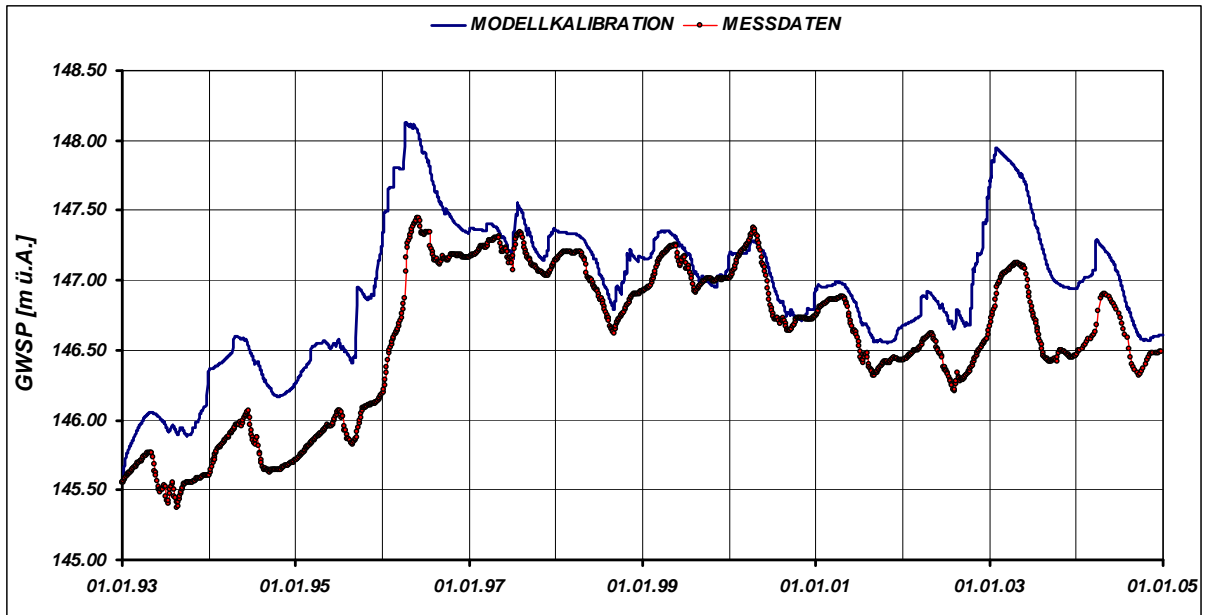


Abbildung 36: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 301309 (Obersiebenbrunn; BilGeb5)

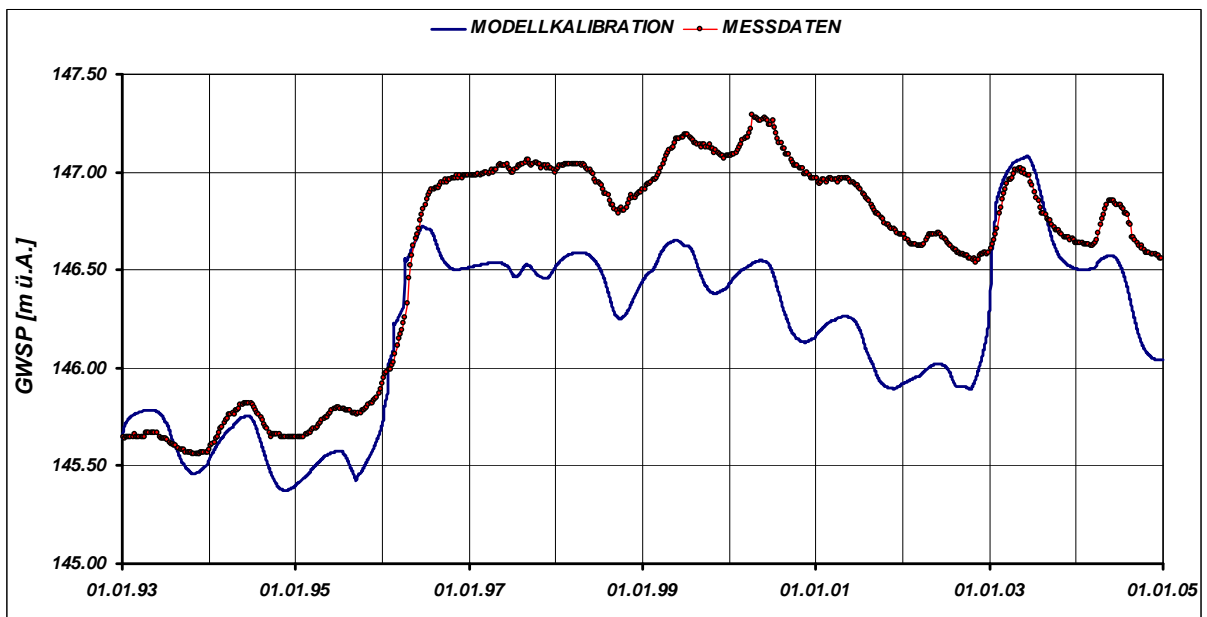


Abbildung 37: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 305300 (Gänserndorf Ost BilGeb5)



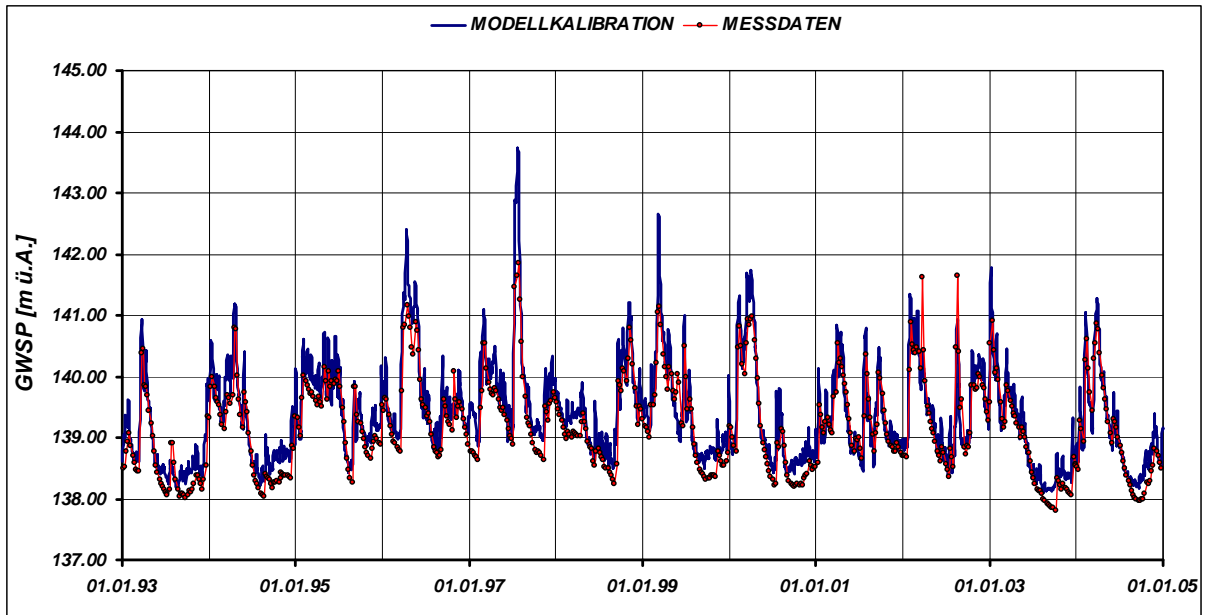


Abbildung 38: Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells: Vergleich der gemessenen Grundwasserspiegelganglinie (Punkte) mit den Berechnungsergebnissen (blaue Linie) für die Messstelle 326520 (Marchegg)

Es wurden je zwei Messstellen aus den insgesamt fünf Bilanzgebieten, zwei Messstellen aus dem Raum Wien, eine Messstelle aus dem Nordwestteil des Marchfeldes und eine Messstelle an der March ausgewählt. Die kartographische Lage der Messstellen ist in Abbildung 23 und textlich unter den Diagrammen dargestellt.

Grundsätzlich belegen diese Darstellungen mit mittleren Abweichungen von < 40 cm zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserspiegellagen die Güte des Modells für den gesamten Untersuchungsraum.

Die Gültigkeit des Modells wurde auch an Messstellen mit Aufzeichnungslücken und einer Beobachtungsdauer von weniger als 10 Jahren überprüft. Messung-Rechnungsvergleiche sind an Hand zweier Beispiele in Abbildung 39 und Abbildung 40 dargestellt.

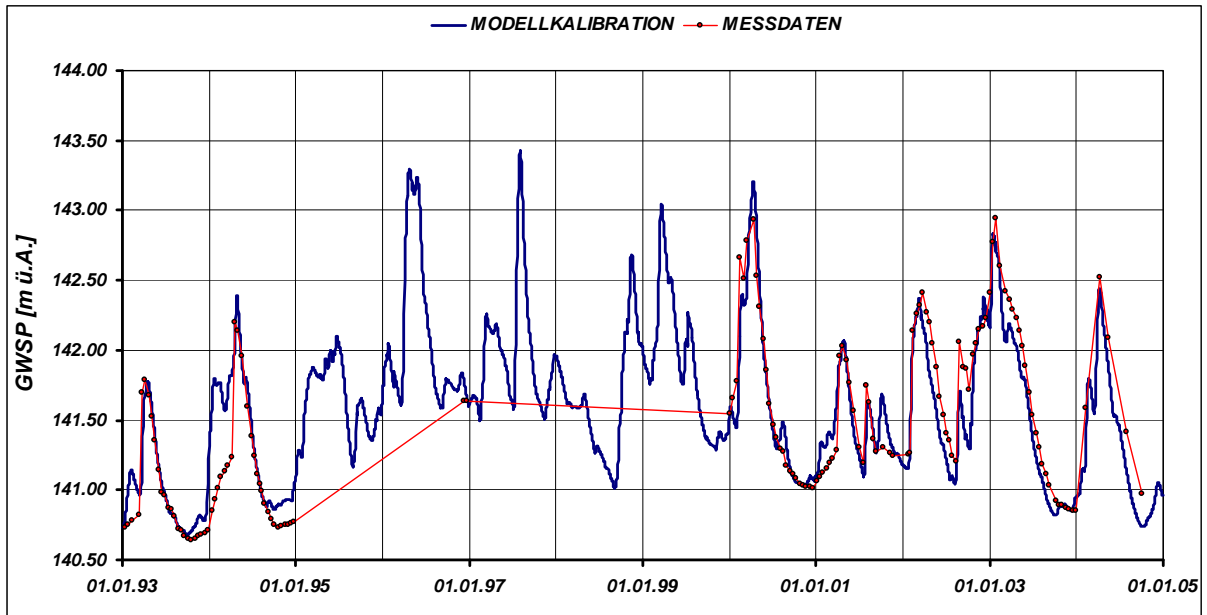


Abbildung 39: Verifizierung des instationären Grundwassermodells Marchfeld durch Gegenüberstellung der Messwerte und der Rechenergebnisse an der Messstelle 9391888 (Zwerndorf)

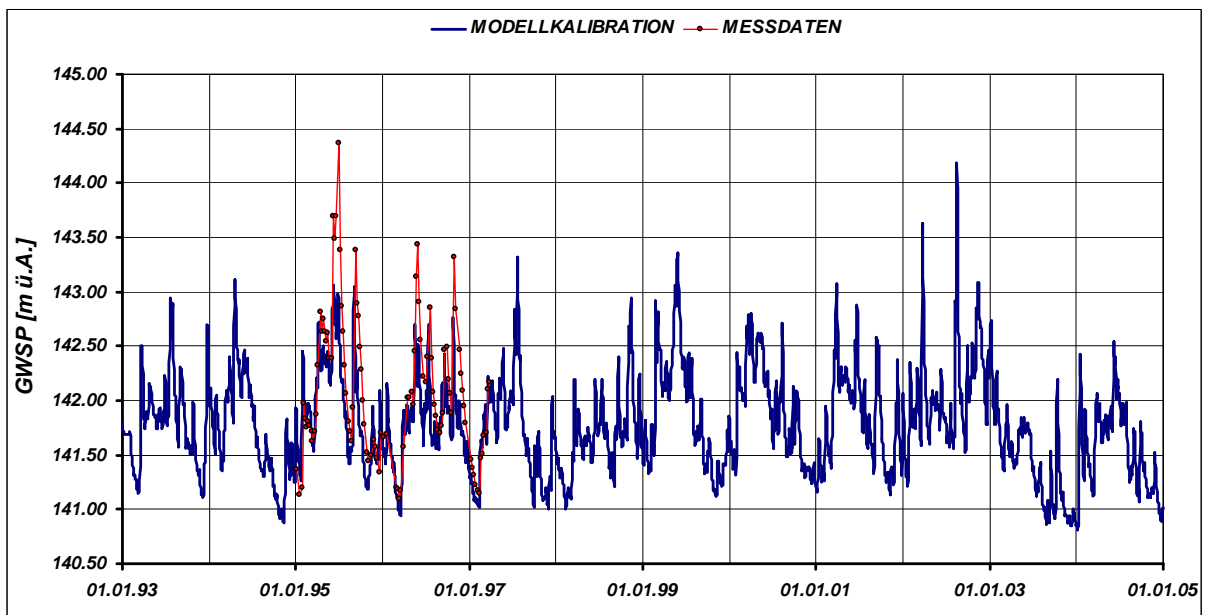


Abbildung 40: Verifizierung des instationären Grundwassermodells Marchfeld durch Gegenüberstellung der Messwerte und der Rechenergebnisse an der Messstelle 9392696 (Mühlhaufen BilGeb3)

Diese bisherigen Vergleichsganglinien in Relation zur Lage dieser Messstellen (Abbildung 23) belegt die grundsätzlich sehr hohe Qualität der Modellkalibration.

Im „Anhang B“ (siehe DVD\_1) sind die statistischen Kennwerte (siehe 3.3.3.1) für alle ausgewerteten Messstellen (maximale Lücke kleiner bzw. größer 60 Tage) in tabellarischer Form dargestellt.

Der Betrag der mittleren Abweichung zwischen Messdaten und berechneten Daten an Messstellen mit maximaler Lücke kleiner 60 Tage und mindestens 10 Jahren Beobachtungsdauer beträgt 0.38 m. Die in Kap. 3.3.3.1 diskutierten statistischen Parameter zeigen ebenfalls für die Messstellen mit maximaler Lücke kleiner 60 Tage im Mittel über das Untersuchungsgebiet gute Ergebnisse (RMSE: 0.32, CRM - 0.001 und CD: 0.76; vgl. Kap. 3.3.3.1)

Der Betrag der mittleren Abweichung zwischen Messdaten und berechneten Daten an Messstellen mit maximaler Lücke größer 60 Tage und weniger als 10 Jahren Beobachtungsdauer beträgt 0.35 m. Die in Kap. 3.3.3.1 diskutierten statistischen Parameter zeigen ebenfalls für die Messstellen mit maximaler Lücke größer 60 Tage im Mittel über das Untersuchungsgebiet gute Ergebnisse (RMSE 0.32, CRM - 0.001 und CD 0.90; vgl. Kap. 3.3.3.1).

Die grundsätzlich sehr hohe Kalibrationsqualität ist auch aus der Gegenüberstellung der gemessenen mittleren Grundwasserspiegellage zu der berechneten an den einzelnen Messstellen in Abbildung 41 und Abbildung 42 ersichtlich: Die resultierenden Punkte verteilen sich im Scatterplot auf der 1:1 – Geraden, die Abweichungen sind minimal, eine lineare Regressionsgerade weist eine Steigung von nahe 1 auf, wobei das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  nahe bei 1 liegt.

Die Verteilung dieser Beziehung für all jene Messstellen, welche Beobachtungslücken kleiner 60 Tage und einen Beobachtungszeitraum größer 10 Jahre aufweisen ist in Abbildung 41 dargestellt. In dieser Darstellung wurde naturgemäß für die Berechnung der Beziehung zwischen gemessener und gerechneter mittlerer Grundwasserspiegellage bei jeder Messstelle nur der Zeitraum herangezogen, in denen zeitgleiche Werte verfügbar waren. Die Qualität der Schätzung ist eine ähnliche wie oben erwähnt: die Punkte liegen auf einer 1:1–Geraden mit einer Steigung von 1 und einem Bestimmtheitsmaß von 0.9941 bei insgesamt 241 Datensätzen (jener Teil der Messstellen, die zur Kalibration herangezogen wurden).

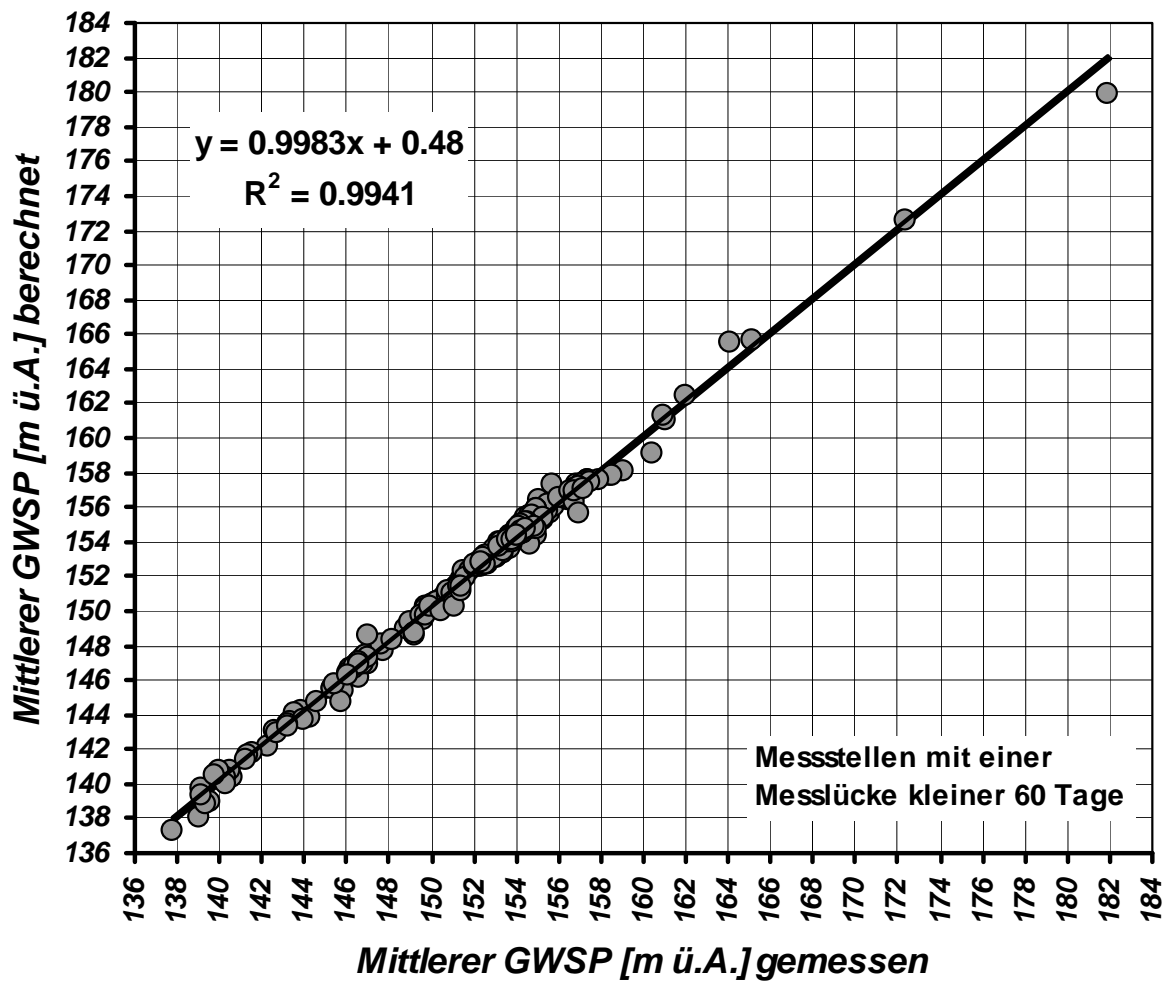


Abbildung 41: Vergleich gemessener mittlerer Grundwasserspiegellagen mit berechneten mittleren Grundwasserspiegellagen - Messstellen mit Beobachtungslücken kleiner 60 Tage und einer Beobachtungszeit von mindestens 10 Jahren in Scatterplotdarstellung (Kalibrationsmessstellen)

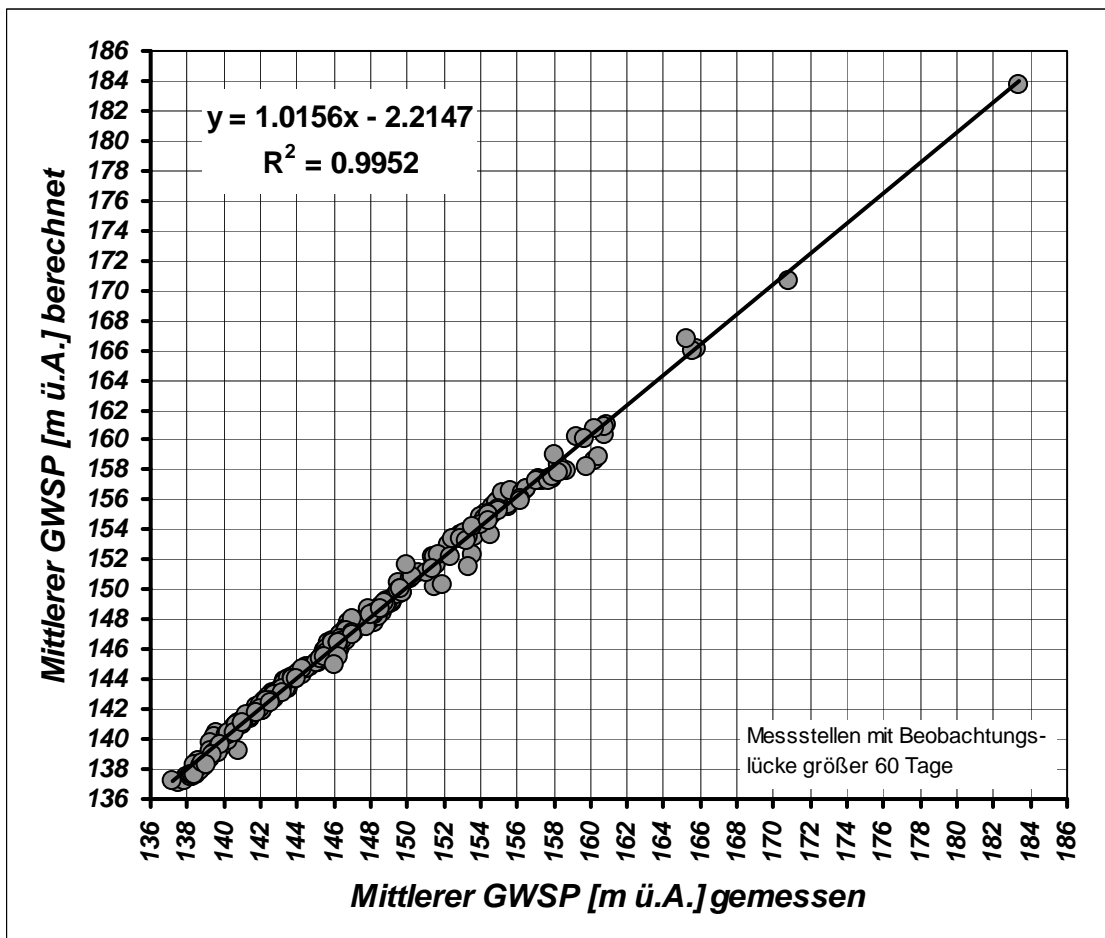


Abbildung 42: Vergleich gemessener mittlerer Grundwasserspiegellagen mit berechneten mittleren Grundwasserspiegellagen an allen Messstellen mit Beobachtungslücken größer 60 Tage und einer Beobachtungszeit von kleiner 10 Jahren in Scatterplotdarstellung (Verifikationsmessstellen)

Für alle Messstellen mit Beobachtungslücken größer 60 Tage und einer Beobachtungszeit von kleiner 10 Jahren („Verifikationsmessstellen“) gilt: Die Relation zwischen gemessenem und berechnetem mittlerem Grundwasserspiegel im Auswertzeitraum jeder Messstelle liegt bei annähernd 1, das Bestimmtheitsmaß beträgt 0.9952 bei insgesamt 347 ausgewerteten Verifikationsmessstellen (nur Messstellen mit Lücke größer 60 Tage, die über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt sind; siehe Abbildung 42).

Räumlich gesehen, zeigt sich folgende Residuenverteilung (mittlerer Messwert minus mittlerer Kalibrationswert) im Modelgebiet.

Am Nordwestrand des Marchfeldes liegen die mittleren berechneten Werte zum Teil bis zu 2 m (Bsp. 304782) unter bzw. 1.3 m (327346) über den Messwerten. Im Raum Langenzersdorf liegen die Kalibrationswerte in Teilbereichen bis zu 1,3 m unter dem Messdatenniveau (z.B. 303313). Auf der anderen Seite befinden sich in diesen Gebieten auch zahlreiche Messstellen mit sehr hoher Kalibrationsqualität (siehe 322685 oder 9002216).

In Wien wurde die höchste Kalibrationsqualität entlang der Donau erreicht, wo die Residuen unter  $\pm 20$  cm betragen. In den anderen Teil von Wien liegen die mittleren Kalibrationshöhen maximal 1 m über den gemessenen Grundwasserspiegelhöhen.

Im **Bilanzgebiet 1** (siehe Abbildung 43) wurden generell sehr gute Kalibrationsergebnisse erreicht wobei in kleineren Teilbereichen z.T. erhöhte positive bzw. negative Abweichungen (maximal 80 cm) zu verzeichnen sind.

Im **Bilanzgebiet 2** liegen die Residuen nur an zwei Messstellen außerhalb des  $\pm 0,5$  m Bereiches (maximale Abweichung:  $-0,55$  m an der Messstelle 304931 am Marchfeldkanal). Im allergrößten Teil des Bilanzgebietes 2 wurden sehr gute Kalibrationsergebnisse erzielt.

Im **Bilanzgebiet 3** wurde eine sehr gute Kalibrationsanpassung erreicht. Nur an einer Messstelle (304600) beträgt die mittlere Abweichung (mittlere Messwerte minus mittlere Berechnungsergebnisse)  $-0,52$  m.

Im Nordwesten des **Bilanzgebietes 4** liegen die mittleren Kalibrationswerte maximal 1.69 m (327080) über den gemessenen Werten. Am Ostrand des Bilanzgebietes 4 liegen die mittleren berechneten Werte maximal 1.56 m über den gemessenen Werten (317289). In den übrigen Teilen konnten sehr gute Kalibrationsergebnisse erzielt werden.

Im **Bilanzgebiet 5** ist nur an einer Messstelle (317651) am Nordrand des Modellgebietes eine Abweichung von  $0,98$  m festzustellen. An allen übrigen Messstellen wurde eine sehr gute Modellanpassung erreicht.

Am **Ostrand des Marchfeldes** entlang der March konnten auf Grund fehlender Fließgewässerdaten die Wasserstände von Fließgewässern nur stationär berücksichtigt werden. Obwohl die Dynamik zum Teil nicht gut nachvollzogen werden konnte, sind die Residuen an den meisten Grundwassermessstellen gering. Die maximalen mittleren Abweichungen sind an den Messstellen 331769 ( $-0,77$  m), 305110 ( $-0,75$ ) sowie am Südostrand des Untersuchungsgebietes ( $+0,52 - 0,93$  m) zu verzeichnen (siehe Abbildung 43).

Auch wenn in Teilbereichen des Modells eine Nachbildung des zeitlichen Verlaufes des gemessenen Grundwasserspiegel weniger gut möglich war, so kann die Kalibrationsqualität des Grundwasserströmungsmodells unter Berücksichtigung der Messstellendichte und deren Verteilung sowie der Unsicherheiten bei der Definition der Randbedingungen grundsätzlich als sehr gut bezeichnet werden.

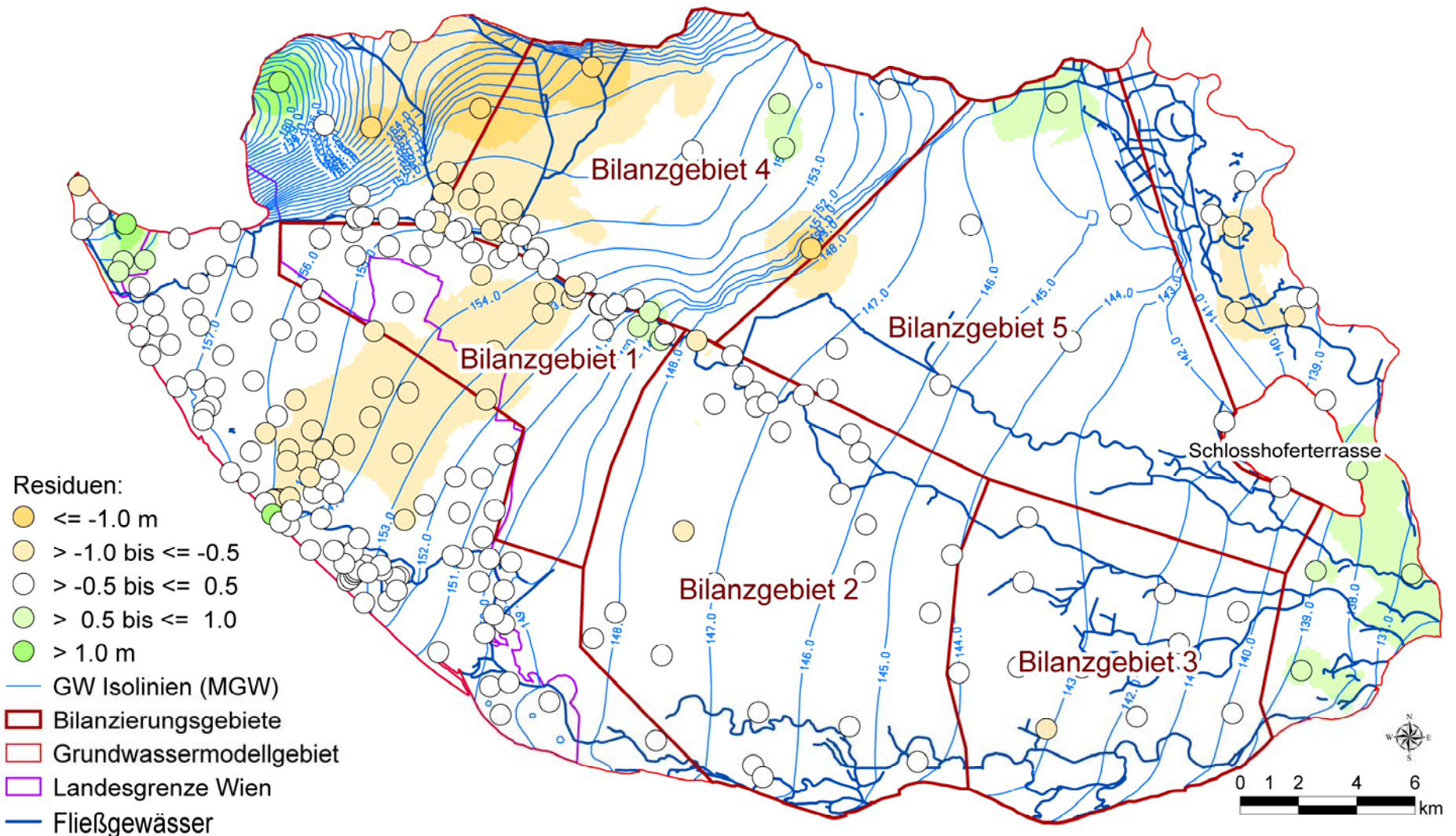


Abbildung 43: Residuen an Messstellen mit einer Beobachtungslücke kleiner 60 Tage und einer Beobachtungsdauer von mindestens 10 Jahren.

### 3.3.3.3 Verteilung der Durchlässigkeiten

In Karte 5 ist als Ergebnis der instationären Kalibration des Grundwasserströmungsmodells Marchfeld die Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im Modellgebiet dargestellt. Basierend auf den geologischen Gegebenheiten wurde eine Startverteilung erarbeitet und durch „trial and error“ eine bestmögliche Kalibration der Durchlässigkeitsverteilung durch Anpassung der Berechnungsergebnisse an die gemessenen Ganglinien von 588 Messstellen gesucht. Die resultierende Verteilung zeigt mit Werten zwischen  $k_f = 1.0 \cdot 10^{-4}$  und  $k_f = 5.0 \cdot 10^{-3}$  m/s für derartige Aquifere typische Größenordnungen. Im überwiegenden Bereich des südlichen Marchfeldes liegen die Durchlässigkeiten bei  $5 \cdot 10^{-3}$  m/s. Im nördlichen Teil des Marchfeldes sind die Durchlässigkeiten etwas geringer ( $1 \cdot 10^{-3}$  bis  $3 \cdot 10^{-3}$  m/s). Die geringsten Durchlässigkeiten finden sich im Nordwestteil des Marchfeldes ( $< 1 \cdot 10^{-3}$  m/s). Die Seeflächen im Untersuchungsgebiet wurden mit Durchlässigkeiten von 10.000 m/s nachgebildet. Das Gebiet der Schloschofer Platte wurde nicht als Loch in der Modellnetzgeometrie realisiert, sondern mittels eines sehr geringen  $k_f$  von  $1.0 \cdot 10^{-4}$  m/s. Dies bewirkt in der Praxis, dass praktisch das gesamte anströmende Wasser seitlich an der Schloschofer Platte vorbei in die March abfließen muss. Der Vergleich zwischen den berechneten und gemessenen Grundwasserganglinien bestätigt diese Annahme. Die auf der Schloschofer Platte infiltrierenden Niederschläge werden ohne die Berücksichtigung eines seichten Aquifers als Neubildung aufgebracht und mit Verzögerung in Richtung March abgeführt. Über spezielle Entwässerungswege (Quellaustritte am Rande der Schloschofer Platte) gibt es zwar Hinweise, aber keine konkreten Unterlagen.

### 3.3.3.4 Porenvolumina

Die Porenvolumina wurden einheitlich mit 10% angenommen. Die Differenzierung der Porenvolumina im Zuge des Kalibrationsvorganges erwies sich nicht als sinnvoll, da die Dynamik des Grundwasserganges im gesamten Gebiet sehr stark von anderen Faktoren (Donau, March, GW-Neubildung, Bewässerung) dominiert wird.

### 3.3.3.5 Grundwasserströmungsverhältnisse

Zur Dokumentation der Grundwasserströmungsverhältnisse wurden mit Ausnahme der Karte 6 (Niederwasserverhältnisse – Stichtag 1.9.1995) und Karte 8 (Hochwasserverhältnisse 1.6.1996) stets die Grundwasser-Isohypsen bei Mittelwasserverhältnissen dargestellt. Für diese Darstellungen der NGW- und HGW-Grundwasserisolinienkarten wurden Messtermine gewählt, an denen an einer möglichst großen Zahl von Messstellen in etwa Nieder- bzw. Hochwasserverhältnisse für den Untersuchungszeitraum herrschten. Da es in einem derartigen Grundwassergebiet, das durch unterschiedliche Einflussfaktoren gesteuert wird, keine mittleren Strömungsverhältnisse gibt (dies



begründet unter anderem die Notwendigkeit der Kalibration instationärer Modelle) wurde ein „quasi mittlerer“ Grundwasserstand (Stichtag 1.2.2001) gewählt.

Als zweite Möglichkeit der Ermittlung und Darstellung von „mittleren“ Grundwasserspiegelverhältnissen stellt die Verwendung des Q50 Medianwertes der Kalibrierungsergebnisse an jedem Netzknoten dar (d.h. 50 % aller Grundwasserspiegelhöhen im Untersuchungszeitraum 1.1.1993 – 31.12.2004 sind höher und 50 % sind niedriger). Die Verwendung von Q50-Mittelwasserständen an jeder Messstelle bzw. jedes Modellknotens ergibt auch eine mittlere Spiegellagenverteilung im Untersuchungsgebiet, die daraus abzuleitenden Strömungsverhältnisse repräsentieren theoretisch keine reale Grundwasserströmungssituation, die Unterschiede zu den mittleren Strömungsverhältnissen im Marchfeld sind sehr gering.

Es ist wichtig zu beachten, dass auf Grund der sich immer wieder in unterschiedlicher Form überlagernden hochgradig instationären Einflussgrößen (Oberflächengewässer, Grundwasserneubildung, Entnahmen...), die im folgenden beschriebenen Grundwasserströmungsbilder mehr oder weniger „einzigartige Momentaufnahmen“ der Grundwasserströmung darstellen.

Das Beispiel für ein Grundwasserströmungsbild bei Niederwasserverhältnissen bei IST-Zustand (Stichtag 1.9.1995 siehe Karte 6), zeigt unter Berücksichtigung der die in das Modell integrierten realen Grundwasserentnahmen und der definierten Randbedingungen eine Grundwasserhauptstromrichtung von WNW nach ESE. Unter den gegebenen Verhältnissen sind folgende lokale Strömungsverhältnisse zu beobachten: Im Nordwesten vom Randbereich zum Bisamberg (Raum Hagenbrunn) bis etwa westlich von Gänserndorf sind vergleichsweise steile Grundwassergefälleverhältnisse zu verzeichnen. Im Dreieck Straßhof – Gänserndorf-Siedlung – Markgrafneusiedl ist eine deutliche Versteilung des Grundwasserspiegelsgefälle festzustellen. Im größten Teil des Marchfeldes (Zentralbereich) verläuft die Hauptstromrichtung von WNW nach ESE. Am Südrand ab der Einmündung der Neuen Donau in die Donau bis zur Einmündung der March in die Donau ist ein Infiltrationsbereich (von Donau => GW) an den Grundwasserisolinien klar erkennbar. Ursache dafür besteht darin, dass am 1.9.1995 an der Donau ansteigende Wasserstände herrschten. In unmittelbarer Nähe zur Donau kam es auf Grund starker Infiltration in der Folge zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels. Am nordöstlichen Rand des Marchfeldes (Zwerndorf bis Höhe Marchegg Bahnhof) ist eine Exfiltration von Grundwasser in die March mit leichtem Gefälle festzustellen. Die aus den Isolinien ersichtliche Infiltration der March in das Grundwasser am südöstlichen Rand (Marchegg bis zur Einmündung der March in die Donau) ist auf Grund der im Kap. 3.1.6.2 erwähnten Unsicherheiten (komplexes Zusammenwirken von Donau und March) mit sehr großen Unsicherheiten behaftet.

Das Beispiel für ein Grundwasserströmungsbild bei Mittelwasserverhältnissen bei IST-Zustand (Stichtag 1.2.2001 - siehe Karte 7), zeigt unter Berücksichtigung der die in das Modell integrierten

realen Grundwasserentnahmen und der definierten Randbedingungen im großen und ganzen eine ähnliche Verteilung der Gefällsverhältnisse wie beim NGW-Stichtag, aber auf naturgemäß höherem Grundwasserspiegelniveau. Der signifikanteste Unterschied zum NGW-Stichtag ist am Südrand zur Donau und am südlichen Ostrand zur March festzustellen. Während bei Niederwasserhältnissen am 1.9.1995 entlang der genannten Abschnitte eine Infiltration von Donau und March ins Grundwasser festzustellen ist, ist zum gewählten MGW-Stichtag am 1.2.2001 ab etwa Schönau an der Donau eine Exfiltration von Grundwasser in Donau und March (GW => OG) festzustellen.

Das Beispiel für ein Grundwasserströmungsbild bei Hochwasserhältnissen bei IST-Zustand (Stichtag 1.6.1996 - siehe Karte 8), zeigt unter Berücksichtigung der die in das Modell integrierten realen Grundwasserentnahmen und der definierten Randbedingungen im großen und ganzen eine ähnliche Verteilung der Gefällsverhältnisse wie an den NGW- und MGW-Stichtagen, aber naturgemäß auf noch höherem Grundwasserspiegelniveau. Die signifikantesten Unterschiede in der Strömungsrichtung sind wieder entlang der Donau im Süden und entlang der March am südlichen Ostrand festzustellen. Zum gewählten HGW Stichtag ist im Süden eine Infiltration von Donau ins Grundwasser feststellbar und im Osten eine Exfiltration von Grundwasser in die March feststellbar.

Die Grundwasserströmungsverhältnisse bei etwa mittleren Grundwasserständen am 1.2.2001 sind mit Ausnahme des donaanahen Bereichs gut mit den Grundwasserströmungsverhältnissen Q50 vergleichbar.

### **3.3.3.6 Grundwasserbilanz**

Zur Auswertung der instationären Grundwasserbilanz wurden zusätzlich zur Gesamtbilanz des Modells fünf Bilanzgebiete definiert (diese sind in Abbildung 43 dargestellt). Dieser Vorgang wurde deshalb gewählt, weil die Gesamtbilanz allein für die Beschreibung der Grundwasserströme des Marchfeldes zu wenig aussagekräftig ist. Bei der Definition der Bilanzgebiete wurde darauf geachtet, dass einerseits zusammengehörige Gebiete erhalten bleiben und andererseits die Gebiete mit geringerer Aussagesicherheit nicht in den ausgewerteten Bilanzgebieten enthalten sind.

Die Gesamtbilanz enthält Mittelwerte der Bilanzkomponenten über den gesamten Berechnungszeitraum (Tabelle 8). Der zeitliche Verlauf der instationären Bilanzkomponenten ist am Beispiel March und Donau in der Abbildung 45 und Abbildung 46 für das Jahr 1997 dargestellt. Weitere instationäre Bilanzen einzelner Bilanzkomponenten sind in digitaler Form auf der „Ergebnis-DVD“ enthalten. Die Infiltration und Exfiltration aller Oberflächengewässer (OGew gesamt) ist mit zirka 3900 l/s im Gleichgewicht. Diese Menge erscheint, verglichen mit herkömmlichen Angaben, auf den ersten Blick zu hoch. Diese Mengen umfassen jedoch auch die großen Mengen an infiltrierendem Wasser bei hohen Wasserspiegeln der Donau und March, die nach Sinken des Wasserspiegels im Oberflächengewässer nach kurzer Zeit wieder vom Grundwasser in das Oberflächengewässer exfiltrieren. Im Bereich der Donau-Augewässer wird ein Großteil des infiltrierten

Donauwassers auf kurzem Wege wieder über die Augewässer abgeführt. Um ein besseres Verständnis über die Bilanzgrößen im Feld zu erhalten, wurden zusätzlich die In- und Exfiltrationen von Donau, March, Rußbach, Stempfelbach, und Seyringergraben erstellt. Beim großen Überschuss zwischen In- und Exfiltration der Donau (Inf. 2473 l/s, Exf -1238 l/s  $\geq$  1235 l/s Überschuss) muss noch einmal erwähnt werden, dass ein Großteil davon auf kurzem Wege über die Augewässer wieder abgeführt wird. Um die Gesamtbilanz zu erhalten wurden zusätzlich die Randzuflüsse, GW-Anreicherungen (Summe 132 l/s), die Entnahmen für Wasserversorgungen und Bewässerungen (Summe -1149 l/s) sowie der Grundwasserneubildung aus Niederschlag mit 1592 l/s ausgewertet und dargestellt. Dies ergibt eine Imbalance (instationäre Speicheränderung) von -82 l/s zwischen erstem und letztem Berechnungszeitschritt (1.1.1993 und dem 31.12.2004).

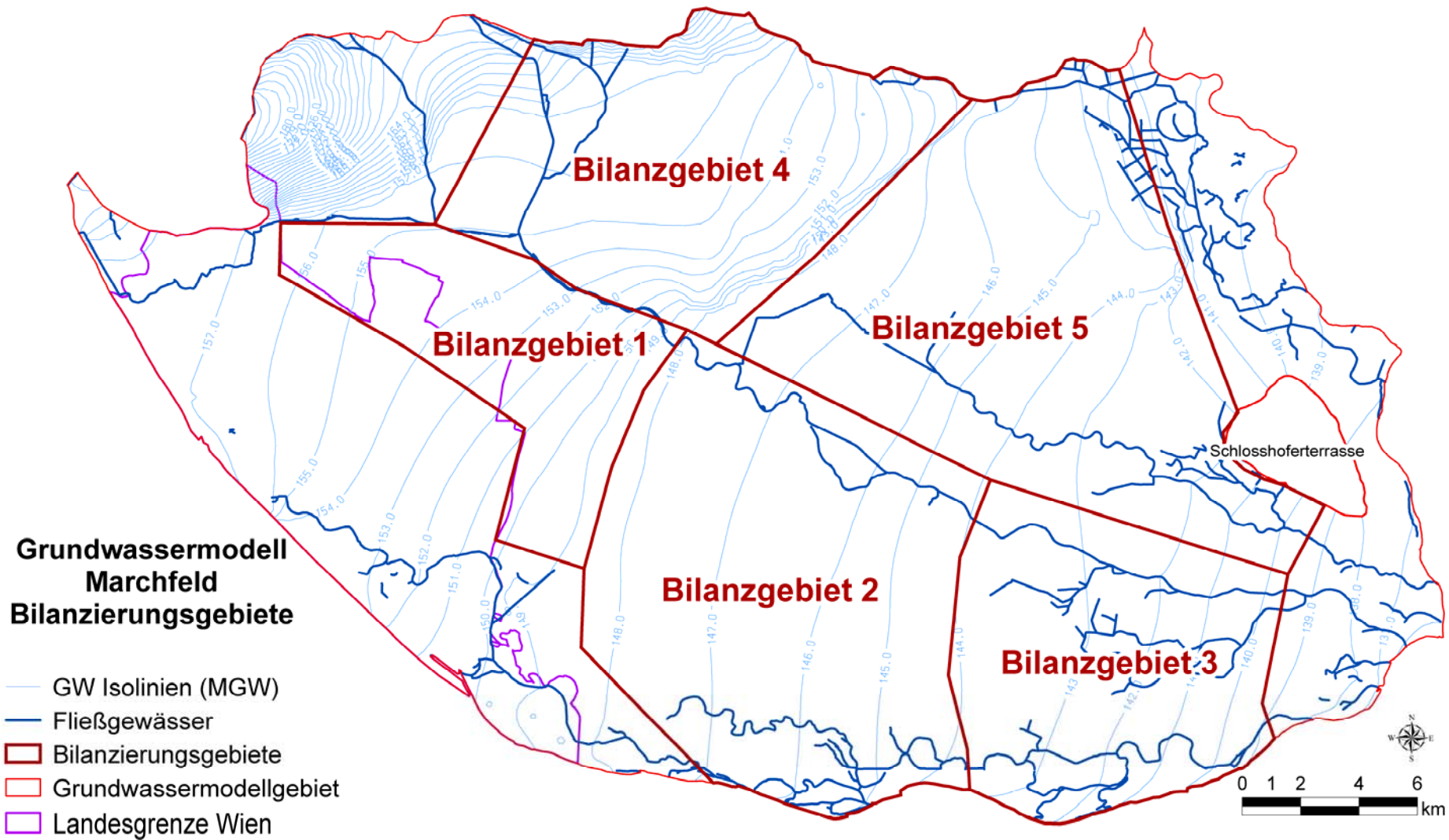


Abbildung 44: Bilanzierungsgebiete im Marchfeld

Für jedes der Bilanzgebiete wurden die In- und Exfiltration der Oberflächengewässer (OGew\_Inf/Exf), die Versickerungen und Entnahmen aus Wasserversorgungs- und Bewässerungsbrunnen (Punkt\_Zugaben/Entnahmen), die Grundwasserneubildung (GWN+/GWN-), sowie die Zu- und Abflüsse über die Ränder der Bilanzgebiete für den gesamten Modellierungszeitraum auf Tagesbasis ermittelt (innere Ränder). Die Mittelwerte über den Berechnungszeitraum sind für die einzelnen Bilanzglieder in Tabelle 9 (Einheit l/s) und Tabelle 10 (Einheit Mio. m<sup>3</sup>/J.) zusammengefasst. Liegt ein Bilanzgebietsrand am Modellrand, so existiert kein innerer Rand. Die am Modellrand durch Randbedingungen definierten Zu- und Abflüsse sind entweder in den Bilanzkomponenten Oberflächengewässerinfiltration/Exfiltration oder als Punktzuflüsse/Abflüsse enthalten.

Bei den Bilanzgebieten 4 und 5 sind die Nordränder keine inneren sondern äußere Modellränder. Deshalb wurden, wie auch für die Südränder der Gebiete 2 und 3, keine Werte angegeben. Die über diese Ränder fließenden Wassermengen sind jeweils in den Bilanzkomponenten Oberflächengewässer oder Punktzugabe enthalten.

Bei den Teilgebieten Geb2 und Geb3 sind die In/Exfiltrationen aus der Donau am südlichen Rand in den Oberflächengewässer In/Exfiltrationen enthalten. Eine Ausnahme bildet das Teilgebiet Geb1, das keine eindeutige Unterscheidung zwischen Rand West und Süd aufweist. Die Zu- und Abflüsse beider Ränder sind unter Rand West zusammengefasst.

Tabelle 8: Gesamtbilanz (Mittelwerte der Bilanzkomponenten über den gesamten Berechnungszeitraum)

Komponente	m³/d	l/s	Mio. m³/J
OGew gesamt Infiltration	338813	3921	124
OGew gesamt Exfiltration	-339041	-3924	-124
<b>OGew gesamt Inf-Exfiltration</b>	<b>-228</b>	<b>-3</b>	<b>0</b>
Randzuflüsse + Anreicherung	11388	132	4
Entnahmen Bewässerung	-99270	-1149	-36
Entnahmen WVA	-56529	-654	-21
<b>Zugaben - Entnahmen</b>	<b>-144411</b>	<b>-1671</b>	<b>-53</b>
<b>Grundwasserneubildung</b>	<b>137557</b>	<b>1592</b>	<b>50</b>
<b>Imbalance</b>	<b>-7082</b>	<b>-82</b>	<b>-3</b>
Donau Infiltration	213690	2473	78
Donau Exfiltration	-107006	-1238	-39
<b>Donau Inf-Exfiltration</b>	<b>106684</b>	<b>1235</b>	<b>39</b>
March Infiltration	48186	558	18
March Exfiltration	-69085	-800	-25
<b>March Inf-Exfiltration</b>	<b>-20899</b>	<b>-242</b>	<b>-8</b>
Rand Nord OGew Infiltration	2077	24	1
Rand Nord OGew Exfiltration	-1820	-21	-1
<b>Rand Nord OGew Inf-Exfiltration</b>	<b>257</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
<b>Rand Nord Randzufluss</b>	<b>5832</b>	<b>68</b>	<b>2</b>
Rußbach Infiltration	506	6	0
Rußbach Exfiltration	-13600	-157	-5
<b>Rußbach Inf-Exfiltration</b>	<b>-13094</b>	<b>-152</b>	<b>-5</b>
Stempfelbach Infiltration	6	0	0
Stempfelbach Exfiltration	-19407	-225	-7
<b>Stempfelbach Inf-Exfiltration</b>	<b>-19401</b>	<b>-225</b>	<b>-7</b>
Seyringergraben Infiltration	687	8	0
Seyringergraben Exfiltration	-825	-10	0
<b>Seyringergraben Inf-Exfiltration</b>	<b>-138</b>	<b>-2</b>	<b>0</b>

Tabelle 9: Teilgebietsbilanzen der Bilanzgebiete 1 bis 5 in [l/s] (Mittelwerte der Bilanzkomponenten über den gesamten Berechnungszeitraum)

Komponente	Geb1 [l/s]	Geb2 [l/s]	Geb3 [l/s]	Geb4 [l/s]	Geb5 [l/s]
Ogew_Inf	0	539	563	106	17
Ogew_Exf	0	-471	-841	-30	-216
<b>Ogew_Inf-Exf</b>	<b>0</b>	<b>67</b>	<b>-278</b>	<b>75</b>	<b>-199</b>
Punkt_Zugaben	21	0	0	42	7
Punkt_Entnahmen	-133	-386	-153	-107	-323
<b>Punkt_Zu-Entn</b>	<b>-112</b>	<b>-386</b>	<b>-153</b>	<b>-64</b>	<b>-316</b>
GWN+	95	254	181	201	329
GWN-	-3	0	0	0	0
<b>GWN_gesamt</b>	<b>92</b>	<b>254</b>	<b>181</b>	<b>201</b>	<b>329</b>
<b>Gebiets-Imbalance</b>	<b>-20</b>	<b>-64</b>	<b>-250</b>	<b>212</b>	<b>-186</b>
Innerer Rand West	203	595	534	110	139
Innerer Rand Nord	216	39	-125		
Innerer Rand Ost	-372	-534	-149	-139	-41
Innerer Rand Süd				-179	90
<b>Summe innere Ränder</b>	<b>47</b>	<b>100</b>	<b>261</b>	<b>-208</b>	<b>189</b>
<b>Gesamt</b>	<b>27</b>	<b>36</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

Anmerkungen zu Tabelle 9: Am Nordrand des Teilgebietes 4 beträgt der mittlere Randzufluss (inklusive Oberflächengewässer) 724 m<sup>3</sup>/d (ca. 8,4 l/s) und am Nordrand des Teilgebietes 5 716 m<sup>3</sup>/d (8,3 l/s). Der Zufluss vom Südrand (Donau) im Bereich des Teilgebietes 2 beträgt im Mittel 23.072 m<sup>3</sup>/d (267 l/s) und im Bereich des Teilgebietes 3 10.499 m<sup>3</sup>/d (121 l/s). Es ist festzustellen, dass ein großer Teil der Donauzuflüsse gleich wieder über die Augewässer abgeführt wird.

Tabelle 10: Teilgebietsbilanzen der Bilanzgebiete 1 bis 5 in [Mio. m<sup>3</sup>/Jahr] (Mittelwerte der Bilanzkomponenten über den gesamten Berechnungszeitraum)

Komponente	Geb1 [Mio. m <sup>3</sup> /J.]	Geb2 [Mio. m <sup>3</sup> /J.]	Geb3 [Mio. m <sup>3</sup> /J.]	Geb4 [Mio. m <sup>3</sup> /J.]	Geb5 [Mio. m <sup>3</sup> /J.]
Ogew_Inf	0	17	18	3	1
Ogew_Exf	0	-15	-27	-1	-7
<b>Ogew_Inf-Exf</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>-9</b>	<b>2</b>	<b>-6</b>
Punkt_Zugaben	1	0	0	1	0
Punkt_Entnahmen	-4	-12	-5	-3	-10
<b>Punkt_Zu-Entn</b>	<b>-4</b>	<b>-12</b>	<b>-5</b>	<b>-2</b>	<b>-10</b>
GWN+	3	8	6	6	10
GWN-	0	0	0	0	0
<b>GWN_gesamt</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>10</b>
<b>Gebiets-Imbalance</b>	<b>-1</b>	<b>-2</b>	<b>-8</b>	<b>7</b>	<b>-6</b>
Innerer Rand West	6	19	17	3	4
Innerer Rand Nord	7	1	-4		
Innerer Rand Ost	-12	-17	-5	-4	-1
Innerer Rand Süd				-6	3
<b>Summe innere Ränder</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>-7</b>	<b>6</b>
<b>Gesamt</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Als Beispiele für die hochgradige Instationarität der Bilanzkomponenten, wurden die Infiltration und Exfiltration der Donau für den gesamten Zeitraum und als Detail für das Jahr 1997 dargestellt (siehe Abbildung 45 bzw. Abbildung 46). Auf der beiliegenden DVD befinden sich Darstellungen des instationären Verhaltens von Infiltration und Exfiltration (gesamter Modellzeitraum) von March, Rußbach, Stempfelbach, Seyringergraben und Nordrand des Modellgebietes im bmp-Format.



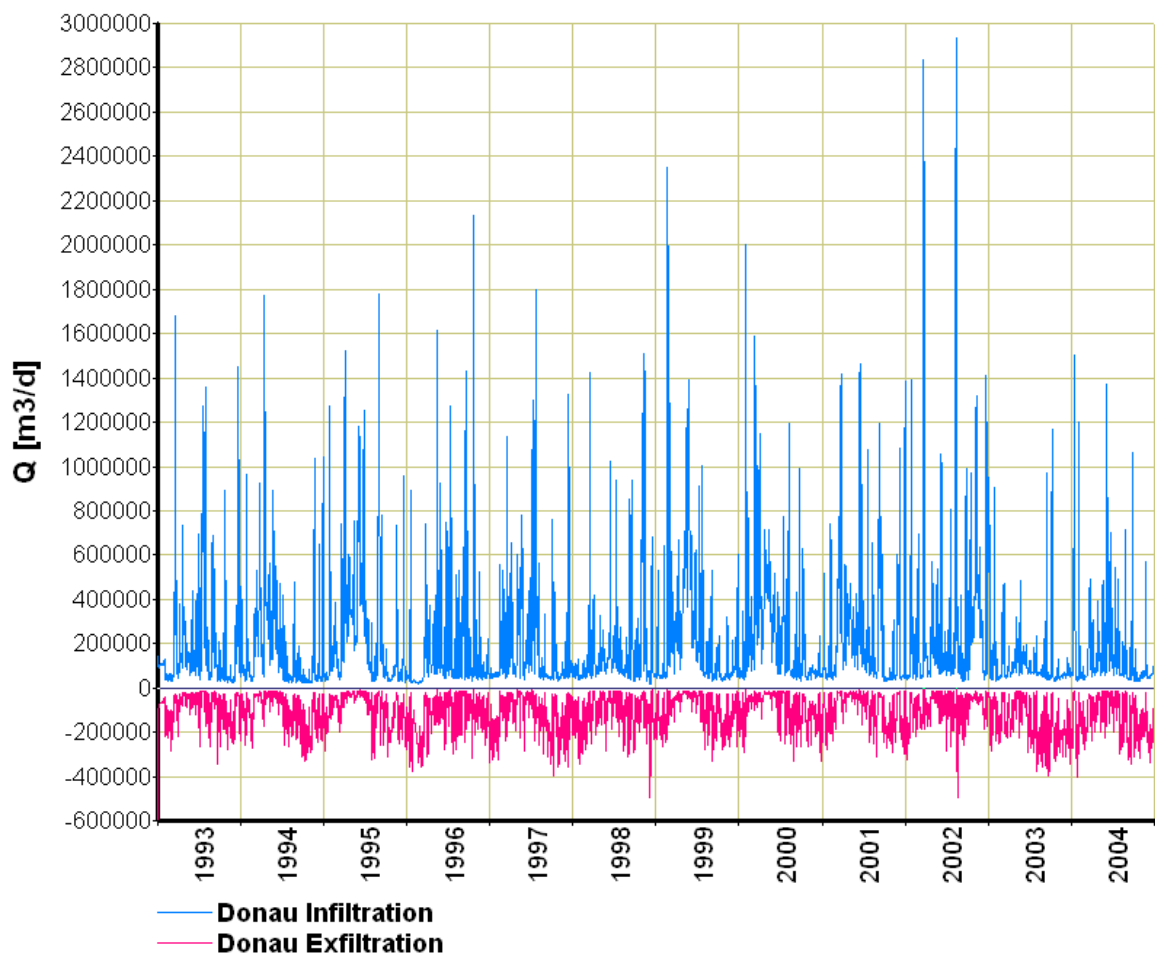


Abbildung 45: Instationäre Bilanz der Donau für den gesamten Modellierungszeitraum

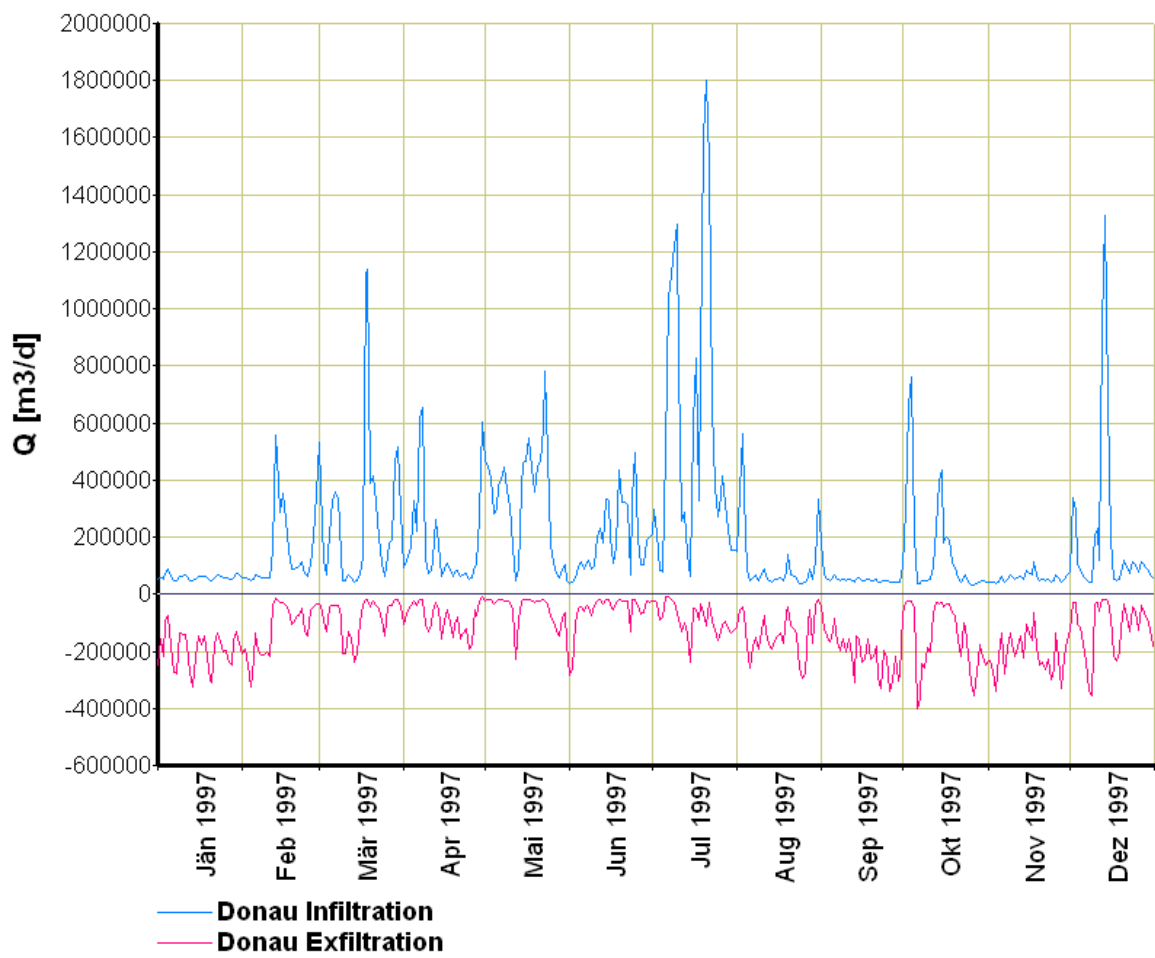


Abbildung 46: Instationäre Bilanz der Donau für das Jahr 1997

## 4 Simulationsrechnung Konsensentnahme mit Hilfe des kalibrierten Grundwasserströmungsmodells

### 4.1 Szenariendefinition und methodische Grundlagen

Das Grundwassermodell soll als fachliche Grundlage zur Überarbeitung und Neuausweisung von Schutz- und Schongebieten sowie zur Festlegung von Entnahmekonsensen im Rahmen wasserrechtlicher Bewilligungsverfahren herangezogen werden. Im Speziellen ist vom zu erstellenden Grundwasserströmungsmodell die Frage der Auswirkung aller Grundwasserentnahmen bei Ausnutzung der bewilligten Konsensmengen auf den Grundwasserhaushalt, die Grundwasserstände und die Grundwasserströmungsrichtung zu beantworten.

Seitens des Auftraggebers wurde ein Datenlayer von Wasserversorgungsanlagen und deren Konsensmengen übermittelt (siehe Tabelle 11) und in weiterer Folge die Auswirkungen permanenter Konsensentnahmen auf die Grundwasserverhältnisse simuliert.

*Tabelle 11: Grundwasserentnahmen im Marchfeld (Auswahl bedeutender Trink- und Nutzwasserbrunnen) als Grundlage für die Simulationsvariante Konsensentnahme.*

Bezeichnung	Kons [l/s]
Gem. Dt. Wagram, Br. Fabrikstr.1	30
Gem. Dt. Wagram, Br. Sportplatz	5
Gem. Dt. Wagram, Br. Sportplatz	5
Gem. Gänserndorf, Friedhof-Br.1	15
Gem. Gänserndorf, Friedhof-Br.2	15
Gem. Gänserndorf, Friedhof-Br.3	15
Gem. Gänserndorf, Rathausbr. 2	14
Gem. Weiden, Br. 1	6
Gem. Weiden, Br. 2	6
Immuno AG, Br. 1	10
Immuno AG, Br. 2	10
NÖSIWAG, Br. Obersiebenbrunn 1	33
NÖSIWAG, Br. Obersiebenbrunn 2	33
NÖSIWAG, Br. Obersiebenbrunn 3	33
Unifrost Ges.m.b.H, Br. 1	27
Unifrost Ges.m.b.H, Br. 2	27
Unifrost Ges.m.b.H, Br. 3	27
Unitas Ges.m.b.H	10
Unitas Ges.m.b.H	10
WVA Agrana (Trinkwasser)	10
WVA Breitensee	6
WVA Groißenbrunn	5
WVA Mannsdorf	18
WVA Marchegg	16
WVA NCR	8
WVA Weikendorf, Br. 1	6
WVA Weikendorf, Br. 2	8
WVA Weikendorf-Stripfing	17
WVA Zwerndorf	12

Für den von der Stadt Wien bedeckten Teil des Marchfeldes wurden für die Konsensvariante die Realentnahmen der Brunnen der MA31 (Schüttelau 1&2, Gänsehaufen, Rohrwörth, Kreuzgrund und Markethäufel) verwendet. Die Lage der berücksichtigten Entnahmebrunnen in Wien ist in Karte 9 dargestellt.

## 4.2 Ergebnisse der Simulationsrechnung

Die Differenzenbildung zwischen den Grundwasserspiegelhöhen des mittleren IST-Zustandes mit den Grundwasserspiegelhöhen der Simulationsvariante Konsensentnahme an allen dargestellten Wasserentnahmestellen zeigt, dass im überwiegenden Großteil des Marchfeldes der Differenzbetrag unter 0,2 m liegt.

Naturgemäß zeigen sich im Nahbereich bzw. Anströmbereich der Wasserversorgungsanlagen die höchsten Differenzen, da im Normalfall nicht ständig die Konsensmenge entnommen wird.

Die größte Flächenausdehnung ist im Nordwesten des Marchfeldes im Einzugsgebiet der Brunnen Gemeinde Dt. Wagram festzustellen. Bei den zwei Brunnen Dt. Wagram Fabriksstraße beträgt die Gesamtkonsensmenge 30 l/s, wobei im Normalbetrieb mehr als Zweidrittel der Entnahmemengen auf den Tiefbrunnen entfallen (2. tieferes Grundwasserstockwerk), welcher im Modell nicht berücksichtigt wird. Die tatsächlichen Entnahmemengen aus dem ersten berücksichtigten Stockwerk liegen meist unter 3 l/s. Die Gesamtkonsensmenge von 30 l/s wurde deswegen angesetzt, da davon ausgegangen wird, dass im Falle des Ausfalls eines Brunnens, aus dem verbleibenden Brunnen die Gesamtkonsensmenge entnommen werden darf. Der Durchmesser der Fläche, an denen die Grundwasserspiegelhöhen der Konsensvariante um mehr als 20 cm unter den Höhen des IST-Zustandes liegen, beträgt ca. 10 km. Im Nahbereich der Brunnen (850 x 2500 m) liegt die Differenz zwischen 0,5 und 1 m. Die Flächen mit Differenzbeträgen zwischen 1 und 1,5 m befinden sich nur unmittelbar um den Fassungsbereich der Brunnen.

An den Brunnen im Raum Gänserndorf, Weikendorf, Zwerndorf und Oberweiden liegen die tatsächlichen Entnahmen mehr oder weniger deutlich unter den jeweiligen Konsensmengen. Aus diesem Grunde sind in den jeweiligen Brunneneinzugsgebieten entsprechend ausgedehnte Differenzbeträge zwischen Konsensvariante und IST-Zustand zu verzeichnen (siehe Karte 9).

In kleineren Teilbereichen sind positive Differenzen feststellbar. Diese Differenzen sollten jedoch aus folgenden Gründen nicht überbewertet werden, da es mehrere Jahre ohne Entnahmeaufzeichnungen gibt und für die übrigen Jahre oft keine kontinuierlichen Aufzeichnungen existieren. Weiters handelt es sich oft um Gesamtentnahmen mehrerer Brunnen (mittlere Entnahmeanteile der Brunnen konnten auf Grund mündlicher Mitteilungen nur grob geschätzt werden). Die Brunnenlage und -bezeichnungen stimmen mit den Angaben des GIS-Datensatzes „twe\_Is“ teils nicht überein.

## **5 Instationär berechnete Brunneneinzugsgebiete**

### **5.1 Methodische Grundlagen zur instationären Berechnung von Brunneneinzugsgebieten**

#### **5.1.1 EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien**

Eine mögliche Methode zur Ermittlung von instationären berechneten Einzugsgebieten besteht über das permanente Starten von virtuellen Wasserpartikeln und deren Verfolgung bis zu einem Brunnen bzw. bis zum Verlassen des Gebietes. Dieser instationäre Weg eines Wasserpartikels ist eine Bahnlinie.

##### **5.1.1.1 Konzept der EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien**

Bei der Ermittlung von instationären berechneten Einzugsgebieten mittels Bahnlinien werden im Modellgebiet (oder eingeschränkten Gebiet) in einem regelmäßigen Abstand Bahnlinien (Wasserpartikel) gestartet und deren Weg verfolgt. Um das gesamte Einzugsgebiet zu erhalten, muss in jedem Zeitschritt eine neue Schar von Bahnlinien gestartet werden. Nach jedem Zeitschritt werden die Bahnlinien mittels der aktuellen lokalen Geschwindigkeitsvektoren und der Zeitschrittdifferenz zum letzten Zeitschritt weitergerechnet. Auf diese Weise erhält man die mit dem Strömungsmodell konsistente Bewegung des Wassers im instationären Strömungsfeld. Bei jeder Bahnlinie wird der Ausgangspunkt sowie die seit Start der Bahnlinie vergangene Zeit (Summe der Zeitschrittdifferenzen) gespeichert. Nach Berechnung jedes Zeitschrittes wird überprüft, ob die aktuelle Position von Bahnlinien innerhalb des gewählten Fangradius eines angegebenen Brunnens liegt. Liegt eine Bahnlinie im Fangradius, gehört die Bahnlinie zum Einzugsgebiet des jeweiligen Brunnens. Über die Ausgangsposition der Bahnlinie samt zugehöriger Fläche (Zelle um den Ausgangspunkt) erhält man einen Teil des Einzugsgebietes. Dabei werden mehrere an der selben Stelle gestartete Bahnlinien von einem Brunnen eingezogen. Da die Verweildauer jeder Bahnlinie gespeichert ist, kann zusätzlich zur Lage der zugehörigen Fläche (um den Startpunkt) noch die minimale, die maximale und die mittlere Verweilzeit berechnet werden. Zusätzlich kann berechnet werden wie viele Prozent der gesamten gestarteten Bahnlinien aus einem definierten Punkt im untersuchten Brunnen angelangt sind.

##### **5.1.1.2 Speicher- und Rechenzeitbedarf**

Der Speicherbedarf und die notwendige Rechenzeit sind in hohem Maße abhängig von der Rasterweite der Startpunkte der Bahnlinien und der Anzahl der Startzeitpunkte, während der Modellberechnung. In Tabelle 12 ist die notwendige Anzahl von Bahnlinien für eine Modellfläche von 1 km<sup>2</sup> und einem Modellierungszeitraum von 3 Jahren dargestellt.

*Tabelle 12: Anzahl der Bahnlinien je km<sup>2</sup> in Abhängigkeit von Zellweite und Zeitschrittweite zur Generierung instationär berechneter Brunneneinzugsgebiete für eine Modellzeit von 13 Jahren*

Zellweite [m]	Startpunkte/km <sup>2</sup>	Start alle 10d	Start alle 7d	Start alle 5d	Start alle 2d	Start alle 1d
200	25	11863	16946	23725	59313	118625
100	100	47450	67786	94900	237250	474500
50	400	189800	271143	379600	949000	1898000
25	1600	759200	1084571	1518400	3796000	7592000
10	10000	4745000	6778571	9490000	23725000	47450000

Bei einer Rasterweite (Zellweite) von 200m müssen für 1km<sup>2</sup> bei jedem Startzeitpunkt 25 Bahnlinien gestartet werden. Wird alle 7 Tage eine Schar Bahnlinien gestartet, so ergibt dies über den gesamten Modellierungszeitraum von 13 Jahren 16.946 Bahnlinien. Jede bereits gestartete Bahnlinie muss nach jedem berechneten Zeitschritt erstens jene Strecke weiterbewegt werden, die sich aus dem Geschwindigkeitsvektor an ihrer aktuellen Position multipliziert mit der Zeitdifferenz zum letzten Zeitschritt ergibt. Zweitens muss überprüft werden, ob sie bereits im Fangradius eines Brunnens angelangt ist. Noch kritischer als der Speicherplatzbedarf ist die notwendige Rechenzeit, um diese hohe Anzahl von Bahnlinien zu erzeugen, zu verwalten und nach jedem Zeitschritt weiterzurechnen.

Es ist deshalb notwendig die Anzahl der benötigten Bahnlinien dramatisch zu reduzieren. Dies ist möglich durch das Eingrenzen des Untersuchungsgebietes (reduzieren der Fläche), durch das Erhöhen der Zellweite (weniger Startpunkte je Flächeneinheit) und durch den Verzicht nach jedem Zeitschritt eine Schar von Partikeln zu starten. Am effektivsten ist es, jedes Einzugsgebiet einzeln zu ermitteln. Die Eingrenzung des Berechnungsgebietes wird durch die Definition einer Polygonfläche, innerhalb welcher das zu ermittelnde Einzugsgebiet erwartet wird, durchgeführt. Stellt sich nach erfolgter Einzugsgebietsermittlung heraus, dass das Einzugsgebiet bis an die vordefinierte Grenze reicht, ist die Berechnung jedoch nochmals mit erweitertem Gebiet durchzuführen. Die Eingrenzung des Gebietes führt aber zu keiner Minderung der Berechnungsgenauigkeit. Die Erhöhung der Zellweite für die Startpunkte der Bahnlinien führt durch die geringere Auflösung der Fläche zu einer erhöhten Ungenauigkeit an den Einzugsgebietsgrenzen. Der Verzicht auf den Start einer Schar von Bahnlinien zu jedem Zeitschritt führt zu einer im Allgemeinen geringen Vernachlässigung instationärer Einflüsse.

### **5.1.1.3 Ergebnisse der EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien**

Als Ergebnis der EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien können aus den Informationen der Bahnlinien (Startpunkt und Verweildauer) unterschiedliche flächenhafte Auswertungen erstellt werden. Dabei werden alle Informationen auf die zum Startpunkt gehörige Zelle bezogen und als Rasterdatensatz gespeichert. Aus der Anzahl der Bahnlinien, die in einem Brunnen angekommen sind, kann in Bezug auf die Gesamtanzahl der im Startpunkt gestarteten Bahnlinien die Häufigkeit der Zelle als Einzugsgebiet ermittelt werden. Im realisierten Verfahren wird die Häufigkeit als Prozentsatz

angegeben. Mittels der mit jeder Bahnlinie gespeicherten Verweildauer können in analoger Weise Rasterdatensätze der minimalen, maximalen und durchschnittlichen Verweildauer erstellt werden. Durch Differenzbildung der maximalen und minimalen Verweildauer kann mittels GIS-Rasterfunktionen daraus die Schwankung der Verweildauer berechnet werden. Die Visualisierung dieser Ergebnisse (speziell der Häufigkeit) ermöglicht eine differenzierte Betrachtung und Bewertung der Einzugsgebietsfläche. Jene Zonen, die ständig zum Einzugsgebiet gehören sind von jenen, die zeitweise dazugehören, optisch leicht zu unterscheiden. Mittels der Darstellung von Linien gleicher Häufigkeit sind die Zonen sogar automatisiert bestimmbar.

## **5.2 Instationär berechnete Brunneneinzugsgebiete**

Für die Konsensvariante des Grundwassermodells Marchfeld wurden die Einzugsgebiete für 18 Wasserversorgungsbrunnen und 21 einzelwasserversorgten Ortsgebieten berechnet. Aus den unter 5.1.1.2 erwähnten Gründen wurden alle Einzugsgebiete einzeln mit einer Zellweite von 200m und einem Startintervall von 7 Tagen berechnet. Bisher wurde die Einzugsgebietsberechnung immer gleichzeitig mit der Lösung des Modells (Berechnung aller Grundwasserspiegel und Durchflüsse) mitberechnet. Dies hätte bei dieser großen Anzahl von Einzugsgebieten aber zu wochenlangen Rechnungen geführt. Deshalb wurde für die instationäre Berechnung der Einzugsgebiete des Marchfeldes ein neues Softwaremodul programmiert, das es erlaubt aus den gespeicherten Modellergebnissen als Postprozessormethode instationäre Einzugsgebiete zu erstellen. Dies hat den Vorteil, dass die für die Lösung des Strömungsmodells notwendige Rechenzeit nur einmal aufgewendet werden muss. Danach werden bei einer Einzugsgebietsberechnung nur mehr die Ergebnisse der Berechnung von einer Datei gelesen und daraus die instationären Bahnlinien und damit die Einzugsgebiete berechnet. Nur mittels dieses Verfahrens war es möglich die fast 40 Einzugsgebiete zu berechnen. Die instationär berechneten Brunneneinzugsgebiete von Trinkwasserversorgungsanlagen wurden in Karte 10, jene der Einzelwasserversorgungen in Karte 11 und beide zusammen als Gesamtüberblick in Karte 12 dargestellt.

### **5.2.1 Instationär berechnete Einzugsgebiete von Trinkwasserversorgungsanlagen**

Basierend auf den in Kap. 5.1 dargestellten Grundlagen wurden aus den instationären Modellergebnissen des Grundwassermodells Marchfeld für den Zeitraum 1.1.1993 bis 31.12.2004 die instationär berechneten Einzugsgebiete für die in Tabelle 13 aufgelisteten Brunnenanlagen ermittelt.

Für die instationäre Berechnung der Einzugsgebiete von Trinkwasserversorgungsanlagen wurden die Konsensmengen aus dem GIS-Datensatz „twe\_I\_S“ Spalte „Konsens\_I\_s“ (Quelle: Amt der NÖ Landesregierung) herangezogen (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Konsensmengen ausgewählter Trinkwasserversorgungsanlagen als Grundlage für die instationär berechneten Einzugsgebiete und für die Variante Konsensentnahme

Brunnen WVA	Kons [l/s]*
NÖSIWAG, Br. Obersiebenbrunn 1	33
NÖSIWAG, Br. Obersiebenbrunn 2	33
NÖSIWAG, Br. Obersiebenbrunn 3	33
Gem. Dt. Wagram, Br. Fabrikstr.1	30
WVA Mannsdorf	18
WVA Weikendorf-Stripfing	17
WVA Marchegg	16
Gem. Gänserndorf, Friedhof-Br.1	15
Gem. Gänserndorf, Friedhof-Br.2	15
Gem. Gänserndorf, Friedhof-Br.3	15
Gem. Gänserndorf, Rathausbr. 2	14
WVA Zwerndorf	12
Immuno AG, Br. 1	10
Immuno AG, Br. 2	10
WVA Agrana (Trinkwasser)	10
WVA Weikendorf, Br. 2	8
Gem. Weiden, Br. 1	6
Gem. Weiden, Br. 2	6
WVA Weikendorf, Br. 1	6
Gem. Dt. Wagram, Br. Sportplatz	5
Gem. Dt. Wagram, Br. Sportplatz	5

Als Ergebnis für das Grundwassermodell Marchfeld wurden die Raster der mittleren Verweildauer ausgewertet. Da sich diese überlagern (Gebietsteile sind abwechseln Einzugsgebiete unterschiedlicher Brunnen) wurden diese mittels eines speziellen GIS-Verfahrens überlagert, sodass in jeder Rasterzelle die höchste mittlere Verweildauer dargestellt wird. Die instationär berechneten Brunneneinzugsgebiete der oben dargestellten Trinkwasserversorgungsanlagen sind in Karte 10 in Form eines 200x200 m Rasters unter Verwendung einer Farbabstufung, welche alle Zellen dargestellt, an denen eine mittlere Verweildauer von bis zu 12 Jahren ermittelt wurde. Die dunkelroten Zellen stellen Bereiche mit einer Verweildauer weniger als einem Jahr dar. Die dunkelblauen Zellen weisen eine Verweildauer von 12 Jahren auf. Die großflächigsten Einzugsgebiete bei Konsensentnahme im Marchfeld sind jene von Dt. Wagram, Obersiebenbrunn, Gänserndorf, Weikendorf, Zwerndorf und Orth a. d. Donau (Immuno). Kleinere Einzugsgebiete weisen die Brunnen Oberweiden, Marchegg, Zuckerfabrik Leopoldsdorf und Mannsdorf auf.

Nicht dargestellt sind die Einzugsgebiete der Brunnen Austriafrost, zum einen auf Grund fehlender bzw. unsicherer Entnahmedaten und zum anderen auf Grund von Datenunsicherheiten bezüglich von Einleitungen in den Donau-Oder Kanal und fehlender Wasserspiegellagen an benachbarten Fließgewässern (Lahnen), fehlender Daten von Sperrbrunnen und auf Grund der Randlage zu Wien.



## 5.2.2 Instationär berechnete Einzugsgebiete von Einzelwasserversorgungsanlagen

Für die instationäre Berechnung der Einzugsgebiete von Einzelwasserversorgungsanlagen wurden auf der Basis von Einwohnerzahlen von Katastralgemeinden und unter der Annahme eines mittleren Wasserverbrauches von 150 l/Person und Tag die entsprechenden Entnahmemengen der Brunnen ermittelt. Mit Ausnahme zweier Katastralgemeinden mit einer Einwohnerzahl von über 2000 wurden in jeder Katastralgemeinde ein Brunnen gesetzt. Die zu Grunde liegenden Einwohner- und Verbrauchszahlen sowie die Anzahl der Brunnen ist in Tabelle 14 dargestellt.

Die zugrunde liegenden Katastralgemeinden stammen aus einem GIS-Layer des Auftraggebers. Demnach konzentrieren sich die Einzelwasserversorgten Katastralgemeinden auf die südliche Hälfte des Untersuchungsgebietes.

Für die Berechnung der einzelversorgten Ortsteile wurde angenommen, dass der Startpunkt jeder Bahnlinie, die das Berandungspolygon des Versorgungsgebietes kreuzt zum Einzugsgebiet gehört. Die Brunneneinzugsgebiete wurden auf derselben methodischen Grundlage (siehe 5.1) wie für die Trinkwasserversorgungsbrunnen ermittelt und sind in Karte 11 dargestellt. Die Einzugsgebiete sind bis zu einer mittleren Verweildauer von 12 Jahren dargestellt (gleiche Farbabstufung wie bei Trinkwasserversorgungsanlagen) und nehmen einen Großteil der Fläche des südlichen Marchfeldes ein.

Tabelle 14: Grundlagen für die instationäre Berechnungen der Einzugsgebiete von Einzelwasserversorgungsanlagen

GIS_ID	Gemeinde	KG	Einwohner	Verbr. (150 l/EW) l/Tag	m <sup>3</sup> /Tag	l/s	Anzahl Brunnen
0	Leopoldsdorf	Leopoldsdorf	2 239	335 850	335.85	3.89	2
1		Fuchsenbigl	345	51 750	51.75	0.60	1
2		Breitstetten	474	71 100	71.10	0.82	1
3	Haringsee	Haringsee	657	98 550	98.55	1.14	1
4		Markthof	159	23 850	23.85	0.28	1
5	Engelhartstetten	Engelhartstetten	721	108 150	108.15	1.25	1
6		Wittau	638	95 700	95.70	1.11	1
7		Straudorf	181	27 150	27.15	0.31	1
8		Loimersdorf	641	96 150	96.15	1.11	1
9		Probstdorf	757	113 550	113.55	1.31	1
10	Gross Enzersdorf	Mühlleiten	290	43 500	43.50	0.50	1
11		Kopfstetten	220	33 000	33.00	0.38	1
12		Pframa	231	34 650	34.65	0.40	1
13		Matzneusiedl	28	4 200	4.20	0.05	1
14		Wagram/Donau	184	27 600	27.60	0.32	1
15		Witzelsdorf	187	28 050	28.05	0.32	1
16		Stopfenreuth	185	27 750	27.75	0.32	1
17	Eckartsau	Eckartsau	555	83 250	83.25	0.96	1
18		Schönau/Donau	261	39 150	39.15	0.45	1
19	Andlersdorf	Andlersdorf	119	17 850	17.85	0.21	1
20	Orth /Donau	Orth /Donau	2 300	345 000	345.00	3.99	2

## 6 Trinkwasserhoffungsgebiete - Sicherung der Trinkwasser-Ressourcen (Vorsorge)

### 6.1 Idee

Innerhalb eines zusammenhängenden Grundwasserkörpers sollen Teilgebiete ermittelt werden, deren Bedeutung für die Trinkwasservorsorge (=zukünftige Trinkwasserversorgung) so groß ist, dass sie vor den Folgen von Nassbaggerungen geschützt werden sollen. Diese Gebiete werden Trinkwasser-Hoffungsgebiete genannt. Darüber hinaus besteht auch in Bereichen, die Einzugsgebiete solcher Trinkwasser-Hoffungsgebiete sind, erhöhtes wasserwirtschaftliches Interesse. Daher werden sowohl Hoffungsgebiete als auch deren Einzugsgebiete als wasserwirtschaftliche Vorranggebiete für die Trinkwasserversorgung ausgewiesen.

### 6.2 Vorgaben

Die Beurteilung soll anhand quantifizierbarer Parameter erfolgen, damit ein überregionaler Vergleich möglich ist. Der Planungszeitraum für Vorsorgemaßnahmen wird als unendlich angenommen, weshalb die Eigenschaft Grundwasserqualität (=nicht geogene Belastungen des Grundwassers) nicht als Beurteilungsparameter verwendet wird, da der weitere Verlauf der Grundwasserqualität nicht bekannt ist.

### 6.3 Vorgangsweise / Methodik

Zur Ermittlung der Trinkwasserhoffungsgebiete wurde das Verfahren des AMTES DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG – ABTEILUNG WASSERWIRTSCHAFT (2002) auf Rasterebene (25mx25m) anstatt mittels homogener Teilgebiete auf Basis der Modellergebnisse angewendet. Das modifizierte Verfahren ist im Folgenden beschrieben.

- Berechnung von Beurteilungsparametern auf Rasterbasis mittels Modellergebnissen
- Bestimmen des Zielerreichungsgrades jeder Rasterzelle im definierten Zielsystem (Überziel=quantitative Eignung zur Trinkwassergewinnung)
- Interpretation

#### **Ermittlung der hydraulischen Parameter auf Rasterbasis:**

1. hydraulische Durchlässigkeit aus kalibriertem GW-Modell (kf)
2. Grundwassermächtigkeit aus mittleren Grundwasserspiegelhöhen (Q50) und GW-Stauer (H)

### 3. Grundwassergefälle aus mittleren Grundwasserspiegelhöhen (J)

#### 6.3.1 Berechnung der Beurteilungsparameter

Als Beurteilungsparameter für die potentielle Eignung je Rasterzelle zur Trinkwassergewinnung wurden ausgewählt:

- Spezifischer Durchsatz (q)

Die Durchsatzmenge q umgerechnet auf ein gedachtes, 1000 m breites, normal durchströmtes Profil mit den Kennwerten  $k_f$ , H und J wird für jede Zelle berechnet.

$$q = k_f * H * J * 1000 \text{ [l/s*km]}$$

- Beurteilungsentnahmemenge (Q)

Dieser Parameter soll die theoretisch mögliche, maximale Entnahmemenge berücksichtigen.

Für jede Rasterzelle wird mit den Kennwerten  $k_f$  und H die Fördermenge berechnet, bei der bei Förderung aus einem vollkommenen Brunnen mit  $r = 0,3 \text{ m}$  eine Absenkung von 1 m entsteht. Verwendet wird dazu die Brunnenformel von Dupuit-Forchheimer für gespannte Aquifere. (Bei kleinen Absenkungen ist die Abweichung zur Absenkung bei ungespannten Aquiferen vernachlässigbar gering.)

$$Q = 2 * \pi * k_f * \frac{s}{\ln \frac{R}{r}} * H$$

$$R = 3000 * 1 \text{ m} * k_f^{1/2}$$

#### 6.3.2 Mehrzieloptimierung

Um mehrere Parameter (hier 2) zu einem einzigen Zielerfüllungswert aggregieren zu können, der die Teilgebiete untereinander vergleichbar macht, wird ein Zielsystem erstellt.

**Ziel:** große Menge an Grundwasser in der Zelle (=gute Eignung zur Trinkwassergewinnung)

**Teilziele:** 1. hoher GW-Durchsatz (Mindestanforderung 5 l/s\*km, ab 100 l/s\*km ist das Teilziel vollständig erreicht)

2. große theoretische Entnahmemenge bei gegebener Absenkung (1m) = großes Grundwasservolumen in der Zelle (Mindestanforderung 10 l/s, ab 100 l/s ist das Unterziel vollständig erreicht)

### Aggregation der berechneten Parameter zu einem einzigen Zielerfüllungsgrad

Folgende Umrechnung wird mit den Parametern q und Q für jedes Teilgebiet i durchgeführt:

Unterhalb des Mindestwertes ( $q_{\min}=5 \text{ l/s*km}^2$ ,  $Q_{\min}=10 \text{ l/s}$ ) beträgt der Teilzielerfüllungswert  $Z_{q,i}$  bzw.  $Z_{Q,i} = 0$ .

Ab dem Optimalwert ( $q_{\text{opt}}=100 \text{ l/s*km}^2$ ,  $Q_{\text{opt}}=100 \text{ l/s}$ ) beträgt der Teilzielerfüllungswert  $Z_{q,i}$  bzw.  $Z_{Q,i} = 5$ .

Bei dazwischen liegenden Werten wird linear interpoliert.

Der Erfüllungswert jedes Teilziels wird mit der Gewichtung des Teilziels (hier jeweils 50) multipliziert.

Die beiden Teilzielerfüllungswerte werden zu einem Wert  $w_i$  aggregiert, der die Abweichung von einer optimalen Zielerfüllung (beide Teilzielerfüllungswerte=5) repräsentiert.

$$w_i = ((p_q * (5 - Z_{q,i}))^t + (p_Q * (5 - Z_{Q,i}))^t)^{\frac{1}{t}}$$

$p_q$  Gewichtung von q (=50)

$p_Q$  Gewichtung von Q (=50)

t Exponent (hier t=2)

$Z_{q,i}$ ,  $Z_{Q,i}$  jeweilige Teilzielerfüllungswerte einer Zelle i

$w_i$  Zielabweichungswert einer Zelle i

Die Wahl des Exponenten „t“ beeinflusst das Ergebnis der obigen Formel maßgeblich: bei Werten von  $t > 5$  schneiden Gebiete mit ausgeglichen guten Teilzielerfüllungswerten besser ab, bei Werten von  $t < 1$  schneiden Teilgebiete mit besonders guten Teilzielerfüllungswerten in einem Teilziel und schlechteren Teilzielerfüllungswerten in den anderen besser ab. Mit  $t=2$  wurde der Wert hier im Mittelbereich gewählt.

Der Wert  $w_i$  sagt aus, wie groß die aggregierte Abweichung vom Optimum in beiden Parametern ist. Je kleiner er ist, desto größer ist die Zielerfüllung.

Aus Gründen der Anschaulichkeit wurde der hier errechnete Wert noch einer Transformation unterworfen. Einem maximalen Zielabweichungswert (hier  $w_i=353,3$  wenn beide Teilzielerfüllungswerte=0) wurde ein Zielerfüllungsgrad von 0% zugeordnet, einem minimalen Zielabweichungswert ( $w=0$ ) ein Zielerfüllungsgrad von 100%. Dazwischen liegende Werte wurden

linear interpoliert. Der so ermittelte Wert drückt also aus, wie viel Prozent der erreichbaren Zielerfüllung einer Zelle mit seinen Werten  $q_i$  und  $Q_i$  erreicht.

## **6.4 Ergebnis**

### **6.4.1 Kriterium 1 - Hoher Grundwasserdurchsatz**

Ein Erreichungsgrad von mehr als 50 % des Zielerreichungskriteriums 1 „Hoher Grundwasserdurchsatz“ ist im Marchfeld innerhalb des Bereichs: Laassee, Haringsee, Wagram, Fuchsenbigl; nordwestlich von Rutzendorf, sowie westlich der Linie Leopoldsdorf – Breitstetten, westlich von Deutsch Wagram und im Bereich entlang der Donau im Oberstrombereich des Kraftwerkes Freudenu festzustellen. Bereiche mit geringen Grundwasserdurchsatz (0 - 25 %) befinden sich im Norden und Westen des Untersuchungsgebietes (geringe Mächtigkeiten und Durchlässigkeiten). In den Kartendarstellungen wurden vier Prozentklassen gewählt (<25 %, 25-50, 50-75 und 75-100 %). Die genaue Verteilung des Erreichungsgrades des ersten Zielerreichungskriteriums ist Karte 13 zu entnehmen.

### **6.4.2 Kriterium 2 – Große theoretische Entnahmemenge**

Ein Erreichungsgrad von mehr als 50 % des Zielerreichungskriteriums 2 „Große theoretische Entnahmemenge“ ist im Marchfeldes innerhalb des Bereichs: Obersiebenbrunn – Großenzersdorf – Schönau an der Donau – Eckartsau – Lasse – Untersiebenbrunn anzutreffen. Weiters westlich zwischen Kapellerfeld und Helmahof im Norden, zwischen Süßenbrunn und Anderklaa im mittleren Bereich und Breitenlee im Süden. Ein drittes Gebiet mit einem Prozentsatz von über 50 % befindet sich entlang der Donau im Oberstrombereich des Kraftwerkes Freudenu. Die geringsten theoretischen Entnahmemengen (0 - 25 %) sind im Norden und Westen des Marchfeldes auf Grund geringer Mächtigkeiten und Durchlässigkeiten zu verzeichnen. Die genaue Verteilung des Erreichungsgrades des zweiten Zielerreichungskriteriums ist Karte 14 zu entnehmen.

### **6.4.3 Ziel Gesamt - Hoher Grundwasserdurchsatz und große theoretische Entnahmemenge**

Die Verbreitung der Flächen an denen das Gesamtziel (Zielerreichungskriterien 1 & 2) größer als 50 % ist, ist ähnlich der Verbreitung des zweiten Zielkriteriums, bei etwas geringerer Ausdehnung und etwas geringeren Prozentsätzen. Die genaue Verteilung der Erreichung des Gesamtzielkriteriums ist Karte 15 zu entnehmen.

Da der Schutz der Grundwassers nicht nur den Gebieten mit einem hohen Zielerreichungsgrad, sondern auch in den Einzugsgebieten der Hoffungsgebiete von Bedeutung ist, wurden in der Karte 16 ausgewählte Bahnlinien zu den Hoffungsgebieten und die ermittelten Einzugsgebiete gemeinsam dargestellt.



## 7 Zusammenfassung

Das Marchfeld stellt ein wasserwirtschaftlich bedeutendes und auch intensiv durch Trink- und Nutzwasserversorgungsanlagen genutztes Grundwasservorkommen dar. Zur Abstimmung der unterschiedlichen derzeitigen und zukünftigen Nutzungsansprüche (Trinkwasserversorgung, Kiesgewinnung, landwirtschaftliche Beregnungen) für diesen Grundwasserbereich wurde die Erstellung eines instationären Grundwasserströmungsmodells bei der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH in Auftrag gegeben. Oberstes Ziel aus wasserwirtschaftlicher Sicht war dabei die Schaffung von Grundlagen und Instrumenten zur Sicherstellung des Grundwasserdargebotes im niederösterreichischen Teil des Marchfeldes im Sinne einer langfristig ausgeglichenen Bilanz (nachhaltige Nutzung der vorhandenen Ressourcen). Das Grundwassermodell soll als fachliche Grundlage zur Überarbeitung und Neuausweisung von Schutz- und Schongebieten sowie zur Festlegung von Entnahmekonsensen im Rahmen wasserrechtlicher Bewilligungsverfahren herangezogen werden.

Auf der Basis des aus den zur Verfügung stehenden Unterlagen erarbeiteten hydrogeologischen Konzeptmodells wurden die dominanten Einflussgrößen auf das Grundwassersystem abgeleitet und diese Parameter des Modells durch Auswertung unterschiedlichster Datengrundlagen flächendeckend für den Modellierungszeitraum erarbeitet. Der Modellierungszeitraum wurde so gewählt, dass die unterschiedlichen hydrologisch auf das System wirkenden Größen durch das Modell abgebildet werden mussten und somit die Gewähr gegeben ist, dass das Modell prognosefähig ist. Durch einen Vergleich der schlussendlich gewählten Modellierungsperiode von 1993 bis 2004 mit dem Langzeitverhalten des Grundwassers wurde dies schließlich überprüft.

Das Grundwassermodell wurde auf Basis bereits existierender Datenbestände kalibriert, wobei die Interaktion des Grundwassers mit Oberflächengewässern – in erster Linie mit Donau und March - zu untersuchen war. Grundwasserstandsdaten als Kontrollgrößen und Wasserspiegellagen an Oberflächengewässern wurden einerseits vom HYDROGRAPHISCHEN DIENST DES AMTES DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG zur Verfügung gestellt, andererseits von sonstigen Dateninhabern zugekauft bzw. erhoben.

Ziel der instationären Kalibration des Grundwasserströmungsmodells war es, unter definierten Randbedingungen (äußere und innere Ränder) und durch Variation der Durchlässigkeit eine möglichst gute Anpassung der berechneten Grundwasserspiegellagen an die gemessenen Grundwasserstandsganglinien im Untersuchungsgebiet zu erreichen. Die aus dem hydrogeologischen Konzeptmodell abgeleiteten Randbedingungen wurden im Zuge der Modellkalibration innerhalb plausibler Größen variiert um zu einem in sich möglichst stimmigen und plausiblen Kalibrationsergebnis zu gelangen. Letzteres gilt v.a. für die durch Messungen praktisch nicht fassbaren Leakage-Werte an den Oberflächengewässern, aber auch für die Zu- und Abflüsse über

den nördlichen Modellrand. Die Verteilung der Durchlässigkeiten zeigt im Untersuchungsgebiet für derartige Aquifere typische Größenordnungen: Im überwiegenden Bereich liegen die Durchlässigkeiten im mittleren  $10^{-3}$  m/s – Bereich. Die Zone mit den geringsten Durchlässigkeiten findet sich am Nordwestrand des Marchfeldes ( $< 10^{-3}$  m/s). Im Nordbereich liegen die Durchlässigkeiten sonst zwischen  $1.0 \cdot 10^{-3}$ –  $3 \cdot 10^{-3}$  m/s. Zonen besserer Durchlässigkeit sind in der südlichen Hälfte des Marchfeldes zu finden ( $5 \cdot 10^{-3}$  m/s).

Zur Dokumentation der Grundwasserströmungsverhältnisse wurden die Niederwasserhältnisse (Stichtag 1.9.1995), die Mittelwasserhältnisse (1.2.2001) und die Hochwasserhältnisse (1.6.1996) dargestellt (siehe Karte 6, Karte 7 und Karte 8 im Anhang). Für diese Darstellungen wurden Messtermine gewählt, an denen an einer möglichst großen Zahl von Messstellen in etwa Nieder-, Mittel- bzw. Hochwasserhältnisse im Untersuchungszeitraum herrschten. Es ist wichtig zu beachten, dass diese Darstellungen auf Grund der sich immer wieder in unterschiedlicher Form überlagernden hochgradig instationären Einflussgrößen (Oberflächengewässer, Grundwasserneubildung, Entnahmen...) mehr oder weniger „einzigartige Momentaufnahmen“ der Grundwasserströmung darstellen.

Zur Grundwasserbilanzierung wurden neben den äußeren Rändern (Donau, March, Nordrand) und der flächenhafte Grundwasserneubildung aus infiltrierenden Niederschlägen, auch definierte innere Ränder sowie auch Fließgewässer (Rußbach, Weidenbach, Stempfelbach...) bilanziert. Zur Darstellung der Wasserflüsse wurde sowohl eine Bilanz für das gesamte Modell als auch eine Bilanzierung von ausgewählten Teilgebieten durchgeführt. Als charakteristischer Wert für die eigentlich hoch instationären Bilanzglieder wurden Tagesmittel über den gesamten Modellierungszeitraum zusammengefasst.

Der Betrag der mittleren Abweichung zwischen Messdaten und berechneten Daten an Messstellen mit maximaler Lücke größer 60 Tage und weniger als 10 Jahren Beobachtungsdauer beträgt 0.35 m bzw. 0,38 m für Messstellen mit maximaler Lücke kleiner 60 Tage. Auch die in Kap. 3.3.3.1 diskutierten statistischen Parameter zeigen im Mittel über das Untersuchungsgebiet die gewünschten Ergebnisse. Die im Mittel gute Kalibrationsqualität ist auch aus der Gegenüberstellung der gemessenen mittleren Grundwasserspiegellage zur berechneten mittleren Grundwasserspiegellage ersichtlich. Wie der Vergleich der gemessenen Grundwasserstandsganglinien mit den Berechnungsergebnissen an allen Kalibrationsmessstellen zeigt, weist das Modell keinen systematischen Fehler dahingehend auf, dass bestimmte Zeiträume unter- bzw. überschätzt werden. Auch wenn in Teilbereichen des Modellgebietes eine Nachbildung des zeitlichen Verlaufes des gemessenen Grundwasserspiegel weniger gut möglich war, so kann die Kalibrationsqualität des Grundwasserströmungsmodells unter Berücksichtigung der Messstellendichte und deren Verteilung sowie der Unsicherheiten bei der Definition der Randbedingungen grundsätzlich als sehr gut bezeichnet werden. Somit können mittels des Modells eine Vielzahl von Fragestellungen beantwortet werden. Die Prognosesicherheit des



Modells ist jedoch stark von der Fragestellung und der konkreten Lage der Maßnahmen abhängig und muss von Fall zu Fall bewertet werden.

Steht – wie in der gegenständlichen Fragestellung – ein ausreichend gut kalibriertes und verifiziertes Grundwasserströmungsmodell zur Verfügung, das in seiner zeitlichen Dimension einen Großteil der auftretenden hydrologischen Situationen umfasst (Modellgültigkeit für Niederwasserverhältnisse, Hochwasserverhältnisse und für unterschiedliche jahreszeitliche Verläufe der Grundwasserstandsverhältnisse), kann die Auswirkung von Eingriffnahmen in das Grundwassersystem vor deren tatsächlichen Realisierung nicht nur interpretativ-qualitativ diskutiert, sondern quantitativ prognostiziert werden. Ist die Kalibration des Modells über einen ausreichend langen Zeitraum erfolgt und hat der Modellierungszeitraum Gültigkeit für das langfristige Verhalten des Grundwasserkörpers in seiner Wechselwirkung mit den dominanten Systemkomponenten, kann die Auswirkung von Eingriffen dadurch quantifiziert werden, dass in das instationäre Modell die Eingriffnahme bei unveränderten Randbedingungen über den gesamten Modellzeitraum simuliert wird. Der Vergleich der Kalibrationsergebnisse mit den Simulationsergebnissen erlaubt in der Folge eine Bewertung der Auswirkungen der geplanten Maßnahmen.

Auf der Basis diverser Besprechungen im Laufe der Projektdurchführung wurden seitens des Auftraggebers – basierend auf Projektzwischenenergebnissen – folgende drei Modellauswertungen definiert:

#### 1. Szenario Konsensentnahmen:

Naturgemäß zeigen sich im Nahbereich bzw. Anströmbereich der Wasserversorgungsanlagen die höchsten Differenzen, da im Normalfall nicht ständig die Konsensmenge entnommen wird. Die größte Flächenausdehnung ist im Nordwesten des Marchfeldes im Einzugsgebiet der Brunnen Gemeinde Dt. Wagram festzustellen, wobei im Normalbetrieb mehr als Zweidrittel der Entnahmemengen auf den Tiefbrunnen entfallen (2. tieferes Grundwasserstockwerk) entfallen, welcher im Modell nicht berücksichtigt wird. An den Brunnen im Raum Gänserndorf, Weikendorf, Zwerndorf und Oberweiden liegen die tatsächlichen Entnahmen mehr oder weniger deutlich unter den jeweiligen Konsensmengen. Aus diesem Grunde sind in den jeweiligen Brunneneinzugsgebieten entsprechend ausgedehnte Differenzbeträge zwischen Konsensvariante und IST-Zustand zu verzeichnen. In Teilbereichen sind positive Differenzen feststellbar, die jedoch auf Grund von langen Datenlücken und –inkonsistenzen nicht überbewertet werden sollten.

#### 2. Instationäre berechnete Brunneneinzugsgebiete

Basierend auf den instationären Modellergebnissen des Grundwassermodells Marchfeld für den Zeitraum 1.1.1993 bis 31.12.2004 wurden die instationär berechneten Einzugsgebiete für Trinkwasserversorgungsanlagen und Einzelwasserversorgungsanlagen ermittelt.

Für die instationäre Berechnung von Einzugsgebieten von Trinkwasserversorgungsanlagen wurden die Konsensmengen aus dem GIS-Datensatz „twe\_LS“ (Quelle: AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG) herangezogen. Für die Berechnung von Einzugsgebieten von Einzelwasserversorgungsanlagen wurden auf der Basis von Einwohnerzahlen von Katastralgemeinden und unter der Annahme eines mittleren Wasserverbrauches von 150 l/Person und Tag die entsprechenden Entnahmemengen der Brunnen ermittelt.

In einem aufwendigen, speziell programmierten, Verfahren wurden mittels der Methode der instationären Bahnlinien die Einzugsgebiete der Wasserversorgungsbrunnen sowie der einzelversorgten Ortsteile ermittelt. Die instationär ermittelten Brunneneinzugsgebiete der Trinkwasserversorgungsanlagen sind in Karte 10 in unter Verwendung einer Farbabstufung dargestellt, welche alle Zellen einschließt an denen eine mittlere Verweildauer von bis zu 12 Jahren ermittelt wurde. Die dunkelroten Zellen stellen Bereiche mit einer Verweildauer weniger als einem Jahr dar. Die dunkelblauen Zellen weisen eine Verweildauer von 12 Jahren auf. Die großflächigsten Einzugsgebiete bei Konsensentnahme im Marchfeld sind jene von Dt. Wagram, Obersiebenbrunn, Gänserndorf, Weikendorf, Zwerndorf und Orth a. d. Donau (Baxter). Kleinere Einzugsgebiete weisen die Brunnen Oberweiden, Marchegg, Zuckerfabrik Leopoldsdorf und Mannsdorf auf.

Die instationär berechneten Einzugsgebiete für Einzelwasserversorgungsanlagen sind nach dem selben Schema wie für Trinkwasserversorgungsanlagen in Karte 11 dargestellt. In Karte 12 sind alle ermittelten instationär berechneten Einzugsgebiete gemeinsam dargestellt.

### 3. Trinkwasserhoffungsgebiete

Innerhalb eines zusammenhängenden Grundwasserkörpers sollen Teilgebiete ermittelt werden, deren Bedeutung für die Trinkwasservorsorge (=zukünftige Trinkwasserversorgung) so groß ist, dass sie vor den Folgen von Nassbaggerungen geschützt werden sollen. Diese Gebiete werden Trinkwasser-Hoffungsgebiete genannt. Darüber hinaus besteht auch in Bereichen, die Einzugsgebiete solcher Trinkwasser-Hoffungsgebiete sind, erhöhtes wasserwirtschaftliches Interesse. Daher werden sowohl Hoffungsgebiete als auch deren Einzugsgebiete als wasserwirtschaftliche Vorranggebiete für die Trinkwasserversorgung ausgewiesen. Der Planungszeitraum für Vorsorgemaßnahmen wird als unendlich angenommen, weshalb die Eigenschaft Grundwasserqualität (=nicht geogene Belastungen des Grundwassers) nicht als Beurteilungsparameter verwendet wird, da der weitere Verlauf der Grundwasserqualität nicht bekannt ist.

Zur Ermittlung der Trinkwasserhoffungsgebiete wurde das Verfahren des AMTES DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG – ABTEILUNG WASSERWIRTSCHAFT (2002) auf Rasterebene (25 m x 25 m) anstatt mittels homogener Teilgebiete auf Basis der Modellergebnisse sinngemäß angewendet.

Die genaue Verteilung der Erreichungsgrade des ersten bzw. zweiten Zielerreichungskriteriums ist Karte 13 bzw. Karte 14 zu entnehmen. Die genaue Verteilung der Erreichung des Gesamtzielkriteriums ist Karte 15 zu entnehmen. Da der Schutz des Grundwassers nicht nur in Gebieten mit einem hohen Zielerreichungsgrad, sondern auch in den Einzugsgebieten der Hoffungsgebiete von Bedeutung ist, wurden in der Karte 16 ausgewählte Bahnlinien zu den Hoffungsgebieten und die ermittelten Einzugsgebiete gemeinsam dargestellt.

Die Arbeiten im Zuge der Modellkalibration haben gezeigt, dass die komplexen Fließvorgänge im Marchfeld nur mittels Einsatz komplexer Methoden zur Ermittlung von zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Grundwasserneubildungsraten, Bewässerungsentnahmen und Interaktionen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser im Modell nachgebildet werden können.

Graz, April 2008

.....

Univ.-Doz. Dr. Johann Fank  
(Projektleiter)

## 8 Literatur

- ACHTNICH, W., 1980: Bewässerungslandbau. – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 598-599.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D. & M. SMITH (1998): Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, 300 S.
- AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG – ABTEILUNG WASSERWIRTSCHAFT (2002): Wasserwirtschaftliche Vorranggebiete in NÖ für die Sicherung der Trinkwasserversorgung aus Porengrundwasserleitern im Hinblick auf Materialentnahmen, unveröff. Bericht. St. Pölten
- BLASCHKE, A.P., G. BLÖSCHL, H. KUPFERSBERGER & R. SCHMALFUß (1992) Grundwasserströmungsmodell Stallingerfeld – Modellerstellung. Institut für Hydraulik, TU Wien.
- BEHR, O., N. REITINGER & R. STRAUCH (1984): Die landwirtschaftliche Bewässerung im Marchfeld, Wien
- BENDER, F., [Hrsg.] (1984): Angewandte Geowissenschaften, Bd. III, Kap. 2: Methoden der Hydrogeologie, S. 213-366, (ENKE) Stuttgart.
- DALLA-VIA, A. & J. FANK (2004): Grundwasserspiegelextremwerte Nördliches Tullner Feld. Joanneum Research - Institut für WasserRessourcenManagement – Hydrogeologie und Geophysik Unveröff. Bericht im Auftrag der Niederösterreichischen Landesregierung Gruppe Wasser, 38 S, 18 Karten, Graz – St. Pölten.
- DALLA-VIA, A. & J. FANK (2006): Grundwasserspiegelextremwerte Südliches Tullner Feld. Joanneum Research - Institut für WasserRessourcenManagement – Hydrogeologie und Geophysik Unveröff. Bericht im Auftrag der Niederösterreichischen Landesregierung Gruppe Wasser, 37 S, 18 Karten, Graz – St. Pölten.
- DALLA-VIA, A. & J. FANK (2007): Grundwasserspiegelextremwerte Marchfeld. Joanneum Research - Institut für WasserRessourcenManagement – Hydrogeologie und Geophysik Unveröff. Bericht im Auftrag der Niederösterreichischen Landesregierung Gruppe Wasser, 51 S, 17 Karten, Graz – St. Pölten.
- DREHER J., A. GUNATILAKA, S. WIMMER & S. SCHUSTER (2002): Grundwassermonitoring und Umweltmanagement im Stauraum des KW Freudenu. Internationales Symposium 2002 in Zürich.
- ERRICHTUNGSGESELLSCHAFT MARCHFELDKANAL (1992): Flutung des Marchfeldkanal-Systems. – Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal, Deutsch-Wagram, 167 S.
- ERRICHTUNGSGESELLSCHAFT MARCHFELDKANAL (1994): Flutung des Marchfeldkanalsystems, ISBN 3-900827-10-9.
- ERRICHTUNGSGESELLSCHAFT MARCHFELDKANAL (2002): Wasserschatz und Lebensader Marchfeldkanal. – Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal, Deutsch-Wagram, 174 S.
- FANK, J. & K. FUCHS (1996): Ein Verfahren zur Optimierung bestehender Grundwassermessstellennetze erarbeitet am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). – Beiträge zur Hydrogeologie, 47, 7-54, Graz.
- FANK, J. (1999): Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). Beiträge zur Hydrogeologie, 49/50, 101-388, Graz.

- FEICHTINGER F. & E. MURER (2003): Fruchtartenspezifische Bewässerungsmengen. Interne Mitteilung des BUNDESAMTES FÜR WASSERWIRTSCHAFT - Institut für Kulturtechnik & Bodenwasserhaushalt in Petzenkirchen an das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, (Datensätze zur Verfügung gestellt von MR DI Dr. O. Vollhofer vom BMLFUW)
- GRILL R. (1968): Erläuterungen zur Geologischen Karte des nordöstlichen Weinviertels und zu Blatt Gänserndorf.- 155, S., 2 Taf., 4 Tab., 9 Abb., Geol. B.-A., Wien
- GÜNTHER, R., 2006: Wasserhaushalt und Wasserverbrauch landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. – In: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2006: Wissenschaftliche Tagung 2006-Sektion Lysimeter. Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen, Heft 10/2006, S. 15-24.
- JANETSCHKE, H. (1992): Wirtschaftlichkeit der Feldberegnung auf der Hochterrasse des Marchfelds. – Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, Schriftenreihe Nr. 68, Wien, S. 25-27.
- MATTHESS, G. & K. UBELL (1983): Allgemeine Hydrogeologie, Grundwasserhaushalt; Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 1, 438 S., (BORNTRAEGER) Berlin-Stuttgart.
- KORDINA, H. (KOORD.) (2004): Flussbauliches Gesamtkonzept östlich von Wien. Konzept zur UVE – Kurzinformation
- NACHTNEBEL H. P., H. HOLZMANN, A. GRÜNER & S. HAIDER (1991): Grundwassermodell Östlicher Donaauraum – Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau – Universität für Bodenkultur im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft. Wien.
- NACHTNEBEL, H.P. & M. FUCHS (2001): Die Hydrologie Österreichs unter dem Einfluß von Szenarien einer möglichen Klimaänderung (Hydklima); Auftraggeber: BMfWV und BMUJF, Wien
- ÖNORM B2400 (1986): Hydrologie; Hydrographische Fachausdrücke und Zeichen. 35 S., Österreichisches Normungsinstitut, Wien (Walter Hauska).
- ROCK, G. & H. KUPFERSBERGER (2002): Numerical delineation of transient capture zones.- Journal of Hydrology, 269, 134-149, Amsterdam (Elsevier Science B. V.).
- SCHUCH M. (1980): Beiträge zur Hydrogeologie des Marchfeldes (unveröff. Bericht) Innsbruck
- SCHULTHEIß E. (1980): Die Veränderungen des Grundwasserstandes im Marchfeld 1950-1977 (unveröff. Bericht – Niederösterreichische Landesregierung) Wien
- SIMULTEC, D. (1989): Instationäres Grundwassermodell – Aufbau, Eichung und Sensitivität. Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal, Meilen.
- STENITZER E., & J. HOESCH (2005): Grundwasserneubildung im Marchfeld – Lysimetermessungen und Modellrechnungen. Paper im Rahmen der 11. Gumpensteiner Lysimetertagung, 5. und 6. April 2005 in Raumberg Gumpenstein A-8952 Irdning
- SUPERSPERG, H. & P. CEPUDER (1990): Beregnungsbedarf im Marchfeld. – Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 42, Heft 7/8, S. 181-187.
- SUPERSBERG, H. & O. VOLLHOFER (1980): Mögliche Beeinflussung des Grundwassers im Marchfeld durch Wasserentnahme, Institut für Wasserwirtschaft – Universität für Bodenkultur, Wien
- WESSELY G. (2006): Geologie der Österreichischen Bundesländer – Niederösterreich - 416 S., 655 Abb., 26 Tab., Geol. B.-A., Wien.