

Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung

Band 74/1

Hydrogeologie und Grundwassermodell des Leibnitzer Feldes

1. Teil: Bericht

**von
J. Fank
A. Jawecki
H. P. Nachtnebel
H. Zojer**

**Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion
Fachabteilung III a – Wasserwirtschaft**

und

**Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
Wasserwirtschaftskataster**

Graz, Wien 1993

INHALTSVERZEICHNIS

1. Problemstellung und Zielsetzung (G. SUETTE).....	1
2. Datenbasis.....	5
2.1. Geologie.....	5
2.1.1. Prätertiäres Grundgebirge.....	5
2.1.2. Tertiärablagerungen.....	5
2.1.3. Quartärablagerungen.....	6
2.2. Hydrogeologische Verhältnisse.....	7
2.2.1. Die Ausbildung der Grundwasserstaueroberfläche.....	7
2.2.2. Die Mächtigkeit des Sand-Kies Körpers.....	9
2.2.3. Der Aquifer.....	10
2.2.3.1. Grundwassermächtigkeit und Grundwasserüberdeckung.....	10
2.2.3.2. Grundwasserströmung und -gefälle.....	10
2.2.3.3. Sedimentdurchlässigkeiten und Grundwasserabstandsgeschwindigkeiten.....	11
2.3. Böden im Leibnitzer Feld.....	15
2.4. Hydrologie.....	16
2.4.1. Niederschlag und Lufttemperaturdaten.....	16
2.4.2. Oberflächenabfluß.....	22
2.4.3. Grundwasserstandsdaten.....	31
2.4.3.1. Grundwasserspiegeldauerbeobachtung des Hydrographischen Dienstes von 1979 bis 1988.....	32
2.4.3.2. Grundwasserspiegelbeobachtung von Juli 1989 bis Juni 1990.....	38
2.5. Chemische Parameter des Grundwassers.....	42
2.5.1. Langjährige Untersuchungen.....	42
2.5.2. Nitratuntersuchungen der Leibnitzerfeld Wasserversorgungs Ges.m.b.H.	48
2.5.3. Hydrochemische Dauerbeobachtung Juli 1989 bis Juni 1990.....	53
2.5.3.1. Standardanalysen.....	53
2.5.3.2. LF, NO ₃ , SO ₄ und Cl Untersuchungen.....	59
2.6. Nutzungen im Gebiet.....	63
3. Hydrologische Charakterisierung des Gebietes.....	65
3.1. Darstellung und Diskussion von ausgewählten Meßstellen.....	65
3.2. Darstellung und Auswertung von ausgewählten Profilen.....	79
3.3. Räumliche Darstellung von statistischen Parametern.....	102
3.3.1. Standardabweichung.....	103
3.3.2. Pegelweg.....	106
3.3.3. Schiefe.....	107
3.3.4. Vergleich der Mittelwerte der Intervalle.....	108
3.4. Grundwasservolumen.....	110
3.4.1. Grundwasservolumen des Gesamtgebietes.....	112
3.4.2. Grundwasservolumen von Teilgebieten.....	114
3.5. Zusammenfassung der hydrologischen Untersuchungen.....	119

4. Modellgrundlagen	123
4.1. Theoretische Modellgrundlagen	124
4.1.1. Strömungsmodell	128
4.1.2. Transportmodell	132
4.1.3. Numerisches Verfahren	135
4.2. Räumliche Diskretisierung	139
4.3. Modellparameter	139
4.3.1. Durchlässigkeit des Aquifers	139
4.3.2. Gesättigte Mächtigkeit des Aquifers	139
4.3.3. Speicherkoeffizient des Aquifers	140
4.4. Randbedingungen	140
4.4.1. Randzuflüsse	141
4.4.2. Abflüsse der Auenbäche	147
4.4.3. Grundwasserneubildung aus Niederschlägen	151
4.4.3.1. Klimatische Wasserbilanz (KWB).....	151
4.4.3.2. Bilanzierung des Grundwassersystems	155
4.4.3.3. Simulation der Grundwasserneubildung.....	162
4.4.4. Spiegellagen von Oberflächengewässern	171
4.4.5. Entnahmen von Trink- und Nutzwasser	171
5. Modelleichung	173
5.1. Allgemeines	173
5.2. Methode	175
5.3. Anwendung des Inversen Modells	180
5.3.1. Zonierung der Optimierungsparameter	180
5.3.2. Gewichtung der Knoten und Elemente.....	183
5.3.3. Spiegellagen für die Optimierung	183
5.3.4. Stationäre Eichung	186
5.3.5. Instationäre Eichung.....	188
5.3.6. Ergebnisse und Überprüfung der Eichung.....	189
6. Instationäre Simulation ohne Stofftransport	193
6.1. Auswahl der Simulationsperioden	194
6.2. Zeitliche Diskretisierung	196
6.3. Simulationsperiode 87/87	198
6.4. Einfluß zusätzlicher Grundwassermessstellen	205
6.5. Einfluß der Speicherkoeffizienten	207
7. Folgerungen aus der Simulation	211
7.1. Bilanzierung	211
7.1.1. Bilanzierung der Simulationsperiode 87/87	212
7.1.2. Bilanzierung der Simulationsperioden 84/85	215
7.1.3. Bilanzierung der Simulationsperiode 89/90	217
7.2. Analyse der Grundwasserströmung	219

7.3. Fließwege in Detailbereichen	225
7.3.1. Brunnen Vogau	227
7.3.2. Brunnen Kainach	227
7.3.3. Brunnen BVI	228
7.3.4. Brunnen BX	228
8. Instationäre Simulation mit Stofftransport	231
8.1. Auswahl der Simulationsperiode	231
8.2. Randbedingungen für das Transportmodell	232
8.2.1. Konzentration der Grundwasserneubildung	232
8.2.1.1. Zeitliche Differenzierung der Nitratkonzentration	233
8.2.1.2. Räumliche Differenzierung der Nitratkonzentration	236
8.2.1.3. Zeitlich-räumliche Kombination der Nitratkonzentration	238
8.2.2. Einfluß der Oberflächengewässer	239
8.2.3. Punktförmige Belastungen	240
8.2.4. Konzentration der Randzuflüsse	240
8.2.5. Nitratabbau im Aquifer	241
8.3. Simulationsperiode 89/90_2	241
9. Aktualisierung der Informationen zum Leibnitzer Feld	245
10. Zusammenfassung	249
11. Literatur	251

A B B I L D U N G S V E R Z E I C H N I S

Abb. 2.1:	Mittlere jährliche Niederschlags- und Lufttemperaturverteilung sowie die Schneesverhältnisse an der Station Leibnitz/Sulm für den Zeitraum 1901 bis 1980 mit Extremwerten.....	18
Abb. 2.2:	Mittlere Überschreitungsdauerlinie des Niederschlags an der Station Leibnitz/Sulm für die Jahre 1961 bis 1990.....	19
Abb. 2.3:	Mittlere Überschreitungsdauerlinie der Lufttemperatur an der Station Leibnitz/Sulm für die Jahre 1961 bis 1990.....	21
Abb. 2.4:	Abflußverhältnisse der Mur am Pegel Wildon (mittlere Pegeljahresganglinie mit Tagesextrema und mittlere Überschreitungsdauerlinie mit der Hüllkurve über die Dauerlinie der Einzeljahre; berechnet aus der Reihe 1968 bis 1987 aus Tagesmitteln des Abflusses).....	24
Abb. 2.5:	Abflußverhältnisse der Sulm am Pegel Leibnitz (mittlere Pegeljahresganglinie mit Tagesextrema und mittlere Überschreitungsdauerlinie mit der Hüllkurve über die Dauerlinie der Einzeljahre; berechnet aus der Reihe 1968 bis 1987 aus Tagesmitteln des Abflusses).....	25
Abb. 2.6:	Abflußverhältnisse der Mur am Pegel Spielfeld (mittlere Pegeljahresganglinie mit Tagesextrema und mittlere Überschreitungsdauerlinie mit der Hüllkurve über die Dauerlinie der Einzeljahre; berechnet aus der Reihe 1969 bis 1988 aus Tagesmitteln des Abflusses).....	26
Abb. 2.7:	Mursohle im Längsschnitt aus den Querprofilen der Kraftwerksgesellschaften.....	29
Abb. 2.8:	Vergleich von Niederschlag, Murspiegelganglinie und Grundwasserganglinien bei einem Hochwasserereignis im Sommer 1987.....	30
Abb. 2.9:	Die Ermittlung der mittleren Grundwasserganglinie aus einer 20jährigen Reihe an zwei Beispielen.....	33
Abb. 2.10:	Vergleich der mittleren Ganglinien (1973 bis 1983) des Pegels Fluttendorf am Gnasbach (vergleichbar mit Stiefingezugsgebiet) mit der GW - Meßstelle 37751 und des Pegels Wildon an der Mur mit der GW - Meßstelle 3778.....	36
Abb. 2.11:	Ausgewählte Grundwasserganglinien aus dem Zeitraum der Dauerbeobachtung (1.7.1989 bis 30.6.1990) im Leibnitzer Feld mit vermarkten Stichtagen für die Erstellung von Grundwasserisohypsenplänen.....	39

Abb. 2.12: Langjährige Untersuchungen von elektrolytischer Leitfähigkeit, Chlorid und Nitrat an zwei Versorgungsbrunnen im Leibnitzer Feld.	44
Abb. 2.13: Normierte Ionenkonzentrationen aus langjährigen Untersuchungen von elektrolytischer Leitfähigkeit, Chlorid und Nitrat an zwei Versorgungsbrunnen im Leibnitzer Feld.	45
Abb. 2.14: Langjährige Nitratganglinie an den Versorgungsbrunnen KN 2 und B VI der Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges. m. b. H..	47
Abb. 2.15: Wochenmittelwerte der Nitratbelastung des Grundwassers im Leibnitzer Feld anhand von photometrischen Reihenuntersuchungen an Meßstellen in den Schon- und Schutzgebieten. Mittlere jährliche Nitratüberschreitungsdauerlinien der Periode 1987 bis 1989 im Vergleich der sechs ausgewählten Stationen.	50
Abb. 2.16: Zeitraum 1987 bis 1989: mittlere Monatssummen des Niederschlags an der Station St. Georgen, mittlere Jahresganglinie der Nitratbelastung als gleitendes arithmetisches gewichtetes Mittel über fünf Werte am Brunnen B X und mittlere Jahresgrundwasserganglinie an der Meßstelle 3773.	52
Abb. 2.17: Ca : Mg Verhältnisse der dauerbeobachteten Wässer des Leibnitzer Feldes (Standardanalysen)	55
Abb. 2.18: Kalzitsättigung : pCO ₂ der dauerbeobachteten Wässer des Leibnitzer Feldes (Standardanalysen)	56
Abb. 3.1 Meßstelle 3765; Ganglinie 1966 bis 1991 mit Jahresmittelwerten und Grundwassertrend, mittlere Grundwasserjahresganglinie mit Extremwerten und der Jahresganglinie 1990, mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie 1966 bis 1991	67
Abb. 3.2 Meßstelle 3776; Ganglinie 1974 bis 1991 mit Jahresmittelwerten und Grundwassertrend, mittlere Grundwasserjahresganglinie mit Extremwerten und der Jahresganglinie 1990, mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie 1974 bis 1991	69
Abb. 3.3 Meßstelle 3778; Ganglinie 1966 bis 1991 mit Jahresmittelwerten und Grundwassertrend, mittlere Grundwasserjahresganglinie mit Extremwerten und der Jahresganglinie 1990, mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie 1966 bis 1991	72
Abb. 3.4 Meßstelle 38203; Ganglinie 1974 bis 1991 mit Jahresmittelwerten und Grundwassertrend, mittlere Grundwasserjahresganglinie mit Extremwerten und der Jahresganglinie 1990, mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie 1974 bis 1991	74
Abb. 3.5 Meßstelle 3806; Ganglinie 1966 bis 1991 mit Jahresmittelwerten und Grundwassertrend, mittlere Grundwasserjahresganglinie mit Extremwerten und der Jahresganglinie 1990, mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie 1966 bis 1991	77

Abb. 3.6	Vergleichende Darstellung des Schwankungsverhaltens der mittleren Jahresgrundwasseranglinie an 5 ausgewählten Meßstellen im Leibnitzer Feld berechnet aus zumindest 16jährigen Reihen.	79
Abb. 3.7:	Lage der Profile.....	82
Abb. 3.8:	Profil 1	83
Abb. 3.9:	Profil 2a	83
Abb. 3.10:	Profil 2b	84
Abb. 3.11:	Profil 3	84
Abb. 3.12:	Profil 4	85
Abb. 3.13:	Profil 5	85
Abb. 3.14:	Profil 6	86
Abb. 3.15:	Profil 7	86
Abb. 3.16:	Profil 8	87
Abb. 3.17:	Profil 9	87
Abb. 3.18:	Grundwasservolumen 66/88, Gesamtgebiet	113
Abb. 3.19:	Flächengewichte der Stationen, Teilgebiete	116
Abb. 3.20:	Grundwasservolumen 81/88, Gesamtgebiet	117
Abb. 3.21:	Grundwasservolumen 81/88, nördöstliches Leibnitzer Feld	117
Abb. 3.22:	Grundwasservolumen 81/88, südliches Leibnitzer Feld.....	118
Abb. 3.23:	Grundwasservolumen 81/88, Auenterrasse Leibnitzer Feld.....	118
Abb. 3.24:	Grundwasservolumen 81/88, westliches Leibnitzer Feld.....	118
Abb. 4.1:	Ableitung der Strömungsgleichung, (BEAR, 1979).	125
Abb. 4.2:	Longitudinale und transversale Dispersion (BEAR & VERRUIJT, 1987). (a) am Beispiel einer scharf abgegrenzten Front zum Zeitpunkt $t=0$	126
Abb. 4.3:	Zweidimensionales FE-Netz.	136
Abb. 4.4:	Element aus dem Netz.	137
Abb. 4.5:	Definition Knoten, Element, Zelle.	137
Abb. 4.6:	Diskretisierung nach Elementen.....	138
Abb. 4.7:	Diskretisierung nach Knoten.....	138
Abb. 4.8:	Lage der Profile, Stiefing.....	144
Abb. 4.9:	Stiefing, Profil 1.....	144
Abb. 4.10:	Stiefing, Profil 2.....	145
Abb. 4.11:	Stiefing, Profil 3.....	145
Abb. 4.12:	Abfluß Auenhofbach.	149

Abb. 4.13: Abfluß Haslachbach.....	149
Abb. 4.14: Abfluß Hasenbach.	150
Abb. 4.15: Abfluß Kleinwagnabach.	150
Abb. 4.16: Klimatische Wasserbilanz 1971/75.	153
Abb. 4.17: Klimatische Wasserbilanz 1976/80.	153
Abb. 4.18: Klimatische Wasserbilanz 1981/85.	154
Abb. 4.19: Klimatische Wasserbilanz 1985/90.	154
Abb. 4.20: Grundwasservolumen und Monatsniederschläge 1981/88.	157
Abb. 4.21: Grundwasservolumen, 1984.....	159
Abb. 4.22: Tagessumme der Niederschläge, 1984.	159
Abb. 4.23: Wasserspiegel Mur, 1984.....	159
Abb. 4.24: Grundwasservolumen, 1987.....	160
Abb. 4.25: Tagessumme der Niederschläge, 1987.	160
Abb. 4.26: Wasserspiegel Mur, 1987.....	160
Abb. 4.27: Monatssummen der Versickerung, Bodenklasse 1.....	167
Abb. 4.28: Monatssummen der Versickerung, Bodenklasse 2.....	168
Abb. 4.29: Monatssummen der Versickerung, Bodenklasse 3.....	169
Abb. 4.30: Monatssummen der Versickerung, Bodenklasse 4.....	170
Abb. 5.1: Zonierung der kf-Werte, fein.	181
Abb. 5.2: Zonierung der Neubildung.....	184
Abb. 5.3: Gewichtung der kf-Werte.	185
Abb. 6.1: Ganglinie des Grundwasservolumens.....	194
Abb. 6.2: Ganglinie Station L067.....	195
Abb. 6.3: Ganglinie Station L045.....	195
Abb. 6.4: Ganglinie Station L044.....	195
Abb. 6.5: Vergleich der Differenzen, Simulation 84/85. (a) interpolierter Startspiegel	206
Abb. 6.6: Vergleich der Differenzen, Simulation 89/90. (a) interpolierter Startspiegel	206
Abb. 6.7: Vergleich der beobachteten und berechneten Ganglinie der Station L035. (a) $S = 0.20$	208
Abb. 6.8: Vergleich der beobachteten und berechneten Ganglinie der Station L044. (a) $S = 0.20$	209

Abb. 7.1: Grundwasservolumen 87/87. (a) instationäre Simulation, $S = f(kf)$, sh. Kap. 6.5.....	215
Abb. 8.1: Konzentration des Nitrats in 75 cm Tiefe (CEPUDER et al., 1991).	234
Abb. 8.2: Nitrataustrag - tiefgründiger Standort (CEPUDER et al., 1991).....	235
Abb. 8.3: Nitrataustrag - seichtgründiger Standort (CEPUDER et al., 1991).	235
Abb. 8.4: Zonierung der Konzentration der Grundwasserneubildung.	237
Abb. 8.5: Zeitlich-räumlicher Aspekt der Konzentration.	239
Abb. 9.1: Nitratganglinien ausgewählter Meßstellen aus dem Untersuchungsprogramm der Leibnitzerfeld Wasserversorgungs Ges.m.b.H. Wochenmittelwerte der Nitratkonzentrationen in mg/l von 1986 bis 1991.	247

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 2.1:	Durchlässigkeiten, nutzbare Porositäten im Aquifer, Ruhewasserspiegelgefälle und Grundwasserabstandsgeschwindigkeit	12
Tab. 2.2:	Häufigkeiten der Niederschläge in Tagen/Jahr an der Station Leibnitz/Sulm 1951 - 1980 und 1961 - 1990.....	17
Tab. 2.3:	Mittlere monatliche Häufigkeiten der Niederschläge in Tagen an der Station Leibnitz/Sulm 1961 bis 1990.....	20
Tab. 2.4:	Häufigkeiten der Lufttemperaturen in Tagen/Jahr an der Station Leibnitz/Sulm 1951 - 1980 und 1961 - 1990.....	21
Tab. 2.5:	Mittlere und extreme Monats- und Jahresmittel der Abflüsse der Mur an den Pegeln Wildon und Spielfeld bzw. der Sulm am Pegel Leibnitz berechnet aus den Tagesmitteln der Reihe 1968 bis 1987 bzw. 1969 bis 1988	23
Tab. 2.6:	Statistische Kennwerte der Nitratuntersuchungen der Leibnitzerfeld Wasserversorgungs Ges.m.b.H.	49
Tab. 2.7:	Kennwerte der hydrochemischen Dauerbeobachtung auf die Parameter el. Leitfähigkeit ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), NO_3 (mg/l), SO_4 (mg/l) und Cl (mg/l) (Lage der Beprobungspunkte siehe Karte 2.5).	60
Tab. 3.1	Meßstelle 3765; Kennwerte der Ganglinien; Minima = theoretische Niedrigwasserganglinie aus den niedersten Grundwasserständen jeden Tages, Mittelwerte = mittlere Jahresgrundwasserganglinie, Maxima = theoretische Hochwasserganglinie aus den höchsten Grundwasserständen jeden Tages.	66
Tab. 3.2	Meßstelle 3776; Kennwerte der Ganglinien; Minima = theoretische Niedrigwasserganglinie aus den niedersten Grundwasserständen jeden Tages, Mittelwerte = mittlere Jahresgrundwasserganglinie, Maxima = theoretische Hochwasserganglinie aus den höchsten Grundwasserständen jeden Tages.	70
Tab. 3.3	Meßstelle 3778; Kennwerte der Ganglinien; Minima = theoretische Niedrigwasserganglinie aus den niedersten Grundwasserständen jeden Tages, Mittelwerte = mittlere Jahresgrundwasserganglinie, Maxima = theoretische Hochwasserganglinie aus den höchsten Grundwasserständen jeden Tages.	71
Tab. 3.4	Meßstelle 38203; Kennwerte der Ganglinien; Minima = theoretische Niedrigwasserganglinie aus den niedersten Grundwasserständen jeden Tages, Mittelwerte = mittlere Jahresgrundwasserganglinie, Maxima = theoretische Hochwasserganglinie aus den höchsten Grundwasserständen jeden Tages.	75

Tab. 3.5	Meßstelle 3806; Kennwerte der Ganglinien; Minima = theoretische Niedrigwasserganglinie aus den niedersten Grundwasserständen jeden Tages, Mittelwerte = mittlere Jahresgrundwasserganglinie, Maxima = theoretische Hochwasserganglinie aus den höchsten Grundwasserständen jeden Tages.....	76
Tab. 3.6:	Profil 1, Stationen.....	89
Tab. 3.7:	Profil 1, Bohrungen	89
Tab. 3.8:	Profil 1, statistische Parameter	89
Tab. 3.9:	Profil 2a, Stationen	90
Tab. 3.10:	Profil 2a, Bohrungen	90
Tab. 3.11:	Profil 2a, statistische Parameter	90
Tab. 3.12:	Profil 2b, Stationen.....	92
Tab. 3.13:	Profil 2b, Bohrungen	92
Tab. 3.14:	Profil 2b, statistische Parameter	92
Tab. 3.15:	Profil 3, Stationen.....	93
Tab. 3.16:	Profil 3, Bohrungen	93
Tab. 3.17:	Profil 3, statistische Parameter	94
Tab. 3.18:	Profil 4, Stationen.....	95
Tab. 3.19:	Profil 4, Bohrungen	95
Tab. 3.20:	Profil 4, statistische Parameter	95
Tab. 3.21:	Profil 5, Stationen.....	96
Tab. 3.22:	Profil 5, Bohrungen	96
Tab. 3.23:	Profil 5, statistische Parameter	97
Tab. 3.24:	Profil 6, Stationen.....	98
Tab. 3.25:	Profil 6 Bohrungen	98
Tab. 3.26:	Profil 6, statistische Parameter	98
Tab. 3.27:	Profil 7, Stationen.....	99
Tab. 3.28:	Profil 7, statistische Parameter	99
Tab. 3.29:	Profil 8, Stationen.....	100
Tab. 3.30:	Profil 8, Bohrungen	101
Tab. 3.31:	Profil 8, statistische Parameter	101
Tab. 3.32:	Profil 9, Stationen.....	102
Tab. 3.33:	Profil 9, Bohrungen	102
Tab. 3.34:	Profil 9, statistische Parameter	102

Tab. 3.35: Extremwerte des Grundwasservolumens 1966/88	112
Tab. 3.36: Statistische Parameter des Grundwasservolumens der Reihe 66/88	112
Tab. 3.37: Statistische Parameter des Grundwasservolumens der Reihe 81/88	115
Tab. 4.1: Zwischeneinzugsgebiete.	142
Tab. 4.2: Bacheinzugsgebiete.	142
Tab. 4.3: Zuflüsse der Zwischeneinzugsgebiete.	142
Tab. 4.4: Zuflüsse aus Bacheinzugsgebieten.	143
Tab. 4.5: Zufluß aus dem Stiefingtal.....	143
Tab. 4.6: Parameter der Bacheinzugsgebiete.	146
Tab. 4.7: Parameter Zwischeneinzugsgebiete.....	147
Tab. 4.8: Stiefing, Anstiege des Grundwasserspiegels.	147
Tab. 4.9: Repräsentative Abflüsse einiger Bäche.	148
Tab. 4.10: Parameter der Regression.	148
Tab. 4.11: Grundwasserneubildung (mm/Jahr) aus KWB.	152
Tab. 4.12: Zu- und Abflüsse aus dem GW-System.	155
Tab. 4.13: Grundwasserneubildung (mm/Jahr) aus Grundwasservolumen.....	162
Tab. 4.14: Bodenklassen.....	164
Tab. 4.15: Bodenklasse 1, Parameter.	164
Tab. 4.16: Bodenklasse 2, Parameter.	164
Tab. 4.17: Bodenklasse 3, Parameter.	164
Tab. 4.18: Bodenklasse 4, Parameter.	165
Tab. 4.19: Grundwasserneubildung (mm/Jahr) aus Simulation.	166
Tab. 4.20: Klassen der Grundwasserneubildung.	166
Tab. 4.21: Entnahmen der Wasserversorgungsanlagen.....	172
Tab. 5.1: Gleichungsansätze für die Optimierung von Systemparametern.	175
Tab. 5.2: Zonen für die Durchlässigkeit, k_f	182
Tab. 5.3: Zonierung Neubildung.....	182
Tab. 5.4: Eichung, Grundwasserspiegel, selektierte Zeitpunkte.....	186
Tab. 5.5: Ergebnisse stationäre Eichung, erster Optimierungsschritt.	187
Tab. 5.6: Ergebnisse stationäre Eichung, zweiter Optimierungsschnitt.....	188
Tab. 5.7: Zeitabschnitte für Optimierung und Überprüfung.	189
Tab. 5.8: Absolute Häufigkeiten der Differenzen, Simulation 35.....	190
Tab. 5.9: Absolute Häufigkeiten der Differenzen, Simulation 37.....	191

Tab. 5.10: Absolute Häufigkeiten der Differenzen, Simulation 40.....	191
Tab. 5.11: Absolute Häufigkeiten der Differenzen, Simulation 48.....	192
Tab. 5.12: Mittlere und quadratische Fehler der Simulationen.....	192
Tab. 6.1: Simulationsperioden der instationären Simulation.....	194
Tab. 6.2: Vergleichsspiegellagen der Simulationsperioden.....	196
Tab. 6.3: Zuordnung der Spiegellagen zu Zeitschritten.....	197
Tab. 6.4: Daten Simulation 87/87, Lauf R12.....	200
Tab. 6.5: Parameter der Vergleichsmeßstellen 87/87.....	204
Tab. 7.1: Bilanzzonen Oberflächengewässer.....	212
Tab. 7.2: Bilanzierung Randzuflüsse, 87/87.....	212
Tab. 7.3: Bilanzierung Aubäche, 87/87.....	213
Tab. 7.4: Bilanzierung Grundwasserneubildung, 87/87.....	213
Tab. 7.5: Bilanzierung Zu- und Abflüsse Oberflächengewässer 87/87.....	213
Tab. 7.6: Bilanzierung Entnahmen Trink- und Nutzwasser, 87/87.....	213
Tab. 7.7: Bilanzierung konstante Zu- und Abflüsse, 87/87.....	214
Tab. 7.8: Bilanzierung der Teilsummen, 87/87.....	214
Tab. 7.9: Bilanzierung Randzuflüsse, 84/85.....	215
Tab. 7.10: Bilanzierung Aubäche, 84/85.....	216
Tab. 7.11: Bilanzierung Grundwasserneubildung, 84/85.....	216
Tab. 7.12: Bilanzierung Zu- und Abflüsse Oberflächengewässer, 84/85.....	216
Tab. 7.13: Bilanzierung Entnahmen Trink- und Nutzwasser, 84/85.....	216
Tab. 7.14: Bilanzierung konstante Zu- und Abflüsse, 84/85.....	217
Tab. 7.15: Bilanzierung der Teilsummen, 84/85.....	217
Tab. 7.16: Bilanzierung Randzuflüsse, 89/90.....	217
Tab. 7.17: Bilanzierung Aubäche, 89/90.....	218
Tab. 7.18: Bilanzierung Grundwasserneubildung, 89/90.....	218
Tab. 7.19: Bilanzierung Zu- und Abflüsse Oberflächengewässer 89/90.....	218
Tab. 7.20: Bilanzierung Entnahmen Trink- und Nutzwasser, 89/90.....	218
Tab. 7.21: Bilanzierung konstante Zu- und Abflüsse, 89/90.....	219
Tab. 7.22: Bilanzierung der Teilsummen, 89/90.....	219
Tab. 7.23: Mittelwerte und Varianz der Abstandsgeschwindigkeit.....	220
Tab. 7.24: Häufigkeitsverteilung der Beträge der Abstandsgeschwindigkeit 87/87.....	222

Tab. 7.25: Mittelwerte, Extremwerte und Varianzen der Abstandsgeschwindigkeit 87/87	225
Tab. 7.26: Fließweg und mittlere Fließgeschwindigkeit, Brunnen Vogau.	227
Tab. 7.27: Fließweg und mittlere Fließgeschwindigkeit, Brunnen Kainach.....	227
Tab. 7.28: Fließweg und mittlere Fließgeschwindigkeit, Brunnen BVI.....	228
Tab. 7.29: Fließweg und mittlere Fließgeschwindigkeit, Brunnen BX.	229
Tab. 8.1: Simulationsperiode.	231
Tab. 8.2: Vergleichszeitpunkte Grundwasserspiegel.	232
Tab. 8.3: Vergleichszeitpunkte Nitratkonzentration.	232
Tab. 8.4: Grundwasserneubildung, Konzentration [mg/l] Nitrat.....	238
Tab. 8.5: Qualitativer Zusammenhang zwischen Neubildungsrate und Konzentration.	238
Tab. 8.6: Konzentrationsangaben für die Randzuflüsse.....	240
Tab. 8.7: Daten der Simulation 89/90_2, R10.	242
Tab. 9.1: Grundwasserentnahmemengen aus den wichtigen kommunalen Wasserversorgungen des Leibnitzer Feldes (m ³ bzw. l/s).....	246

KARTENVERZEICHNIS

- Karte 2.1: Geologische Karte (zusammengestellt: W. POLTNIG, 1992)
- Karte 2.2: Reliefkarte der Grundwassersohle
- Karte 2.3: Lage der Punkte für Untersuchungen der Durchlässigkeit
- Karte 2.4: Bodentypen und -durchlässigkeiten
- Karte 2.5: Meßstellenkarte (Datenbasis und Dauerbeobachtung)
- Karte 2.6: Lageplan zu den Sohlhöhenmeßstellen von Oberflächengewässern
-
- Karte 2.7: Grundwasserschichtenlinienplan vom 21.8.1989
- Karte 2.8: Grundwasserschichtenlinienplan vom 2.10.1989
- Karte 2.9: Grundwasserschichtenlinienplan vom 11.12.1989
- Karte 2.10: Grundwasserschichtenlinienplan vom 19.3.1990
- Karte 2.11: Grundwasserschichtenlinienplan vom 14.5.1990
- Karte 2.12: Mittelwerte und Standardabweichung aus der Dauerbeobachtung Juli 1989 bis Juni 1990 (monatliche Meßtermine) - Leitfähigkeit
- Karte 2.13: Mittelwerte und Standardabweichung aus der Dauerbeobachtung Juli 1989 bis Juni 1990 (monatliche Meßtermine) - Nitrat
- Karte 2.14: Brunnen der kommunalen Wasserversorgungen und deren Schutz- und Schongebiete
-
- Karte 3.1: Statistische Auswertung der Ganglinien des Grundwasserspiegels, Standardabweichung in 5-Jahresintervallen
- Karte 3.2: Statistische Auswertung der Ganglinien des Grundwasserspiegels, Pegelweg in 5-Jahresintervallen
- Karte 3.3: Statistische Auswertung der Ganglinien des Grundwasserspiegels, Schiefe in 5-Jahresintervallen
- Karte 3.4: Statistische Auswertung der Ganglinien des Grundwasserspiegels, Vergleich der Mittelwerte von 5-Jahresintervallen
-
- Karte 4.1: Modellnetz Gesamtgebiet und Festlegung der Randbedingungen
-
- Karte 4.2: Gesättigte Mächtigkeit des Aquifers und Isolinien der Sohle des Grundwasserleiters, modifiziert
- Karte 4.3: Speicherkoeffizienten S, modifiziert
- Karte 5.1: Stationäre Eichung, Grundwasserspiegel zum Datum 19.8.1985

-
- Karte 5.2: Instationäre Eichung, beobachtete Grundwasserspiegeldifferenz des Eichzeitraumes vom 7.12.1986 bis 9.2.1987
- Karte 5.3.: Instationäre Eichung, berechnete Differenz mit den optimierten k_f -Werten
- Karte 5.4.: Optimierte k_f -Werte
- Karte 5.5: Vergleich der beobachteten und berechneten Isolinien des Grundwasserspiegels zum Datum 9.2.1987
- Karte 6.1: Instationäre Simulation, beobachtete Differenzen der Simulationsperiode 87 / 87
- Karte 6.2: Instationäre Simulation, beobachtete und berechnete Differenzen zur Ausgangsspiegellage für ausgewählte Vergleichszeitpunkte der Simulationsperiode 87 / 87
- Karte 7.1: Vektorfeld der Abstandsgeschwindigkeit zum Datum 26.7.1987
- Karte 7.2: Veränderungen der Richtungswinkel und der Beträge der Abstandsgeschwindigkeit für ausgewählte Vergleichszeitpunkte der Simulationsperiode 87 / 87
- Karte 7.3: Varianz der Beträge der Abstandsgeschwindigkeit in der Simulationsperiode 87 / 87
- Karte 7.4: Varianz der Richtungen der Vektoren der Abstandsgeschwindigkeit in der Simulationsperiode 87 / 87, vom 9.2.1987 bis 19.10.1987, berechnet
- Karte 7.5: Bahnlinien zu ausgewählten Brunnen in der Simulationsperiode 87 / 87
- Karte 8.1: Vergleich der beobachteten und berechneten Konzentrationen von Nitrat für ausgewählte Vergleichszeitpunkte in der Simulationsperiode 89/90_2
- Karte 9.1: Grundwasserschichtenlinienplan vom 1.7.1991

ANHANGSVERZEICHNIS

- Anhang A: Randzuflüsse - Input
- Anhang B: Abflüsse Auenbäche - Input
- Anhang C: Grundwasserneubildung - Input
- Anhang D: Oberflächengewässer - Input
- Anhang E: Entnahmen von Trink- und Nutzwasser - Input
- Anhang F: Ganglinien des Grundwasserspiegels, beobachtet und berechnet -
Simulation 87 / 87, in Vergleichsknoten
- Anhang G: Abflüsse aufgrund Randbedingungen 1. Art
- Anhang H: Ganglinien von Betrag und Richtung der Abstandsgeschwindigkeit -
Simulation 87 / 87
- Anhang I: Ganglinien der Nitratkonzentration, beobachtet und berechnet -
Simulation 89 / 90_2, in Vergleichsknoten

1. PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG (G. SUETTE)

Zur systematischen Erkundung der steirischen Grundwasservorkommen wurde im Jahre 1988 die Ausarbeitung eines Grundwassermodelles durch das Institut für Geothermie und Hydrogeologie der Forschungsgesellschaft Joanneum sowie durch das Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur Wien begonnen.

Die moderne Erfassung von Grundwasservorkommen durch Modelle soll vor allem die wasserwirtschaftliche Beurteilung intensiv genutzter Grundwasservorkommen erleichtern und es soll durch diese Bearbeitung der Kenntnisstand über den gesamten Grundwasserhaushalt innerhalb des Modellgebietes verbessert werden.

Allgemein ist es das Ziel einer Modellerstellung, das Verhalten eines natürlichen Grundwasserleiters nachzubilden, wobei Analogbeziehungen zwischen Natur und theoretischem Modell hergestellt werden. Weiters soll mit Grundwassermodellen eine Hilfestellung bei Prognosefragen und Optimierungsfragen geleistet werden, wobei einerseits Auswirkungen von anthropogenen Eingriffen in ein Grundwasserströmungssystem (Entnahmen, Anreicherungen, Baumaßnahmen) und andererseits Fragen nach optimalen Lösungen von solchen Eingriffen unter Berücksichtigung vorhandener Nebenbedingungen untersucht werden sollen. Diese Hauptbereiche des Einsatzes von Grundwassermodellen wurden bereits in den letzten Jahren in zunehmendem Maß im Rahmen der Erstellung von Umweltverträglichkeitsprüfungen eingesetzt und bieten dabei die Möglichkeit, verschiedene Szenarien zu untersuchen und durch Prognosen die Auswirkungen von Maßnahmen darzustellen.

Um eine möglichst hohe Aussagekraft zu erzielen, ist es notwendig, zunächst die natürlichen Verhältnisse durch ein möglichst genau wiedergebendes Grundwassermodell (Eichung) darzustellen.

Generell ist die Notwendigkeit der Erstellung von Grundwassermodellen auch unter dem Aspekt der Erfüllung des Grundwasserschutzprogrammes der Steiermärkischen Landesregierung zu sehen, wonach die Bestandsaufnahme der Grundwasservorkommen des Landes eine besondere Aktualität erhält. Dabei scheint es aus fachlicher Sicht notwendig, nicht nur die Ergebnisse älterer Untersuchungen auf ihre Gültigkeit zu überprüfen, sondern auch, wie bereits erwähnt, mit mathematischen Methoden aus direkt gemessenen Zuständen, welche weitgehend nur örtliche Gültigkeit aufweisen, auf größere Räume Rückschlüsse ziehen zu können.

Ausgehend vom Entwicklungsprogramm gem. § 11 (1) Raumordnungsgesetz, welches zur Lösung von Problemen und Fragen hinsichtlich des Grundwasserschutzes, der Sanierung und Nachfolgenutzung von Sand- und Kiesgruben im Bereich des Leibnitzer Feldes erstellt wurde, wurde von Seiten der Steiermärkischen Landesregierung das Projekt "Grundwassermodell Leibnitzer Feld" initiiert, da sich die Grundwasserverhältnisse im Leibnitzer Feld in den Jahren zuvor sowohl quantitativ als auch qualitativ gravierend verschlechtert haben (Nitrat-, Pestizidgehalte, Grundwasserspiegelabsenkungen).

Die Zielvorgabe des zu erstellenden Modells war in dieser Phase des Projektes die Klärung folgender Fragen:

- Einfluß von Oberflächenwässern auf das Grundwasser,
- Einfluß des Niederschlages auf das Grundwasser,
- Grundwasserneubildung,
- Wasserbilanz des Projektgebietes,
- Quantifizierung möglicher Entnahmemengen und Situierung von Entnahmebrunnen,
- flächenhafte Modellierung der hydraulischen Parameter Durchlässigkeit, Fließgeschwindigkeit, Absenkungs- und Entnahmebereiche,
- räumliche Abgrenzung von belasteten Bereichen,
- zeitliche Entwicklung der Grundwasserbelastung und Prognose der Entwicklung,
- Erstellung von Transportmodellen zur genaueren Definition von Schadstoffwegen,
- Ausweisung von möglichen Entnahmestellen in nicht oder nur gering belasteten Bereichen,
- Herkunft der das Grundwasser belastenden Stoffe,
- Vorschläge für Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers.

Unter Berücksichtigung der oben angeführten Punkte muß hier auf die im Leibnitzer Feld verordneten Schongebiete hingewiesen werden, welche weitgehend noch nach herkömmlichen Methoden der Hydrogeologie ausgewiesen worden sind und zu welchen durch die Verwendung des Grundwassermodelles unter Einbeziehung von Stofftransportmodellrechnungen einerseits Revisionen möglich sein werden und andererseits eine detaillierte Bearbeitung des

materiellen Inhaltes der Verordnungen für die Schutzgebiete zu den einzelnen Brunnen möglich und sinnvoll erscheint. Ebenfalls anzuführen sind die Möglichkeiten eines mathematischen Modells bei Ausweisung von Sanierungsgebieten sowie der Optimierung des Meßstellennetzes sowohl in quantitativer als auch qualitativer Hinsicht.

Zur Durchführung dieses Projektes wurde am 22. 9. 1988 der Antrag gestellt, die Steiermärkische Landesregierung wolle den Beschluß fassen,

"die Erstellung eines Grundwassermodells für das gesamte Leibnitzer Feld in einem 4-jährigen Arbeitsprogramm durch das Institut für Geothermie und Hydrogeologie der Forschungsgesellschaft Joanneum und das Institut für Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur zu einem Gesamtaufwand von S 4 Mio. bei einer 50 %igen Deckung durch Bundesmittel".

Der betreffende Beschluß der Landesregierung wurde in ihrer Sitzung am 3. 10. 1988 gefaßt, und es wurden im Anschluß daran die oben angeführten Institute mit der Durchführung der Arbeiten beauftragt.

Das Projektgebiet umfaßt das gesamte Leibnitzer Feld zwischen der Enge von Wildon im N und Spielfeld - Straß im S, und es ist festzuhalten, daß aus dem Leibnitzer Feld nicht nur dieses selbst, sondern darüber hinaus weite Teile der südlichen Weststeiermark sowie der Oststeiermark einerseits über Versorgungsnetze der Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges.m.b.H. und andererseits über das Verbandsnetz des Wasserverbandes Grenzland Südost sowie über den Wasserverband Ehrenhausen mit Trinkwasser versorgt werden. Ein weiterer Nutzungsschwerpunkt ist in der Landwirtschaft gelegen, die als potentieller Ausgangspunkt für Grundwasserkontaminationen angesehen werden muß.

Neben den Schwerpunkten Trinkwassergewinnung und Landwirtschaft ist noch die energetische Nutzung der Mur mit den Kraftwerksstufen Lebring, Gralla, Gabersdorf, Obervogau und Spielfeld zu nennen.

Nicht zu vergessen bei den Nutzungsansprüchen auf diesen Raum mit möglichen Emissionsherden für Kontaminationen sind die großen Verkehrsverbindungen, welche durch das Leibnitzer Feld führen (Südbahnstrecke Wien - Triest, Pyhrnautobahn A 9, Bundesstraße B 67), und die sich immer weiter ausdehnende Besiedelung bzw. Ansiedelung von Industriebetrieben, wobei bei Betrachtung dieser möglichen Kontaminationsquellen vor allem Modellrechnungen mit Schwerpunkt Stoffausbreitung zum Tragen kommen.

Mit Hilfe des nunmehr fertiggestellten Modelles können die Wirkungen externer Einflüsse, wie von Grundwasserentnahmen, Oberflächengewässern, Sand- und Kiesgruben sowie von Schadstoffen auf das Grundwassersystem abgeschätzt und Grundlagen für eine längerfristig zufriedenstellende Bewirtschaftung bzw. Sanierung des Grundwassers geschaffen werden.

2. DATENBASIS

Die Datenbasis für die Beurteilung der hydrogeologischen Verhältnisse im Leibnitzer Feld und die Erstellung eines Grundwassermodells bilden bereits vorhandene Unterlagen aus Detailuntersuchungen bzw. aus der Literatur, weiters Datenbestände aus den Bereichen Hydrologie und Meteorologie, die von unterschiedlichsten Institutionen (Hydrographischer Dienst, Kraftwerksgesellschaften, Schotterwerksbetreiber etc.) kontinuierlich oder unregelmäßig erfaßt wurden, sowie die Daten aus einer einjährigen Dauerbeobachtung im Rahmen des Projektes, deren Schwergewicht im Bereich der Hydrochemie und hier vor allem in der Nitratproblematik lag.

2.1. Geologie

Die geologischen Verhältnisse des Leibnitzer Feldes (siehe Karte 2.1) sind durch Akkumulation von fluvioglazialen bzw. fluviatilen Sedimenten über einem in vorwiegend tertiären Ablagerungen geschaffenen Erosionsrelief geprägt. Über diesen als Stauer für das seichtliegende Talgrundwasser anzusehenden Tertiärsedimenten findet sich in den jungquartären Lockergesteinsablagerungen der Hauptaquifer des Leibnitzer Feldes.

2.1.1. Prätertiäres Grundgebirge

Die Gesteine des Grazer Paläozoikums setzen sich gegen S als über die Tertiärbedeckung ragende Grundgebirgsinseln fort (Tobelbad, Weitendorf, Sausal-, Remschnigg- und Poßbruggengebirge). Diese auch während des Tertiärs vorhandenen Schwellenbereiche erlaubten die Ausbildung der als Flachwasserablagerungen vorliegenden miozänen Leithakalke. Im Bereich des Leibnitzer Feldes findet sich paläozoisches Grundgebirge am Talrand westlich von Leibnitz sowie im Murbett beim Elektrizitätswerk von Lebring. Die im Murbett bei Lebring aufgeschlossenen paläozoischen Grünschiefer und Phyllite weisen, durch Bohrungen belegt (KOLLMANN, 1964), auf ein in geringer Tiefe vorliegendes vortertiäres Relief im Raum Lebring - Weitendorf hin.

2.1.2. Tertiärablagerungen

Der Großteil der Umrahmung des Leibnitzer Feldes wird von miozänen Tertiärablagerungen aufgebaut. Es handelt sich dabei vorwiegend um flachmarine siliziklastische Sedimente, in welchen in unterschiedlichen stratigraphischen Niveaus Leithakalkbänke eingeschaltet sind

(FRIEBE, 1990). Leithakalke mit größerer Verbreitung finden sich vor allem im N des Leibnitzer Feldes bei Wurzing, Afram, beim Wildoner Schloßberg und Buchkogel. In diesem Raum wurden sie auch in einer Bohrung südöstlich von Wildon (LEDITZKY, 1986) und beim Bau der Kläranlage von Wildon sowie im Raum Lebring (RAG-Bohrungen) als Basis der quartären Talfüllung nachgewiesen.

Neben vereinzelt kleineren Vorkommen von Leithakalk im westlichen Teil der Umrahmung des Leibnitzer Feldes finden sich im Raum Retznei und Ehrenhausen wiederum mächtigere Einschaltungen von Leithakalk. Auch in diesem Bereich konnten im Zuge der Autobahnbohrungen im Raum Landscha Leithakalke als Basis der quartären Talfüllung nachgewiesen werden.

Der Großteil der Umrahmung und der Basis der quartären Ablagerungen im Leibnitzer Feld wird jedoch von blaugrauen Tonmergeln, sandigen Mergeln und Sandlagen aufgebaut, welche als Wasserstauer für den seichtliegenden Hauptgrundwasserkörper angesehen werden können. Unterhalb des Hauptgrundwasserkörpers sind auch wasserführende Horizonte innerhalb der Tertiärablagerungen erbohrt worden, welche sich durch hohe Natrium-, Chlorid- und Hydrogencarbonatgehalte auszeichnen (St. Georgen a.d. Stiefing, Lebring). In Bereichen, in denen die Quartärbasis aus Leithakalk aufgebaut wird und wo sandige Tertiärsedimente durch das Relief an der Basis der Quartärablagerungen angeschnitten werden, ist ein Übertritt von Wässern aus dem Tertiär in den quartären Hauptgrundwasserkörper möglich.

2.1.3. Quartärablagerungen

Die Quartärablagerungen des Leibnitzer Feldes werden durchwegs von fluvioglazialen, bzw. fluviatilen Sedimenten aufgebaut. Nach UNTERSWEIG (in: FANK, et. al., 1989) unterscheidet man die Auzonen und die würmzeitlichen Niederterrassenbereiche. Die rißzeitliche Hochterrasse (Helfbrunner Flur) tritt im wesentlichen im Bereich der Umrahmung des Leibnitzer Feldes auf und ist durch einen 3 bis 4 m mächtigen Kieskörper und eine durchwegs mehrere Meter mächtige Staublehmdecke gekennzeichnet (Stangersdorf, Wagendorfer Wald).

Nach UNTERSWEIG (in: FANK, et. al., 1989) gliedert sich die würmzeitliche Niederterrasse fast durchwegs in zwei Teilfluren, wobei der Abfall von der höheren Teilflur (Hauptterrasse) zur tieferen meist nur wenige (um 5) Meter beträgt. Im Stadtgebiet von Leibnitz ist der Übergang zwischen beiden Fluren stark verschliffen. Die Mächtigkeit der beiden Teilfluren liegt durchschnittlich bei 6 bis 10 m. Die Niederterrasse wird vorwiegend aus gering schluffigen, sandigen Kiesen mit Steinen aufgebaut, die sich hauptsächlich aus kristallinen Geröllen (Quarz, Gneise, Amphibolite, metamorphe Schiefer usw.) und Kalken zusammensetzen. Die Komponenten sind durchwegs gut gerundet. Neben matrixfreien Kieslagen treten innerhalb

des Terrassenkörpers immer wieder sandige, örtlich auch schluffige Partien von linsenförmigem Charakter auf. Die schluffig-feinsandige Überdeckung der würmzeitlichen Niederterrasse ist meist geringmächtig und schwankt zwischen 0.2 und 0.8 m.

Die Auzonen an der Mur zeigen über dem präquartären Untergrund ebenfalls einen Aufbau aus schwach schluffigen, sandigen Kiesen, über denen jedoch im Gegensatz zur Niederterrasse stellenweise eine 1.5 bis 3 m mächtige Aulehmdecke liegt. Die Mächtigkeit der Sedimente der Austufe liegt meist zwischen 4 und 6 m.

2.2. Hydrogeologische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet wird von den Auzonen und Niederterrassenbereichen des Leibnitzer Feldes gebildet. Über den wasserstauenden jungtertiären Ablagerungen bilden die jungquartären Lockergesteinsablagerungen den Hauptgrundwasserleiter. Dieser Aquifer wird von der Mur, die das würmzeitliche Schotterfeld von der Berandung im W (Wildoner Schloßberg) bis zum Ostrand (tertiäres Hügelland) quert, in das nordöstliche und in das westliche Leibnitzer Feld geteilt. Vom westlichen Leibnitzer Feld teilt sie sodann auf ihrem Weg nach S das südliche Leibnitzer Feld im Raum Vogau - St. Veit ab.

Laßnitz und Sulm bilden die Westgrenze des Leibnitzer Feldes und wirken auf den Aquifer durch Infiltrations- und Exfiltrationsstrecken ein. Das nordöstliche Leibnitzer Feld wird von Oberflächengerinnen durchflossen, die einerseits von Grundwasseraustritten an der Terrassenkante von der Niederterrasse zur Austufe gespeist werden, andererseits entwässert die Stiefing Einzugsgebiete aus dem tertiären Hinterland und schüttete dadurch wesentlich feineres Material in die würmzeitlichen Schotterakkumulationen des Murtales.

Neben dem Einfluß der Vorfluter als Grundwasserinfiltrations- und -exfiltrationsbereiche bildet die Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag durch die ungesättigte Bodenzone einen entscheidenden Faktor für die hydrogeologische Situation und die Nitratproblematik im Leibnitzer Feld.

2.2.1. Die Ausbildung der Grundwasserstauer Oberfläche

Die wasserführenden Lockergesteine des Leibnitzer Feldes überlagern ein Relief, das im wesentlichen in wasserstauende Gesteine des Jungtertiärs eingekerbt ist. Dieses Relief (Karte 2.2) ist als Sohle des seichten Grundwassers zu betrachten. Zumeist handelt es sich um schluffig-sandige bzw. tonige Gesteine (Sand, Sandstein, Schluff, Ton, Mergel, Tonmergel, "Tegel").

In einigen Bohrungen wurden unter den Quartärschottern Leithakalke meist unbekannter Mächtigkeit angetroffen, die aufgrund ihrer Verkarstungsfähigkeit wasserführend sein können und wo daher mit einem Einfluß auf das Grundwasser gerechnet werden muß. Südlich von Wildon, bei Retznei und bei Ehrenhausen setzen sich am Talrand anstehende Leithakalke unter die Talschotter fort. Ein vermutlich isoliertes, räumlich begrenztes Vorkommen wurde westlich von Wagendorf erbohrt. Das dargestellte Relief stellt in diesen Fällen die Oberkante der Leithakalke dar.

Im nordöstlichen Leibnitzer Feld und am Ausgang des Sulmtales wurden paläozoische Schiefer der mittelsteirischen Schwelle erbohrt.

In gut dokumentierten Bohrungen wird häufig zwischen dem liegenden Jungtertiär und den hangenden Schottern eine sogenannte "Übergangsschicht" von meist deutlich weniger als einem Meter Mächtigkeit ausgewiesen, die wegen ihres hohen Schluffanteiles als wasserstauend betrachtet wird.

Insgesamt zeigt die Grundwassersohle eine ziemlich einheitliche Konfiguration. Sie liegt beim Kraftwerk Werndorf in ca. 295 m und in Gersdorf bei 243 m Seehöhe, was einen Höhenunterschied von 52 m ergibt. Der heutige Murlauf überwindet auf der gleichen Strecke ebenfalls 52 m.

Ausgeprägte und auf weite Strecken anhaltende Tiefenrinnen können nicht festgestellt werden; es ergibt sich eher ein flachwelliges Relief mit durchwegs seichten und breiten Muldenzonen. Nur an einigen Stellen sind Hohlformen festzustellen, die eher dem Charakter von Tiefenrinnen entsprechen. Eine derartige Tiefenzone gliedert den Untergrund im südlichen Leibnitzer Feld und läßt sich ungefähr entlang des heutigen Murlaufes von Untergralla bis Obervogau einigermaßen verfolgen. Eine ähnliche Struktur von allerdings nur geringer Längserstreckung deutet sich südlich von Lebring an.

Während der Untersuchungen wurden im Raum Kleinjöß und Obertillmitsch im W sowie im Bereich der Murtalaue im Raum Gralla 11 Kernbohrungen abgeteuft. Im Raum Kleinjöß (Karte 2.2) wurden dabei innerhalb des quartären Terrassenkörpers mächtigere Lagen von schluffigen Feinsanden angetroffen, die nur gering wasserführend sind. Eine der neu errichteten Bohrungen liegt im E des Leibnitzer Feldes auf der würmzeitlichen Niederterrasse zwischen Ragnitz und Gundersdorf in der Nähe des Hangfußes zum tertiären Grundgebirge. Die Nähe zum Grundgebirge verursacht hier infolge von Hangabschwemmungen eine 2,4 m mächtige Schicht aus schluffigem Sediment im Hangenden der Terrasse. Darunter folgt eine 4,6 m mächtige Schicht aus stark schluffigem, kiesigem Mittelsand über dem schluffig-feinsandigen Tertiär.

2.2.2. Die Mächtigkeit des Sand-Kies Körpers

Die Oberfläche der höheren Teilflur der Niederterrasse (Hauptterrasse des Leibnitzer Feldes) liegt rechts der Mur bis 10 m, links ca. 5 bis 10 m über dem Auengelände. Die Oberfläche der tieferen Teilflur, die im Leibnitzer Feld mit Ausnahme des südlichen Abschnittes ab Landscha nur westlich der Mur erhalten blieb, liegt etwa 5 m über der Au.

Beide Teilfluren zeigen ein identisches Sedimentationsbild. Sie werden aus im Durchschnitt 6 bis 10 m mächtigen Schottern (sandiger Kies mit Steinen) aufgebaut, die sich hauptsächlich aus kristallinen Geröllen und Kalken zusammensetzen; die Komponenten sind durchwegs gut gerundet. Immer wieder treten sandige, örtlich auch geringmächtige schluffige Partien von linsenförmigem Charakter auf. Die Schotter haben ein frisches und wenig verwittertes Aussehen, Gesteinsleichen sind relativ selten.

FABIANI (1971) unterscheidet innerhalb des Schotterkörpers eine graue, gut ausgewaschene Schicht im grundwasserführenden Bereich und eine hangende braune, nicht ausgewaschene und daher mehr Feinmaterial führende Schicht oberhalb des Schwankungsbereiches des Grundwassers.

Im Zuge der Errichtung der Lysimeteranlage in Wagna, im westlichen Leibnitzer Feld, wurde der ungesättigte Bereich der quartären Talfüllung aufgeschlossen. Dabei zeigte sich eine markante Grenzfläche zwischen der Lockersedimentbraunerde des Bodens und den darunter liegenden sandigen Kiesen. Die aufgeschlossenen fluviatilen Kiese zeigen auf kleinstem Raum die Inhomogenitäten, die bei der Ablagerung derartiger Sedimente durch ein fließendes Gewässer auftreten können. Es treten sowohl laterale wie auch vertikale Änderungen der Sedimentzusammensetzung auf (FANK et al., 1992).

Die Auzonen der Mur zeigen über dem älteren Untergrund einen Schotterkörper, der durchwegs zwischen 4 und 6 m Mächtigkeit erreicht. Zwischen Neudorf und Lebring sind es im murnahen Bereich mehr als 6 m, südlich von Gralla meist weniger als 5 m. Aufbau und Zusammensetzung des Sand-Kies-Körpers entsprechen denen der Niederterrassen. Südlich von Gabersdorf treten sandige Partien stärker in Erscheinung. Dieser Schotterkörper wird fast durchwegs von feinen Sedimenten (Aubildungen) überlagert. Die murnahen Bereiche sind häufig durch eine Rinnenlandschaft gekennzeichnet, wobei die Rinnen mit Feinsedimenten verfüllt sind. Im Bereich der Einmündung der Stiefing werden die Deckschichten bis 4 m mächtig.

2.2.3. Der Aquifer

2.2.3.1. Grundwassermächtigkeit und Grundwasserüberdeckung

In den würmzeitlichen Schotterablagerungen des Leibnitzer Feldes bildet sich aufgrund der Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag, der Anreicherung aus Oberflächengewässern, einer lokal auftretenden Anreicherung aus den unterlagernden Leithakalken und dem Zustrom aus randlich gelegenen Einzugsgebieten ein Grundwasserkörper mit freiem Grundwasserspiegel aus, der in großem Maßstab zur Trinkwasserversorgung genutzt wird.

Bei mittlerem Grundwasserstand weist dieser Grundwasserkörper in Abhängigkeit von der Lage zu den Hauptanreicherungsgebieten und der Ausformung des stauenden Untergrundes im gesamten Leibnitzer Feld Mächtigkeiten zwischen weniger als 2 m in den grundgebirgsnahen Randlagen und mehr als 8 m in kleinen Teilbereichen in der Nähe der Mur (Raum Lebring) auf. Grundwassermächtigkeiten von mehr als 4 m werden nur in den schon wasserwirtschaftlich genutzten Bereichen im nordöstlichen Leibnitzer Feld sowie im Bereich von Kaindorf und Tillmitsch im westlichen Leibnitzer Feld erreicht. Ansonsten liegen die Grundwassermächtigkeiten in den für die Wasserwirtschaft interessanten Bereichen unter 4 m.

Die Grundwasserüberdeckung variiert in Abhängigkeit von der Oberflächenmorphologie zwischen weniger als 2 m im Bereich der Talauen und mehr als 8 m im Bereich der Hochterrassen im nordöstlichen Leibnitzer Feld und im Bereich der Rißterrasse im Raum Jöb. Im westlichen Leibnitzer Feld, dem Hauptnutzungsgebiet für die Trinkwassergewinnung liegen die Grundwasserüberlagerungen bei mittlerem Grundwasserstand zwischen 4 und 7 m.

2.2.3.2. Grundwasserströmung und -gefälle

Der nordöstliche Teil des Leibnitzer Feldes ist durch ein murparalleles Abströmen des Grundwassers in Richtung SE geprägt. Der Begleitgrundwasserstrom der Stiefing, die selbst über dem Grundwasser hängt und außer bei Hochwasser keinen Einfluß auf das Strömungsverhalten nimmt, bewirkt beim Zusammentreffen mit dem Mur-Begleitgrundwasserstrom ein Umbiegen der Strömungsrichtung gegen S. Am östlichen Rand des Leibnitzer Feldes im Bereich südlich von Steinfeld bis an die Mur nach E gewinnt abströmendes Grundwasser von den umrahmenden Hängen her immer größere Bedeutung. Die Strömungsrichtung in diesem Bereich ist NE-SW-orientiert und trifft auf den Mur-Begleitstrom, was einen deutlichen Knick der Grundwassergleichen bedingt. Dieses deutliche Anströmen von den Hängen her ist weniger durch ein starkes Wasserdargebot, sondern durch den Anstieg des Untergrundreliefs und die dadurch bedingten Gefällsverhältnisse zu erklären (FABIANI, in: BERNHART, 1973a). Zusätzlich sind in diesem Bereich durch die Einlagerung von Hangabschwemmungen

in den Sedimentkörper wesentlich schlechtere Durchlässigkeiten gegeben als in den zentralen Bereichen der Schotterterrassen.

Starke Eingriffe in die Strömungsverhältnisse des Grundwassers im murnahen Bereich stellen die Kraftwerksbauten in Lebring, Gralla, Gabersdorf, Obervogau und Spielfeld dar. Die Auswirkungen dieser Bauten auf das Grundwasser und auf die Wechselbeziehung zwischen Mur und Grundwasser sind in den Arbeiten von FESSLER (1981 und 1985), KÜPFER (1984) und SCHMIDT (1985) ausführlich beschrieben. Diese bleibenden Veränderungen müssen heute aus hydrographischer Sicht als neue Grundwasserströmungsverhältnisse akzeptiert werden (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1989).

Das durch mehrere kommunale Wasserversorgungsanlagen und durch Schotterentnahmen stark belastete westliche Leibnitzer Feld erstreckt sich vom Buchkogel im N bis zum Sulmspitz im S. Die Schotterentnahmen in Form von Naßbaggerungen bewirken Änderungen der Grundwasserspiegelhöhen bzw. Spiegelschwankungen, Änderungen der Grundwasserströmungsverhältnisse infolge der flächenhaften Ausbildung eines horizontalen Wasserspiegels in den Grundwasserseen und eine Änderung der Wasserbilanz im betreffenden Gebiet (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1989).

Die generelle Fließrichtung des Grundwassers im westlichen Leibnitzer Feld ist NW-SE-orientiert. Für Teilbereiche im äußersten W wird die Laßnitz bzw. die Sulm zur Vorflut für das Grundwasser. Die unterschiedlichen Gefällsverhältnisse der Grundwasseroberfläche im NW des westlichen Leibnitzer Feldes zum übrigen Teil drücken den Übergang von der Rißterrasse zur Würmtterrasse aus. In der wesentlich schlechter durchlässigen Rißterrasse erfolgt eine Gefällsverteilung auf 5 bis 6 ‰.

Im südöstlichen Leibnitzer Feld (Übergang zum Unteren Murtal) bewirkt einströmendes Grundwasser aus der Helfbrunner Terrasse eine N-S-gerichtete Strömung, die aber durch den Begleitgrundwasserstrom der Mur alsbald in Richtung NW-SE umschwenkt und in spitzem Winkel auf die Mur hin ausgerichtet ist.

2.2.3.3. Sedimentdurchlässigkeiten und Grundwasserabstandsgeschwindigkeiten

In Tab. 2.1 sind für alle jene Punkte im Leibnitzer Feld, für die Untersuchungen der Sedimentdurchlässigkeit oder der Grundwasserabstandsgeschwindigkeit vorliegen, die hydraulischen Parameter dargestellt, die für weitere Berechnungen die Grundlage bilden. Die Lage der Punkte ist in Karte 2.3 dargestellt.

Die dargestellten Durchlässigkeiten sind den Untersuchungen von BENISCHKE et. al (1991), FABIANI (1973), FANK & HARUM(1988), GLANZ (1973), KAISER (1988), NEMECEK (1967 und 1973) und WESSIAK (1973a, b und c, 1981, 1986 und 1988) entnommen, das Ruhewasserspiegelgefälle J_0 wurde dem Grundwasserschichtenplan vom 21.10.1985 - in etwa bei mittlerem Grundwasserstand - entnommen. Die nutzbare Porosität wurde nach MAROTZ (1968) $P^* = 0.462 + 0.045 \cdot \ln(k_f)$ errechnet, die Grundwasserabstandsgeschwindigkeit - so sie nicht aus Markierungsversuchen ermittelt wurde - wird nach der Beziehung $v_a = (k_f \cdot J_0) / P^*$ angegeben.

Tab. 2.1: Durchlässigkeiten, nutzbare Porositäten im Aquifer, Ruhewasserspiegelgefälle und Grundwasserabstandsgeschwindigkeit.

Bezeichnung	Nr.	k_f - Wert [m/s]	J_0	P^* [%]	v_a [m/d]	Anmerkung
WV Wildon	I				2.5	Markierungsversuch
BIX Stiefing/ Neudorf	II	2.5E-3	5.7E-3	19	2.5	Rahmenplanungsbohrung
BVIII Stiefing	III	6.5E-3	5.7E-3	23	14.0	Rahmenplanungsbohrung J_0 und v_a fraglich
BVII Stiefing/Alla	IV	1.0E-3	1.3E-3	15	0.8	Rahmenplanungsbohrung k_f -Wert aus Siebkurve
BVI Stiefing	V	5.0E-3	1.6E-3	22	3.1	Rahmenplanungsbohrung
BVI Stiefing	VI	7.0E-3	1.3E-3	24	3.2	Versorgungsbrunnen
BIV Grieswiesen	VII	3.7E-3	2.0E-3	21	3.0	Rahmenplanungsbohrung
BX Steinfeld	VIII	3.0E-3	4.0E-3	20	5.2	Versorgungsbrunnen
Golfplatz Murstetten	IX	2.0E-3	3.1E-3	18	3.0	Naßbaggerungsunter- suchung
BXI Gundersdorf	X	3.5E-3	3.3E-3	21	4.8	Rahmenplanungsbohrung
Brunnen Peterl/ Lebring	XI	5.6E-3	1.6E-3	23	3.4	
Brunnen Baumhackl/ Lebring	XII	6.5E-3	1.4E-3	24	3.3	
HD37848/Neugralla	XIII	2.4E-3	2.4E-3	19	2.6	PV bei Hydrographie- meßstelle
Pegel V/Kaindorf	XIV	2.8E-3	2.7E-3	20	3.3	WV Leibnitzerfeld
KN2/Kaindorf	XV	4.0E-3	2.8E-3	21	4.6	WV Leibnitzerfeld
KN1/Kaindorf	XVI	6.0E-3	2.0E-3	23	4.5	WV Leibnitzerfeld
Pegel VIII/Leibnitz	XVII	4.7E-3	1.8E-3	22	3.3	WV Leibnitzerfeld
Brunnen Leiring	XVIII	5.5E-3	2.4E-3	23	5.0	WV Leibnitzerfeld
Leibnitz/Sulmau	XIX	7.0E-3	2.0E-3	24	5.0	WV Leibnitzerfeld
Brunnen Vogau 1	XX	2.0E-3	1.3E-3	28	8.0	WVB Ehrenhausen
Brunnen Vogau 2	XXI	2.0E-3	1.3E-3	18	1.3	WVB Ehrenhausen
Haslacher Au	XXII	1.6E-2	4.9E-3	27	25	WV Leibnitzerfeld

Für den Bereich südöstlich der Wildoner Enge ermittelte ZOJER (1980) aus einem Markierungsversuch mit Testkreisanordnung eine Grundwasserabstandsgeschwindigkeit von 2.5 m/d. Der Durchlässigkeitsbeiwert, der für die Bohrung BVII bei Alla (Punkt Nr. IV in Karte 2.3) angegeben ist, wurde aus der Siebkurve des Sediments ermittelt und ist mit den übrigen k_f -Werten, die durchwegs aus Pumpversuchen berechnet wurden, nicht unmittelbar vergleichbar. Die aus diesem Wert errechnete Grundwasserabstandsgeschwindigkeit von 0.8 m/d erscheint jedenfalls wesentlich zu niedrig.

Für den Bereich der Bohrung BVIII im Raum nördlich der Ortschaft Stiefing (Punkt Nr. III in Karte 2.3) erscheint das aus dem Grundwasserschichtenplan ermittelte Ruhewasserspiegelgefälle von $5.7E-3$ aufgrund der zu geringen Meßstellendichte wesentlich zu hoch. Aus den Grundwassergleichen in GLANZ (1973) für die Zeit vor dem Pumpversuch vom 10.12.1970 läßt sich für den Nahbereich der Bohrung ein Ruhewasserspiegelgefälle von $J_0 = 1.2E-2$ ermitteln, woraus sich eine Grundwasserabstandsgeschwindigkeit von etwa 3 m/d errechnet, was jener der südlich gelegenen Bohrungen BVI (Rahmenplanung; Punkt Nr. V in Karte 2.3) und BVI (Versorgungsbrunnen; Punkt Nr. VI in Karte 2.3) wesentlich besser entspricht.

Im Nahbereich des Versorgungsbrunnens BX (Punkt Nr. VIII in Karte 2.3) ergibt ein Grundwasserschichtenplan in GLANZ (1973) ein Ruhewasserspiegelgefälle von $2.3E-3$ ohne Förderung aus den umliegenden Brunnen. Mit diesem Gefällswert errechnet sich auch für diesen Bereich eine Grundwasserabstandsgeschwindigkeit von etwa 3 m/d.

Für den gesamten Bereich der Würm-Niederterrasse im nordöstlichen Leibnitzer Feld ergibt sich damit ein doch recht einheitlicher Wert für die Grundwasserabstandsgeschwindigkeit von etwa 2.5 bis 3 m/d. Im grundgebirgsnahen Bereich kommt es durch die in den vorigen Kapiteln erwähnten Ausbildungen von Hangabschwemmungen im Untergrund und der Einlagerung stärker schluffiger Sedimente in den Terrassenkörper durch die Stiefing - beides bedingt eine Verschlechterung der Durchlässigkeit - zu Gefällsversteilungen, die sich in höheren Abstandsgeschwindigkeiten von bis zu 5 m/d (Punkt Nr. X in Karte 2.3) widerspiegeln.

Im Bereich der Talaue der Mur sind die hydraulischen Verhältnisse infolge der zeitlichen Abfolge der Sedimentation äußerst inhomogen. Durch die andauernde Verlagerung des Murlaufes vor der Regulierung kam es in diesem Bereich zur Ausbildung von Altarmsystemen, die je nach der Situation deren Ausbildung entweder mit Feinsedimenten (in Stillwasserzonen) oder durch grobe Schotter (im Zuge der fluviatilen Akkumulation bei höherer Wasserführung) verfüllt sind. Dementsprechend können in diesem Bereich besser durchlässige Bereiche sehr eng neben schlechter durchlässigen zu liegen kommen. Aus einem Pumpversuch an einem Brunnen in der Haslacher Au (Punkt Nr. XXII in Karte 2.3) konnte ein Durchlässigkeits

beiwert von $1.6E-2$ m/s berechnet werden (BENISCHKE et al., 1991), was bei einem Ruhewasserspiegelgefälle von $4.9E-3$ einer Grundwasserabstandsgeschwindigkeit von 25 m/d entspricht (Tab. 2.1).

Auf der Würmterrasse des westlichen Leibnitzer Feldes liegen die Ergebnisse der Durchlässigkeitsbestimmungen (aus vorhandenen Unterlagen) in einem sehr engen Bereich um etwa $k_f = 5E-3$ m/s. Die Verteilung der Meßpunkte (Karte 2.3) ist wenig ideal, da sie in einer nahezu geraden Linie von NNW nach SSE zu liegen kommen und die Randbereiche des Terrassenkörpers sowohl gegen die Mur- als auch gegen die Sulmaue nicht abdecken. Die Grundwasserabstandsgeschwindigkeiten sind aufgrund unterschiedlicher Gefällsverhältnisse des Grundwasserkörpers etwas unterschiedlich, jedoch im nördlichen Teil gut mit den Verhältnissen im nordöstlichen Leibnitzer Feld vergleichbar. Gegen S zu steigen die Ruhewasserabstandsgeschwindigkeiten auf nahe 5 m/Tag an.

Im Bereich der Sulmaue konnte an einem Brunnen ein mehrstufiger Pumpversuch gefahren werden (Punkt Nr. XIX in Karte 2.3), FANK (1989), der analog den Ergebnissen in der Haslacher Au bessere Durchlässigkeiten erbrachte als die Untersuchungen im Bereich der Terrasse.

Aus dem Raum der Ribterrassse bei Jöb liegen keine Untersuchungen über die hydraulischen Parameter vor, aufgrund der Ausbildung des Sedimentkörpers sind in diesem Bereich jedenfalls wesentlich schlechtere Durchlässigkeiten zu erwarten und höhere Grundwasserspiegelgefällswerte gegeben.

Im Bereich des südlichen Leibnitzer Feldes scheinen im Raum Vogau die Durchlässigkeitsverhältnisse auf engem Raum sehr unterschiedlich zu sein. Der aus Pumpversuchen ermittelte k_f -Wert am Brunnen Vogau 1 (Nr. XX in Karte 2.3) unterscheiden sich um eine Zehnerpotenz von dem am Brunnen Vogau 2 (Nr. XXI in Karte 2.3) ermittelten (Tab. 2.1). Aus diesen Durchlässigkeitsunterschieden ergeben sich naturgemäß große Unterschiede in der berechneten Grundwasserabstandsgeschwindigkeit (8 m/Tag zu 1.3 m/Tag; Tab. 2.1).

Insgesamt gesehen sind die Unterschiede in den Durchlässigkeitsbeiwerten im gesamten Leibnitzer Feld eher klein. Mit Ausnahme der lokal sehr unterschiedlichen k_f -Werte im Raum Vogau bewegen sich die übrigen Untersuchungsergebnisse zwischen $2E-3$ und $7E-3$ m/s. Generell sind die besseren Durchlässigkeiten in den Talauen von Mur und Sulm anzutreffen, dies dürfte allerdings auf die Situierung der Brunnen zurückzuführen sein, an denen die Untersuchungen durchgeführt wurden, zumal es das Ziel der Brunnensituierung naturgemäß war, die wasserhöflichsten Gebiete zu erschließen.

Im Bereich der Schlinge der Laßnitz bei Lang stellt sich die Frage, ob überhaupt ein zusammenhängender Aquifer existiert, da für das Grundwasser in diesem Bereich kaum ein Einzugsgebiet vorhanden ist. In einer Bohrung, die in Kleinjöß abgeteuft wurde, treten innerhalb des quartären Terrassenkörpers derart mächtige Lagen von quartären schluffigen Feinsanden auf, daß auf einen Pegelausbau verzichtet werden mußte.

2.3. Böden im Leibnitzer Feld

Die schematische Bodenkarte in Karte 2.4 ist eine zusammenfassende Darstellung der Bodentypen des Leibnitzer Feldes nach der Österreichischen Bodenkarte 1:25000, Kartierungsbereich Wildon und Leibnitz.

Es wurde versucht, die zahlreichen Bodentypen des Leibnitzer Feldes in gut durchlässige, mäßig durchlässige und gering durchlässige Bodentypengruppen zusammenzufassen. Darüberhinaus wurden Flächen mit hohem Anteil an Bodenversiegelung (Siedlungsgebiet) eigens ausgeschieden. Nichtbeurteilte Waldflächen bleiben weiß.

Die Bodendurchlässigkeitsabstufung wurde aufgrund der Beschreibungen der Bodenformen in den Erläuterungen zur Österreichischen Bodenkartierung Nr. 20 und Nr. 31 vorgenommen.

Zur Gruppe der gut durchlässigen Böden wurden alle Auböden aus sandigem Schwemmaterial, alle Lockersediment-Braunerden aus sandig-lehmigem Terrassenmaterial sowie aus sandigem Schwemmaterial bestehende Gleyböden zusammengefaßt. Es sind dies die Bodenformen 1-4, 7-8, 14, 16-17 des Kartierungsbereiches Wildon und 1-10, 15-16, 19-20 des Kartierungsbereiches Leibnitz. Die Böden sind meist tiefgründig (>70 cm), mittelgründige Böden (>30 cm und <70 cm) treten ebenfalls auf. Die Böden sind im allgemeinen gut mit Wasser versorgt und stehen teilweise unter Grundwassereinfluß. Bedingt durch die geringe Speicherkraft und Kapillarität sowie die hohe Durchlässigkeit kann es im Jahreslauf sowohl zu einer stärkeren Durchfeuchtung als auch zu Trockenklemmen kommen.

Mäßig durchlässige Böden finden sich vor allem auf den Terrassen und beinhalten die Lockersediment-Braunerden, vergleyte Lockersediment-Braunerden und Pseudogleye aus meist lehmig-schluffigem Terrassenmaterial. Daneben finden sie sich auch im N des Leibnitzer Feldes im Auebereich der Nebengerinne (Lahn, Stiefing). Die Böden sind durchwegs tiefgründig ausgebildet. Im Arbeitsgebiet gehören zu dieser Gruppe die Bodenformen 5-6, 9, 11, 15, 18-19, 22, 26, 29, 30 des Kartierungsbereiches Wildon sowie 11, 14, 17-18, 21-23 und 25-26 des Kartierungsbereiches Leibnitz. Die Böden sind durch mäßig bis hohe Speicherkraft und mäßige Durchlässigkeit gekennzeichnet. Die Wasserversorgung ist gut bis feucht.

Gering durchlässige Böden im Leibnitzer Feld sind Gleyböden, pseudovergleyte Braunerden und Pseudogleye entlang der Nebengerinne und auf der Terrasse zwischen St. Georgen a.d. Stiefing und Gundersdorf. Die Böden sind durchwegs tiefgründig ausgebildet. Im Kartierungsbereich Wildon gehören dazu die Bodenformen 10, 12-13, 20-21 und 39, im Kartierungsbereich Leibnitz die Bodenformen 12, 24, 27-31, 49, 52, 59 und 60-61. Die Wasserhältnisse in diesen Böden sind naß bis wechselfeucht. Durch den dichten und schweren Unterboden kommt es zur Einschränkung des Speicherraums und zu einer gehemmten Durchlässigkeit.

2.4. Hydrologie

Im Bereich der Hydrologie und Meteorologie stehen für die Auswertungen und Modellierungen in erster Linie Daten der Hydrographischen Landesabteilung und der Meteorologischen Zentralanstalt zur Verfügung. Daneben wurden aber auch alle relevanten Daten von Sondermeßnetzen verschiedenster Institutionen erfaßt und eingearbeitet. Im Rahmen der Untersuchungen zur Hydrogeologie und zum Grundwassermodell Leibnitzer Feld wurden über ein Jahr in eigenen Meßprogrammen neben chemischen Parametern auch hydrologische Daten erfaßt.

2.4.1. Niederschlag und Lufttemperaturdaten

Für die Erfassung der Niederschlagsverhältnisse stehen im Leibnitzer Feld und in den angrenzenden Randbereichen des Untersuchungsgebietes mehrere Meßstationen mit unterschiedlicher Beobachtungsdauer zur Verfügung. Im zentralen Bereich, im Stadtgebiet von Leibnitz, liegt die Klimastation Leibnitz/Sulm in 275 m Seehöhe, die von der Meteorologischen Zentralanstalt (MZA) betrieben und seit Ende des 19. Jahrhunderts laufend beobachtet wird. Eine Niederschlagsstation in Straß, im südlichen Leibnitzer Feld, wurde in den Jahren 1974 bis 1989 und die Meßstelle Sukdull, im nördlich des Leibnitzer Feldes gelegenen Karstgebiet, wurde von 1975 bis 1986 beobachtet. Zusätzlich wurde im Jahre 1985 vom Institut für Geothermie und Hydrogeologie die Niederschlagsstation St. Georgen a.d. Stiefing eingerichtet, die seither durchgängig Tagessummen der Niederschläge für das nordöstliche Leibnitzer Feld liefert. Die Lage aller dieser Beobachtungsstationen ist in Karte 2.5 dargestellt.

Ein Vergleich der Niederschlagsjahres- und -monatssummen an diesen vier Stationen in den überlappenden Bereichen läßt keine gravierenden regionalen Unterschiede im Leibnitzer Feld erkennen; so daß die Kennwerte der Niederschlagsganglinien der Station Leibnitz/Sulm bezüglich der mittleren langfristigen zeitlichen und räumlichen Verteilung für das gesamte Untersuchungsgebiet als repräsentativ betrachtet werden können.

Der Jahresgang des Niederschlages, charakterisiert durch die mittleren Monatssummen der Station Leibnitz/Sulm aus der Beobachtungsreihe 1901 bis 1980 ist in Abb. 2.1 dargestellt und zeigt von den niedrigsten Monatswerten im Jänner und Februar (43 bzw. 41 mm) einen deutlichen kontinuierlichen Anstieg bis zum Juni (Maximum mit 118 mm). In den Monaten Juni, Juli und August fallen im Leibnitzer Feld aus starken und intensiven Gewitterregen die deutlich höchsten Niederschlagsmonatssummen mit jeweils mehr als 115 mm. Mit Beginn im September (93 mm) zeigt sich ein deutlicher kontinuierlicher Rückgang bis zum Jahresende (Dezember 55 mm). Im langjährigen Mittel (1901 bis 1980) fallen in Leibnitz jährlich 949 mm Niederschlag, zum weitaus überwiegenden Teil als Regen. Im Zeitraum 1931 bis 1960 wurde eine mittlere Jahressumme von 926 mm und für den Zeitraum 1971 bis 1980 von 893 mm ermittelt.

Die höchste Regenmenge, die innerhalb von 24 Stunden registriert werden konnte, lag bei 131.7 mm am 15.6.1964. Aus dem Beobachtungszeitraum 1930/31 bis 1959/60 ist im Raum Leibnitz mit einer mittleren Schneebedeckungszeit vom 30.11. bis 17.3. zu rechnen, die mittlere Winterdeckenzeit liegt zwischen 6.1. und 23.2.. Der früheste Beginn der Schneedecke wurde am 7.10., das späteste Ende am 6.5. registriert, die äquivalenten Werte für die Winterdecke liegen am 29.11. bzw. am 24.3..

Die Verteilung der Häufigkeiten der Niederschläge für die Zeiträume 1951 bis 1980 und 1961 bis 1990 sind in Tab. 2.2 aufgelistet, die Überschreitungsdauer des Niederschlages in Tagen ist in Abb. 2.2 als mittlere Dauerlinie mit der Umhüllenden über die einzelnen Jahresdauerlinien dargestellt. Dabei wurde zur besseren Erkennbarkeit von geringen Niederschlagsmengen die y-Achse logarithmisch gezeichnet.

Tab. 2.2: Häufigkeiten der Niederschläge in Tagen/Jahr an der Station Leibnitz/Sulm 1951 bis 1980 und 1961 bis 1990.

N [mm]	1951-1980	1961-1990
ohne meßbaren N	232.8	238.2
0.1 - 0.9	33.6	30.0
1.0 - 4.9	45.1	44.2
5.0 - 9.9	21.7	21.9
10.0 - 19.9	19.5	19.6
20.0 - 39.9	10.6	9.6
40.0 - 59.9	1.4	1.4
60.0 - 84.9	0.5	0.4
>= 85.0	0.1	0.1
0.1 - >85	132.5	127.2

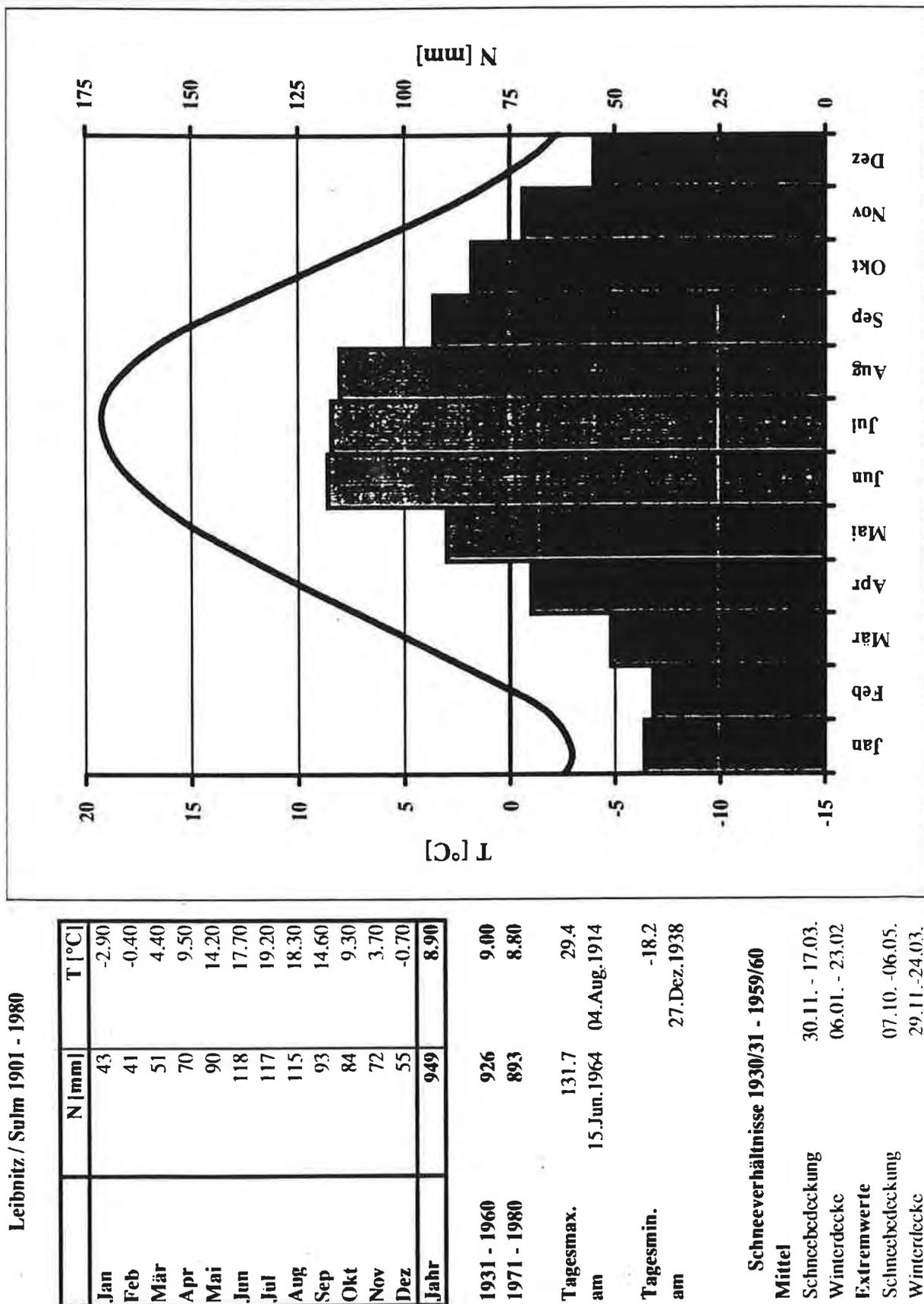


Abb. 2.1.: Mittlere jährliche Niederschlags- und Lufttemperaturverteilung sowie die Schneeverhältnisse an der Station Leibnitz/Sulm für den Zeitraum 1901 bis 1980 mit Extremwerten.

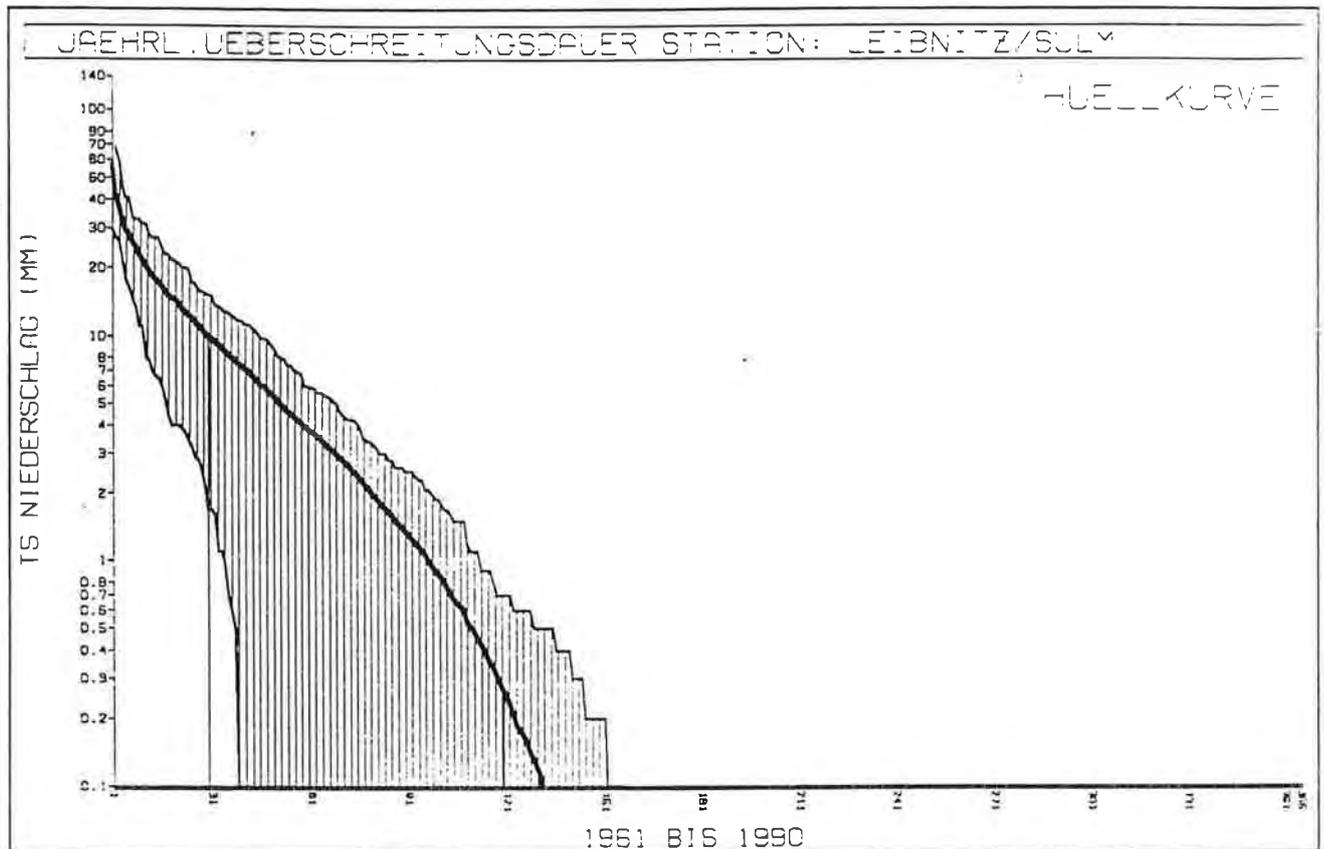


Abb. 2.2: Mittlere Überschreitungsdauerlinie des Niederschlags an der Station Leibnitz/Sulm für die Jahre 1961 bis 1990.

Im 30jährigen Mittel ist im Leibnitzer Feld mit etwa 235 niederschlagsfreien Tagen im Jahr zu rechnen. Die häufigsten Niederschlagshöhen liegen zwischen 1 und 5 mm/Tag. Starkregenereignisse mit Tagessummen höher als 40 mm sind im Jahr nur an etwa zwei Tagen zu erwarten.

Die mittleren monatlichen Häufigkeiten von Niederschlagsereignissen bestimmter Tagessummenbereiche ist in Tab. 2.3 für den Zeitraum 1961 bis 1990 ausgewertet und dargestellt.

Die Monate mit den meisten Niederschlagstagen sind Mai und Juni (13.3 bzw. 13.4), dicht gefolgt von Juli und August (12.7 bzw. 12.5). Die Monate mit den wenigsten Niederschlagstagen sind Oktober und Dezember (8.0 bzw. 8.1). Tage mit Niederschlagstagesummen von mehr als 40 mm treten nur in den Monaten Mai bis Oktober auf, wobei Starkregenereignisse auf die Monate Juni, August und September konzentriert sind (Tab. 2.3). In den Frühjahrs- und Herbstmonaten sind Tage mit Niederschlägen von weniger als 1 mm Tagessumme überproportional häufig vertreten, resultierend in erster Linie aus der hohen Nebelhäufigkeit und dem daraus fallenden Nieselregen.

Tab. 2.3: Mittlere monatliche Häufigkeiten der Niederschläge in Tagen an der Station Leibnitz/Sulm 1961 bis 1990.

Zeit/N	ohne	0.1-0.9	1-4.9	5-9.9	10-19.9	20-39.9	40-59.9	60-85	0.1-85
Jan	22.4	2.1	3.5	1.8	1.0	0.2			8.6
Feb	19.5	2.9	3.4	1.5	1.3	0.7			9.8
Mar	20.7	3.2	3.4	1.7	1.4	0.6			10.3
Apr	19.1	2.3	4.3	2.2	1.6	0.4			10.9
Mai	17.7	3.1	5.0	2.2	2.0	0.9	0.2		13.3
Jun	16.6	2.7	5.3	1.8	2.0	1.3	0.1	0.1	13.4
Jul	18.3	1.9	4.1	2.4	2.3	1.6	0.4		12.7
Aug	18.5	2.5	4.0	1.7	2.4	1.4	0.3	0.1	12.5
Sep	20.6	2.1	3.1	1.5	1.5	1.0	0.1	0.1	9.4
Okt	23.0	2.0	2.6	1.3	1.3	0.7	0.1		8.0
Nov	19.1	3.0	3.1	2.0	1.8	1.0			10.9
Dez	22.9	2.3	2.9	1.6	0.9	0.4			8.1
Jahr	238.4	30.1	44.7	21.7	19.5	10.2	1.2	0.3	127.9

Für die Bewertung der langfristigen mittleren Lufttemperaturverhältnisse im Leibnitzer Feld stehen die Daten der meteorologischen Station Leibnitz/Sulm zur Verfügung. Die mittlere Jahrestemperaturganglinie, berechnet aus dem Zeitraum 1901 bis 1980, ist in Abb. 2.1 dargestellt. Das mittlere Jahresmittel der Lufttemperatur liegt demnach bei 8.9°C. Für den Beobachtungszeitraum 1931 bis 1960 liegt dieser Wert bei 9.0, für den Zeitraum 1971 bis 1980 bei 8.8°C.

Den wärmsten Monat mit einem mittleren Monatsmittel aus einer 80jährigen Reihe stellt der Juli mit 19.2°C gefolgt vom August mit 18.3°C dar. Der kälteste Monat mit -2.9°C ist der Jänner. Die mittleren Monatsmittel der Monate Februar und Dezember liegen auch noch unter dem Gefrierpunkt (-0.4 bzw. -0.7°C). Das höchste Tagesmittel der Lufttemperatur wurde am 4.8.1914 mit 29.4°C, das niederste Tagesmittel mit -18.2°C wurde am 27.12.1938 registriert.

In Abb. 2.3 ist die mittlere Überschreitungsdauerlinie der Lufttemperatur aus dem Zeitraum 1961 bis 1990 mit der Hüllkurve über die Einzeljahre dargestellt. Die Häufigkeitsverteilung für einzelne definierte Temperaturklassen ist in Tab. 2.4 für die Zeitperioden 1951 bis 1960 und 1961 bis 1990 zusammengefaßt

An etwa 60 Tagen im Jahr wird im Tagesmittel die 0°C-Grenze unterschritten. Die meisten Tagesmittel der Lufttemperatur liegen im 30jährigen Mittel im Bereich zwischen 15 und 20°C (fast 80 Tage) gefolgt vom Temperaturbereich 10 bis 15°C (ca. 66 Tage). Extremtemperaturen als Tagesmittel von mehr als 25°C sind an nur etwa 1.5 Tagen im Jahr zu erwarten, an nur etwa drei Tagen im Jahr liegt das Tagesmittel der Lufttemperatur unter -10°C. Die

Überschreitungsdauerlinie zeigt einen recht homogenen Verlauf mit nur geringer Schwankungsbreite, die in den unteren Temperaturbereichen etwas breiter ausgeprägt ist.

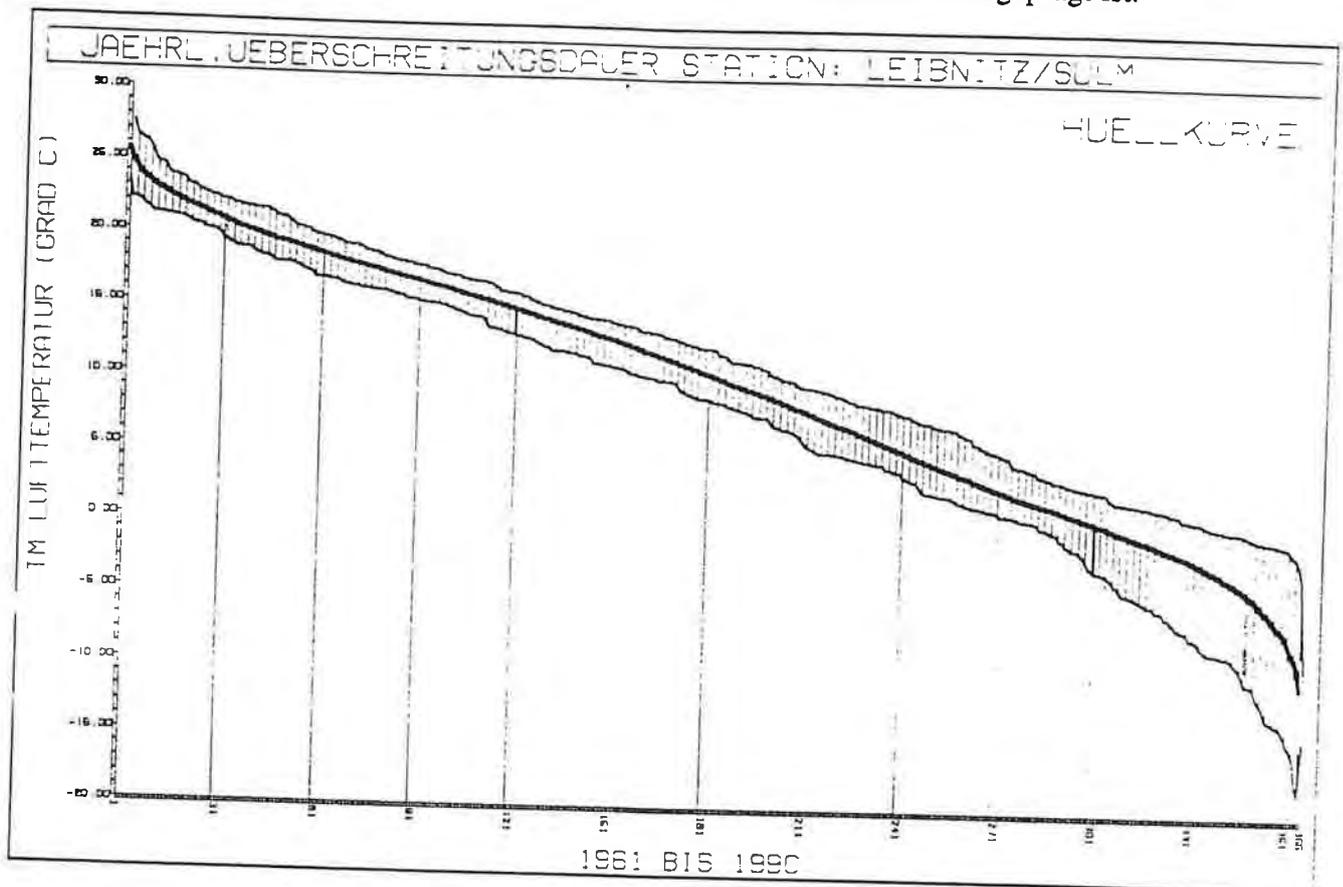


Abb. 2.3: Mittlere Überschreitungsdauerlinie der Lufttemperatur an der Station Leibnitz/Sulm für die Jahre 1961 bis 1990.

Tab. 2.4: Häufigkeiten der Lufttemperaturen in Tagen/Jahr an der Station Leibnitz/Sulm 1951 bis 1980 und 1961 bis 1990.

T [°C]	1951-1980	1961-1990
-20.0 bis -15.1	0.2	0.4
-15.0 bis -10.1	3.0	2.7
-10.0 bis -5.1	11.6	11.9
-5.0 bis -0.1	42.6	44.6
0.0 bis 4.9	64.5	64.4
5.0 bis 9.9	60.8	56.2
10.0 bis 14.9	66.6	66.0
15.0 bis 19.9	79.9	79.7
20.0 bis 24.9	34.9	37.6
> = 25.0	1.2	1.7

2.4.2. Fließgewässer

Das Leibnitzer Feld wird in seiner gesamten N-S-Erstreckung von der Mur als dem Hauptvorfluter für den Grundwasserkörper durchflossen. Die Mur steht in ihrem gesamten Verlauf im Leibnitzer Feld mit dem Grundwasser in direktem Kontakt und trennt das nordöstliche Leibnitzer Feld vom westlichen und vom südlichen Leibnitzer Feld. Durch die hydraulische Kommunikation zwischen dem Oberflächengewässer und dem Grundwasser erfolgt naturgemäß auch eine gegenseitige Einflußnahme (Infiltration und Exfiltration), die zusätzlich durch anthropogene Aktivitäten (Kraftwerksbau, Regulierung etc.) verändert wird.

Am westlichen Rand des Leibnitzer Feldes trennt im Nordteil die Laßnitz, im Südteil - bis zur Mündung in die Mur - die Sulm das Leibnitzer Feld von der angrenzenden Umräumung. Eine Einflußnahme dieser Oberflächengewässer auf das Grundwasserfeld ist auch hier in Bereichen gegeben, in denen eine hydraulische Kommunikation zwischen Gerinne und Grundwasser besteht (siehe Kap. 2.4.3.).

Die Abflußverhältnisse der Mur werden im Rahmen der Beobachtung des Hydrographischen Dienstes des Landes Steiermark beim Pegel Wildon bei ihrem Eintritt in das Leibnitzer Feld und beim Pegel Spielfeld bei ihrem Austritt aus dem südlichen Leibnitzer Feld erfaßt. Die Abflüsse der Sulm und der Laßnitz werden durch den Pegel Leibnitz dokumentiert. Die hydrographischen Hauptzahlen dieser Pegel für eine jeweils 20jährige Reihe sind in Tab. 2.5 dargestellt, die mittlere Pegeljahresganglinie und die mittlere Überschreitungsdauerlinie der Mur am Pegel Wildon sind in Abb. 2.4, die Daten des Sulmpegels bei Leibnitz in Abb. 2.5 und die Daten der Mur am Pegel Spielfeld in Abb. 2.6 dargestellt.

Da zum Zeitpunkt der Datenerfassung für das Grundwassermodell Leibnitzer Feld Auswertungen der Oberflächenabflußdaten erst bis zum Jahr 1983 in Form der Hydrographischen Jahrbücher vorlagen, wurden für den Zeitraum 1984 bis 1989 bei der Hydrographischen Landesabteilung die Wasserstandsganglinien erhoben und mit dort vorliegenden provisorischen Schlüsselfunktionen die Wasserstandsdaten in Abflüsse umgerechnet. Für den Zeitraum 1984 bis 1989 können sich demgemäß geringfügige Unterschiede der hier veröffentlichten Daten zu den Daten im Hydrographischen Jahrbuch ergeben. Aufgrund der Errichtung des KW Lebring wurde die Beobachtung der Wasserstände der Mur am Pegel Wildon mit Ende des Jahres 1987 eingestellt, da dieser in den Stauraum des Kraftwerkes zu liegen kam. Da der Murpegel bei Spielfeld erst seit 1969 beobachtet wird, konnte für alle Oberflächenpegel eine 20jährige Reihe gebildet werden, die für die Pegel Wildon und Leibnitz von 1968 bis 1987, für den Pegel Spielfeld von 1969 bis 1988 ausgewertet wurde.

Tab. 2.5: Mittlere und extreme Monats- und Jahresmittel der Abflüsse der Mur an den Pegeln Wildon und Spielfeld bzw. der Sulm am Pegel Leibnitz berechnet aus den Tagesmitteln der Reihe 1968 bis 1987 bzw. 1969 bis 1988.

Pegel : MUR/WILDON		Einzugsgebiet: 8147.800 km ² Sh mittel												
Gewässer : Mur		hA : 477 mm												
Flußgebiet : Mur		Mq : 15.1 l/s km ²												
MITTLERE UND EXTREME MONATS- UND JAHRESMITTEL DER ABFLÜSSE MIT EXTREMWERTEN IN l/s		MoMnQt = 10.7 l/s km ² MoMnha = 337 mm												
Reihe	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr*	Datum
NQT *	27300	29800	35300	68300	90400	80500	57000	60600	57900	45900	37900	27300	27300*	8. 1.1985
MNQT*	52805	52661	59622	94598	144883	149958	115455	97976	80862	74528	66187	55940	46975*	
1968 NMQ*	32323	38646	51068	90887	120345	106350	81410	81727	73113	50232	43867	33661	85210*	1971
- MQ *	63329	64850	91497	148196	229505	211132	169762	137311	110419	98826	79369	70583	123176*	
1987 HMQ*	122855	99004	158813	223127	399742	410567	382484	329742	185900	198548	129430	118106	172776*	1970
MHQT*	84306	91381	164723	250471	368457	354330	297971	229288	183523	164415	105804	95613	473340*	
HQT *	164000	167210	386000	735000	706000	780000	884000	790000	345000	559000	243000	162770	884000*	16. 7.1972
MoMnQT	87123 l/s	MoMnQT	10.7 l/s km ²	MoMnQt	10.7 l/s km ²	MoMnha	337 mm	MQ	123176 l/s	MoMnQt	15.1 l/s km ²	hA	477 mm	
Pegel : SULM/LEIBNITZ		Einzugsgebiet: 1102.500 km ² Sh mittel												
Gewässer : Sulm		hA : 487 mm												
Flußgebiet : Mur		Mq : 14.2 l/s km ²												
MITTLERE UND EXTREME MONATS- UND JAHRESMITTEL DER ABFLÜSSE MIT EXTREMWERTEN IN l/s		MoMnQt = 7.3 l/s km ² MoMnha = 230 mm												
Reihe	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr *	Datum
NQT *	3492	4140	4500	3150	1380	3560	2470	3650	3650	3650	4000	4110	1380*	16. 5.1968
MNQT*	6444	7694	9544	11350	8974	7482	7561	7052	7187	7187	7891	7628	4510*	
1968 NMQ*	6050	4883	6198	4805	4402	5857	5305	4977	4562	4482	4981	6336	8415*	1971
- MQ *	10522	14908	22088	19688	15468	15535	17222	15738	14178	15305	14894	12344	15658*	
1987 HMQ*	17897	30486	50794	54697	34724	34123	62490	33786	30717	52805	47074	32440	26772*	1972
MHQT*	23474	41933	67613	57539	42992	56101	71366	80543	63610	52824	47695	31378	158593*	
HQT *	96850	143530	158000	344000	144765	181000	325000	301409	249000	265110	163150	149883	344000*	22. 4.1972
MoMnQT	8043 l/s	MoMnQt	7.3 l/s km ²	MoMnQt	7.3 l/s km ²	MoMnha	230 mm	MQ	15658 l/s	MoMnQt	14.2 l/s km ²	hA	448 mm	
Pegel : MUR/SPIELFELD		Einzugsgebiet: 9480.000 km ² Sh mittel												
Gewässer : Mur		hA : 487 mm												
Flußgebiet : Mur		Mq : 15.4 l/s km ²												
MITTLERE UND EXTREME MONATS- UND JAHRESMITTEL DER ABFLÜSSE MIT EXTREMWERTEN IN l/s		MoMnQt = 10.4 l/s km ² MoMnha = 329 mm												
Reihe	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr *	Datum
NQT *	21642	36477	39324	81900	99300	88200	65700	75437	63700	56700	51942	30302	21642	7. 1.1985
MNQT*	60240	61069	71591	114269	159487	156797	126614	106163	90857	86558	79629	71030	54279	
1969 NMQ*	54281	50864	70886	104893	152581	114930	93745	93713	84807	62916	58323	46972	98919	1971
- MQ *	73510	81918	121499	177890	258933	232458	197461	158032	133147	122115	100534	94687	146333	
1988 HMQ*	97029	136386	189326	286020	427887	429500	434323	370032	199667	265548	182960	226613	203189	1972
MHQT*	107012	145034	253876	304610	439642	429558	376814	330637	291530	240440	158067	148215	649525	
HQT *	164000	319000	645000	999900	838833	999900	999900	929000	787017	866000	427000	375000	999900	16. 7.1972
MoMnQT	98692 l/s	MoMnQt	10.4 l/s km ²	MoMnQt	10.4 l/s km ²	MoMnha	329 mm	MQ	146333 l/s	MoMnQt	15.4 l/s km ²	hA	487 mm	

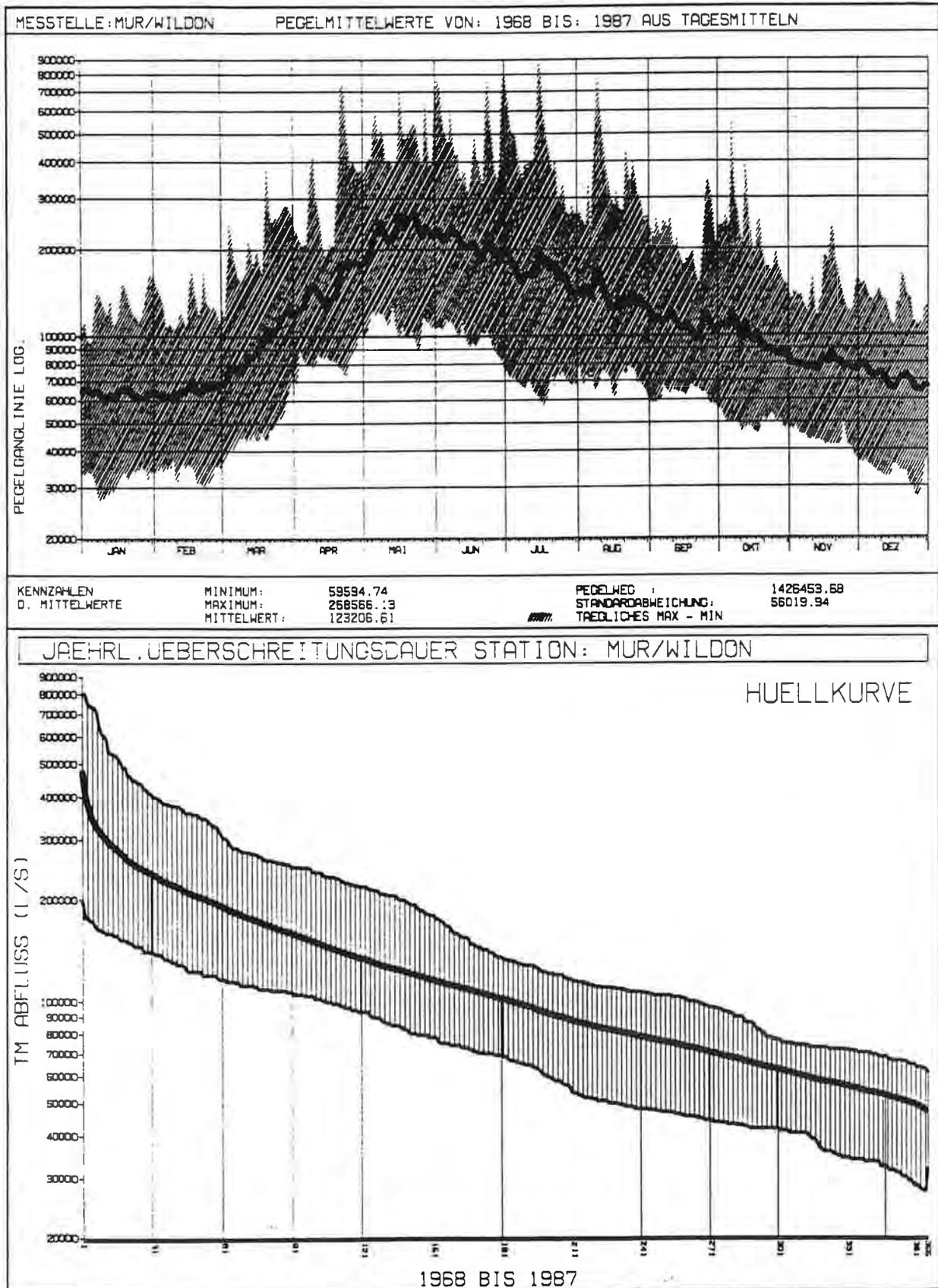


Abb. 2.4: Abflußverhältnisse der Mur am Pegel Wildon (mittlere Pegeljahresganglinie mit Tagesextrema und mittlere Überschreitungsdauerlinie mit der Hüllkurve über die Dauerlinie der Einzeljahre; berechnet aus der Reihe 1968 bis 1987 aus Tagesmitteln des Abflusses).

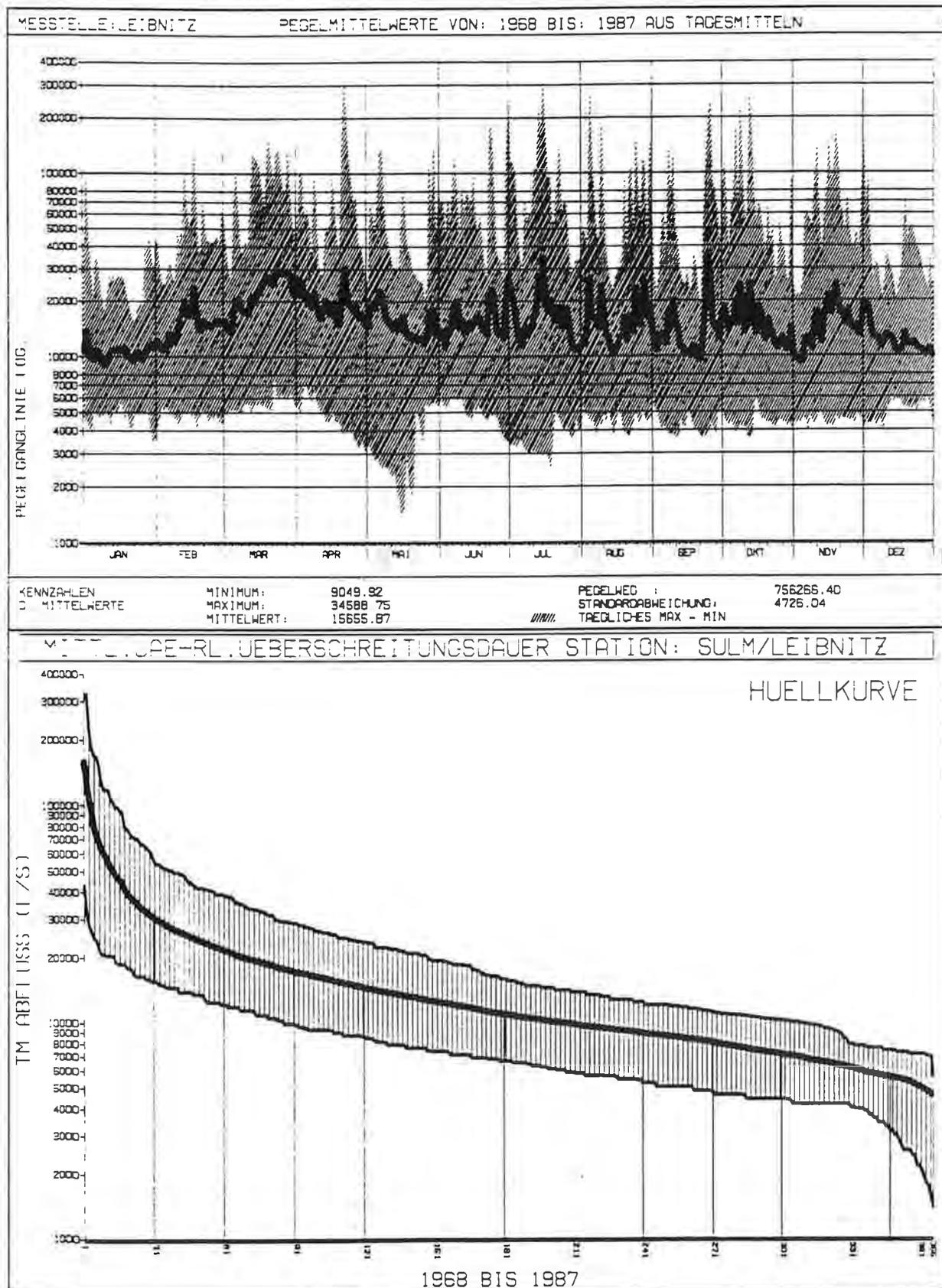


Abb. 2.5: Abflußverhältnisse der Sulm am Pegel Leibnitz (mittlere Pegeljahresganglinie mit Tagesextrema und mittlere Überschreitungsdauerlinie mit der Hüllkurve über die Dauerlinie der Einzeljahre; berechnet aus der Reihe 1968 bis 1987 aus Tagesmitteln des Abflusses).

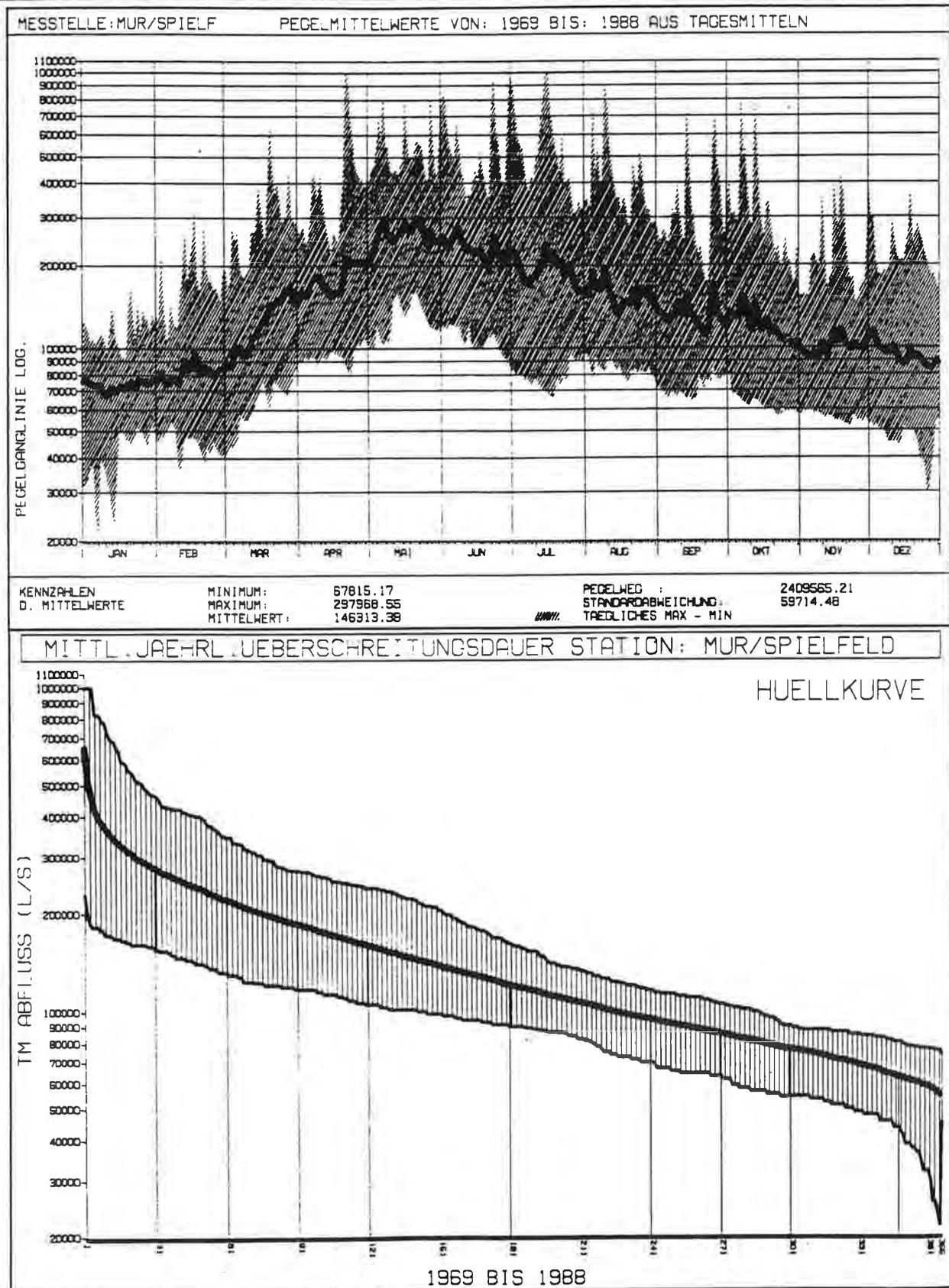


Abb. 2.6.: Abflußverhältnisse der Mur am Pegel Spielfeld (mittlere Pegeljahresganglinie mit Tagesextrema und mittlere Überschreitungsdauerlinie mit der Hüllkurve über die Dauerlinie der Einzeljahre; berechnet aus der Reihe 1969 bis 1988 aus Tagesmitteln des Abflusses).

Aus den vorhandenen Daten ergibt sich für die Mur am Pegel Wildon aus einer 20jährigen Reihe ein mittlerer Abfluß von $MQ = 123.2 \text{ m}^3/\text{s}$, am Pegel Spielfeld von $MQ = 146.3 \text{ m}^3/\text{s}$ und am Sulmpegel Leibnitz von $MQ = 15.7 \text{ m}^3/\text{s}$ entsprechend einer mittleren Jahresabflußhöhe von 448 mm (Sulm) bzw. 487 mm (Mur/Spielfeld); siehe Tab. 2.5. Aufgrund der Verteilung der Pegelstellen ist erkennbar, daß das gesamte Einzugsgebiet der Stiefing, des Wurzingbaches und der Seitenzubringer aus dem östlich gelegenen tertiären Hügelland nicht durch eigene Meßstellen erfaßt wird. Desgleichen wird das Einzugsgebiet des Sukduller Karstes, der vornehmlich unterirdisch das Grundwasser des Leibnitzer Feldes anreichert, naturgemäß nicht durch Messungen erfaßt.

Wegen der unterschiedlichen Größe der Einzugsgebiete, der unterschiedlichen Höhenverteilung in den Einzugsgebieten, der unterschiedlichen entwässerten geologischen Einheiten und der unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen in den Einzugsgebieten zeigt sich eine unterschiedliche Charakteristik im Jahresgang des Abflusses, die sich auch in den Grundwasserverhältnissen in den verschiedenen Teilbereichen widerspiegelt. Dieser Jahresgang des Abflusses wird durch die mittlere Abflußganglinie aus jeweils 20jährigen Reihen und durch die mittleren Abflußüberschreitungsdauerlinien in den Abb. 2.4, 2.5, 2.6 anschaulich dokumentiert. Die mittlere Pegeljahresganglinie der Mur ist durch die Schneeschmelzvorgänge im zum Teil hochalpinen Einzugsgebiet gekennzeichnet, d.h. das deutliche Maximum wird Ende Mai, das Minimum im Jänner bzw. Februar erreicht. Die Jahresganglinie ist in sich sehr homogen. Im Gegensatz dazu ist die mittlere Jahresganglinie der Sulm durch einen äußerst unruhigen Verlauf geprägt, in dem neben der - aufgrund der wesentlich geringeren mittleren Seehöhe des Einzugsgebietes - wesentlich früheren Schneeschmelze (Ende März) auch die Sommergewitter und die Herbstniederschläge deutliche lokale Maxima bewirken. Das Jahresmaximum tritt Mitte Juli auf. In der mittleren Überschreitungsdauerlinie wirken sich die vielen lokalen Hochwässer im Sommer und Herbst in einem sehr steilen Verlauf der höchsten Abflußtagesmittel aus, während die Dauerlinie im übrigen Jahr eher flach verläuft.

Neben diesen langfristigen Auswertungen der Daten des Hydrographischen Dienstes stehen im Zeitraum von 1984 bis Mitte 1990 für die Modellbildung des Grundwassersystems des Leibnitzer Feldes Wasserspiegelbeobachtungen von Oberflächenwässern zur Verfügung, die im Zuge des Baues und der Beweissicherung des KW Lebring gemessen wurden. Die Lage dieser Meßstellen ist in der Karte 2.5 dargestellt (Meßplatten an Oberflächengewässern). Zusätzlich wurden für diesen Zeitraum auch die Wasserspiegellagen an den Hydrographiepegeln erhoben (Schreibpegel an Oberflächengewässern in Karte 2.5). Zur Erfassung der randlichen Zuflüsse aus dem tertiären Hügelland bzw. aus dem Einzugsgebiet von Stiefing

und Wurzingbach wurden im Zeitraum eines Jahres einmal monatlich Messungen des Abflusses durchgeführt. Die Abflußmeßstellen sind in Karte 2.5 mit römischen Ziffern vermerkt (I bis XVII). Neben der Erfassung der randlichen Zuflußmengen für die Modellerstellung liefern diese Messungen auch Informationen über das Infiltrationsverhalten von Oberflächenwässern in einen quartären Schotterkörper.

Zur Klärung der lokalen Vorflutbeziehung zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer wurde die Sohlhöhe von Gerinnen im Leibnitzer Feld vermessen bzw. aus vorhandenen Unterlagen ermittelt. In Abb. 2.7 ist die Lage der Mursohle im Vergleich zum Grundwasser im Nahbereich dargestellt. Die Basisdaten für diese Auswertung bildeten Murvermessungen im Zuge der Kraftwerksplanungen bzw. -errichtung. Es zeigt sich, daß die Mur in ihrem gesamten Verlauf im Leibnitzer Feld mit dem Grundwasser kommuniziert. Diese Kommunikation wird jedoch durch die Kolmatierung der Stauräume räumlich und zeitlich extrem gestört, so daß sie eigentlich nur noch im Bereich der freien Fließstrecke zwischen den einzelnen Kraftwerken bzw. in den Bereichen der Stauwurzeln gegeben ist. Da die Grundwasserstandsdaten nur in den seltensten Fällen aus Aufschlüssen, die direkt an der Mur gelegen sind, ermittelt wurden, sind diese nur als Richtwerte für die Lage des Grundwasserspiegels im murnahen Bereich zu betrachten. Alle Grundwasserpegel, die für die Darstellung der Sohlhöhe zur Höhe des Grundwasserspiegels herangezogen wurden, liegen orographisch links der Mur.

Zur Verdeutlichung der Bedeutung der Infiltration aus Oberflächenwässern für die Grundwasserneubildung im Leibnitzer Feld wurde ein Hochwasserereignis der Mur vom August 1987 herangezogen und in Abb. 2.8 dargestellt. Die Lage der angeführten Meßstellen ist aus Karte 2.5 ersichtlich.

Die Hochwasserwelle der Mur beim Pegel Wildon am 5.8.1987 läßt sich sehr deutlich mit zeitlicher Verzögerung und gedämpfter Schwingung in den Grundwassermeßstellen 3778 in einer Entfernung von ca. 1 km vom vermutlichen Infiltrationsgebiet (im Bereich der freien Fließstrecke zwischen dem alten KW Lebring und der Stauwurzel des KW Gralla) und in der Grundwassermeßstelle 3788, ca. 2.5 km vom Infiltrationsgebiet in Strömungsrichtung, nachweisen. Ein weiterer Beleg für die Bedeutung der Anreicherung des Grundwasserkörpers durch infiltrierende Oberflächenwässer sind Differenzabflußmessungen an der Stiefing bei ihrem Eintritt in das Leibnitzer Feld. Hierbei konnten auf einer Fließstrecke von 1700 m (zwischen Neudorf und Stiefing; Lage siehe Karte 2.5) bei Abflußmengen von 330 l/s Wasserverluste von bis zu 70 l/s gemessen werden.

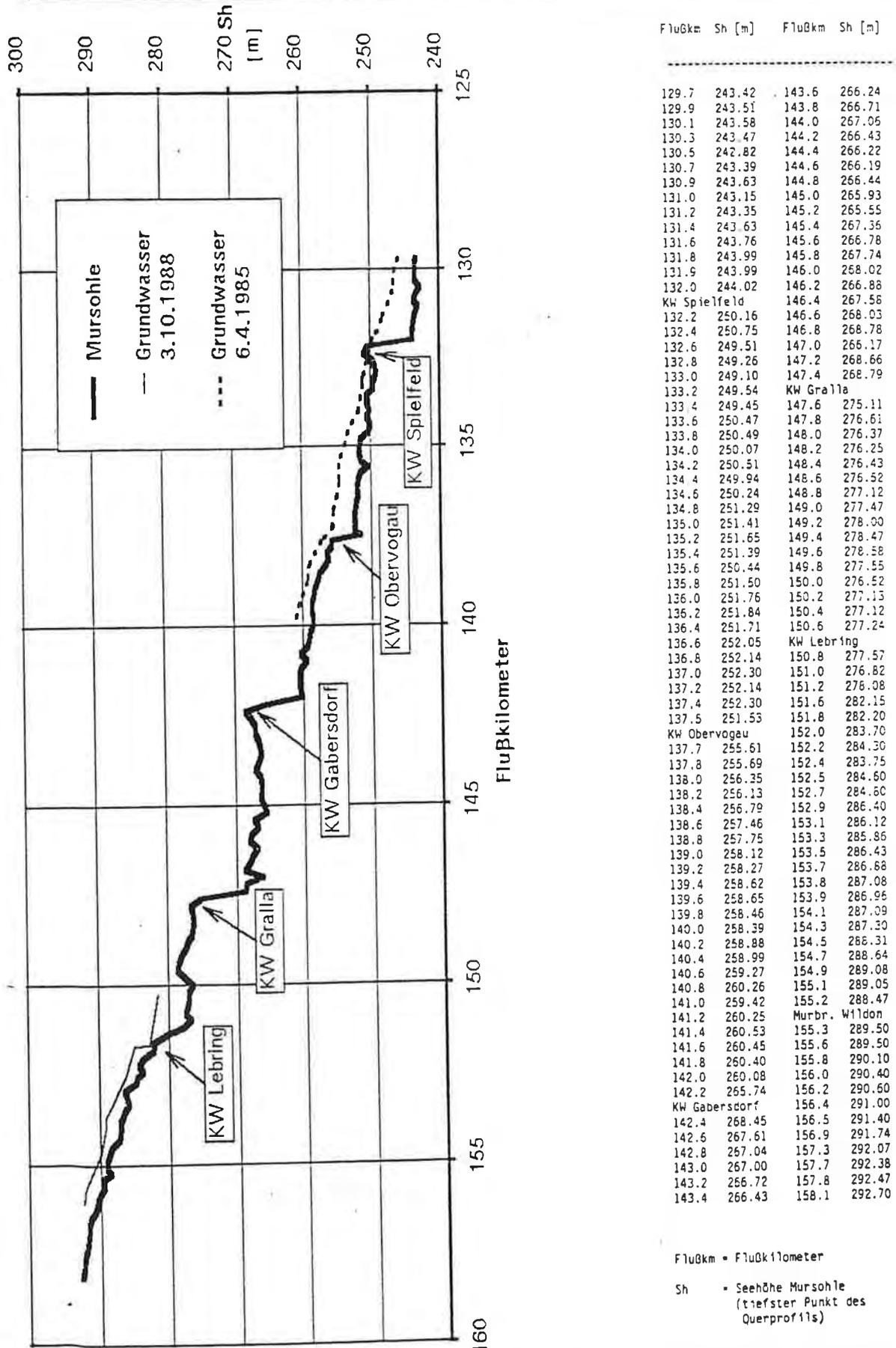


Abb. 2.7: Mursohle im Längsschnitt aus den Querprofilen der Kraftwerksgesellschaften.

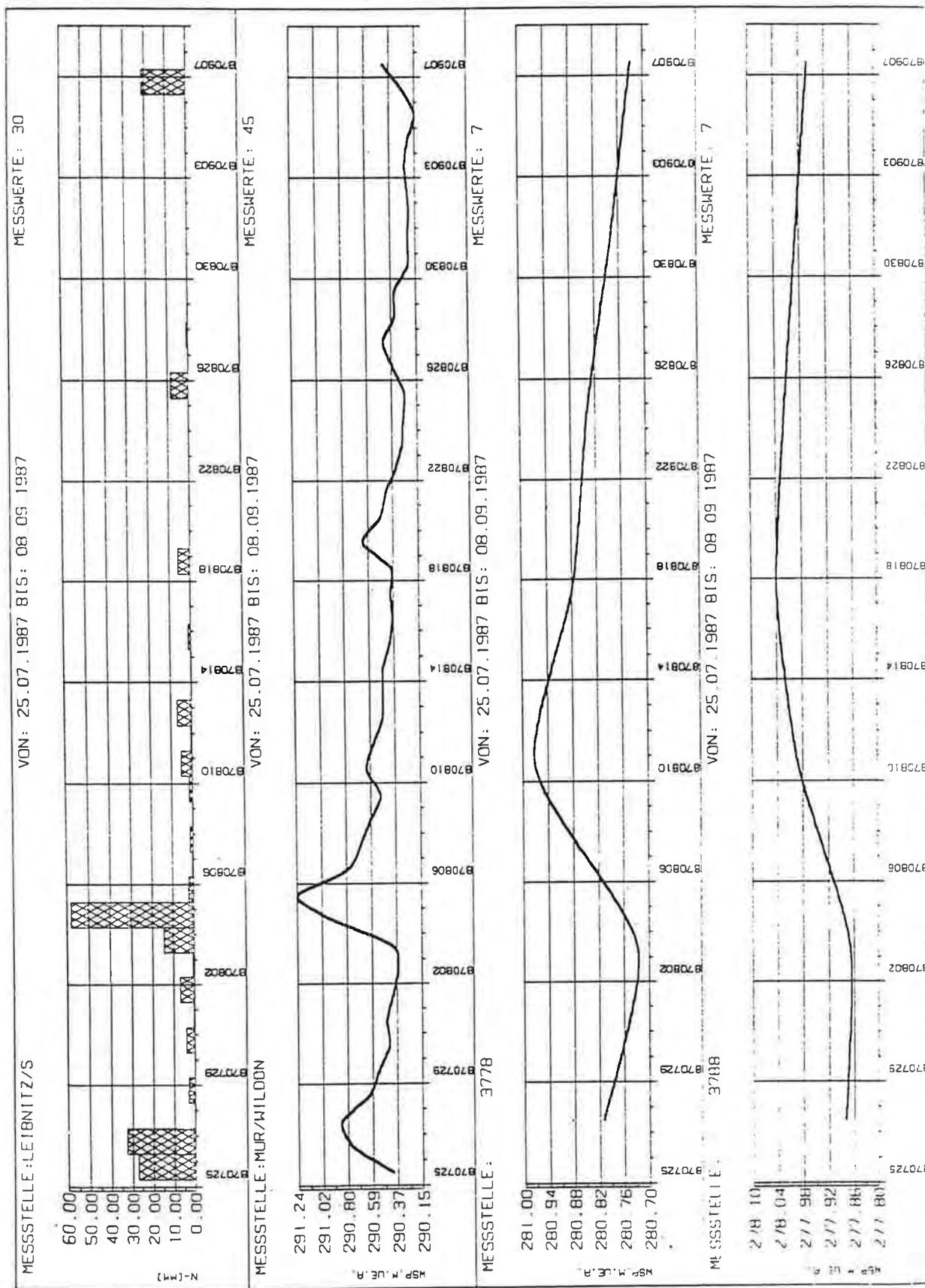


Abb. 2.8: Vergleich von Niederschlag, Murspiegelganglinie und Grundwasserganglinien bei einem Hochwasserereignis im Sommer 1987.

Für weite Bereiche des Weissenegger Mühlkanals konnten die Sohlhöhen aus existierenden Plänen, die im Zuge der Errichtung von Kleinkraftwerken angefertigt wurden, ermittelt werden. Die Lage dieser Meßpunkte und auch jener, die eigens für das Grundwassermodell vermessen wurden, sind in Karte 2.6 zusammen mit den Meßergebnissen und den zugehörigen Grundwasserspiegellagen in benachbarten Pegeln dargestellt.

Der Weissenegger Mühlkanal (Profilpunkte siehe Karte 2.6) ist als künstliches Gerinne durch seine Staustufen charakterisiert. Fast im gesamten Verlauf mit Ausnahme der Schwellenbereiche verläuft die Tertiäroberkante im Grundwasser. Im Gebiet von Laubegg (siehe Karte 2.5) ist die Sohle streckenweise in den Grundwasserstauer eingetieft. Der Auenhofbach (Profilpunkte siehe Karte 2.6) verläuft in der gesamten Strecke, die vermessen wurde, im Grundwasser. Die Stiefing verläuft im Bereich der Würmterrasse über dem Grundwasser und fungiert als Tropfkörper. Durch die ständige Abgabe von Stiefingwasser (durch oben angeführte Differenzabflußmessungen erfaßt) entsteht eine ständig durchfeuchtete Zone mit bevorzugter Wasserwegigkeit. Ab der Allamühle (Karte 2.5) verschneidet sich die Sohle der Stiefing mit der Grundwasseroberfläche, was zu einer wechselseitigen Kommunikation Grundwasser - Stiefing führt. Der Kleinwagnabach (Karte 2.6), ein Gerinne in der Austufe, kommuniziert auf seiner gesamten Länge mit dem Grundwasser. Die Grundwassersohle des Baches, der bei der Landschabrücke entspringt und bei Ehrenhausen in die Mur mündet (Karte 2.6), verläuft auf ihrer ganzen Länge im Grundwasserkörper und ermöglicht eine intensive Kommunikation zwischen Grundwasser und Oberflächengerinne.

2.4.3. Grundwasserstandsdaten

Für die Erfassung der Lage des Grundwasserspiegels im Leibnitzer Feld stehen Beobachtungsdaten aus unterschiedlichen Meßprogrammen verschiedenster Institutionen und durchaus unterschiedlichen Zeiträumen zur Verfügung. Den bedeutendsten Datenbestand, vor allem für Aussagen über das längerfristige Verhalten des Grundwasserkörpers, bilden die kontinuierlichen, mindestens wöchentlichen Beobachtungen des Hydrographischen Dienstes. Zusatzinformationen, vor allem in Hinsicht auf lokale Veränderungen im Zuge von anthropogenen Eingriffen in den Grundwasserkörper (Kraftwerksbauten, Naßbaggerungen etc.), liefern Daten aus Sondermeßnetzen, die in lokalem Umfang zeitlich relativ eng begrenzt durchgeführt werden. Diese Informationen der STEWEAG, der STEG, von Kleinkraftwerksbetreibern und den Betreibern von Schottergewinnungsanlagen wurden in die Modellierung des Grundwassersystems des Leibnitzer Feldes ebenso integriert wie eine einjährige Dauerbeobachtung, die durch das Institut für Geothermie und Hydrogeologie in jenen Bereichen durchgeführt wurde, in denen aufgrund von Voruntersuchungen ein dichteres Meßstellennetz notwendig war.

2.4.3.1. Grundwasserspiegeldauerbeobachtung des Hydrographischen Dienstes von 1979 bis 1988

Aus dem intensiven Grundwasserbeobachtungsprogramm des Hydrographischen Dienstes des Landes Steiermark steht im Leibnitzer Feld ein umfangreiches Datenmaterial bezüglich der Lage des Grundwasserspiegels zur Verfügung, die Beobachtungsdauer und -intensität ist durchaus unterschiedlich. Für eine 10jährige Beobachtungsreihe von 1979 bis 1988 konnten allerdings 105 Stationen ermittelt werden, in denen das Beobachtungsintervall maximal eine Woche betrug und die durchgehend ohne Unterbrechungen beobachtet wurden. Diese 105 Stationen, die über das gesamte Untersuchungsgebiet unregelmäßig verteilt sind (Lage siehe Karte 5.2), bilden die Grundlage der Auswertung der langfristigen Grundwasserbeobachtung im Leibnitzer Feld.

Die mittlere Grundwasserjahresganglinie

Die Jahresganglinie des Grundwasserspiegels an einer Meßstelle ist unterschiedlichsten Einflüssen, wie den Niederschlagsverhältnissen, den Wasserführungen der sie beeinflussenden Oberflächenwässer, der zeitlichen Verteilung der Grundwasserneubildung u.a. unterworfen. Daraus resultieren an einer Meßstelle in unterschiedlichen Jahren unterschiedliche Formen der Jahresganglinie, die aber meist in ihrer Charakteristik einheitliche Merkmale (Zeitpunkt von Maximum und Minimum, Reaktionszeit auf Einflüsse von Oberflächenwässern, Reaktionszeit auf Niederschlagsereignisse) aufweisen.

Um nun diese unterschiedlichen Einflüsse auf den Jahresgang des Grundwasserspiegels aus der Betrachtung ausklammern zu können, wurde versucht, aus langjährigen Beobachtungsdaten einer Grundwassermeßstelle eine Jahrestypusganglinie eines Pegels zu ermitteln. Eine Interpretation der charakteristischen Merkmale dieser mittleren Grundwasserjahresganglinie aus einem definierten Zeitraum sollte Unterschiede zwischen verschiedenen Meßstellen zutage fördern, die unterschiedlichen Einflußfaktoren auf die jeweilige Grundwasserganglinie zugeordnet werden können.

Abbildung 2.9 zeigt die unterschiedliche Gangliniencharakteristik von zwei Pegeln im Leibnitzer Feld (Lage siehe Karte 2.5) für den Zeitraum vom 1. 1. 1970 bis 31. 12. 1989. Aus der Form dieser 20jährigen Ganglinien sind deutliche Unterschiede erkennbar. Die einzelnen Jahresganglinien zeigen starke Abweichungen in ihrer zeitlichen Abfolge.

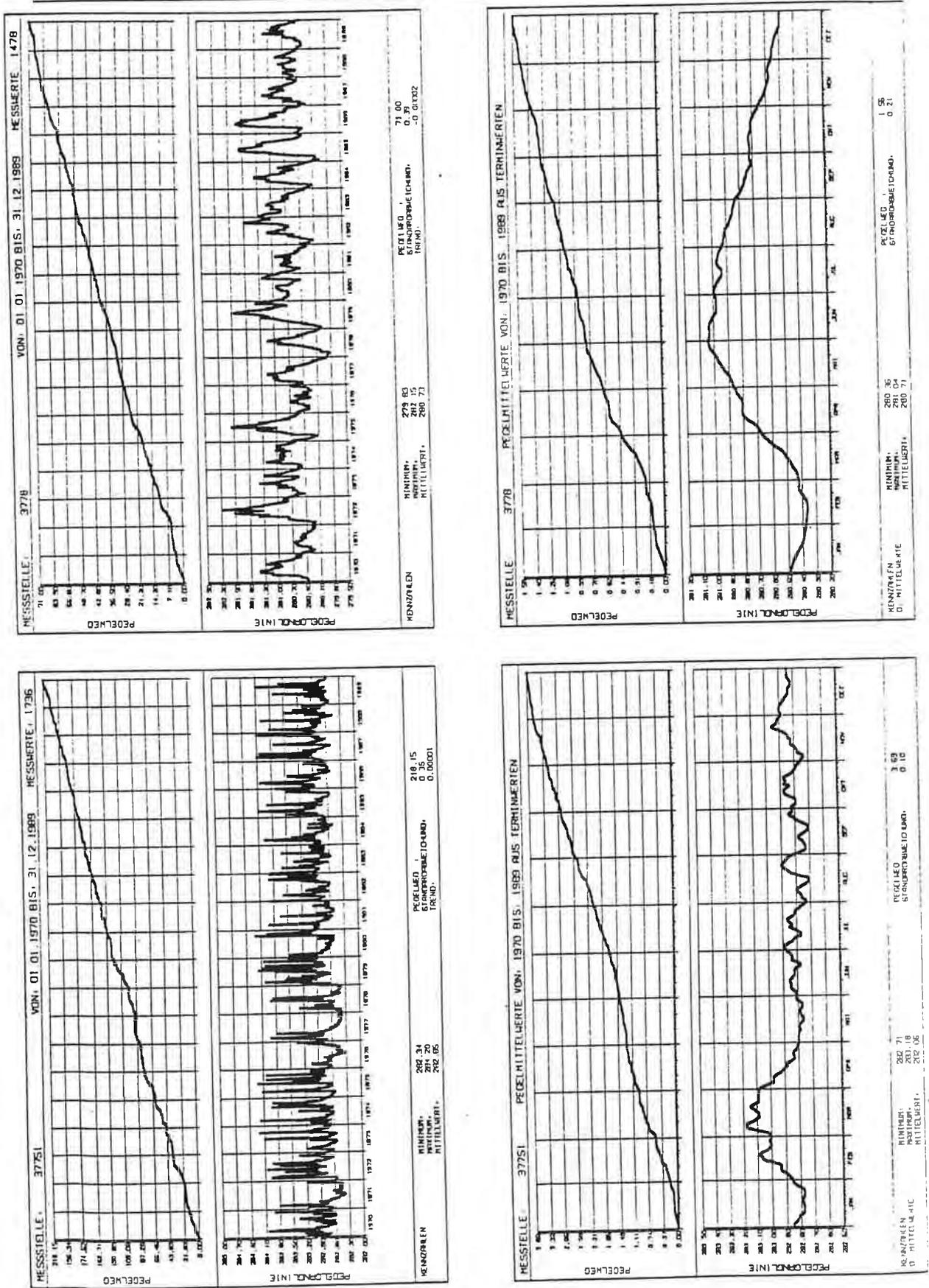


Abb. 2.9: Die Ermittlung der mittleren Grundwasserganglinie aus einer 20jährigen Reihe an zwei Beispielen.

Unter der Voraussetzung, daß die aus Terminmessungen gewonnenen Merkmalswerte des zeitlichen Verlaufes des Grundwasserspiegels an einer Meßstelle den tatsächlichen Verlauf der Grundwasserspiegelganglinie mit ausreichender Genauigkeit erfassen, kann mit Hilfe der Interpolation ein mathematischer Ausdruck gewonnen werden, mit dem sich der Zusammenhang zwischen den Meßgrößen als geschlossener Kurvenzug darstellen läßt.

Die Möglichkeit der Interpolation (hier im speziellen der Akima-Interpolation (AKIMA, 1979, HARTMANN & MEIER, 1988 und HILBERG, 1989) gestattet es, für jeden beliebigen Zeitpunkt x_i einen Wert y_i in eine existierende Ganglinie aus Terminmessungen zu interpolieren. Durch die Interpolation von Stundenwerten und daraus der Berechnung von Tagesmitteln des Grundwasserstandes ist es möglich, das für die Untersuchungen vorliegende Datenmaterial aller heranzuziehenden Meßstellen so zu verallgemeinern, daß die Ganglinien aller Meßstellen aller Jahre in Form von Tagesmitteln des Grundwasserstandes vorliegen.

Durch die Summation der einzelnen Tagesmittel aller Jahre und die Teilung durch die Anzahl der vorliegenden Jahre kann für jeden Tag im Jahr ein mittlerer zu erwartender Grundwasserstand berechnet werden. Gleichfalls kann ein täglich zu erwartender Minimal- und Maximalstand ermittelt werden, so daß auch die zu erwartende tägliche Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels bekannt ist.

Die Verbindung der mittleren Grundwasserstandstagesmittel im Jahreslauf ergibt die mittlere Grundwasserjahresganglinie, die täglichen Höchstwerte ergeben eine theoretische maximale, die täglichen Niedrigstwerte eine theoretische minimale Grundwasserjahresganglinie, berechnet aus einem definierten Zeitraum.

Die nach der oben angeführten Methodik ermittelte Jahresgrundwasserganglinie stellt einen durchschnittlichen Verlauf des Grundwasserspiegels während genau eines Jahres dar. Die daraus berechneten statistischen Kennwerte (Minimum, Mittelwert, Maximum) definieren ein mittleres Jahr für diese Meßstelle.

Die Aussagekraft der mittleren Ganglinie und ihrer statistischen Kennwerte ist umso höher, je länger die zugrundeliegende Datenreihe ist, und umso besser, je genauer die Terminmessungen der Ganglinie das Regime des Grundwassers an dieser Meßstelle widerspiegeln.

Ein Vergleich der statistischen Kennwerte von mehreren Meßstellen ist naturgemäß nur unter den Randbedingungen eines gleichen Beobachtungszeitraumes und vergleichbaren Beobachtungsintervalles zulässig.

Die in Abb. 2.9 dargestellten Beispiele veranschaulichen die unterschiedliche Bedeutung der Kennwerte der mittleren Jahresgrundwasserganglinie:

Die Meßstelle 37751 liegt im direkten Einflußbereich der Stiefing in der Ortschaft Oedt (Karte 2.5). Die Ganglinie der letzten 20 Jahre erscheint äußerst unruhig und ist durch mehrmals jährlich auftretende Hochwasserstände gekennzeichnet (Abb. 2.9). Die aus dieser Reihe berechnete mittlere Jahresgrundwasserganglinie spiegelt das Bild einer in der Nähe eines Oberflächengewässers liegenden Grundwassermeßstelle wider (Abb. 2.10). Der Verlauf ist äußerst unruhig, was durch einen hohen Pegelweg (= Summe der Absolutänderungen des Wasserstandes) dargestellt wird. Das Maximum im Spätwinter, das einer frühen Schneeschmelze zugeordnet werden kann (Februar, März), weist auf den Einfluß eines Oberflächengewässers mit tiefliegendem Einzugsgebiet hin. Die Standardabweichung der Wasserstände ist niedrig, da sich aufgrund der kurzen Dauer des Grundwasserhochstandes nur relativ wenige Meßwerte stark vom Mittelwert unterscheiden.

Im Vergleich dazu liegt die Grundwassermeßstelle 3778 in der Gemeinde Lebring im Einflußbereich der Mur zwischen der Stauwurzel des KW Gralla und unterhalb der Unterwassereintiefung des alten KW Lebring. Die Ganglinie erscheint bei einer vergleichbaren Schwankungsbreite wesentlich ruhiger und weist in den meisten Jahren einen einmaligen Grundwasserhochstand im Spätfrühling bis Frühsommer auf (Abb. 2.9). Die aus der Ganglinie berechnete mittlere Jahresgrundwasserganglinie ist durch einen niedrigen Pegelweg und eine hohe Standardabweichung (trotz vergleichbarer Schwankungsbreite) der Grundwasserstände gekennzeichnet. Die mittlere Jahresganglinie verläuft sehr ruhig und spiegelt mit einem Maximum im Juni und einer fast das ganze Jahr andauernden großräumigen Schwingung den Einfluß des Regimes eines Oberflächengewässers wider, das durch ein großes Einzugsgebiet mit großer Höhererstreckung charakterisiert ist (Abb. 2.10). Der Einfluß des Oberflächengewässers ist wesentlich indirekter als bei der Meßstelle 37751, aber das gesamte Jahr über wirksam.

Die flächenhafte Verteilung der Kennwerte (Pegelweg und Standardabweichung) der mittleren Jahresgrundwasserganglinie aus der Reihe 1979 bis 1988 wird im folgenden detaillierter ausgeführt. Die Datengrundlage bilden langjährige Grundwasserbeobachtungen des Hydrographischen Dienstes des Landes Steiermark. Für 105 Stationen konnten für den Zeitraum 1979 bis 1988 eine mittlere Grundwasserjahresganglinie und deren statistischen Kennwerte berechnet werden.

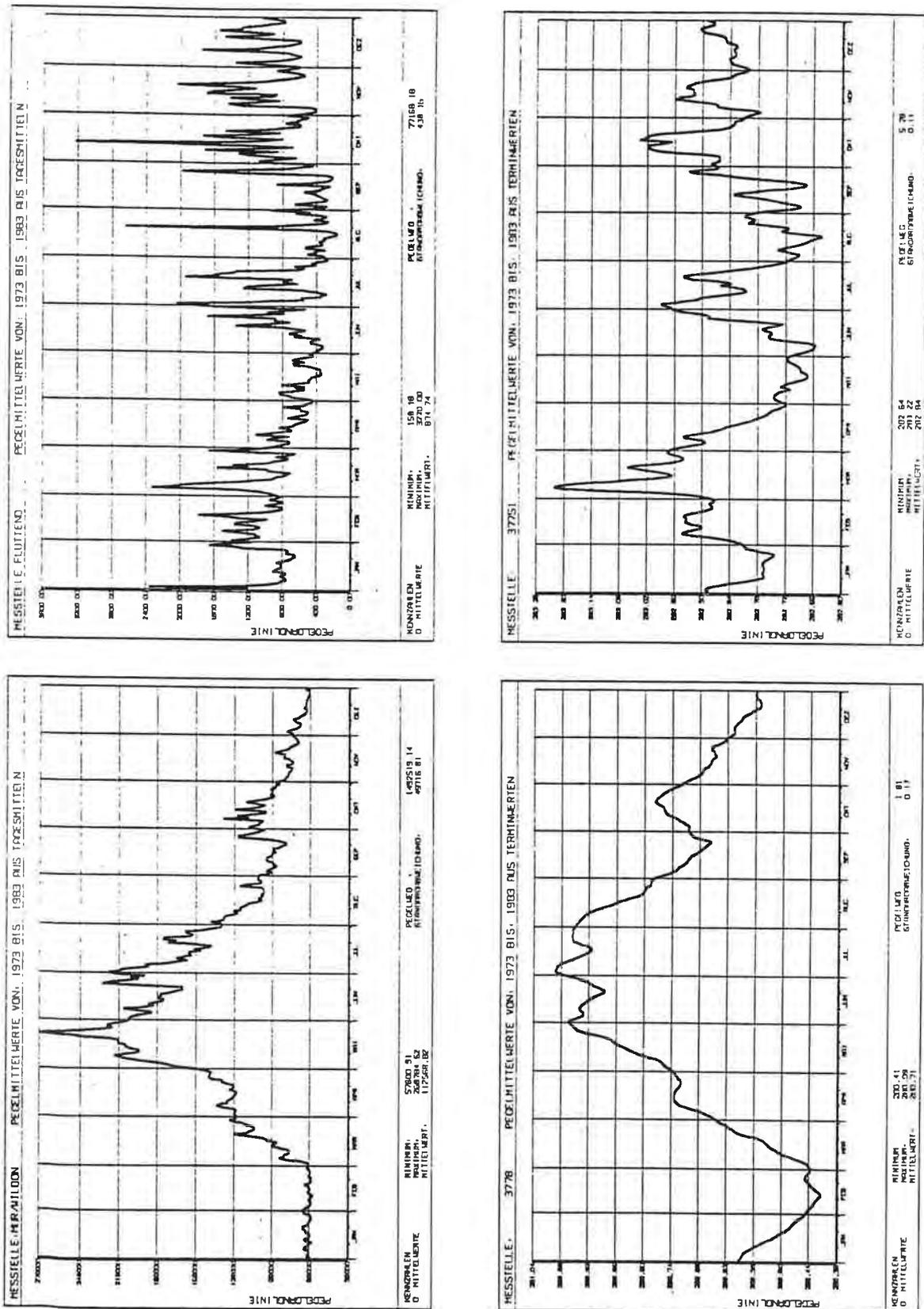


Abb. 2.10: Vergleich der mittleren Ganglinien (1973 bis 1983) des Pegels Fluttdorf am Gnasbach (vergleichbar mit Stiefingezugsgebiet) mit der GW-Meßstelle 37751 und des Pegels Wildon an der Mur mit der GW-Meßstelle 3778.

Für weite Bereiche des Leibnitzer Feldes liegt der Pegelweg einer mittleren Jahresgrundwasserganglinie (= Summe der Absolutwerte der Wasserstandsänderungen aus den berechneten Tagesmitteln des Wasserstandes) unter 2 m. Höhere Pegelwege weisen auf den Einfluß von Oberflächenwässern auf das Grundwasser hin. Im Leibnitzer Feld sind diese Bereiche:

- Raum Wildon: Einfluß der Unterwassereintiefung des KW Mellach sowie die Auswirkung der Mündung der Kainach in die Mur. Auch der Wurzingbach, der von N in das Leibnitzer Feld eintritt, kommuniziert mit dem Grundwasser.
- Mündung von Stiefing, Auenhofbach und Haslachbach in den Mühlgang: Dieser Bereich weist die höchsten Pegelwege im Leibnitzer Feld auf und ist auf eine starke Interaktion der genannten Vorfluter mit dem Grundwasser zurückzuführen. Die Überdeckung des Grundwasserspiegels in diesen Bereichen ist eher gering, die Durchlässigkeit der Deckschichten relativ gut.
- Aubereich zwischen Hasendorf und Gabersdorf: In diesem Bereich drainagieren Oberflächenwässer das Grundwasser und führen zu einer starken Einflußnahme der Wasserführung dieser Bäche und der Niederschläge auf das Grundwasser.
- Linksufriges Begleitgerinne KW Obervogau: Dieses Gerinne drainagiert das Grundwasser, das durch die Errichtung des KW Obervogau angehoben wurde, und kommuniziert intensiv mit dem Grundwasser. Durch eine Hochlage des Grundwasserstauers kommt gleichzeitig eine nur geringe Mächtigkeit des Aquifers zum Tragen.
- Laßnitz und Sulmaltarme im Raum Altenmarkt: Im Bereich dieser Talaue liegt der Grundwasserspiegel sehr seicht und die Oberflächengerinne und Altarme der heute regulierten Sulm und Laßnitz kommunizieren mit diesem.

Für den weitaus größten Teil des Leibnitzer Feldes ist eine Standardabweichung des Grundwasserspiegels eines mittleren Pegeljahres von weniger als 0.12 m typisch. Abweichungen nach oben treten in jenen Bereichen auf, in denen entweder die Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels generell höher liegt, die Grundwasserganglinien einen Vorfluter mit einem ausgeprägten Jahresgang des Abflusses widerspiegeln oder aber anthropogene Einflüsse eine höhere Standardabweichung des Grundwasserspiegels bewirken.

Die Bereiche mit höherer Standardabweichung des Grundwasserspiegels aus der mittleren Jahresgrundwasserganglinie der Periode von 1979 bis 1988 sind:

- Der Bereich um Wildon und der Bereich Lebring: In diesen Fällen bewirkt die freie Fließstrecke der Mur eine Erhöhung der Standardabweichung in den Grundwassermeßstellen (siehe auch Abb. 2.9, Meßstelle 3778).
- Der Bereich im NW von St. Georgen a.d. Stiefing: Die von der Wasserführung der Stiefing abhängige Alimentation des Grundwasserfeldes bewirkt eine Erhöhung der

Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels und damit eine Erhöhung der Standardabweichung des Grundwasserstandes im Jahresmittel.

- Der Bereich Kaindorf und Obervogau: Die verstärkte Nutzung des Grundwassers bewirkt eine Erhöhung der Schwankungsbreite der mittleren Jahresgrundwasserganglinie und damit der Standardabweichung.

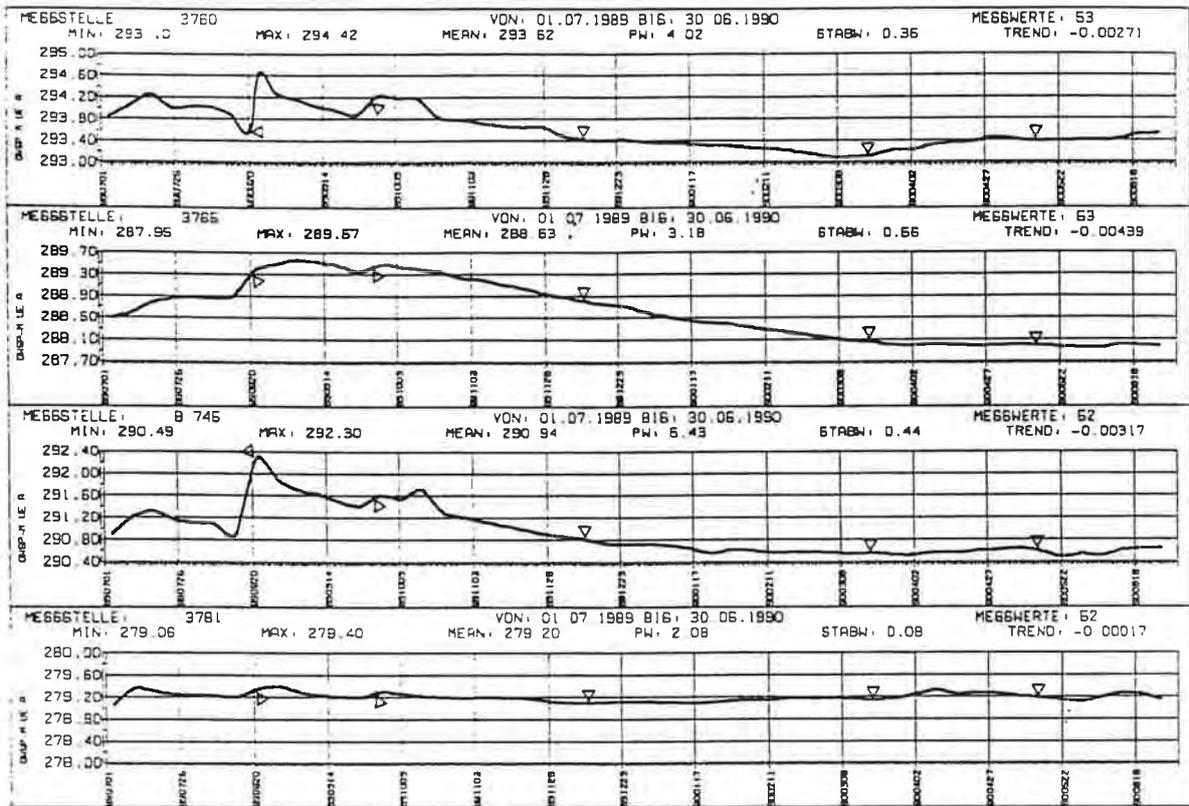
2.4.3.2. Grundwasserspiegelbeobachtung von Juli 1989 bis Juni 1990

Im Leibnitzer Feld wurden während der einjährigen Dauerbeobachtung von Juli 1989 bis Juni 1990 die Lage des Grundwasserspiegels an insgesamt 302 Meßstellen in wöchentlichem bzw. mindestens 14tägigem Intervall erfaßt, die Lage der Meßstellen ist aus Karte 2.5 ersichtlich.

Unter Einbeziehung von 10 Meßstellen im Kainachspitz, 95 Stationen im NE, 114 Stationen im W und 59 Meßstellen im südlichen Leibnitzer Feld wurden zu fünf Stichtagen, die in Abb. 2.11 vermerkt sind, Grundwasserschichtenpläne erstellt, die in den Karten 2.7 bis Karte 2.11 dargestellt sind.

Die vier oberen Grundwasserganglinien in Abb. 2.11 zeigen den Verlauf des Grundwasserspiegels im Beobachtungszeitraum an einem Profil, im nördlichen und nordöstlichen Leibnitzer Feld, das in etwa entlang der Strömungslinie situiert wurde. Die oberste Ganglinie der Meßstelle 3760 (Karte 2.5) repräsentiert den Kainachspitz, also das südlichste Ende des Grazer Feldes, die beiden darunter liegenden sind auf der Niederterrasse situiert, wobei die Ganglinie der Meßstelle B 745 im Einflußbereich des Wurzingbaches liegt. Die vierte Meßstelle liegt in der Austufe nahe der Mur im Bereich des Stauraumes des KW Gralla und ist durch eine extrem geringe Schwankungsbreite charakterisiert.

Die Ganglinien in der unteren Hälfte von Abb. 2.11 charakterisieren den Grundwassergang im westlichen und südlichen Leibnitzer Feld, wobei die Meßstellen 37689 und 3806 den Grundwasserkörper der Würmterrasse im westlichen Leibnitzer Feld repräsentieren. Die Meßstelle 3832 liegt an der Terrassenkante zur Austufe nahe der Mündung der Sulm in die Mur. Die unterste Ganglinie repräsentiert den Grundwasserkörper auf der Würmhauptterrasse im südlichen Leibnitzer Feld.



△ Stichtage für GW - Isohypsenpläne

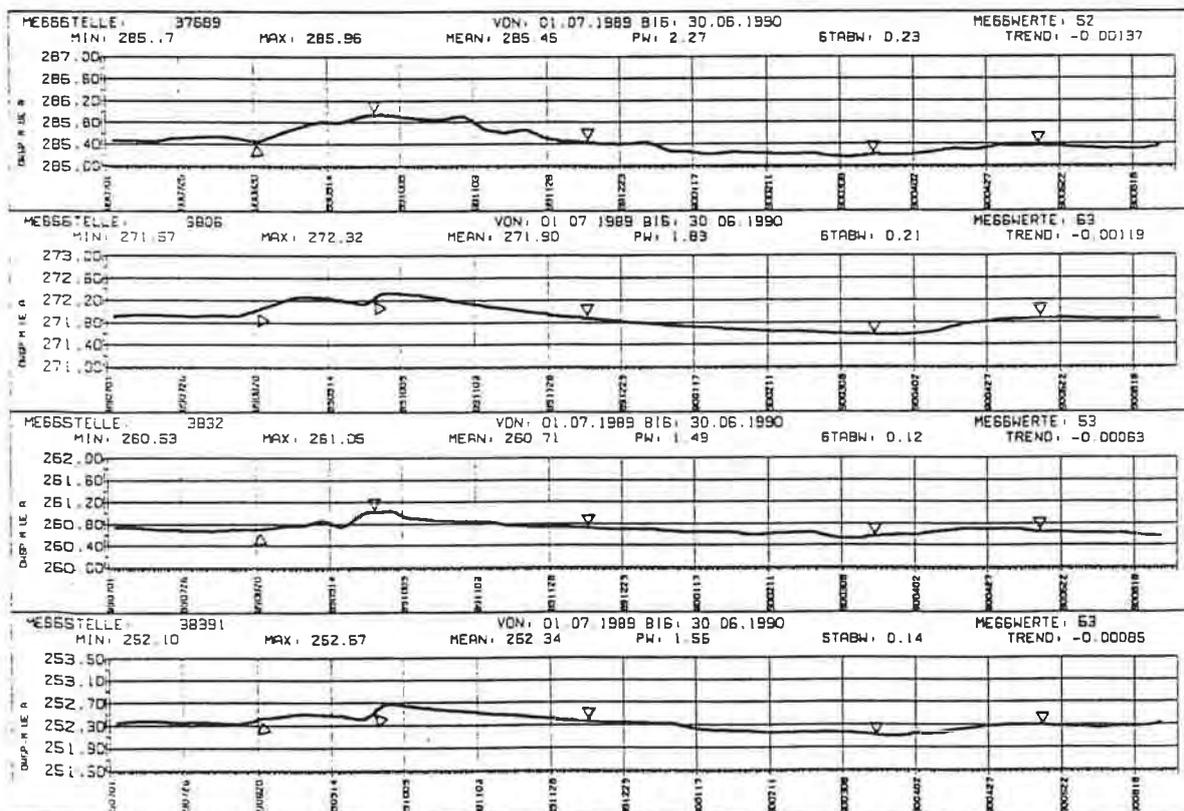


Abb. 2.11: Ausgewählte Grundwasserganglinien aus dem Zeitraum der Dauerbeobachtung (1.7.1989 bis 30.6.1990) im Leibnitzer Feld mit vermerkten Stichtagen für die Erstellung von Grundwasserisohypsenplänen.

Die allgemeinen Grundwasserströmungs- und -gefällsverhältnisse im Leibnitzer Feld wurden bereits in Kap. 2.2.3.2. diskutiert. Durch das dichte Meßstellennetz der einjährigen Dauerbeobachtung, das neben den Meßstellen der Hydrographie auch die Messungen der STEG im Zuge der Beweissicherung KW Lebring und eigene Meßprogramme des Instituts für Geothermie und Hydrogeologie umfaßte, ist es möglich, Details in den fünf Schichtenlinienplänen herauszuarbeiten, die naturgemäß bei geringerer Meßnetzdicke verloren gehen.

Der Bereich der Kainachmündung, also das südlichste Ende des Grazer Feldes, zeigt zu den ausgezeichneten Stichtagen (Karte 2.7 bis Karte 2.11) ein W-E-orientiertes Strömen des Grundwassers mit konstantem Gefälle, das je nach Wasserführung von Mur und Kainach entweder stärker zur Mur oder zur Kainach hin ausgerichtet ist.

Deutlich erkennbar sind im nordöstlichen Leibnitzer Feld die Auswirkungen des Einflusses von Oberflächengewässern auf die Grundwasserströmungsverhältnisse. Der Wurzingbach gibt bei höherer Wasserführung bedeutende Mengen seiner Wasserfracht an das Grundwasser ab und bewirkt die Ausbildung einer Kammregion in der Oberflächenmorphologie des Grundwasserkörpers. Die Bedeutung des Einflusses des Wurzingbaches auf das Grundwasser wird in erster Linie von seiner Wasserführung, aber auch von der Höhe des Grundwasserspiegels gesteuert.

Die Auswirkung der Infiltration der Stiefing, deren Sohle über dem Grundwasserspiegel hängt, zeigt sich in einer großflächigen Veränderung der Grundwasserströmungsrichtung, in Abhängigkeit von der Höhe des Grundwasserspiegels und der Wasserführung der Stiefing. Im Bereich der Stiefing dreht die Strömungsrichtung des Grundwassers im Beobachtungszeitraum von NNW-SSE bis NNE-SSW (Karte 2.7 bis Karte 2.11). Die Stiefing muß als bedeutender Faktor für die Grundwasserneubildung des nordöstlichen Leibnitzer Feldes angesehen werden. Die Alimentation des Grundwasserkörpers durch die Stiefing konnte auch durch Differenzabflußmessungen nachgewiesen werden (siehe Kap. 2.4.2.).

Drainagierende Wirkung auf den Grundwasserkörper hat der Auenhofbach (= Laanbach), der bei hohem Grundwasserstand als Vorfluter im Bereich der Austufe wirkt (Karte 2.7 bis Karte 2.9). Bei den Grundwasserisohypsenplänen vom Frühjahr 1990 ist diese drainagierende Wirkung wesentlich weniger deutlich ausgeprägt (Karte 2.10 und Karte 2.11).

Der Weissenegger Mühlkanal, der zur Elektrizitätserzeugung genutzt wird, hat fast auf seiner ganzen Länge Kontakt mit dem Grundwasser und steht mit diesem in ständiger Wechselwirkung. Besonders das seichtliegende Grundwasser in der Haslacher Au zwischen Mühlgang und Mur ist deutlich durch den Einfluß des Mühlkanals geprägt.

Der im Quartär aufgeschüttete Schwemmfächer der Stiefing, der aufgrund seines Herkunftsgebietes (Tertiär) durch wesentlich höhere Feinanteile als der Schotterkörper gekennzeichnet ist, wirkt als Staugebiet im Grundwasserkörper, in dessen Vorfeld eine deutliche Verflachung und in dessen Abstrombereich wegen der geringeren Durchlässigkeiten eine deutliche Gefällsverteilung erkennbar ist (Karte 2.7 bis Karte 2.11).

Der Unterwasserbereich des KW Gralla bewirkt im südöstlichen Teil des nordöstlichen Leibnitzer Feldes ein Zuströmen des Grundwassers zur Mur mit relativ steilem Gefälle. Verstärkt wird diese dadurch ausgebildete Rinne in der Grundwassermorphologie durch eine Rinnenstruktur im Relief der Grundwassersohle (Karte 2.2).

Ein Teil des Grundwasserkörpers der Jösser Rißterrasse entwässert in das Unterwasser des neu errichteten KW Lebring in die Mur. Der restliche Anteil tritt mit einem steilen Gefälle im Bereich der Terrassenkante in die Schotterteiche im Raum Tillmitsch über, die zusätzlich eine Gefällsverteilung im Anstrombereich bewirken.

Die Grundwasserneubildung im Bereich östlich der Tillmitscher Schotterteiche erfolgt zu einem großen Teil durch Uferfiltrat der Mur, die im Bereich der Fließstrecke zwischen der Unterwassereintiefung des KW Lebring und der Stauwurzel des KW Gralla in bedeutendem Ausmaß das Grundwasser alimentiert. Ein Vergleich der mittleren Ganglinien der Mur bei Wildon und der Grundwassermeßstelle 3778 (Abb. 2.10) zeigt diese Wechselbeziehung sehr deutlich.

In den Aubereichen entlang der Mur zeigt sich ein ständiges Wechselspiel des Einflusses der Stauräume und freien Fließstrecken sowie der drainagierend wirkenden lokalen Oberflächen-gerinne als Vorfluter für das Grundwasser. Die Strömungsrichtung und das Grundwassergefälle ändern sich ständig in Abhängigkeit von Grundwasserspiegellage und Wasserführung der Gerinne. Deutlich ausgeprägte Beispiele dafür zeigen sich im Bereich Untergralla - Hasendorf und im Bereich der Austufe bei Leitring - Retzhof.

Ähnliche Bedeutung für das Grundwasser kommt in ihren flußnahen Gebieten der Laßnitz und der Sulm unterstrom des Verschneidungspunktes des Grundwasserspiegels mit der Flußsohle im Raum Tillmitsch zu. Nördlich davon, im Raum Lang ist die Laßnitz in das Tertiär eingetieft und steht mit dem Grundwasser in keinerlei Beziehung. Das aus einem sehr lokalen Einzugsgebiet stammende seichtliegende Grundwasser tritt teilweise an Quellen und Vernäsungen im Bereich der Uferböschung der Laßnitz aus bzw. strömt in das Hauptgrundwasserfeld ab, um zu einem großen Teil im Raum Tillmitsch in die Laßnitz überzutreten (Karte 2.7 bis Karte 2.11).

Im Raum südlich von Wagna verengt sich das westliche Leibnitzer Feld bis zum Mündungsgebiet der Sulm in die Mur. Das Grundwassergefälle verflacht sich leicht und das Grundwasser tritt in die Sulm und Laßnitz über. Die Überdeckung im Bereich der Sulmauen ist äußerst gering.

Das Grundwasserfeld der Würmhauptterrasse im südlichen Leibnitzer Feld zwischen Gabersdorf im N und Straß im S ist durch ein murparalleles Strömen mit sich von N nach S verringendem Grundwassergefälle gekennzeichnet (Karte 2.7 bis Karte 2.11).

Der Bach, der in der Nähe der Landschabrücke entspringt und bei Ehrenhausen in die Mur mündet, fungiert vor allem im Bereich des Stauraumes des KW Obervogau als Grundwasserdrainage. Im Bereich "Schlarerkreuz" (siehe Karte 2.5) scheint eine bedeutendere Anreicherung des Grundwassers aus der höher gelegenen Terrasse zu erfolgen.

2.5. Chemische Parameter des Grundwassers

An hydrochemischen Untersuchungen stehen im Leibnitzer Feld aus der kontinuierlichen Qualitätskontrolle des Grundwassers an den kommunalen Versorgungsbrunnen sowie aus den unterschiedlichsten Projekten verschiedenster Institutionen eine Vielzahl von Analyseergebnissen zur Verfügung, die in den Berichten und Datenbänden sowie in der ORACLE Datenbank des vierten Projektjahres dokumentarisch dargestellt wurden. Von diesem umfangreichen Datenmaterial sollen schwerpunktmäßig Teile herausgegriffen und einer näheren Auswertung unterzogen werden:

- Langfristentwicklung der hydrochemischen Grundwasserqualität im westlichen und östlichen Leibnitzer Feld anhand der Versorgungsbrunnen KN 2 und B VI.
- Nitratuntersuchungen in täglichem bzw. wöchentlichem Intervall durch die Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges.m.b.H. im westlichen und nordöstlichen Leibnitzer Feld.
- Hydrochemische Dauerbeobachtung im Zuge des gegenständlichen Projektes vom Juli 1989 bis Juni 1990.

2.5.1. Langjährige Untersuchungen

Von den Meßstellen KN 2 im westlichen Leibnitzer Feld und B VI im nordöstlichen Leibnitzer Feld stehen von den Parametern elektrolytische Leitfähigkeit, Chlorid und Nitrat seit dem Jahr 1975 Untersuchungsergebnisse in vergleichbarer zeitlicher Auflösung zur Verfügung. Beide Meßstellen sind Versorgungsbrunnen der Leibnitzerfeld Wasserversor

gungsges.m.b.H. Die Untersuchungsergebnisse des Hygieneinstitutes der Universität Graz sind in Abb. 2.12 als zeitliche Ganglinien der Ionenkonzentrationen für beide Meßstellen dargestellt.

Allen Konzentrationsganglinien gemeinsam ist ein steigender Trend in den letzten 15 Jahren, so daß die Gesamtmineralisation des Grundwassers (gemessen an der elektrolytischen Leitfähigkeit) heute das zwei- bis dreifache der Ausgangskonzentration des Jahres 1975 beträgt. Während die Konzentration des Chloridgehaltes eine periodisch schwankende, aber doch stetige Steigerung (zumindest bis 1986) erfährt, der Verlauf der Ganglinie der Leitfähigkeit aufgrund fehlender Meßwerte im Zeitraum von 1978 bis 1984 nicht erfaßbar ist, ist im Verlauf der Nitratganglinie im Zeitraum von 1982 bis 1986 in beiden Regionen ein extrem starker Anstieg erkennbar. Seit 1987 deutet sich in allen Ganglinien eine Verflachung des Anstiegs oder sogar ein Rückgang der Konzentration an.

Während für den kontinuierlichen Anstieg der Mineralisierung des Grundwasser sicherlich die anthropogenen Einflüsse (Intensivierung der Bewirtschaftung, Verstärkung der Siedlungstätigkeit mit verstärktem Abwasseranfall, starke Zunahme des Straßenverkehrs etc.) ausschlaggebend sind, muß man für die Entwicklung seit 1986 in erster Linie die extremen hydrometeorologischen Faktoren in Betracht ziehen. Der extreme Winter des Jahres 1985/86 mit den großen Schneemassen bewirkte eine starke Schneemelze im Frühjahr und damit eine verstärkte Ausschwemmung von Schadstoffkonzentrationen aus der ungesättigten Zone in das Grundwasser. In weiterer Folge fehlte aber die Nachschubwirkung großer Schneeschmelzereignisse (durch Winter ohne Schneedecke), was zu einem Gleichbleiben bzw. sogar zu einem Rückgang der Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser führte.

Die unterschiedliche Konzentration der Ionen im Grundwasser und die unterschiedliche Belastung der Grundwässer an den beiden ausgewählten Meßstellen lassen einen Vergleich der Trendentwicklung für die Ionen und die Absolutwerte der Konzentrationen nur sehr schwer zu. Aus diesem Grunde wurden die Konzentrationen normiert und in Abb. 2.13 dargestellt. Zu diesem Zweck wurde der erste Meßwert jedes Parameters des Jahres 1975 auf einen Wert von 100 Einheiten gesetzt und die folgenden Meßwerte auf diesen Wert bezogen.

Durch die Normierung sind die Konzentrationen der verschiedenen Ionen untereinander und die beiden Meßstellen zueinander vergleichbar. Die Steigung der Ausgleichsgeraden bezieht sich auf die normierten Konzentrationen.

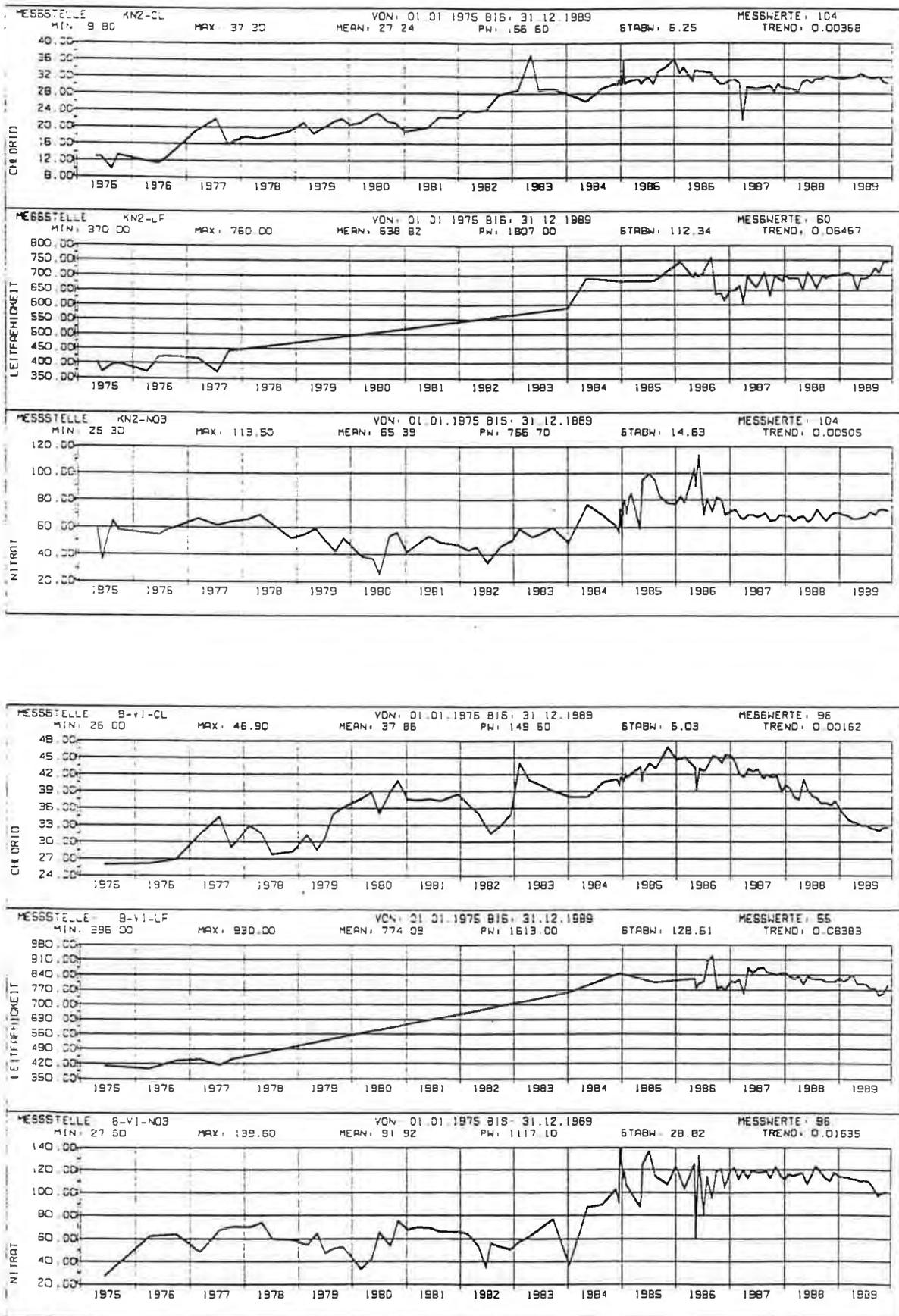


Abb. 2.12: Langjährige Untersuchungen von elektrolytischer Leitfähigkeit, Chlorid und Nitrat an zwei Versorgungsbrunnen im Leibnitzer Feld.

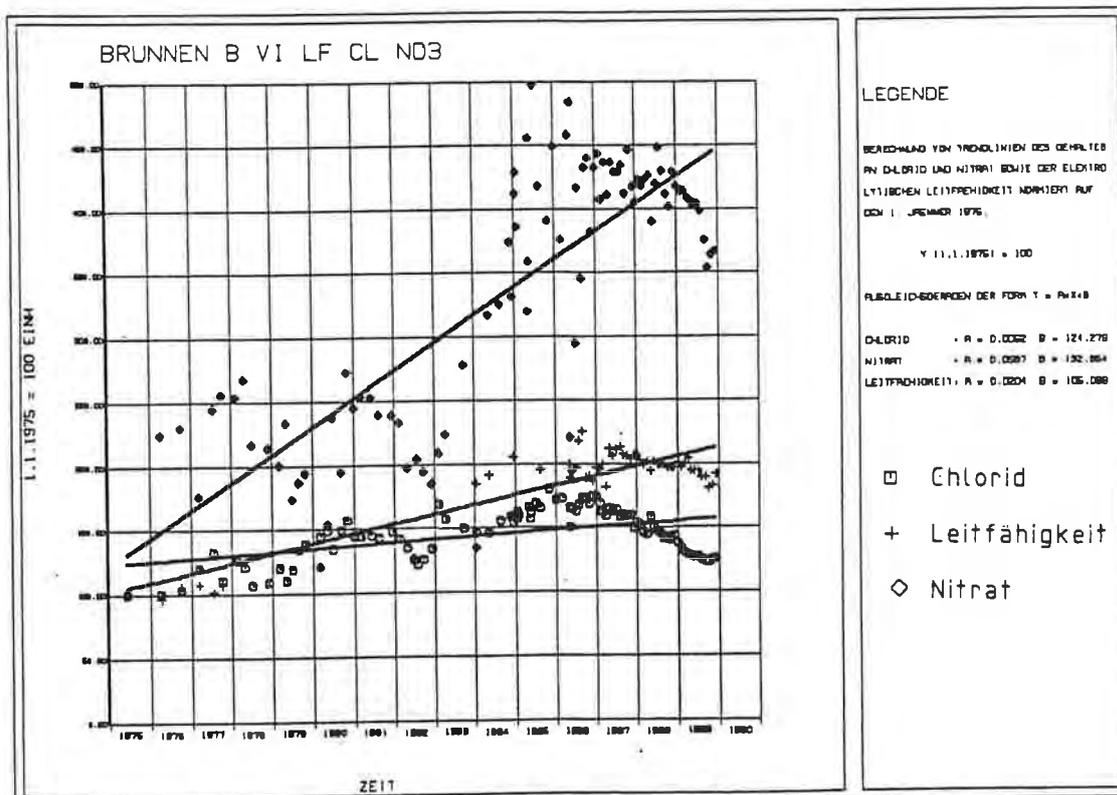
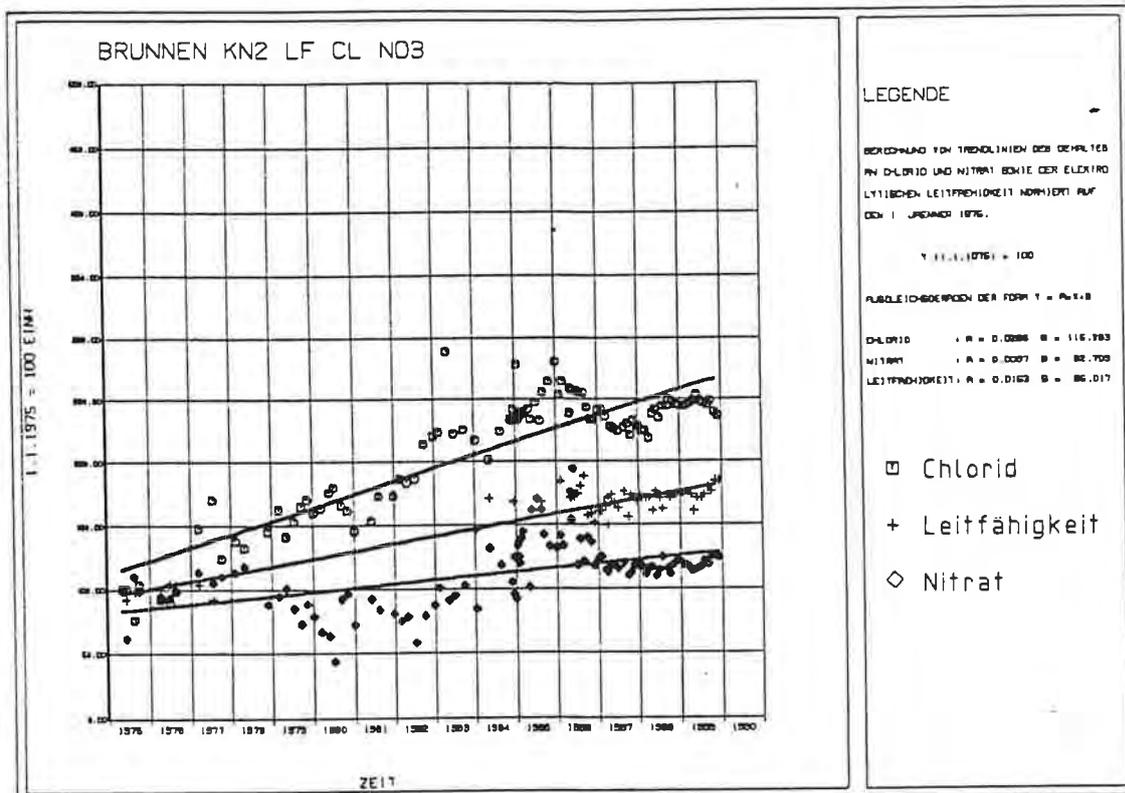


Abb. 2.13: Normierte Ionenkonzentrationen aus langjährigen Untersuchungen von elektrolytischer Leitfähigkeit, Chlorid und Nitrat an zwei Versorgungsbrunnen im Leibnitzer Feld.

Während die Trendentwicklung im nordöstlichen Leibnitzer Feld durchaus den bisherigen Vorstellungen mit einem starken Anstieg der Nitratkonzentration und einem wesentlich weniger steilen Anstieg der übrigen Ionen (exemplarisch Chlorid und elektrolytische Leitfähigkeit) folgt, ist im westlichen Leibnitzer Feld (Brunnen KN 2) ein wesentlich anderer Trend erkennbar. Die steilsten Anstiege verzeichnet das Chlorid, gefolgt von elektrolytischer Leitfähigkeit und dem Nitrat. Diese unterschiedlichen regionalen Bedingungen verdeutlichen die Notwendigkeit der gesamtheitlichen Betrachtung der Qualitätssituation des Grundwassers. Die Chloridwerte im westlichen Leibnitzer Feld liegen heute noch weit unterhalb von Trinkwassergrenzwerten, der ansteigenden Entwicklung sollte allerdings bereits in den Anfängen durch entsprechende Untersuchungen und Maßnahmen entgegengewirkt werden.

Besondere Bedeutung in der zeitlichen hydrochemischen Entwicklung des Grundwassers des Leibnitzer Feldes fällt der Entwicklung des Nitratgehaltes zu, nachdem infolge von Trinkwassergrenzwertüberschreitungen in kommunalen Versorgungsbrunnen schwerwiegende Eingriffe in die landwirtschaftliche Bewirtschaftung in den Schutz- und Schongebieten vorgenommen werden mußten. Beispielhaft soll die Entwicklung des NO_3 -Gehaltes im Grundwasser an zwei kommunalen Versorgungsbrunnen seit den 70-er Jahren dargestellt werden (Abb. 2.14).

Die Daten für diese Darstellungen sind den amtlichen Trinkwasseruntersuchungen des Hygieneinstitutes der Universität Graz entnommen. Die Meßstelle KN 2 repräsentiert das Grundwasser im zentralen westlichen Leibnitzer Feld, der Brunnen B VI liegt im Bereich des Stiefingknies im nordöstlichen Leibnitzer Feld (Lage siehe Karte 2.5).

Beide Ganglinien sind durch die gleichen Charakteristika geprägt:

- Gleichbleibende Nitratentwicklung in den 70-er und beginnenden 80-er Jahren. In diesem Zeitraum ist langfristig keiner oder nur ein geringer ansteigender Trend erkennbar.
- Starker Anstieg der Nitratbelastung des Grundwassers von 1984 bis 1986. Die Ursache für diesen exorbitanten Anstieg ist bis heute noch nicht im Detail bekannt, kann aber nicht nur auf eine Intensivierung der Landwirtschaft oder andere anthropogene Faktoren zurückgeführt werden.
- Seit 1987 scheint sich im Leibnitzer Feld eine Stabilisierung oder sogar ein leichter Rückgang des Trends abzuzeichnen. Dieser kann vorzugsweise beim Brunnen B VI beobachtet werden, der in dem am höchsten belasteten Bereich liegt, in dem aber auch am intensivsten mit Sanierungsmaßnahmen begonnen wurde.

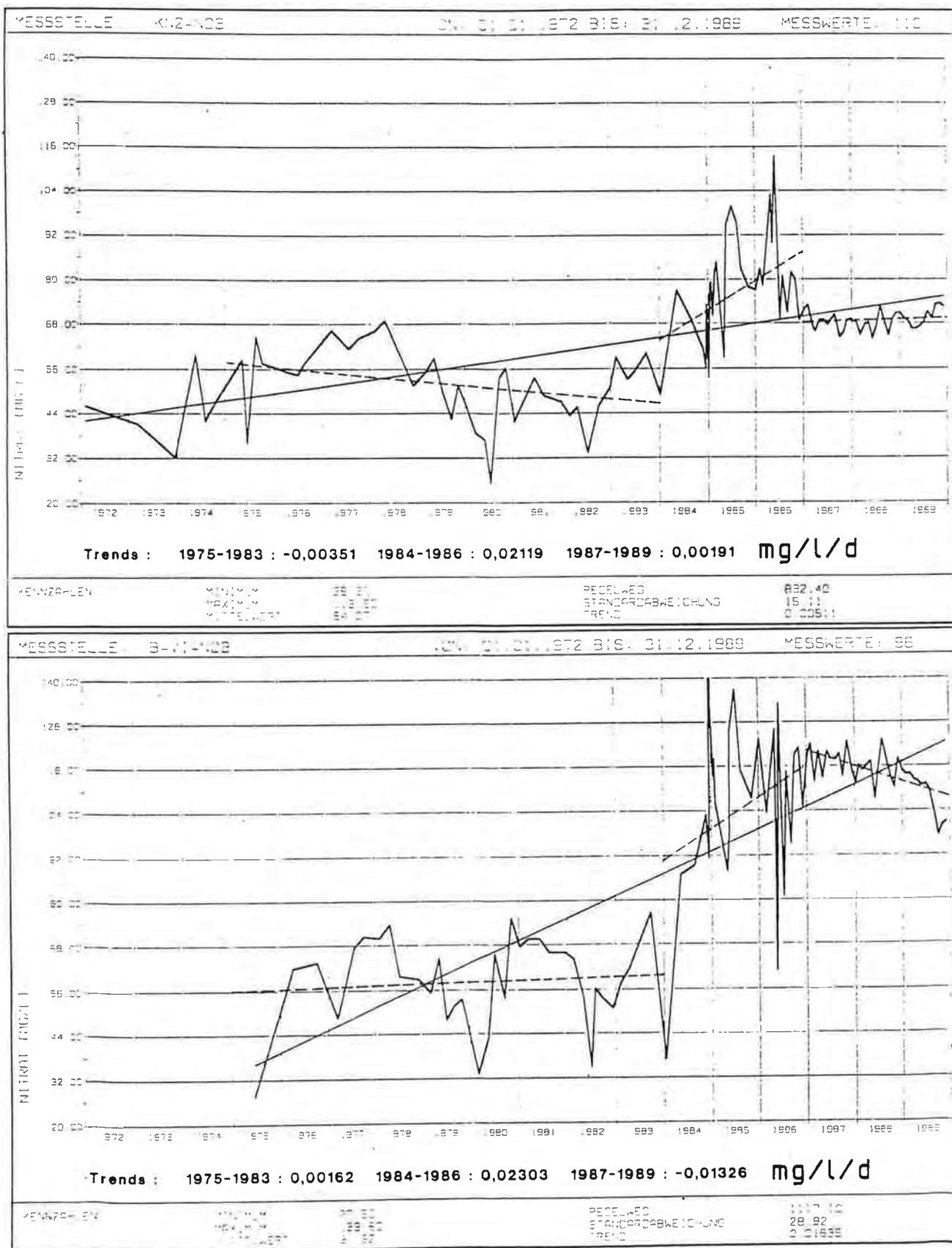


Abb. 2.14: Langjährige Nitratganglinie an den Versorgungsbrunnen KN 2 und B VI der Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges.m.b.H..

Insgesamt ist es sicher noch verfrüht, eindeutige Aussagen zu machen, ob die neuesten Entwicklungen auf den langfristig wirkenden hydrometeorologischen Bedingungen oder auf einem Erfolg der angesetzten Sanierungsmaßnahmen basieren, zumal diese zum Teil erst kurzfristig und noch nicht flächendeckend laufen. Es ist aber sicherlich denkbar, daß beide Faktoren sich in ihrer Wirkung zeit- und bereichsweise ergänzen.

2.5.2. Nitratuntersuchungen der Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges.m.b.H.

Wegen der oben erwähnten starken Zunahme des Nitratgehaltes im Grundwasser in der Mitte der 80-er Jahre und den hohen Nitratkonzentrationen im Grundwasser der Entnahmebereiche der Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges.m.b.H. begann diese Mitte 1986 mit Nitrat-Reihenuntersuchungen an Grundwasserpegeln in den Schutz- und Schongebieten im Leibnitzer Feld. Die Untersuchungen wurden auf photometrischer Basis durchgeführt, was aufgrund von Analysengenauigkeitsunterschieden den absoluten Vergleich mit den Laboruntersuchungen des Hygieneinstitutes und des Labors des Institutes für Geothermie und Hydrogeologie nicht zuläßt. Der relative Vergleich der Untersuchungsergebnisse untereinander bringt aber doch wichtige Erkenntnisse über den zeitlichen Verlauf der Nitratentwicklung in den letzten vier Jahren, zumal die zeitliche Auflösung der Untersuchungsreihen sehr gut ist. In den Jahren 1986 bis Mitte 1988 wurde das Grundwasser an einigen Meßstellen täglich beprobt, danach und an den anderen Meßstellen erfolgte die Untersuchung in einem wöchentlichen Rhythmus.

Die grundlegenden statistischen Kennzahlen dieser Untersuchungen für den Zeitraum Mitte 1986 bis Mitte 1990 sind in Tab. 2.6 zusammengefaßt, der zeitliche Verlauf der Nitratkonzentrationen an sechs ausgewählten Grundwasserpegeln ist als Wochenmittelwert in Abb. 2.15 dargestellt. Die mittlere Jahresüberschreitungsdauerlinien dieser ausgewählten Meßstellen (Abb. 2.15) für den Zeitraum 1987 bis 1989 gibt Aufschluß über die Höhe der Nitratbelastung im regionalen Vergleich.

Aus diesen Untersuchungen kristallisieren sich deutlich drei unterschiedliche Meßstellentypen heraus:

- die Meßstelle B VI (St. Georgen a.d. Stiefing 1) mit einem deutlich fallenden Trend der Nitratwerte seit 1988,
- der Brunnen B X (St. Georgen a.d. Stiefing 2), an dem der Nitratgehalt durch einen deutlichen Jahresgang charakterisiert wird und
- die Meßstellen Tillmitsch, Rotkeyweg, KN 2 und Leitring im westlichen Leibnitzer Feld. Diese Meßstellen, die in einem N-S-Profil angeordnet sind, werden durch einen starken Rückgang des Nitratgehaltes im Jahr 1986 und teilweise 1987, danach aber wieder auf einen ebenso deutlichen Anstieg bis Ende 1989 charakterisiert.

Tab. 2.6: Statistische Kennwerte der Nitratuntersuchungen der Leibnitzerfeld Wasser-versorgungsges.m.b.H.

Meßstelle	Minimum	Mittelwert	Maximum	Delta	Standardabweichung	Meßwerte	Zeitraum, von bis	
KAINZ	37.00	63.78	86.00	49.00	8.90954	188	04.08.1986	05.06.1990
KN 1	47.00	64.67	90.00	43.00	5.46742	858	01.08.1986	25.06.1990
KN 2	52.00	66.00	98.00	46.00	6.04051	858	01.08.1986	25.06.1990
KN 3	53.00	64.41	86.00	33.00	4.59326	858	01.08.1986	25.06.1990
LEITRING	58.00	69.53	82.00	24.00	3.11052	858	01.08.1986	26.06.1990
N 1	43.00	58.14	76.00	33.00	7.81657	118	01.04.1988	25.06.1990
N 2	20.00	69.59	88.00	68.00	15.50171	104	05.04.1988	25.06.1990
N 3	73.00	107.11	155.00	82.00	17.30905	118	01.04.1988	25.06.1990
N 4	75.00	100.88	127.00	52.00	12.23559	117	01.04.1988	25.06.1990
N 5	71.00	86.58	102.00	31.00	8.49970	118	01.04.1988	25.06.1990
PREDOTA	45.00	58.71	68.00	23.00	3.77835	180	29.09.1986	05.06.1990
ROTKEYWEG	40.00	59.18	76.00	36.00	7.92816	187	04.08.1986	05.06.1990
B VI	84.00	110.09	134.00	50.00	4.90734	656	01.08.1986	25.06.1990
B X	61.00	74.52	88.00	27.00	4.96313	858	01.08.1986	25.06.1990
TILLMITSCH	25.00	44.41	68.00	43.00	9.44402	189	04.08.1986	05.06.1990
WW STRASSE	50.00	60.22	72.00	22.00	4.62078	189	04.08.1986	05.06.1990

Die absolut höchsten Nitratwerte werden an der Meßstelle B VI mit im Mittel der vier Jahre von etwa 110 mg/l NO₃ erreicht, gefolgt von der Meßstelle B X im nordöstlichen Leibnitzer Feld. Die Belastung ist im westlichen Leibnitzer Feld am geringsten, nimmt jedoch von N (Meßstelle Tillmitsch) nach S (Brunnen Leitring) deutlich zu. Damit einher geht eine Verringerung der Schwankungsbreite des Nitratgehaltes. Die charakteristische Form der Ganglinien erklärt sich aus der Lage der Meßstellen und den langfristigen hydrometeorologischen Verhältnissen sowie den anthropogenen Einflußfaktoren.

Die Nitratbeprobungsstellen im zentralen westlichen Leibnitzer Feld zwischen Leitring im S und Tillmitsch im N liegen in jenem Bereich, in dem die Grundwasserneubildung in erster Linie aus den Niederschlägen erfolgt, die Flurabstände relativ gering sind und die Böden gute Durchlässigkeiten aufweisen. Die Schneemassen des Spätwinters 1986 führten durch die hohe Grundwasserneubildungsrate zu starken Auswaschungseffekten und zu einer Verminderung der Nitratbelastung in der ungesättigten Zone. Da in den beiden folgenden trockenen und milden Wintern die Schneeschmelze und starke Niederschläge auf brachliegende Äcker (ein wichtiger Faktor für die Grundwasserneubildung aus Meteorwässern) fehlten, waren auch die Ausschwemmungseffekte aus dem Boden nicht vorhanden.

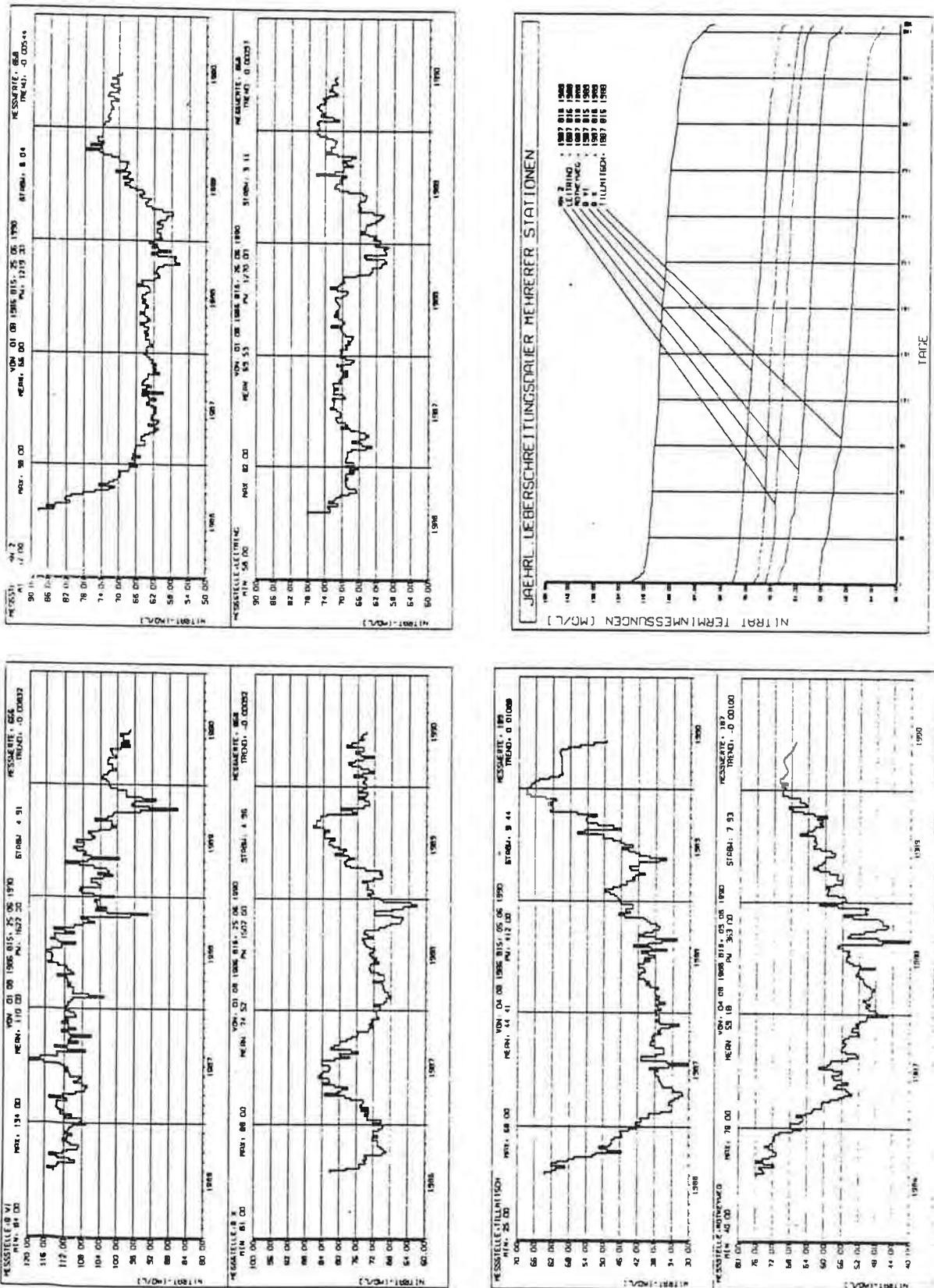


Abb. 2.15: Wochenmittelwerte der Nitratbelastung des Grundwassers im Leibnitzer Feld anhand von photometrischen Reihenuntersuchungen an Meßstellen in den Schon- und Schutzgebieten. Mittlere jährliche Nitratüberschreitungsdauerlinien der Periode 1987 bis 1989 im Vergleich der sechs ausgewählten Stationen.

Es kam in weiterer Folge zu einer Summierung der Nitratbelastung im Boden und aufgrund der vertikalen Sickerwasserbewegung auch im Grundwasser, so daß im Jahr 1989 die hohen Nitratwerte des Jahres 1986 nahezu wieder erreicht wurden.

Der Brunnen B VI im nordöstlichen Leibnitzer Feld zeigt als einziger der untersuchten Meßstellen einen deutlich fallenden Trend der Nitratbelastung im Zeitraum Sommer 1986 bis Sommer 1990, wobei sich dieser Trend ab dem Jahre 1988 noch stark versteilt. Dieser Brunnen, der aufgrund der hohen Belastung im Jahre 1985 für die Trinkwassergewinnung geschlossen wurde, liegt in jenem Bereich, in dem Grundwasserschutz- und Sanierungsmaßnahmen am intensivsten begonnen wurden. Es ist sicher noch verfrüht, eindeutige Aussagen zu machen, ob dieser Trend durch die langfristigen hydrometeorologischen Verhältnisse oder durch die Sanierungsmaßnahmen bedingt ist, es ist jedoch vorstellbar, daß sich beide Faktoren in ihrer Wirkung zeitweise ergänzen. Jedenfalls ist diese Meßstelle, deren Lage durch eine relativ hohe Überdeckung und bindige Böden im Einzugsgebiet charakterisiert werden kann (diese Faktoren führen sicherlich zu einer wesentlich verlangsamten Reaktion des Systems Boden - Grundwasser auf hydrometeorologische Ereignisse), die einzige mit einem eindeutig fallenden Nitrattrend in den letzten fünf Jahren.

Die Nitratganglinie der Meßstelle B X im nordöstlichen Leibnitzer Feld, ca. 1300 m südlich des Stiefingknies bei St. Georgen zeigt einen deutlichen Jahresgang. Möglicherweise deutet sich in diesem Jahresgang der Einfluß der Stiefing auf die Grundwasserneubildung zu bestimmten Jahreszeiten im Einzugsbereich des Brunnens B X an. Um dieser Frage näher treten zu können, wurden für den Zeitraum 1987 bis 1989 die mittleren Monatssummen des Niederschlags, die mittlere Nitratjahresganglinie und die mittlere Grundwasserjahresganglinie berechnet und in Abb. 2.16 dargestellt. Die Tagesmittelwerte des Nitratgehaltes wurden durch die Darstellung eines gewichteten arithmetischen Mittelwertes über jeweils fünf Tagesmittel einer Glättung unterzogen. Die Grundwasserjahresganglinie wurde an der Meßstelle 3773 (Lage siehe Karte 2.5), die außerhalb des durch den Pumpbetrieb verursachten Absenkbereiches liegt, ermittelt.

In den Spätwinter- und Frühjahrsmonaten (Februar bis April), wenn die Grundwasserneubildung in erster Linie durch lokale Schneeschmelz- und Niederschlagsereignisse im Einzugsgebiet des Brunnens erfolgt, zeigt sich eine gute Korrelation der Grundwasserganglinie mit der Nitratganglinie. In den Folgemonaten zeigt die Nitratganglinie eine weiterhin leicht steigende Tendenz, die ab Mitte September von einem fallenden Trend abgelöst wird. Die mittlere Grundwasserjahresganglinie dagegen beginnt mit steigendem Wasserbedarf der Vegetation in den Monaten Mai und Juni trotz höherer Niederschläge zu sinken.

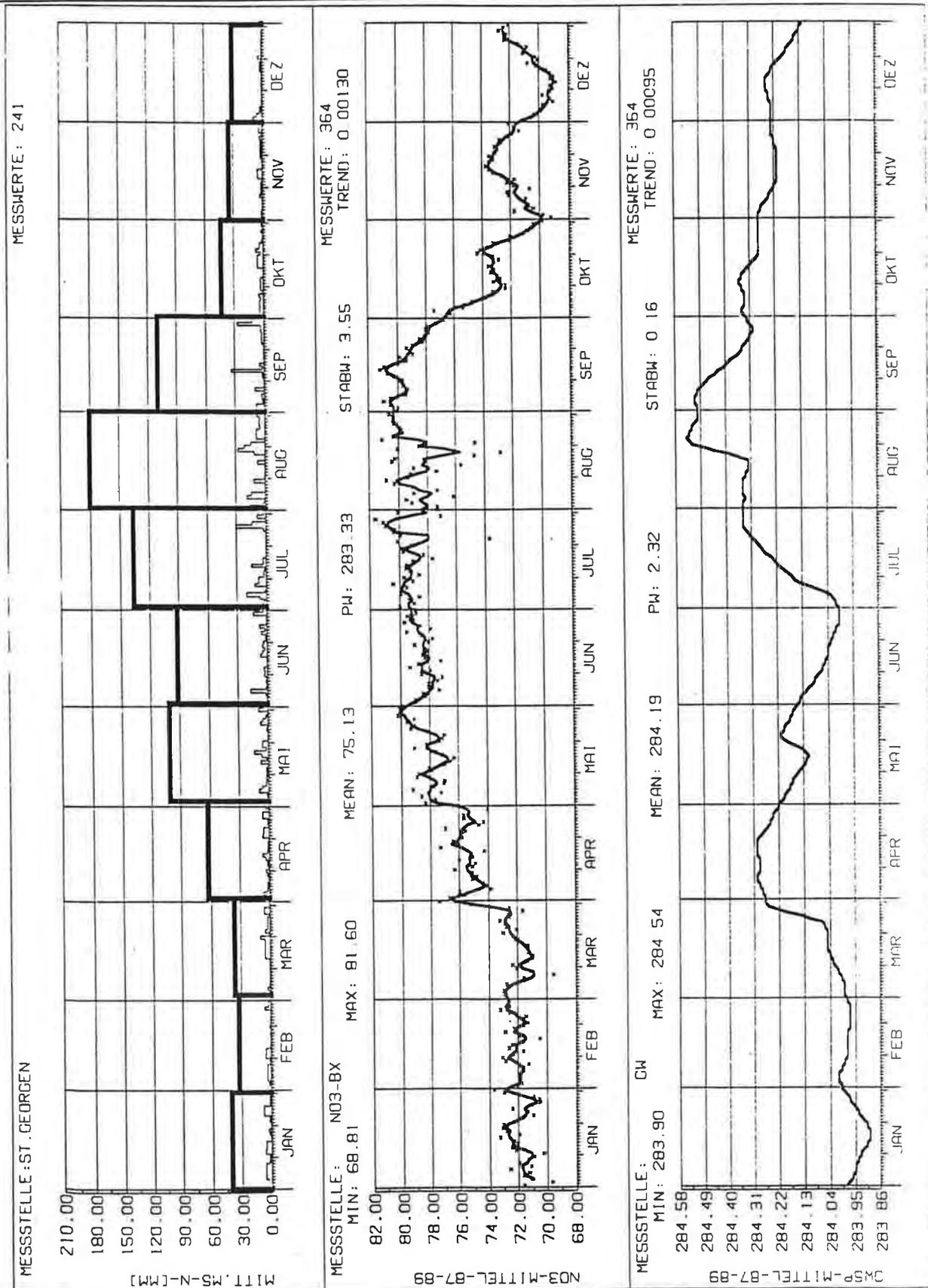


Abb. 2.16: Zeitraum 1987 bis 1989: mittlere Monatssummen des Niederschlags an der Station St. Georgen, mittlere Jahresganglinie der Nitratbelastung als gleitendes arithmetisches gewichtetes Mittel über fünf Werte am Brunnen B X und mittlere Jahresgrundwasserganglinie an der Meßstelle 3773.

Die Sommergewitter bringen in den Monaten Juli bis September die höchsten Niederschlagsmonatssummen. Diese Niederschläge können jedoch aufgrund des hohen Wasserbedarfs der Vegetation und der Intensität der Niederschläge nur unmaßgeblich zur Grundwasserneubildung über die Sickerwasserbewegung beitragen, sondern fließen in erster Linie oberflächlich ab und werden durch Oberflächengewässer abgeleitet. Eine Erklärung des Anstieges der Grundwasserganglinie in den Monaten Juli und August könnte in einer intensiven Anreicherung des Grundwassers durch die Stiefing, die in diesen Zeiten durch hohe Wasserführung aufgrund der Sommergewitter gekennzeichnet ist, liegen. Der Anstieg des Grundwasserspiegels mit nur geringer Verzögerung im Bereich B X wäre demnach eine Folge der Infiltration von Stiefingwasser im Einzugsgebiet. Diese starke Grundwasseranreicherung müßte aufgrund der geringeren Nitratbelastung des Stiefingwassers zu einem Verdünnungseffekt und damit zu einer Verringerung des Nitratgehaltes im Grundwasser führen. Der Rückgang des Nitratgehaltes etwa Mitte September mit stark fallendem Trend (durchaus vergleichbar dem Anstieg des Grundwasserspiegels im Juli und August) könnte den angesprochenen Verdünnungseffekt bezeugen. Die Richtigkeit dieser Interpretation vorausgesetzt (die Aussagen wären durch eine Weiterführung der Nitratbeobachtung in dichtem Zeitintervall und eine Beobachtung über einen längeren Zeitraum zu verifizieren), könnte eine maximale Grundwasserverweilzeit von ca. 70 Tagen für die Strecke von der Stiefing bis zum Brunnen B X abgeleitet werden. Aus diesen Daten ergäbe sich demnach eine maximale Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers von der Stiefing bis zum Brunnen von etwa 18 m/Tag, ein im Vergleich zu Markierungsversuchen im Porengrundwasser mit ähnlichen k_f -Werten durchaus plausibler Wert.

2.5.3. Hydrochemische Dauerbeobachtung Juli 1989 bis Juni 1990

2.5.3.1. Standardanalysen

Im Zuge der hydrochemischen Dauerbeobachtung im Rahmen des gegenständlichen Projektes vom Juli 1989 bis Ende Juni 1990 wurden im Bereich zwischen Laßnitz im W und Obergralla im E sowie der Mur im N und Tillmitsch im S in monatlichem Rhythmus von 13 Wässern Proben entnommen und umfangreiche hydrochemische Analysen auf die Kationen Na, K, Ca und Mg sowie auf die Anionen HCO_3 , Cl, NO_3 und SO_4 durchgeführt. Die elektrolytische Leitfähigkeit, die Wassertemperatur bei Probennahme und der pH-Wert der Wässer wurde im Gelände bestimmt. Die Proben wurden bei der Probennahme für die Analytik vorbereitet (Ansäuerung, Filtration etc.) und danach im hydrochemischen Labor des Institutes für Geothermie und Hydrogeologie der Forschungsgesellschaft JOANNEUM auf die angeführten Parameter untersucht. Diese Untersuchungen werden im weiteren als Standardanalysen bezeichnet.

Durch diese Standardanalysen sollten spezielle hydrologische und hydrogeologische Fragen, wie der Nachweis von Murinfiltrat, die Beeinflussung des Grundwassers durch die Schotterteiche und eine Abklärung der Situation zwischen Kleinjöß und Lang erfolgen. Aufgrund dieser Fragestellung stammen vier dieser 13 Meßstellen für die Standardanalysen aus Oberflächenwässern (Mur, Laßnitz und zwei Schotterteiche - Lage siehe Karte 2.5). Die übrigen Meßstellen betreffen das seichtliegende Grundwasser.

Anfang Februar 1990 wurde die Meßstelle 37869 durch die neu abgeteufte Bohrung 37882 ersetzt. Aufgrund der Ergebnisse der Zwischenauswertung des zweiten Projektjahres wurde für die Meßtermine ab März 1990 das Untersuchungsprogramm für die Standardanalysen um die Meßstellen Mag 1, Mag 2 und 3772 erweitert, um das abströmende Grundwasser aus dem Bereich der Rißterrasse hydrochemisch zu erfassen.

Klare Aussagen über die Entwicklungsgeschichte des Grundwassers und über die Transportvorgänge im Untergrund lassen sich aus dem Vergleich von Ionenverhältnissen und der Einordnung der hydrochemischen Analysen in das hydrogeologische Gesamtsystem treffen. Sowohl das Verhältnis zwischen Ca und Mg, wie es in Abb. 2.17 dargestellt ist als auch das Verhältnis zwischen Kalzitsättigung und CO₂-Partialdruck (Abb. 2.18) geben im Vergleich der zeitlichen und räumlichen Entwicklung Hinweise auf die Grundwasserneubildung und die Entwicklung vom Herkunftsgebiet bis zum Probenahmepunkt.

Ein Ca : Mg-Verhältnis von $<2:1$ (berechnet aus mg/l) weisen nur die Wässer der Probenahmestelle 37841 auf. Diese Meßstelle liegt an der Grenze zwischen der Jöber Rißterrasse und der Würmterrasse. Die Wässer sind durch eine hohe Schwankungsbreite sowohl des Ca- als auch des Mg-Gehaltes gekennzeichnet, was einerseits auf eine Vermischung von Wässern aus der Rißterrasse (Karbonatkomponente im Aquifer untergeordnet) mit solchen aus der (kalkreicheren) Würmterrasse, andererseits sicherlich auch auf anthropogene Beeinflussung hinweist.

Die Wässer aus dem Bereich Lang - Kleinjöß, im Abstrombereich der Rißterrasse, weisen bei einer geringen Mineralisierung ein Ca : Mg-Verhältnis von etwa 3 : 1 auf (3784, 37869). Ähnliche Verhältniszahlen sowie Absolutwerte der Mineralisierung weisen auch die Oberflächenwässer (Laßnitz, Mur, See 2 und See 3) sowie die eng mit diesen zusammenhängenden (Kos 2) Wässer.

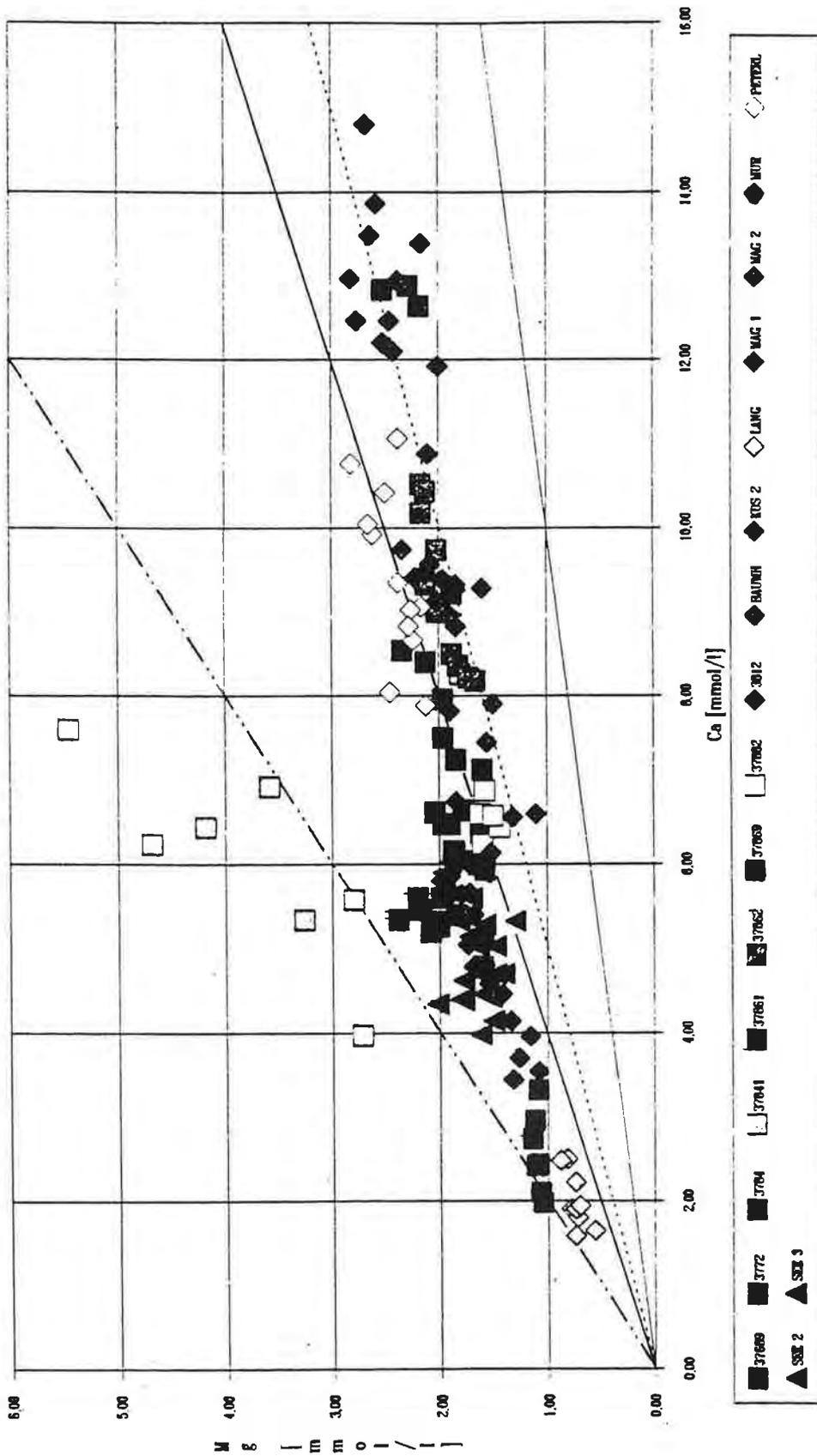


Abb. 2.17: Ca : Mg Verhältnisse der dauerbeobachteten Wässer des Leibnitzer Feldes (Standardanalysen)

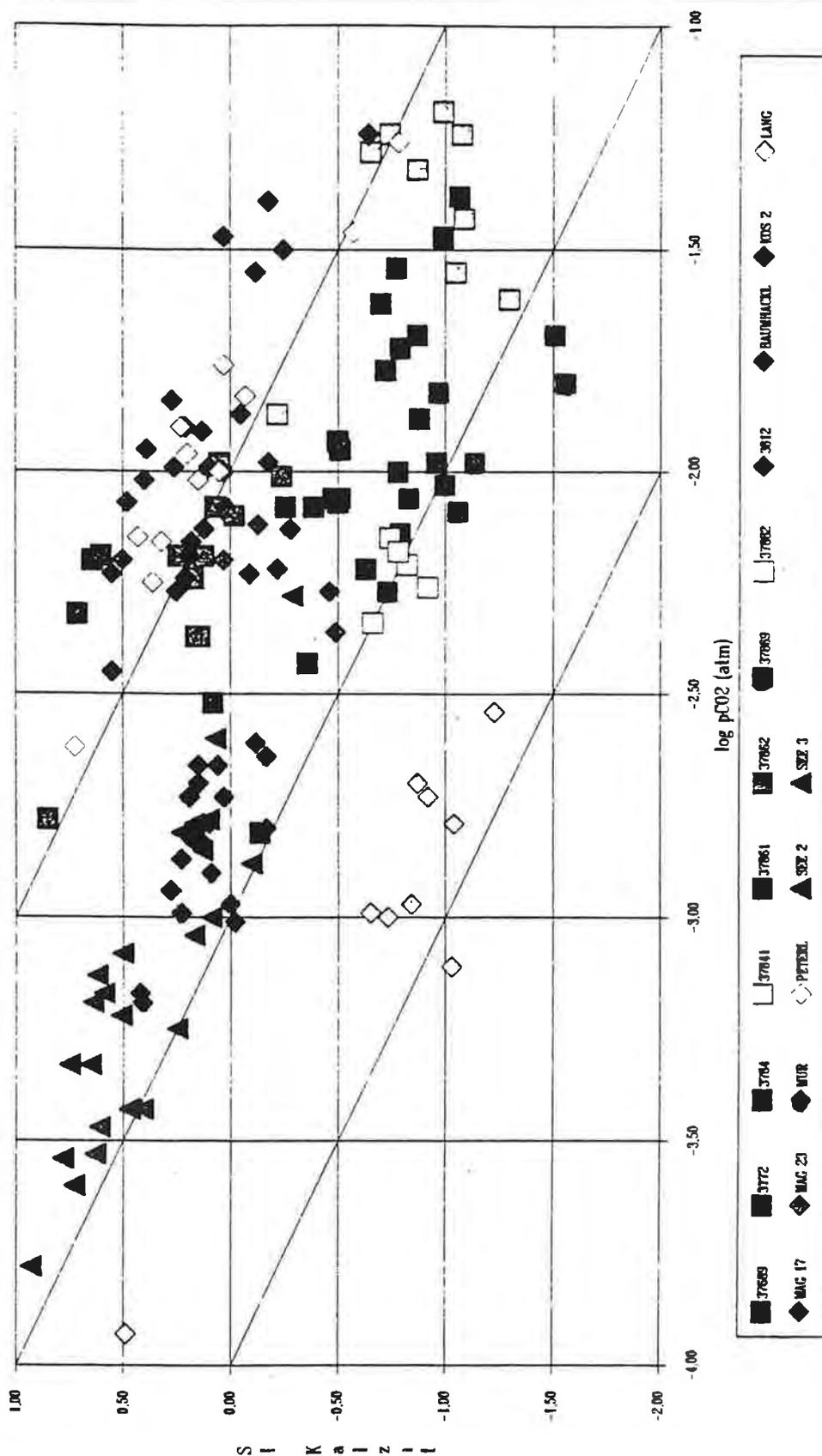


Abb. 2.18: Kalzitsättigung : pCO₂ der dauerbeobachteten Wässer des Leibnitzer Feldes (Standardanalysen).

Im Gegensatz zu diesen Wässern stehen die Analysen aus Wasserproben aus der kalkreichen Würmterrasse im N der Tillmitscher Schotterteiche (repräsentiert durch die Meßstellen Mag 1, Mag 2 und 3772) sowie im zentralen Teil des westlichen Leibnitzer Feldes im E der Schotterteiche (Peterlbrunnen, Br. Baumhackl, 3812). Wie diese weisen auch die Wässer der Meßstellen 37861, 37862 und 37882 im W der Schotterteiche, aber außerhalb des Einflußbereiches der Ribterrasse mit Ca : Mg-Verhältnissen von 4 : 1 und höher auf eine Herkunft aus kalkreichen Schottern der Würmterrasse hin.

Durch hydrochemische Berechnungen können der Sättigungsindex für Kalzit und der CO₂-Partialdruck im Grundwasser berechnet werden. Dieser hängt stark vom Bewuchs und von der Konsistenz des Bodens ab. Der pCO₂ der Luft liegt bei 10^{-3.5} at.

Aufgrund des unmittelbaren atmosphärischen Kontaktes stehen Oberflächengewässer im allgemeinen mit dem pCO₂ der Luft in einem Gleichgewicht. Hingegen tritt bei seichtliegenden Grundwässern, bei denen eine senkrechte Infiltration in den Aquifer eine bedeutende Rolle spielt, ein Gleichgewichtszustand mit dem CO₂-Partialdruck der Bodenluft ein.

Die Lösungsfähigkeit für die Karbonate Kalzit und Dolomit in Wasser ist äußerst gering, sie steigt jedoch mit dem CO₂-Gehalt an. Durch die Karbonatlösung wird CO₂ verbraucht, wobei der pCO₂ im geschlossenen System bis unter den atmosphärischen pCO₂ absinken kann. Im offenen System, wie es die seichtliegenden Grundwässer darstellen, wird jedoch durch die Lösung verbrauchtes CO₂ ergänzt, wodurch höhere Lösungsraten möglich sind.

Aufgrund kalkulierter Sättigungs : pCO₂-Relationen lassen sich Grundwässer verschiedener Genese, unterschiedliche Einzugsgebiete oder Infiltrationsbedingungen bezüglich ihrer CO₂-Zufuhr und der Lösungsrate gegeneinander abgrenzen.

Eine charakteristische Gruppierung lassen die Wässer aus den beiden Schotterteichen (See 2 und See 3) sowie das Wasser aus der unmittelbar unterstromig liegenden Bohrung Kos 2 sowie der Mur erkennen. Diese Wässer sind zum Teil stark an Kalzit übersättigt, wobei die CO₂-Partialdrucke teilweise sogar die der atmosphärischen Luft erreichen (Gleichgewichtszustand mit dem pCO₂ der Luft).

Andere Sättigungs : pCO₂-Relationen weisen jene Wässer auf, bei denen kein unmittelbarer Zusammenhang mit Oberflächenwässern vorhanden ist. Diese kalzitgesättigten Wässer mit wesentlich höheren CO₂-Partialdrucken liegen im Bereich der Würmterrasse im N und E der Tillmitscher Schotterteiche (Meßstellen 3772, 3812, Peterlbrunnen, Br. Baumhackl). Zu dieser Gruppe gehört allerdings auch die Meßstelle 37862, westlich der Tillmitscher Teiche, die allerdings weder von den Wässern der Ribterrasse noch von den aus den Teichen abströmenden Wässer beeinflusst wird.

Eine charakteristische Gruppe bilden auch die Wässer zwischen Kleinjöß und Lang (3784, 37841, 37882 und 37869), sowie der Meßstelle 37689, die sich durch eine beträchtliche Untersättigung an Kalzit bei gleichzeitig hohen CO_2 -Partialdrucken auszeichnen. Diese Tatsache sollte auf fehlende oder nur untergeordnet vorhandene Karbonatkomponenten im Aquifer zurückzuführen sein, woraus sich eine gewisse Beziehung zu den erfahrungsgemäß kalkfreien Sedimenten der Ribsterrasse ableiten läßt.

Die Relationen der Wässer der Probenahmestelle 37861 weisen extrem starke Schwankungen sowohl bezüglich des CO_2 -Partialdruckes als auch des Sättigungsindices Kalzit auf, was auf die geringe Überdeckung des Grundwassers und die relativ hohe Amplitude der Grundwasserspiegelschwankung zurückzuführen sein dürfte. Die Meßstelle 37861 liegt in einer Trockenbaggerung westlich der Tillmitscher Teiche.

Aus den Analysenergebnissen der Proben für die Standardanalysen im westlichen Leibnitzer Feld zeigt sich eine deutliche Zonierung des Grundwassers hinsichtlich Herkunft und Grundwasserneubildung:

Die Wässer im Raum westlich Kleinjöß-Lang sind hydrochemisch klar von jenen der Würmterrasse zu trennen. Das Einzugsgebiet dieser Wässer ist sehr lokal, der Aquifer liegt in den kalkärmeren Schottern der Ribsterrasse. Die Analysen zeigen eine beträchtliche Untersättigung an Kalzit bei gleichzeitig hohen CO_2 -Partialdrucken, ein niedriges Ca : Mg-Verhältnis und eine geringe Gesamtmineralisierung.

Die Oberflächenwässer bzw. Wässer, die deutlich in Zusammenhang mit solchen stehen, zeichnen sich durch eine geringere Gesamtmineralisierung bei Ca : Mg-Verhältnissen um 4 : 1 aus. In Verbindung mit den berechneten Sättigungen lassen sich diese Wässer als übersättigt aufgrund von Karbonatausfällungen (CO_2 entweicht bei Oberflächenkontakt [Seen] in die Luft, Karbonatausfällung, geringere Mineralisierung) erkennen.

Eine ähnliche Kalzitübersättigung bei einem allerdings wesentlich höheren Ca : Mg-Verhältnis von mehr als 5 : 1 und einer hohen Gesamtmineralisierung weisen die Wässer der Meßstelle 3772 nördlich der Tillmitscher Teiche auf. Durch ständige Zufuhr von CO_2 aus der Bodenzone führt die weitere Lösung zu einer starken Übersättigung (Kalzit) und damit zu einer Erhöhung der Gesamtmineralisierung.

Die Wässer östlich der Schotterteiche sind weder kalzitüber- noch -untersättigt. Durch die Zufuhr von CO_2 aus der Bodenluft liegt der CO_2 -Partialdruck in den Probenahmestellen im zentralen Teil des Grundwasserfeldes beträchtlich über dem der Mur. Durch Zufuhr von CO_2 wird die Lösungsfähigkeit erhalten, so daß sich das Ca : Mg-Verhältnis von etwa 3 : 1 im Murwasser über etwa 4 : 1 im Brunnen Peterl und 5 : 1 im Brunnen Baumhackl bis zu 6 : 1

im Wasser der Probenahmestelle 3812 erhöht. Damit konform geht auch die Erhöhung der Gesamtmineralisierung der Wässer, erkennbar durch den deutlichen Zuwachs des HCO_3 -Gehaltes.

2.5.3.2. LF -, NO_3 -, SO_4 - und Cl -Untersuchungen

Von Juli 1989 bis Juni 1990 wurden im gesamten Leibnitzer Feld in vierwöchigem Rhythmus an 50 Probenahmestellen Wasserproben für die Analyse von Nitrat, Sulfat und Chlorid entnommen. Die Wassertemperatur und die elektrolytische Leitfähigkeit wurden im Gelände, der Gehalt an den genannten Ionen im hydrochemischen Labor des Institutes für Geothermie und Hydrogeologie bestimmt. Die Lage der Meßstellen ist in Karte 2.5 dargestellt. Die Kennwerte der hydrochemischen Dauerbeobachtung auf die Parameter elektrolytische Leitfähigkeit, NO_3 , SO_4 und Cl sind in Tab. 2.7 zusammengefaßt.

Da es aufgrund von technischen Schwierigkeiten (Brunnenüberflutung durch Hochwasser, Unzugänglichkeit von Meßstellen zu einigen Terminen etc.) nicht immer möglich war, das gesamte Probennahmeprogramm durchzuziehen, ergaben sich für die Auswertung schließlich 44 Meßstellen mit einer mindestens 10maligen Beprobung im genannten Zeitraum.

Im Bewußtsein, daß die Anzahl der Beprobungsstellen im Vergleich zur Größe des untersuchten Gebietes und auch das Zeitintervall der Beprobung wesentlich zu gering waren, um die flächenhafte Verteilung von Stoffkonzentrationen für das gesamte Leibnitzerfeld detailliert zu erfassen, soll nun trotzdem versucht werden, durch eine flächenhafte Darstellung der Verteilung der arithmetischen Mittel der Ionenkonzentrationen Gebiete auszuscheiden, die besondere Problemgebiete hinsichtlich der Belastung mit Schadstoffen (in erster Linie Nitrat) darstellen. Durch die Angabe der Schwankungsbreite der Stoffkonzentrationen um den Mittelwert durch die Darstellung von Linien gleicher Standardabweichung für den Beobachtungszeitraum soll die zeitliche Variabilität der Werte berücksichtigt werden. Diese Aussagen sind allerdings bedingt durch die Größe des Untersuchungsgebietes auch nur in diesem Maßstab zu werten.

Die elektrolytische Leitfähigkeit als Summenparameter für die Gesamtmineralisierung gibt erste Hinweise auf den hydrochemischen Habitus des seichtliegenden Grundwassers im Leibnitzer Feld. Die flächenhafte Verteilung als Mittelwert von 12 Proben in monatlichem Rhythmus sowie die zeitliche Variabilität der Werte (Standardabweichung) ist in Karte 2.12 dargestellt.

Tab. 2.7: Kennwerte der hydrochemischen Dauerbeobachtung auf die Parameter elektrolytische Leitfähigkeit ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), NO_3 (mg/l), SO_4 (mg/l) und Cl (mg/l). Lage der Beprobungspunkte siehe Karte 2.5.

Meß- stelle	el. LF.			NO_3			SO_4			Cl		
	Mini- mum	Mittel wert	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel wert	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel wert	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel wert	Maxi- mum
2	548	604	669	19.33	29.88	41.36	40.01	44.86	51.59	21.21	27.11	34.69
302	482	586	673	1.42	12.49	23.99	78.82	89.57	98.35	3.04	11.37	16.32
37771	473	510	548	2.81	8.28	22.14	38.14	44.73	83.77	14.94	21.45	28.88
3781	375	416	467	0.02	0.71	5.05	15.89	24.68	43.31	6.80	11.91	21.87
37812	505	527	551	18.68	32.43	42.43	31.09	34.66	37.21	37.09	40.99	47.89
37823	391	529	609	33.21	42.87	59.43	21.20	30.96	36.60	25.10	33.83	43.34
37826	554	744	830	4.81	11.10	19.38	15.86	23.28	28.52	1.42	5.57	13.80
3788	591	626	679	23.04	30.72	41.36	27.23	34.30	37.72	19.97	24.60	29.84
3789	380	404	462	26.87	35.24	41.08	22.81	29.84	35.89	16.03	18.57	20.58
37901	474	515	596	16.44	35.44	47.76	17.72	20.44	21.72	7.97	15.21	21.12
38011	515	561	707	0.05	1.06	4.22	16.44	22.69	26.77	11.77	13.72	15.84
38088	633	690	727	43.81	59.52	68.29	23.23	28.53	30.94	19.05	29.06	34.48
38125	660	732	772	40.62	51.91	58.43	15.68	21.71	24.35	33.71	45.13	59.19
38203	718	753	788	60.56	69.31	75.89	41.42	46.33	51.37	24.18	28.50	31.55
3831	517	561	630	106.26	134.05	159.36	22.07	25.89	28.34	36.52	47.20	62.54
3832	700	741	781	58.82	63.18	68.57	36.82	39.09	41.46	20.48	22.79	26.29
3835	746	791	819	41.65	46.47	54.01	27.15	29.79	32.32	73.44	81.32	88.56
Aflenz	611	637	656	67.51	74.98	82.23	36.70	39.68	42.15	24.79	27.10	30.82
Aug30	655	687	776	28.00	35.95	42.67	34.02	38.96	41.54	19.01	21.56	23.43
B 670	597	646	740	3.75	11.53	41.04	31.30	34.23	38.25	3.73	4.90	8.80
B 680	375	431	459	0.02	.021	1.19	24.52	26.23	28.24	11.49	13.52	16.70
B 739	331	401	520	0.10	9.46	28.17	28.91	35.74	42.73	10.49	21.24	35.02
B VI	798	839	871	95.18	102.80	112.04	37.08	38.93	41.58	31.53	33.77	38.95
B X	769	798	845	72.15	77.95	86.81	28.31	30.75	32.36	31.89	33.98	36.40
KN 3	700	747	771	65.79	72.28	79.27	33.38	35.47	38.57	27.23	29.76	34.34
Nord	448	503	660	0.51	1.52	3.05	20.78	29.00	36.37	15.56	18.60	23.17
Leitr.	715	765	792	68.07	73.75	78.81	33.90	35.98	38.78	27.84	31.35	38.61
N 3	879	907	975	80.42	106.99	133.08	35.41	44.05	48.98	24.85	29.20	32.50
OV 83	630	779	877	52.34	97.78	151.62	21.17	31.07	39.45	19.39	31.56	43.32
Ragn.	745	787	835	88.50	105.99	125.90	29.70	32.02	33.82	34.04	39.17	43.56
SO 16	607	730	803	36.62	60.90	73.48	31.40	38.28	44.83	12.67	23.24	31.08
SO 29	720	766	806	26.37	29.26	33.83	37.36	44.46	49.72	16.99	18.03	20.90
Vogau	568	635	702	29.73	44.62	57.47	41.84	44.46	49.52	22.59	28.43	37.50
WB 2	568	677	754	18.10	26.87	34.68	32.09	37.61	43.02	12.38	17.99	22.16
Wurz.	673	707	732	47.52	53.08	58.00	34.52	36.66	38.17	15.50	18.19	19.75
37861	416	490	576	56.16	74.67	94.54	27.22	29.31	31.87	29.48	31.74	33.75
37862	461	580	665	26.97	45.05	64.86	32.18	35.07	36.91	26.35	32.23	36.31
3812	719	804	912	60.45	67.12	78.24	33.25	58.50	84.46	21.11	27.04	33.69
Baum.	597	628	699	39.29	42.29	45.41	32.92	34.48	36.94	25.41	28.64	31.54
Kos 2	380	416	454	8.21	12.21	17.81	29.62	30.77	32.55	27.98	31.07	34.44
Peterl	540	625	723	14.38	24.50	37.27	32.67	34.90	36.94	20.30	24.11	27.07
See 2	365	413	449	6.03	11.92	16.43	29.10	31.57	34.85	28.71	31.99	33.90
See 3	337	375	399	4.52	6.51	8.86	30.80	34.40	37.76	33.37	37.54	41.58
Mur	256	334	453	4.58	7.73	15.66	22.69	30.34	44.08	7.33	13.39	27.91

Die höchsten gemessenen Leitfähigkeiten liegen einerseits im nordöstlichen Randbereich des Leibnitzer Feldes im Bereich der Würmterrasse, andererseits im zentralen Leibnitzer Feld und im Südteil im Raum Wagendorf. Niedrigere Leitfähigkeiten weisen einerseits die Talauereiche von Mur (Grallaauen, Haslacher Au) und Laßnitz/Sulm, andererseits der Bereich der Ribsterrasse im Raum Jöß auf.

Die größte Schwankungsbreite der elektrolytischen Leitfähigkeit liegt einerseits im N des Leibnitzer Feldes (Raum Stocking - Wildon und der Bereich der Terrassenkante), andererseits im Raum Landscha im südlichen Leibnitzer Feld. Hohe Schwankungen sind auch im Bereich der Tillmitscher Schotterteiche auffallend.

Die Nitratbelastung des Grundwassers im Leibnitzer Feld stellt für die Trinkwasserversorgung ein großes Problem dar. Die Nitratwerte sind nicht im gesamten Leibnitzer Feld hoch, aber vor allem in jenen Gebieten, die für eine Trinkwassergewinnung die besten Voraussetzungen liefern. Die flächenhafte Nitratbelastung des Grundwassers ist in Karte 2.13 dargestellt. Die Unterscheidung der einzelnen Klassen in der Darstellung orientiert sich bewußt nicht an den derzeit geltenden Trinkwassergrenzwerten sondern an einer Häufigkeitsverteilung der auftretenden Werte, da die Trinkwassergrenzwerte einerseits einer laufenden legislativen Änderung unterzogen sind, andererseits die Anzahl und Verteilung der Meßstellen keineswegs ausreicht, um wasserwirtschaftlich relevante Aussagen bezüglich der Nitratbelastung des Grundwassers für einzelne Teilbereiche im Leibnitzer Feld bzw. einzelne Brunnenstandorte treffen zu können. Für derartige Aussagen sind jedenfalls im Einzelfall Detailuntersuchungen notwendig, zumal lokale Einflußfaktoren zumeist das generelle Bild der Stoffverteilung extrem stark überprägen.

Neben der räumlichen ist auch die zeitliche Variabilität der Nitratkonzentrationen an den einzelnen Meßstellen im Jahresverlauf stark unterschiedlich. Das Auftreten der Extremwerte ist nicht an bestimmte Jahreszeiten gebunden, sondern von Meßstelle zu Meßstelle durchaus unterschiedlich, so daß der Standardabweichung als Maß für die Veränderlichkeit im Zeitraum der Dauerbeobachtung besondere Bedeutung für die Charakterisierung der Nitratmeßstellen zukommt.

Generell sind im gesamten Leibnitzer Feld überhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser zu beobachten.

In den Murauen zwischen Weissenegger Mühlkanal und Mur, den Laßnitz- und Sulmauen im westlichen Leibnitzer Feld und im Bereich der Tillmitscher Seen, die als Nitratfalle wirken, sowie im Aubereich der Mur im Raum Ehrenhausen liegt der Nitratmittelwert im Jahresverlauf unter 30 mg/l. Der Grund für diese geringere Nitratbelastung liegt einerseits sicherlich

in den geringeren anthropogenen Aktivitäten, andererseits auch im schnelleren Wasseraustausch infolge der geringmächtigen Grundwasserüberdeckung sowie in der kräftigen Interaktion des Grundwassers mit Wasser aus Oberflächengewässern. Im Bereich der Stauräume, in denen der Nitratgehalt teilweise unter die Nachweisgrenze absinkt, spielen sicherlich auch reduzierende Verhältnisse im Grundwasser eine Rolle, sind jedoch aufgrund fehlender Messungen von Sauerstoff- und Redoxpotential nicht nachgewiesen.

Der Hauptteil des Leibnitzer Feldes weist eine mittlere Nitratbelastung von 30 bis 70 mg/l, also bereits deutlich überhöhte Werte, auf. In diesem Bereich liegen die zentralen Wasserversorgungsanlagen des westlichen Leibnitzer Feldes und auch die Wasserversorgungsbrunnen des WVG Ehrenhausen. Auch der Bereich der Ribsterrasse bei Jöß weist eine Nitratkonzentration in dieser Größenordnung auf.

Deutliche Maxima mit Werten von über 70 mg/l und im Raum Wagendorf sogar über 110 mg/l im Jahresmittel zeigen die Bereiche am Nordostrand des Leibnitzer Feldes (Hauptterrasse zwischen Stocking und Ragnitz) und der Bereich Wagendorf und Wagna. Diese Bereiche sind landwirtschaftlich intensivst genutzt, in den Siedlungsgebieten ist allerdings auch die Abwasserentsorgung noch nicht vollständig und zufriedenstellend gelöst.

Die Standardabweichung der Nitratkonzentration im Jahresverlauf zeigt eine deutliche Übereinstimmung mit der Nitratbelastung, d.h. sie ist dort am höchsten, wo auch die Nitratbelastung am höchsten ist. Besonders hohe Konzentrationsschwankungen treten im Raum Wagendorf auf, wo zeitweise gering nitratbelastete Wässer aus den darunterliegenden Leithakalken das seichtliegende Grundwasser in unterschiedlicher Menge anreichern.

Die Sulfatwerte sind gegenüber dem natürlichen Background im gesamten Leibnitzer Feld im Jahresmittel erhöht und weisen auf eine anthropogene Beeinflussung hin. Von den untersuchten Wässern zeigen zwei zu allen Beprobungsterminen beträchtliche Erhöhungen. Dabei wurden Werte von 80 bis 100 mg/l an der Meßstelle 302, und über 80 mg/l an der Meßstelle 3812 ermittelt (Lage siehe Karte 2.5). Die Schwankungsbreite der Konzentrationen ist an die Absolutwerte gebunden und ist in den Bereichen mit den höchsten Werten größer als in den übrigen Bereichen.

Sieht man vom Raum Wagendorf ab, liegen im restlichen Untersuchungsgebiet die Chloridmittelwerte unter 50 mg/l und deuten damit bezüglich dieses Ions ebenfalls auf einen anthropogenen Einfluß hin.

Auffallend ist die gravierende Erhöhung der Chloridwerte im südlichsten Teil des Untersuchungsgebietes im Bereich Wagendorf/St. Veit, wobei eine deutliche Abnahme von Ost nach West, d.h. von der Helfbrunnerterrasse über die Wagendorferterrasse in die Würmterrasse vorhanden ist.

Die Schwankungsbreite der Chloridkonzentrationen ist sehr einheitlich, allerdings im Zentrum des Leibnitzer Feldes gegen die Randbereiche hin etwas erhöht. Höhere Schwankungsbreiten treten im Raum Landscha im südlichen Leibnitzer Feld auf, wo die Standardabweichung der Chloridkonzentration von S nach N zur Helfbrunner Terrasse hin auf über 8 mg/l ansteigt.

2.6. Nutzungen im Gebiet

Die Mur ist in ihrem gesamten Verlauf im Leibnitzer Feld durch eine Kette von Kraftwerken wasserwirtschaftlich genutzt. Bei ihrem Eintritt in das Leibnitzer Feld liegt der Stauraum des KW Lebring, das seit 1987 in modernisierter Form in Betrieb ist. Unterstrom schließt nahezu direkt der Stauraum des KW Gralla an. Daran anschließend befindet sich der Stau von Gabersdorf und Obervogau. Am südlichen Ende des Leibnitzer Feldes liegt beim Austritt der Mur aus dem Leibnitzer Feld das Kraftwerk Spielfeld. Im Bereich der Murauen fließt murparallel am linken Ufer der Weissenegger Mühlgang, der heute durch eine Serie von Kleinkraftwerken zur Stromerzeugung genutzt wird. Dieser mündet im Raum Gabersdorf in die Mur.

Der seichtliegende Grundwasserkörper des Leibnitzer Feldes dient als Trinkwasserreservoir für etwa 65 000 Personen, die aus kommunalen Brunnenanlagen versorgt werden. Zusätzlich existiert eine große Zahl von Einzelversorgungen, da die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung im gesamten Feld eher gering ist.

Die Lage der Versorgungsbrunnen und deren Schutz- und Schongebiete ist in Karte 2.14 dargestellt. Die Brunnen konzentrieren sich einerseits auf die Würmterrasse im nordöstlichen Leibnitzer Feld (Brunnen von Wildon und St. Georgen), andererseits auf die Niederterrasse des westlichen Leibnitzer Feldes, wo die Gemeindebrunnen von Lebring und die Brunnenanlagen von Kaindorf genutzt werden. Sowohl die Brunnenanlagen von St. Georgen a.d. Stiefing als auch die Versorgungsbrunnen von Kaindorf sind im Besitz der "Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges.m.b.H", die als Trinkwasserversorger überregionale Bedeutung hat. Im südlichen Leibnitzer Feld liegen die Versorgungsbrunnen des Wasserverbandes Ehrenhausen. Durch die großflächige Ausweisung von Schutz- und Schongebieten für die

kommunalen Versorgungsanlagen (siehe Karte 2.14) ist nahezu der gesamte Bereich der wasserhöflichen Würmterrasse in einer Schutzzone gelegen, was naturgemäß zu wirtschaftlichen Konflikten mit anderen Nutzungsformen in diesem Bereich führt (Schottergewinnung, Landwirtschaft, Industrie etc.).

Aus den kommunalen Versorgungsbrunnen des Leibnitzer Feldes werden im Jahresschnitt etwa 100 bis 110 l/s entnommen. Davon entfallen auf das nordöstliche und das südliche Leibnitzer Feld je etwa 15 %, die restlichen 70 % werden aus den Brunnen im westlichen Leibnitzer Feld entnommen.

Seit Beginn der 80-er Jahre ist durch die Ausweitung der Versorgungsnetze bis etwa 1985/86 eine deutliche Steigerung der Wasserentnahmen zu verzeichnen. Allein die Wasserentnahmen durch den damaligen Wasserverband Leibnitzer Feld stiegen in diesem Zeitraum von etwas mehr als 30 auf über 60 l/s an. Seit Mitte der 80er Jahre ist die Wasserentnahme aus den kommunalen Versorgungseinrichtungen stagnierend bis leicht rückläufig, was auch im Zusammenhang mit der Nitratproblematik und der Schließung des Brunnens St. Georgen B VI zu sehen ist. Durch diese zeitlich befristete Stilllegung aufgrund der Grenzwertüberschreitungen der Nitratkonzentration wurde die Belastung des Grundwasserkörpers verstärkt auf das westliche Leibnitzer Feld verlagert, zumal in diesem Bereich auch noch die Gemeinbrunnen von Lebring/St. Margarethen sowie mehrere kleinere kommunale Versorgungsanlagen liegen.

Der Jahresgang der Grundwasserentnahmen hat sein Maximum in den Spätfrühlings- und Sommermonaten, die geringsten Mengen werden im Winter gefördert. Die Differenz zwischen der Förderung in den Wintermonaten zu den Spitzenmonaten im Sommer beträgt in etwa 30 l/s, in Abhängigkeit von den jeweils herrschenden meteorologischen Rahmenbedingungen.

3. HYDROLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG DES GEBIETES

3.1. Darstellung und Diskussion von ausgewählten Meßstellen

Wie in den vorigen Kapiteln bereits ausgeführt, treten uns im Leibnitzer Feld im Bereich des quartären Grundwasserleiters unterschiedliche hydrogeologische Einheiten entgegen, deren unterschiedliche Ausprägung die Dynamik des Grundwasserkörpers charakteristisch beeinflussen. Es wird nun versucht, diesen verschiedenen hydrologisch-hydrogeologischen Einheiten langfristig und kontinuierlich beobachtete Grundwassermeßstellen zuzuordnen und die Ganglinien dieser Pegel als Typusganglinien zu charakterisieren.

Zur Charakterisierung der Ganglinien der ausgewählten Meßstellen werden folgende Parameter, die für alle Meßstellen auch graphisch und tabellarisch dargestellt werden, herangezogen:

- Die Grundwasserganglinie über den gesamten Beobachtungszeitraum (1966 bis 1991) mit ihren statistischen Kennzahlen, den Jahresmittelwerten für die einzelnen Beobachtungsjahre und dem Trend des Grundwasserspiegels im Beobachtungszeitraum.
- Die mittlere Jahresgrundwasserganglinie aus dem Beobachtungszeitraum. Die Ermittlung dieser Ganglinie wurde in Kap. 2.4.3.1 beschrieben. Zusätzlich zur mittleren Jahresgrundwasserganglinie und den theoretischen Extremganglinien wurde auch die Jahresganglinie des Jahres 1990 dargestellt, um den Dauerbeobachtungszeitraum für das Grundwassermodell Leibnitzer Feld in die langfristige Entwicklung an der einzelnen Meßstelle einordnen zu können.
- Die mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie in Tagen aus dem Beobachtungszeitraum. Zusätzlich zur mittleren Dauerlinie ist auch die Umhüllende aus den Dauerlinien der Einzeljahre dargestellt. Aus den wöchentlichen Beobachtungen des Grundwasserspiegels wurden mittels der Akima-Splineinterpolation Tagesmittel des Grundwasserstandes ermittelt und die Tagesmittel der einzelnen Jahre nach der absoluten Spiegelhöhe sortiert absteigend über einer Jahresskala (Tage eines Jahres) aufgetragen. Die Hüllkurve über diese einzelnen Jahresdauerlinien wurde dargestellt. Die mittlere Dauerlinie entsteht durch arithmetische Mittelung der Dauerzahlen der zur Mittelbildung herangezogenen Dauerlinien über den gesamten Bereich, in dem Merkmalswerte aufgetreten sind.

Im gesamten Leibnitzer Feld sind derzeit 109 Grundwassermeßstellen in kontinuierlicher, regelmäßiger und zumindest einmal wöchentlicher Beobachtung durch den Hydrographischen Dienst des Landes Steiermark. Diese Meßstellen sind mehr oder minder regelmäßig über die Aubereiche von Mur, Laßnitz und Sulm, die Würmterrasse im südlichen und westlichen Leibnitzer Feld, die Reißterrasse im Raum Jöb und die Würmterrasse im nordöstlichen Leibnitzer Feld, die sich aufgrund der Genese (Einfluß des unterirdischen Stiefingschwemmfächers und Abschwemmungen aus dem Bereich des tertiären Hügellandes) deutlich von jener im westlichen und südlichen Leibnitzer Feld unterscheidet, verteilt.

Als charakteristisch für die Grundwasserdynamik der Würmterrasse im nordöstlichen Leibnitzer Feld wird die Ganglinie der Meßstelle 3765 (Lage siehe Karte 2.5) in Tab. 3.1 und in Abb. 3.1 dargestellt.

Tab. 3.1: Meßstelle 3765; Kennwerte der Ganglinien; Minima = theoretische Niedrigwasserganglinie aus den niedrigsten Grundwasserständen jeden Tages, Mittelwerte = mittlere Jahresgrundwasserganglinie, Maxima = theoretische Hochwasserganglinie aus den höchsten Grundwasserständen jeden Tages.

3765	GW-Ganglinie	Jahresganglinie		
	1966-1991	Minima	Mittelwerte	Maxima
Minimum [m Sh]	287.56	287.56	288.26	288.94
Mittelwert [m Sh]	288.47	287.70	288.43	289.41
Maximum [m Sh]	290.38	287.90	288.55	290.40
Schwankung [m]	2.82	0.34	0.29	1.46
Pegelweg [m]	70.12	0.88	1.09	5.89
Standardabweichung [m]	0.48287	0.08796	0.07276	0.35956

Die Ganglinie der Meßstelle 3765 erscheint in ihrem Gesamtbild sehr ruhig und weist meist einen deutlichen Jahresgang auf, der aber nicht durch jährliche, gleichzeitig auftretende, Extremwerte charakterisierbar ist. Die Steuerung erfolgt durch die Niederschläge auf der Schotterterrasse und durch den Einfluß von Oberflächengewässern, die Wasser in den Terrassenkörper abgeben. Der Einfluß der Oberflächengerinne erfolgt indirekt über die ungesättigte Zone, da diese in diesem Bereich nicht direkt mit dem Grundwasser kommunizieren. Der niedrigste Grundwasserstand wurde am 13.2.1978 mit 287.56 m, der höchste am 20.7.1972 mit 290.38 m gemessen, was aus den Aufzeichnungen der letzten 26 Jahre einer Grundwasserspiegelschwankung von 2.82 m entspricht. Der mittlere Grundwasserspiegel liegt bei 288.47 m, entsprechend einer mittleren Grundwasserüberdeckung von 6.73 m. Das niedrigste Jahresmittel des Grundwasserstandes wurde 1968 (287.94 m), das höchste 1972 (289.09 m) registriert.

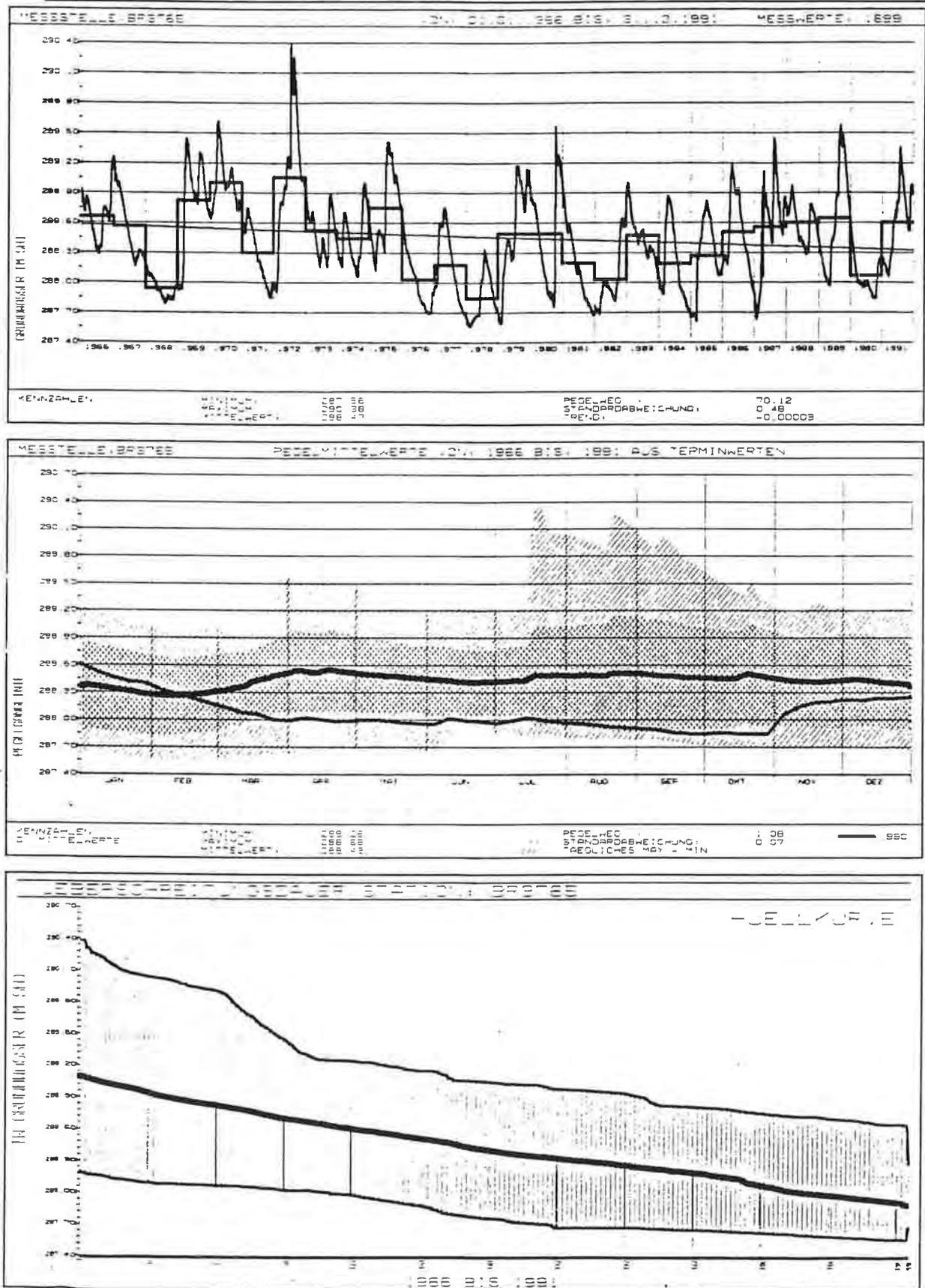


Abb. 3.1: Meßstelle 3765; Ganglinie 1966 bis 1991 mit Jahresmittelwerten und Grundwassertrend, mittlere Grundwasserjahresganglinie mit Extremwerten und der Jahresganglinie 1990, mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie 1966 bis 1991.

Der Trend des Grundwasserspiegels an dieser Meßstelle ist in den letzten 26 Jahren leicht fallend (ca. 0.01 m/Jahr).

Die mittlere Jahresgrundwasserganglinie weist nur eine geringe Schwankungsbreite (0.29 m) ohne deutlich ausgeprägte Extremwerte auf. Das Maximum wird im April als Folge der lokalen Schneeschmelze bzw. in den Sommermonaten als Folge der Sommerniederschläge erreicht, das Minimum im Hochwinter (Februar) durch die fehlende Grundwasserneubildung bei gefrorenem Boden bzw. Schneedecke. Die Extremwerte der Jahresganglinie liegen breit um die mittlere Jahresganglinie verteilt. Die Bedeutung der Sommerniederschläge für die Grundwasserganglinie an dieser Meßstelle wird auch durch die Erhöhung der Standardabweichung aus den einzelnen Tageswerten in den Sommermonaten (Mitte Juli bis Ende Oktober) dokumentiert. Die Grundwasserganglinie des Jahres 1990 ist durch einen langandauernden Rückgang von Jahresbeginn an bis Ende Oktober gekennzeichnet. Kurzfristige Anstiege in den Sommermonaten sind in diesem Jahr von nur äußerst untergeordneter Bedeutung. Die Herbstniederschläge im Oktober bewirken einen entscheidenden Anstieg des Grundwasserspiegels um mehr als 0.3 m. Insgesamt liegt der Spiegel 1990 aber sehr tief.

Die mittlere Überschreitungsdauerlinie ist außerordentlich einförmig ausgebildet und weist das gesamte Jahr über ein einheitliches Gefälle auf. Der langjährige mittlere Grundwasserstand wird im Mittel an 148 Tagen im Jahr überschritten, das Maximum der mittleren Grundwasserjahresganglinie immerhin noch an etwa 140 Tagen, das Minimum an 245 Tagen im Jahr. Die Umhüllende der maximalen Überschreitungen weist aufgrund der Bedeutung der sommerlichen Grundwasserhöchststände für die Dauer von etwa 100 Tagen im Jahr deutlich überhöhte Werte mit einem wesentlich steileren Gefälle auf.

Zum tertiären Hügelland im E hin nehmen die Grundwasserganglinien aufgrund der mächtigeren Überdeckung, der geringeren Mächtigkeit des Aquifers und der höheren Schluffanteile im bindigeren Boden (verringerte Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag über die Infiltration durch den Boden) einen immer ausgeglicheneren Charakter an. Die Form der Grundwasserganglinien ähnelt sehr stark jenen auf der älteren und daher wesentlich stärker aufbereiteten Rißterrasse im westlichen Leibnitzer Feld. Als Typusganglinie wird deshalb für beide Bereiche die Ganglinie der Meßstelle 3776 in Jöß im westlichen Leibnitzer Feld graphisch in Abb. 3.2 charakterisiert, die Kennwerte sind in Tab. 3.2 dargestellt.

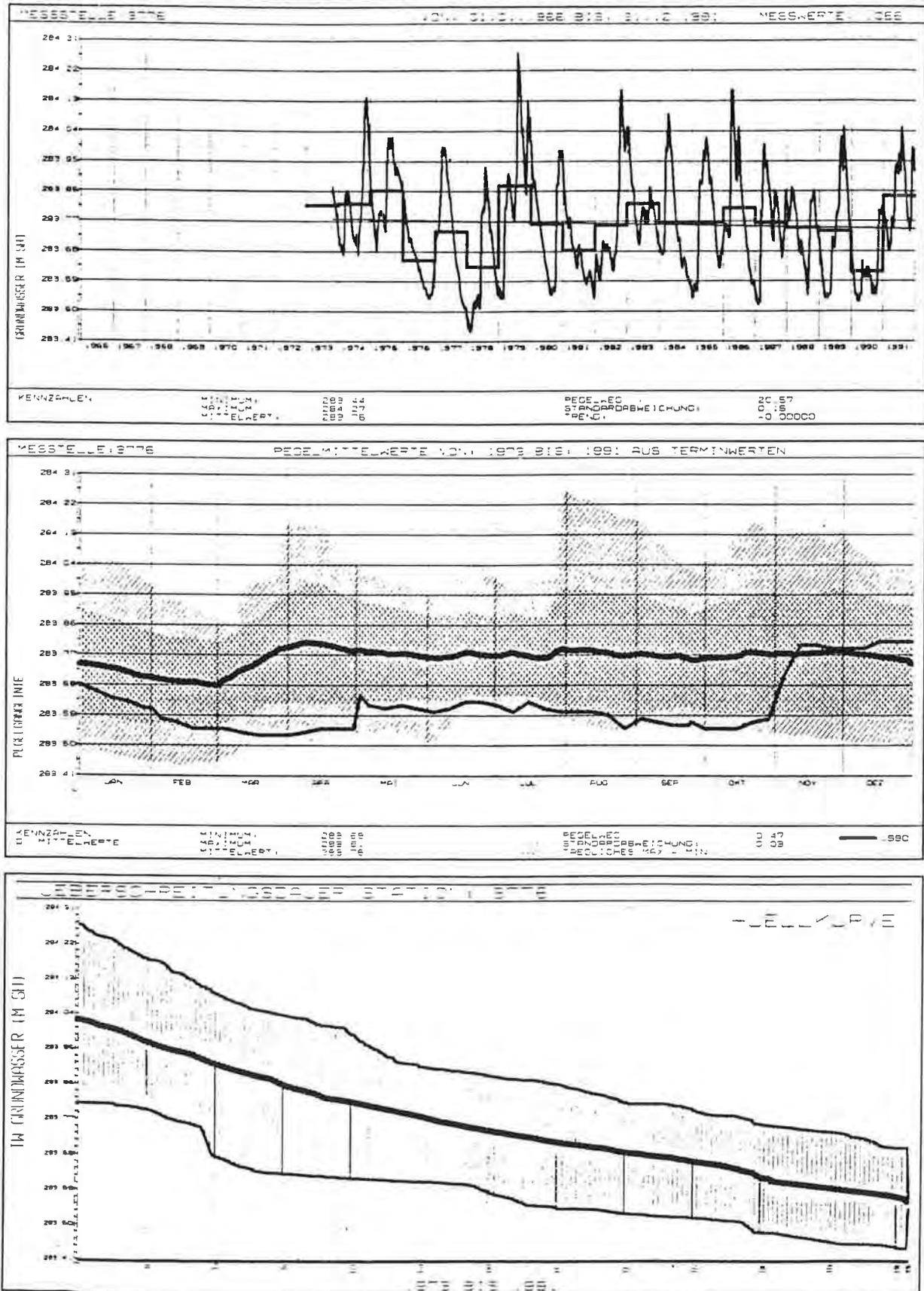


Abb. 3.2: Meßstelle 3776; Ganglinie 1974 bis 1991 mit Jahresmittelwerten und Grundwassertrend, mittlere Grundwasserjahresganglinie mit Extremwerten und der Jahresganglinie 1990, mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie 1974 bis 1991.

Tab. 3.2: Meßstelle 3776; Kennwerte der Ganglinien; Minima = theoretische Niedrigwasserganglinie aus den niedrigsten Grundwasserständen jeden Tages, Mittelwerte = mittlere Jahresgrundwasserganglinie, Maxima = theoretische Hochwasserganglinie aus den höchsten Grundwasserständen jeden Tages.

3776	GW-Ganglinie	Jahresganglinie		
	1966-1991	Minima	Mittelwerte	Maxima
Minimum [m Sh]	283.44	283.44	283.68	283.87
Mittelwert [m Sh]	283.76	283.53	283.76	284.06
Maximum [m Sh]	284.27	283.63	283.81	284.27
Schwankung [m]	0.83	0.19	0.13	0.40
Pegelweg [m]	20.57	0.61	0.46	1.91
Standardabweichung [m]	0.15329	0.04652	0.02967	0.09102

An der Meßstelle 3776 existiert eine kontinuierliche und regelmäßige Beobachtung seit November 1973. Die Ganglinie wirkt bei geringem Schwankungsverhalten sehr ausgeglichen und regelmäßig. Ein deutlicher Jahresgang, der durch die Grundwasseranreicherung über die Infiltration der Niederschläge gesteuert wird, ist erkennbar. Üblicherweise liegen die jährlichen Höchststände in den Frühjahrsmonaten März oder April, es treten allerdings auch Maxima in den Sommer- bzw. Herbstmonaten auf. Der absolut niedrigste Grundwasserstand, der bisher an diesem Pegel gemessen wurde, lag am 13.2.1978 bei 283.44 m, der höchste wurde am 30.7.1979 mit 284.27 m registriert. Die Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels aus den letzten 17 Jahren liegt bei nur 0.83 m. Bei Mittelwasserstand (283.76 m) liegt die Grundwasserüberdeckung bei 10.67 m. Das niedrigste Jahresmittel wurde 1990 mit 283.62 m, das höchste 1979 mit 283.88 m errechnet. Der langjährige Trend des Grundwasserspiegels an dieser Meßstelle ist leicht fallend (etwa 0.002 m/Jahr).

Die mittlere Grundwasserjahresganglinie ist durch eine sehr geringe Schwankungsbreite von nur 0.13 m gekennzeichnet. Das Minimum wird Ende Februar aufgrund fehlender Grundwasserneubildung, das Maximum im April aufgrund der lokalen Schneeschmelze bzw. der erhöhten Grundwasserneubildung aufgrund der Frühjahrsniederschläge erreicht. In den Sommer- und Herbstmonaten (Mai bis November) verläuft die mittlere Jahresganglinie immer auf nahezu gleicher Höhe, um erst im Dezember zu sinken zu beginnen. Die absolut höchsten jährlichen Grundwasserstände werden aufgrund von Gewitterregen Ende Juli erreicht, sie liegen aber nur unbedeutend über den Maximalwerten von Frühjahr und Herbst. Die absolute Niedrigwasserganglinie weist im Juni einen deutlichen Sprung nach oben auf, ansonsten verläuft sie sehr homogen nahezu parallel zur mittleren Jahresgrundwasserganglinie. Das Jahr 1990 war durch extreme Grundwassertiefstände charakterisiert. In den Monaten März und April sowie von Mitte Juni bis Mitte Oktober ist die Ganglinie des Jahres 1990 die

niedrigste innerhalb des Beobachtungszeitraumes. Die Frühjahrsniederschläge Ende April bewirken einen kurzzeitigen Anstieg der Ganglinie, die bis zu den Herbstniederschlägen Ende Oktober weit unter der mittleren Grundwasserjahresganglinie verbleibt. Diese Herbstregenfälle führen zu einem starken Anstieg (> 0.2 m), so daß die Ganglinie von 1990 ab Anfang November knapp ober der mittleren Jahresgrundwasserganglinie verläuft.

Die mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie verläuft sehr ausgeglichen mit gleichem Gefälle über nahezu das gesamte Jahr in der Mitte eines homogenen Bereiches, der durch die Hüllkurve der Einzeljahresüberschreitungsdauerlinien markiert wird. Der mittlere Grundwasserstand wird im Mittel an 177 Tagen im Jahr überschritten, das Minimum der mittleren Jahresgrundwasserganglinie an 255 Tagen, das Maximum an 125 Tagen im Jahr.

In jenen Bereichen, in denen die Mur das Grundwasser alimentiert, zeigen die betroffenen Meßstellen einen typischen von der Ganglinie der Mur geprägten Verlauf. Ein typisches Beispiel dafür ist die Ganglinie der Meßstelle 3778, die in Tab. 3.3 und in Abb. 3.3 dokumentiert wird.

Tab. 3.3: Meßstelle 3778; Kennwerte der Ganglinien; Minima = theoretische Niedrigwasserganglinie aus den niedrigsten Grundwasserständen jeden Tages, Mittelwerte = mittlere Jahresgrundwasserganglinie, Maxima = theoretische Hochwasserganglinie aus den höchsten Grundwasserständen jeden Tages.

3778	GW-Ganglinie	Jahresganglinie		
	1966-1991	Minima	Mittelwerte	Maxima
Minimum [m Sh]	279.83	279.83	280.37	280.86
Mittelwert [m Sh]	280.69	280.15	280.68	281.43
Maximum [m Sh]	282.15	280.46	280.96	282.15
Schwankung [m]	2.32	0.63	0.59	1.29
Pegelweg [m]	87.67	1.94	1.38	5.95
Standardabweichung [m]	0.35990	0.19341	0.18455	0.29257

Aufgrund der Kommunikation des Vorfluters mit dem Grundwasser und der Anreicherung des Grundwassers durch die Mur zeigt die Ganglinie der Meßstelle 3778 in den Einzeljahren nur relativ geringe Unterschiede im Schwankungsverhalten. Die jährliche Ganglinie ist charakterisierbar durch jährlich wiederkehrende Hochwasserstände im Mai bzw. Juni entsprechend der durch die Schneeschmelze in höheren Regionen Hochwasser führenden Mur. Die Ganglinie selbst wirkt aufgrund der Dämpfung durch den Transport des Wassers im Aquifer relativ homogen.

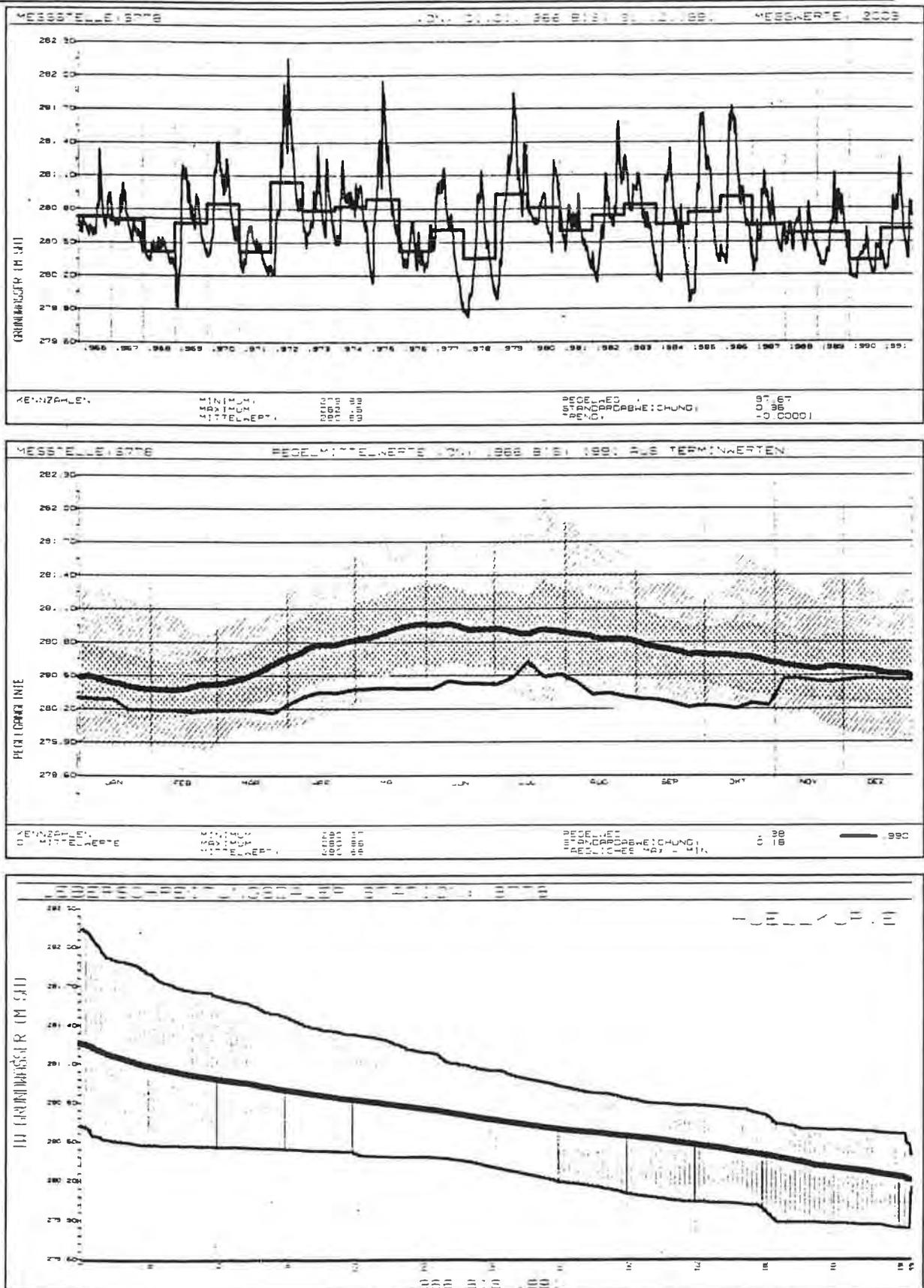


Abb. 3.3: Meßstelle 3778; Ganglinie 1966 bis 1991 mit Jahresmittelwerten und Grundwassertrend, mittlere Grundwasserjahresganglinie mit Extremwerten und der Jahresganglinie 1990, mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie 1966 bis 1991.

Der niedrigste Grundwasserstand aus der Reihe 1966 bis 1991 wurde am 20.2.1978 mit 279.83 m, der höchste am 20.7.1972 mit 282.15 m gemessen. Dies entspricht einer langfristigen Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels von 2.32 m. Der langfristige mittlere Grundwasserstand liegt bei 280.68 m, entsprechend einer Grundwasserüberdeckung von 2.83 m. Das niedrigste Jahresmittel wurde 1990 mit 280.33 m, das höchste 1972 mit 281.09 m berechnet. Der Trend des Grundwasserspiegels an dieser Meßstelle ist leicht fallend (etwa 0.002 m/Jahr).

Die mittlere Grundwasserjahresganglinie weist einen sehr homogenen Verlauf mit einer deutlich ausgeprägten sinusförmigen Schwingung über das gesamte Jahr, typisch für einen nahe liegenden Vorfluter mit großem und hochgelegenen Einzugsgebiet, auf. Das Maximum der mittleren Grundwasserjahresganglinie liegt als breiter Rücken Ende Mai/Anfang Juni, wenn die Schneeschmelze in den hohen Einzugsgebietsbereichen der Mur aktiv ist. Das Minimum wird zum Zeitpunkt der Niederwasserführung der Mur im Hochwinter erreicht. Im Gegensatz zu den übrigen bisher besprochenen Meßstellen bilden auch die Ganglinien des absoluten Minimums und des absoluten Maximums diesen Verlauf der mittleren Jahresganglinie nach. In den Einzeljahren sind die Abweichungen von der Typusganglinie relativ gering, kenntlich am ziemlich einförmigen Verlauf der täglichen Standardabweichung. Die Ganglinie des Jahres 1990 ist in den niedrigsten je gemessenen Grundwasserständen angesiedelt. Sie bildet in der Zeit von Mai bis Oktober den niedrigsten je gemessenen Verlauf, unterbrochen nur von einem leichten Anstieg im Juli. Erst die Herbstniederschläge Ende Oktober führen die Jahresganglinie 1990 wieder nahe an die mittlere Jahresgrundwasserganglinie heran.

Die mittlere Überschreitungsdauerlinie ist in sich zwar sehr homogen, weist aber, entsprechend dem Einfluß eines Oberflächengewässers einen steileren Verlauf in den Hoch- und Niederwasserständen auf. Der langfristige mittlere Grundwasserstand wird im Mittel an 165 Tagen, der Maximalwert der mittleren Jahresgrundwasserganglinie nur an 65 Tagen und der Minimalwert an etwa 315 Tagen im Jahr überschritten.

Von der Charakteristik der Ganglinien her völlig anders gelagert ist die Meßstelle 38203, die im direkten Einflußbereich der Sulm liegt, da die Sulm ein wesentlich anders geartetes Einzugsgebiet entwässert als die Mur. Die Charakteristik dieser Meßstelle wird in Abb. 3.4 graphisch dokumentiert, die Kennwerte sind aus Tab. 3.4 zu entnehmen.

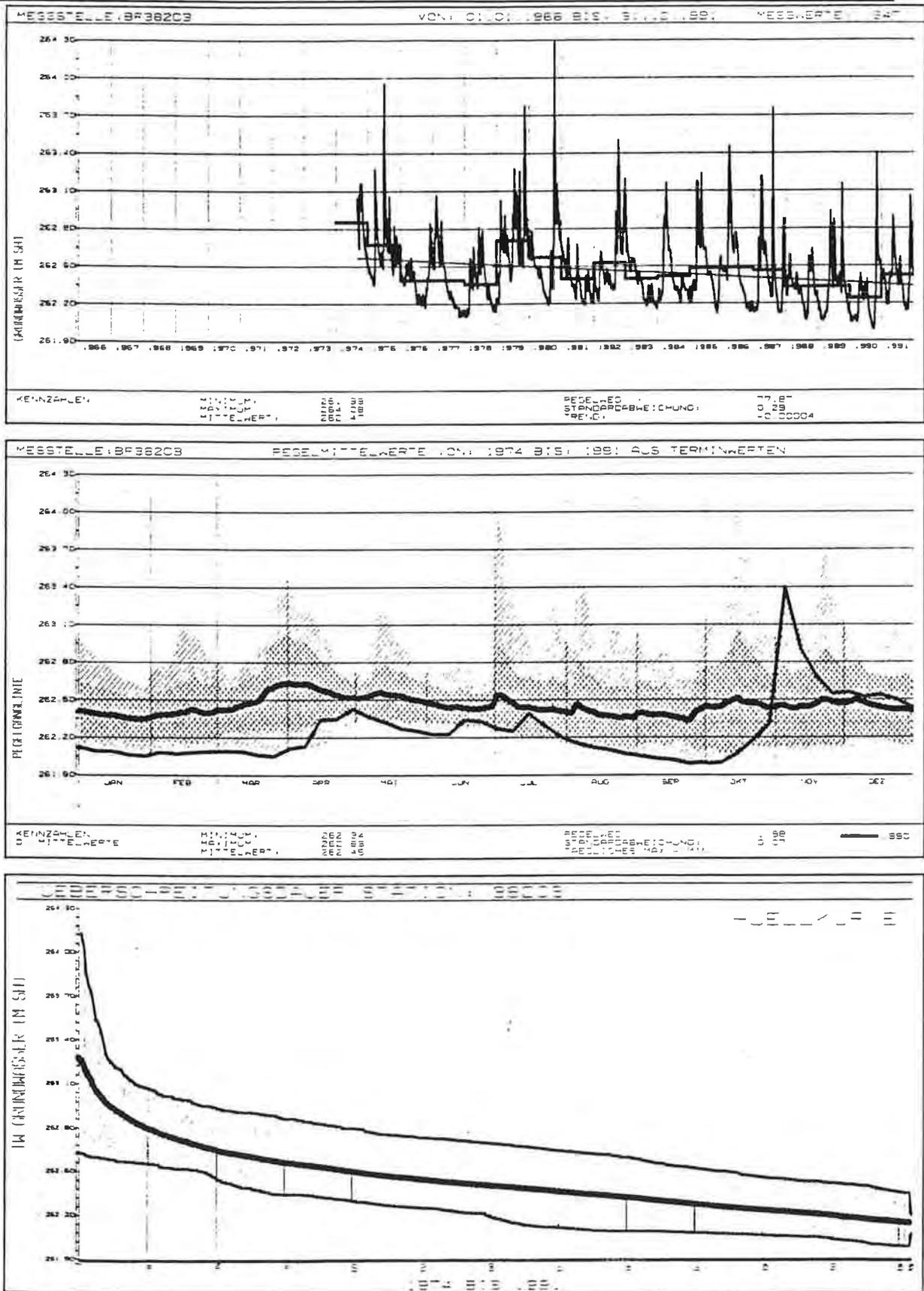


Abb. 3.4: Meßstelle 38203; Ganglinie 1974 bis 1991 mit Jahresmittelwerten und Grundwassertrend, mittlere Grundwasserjahresganglinie mit Extremwerten und der Jahresganglinie 1990, mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie 1974 bis 1991.

Tab. 3.4: Meßstelle 38203; Kennwerte der Ganglinien; Minima = theoretische Niedrigwasserganglinie aus den niedrigsten Grundwasserständen jeden Tages, Mittelwerte = mittlere Jahresgrundwasserganglinie, Maxima = theoretische Hochwasserganglinie aus den höchsten Grundwasserständen jeden Tages.

38203	GW-Ganglinie	Jahresganglinie		
	1974-1991	Minima	Mittelwerte	Maxima
Minimum [m Sh]	261.99	261.99	262.33	262.60
Mittelwert [m Sh]	262.47	262.13	262.45	263.03
Maximum [m Sh]	264.28	262.35	262.63	264.28
Schwankung [m]	2.29	0.36	0.30	1.68
Pegelweg [m]	77.87	1.42	1.88	16.70
Standardabweichung [m]	0.28676	0.08883	0.06963	0.28919

Die Ganglinie der Grundwassermeßstelle 38203, die seit 1975 in regelmäßiger und kontinuierlicher Beobachtung steht, ist durch den direkten Einfluß der Sulm geprägt, der sich in relativ kurzen, aber intensiven Hochwasserspitzen, typisch für das kristalline Einzugsgebiet der Sulm, äußert. Die Ganglinie wirkt insgesamt äußerst unruhig.

Der niedrigste Grundwasserstand wurde am 2.10.1990 mit 261.99 m gemessen, der höchste am 14.10.1980 mit 264.28 m. Die Grundwasserspiegelschwankung beträgt demnach im 16jährigen Beobachtungszeitraum 2.29 m. Die Grundwasserüberdeckung bei mittlerem Grundwasserstand (262.47 m) beträgt 2.72 m. Das höchste Jahresmittel des Grundwasserstandes wurde im Jahr 1979 mit 262.70 m, das niedrigste im Jahr 1990 mit 262.25 m registriert. Der Trend des Grundwasserspiegels an dieser Meßstelle ist mit ca. 0.01 m/Jahr relativ stark fallend.

Die mittlere Jahresgrundwasserganglinie zeigt wegen der Beeinflussung durch die Sulm einen sehr inhomogenen Verlauf ohne ausgeprägte Maxima und Minima. Der niedrigste Stand der mittleren Jahresgrundwasserganglinie wird mit 262.33 m im September, der höchste mit 262.63 m Ende März erreicht. Die mögliche Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels in den Einzeljahren ist relativ gering, aber vor allem die Ganglinie der theoretischen Maxima ist äußerst inhomogen und durch kurzfristig auftretende Hochwasserspitzen gekennzeichnet. Für Meßstellen dieses Typus, die sehr direkt von einem Oberflächengerinne gesteuert werden, erscheint das derzeitige wöchentliche Beobachtungsintervall zu groß, die Einrichtung von kontinuierlich registrierenden Meßstationen gerade in diesen Bereichen erscheint wünschenswert. Gerade die Ganglinie des Grundwasserspiegels im Jahre 1990 bestätigt die Inhomogenität des Verlaufes an dieser Meßstelle. Während im größten Teil dieses Jahres die Jahresganglinie die tiefsten Werte des gesamten Beobachtungszeitraumes erreichte (Jänner bis Mitte Oktober), steigt sie durch die Herbstniederschläge Ende Oktober/Anfang November derart

signifikant an, daß sie für den Bereich der ersten Novemberhälfte die höchsten jemals gemessenen Wasserstände darstellt.

Die Beeinflussung durch einen Fluß dokumentiert auch die mittlere Überschreitungsdauerlinie, wobei die kurzfristig auftretenden Hochwasserspitzen eine deutliche Versteilung der mittleren und auch der maximalen Dauerlinie in den Hochwasserwerten (für die Dauer von etwa 60 Tagen im Jahr) bewirken. Der mittlere Grundwasserstand wird im Mittel an ca. 175 Tagen im Jahr überschritten, der Höchstwert der mittleren Jahresgrundwasserganglinie nur an etwa 70 Tagen im Jahr und der niedrigste Wert an 245 Tagen.

Von größter Bedeutung für die Trinkwassergewinnung im Leibnitzer Feld ist der Schotterkörper der Würmterrasse im westlichen und südlichen Leibnitzer Feld. Als Typusmeßstelle wird in Tab. 3.5 und graphisch in Abb. 3.5 die Ganglinie der Meßstelle 3806 beschrieben.

Tab. 3.5: Meßstelle 3806; Kennwerte der Ganglinien; Minima = theoretische Niedrigwasserganglinie aus den niedrigsten Grundwasserständen jeden Tages, Mittelwerte = mittlere Jahresgrundwasserganglinie, Maxima = theoretische Hochwasserganglinie aus den höchsten Grundwasserständen jeden Tages.

3806	GW-Ganglinie	Jahresganglinie		
	1966-1991	Minima	Mittelwerte	Maxima
Minimum [m Sh]	271.37	271.37	271.83	272.12
Mittelwert [m Sh]	271.94	271.55	271.93	272.43
Maximum [m Sh]	272.88	271.69	272.05	272.89
Schwankung [m]	1.51	0.32	0.22	0.77
Pegelweg [m]	46.05	0.82	0.70	3.65
Standardabweichung [m]	0.23675	0.08945	0.05233	0.18106

Die Ganglinie der Meßstelle 3806 erscheint in ihrem Gesamtbild sehr ruhig und weist meist einen deutlichen Jahresgang auf, der aber nicht durch jährliche, gleichzeitig auftretende Extremwerte charakterisierbar ist. Die Steuerung erfolgt nahezu ausschließlich durch die Niederschläge auf der Schotterterrasse.

Der niedrigste Grundwasserstand wurde am 20.2.1978 mit 271.37 m, der höchste am 24.8.1972 mit 272.88 m gemessen, was aus den Aufzeichnungen der letzten 26 Jahre einer Grundwasserspiegelschwankung von 1.51 m entspricht. Der mittlere Grundwasserspiegel liegt bei 271.93 m, entsprechend einer mittleren Grundwasserüberdeckung von 4.23 m.

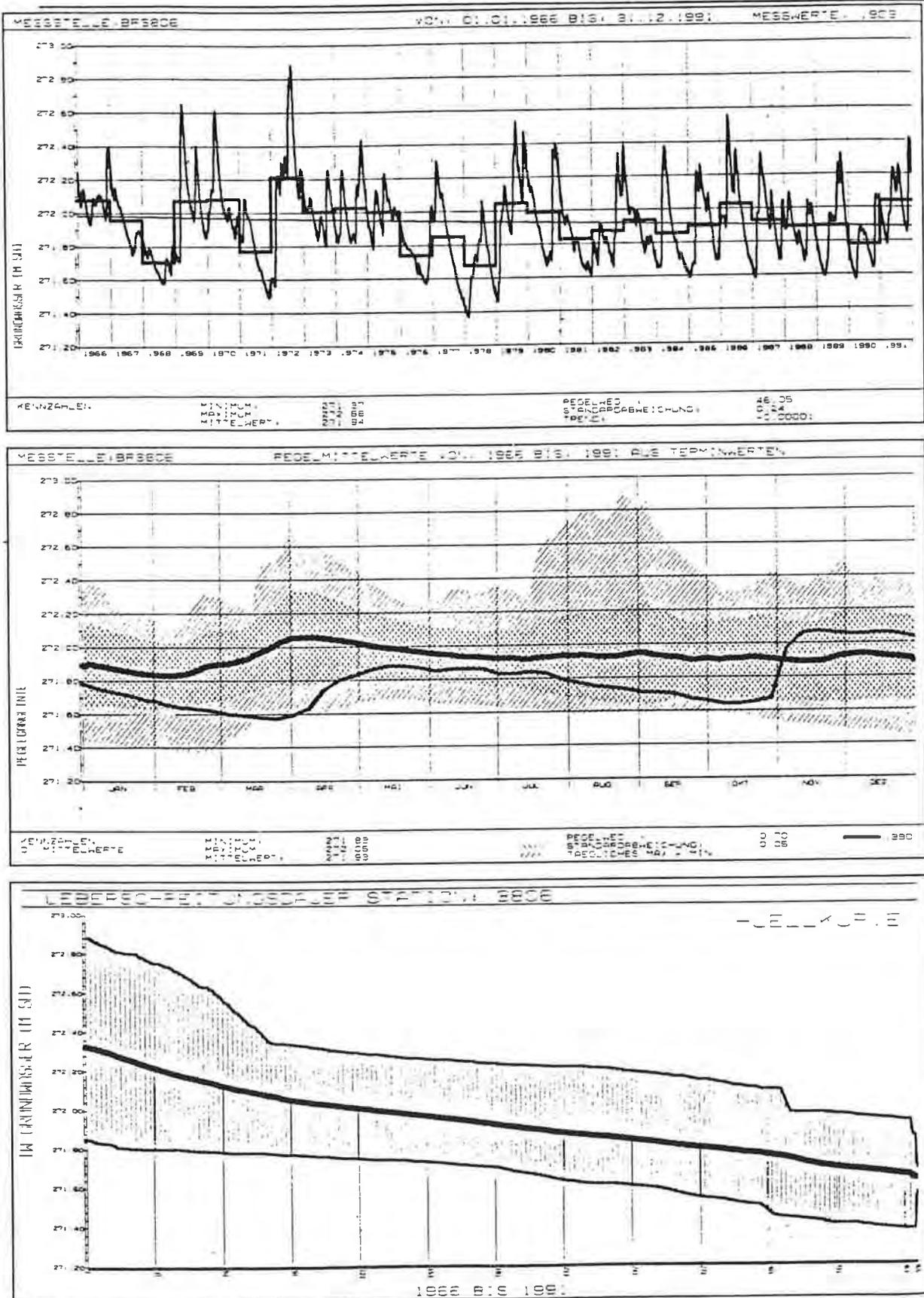


Abb. 3.5: Meßstelle 3806; Ganglinie 1966 bis 1991 mit Jahresmittelwerten und Grundwassertrend, mittlere Grundwasserjahresganglinie mit Extremwerten und der Jahresganglinie 1990, mittlere Grundwasserüberschreitungsdauerlinie 1966 bis 1991.

Das niedrigste Jahresmittel des Grundwasserstandes wurde 1978 (271.67 m), das höchste 1972 (272.23 m) registriert. Der Trend des Grundwasserspiegels an dieser Meßstelle ist in den letzten 26 Jahren leicht fallend (ca. 0.003 m/Jahr).

Die mittlere Jahresgrundwasserganglinie weist nur eine geringe Schwankungsbreite (0.22 m) ohne deutlich ausgeprägte Extremwerte auf. Das Maximum wird im April als Folge der lokalen Schneeschmelze erreicht, das Minimum im Hochwinter (Februar) durch die fehlende Grundwasserneubildung bei gefrorenem Boden bzw. Schneedecke. Die Extremwerte der Jahresganglinie liegen breit um die mittlere Jahresganglinie verteilt. Im Gegensatz zur mittleren Jahresgrundwasserganglinie auf der Würmterrasse im nordöstlichen Leibnitzer Feld fehlt der, auch durch die Sommerhochwässer von Oberflächengewässern hervorgerufene Input in das Grundwasser, und die dadurch hervorgerufene charakteristische Erhöhung der mittleren Jahresgrundwasserganglinie in den Sommermonaten. Die Grundwasserganglinie des Jahres 1990 ist durch einen Rückgang von Jahresbeginn bis Ende März und einen darauffolgenden Anstieg bis zu einem ersten Maximum im Mai gekennzeichnet. Die Herbstniederschläge im Oktober bewirken einen entscheidenden Anstieg des Grundwasserspiegels, so daß die mittlere Jahresgrundwasserganglinie ab Anfang November überschritten wird. Bis dorthin liegt der Spiegel 1990 aber zur Gänze unterhalb der mittleren Jahresganglinie.

Die mittlere Überschreitungsdauerlinie ist außerordentlich einförmig ausgebildet und weist das gesamte Jahr über ein einheitliches Gefälle auf. Der langjährige mittlere Grundwasserstand wird im Mittel an 190 Tagen im Jahr überschritten, das Maximum der mittleren Grundwasserjahresganglinie immerhin noch an etwa 100 Tagen, das Minimum an 250 Tagen im Jahr. Die umhüllende der maximalen Überschreitungen weist für die Dauer von etwa 80 Tagen im Jahr deutlich überhöhte Werte mit einem wesentlich steileren Gefälle auf.

In Abb. 3.6 ist das Schwankungsverhalten der mittleren Jahresgrundwasserganglinien der eben beschriebenen Meßstellen noch einmal vergleichend dargestellt.

Besonders deutlich zeigt sich die Sonderstellung der durch die Mur beeinflussten Meßstelle 3778, die einerseits durch ein sehr spätes Maximum, andererseits durch einen sehr hohen Schwankungsbereich gekennzeichnet ist. Auffallend ist auch noch die Ganglinie der Meßstelle 3776 auf der Ribterrasse bei Jöb, die bei einer sehr geringen Schwankungsbreite nur einen undeutlich erkennbaren Jahresgang aufweist. Während das Schwankungsverhalten an den übrigen ausgewählten Meßstellen vom Jahresbeginn bis zum Maximum Ende März/Anfang April sehr ähnlich verläuft, zeigen sich die Unterschiede im sommerlichen und herbstlichen Teil der Ganglinie. Die Meßstelle 3765 auf der Würmterrasse im nordöstlichen

Leibnitzer Feld ist durch den Einfluß von sommerlichen Hochwässern in infiltrierenden Oberflächengerinnen geprägt.

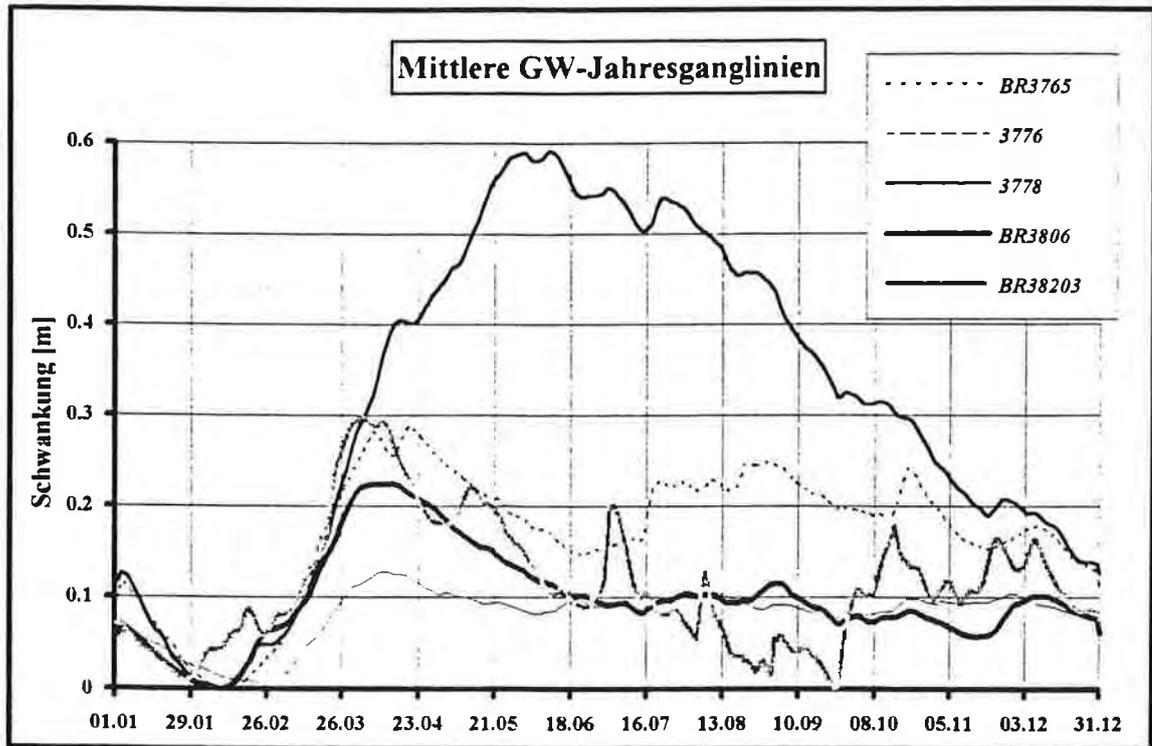


Abb. 3.6: Vergleichende Darstellung des Schwankungsverhaltens der mittleren Jahresgrundwasserganglinie an fünf ausgewählten Meßstellen im Leibnitzer Feld berechnet aus zumindest 16jährigen Reihen.

Die Meßstelle 38203 zeigt sehr deutlich den direkten Einfluß der Sulm auf das Grundwasser im Aubereich. Die mittlere Jahresganglinie der Meßstelle 3806 mit der deutlichen Spitze im Frühjahr und dem homogenen Rückgang bis zum Jahresende ist typisch für das Grundwasser der Würmterrasse im westlichen und südlichen Leibnitzer Feld, also jener Bereich, der für die Trinkwassererschotung sehr intensiv genutzt wird.

3.2. Darstellung und Auswertung von ausgewählten Profilen

Die Beschreibung der Profile soll dazu beitragen, einen besseren Überblick über die hydrogeologischen Verhältnisse und die Dynamik des Grundwassersystems zu erhalten. Zu diesem Zweck werden 10 Profile etwa senkrecht zur Längserstreckung des Leibnitzer Beckens festgelegt. Die Profile werden durch geradlinige Verbindung von Grundwassermeßstellen gebildet. Die Querschnittsbreite beträgt 7 bis 4 km, der Profilabstand liegt zwischen 1 und 2 km.

Die Lage der Profile ist aus Abb 3.7 ersichtlich. Die Profile sind in den Abb. 3.8 bis 3.17 dargestellt.

In den Profilen sind die Sohle des Grundwasserleiters, der Mittelwert der Grundwasserstände der Reihe 81/85 und die Geländeoberfläche eingetragen. Dafür werden folgende Quellen verwendet:

- Sohle des Grundwasserleiters: Karte der Staueroberkante, Dokumentation der Bohrprofile;
- Grundwasserstände: Auswertung der Daten des Hydrographischen Dienstes, Reihe 81/85, nur wenn Daten nicht ausreichend Reihe 71/88;
- Geländeoberkante: Stammdaten der Grundwasser-Meßstellen, ÖK 1 : 25 000.

Die in den Abbildungen verwendeten Abkürzungen bedeuten:

- Gel.: Geländeoberkante,
- GW.Sp.: Grundwasserspiegel.

Im Beschriftungsband der Profile werden in der Zeile 'Gel.' zusätzlich die Terrassenkanten mit 'TK' bezeichnet; in der Zeile 'GW.Sp.' werden die Bezeichnungen der verwendeten Bohrungen angeführt.

Neben dem Mittelwert des Grundwasserspiegels werden auch Maximum, Minimum und der Bereich der Standardabweichung dargestellt.

Für jedes Profil erfolgt ein kurzer hydrogeologischer Überblick mit folgenden Angaben:

- Mächtigkeit der Überdeckung der Grundwassersohle;
- Besonderheiten der Grundwassersohle;
- Übersicht des geologischen Aufbaues, Terrassengliederung;
- Interaktion des Grundwassers mit Oberflächengewässern.

In Form einer Tabelle werden dann die statistischen Parameter der Stationen des Profils für Intervalle von fünf Jahren zusammengefaßt. Aufgrund der Datenlage sind dies die Intervalle 66/70, 71/75, 76/80, 81/85:

- Mittelwert,
- Standardabweichung,
- Schiefe,
- Pegelweg,
- Häufigkeitsverteilung,
- Trend.

Im folgenden werden die verwendeten statistischen Parameter und deren Bedeutung für die Analyse der Grundwasserstände kurz beschrieben.

Mittelwert:

Der Mittelwert und die in der Auswertung angeführten Werte des höchsten und tiefsten Grundwasserstandes sind statische Parameter des Grundwasserspiegels, da die Charakteristik der jeweiligen Station kaum eingeht. Die Veränderungen der Mittelwerte lassen sich jedoch in den meisten Fällen an der Häufigkeitsverteilung der Grundwasserstände bestätigen. Die Amplitude ist ein Anhaltspunkt für die Grundwasserschwankungen; sie wird jedoch wesentlich durch das einmalige Auftreten von extremen Wasserständen bedingt, die oft auf lokale, anthropogen bedingte Umstände zurückzuführen sind (Grundwasserhaltung im Zug von Baumaßnahmen, Überflutung des Pegels) und nicht unbedingt der Charakteristik der Station entsprechen.

Standardabweichung:

Die Standardabweichung gibt den Schwankungsbereich der Grundwasserspiegellage an. Stationen, die von Oberflächengewässern mit stark schwankendem Wasserspiegel beeinflusst werden, oder Stationen in Bereichen mit nur geringer Bodenüberdeckung und dadurch bedingter rascher Versickerung der Niederschläge weisen eine höhere Standardabweichung auf. Auch Entnahmen bewirken aufgrund ihrer Betriebsweise mit oft schwankendem Wasserspiegel höhere Werte der Standardabweichung. In Bereichen, die diesen Einflüssen weniger ausgesetzt sind, ist die Standardabweichung entsprechend geringer. Je unruhiger die Ganglinie, etwa als Folge von Wasserspiegelschwankungen eines Vorfluters, aber auch je größer die Amplitude, etwa bei ausgeprägtem Jahresgang aber sonst gedämpftem Verhalten, desto größer ist die Standardabweichung.

Schiefe:

Die Schiefe charakterisiert eine Verteilung von Meßgrößen hinsichtlich der Lage von Extremwerten. Im Einflußbereich von Hochwässern liegende Stationen weisen eine positive Schiefe auf, da Hochwässer durch kurzdauernde hohe Spitzen charakterisiert sind. Stationen, deren Minima sehr tief absinken, sind durch eine negative Schiefe gekennzeichnet. Dies tritt besonders dann auf, wenn zu Zeiten tiefer Grundwasserspiegellagen stabilisierende Effekte im Umfeld der jeweiligen Station entfallen, oder bei kurzfristigen anthropogenen Maßnahmen, wie etwa Wasserhaltungen. Es ist jedoch auch die Möglichkeit von Meßfehlern in Erwägung zu ziehen, insbesondere da dieser Parameter auf Extremwerte empfindlich reagiert.

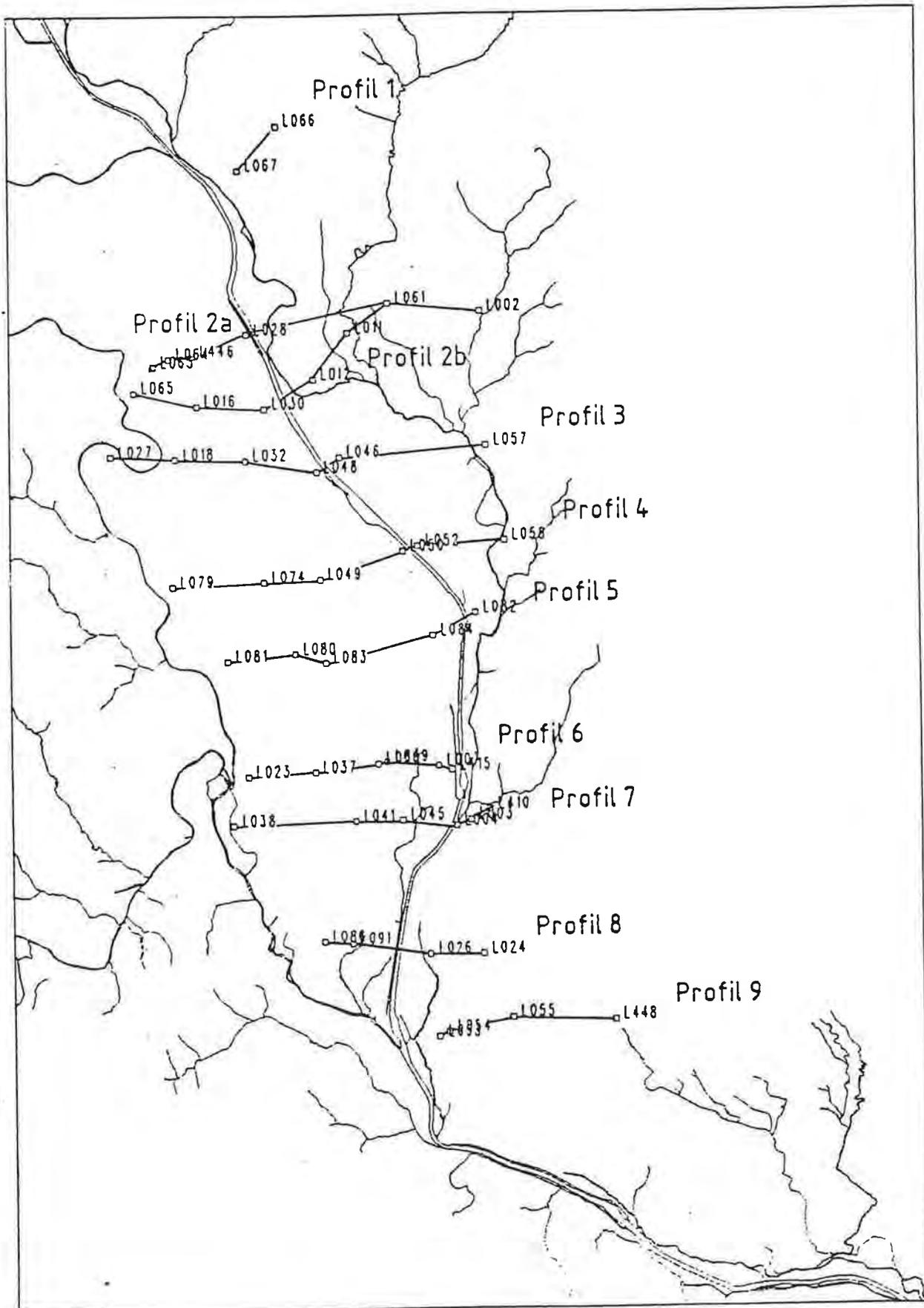


Abb. 3.7: Lage der Profile.

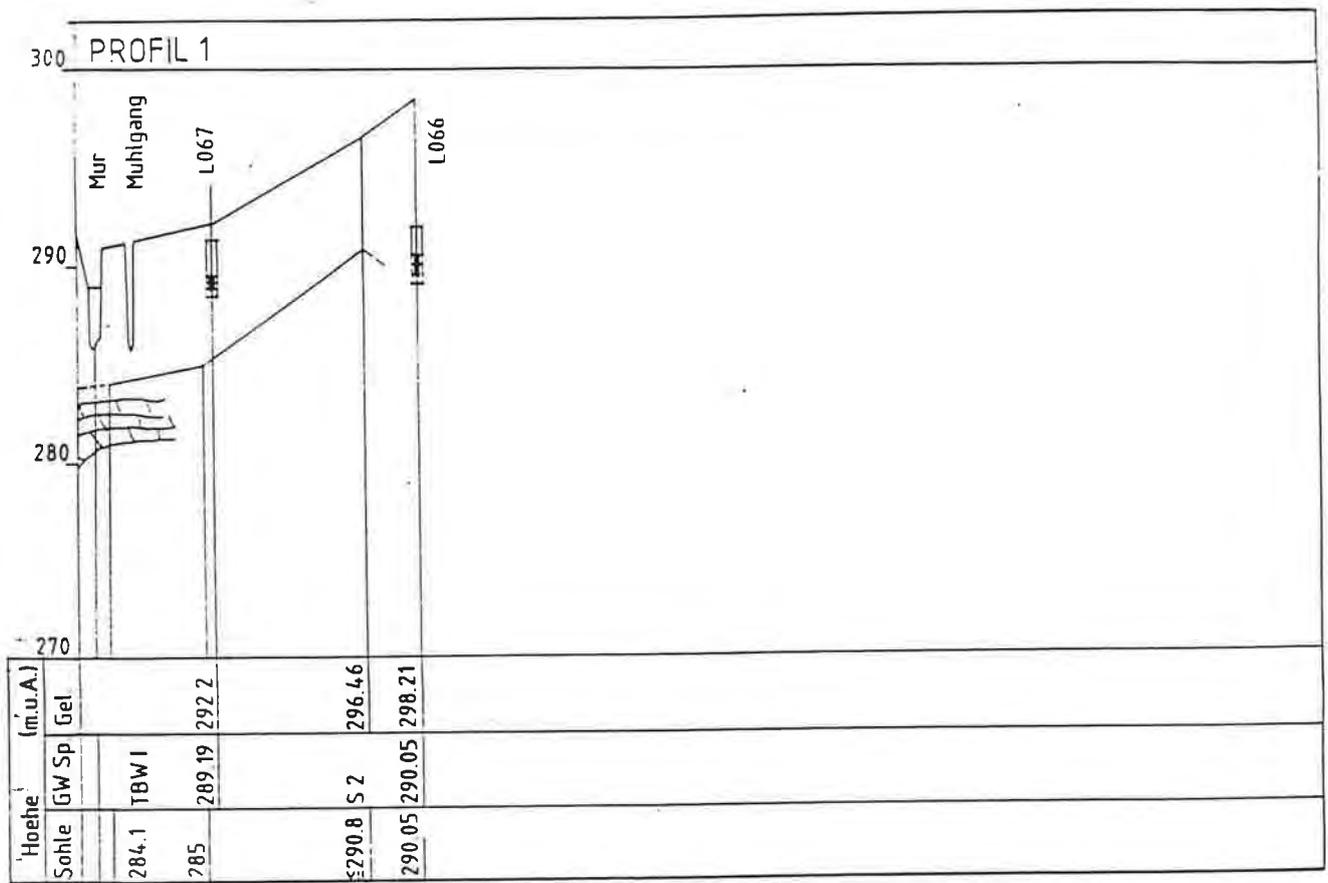


Abb. 3.8: Profil 1.

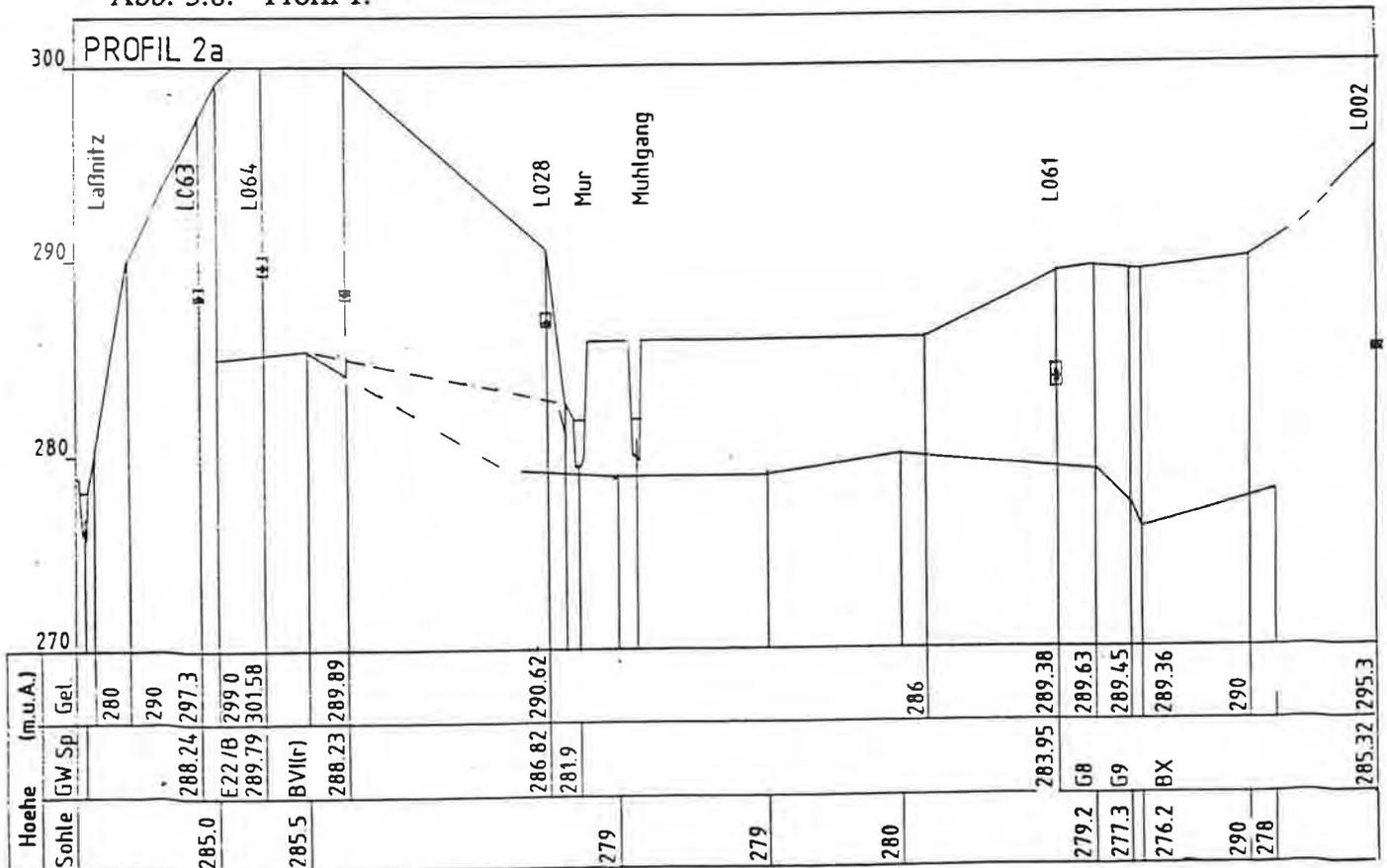


Abb. 3.9: Profil 2a.

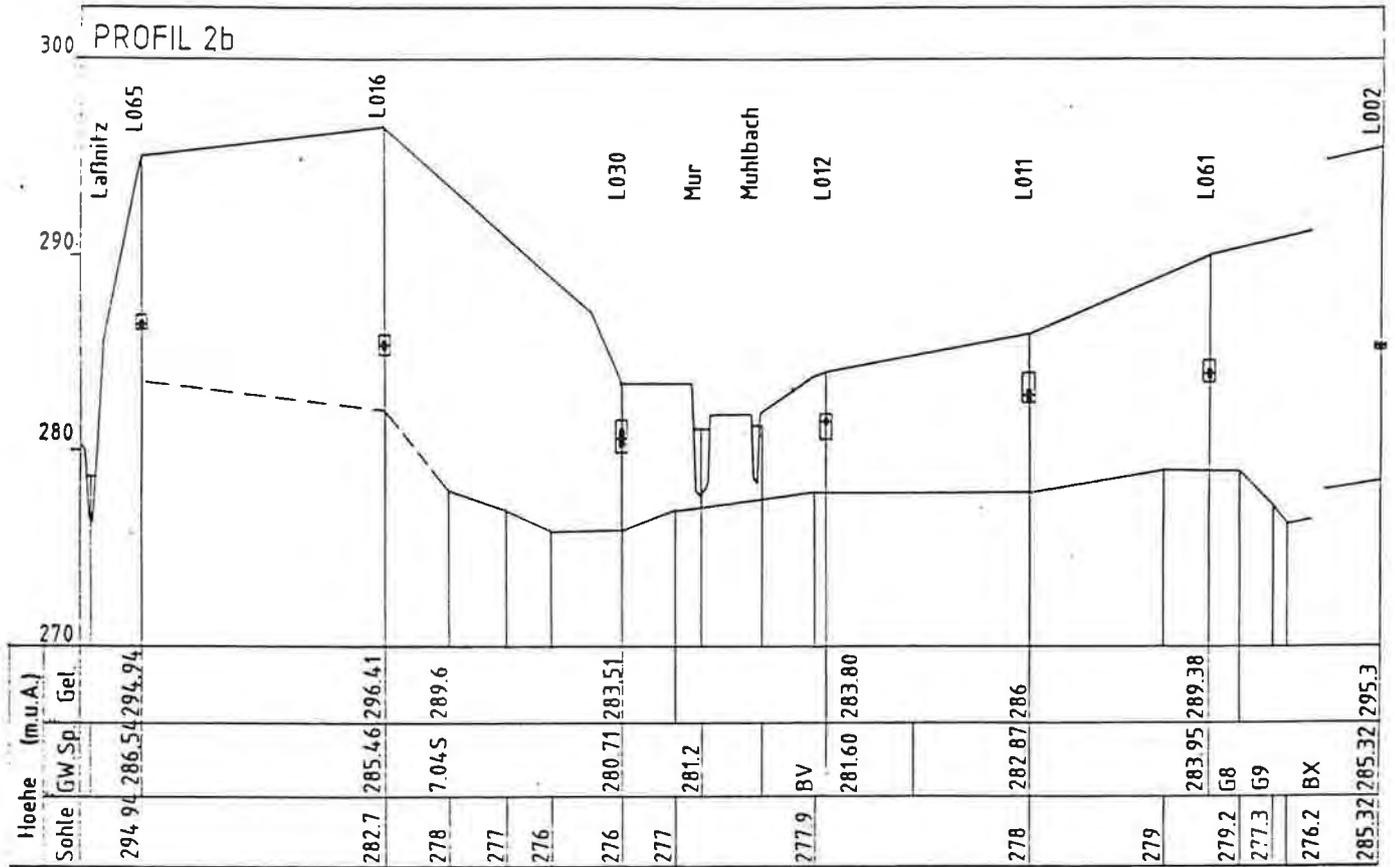


Abb. 3.10: Profil 2b.

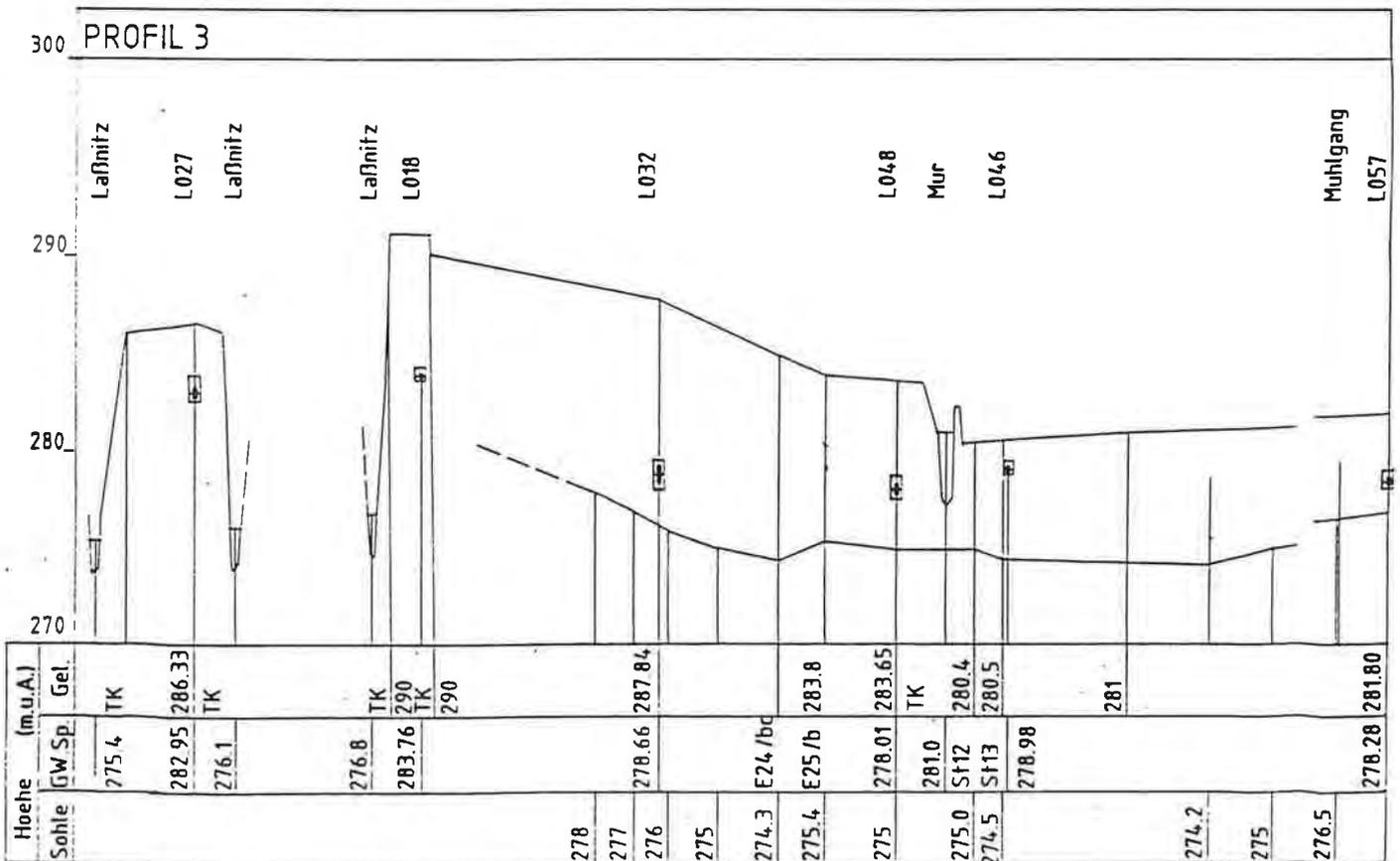


Abb. 3.11: Profil 3.

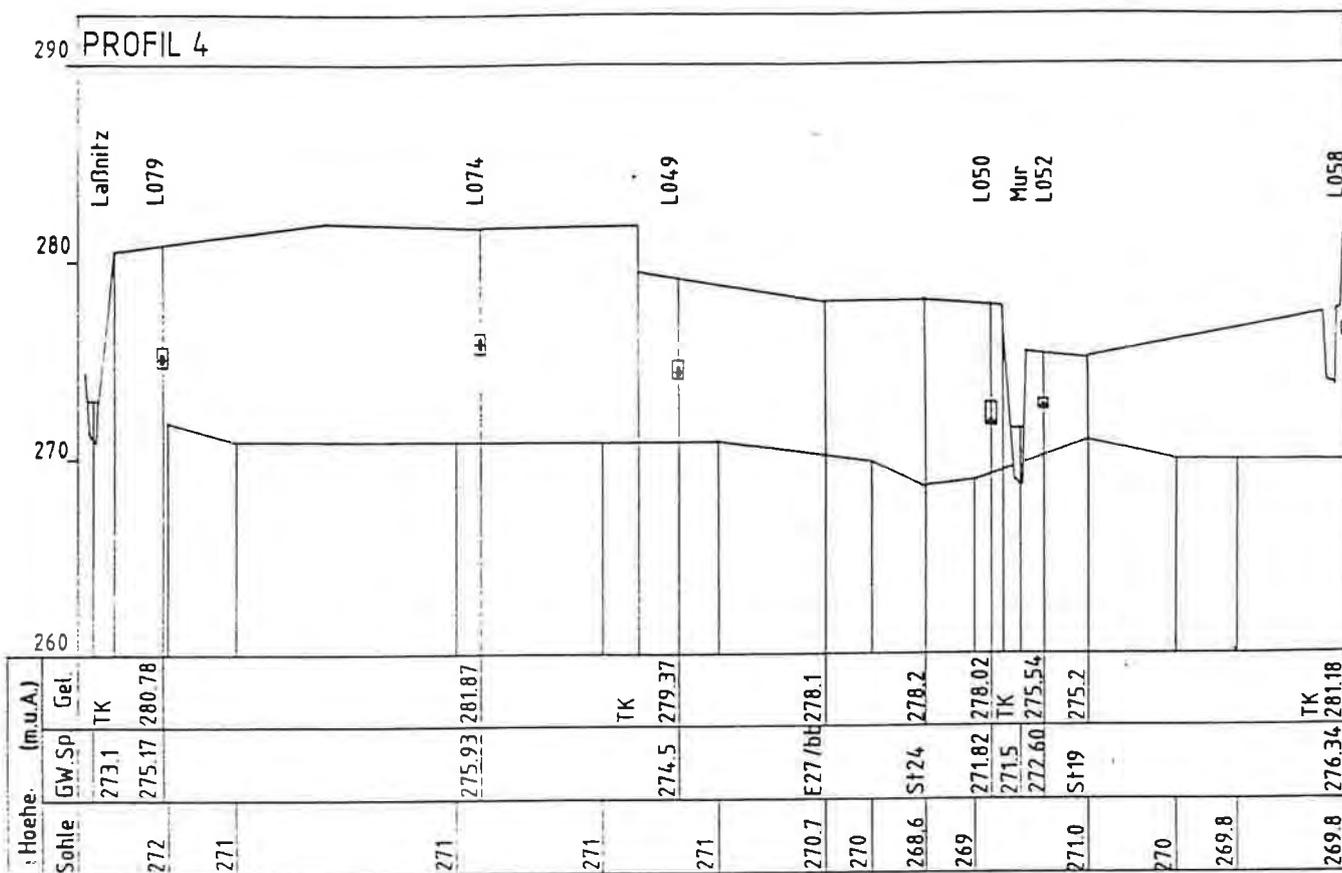


Abb. 3.12: Profil 4.

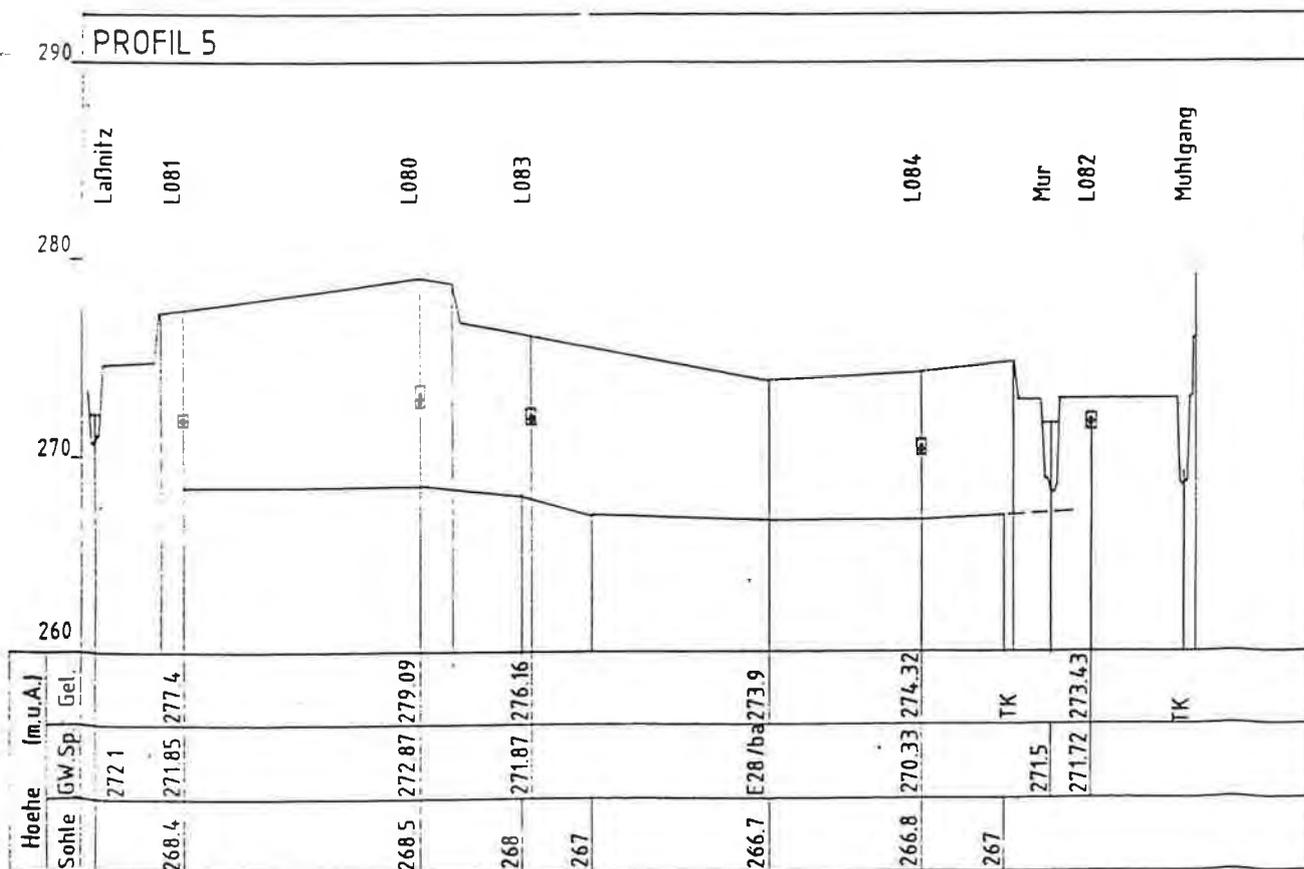


Abb. 3.13: Profil 5.

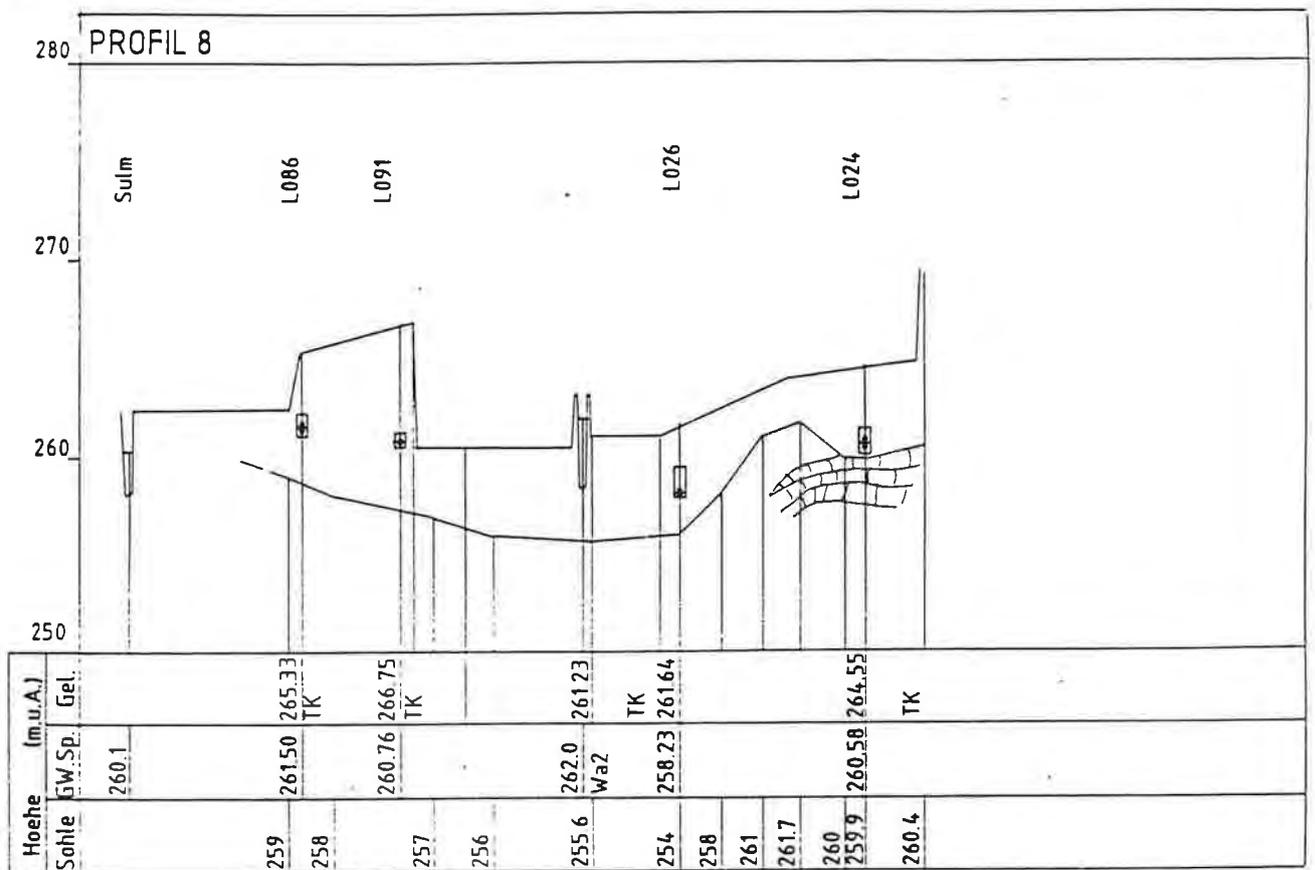


Abb. 3.16: Profil 8.

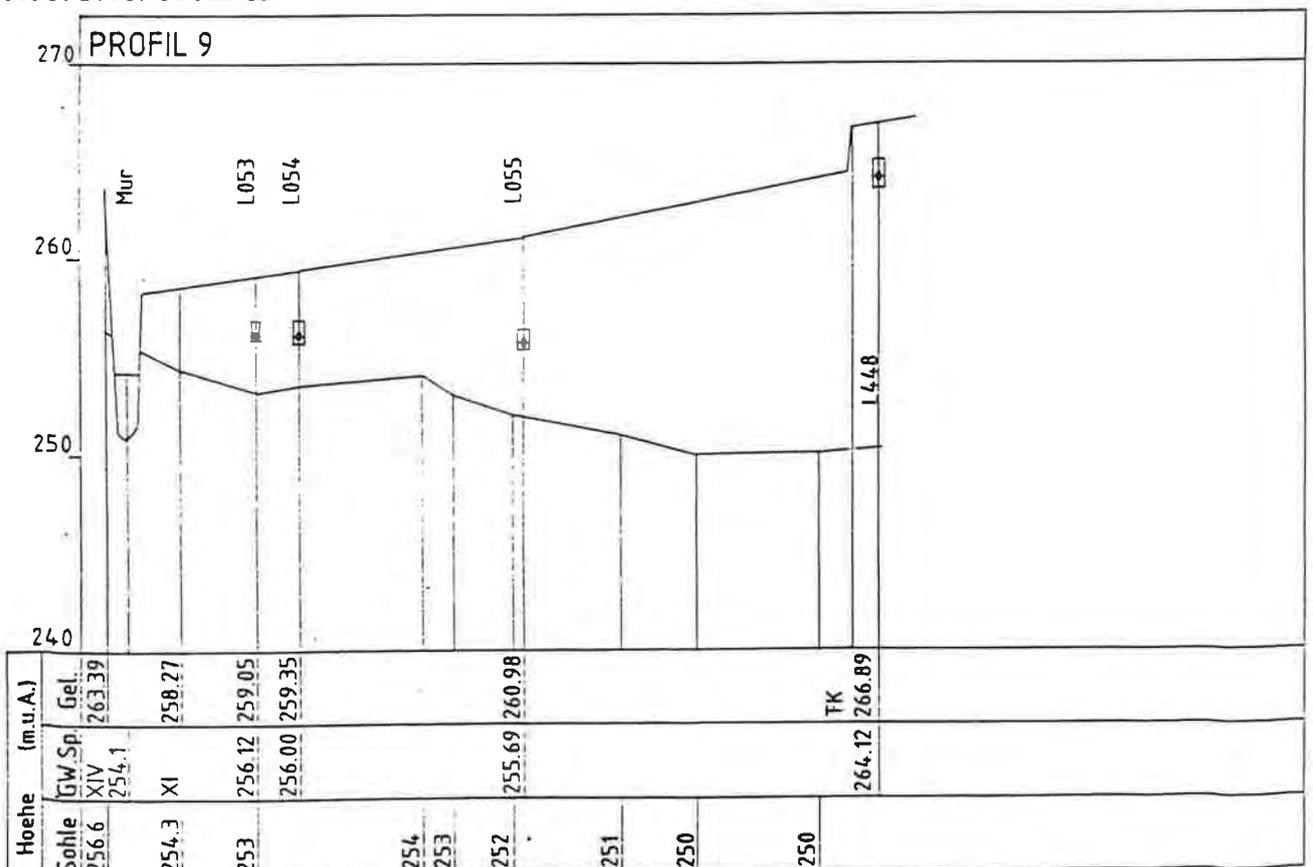


Abb. 3.17: Profil 9.

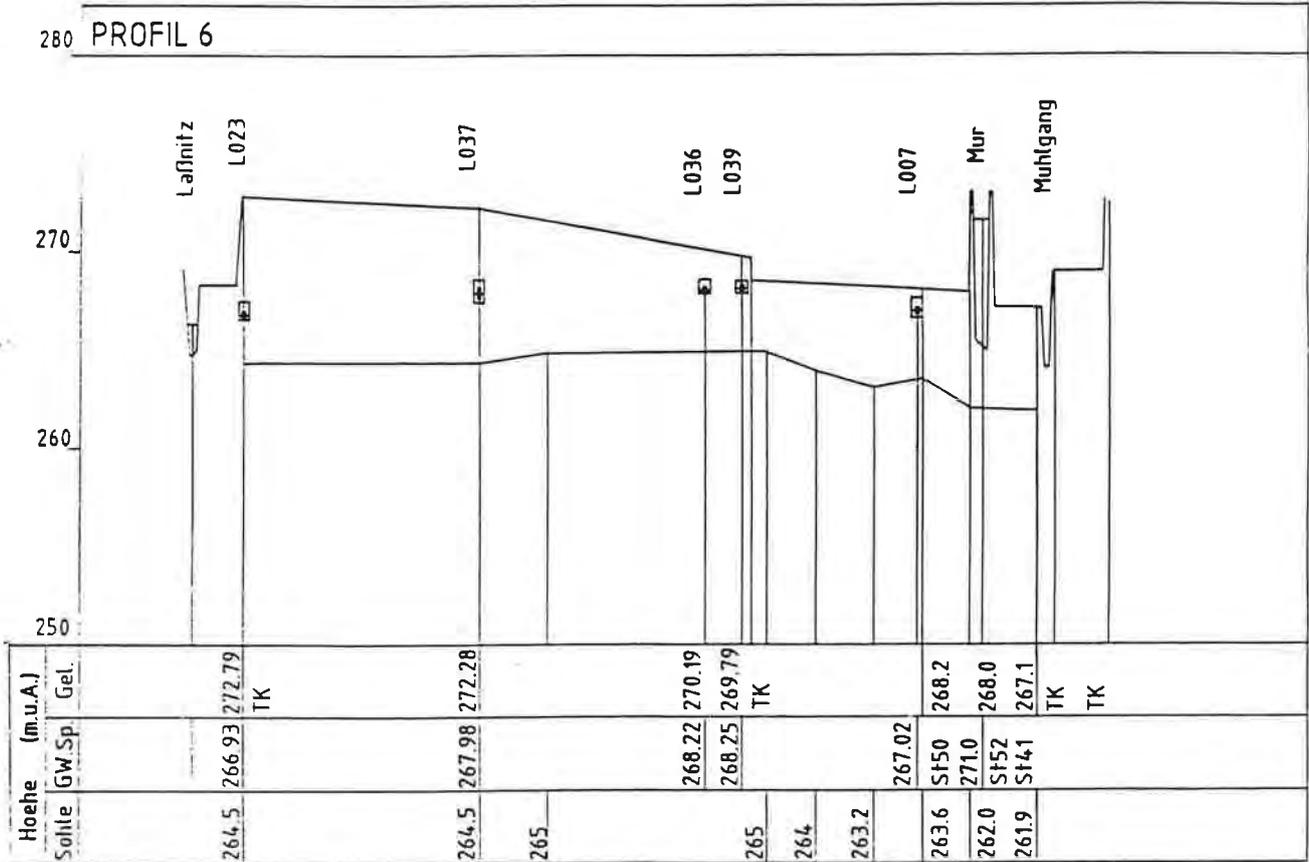


Abb. 3.14: Profil 6.

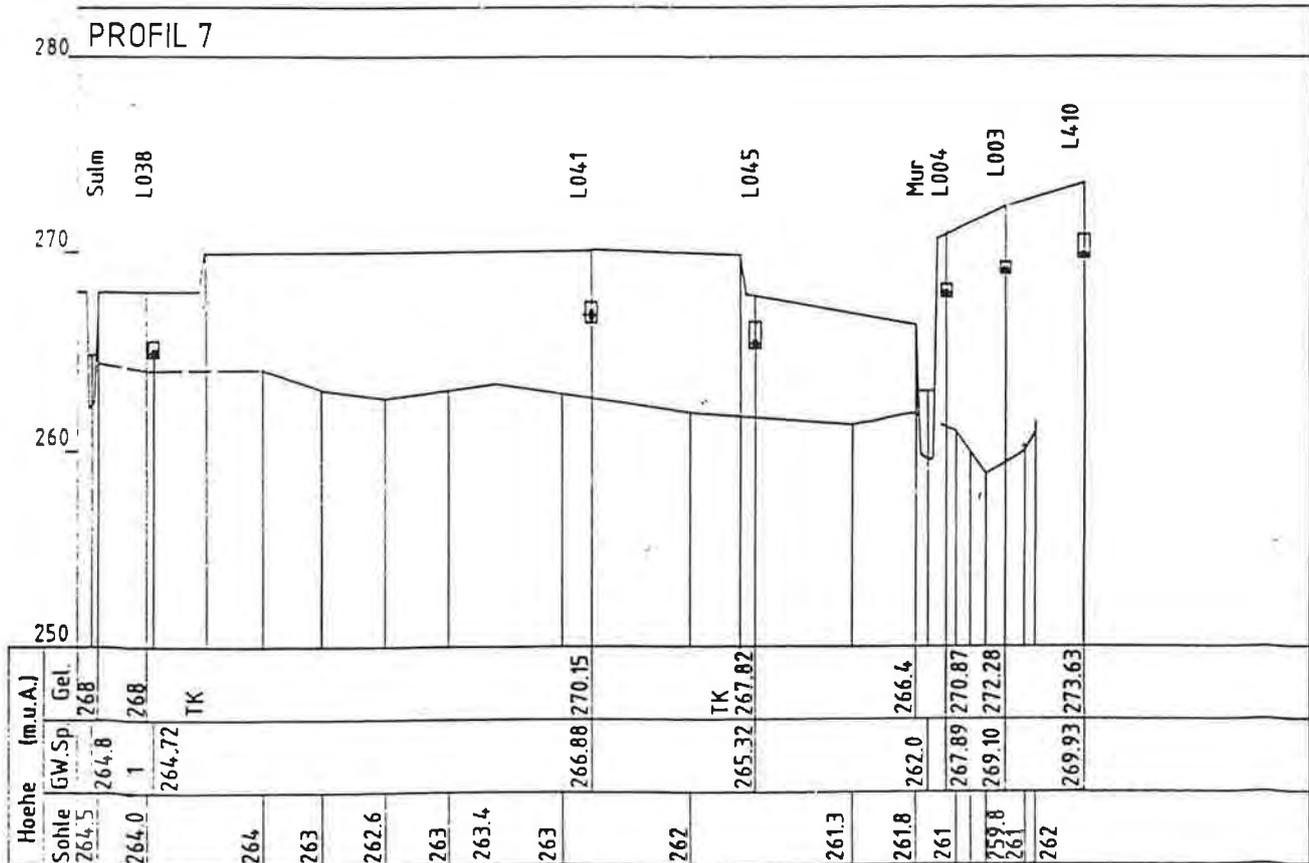


Abb. 3.15: Profil 7.

Pegelweg:

Der Pegelweg wird als Summe der Beträge der Vertikalbewegungen des Grundwasserspiegels an einer Meßstelle definiert. Dieser Wert ist daher in hohem Maße vom Beobachtungsintervall abhängig. Im vorliegenden Fall wird der Pegelweg für das Auswertintervall von fünf Jahren angegeben. Durch die Beschränkung auf Stationen des hydrographischen Dienstes ist die Vergleichbarkeit der Werte des Pegelweges gegeben. Ähnlich wie die Standardabweichung ist der Pegelweg ein Parameter zur Beschreibung der Dynamik des Grundwasserspiegels.

Häufigkeitsverteilung:

Für die Fünfjahresintervalle, die der Auswertung zugrunde liegen, wird die Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen in Klassen von 0.1 m, 0.2 m beziehungsweise 0.5 m, je nach Schwankungsbreite, ermittelt. Der Vorteil dieser Auswertung liegt darin, daß ein Vergleich von unterschiedlichen Spiegellagen zwischen den einzelnen Perioden möglich ist, so daß präzisere Aussagen über Veränderungen des Grundwasserspiegels getroffen werden können. Die Ergebnisse der Auswertung sind im Projektsbericht (NACHTNEBEL et al., 1990) enthalten.

Trend:

Der Trend gibt die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände an. Er stellt eine mittlere Steigung der Ganglinie dar. Es ist darauf zu achten, daß vor allem die Meßwerte zu Beginn und am Ende der Jahresreihe für das Berechnungsergebnis von großer Bedeutung sind. Die Prüfung des Trends auf Signifikanz für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ erfolgte mit dem t-Test. Bei einem Freiheitsgrad gegen unendlich (aufgrund der zahlreichen Meßwerte) wird die Prüfgröße t_0 mit 1.96 bestimmt.

Die Häufigkeitsverteilung und der Trend werden in diesem Bericht nicht weiter behandelt. Es wird auf den ausführlichen Projektsbericht (NACHTNEBEL et al., 1990) verwiesen.

Profil 1:

Das Profil 1 befindet sich im Übergangsbereich der Wildoner Enge zum nordöstlichen Leibnitzer Feld. Es wird durch die Stationen L067 und L066 gebildet. Der Querschnitt hat eine Breite von 1.7 km. Die Wasserspiegellage der Mur betrug bis zur Errichtung des neuen

Kraftwerkes Lebring etwa 289 m; das Stauziel des neuen Kraftwerkes ist 292.0 m. Das Gelände zeigt von der Auenterrasse der Mur, auf der sich auch die Station L067 befindet, einen Anstieg bis auf die Helfbrunner Terrasse bei Afram. Auf dieser Geländehöhe befindet sich auch die Station L066. Der Grundwasserspiegel der beiden Stationen befindet sich etwa auf gleichem Niveau und zeigt eine ähnliche Schwankungsbreite. Für den Profilbereich stehen zwei Bohrungen zur Verfügung. Die Staueroberkante bei Bohrung S2 wurde so hoch ermittelt, daß keine direkte Beeinflussung der Station L066 von der Mur aus möglich erscheint; außerdem liegt der Grundwasserspiegel von L066 tiefer als die Staueroberkante von S2. Ein Zusammenhang mit dem Grundwasserfeld dürfte dennoch flußauf oder flußab gegeben sein.

Tab. 3.6: Profil 1, Stationen.

Bezeichnung (-)	Stationierung (km)	Gelände-OK (m.ü.A.)	Stauer-OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Lage (-)
L067		292.2	285	7	Auenterrasse
L066		298.21	288?	10	höhere Niederterrasse

Tab. 3.7: Profil 1, Bohrungen.

Bezeichnung (-)	Gelände-OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Sandkies- mächtigk. (m)	Dicke der Deckschicht (m)	Stauer-OK (m.ü.A.)	Lage (-)
TBW I	293	8.9	-	-	284.1	Auenterrasse
S2						höhere Niederterrasse

Tab. 3.8: Profil 1, statistische Parameter.

Datum von (-)	Datum bis (-)	Anzahl der Meßwerte (-)	Mittelwert (m.ü.A.)	Minimum (m.ü.A.)	Maximum (m.ü.A.)	Standard- abweichung (m)	Schiefe (-)	Pegelweg (m)
STATION L067: Stocking 2								
HZB Nr. 37635								
030166	311270	524	289.54	288.93	292.20	0.38	1.65	22.59
040171	291275	486	289.41	288.80	291.33	0.42	1.51	23.78
060176	291280	279	289.19	288.49	290.29	0.35	0.31	14.33
050181	301285	283	289.19	288.68	290.01	0.27	0.34	15.81
STATION L066: Stocking 1								
HZB Nr. 3761								
030166	311270	524	290.36	289.50	291.48	0.52	0.05	13.71
040171	291275	492	290.31	289.46	292.02	0.51	1.01	14.65
050176	291280	281	290.00	289.08	291.10	0.52	0.21	12.35
050181	301285	283	290.05	289.26	290.97	0.42	0.12	10.44

Profil 2a:

Im Profil 2a liegen sechs Stationen. Die Stationen L063, L064 und L446 liegen im Bereich der Helfbrunner Terrasse, die Stationen L028 am Terrassenrand der höheren Niederterrasse. Der Schnitt mit der Mur liegt im Bereich des Kraftwerkes Lebring, der Mühlgang wird im Bereich eines Wehres gequert. In der Auenterrasse ist keine Station verfügbar; die Station L011 in Profil 2b kann jedoch zu Vergleichszwecken herangezogen werden. Die Station L061 liegt am Rand der tieferen Niederterrasse, Station L002 befindet sich bereits im Randbereich des Leibnitzer Feldes auf der höheren Niederterrasse. Im Bereich dieses Profiles liegen die geologischen Aufschlüsse E22/B, BVI (V), E8 und E9.

Tab. 3.9: Profil 2a, Stationen.

Bezeichnung (-)	Stationierung (km)	Gelände-OK (m.ü.A.)	Stauer-OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Lage (-)
L063		297.40	285		Helfbrunner Terrasse
L064		301.78	285		Helfbrunner Terrasse
L446		300.29	284		Helfbrunner Terrasse
L028		290.92	280		obere Niederterrasse
L061		289.78	279		obere Niederterrasse
L002		295.60	279		obere Niederterrasse

Tab. 3.10: Profil 2a, Bohrungen.

Bezeichnung (-)	Gelände-OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Sandkies- mächtigk. (m)	Dicke der Deckschicht (m)	Stauer-OK (m.ü.A.)	Lage (-)
E22/B	299	14.0	11.5	3.5	285	
BVI(V)	299	13.5	10.0	3.5	285.5	
G8	289.63	10.45	-	-	279.5	
G9	289.55	12.15	-	-	277.3	
BX	289.36	13.2	11.2	2.0	276.2	

Tab. 3.11: Profil 2a, statistische Parameter.

Datum von (-)	Datum bis (-)	Anzahl der Meßwerte (-)	Mittel- wert (m.ü.A.)	Minimum (m.ü.A.)	Maximum (m.ü.A.)	Standard- abweichung (m)	Schiefe (-)	Pegel- weg (m)
STATION L063: Stangersdorf 1					HZB Nr. 37662			
030166	311270	521	288.18	288.01	288.55	0.10	0.80	10.18
040171	291275	483	288.17	288.00	288.44	0.09	0.51	8.28
050176	291280	272	288.19	287.98	288.88	0.11	1.73	7.62
050181	301285	275	288.24	288.12	288.70	0.09	1.82	8.68

STATION L064: Stangersdorf 2				HZB Nr. 37664				
010180	291280	55	289.69	289.38	290.28	0.22	0.29	3.52
050181	301285	278	289.79	289.43	290.33	0.17	0.12	15.33
STATION L446: St. Margareten 2				HZB Nr. 37665				
030166	311270	521	288.37	288.24	288.60	0.80	0.70	4.90
040171	291275	488	288.37	288.23	288.56	0.80	0.42	5.73
050176	311278	166	288.28	288.18	288.42	0.06	0.37	1.76
STATION L028: Lebring 1				HZB Nr. 37642				
030166	311270	521	286.78	286.61	287.62	0.14	2.43	10.75
040171	291275	489	286.82	286.63	287.61	0.14	1.59	11.24
050176	291280	282	286.79	286.61	287.63	0.14	2.01	8.28
050181	301285	281	286.82	286.65	287.30	0.13	1.59	7.74
STATION L061: St. Georgen 3				HZB Nr. 3773				
030166	311270	522	284.39	283.85	285.28	0.31	0.35	14.88
040171	291275	490	284.50	283.97	285.78	0.33	0.98	21.79
050176	291280	280	284.07	283.56	285.01	0.34	0.54	14.08
050181	301285	283	283.95	283.46	284.60	0.26	0.38	13.13
STATION L002: Badendorf				HZB Nr. 3782				
020166	311270	523	285.36	285.22	285.68	0.08	0.82	12.00
030171	291275	493	285.37	285.21	285.67	0.07	0.55	12.70
050176	291280	278	285.33	285.17	285.59	0.08	0.42	9.03
050181	301285	284	285.32	285.21	285.50	0.06	0.49	6.83

Profil 2b:

Das Profil 2b wird aus sieben Stationen gebildet. Die Stationen L065 und L016 liegen im Bereich Helfbrunner Terrasse. Die Grundwasserstände dieser Stationen liegen etwa 5 m über jenen der murnahen Stationen, so daß in diesem Bereich eine höhere Lage der Grundwasser-sole anzunehmen ist. Es sind hier keine Bohrungen vorhanden. Station L030 befindet sich auf der Höhe der Auenterrasse westlich der Mur, linksufrig davon die Stationen L012 und L011. Station L061 ist bereits auf Höhe der tieferen Niederterrasse situiert. Station L002 befindet sich auf der höheren Niederterrasse; der mittlere Grundwasserspiegel läßt einen kontinuierlichen Übergang zu den Stationen der Auenterrasse erwarten. Die Mur wird im Unterwasser des Kraftwerks Lebring gequert. Im Bereich des Profils befinden sich die geologischen Aufschlüsse 7.04S, B5 sowie G8, G9 und BX.

Tab. 3.12: Profil 2b, Stationen.

Bezeichnung (-)	Stationierung (km)	Gelände- OK (m.ü.A.)	Stauer- OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Lage (-)
L065	0.33	294.94	283.5	11.5	Helfbrunner Terrasse
L016	1.55	296.41	282	14	Helfbrunner Terrasse
L030	2.75	283.51	276	7.5	Auenterrasse
L012	3.78	283.80	278	6	Auenterrasse
L011	4.83	286	278	8	Auenterrasse
L061	5.74	289.38	279	10	tieferer Niederterrasse
L002	6.61	295.30	279	6	höherer Niederterrasse

Tab. 3.13: Profil 2b, Bohrungen.

Bezeichnung (-)	Gelände- OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Sandkies- mächtigk. (m)	Dicke der Deckschicht (m)	Stauer- OK (m.ü.A.)	Lage (-)
7.04S	289.6	>5	>4.1	0.9	-	höherer Niederterrasse
BV	284.0	6.1	-	-	277.9	Auenterrasse
G8	289.6	10.4	-	-	279.2	tieferer Niederterrasse
G9	289.5	12.2	-	-	277.3	tieferer Niederterrasse
BX	289.4	13.2	11.2	2.0	276.2	tieferer Niederterrasse

Tab. 3.14: Profil 2b, statistische Parameter.

Datum von (-)	Datum bis (-)	Anzahl der Meßwerte (-)	Mittel- wert (m.ü.A.)	Minimum (m.ü.A.)	Maximum (m.ü.A.)	Standard- abweichung (m)	Schiefe (-)	Pegel- weg (m)
STATION L065: Stangersdorf 3			HZB Nr. 37662					
010974	291275	96	286.65	286.37	286.93	0.14	-0.02	2.54
050176	291280	273	286.48	286.06	287.12	0.24	0.35	8.00
050181	301285	278	285.46	285.04	286.13	0.22	0.98	9.07
STATION L016: Jöss 2			HZB Nr. 37689					
030166	311270	521	285.37	285.11	286.17	0.21	1.92	8.99
040171	291275	489	285.39	284.82	286.01	0.20	0.63	11.57
050176	291280	273	285.40	285.02	286.31	0.26	1.01	9.20
050181	301285	278	285.46	285.04	286.13	0.22	0.98	9.07
STATION L030: Lebring 3			HZB Nr. 3778					
030166	311270	523	280.67	279.92	281.40	0.27	0.43	15.15
040171	291275	547	280.81	280.13	282.15	0.41	0.84	20.75
010176	291280	332	280.59	279.83	281.84	0.38	0.47	16.40
050181	301285	277	280.71	279.96	281.66	0.37	0.28	16.67
STATION L012: Haslach 3			HZB Nr. 37771					
011081	301285	242	281.60	280.56	281.97	0.16	-3.75	12.70
STATION L011: Haslach 2			HZB Nr. 37751					
030166	311270	523	282.84	282.44	284.04	0.32	1.76	57.52
040171	291275	544	282.88	282.37	284.20	0.35	1.56	62.55
010176	291280	532	282.78	282.34	284.19	0.36	1.46	52.86
010181	301285	335	282.87	282.51	284.05	0.30	1.74	45.75
STATION L061: sh. Profil 2a								
STATION L002: sh. Profil 2a								

Profil 3:

Das Profil 3 setzt sich aus den Stationen L027, L018, L032, L048, L046, L057 zusammen. Der Querschnitt weist eine Breite von 6.7 km auf. Die Laßnitz wird im Bereich der Flußkrümmungen bei Lang dreimal geschnitten. Der Schnitt mit der Mur liegt im Bereich des Stauraumes des Kraftwerks Gralla. Die Höhe des Wasserspiegels entspricht dem Stauziel von 281.0 m. Die Station L018 liegt auf der Helfbrunner Terrasse (hier auch Jöber Terrasse), Station L027 und L032 im Bereich der oberen Niederterrasse, Station L048 im Bereich der unteren Niederterrasse und die Stationen L046 und L057 in der Auenterrasse. Die Grundwasserstände der Stationen L027 und L018 liegen etwa 5 m über jenen der Stationen in Murnähe. Die Grundwassersohle zeigt im Bereich der Mur ein flaches muldenförmiges Relief. In Richtung Helfbrunner Terrasse ist ein Anstieg zu erkennen, der durch die Höhendifferenz der Grundwasserstände ebenfalls angedeutet wird. Im Bereich des Profils 3 befinden sich die Bohrungen E24/bc, E25/b, St12 und St13. Leider sind für den Bereich der Helfbrunner Terrasse und der Niederterrasse entlang der Laßnitz keine Bohrungen verfügbar, so daß im weiteren Verlauf des Grundwassermodells die Höhe der Grundwassersohle geschätzt werden muß. Aus den oben angeführten Bohrungen sind leider keine Angaben über die Dicke der Deckschicht zu entnehmen.

Tab. 3.15: Profil 3, Stationen.

Bezeichnung (-)	Stationierung (km)	Gelände-OK (m.ü.A.)	Stauer-OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Lage (-)
L027	0.60	286.33	-	-	höhere Niederterrasse
L018	1.75	-	-	-	Helfbrunner Terrasse
L032	2.98	287.84	276	12	höhere Niederterrasse
L048	4.19	283.65	275	9	tieferer Niederterrasse
L046	4.73	280.50	275	4.5	Auenterrasse
L057	6.73	281.80	277	5.0	Auenterrasse

Tab. 3.16: Profil 3, Bohrungen.

Bezeichnung (-)	Gelände-OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Sandkies- mächtigk. (m)	Dicke der Deckschicht (m)	Stauer-OK (m.ü.A.)	Lage (-)
E24/bc	285.0	10.6	-	-	274.4	tieferer Niederterrasse
E25/b	283.8	8.4	-	-	275.4	tieferer Niederterrasse
St12	280.4	5.4	-	-	275.0	Auenterrasse
St13	280.5	6.0	-	-	274.5	Auenterrasse

Tab. 3.17: Profil 3, statistische Parameter.

Datum von (-)	Datum bis (-)	Anzahl der Meßwerte (-)	Mittelwert (m.ü.A.)	Minimum (m.ü.A.)	Maximum (m.ü.A.)	Standardabweichung (m)	Schiefe (-)	Pegelhöhe (m)
STATION L027: Lang				HZB Nr. 3784				
030166	311270	523	283.02	282.05	284.26	0.39	0.42	35.94
040171	291275	530	282.95	281.81	284.26	0.45	0.17	46.25
010176	291280	526	282.83	281.79	284.29	0.49	0.07	40.38
010181	301285	327	282.95	282.53	283.78	0.24	0.76	25.53
STATION L018: Joess 3				HZB Nr. 3776				
011173	291275	187	283.83	283.67	284.14	0.12	0.79	2.32
050176	291280	275	283.73	283.44	284.27	0.18	0.57	5.29
050181	301285	327	283.76	283.54	284.16	0.14	0.76	5.09
STATION L032: Lebring 5				HZB Nr. 37823				
010183	301285	168	278.66	277.89	279.37	0.37	-0.19	7.04
STATION L048: Obergralla 3				HZB Nr. 3792				
040166	301270	274	278.16	277.25	278.80	0.35	-0.65	15.26
050171	291275	428	278.27	277.40	280.65	0.41	0.59	13.69
050176	291280	281	277.97	277.08	278.80	0.38	-0.46	10.32
050181	301285	279	278.01	277.47	278.70	0.23	0.03	10.26
STATION L046: Obergralla 1				HZB Nr. 3781				
040166	301270	263	278.91	278.24	279.33	0.30	-0.44	14.10
050171	301275	272	278.84	278.09	279.64	0.34	-0.44	15.26
060176	311280	268	278.81	278.10	279.52	0.30	-0.25	13.14
070181	301285	275	278.98	278.76	279.36	0.13	0.77	12.71
STATION L057: Ragnitz 1				HZB Nr. 3793				
030166	311270	521	278.32	277.98	279.38	0.21	1.48	14.31
040171	291275	493	278.36	278.07	279.35	0.20	1.49	17.16
050176	291280	282	278.24	277.92	279.26	0.23	1.03	13.17
050181	311284	227	278.28	278.04	278.89	0.17	1.10	10.37

Profil 4:

Das Profil 4 wird durch die Stationen L079, L074, L049, L050, L052 und L058 gebildet und hat eine Breite von 6.5 km. Die Mur wird im Bereich des Unterwassers des Kraftwerks Gralla geschnitten. Die Wasserspiegellage der Mur beträgt etwa 271.5 m. Aufgrund der Höhenlage des Grundwasserstauers im Vergleich zur Wasserspiegellage der Laßnitz erscheint eine gegenseitige Beeinflussung möglich. Die Stationen L079 und L074 sowie Station L058 linksufrig liegen auf der höheren Niederterrasse, die Stationen L049 und L050 auf der tieferen Niederterrasse und Station L052 im Bereich der Auenterrasse. Für das Profil sind die Bohrungen E27/bb, St24 und St19 verfügbar. Die Grundwassersole verläuft im Bereich des Profils sehr flach, nur entlang der Mur ist eine etwa 2 m tiefe Rinne zu erkennen.

Tab.3.18: Profil 4, Stationen.

Bezeichnung (-)	Stationierung (km)	Gelände- OK (m.ü.A)	Stauer- OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Lage (-)
L079	0.43	280.78	272	9	höhere Niederterrasse
L074	2.05	281.87	271	11	höhere Niederterrasse
L049	3.05	279.37	271	8	tieferer Niederterrasse
L050	4.63	278.02	269	9	tieferer Niederterrasse
L052	4.90	275.54	270	5.5	Auenterrasse
L058	6.45	281.18	270	11	tieferer Niederterrasse

Tab. 3.19: Profil 4, Bohrungen.

Bezeichnung (-)	Gelände- OK (m.ü.A.)	Quantär- mächtigk. (m)	Sandkies- mächtigk. (m)	Dicke der Deckschicht (m)	Stauer- OK (m.ü.A.)	Lage (-)
E27/bb	278.1	7.4	7.4	-	270.7	tieferer Niederterrasse
St24	278.2	9.6	-	-	268.6	Auenterrasse
St19	275.2	4.2	-	-	271.0	Auenterrasse

Tab. 3.20: Profil 4, statistische Parameter.

Datum von (-)	Datum bis (-)	Anzahl der Meßwerte (-)	Mittelwert (m.ü.A.)	Minimum (m.ü.A.)	Maximum (m.ü.A.)	Standardabweichung (m)	Schiefe (-)	Pegeltweg (m)
STATION L079: Tillmitsch 9					HZB Nr. 3802			
030166	311270	523	275.88	275.40	276.58	0.28	0.44	13.50
040171	291275	495	275.92	275.36	277.00	0.31	0.63	15.24
050176	291280	280	275.25	274.61	276.30	0.37	0.42	12.49
050181	301285	278	275.17	274.77	275.82	0.25	0.40	10.14
STATION L074: Tillmitsch 4					HZB Nr. 37848			
010183	301285	167	275.93	275.45	276.44	0.26	-0.06	5.42
STATION L049: Obergalla 4					HZB Nr. 3796			
030166	311270	522	274.71	274.20	275.34	0.27	-0.09	8.55
040171	291275	490	274.70	274.05	275.66	0.31	0.37	11.22
050176	291280	282	274.48	273.87	275.25	0.31	0.31	9.15
050181	301285	279	274.50	274.18	275.11	0.21	0.51	8.59
STATION L050: Obergalla 5					HZB Nr. 3798			
040166	311270	428	271.79	271.59	273.37	0.23	2.88	27.96
040171	291275	545	271.83	271.53	273.67	0.35	2.54	29.92
010176	291280	528	271.84	271.60	272.74	0.18	1.73	19.07
010181	301285	323	271.82	271.67	272.78	0.15	2.50	11.53

STATION L052: Obergralla 7				HZB Nr. 38011				
010768	311270	262	272.60	272.46	273.34	0.10	2.81	8.48
040171	291275	538	272.60	272.38	273.96	0.17	3.50	21.13
010176	291280	529	272.59	272.41	273.13	0.09	1.34	11.99
010181	301285	327	272.60	272.51	273.03	0.08	2.12	9.14
STATION L058: Ragnitz 2				HZB Nr. 3805				
040166	311270	521	276.34	276.03	276.75	0.13	0.46	14.91
040171	291275	491	276.36	276.02	276.79	0.13	0.44	16.80
050176	291280	282	276.35	276.08	276.78	0.13	0.61	13.38
050181	301285	283	276.34	276.18	276.74	0.09	1.08	11.32

Profil 5:

Profil 5 setzt sich aus den Stationen L081, L080, L083, L084 und L082 zusammen. Die Breite des Profilquerschnittes beträgt 5.7 km. Die Mur wird im Bereich des Stauraumes des KW Gabersdorf geschnitten. Das Stauziel ist 271.0 m. Die Stationen L081 und L080 befinden sich auf der höheren Niederterrasse, die Stationen L083 und L084 auf der tieferen Niederterrasse und die Station L082 linksufrig der Mur auf der Auenterrasse. Im Profildbereich ist die Bohrung E 28/ba verfügbar. Eine gegenseitige Beeinflussung zwischen Laßnitz und GW-Körper erscheint wieder möglich. Die Grundwassersohle erscheint recht flach; im Bereich der Mur deutet sich eine sehr flache, breite Mulde an.

Tab. 3.21: Profil 5, Stationen.

Bezeichnung (-)	Stationierung (km)	Gelände- OK (m.ü.A.)	Stauer- OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Lage (-)
L081	0.53	277.4	268	9.5	höhere Niederterrasse
L080	1.73	279.09	268.5	10.5	höhere Niederterrasse
L083	2.30	276.16	268	8	tiefere Niederterrasse
L084	4.28	274.32	267	7	tiefere Niederterrasse
L085	5.15	273.13	267	6	Auenterrasse

Tab. 3.22: Profil 5, Bohrungen.

Bezeichnung	Gelände- OK (-)	Quartär- mächtigk. (m.ü.A.)	Sandkies- mächtigk. (m)	Dicke der Deckschicht (m)	Stauer- OK (m)	Lage (m.ü.A.)
E28/ba	273.98	7.2	-	-	266.7	tiefere Niederterrasse

Tab. 3.23: Profil 5, statistische Parameter.

Datum von (-)	Datum bis (-)	Anzahl der Meßwerte (-)	Mittelwert (m.ü.A.)	Minimum (m.ü.A.)	Maximum (m.ü.A.)	Standardabweichung (m)	Schiefe (-)	Pegelweg (m)
STATION L081: Tillmitsch 11					HZB Nr. 38049			
010181	30125	279	271.85	271.59	272.19	0.14	0.26	6.14
STATION L080: Tillmitsch 10					HZB Nr. 38044			
010979	291280	75	273.15	272.59	273.75	0.36	-0.19	3.90
050181	301285	278	272.87	272.48	273.57	0.27	0.63	9.92
STATION L083: Untergralla 2					HZB Nr. 3806			
030166	311270	532	271.98	271.58	272.65	0.22	0.61	7.99
040171	291275	487	272.01	271.49	272.88	0.26	0.61	9.84
050176	291280	282	271.86	271.37	272.53	0.26	0.39	8.41
050181	301285	278	271.87	271.59	272.38	0.19	0.68	7.69
STATION L084: Untergralla 3					HZB Nr. 3808			
040166	311270	432	270.29	269.96	271.06	0.26	0.99	11.25
040171	291275	489	270.35	269.84	271.36	0.32	0.88	9.81
050176	291280	280	270.41	270.03	271.13	0.21	0.88	7.26
050181	301285	281	270.33	270.12	270.83	0.18	0.94	7.57
STATION L082: Untergralla 1					HZB Nr. 3809			
040166	301270	268	271.04	270.47	272.33	0.38	0.59	35.82
050171	301275	325	271.19	270.37	272.78	0.57	0.24	33.08
060176	291280	268	271.69	271.40	272.49	0.18	0.95	15.09
050181	301285	274	271.72	271.37	272.17	0.16	-0.01	15.40

Profil 6:

Das Profil 6 besteht aus den Stationen L023, L037, L036, L039 und L007. Die Breite des Querschnittes beträgt 5.3 km. Das Profil schneidet die Mur im Bereich des Stauraumes des KW Gabersdorf. Der Wasserspiegel der Mur liegt in diesem Bereich etwa 3.5 m über dem Grundwasser. Als Randbedingung wirken daher nur die Begleitgerinne im Stauraum. Die Wasserspiegellage der Laßnitz entspricht etwa dem Grundwasserspiegel der benachbarten GW-Meßstation. Die Stationen L023 und L037 liegen auf der höheren Niederterrasse, die Stationen L036 und L039 liegen auf der tieferen Niederterrasse und die Stationen L007 und L415 im Bereich der Auenterrasse, die in diesem Profil auch rechtsufrig der Mur ausgebildet ist. Die Mächtigkeit des Quartärs ist in diesem Profil schon deutlich geringer als in den Profilen oberhalb. Im Bereich des Terrassenrandes zur Auenterrasse liegt der Grundwasserspiegel bereits knapp unterhalb der Geländeoberfläche, so daß in diesem Bereich ein Grundwasseraustritt in Oberflächengewässer möglich erscheint. Für das Profil 6 sind drei Bohrungen in unmittelbarer Nähe der Mur verfügbar. Die Höhe der Grundwassersohle wurde Karte 2.2 entnommen und zeigt einen gleichmäßigen Verlauf. Im Bereich der Auenterrasse sinkt die Grundwassersohle deutlich zur Mur ab.

Tab. 3.24: Profil 6, Stationen.

Bezeichnung (-)	Stationierung (km)	Gelände- OK (m.ü.A.)	Stauer- OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Lage (-)
L023	0.83	272.79	264	9	höhere Niederterrasse
L037	2.03	272.28	264	8	höhere Niederterrasse
L036	3.18	270.19	265	5	tieferer Niederterrasse
L039	3.35	269.79	265	5	tieferer Niederterrasse
L007	4.25	268.20	263	5	Auenterrasse
L415	4.38	268.10	263	5	Auenterrasse

Tab. 3.25: Profil 6, Bohrungen.

Bezeichnung (-)	Gelände- OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Sandkies- mächtigk. (m)	Dicke der Deckschicht (m)	Stauer- OK (m.ü.A.)	Lage (-)
St50	268.2	4.6	-	-	263.6	Auenterrasse
St52	268.0	6.0	-	-	262.0	Auenterrasse
St41	267.1	5.2	-	-	261.9	Auenterrasse

Tab. 3.26: Profil 6, statistische Parameter.

Datum von (-)	Datum bis (-)	Anzahl der Meßwerte (-)	Mittel- wert (m.ü.A.)	Minimum (m.ü.A.)	Maximum (m.ü.A.)	Standard- abweichung (m)	Schiefe (-)	Pegel- weg (m)
STATION L023: Kaindorf3		HZB Nr. 38142						
011082	301285	182	266.93	266.67	267.61	0.20	0.87	7.76
STATION L037: Leibnitz 4		HZB Nr. 3816						
030166	311270	522	268.06	267.29	269.02	0.43	0.03	11.34
040171	291275	489	268.23	267.22	269.69	0.47	0.23	13.38
050176	291280	280	268.02	267.27	268.86	0.40	0.21	10.18
050181	301285	282	267.98	267.47	268.70	0.30	0.40	10.28
STATION L036: Leibnitz 3		HZB Nr. 38123						
010179	291280	111	268.39	267.92	268.84	0.23	-0.20	4.52
050181	311283	169	268.22	268.00	268.65	0.16	0.65	4.53
STATION L039: Lebring 1		HZB Nr. 38122						
030166	311270	522	268.55	267.86	269.30	0.34	0.00	12.35
040171	291275	486	268.57	267.73	269.48	0.38	-0.31	12.70
050176	291280	278	268.24	267.83	268.72	0.21	-0.06	7.75
050181	301285	279	268.25	268.02	268.55	0.14	0.32	6.99
STATION L007: Hasendorf		HZB Nr. 38144						
050166	311270	356	266.63	266.17	267.57	0.25	0.68	26.20
010171	291275	720	266.73	265.96	268.01	0.47	0.04	29.14
010176	291280	720	267.05	266.75	267.75	0.16	0.70	35.47
010181	301285	720	267.02	266.66	267.66	0.17	0.72	38.18

Profil 7:

Das Profil 7 setzt sich aus den Stationen L038, L041, L045, L004, L003 und L410 zusammen. Die Breite des Querschnittes beträgt 5.1 km. Die Mur wird im Bereich des Unterwassers des KW Gabersdorf gequert. Ein Austausch Grundwasser - Oberflächengewässer erscheint sowohl mit der Sulm als auch mit der Mur möglich. Die Mächtigkeit des GW im Bereich der Sulm ist allerdings sehr gering, wenn auch in diesem Bereich wegen mangelnder Grundlagen die Höhe der Grundwassersohle geschätzt werden mußte. Der Grundwasserspiegel linksufrig der Mur ist deutlich höher als der Wasserspiegel der Mur. In der Sohle des Grundwasserstauers befindet sich im Murbereich eine deutliche Eintiefung, deren Fortsetzung in südlicher Richtung nicht aus den Karten zu entnehmen ist. Die Station L041 befindet sich auf der tieferen Niederterrasse, die Stationen L004, L003 und L410 linksufrig auf der höheren Niederterrasse. Station L038 und L045 liegen auf der Auenterrasse. Für diese Profil stehen keine Bohrungen zur Verfügung.

Tab. 3.27: Profil 7, Stationen.

Bezeichnung (-)	Stationierung (km)	Gelände-OK (m.ü.A.)	Stauer-OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Lage (-)
L038	0.38	268.00	264	4	Auenterrasse
L041	2.60	270.15	263	7	tieferer Niederterrasse
L045	3.43	267.82	262	6	Auenterrasse
L004	4.40	270.87	261	10	höhere Niederterrasse
L003	4.70	272.28	260	12	höhere Niederterrasse
L410	5.10	273.63			höhere Niederterrasse

Tab. 3.28: Profil 7, statistische Parameter.

Datum von (-)	Datum bis (-)	Anzahl der Meßwerte (-)	Mittelwert (m.ü.A.)	Minimum (m.ü.A.)	Maximum (m.ü.A.)	Standard- abweichung (m)	Schiefe (-)	Pegelweg (m)
STATION L038: Leibnitz 5					HZB Nr. 38181			
030166	311270	523	265.44	265.07	267.27	0.17	3.46	21.20
040171	291275	544	265.42	265.01	267.48	0.24	2.73	31.57
010176	291280	530	265.01	264.67	266.05	0.24	0.86	18.16
010181	301285	335	264.92	264.77	265.47	0.10	1.31	11.71
STATION L041: Lebring 3					HZB Nr. 38183			
020167	31270	419	267.09	266.43	267.94	0.37	0.11	8.93
040171	291275	490	267.18	266.31	268.36	0.39	0.09	13.44
050176	291280	283	266.89	266.29	267.86	0.32	0.24	10.96
050181	301285	283	266.88	266.51	267.48	0.23	0.48	9.77
STATION L045: Lebring 7					HZB Nr. 38209			
010172	291275	391	265.78	265.32	266.50	0.21	0.12	14.31
050176	291280	278	265.36	265.09	266.07	0.21	0.94	11.54
050181	301285	283	265.35	265.13	266.41	0.18	1.52	13.76

STATION L004: Gabersdorf 2**HZB Nr. 3821**

050166	301270	266	268.06	267.80	268.58	0.12	1.51	11.21
020171	291275	428	267.95	267.73	268.61	0.14	1.61	11.24
050176	291280	280	267.87	267.57	268.34	0.13	0.40	9.83
050181	301285	281	267.89	267.70	268.29	0.09	0.64	8.50

STATION L003: Gabersdorf**HZB Nr. 3819**

030166	311270	522	269.01	268.86	269.61	0.13	2.17	10.60
010171	291275	469	269.07	268.81	269.69	0.14	1.13	11.93
050176	291280	285	269.08	268.86	269.56	0.12	0.81	10.15
050181	301285	283	269.10	268.93	269.50	0.10	1.01	9.17

STATION L410: Gabersdorf 4**HZB Nr. 3817**

050166	301270	265	269.90	269.63	270.72	0.17	2.24	14.34
020171	291275	371	269.94	269.69	270.87	0.17	2.04	14.34
050176	291280	276	269.92	269.67	270.70	0.16	1.39	10.78
050181	311281	57	269.90	269.79	270.04	0.06	0.33	1.55

Profil 8

Das Profil 8 besteht aus den Stationen L086, L091, L026 und L024. Die Breite des Querschnittes beträgt in diesem Profil 4.3 km. Die Mur wird im Bereich des Stauraumes des KW Obervogau geschnitten; das Stauziel beträgt hier 262.0 m. Die Stationen L086 und L091 befinden sich auf der unteren Niederterrasse ebenso wie die Stationen L026 und L024 linksufrig der Mur. Im Bereich der Terrassenkante zur Auenterrasse liegt der Grundwasserspiegel wieder so knapp unter der Geländeoberfläche, daß mit einer Einspeisung des Grundwassers in Oberflächengewässer zu rechnen ist. Die Grundwassersohle ist als tiefe Mulde ausgebildet, mit einem Anstieg zur Sulm, der sich aufgrund mangelnder Aufschlüsse jedoch nicht fortsetzen läßt. Linksufrig der Mur befindet sich eine hohe Kuppe in der Sohle, so daß die Grundwasserspiegel der beiden Stationen L026 und L024 nicht in einem direkten Zusammenhang stehen.

Tab. 3.29: Profil 8, Stationen.

Bezeichnung (-)	Stationierung (km)	Gelände- OK (m.ü.A.)	Stauer- OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Lage (-)
L086	1.13	265.33	259	6	tieferer Niederterrasse
L091	1.63	266.75	257	10	tieferer Niederterrasse
L026	3.05	261.64	254	8	tieferer Niederterrasse
L024	4.00	264.55	260	5	tieferer Niederterrasse

Tab. 3.30: Profil 8, Bohrungen.

Bezeichnung (-)	Gelände- OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Sandkies- mächtigk. (m)	Dicke der Deckschicht (m)	Stauer- OK (m.ü.A.)	Lage (-)
Wa2	261.23	5.6	-	-	255.6	Auenterrasse
MBP16	262.30	3.0	-	-	259.3	tiefere Niederterrasse
E34/Ba	264.70	3.7	-	-	261.0	tiefere Niederterrasse
E34/Bb	265.00	4.3	-	-	260.7	tiefere Niederterrasse

Tab. 3.31: Profil 8, statistische Parameter.

Datum von (-)	Datum bis (-)	Anzahl der Meßwerte (-)	Mittel- wert (m.ü.A.)	Minimum (m.ü.A.)	Maximum (m.ü.A.)	Standard- abweichung (m)	Schiefe (-)	Pegel- weg (m)
STATION L086: Wagna				HZB Nr. 3826				
030166	311270	522	261.76	261.14	262.67	0.34	0.20	16.88
040171	291275	494	261.68	260.91	262.93	0.38	0.28	19.83
050176	291280	284	261.56	260.97	262.43	0.37	0.34	14.69
050181	301285	284	261.50	261.11	262.24	0.28	0.70	14.80
STATION L091: Wagna 5				HZB Nr. 3832				
010175	291275	110	260.88	260.67	261.20	0.10	1.14	2.12
050176	291280	276	260.75	260.49	261.30	0.18	0.74	6.57
050181	301285	278	260.76	260.55	261.23	0.12	1.28	5.45
STATION L026: Landscha 3				HZB Nr. 3825				
030166	311270	522	258.42	257.95	261.00	0.36	1.95	24.99
040171	291275	531	258.36	257.68	260.24	0.44	1.16	29.82
010176	291280	524	258.14	257.72	259.09	0.29	0.86	15.53
010181	311283	212	258.23	257.94	259.44	0.26	2.56	9.41
STATION L024: Landscha 1				HZB Nr. 38311				
010182	301285	219	260.58	259.94	261.34	0.31	0.31	15.01

Profil 9

Das Profil 9 besteht aus den Stationen L053, L054, L055 und L448. Die Breite des Querschnittes beträgt 4.1 km. Der Grundwasserkörper ist linksufrig der Mur gelegen. Die Grundwassersohle zeigt ein Gefälle von der Mur ins Hinterland, das Gelände einen gegenläufigen Verlauf. Die Mur wird im Unterwasser des KW Obervogau gequert, das Stauziel des KW Spielfeld beträgt 254.00 m. Die Stationen L053, L054 liegen im Bereich der Auenterrasse, Station L055 im Bereich der Niederterrasse und L448 auf der Helfbrunner Terrasse.

Tab. 3.32: Profil 9, Stationen.

Bezeichnung (-)	Stationierung (km)	Gelände- OK (m.ü.A.)	Stauer- OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Lage (-)
L053	0.90	259.05	253	6	Auenterrasse
L054	1.13	259.35	253	6	Auenterrasse
L055	2.25	260.98	252	9	tieferer Niederterrasse
L448	4.08	266.89	250	17	Hellbrunner Terrasse

Tab. 3.33: Profil 9, Bohrungen.

Bezeichnung (-)	Gelände- OK (m.ü.A.)	Quartär- mächtigk. (m)	Sandkies- mächtigk. (m)	Dicke der Deckschicht (m)	Stauer- OK (m.ü.A.)	Lage (-)
XIV	263.59	7.0	7.0	4.0	256.6	Auenterrasse
XI	258.27	4.0	4.0	-	254.3	Auenterrasse
E39B/a	259.30	7.6	6.6	1.0	251.7	tieferer Niederterrasse
E35B/c	259.60	9.2	7.9	1.3	250.4	tieferer Niederterrasse

Tab. 3.34: Profil 9, statistische Parameter.

Datum von (-)	Datum bis (-)	Anzahl der Meßwerte (-)	Mittel- wert (m.ü.A.)	Minimum (m.ü.A.)	Maximum (m.ü.A.)	Standard- abweichung (m)	Schiefe (-)	Pegel- weg (m)
STATION L053: Obervogau 1			HZB Nr. 3829					
011074	291275	138	256.22	255.84	257.93	0.28	2.48	6.07
010176	291280	527	256.08	255.65	256.94	0.30	0.62	12.31
010181	301285	326	256.12	255.85	256.83	0.20	1.12	10.74
STATION L054: Obervogau 2			HZB Nr. 38135					
030166	311270	522	256.22	255.71	257.40	0.35	0.98	18.28
040171	291275	532	256.18	255.55	258.10	0.39	1.18	19.63
010176	291280	529	255.94	255.49	256.81	0.32	0.62	10.30
010181	301285	326	256.00	255.70	256.76	0.23	1.02	10.30
STATION L055: Obervogau 3			HZB Nr. 3833					
030166	311270	522	255.88	255.28	257.10	0.36	0.72	14.71
040171	291275	480	255.87	255.14	257.27	0.39	0.90	14.86
050176	291280	377	255.73	255.11	256.54	0.36	0.22	10.62
010181	301285	322	255.69	255.30	256.31	0.24	0.41	9.39
STATION L448: St. Veit/Vogau 2			HZB Nr. 38351					
030166	311270	522	264.19	263.64	264.80	0.25	-0.23	8.30
040171	291275	481	264.22	263.74	264.98	0.23	1.01	9.41
050176	291280	271	263.97	263.48	264.58	0.29	0.18	6.45
050181	311281	57	264.04	263.72	264.39	0.21	0.07	0.87

3.3. Räumliche Darstellung von statistischen Parametern

In diesem Kapitel werden die statistischen Parameter Standardabweichung, Schiefe und Pegelweg aller verfügbaren Meßstellen für eine räumliche Differenzierung des Grundwassersystems flächig dargestellt. Ziel dieser Untersuchung ist eine erste Analyse des Zusammenhanges von Oberflächengewässern, Niederschlag und Grundwasser. Durch die flächige

Darstellung ist es möglich, mehrere Bereiche mit ähnlichem Verhalten des Grundwasserkörpers voneinander zu unterscheiden. Die dargestellten Parameter sind als Funktion der dort anzutreffenden geohydraulischen Bedingungen anzusehen.

Die Regionalisierung erfolgt durch Thiessenpolygone um die selektierten Meßstellen. Die auftretende Spannweite der Werte wird in eine übersichtliche Anzahl von Klassen geteilt. Die jeweiligen Klassen werden in den Karten farbig dargestellt. Zusätzlich werden die zur Berechnung herangezogenen Grundwassermeßstellen in den Karten eingetragen.

Um auch den zeitlichen Aspekt von langjährigen Entwicklungen zu berücksichtigen, werden mehrere Jahresreihen ausgewertet. Aufgrund der Datenlage bieten sich dafür die Jahresreihen 1966/70, 1971/75, 1976/80, 1981/85 sowie 1986/90 an. Jedes Intervall umfaßt fünf Jahre. Diese Einteilung ist willkürlich und Veränderungen im Grundwasserhaushalt kommen in entsprechend veränderten Werten des gesamten Intervalles zum Ausdruck.

Dem Auswertzeitraum entsprechend werden nur langfristig beobachtete Stationen des Hydrographischen Dienstes herangezogen. Die Auswahl dieser Stationen erfolgt so, daß jede Station in einem Fünfjahresintervall mindestens über drei Jahre lang beobachtet sein muß. Nach diesem Kriterium können für alle Zeitintervalle von 1966/70 bis 1981/85 im Schnitt etwa 100 Stationen verwendet werden.

Für den Vergleich der Mittelwerte der einzelnen Intervalle und die Darstellung der Differenzen, können nur Stationen herangezogen werden, die dieses Kriterium für beide Intervalle erfüllen. Damit wird die Anzahl der Stationen weiter eingegrenzt.

3.3.1. Standardabweichung

Standardabweichung 1966/70: Karte 3.1a

Die Standardabweichung beträgt in weiten Bereichen des Leibnitzer Feldes 0.2 bis 0.5 m.

Im westlichen Leibnitzer Feld sind drei größere Bereiche mit Werten zwischen 0.3 und 0.5 m zu erkennen; der eine befindet sich südwestlich des Stauwurzelbereiches des KW Gralla. Wie aus Profil 3 und der Karte der Aquifermächtigkeit (Karte 4.2) ersichtlich, überdeckt dieser den Bereich einer Tiefenstruktur mit Mächtigkeiten über 10 m. Der zweite Bereich befindet sich im Bereich von Leibnitz. Der dritte Bereich um die Station L086 setzt sich linksufrig der Mur im südlichen Leibnitzer Feld fort, wobei die Stationen in Murnähe, ebenso wie Stationen der Helfbrunner Terrasse, geringere Werte aufweisen.

Im nordöstlichen Leibnitzer Feld weisen die Stationen am nördlichen Rand mit Werten zwischen 0.5 m und 0.8 m sehr hohe Standardabweichungen auf. Die Stationen der Auenterasse im nordöstlichen Leibnitzer Feld sind durch geringere Werte der Standardabweichung gekennzeichnet. Gegen den östlichen Rand sind mit 0.1 bis 0.2 m sehr geringe Werte zu erkennen. Eben solche ergeben sich auch im Bereich der Helfbrunner Terrasse bei Wagendorf und im Bereich der höheren Niederterrasse bei Gabersdorf. Die murnahen Stationen L050, L052 und L038 werden durch nahegelegene Vorfluter insofern beeinflusst, als die tiefen Grundwasserstände durch die Oberflächengewässer auf sehr konstantem Niveau gehalten werden.

Standardabweichung 1971/75: Karte 3.1b

In diesem Zeitintervall ist die Standardabweichung generell höher als zuvor. Teilgebiete geringerer Standardabweichung sind am nördlichen Rand des westlichen Leibnitzer Feldes und am östlichen Rand des nördlichen Leibnitzer Feldes zu beobachten. Die Ganglinien der Grundwasserstände sind hier meist durch viele, aber sehr geringe, oder durch mittlere Amplituden mit weniger Schwankungen gekennzeichnet. Der Bereich der geringen Standardabweichung im Bereich der Stauwurzel des KW Gabersdorf ist durch Interpolation von Stationen, die nicht unmittelbar durch Wasserstände der Mur beeinflusst werden, zu erklären. Rechtsufrig werden die Amplituden durch den Vorfluter im Hinterland gedämpft, linksufrig ist der Grundwasserspiegel weitaus höher als jener der Mur. Die Differenz beträgt etwa 5 m, so daß keine Beeinflussung durch die Wasserstände gegeben sein kann. Die Station L411 im südlichen Leibnitzer Feld wurden nur in den letzten drei, sehr ausgeglichenen, Jahren dieses Intervalls beobachtet, und sind daher nicht so repräsentativ. Dennoch ist hier ein Bereich zu unterscheiden, der durch geringere Amplituden abgegrenzt wird. Geringere Standardabweichungen sind auch an den Stationen des östlichen Randes zu erkennen, deren Grundwasserstände viel höher liegen als im murnahen Bereich.

Am nördlichen Rand des nördlichen Leibnitzer Feldes sind wieder größere Standardabweichungen zu verzeichnen, vor allem auch im Einzugsbereich der Stiefing, ebenso wie an der Mur im Abschnitt des KW Gabersdorf. Hier dürfte, neben der Gangliniencharakteristik der Anstieg des Grundwasserspiegels im Jahr 1972 mit Inbetriebnahme des Kraftwerkes für diese hohen Werte verantwortlich sein.

Standardabweichung 1976/80: Karte 3.1c

Die Verteilung der Werte der Standardabweichung zeigt eine Tendenz zu etwas geringeren Werten, was dem ausgeglicheneren Verlauf der Ganglinien entspricht. Dennoch zeigen viele Stationen des westlichen Leibnitzer Feldes eine relativ hohe Standardabweichung von 0.3 bis 0.5 m.

Geringe Werte treten wieder im Bereich der Helfbrunner Terrasse auf. Auch der östliche Rand des nördlichen Leibnitzer Feldes zeigt eine geringe Standardabweichung. Dieser Bereich zieht sich nun nach S bis Gabersdorf und umfaßt im wesentlichen den Bereich des KW. Dies ist als Folge der in diesem Intervall voll zur Geltung kommenden Baumaßnahmen anzusehen. Auch entlang der Mur bis zur Mündung der Sulm ist eine Abnahme der Standardabweichung zu erkennen. Hohe Werte ergeben sich wieder am nördlichen Rand des nordöstlichen Leibnitzer Feldes.

Standardabweichung 1981/85: Karte 3.1d

Durch die im Mittel etwa gleiche Höhe der Grundwasserspiegel über das gesamte Intervall und die geringe Spannweite zwischen Minima und Maxima ist die Standardabweichung deutlich geringer als im vorigen Intervall. In großen Bereichen des zentralen, westlichen Leibnitzer Feldes beträgt sie etwa 0.2 bis 0.3 m, ebenso im südöstlichen Leibnitzer Feld.

Im Bereich der Helfbrunner Terrasse, aber auch bei den Stationen L081 und L038 an der Laßnitz bzw. Sulm ist die Standardabweichung geringer. Ebenso weist der gesamte Bereich entlang der Mur bis zum KW Obervogau geringere Werte auf. Im südlichen Leibnitzer Feld ist gegenüber dem Intervall 1976/80 eine Abnahme der Standardabweichung festzustellen. Dies könnte auf den Kraftwerksbau in diesem Bereich zurückzuführen sein.

Höhere Standardabweichungen sind wieder am nördlichen Rand des nordöstlichen Leibnitzer Feldes festzustellen. Sie treten auch relativ konzentriert an zwei Stellen im westlichen Leibnitzer Feld auf; hier dürften sie mit Grundwasserentnahmen in Zusammenhang stehen.

Standardabweichung 1986/90: Karte 3.1e

Die Standardabweichungen dieser Periode weisen sehr ähnliche Werte wie jene davor auf. Im nordöstlichen Leibnitzer Feld erreichen sie jedoch Werte größer als 0.80 m.

3.3.2. Pegelweg

Pegelweg 1966/70: Karte 3.2a

Der Pegelweg beträgt in großen Bereichen 10 bis 20 m in fünf Jahren.

Bereiche mit größeren Pegelwegen von 20 bis 50 m sind entlang der Mur unterhalb des KW Gralla zu erkennen. Südlich von Gabersdorf erscheint der Pegelweg wieder geringer. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, daß die Stationen in diesem Bereich nicht direkt durch die Mur beeinflusst werden. Die hohen Werte der Station L011 und L013 im Bereich der Auenterrasse des nordöstlichen Leibnitzer Feldes werden auf die geringe Überdeckung bzw. auf eine Interaktion mit Vorflutern (Auenhofbach, Stiefing) zurückgeführt. Geringere Pegelwege zwischen 5 m und 10 m sind im Bereich der Helfbrunner Terrasse bei Wagendorf und auch bei St. Veit am Vogau zu erkennen; außerdem treten sie auch im westlichen Leibnitzer Feld südöstlich des Stauraumes des KW Gralla und im Bereich von Leitring auf. Am nordöstlichen und nördlichen Rand des nordöstlichen Leibnitzer Feldes treten durchschnittliche Werte auf.

Pegelweg 1971/75: Karte 3.2b

Im Bereich des westlichen Leibnitzer Feldes liegt der Pegelweg über einen Zeitraum von fünf Jahren überwiegend zwischen 10 und 20 m. Nur die Stationen auf der Helfbrunner Terrasse und Station L051 zeigen geringere Werte, was auf ein gedämpfteres Verhalten der Ganglinie hinweist. Ebenso gilt dies für die Stationen der höheren Niederterrasse bzw. der Helfbrunner Terrasse des südlichen Leibnitzer Feldes. Die geringen Werte der Station L411 sind auf die kürzere Beobachtungsdauer zurückzuführen.

Höhere Werte für den Pegelweg lassen sich in den Bereichen der Auenterrasse entlang der Mur erkennen. Die Stationen L082, L434 und L085 erreichen Werte über 30 m. Der Bereich südlich von Gabersdorf ist in der Karte durch das Fehlen eines murnahen Pegels mit Werten von 10 bis 20 m ausgewiesen. Auch die Stationen L038, L079 und L027 an der Sulm bzw. Laßnitz weisen höhere Werte für den Pegelweg auf. Für die Station L027 erscheint dies jedoch nicht ganz verständlich, da deren Grundwasserstände doch deutlich über der Laßnitz liegen, wie dies aus Profil 3 hervorgeht. Die Stationen L011 und L010 sind durch extrem hohe Werte von über 50 m gekennzeichnet.

Pegelweg 1976/80: Karte 3.2c

Entsprechend der allgemeinen Entwicklung sind für den Pegelweg in diesem Intervall ebenfalls geringere Werte zu verzeichnen als zuvor. Das westliche Leibnitzer Feld weist in großen Bereichen einen Pegelweg von 5 bis 10 m auf. Dieser beträgt im nördlichen Leibnitzer Feld großteils 10 bis 20 m. Der Bereich extrem hoher Werte der Stationen L011 und L010 ist weiterhin deutlich ausgeprägt. Im südlichen Leibnitzer Feld ergeben sich nur geringfügige Veränderungen.

Pegelweg 1981/85: Karte 3.2d

Diese Periode ist allgemein durch eine ähnliche Verteilung der Werte wie im vorigen Intervall gekennzeichnet.

Im südlichen Leibnitzer Feld ist ein Rückgang der hohen Werte in unmittelbarer Nähe der Mur zu erkennen. Durch den Wegfall von Stationen des nordöstlichen Randes scheinen dort in diesem Intervall höhere Werte auf.

Pegelweg 1986/90: Karte 3.2e

Zum vorigen Intervall sind kaum Unterschiede zu erkennen.

3.3.3. Schiefe

Schiefe 1966/70: Karte 3.3a

Die Schiefe der Häufigkeitsverteilung der gemessenen Grundwasserstände ist in den meisten Bereichen mit Werten von 0 bis 1 leicht positiv.

Die Stationen L038, L050 und L052 weisen aus den vorgenannten Umständen sehr hohe Werte zwischen +3 und +6 auf, da die Spitzen sehr hoch über die durchschnittlichen Werte hinausgehen. Ebenso dürfte dies bei den Stationen L410 und L003 bei Gabersdorf und L409 bei Ragnitz auf kleine Bäche zurückzuführen sein. Die hohen Werte unterhalb der Wildoner Enge im Bereich der Auenterrasse ergeben sich aufgrund sehr hoher Wasserstände der Mur in den Jahren 1966 und 1970. Dabei kam es zu Überflutungen der Grundwasserpegel. Bereiche negativer Schiefe sind im westlichen Leibnitzer Feld südwestlich des Stauraumes Gralla und bei den Stationen L044 und L432 bei Leitring zu erkennen. Diese sind durch die stark fallenden Grundwasserstände im Jahr 1968 bedingt.

Schiefe 1971/75: Karte 3.3b

In großen Teilen des Leibnitzer Feldes ist die Schiefe schwach positiv mit Werten von 0 bis 1. Im nordöstlichen Leibnitzer Feld ist die Schiefe deutlicher ausgeprägt.

Die in einigen Bereichen auftretende negative Schiefe dürfte auf ein ausgeprägtes Minimum des Grundwasserstandes dieser Stationen im Jahr 1971 zurückzuführen sein.

Die Ganglinien der Stationen mit hoher Schiefe sind durch hohe, aber nur kurz andauernde Spitzen gekennzeichnet. Sie befinden sich im Einflußbereich der Mur, der Sulm oder kleinerer Bäche, die sehr konstante niedere Grundwasserstände bewirken.

Schiefe 1976/80: Karte 3.3c

Die Schiefe ist auch in diesem Intervall für den Großteil der Stationen schwach positiv.

Die höheren Werte der Stationen L050 und L052 sind auf HW-Spitzen in den Jahren 1981 und 1985 zurückzuführen. Die Station L026 wurde innerhalb des Auswertintervalls nur drei Jahre beobachtet, so daß sie nicht repräsentativ erscheint.

Die Station L089 zeigt weiterhin negative Werte. Die stark negative Schiefe der Station L012 dürfte durch regelmäßig einmal jährlich erfolgende Absenkungen des Mühlganges bedingt sein. Die Ganglinie dieser Station weist jedoch eine vollständig andere Charakteristik auf als die bis zum Jahr 1981 beobachtete Station L416 in unmittelbarer Nähe.

Schiefe 1981/85: Karte 3.3d

Die Schiefe liegt bis auf wenige Ausnahmen im gesamten Bereich zwischen 0 und 1. Etwas höhere Werte sind auf die Auenterrasse des nordöstlichen Leibnitzer Feldes beschränkt.

Negative Werte treten wieder bei denselben Stationen wie im Intervall 1971/75 auf.

Schiefe 1986/90: Karte 3.3e

Die Verteilung entspricht im wesentlichen jener des Intervalls 1981/85.

3.3.4. Vergleich der Mittelwerte der Intervalle

Um die zeitliche Entwicklung der Grundwasserspiegel zu beschreiben, werden die Differenzen der Mittelwerte der aufeinanderfolgenden Intervalle sowie des letzten (1986/90) und ersten (1966/70) Intervalls gebildet. Die positiven Werte entsprechen einem Anstieg, die negativen Werte einem Absinken des Grundwasserspiegels.

MW 71/75-MW 66/70: Karte 3.4a

In großen Bereichen bleiben die Mittelwerte im Bereich von +/-5 cm konstant. Im Bereich der Stiefing, im Anschluß an das Unterwasser des KW Lebring und im Bereich von Leibnitz sind Anstiege des Grundwasserspiegels bis zu 0.30 m zu erkennen. Im Bereich der Wildoner Enge und im südlichen Teil des westlichen Leibnitzer Feldes sinkt der Mittelwert bis zu 0.15 m ab.

MW 76/80-MW 71/75: Karte 3.4b

Für diesen Vergleichszeitraum ist für nahezu alle Stationen ein Absinken des Grundwasserspiegels festzustellen. Das Ausmaß der Abnahme ist unter dem Gesichtspunkt eines allgemein tieferen Grundwasserniveaus in der Periode 76/80 zu sehen, die durch Minima in den Jahren 1976, 1977, 1978 geprägt ist. Im westlichen Leibnitzer Feld sinkt der Grundwasserspiegel um bis zu 0.30 m ab, stellenweise sogar mehr. Eine Absinken des Grundwasserspiegels um mehr als 0.50 m in fünf Jahren ist am nordöstlichen Rand des Leibnitzer Feld im Bereich der Stiefing und für die Stationen L079 und L038 im westlichen Leibnitzer Feld zu erkennen. Die Ursache dürfte bei letzteren in einer Absenkung des Wasserspiegels der Laßnitz bzw. Sulm zu suchen sein. Weitere Absenkungen von 0.30 bis 0.50 m ergeben sich im Umkreis der Stationen L040 und L470, die durch die Grundwassernutzung bedingt sein dürften.

MW 81/85-MW 76/80: Karte 3.4c

Die sinkende Tendenz der Grundwasserspiegel ist im Intervall 81/85 beendet und in großen Bereichen gibt es kaum Veränderungen der Mittelwerte. Die Stationen mit den größten Abnahmen im vorigen Vergleichszeitraum zeigen jedoch weiterhin eine abnehmende Tendenz.

MW 86/90-MW 81/85: Karte 3.4d

Im westlichen und südöstlichen Leibnitzer Feld bleiben die Mittelwerte des Grundwasserspiegels im wesentlichen konstant. Im westlichen Leibnitzer Feld ist im Bereich der Wasserversorgung Kaindorf ein punktuell Absinken des Grundwasserspiegels von bis zu 0.50 m zu erkennen. Im nördlichen Teil kommt es bei einigen Stationen zu Anstiegen von bis zu 0.30 m. Im südöstlichen Leibnitzer Feld sind vor allem die Stationen im Umkreis des KW Spielfeld von einem weiteren Absinken des Grundwasserspiegels betroffen. Im nordöstlichen Leibnitzer Feld ist für diesen Zeitraum ein starker Anstieg von stellenweise 0.50 bis 0.80 m, durchschnittlich 0.15 bis 0.30 m zu erkennen.

MW 86/90 - MW 66/70: Karte 3.4e

Für diesen Vergleich konnten nur die von 1966(-68) bis 19(-88)90 beobachteten Stationen herangezogen werden. Karte 3.4e gibt zusammenfassend die Entwicklung der mittleren Grundwasserspiegel vom Intervall 66/70 bis 86/90 wieder. Aus der Ähnlichkeit mit Karte 3.4b zeigt sich, daß das Absinken der Grundwasserstände im Intervall 1976/80 mit besonders ausgeprägten Minima in den Jahren 1976, 1977, 1978, vor allem im westlichen und südöstlichen Leibnitzer Feld, einen großen Einfluß auf die Charakteristik der Gesamtperiode hat. Im nordöstlichen Leibnitzer Feld wird dieser Einfluß hingegen durch den Anstieg der Mittelwerte im Intervall 1986/90 gemildert.

3.4. Grundwasservolumen

Das Grundwasservolumen eines Gebietes wird hier als Volumen des wassererfüllten Grundwasserleiters, multipliziert mit dem Speicherkoeffizienten definiert. Tatsächlich ist eine größere Wassermenge vorhanden, da ja das gesamte Porenvolumen wassererfüllt ist. Der Speicherkoeffizient gibt diejenige Wassermenge, die aus einer Bodensäule von 1 m^2 frei wird, wenn der Grundwasserspiegel um 1 m abgesenkt wird. Diese Berechnungsart erscheint zweckmäßiger, da gerade der Bereich des schwankenden Grundwasserspiegels für die Bewirtschaftung interessant ist. Das Grundwasservolumen kann ebenso als gewichtetes Mittel der Grundwasserganglinien eines Gebietes gesehen werden. Das Grundwasservolumen ist daher als

$$V_G = S \cdot h \cdot dF \quad (3.1)$$

mit

S	Speicherkoeffizient
h	gesättigte Mächtigkeit des Grundwasserkörpers
G	Gebiet
F	Fläche

zu berechnen, wobei der Flächenanteil das Gewicht der jeweiligen Station darstellt. Der Speicherkoeffizient wird in Anlehnung an die aus k_f -Werten berechneten Werte für das gesamte Gebiet einheitlich mit $S = 0.2$ (Tab. 2.1) angenommen.

Zur Berechnung des grundwassererfüllten Volumens des Grundwasserleiters ist zuerst die gesättigte Mächtigkeit des Grundwasserleiters zu ermitteln. Diese ergibt sich als Differenz von Grundwasserspiegelkote und Kote der Staueroberkante. Für den Fall, daß der Grundwasserspiegel in die undurchlässige Deckschicht hineinreicht, ist die gesättigte Mächtigkeit identisch mit der Mächtigkeit des Grundwasserleiters.

Die Daten der Grundwasserspiegel werden aus der Projektdatenbank zu Verfügung gestellt. Die Kote der Staueroberkante wurde der entsprechenden Karte (UNTERSWEIG, in: FANK et al., 1989) entnommen.

Als Geländehöhe wurde Pegelnullpunkt weniger 0.8 m angenommen, die Dicke der Deckschicht wurde einheitlich mit 1.2 m festgesetzt.

Um durch Verwendung von verschiedenen Meßstellen zu verschiedenen Zeitpunkten keine systematischen Fehler zu erhalten, wurden nur jene Meßstellen verwendet, für die von 1966 bis 1985 praktisch lückenlose Beobachtungsreihen vorliegen.

Das Gesamtgebiet von etwa 100 km² wird in einzelne Flächenelemente zerlegt, indem jeder Meßstelle der Flächenanteil F_i zugeordnet wird, der sich nach der THIESSEN-Methode ergibt.

Damit kann zu einem gegebenen Zeitpunkt das Grundwasservolumen als

$$V_G = \sum H_i \cdot S \cdot F_i \quad (3.2)$$

mit

H_i Mächtigkeit des grundwassererfüllten Grundwasserleiters
 F_i THIESSEN-Fläche der Meßstelle berechnet werden.

Da keine täglichen Meßwerte vorliegen und die meist wöchentlichen Ablesungen auch nicht für alle Meßstellen am selben Tag erfolgen, kommt folgende Vorgangsweise bei der Berechnung zur Anwendung:

Innerhalb der ersten 10 Tage eines Jahres wird jener Tag ausgewählt, an dem für die meisten Meßstellen Messungen vorliegen. Das nächste Datum ist mindestens vier Tage und höchstens 10 Tage vom vorhergehenden entfernt; innerhalb dieser Spanne jenes, an dem die meisten Meßwerte vorliegen. Für jene Stationen, die zu einem anderen Zeitpunkt beobachtet werden, erfolgt eine lineare Interpolation in der Zeit.

Damit wird erreicht, daß an möglichst wenigen Meßstellen die Grundwasserspiegellage für den benötigten Stichtag interpoliert werden muß. Bei Meßstellen, an denen zum gewählten Datum kein Meßwert vorhanden ist, wird die Spiegellage zwischen den zeitlich benachbarten Meßwerten linear interpoliert, falls der Abstand genügend klein ist. Kann die Spiegellage für eine Meßstelle nicht ermittelt werden, wird der Flächenanteil gleichmäßig den benachbarten Stationen zugeschlagen.

3.4.1. Grundwasservolumen des Gesamtgebietes

Für die Berechnung des Grundwasservolumens wurden nur jene Stationen herangezogen, die während des gesamten Auswertintervalles von 1966 bis 1988 beobachtet worden sind. Nach diesem Kriterium können 64 Stationen selektiert werden.

Die Ganglinie des berechneten Grundwasservolumens ist aus Abb. 3.18 ersichtlich. Es lassen sich zwei Perioden unterscheiden. Bis zum Jahr 1979 ist eine leicht abnehmende Tendenz des Grundwasservolumens festzustellen. Es treten außerdem sehr hohe Maxima und tiefe Minima auf. Die Differenz zwischen Maximum und Minimum der ersten Periode beträgt 29 Mio. m³; das sind 37 % des Mittelwertes der Reihe 66/88. Ab dem Jahr 1979 bis 1988 ist ein ausgeglicheneres Verhalten des Grundwasservolumens festzustellen. Auch die Differenz zwischen Maxima und Minima ist kleiner und beträgt etwa 17 Mio. m³, was 22 % des Mittelwertes der Reihe 66/88 entspricht.

Vor allem in den Jahren 1983 bis 1987 läßt sich eine deutliche Jahresperiode erkennen. In Tab. 3.35 sind einige Extremwerte angeführt. Für die Reihe 66/88 sind die statistischen Parameter in Tab. 3.36 angegeben.

Tab. 3.35: Extremwerte des Grundwasservolumens 66/88.

Jahr	Maximum (Mio. m ³)	Jahr	Minimum (Mio. m ³)
1969	92	1968	72
1970	92	1971	70
1972	97	1976	71
1975	88	1977/78	68
		1978/79	70
1979	88	1984/85	72
1986	89		

Tab. 3.36: Statistische Parameter des Grundwasservolumens der Reihe 66/88.

Mittelwert (Mio. m ³)	Standardab. (Mio. m ³)	Minimum (Mio. m ³)	Maximum (Mio. m ³)
79.0	4.9	67.8	97.2

Grundwassersituation 66/70:

Die Ganglinien des Grundwasservolumens zeigt nach einem Hochstand im Jahr 1966 bis zum Jahr 1968 eine fallende Tendenz. Auffällig ist, daß in den Jahren 1967/68 kein Jahresgang zu erkennen ist. Nach dem Tiefststand 1968 treten in den folgenden beiden Jahren 1969/70 zwei etwa gleich hohe Maxima auf.

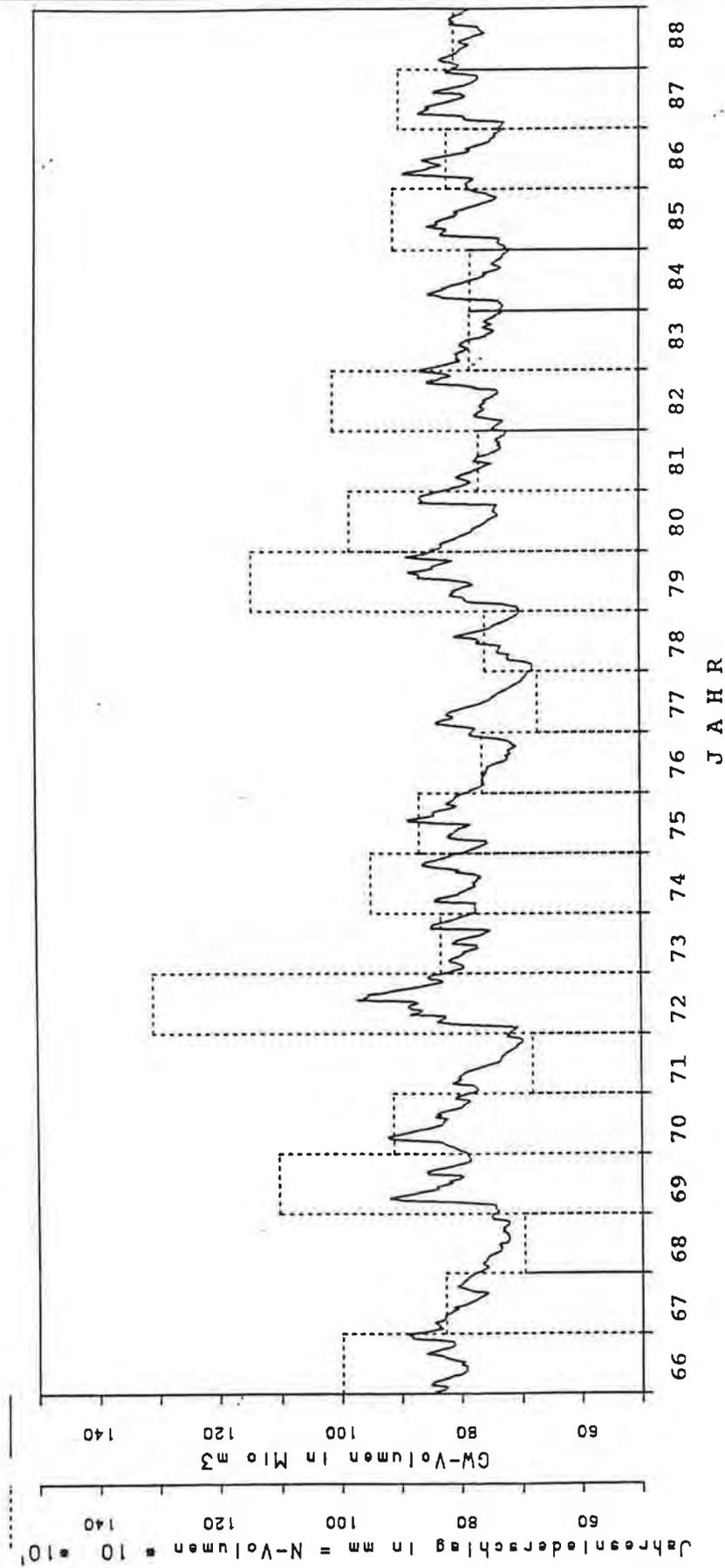


Abb. 3.18: Grundwasservolumen 66/88, Gesamtgebiet.

Grundwassersituation 71/75:

Nach einem Absinken des Grundwasservolumens bis zum Jahreswechsel 71/72 ist im Jahr 1972 eine Spitze zu verzeichnen, die bei vielen Stationen das absolute Maximum der Reihe 66/88 bedeutet. Bis 1975 folgt eine Periode mit höherem Grundwasservolumen.

Grundwassersituation 76/80:

Die Ganglinie des Grundwasservolumens weist in den Jahren 1976, 1977, 1978 deutliche Minima auf. Es handelt sich bei vielen Stationen um den absoluten Tiefstand des Grundwasserspiegels der Reihe 66/88. Die nachfolgenden Spitzen erreichen nicht die Werte des Jahres 1972.

Grundwassersituation 81/85:

Die Ganglinie des Grundwasservolumens zeigt während dieses Intervalls keine extremen Maxima und Minima. Allerdings ist von 1982 bis 1985 ein gleichmäßiger, aber deutlicher Jahresgang zu erkennen.

Die Gesamtfläche der den Stationen zugeordneten Thiessenpolygone beträgt etwa 100 km². Aus den Werten des Grundwasservolumens läßt sich nun unter Verwendung der Fläche des Gesamtgebietes eine mittlere Mächtigkeit des Grundwasserkörpers errechnen. Unter Berücksichtigung des verwendeten Speicherkoeffizienten von $S = 0.20 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ergibt sich für den Mittelwert von 79 Mio. m³ eine durchschnittliche Mächtigkeit des Grundwasserkörpers von 3.95 m. Die Differenz zwischen Mittelwert und Minimum würde 0.56 m betragen, jene zwischen Mittelwert und Maximum 0.90 m. Als Spannweite der so berechneten, räumlich gemittelten Wasserspiegellagen ergibt sich damit 1.46 m.

3.4.2. Grundwasservolumen von Teilgebieten

Im folgenden Kapitel wird das Grundwasservolumen gesondert für Teilbereiche berechnet. Dafür werden der Bereich der Auenterrasse der Mur sowie die damit abgetrennten Bereiche des nordöstlichen, westlichen und südöstlichen Leibnitzer Feldes, die hauptsächlich von der Niederterrasse, aber teilweise auch von der Helfbrunner Terrasse eingenommen werden, ausgewählt.

Die Berechnungen werden für die Periode 1981/88 durchgeführt. Dafür können die Daten von 100 Stationen verwendet werden. Die vier Teilbereiche und die den Stationen zugeordneten Flächen sind aus Abb. 3.19 ersichtlich.

Die Ergebnisse der Volumsberechnung sind in Abb. 3.20 bis 3.24 abgebildet. Zum Vergleich der Teilvolumina ist in Abb. 3.20 das Gesamtvolumen des Leibnitzer Feldes dargestellt. Abb. 3.21 zeigt die Ganglinie des Volumens des nordöstlichen Leibnitzer Feldes, Abb. 3.22 jenes des südöstlichen Leibnitzer Feldes. Beide sind durch ihren, gegenüber dem Gesamtvolumen wesentlich gedämpfteren Verlauf gekennzeichnet. Dies wird einerseits durch Stationen im Randbereich, wo die Grundwassermächtigkeit, verglichen mit anderen Bereichen, sehr hoch ist, andererseits durch gedämpftere Versickerung bei mächtigeren Deckschichten bewirkt. In Abb. 3.23 ist die Ganglinie des Grundwasservolumens des murnahen Aubereiches dargestellt. Deutlich sind zahlreiche kleine Spitzen sichtbar, was auf eine schnellere Reaktion auf Wasserspiegeländerungen der Mur, aber auch auf rasche Versickerung von Niederschlägen (etwa Stationen L010, L011) durch geringmächtige Deckschichten hindeutet.

Die Amplituden des Grundwasservolumens sind jedoch nicht so groß wie jene der Ganglinie des westlichen Leibnitzer Feldes. Das könnte in einer ausgleichenden Vorfluterwirkung im Bereich der Auenterrasse liegen, die vor allem bei tiefen Wasserständen zu tragen kommt. Die Ganglinie des westlichen Leibnitzer Feldes ist in Abb. 3.24 dargestellt. Sie verläuft nicht so unruhig wie die vorige, weist jedoch höhere Amplituden auf.

Die Parameter der Ganglinien sind in Tab. 3.37 angeführt. Die Differenz zwischen Summe der Teilgebiete und Gesamtergebnis ist auf unterschiedliche Flächenanteile der einzelnen Stationen und unabhängige Auswahl der Berechnungstage zurückzuführen.

Tab. 3.37: Statistische Parameter des Grundwasservolumens der Reihe 81/88.

Gebiet	Mittelwert (Mio m ³)	Standardab. (Mio m ³)	Minimum (Mio m ³)	Maximum (Mio m ³)
nordöstliches Leibnitzer Feld	8.6	0.85	7.2	10.8
südöstliches Leibnitzer Feld	12.2	0.75	10.7	14.2
Auenbereich der Mur	31.6	1.11	29.5	35.0
westliches Leibnitzer Feld	29.7	1.44	26.9	33.6
Leibnitzer Feld gesamt	78.4	3.92	71.8	89.3

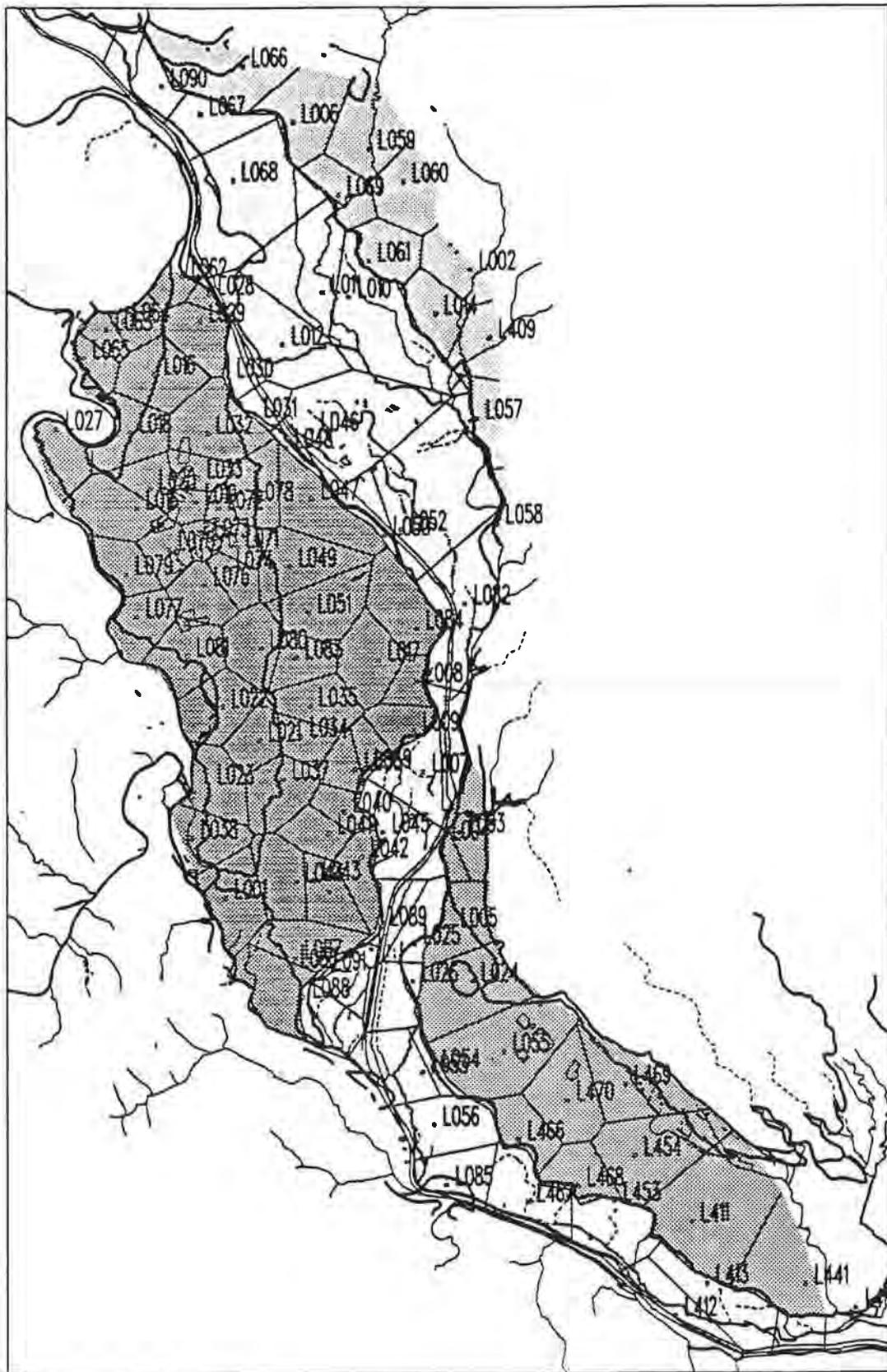


Abb. 3.19: Flächengewichte der Stationen, Teilgebiete.

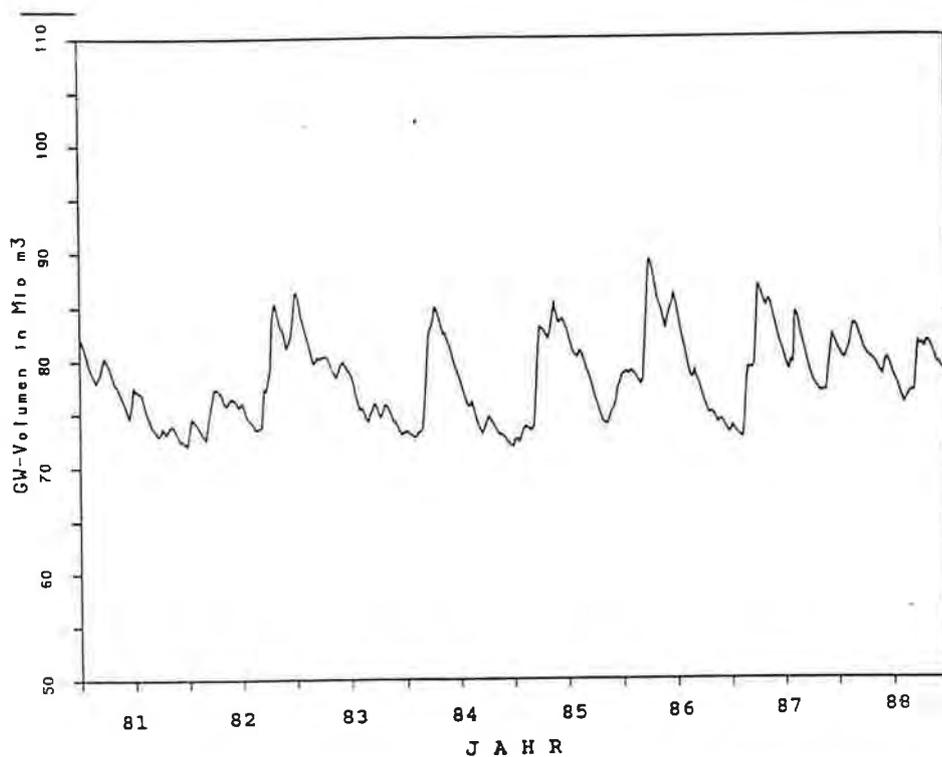


Abb. 3.20: Grundwasservolumen 81/88, Gesamtgebiet.

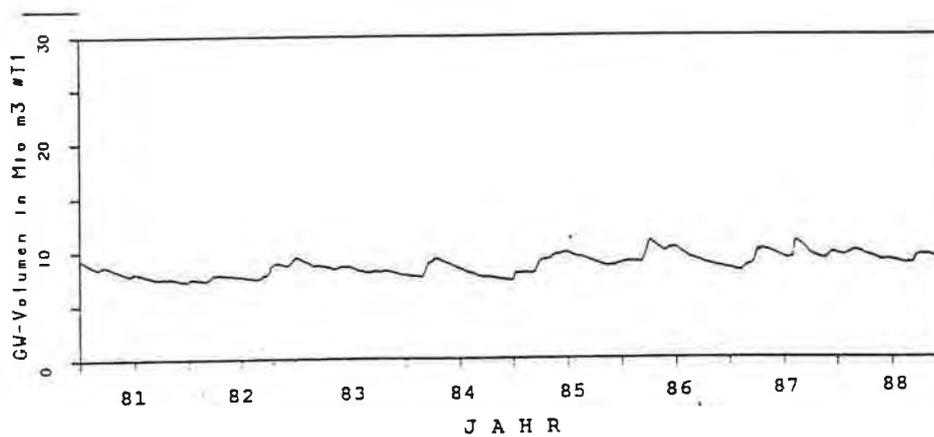


Abb. 3.21: Grundwasservolumen 81/88, nordöstliches Leibnitzer Feld.

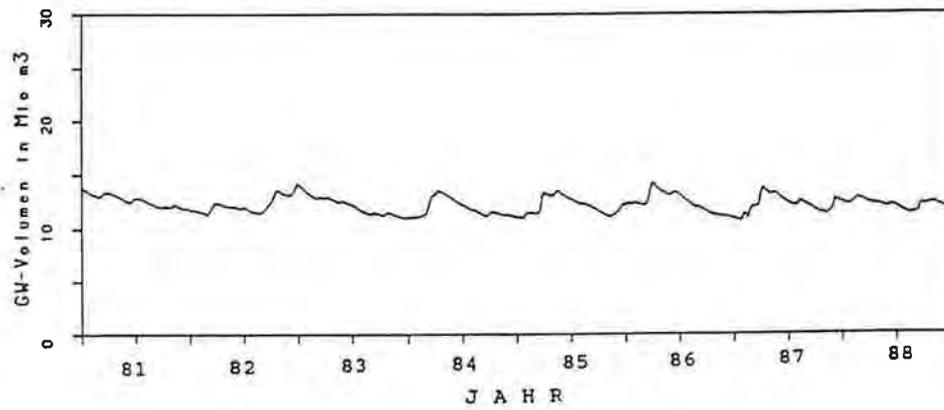


Abb. 3.22: Grundwasservolumen 81/88, südliches Leibnitzer Feld.

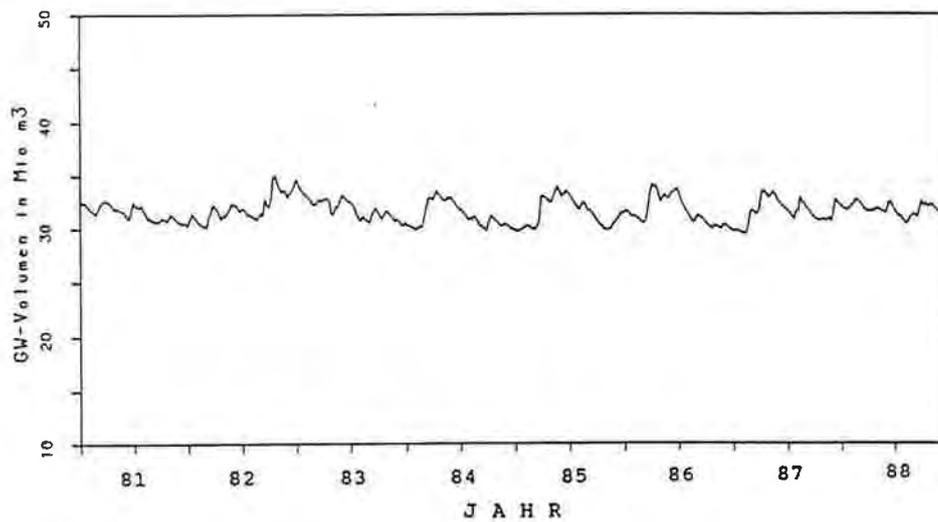


Abb. 3.23: Grundwasservolumen 81/88, Auenterrasse Leibnitzer Feld.

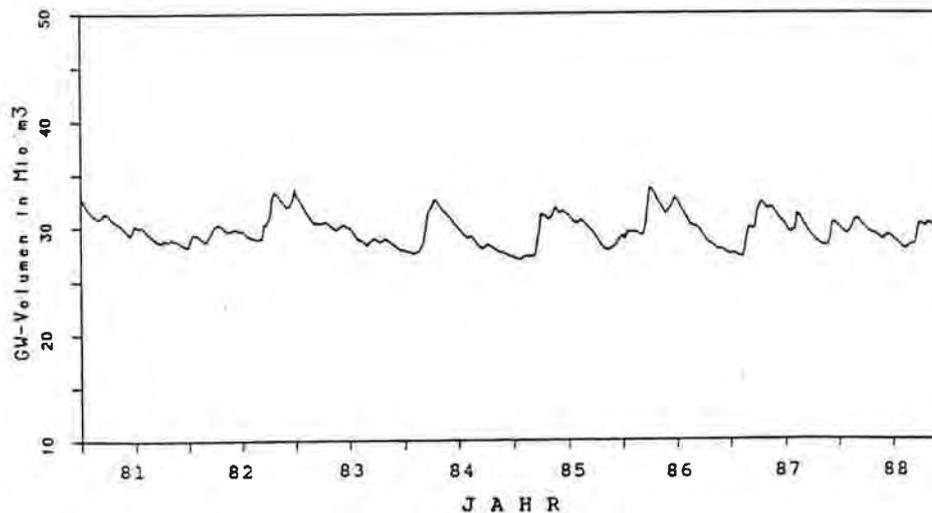


Abb. 3.24: Grundwasservolumen 81/88, westliches Leibnitzer Feld.

3.5. Zusammenfassung der hydrologischen Untersuchungen

Aus der Annahme, daß das Verhalten des Grundwassers eine Funktion der geohydraulischen und meteorologischen Verhältnisse ist, können aus der Regionalisierung der Parameter der Grundwasserganglinie Aussagen zu diesen Bedingungen getroffen werden. Insbesondere wird dadurch auch eine flächendeckende Verteilung von Modellparametern ermöglicht. Unter Verwendung der flächendeckenden statistischen Auswertung, der Profilbeschreibung sowie der charakteristischen Ganglinien wurden daher die unten angeführten Gebiete differenziert. Weiters wird, dem derzeitigen Wissensstand entsprechend, der Einfluß von Oberflächengewässern, Niederschlägen, der Bodennutzung und Durchlässigkeit beurteilt.

Nordöstliches Leibnitzer Feld:

Der Bereich der Wildoner Enge wird hauptsächlich durch die Schwankungen des Murwasserspiegels und den Wurzingbach beeinflusst.

Der nördliche Rand des nordöstlichen Leibnitzer Feldes ist durch Ganglinien mit besonders hohen Amplituden charakterisiert. Da durch die größere Entfernung von der Mur und dem dazwischenliegenden Mühlgang ein direkter Zusammenhang nicht möglich erscheint, ist vorerst eine Wechselwirkung mit dem nördlichen Einzugsgebiet anzunehmen.

Aufgrund der geringen Dynamik der Grundwasserspiegel am östlichen Rand ist zu schließen, daß keine besonderen Wechselwirkungen über den Rand hinaus zu erwarten sind. Die Böden sind als minder bis schlecht durchlässig klassifiziert, so daß kleine Spitzen lokalen Vorflutern zugeschrieben werden.

Der breite Bereich der Auenterrasse wird wesentlich durch die Oberflächengewässer Mur und Mühlgang beeinflusst. Diese üben eine ausgleichende Wirkung aus. Vor allem zu Zeiten geringer Grundwasserstände sinkt der Grundwasserspiegel nicht so stark ab, wie in unbeeinflussten Bereichen. Die Böden werden als gut durchlässig angegeben und der Flurabstand ist sehr gering, so daß auch die Niederschläge, vor allem zu Zeiten verstärkter Grundwasserneubildung, aufgrund einer fehlenden oder schlecht ausgebildeten Vegetationsdecke (Frühjahr und Herbstmonate) direkt zu einzelnen Spitzen beitragen.

Westliches Leibnitzer Feld:

Das westliche Leibnitzer Feld zeigt ein gleichförmigeres Verhalten der Grundwasserstände als das nordöstliche Leibnitzer Feld, da der Anteil der Randzonen im Verhältnis zur Breite des Gebietes gering ist.

Vom Bereich des Verschnittes des Grundwasserspiegels mit der Flußsohle der Laßnitz südlich von Lang bis zur Mündung der Sulm in die Mur wird ein Streifen entlang der Laßnitz und Sulm von den Wasserständen der Oberflächengewässer beeinflusst. Einerseits werden im Bereich von Fließstrecken die Schwankungen des Wasserspiegels auf das Grundwasser übertragen, andererseits überwiegt im Bereich von abgeschnittenen Altarmen (Stadt Leibnitz) die ausgleichende Wirkung der Wasserstände.

Im Bereich des nördlichen Randes (Helfbrunner Terrasse) sind die Ganglinien der Grundwasserstände durch sehr geringe Amplituden gekennzeichnet. Die Böden sind sehr mächtig, so daß kleinere Spitzen vermutlich durch Hangwässer verursacht werden. Der Austausch über den nördlichen Rand ist wahrscheinlich vernachlässigbar gering.

Für den Übergangsbereich vom nördlichen Rand zum zentralen Leibnitzer Feld können zahlreiche Faktoren angegeben werden, die für die Grundwasserbilanz dieses Gebietes von Bedeutung sein dürften. Zahlreiche Naß- und Trockenbaggerungen ermöglichen es, daß Niederschläge unmittelbar dem Grundwasser zugeführt werden. Auch die Evaporation ist in diesem Fall von Bedeutung. Weiters läßt sich ein Einfluß der kurzen freien Fließstrecke der Mur im Anschluß an das neuerrichtete Kraftwerk Lebring in Form einiger Spitzen erkennen. Im Stauer ist eine deutliche Mulde zu erkennen, so daß die Mächtigkeit des Quartärs in einem größeren Bereich über dem Durchschnitt liegt. Zusätzlich befinden sich dort zwei Wasserversorgungsanlagen.

Südlich an das oben beschriebene Gebiet schließt sich das zentrale Leibnitzer Feld an. Der nördliche Teil bis zum Rand des geschlossenen Siedlungsgebietes unterscheidet sich vom eigentlichen Stadtgebiet. Die Ganglinien zeigen eine sehr große Amplitude bei dennoch sehr gedämpftem Verlauf. Das zeigt, daß die Niederschläge durch die Bodenschichten stark gedämpft werden und nur bei hohem Wassergehalt des Oberbodens, das Grundwasser anreichern können. Ebenso ist der Einfluß der Oberflächengewässer gering.

Die oben beschriebene Situation wird im anschließenden Stadtgebiet von Leibnitz durch Entnahmen differenziert. Das geht aus den höheren Werten für Pegelweg und Standardabweichung einzelner Stationen hervor.

Vor allem im Stauwurzelbereich des Kraftwerkes Gabersdorf ist eine sehr hohe Dynamik anhand des Pegelweges festzustellen. Diese Schwankungen dürften durch den parallel zur Mur geführten Vorflutgraben örtlich begrenzt in das Hinterland übertragen werden.

Der Auenbereich entlang der Mur ist wiederum durch eine ausgleichende Wirkung der Bäche gekennzeichnet. Die Spitzen treten jedoch deutlich hervor.

Südliches Leibnitzer Feld:

Ein schmaler murnaher Bereich wird unmittelbar durch die Schwankungen des Wasserspiegels der Mur in der freien Fließstrecke bzw. den Stauwurzelbereichen beeinflusst.

Im anschließenden Bereich der Niederterrasse sind die Ganglinien bereits deutlich gedämpft. Ein gewisser Einfluß ist daher durch Niederschläge zu erwarten, zumal der Anteil der Siedlungsgebiete gering ist und der Boden als gut durchlässig beschrieben wird. Auch Entnahmen zu Zwecken der Wasserversorgung spielen eine Rolle, wie die Entwicklung der mittleren Grundwasserstände zeigt.

Die Grundwasserstände am nordöstlichen Rand im Bereich der Helfbrunner Terrasse sind deutlich höher als jene der unmittelbar benachbarten Stationen auf der Niederterrasse. Die Grundwassersohle dürfte daher einen ähnlichen Verlauf zeigen. Die große Amplitude der Ganglinien der Stationen weist auf Wechselwirkungen hin, die berücksichtigt werden müssen.

Die hydrogeologischen Auswertungen im Bereich des nördlichen Randes, südlich von Gabersdorf, zeigen, daß in diesem Bereich der Stauer eine deutliche Kuppe bildet. Dadurch wird eine Trennung der Grundwasserströme bewirkt. Der westliche ist dem Einflußbereich der Mur zuzurechnen, während der östliche deutlich höher liegt und ein beachtliches Gefälle zum eigentlichen südlichen Leibnitzer Feld aufweist.

4. MODELLGRUNDLAGEN

Die Verwendung von mathematischen Grundwassermodellen zur Untersuchung von Grundwassersystemen ist heute weit verbreitet. Das mathematische Grundwassermodell beschreibt die im Grundwassersystem stattfindenden Prozesse mit Hilfe von mathematischen Gleichungen. Die drei wesentlichen Komponenten eines Modells sind (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1990) das Erkennen der maßgeblichen Prozesse, das zu lösende Gleichungssystem und der Modelloutput. Erst durch die Verwendung der problemspezifischen Daten wird das Modell an das zu untersuchende Objekt angepaßt. Notwendige Daten sind Angaben bezüglich Form und Geometrie des Gebietes, Parameter des Gleichungssystems und modell-spezifische Kontrollparameter.

Die Grundwassermodellierung beschäftigt sich mit der dynamischen Simulation von Aquifersystemen (WALTON, 1991), wobei der Zusammenhang zwischen Aquifer und äußeren Einflüssen (Umgebung) von Interesse ist. Im Grundwassermodell werden fragmentarisches Wissen über Teile des Aquifersystems und bekannte anthropogene Einflüsse (Nutzungen) zu einem Gesamtsystem zusammengefaßt.

Die unterirdische Situation des Grundwassers, die eine direkte Beobachtung erschwert, und die zunehmende Verfügbarkeit von numerischen Modellen erklären die steigende Bedeutung der Anwendung von Grundwassermodellen. Viele Ziele können damit erreicht werden:

- Erkennen der Zusammenhänge in einem Grundwassersystem und Verbindung der physikalischen Prozesse mit quantitativen Aussagen,
- Identifizierung von Bereichen, die weiterer theoretischer oder Felduntersuchungen benötigen,
- als Mittel zur Erklärung und Illustration von Problemen für fachlich nicht befaßte Personen,
- zur Simulation von vergangenen oder zukünftigen Ereignissen als Reaktion von geänderten Randbedingungen oder Nutzungen,
- zur Selektion eines optimalen Standortes für weitere Untersuchungen.

4.1. Theoretische Modellgrundlagen

Die Grundwasserströmung und der Transport von gelösten Stoffen sind zwei unterschiedliche Prozesse, die deshalb durch zwei verschiedene Gleichungen beschrieben werden. Die Kenntnis beziehungsweise Simulation der Strömungsvorgänge ist jedoch Bedingung für die Anwendung des Transportmodells.

Die gesuchten Modellvariablen sind:

$p(x,y,t) = h(x,y,t)$ Druck = Wasserspiegelhöhe
 $C(x,y,t)$ Konzentration einer gelösten Substanz

Die Grundwasserströmung wird durch den hydraulischen Gradienten des Potentials und verschiedene Quellen und Senken, wie Entnahmen, Randzuflüsse und Neubildung aus Niederschlägen verursacht. Die Verbindung der Gleichung von DARCY zur Beschreibung der Filtergeschwindigkeit im Grundwasser und der Kontinuitätsbedingung für ein Kontrollvolumen (Abb. 4.1) ergibt die Differentialgleichung (4.1) der Grundwasserströmung im ungespannten Aquifer:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(K_{xx} \cdot (h-z) \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(K_{yy} \cdot (h-z) \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + Q \quad (4.1)$$

mit

$h = h(x,y,t)$ Höhe des Grundwasserspiegels
 $z = z(x,y)$ Höhe der Staueroberkante
 $K_{xx}, K_{yy} = \mathbf{K}(x,y)$ Tensor des Durchlässigkeitskoeffizienten
 $S = S(x,y)$ Speicherkoeffizient
 $Q = Q(x,y,t)$ Quellen und Senken

Die Lösung der Differentialgleichung erfordert aus mathematischer Sicht die Angabe von Rand- und Anfangsbedingungen. Randbedingungen erster Art (DIRICHLET) sind durch die Angabe eines Potentialwertes, Randbedingungen zweiter Art (NEUMANN) sind durch die Angabe eines Flusses definiert. Quellen und Senken sind additive Terme der Differentialgleichung.

Die im Grundwassermodell verwendete Strömungsgleichung wird detailliert im Kap. 4.1.2. beschrieben. Die zur Lösung der Strömungsgleichung (4.1) erforderlichen Daten sind:

- **Modellparameter:**
 - Durchlässigkeit des Aquifers k_f ,
 - Mächtigkeit des Aquifers h ,
 - Speicherkoeffizient des Aquifers S .
- **Randbedingungen:**
 - Wasserspiegelhöhe eines Randes,
 - Zufluß über einen Rand.
- **Anfangsbedingungen:**
 - Grundwasserspiegel zum Zeitpunkt $t = t_0$.
- **Quellen und Senken N :**
 - Entnahmen infolge Nutzungen,
 - Neubildung aus Niederschlägen,
 - weitere Zuflüsse oder Abflüsse im Gebiet.

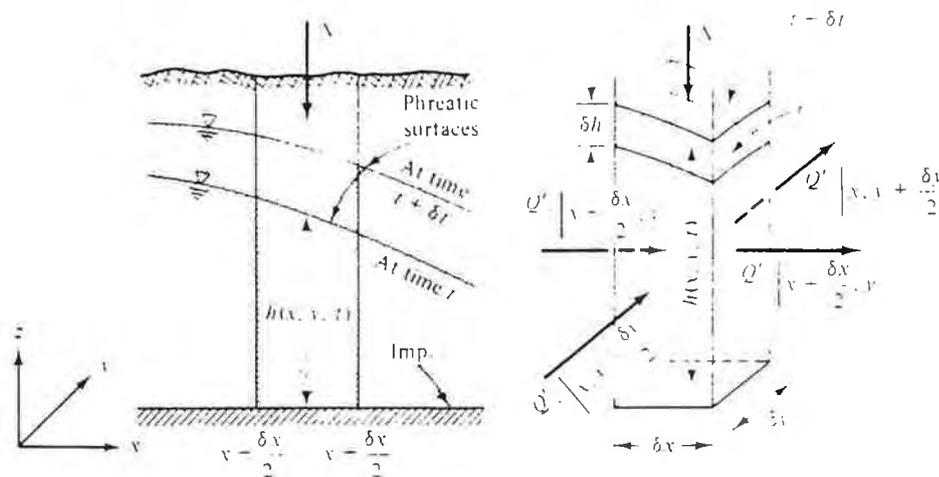


Abb. 4.1: Ableitung der Strömungsgleichung, (BEAR, 1979).

Der Transport von gelösten Stoffen im Grundwasser basiert auf den Prozessen Advektion, Diffusion und Dispersion. Als Advektion wird der Transport mit der Grundwasserströmung, die durch Richtung und Betrag der Abstandsgeschwindigkeit definiert ist, bezeichnet. Unter Diffusion versteht man die Ausbreitung der gelösten Stoffe aufgrund von Konzentrations-

unterschieden. Die Dispersion berücksichtigt den Effekt, daß die Grundwasserströmung im Untergrund nicht gleichmäßig über den gesamten Porenraum erfolgt, wie dies nach DARCY angenommen wird, sondern daß bevorzugte Fließwege mit höheren Geschwindigkeiten und Bereiche mit geringeren lokalen Fließgeschwindigkeiten existieren. Dadurch kommt es zu einer Streuung der Konzentration der gelösten Stoffe sowohl in als auch senkrecht zur Fließrichtung. Die folgenden Abbildungen (BEAR & VERRUIT, 1987) verdeutlichen dies am Beispiel einer scharfen Front (Abb. 4.2a) und einer punktförmigen Belastung (Abb. 4.2b). In beiden Fällen zeigt sich, daß ausgehend vom idealisierten Ausgangszustand zum Zeitpunkt $t = 0$ mit zunehmender Fließdauer eine Auflösung der scharfen Konzentrationsunterschiede als Folge der Dispersion erfolgt. Weiters ist in Abb. 4.2b zu sehen, daß bei Vergleich von Zustand $t = t_1$ und $t = t_2$ eine Abflachung des Konzentrationsdurchgangs erfolgt, daß sich also das Maximum der Konzentration vermindert und die Basis der Welle verbreitet.

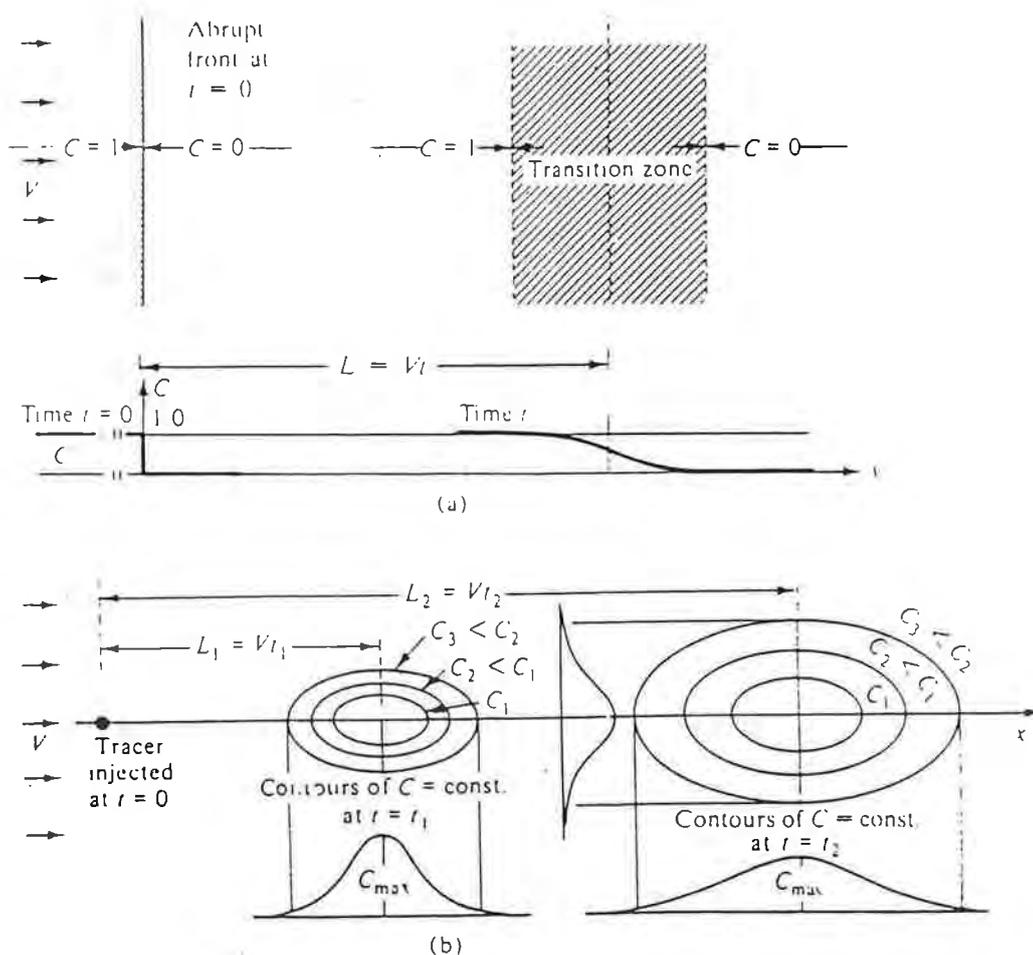


Abb. 4.2 Longitudinale und transversale Dispersion (BEAR & VERRUIT, 1987).
 (a) am Beispiel einer scharf abgegrenzten Front zum Zeitpunkt $t = 0$;
 (b) am Beispiel einer punktförmigen Belastung zum Zeitpunkt $t = 0$.

Die allgemeine Form der Transportgleichung ist aus Gleichung (4.2) ersichtlich:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(\varepsilon D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + v_x \cdot C + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(\varepsilon D_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) + v_y \cdot C = \frac{\partial C}{\partial t} + Q \quad (4.2)$$

mit

$C = C(x,y,t)$	Konzentration einer gelösten Substanz
$v_x, v_y = v(x,y,t)$	Filtergeschwindigkeit nach DARCY
$\varepsilon = \varepsilon(x,y)$	Porosität
$D_{xx}, D_{yy} = D(x,y)$	Tensor des Dispersionskoeffizienten
$Q = Q(x,y,t)$	Quellen und Senken

Die im Grundwassermodell verwendete Transportgleichung wird im Kap. 4.1.2. detailliert beschrieben. Zur Lösung der Transportgleichung werden folgende Daten benötigt:

- **Modellparameter:**
 - Dispersionskoeffizient,
 - Diffusionskoeffizient.
- **Randbedingungen:**
 - Konzentration von Randzuflüssen.
- **Anfangsbedingungen:**
 - Konzentrationsverteilung zum Zeitpunkt $t = t_0$.
- **Quellen und Senken:**
 - Konzentration der Neubildung aus Niederschlägen,
 - Konzentration von weiteren Zuflüssen.

Das verwendete Grundwassermodell (VOSS, 1984) ist ein Modell zur Beschreibung von Strömungs- und Transportvorgängen im gesättigten und ungesättigten Bereich. Es handelt sich um ein Einphasen- und Einstoffmodell. Die Modelldiskretisierung erfolgt zweidimensional (x, y) . Zur Lösung des Gleichungssystems wird das Verfahren der finiten Elemente verwendet.

4.1.1. Strömungsmodell

Physikalische Eigenschaften der Matrix und der Flüssigkeit

Die Dichte des Grundwassers ist von der Temperatur, der Konzentration von gelösten Substanzen und den Druckverhältnissen abhängig:

ρ_w	Dichte der Flüssigkeit
c	Konzentration (% Volumen)
ρ	Dichte der Lösung

Die Konzentration ist eine Funktion aus der Konzentration eines gelösten Stoffes und einer anzugebenden Basiskonzentration:

$$\rho = \rho(C) = \rho_o + \frac{\partial \rho}{\partial C} \cdot (C - C_o) \quad (4.3)$$

mit

ρ_o	Dichte der Flüssigkeit bei $C = C_o$
C_o	Basiskonzentration

Der Grundwassertransport erfolgt in einer porösen Matrix. Das Gesamtvolumen eines Einheitskörpers setzt sich aus dem Feststoffanteil und dem Porenanteil zusammen. Die Porosität ist als Verhältnis des Porenvolumens zum Gesamtvolumen definiert. Im Bereich der gesättigten Zone trägt das gesamte Porenvolumen zu Transport und Speicherung des Grundwassers bei. In der ungesättigten Zone ist der Anteil der wassergefüllten Poren zu berücksichtigen:

$\epsilon(x,y)$	Porosität
$S_w(x,y,t)$	Sättigungsgrad

Im vorliegenden Fall der Modellierung eines Aquifers in den Koordinatenrichtungen x, y ist S_w konstant mit 1 anzunehmen.

Bei der Definition des Speicherkoeffizienten sind zwei Fälle zu unterscheiden (BEAR, 1979). Im gespannten Aquifer kann sich die in einem Kontrollvolumen gespeicherte Wassermenge bei Druckänderungen nur aufgrund der Kompressibilität des Wassers und des Korngerüsts verändern.

$$S_{op} = (1 - \epsilon) \alpha + \epsilon \beta \quad (4.4)$$

mit

S_{op}	Speicherkoeffizient bei gespanntem Aquifer
α	Kompressibilität der Matrix
β	Kompressibilität des Wassers

Im ungespannten Aquifer führen Druckänderungen hingegen zu Änderungen der Höhe des Grundwasserspiegels, wobei infolge des Porenvolumens entsprechend Wasser gespeichert bzw. abgegeben wird. Dieser Betrag ist um vieles größer als jener vorher erwähnte, der auch hier wirksam ist.

$$S_o = \epsilon \quad (4.5)$$

mit

S_o	Speicherkoeffizient bei ungespanntem Aquifer
-------	--

Strömungsgleichung

Die Durchströmung des Aquifers durch eine Flüssigkeit kann sowohl durch eine Differenz des hydrostatischen Drucks als auch durch eine Differenz der Dichte der Flüssigkeit zwischen zwei Punkten hervorgerufen werden. In den meisten Fällen dominiert der Einfluß des hydraulischen Potentials, während der Effekt von Dichteunterschieden gering ist. Der Einfluß der Dichte wird explizit durch eine generalisierte Form der Gleichung von DARCY (4.6) berücksichtigt:

$$\underline{v} = - \left(\frac{k \ k_r}{\epsilon S_w \mu} \right) (\nabla p - \rho \cdot g) \quad (4.6)$$

mit

\underline{v}	mittlere Fließgeschwindigkeit nach DARCY (Filtergeschwindigkeit)
\underline{k}	Tensor der Matrixpermeabilität
k_r	relative Durchlässigkeit bei Teilsättigung
g	Erdbeschleunigung
S_w	Porensättigung
μ	Viskosität

Der Wert \underline{v} ist die Filtergeschwindigkeit nach DARCY. Die mittlere Abstandsgeschwindigkeit ergibt sich aus:

$$\underline{a} = \underline{v}/e \quad (4.7)$$

mit

$\underline{a}(x,y,t)$ mittlere Abstandsgeschwindigkeit

Diese ist jedoch immer geringer als die tatsächliche Abstandsgeschwindigkeit im Grundwasser, da die Poren ungleichmäßig durchströmt werden. Die relative Permeabilität k_r gibt an, in welchem Ausmaß die Permeabilität eingeschränkt wird, wenn nur mehr ein Teil der für die Strömung verfügbaren Poren wassergefüllt ist.

Unter der Annahme von gesättigten Verhältnissen, $S_w = 1$ und $k_r = 1$ sowie einer konstanten Dichte kann Gleichung (4.6) vereinfacht werden:

$$\underline{v} = - \left(\frac{k \cdot g}{\varepsilon \mu} \right) \cdot \left(\nabla \left(\frac{p}{\rho g} \right) + \nabla z \right) \quad (4.8)$$

Daraus kann weiter vereinfacht werden:

$$\underline{v} = - \frac{k}{\varepsilon} \nabla h \quad (4.9)$$

mit

$\underline{K}(x,y)$ Durchlässigkeit des Aquifers, k_r -Wert
 $h = h_p + Z$ geodätische Höhe des GW-Spiegels
 $h_p(x,y,t)$ Druckhöhe
 $Z(x,y)$ geodätische Höhe der Staueroberkante

Eine Anisotropie der Permeabilität kann durch entsprechende Angabe des 2 x 2 Tensors des K-Wertes in die Berechnung eingehen.

Bilanzgleichung

Die Modellrechnung baut auf der Bilanzierung jedes einzelnen Modellelementes auf. Das Grundwasservolumen jedes Elementes unterliegt Veränderungen aufgrund von:

- Zu- und Abflüssen von bzw. zu Nachbarelementen als Funktion der Potentialdifferenz,
- Quellen oder Senken zum bzw. aus dem Grundwasserkörper,
- Veränderungen in der Sättigung der Matrix,
- Veränderungen der Dichte aufgrund geänderter Temperatur oder Konzentration.

Bei Berücksichtigung dieser Faktoren ergibt sich folgende Gleichung für die Massenbilanz des Wassers:

$$\frac{\partial(\varepsilon S_w \cdot g)}{\partial t} = -\nabla \cdot (\varepsilon S_w \cdot \rho \cdot \underline{v}) + Q_p + Q_c \quad (4.10)$$

(a) (b) (c) (d)

mit

- $\varepsilon = S_0$ Speicherkoefizient bei ungespanntem Aquifer
- (a) Speicherterm
- (b) Zu- und Abflüsse zwischen Elementen
- (c) Quellterm für Flüssigkeit
- (d) Quellterm für gelöste Stoffe

Die linke Seite der Gleichung (4.10) stellt die Veränderung des Grundwasservolumens in einem Element dar. Diese ergibt sich als Folge der auf der rechten Seite befindlichen Terme. Term (4.10b) stellt die Speicherung aufgrund der Differenz zwischen Zu- und Abfluß in das bzw. aus dem Element dar. Dazu kommen die Quellterme für Wasser (4.10c) und gelöste Stoffe (4.10d).

Der Speicherterm kann weiter aufgeschlüsselt werden, so daß sich die im Programm verwendete Bilanzgleichung ergibt:

$$\left(\underset{(a)}{S_w \cdot \rho \cdot S_{op}} + \underset{(b)}{\varepsilon \cdot \rho \cdot \frac{\partial S_w}{\partial p}} \right) \cdot \frac{\partial p}{\partial t} + \underset{(c)}{\left(\varepsilon S_w \cdot \frac{\partial \rho}{\partial C} \right) \cdot \frac{\partial C}{\partial t}} - \nabla \cdot \left[\underset{(d)}{\left(\frac{k \cdot k_r \cdot \rho}{\mu} \right)} \cdot (\nabla p - \rho g) \right] = \underset{(e)}{Q_p} \quad (4.11)$$

mit folgenden Termen

- (a) Speicherung von Wasser im Element aufgrund von Druckänderungen
- (b) Speicherung von Wasser aufgrund einer Änderung der Sättigung
- (c) Speicherung der gelösten Stoffe
- (d) Zu- und Abflüsse zwischen Elementen (DARCY)
- (e) Quellterm

4.1.2. Transportmodell

Mit dem verwendeten Transportmodell kann die Verteilung eines gelösten Stoffes im Grundwasser simuliert werden. Die Massenbilanz wird sowohl für die Lösung als auch für den absorbierten Anteil erstellt. Die Konzentration der Lösung C [M/M_G] und der absorbierte Anteil C_s [M/M_G] sind über Gleichgewichtsisothermen verbunden.

Der in Lösung befindliche Anteil eines Inhaltsstoffes in einem Vergleichsvolumen ist unterschiedlichen Veränderungen unterworfen:

- durch Veränderung des Wasservolumens (Bilanzgleichung Wasser) bedingt durch die Grundwasserströmung,
- durch die Konzentration der Grundwasserneubildung als auch durch die Konzentration von Randzuflüssen,
- durch Diffusionsprozesse,
- durch Transfer von der gelösten Phase zur adsorbierten Phase,
- durch chemische oder biologische Reaktion, durch die es zu Abbau oder Aufbau des betreffenden Stoffes kommt.

Die adsorbierte Masse des Inhaltsstoffes kann sich durch folgende Prozesse verändern:

- Durch Transfer von der gelösten Phase zur adsorbierten Phase,
- durch chemische oder biologische Reaktionen in der adsorbierten Substanz.

Für die Massenbilanz der gelösten Substanz ergibt sich somit Gleichung (4.12), für jene der adsorbierten Substanz Gleichung (4.13):

$$\frac{\partial(\varepsilon S_w \cdot \rho \cdot C)}{\partial t} = -f - \nabla(\varepsilon S_w \rho \underline{v} C) + \nabla \cdot [\varepsilon S_w \rho (D_m \cdot \underline{I} + \underline{D}) \nabla C] + \varepsilon S_w \rho \Gamma_w + Q_p \cdot C^* \quad (4.12)$$

(a) (b) (c) (d) (e) (f)

mit folgenden Termen

- (a) Speicherung der adsorbierten Substanz im Element
- (b) Transfer zur adsorbierten Substanz
- (c) Advektiver Transport mit der Grundwasserströmung
- (d) Transport durch Diffusion und Dispersion
- (e) Aufbau- und Abbaureaktionen
- (f) Konzentration von Randzuflüssen

$$\frac{\partial[(1-\varepsilon) \cdot \rho_s \cdot C_s]}{\partial t} = +f + (1-\varepsilon) \rho_s \Gamma_s \quad (4.13)$$

(a) (b) (c)

mit folgenden Termen

- (a) Speicherung der adsorbierten Substanz im Element
- (b) Transfer zur adsorbierten Substanz
- (c) Aufbau- und Abbaureaktionen

mit

- $f(x,y,t)$ adsorbierte Substanz, volumetrisch
- D_m molekulare Diffusivität
- I Identitätstensor
- $D(x,y,t)$ Dispersionstensor
- $C^*(x,y,t)$ Konzentration von Zuflüssen
- $C_s(x,y,t)$ spezifische Konzentration der adsorbierten Substanz
- ρ_s Feststoffdichte
- $\Gamma_w(x,y,t)$ Abbau-, Aufbaureaktion in der gelösten Phase
- Γ_s Abbau-, Aufbaureaktion in der adsorbierten Phase

ε	Porosität
ρ	Dichte der Lösung (Wasser)
C	Konzentration der Lösung (Wasser)
Q_p	Zufluß

mit den Dimensionen

[M]	Masse der Lösung (Wasser + gelöste Stoffe)
[M _s]	Masse der gelösten Stoffe
[M _G]	Masse der Feststoffe
[L]	Länge
[s]	Zeit

Die linke Seite der Gleichung (4.12) ist die Ableitung der Konzentration nach der Zeit und stellt somit die Gesamtänderung der Masse der gelösten Substanz dar, die durch die auf der rechten Gleichungsseite beschriebenen Prozesse bewirkt wird. Der Term (4.12b) beschreibt den Verlust an gelöster Substanz infolge Adsorption. Der Term (4.12c) mit der Fließgeschwindigkeit v gibt die Veränderung der Masse aufgrund der Advektion an, die auf der durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit basiert. Der Term (4.12d) beschreibt den Anteil von Dispersion und Diffusion an der Veränderung der Masse der gelösten Substanz. Der Term (4.12e) berücksichtigt Aufbau- und Abbaureaktionen in der gelösten Phase, der Term (4.12f) berücksichtigt die gelöste Masse der Randzuflüsse.

Die Gleichung (4.13), die Massenbilanz der adsorbierten Substanz, berücksichtigt die Veränderungen der Konzentration infolge des Transfers von bzw. zur gelösten Phase (4.13b) und die Veränderungen infolge Abbau- und Aufbaureaktionen (4.13c).

Durch Zusammenfassung der Gleichung (4.12) und (4.13) erhält man die Bilanz der Gesamtmasse des betrachteten Stoffes (4.14):

$$\frac{\partial(\varepsilon S_w \rho C)}{\partial t} + \frac{\partial[(1-\varepsilon)\rho_s C_s]}{\partial t} = -\nabla \cdot (\varepsilon S_w \rho v C) + [\varepsilon S_w \rho (D_m \underline{I} + \underline{D})] + \varepsilon S_w \rho \Gamma_w + (1-\varepsilon)\rho_s \Gamma_s + Q_p C^* \quad (4.14)$$

Die Diskretisierung der einzelnen Terme nach Knoten bzw. nach Zellen und Elementen schafft die Basis für die numerische Lösung des Transportmodells.

Spezifische Hinweise zur Anwendung für Nitrat

Da das oben beschriebene Modell den Transport von beliebigen Inhaltsstoffen beschreibt, mögen der eine oder andere in der Massenbilanz berücksichtigte Teilprozeß überflüssig oder

andererseits nicht ausreichend erscheinen. Durch entsprechende Wahl der Parameter bzw. Koeffizienten werden jedoch die für die spezifische Beschreibung des Nitrattransports entsprechenden Teile aktiviert und nicht benötigte Teile bleiben unberücksichtigt. Für den Nitratabbau im Modell kann jedoch die Reaktionskinetik nicht berücksichtigt werden.

Da etwa, wie später in Kap. 8. beschrieben, das Nitration sehr leicht löslich ist, wird der Vorgang der Adsorption in der Modellierung nicht verwendet. Dadurch werden alle Terme, die der Beschreibung der Massenbilanz der adsorbierten Masse (Gleichung 4.13) dienen, ausgeschaltet. Ebenso entfallen die Transferprozesse von der gelösten zur adsorbierten Phase (4.12b). Das Potential für den Nitratabbau im Aquifer wird, wie die Daten in Kap. 8. zeigen, als gering eingestuft, so daß diesem Teilprozeß (4.12e) in der Massenbilanz nur geringe Bedeutung zukommt. Umso größer ist daher das Gewicht der Teilprozesse Advektion (4.12c) und Konzentration der Quellterme (4.12f). Da außerdem die diffuse Belastung bei weitem überwiegt und damit das Ergebnis maßgeblich vom Input (Konzentration der Quellterme) bestimmt wird, ist die Bedeutung der Dispersion schwer einzuschätzen. Diese wird daher für die ersten Berechnungen nicht berücksichtigt. Bei der Berechnung mit Berücksichtigung der Dispersion würden die Konzentrationsunterschiede etwas ausgeglichener.

4.1.3. Numerisches Verfahren

Die Lösung des oben beschriebenen Gleichungssystems ist analytisch nur für stark vereinfachte Rand- und Anfangsbedingungen möglich. Die analytische Lösung wird daher nur zu speziellen Zwecken, wie Auswertung von Pumpversuchen, als Referenz für die Überprüfung von numerischen Modellen oder für spezifische Detailprobleme verwendet. Die Anwendung von numerischen Modellen ist weit verbreitet. Durch Diskretisierung des Modellgebietes in Modellelemente dx_i , dy_j werden die Differentialgleichungen zu Differenzgleichungen umgewandelt. Diese werden durch numerische Verfahren gelöst.

Die Methode der finiten Differenzen (FD) wird am häufigsten verwendet, da das Lösungsverfahren am einfachsten ist und zahlreiche Lösungsalgorithmen existieren. Die Diskretisierung erfolgt in Form von rechteckigen Elementen.

Der Vorteil des Verfahrens der finiten Elemente (FE) besteht in der frei zu wählenden Geometrie der Elemente, die eine bessere Anpassung an die Modellränder ermöglicht. Da aber bei Netzen mit Dreieckselementen oder Elementen unterschiedlicher Ordnung die Topologie, die die Zuordnung der einzelnen Elemente zueinander bestimmt, nicht mehr einfach über Spalten- und Zeilen-Indizes zu beschreiben ist, werden in vorliegendem Modell vier-eckige Elemente verwendet. Damit ist wie beim Verfahren der finiten Differenzen die Nachbarbeziehung der Elemente in einer Matrix eindeutig gegeben.

Bei dem verwendeten zweidimensionalen Modell erfolgt die räumliche Diskretisierung über ein Netz von viereckigen finiten Elementen. Dieses ist horizontal über dem zu untersuchenden Gebiet aufgespannt (Abb. 4.3). Die Mächtigkeit des Aquifers ergibt sich als Differenz von Grundwasseroberfläche und Stauoberkante. Als Beispiel ist ein einzelnes Element in Abb. 4.4 herausgegriffen. Die Knoten des Elementnetzes sind an den Ecken jedes Elementes lokalisiert.

Räumliche Diskretisierung der hydrogeologischen Parameter

Die hydrogeologischen Parameter, wie Mächtigkeit des Aquifers, Durchlässigkeit und Speicherkoeffizient werden auf unterschiedliche Weise in das Modell übernommen. Die Art der Diskretisierung, nämlich nach Knoten, Elementen oder Zellen (Abb. 4.5), ist durch den Lösungsalgorithmus vorgegeben. Die Zelle ergibt sich durch Halbierung der von einem Knoten ausgehenden Kanten; der jeweilige Knoten ist Mittelpunkt der Zelle.

Die Diskretisierung des k_f -Wertes erfolgt nach Elementen (Abb. 4.6). Der Grundwasserspiegel ist in jedem Knoten definiert, so daß eine stetige Fläche über dem Gebiet resultiert (Abb. 4.7). Der Speicherkoeffizient wird für Zellen angegeben.

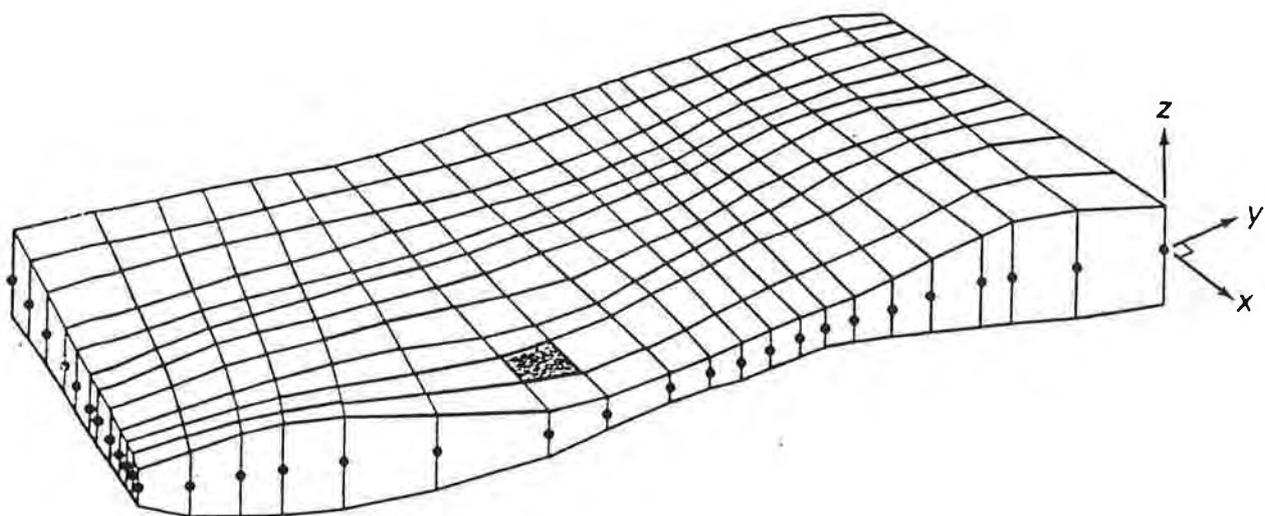


Abb. 4.3: Zweidimensionales FE-Netz.

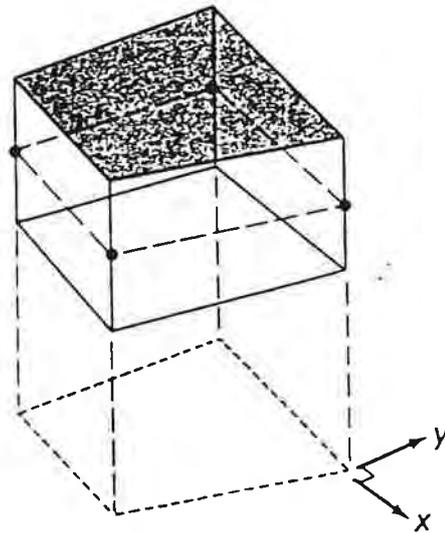


Abb. 4.4: Element aus dem Netz.

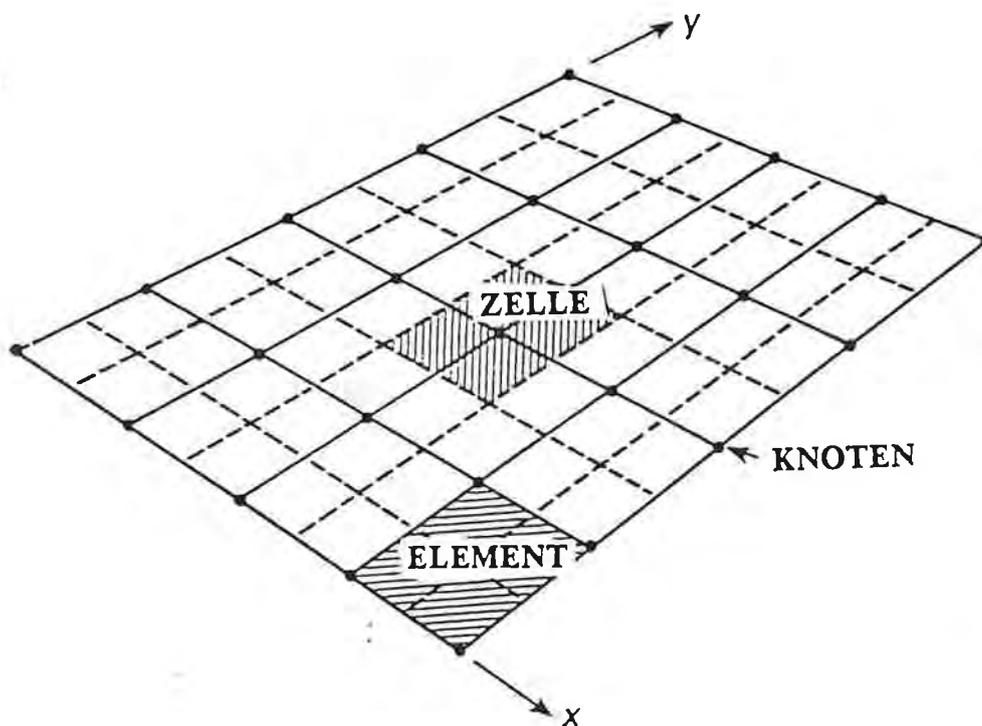


Abb. 4.5: Definition Knoten, Element, Zelle.

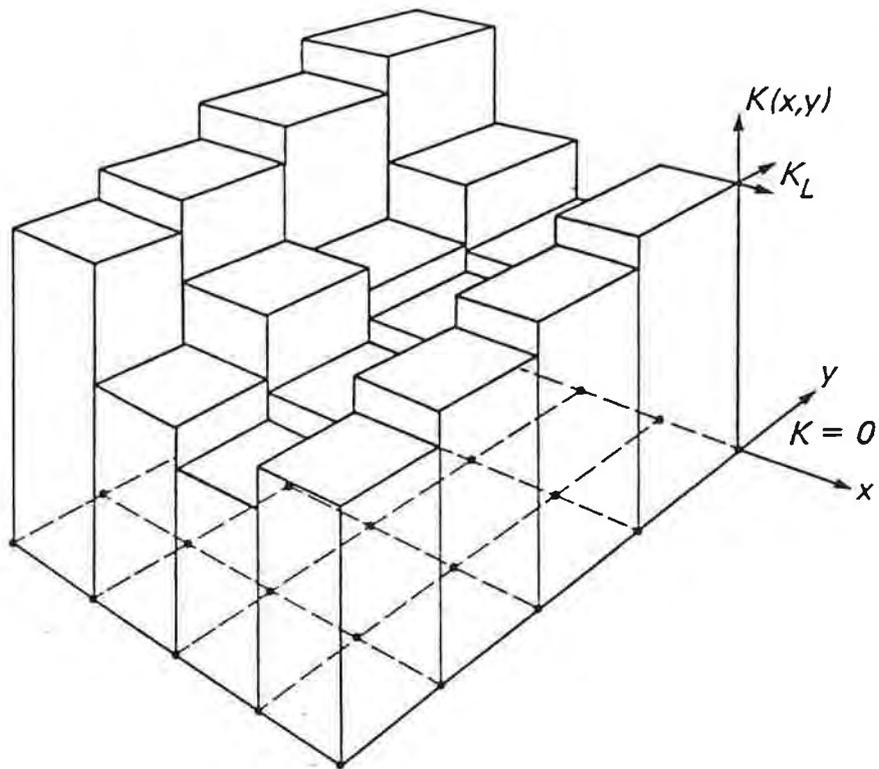


Abb. 4.6: Diskretisierung nach Elementen.

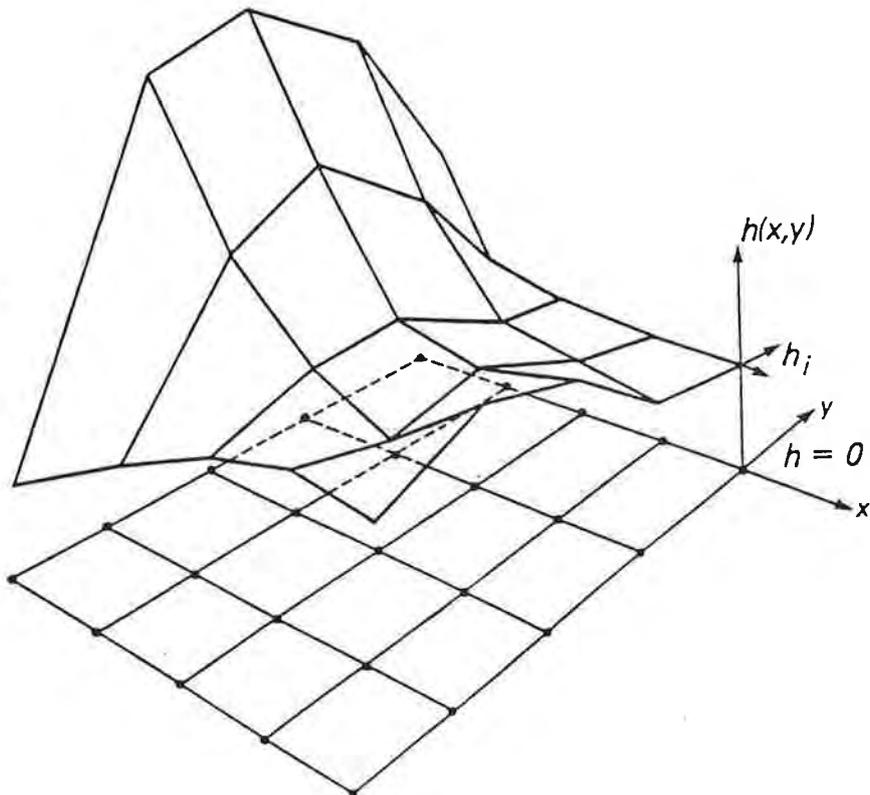


Abb. 4.7: Diskretisierung nach Knoten.

4.2. Räumliche Diskretisierung

Das hier angewendete Simulationsmodell baut auf allgemeinen Vierecken auf, so daß sich für die Diskretisierung des vorliegenden Modellgebietes bessere Gestaltungsmöglichkeiten als mit einem regelmäßigen Modellraster ergeben. Das Modellnetz wird nach folgender Vorgangsweise aus mehreren Teilnetzen zusammengefügt:

- Es wird von einem Basisnetz mit einer Maschenweite von etwa 500 x 500 m, aufgebaut aus allgemeinen Vierecken, ausgegangen;
- die Knoten werden auf nahegelegene Meßstellen verlegt, wo solche vorhanden sind;
- die Knoten im Bereich der Ränder werden auf die Ränder verschoben.

Das Modellnetz ist aus Karte 4.1 ersichtlich. Es enthält 514 Elemente, die durch 589 Knoten gebildet werden. Die vom Modellnetz erfaßte Gesamtfläche beträgt etwa 102 km².

4.3. Modellparameter

Der Durchlässigkeitsbeiwert k_f und der Speicherkoeffizient S_0 sind die zwei wesentlichen Modellparameter der Differentialgleichung zur Beschreibung der instationären Grundwasserströmung im ungespannten Aquifer. Das Produkt aus Durchlässigkeit und gesättigter Mächtigkeit des Aquifers bestimmt die Transmissivität.

4.3.1. Durchlässigkeit des Aquifers

Die Durchlässigkeit des Aquifers, im folgenden als k_f -Wert bezeichnet, ist ein Maß für den der Grundwasserströmung entgegengesetzten Widerstand. Für das Gesamtgebiet stehen Auswertungen von 21 Pumpversuchen zur Verfügung. Die Interpolation auf die Modellknoten erfolgt am natürlichen Logarithmus (DE MARSILY, 1986) mittels Universal Kriging (SKRIVAN & KARLINGER, 1980) (sphärisches Modell; $\omega = 0.4$, $a = 6000$, $c = 0.$), einem geostatistischen Verfahren.

4.3.2. Gesättigte Mächtigkeit des Aquifers

Die gesättigte Mächtigkeit ist die Differenz zwischen der geodätischen Höhe des Grundwasserspiegels und jener der Sohle des Grundwasserleiters. Die Sohle des Grundwasserleiters wird aus den zur Verfügung stehenden Bohrungen mittels Universal Kriging (sphärisches Modell; $\omega = 5.0$, $a = 6000$, $c = 0.$) auf das Modellnetz interpoliert und ist in Karte 4.2

dargestellt. Dort ist ebenfalls die Mächtigkeit des Aquifers als Differenz des Grundwasserspiegels zum Datum 9.2.1987 und der Sohle zu sehen.

4.3.3. Speicherkoeffizient des Aquifers

Für die Festlegung des Speicherkoeffizienten wird von ungespannten Verhältnissen ausgegangen. Für die Eichung wird ein konstanter Speicherkoeffizient von $S = 0.20$ herangezogen. Bei der instationären Simulation werden mit modifizierten Speicherkoeffizienten bessere Ergebnisse erzielt. Diese werden nach MAROTZ (1948) nach folgender Gleichung ermittelt:

$$S = 0.462 + 0.045 \ln(k_f) \quad (4.15)$$

Weiters werden die nach Gleichung (4.15) ermittelten Werte auf 60 % reduziert. Da bei sehr geringen k_f -Werten diese Gleichung negative Werte ergibt, wird ein minimaler Speicherkoeffizient von $S = 0.05$ festgelegt. Die resultierende Verteilung ist aus Karte 4.3 ersichtlich.

4.4. Randbedingungen

Randbedingungen im weiteren Sinn sind alle hydrologischen Faktoren, die das Grundwassersystem beeinflussen. Dazu zählen Randzuflüsse, Spiegellagen von kommunizierenden Oberflächengewässern, die Grundwasserneubildung aus Niederschlägen und die anthropogenen Entnahmen von Trink- und Nutzwasser.

In den Stauwurzelbereichen wird der Wasserspiegel der Mur als Randbedingung festgehalten. Der westliche Rand des westlichen Leibnitzer Feldes wird über die Wasserspiegel von Laßnitz und Sulm definiert. Im Bereich der Helfersdorfer Terrasse bei Lang wird keine Kommunikation zwischen Fluß und Grundwasser angesetzt. Der Abhang des Buchkogels wird über die Angabe von Zuflußwerten erfaßt. Das nordöstliche und südöstliche Leibnitzer Feld werden durch die Zuflüsse aus den angrenzenden Einzugsgebieten sowie dem Wasserspiegel der Mur bestimmt. Die Grundwasserneubildung wird aus der Simulation des Bodenwasserhaushalts ermittelt (Kap. 4.4.3.3.). In Karte 4.1 werden die oben beschriebenen Randbedingungen für das Strömungsmodell dargestellt.

Die Randbedingungen werden für die Eichung und stationäre Simulation aus einer langfristigen Bilanzierung als Mittelwert berechnet. Für die instationäre Simulation ist eine entsprechende zeitliche Diskretisierung notwendig.

4.4.1. Randzuflüsse

Die ersten Erfahrungen in der Anwendung des Grundwassermodells haben gezeigt, daß die Randzuflüsse für die Grundwasserverhältnisse im nordöstlichen und südöstlichen Leibnitzer Feld von größter Bedeutung sind. Im Verlauf der Projektbearbeitung zeigte sich, daß eine Festlegung dieser Ränder nach Randbedingung erster Art (gegebenes Potential) nicht zulässig ist, da der Grundwasserspiegel und die hydrogeologischen Parameter in diesen Bereichen interpoliert und mit Unsicherheiten behaftet sind. Es besteht daher die Möglichkeit von Fehlschätzungen, die aufgrund der hydrologischen Gegebenheiten nicht plausibel sein können. Ziel dieses Kapitels ist es daher, die Randzuflüsse aufgrund der hydrogeologischen Gegebenheiten zu bestimmen.

Für die Abschätzung der **mittleren Zuflüsse** wird die Wasserbilanz der Einzugsgebiete herangezogen. Neben den klimatischen Größen, wie Niederschlag und Verdunstung, ist die Größe des Einzugsgebietes, das als Quelle des Randzuflusses dient, von Bedeutung. Bei den kleineren Zwischeneinzugsgebieten, die nicht von einem linearen Gerinne entwässert werden, ist anzunehmen, daß der gesamte Abfluß unterirdisch erfolgt; ein möglicher Oberflächenabfluß versickert im flacheren Gelände bei Eintritt in das Leibnitzer Feld und wird ebenso als unterirdischer Zufluß gewertet. Anders verhält es sich bei den Einzugsgebieten, die von Bächen entwässert werden und die bei Eintritt in das Leibnitzer Feld unterschiedliche Wassermengen durch Versickerung, vor allem bei höheren Wasserführungen, an das Grundwasser abgeben können. Auch wenn diese für die Dotation des Grundwassers von Bedeutung sind, ist ihr Anteil im Vergleich zur Abflußfracht des Gewässers gering. Bei größeren Taleinmündungen, wie der Stiefing, ist auch ein Zufluß über einen begleitenden Grundwasserstrom möglich.

Die an das Leibnitzer Feld grenzenden Einzugsgebiete sind in Karte 4.1 dargestellt und mit Nummern bezeichnet. Tabelle 4.1 enthält die Zwischeneinzugsgebiete ohne Oberflächenabfluß, Tab. 4.2 die von Bächen entwässerten Einzugsgebiete, die an das Leibnitzer Feld grenzen.

Aus der Wasserbilanz ergibt sich, daß der maximale Randzufluß die Differenz aus Niederschlag weniger Verdunstung (weniger Oberflächenabfluß) im Mittel nicht überschreiten darf.

Natürlich ist anzunehmen, daß nach Niederschlägen oder bei Schneeschmelze höhere Zuflüsse auftreten, die jedoch durch Perioden mit geringeren Zuflüssen, etwa im Sommer und Herbst, kompensiert werden. Für die Berechnung werden folgende Werte zugrunde gelegt:

$$N = 876 \text{ mm} = 27.7 \text{ l/s km}^2,$$

$$\text{aus } V_1 = 500 \text{ mm} = 15.8 \text{ l/s km}^2 \text{ ergibt sich } q_1 = 11.9 \text{ l/s km}^2,$$

$$\text{aus } V_2 = 640 \text{ mm} = 20.3 \text{ l/s km}^2 \text{ ergibt sich } q_2 = 7.4 \text{ l/s km}^2.$$

Tab. 4.3 enthält die aus diesen Angaben ermittelten Zuflüsse der Teileinzugsgebiete.

Tab. 4.1: Zwischeneinzugsgebiete.

EG-Nr.	Bezeichnung	Lage	Fläche [km ²]
29	Afram	nördlicher Rand des nordöstlichen LF	2.14
30-34	Gerbersdorf-Laubegg	östlicher Rand des nordöstlichen LF	1.83
21	Gabersdorf-St. Veit	nordöstlicher Rand des LF	7.37
22	St. Veit-Seibersdorf	südöstlicher Rand des LF wie 21	5.47
6	Georgenberg	nördlicher Rand des westlichen LF	1.33

Tab. 4.2: Bacheinzugsgebiete.

EG-Nr.	Bezeichnung	Fläche [km ²]
8	Wurzingbach	8.13
9	Stiefing	77.46
10-14	Hirtzenbach	7.08
15	Haslachbach	2.27
	Pfaffenbach	--

Tab. 4.3: Zuflüsse der Zwischeneinzugsgebiete.

EG-Nr.	Fläche [km ²]	Zufluß 1 [l/s]	Zufluß 2 [l/s]
29	2.1	25.0	15.5
30-34	1.8	21.4	13.3
21	7.4	88.1	54.8
22	5.5	65.4	40.7
6	1.3	15.5	9.6

Eine Schätzung der Zuflüsse der kleineren Bäche aufgrund der Wasserbilanz des Einzugsgebietes ist sehr problematisch. Trotzdem wurde der Versuch unternommen, um in einem späteren Schritt noch zu optimierende Daten zu gewinnen. Von der Differenz Niederschlag weniger Verdunstung (640 mm) wurde die Abflußhöhe abgezogen, um die Versickerungshöhe zu erhalten, aus der der Randzufluß berechnet wurde (Tab. 4.4).

Tab. 4.4: Zuflüsse aus Bacheinzugsgebieten.

Gewässer	EG-Nr.	Fläche [km ²]	MQ		φ [%]	Q [mm]	Q [l/s]
			[l/s]	[mm]			
Wurzingbach	8	8,1-1,0	40	180	21	56	12
Hirtzenbach + Sallerbach	10-14 15	7,1 2,3	35	116	13	120	36
Stiefing	9	77,5	-	-	-	-	-

Um den Zufluß aus dem Stiefingtal abzuschätzen, wurden drei Querprofile herangezogen, deren Lage aus Abb. 4.8 hervorgeht. Die Profile sind in den Abb. 4.9-11 dargestellt. Die Querschnittsprofile wurden aus der Neigung der Talflanke (ÖK 1 : 25 000) und den Bohrungen der ÖMV geschätzt. Aus den Querprofilen wurden die Durchflußquerschnitte ermittelt und unter der Annahme eines k_f -Wertes von 3.5×10^{-3} m/s und dem resultierenden Gefälle der Durchfluß berechnet. Aus der in Tab. 4.5 gezeigten Schätzung ergibt sich ein unterirdischer Zufluß aus dem Stiefingtal in der Größe von etwa 20 bis 30 l/s.

Tab. 4.5: Zufluß aus dem Stiefingtal.

GW-Stand	PROFIL 1		PROFIL 2		Mittel F[m ²]	I [%]	Q [l/s]
	[m ü.A.]	F [m ²]	[m ü.A.]	F[m ²]			
hoch	301.0	1800.	296.0	1750.	1775.	5.3	32.9
mittel	299.5	1425.	294.0	1280.	1350.	5.8	27.4
tief	299.0	1200.	293.0	1050.	1125.	5.8	22.8

Die zeitliche Abhängigkeit der Randzuflüsse ist nicht direkt meßbar, sondern kann nur über Schwankungen des Grundwasserspiegels von Grundwassermeßstellen in unmittelbarer Nähe der Ränder beobachtet werden. Die Festlegung einer Funktion der Randzuflüsse kann daher nur eine grobe Schätzung sein, wenn auch deren Mittelwerte abgesichert erscheinen. Es werden daher zwei Methoden zur Beschreibung der zeitlichen Funktion der Randzuflüsse untersucht. Einerseits können diese bei genügend großem Einzugsgebiet im Jahresverlauf mehr oder weniger sinusförmig um den angenommenen Mittelwert schwanken; andererseits ist bei kleineren Zwischeneinzugsgebieten mit einem raschen Ansteigen der Randzuflüsse nach Niederschlägen zu rechnen, auf die eine etwas gedämpftere Abnahme nach Ende der Niederschlagsperiode folgt.



Abb. 4.8: Lage der Profile, Stiefing.

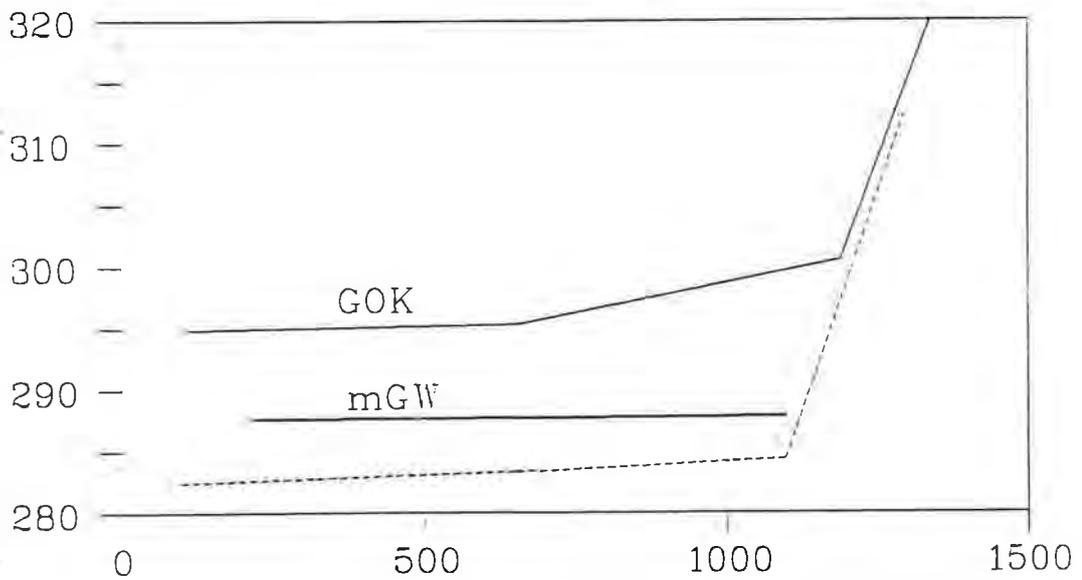


Abb. 4.9: Stiefing, Profil 1

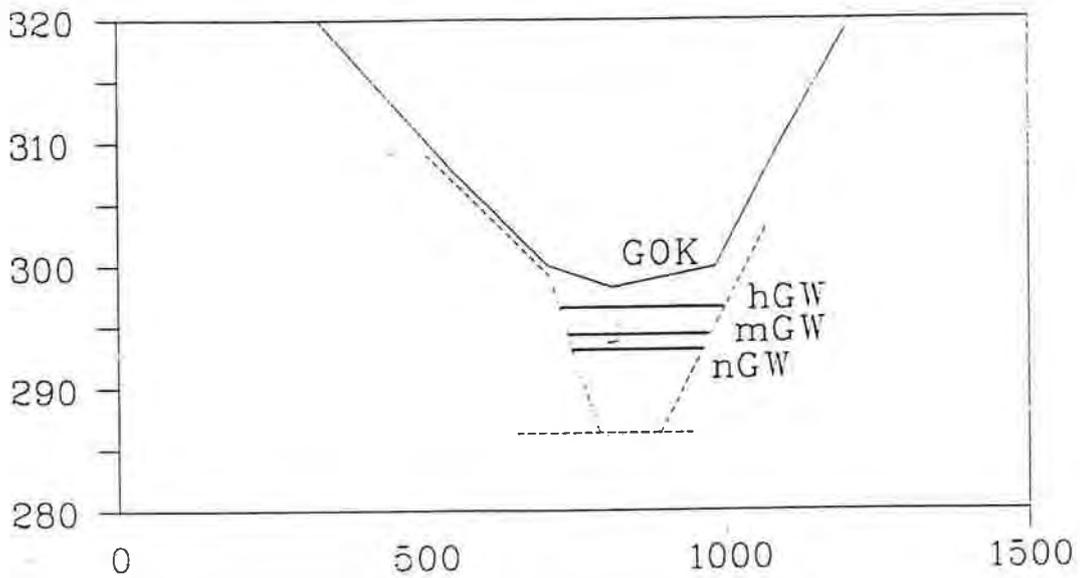


Abb. 4.10: Stiefing, Profil 2.

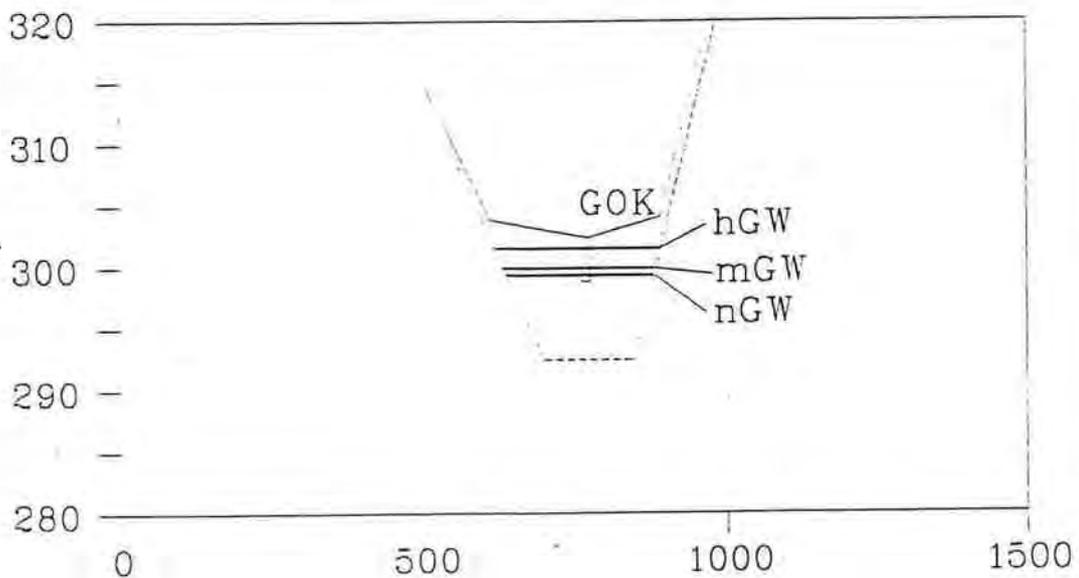


Abb. 4.11: Stiefing, Profil 3.

Für die Ermittlung der Randzuflüsse aus den Bacheinzugsgebieten wird im Jahresverlauf eine sinusförmige Schwankung um den Mittelwert angesetzt. Der minimale Randzufluß wird mit 25 % des Mittelwertes, der maximale Randzufluß mit 200 % des Mittelwertes festgelegt. Der

minimale Randzufluß liegt in den Herbst- und Wintermonaten, der maximale in den Frühlings- und Sommermonaten. Die Funktion (4.16) lautet:

$$q_{ez} = q_{ezm} (1 + f \sin(t + dt)) \quad (4.16)$$

mit

q_{ez}	Randzufluß aus Einzugsgebiet
q_{ezm}	Mittelwert des Zuflusses
f	Streckungsfaktor für Amplitude
t	Tageszahl
dt	Verschiebungsfaktor für Funktion

Tab. 4.6: Parameter der Bacheinzugsgebiete.

BEZG	q_{ezm}	f	dt : 84/85	dt : 87/87	dt : 89/90
8	12.0	0.5	80	100	100
9	26.0	0.5	80	100	100
15	06.0	0.5	80	100	100
21	54.8	0.5	80	100	100
22	40.8	0.5	80	100	100

Die Randzuflüsse aus den Zwischeneinzugsgebieten werden nach dem Prinzip von Translation und Superposition aus den Niederschlägen ermittelt. Die Niederschlagssumme einer Woche (entspricht einem Zeitschritt) wird im Verhältnis 70 : 25 : 5 auf diese und die zwei folgenden Wochen aufgeteilt. Der Randzufluß einer Woche ergibt sich somit aus der Summe der Niederschläge der betreffenden und der zwei vorausgegangenen Wochen. Als Eingangsgrößen werden nicht die gemessenen Niederschlagswerte, sondern die berechnete Grundwasserneubildung der Bodenklasse 2, eines gut durchlässigen Bodens, verwendet, um damit implizit den Einfluß der Evapotranspiration zu berücksichtigen.

$$q_{ez} = \sum V_i F_{ez} / dt \quad (4.17)$$

mit

q_{ez}	Randzufluß aus Einzugsgebiet
V_i	Versickerung [mm] als Summe der drei vorangegangenen Wochen
F_{ez}	Fläche des Einzugsgebietes
dt	Dauer des Zeitschrittes

Tab. 4.7: Parameter Zwischeneinzugsgebiete.

ZEZG	F_{ez} [km ²]
29	2.10
30	1.80
6	1.30

Mittels der oben beschriebenen Methoden werden die benötigten Randzuflüsse der Zwischen- und Bacheinzugsgebiete als Summenwert für das jeweilige Einzugsgebiet für alle benötigten Zeitschritte ermittelt. Diese Werte sind in Form von Ganglinien für die Simulationsperiode 87/87 im Anhang A dargestellt.

Bei der Simulation der Perioden 87/87 sowie 89/90 wird auch versucht, starke Anstiege des Grundwasserspiegels, die bei Stationen im Bereich der Stiefing beobachtet wurden, durch Annahme von Exfiltration aus dem Bachbett zu erklären. Dazu wird das Volumen des beobachteten Anstieges überschlagsmäßig ermittelt und auf die Dauer eines Zeitschrittes, also eine Woche, umgelegt. Das Ergebnis ist in Tab. 4.8 dargestellt. Diese Beträge werden auf die Knoten 39, 47, 62, 76 aufgeteilt.

Tab. 4.8: Stiefing, Anstiege des Grundwasserspiegels.

Simulation	Zeitschritt	Tage	Volumen [m ³]	Exfiltration [l/s]
21	32	182	385000.	600.
22	20	98	242000.	400.
22	26	140	176000.	290.

4.4.2. Abflüsse der Auenbäche

Vor allem im Bereich der Auenterrasse entlang der Mur entspringen zahlreiche von Grundwasser gespeiste Bäche. Diese wirken als Vorfluter und müssen daher im Grundwassermodell berücksichtigt werden. Für diese Gewässer wurden im Zuge der Dauerbeobachtungsperiode 1989/90 zu sechs verschiedenen Zeitpunkten Abflußmessungen durchgeführt. Für die folgenden Spiegellagen werden repräsentativ einige Abflüsse in Tab. 4.9 zusammengestellt.

- Datum 4.10.1989: hohe Spiegellage
- Datum 5.12.1989: mittlere Spiegellage
- Datum 7.3.1990: tiefe Spiegellage

Tab. 4.9: Repräsentative Abflüsse einiger Bäche.

Mst.nr.	Bach	Lage	Abfluß [l/s]:		
			891004	891205	900307
XIII	Auenhofbach	nordöstliches Leibnitzer Feld	98	31	35
XII	Haslachbach	nordöstliches Leibnitzer Feld	115	71	47
I	Hasenbach	westliches Leibnitzer Feld	124	61	40
II	Kleinwagnabach	westliches Leibnitzer Feld	239	115	74
A*)	An Sulmspitz	westliches Leibnitzer Feld	-	-	48
B*)	Begleitgraben Spielfeld	südöstliches Leibnitzer Feld	-	-	100

*) geschätzt

Aus den Meßergebnissen geht eine deutliche jahreszeitliche Schwankung der Abflüsse hervor. Die Größe der Abflüsse ist eine Funktion des Grundwasserstandes, wie auch aus den folgenden Abb. 4.12-15 hervorgeht, die die Abflüsse den GW-Ständen benachbarter Grundwassermeßstellen gegenüberstellen.

Für die instationäre Simulation werden daher die Abflüsse der Aubäche über eine lineare Regression (4.18) aus den Grundwasserspiegelhöhen der jeweiligen Meßstellen ermittelt. Die Parameter der Regression sind in Tab. 4.10 angeführt. Die ermittelten Abflüsse werden dann auf die betreffenden Knoten des Modellnetzes als Entnahmen angesetzt.

$$q_b = a (h_{gw} - b) f \quad (4.18)$$

mit

q_b [l/s]	berechneter Bachabfluß
h_{gw} [m]	Grundwasserstand der Referenzstation
b	Regressionskonstante
a	Regressionskoeffizient
f	Streckungsfaktor

Tab. 4.10: Parameter der Regression.

Bez.	Bach	Station	a	b	f
AU11	Auenhofbach	L011	80.00	282.40	1.00
AU12	Haslachbach	L013	154.00	277.85	1.00
AU23	Hasenbach	L009	118.00	268.35	1.00
AU24	Kleinwagnabach	L041	150.00	266.40	0.75
AU25	Sulm Au	L091	75.00	260.40	1.00

Die Ganglinien der Abflüsse der Simulationsperiode 87/87 sind im Anhang B dargestellt.

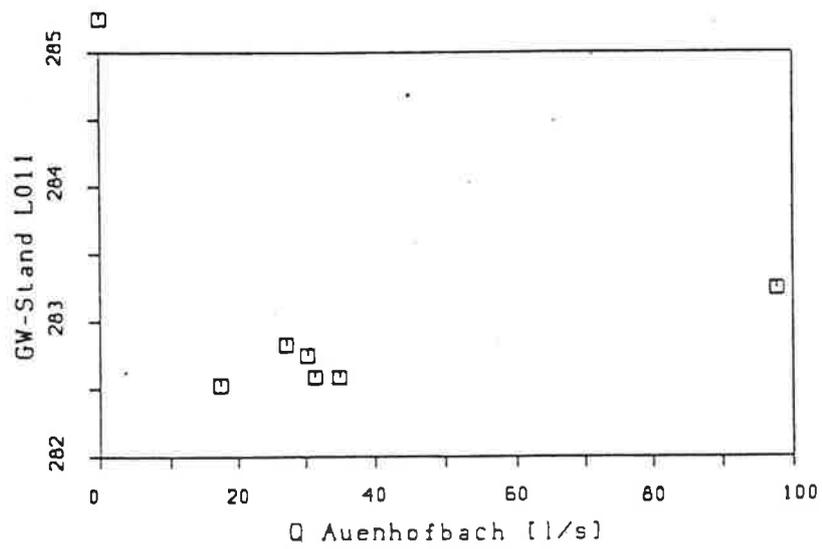


Abb. 4.12: Abfluß Auenhofbach.

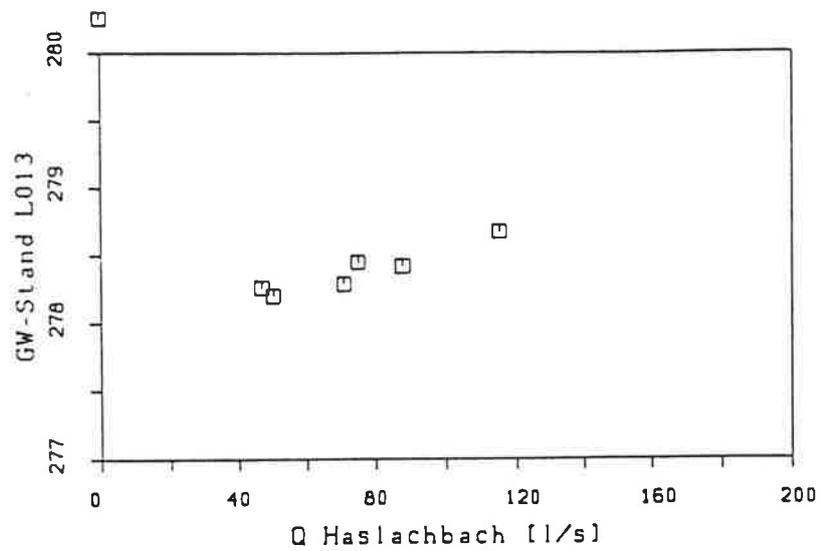


Abb. 4.13: Abfluß Haslachbach.

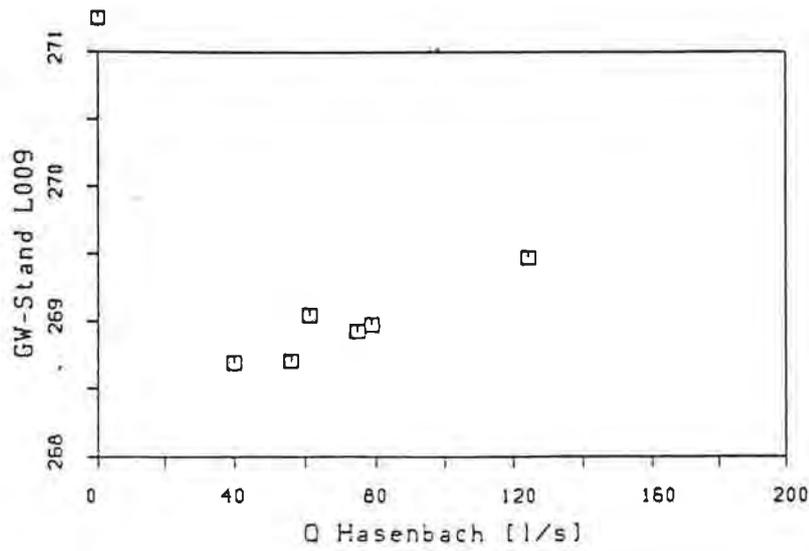


Abb. 4.14: Abfluß Hasenbach.

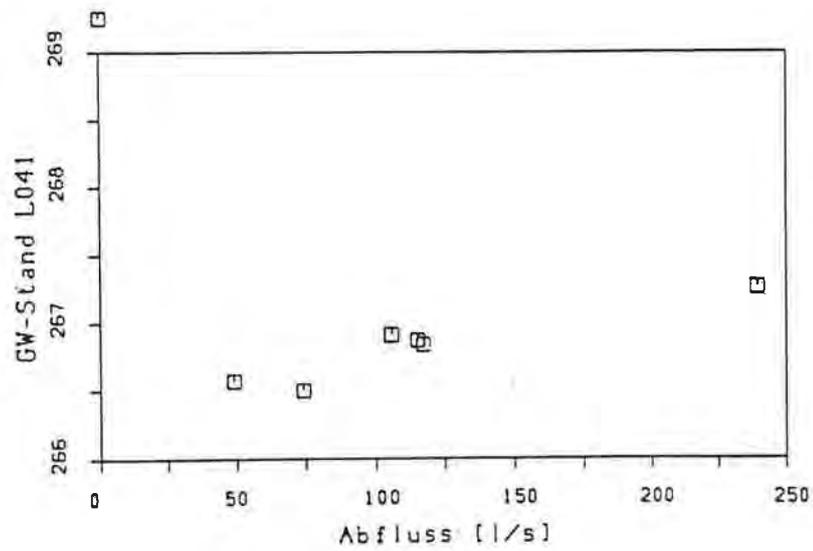


Abb. 4.15: Abfluß Kleinwagnabach.

4.4.3. Grundwasserneubildung aus Niederschlägen

Die flächige Versickerung von Niederschlägen ist aufgrund der im Leibnitzer Feld weit verbreiteten gut durchlässigen Böden (Karte 2.4) der wesentliche Faktor für die Grundwasserneubildung. Der zeitliche Aspekt von kontinuierlicher Nutzung und Abfluß aus dem Grundwassersystem einerseits, und der diskontinuierlichen, in relativ kurzen Perioden erfolgenden Grundwasserneubildung aus Niederschlägen andererseits bestimmt den deutlich zu erkennen periodischen Verlauf der Ganglinie des Grundwasservolumens. Da die Grundwasserneubildung mit einfachen Mitteln nicht direkt meßbar ist, wird im folgenden Kapitel durch die Anwendung von drei unterschiedlichen Verfahren, nämlich der klimatischen Wasserbilanz, der Auswertung der Ganglinie des Grundwasservolumens sowie über die Simulation von Bodensäulen versucht, aussagekräftige Daten zu ermitteln.

4.4.3.1. Klimatische Wasserbilanz

Als klimatische Wasserbilanz wird die Differenz von Niederschlag und Verdunstung (4.19) bezeichnet.

$$\text{KWB} = \text{N} - \text{ET}_p \quad (4.19)$$

mit

KWB	klimatische Wasserbilanz
N	Niederschlag
ET _p	Verdunstung: potentielle Evapotranspiration

Für die Berechnung der ET_p wird die Formel von THORNTWAITE herangezogen (4.20). Als Eingangsgröße werden die Monatsmittelwerte der Lufttemperaturen benötigt. Als Ergebnis erhält man Monatswerte der ET_p.

$$\text{ET}_p = K 16 (10 T/I)^a \quad (4.20)$$

mit

$$I = \sum_{j=1}^{12} (T_j / 5)^{1.514} \quad \text{für } T_j > 0$$

$$a = 0.9262 / (2.42 - \log I)$$

K Korrekturfaktor für die Tageslänge

Zur Ermittlung der Monatsmittelwerte der Lufttemperaturen:

Die Monatsmittelwerte werden als arithmetisches Mittel der Tagesmittelwerte des Monats berechnet. Der Tagesmittelwert wird aufgrund der Datenlage als arithmetisches Mittel der Lufttemperaturen um 7.00, 14.00 und 19.00 Uhr ermittelt.

Die Monatsmittel des Hydrographischen Dienstes (HZB) sind Viertelmittel, da den Abendablesungen (21.00 Uhr) im Gegensatz zu den Früh- (7.00 Uhr) und Mittagsablesungen (14.00 Uhr) doppeltes Gewicht gegeben wird. Die Monatsmittel der Meteorologischen Zentralanstalt (MZA) sind Viertelmittel aus den Früh- (7.00 Uhr) und den Abendablesungen (19.00 Uhr) sowie aus den Tagesmaxima und den Tagesminima (HYDROGRAPHISCHES JAHRBUCH, 1982).

Für die Auswertung werden die Daten der meteorologischen Station Leibnitz herangezogen. In den folgenden Abb. 4.16-19 sind die Monatssummen der Niederschläge (N), die Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (T) sowie die Monatswerte der potentiellen Evapotranspiration (ETP) und der klimatischen Wasserbilanz (KWB) in 5-Jahresintervallen dargestellt.

Die klimatische Wasserbilanz erlaubt eine erste Abschätzung der Grundwasserneubildungsrate. Es wird davon ausgegangen, daß eine positive Differenz von Niederschlag minus Verdunstung einer Versickerungshöhe des entsprechenden Betrages entspricht. Die Summe dieser Werte über ein Jahr ergibt die jährliche Grundwasserneubildung. In Tab. 4.11 sind die so ermittelten Werte angeführt.

Als Durchschnittswert der Jahre 1971 bis 1990 (n= 19) ergibt sich ein Betrag von 341 mm Versickerungshöhe.

Tab. 4.11: Grundwasserneubildung (mm/Jahr) aus KWB.

Jahr	mm	Jahr	mm	Jahr	mm	Jahr	mm
71	219	76	282	81	230	86	317
72	680	77	175	82	422	87	386
73	362	78	251	83	220	88	362
74	336	79	535	84	331	89	221
75	360	80	452	85	397	90	*)
Mittel	391		333		319		322

*) Daten unvollständig.

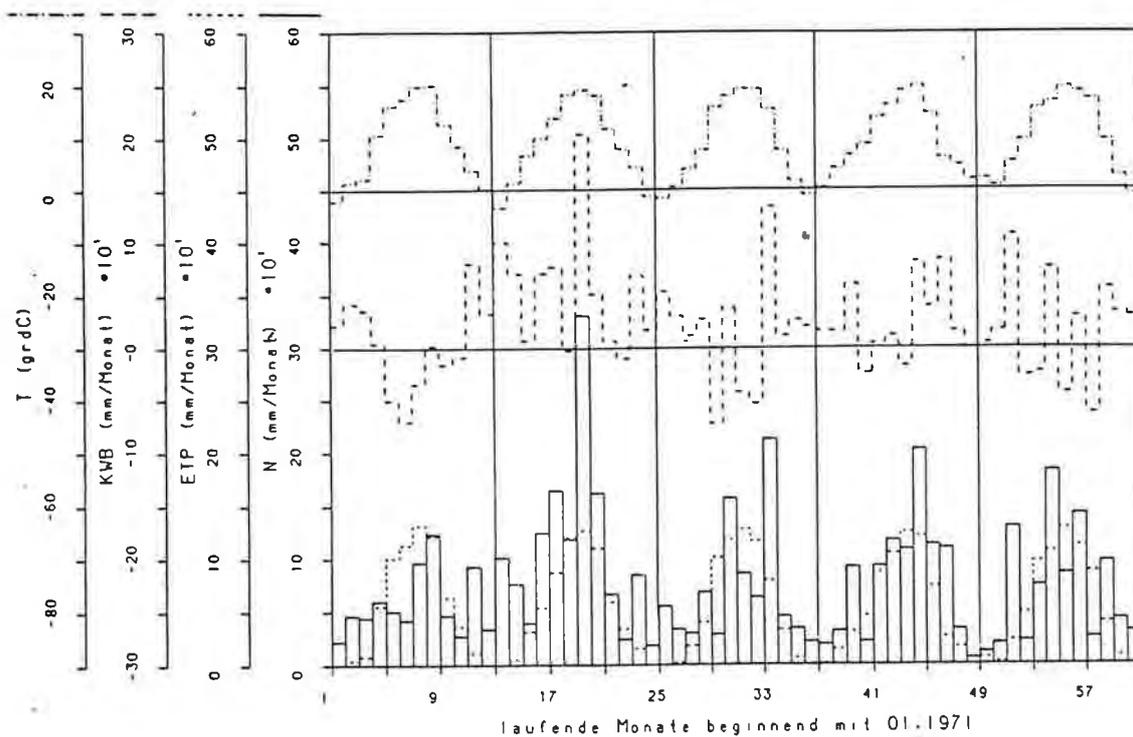


Abb. 4.16: Klimatische Wasserbilanz 1971/75.

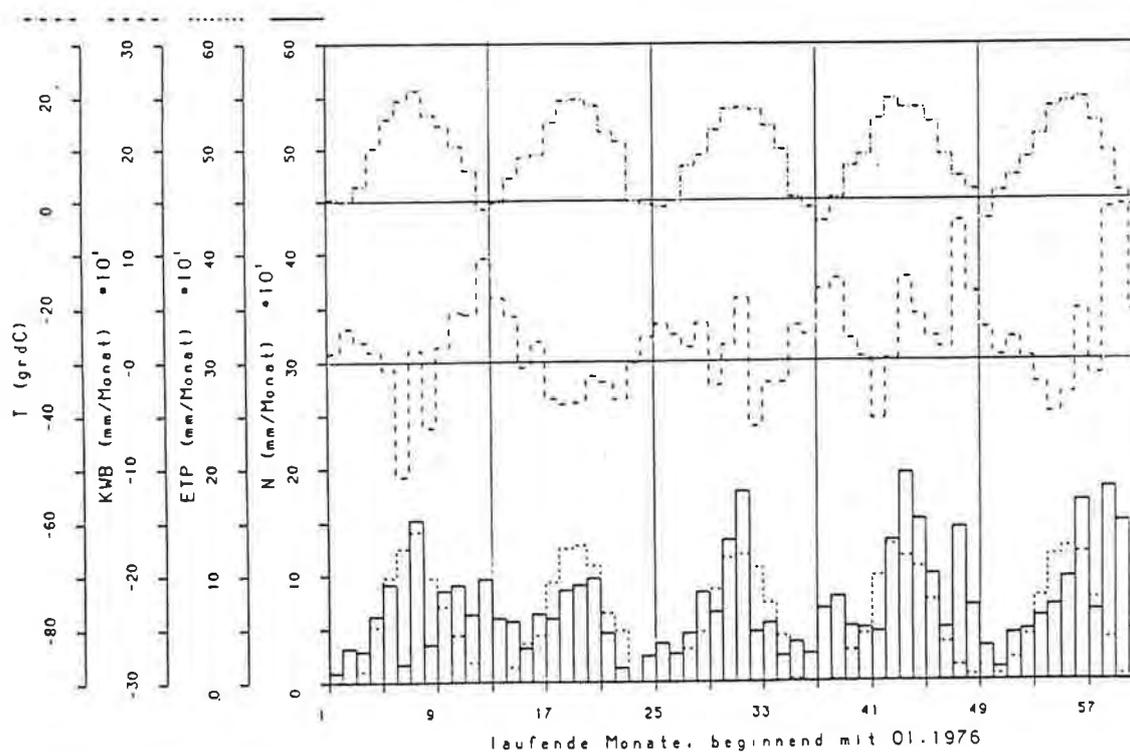


Abb. 4.17: Klimatische Wasserbilanz 1976/80.

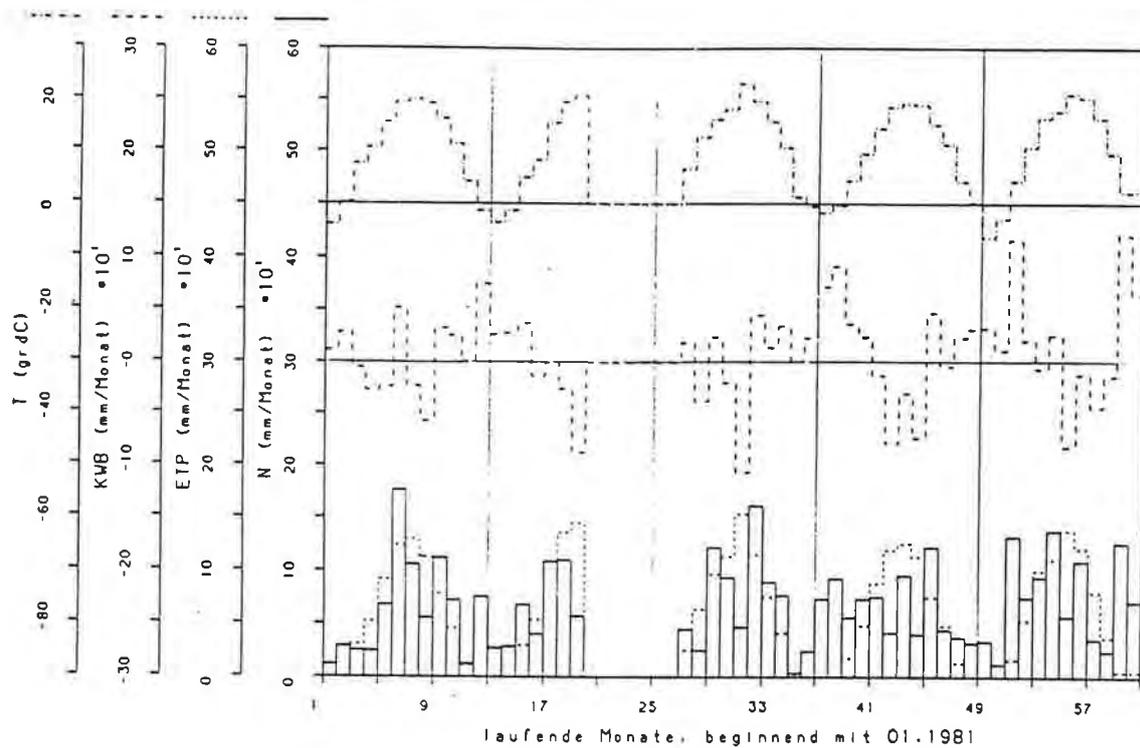


Abb. 4.18: Klimatische Wasserbilanz 1981/85.

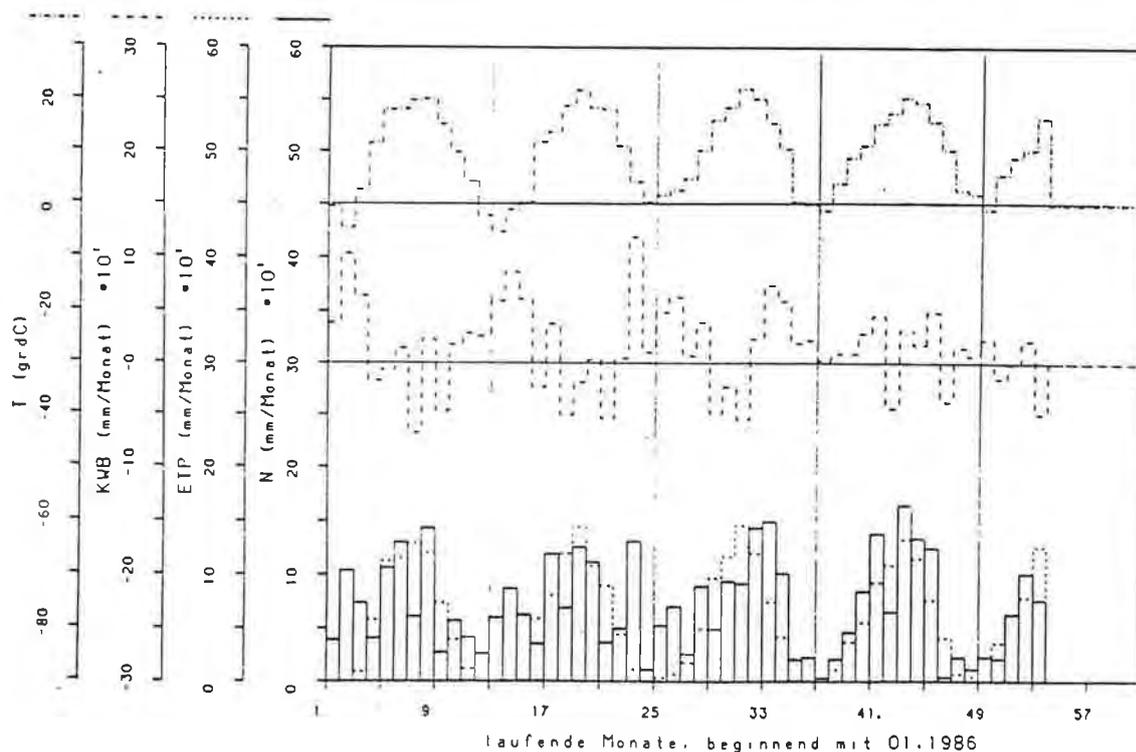


Abb. 4.19: Klimatische Wasserbilanz 1985/90.

4.4.3.2. Bilanzierung des Grundwassersystems

Änderungen des Grundwasservolumens werden durch Veränderungen der natürlichen Zuflüsse und Abflüsse sowie durch anthropogene Nutzungen verursacht. Zu den natürlichen Zuflüssen zählen die horizontalen Zuflüsse über die Ränder aus seitlich zufließenden Grundwasserströmen oder aus Hangwasserzutritten. Ebenso stellt der versickernde und in das Grundwasser gelangende Anteil der Niederschläge einen Zufluß, jedoch in vertikaler Richtung und über die gesamte Fläche dar. Zuflüsse können ebenso über durchlässige und wasserführende geologische Einheiten (z.B. Kalkstöcke) oder über Grundwasserstockwerke erfolgen, die sich über oder unter dem beobachteten Hauptaquifer befinden. Natürliche Abflüsse aus dem Grundwassersystem können über seitliche Ränder des betrachteten Gebietes erfolgen. Auch linienförmige Grundwasseraustritte entlang von Oberflächengewässern treten häufig auf. Durch kapillaren Hub in Bereichen grundwasserbeeinflusster Böden kann es ebenso zu einem Verbrauch von Grundwasser und damit zu einer Beeinflussung des Grundwasservolumens kommen. Nicht zuletzt können Abflüsse aus dem Grundwassersystem auch geologisch bedingt sein. In folgender Zusammenstellung (Tab. 4.12) werden die verschiedenen Möglichkeiten von Zuflüssen und Abflüssen und ihre Bedeutung für das Leibnitzer Feld dargestellt.

Tab. 4.12: Zu- und Abflüsse aus dem GW-System.

+ N	GW-Neubildung aus Niederschlägen	G	flächig	x
+ N	seitliche GW-Zuflüsse	R	linienförmig	x
+ N	seitliche Hangwasserzutritte	R	linienförmig	x
+ N	Zuflüsse über geologische Formationen	G	flächig	(x)
+ N	Zuflüsse aus anderen GW-Stockwerken	G	flächig	/
+ N	Zuflüsse aus Oberflächengewässern	R, G	linienförmig	x
+ A	GW-Anreicherung	G	punktuell	/
- N	seitliche GW-Abflüsse	R	linienförmig	x
- N	Abflüsse in Oberflächengewässer	R, G	linienförmig	x
- N	Verbrauch durch kapillaren Hub	G	flächig	x
- N	Abflüsse über geologische Formationen	G	flächig	(x)
- N	Abflüsse in andere GW-Stockwerke	G	flächig	/
- A	Entnahmen zur GW-Nutzung	G	punktuell	x

mit

N	Natürlich
A	Anthropogen
+	Zufluß
-	Abfluß
G	Gebiet
R	Rand
x	gegeben
(x)	möglicherweise
/	nicht gegeben

Die Ermittlung der Ganglinie des Grundwasservolumens wird in Kap. 3.4. beschrieben. Das Ziel dieses Kapitels ist es, die dort ermittelten Anstiege des Grundwasservolumens auf die Grundwasserneubildung zurückzuführen.

In Abb. 4.20 werden die Ganglinie des Grundwasservolumens, sowie die Monatssummen der Niederschläge dargestellt. Die ausgefüllten Balken heben jene Niederschläge hervor, die mit einer deutlichen Anhebung des Grundwasservolumens zusammenfallen. Es ist zu erkennen, daß die Niederschlagshöhe der Monatssummen allein keinen Einfluß auf die Entwicklung des Grundwasservolumens hat; vielmehr ist auch der Zeitpunkt des Auftretens der Niederschläge von Bedeutung. So zeigt sich, daß eine Reaktion des Grundwasservolumens auf Niederschläge hauptsächlich in den Monaten Februar bis März und in manchen Jahren von August bis Oktober erfolgt. Bei erstgenannten geht ein hoher Anteil (70-100 %) der Niederschläge in eine Zunahme des Grundwasservolumens ein. In der sommerlichen Anstiegsphase beträgt der Anteil etwa 50 %. Diese Aussagen geben jedoch wegen der willkürlichen Festlegung der Monatsgrenzen nur einen sehr oberflächlichen Eindruck, so daß im folgenden die Verhältnisse an einer konkreten Aufspiegelungsphase dargestellt werden.

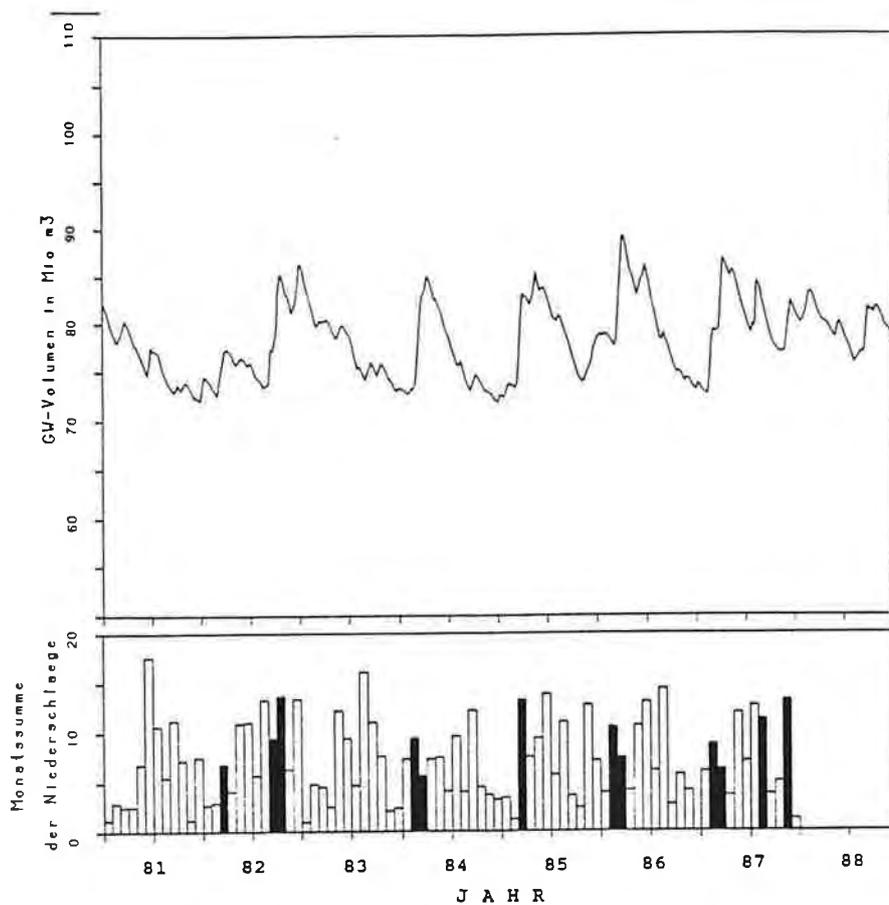


Abb. 4.20: Grundwasservolumen und Monatsniederschläge 1981/88.

Das Grundwasservolumen im Jahr 1984 ist in Abb. 4.21 dargestellt. Abb. 4.22 zeigt die Tagessumme der Niederschläge. So ergibt sich von Ende Februar bis Mitte März ein Anstieg des Grundwasservolumens von 73 auf 83 Mio. m³, das sind 10 Mio. m³. Im letzten Drittel des Februar wurden Niederschläge in Form von Schnee in der Höhe von 61 mm registriert. Daraufhin ist ein Anstieg der Tagesmitteltemperatur bis Mitte März festzustellen, so daß die Niederschlagsmengen in den Boden gelangen konnte. Da diese Niederschlagshöhe nun 6 Mio. m³ entspricht, ist anzunehmen, daß auch weiter zurückliegende und als Schnee gebundene Niederschläge zur Anreicherung des Grundwasservolumens beitragen. Zudem sind keine höheren Wasserspiegellagen der Vorfluter zu erkennen (Abb. 4.23). Von Ende März bis Anfang April sind Niederschläge von 76 mm Höhe zu verzeichnen, was, auf die Fläche des Leibnitzer Feldes bezogen, 7.6 Mio. m³ entspricht. Der Anstieg des Grundwasservolumens betrug hingegen nur etwa 2 Mio. m³; das sind etwa 25 % des Niederschlagsvolumens.

Für das Jahr 1987 sind in Abb. 4.24 die Ganglinie des Grundwasservolumens und in Abb. 4.25 die Tagessummen der Niederschläge aufgetragen. Aus der Ganglinie des Grundwasservolumens sind Mitte Februar und Ende März zwei aufeinanderfolgende Anstiege zu erkennen. Der erste Anstieg geht von 72 Mio. m³ auf 79 Mio. m³, der zweite von 79 Mio. m³ auf 87 Mio. m³. Mitte Februar ist bei Tagesmitteltemperaturen über 0 °C eine Niederschlagsperiode zu erkennen, die eine Niederschlagshöhe von 86 mm bewirkt. Dies ist einem Niederschlagsvolumen von 8.6 Mio. m³ gleichzusetzen. Der Anstieg des Grundwasservolumens von 7 Mio. m³ macht somit 80 % des Niederschlagsvolumens aus. Allerdings ist in diesem Zeitraum auch eine höhere Wasserspiegellage der Mur (Abb. 4.26) zu erkennen. Ende März, Anfang April sind, ebenfalls bei positiven Temperaturen, Niederschläge in der Höhe von 72 mm aufgetreten. Der Anstieg des Grundwasservolumens von 8 Mio. m³ könnte nur dann zur Gänze auf Niederschläge in diesem Zeitraum zurückgeführt werden, wenn angenommen würde, daß diese ohne Verluste in das Grundwasser versickern. Da dies jedoch nicht anzunehmen ist, ist ein gewisser Anteil durch hohe Wasserstände der Mur (Abb. 4.26) bzw. Laßnitz und Sulm bedingt. Weiters sind die Randzuflüsse zu berücksichtigen. Der Anstieg des Grundwasservolumens Mitte August 1987 beträgt etwa 5 Mio. m³. In einer Niederschlagsperiode anfangs des Monats ist eine Höhe von 79 mm Niederschlag zu erkennen. Der Niederschlag eines Tages allein beträgt 58 mm. Diese Intensität ist doppelt so groß wie bei den sonst auftretenden Niederschlagsspitzen dieses Jahres. Auch die Mur und Laßnitz zeigen hohe Wasserstände, wobei die Laßnitz den bei weitem höchsten Wert von 1984 bis 1987 erreicht. Unter der Annahme, daß diese jedoch nur einen geringen Einfluß auf das Grundwasservolumen hätten, kann der Anstieg des Grundwasservolumens auf etwa 60 % des Niederschlagsvolumens zurückgeführt werden.

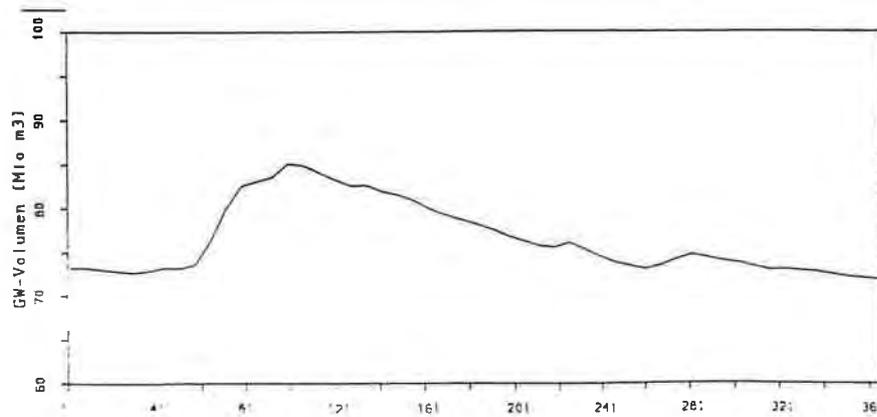


Abb. 4.21: Grundwasservolumen, 1984.

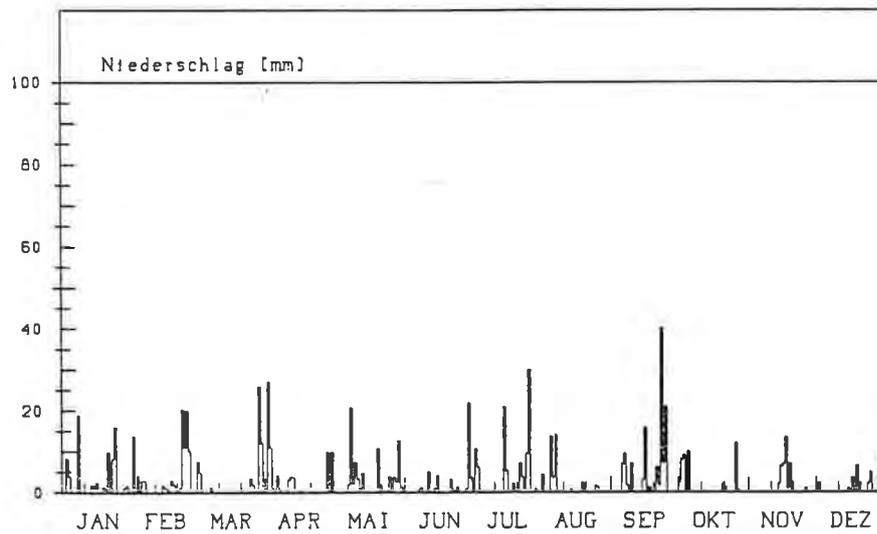


Abb. 4.22: Tagessumme der Niederschläge, 1984.

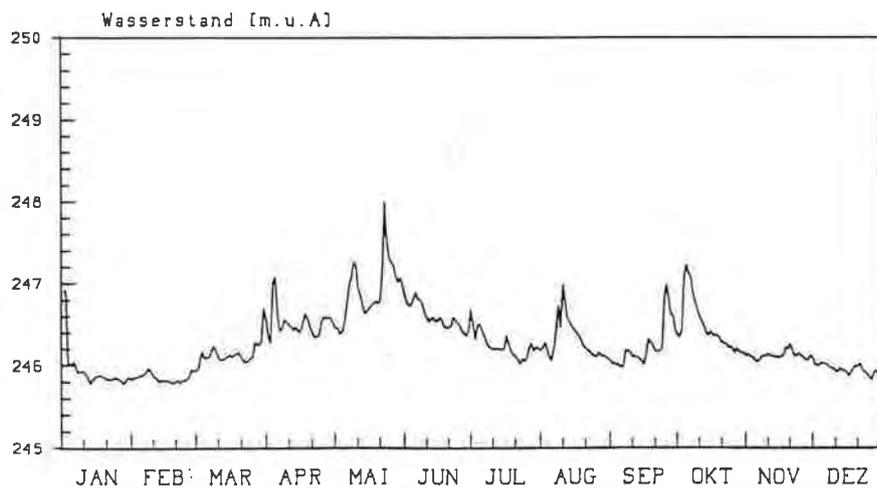


Abb. 4.23: Wasserspiegel Mur, 1984.

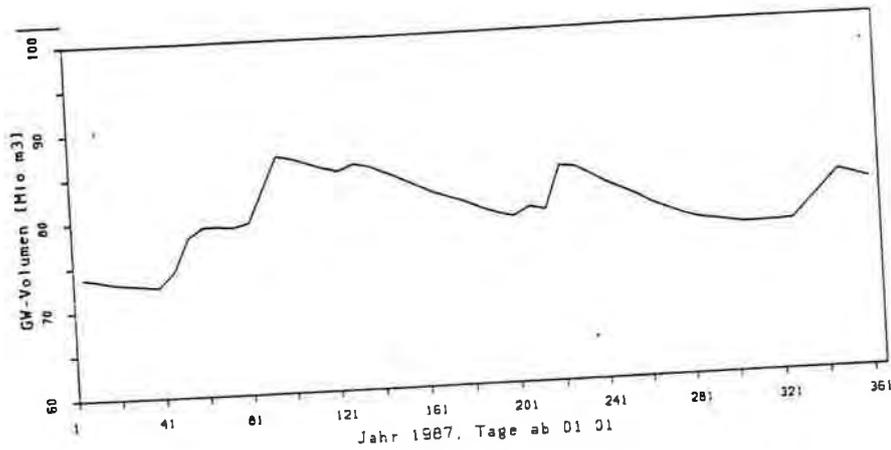


Abb. 4.24: Grundwasservolumen, 1987.

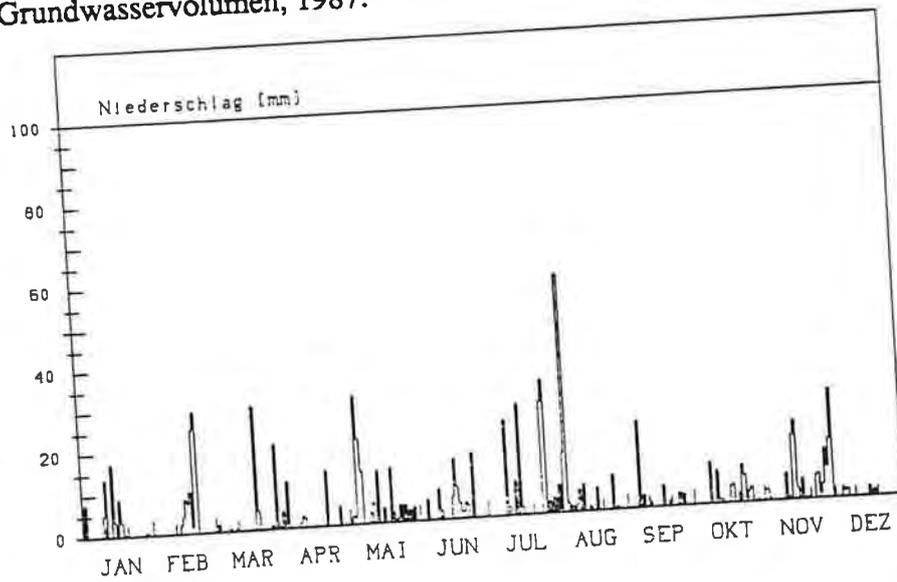


Abb. 4.25: Tagessumme der Niederschläge, 1987.

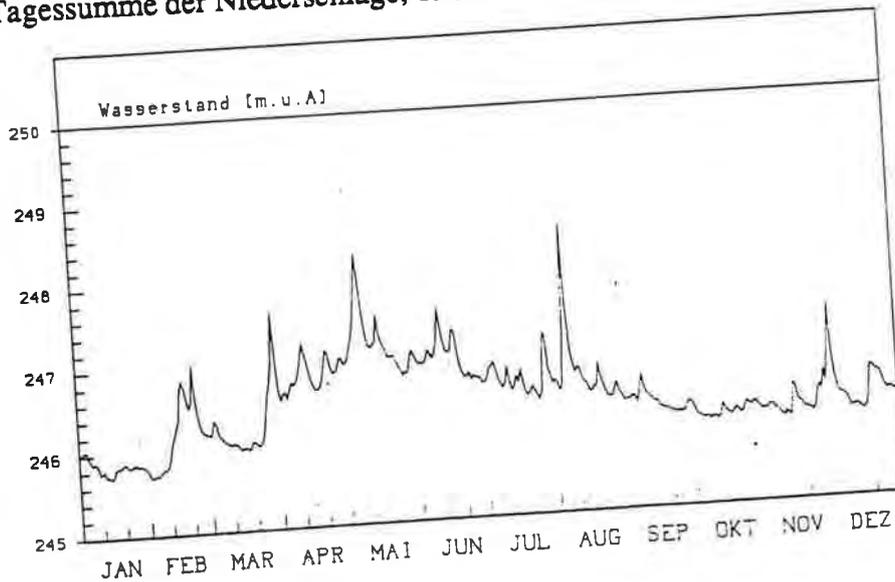


Abb. 4.26: Wasserspiegel Mur, 1987.

Die allgemeine Bilanzgleichung besagt, daß die Veränderungen des Grundwasservolumens auf Veränderung der Bilanzkomponenten, nämlich natürliche und anthropogen bedingte Zu- und Abflüsse zurückzuführen sind.

$$\Delta V = \sum_G Q_v \Delta t + \sum_R Q_h \Delta t \quad (4.21)$$

mit

ΔV	Änderung des Grundwasservolumens
Δt	Zeitintervall
Q_v	vertikale Zu- und Abflüsse
Q_h	horizontale Zu- und Abflüsse
G	Gebiet
R	Rand

Für die Anwendung dieser Gleichung ist es kaum möglich, alle Einflußgrößen, wie sie in Tab. 4.12 aufgelistet sind, zu bestimmen, um die gesuchte Größe, die Grundwasserneubildung, zu erhalten. Dies erscheint auch nicht notwendig, da folgendes zu berücksichtigen ist. Es ist bekannt, daß die Neubildung des Grundwassers aus Niederschlägen nicht kontinuierlich über das gesamte Jahr, sondern nur in kürzeren Perioden, meist außerhalb der Vegetationsperiode, erfolgt. Es wird angenommen, daß sich die horizontalen Flüsse über die Ränder in dieser Zeitspanne nur wenig verändern, so daß aus Gleichung (4.21) folgt:

$$\Delta V = \sum_G Q_v \Delta t \quad (4.22)$$

Der vertikale Fluß Q_v ist die Summe aus Zufluß und Abfluß; er beinhaltet folgende Komponenten:

- Grundwasserneubildung aus Niederschlägen,
- Grundwasserneubildung aus Oberflächengewässern,
- Grundwasserverbrauch durch kapillaren Hub,
- Grundwasseraustritte in Oberflächengewässer,
- Entnahmen.

Ein Anstieg des Grundwasservolumens kann daher nur auf Niederschläge oder hohe Wasserstände von Oberflächengewässern zurückzuführen sein. Wie bereits am Beispiel der Ganglinie des Grundwasservolumens der Jahre 1984 und 1987 gezeigt wurde, können die Anstiege der Volumsganglinie des Grundwassers gut mit ausgiebigen oder sehr intensiven Niederschlägen in Übereinstimmung gebracht werden. Für eine grobe Abschätzung der Grund-

wasserneubildung aus der Ganglinie des Grundwasservolumens wurde der Einfluß der Oberflächengewässer vorerst nicht berücksichtigt. Als Begründung könnte angeführt werden, daß mittlere Hochwässer von relativ kurzer Dauer sind und der Anreicherungsereich sich auf die Randbereiche der Gewässer beschränkt. Für die folgende Auswertung wurde davon ausgegangen, daß die Summe der Anstiege des Grundwasservolumens der Grundwasserneubildung im entsprechenden Zeitraum entspricht.

$$V_s = \sum \frac{\Delta V}{\Delta t}, \text{ wenn } \Delta V > 0 \quad (4.23)$$

mit

$$\Delta V = V_i - V_{i+1}$$

V_s Versickerung
i Zeitindex

Die so ermittelten Jahressummen sind in der Tab 4.13 angeführt.

Tab. 4.13: Grundwasserneubildung (mm/Jahr) aus der Ganglinie des Grundwasservolumens.

Jahr	mm	Jahr	mm	Jahr	mm	Jahr	mm
71	75	76	99	81	70	86	167
72	346	77	81	82	231	87	265
73	167	78	147	83	62	88	117
74	176	79	303	84	219	89	*)
75	192	80	150	85	205	90	*)
Mittel	191		156		157		183

*) keine Auswertung.

Als Durchschnittswert von 18 Jahren ergibt sich aus dieser Auswertung eine Versickerungshöhe von 171 mm. Dieser Wert ist deutlich geringer als jener nach der klimatischen Wasserbilanz (341 mm). Ein Grund dafür liegt möglicherweise darin, daß durch die wöchentlichen Ablesungen viele kleine Anstiege nicht erfaßt werden, aber in Summe diese Differenz bewirken.

4.4.3.3. Simulation der Grundwasserneubildung

Die Ergebnisse der klimatischen Wasserbilanz und der Bilanzierung des Grundwassersystems liefern Schätzungen über den zeitlichen Verlauf der mittleren Grundwasserneubildungsrate im Gesamtgebiet. Für die instationäre Simulation des Grundwassersystems ist sowohl die

regionale Verteilung der Grundwasserneubildung als auch deren zeitliches Auftreten von Bedeutung. Die klimatischen, pedologischen und hydraulischen Faktoren bestimmen die Grundwasserneubildung:

- Betrag und zeitlicher Verlauf von Niederschlägen.
- Evapotranspiration der Bodenbedeckung, Interzeption.
- Grundwasserflurabstand.
- Bodeneigenschaften, charakterisiert durch:
 - Porenvolumen,
 - Welkepunkt,
 - Feldkapazität,
 - Durchlässigkeit,
 - Mächtigkeit des Bodens.

Mit Hilfe eines Simulationsmodells für den Bodenwasserhaushalt ist es möglich, die Evapotranspiration und Versickerung für eine Bodensäule in ihrem zeitlichen Verlauf zu bestimmen. Für eine ausführliche Beschreibung der Methode und des Lösungsverfahrens wird auf NACHTNEBEL et al. (1984) verwiesen.

Der Durchlässigkeitsbeiwert ist neben der Bodenmächtigkeit ein wesentlicher Faktor für das Speichervermögen der Grundwasserüberdeckung. Für deren Festlegung wurden die vorhandenen Untersuchungen der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung (BERNHART, 1973a, 1973b; FABIANI et al., 1978) sowie die Ergebnisse von Felduntersuchungen im unteren Murtal (STORCH, 1986) herangezogen.

Im Untersuchungsgebiet werden 17 Bodentypen (EISENHUT, 1971) unterschieden. Viele davon treten jedoch nur kleinräumig auf, so daß diese im Rahmen dieser Untersuchung nicht berücksichtigt werden. Angaben der k_f -Werte und der Bodenmächtigkeiten aus den oben genannten Untersuchungen liegen nur für wenige Bodentypen vor; diese bilden jedoch flächenmäßig den größten Anteil im Untersuchungsgebiet. Durch Vergleich der verfügbaren Bodenparameter wurden vier Bodenklassen gewählt, denen die vorhandenen Bodentypen zugeordnet wurden. Diese Vorgangsweise erscheint sinnvoll, da eine Anwendung des Versickerungsmodells auf jeden einzelnen Bodentyp keine verwertbare Verbesserung im Modellergebnis erwarten läßt. Die gewählten Bodenklassen, ihre mittleren Parameter und die zugeordneten Bodentypen sind aus Tab. 4.14 ersichtlich.

Tab. 4.14: Bodenklassen.

Bodenklasse	Einheiten	Mächtigkeit(m)	k_f (m/s)	k_f (mm/d)
1	a1,a2,a3,ag	1.2	$2.6 \cdot 10^{-5}$	850
2	nb1,nb2,nb3	0.7	$2.9 \cdot 10^{-6}$	250
3	nb4,hb	2.0	$1.0 \cdot 10^{-7}$	30
4	np.hp	2.5	$3.5 \cdot 10^{-8}$	3

Bodenklasse 1:

Diese Bodenklasse umfaßt die Auböden im Bereich der Mur. Die Parameter der einzelnen Bodenschichten sind in Tab. 4.15 dargestellt.

Tab. 4.15: Bodenklasse 1, Parameter.

Bodenschicht	von	bis	PV	Ton	Schluff	Sand	k_f (mm/d)
1	0.0	20.0	0.45	12.0	67.0	21.0	250.0
2	20.0	60.0	0.45	8.0	65.0	27.0	850.0
3	60.0	120.0	0.45	7.0	72.0	21.0	850.0

Bodenklasse 2:

In dieser Bodenklasse sind die seicht bis mittelgründigen, gut durchlässigen Braunerden der Niederterrasse zusammengefaßt. Die Bodeneinheit nb2 ist weit verbreitet und wurde daher für die Bestimmung der Bodenparameter (Tab. 4.16) herangezogen.

Tab. 4.16: Bodenklasse 2, Parameter.

Bodenschicht	von	bis	PV	Ton	Schluff	Sand	k_f (mm/d)
1	0.0	25.0	0.45	15.0	51.0	34.0	260.0
2	25.0	70.0	0.45	19.0	46.0	35.0	310.0

Bodenklasse 3:

Die tiefgründigen Braunerdeböden der Nieder- und Hochterrasse werden durch Bodenklasse 3 berücksichtigt. Als Grundlage für die Berechnung wurden Angaben einer tiefgründigen Braunerde (nb4) herangezogen. Die Parameter sind aus Tab. 4.17 ersichtlich.

Tab. 4.17: Bodenklasse 3, Parameter.

Bodenschicht	von	bis	PV	Ton	Schluff	Sand	k_f (mm/d)
1	0.0	20.0	0.45	13.0	64.0	21.0	110.0
2	20.0	50.0	0.45	29.0	40.0	11.0	50.0
3	50.0	80.0	0.45	37.0	55.0	8.0	34.0
4	80.0	200.0	0.40	41.0	52.0	7.0	21.0

Bodenklasse 4:

In dieser Bodenklasse sind alle Bodeneinheiten mit sehr geringen Durchlässigkeitswerten und großer Mächtigkeit zusammengefaßt. Für die Berechnung wurden die Parameter eines Pseudogleyes (Tab. 4.18) verwendet.

Tab. 4.18: Bodenklasse 4, Parameter.

Bodenschicht	von	bis	PV	Ton	Schluff	Sand	k_f (mm/d)
1	0.0	20.0	0.45	21.0	62.0	17.0	27.0
2	20.0	70.0	0.45	28.0	58.0	14.0	3.0
3	70.0	250.0	0.40	40.0	38.0	22.0	3.0

Die Monatssummen der so ermittelten Versickerungsmengen (VRS) sind in Abb. 4.27-30 dargestellt. Die Berechnungen mittels Versickerungsmodell erfolgte für Tageswerte für die Jahre 1974 bis 1990. Die jährliche Versickerungssumme ist aus Tab. 4.19 ersichtlich. Die durchschnittliche Versickerung beträgt demnach in Bodenklasse 1 340 mm/Jahr, in Bodenklasse 2 329 mm/Jahr, in Bodenklasse 3 326 mm/Jahr und in Bodenklasse 4 212 mm/Jahr. Neben diesen Beträgen ist jedoch auch die zeitliche Verzögerung der Versickerung nach Niederschlägen für die untersuchten Bodenklassen sehr unterschiedlich, wie dies auch in den Abbildungen zum Ausdruck kommt. In Bodenklasse 1 und 2 erfolgt die Versickerung sehr rasch nach Niederschlägen, in Bodenklasse 3 etwas gedämpfter, währenddessen die Versickerung in Bodenklasse 4 nur mit großer zeitlicher Verzögerung erfolgt. Im letzten Fall ist die tägliche Versickerungsrate zwar gering, da sich die Versickerung jedoch über eine lange Zeitspanne erstreckt, treten dennoch recht hohe jährliche Versickerungssummen auf.

Tab. 4.19 Grundwasserneubildung (mm/Jahr) aus der Simulation.

Jahr	Bodenklasse			
	1	2	3	4
74	438	438	424	266
75	333	336	334	207
Mittel 74-75	386	387	379	237
76	221	232	237	185
77	140	139	138	182
78	236	240	234	138
79	605	611	608	291
80	474	478	494	287
Mittel 76-80	335	340	322	217
81	194	197	192	203
82	490	486	491	248
83	208	212	228	197
84	255	261	271	207
85	374	380	354	201
Mittel 81-85	304	307	307	211

Tab. 4.19 Fortsetzung.

Jahr	Bodenklasse			
	1	2	3	4
86	314	315	345	245
87	368	371	382	196
88	376	382	384	221
89	289	287	282	172
90*	(70)	(74)	(67)	(71)
Mittel 86-89	337	339	348	209
Mittel 76-89	340	329	326	212

*) Daten unvollständig.

Der Vergleich mit den Jahressummen aus der klimatischen Wasserbilanz und den Anstiegsphasen des Grundwasservolumens zeigt, daß die Berechnungsergebnisse des Versickerungsmodells relativ gut mit den Ergebnissen der klimatischen Wasserbilanz übereinstimmen. Die Ergebnisse aus der Auswertung des Grundwasservolumens sind deutlich geringer und betragen nur etwa 50 % dieser Werte. Für die weitere Berechnung werden die Werte aus der Simulation herangezogen.

Für die instationäre Simulation werden gegenüber der ursprünglichen Verteilung der Bodenklassen folgende Änderungen durchgeführt: Die Bereiche des nordöstlichen Leibnitzer Feldes, die ursprünglich Bodenklasse 4 zugeordnet waren, werden nun Bodenklasse 3 zugeordnet. Damit erhöht sich die Grundwasserneubildung in diesem Bereich, was mit den großen Schwankungen des Grundwasserspiegels besser übereinstimmt. Die Neubildung im Bereich der Helfersdorfer Terrasse wird auf 40 % des Wertes der Bodenklasse 4 reduziert. Modellknoten im Bereich der Schottergruben erhalten die Niederschlagssumme als Neubildung. Im Bereich der Stadt Leibnitz wird die Grundwasserneubildung auf 40 % der Bodenklasse 2 reduziert. In Tab. 4.20 befindet sich eine Zusammenfassung der verwendeten Bodenklassen.

Tab. 4.20: Klassen der Grundwasserneubildung.

Code	Zone	Bodenklasse	Ableitung	Fläche [km ²]
05b	8	1	simuliert	33.58
03c	4	2	simuliert	40.64
03x	7	2b	40 % von Bodenklasse 2	2.73
08	5	3	simuliert	11.27
07f	6	4	simuliert	7.12
07x	9	4b	40 % von Bodenklasse 4	3.76
nnn	2	-	Niederschlag	2.24

Die Ganglinien der Summen der Grundwasserneubildung für die Zeitschritte der Simulationsperiode 87/87 sind im Anhang C dargestellt.

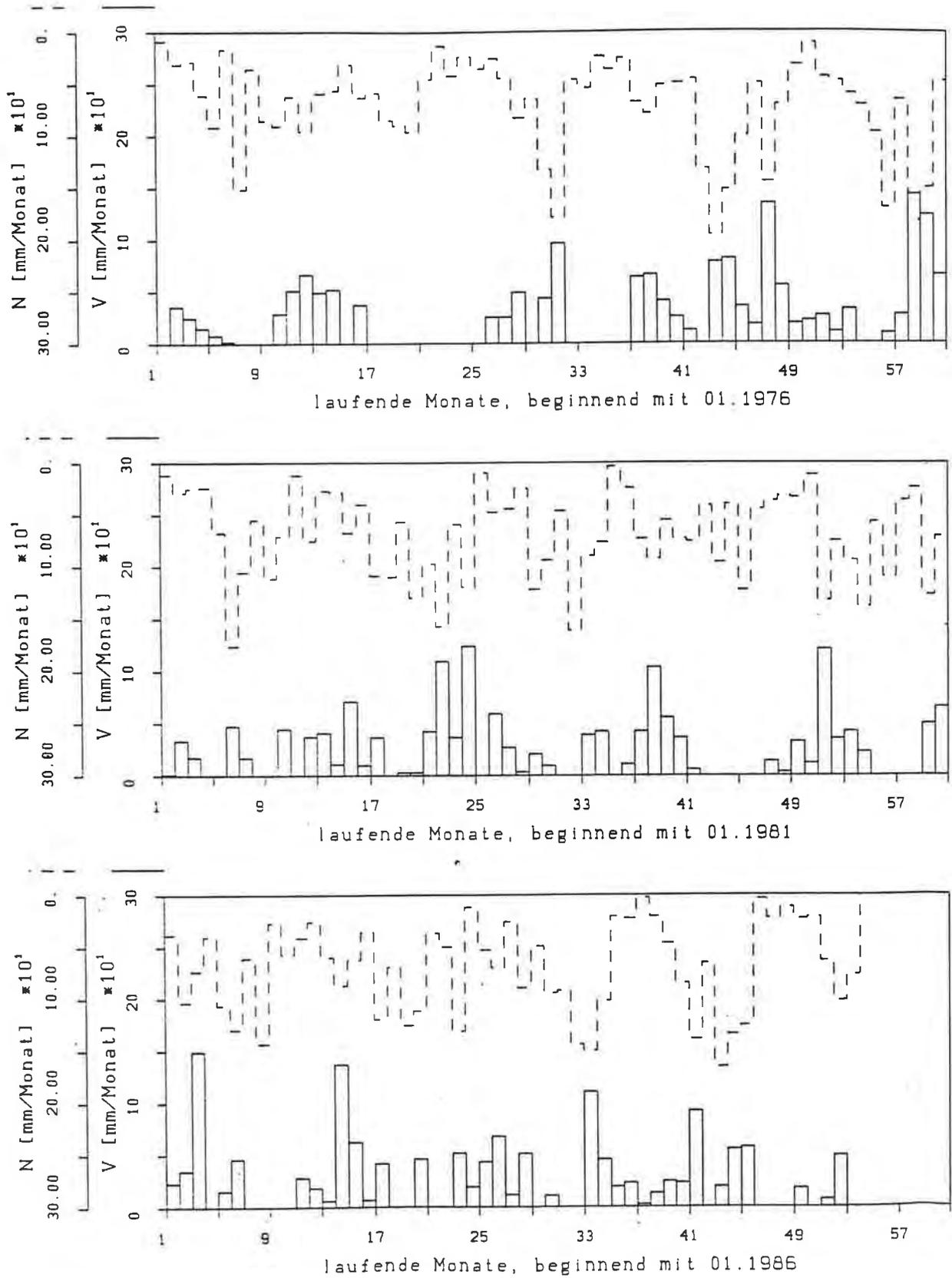


Abb. 4.27: Monatssummen der Versickerung, Bodenklasse 1.

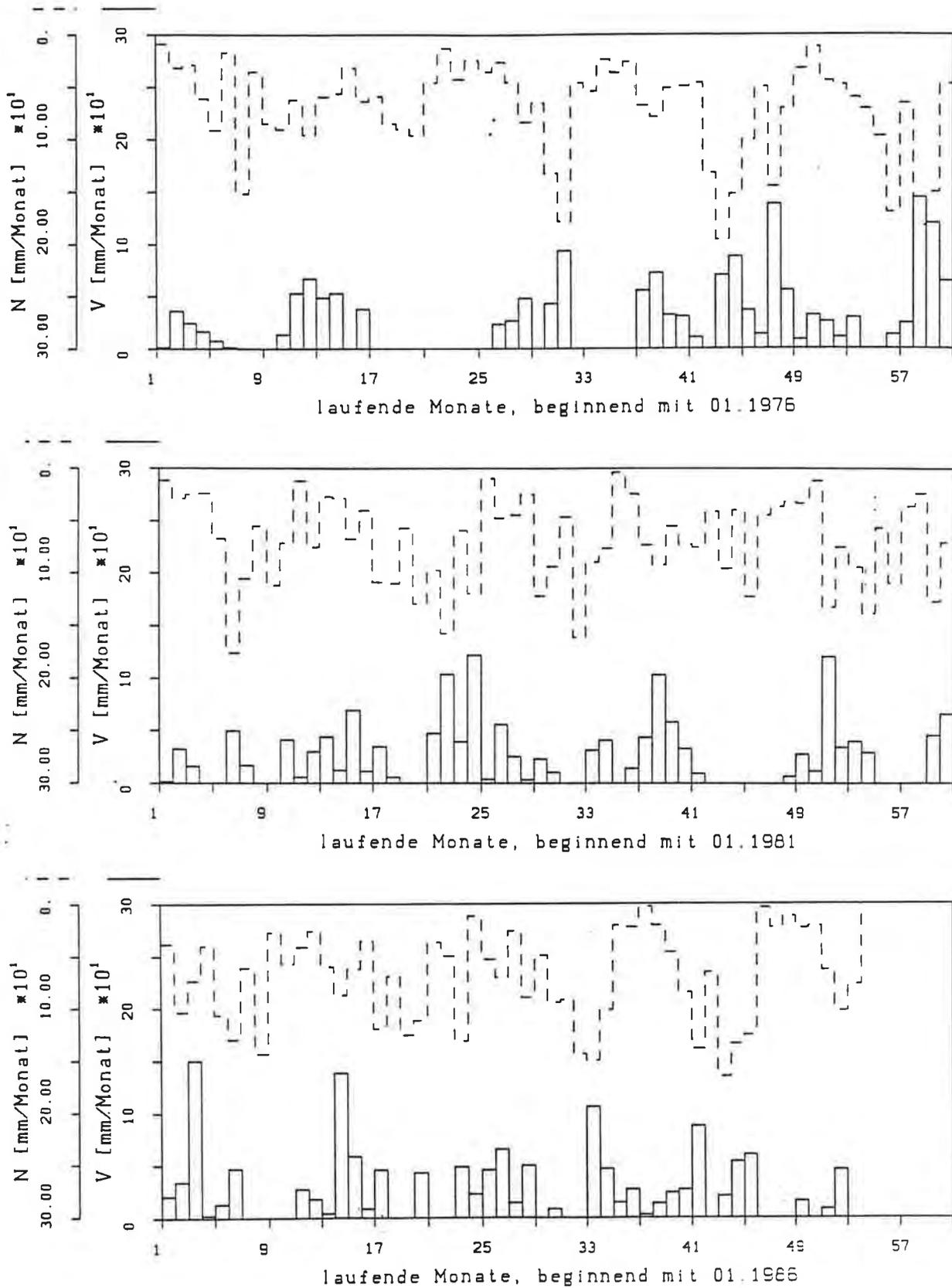


Abb. 4.28: Monatssummen der Versickerung, Bodenklasse 2.

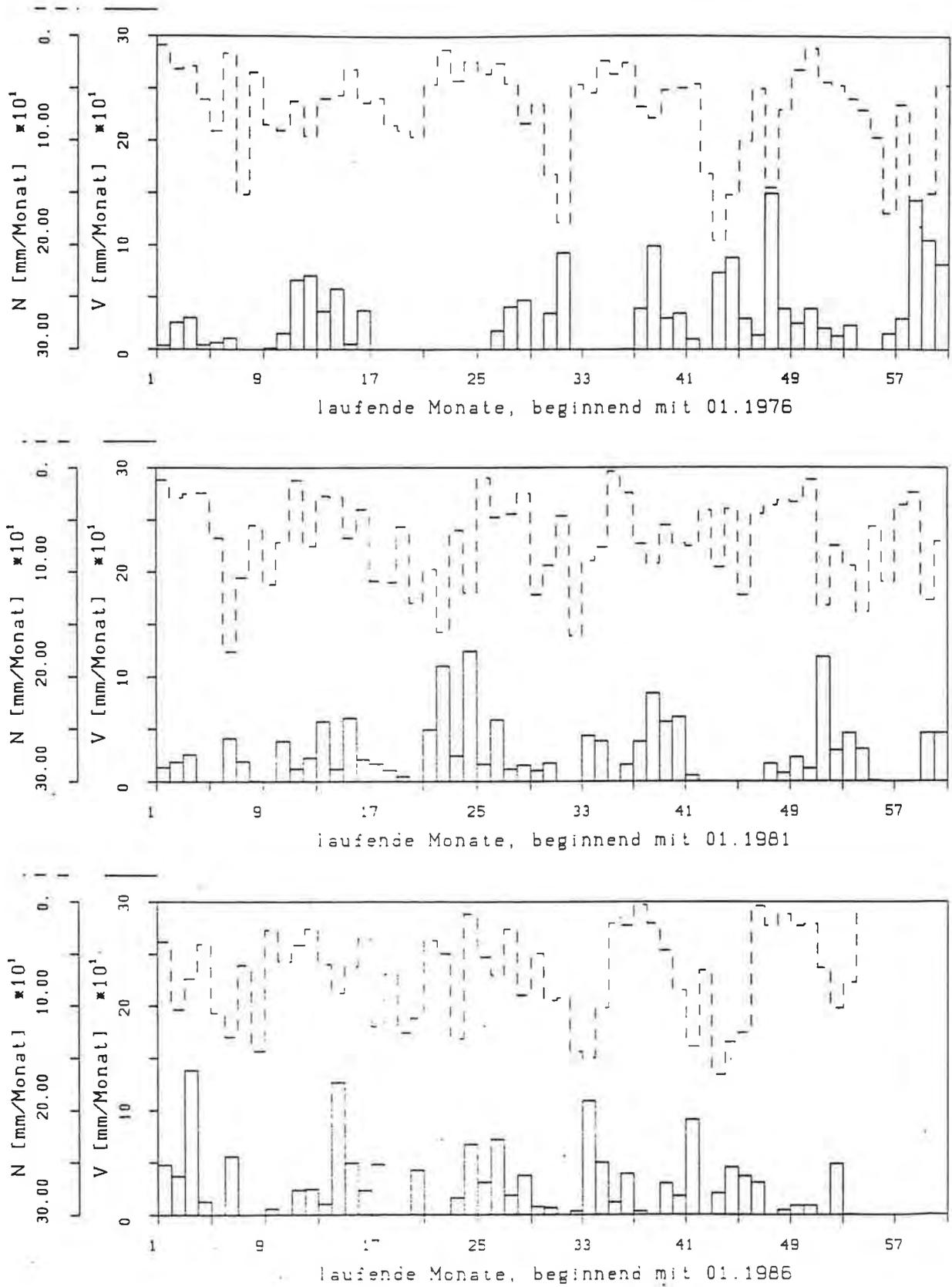


Abb. 4.29: Monatssummen der Versickerung, Bodenklasse 4.

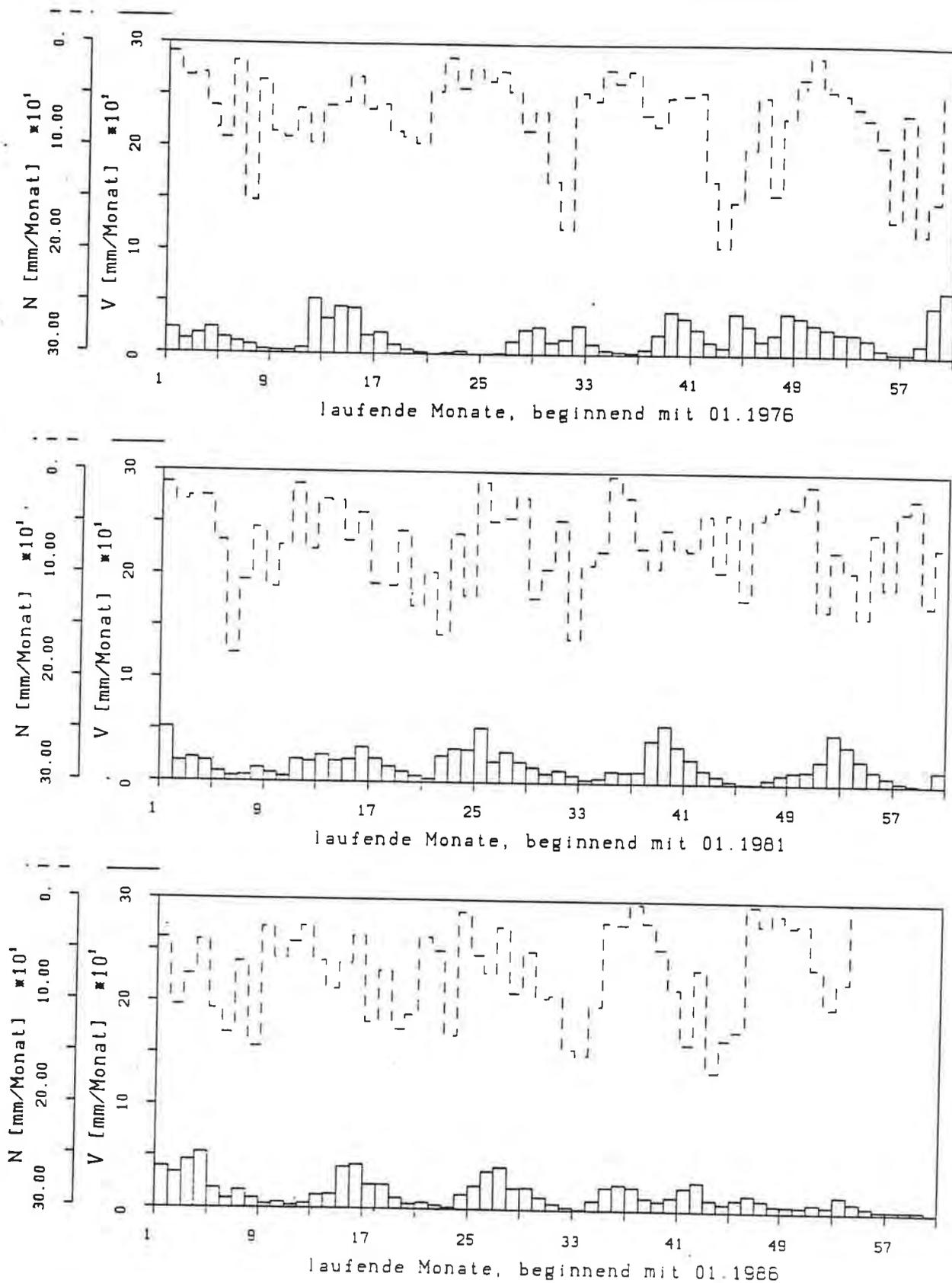


Abb. 4.30: Monatssummen der Versickerung, Bodenklasse 3.

4.4.4. Spiegellagen von Oberflächengewässern

Die größeren Fließgewässer des Leibnitzer Feldes, Mur, Sulm, Laßnitz sowie der Weißenegger Mühlkanal im nordöstlichen Leibnitzer Feld werden zumindest in Teilbereichen als Randbedingungen für das Grundwassermodell definiert (Karte 4.1). Der westliche Rand des westlichen Leibnitzer Feldes wird vom Bereich Tillmitsch bis zur Mündung in die Sulm vom Wasserspiegel der Laßnitz und von da bis zur Mündung in die Mur vom Wasserspiegel der Sulm bestimmt. Die hydraulische Wirksamkeit der Mur beschränkt sich auf die Stauwurzelbereiche der Kraftwerke, das ist etwa 1/3 der Stauraumlänge. Dies ist mit der kolmatierenden Wirkung der Mursedimente zu begründen, die in den potentiellen (hydraulischer Gradient) Abströmbereichen voll wirksam wird und eine vollständige Trennung vom Grundwasserkörper bewirkt. In den Stauwurzelbereichen wird hingegen die Kolmation durch den Grundwasserzstrom und durch periodische Hochwässer unterbunden. Der Weißenegger Mühlkanal ist nur ab dem Kraftwerk auf der Höhe von Lebring im Bereich der Haslacher Auen als Vorfluter für das Grundwasser von Bedeutung. In diesem Bereich werden alle Knoten, bis auf jene im Staubereich der dort befindlichen Kleinkraftwerke, als Randbedingungen festgehalten.

Für die Mur, Laßnitz und Sulm liegen, ausgenommen für die Simulationsperiode 89/90, Tageswerte der Wasserstände von Beobachtungspegeln vor. Die Mittelwerte der entsprechenden Zeitintervalle werden für den jeweiligen Zeitschritt weiterverwendet. Die Wasserspiegellagen der übrigen Knoten werden durch lineare Interpolation ermittelt. Ausgehend vom Längenschnitt des betreffenden Gewässers werden jedoch nur die an den Pegeln auftretenden Differenzen addiert. Der Basis-Längenschnitt von Laßnitz und Sulm ist durch mehrere Pegel definiert, der der Mur durch Pegel sowie Stauspiegelhöhen bzw. Unterwasserspiegelhöhen der Kraftwerke. Im Anhang D befinden sich die beobachteten sowie gemittelten Ganglinien der Pegel Spielfeld, Lang und Leibnitz für die Simulationsperiode 87/87. Für die Simulationsperiode 89/90 werden Monatsmittelwerte herangezogen, da keine Daten zur Verfügung stehen.

4.4.5. Entnahmen von Trink- und Nutzwasser

Die Angaben zu den Entnahmen durch Wasserversorgungsanlagen (Tab. 4.21) wurden dem 2. Bericht der Forschungsgesellschaft JOANNEUM (FANK, et al., 1990) entnommen. Nach BERNHART (1973b) wird im dicht bebauten Bereich von Leibnitz flächig eine konstante Entnahme durch Gewerbe von 24 l/s angesetzt.

Da die Daten in Form von Monatswerten vorliegen, werden die benötigten Werte für jedes Zeitintervall so ermittelt, daß der Monat des ersten Tages des Zeitintervalls die entsprechende Entnahmemenge bestimmt. Die für die Simulationsperioden angesetzten Entnahmemengen der Versorgungsbrunnen sind getrennt nach nordöstlichem, westlichem und südöstlichem Leibnitzer Feld im Anhang E dargestellt.

Tab. 4.21 Entnahmen der Wasserversorgungsanlagen.

Entnahmen (l/s)				
Brunnen	77	86	89	Knoten
KN1	7.5	9.3	6.6	337
KN2	12.7	15.0	14.9	324
KN3	-	10.8	13.4	324
LEITRING	3.3	9.6	4.5	386
WAGNA	4.2)	3.9	6.3	398
BVI	3.4	2.12	0.1	76
BX	-	5.7	10.6	107
VOGAU	12.4	15.5	19.8	530
LEBRING BAUMHACKL	-	13.5 (13.9)	8.7	202
LEBRING WURZINGER	-	1.6 (1.7)	1.2	135
PETERL I	-	8.6 (5.4)	3.6	169
PETERL II	-	1.3	5.1	170
RAGNITZ	2.8	(2.6)	(3.1)	228
WILDON II	2.4	(2.14)	(2.0)	10

Werte in Klammern aus Jahresmittel.

5. MODELLEICHUNG

Grundlage für die Anwendung eines Grundwassermodells ist die Interpolation aller erforderlichen Daten auf das diskretisierte Modellnetz. Die Daten liegen für die verschiedenen Parameter in unterschiedlicher Dichte und Qualität vor. Je geringer die Informationsdichte, desto eher besteht die Gefahr einer Verschätzung und desto größer ist die Wahrscheinlichkeit von Interpolationsfehlern. Diese Überlegungen gelten vor allem auch für die Durchlässigkeitsverteilung des Aquifers, die meistens nur sehr punktuell erfaßt ist, da die Anzahl der verfügbaren Pumpversuche beschränkt ist.

Der Zustand des Grundwassersystems wird durch die Summe der hydrogeologischen, hydrologischen und klimatischen Parameter sowie der anthropogenen Einflüsse bestimmt. Der Grundwasserspiegel als Funktion des Grundwassersystems wird in regelmäßigen Abständen und relativ flächendeckend beobachtet. Die Kalibrierung der Durchlässigkeit an beobachteten Grundwasserspiegellagen ist daher ein wichtiger Schritt in der Modellerstellung. Ziel ist es, den Modellparameter Durchlässigkeit so zu bestimmen, daß die berechneten Spiegellagen möglichst mit den beobachteten übereinstimmen. Die Aufgabenstellung wird als "inverses Problem" bezeichnet. Die Lösung erfolgt durch Optimierung mittels eines inversen Modells.

5.1. Allgemeines

Um die Auswahl der zu optimierenden Parameter zu begründen, sind folgende grundsätzliche Überlegungen notwendig, die sich aus der Gleichung zur Beschreibung der instationären Grundwasserströmung im inhomogenen und isotropen Aquifer ergeben:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \cdot h \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \cdot h \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + N + Q_r + Q_{ent} \quad (5.1)$$

mit

$K = K(x,y)$	Durchlässigkeitsbeiwert nach DARCY [m/s]
$S = S(x,y) = \varepsilon(x,y)$	Speicherkoeffizient [m ³ /m ²]
$h = h(x,y,t)$	Wasserspiegelhöhe [m]
$N = N(x,y,t)$	Grundwasserneubildung [m ³ /s]
$Q_r = Q_r(x,y,t)$	Randzuflüsse [m ³ /s]
$Q_{ent} = Q_{ent}(x,y,t)$	Entnahmen [m ³ /s]

Bei Durchsicht der Gleichung (5.1) ist rasch ersichtlich, daß für diesen Arbeitsschritt mehrere zu bestimmende Parameter (K , S , N , Q_r) nur einer beobachteten Größe, nämlich der Wasserspiegellage h , gegenüberstehen.

Durch Auswahl von Zeitintervallen, die durch einen ungestörten, gleichmäßigen und nur wenig abfallenden Verlauf der Grundwasserganglinien gekennzeichnet sind, können die zu bestimmenden Parameter reduziert werden. Diese "pseudostationären" Perioden sind auf fehlende Grundwasserneubildung N zurückzuführen. Infolge der geringen Wasserspiegeldifferenz in diesen Perioden wird der Einfluß des Speicherkoeffizienten S vergleichsweise gering. Da der Einfluß der Randzuflüsse Q_r infolge der dämpfenden Wirkung des Speicherkoeffizienten kaum über die Randelemente hinausgeht, bleibt im wesentlichen der K -Wert als zu optimierende Größe.

Der Unterschied zu tatsächlichen stationären Verhältnissen besteht darin, daß bei Fortsetzung der Berechnung gegen unendlich, unter Vernachlässigung der Grundwasserneubildung N , eine drastische Abnahme des Grundwasserspiegels zu erkennen ist. Damit zeigt sich, daß die pseudostationäre Periode aufgrund der Speicherwirkung (S) des Aquifers zwar nur geringe Änderungen in der Wasserspiegellage aufweist, jedoch keineswegs stationär ist; sie wird durch eine Störung in Form einer Grundwasseranreicherung unterbrochen, so daß die Entwicklung des stationären Zustands verhindert wird.

Diese Unterscheidung ist insofern von großer Bedeutung, als eine Eichung der Parameter K und Q_r unter Verwendung eines stationären Gleichungsansatzes, also unter Vernachlässigung aller von der Zeit t abhängigen Funktionsterme, auf eine mittlere Spiegellage Bezug nehmen muß. Unter diesem Gesichtspunkt muß jedoch eine durchschnittliche Grundwasserneubildung N angesetzt werden, so daß sich Gleichung (5.2) ergibt:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(K \cdot h \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(K \cdot h \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \right) = N + Q_r - Q_{ent} \quad (5.2)$$

mit

$N = N(x, y)$	durchschnittliche Neubildung [mm]
$Q_r = Q_r(x, y)$	durchschnittliche Randzuflüsse [m^3/s]
$Q_{ent} = Q_{ent}(x, y)$	durchschnittliche Entnahme [m^3/s]

Der stationäre Zustand wird in diesem Fall als der aufgrund mittlerer Verhältnisse bedingte, Zustand des Grundwasserspiegels definiert.

Der Vorteil der Anwendung von Gleichung (5.2) besteht darin, daß sich die Veränderung der Randzuflüsse Q_r unmittelbar auf die Wasserspiegellage im gesamten Gebiet auswirkt. Der größte Teil der unterirdischen Abflüsse erfolgt in Vorfluter, deren Wasserspiegellagen bekannt sind, so daß sich die Schätzungen der Randzuflüsse deutlich auf die Anpassung der Spiegellage im Gebiet auswirken. Die Spiegellage ist also in dieser Konfiguration auf die Änderungen der Randzuflüsse sensitiv. Die Verwendung des stationären Gleichungsansatzes erscheint daher für die Optimierung der Randzuflüsse geeignet.

Der grundlegende Vorteil des stationären Gleichungsansatzes besteht in der deutlichen Reduzierung der Rechenzeit. Die Kalibrierung des Modells erfolgt daher in zwei Stufen. Zuerst werden über den stationären Gleichungsansatz die Durchlässigkeit K , die mittleren Randzuflüsse Q_r und die mittlere Grundwasserneubildung N an einem mittleren Grundwasserspiegel h kalibriert. Ausgehend von diesen Ergebnissen wird dann in der zweiten Stufe die Durchlässigkeit K an der Grundwasserspiegeldifferenz eines pseudostationären Zeitintervalls optimiert.

Tab. 5.1: Gleichungsansätze für die Optimierung von Systemparametern.

Parameter	Gleichungsansatz	Zeitraum
Q_r, K	stationär	langjähriger Durchschnitt ; 3-5 Jahre
$K, (Q_r)$	instationär	"pseudo"-stationäre Phase ; 4-10 Wochen
$S, (N)$	instationär	Grundwasseranstieg ; 1-4 Wochen

5.2. Methode

Das Ergebnis einer Grundwassersimulation ist die berechnete Grundwasserspiegellage für diskrete Punkte. Diese soll mit der beobachteten Grundwasserspiegellage möglichst gut übereinstimmen. Diese Forderung bildet ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung der Güte eines Modells. Die Anpassung der berechneten Spiegellagen an die beobachteten erfolgt über eine Änderung der Systemparameter. Dieser Vorgang wird im folgenden als Optimierung bezeichnet. Das größte Problem besteht darin, daß zwischen der abhängigen Variablen Wasserspiegel und den zu bestimmenden Systemparametern keine lineare Beziehung besteht. Es müssen daher iterative Algorithmen verwendet werden. Neben manuellen trial- and error-Methoden werden zunehmend automatisierte Verfahren verwendet. Dazu werden in der Literatur zwei Möglichkeiten angegeben.

Direkte Methode - Equation Error (YEH, 1986) Criterion:

Diese Methode setzt voraus, daß der Grundwasserspiegel für alle Punkte und zu jedem Zeitpunkt bekannt ist und daß die System- und Meßfehler vernachlässigbar gering sind. Unter dieser Bedingung und bei Kenntnis der Randbedingungen können die Systemparameter durch direkte Lösung der partiellen Differentialgleichung implizit ermittelt werden (YEH, 1986). Da die Spiegellage jedoch meistens durch Interpolation diskretisiert werden muß, sind diese Werte ebenfalls fehlerbehaftet. Dies muß bei der Lösung der Differentialgleichung als Fehlerterm berücksichtigt werden. Probleme ergeben sich auch dadurch, daß kleine Änderungen in den Spiegellagen bereits große Änderungen in der Parameterverteilung bewirken können.

Indirekte Methode - Output Error Criterion:

Bei dieser Methode wird versucht, ausgehend von einer Startverteilung der Systemparameter, die berechnete Spiegellage iterativ an die beobachtete Spiegellage anzupassen. Nach jedem Berechnungsdurchgang wird die Anpassung überprüft; danach richtet sich die Änderung der Parameter. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis ein Optimum erreicht wird. Vorteile dieser Methode sind folgende:

- Als Anpassungskriterium müssen nicht alle Modellpunkte herangezogen werden. Es genügt unter Umständen die Verwendung von beobachteten Punkten.
- Die Spiegellagen müssen nicht differenziert werden.

Als Nachteil gilt:

- Durch die sequentielle Änderung der Parameter ist eine oftmalige Durchführung der Simulation zur Ermittlung der optimalen Parameterverteilung notwendig.
- Mit der Anzahl der Parameter steigt der Rechenaufwand überproportional.

Die Optimierung der Systemparameter für das Grundwassermodell Leibnitzer Feld erfolgt nach der indirekten Methode. Die Forderungen nach einer möglichst guten Anpassung der

berechneten an die beobachteten Wasserspiegel und nach Konsistenz der Systemparameter werden zur Zielfunktion (5.3) formuliert:

$$J = J_h + \lambda_p J_p \quad (5.3)$$

mit

$$J_h = (\underline{h} - \underline{h}^*)^T \underline{W}_h (\underline{h} - \underline{h}^*) \quad (5.4)$$

$$J_p = (\underline{p} - \underline{p}^*)^T \underline{W}_p (\underline{p} - \underline{p}^*) \quad (5.5)$$

mit

\underline{W}_h	Wichtungsmatrix Wasserspiegel
\underline{W}_p	Wichtungsmatrix Parameter
\underline{h}^*	Wasserspiegel beobachtet
\underline{h}	Wasserspiegel berechnet
\underline{p}^*	Parameter, Startwert
\underline{p}	Parameter, geschätzt
λ_h	Wichtungsfaktor Wasserspiegel
λ_p	Wichtungsfaktor Parameter

Der Wert der Zielfunktion J ergibt sich also als Funktion der quadratischen Abweichungen der Wasserspiegellagen sowie der quadratischen Abweichungen der Systemparameter. Folgende Zielkriterien wurden für die Optimierung im Leibnitzer Feld verwendet:

- Grundwasserspiegeldifferenzen:

$$J_h = \sum_{i=1}^{nn} (h_i - h_i^*)^2 (1/\text{var}_i) \quad (5.6)$$

mit

i	Index Knoten
nn	Anzahl der Knoten
h_i^*	Wasserspiegel beobachtet beim Knoten i
h_i	Wasserspiegel berechnet beim Knoten i
var_i	Kriging-Varianz der Wasserspiegel beim Knoten i
J_h	Wert der Zielfunktion für Wasserspiegel

- Differenzen der k_f -Werte:

$$J_k = \sum_{i=1}^{ne} (\ln(k_{f,i}) - \ln(k_{f,i}^*))^2 (1/\text{var}_i) \quad (5.7)$$

mit

i	Index der Elemente
ne	Anzahl der Elemente
$k_{f,i}^*$	Startwert der Durchlässigkeit im Element i
$k_{f,i}$	geschätzte Durchlässigkeit im Element i
var_i	Kriging-Varianz der Durchlässigkeit im Element i
J_k	Wert der Zielfunktion für die Durchlässigkeit

- Differenzen der Zuflüsse:

$$J_Q = \sum_{i=1}^{nb} (Q_i - Q_i^*)^2 \beta_i \quad (5.8)$$

mit

i	Index der Zuflußknoten
nb	Anzahl der Zuflußknoten
Q_i^*	Startwert des Zuflusses für Knoten i
Q_i	geschätzter Zufluß für Knoten i
β_i	Gewicht des Knotens i
J_Q	Wert der Zielfunktion für Zufluß

In der Anwendung werden alle Zuflüsse gleich mit $\beta = 1$ gewichtet.

- Differenzen der Neubildung:

$$J_N = \sum_{i=1}^{nn} (N_i - N_i^*)^2 \quad (5.9)$$

mit

i	Index der Knoten
nn	Anzahl der Knoten
N_i^*	Startwert für die Grundwasserneubildung
N_i	geschätzte Neubildung
J_N	Wert der Zielfunktion für die Grundwasserneubildung

Der Wert der Zielfunktion ergibt sich als Summe der vier obigen Teilfunktionen:

$$J = \lambda_h J_h + \lambda_k J_k + \lambda_Q J_Q + \lambda_N J_N \quad (5.10)$$

Die Faktoren λ legen die relative Bedeutung der vier Zielfunktionen an der Gesamtziel-funktion fest. Ihre Festlegung erfolgt subjektiv, richtet sich jedoch wesentlich nach der Vertrauenswürdigkeit der Parameterschätzung. Diese basiert auf folgenden, kurz angeführten (objektiven) Datengrundlagen:

- Die Grundwasserspiegellage ist relativ dicht und gleichmäßig beobachtet.
- Für k_f -Werte liegen nur wenige Beobachtungen vor, die zudem kritische Randbereiche nicht erfassen.
- Zuflüsse werden nicht erfaßt, sondern abgeleitet.
- Neubildung wird nicht erfaßt, sondern abgeleitet.

Dementsprechend wird die Anpassung der berechneten an die beobachtete Spiegellage relativ hoch bewertet, während größere Abweichungen der Schätzwerte für Durchlässigkeit, Zufluß und Neubildung zugelassen werden.

Der Schätzwert der Durchlässigkeit ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$k_{f,i} = e^{(\alpha_k + \ln(k_f^*))} \quad (5.11)$$

Der Schätzwert der Zuflüsse sowie der Neubildung errechnet sich aus:

$$Q_i = \alpha_Q Q_i^* \quad (5.12)$$

$$N_i = \alpha_N N_i^* \quad (5.13)$$

mit

α_k Optimierungsfaktor für Durchlässigkeit

α_Q Optimierungsfaktor für Zuflüsse

α_N Optimierungsfaktor für Neubildung

Die Initialwerte der Optimierungsfaktoren sind:

$$\alpha_k = 0$$

$$\alpha_Q = 1$$

$$\alpha_N = 1$$

Mit diesen Faktoren ergeben sich die im Input angegebenen Parameterwerte als Startwerte. Diese werden in einem iterativen Verfahren (KUESTER & MIZE, 1973) solange adaptiert, bis die Zielfunktion zu einem Minimum wird.

5.3. Anwendung des Inversen Modells

Die Eichung des Grundwassermodells erfolgt, wie bereits in Kapitel 5.1. dargestellt, in zwei Stufen. In der ersten Stufe wird der stationäre, in der zweiten Stufe der instationäre Gleichungsansatz verwendet. Als Eingangsgrößen der Optimierung werden folgende Angaben benötigt:

- Startwerte für die zu optimierenden Systemparameter und Zuflüsse;
- Eichspiegellage als Vergleichsspiegellage; für die stationäre Eichung wird eine mittlere Spiegellage gewählt, für die instationäre Eichung wird eine Periode mit geringen Wasserspiegeländerungen ("pseudostationäre" Periode) herangezogen;
- Gewichte der einzelnen Knoten beziehungsweise Elemente für den Grundwasserspiegel und die Systemparameter;
- Zonierung der Systemparameter: Aufgrund der relativ feinen Diskretisierung des Modellgebietes mit 589 Knoten und 514 Elementen ist es nicht möglich, die Parameter für jeden einzelnen Knoten beziehungsweise jedes einzelne Element zu optimieren. Einzelne Elemente und Knoten müssen daher zu Zonen zusammengefaßt werden; der Optimierungsfaktor gilt dann für die in der Zone erfaßten Elemente bzw. Knoten.

In den folgenden Kapiteln werden die erforderlichen Angaben näher beschrieben.

5.3.1. Zonierung der Optimierungsparameter

Für die drei zu optimierenden Parameter, für Durchlässigkeit, Randzufluß bzw. Abfluß der Auenbäche und Neubildung, muß eine Zonierung durchgeführt werden, um die Anzahl der Variablen zu reduzieren.

Durchlässigkeit, k_f :

Die Optimierung der k_f -Werte erfolgt in zwei Schritten. Dem ersten Schritt liegt eine grobe Zonierung mit einer Unterteilung des Gesamtgebietes in 12 Zonen (Tab. 5.2) zugrunde. In einem zweiten Schritt wird die Zonierung deutlich verfeinert, im gesamten Gebiet werden dann 46 Zonen optimiert.

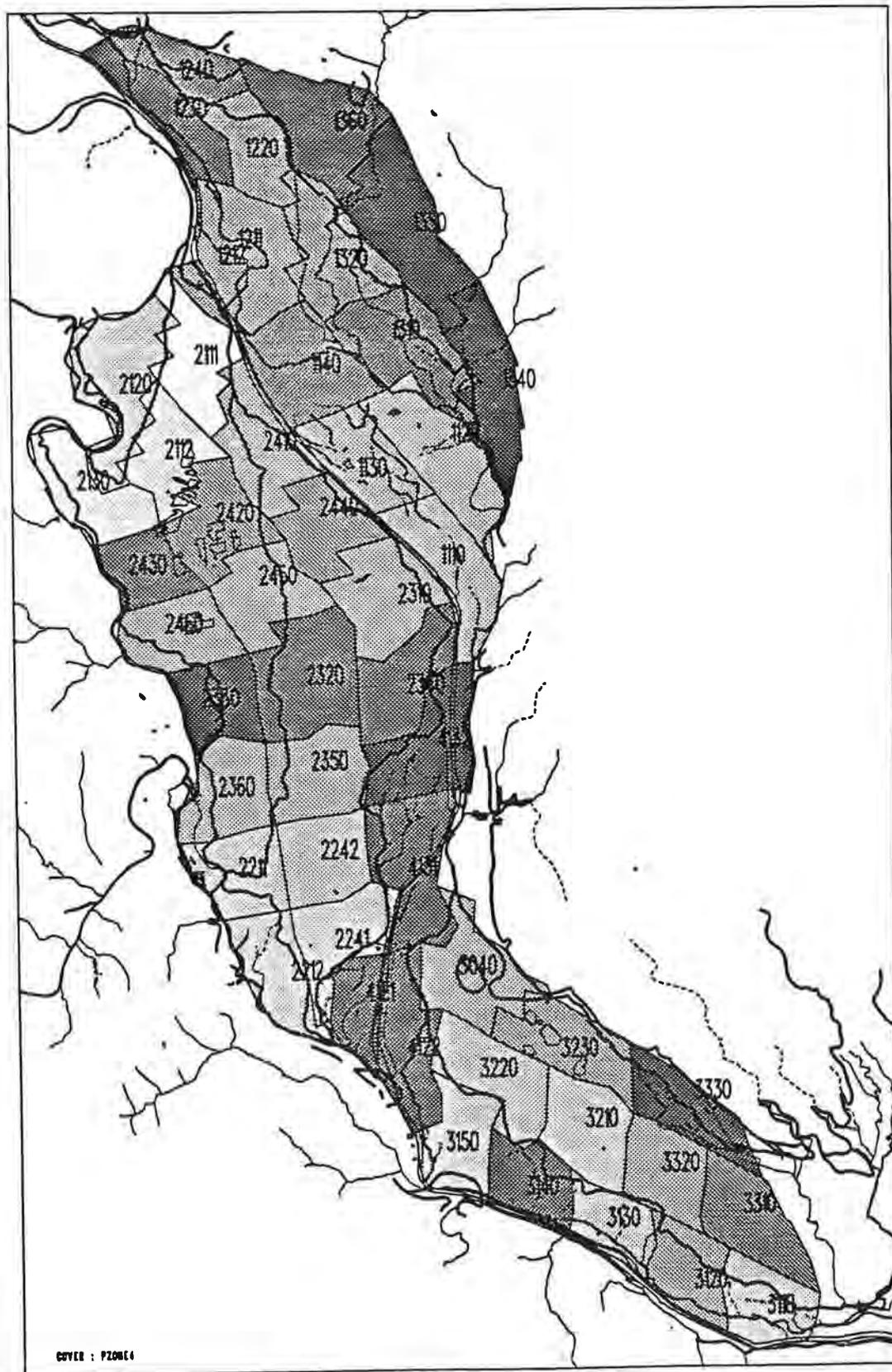


Abb. 5.1: Zonierung der k_f -Werte, fein.

Tab. 5.2: Zonen für die Durchlässigkeit, k_f .

Gebiet	Anzahl der Zonen, grob	Anzahl der Zonen, fein
nordöstliches Leibnitzer Feld	3	12
westliches Leibnitzer Feld	5	22
südöstliches Leibnitzer Feld	4	12
gesamtes Leibnitzer Feld	12	46

Die Feinzonierung ist in Abb. 5.1 dargestellt. Wie daraus ersichtlich, wurde versucht, vor allem auch hydrogeologische Gesichtspunkte in die Zonierung einfließen zu lassen.

Zu-Abflüsse:

Neben den Zuflüssen in das nordöstliche und südöstliche Leibnitzer Feld werden ebenso Abflüsse in den Auegebieten als Parameter für die stationäre Optimierung verwendet. Insgesamt werden 12 Zonen unterschieden, die jeweils zwei bis acht Knoten umfassen. Die Zonierung folgt im wesentlichen der Unterteilung der Einzugsgebiete.

Neubildung:

Die Zonierung für die Grundwasserneubildung erfolgt nur relativ grob (Tab. 5.3) und richtet sich im wesentlichen nach der Verteilung der Bodenklassen. Der Bereich der Helfersdorfer Terrasse bei Lang wird als eigene Zone ausgewiesen. Die Zonierung ist aus Abb. 5.2 ersichtlich.

Tab. 5.3 Zonierung Neubildung.

Zone	Code	Bodenklasse	Bezeichnung
8	05b	1	Aueböden
4	03c	2	gut durchlässige Böden
5	08	3	weniger durchlässige Böden
6	07f	4	gering durchlässige Böden
15	07x	4b	Helfersdorfer Terrasse

5.3.2. Gewichtung der Knoten und Elemente

Wie bereits in Kap. 5.2. gezeigt, werden die Differenzen der Wasserspiegelhöhen und der Durchlässigkeiten (k_f -Werte) je nach Bedeutung des jeweiligen Knotens bzw. Elementes gewichtet. Dazu werden nach Gleichung (5.6) und (5.7), Kapitel 5.2., die Kehrwerte der Krigingvarianzen herangezogen. Da die Krigingvarianz eines Knotens mit Grundwassermeßstelle definitionsgemäß null ist, wird ein Grenzwert festgelegt. Entsprechend ergeben sich damit für solche Knoten Gewichte von 100.0, die für Knoten in größerer Entfernung von Meßstellen bis auf 1.0 zurückgehen. Daraus resultiert ein sehr hohes Gewicht der gemessenen Meßstellen im Vergleich zu den interpolierten Knoten. Diese Vorgangsweise wurde für die Optimierung nach dem stationären Gleichungsansatz gewählt. Für die instationäre Optimierung werden die Gewichte vergleichmäßig und normalisiert. Sie bewegen sich damit zwischen 1.0 für Knoten mit Meßstellen und 0.3 für Knoten, deren Werte unsicher erscheinen. Die Gewichtung der k_f -Werte erfolgt nach demselben Prinzip. Infolge der geringen Anzahl der Meßstellen sind die Gewichte jedoch weit gleichmäßiger verteilt (Abb. 5.3).

5.3.3. Spiegellagen für die Optimierung

Für die Vergleichsspiegellage bei der stationären Eichung wird ein mittlerer Grundwasserspiegel ausgewählt. Dieser sei unter anderem eine Funktion von mittlerer Grundwasserneubildung, mittleren Zu- und Abflüssen und mittleren Entnahmen. Er wird nicht durch die Stationsmittelwerte, sondern als Spiegellage zu einem Datum mit mittlerem Grundwasservolumen bestimmt. Für die Verhältnisse der Jahre 1975/77 wird der Grundwasserspiegel zum Datum 13.2.1978, für die Jahre 1984/86 der Grundwasserspiegel zum Datum 19.8.1985 (Karte 5.1) gewählt.

Die instationäre Eichung erfolgt für die Zeiträume 5.12.1977 bis 13.9.1978 (70 Tage) sowie 27.10.1986 bis 9.2.1987 (105 Tage). Anhand der Periode 16.10.1989 bis 5.2.1990 erfolgt die Überprüfung der Optimierungsergebnisse. In Tab. 5.4 werden die verwendeten Grundwasserspiegel zusammengefaßt.

Die benötigten Grundwasserspiegel werden aus allen beobachteten Meßstellen sowie den bekannten Wasserspiegeln der kommunizierenden Oberflächengewässer mittels Universal Kriging auf die Knoten des Modellnetzes interpoliert. Es wird ein sphärisches Modell mit folgenden Parametern verwendet: $w = 5.0$, $a = 6000.$, $c = 0$.

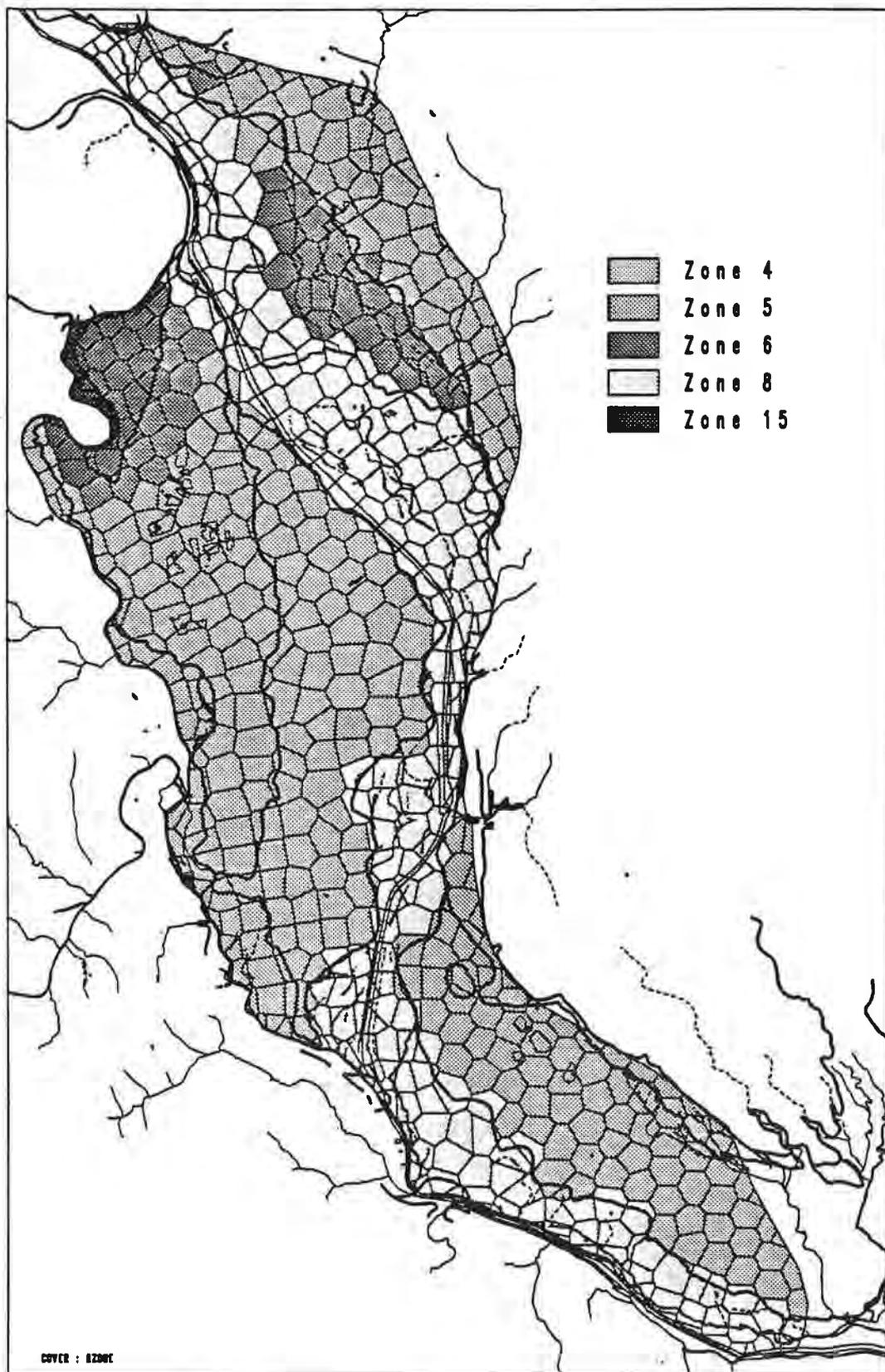


Abb. 5.2: Zonierung der Neubildung.

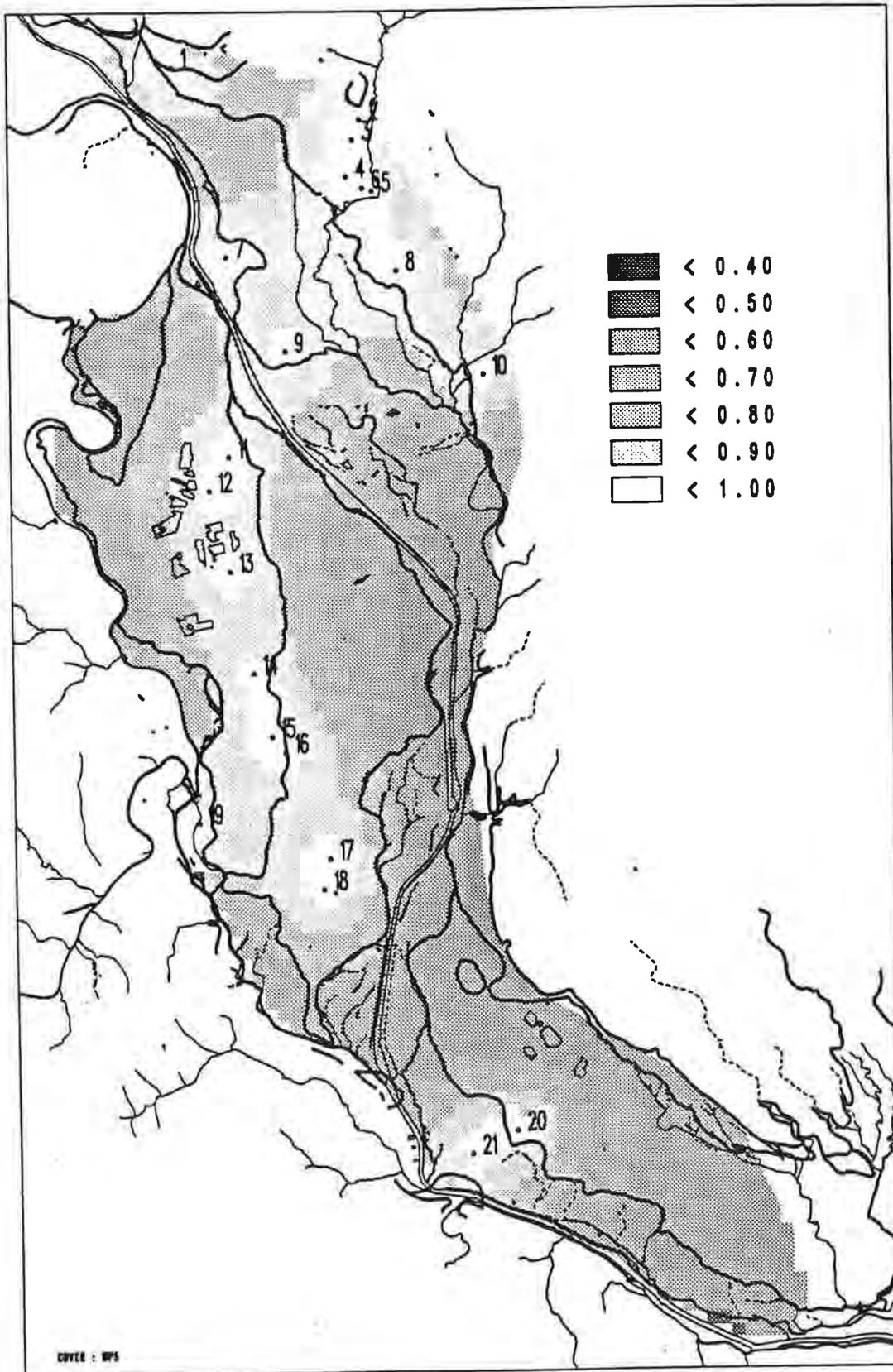


Abb. 5.3: Gewichtung der k_f -Werte.

Tab. 5.4: Eichung, Grundwasserspiegel, selektierte Zeitpunkte.

Datum	Anzahl der Beobachtungen	Karte
770620	102	3.6 *
771205	104	3.7 *
780213	102	3.8 *
850819	283	3.9 *
861027	306	3.10 *
870209	265	3.11 *
891016	253	3.13 *
900205	277	3.14 *

*) 3. Bericht Grundwassermodell Leibnitzer Feld (NACHTNEBEL & JAWECKI, 1992).

5.3.4. Stationäre Eichung

Die stationäre Eichung erfolgt mittels des stationären Gleichungsansatzes, also ohne Berücksichtigung der zeitabhängigen Parameter. Als Eingangsgrößen werden daher mittlere Bedingungen angegeben. Die mittlere Spiegellage wird als Funktion der hydrologischen und klimatischen Bedingungen eines Zeitraumes von etwa drei Jahren angesehen.

Die Optimierung erfolgt so, daß die berechneten Wasserspiegel an den Knoten mit der mittleren Ausgangsspiegellage verglichen werden. Weiters erfolgt die Optimierung in zwei Schritten; im ersten Schritt wird eine grobe Zonierung, im zweiten Schritt eine feine Zonierung für die k_f -Werte verwendet. Als Ausgangsverteilung der k_f -Werte wird die durch Kriging ermittelte Verteilung verwendet.

Spiegellage 20.6.1977:

- Optimierung 19O: Simultane Optimierung von k_f -Werten (Grobzonierung), Randzuflüssen und Grundwasserneubildung.
- Optimierung 21O, 22O, 23O: Optimierung der k_f -Werte mit Feinzonierung, ohne Randzuflüsse und Grundwasserneubildung. Die Optimierung erfolgt getrennt für westliches (21O), nordöstliches (22O), südöstliches (23O) Leibnitzer Feld.

Spiegellage 19.8.1985:

- Optimierung 30D: Optimierung von Randzuflüssen und Neubildung, ohne k_f -Werte.
- Optimierung 31C: Optimierung der k_f -Werte (Grobzonierung).
- Optimierung 32A: Simultane Optimierung von k_f -Werten (Grobzonierung), Randzuflüssen und Grundwasserneubildung.

- Optimierung 35, 36, 37: Optimierung der k_f -Werte mit Feinzonierung. Keine Optimierung der Randzuflüsse und der Grundwasserneubildung; Optimierung getrennt für westliches (35), nordöstliches (36) und südöstliches (37) Leibnitzer Feld.

Die Optimierungen 30D und 31C sind deshalb angeführt, um einen Vergleich mit den Ergebnissen der simultanen Optimierung zu ermöglichen. Es zeigt sich, daß durch die simultane Optimierung extreme Faktoren deutlich gedämpft werden; damit erscheinen diese Ergebnisse wahrscheinlicher. Die Optimierungsfaktoren des ersten Optimierungsschrittes sind in Tab. 5.5 dargestellt.

Im zweiten Optimierungsschritt werden die k_f -Werte entsprechend der feineren Zonierung weiteroptimiert, wobei die Ergebnisse des ersten Schrittes (23O bzw. 32A) als Startwerte für den zweiten Schritt dienen. Die Ergebnisse der einzelnen Zonen sind in Tab. 5.6 dargestellt.

Tab. 5.5: Ergebnisse stationäre Eichung, erster Optimierungsschritt, Optimierungsfaktoren α .

Zone	Optimierung 19N	Optimierung 30D	Optimierung 31C	Optimierung 32A
k_f-Werte				
21	-1.67		-1.92	-1.40
22	-1.00		-1.33	-1.09
23	0.42		0.35	0.30
24	0.18		-0.06	0.12
11	0.62		0.91	0.81
12	0.22		0.53	0.52
13	-0.09		0.21	0.06
31	0.17		0.18	0.35
33	-0.58		-0.68	-0.56
32	-0.43		-0.90	-0.75
41	-0.91		-1.18	-1.05
30	0.12		-1.62	-1.13
Zu-Abflüsse				
1	0.83	0.55		0.73
11	0.97	0.82		0.92
2	0.79	0.78		0.98
3	0.86	0.91		0.94
4	0.98	0.95		1.00
5	1.08	1.11		1.05
6	0.96	0.88		0.96
7	0.74	0.49		0.67
8	0.91	0.76		0.97
9	1.03	1.06		1.08
10	1.00	0.96		1.03
12	-	1.10		0.99

Zone	Optimierung 19N	Optimierung 30D	Optimierung 31C	Optimierung 32A
Neubildung				
4	1.18	1.35		1.24
5	1.10	0.56		0.80
6	0.78	0.78		0.77
8	1.04	1.03		0.99
15	1.76	3.13		1.80

Tab. 5.6 Ergebnisse stationäre Eichung, zweiter Optimierungsschnitt, Optimierungsfaktoren α .

Zonen	Optimierung 21O, 22O, 23O	Optimierung 35, 36, 37	Zonen	Optimierung 21O, 22O, 23O	Optimierung 35, 36, 37
2111	-0.76	-1.05	1110	0.34	0.40
2112	-0.81	-0.75	1120	0.72	0.41
2120	-0.07	-0.51	1130	-0.35	-0.49
2130	-0.09	-0.13	1140	0.14	0.22
2241	-0.46	-0.65	1210	-0.39	-1.52
2242	0.56	0.65	1220	0.48	-0.16
2210	0.14	0.22	1230	-0.26	-0.16
2360	-0.79	-0.77	1310	0.28	0.18
2350	0.25	0.23	1320	-0.05	0.52
2340	0.36	0.44	1330	-0.30	-0.31
2330	-0.44	-0.43	1340	-0.41	-0.77
2320	0.14	0.17	1350	0.04	-0.01
2310	-0.31	-0.01	1360	0.36	0.98
2460	-0.27	-0.51	3110	0.85	0.14
2450	0.29	0.06	3120	0.45	0.11
2440	0.67	0.44	3130	-0.39	0.24
2430	-1.01	-1.11	3140	0.19	0.03
2420	0.27	0.39	3210	0.21	0.54
2410	0.28	0.10	3220	0.17	0.70
4120	-0.17	0.53	3230	-0.93	-0.76
4131	-0.75	-0.63	3040	-0.00	-0.12
4132	0.41	0.47	3310	0.07	-0.21
			3320	-0.35	-0.39
			3330	-0.20	-0.26
			4120	0.16	0.31

5.3.5. Instationäre Eichung

Bei der instationären Eichung werden in der Natur beobachtete "pseudostationäre" Phasen herangezogen. Als Startwert für die Grundwasserspiegellage dient der beobachtete Grundwasserspiegel zu Beginn der Periode. Der berechnete Grundwasserspiegel in den Modellknoten wird dann mit dem beobachteten Grundwasserspiegel am Ende der Periode verglichen. Diese Differenz wird für die Optimierung verwendet. Als Ausgangswert für die

Durchlässigkeit (k_f -Wert) werden die Ergebnisse der stationären Optimierung (270 bzw. 37) verwendet. Das Endergebnis der Optimierung wird mit einer stärker abfallenden Phase überprüft.

Die beobachteten Differenzen zwischen Anfangsdatum 27.10.1986 und Enddatum 9.2.1987 sind in Karte 5.2 dargestellt. Die verwendeten Zeitabschnitte sind in Tab. 5.7 zusammengefaßt.

Tab. 5.7 Zeitabschnitte für Optimierung und Überprüfung.

Datum Beginn	Datum Ende	Dauer [Tage]	Karte
5.12.1977	13.2.1978	70	3.20 *)
27.10.1986	9.2.1987	105	3.21 *)
16.10.1989	5.2.1990	112	3.22 *)

*) 3. Bericht Grundwassermodell Leibnitzer Feld

Spiegellage 780213:

- Optimierung 240: Optimierung der k_f -Werte mit Grobzonierung.; ohne Randzuflüsse und Grundwasserneubildung.
- Optimierung 250,260,270: Optimierung der k_f -Werte mit Feinzonierung; getrennt für westliches (250), nordöstliches (260), südöstliches (270) Leibnitzer Feld.

Spiegellage 870209:

- Optimierung 39P: Optimierung der k_f -Werte (Grobzonierung); ohne Randzuflüsse und Grundwasserneubildung.
- Optimierung 43P: Optimierung der k_f -Werte nach Feinzonierung. Alle Zonen werden gleichzeitig optimiert.

Die aus den einzelnen Optimierungsschritten resultierende Verteilung der k_f -Werte ist in Karte 5.3 dargestellt.

5.3.6. Ergebnisse und Überprüfung der Eichung

Im folgenden Kapitel wird die erreichte Anpassung der berechneten an die beobachtete Spiegellage am Beispiel der "pseudostationären" Periode 27.10.1986 bis 9.2.1987 gezeigt. Diese wird auch für einige Zwischenergebnisse in Form von Karten und Tabellen dargestellt.

Simulation 35:

Für die Berechnung wird die interpolierte Ausgangsverteilung der k_f -Werte verwendet. Im Bereich der Helfersdorfer Terrasse bei Lang und im südlichen Teil des westlichen Leibnitzer Feldes kommt es zu größeren Absenkungen des Grundwasserspiegels. Im Anschluß an die Helfersdorfer Terrasse führt die abfließende Menge zu größeren Aufspiegelungen. Zu Aufspiegelungen kommt es ebenfalls im Bereich der Wildoner Enge. In Tab. 5.8 sind die absoluten Häufigkeiten der Differenzen von berechnetem zu beobachtetem Grundwasserspiegel in den Knoten angegeben.

Tab. 5.8: Absolute Häufigkeiten der Differenzen, Simulation 35.

absolute Häufigkeit	Differenz	
	von [m]	bis [m]
85	<	-0.80
48	-0.80	-0.50
55	-0.50	-0.30
46	-0.30	-0.15
35	-0.15	-0.05
146	-0.05	0.05
44	0.05	0.15
47	0.15	0.30
50	0.30	0.50
36	0.50	0.80
15	>	0.80

Simulation 37:

Diese Simulation erfolgt mit der nach Optimierung 43P erreichten Verteilung der k_f -Werte. Durch die Reduzierung der k_f -Werte im Bereich der Helfersdorfer Terrasse und an deren Abhang sinkt der Grundwasserspiegel dort nicht mehr so stark ab. Ebenso bewirkt die Verringerung der k_f -Werte im südlichen Teil des westlichen Leibnitzer Feldes eine Verbesserung der Situation. Sonst wird im zentralen Teil des westlichen Leibnitzer Feldes eine gute Anpassung erreicht. Die Aufspiegelungen im Bereich der Stauwurzel des Kraftwerkes Gabersdorf unterhalb des Kraftwerkes Gralla sind differenziert zu beurteilen, da ein großer Teil dieses Bereichs nicht direkt durch Messungen belegt ist. So zeigt sich bei der Überprüfung an Hand der Spiegellage 5.2.1990, daß der berechnete Grundwasserspiegel sehr wohl mit dem beobachteten, durch zwei zusätzliche Meßstellen belegten, Wasserspiegel übereinstimmt. Aus Tab. 5.9 ist die Statistik der erreichten Anpassung zu erkennen. Es ist deutlich zu sehen, daß die Anzahl der Knoten mit schlechter Anpassung (Differenzbetrag größer als 50 cm) stark abnimmt. Insgesamt liegen 403 Knoten in einer Bandbreite von +/- 30 cm, was als sehr gut bezeichnet werden kann.

Tab. 5.9 Absolute Häufigkeiten der Differenzen, Simulation 37.

absolute Häufigkeit	Differenz		
	von [m]		bis [m]
23		<	-0.80
35	-0.80	-	-0.50
62	-0.50	-	-0.30
76	-0.30	-	-0.15
58	-0.15	-	-0.05
146	-0.05	-	0.05
54	0.05	-	0.15
69	0.15	-	0.30
38	0.30	-	0.50
26	0.50	-	0.80
2		>	0.80

Simulation 40:

Da der Bereich der Wildoner Enge keine nennenswerte Verbesserung erreicht, wurde in diesem Bereich versucht, k_f -Werte händisch zu verbessern; ebenso im südlichen Teil des westlichen Leibnitzer Felds. Zusätzlich wurde die Höhe des Grundwasserstauers modifiziert. Die erreichte Anpassung ist aus Tab. 5.10 ersichtlich. Karte 5.4 zeigt die Differenz von berechneter Endspiegellage 9.2.1987 weniger der beobachteten Startspiegellage 27.10.1986. Ein Vergleich mit Karte 5.2 zeigt, daß die Tendenz der Veränderungen im wesentlichen gut erfaßt wird.

Tab. 5.10: Absolute Häufigkeiten der Differenzen, Simulation 40.

absolute Häufigkeit	Differenz		
	von [m]		bis [m]
19		<	-0.80
37	-0.80	-	-0.50
66	-0.50	-	-0.30
69	-0.30	-	-0.15
60	-0.15	-	-0.05
148	-0.05	-	0.05
58	0.05	-	0.15
69	0.15	-	0.30
45	0.30	-	0.50
15	0.50	-	0.80
3		>	0.80

Simulation 48:

Die Überprüfung der optimierten k_f -Werte erfolgt an Hand der Periode 16.10.1989 bis 5.2.1990. Diese ist durch ein starkes Absinken des Grundwasserspiegels gekennzeichnet, wobei das Anfangsdatum 16.10.1989 sogar ein relatives Maximum des Grundwasserspiegels darstellt. Die Differenzen von berechnetem zu beobachtetem Grundwasserspiegel übersteigen im nordöstlichen und im zentralen südöstlichen Leibnitzer Feld einen Betrag von 0.80 m. Die

Anpassung im westlichen Leibnitzer Feld ist überraschend gut; ebenso im südöstlichen Leibnitzer Feld. Es ist jedoch tendenziell eine Überschätzung der Spiegellage zu erkennen. Dieses Phänomen könnte durch eine Verringerung der Speicherkoeffizienten behoben werden. Diese wurden für die hier dargestellten Berechnungen einheitlich mit $S = 0.20$ angenommen. Eine Veränderung der Speicherkoeffizienten muß jedoch auch die Verhältnisse einer ansteigenden Phase des Grundwasserspiegels berücksichtigen. Dies erfolgte daher erst im Zusammenhang mit der instationären Simulation (Kap. 6.). Tab. 5.11 zeigt wieder die Verteilung der absoluten Häufigkeit der Differenzen.

Tab. 5.11: Absolute Häufigkeiten der Differenzen, Simulation 48.

absolute Häufigkeit	Differenz	
	von [m]	bis [m]
19	<	-0.80
15	-0.80	-0.50
35	-0.50	-0.30
48	-0.30	-0.15
50	-0.15	-0.05
140	-0.05	0.05
62	0.05	0.15
87	0.15	0.30
64	0.30	0.50
50	0.50	0.80
19	>	0.80

In der anschließenden Tab. 5.12 werden die mittleren und quadratischen Fehler der oben genannten Simulationen zusammengefaßt.

Tab. 5.12: Mittlere und quadratische Fehler der Simulationen.

Simulation	mittlerer Fehler	quadratischer Fehler
35	-0.22	0.58
37	-0.07	0.17
40	-0.07	0.16
48	0.08	0.29

In Karte 5.5 sind die Isolinien des berechneten und des beobachteten Grundwasserspiegels zum Datum 9.2.1987 dargestellt. Wie daraus ersichtlich, stimmen die berechneten Isolinien bis auf Teilbereiche, etwa im Bereich der Wildoner Enge und südöstlich davon, gut mit den Beobachtungen überein.

6. INSTATIONÄRE SIMULATION OHNE STOFFTRANSPORT

Ziel der instationären Simulation ist es, die deutlich erkennbaren saisonalen Schwankungen des Grundwasserspiegels und des Grundwasservolumens nachzuvollziehen. Diese Perioden sind durch einen deutlichen Anstieg im Frühjahr und eine darauffolgende Auslaufphase, die durch weitere Anstiege unterbrochen sein kann, gekennzeichnet. Ihre Dauer beträgt etwa ein Jahr. Zum Vergleich mit den Modellergebnissen werden beobachtete Grundwasserspiegel zu ausgewählten Zeitpunkten der Simulationsperioden herangezogen. Dadurch wird es möglich, die Dynamik des Grundwassersystems besser zu erfassen.

Für die instationäre Simulation werden drei beobachtete Zeitintervalle von der Dauer etwa eines Jahres ausgewählt. Diese werden mittels des verwendeten numerischen Grundwassermodells simuliert. Als Ergebnisse werden für jeden Zeitschritt die Grundwasserspiegelhöhen in den Modellknoten, die Abstandsgeschwindigkeiten in den Elementmittelpunkten sowie Zu- und Abflüsse infolge Randbedingungen erster Art (Vorgabe einer Wasserspiegelhöhe) ermittelt. Die beobachteten und berechneten Grundwasserspiegel werden zu den gewählten Vergleichszeitpunkten als Differenzen zur Ausgangsspiegellage dargestellt. Für ausgewählte Modellknoten werden die Ganglinien der berechneten Grundwasserspiegel mit den beobachteten verglichen. Die Lage der Knoten ist aus Karte 4.1 ersichtlich. Wie bereits erwähnt, wurde bei der Erstellung des Modellnetzes darauf geachtet, daß bestehende Grundwassermeßstellen als Modellknoten in das Modellnetz einbezogen wurden. Dadurch ist es nunmehr nicht mehr notwendig, eine räumliche Interpolation der Grundwasserspiegel durchzuführen. Infolge der zeitlichen Diskretisierung der Modellrechnung in Abstimmung mit dem wöchentlichen Beobachtungsintervall der Stationen des hydrographischen Dienstes ist eine zeitliche Interpolation ebenfalls nicht erforderlich.

Die Simulationen basieren auf den in Kap. 4. und Kap. 5. dargestellten Inputgrößen. Im vorgegebenen, nach hydrologischen Gesichtspunkten abgesteckten Rahmen werden einige Inputgrößen adaptiert, bis mit vertretbarem Aufwand keine Verbesserungen des Simulationsergebnisses mehr möglich erscheinen. Die Simulation ist daher ein iterativer Vorgang, der sich an den erreichten Zwischenergebnissen orientiert. Das ist deshalb der Fall, da die Auswirkungen von Veränderungen in den Inputgrößen, wie die Verteilung der Grundwasserneubildung oder der Randzuflüsse, nicht genau vorhergesehen werden können. Die einzelnen Simulationsläufe werden fortlaufend nummeriert (z.B.: R01, ..., R12). Da eine detaillierte Ausführung aller drei Simulationsperioden nicht möglich ist, wird nur die Simulation 87/87 beschrieben.

6.1. Auswahl der Simulationsperioden

Für die instationäre Simulation werden drei Perioden mit einer Dauer von etwa jeweils einem Jahr ausgewählt. Aus dem Wunsch nach Aktualität und möglichst gleichmäßiger Datendichte wurde die Auswahl von Beginn an auf das Zeitintervall 1984 - 1990 beschränkt. Für die Festlegung der Startspiegellagen wurden Zeitpunkte am Ende von Auslaufphasen vor den ausgeprägten Anstiegen gesucht. Die Auswahl der drei Perioden (Tab. 6.1) erfolgte dann an Hand der Ganglinien des Grundwasservolumens (Abb. 6.1) und der Ganglinien des Grundwasserspiegels von ausgesuchten Meßstellen. Diese sind in den Abb. 6.2-4 dargestellt.

Tab. 6.1: Simulationsperioden der instationären Simulation.

EDV-Nr.	Simulation	Anfangsdatum	Enddatum	Dauer [Tage]
20	84/85	28.1.1984	28.1.1985	364
21	87/87	9.2.1987	19.10.1987	252
22	89/90	3.4.1989	5.2.1990	308

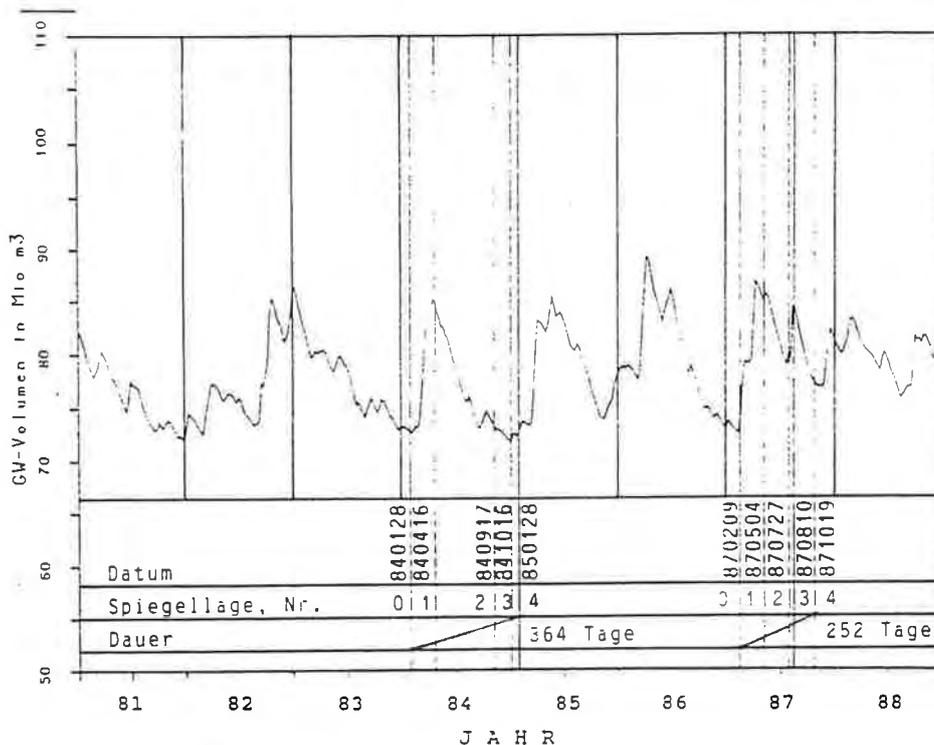


Abb. 6.1: Ganglinie des Grundwasservolumens.

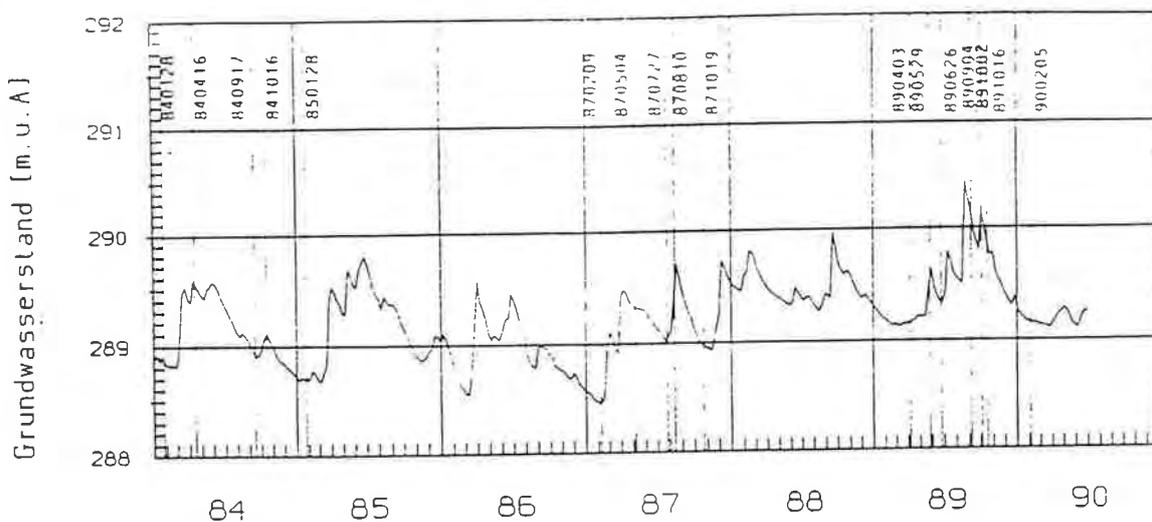


Abb. 6.2: Ganglinie Station L067.

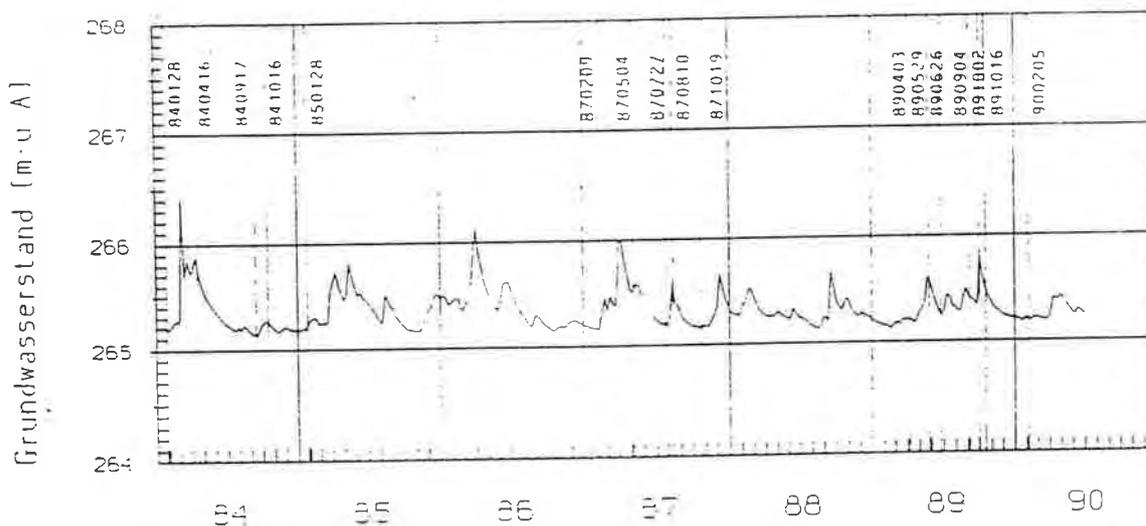


Abb. 6.3: Ganglinie Station L045.

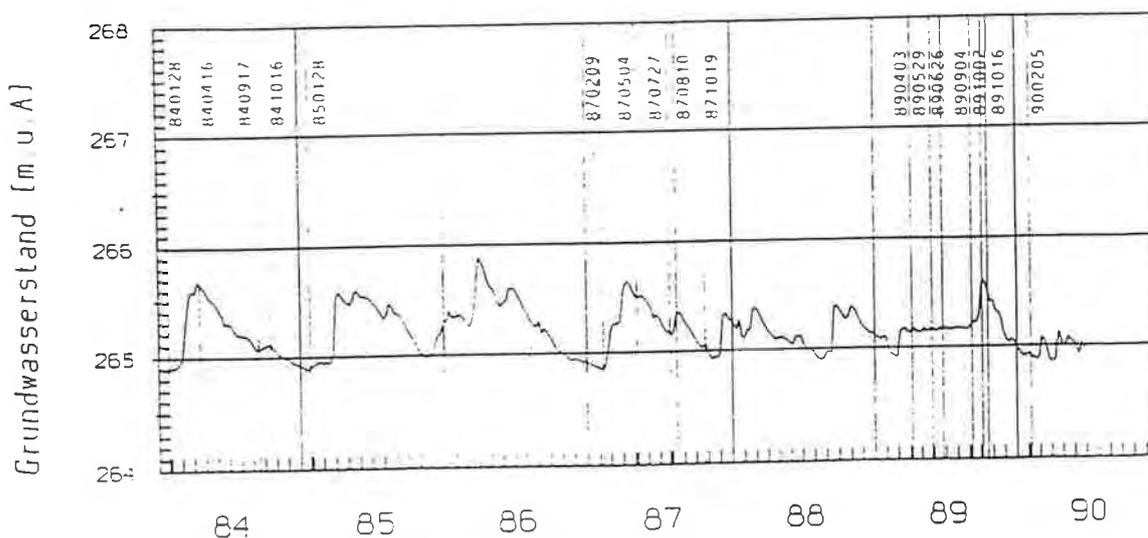


Abb. 6.4: Ganglinie Station L044.

In den Abbildungen sind ebenso die ausgewählten Zeitpunkte eingetragen, zu denen die berechneten mit den beobachteten Spiegellagen verglichen werden. Diese werden in Tab. 6.2 zusammengefaßt. Die entsprechenden Karten sind im ausführlichen Projektsbericht enthalten (NACHTNEBEL & JAWECKI, 1992a).

Tab. 6.2: Vergleichsspiegellagen der Simulationsperioden.

Simulation	lfd. Nummer	Spiegellagen Datum	Beobachtungen	Tage
84/85	0	28.1.1984	256	0
	1	16.4.1984	238	77
	2	17.9.1984	241	231
	3	16.10.1984	244	259
	4	28.1.1985	256	364
87/87	0	9.2.1987	265	0
	1	4.5.1987	277	84
	2	27.7.1987	173	168
	3	10.8.1987	253	182
	4	19.10.1987	255	252
89/90	0	3.4.1989	264	0
	1	29.5.1989	188	56
	2	26.6.1989	189	84
	3	4.9.1989	252	154
	4	2.10.1989	253	182
	5	16.10.1989	253	196
	6	5.2.1990	277	308

6.2. Zeitliche Diskretisierung

Die instationäre Simulation ist dadurch gekennzeichnet, daß die Lösung des Grundwassermodells für diskrete Zeitschritte erfolgt. Die Wahl der Dauer der einzelnen Zeitschritte ist von der Dauer der Simulationsperiode und der gewünschten Genauigkeit abhängig. Je kürzer jeder Zeitschritt, desto mehr Zeitschritte sind zur Simulation des erwünschten Zeitraumes notwendig. Damit erhöht sich auch der Aufwand für die Vorbereitung der benötigten Input-Daten. Um den dafür erforderlichen Aufwand nicht allzu hoch ansteigen zu lassen, wird für die gewählten Simulationsperioden der Zeitschritt mit sieben Tagen festgelegt. Der Vergleich der Berechnungsergebnisse einer Simulationsperiode, die einerseits mit diesem, andererseits mit einem Zeitschritt von einem Tag berechnet wurde, zeigt, daß kaum Unterschiede auftreten. Diese Wahl ist auch insofern von Vorteil, da die Beobachtung der Grundwasserstände des Hydrographischen Dienstes in wöchentlichen Intervallen erfolgt. Damit sind die berechneten Größen direkt mit den beobachteten vergleichbar, ohne daß eine zeitliche Interpolation notwendig ist. Es ergeben sich je nach Dauer der Simulationsperioden Simulationen mit etwa 50 Zeitschritten.

Die Zeitschritte und die entsprechende Dauer der Berechnung in Tagen ab dem Startzeitpunkt sowie die Zuordnung zu den beobachteten Vergleichsspiegellagen ist aus Tab. 6.3 ersichtlich.

6.3. Simulationsperiode 87/87

Die Simulationsdauer der Simulationsperiode 87/87 beträgt 252 Tage und ist damit deutlich kürzer als die beiden anderen. Während dieser Zeit kommt es von Anfang Februar bis Mitte April zu einem deutlichen Anstieg des Grundwasserspiegels. Dieser sinkt bis Ende Juli wieder deutlich ab, worauf es zu einem zweiten, weniger ausgeprägten Anstieg kommt. Bis Ende Oktober erfolgt dann eine weitere Auslaufphase. Die Diskretisierung erfolgt durch 42 Zeitschritte.

Beobachtung

Die Veränderungen des Grundwasserspiegels, ermittelt aus den in den Grundwassermeßstellen beobachteten Werten, sind in Karte 6.1 dargestellt. Die obere Reihe zeigt die Differenzen der Vergleichszeitpunkte zur Ausgangsspiegellage zum Datum 9.2.1987. Die untere Reihe zeigt die Differenzen der Vergleichszeitpunkte zum jeweils vorigen Zeitpunkt. Der Anstieg des Grundwasserspiegels vom Datum 9.2.1987 bis zum Datum 5.4.1987 ist im ersten Bild (obere und untere Reihe) dargestellt. Im Bereich der Niederterrasse des nordöstlichen Leibnitzer Feldes, vor allem in den Randbereichen (L066, L060), beträgt der Anstieg mehr als 1.50 m. Bis zur Terrassenkante geht dieser Wert auf etwa 0.25 bis 0.50 m zurück. Im Bereich der Au sind kaum Unterschiede zu erkennen. Infolge eines für die Interpolation der Grundwasserspiegellage einbezogenen Hochwassers der Mur sind in den Stauwurzelbereichen der Kraftwerke entsprechende Anstiege zu sehen. In großen Bereichen des westlichen Leibnitzer Feldes beträgt der Anstieg 0.50 bis 0.75 m, teilweise auch 0.75 bis 1.00 m. Die Spiegellagen der Laßnitz und Sulm zeigen eine ausgleichende Wirkung. Im südöstlichen Leibnitzer Feld beträgt der Anstieg ebenfalls in großen Bereichen 0.50 bis 0.75 m, im Bereich von Vogau erhöht sich dieser auf 0.75 bis 1.00 m. Bis zum Datum 27.7.1987 (zweites Bild, obere und untere Reihe) sinkt der Grundwasserspiegel in nahezu allen Bereichen ab. Im nordöstlichen Leibnitzer Feld ist der Betrag der Absenkung dort am größten, wo auch die höchsten Anstiege erfolgt waren. Im Bereich der Auenterrasse sind gegenläufig zur allgemeinen Tendenz Anstiege bis 1.00 m zu erkennen (L011, L013), die auf kurzfristige Schwankungen zurückzuführen sind. Diese sind anscheinend durch Vorfluter beziehungsweise Niederschläge bedingt. Im südlichen Teil des westlichen Leibnitzer Feldes geht der Grundwasserspiegel um 0.50 bis 0.25 m zurück, sonst um 0.25 bis 0.10 m. Der Grundwasserspiegel ist jedoch noch immer um 0.25 bis 0.50 m höher als zum Datum 9.2.1987. Nur im zentralen Bereich (L034, L035) sinkt der Grundwasserspiegel stärker ab. Im Bereich des Stauraumes

von Vogau sowie im südöstlichen Leibnitzer Feld werden Bereiche mit Absenkungen von 0.75 bis 0.50 m ausgewiesen, die jedoch hauptsächlich auf fehlende Stationen zu diesem Meßzeitpunkt zurückzuführen sind. Sonst beträgt der Rückgang größtenteils 0.50 bis 0.25 m. Bis zum Datum 10.8.1987 erfolgt der zweite Anstieg des Grundwasserspiegels, der im dritten Bild (obere und untere Reihe) dargestellt ist. Im nordöstlichen Leibnitzer Feld sind im Vergleich zum Datum 27.7.1987 im Bereich des Wurzingbaches (L380) sowie im Bereich der Stiefing (L059, L069) Anstiege über 1.50 m zu erkennen. Im Bereich der Niederterrasse bei Afram steigt der Grundwasserspiegel um 0.50 bis 0.75 m, im Bereich von Ragnitz um 0.25 bis 0.50 m. Der Wasserspiegel der Mur weist einen tieferen Wasserstand aus, der etwa den Verhältnissen zur Startspiegellage entspricht. Im westlichen Leibnitzer Feld kommt es vor allem am westlichen Rand zu Aufspiegelungen von 0.25 bis 0.50 m. Bei den Stationen L001 und L077 sind jedoch höhere Werte bis 1.00 m zu erkennen. Der Grund dafür ist ein Hochwasser der Laßnitz beziehungsweise Sulm, bei dem der Wasserspiegel um 3 bis 4 m ansteigt. Die größeren Anstiege im Staubereich des Kraftwerks Vogau und des südöstlichen Leibnitzer Feldes sind auf die wieder zur Verfügung stehenden zusätzlichen Meßstellen zurückzuführen. Das vierte Bild (obere und untere Reihe) zeigt die auftretenden Veränderungen bis zum Datum 17.10.1987. Im nordöstlichen Leibnitzer Feld geht der Grundwasserspiegel im Bereich von Stiefing und Wurzingbach, also wieder dort, wo die Anstiege am größten waren, am stärksten zurück. Damit beträgt die Spiegeldifferenz zur Ausgangsspiegellage im Bereich der Niederterrasse maximal 0.75 bis 1.00 m und geht bis zur Terrassenkante auf 0.50 bis 0.75 m zurück, im südlichen Teil auf 0.25 bis 0.50 m. Durch das Absinken des Grundwasserspiegels im westlichen Leibnitzer Feld um 0.25 bis 0.10 m ist dieser sehr gleichmäßig, nur um 0.10 bis 0.25 m höher als zum Datum 9.2.1987, ebenso im südöstlichen Leibnitzer Feld.

Simulation Lauf R12

Eine Zusammenstellung der verwendeten Inputdaten ist aus Tab. 6.4 ersichtlich. Wie daraus hervorgeht, wurde als Startspiegellage eine im Bereich des Unterwassers des Kraftwerks Gralla modifizierte Grundwasserspiegellage verwendet. Die Begründung ergibt sich aus Kap. 6.4. Aufgrund der bis dahin vorliegenden Simulationsergebnisse werden die Randzuflüsse und Abflüsse der Auenbäche in der angegebenen Weise (Tab. 6.4) modifiziert.

In Karte 6.2 sind in der oberen Reihe die Differenzen der Vergleichszeitpunkte zur Ausgangsspiegellage für die Beobachtungswerte und in der unteren Reihe die entsprechenden Ergebnisse der Modellierung dargestellt. Bei allen Berechnungsergebnissen ist eine höhere Variabilität der Differenzen zu erkennen, als dies bei den beobachteten Differenzen der Fall ist.

Tab. 6.4: Daten Simulation 87/87, Lauf R12.

Bezeichnung	Beschreibung	Karte, Abb.
Durchlässigkeit	k_f , optimiert	Karte 5.3
Speicherkoeffizient	S, berechnet als Funktion der k_f -Werte, $S = f(k_f)$, vermindert auf 60%	Karte 4.3
Startspiegellage	870209 m ² , modifiziert im Bereich UW Gralla	
Randzuflüsse	instationär, Kap. 4.4.1. Randzuflüsse des südöstlichen LF (ZEZG. 21, 22) werden durch Sinus- funktion beschrieben. Es werden nur 75 % der mittleren Zuflüsse angesetzt	Anhang A
Auenbäche	instationär, Kap. 4.4.2. für den Kleinwagnabach werden nur 50 % der aus der Regression bestimmten Werte angesetzt	Anhang B
Neubildung	instationär, Kap. 4.4.3.	Anhang C
Oberflächengewässer	instationär, Kap. 4.4.4.	Anhang D
Entnahmen	instationär, Kap. 4.4.5.	Anhang E
Stiefing	Kap. 4.4.1.	

Im ersten Bild (untere Reihe) sind die Differenzen der berechneten Spiegellage für das Datum 4.5.1987 nach 84 Tagen Simulationsdauer zur interpolierten Startspiegellage zum Datum 9.2.1987 dargestellt. Im Bereich der Niederterrasse des nordöstlichen Leibnitzer Feldes beträgt der Anstieg maximal 1.00 bis 1.25 m, im Bereich der Enge von Wildon ist ein Anstieg von 1.25 bis 1.50 m zu erkennen. Infolge der Randzuflüsse am östlichen Rand ist dort ebenfalls ein Anstieg von 1.00 bis 1.25 m zu sehen. Die angesetzten Entnahmen durch Auenhofbach und Haslachbach bewirken, daß sich der Grundwasserspiegel in diesem Bereich kaum verändert. Im westlichen Leibnitzer Feld ist der Anstieg des Grundwasserspiegels inhomogener, als dies aus den Beobachtungen hervorgeht. Neben Bereichen mit Anstiegen von 0.50 bis 0.75 m sind die Beträge nördlich der Stadt Leibnitz mit 0.25 bis 0.50 m etwas geringer, in deren Bereich und südlich davon mit stellenweise 0.75 bis 1.00 m etwas höher. Aufgrund der hohen Wasserspiegellage der Mur kommt es in den von ihr beeinflussten Bereichen ebenfalls zu einem Ansteigen des Grundwasserspiegels. Im südöstlichen Leibnitzer Feld beträgt der berechnete Anstieg 0.50 bis 1.00 m. Nach einer Simulationsdauer von 168 Tagen, also zum Datum 27.7.1987 (zweites Bild, untere Reihe), liegt der Grundwasserspiegel im Bereich der Niederterrasse des nordöstlichen Leibnitzer Feld etwa 0.75 bis 1.00 m über der Ausgangsspiegellage, was etwa der Beobachtung entspricht. Im nördlichen Teil des westlichen Leibnitzer Feldes, südlich der Helfersdorfer Terrasse, liegen sowohl der berechnete als auch der beobachtete Grundwasserspiegel 0.25 bis 0.50 m über der Ausgangsspiegellage. Im

mittleren Teil, im Bereich von Kainach, sinkt der Grundwasserspiegel stärker ab; er befindet sich damit auf dem Niveau der Ausgangsspiegellage 9.2.1987. Im nördlichen Teil des westlichen Leibnitzer Feldes ist der berechnete Grundwasserspiegel im Vergleich zum vorigen Vergleichsdatum 4.5.1987 unverändert. Die Beobachtungswerte werden daher überschätzt. Auch im südöstlichen Leibnitzer Feld verändert sich der Grundwasserspiegel vor allem im zentralen Bereich kaum. Der beobachtete Grundwasserspiegel wird in diesem Bereich ebenfalls überschätzt. Das dritte Bild zeigt die Veränderung des Grundwasserspiegels infolge des zweiten Grundwasseranstiegs. Entlang der Mur wie auch im Bereich der Wildoner Enge ist infolge des erhöhten Flußwasserspiegels ebenfalls ein Anstieg zu erkennen. Deutlich ist der durch die angenommene Exfiltration aus der Stiefing bedingte Anstieg im nordöstlichen Leibnitzer Feld zu sehen. Der berechnete Grundwasserspiegel liegt damit mit mehr als 1.50 m Differenz zur Ausgangsspiegellage ebenso hoch, wie aus der Beobachtung hervorgeht. Der betroffene Bereich ist allerdings deutlich kleiner. Im gesamten westlichen Leibnitzer Feld ist ein Anstieg von etwa 0.25 m zu erkennen, ebenso im südöstlichen Leibnitzer Feld. Das Ergebnis nach einer Simulationsdauer von 252 Tagen (Datum 19.10.1987) ist im vierten Bild (untere Reihe) dargestellt. Während in allen Bereichen eine Abnahme des berechneten Grundwasserspiegels zu erkennen ist, bleibt der Wasserspiegel im Bereich von Wildon relativ hoch. Im Bereich der Niederterrasse des nordöstlichen Leibnitzer Feldes werden etwa die Beobachtungswerte erreicht. Die Differenz zur Ausgangsspiegellage 9.2.1987 beträgt im nördlichen Teil 0.75 bis 1.00 m, gegen S nimmt diese auf 0.10 bis 0.25 m ab. Im Bereich der Helfersdorfer Terrasse liegt der berechnete Grundwasserspiegel mit 0.50 bis 0.75 m höher als der beobachtete, was auf die geringen Modell- k_f -Werte in diesem Bereich zurückzuführen ist. Der südlich davon anschließende Teil gibt die Beobachtungen mit 0.25 bis 0.50 m gut wieder. Im Bereich von Kainach liegt der berechnete Grundwasserspiegel tiefer als der beobachtete und auch tiefer als jener zum Ausgangsdatum. Südlich von Leibnitz ist die berechnete Endspiegellage wieder deutlich höher. Im südöstlichen Leibnitzer Feld ist ebenfalls eine Abnahme des Grundwasserspiegels zu erkennen, im zentralen Bereich wird der beobachtete Grundwasserspiegel jedoch weiterhin überschätzt. Hingegen besteht im Bereich von Vogau und Schwarza eine gute Übereinstimmung mit den beobachteten Differenzen von 0.10 bis 0.25 m.

Insgesamt ergibt sich folgendes Bild: Die Dynamik von Grundwasseranstieg und Auslaufphase wird gut wiedergegeben. Relative Fehler zu den Beobachtungen, die sich durch alle Vergleichszeitpunkte ziehen, deuten auf systematische Fehler hin. Diese sind auf Ungenauigkeiten in der Eichung, unzureichende Erfassung von Randbedingungen oder Interpolationsfehler zurückzuführen. Diese sind wiederum teilweise durch eine auf das Gesamtgebiet des Leibnitzer Feldes abgestimmte Modelldiskretisierung bedingt, wodurch Detailbereiche nicht

exakt wiedergegeben werden können. Das sind der Bereich von Wildon, die Terrassenkante von der Helfersdorfer zur Niederterrasse und die Terrassenkante bei Gabersdorf, linksufrig der Mur. Die Abweichungen links- und rechtsufrig der Mur beim Kraftwerk Gralla sowie südlich von der Stadt Leibnitz dürften auf Interpolationsfehler infolge mangelnder Meßstellen zurückzuführen sein (Kap. 6.4.). Im Bereich von Kainach und des zentralen südöstlichen Leibnitzer Feldes könnte eine detaillierte Eichung sicher bessere Ergebnisse liefern, wobei im ersten Fall die Entnahmen und damit die Varianz des Grundwasserspiegels im Entnahmebereich eine große Bedeutung für die Vergleichsspiegellagen haben.

Im Anhang F sind die Vergleichsganglinien der in Karte 4.1 eingezeichneten Vergleichsmeßstellen dargestellt.

L067: Die beobachteten Anstiege könnten sowohl auf die Mur als auch auf die Grundwasserneubildung zurückzuführen sein. Während der Grundwasserspiegel immer wieder zurückgeht, ist in der Berechnung während der ersten Hälfte der Simulationsperiode ein ständiger Anstieg zu verzeichnen.

L066: Während in der Berechnung der starke Randzufluß zu Beginn der Simulation einen Anstieg von mehr als 1.50 m bewirkt, erfolgt dieser in den Beobachtungen erst ab dem 49. Tag. Der Anstieg zum 182. Tag wird gut getroffen.

L060: Diese Station liegt im Einflußbereich des Auenhofbaches, wodurch in der Berechnung eine relativ starke Glättung der Ganglinie erfolgt. Der starke Anstieg in der berechneten Ganglinie scheint durch die Randzuflüsse bedingt zu sein.

L059: Der berechnete Anstieg erfolgt zu früh. Die Ursache dafür ist die ebenfalls zu früh erfolgende Grundwasserneubildung, die den Input-Daten zugrunde liegt. Der starke Anstieg zum 182. Tag wird in der Berechnung durch die Annahme einer Exfiltration von Wasser aus der Stiefing bewirkt. Diese wird recht gut getroffen. Das würde die getroffene Annahme bestätigen. Es stehen jedoch keine Daten des Wasserstandes der Stiefing zu Verfügung, die ein Hochwasserereignis zu diesem Zeitpunkt bestätigen könnten, so daß diese Annahme weiterhin nicht bewiesen ist. Andere Versuche, diese Spitze zu erfassen waren jedoch nicht erfolgreich.

L069: Die Exfiltration aus der Stiefing wirkt sich in der Modellierung nicht bis zu dieser Station aus. Das könnte daran liegen, daß diese nur für einen Zeitschritt angesetzt wurde; oder es könnte auch durch die Diskretisierung bedingt sein.

- L012: Diese Meßstelle zeigt aufgrund der Nähe zum Mühlgang sehr ausgeglichene Ganglinien.
- L014: Der berechnete Anstieg erfolgt zu früh.
- L016: Diese Meßstelle liegt im Bereich der geringen k_f -Werte am Abfall der Helfersdorfer Terrasse. Dadurch und infolge der diesem Bereich zugeordneten Bodenklasse 4 ist die Variabilität des berechneten Grundwasserstands sehr gering.
- L031: Die Ganglinie wird für die gesamte Simulationsperiode gering überschätzt. Sie wird durch die Murspiegellage beeinflusst. Infolge der überschätzten Grundwasserneubildung wird der Anstieg vorweggenommen.
- L072: Die berechnete Ganglinie paßt sich gut an die beobachtete an.
- L050: Die berechnete Ganglinie stellt die als Randbedingung angegebene Wasserspiegellage der Mur dar.
- L051: Die berechnete Ganglinie ist etwas zu hoch. Der plötzliche Anstieg in der beobachteten Ganglinie zum 70. Tag ist durch die berechnete Grundwasserneubildung nicht erklärbar.
- L035: Diese Meßstelle liegt im Bereich von Kainach, das, wie aus Karte 2.5 hervorgeht, zu allen vier Vergleichszeitpunkten zu geringe Grundwasserstände aufweist. Dies ist maßgeblich dadurch bedingt, daß der Anstieg um den 52. Tag zu gering ist, so daß in der Auslaufphase die berechnete Ganglinie weitgehend parallel, aber tiefer verläuft.
- L021: Hier ist dasselbe Phänomen wie bei L035 zu erkennen.
- L044: Die berechnete und beobachtete Ganglinie zeigen eine gute Übereinstimmung.
- L045: Der Anstieg in der Anfangsphase ist aufgrund der Grundwasserneubildung zu hoch. In der Auslaufphase zeigt sich eine gute Übereinstimmung.
- L087: Für diese Meßstelle ergibt sich auch in der Anstiegsphase eine gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Beobachtung.
- L053: Die Ganglinien stimmen relativ gut überein. Der Zeitpunkt des berechneten Anstiegs ist aufgrund der berechneten Grundwasserneubildung zu früh.
- L055: Der Anstieg zu Beginn der Simulationsperiode wird nicht ausreichend erfaßt.
- L470: Diese Station liegt im Bereich des zentralen südöstlichen Leibnitzer Feldes, der relativ stark überschätzt wird.

L454: wie L470.

L411: wie L470.

L413: Der Anstieg um den 52. Tag ist in der Berechnung zu wenig ausgeprägt. Am Ende der Auslaufphase stimmen die Ganglinien wieder gut überein. Der Anstieg zum 182. Tag wird in Betrag und Zeitpunkt genau wiedergegeben.

In Tab. 6.5 werden die Mittelwerte, Maxima, Minima und Varianzen der beobachteten und berechneten Ganglinien des Grundwasserspiegels dargestellt.

Tab. 6.5: Parameter der Vergleichsmeßstellen 87/87.

Station	Knoten	Beobachtung				Berechnung			
		Mittel [m]	Min. [m]	Max. [m]	Var. [m ²]	Mittel [m]	Min. [m]	Max. [m]	Var. [m ²]
L066	16	290.36	289.40	290.80	0.16	290.34	289.76	291.26	0.17
L067	19	289.18	288.47	289.70	0.06	289.61	288.54	290.07	0.17
L006	36	288.63	287.67	289.44	0.24	288.54	287.58	288.86	0.15
L059	62	288.33	287.12	289.66	0.39	288.26	287.16	289.58	0.26
L069	75	287.50	286.47	289.13	0.24	286.90	286.44	287.09	0.04
L016	116	285.61	285.27	285.89	0.03	285.61	285.27	285.83	0.05
L012	120	281.60	281.31	281.80	0.01	281.80	281.55	281.98	0.01
L014	142	281.78	281.11	282.21	0.10	281.66	281.12	281.97	0.07
L031	153	279.51	279.00	279.82	0.05	279.77	279.16	280.08	0.05
L072	203	277.04	276.67	277.22	0.02	276.98	276.72	277.17	0.01
L050	255	271.97	271.69	272.54	0.04	272.00	271.69	272.91	0.12
L051	280	272.83	272.60	273.30	0.02	273.03	272.68	273.32	0.03
L035	315	270.09	269.52	270.58	0.07	269.91	269.54	270.30	0.05
L021	324	268.78	268.14	269.16	0.06	268.43	268.07	268.74	0.04
L045	376	265.39	265.15	266.00	0.05	265.63	265.21	266.25	0.10
L044	385	265.28	264.85	265.64	0.04	265.13	264.84	265.38	0.03
L087	421	261.91	261.33	262.39	0.08	261.94	261.44	262.36	0.07
L055	472	255.79	255.26	256.26	0.07	255.68	255.33	255.88	0.02
L470	495	253.61	253.25	253.94	0.03	254.17	253.38	254.45	0.09
L454	498	252.61	252.16	253.03	0.04	252.91	252.26	253.18	0.06
L053	509	256.23	255.79	256.78	0.06	256.43	255.83	256.78	0.06
L411	519	249.49	249.09	249.93	0.05	249.98	249.19	250.27	0.09
L413	554	247.84	247.27	248.39	0.09	247.73	247.31	248.01	0.03

6.4. Einfluß zusätzlicher Grundwassermeßstellen

Bei der Beschreibung der Simulation 87/87 wurde bereits die Bedeutung von Interpolationsfehlern und deren Auswirkung auf die Darstellung der Modellergebnisse kurz erwähnt. Im folgenden Kapitel wird die eingeschlagene Vorgangsweise ausführlich beschrieben und begründet.

Bei allen drei Simulationsperioden zeigt sich, daß der berechnete Grundwasserspiegel im Bereich des Kraftwerks Gralla deutlich über dem beobachteten Grundwasserspiegel liegt. Es wird angenommen, daß dies auf Interpolationsfehler aufgrund mangelnder Meßstellen beiderseits der Mur zurückzuführen ist. Das wird noch dadurch begünstigt, daß das Grundwassergefälle infolge der Zuströmung zum Unterwasser des Kraftwerks Gralla relativ hoch ist. Es ist daher erklärbar, daß die auf hydraulischen Grundlagen basierende Modellrechnung größere Abweichungen ergeben kann. Unter den beschriebenen Umständen erscheint sie jedoch vertrauenswürdiger als die Interpolation. Um die Auswirkungen der Interpolationsfehler in den Darstellungen der Modellergebnisse etwas zu mindern, wurde für diesen Bereich eine modifizierte Ausgangsspiegellage ermittelt. Das Modell wurde ausgehend von der interpolierten Startspiegellage für eine Dauer von fünf Wochen gerechnet, ohne Grundwasserneubildung oder Schwankungen der Murspiegellage zu berücksichtigen. Die berechneten Grundwasserspiegelhöhen wurden dann auf die entsprechenden Knoten in diesem Bereich als Startwerte übertragen. Die folgende Abb. 6.5 zeigt einen Vergleich der Ergebnisse für die Simulationsperiode 84/85. Infolge der bereits erhöhten (modifizierten) Startspiegellage sind die Differenzen (Abb. 6.5b) im Unterwasserbereich des Kraftwerks Gralla bis Ende der Simulationsperiode bereits deutlich geringer als bei Verwendung der interpolierten Startspiegellage (Abb. 6.5a). Abb. 6.6a zeigt die beobachteten und Abb. 6.6b die berechneten Differenzen zur Ausgangsspiegellage der Simulationsperiode 89/90. Dadurch wird die gewählte Vorgangsweise bestätigt, denn es zeigt sich, daß infolge der zusätzlich zur Verfügung stehenden Meßstellen (Abb. 6.6a) scheinbar eine Aufspiegelung zur Startspiegellage erfolgt. Die Begründung liegt darin, daß für die Interpolation der Startspiegellage für diese Meßstellen keine Beobachtungswerte zur Verfügung standen, während diese für die Interpolation der Endspiegellage vorlagen. Die berechnete Aufspiegelung zur selben Startspiegellage ist teilweise sogar geringer als die "beobachtete", wie aus (Abb. 6.6b) zu sehen ist.



Abb. 6.5: Vergleich der Differenzen, Simulation 84/85.
(a) interpolierter Startspiegel;
(b) modifizierter Startspiegel.



Abb. 6.6: Vergleich der Differenzen, Simulation 89/90.
(a) interpolierter Startspiegel;
(b) modifizierter Startspiegel.

6.5. Einfluß der Speicherkoeffizienten

Für die Eichung der Durchlässigkeitsverteilung (k_f -Werte, Kap. 5.) des Grundwassermodells wurde von einem konstanten Speicherkoeffizienten mit einem Wert von $S = 0,20$ ausgegangen. Ebenso wurden die Angaben des Grundwasservolumens (Kap. 3.4.) über diesen Wert ermittelt. Bei der Modellierung stellte sich heraus, daß unter dieser Annahme die Grundwasserstände nur sehr träge reagieren, was vor allem an den Auslaufkurven auffällt. Es wird daher die Formel von MAROTZ (1968) herangezogen (Gleichung 4.15), um aus den optimierten k_f -Werten die entsprechenden Speicherkoeffizienten zu ermitteln.

Da sich dabei relativ hohe Speicherkoeffizienten ergeben, die teilweise sogar Beträge größer als 0.20 annehmen, werden diese Werte modifiziert. Eine Verminderung der Werte nach MAROTZ auf 60 % wird schließlich beibehalten. In den Abb. 6.7 - 8 werden die Auswirkungen des Speicherkoeffizienten auf die berechnete Ganglinie der Grundwasserstände am Beispiel von zwei Meßstellen dargestellt, wobei zu Vergleichszwecken die berechnete Ganglinie aufgrund konstanter Speicherkoeffizienten (Abb. 6.7a, Abb. 6.8a) und die berechnete Ganglinie aufgrund modifizierter Speicherkoeffizienten (Abb. 6.7b, Abb. 6.8b) dargestellt ist. Bei Station L035 (Abb. 6.7) ist zu erkennen, daß bei $S = f(k_f)$ die berechneten Grundwasserstände höher liegen als bei $S = 0.20$ und sich damit eine bessere Anpassung an die beobachtete Ganglinie ergibt. Außerdem zeigt sich, daß der abfallende Ast im zeitlichen Verlauf besser mit der Beobachtung übereinstimmt. Bei der Meßstelle L044 (Abb. 6.8) kann zwar in beiden Fällen das beobachtete Maximum nicht erreicht werden, für $S = f(k_f)$ zeigt sich jedoch eine weit bessere Anpassung. Diese Beispiele zeigen, daß die getroffene Festlegung der k_f -Werte mit 60 % der Werte nach MAROTZ berechtigt erscheint. Sie wird auch durch die Ergebnisse der berechneten Abstandsgeschwindigkeit bestätigt. Diese errechnet sich als Quotient aus Filtergeschwindigkeit und Porenvolumen, das im Modell mit dem Speicherkoeffizienten bei ungespannten Verhältnissen gleichzusetzen ist. Die Abstandsgeschwindigkeit wird daher direkt durch den Speicherkoeffizienten beeinflusst.

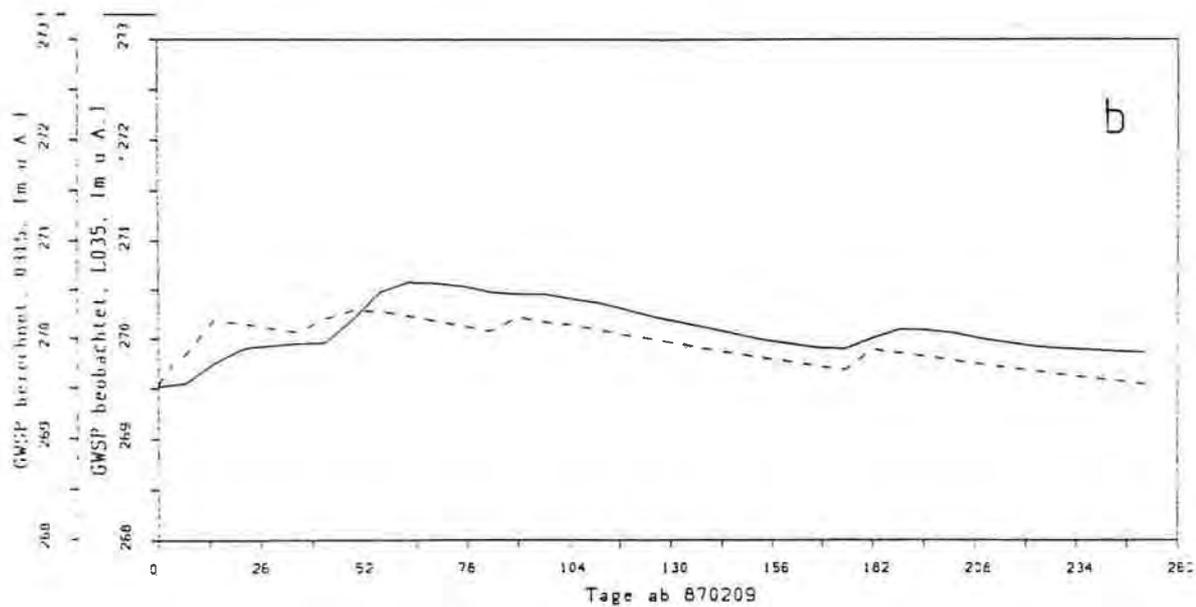
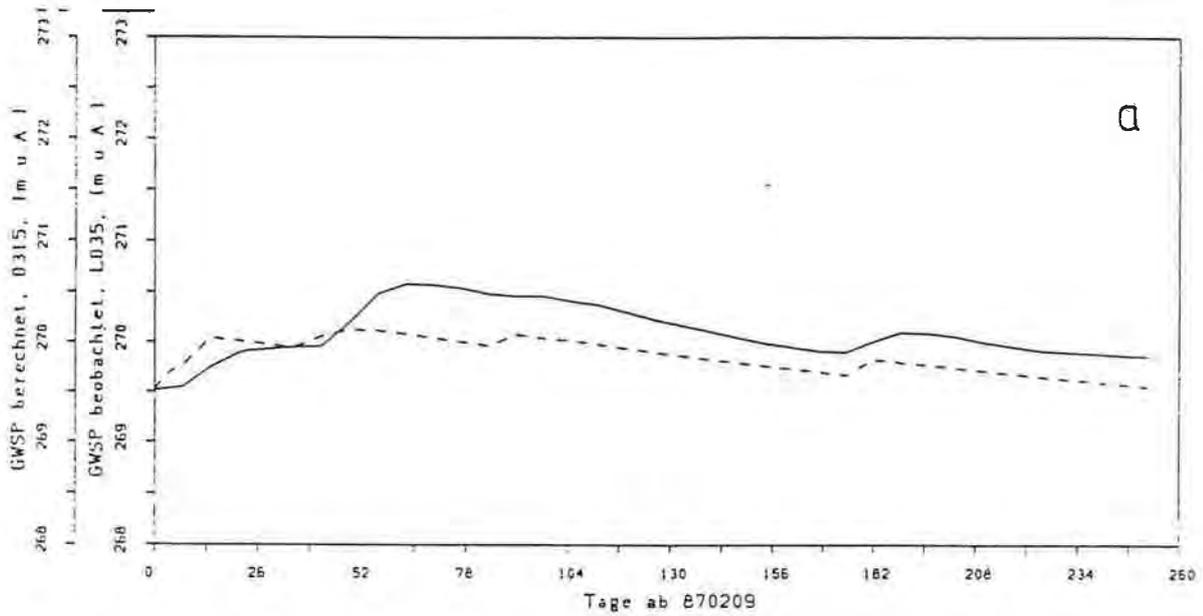


Abb. 6.7: Vergleich der beobachteten und berechneten Ganglinie der Station L035.
 (a) $S = 0.20$;
 (b) $S = f(k_f)$.

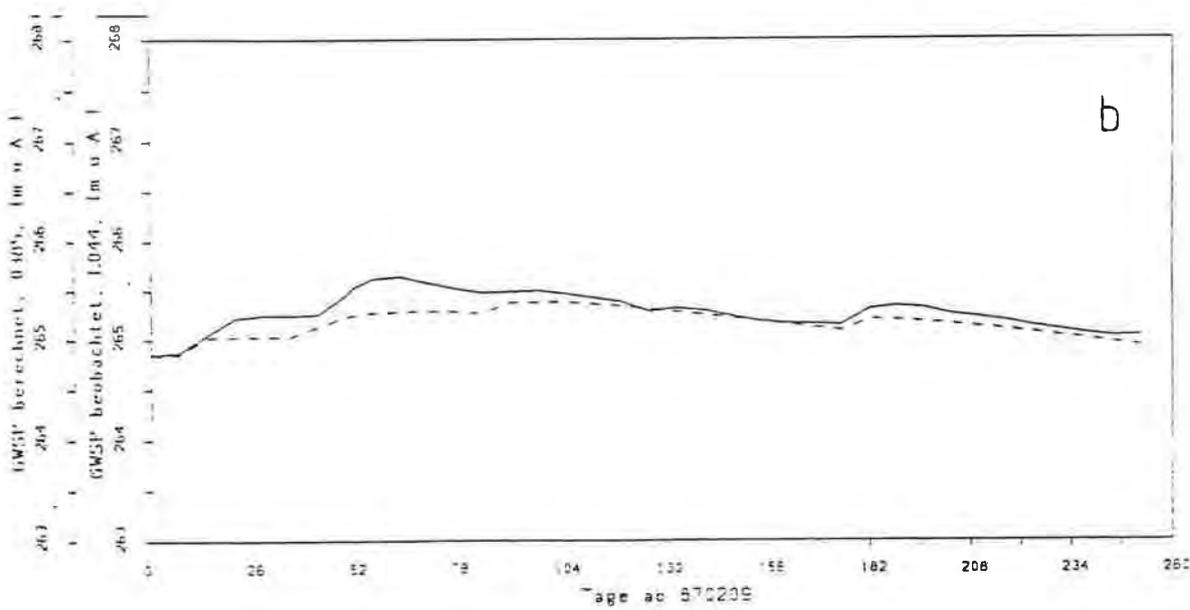
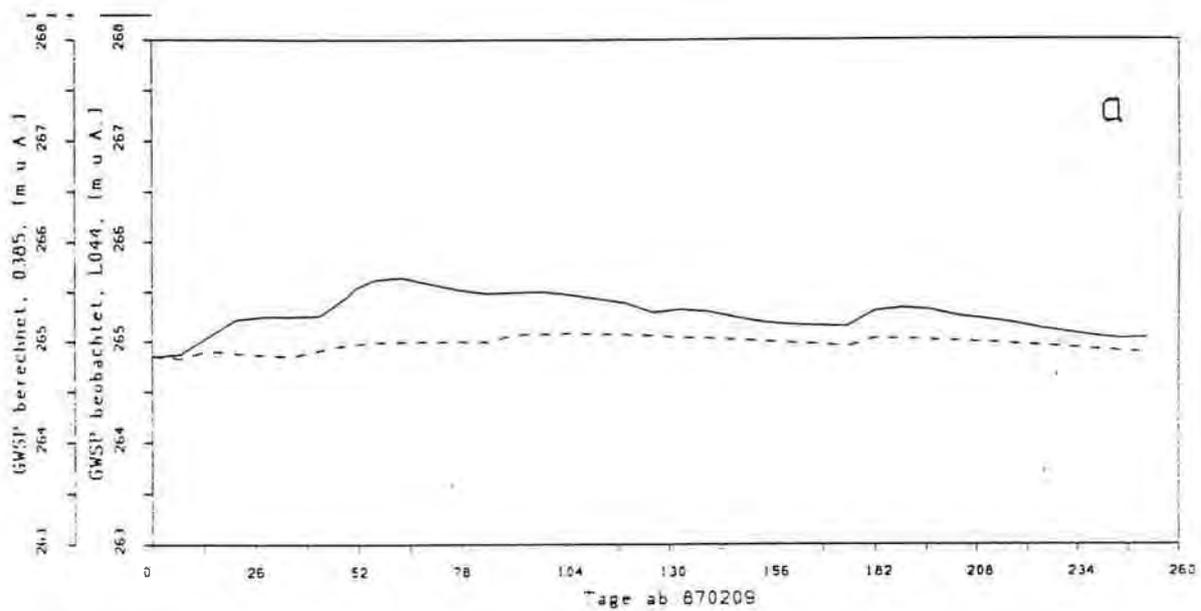


Abb. 6.8: Vergleich der beobachteten und berechneten Ganglinie der Station L044.
 (a) $S = 0.20$;
 (b) $S = f(k_f)$.

7. FOLGERUNGEN AUS DER SIMULATION

Als Ergebnis der instationären Simulation erhält man für jeden Zeitschritt folgende Größen:

- Höhe des Grundwasserspiegels in allen Modellknoten,
- Vektor der Abstandsgeschwindigkeit in allen Modellelementen,
- durch Randbedingungen erster Art bedingte Zu- und Abflüsse.

Da die Höhe des Grundwasserspiegels mit beobachteten Werten direkt vergleichbar ist, hat dieser Wert für die Verifizierung des Modells eine besondere Bedeutung. Die erreichte Anpassung wird daher im Kap. 6., instationäre Simulation, dargestellt. Im folgenden Kapitel werden die auf den Modellergebnissen basierende Bilanzierung des Grundwassersystems und die Modellergebnisse der Abstandsgeschwindigkeit behandelt.

7.1. Bilanzierung

Zu den wesentlichen Einflußgrößen auf das Grundwassersystem gehören die Grundwasserneubildung, die Grundwasser- und Hangwasserzutritte, Interaktion mit kommunizierenden Oberflächengewässern und Grundwasserentnahmen. Im Zuge der instationären Simulationen müssen diese Größen für jeden Zeitschritt durch Angabe von Flüssen (l/s) oder Höhen (m) für die Berechnung festgelegt werden (Kap. 4.4.). Andererseits erhält man als Ergebnis der Berechnung die Grundwasserspiegellagen zu jedem Zeitschritt (Kap. 6.3.), wodurch auch das Grundwasservolumen definiert ist sowie die Flüsse (l/s) aufgrund der festgelegten Potentiale. Daher ist es nun möglich, die Flüsse aus Input und Output quantitativ zu bilanzieren. In den folgenden Kapiteln werden die Bilanzen aller drei Simulationsperioden dargestellt.

Die bisherigen Angaben des Grundwasservolumens (Kap. 3.4.) basieren auf der Ermittlung des Grundwasservolumens aus beobachteten Grundwasserspiegellagen unter Verwendung eines konstanten Speicherkoeffizienten mit dem Wert $S = 0.20$. Für die instationäre Simulation werden modifizierte Speicherkoeffizienten nach MAROTZ verwendet (Kap. 6.5.). Dadurch vermindert sich jedoch das Grundwasservolumen in demselben Maß, was beim Vergleich der simulierten und früher berechneten Grundwasservolumen zu berücksichtigen ist.

Für die Bilanzierung der Randzuflüsse, der Abflüsse der Auenbäche sowie der Grundwasserneubildung werden die Unterteilungen der Teilgebiete entsprechend Kap. 4.4. beibehalten.

Für die Bilanzierung der durch Angabe der Wasserspiegellhöhen errechneten Flüsse werden die Knoten, wie aus Tab. 7.1 ersichtlich, zusammengefaßt. Im Anhang G sind die entsprechenden Ganglinien dargestellt.

Tab. 7.1 Bilanzzonen Oberflächengewässer.

Zone	Bezeichnung	Zone	Bezeichnung
11	Mur/Wildon	22	Sulm
12	Mur/UW Lebring	31	Mühlgang/Neuoedt
13	Mur/UW Gralla	32	Mühlgang/Haslach
14	Mur/UW Gabersdorf	33	Mühlgang/Ragnitz
15	Mur/UW Untervogau	41	Wildon
16	Mur/UW Spielfeld	42	Oberschwarza
21	Laßnitz		

Die Bilanzierung der Entnahmen der Wasserversorgungsanlagen und Nutzwasser erfolgt getrennt für das nordöstliche, das westliche und das südöstliche Leibnitzer Feld.

Jene Abflüsse, die für alle Zeitschritte konstant angenommen werden, wie der Begleitgraben Spielfeld, die flächige Entnahme im Stadtbereich Leibnitz und die Quellen bei Lang, werden gesondert angeführt.

7.1.1. Bilanzierung der Simulationsperiode 87/87

In den Tab. 7.2 - 7 sind die aus Input und Berechnungsergebnissen ermittelten Bilanzierungsbeträge der Teilbereiche, unterschieden nach Art der Zu- und Abflüsse, angeführt. Die Auflistung erfolgt getrennt nach Zuflüssen (+) und Abflüssen (-). Bei der Bilanzierung der Zu- und Abflüsse infolge kommunizierender Oberflächengewässer können in einer Zeile sowohl positive als auch negative Werte auftreten, da jede Zone sowohl Knoten mit Zufluß als auch Knoten mit Abfluß enthalten kann. In Tab. 7.8 werden die Teilsummen zusammengefaßt.

Tab. 7.2: Bilanzierung Randzuflüsse, 87/87.

EZG-Nr.	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
29	Afram	0.606	-	27.8	-
30	Gerbersd.-Landegg	0.519	-	23.9	-
21	Gabersd.-St. Veit	0.908	-	41.7	-
22	St. Veit-Seibersd.	0.674	-	31.0	-
6	Georgenberg	0.375	-	17.2	-
8	Wurzingbach	0.265	-	12.2	-
9	Stiefing	0.575	-	26.4	-
15	Haslachbach	0.133	-	6.1	-
99	Stiefing Versickerung	0.363	-	16.7	-
Σ		4.418		202.9	

Tab. 7.3: Bilanzierung Aubäche, 87/87.

EZG-Nr.	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
11	Auenhofbach	-	1.018	-	46.7
12	Haslachbach	-	1.967	-	90.3
23	Hasenbach	-	1.743	-	80.0
24	Kleinwagnabach	-	0.893	-	41.0
25	Sulmau	-	0.659	-	30.3
Σ		-	6.278	-	288.4

Tab. 7.4: Bilanzierung Grundwasserneubildung, 87/87.

Zone	Code	Bodenklasse	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
8	05b	1	9.832	-	451.6	-
4	03c	2	11.950	-	548.8	-
7	03x	2b	0.320	-	14.7	-
5	08	3	3.250	-	149.3	-
6	07f	4	1.149	-	52.8	-
9	07x	4b	0.245	-	11.3	-
2	nnn	-	1.033	-	47.4	-
Σ			27.779		1275.9	

Tab. 7.5: Bilanzierung Zu- und Abflüsse Oberflächengewässer 87/87.

Zone	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
11	Mur	0.616	0.515	28.3	23.6
12	Mur	1.391	0.457	63.9	21.0
13	Mur	1.873	3.943	86.0	181.1
14	Mur	0.171	2.328	7.9	106.9
15	Mur	0.135	0.590	6.2	27.1
16	Mur	0.385	2.565	17.7	117.8
21	Laßnitz	0.705	2.700	32.4	124.0
22	Sulm	0.502	2.936	23.1	134.9
31	Mühlgang	0.006	0.779	0.3	35.8
32	Mühlgang	0.616	0.590	28.3	27.1
33	Mühlgang	0.689	3.802	31.6	174.6
41	Wildon	0.036	1.178	1.6	8.2
42	Oberschwarza	0.004	0.950	0.2	43.7
Σ		7.129	22.333	327.4	1025.7

Tab. 7.6: Bilanzierung Entnahmen Trink- und Nutzwasser, 87/87.

Zone	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
1	nordöstl. LF	-	0.377	-	17.3
2	westl. LF	-	1.681	-	77.2
3	südöstl. LF	-	0.350	-	16.1
Σ		-	2.407	-	110.6

Tab. 7.7: Bilanzierung konstante Zu- und Abflüsse, 87/87.

Zone	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio m ³	+ l/s	- l/s
-	Spielfeld B.-graben		3.145	-	100.0
-	Quellen Lang	-	0.252	-	8.0
-	Stadt Leibnitz	-	0.755	-	24.0
	Σ	-	4.152	-	132.0

Tab. 7.8: Bilanzierung der Teilsummen, 87/87.

Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
Randzuflüsse	4.418	-	202.9	-
Aubäche -	6.278	-	288.4	-
Grundwasserneubildung	27.779	-	1275.9	-
Zu-, Abflüsse, Oberfl.gew.	7.129	22.333	327.4	1025.7
Trink- und Nutzwasser	-	2.407	-	110.6
konstante Zu-, Abflüsse	-	4.152	-	132.0
Σ	39.326	35.170	1806.2	1556.7
Änderung GW-Volumen	-	2.920	-	134.1
$\Sigma\Sigma$	39.326	38.090	1806.2	1690.8

Zu Beginn der Simulationsperiode beträgt das Grundwasservolumen 46.7 Mio. m³. Das Maximum ist 55.7 Mio. m³. Am Ende der Simulation beträgt es 49.6 Mio. m³ und ist damit um 2.9 Mio. m³ höher als der Startwert. Aus Abb. 7.1 ist die Ganglinie des aus der Simulation berechneten Grundwasservolumens sowie jenes mit konstantem Speicherkoeffizienten $S = 0.20$ berechnete Grundwasservolumen ersichtlich.

Aus Tab. 7.8 ist zu erkennen, daß die Summe der Zuflüsse mit 39.3 Mio. m³ im Vergleich zum Betrag des Grundwasservolumens relativ hoch ist. Dieser Wert entspricht etwa 75 % des mittleren Grundwasservolumens dieser Simulationsperiode mit 52.8 Mio. m³ und stimmt mit dem Wert der Simulationsperiode 84/85 (Kap. 7.1.2.) gut überein. Infolge der um etwa 100 Tage kürzeren Simulationsdauer sind die Angaben der Flüsse in l/s entsprechend höher. Der mittlere Zufluß in das Grundwassersystem beträgt demnach 1800 l/s, als Abfluß wird ein Wert von 1700 l/s ermittelt. Der Bilanzfehler beträgt demnach etwa 5 %. Diese Differenz ist auf eine etwas unterschiedliche Diskretisierung von Modell und Bilanz zurückzuführen.

Weiters ist zu erkennen, daß auf Seite der Zuflüsse die Grundwasserneubildung mit etwa 28 Mio. m³ den größten Anteil (71 %) aufweist, gefolgt von den Interaktionen mit den kommunizierenden Oberflächengewässern (18 %). Dieser Wert ist jedoch unter dem Aspekt zu sehen, daß bei kurzzeitigen hohen Wasserständen der Vorfluter die Zuflußraten ebenfalls kurzzeitig hohe Werte (Anhang G) annehmen können, die jedoch durch darauf folgende

höhere Exfiltrationsraten kompensiert werden. Die Randzuflüsse machen mit 4.4 Mio. m³ etwa 11 % aus. Bei den Abflüssen weist die Vorflutfunktion der Oberflächengewässer mit 32.8 Mio. m³ bzw. 93 % den größten Anteil auf. Die Entnahmen von Trink- und Nutzwasser durch die Wasserversorgungsanlagen betragen somit 7 % der Gesamtabflüsse.

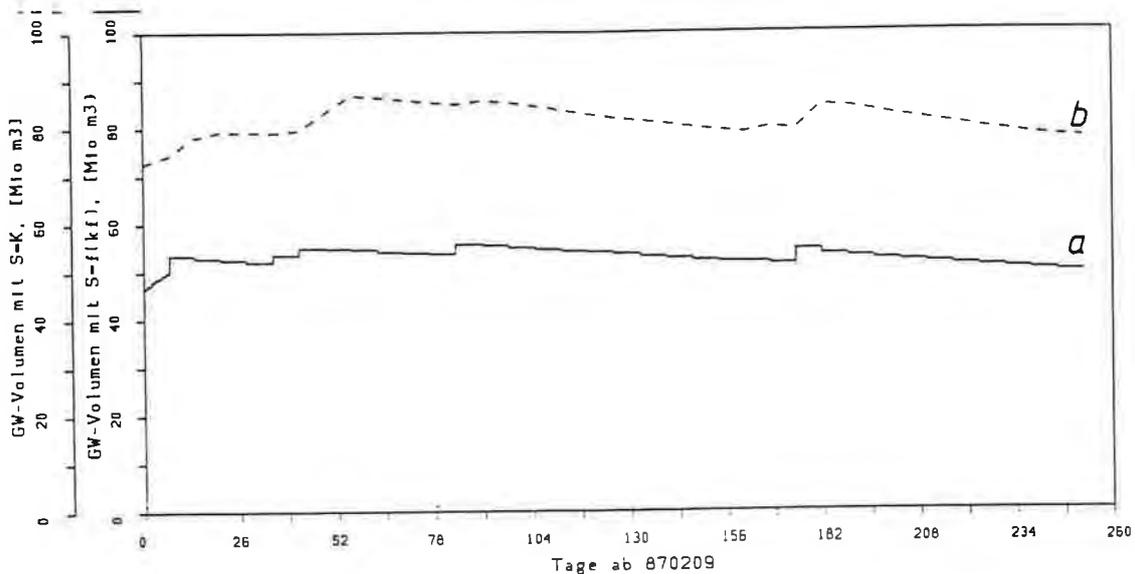


Abb. 7.1: Grundwasservolumen 87/87.
 (a) instationäre Simulation, $S = f(k_f)$, siehe Kap. 6.5.;
 (b) Auswertung der Daten, $S = 0.20$, siehe Kap. 3.4..

7.1.2. Bilanzierung der Simulationsperioden 84/85

Die folgenden Tab. 7.9 - 14 enthalten die ermittelten Bilanzgrößen des Inputs bzw. der Berechnungsergebnisse der Simulationsperiode 84/85.

Tab. 7.9: Bilanzierung Randzuflüsse, 84/85.

EZG-Nr.	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio m ³	+ l/s	- l/s
29	Afram	0.518	-	16.5	-
30	Gerbersd.-Landegg	0.444	-	14.1	-
21	Gabersd.-St. Veit	1.295	-	41.2	-
22	St. Veit-Seibersd.	0.964	-	30.7	-
6	Georgenberg	0.321	-	10.2	-
8	Wurzingbach	0.378	-	12.0	-
9	Stiefing	0.819	-	26.0	-
15	Haslachbach	0.189	-	6.0	-
Σ		4.928	-	156.7	-

Tab. 7.10: Bilanzierung Aubäche, 84/85.

EZG-Nr.	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
11	Auenhofbach	-	1.127	-	35.8
12	Haslachbach	-	2.291	-	72.8
23	Hasenbach	-	1.979	-	62.9
24	Kleinwagnabach	-	1.582	-	50.3
25	Sulmau	-	0.833	-	26.5
Σ		-	7.811	-	248.4

Tab. 7.11: Bilanzierung Grundwasserneubildung, 84/85.

Zone	Code	Bodenklasse	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
8	05b	1	8.130	-	255.7	-
4	03c	2	10.254	-	322.5	-
7	03x	2b	0.273	-	8.6	-
5	08	3	3.830	-	120.4	-
6	07x	4b	0.509	-	16.0	-
2	nnn	-	1.203	-	37.8	-
Σ			24.199	-	761.0	-

Tab. 7.12: Bilanzierung Zu- und Abflüsse Oberflächengewässer, 84/85.

Zone	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
11	Mur	0.539	0.508	17.2	16.2
12	Mur	0.629	0.501	20.0	15.9
13	Mur	2.695	5.179	85.7	164.7
14	Mur	0.171	2.394	5.5	76.1
15	Mur	0.153	0.600	4.9	19.1
16	Mur	0.489	3.340	15.6	106.2
21	Laßnitz	0.559	2.696	17.8	85.7
22	Sulm	0.234	2.720	7.4	86.5
31	Mühlgang	0.294	0.409	9.3	13.0
32	Mühlgang	1.170	0.561	37.2	17.8
33	Mühlgang	1.131	4.638	36.0	147.5
41	Wildon	0.131	0.099	4.2	3.2
42	Oberschwarza	0.050	0.866	1.6	27.5
Σ		8.246	24.512	262.2	779.4

Tab. 7.13: Bilanzierung Entnahmen Trink- und Nutzwasser, 84/85.

Zone	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
1	nordöstl. LF	-	0.813	-	25.8
2	westl. LF	-	1.350	-	42.9
3	südöstl. LF	-	0.411	-	13.1
Σ		-	2.573	-	81.8

Tab. 7.14: Bilanzierung konstante Zu- und Abflüsse, 84/85.

Zone	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
-	Spielfeld B.-graben	-	3.145	-	100.0
-	Quellen Lang	-	0.252	-	8.0
-	Stadt Leibnitz	-	0.755	-	24.0
Σ		-	4.152	-	132.0

Tab. 7.15: Bilanzierung der Teilsummen, 84/85.

Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
Randzuflüsse	4.928	-	156.7	-
Aubäche	-	7.811	-	248.4
Grundwasserneubildung	24.199	-	761.0	-
Zu-, Abflüsse Oberfl.gew.	8.246	24.512	262.2	779.4
Trink- und Nutzwasser	-	2.573	-	81.8
konstante Zu-, Abflüsse	-	4.152	-	132.0
Σ	37.373	39.048	1179.9	1241.6
Anderung GW-Volumen	1.256	-	39.9	-
ΣΣ	38.629	39.048	1219.8	1241.6

Das Grundwasservolumen am Ende der Simulationsperiode (Tab. 7.15) ist nur um etwa 1.3 Mio. m³ geringer als zu Beginn der Simulation. Die Abflüsse aus dem Grundwasserkörper haben daher dieselbe Größenordnung wie die Zuflüsse und betragen 39.0 Mio. m³ bzw. 38.7 Mio. m³. Der Grundwasserumsatz beträgt somit etwa 1220 l/s im Mittel, bei einem Bilanzfehler von weniger als 2 %.

7.1.3. Bilanzierung der Simulationsperiode 89/90

Die Tab. 7.16 - 21 enthalten die Bilanzbeträge der einzelnen Teilbereiche für die unterschiedlichen Inputangaben und die Berechnungsergebnisse.

Tab. 7.16: Bilanzierung Randzuflüsse, 89/90.

EZG-Nr.	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
29	Afram	0.542	-	20.3	-
30	Gerbersd.-Landegg	0.464	-	17.4	-
21	Gabersd.-St. Veit	1.004	-	37.7	-
22	St. Veit-Seibersd.	0.745	-	28.0	-
6	Georgenberg	0.335	-	12.6	-
8	Wurzingbach	0.293	-	11.0	-
9	Stiefing	0.635	-	23.9	-
15	Haslachbach	0.147	-	5.5	-
99	Stiefing Versickerung	0.411	-	15.5	-
Σ		4.577		172.1	

Tab. 7.17: Bilanzierung Aubäche, 89/90.

EZG-Nr.	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
11	Auenhofbach	-	0.885	-	33.3
12	Haslachbach	-	2.315	-	87.0
23	Hasenbach	-	1.979	-	74.3
24	Kleinwagnabach	-	1.229	-	46.2
25	Sulmau	-	0.641	-	24.1
Σ		-	7.049	-	264.9

Tab. 7.18: Bilanzierung Grundwasserneubildung, 89/90.

Zone	Code	Bodenklasse	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
8	05b	1	8.872	-	333.4	-
4	03c	2	10.771	-	404.8	-
7	03x	2b	0.290	-	10.9	-
5	08	3	2.945	-	110.7	-
6	07f	4	0.948	-	35.6	-
9	07x	4b	0.204	-	7.7	-
2	nnn	-	1.226	-	46.1	-
Σ			25.256		949.2	

Tab. 7.19: Bilanzierung Zu- und Abflüsse Oberflächengewässer 89/90.

Zone	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
11	Mur	0.284	0.231	10.7	8.7
12	Mur	1.567	0.480	58.9	18.0
13	Mur	2.227	4.507	83.7	169.3
14	Mur	0.007	2.526	0.3	94.9
15	Mur	0.046	0.549	1.7	20.6
16	Mur	0.349	2.924	13.1	109.9
21	Laßnitz	0.320	2.242	12.0	84.3
22	Sulm	0.002	2.371	0.1	89.1
31	Mühlgang	0.075	0.611	2.8	23.0
32	Mühlgang	0.936	0.451	35.2	17.0
33	Mühlgang	0.891	4.301	33.5	161.6
41	Wildon	0.080	0.179	3.0	6.7
42	Oberschwarza	0.034	0.936	1.3	35.2
Σ		6.817	22.306	256.2	838.2

Tab. 7.20: Bilanzierung Entnahmen Trink- und Nutzwasser, 89/90.

Zone	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
1	nordöstl. LF	-	0.528	-	19.8
2	westl. LF	-	1.912	-	71.8
3	südöstl. LF	-	0.454	-	17.1
Σ		-	2.893	-	108.7

Tab. 7.21: Bilanzierung konstante Zu- und Abflüsse, 89/90.

Zone	Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
-	Spielfeld B.-graben		3.145	-	100.0
-	Quellen Lang	-	0.252	-	8.0
-	Stadt Leibnitz	-	0.755	-	24.0
	Σ	-	4.152	-	132.0

Tab. 7.22: Bilanzierung der Teilsommen, 89/90.

Bezeichnung	+ Mio. m ³	- Mio. m ³	+ l/s	- l/s
Randzuflüsse	4.577	-	172.1	-
Aubäche	-	7.049	-	264.9
Grundwasserneubildung	25.256	-	949.2	-
Zu-, Abflüsse Oberfl.gew.	6.817	22.306	256.2	838.27
Trink- und Nutzwasser	-	2.893	-	108.7
konstante Zu-, Abflüsse	-	4.152	-	132.0
Σ	36.650	36.400	1377.5	1343.8
Anderung GW-Volumen	-	0.600	-	22.5
ΣΣ	36.650	35.800	1377.5	1321.3

Der Ausgangswert des Grundwasservolumens bei Simulationsbeginn beträgt 47.8 Mio. m³. Das Maximum erreicht 53.3 Mio. m³. Am Ende der Simulation geht das Grundwasservolumen auf 48.4 Mio. m³ zurück und erreicht somit etwa seinen Ausgangswert.

Die Tab. 7.22 zeigt die Zusammenfassung der Teilsommen der Bilanz für die Simulationsperiode 89/90. Die Summe der Zuflüsse in den Grundwasserkörper ist mit 36.7 Mio. m³ etwas geringer als bei den beiden anderen Simulationen. Trotzdem ist der Anteil, verglichen mit dem Gesamtvolumen (Mittelwert der Simulationsperiode 89/90, 50.6 Mio. m³), mit 73 % unverändert hoch. Der größte Teil der Zuflüsse ist wieder auf die Grundwasserneubildung mit 25.3 Mio. m³ beziehungsweise 69 % zurückzuführen. Die Randzuflüsse machen etwa 12 % aus, die Interaktion mit Oberflächengewässern ergibt einen Zuflußanteil von 19 %. Bei den Abflüssen haben wieder die Vorfluter mit einem Betrag von 33.5 Mio. m³ den größten Anteil (92 %). Die anthropogenen Entnahmen sind mit 8 % viel geringer.

7.2. Analyse der Grundwasserströmung

Die Grundlage für die Untersuchung der Strömungsverhältnisse im Leibnitzer Feld sind die Ergebnisse des numerischen Grundwassermodells. Für die in diesem Kapitel folgenden Untersuchungen sind dies Richtung und Betrag des Geschwindigkeitsfeldes der Abstandsgeschwindigkeit, die für jeden Zeitschritt ermittelt werden.

Zum besseren Verständnis werden die in diesem Zusammenhang bedeutenden Begriffe der Hydrodynamik, nämlich Stromlinie, Bahnlinie und Streichlinie angeführt.

Stromlinie: Die Stromlinie gibt in jedem Punkt mit ihrer Tangente die Richtung des dortigen Geschwindigkeitsvektors zu einem bestimmten Zeitpunkt an. Die Vektoren des berechneten Vektorfeldes der Abstandsgeschwindigkeit sind daher Tangenten der Stromlinien, die durch den jeweiligen Mittelpunkt eines Modellelementes gehen. Diese Vektoren ändern sich bei instationären Verhältnissen mit der Zeit.

Bahnlinie (Strompfad): Die Bahnlinie ist der von einem Flüssigkeitsteilchen tatsächlich zurückgelegte Weg. Ist die Strömung stationär, entspricht die Bahnlinie der Stromlinie des Ausgangspunktes. Bei instationärer Strömung ergibt sich jedoch die Bahnlinie als Summe der Bewegungen im instationären Feld der Stromlinien.

Streichlinie: Die Streichlinie verbindet die Bahnpunkte zu einem bestimmten Zeitpunkt. Es handelt sich um eine Momentaufnahme der Flüssigkeitsteilchen, die von einem bestimmten Punkt ausgegangen oder durch einen bestimmten Punkt durchgegangen sind.

Der Vektor der Abstandsgeschwindigkeit wird für jeden Elementmittelpunkt als Mittel der vier Eckknoten ermittelt. Er ist durch Betrag und Richtung bestimmt, wobei der Richtungswinkel, ausgehend von der geographischen Nordrichtung, im Uhrzeigersinn positiv von 0 bis 180° und gegen den Uhrzeigersinn negativ von -180° bis -0° angegeben wird.

In Karte 7.1 ist das Vektorfeld der Abstandsgeschwindigkeit zum Datum 26.7.1987, ermittelt aus Simulationsperiode 87/87, dargestellt. Die Größe des Vektors ist linear proportional zum Betrag der Abstandsgeschwindigkeit. In Tab. 7.23 sind Mittelwerte, Extremwerte und Varianzen der Abstandsgeschwindigkeiten für die vier Vergleichszeitpunkte dieser Simulation angeführt. Es zeigt sich, daß die Unterschiede dieser Parameter relativ gering sind. Der Unterschied in den Mittelwerten beträgt maximal $1,3 \times 10^{-6}$ m/s, was einem Wert von 0.11 m/Tag entspricht.

Tab. 7.23: Mittelwerte und Varianz der Abstandsgeschwindigkeit.

Datum	Tage	Mittel [m/d]	Mittel [m/s]	Minimum [m/s]	Maximum [m/s]	Varianz [(m/s) ²]
870504	84	5.5	6.36×10^{-5}	8.60×10^{-7}	4.86×10^{-4}	2.16×10^{-9}
870727	168	5.4	6.28×10^{-5}	9.8×10^{-7}	4.16×10^{-4}	2.10×10^{-9}
870810	182	5.4	6.23×10^{-5}	9.83×10^{-7}	4.11×10^{-4}	2.08×10^{-9}
871019	252	5.4	6.25×10^{-5}	10.05×10^{-7}	4.16×10^{-4}	2.18×10^{-9}

Auch die Vektorfelder unterscheiden sich zu den verschiedenen Zeitpunkten nur in Detailbereichen, so vor allem im Einflußbereich der Vorfluter. Die Grundwasserströmung läßt sich daher folgendermaßen charakterisieren: Im nordöstlichen Leibnitzer Feld ist, ausgehend von der Mureng bei Wildon, eine Strömung parallel zur Mur zu erkennen. Die durch die Knoten 1 bis 3 gebildete nordwestliche Berandung (Anschluß Grazer Feld) ist durch eine Zuströmung von der Mur und aus dem Tal des Wurzingbaches so stark überlagert, daß der Zufluß über den Rand selbst sehr gering ist. In Summe ist dieser Randeffect für das Grundwassermodell jedoch nur von untergeordneter Bedeutung. Durch die Aufweitung des nordöstlichen Leibnitzer Feldes kommt es zu einer Aufweitung des Strömungsfeldes in Richtung des nördlichen Randes. Im Bereich des Stiefingbaches ist die nächste konzentrierte Zuströmung zu erkennen. Durch die Vorflutwirkung von Auenhofbach und Haslachbach kommt es zu einer Konzentration der Vektoren in diesen Bereichen. Die Strömung wird in süd- bis südöstliche Richtung abgelenkt. Diese Ablenkung ist vor allem am Haslachbach zu erkennen. Im Bereich der Au zwischen Mur und Weissenegger Mühlgang überwiegt die murparallele Strömung, wobei der Stauwurzelbereich des Kraftwerkes Gralla das Grundwasser dotiert, während der Unterwasserbereich dieses Kraftwerkes als Vorflut für das gesamte Gebiet dient, wie aus den Vektoren deutlich zum Ausdruck kommt. Die deutlichen Vektoren zum Mühlgang zeigen auch dessen Vorflutwirkung an. Der große Vektor im Element 265 ist auf einen im Modell gegebenen Kurzschluß zwischen den Randbedingungen von Mur und Mühlgang zurückzuführen. Das Auftreten dieser hohen Abstandsgeschwindigkeiten in diesem Bereich erscheint jedoch auch aufgrund der plötzlichen Verengung, die den Abschluß des Aubereiches bildet, durchaus möglich. Sehr hohe Abstandsgeschwindigkeiten sind auch noch bei den Elementen 317 und 318 zu sehen, deren südliche Randknoten 367 und 368 mit den Spiegellagen des Unterwassers des Kleinwasserkraftwerkes am Mühlgang als Randbedingungen festgehalten werden. Im westlichen Leibnitzer Feld ist eine im zentralen Bereich zur Erstreckung des Feldes parallele Strömung zu erkennen. Im Bereich der Stauwurzel des Kraftwerkes Gralla kommt es zu einer konzentrierten Zuströmung in südliche Richtung mit etwa zwei- bis dreimal so großen Beträgen wie im zentralen Bereich. Im Nahbereich des Stausees von Gralla wird die Strömung wieder parallel zur Mur abgelenkt, und die Vektoren zeigen schließlich wieder in das Unterwasser. Im Bereich der Schottergruben werden infolge der hohen Speicherkoeffizienten, wodurch implizit die Wirkung der Schottergruben als Wasserspeicher berücksichtigt wird, geringe Abstandsgeschwindigkeiten ausgewiesen. Da diese Werte aufgrund einer räumlichen Interpolation zustande kommen, sind diese nur schwer mit gemessenen Werten vergleichbar. Allerdings entsprechen diese geringen Abstandsgeschwindigkeiten doch auch der Erwartung, da das Potentialgefälle in diesem Bereich sehr gering ist. Die Laßnitz und im südlichen Teil die Sulm wirken als Vorflut für

das Grundwasserfeld. Im nördlichen Teil des westlichen Leibnitzer Felds, etwa im Bereich der Stadt Leibnitz, werden die Vektoren der Abstandsgeschwindigkeit zum größten Teil in südwestliche Richtung zur Sulm hin abgelenkt, die in diesem Bereich die größte Vorflutwirkung aufweist. Durch die angesetzten Entnahmen des Kleinwagnabaches und der Au am Sulmspitz (Sulmau) bei der Mündung in die Mur werden die Strömungsvektoren lokal deutlich beeinflusst. Im westlichen Teil des südöstlichen Leibnitzer Feldes verläuft die Strömung in südöstliche Richtung. Im Bereich des Murknicks werden die Vektoren von der jeweiligen Situation der Mur beeinflusst, nördlich davon, im Bereich des Kraftwerks von Untervogau, verläuft die Strömung zuerst parallel zur Mur, um dann in das Unterwasser zu zeigen. Im östlichen Teil bewirken die angesetzten Entnahmen durch den Begleitgraben Spielfeld eine deutliche Zuströmung. Die größten Geschwindigkeiten treten im Unterwasserbereich des Kraftwerks Spielfeld auf. Der östliche Rand ist durch eine deutliche Abströmung gekennzeichnet.

In Tabelle 7.24 wird die Häufigkeitsverteilung der angegebenen Klassen der Geschwindigkeitsbeträge dargestellt.

Tab. 7.24: Häufigkeitsverteilung der Beträge der Abstandsgeschwindigkeit 87/87.

Klasse		Anzahl der Elemente nach Tagen			
von [m/s]	bis [m/s]	84	168	182	252
	5×10^{-5}	6	5	6	6
5×10^{-5}	1×10^{-5}	7	11	10	12
1×10^{-5}	2×10^{-5}	32	37	38	43
2×10^{-5}	4×10^{-5}	108	113	114	108
4×10^{-5}	6×10^{-5}	129	125	126	126
6×10^{-5}	8×10^{-5}	106	98	92	91
8×10^{-5}	10×10^{-5}	53	52	58	54
10×10^{-5}	12×10^{-5}	39	37	34	40
12×10^{-5}	14×10^{-5}	13	13	14	11
14×10^{-5}	14×10^{-5}	21	23	22	23

Um die Veränderungen etwas besser zu erkennen, werden in Karte 7.2 die Veränderungen der Beträge sowie der Richtungswinkel der Abstandsgeschwindigkeit von einem zum anderen Vergleichsdatum in flächigen Darstellungen gezeigt:

$$\Delta \text{Betrag}_{168} = \text{Betrag}_{168} - \text{Betrag}_{84}$$

$$\Delta \text{Richtung}_{168} = \text{Richtung}_{168} - \text{Richtung}_{84}$$

Aus den Bildern nach 84 Tagen (erste Spalte), die die Veränderungen zur Startspiegellage darstellen, sind in allen Bereichen Veränderungen zu erkennen. Diese sind jedoch nicht nur hydrologisch durch den Anstieg der Grundwasserspiegellage zu erklären, sondern auch auf die Interpolation der Startspiegellage und damit verbundene Fehler zurückzuführen. Die starke Richtungsänderung etwa im Staubereich von Spielfeld ist auf die Randbedingungen zurückzuführen, nach der in diesem Bereich weder Zuflüsse noch Abflüsse möglich sind, so daß sich die Strömungsrichtung parallel zur Mur ausbildet. Die Veränderungen im Bereich der Oberflächengewässer sowie der Ränder scheinen dagegen hydrologisch bedingt zu sein. Nach 168 Tagen, also nach dem Absinken des Grundwasserspiegels, ergibt sich folgendes Bild: Im nordöstlichen Leibnitzer Feld geht der Betrag der Abstandsgeschwindigkeit in allen Randbereichen infolge der geringeren Randzuströmung zurück. Die Richtung zeigt im gesamten Bereich eine Veränderung gegen den Uhrzeigersinn, also Richtung E. Im Zustrombereich zu kommunizierendem Oberflächengewässer ist hingegen noch eine erhöhte Abstandsgeschwindigkeit zu erkennen, die auf die Vorflutwirkung zurückgeführt wird. Dies ist besonders im Unterwasser des Kraftwerks Gralla zu erkennen. Auch die Veränderung der Richtungswinkel zum Vorfluter, also links- und rechtsufrig unterschiedliches Vorzeichen, weist darauf hin. Im Bereich des westlichen Leibnitzer Feldes sind nur geringe Veränderungen zu erkennen, die wiederum vor allem die Randzonen betreffen. Im südöstlichen Leibnitzer Feld kommt es sowohl im zentralen Bereich als auch im Unterwasserbereich des Kraftwerks Vogau zur Ablenkung der Fließrichtung im Uhrzeigersinn. Die Darstellungen der Veränderungen nach der zweiten Aufspiegelung (nach 182 Tagen) zeigen in großen Bereichen kaum Unterschiede. Nur im Bereich der Stiefing kommt es aufgrund der angenommenen Exfiltration aus dem Bachbett zu einer Störung.

Die beiden Serien zeigen deutlich, daß die Abstandsgeschwindigkeit je nach Lage zum Vorfluter und zu den Rändern zeitlichen Veränderungen unterschiedlichen Ausmaßes unterliegt. Als Maß dafür werden die Varianzen der berechneten Zeitreihen von Betrag und Richtung in Form von Karten dargestellt. Karte 7.3 zeigt die Varianzen der berechneten Beträge der Abstandsgeschwindigkeit für die Simulation 87/87. Höhere Varianzen treten demnach in Bereichen mit schwankenden Randzuflüssen auf; etwa im nordöstlichen Leibnitzer Feld der nördliche Rand bei Afram und bei der Stiefing, im westlichen Leibnitzer Feld der Abhang des Buchkogels sowie überall dort, wo schwankende Wasserspiegel von Oberflächengewässern als Randbedingungen für das Grundwassermodell angegeben werden. Im Umfeld der Aubäche, deren Abflüsse im Grundwassermodell ebenfalls instationär angegeben werden, etwa Haslachbach, Hasenbach und Auenhofbach, sind die Varianzen ebenfalls erhöht. Im

Bereich der Helfersdorfer Terrasse, im zentralen westlichen und südöstlichen Leibnitzer Feld ist die Varianz der Beträge der Abstandsgeschwindigkeit geringer. Nur im südlichen Teil des westlichen Leibnitzer Feldes, im Bereich der Entnahmen vor Kainach, Lebring und Wagna ist die Varianz deutlich größer als im Umfeld. In Karte 7.4 sind die Varianzen der Richtungswinkel der Abstandsgeschwindigkeit für die Simulationsperiode 87/87 dargestellt. Die Verteilung der Varianzen ist jenen der Beträge sehr ähnlich. Randbereiche, deren Zuflüsse als Input angegeben werden, sowie Bereiche bei Oberflächengewässern, die als Randbedingungen definiert werden, weisen höhere Varianzen auf, während die zentralen Bereiche durch geringere Varianzen gekennzeichnet sind. Dennoch sind im Detail Unterschiede zu erkennen. So sind beidseits des Stauraumes von Gralla die Varianzen der Richtungen eher gering, während jene der Beträge eher größer ist. Der zentrale Bereich des westlichen Leibnitzer Feldes mit geringen Richtungsvarianzen ist deutlicher ausgebildet als jener der Varianzen der Beträge. So sind gerade im Einzugsbereich der Brunnen von Kaindorf die Varianzen der Richtungen einheitlich gering, während jene der Beträge lokal höhere Werte annehmen.

Um eine weitere Vorstellung über die Veränderungen der Abstandsgeschwindigkeit und somit über einen Aspekt der Dynamik des Grundwassers zu erhalten, werden im Anhang H für ausgewählte Elemente die berechneten Ganglinien der Simulation 87/87 von Abstandsgeschwindigkeit und Richtungswinkel dargestellt. Es wurden Elemente ausgewählt, deren Eckpunkte bereits zur Darstellung der Vergleichsganglinien der Grundwasserspiegellagen verwendet worden waren. Die Lage der ausgewählten Elemente ergibt sich aus Karte 4.1.

Die Ganglinien der Elemente 11, 13 und 23 weisen eine ähnliche Charakteristik auf, mit Schwankungen der Abstandsgeschwindigkeit von etwa 1 m/Tag, die als Reaktion auf Randzuflüsse oder Grundwasserneubildung gewertet werden können. Element 39 zeigt sowohl im Betrag als auch im Richtungswinkel deutlich die Auswirkung der Exfiltration von der Stiefing auf. Es kommt zu einer Ablenkung der Strömungsrichtung um etwa 40 - 50° und zu einer schlagartigen Erhöhung der Fließgeschwindigkeit auf das Zwei- bis Dreifache des ursprünglichen Wertes. Element 52 zeigt diese Spitzen in den Beträgen nur mehr in sehr gedämpfter Form. Element 87 weist aufgrund der geringen Durchlässigkeiten des Aquifers und der relativ konstanten Verhältnisse sehr ausgeglichene Ganglinien auf. Die Ganglinien des Elementes 91 scheinen stärker von der Grundwasserneubildung beeinflusst. Der aufgrund der Startbedingungen ermittelte Werte der Abstandsgeschwindigkeit erhöht sich mit zunehmender Simulationsdauer um etwa 2 m/Tag. Element 112 erscheint wieder mehr von den Randzuflüssen beeinflusst. Die Ganglinien von Element 120 hingegen lassen sich gut mit der

Ganglinie des Murpegels in Beziehung setzen. Element 182 zeigt in der Reaktion der Abstandsgeschwindigkeit eine gute Reaktion auf die Niederschläge. Element 229 liegt im Einzugsbereich des Unterwasserbereiches des Kraftwerks Gralla und zeigt daher deutliche Reaktionen auf die Schwankungen des Mürwasserspiegels. Die Elemente 239, 271, 321, 326, 333 und 365 hingegen unterliegen im zentralen Bereich des westlichen Leibnitzer Feldes nur geringen Schwankungen in Richtungswinkel und Abstandsgeschwindigkeit. Das gleiche gilt, wenn auch im geringem Maß, für die ausgewählten Elemente im südöstlichen Leibnitzer Feld. In Tab. 7.25 sind Mittelwerte, Extremwerte und Varianzen von Abstandsgeschwindigkeit und Richtungswinkel der ausgewählten Elemente für die Simulationsperiode 87/87 angeführt.

Tab. 7.25: Mittelwerte, Extremwerte und Varianzen der Abstandsgeschwindigkeit 87/87.

Elementnr.	Betrag				Richtung			
	Mittel [m/d]	Minimum [m/d]	Maximum [m/d]	Varianz [(m/d) ²]	Mittel [°]	Minimum [°]	Maximum [°]	Varianz [(°) ²]
11	3.13	2.62	3.76	0.11	146.7	128.5	170.7	79.9
13	3.50	2.37	6.40	0.73	133.2	119.1	177.7	203.9
23	3.86	2.78	5.38	0.77	163.8	153.8	178.5	47.8
39	5.38	4.20	12.84	2.07	-169.5	-184.6	-131.3	115.7
52	4.81	2.29	6.72	1.16	176.1	161.0	186.4	53.5
87	2.16	2.10	2.21	0.00	151.3	145.3	155.3	12.9
91	6.71	4.37	7.40	0.87	169.8	153.7	185.4	54.0
112	4.01	3.66	4.56	0.08	-161.8	-166.6	-156.1	11.7
120	11.03	10.16	11.94	0.23	172.5	148.6	180.1	66.1
182	2.87	1.97	4.30	0.47	-179.6	-185.5	-168.4	16.3
229	3.88	1.81	5.59	1.20	80.5	65.3	120.3	219.0
239	6.04	5.82	6.22	0.02	139.8	117.1	146.1	79.0
271	6.47	6.14	6.96	0.06	149.7	147.2	152.1	2.1
279	9.68	9.31	10.40	0.16	-177.0	-179.0	-175.9	1.1
326	2.85	2.73	2.90	0.00	128.8	127.3	131.4	1.5
333	5.82	5.35	6.76	0.16	-163.1	-169.6	-146.1	55.0
365	2.66	2.23	2.97	0.08	178.2	175.2	180.7	1.5
405	2.79	2.32	3.00	0.04	176.6	159.0	188.9	99.3
426	5.68	5.06	8.98	0.98	143.8	122.4	158.7	73.4
429	2.99	2.57	4.86	0.19	155.3	132.1	170.8	54.2
439	5.10	3.65	5.65	0.29	152.4	147.4	155.5	4.8
448	4.15	3.88	4.38	0.02	155.2	151.5	159.6	4.2
481	8.26	7.56	8.83	0.12	152.4	147.8	162.4	11.7

7.3. Fließwege in Detailbereichen

Ziel dieses Kapitels ist es, die Strömungsverhältnisse in Detailbereichen, die den Einzugsbereichen von Brunnen zur Trink- und Nutzwasserversorgung im Leibnitzer Feld entsprechen, näher zu untersuchen. In diesen Bereichen ist es von Interesse zu wissen, aus welchen

Einzugsbereichen das geförderte Grundwasser kommt, um effiziente Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers setzen zu können. Um dies abschätzen zu können, wird folgende Vorgangsweise gewählt: Auf der Basis von Bahnlinien einzelner Punkte, die wie ideale Tracer mit der im Modell berechneten Abstandsgeschwindigkeit weiterbewegt werden, werden Isochronen ermittelt, die die Position der Punkte gleicher Fließzeit verbinden.

Um das zu erreichen, wird auf Höhe des Entnahmebrunnens eine Reihe von etwa 10 Punkten senkrecht zur Fließrichtung im Brunnen gelegt. Diese dienen als Ausgangspunkt für die Rückrechnung der Bahnlinien. Diese Vorgangsweise ist deshalb notwendig, da bei der gewählten Modelldiskretisierung die radiale Fließkomponente im unmittelbaren Nahbereich des Brunnens in den berechneten Vektoren nicht zum Ausdruck kommt. Die Entnahme wirkt sich lediglich in einer Konvergenz der Vektoren der Abstandsgeschwindigkeit aus. Die Ergebnisse dürfen daher nur in Längsrichtung, also eindimensional, interpretiert werden. Die Breite der ermittelten Fläche ergibt sich aus der in dieser Hinsicht willkürlich bestimmten Anordnung der Startpunkte der Berechnung. Die so ermittelten Isochronen werden in einem Intervall von 50 (49 Tage entsprechen sieben Zeitschritten) Tagen angegeben. Die von den Isochronen und den äußersten Bahnlinien eingeschlossenen Flächen werden farblich dargestellt. Zum Beispiel gibt die von der 50- und 100-Tage-Isolinie eingeschlossene Fläche jenen Bereich an, dessen mittlere Fließzeit zum jeweiligen Brunnen (Reihe der Ausgangspunkte) mindestens 50, aber weniger als 100 Tage beträgt. Aussagen über die Transportzeit von etwaigen Schadstoffen sind jedoch aus folgenden Gründen nur beschränkt möglich: Einerseits basieren diese Angaben auf der mittleren Abstandsgeschwindigkeit, die aufgrund von bevorzugten Wegigkeiten im Aquifer deutlich überschritten werden kann, andererseits bleibt bei dieser Berechnung die Dispersion von Schadstoffen völlig unberücksichtigt; sie kann bewirken, daß erste Schadstoffkonzentrationen bereits nach kürzerer Zeit als der mittleren Fließzeit beim Brunnen einlangen können. Diese Faktoren können jedoch nur bei einem Schadstofftransportmodell berücksichtigt werden.

Für die Untersuchung werden die Brunnen Vogau, Kainach, BVI und BX herangezogen. Die Bahnlinien zu den Entnahmestellen werden jeweils für die drei in diesem Bericht behandelten Simulationsperioden ermittelt. Es ist zu beachten, daß durch die unterschiedliche Simulationsdauer die Anzahl der Isoflächen in den Darstellungen variiert. Die Dauer der kürzesten Simulation beträgt 252 Tage, so daß die 250-Tage-Isolinie als Vergleichslinie aller drei Simulationen verwendet werden kann. Zusätzlich werden in den Karten die Siedlungsgebiete in Abhängigkeit vom Entsorgungsstand 1990 (HEIDINGER, 1990) angegeben. Bei den übrigen Flächen handelt es sich größtenteils um landwirtschaftlich genutzte Flächen.

7.3.1. Brunnen Vogau

Während aller drei Simulationsperioden beträgt die Entnahmemenge etwa 16 bis 20 l/s. Die 250-Tag-Isolinien, die bei allen Simulationen noch dargestellt wird, stimmen gut miteinander überein. Bei der Simulationsperiode 87/87 (Karte 7.5a), aber vor allem auch bei der Simulationsperiode 89/90 wirkt sich die Zunahme der Abstandsgeschwindigkeit aufgrund des steil ansteigenden Stauers durch eine zungenförmige Vergrößerung der Einflußfläche aus. Die Mächtigkeit des Aquifers in diesem Bereich ist sehr gering, und die Wasserspiegelschwankung der Station L024, die sich in diesem Bereich befindet, ist groß (NACHTNEBEL & JAWECKI, 1991, Kap. 5.2.). Der Fließweg des zentralen Strompfads zum Brunnen sowie die mittlere Fließgeschwindigkeit sind in Tab. 7.26 dargestellt.

Tab. 7.26: Fließweg und mittlere Fließgeschwindigkeit, Brunnen Vogau.

Simulation	Fließweg [m]	mittlere Fließg. [m/d]	[m/s]
84/85	2406	6.6	7.7×10^{-5}
87/87	1787	7.1	8.2×10^{-5}
89/90	2161	7.0	8.1×10^{-5}

7.3.2. Brunnen Kainach

In diesem Bereich befinden sich in unmittelbarer Nachbarschaft drei Brunnen mit im Mittel 35 l/s Entnahmemenge. Als Ausgangspunkt für die Festlegung der Startpunkte wurde der mittlere Entnahmeschwerpunkt gewichtet nach den Entnahmemengen ermittelt.

In der Simulationsperiode 84/85 ist eine deutliche Verschmälerung des Einzugsbereiches in größerer Entfernung vom Entnahmeschwerpunkt zu erkennen, während in der Nähe die Bahnlinien wiederum konvergent zueinander verlaufen. Die 250-m-Isolinien aller drei Simulationen stimmen wieder gut überein. In der Simulationsperiode 89/90 ist eine größere Ausbauchung nach E zu erkennen, als dies bei den beiden übrigen Simulationen der Fall ist. Das Ergebnis der Simulation 87/87 ist in Karte 7.5b dargestellt. Der Fließweg des zentralen Strompfads sowie die resultierende mittlere Fließgeschwindigkeit über die Dauer der Simulationsperiode ergeben sich aus Tab. 7.27.

Tab. 7.27: Fließweg und mittlere Fließgeschwindigkeit, Brunnen Kainach.

Simulation	Fließweg [m]	mittlere Fließg. [m/d]	[m/s]
84/85	2504	6.9	8.0×10^{-5}
87/87	1885	7.5	8.7×10^{-5}
89/90	2252	7.3	8.5×10^{-5}

7.3.3. Brunnen BVI

Der Brunnen BVI befindet sich im nordöstlichen Leibnitzer Feld. Während aller drei Simulationsperioden war der Brunnen BVI nicht in Betrieb, so daß die ermittelten Bahnlinien und Isoflächen für die unbeeinflusste Grundwasserströmung gelten. Durch seine Lage ist er stärker von den Randbedingungen beeinflusst als die anderen Brunnen. Insbesondere sind dies die Randzuflüsse aus dem Zwischeneinzugsgebiet Afram bis Neudorf sowie der Grundwasserzustrom aus dem Stiefingtal. Zusätzlich wird dieser Bereich noch durch unregelmäßig auftretende Exfiltration aus der Stiefing bei Hochwasser beeinflusst. Die in den verschiedenen Simulationen errechneten Bahnlinien und Einflußflächen überdecken sich daher in geringem Maße als bei den Brunnen Vogau und Kainach. Es zeigt sich, daß die für die Simulationsperiode 84/85 berechneten Bahnlinien am weitesten nach W ziehen, was auf höhere Randzuflüsse aus dem Zwischeneinzugsgebiet Afram bis Neudorf (ZEZG 29) zurückzuführen sein dürfte. Die Bahnlinien der östlichen Startpunkte hingegen streichen zum Stiefingtal ab, was durch den Grundwasserzustrom aus diesem Bereich bewirkt wird. In der Simulationsperiode 87/87 (Karte 7.5c) konzentrieren sich die berechneten Bahnlinien auf den Bereich der Stiefing. Deutlich ist der Einfluß einer angenommenen Exfiltration aus der Stiefing am Knick der Bahnlinien zu erkennen. Die Simulation 89/90 zeigt ebenfalls eine Konzentration der Bahnlinien aus dem Stiefingtal.

Tab. 7.28: Fließweg und mittlere Fließgeschwindigkeit, Brunnen BVI.

Simulation	Fließweg [m]	mittlere Fließg. [m/d]	[m/s]
84/85	1708	4.7	5.4×10^{-5}
87/87	1492	6.3	7.3×10^{-5}
89/90	1571	5.4	6.2×10^{-5}

7.3.4. Brunnen BX

Der Brunnen BX im nordöstlichen Leibnitzer Feld ist ebenfalls in einer Randlage situiert, wird durch die Randbedingungen aber weniger beeinflusst als Brunnen BVI, da die Zuströmung in einem spitzen Winkel vom Rand (Zwischeneinzugsgebiet Gerbersdorf bis Laubegg) erfolgt. Die Entnahmen betragen in der Simulationsperiode 84/85 6.9 l/s, 87/87 6.3 l/s und 89/90 12.8 l/s im Mittel. Wie bereits beim Brunnen BVI, zeigt sich auch hier in der Simulationsperiode 84/85 die größte Ablenkung der Bahnlinien in westlicher Richtung. Die östlichste

Bahnlinie weist im Vergleich zu den übrigen Simulationsperioden eine geringere Abweichung auf. Das Ergebnis für die Simulation 87/87 ist in Karte 7.5c dargestellt sowie in Tab. 7.29 aufgelistet.

Tab. 7.29: Fließweg und mittlere Fließgeschwindigkeit, Brunnen BX.

Simulation	Fließweg [m]	mittlere Fließg. [m/d]	[m/s]
84/85	1600	4.4	5.1×10^{-5}
87/87	1237	4.9	5.7×10^{-5}
89/90	1568	5.1	5.9×10^{-5}

8. INSTATIONÄRE SIMULATION MIT STOFFTRANSPORT

Mit dem zur Verfügung stehenden Modell wird der Transport von Nitrat als gelöste Substanz simuliert. Für die Anwendung am Beispiel des Leibnitzer Feldes ist die Advektion, der Transport mit der Grundwasserströmung, der weitaus dominierende Prozeß. Die Dispersion spielt vor allem für die Modellierung von punktförmigen Grundwasserverunreinigungen eine Rolle. Bei diffusem (flächenförmigem) Eintrag, etwa infolge landwirtschaftlicher Maßnahmen, ist diese gering, da der Einfluß des Inputs (Konzentration der Zuckering) überwiegt.

Die Beschreibung der instationären Simulation erfolgt in Anlehnung an Kap. 6.. Die zusätzlich erforderlichen Randbedingungen, also die Problematik der Konzentrationen der Grundwasserneubildung und der Randzuflüsse sowie Nitratabbau, werden hier beschrieben. Die Ansätze für die Randzuflüsse, die Abflüsse der Auenbäche, die Grundwasserneubildung, die Spiegellagen der Oberflächengewässer und die Entnahmen werden aus Kap. 4. übernommen.

Die zeitliche Diskretisierung mit Zeitschritten von sieben Tagen wird beibehalten.

8.1. Auswahl der Simulationsperiode

Die Simulationsperiode für die instationäre Simulation mit Stofftransport wird mit der Dauerbeobachtungsperiode der Chemiedaten 89/90 festgelegt, da sonst für das Gesamtgebiet kaum flächendeckend Daten zur Nitratkonzentration vorliegen. Sie beginnt damit Ende Juli 1989 und endet Ende Mai 1990. Da dieser Zeitraum durch die Simulationsperiode 89/90 nur teilweise abgedeckt wird, müssen alle erforderlichen Inputdaten für das Grundwassermodell ergänzt werden. In Tab. 8.1 sind die Daten der Simulationsperiode zusammengefaßt.

Tab. 8.1: Simulationsperiode.

EDV-Code	Simulation	Anfangsdatum	Enddatum	Dauer [Tage]
24	89/90_2	24.7.1989	28.5.1990	308

Als Startspiegellage wird die aufgrund der beobachteten Grundwasserstände interpolierte Spiegellage zum Datum 24.7.1989 verwendet. Als Vergleichszeitpunkte für die berechneten Grundwasserspiegel werden die bereits für die Simulationsperiode 89/90 gewählten Zeitpunkte sowie das Enddatum 28.5.1990 verwendet (Tab. 8.2).

Die berechneten Konzentrationen werden zu den in Tab. 8.3 angeführten Zeitpunkten mit den Beobachtungswerten verglichen. Bezüglich der Kartendarstellungen wird auf den ausführlichen 4. Projektsbericht (NACHTNEBEL & JAWECKI, 1992b) verwiesen.

Tab. 8.2: Vergleichszeitpunkte Grundwasserspiegel.

Simulation	lfd. Nummer	Datum	Beobachtungen	Tage
24	0	24.7.1989		0
	1	4.9.1989	252	42
	2	16.10.1989	253	84
	3	5.2.1990	277	196
	4	28.5.1990		308

Tab. 8.3: Vergleichszeitpunkte Nitratkonzentration.

Simulation	lfd. Nummer	Datum	Beobachtungen	Tage
24	0	26.7.1989	41	0
	1	22.8.1989	40	28
	2	21.9.1989	42	56
	3	16.10.1989	43	84
	4	10.1.1990	38	168
	5	4.4.1990	44	252
	6	3.5.1990	45	308

8.2. Randbedingungen für das Transportmodell

Für die Modellierung des Schadstofftransportes im Leibnitzer Feld werden folgende Randbedingungen untersucht:

- Konzentration der Grundwasserneubildung,
- Einfluß der Oberflächengewässer,
- punktförmige Belastungen,
- Konzentration der Randzuflüsse,
- Nitratabbau.

8.2.1. Konzentration der Grundwasserneubildung

Von Beginn an zeigt sich, daß die Schätzung der Konzentrationen der Grundwasserneubildung für die Ergebnisse der Simulation des Stofftransports von größter Bedeutung ist. Dies ergibt sich daraus, daß sich unter der Annahme einer sofortigen völligen Durchmischung, wie dies im Fall des zweidimensionalen Modells angenommen wird, die berechnete Konzentration des Grundwassers zu einem Zeitschritt aus jener des vorigen Zeitschritts und der

Konzentration eines Zuflusses (Randzufluß, Grundwasserneubildung) ergibt. Ist die Konzentration des Zuflusses höher als jene des Grundwassers, ergibt sich somit eine höhere Konzentration; ist die Konzentration des Zuflusses jedoch geringer, ergibt sich eine Verringerung der Konzentration des Grundwassers.

Die Nitratkonzentration des Sickerwassers ist eine Funktion der Zeit und des Ortes:

$$C = C(x,y,t)$$

Für die zeitliche Differenzierung der Nitratkonzentration der Grundwasserneubildung können Meßergebnisse herangezogen werden. Die räumliche Verteilung der Nitratkonzentrationen kann jedoch nur grob geschätzt werden. Die zu einem Zeitpunkt resultierende Nitratbelastung ist schließlich das Produkt aus der Sickerwassermenge und der Konzentration des Sickerwassers.

8.2.1.1. Zeitliche Differenzierung der Nitratkonzentration

Für die Schätzung der Konzentration der Grundwasserneubildung liegen jüngste Ergebnisse von Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Projekt Schutz des Grundwassers in Tal- und Beckenlagen vor. Folgende Teilprojekte sind mit dieser Materie befaßt:

- Teilprojekt 2: Bodenkundliche und sedimentologische Untersuchungen zur Klärung der Grundwasserbelastung mit Stickstoffverbindungen.
- Teilprojekt 3: Erfassung und Beschreibung von Wasser- und Stofftransportvorgängen in der ungesättigten Zone.
- Teilprojekt 8: Wasserbewegung in Lockersedimenten des Leibnitzer Feldes.

Im Teilprojekt 3 (CEPUDER et al., 1991) werden unter anderem die Ergebnisse von Untersuchungen des Bodenwassers dargestellt, wobei zwischen einem tiefgründigen und einem seichtgründigen Standort unterschieden wird. Es zeigt sich, daß beim tiefgründigen Standort bis zu einer Tiefe von einschließlich 105 cm die Nitratkonzentration des Sickerwassers in einem großen Maß variiert, wobei Werte zwischen 10 und 250 mg/l Nitrat erreicht werden. Die großen Unterschiede innerhalb dieser oberflächennahen Zonen sind auf die intermittierende Zufuhr von Stickstoffverbindungen mit dem Niederschlag von der Oberfläche und die Abbauleistung der Mikroorganismen sowie die nachfolgende Aufnahme des Nitrats durch die Pflanzen zurückzuführen. Ab einer Tiefe von 105 cm bewegen sich die Konzentrationen bis in eine Tiefe von 285 cm in einem relativ engen Band von 100 bis 40 mg/l Nitrat. Die geringsten Konzentrationen treten jedoch nicht unbedingt in den tiefsten Bodenschichten auf.

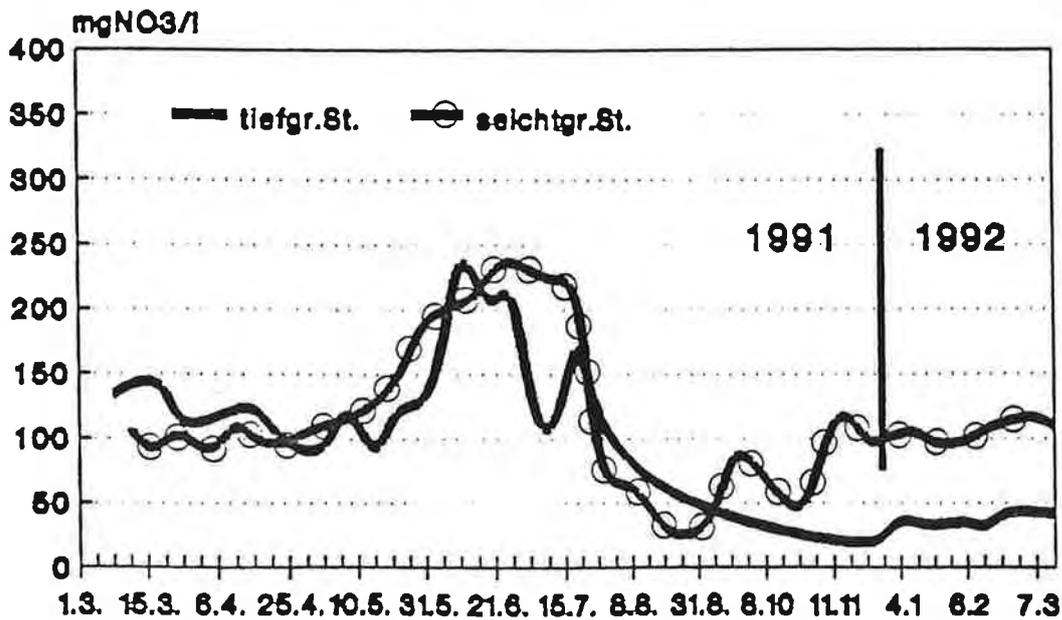


Abb. 8.1: Konzentration des Nitrats in 75 cm Tiefe (CEPUDER et al., 1991).

Beim seichtgründigen Standort variiert die Nitratkonzentration bis in eine Tiefe von 75 cm von 20 bis 240 mg/l (Extremwert 330 mg/l). Ab einer Tiefe von 105 cm bis zu einer Tiefe von 165 cm betragen die Konzentrationen 80 bis 240 mg/l. Unter der Annahme, daß die in 75 cm Tiefe gemessenen Sickerwassermengen kaum mehr von den Pflanzen genutzt werden können, und somit in größeren Tiefen kein nennenswerter Abbau von Nitrat mehr erfolgt, können diese Werte als Anhaltspunkte für die Grundwasserneubildung und deren Konzentration angesehen werden.

In Abb. 8.1 werden die Ganglinien der Konzentrationen des tiefgründigen und seichtgründigen Standorts in einer Tiefe von 75 cm verglichen. Die beobachtete jährliche Sickerwassermenge beträgt 480 bis 530 mm beim tiefgründigen Boden und 500 bis 550 mm beim seichtgründigen Boden. Aus den Sickerwassermengen und den jeweiligen Nitratkonzentrationen wird die Ganglinie der Nitrataustrags ermittelt. Diese ist für den tiefgründigen Boden in Abb. 8.2 dargestellt. Im beobachteten Zeitraum wurden ca. 70 kg/ha N ausgetragen. Die aus den Einzelproben ermittelten Beträge bewegten sich zwischen 0,3 und 3,5 kg/ha N. Aus der Abbildung können drei Perioden mit erhöhter Nitratauswaschung unterschieden werden. In den Monaten März und April sowie Oktober und November sind die beobachteten Nitratkonzentrationen mit 50 bis 150 mg/l jedoch vergleichsweise gering, während in den Monaten Juni und Juli relativ hohe Nitratkonzentrationen von über 200 mg/l gemessen werden. In Abb. 8.3 ist die Ganglinie des Nitrataustrags für den seichtgründigen Boden dargestellt. Der Stickstoffaustrag ist im beobachteten Zeitraum mit 150 kg/ha N mehr

als doppelt so groß wie beim tiefgründigen Standort. Die Ganglinie zeigt mit Ausnahme der Monate Oktober, November und Dezember keine deutlichen Perioden des Austrags. Die größeren Änderungen sind wohl auf die beim seichtgründigen Boden ausgeprägteren Schwankungen der Sickerwassermenge zurückzuführen.

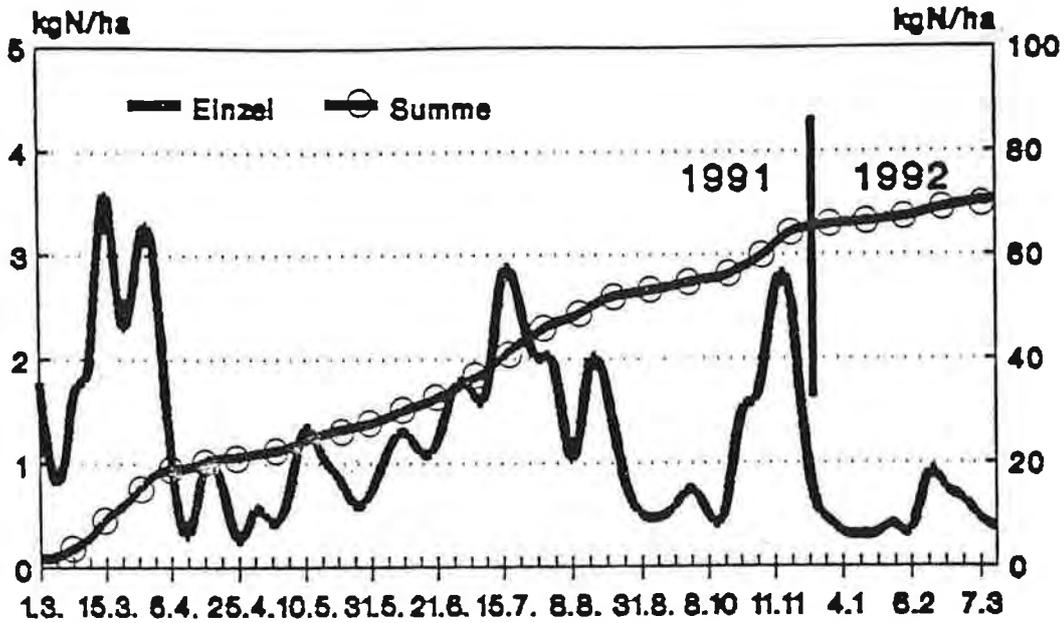


Abb. 8.2: Nitrataustrag - tiefgründiger Standort (CEPUDER et al., 1991).

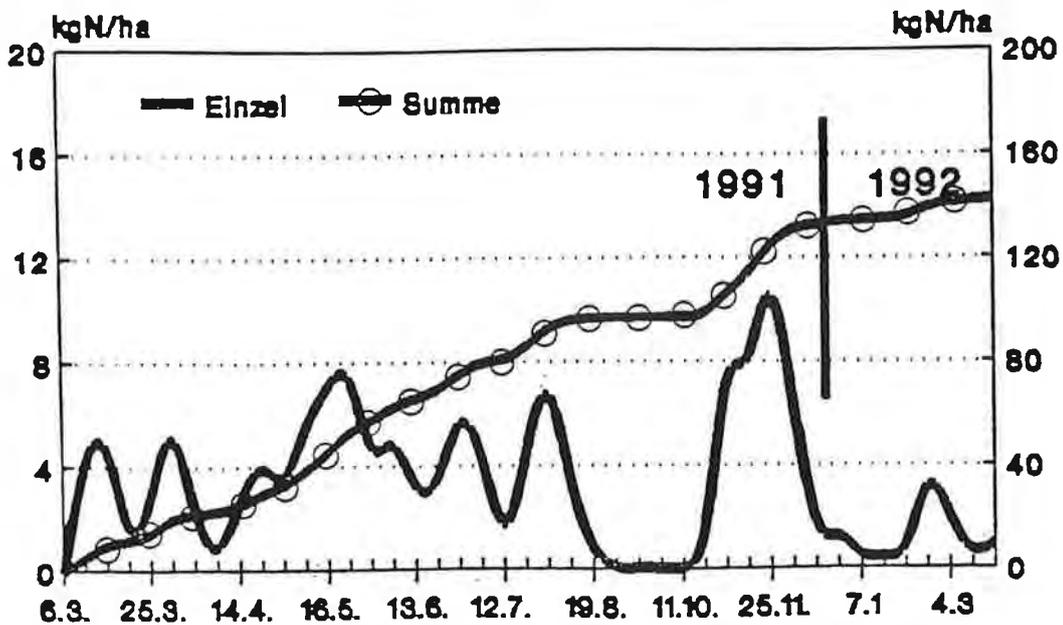


Abb. 8.3: Nitrataustrag - seichtgründiger Standort (CEPUDER et al., 1991).

Im Bericht des Teilprojekts 8 (FANK, 1991b) werden die ersten Auswertungsergebnisse der Lysimeteranlage Wagna dargestellt. Neben den Sickerwassermengen werden insbesondere die Nitratkonzentrationen laufend erfaßt. Die veröffentlichten Angaben gehen vom 3.7.1991 bis zum 18.12.1991. In einer Tiefe von 1.5 m wird für diese Periode ein Mittelwert der Konzentration von ca. 70 mg/l (Sonde lswr15) bzw. 150 mg/l (Sonde lswl15) ermittelt. Die Einzelwerte schwanken von 5 bis 220 mg/l (Sonde lswr15) bzw. 70 bis 390 mg/l (Sonde lswl15). Die höchsten Konzentration treten etwa wie bei der vorigen Untersuchung im Monat Juli auf. Nach einer Periode mit sehr geringen Konzentrationen (0 bis 5 mg/l) ist ein zweites Maximum mit Konzentrationen von 40 bis 80 mg/l (Sonde lswr15) bzw. 60 bis 150 mg/l (Sonde lswl15) in den Monaten November und Dezember zu erkennen.

Aufgrund der hohen Streuung der Konzentrationswerte erscheint eine monatliche Differenzierung der Konzentrationsangaben für den Input des Grundwassermodells ausreichend.

8.2.1.2. Räumliche Differenzierung der Nitratkonzentration

Die räumliche Differenzierung der Konzentration der Grundwasserneubildung erfolgt nach zwei Kriterien: Es wird zwischen Wald, Schottergruben und landwirtschaftlich genutzten Gebieten unterschieden. Da die landwirtschaftlichen Gebiete bei weitem überwiegen, werden diese weiter unterteilt, und die dabei entstehenden Teile bestimmten Meßstellen zugeordnet. Dadurch kann eine Anpassung des Modellergebnisses an die Beobachtungswerte der Nitratkonzentration im Grundwasser durch Modifikationen im Input erfolgen.

Aufgrund fehlender Daten kann in den landwirtschaftlich genutzten Bereichen nicht weiter auf die Kulturart bzw. die Düngepraxis eingegangen werden.

Zur räumlichen Differenzierung werden schließlich 15 Zonen (Abb. 8.4) gewählt, für die jeweils Monatswerte der Konzentrationen angegeben werden. In Tab. 8.4 sind die Konzentrationswerte der 15 Zonen beispielhaft (Berechnung R10) aufgelistet. Die Zonen 11 bis 13 beziehen sich auf das nordöstliche, die Zonen 21 bis 27 auf das westliche und die Zonen 31 bis 33 auf das südöstliche Leibnitzer Feld. Es ist zu sehen, daß für die bewaldeten Bereiche (Zone 1), vor allem in der Auenterrasse, geringere Konzentrationen angenommen werden. Auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen (Zonen 11, 12, 21, 22, 23, 24, 25, 32, 33) werden Werte in der Größenordnung der oben beschriebenen Beobachtungen angesetzt. Für die Auenterrasse werden geringere Werte (Zonen 13, 26, 27, 33) festgelegt. Die Zone 2 wird für die Bereiche der Schottergruben verwendet. Die Konzentration des Niederschlags wird mit 20 mg/l geschätzt.

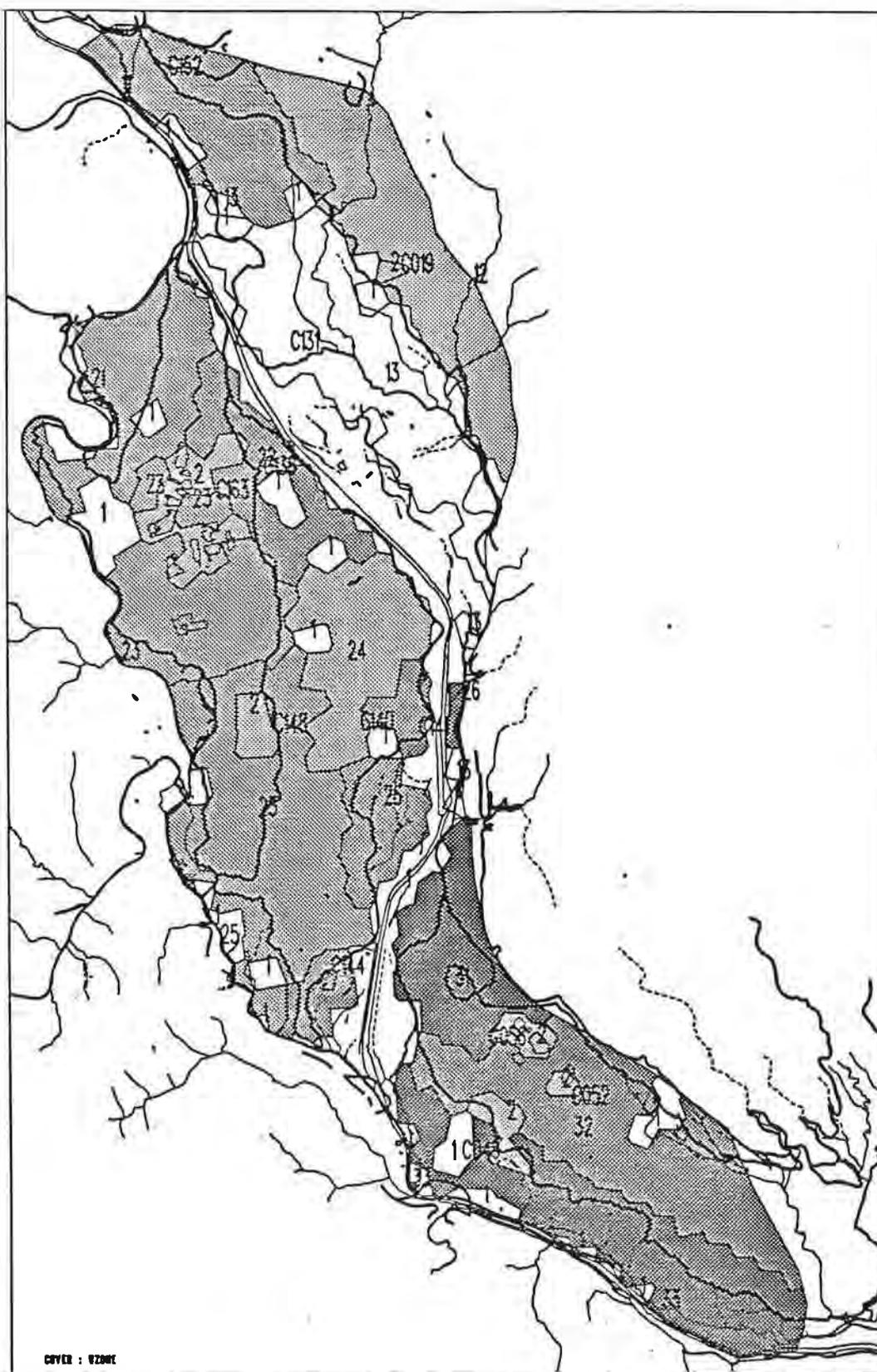


Abb. 8.4: Zonierung der Konzentration der Grundwasserneubildung.

Tab. 8.4: Grundwasserneubildung, Konzentration [mg/l] Nitrat.

Zone	Jän.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
2	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
11	80.0	150.0	150.0	150.0	150.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
12	80.0	250.0	150.0	150.0	150.0	80.0	250.0	250.0	80.0	80.0	80.0	80.0
13	30.0	50.0	50.0	50.0	50.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
21	100.0	250.0	250.0	150.0	100.0	100.0	250.0	250.0	100.0	100.0	100.0	100.0
22	100.0	250.0	250.0	150.0	100.0	100.0	250.0	250.0	100.0	100.0	100.0	100.0
23	100.0	250.0	250.0	150.0	100.0	100.0	250.0	250.0	100.0	100.0	100.0	100.0
24	100.0	250.0	250.0	150.0	100.0	100.0	250.0	250.0	250.0	100.0	100.0	100.0
25	100.0	150.0	150.0	150.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
26	30.0	50.0	50.0	50.0	50.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
27	30.0	50.0	50.0	50.0	50.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
31	80.0	150.0	150.0	150.0	150.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
32	100.0	150.0	150.0	150.0	150.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
33	100.0	150.0	150.0	150.0	150.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

8.2.1.3. Zeitlich räumliche Kombination der Nitratkonzentration

Im Kap. 4.4.3. werden die Ergebnisse der Berechnung der Grundwasserneubildung für die Jahre 1974 bis 1990 dargestellt. Diese bilden die Basis der folgenden Untersuchungen. In Abb. 8.5 wird die für den Modellinput diskretisierte Ganglinie der Versickerung der gut durchlässigen Böden (Bodenklasse 2, EDV-Code 03C) mit der angenommenen, nach Monaten differenzierten Konzentrationsganglinie der Zone 24 überlagert. Der Betrag der Nitrat- auswaschung ergibt sich als Produkt von Sickerwassermenge und Sickerwasserkonzentration und weist daher eine entsprechend hohe Variation auf. In Tab. 8.5 wird der multiplikative Aspekt von Neubildung und Konzentration hervorgehoben.

Tab. 8.5: Qualitativer Zusammenhang zwischen Neubildungsrate und Konzentration.

Sickerwassermenge	Konzentration	Belastung
hoch	hoch	höchste
hoch	gering	hoch
gering	hoch	hoch
gering	gering	gering
keine	hoch	keine
keine	gering	keine

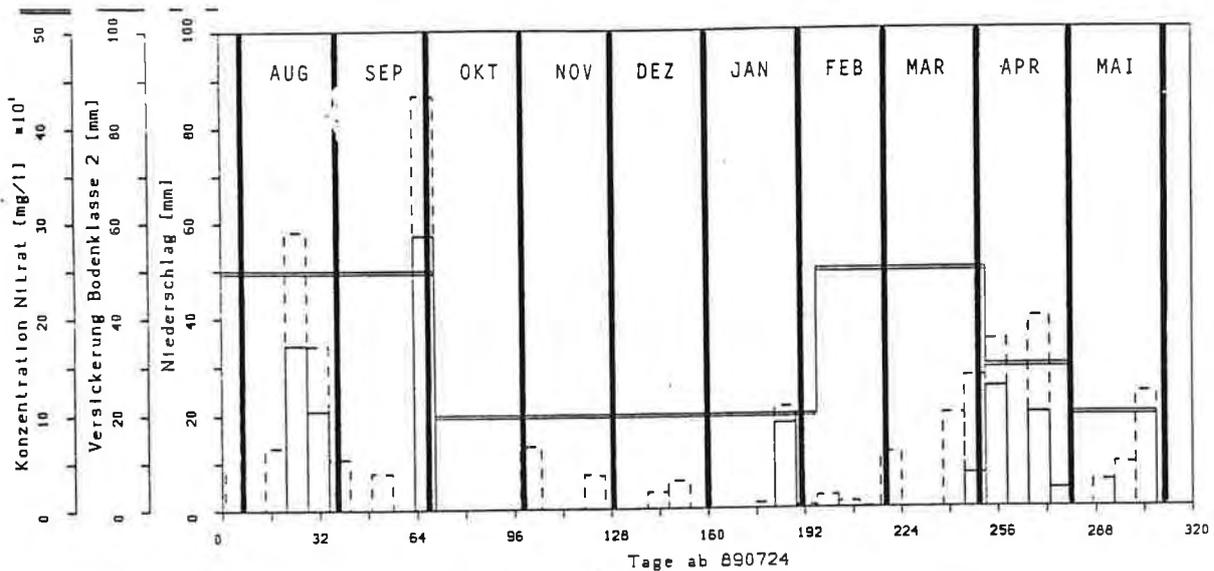


Abb. 8.5: Zeitlich-räumlicher Aspekt der Konzentration.

8.2.2. Einfluß der Oberflächengewässer

Die Oberflächengewässer sind durch geringe Konzentrationen von Nitrat gekennzeichnet, so daß Infiltrationsbereiche an geringeren Konzentrationen erkennbar sein sollten. Dies wird zumindest teilweise durch die Beobachtungen bestätigt. Besonders im Bereich der Auenterrasse des nordöstlichen Leibnitzer Feldes betragen die Konzentrationen weniger als 10 bis 30 mg/l. Die betreffenden Stationen liegen nahe an den Gewässern Mur, Stiefing und Mühlgang. Eine Infiltration erscheint jedoch nur in kurzen Perioden mit hohen Wasserständen möglich, da nur dann eine nennenswerte Veränderung der Grundwasserströmung erfolgt.

Für den betreffenden Zeitraum liegen für die Mur keine Daten der Wasserstände vor, so daß als Modellinput monatliche Mittelwerte verwendet werden müssen. Dadurch kann die erforderliche Dynamik im Modell nicht nachvollzogen werden. Dies könnte als eine Begründung für das stetige Ansteigen der berechneten Nitratkonzentrationen im Bereich der Auenterrassen gelten. Für die Stiefing wird nach 28 bzw. 35 Berechnungstagen (Ende August) eine Exfiltration aufgrund eines Hochwassers angenommen. Dadurch kann ein relativ hoher Anstieg der Grundwasserstände erklärt werden. Es liegen allerdings keine Wasserstandsdaten vor, die diese Annahme bestätigen könnten. Die Konzentration des exfiltrierenden Wassers wird mit null angenommen. Der Mühlgang dient hauptsächlich als Vorfluter und hat daher im Modell keinen Einfluß auf die Nitratkonzentration.

8.2.3. Punktförmige Belastungen

Die Belastung durch häusliche Abwässer kleinerer Dörfer aufgrund fehlender Ortskanalisation und Entsorgung kann im dem Maßstab des regionalen Modells als punktförmige Belastung angesehen werden. Aus dem siedlungswasserwirtschaftlichen Entsorgungsstand im Leibnitzer Feld (HEIDINGER, 1990) geht hervor, daß im nordöstlichen Leibnitzer Feld keine Kanalisationsanlagen bestehen. Die Abwässer werden zum Teil versickert (FANK et al., 1989a). In derselben Arbeit wird anhand verschiedener Parameter der Einfluß der Abwasserentsorgung auf die Grundwasserqualität demonstriert. Aus der Verteilung der theoretischen Lösungstemperatur ist eindeutig eine Konzentration im Bereich der Siedlungen zu erkennen. Die Sulfatkonzentration zeigt ebenfalls in vielen Siedlungsbereichen erhöhte Werte. Aus der Darstellung der Nitratkonzentrationen ist in erster Linie eine Zone stark erhöhter Konzentration im landwirtschaftlich genutzten Bereich (Sonde N3) zu sehen. In einigen Siedlungen sind eher lokal begrenzte, zum Teil sehr hohe Kontaminationen zu erkennen.

Für die Modellierung des Nitrattransports werden daher vorerst keine Belastungen durch die Siedlungen angesetzt. Eine Möglichkeit zur Berücksichtigung dieser Nitratverunreinigungen könnte darin bestehen, geringe Wassermengen mit sehr hohen Konzentrationen anzunehmen.

8.2.4. Konzentration der Randzuflüsse

Für die Belastungsquellen in den angrenzenden Einzugsgebieten des Leibnitzer Felds gibt es keine Angaben. Es wird jedoch davon ausgegangen, daß eine Bewaldung im Zusammenhang mit einer weitgehend natürlichen Bodenvegetation die Belastung gering hält, so daß als Basiskonzentration der Randzuflüsse ein Wert von 30 mg/l angenommen wird. Im Bereich von St. Georgen (Zwischeneinzugsgebietnr. 30) und der Wagendorfer Platte (Zwischeneinzugsgebietnr. 21) werden jedoch höhere Werte angesetzt. Als Begründung dienen im ersten Fall die fehlende Kanalisation des Siedlungsbereichs St. Georgen, im zweiten Fall die intensive landwirtschaftliche Nutzung. Eine Zusammenfassung des Input ist aus Tab. 8.6 ersichtlich.

Tab. 8.6: Konzentrationsangaben für die Randzuflüsse.

EZG	Bezeichnung	mittlerer Zufluß [l/s]	Konzentration [mg/l]
8	Wurzingtal	12.0	30.0
9	Stiefingtal	26.0	30.0
15	Haslachtal	6.0	30.0
21	Gabersdf.-St.Veit	55.0	250.0
22	St.Veit-Seibersdorf	41.0	30.0
29	Afram		30.0
30	Gerbersdf.-Laubegg		250.0
6	Georgenberg		30.0

8.2.5. Nitratabbau im Aquifer

Die Abbaurrate des Nitrats wird nur mit sehr geringen Werten festgelegt bzw. völlig vernachlässigt. Die Abbaureaktion wird im Modell als Gleichung erster Ordnung (8.1) definiert.

$$\Gamma_{\omega} = \gamma^{\omega_1} C + \gamma^{\omega_0} \quad (8.1)$$

mit

γ^{ω_1}	Abbauglied 1. Ordnung
γ^{ω_0}	Abbauglied 0. Ordnung
Γ_{ω}	Nitratabbau in der Lösung

8.3. Simulationsperiode 89/90_2

Als Startspiegellage wird der interpolierte Grundwasserspiegel zum Datum 24.7.1989 verwendet. Für die Konzentration zum Startzeitpunkt der Simulation werden die mittels Thiessenpolygonen auf die Gesamtfläche übertragenen beobachteten Konzentrationen der Stationen angenommen.

Als Vergleichsgrundlage dienen die beobachteten Konzentrationen zu den 12 Erhebungszeitpunkten der Dauerbeobachtungsperiode.

Beobachtung

In Karte 8.1, obere Reihe, ist die Abfolge der beobachteten Konzentrationen ersichtlich. Bei Betrachtung der Konzentration zum Ausgangsdatum 26.7.1989 zeigt sich folgendes Bild: Im nordöstlichen Leibnitzer Feld im Bereich der Niederterrasse treten die höchsten Konzentrationen an Nitrat mit Werten bis 130 mg/l auf. Im murnahen Bereich werden Konzentrationen bis 50 mg/l bzw. bis 10 mg/l im bewaldeten Bereich (Auwald) beobachtet. Im nördlichen Teil des westlichen Leibnitzer Felds zeigt sich aufgrund des dichteren Meßnetzes und des Einflusses der dortigen Schottergruben ein differenzierteres Bild. Die Konzentrationen schwanken zwischen 5 und 70 mg/l Nitrat. Im südlichen Teil, der auch von der Stadt Leibnitz eingenommen wird, betragen die beobachteten Konzentrationen einheitlich 50 bis 70 mg/l Nitrat. Im südöstlichen Teil des Leibnitzer Felds ist am Abhang der

Wagendorfer Terrasse mit 90 bis 110 mg/l eine deutlich höhere Konzentration zu erkennen, als in den weiter entfernten, murnäheren Stationen (10 bis 50 mg/l Nitrat). In der zeitlichen Abfolge der zwölf Beobachtungsdaten treten keine großen Veränderungen des beschriebenen Bildes auf.

Simulation Lauf R10:

Auf die verwendeten Inputdaten dieses Simulationslaufes wird in Tab. 8.7 verwiesen.

Tab. 8.7: Daten der Simulation 89/90_2, R10.

Bezeichnung	Beschreibung	Karte, Abb.
Durchlässigkeit	k_f , optimiert	Karte 5.3
Speicherkoeffizient	berechnet als Funktion der k_f -Werte, $S = f(k_f)$, vermindert auf 60 %	Karte 4.3
Startspiegellage	890724	
Randzuflüsse	instationär	
Auenbäche	instationär	
Neubildung	instationär	
Oberflächengewässer	instationär	
Entnahmen	für das Jahr 90 geschätzt wie 12/89	
Konz. d. Neubild.	monatlich, Kap. 8.2.1.	
Konz. d. Randzuf.	geschätzt, konstant, Kap. 8.2.4.	
Dispersion	Annahme null	
Nitratabbau	Annahme null, Kap. 8.2.5.	

Die berechneten Konzentrationen zu den Vergleichszeitpunkten sind aus Karte 8.1, untere Reihe, ersichtlich. Es zeigt sich, daß die bei den Beobachtungen zu erkennende räumliche Differenzierung in der Konzentrationsverteilung bei der Berechnung nicht in dem Maße nachvollzogen wird. Die zu Beginn gegebene Konzentrationsverteilung löst sich mit zunehmender Simulationszeit auf. Das ist einerseits sicher auch auf die im Vergleich zur Natur viel gröbere Zonierung von Grundwasserneubildung und -konzentration zurückzuführen; andererseits dürfte die numerische Dispersion aufgrund des großen Knotenabstands eine Rolle spielen. Trotzdem ist zu erkennen, daß die angenommenen Konzentrationen der Grundwasserneubildung und der Randzuflüsse mittleren beobachteten Konzentrationen entsprechen. Im westlichen Leibnitzer Feld beträgt demnach die Konzentration im südlichen Teil 50 bis 90 mg/l, im nördlichen Teil 30 bis 50 mg/l. Im südöstlichen Leibnitzer Feld ist der Zustrom aus der Wagendorfer Platte zu erkennen. Im nordöstlichen Leibnitzer Feld ist die berechnete Konzentration um 20 bis 40 mg/l zu gering, obwohl der Randzufluß vom Zwischeneinzugsgebiet ebenfalls als stark belastet angesetzt wird. Möglicherweise wäre der Grundwasserzustrom aus dem Stiefingtal ebenso mit höheren Konzentrationen zu berücksichtigen. Eine

Unterscheidung der Herkunft des Nitrats aus dem Stiefingtal oder der nicht kanalisierten Ortschaft Stiefing ist aufgrund der gleichen Strömungsrichtung im Modell sicher nicht möglich. Weiters ist zu sehen, daß die Konzentration in den Abströmbereichen im Bereich der Auenterrasse infolge der Abflußkonzentration konstant zunimmt. Neben der ungenügenden Berücksichtigung der Oberflächengewässer (Kap. 8.2.2.) könnte dies auch auf eine ungenügende Erfassung der Abbauprozesse zurückgeführt werden.

Im folgenden werden die Ganglinien der berechneten und der beobachteten Nitratkonzentration (Anhang I) miteinander verglichen:

- C152: Infolge des Einflusses der Grundwasserneubildung steigt die Konzentration weitaus stärker an, als beobachtet.
- C131: Die Station liegt im Nahbereich des Mühlkanals; die berechnete Konzentration nimmt infolge des Zuflusses belasteter Wässer stetig zu.
- C019 (BVI): Die Ganglinie der Konzentration wird gut nachvollzogen.
- C163: Gute Übereinstimmung der Ganglinien.
- C136: Der Anstieg der Konzentration zu Beginn der Simulationsperiode wird richtig erfaßt, am Ende ist die Konzentration jedoch zu hoch.
- C148 (KN1): Die beobachtete Ganglinie der Konzentration zeigt einen langsamen, aber stetigen Anstieg. Die berechnete Ganglinie zeigt jedoch mit zunehmender Simulationsdauer eher abfallende Tendenz, so daß sich schließlich ein größerer Unterschied ergibt.
- C140: Die beobachtete Ganglinie ist mit einem unerwarteten Minimum (Meßfehler?) kaum im Detail nachvollziehbar. Im Mittel wird die Ganglinie jedoch gut getroffen.
- C141: Wie C140.
- C144: Gute Anpassung an beobachtete Ganglinie.
- C056: Bei dieser Station ist im Verlauf der Simulationsperiode ein großer Anstieg der Konzentration von etwa 50 auf 150 mg/l Nitrat zu beobachten. Dieser kann in der Berechnung nur ungenügend nachgebildet werden.
- C052: Infolge der Annahme einer hohen Nitratbelastung vom Randbereich der Wagendorfer Platte zeigt auch diese Ganglinie einen stetigen Anstieg in der Berechnung, was jedoch durch die Beobachtung nicht bestätigt wird.
- C049: Es ist ein stetiger Anstieg der berechneten Nitratkonzentration zu beobachten, während die beobachteten Werte nach kurzfristiger Erhöhung wieder rasch abfallen. Diese Schwankungen dürften auf den Einfluß der Murwasserstände zurückzuführen sein. Da diese jedoch für diese Simulationsperiode nur in Form von Monatsmittelwerten vorliegen, können diese Schwankungen im Modell nicht berücksichtigt werden.

Zusammenfassend ist zu erkennen, daß die berechneten Ganglinien von einigen Stationen gut mit den beobachteten übereinstimmen, vor allem, wenn die beobachteten Werte nur geringe Schwankungen aufweisen. Größere Abweichungen treten dann auf, wenn die beobachteten Werte stärker variieren, was auf lokale Einflüsse zurückzuführen sein dürfte. Im Bereich der Auenterrasse werden die Konzentrationen deutlich überschätzt. Die Nitratbelastung des zuströmenden Grundwassers überwiegt in diesen Bereichen jene der Grundwasserneubildung, so daß eine stetige Zunahme der Nitratkonzentration erfolgt.

9. AKTUALISIERUNG DER INFORMATIONEN ZUM LEIBNITZER FELD

Im Zuge einer Datennachbearbeitung im Jahre 1992 wurden die hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Datenbestände über das Leibnitzer Feld nachgeführt und aktualisiert. In der ORACLE-Datenbank sind die Grundwasserdaten, die hydrochemischen Untersuchungsergebnisse an den kommunalen Trinkwasserversorgungen und die Grundwasserentnahmemengen bis Ende 1992 enthalten.

Am 1.7.1991 wurde vom Hydrographischen Dienst eine Stichtagsmessung des Grundwasserspiegels an allen Meßstellen durchgeführt, die in der Grundwasserdauerbeobachtung enthalten waren. Der aus diesen Messungen ermittelte Grundwasserschichtenlinienplan ist in Karte 9.1 dargestellt. Der Plan basiert auf den Spiegellagenmessungen an 302 Meßstellen und ist die derzeit aktuellste Stichtagsmessung im Leibnitzer Feld.

Die aktuellsten Daten über die kommunalen Grundwasserentnahmen aus dem seichtliegenden Grundwasserkörper des Leibnitzer Feldes sind - gegliedert nach Monaten und Versorgungsbrunnen - in Tab. 9.1 zusammengefaßt. Im Jahr 1990 wurden aus den öffentlichen Versorgungsbrunnen insgesamt 3469783 m³ oder 110 l/s Trinkwasser in öffentliche Versorgungsnetze gespeist. Der größte Bedarf bestand in den Monaten Mai mit nahezu 127 l/s und August mit 129 l/s, die geringsten Entnahmen wurden im Jänner 1990 mit 86.6 l/s getätigt. Das Jahr 1991 blieb in der Gesamtentnahme mit 105 l/s etwas hinter 1990 zurück, da vor allem der Spitzenbedarf im Sommer wesentlich geringer war.

Bei den kommunalen Wasserversorgungsunternehmen wurden die Daten über die Wasserqualität aktualisiert und die Analysenergebnisse bis Ende 1991 in die Datenbank aufgenommen. Desgleichen wurden die Ergebnisse der Nitratbeobachtung der Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges.m.b.H. bis zum Jahresende 1991 nachgeführt. Aus diesen Analysenergebnissen ist die bereits Ende der 80er Jahre erkennbare Trendumkehr in den Nitratganglinien in großen Teilen des Leibnitzer Feldes ablesbar. Durch die verstärkten Schutzmaßnahmen bei den kommunalen Versorgungseinrichtungen (Überprüfung der Schutz- und Schongebiete, Neufestlegung von Schutzzonen etc.), die Erschöpfung von Grundwasserreserven in geringer belasteten Bereichen (Brunnen Haslacher Au), die Nutzungsbeschränkungen der Landwirtschaft (Düngeverordnung, Bodenschutzprogramm des Landes Steiermark etc.) und die verstärkten Aktivitäten im Bereich der Abwasserentsorgung ist es gelungen, den Anstieg des Nitratgehaltes im Grundwasser zu stoppen. Die zugehörigen Nitratganglinien von ausgewählten Beispielen sind in Abb. 9.1 dargestellt.

Tab. 9.1: Grundwasserentnahmemengen aus den wichtigsten kommunalen Wasserversorgungen des Leibnitzer Feldes [m³ bzw. l/s]

Wasserversorgung	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	1990	l/s
Lebring-St. Margarethen	24373	36780	39667	44689	50783	57766	58670	67716	64235	67219	66246	55905	634049	20.11
WV Leibnitzerfeld W	124970	104840	141180	126600	171810	142260	152260	149020	136830	141510	126580	124840	1642700	52.09
Wagna	17105	15376	15813	16874	22295	15136	17397	13698	9776	7428	14676	14166	179740	5.70
Wildon	1949	3273	2778	6941	5178	7730	8644	10243	8585	7515	8944	6105	77885	2.47
St. Georgen	27490	35770	40730	33970	45020	33860	49910	64220	38260	50990	29830	27120	477170	15.13
Ehrenhausen	36055	31935	36077	34591	44996	42177	39240	40000	42130	42568	37305	31165	458239	14.53
Summe m ³	231942	227974	276245	263665	340082	298929	326121	344897	299816	317230	283581	259301	3469783	110.03
Summe l/s	86.60	94.24	103.14	101.72	126.97	115.33	121.76	128.77	115.67	118.44	109.41	96.81		

Wasserversorgung	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	1991	l/s
Lebring-St. Margarethen	65190	57051	66235	62828	61103	59777	61871	50166	27231	57628	55549	46994	671623	21.30
WV Leibnitzerfeld W	126790	120390	127870	122730	139990	145280	153980	140140	132320	135190	122340	120260	1587280	50.33
Wagna	14150	13679	15028	14791	15553	15383	16414	15659	16489	16308	15471	14047	182972	5.80
Wildon	4992	4718	6873	5709	7959	8704	8347	10833	9568	8197	7801	4421	88122	2.79
St. Georgen	29260	27720	31500	27820	30430	35630	37750	31260	24550	17940	14600	13460	321920	10.21
Ehrenhausen	35653	32253	37885	34027	43292	39284	42886	51795	38910	41101	40462	36492	474040	15.03
Summe m ³	276035	255811	285391	267905	298327	304058	321248	299853	249068	276364	256223	235674	3325957	105.47
Summe l/s	103.06	105.74	106.55	103.36	111.38	117.31	119.94	111.95	96.09	103.18	98.85	87.99		

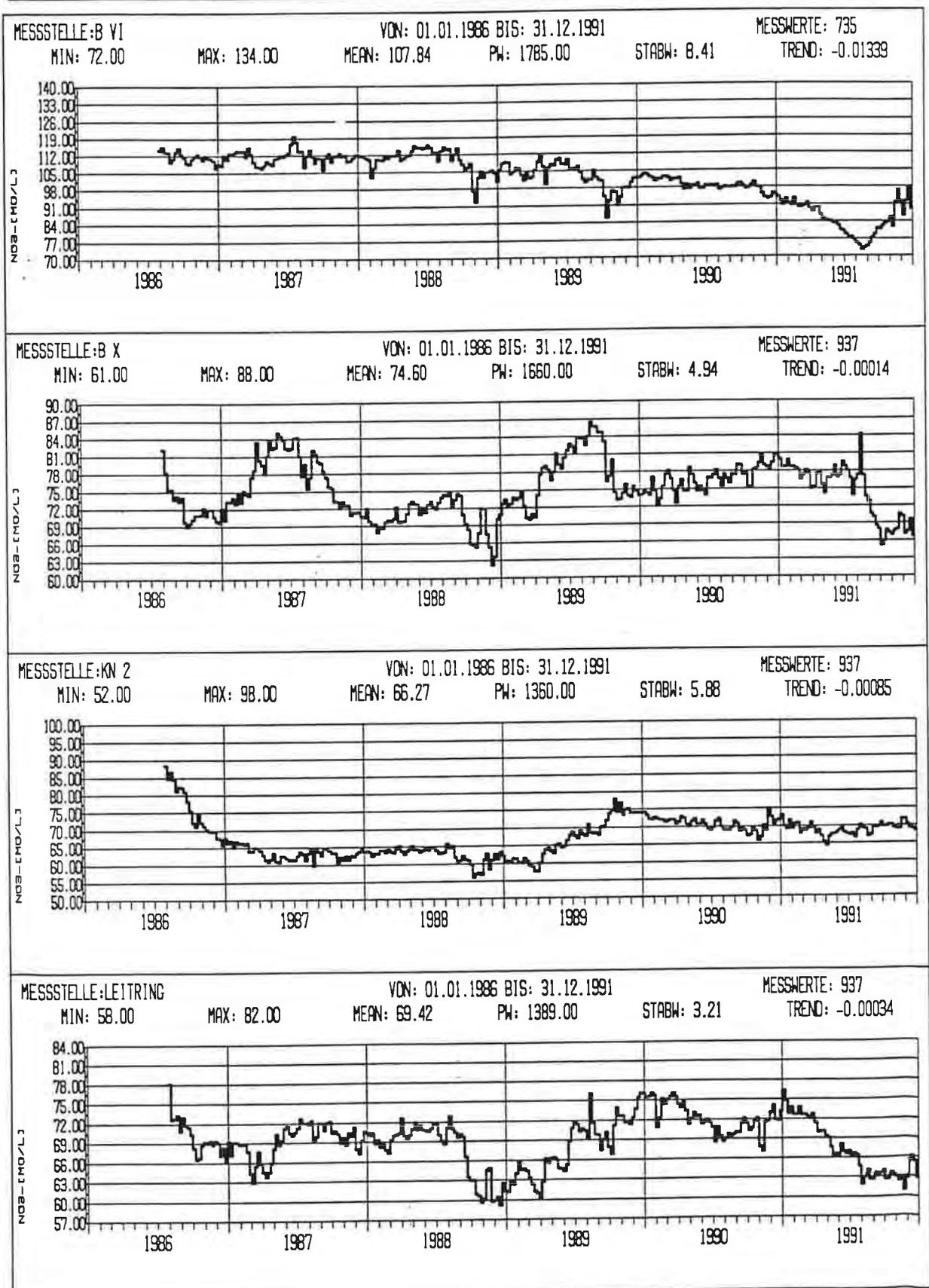


Abb. 9.1: Nitratganglinien ausgewählter Meßstellen aus dem Untersuchungsprogramm der Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges.m.b.H. Wochenmittelwerte der Nitratkonzentrationen in mg/l von 1986 bis 1991.

Die Werte stammen aus dem Untersuchungsprogramm der Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges.m.b.H. und stellen Wochenmittel aus teilweise täglichen Messungen dar. Während die deutliche Nitratreduktion im Brunnen B VI, die bis Mitte 1991 erkennbar ist, in der zweiten Jahreshälfte in einen Anstieg umschwenkt, ist diese Gangliniencharakteristik in den Nitratganglinien der übrigen Meßstellen nicht erkennbar. Der Grund für diese Entwicklung im nordöstlichen Leibnitzer Feld dürften die besonderen Verhältnisse zwischen klimatologischen Ereignissen und der Landwirtschaft sein. Im Frühjahr des Jahres 1991 kam es infolge von Hagelunwettern im Raum St. Georgen a.d. Stiefing zu einer nahezu vollständigen Vernichtung des Maisbestandes. Da der Wirtschaftsdünger jedoch bereits in der Zeit davor ausgebracht worden war, wurde im Boden ein Stickstoffpool geschaffen, der durch die fehlende Maisentwicklung nicht aufgebraucht werden konnte, sondern als Folge der Sommer- und Herbstniederschläge in das Grundwasser ausgewaschen wurde. Im Bereich des Brunnens B X mit wesentlich besser durchlässigen Böden und geringerer Grundwasserüberdeckung führte dieser Prozeß zu einem nur kurzzeitigen Anstieg des Nitratgehaltes und aufgrund der verstärkten Grundwasserneubildung danach zu einem eher steilen Rückgang des Nitratgehaltes.

Da die verheerende Wirkung dieser Hagelunwetter räumlich sehr beschränkt auftrat, wurden die Grundwasserverhältnisse in den übrigen Teilfeldern davon wesentlich weniger stark betroffen.

10. ZUSAMMENFASSUNG

Das Projekt Grundwassermodell Leibnitzer Feld erbrachte durch die Zusammenfassung bestehender Daten, die Erhebung zusätzlicher Daten und die Anwendung eines numerischen Modells eine Verbesserung der Wissensbasis über das Grundwassersystem in diesem Gebiet.

Das verwendete mathematische Modell ist ein zweidimensionales Einphasen-, Einstoff-Modell. Die Anwendung des numerischen Modells bedingt die Angabe von Modellparametern und Randbedingungen mit einer, der Diskretisierung des Gebietes entsprechenden Auflösung.

Zur Eichung des Grundwassermodells wurden die Modellparameter Durchlässigkeit und Speicherkoeffizient herangezogen, wobei mehrere Elemente zu Zonen zusammengefaßt wurden, um die Anzahl der Parameter zu reduzieren. Ziel der Eichung war die Anpassung der berechneten an die beobachteten Grundwasserstände für den gewählten Eichzeitraum.

Für die Erfassung der Randbedingungen wurden hydrologische bzw. numerisch-deterministische Detailmodelle verwendet. Darauf basieren die Schätzungen der Randzuflüsse sowie der Grundwasserneubildung aus Niederschlägen.

Bei der Verwendung und Interpretation von Modellparametern und Modellergebnissen ist natürlich immer auf die Modelldiskretisierung Bedacht zu nehmen. Für weiterführende Untersuchungen auf der Datenbasis des regionalen Modells, wie etwa bei der detaillierten Modellierung von Teilgebieten, können diese Parameter nur als Ausgangswerte für die notwendige Eichung der Teilmodelle dienen.

Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt zuerst im Hinblick auf die Datenbasis und dann für die Modellergebnisse.

Daten:

- * Es erfolgte eine Sammlung und Vereinheitlichung aller verfügbaren Daten, die für die Beschreibung des Grundwassersystems von Interesse sind.
- * Die Daten und das Kartenmaterial stehen in digitaler Form für weitere Untersuchungen zur Verfügung.

Modell:

- * Die Bilanzierung des Grundwassersystems ergab wichtige Aufschlüsse. So beträgt die Grundwasserneubildung aus Niederschlägen etwa 70 % der gesamten Zuflüsse. Die Zuflußfracht eines Jahres macht mehr als zwei Drittel des gesamten Grundwasservolumens aus, wodurch sich rechnerisch eine Erneuerung des Grundwassers innerhalb von ein bis zwei Jahren ergibt.
- * Für die bearbeiteten Simulationsperioden, die jeweils eine Zeitspanne von etwa einem Jahr umfassen, stimmen die berechneten Ganglinien der Grundwasserstände gut mit den beobachteten überein.
- * Die Verteilung der berechneten Abstandsgeschwindigkeiten ergab einen guten Überblick über die Strömungsverhältnisse im Gebiet. Diese beträgt aufgrund einzelner hoher Werte im Mittel etwa 5,4 m/d, wobei jedoch Beträge von 3,5 bis 5,2 m/d am häufigsten auftreten. Soweit Messungen vorliegen, besteht eine gute Übereinstimmung. Messungen der Abstandsgeschwindigkeiten in situ erfordern einen weitaus höheren Aufwand, sodaß diese Information ohne Grundwassermodell nicht zu erhalten wäre.
- * Es zeigte sich, daß die Nitratkonzentration des Grundwassers wesentlich von der Nitratkonzentration des Sickerwassers bestimmt wird. Die Grundwasserneubildung aus Niederschlägen ist jedoch im Gegensatz zu punktuellen Verursachern, als diffuser Prozeß, sowohl in räumlicher als auch in zeitlicher Hinsicht äußerst variabel und als Modellinput nur schwer zu erfassen. Die berechneten Ergebnisse sind daher Abschätzungen von mittleren Konzentrationen. Größere Abweichungen können auf lokale, herausragende Einträge oder hydrogeologische Besonderheiten zurückgeführt werden.

Das Grundwassermodell Leibnitzer Feld hat als Mittel zur Analyse der Grundwassersituation im regionalen Maßstab die Erwartungen erfüllt und unterstützt die wasserwirtschaftliche Planung in diesem Gebiet. Für einzelne Bewilligungsverfahren werden jedoch weiterhin ergänzende Untersuchungen notwendig sein. Diese könnten im zunehmenden Maß auf Detailmodellen aufbauen, die in das regionale Modell eingebunden werden. Das hier beschriebene Modell bietet die Basis dazu.

11. LITERATUR

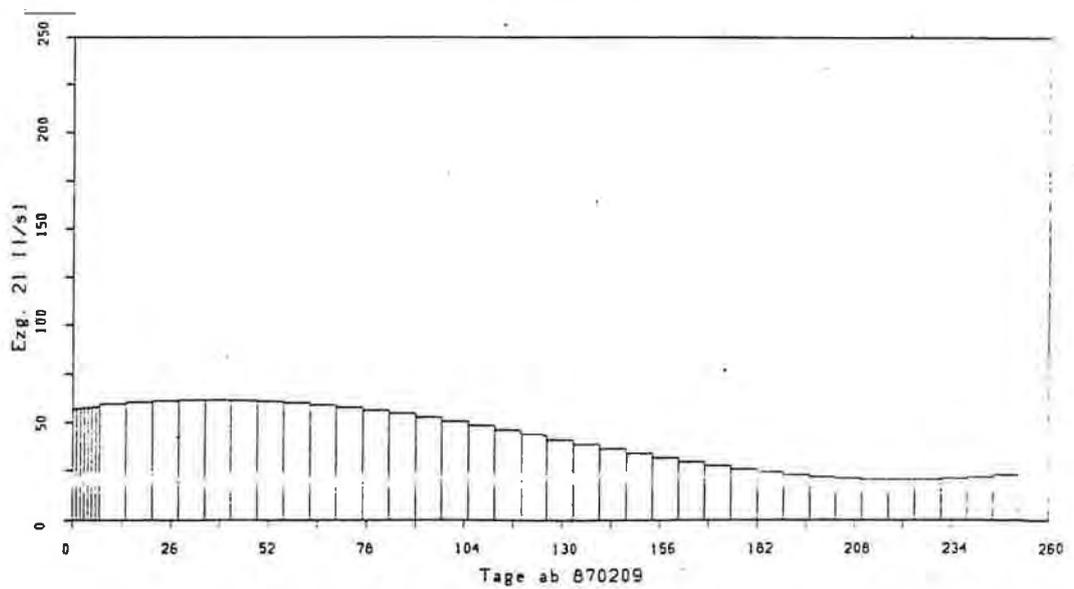
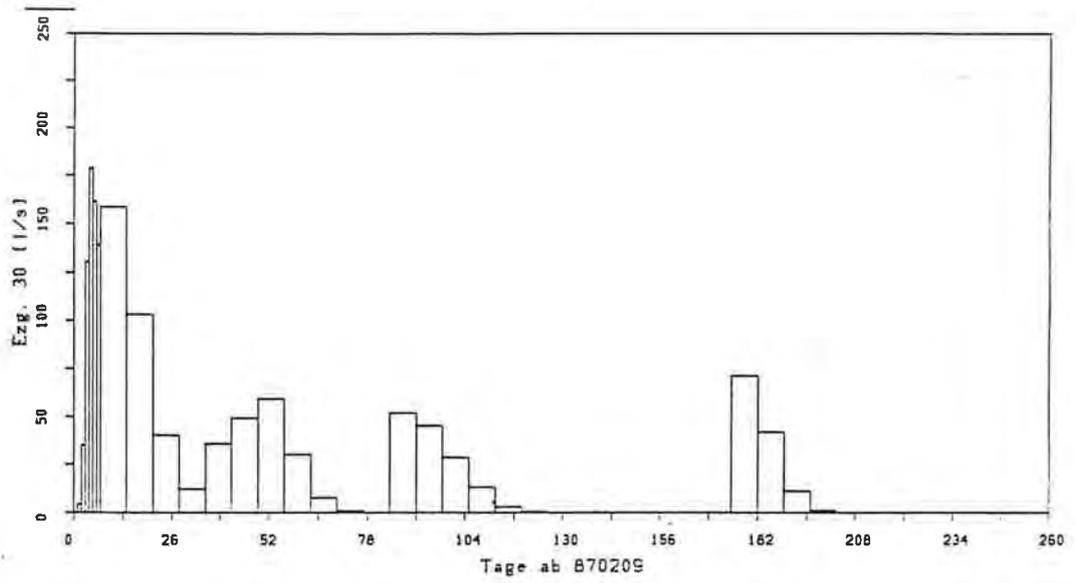
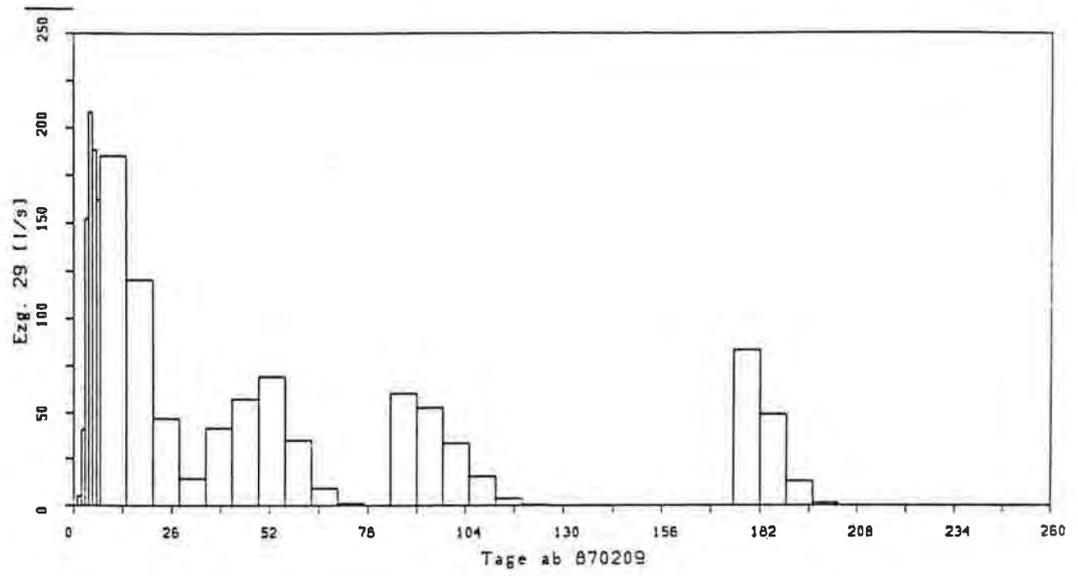
- AKIMA, H. (1979): A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures. - Journal of Assc. for Comp. Mach., Bd. 17, H. 4, 589-602.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1989): Systematische Erfassung der Grundwasserverhältnisse in der Steiermark durch die Hydrographische Landesabteilung: - 168 S., Graz.
- BEAR, J. (1979): Hydraulics of Groundwater. - McGraw-Hill.
- BEAR, J. & A. VERRULJT (1987): Modeling Groundwater Flow and Pollution. - Verlag Reidel.
- BENISCHKE, R., J. FANK & A. LEITNER (1991): Groundwater tracing experiment 1991 Haslacher Au. - Evaluation. Vorlesung und Übung beim PGTC 1991, TU Graz.
- BERNHART, L. (1973a): Grundwasseruntersuchungen im nordöstlichen Leibnitzer Feld. - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1973/23, 488 S., Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- BERNHART, L. (1973b): Grundwasserversorgung aus dem Leibnitzer Feld. - Berichte der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1973/24, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT (1976): Österreichische Bodenkartierung. - Kartierungsbereich Wildon, 31, 1 : 25 000. - Wien.
- BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT (1976): Österreichische Bodenkartierung. - Kartierungsbereich Leibnitz, 20, 1 : 25 000. - Wien.
- CEPUDER, P., Ch. SAILER & M. TULLER (1991): Erfassung und Beschreibung von Wasser und Stofftransportvorgängen in der ungesättigten Bodenzone, Jahresbericht 1991, Teilprojekt 3 in: Hydrologie Österreichs, Schutz des Grundwassers in Tal- und Beckenlagen. - Teil I, Projektleitung H.P. Nachtnöbel, im Auftrag des BMfWF, Wien.
- DE MARSILY, G. (1986): Quantitative Hydrogeology. - Academic Press.
- EISENHUT, M. (1971): Die Bodenbedeckung des Murtales zwischen Wildon und der Staatsgrenze. - In: FABIANI, E. & M. EISENHUT (1971): Bodenbedeckung und Terrassen des Murtales zwischen Wildon und der Staatsgrenze. - Berichte der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1971/20, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- FABIANI, E. (1971): Die Terrassen des Murtales zwischen Wildon und der Staatsgrenze mit Erläuterungen zur geologischen Grundkarte. - In: FABIANI, E. & M. EISENHUT (1971): Bodenbedeckung und Terrassen des Murtales zwischen Wildon und der Staatsgrenze. - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1971/20, 7-74, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.

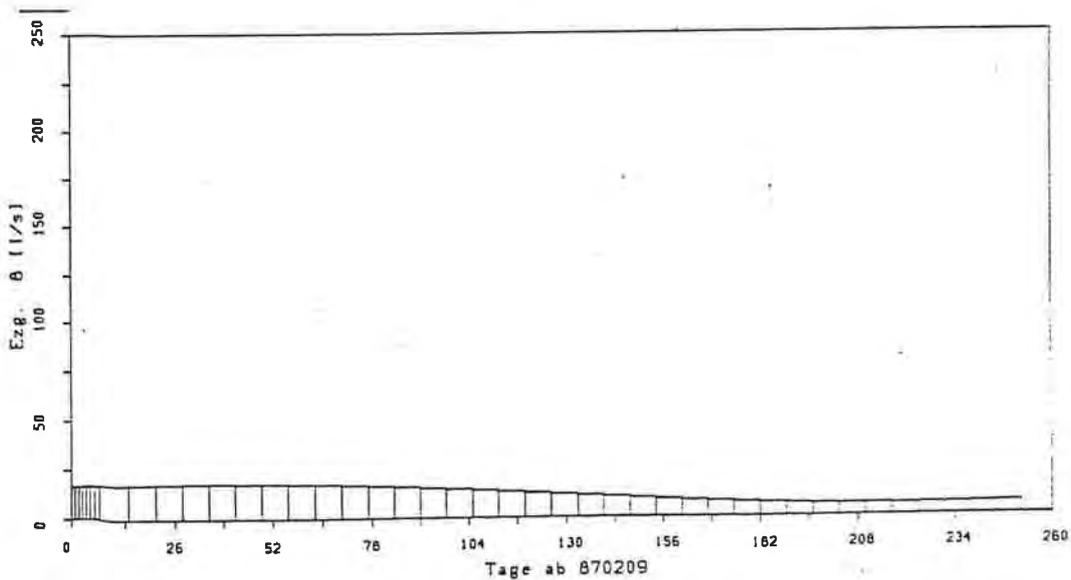
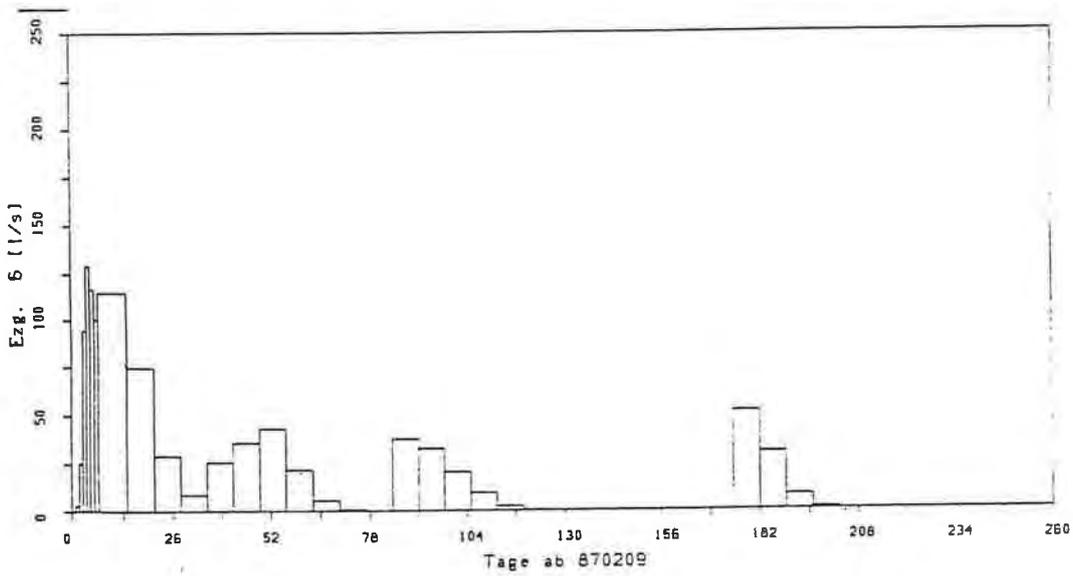
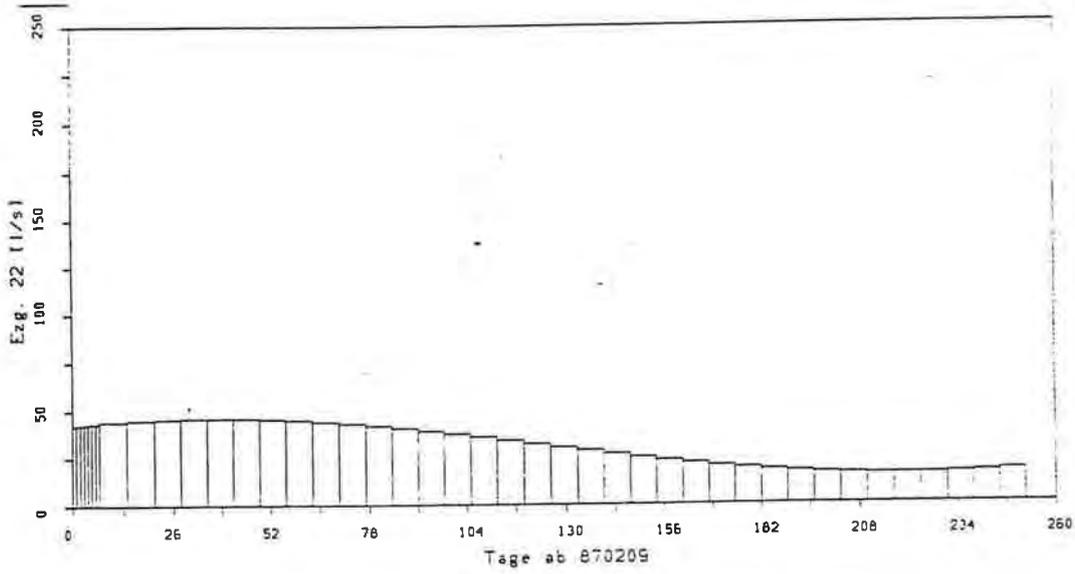
- FABIANI, E. (1973): Die Grundwasserverhältnisse im nordöstlichen Leibnitzer Feld. - In: BERNHART, L. et al. (1973a): Grundwasseruntersuchungen im nordöstlichen Leibnitzer Feld. - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1973/23, 135-215, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- FABIANI, E., W. WESSIAK & H. KRAINER (1978): Grundwasseruntersuchungen im unteren Murtal. - Berichte der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1978/39, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- FANK, J. & T. HARUM (1988): Hydrogeologische Bewertung bestehender und noch auszuweisender Schutzgebiete für kommunale Wasserversorgungen im Leibnitzer Feld. - Unveröff. Bericht, Institut für Geothermie & Hydrogeologie, Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz.
- FANK, J. (1989): Hydrogeologisches Gutachten über die Möglichkeit der Nutzung eines Brunnens in der Leibnitzer Sulmaue zur Trinkwasserversorgung. - Unveröff. Bericht, Institut für Geothermie & Hydrogeologie, Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz.
- FANK, J., T. HARUM, H.P. LEDITZKY, B. STROMBERGER & H. ZOJER (1989a): Nitratbelastung des Grundwassers im nordöstlichen Leibnitzer Feld. - Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 40, 5-48, Graz.
- FANK, J., H.P. LEDITZKY, W. POLTNIG, F. REISS, B. STROMBERGER & T. UNTERSWEIG, (1989b): Grundwassermodell Leibnitzerfeld. Endbericht 1. Projektjahr. - Unveröff. Bericht, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz.
- FANK, J., H.P. LEDITZKY, W. POLTNIG, P. REICHL, B. STROMBERGER, (1990): Grundwassermodell Leibnitzerfeld, Endbericht 2. Projektjahr. - Unveröff. Bericht, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Forschungsgesellschaft Joanneum Ges.m.b.H., Graz.
- FANK, J. (1991a): Grundwassermodell Leibnitzerfeld, Endbericht 3. Projektjahr, Teil 1: Datenerfassung - Dauerbeobachtung; Teil 2: Auswertung. - Unveröff. Bericht, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Joanneum Research, Graz.
- FANK, J. (1991b): Wasserbewegung in Lockersedimenten des Leibnitzer Feldes, Jahresbericht 1991, Teilprojekt 8 in Hydrologie Österreichs, Schutz des Grundwassers in Tal- und Beckenlagen. - Teil II, Projektleitung H.P. Nachtnebel, im Auftrag des BMfWF.
- FANK, J., W. POLTNIG & P. RAMSPACHER (1992): Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag und Nitratbefruchtung des Sickerwassers im 2. Halbjahr 1991. - Bericht der BAL über die 2. Lysimetertagung "Praktische Erfahrung aus der Arbeit mit Lysimetern" vom 28. bis 29. April 1992, Gumpenstein.
- FESSLER, H. (1981): Auswirkungen des Kraftwerksbaues Obervogau auf das Grundwasser. - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1981/55, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.

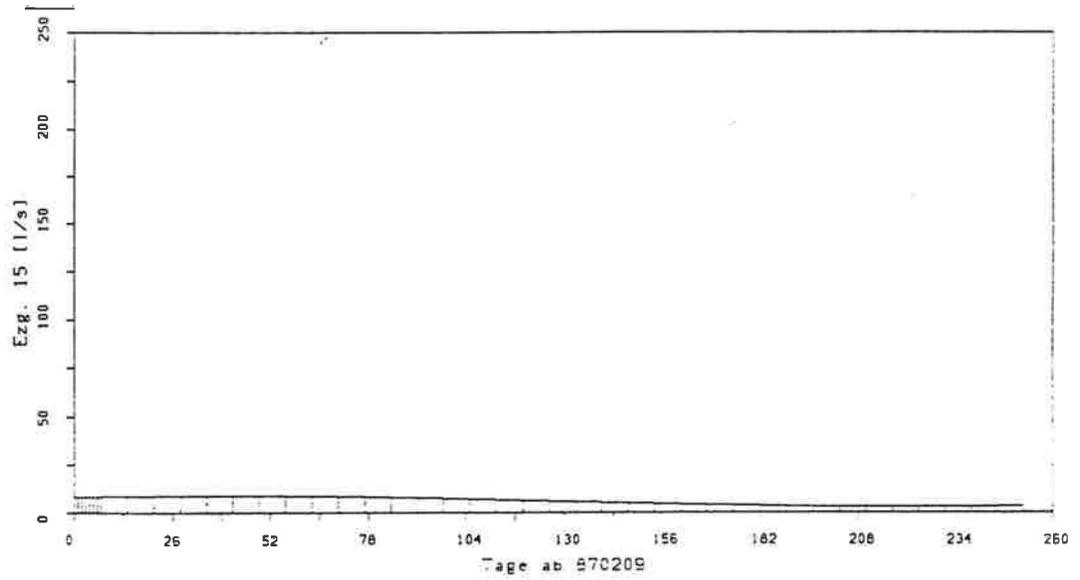
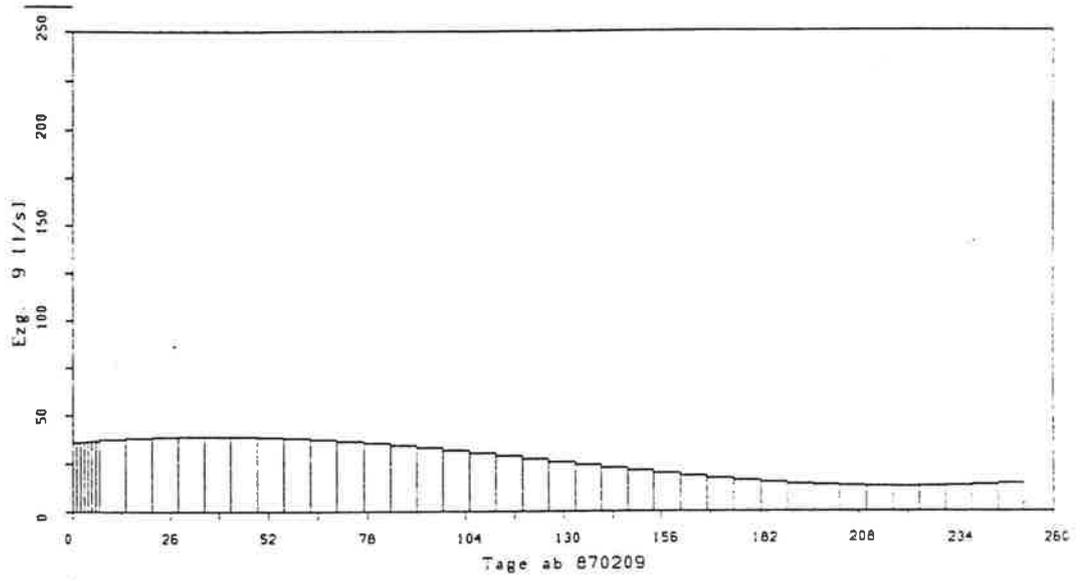
- FESSLER, H. (1985): Auswirkungen des Kraftwerksbaues Spielfeld auf das Grundwasser. - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1985/67, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- FLÜGEL, H.W. & F. NEUBAUER (1984): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark 1 : 200 000. - Geol. B.-A., Wien.
- FRIEBE, J.G. (1990): Lithostratigraphische Neugliederung und Sedimentologie der Ablagerungen des Badenium (Miozän) um die Mittelsteirische Schwelle (Steirisches Becken, Österreich). - Jb. Geol. B.-A., Bd. 133, H. 2, 223-257, Wien.
- GLANZ, T. (1973): Pumpversuche an den Bohrungen VIII und X. - In: BERNHART, L. et al. (1973): Grundwasseruntersuchungen im nordöstlichen Leibnitzer Feld. - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1973/23, 135-215, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- HARTMANN, D. & W. MEIER (1988): Grafische Darstellung von Meßwerten durch verallgemeinerte Splines. - c't 12/88, 138 - 145.
- HEIDINGER, R. (1990): Entsorgungsstand Mittleres Murtal. - Technischer Bericht, Übersichtskarte, Leibnitz.
- HILBERG, D. (1989): Akima-Interpolation. Noch besser als das Spline-Verfahren. - c't 6/89, 206-214.
- HYDROGRAPHISCHES JAHRBUCH von Österreich 1982 (1985): Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- KAISER, C. (1988): Hydrogeologische Bewertung bestehender und noch auszuweisender Schutzgebiete für kommunale Wasserversorgungen im Leibnitzer Feld. - Unveröff. Bericht, Graz.
- KOLLMANN, K. (1964): Jungtertiär im Steirischen Becken. - Mitt. Geol. Ges. Wien, 1965, Bd. 57, H. 2, 479-632, Wien.
- KÜCHMEISTER, W. (1959): Geologische Kartierung, stratigraphisch-tektonisch-morphologische Beschreibung, sowie technisch-geologische Darstellung der jungtertiären und quartären Umrahmung des Sausal-Schiefergebirges in Südweststeiermark (Bezirk Leibnitz). - Diss. Univ. Graz.
- KÜPFER, T. (1984): STEG Kraftwerk Lebring; Hydrogeologie I. - Unveröff. Bericht, Geotechnisches Institut, Bern.
- LEDITZKY, H.P. (1986): Bohrprogramm nordöstliches Leibnitzer Feld 1986 - Hydrogeologische Betreuung.- Unveröff. Bericht, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz.
- MAROTZ, G. (1968): Technische Grundlagen einer Wasserspeicherung im Untergrund. - Mitt. Institut für Wasserwirtschaft, Grundbau und Wasserbau, Heft 9, Stuttgart.

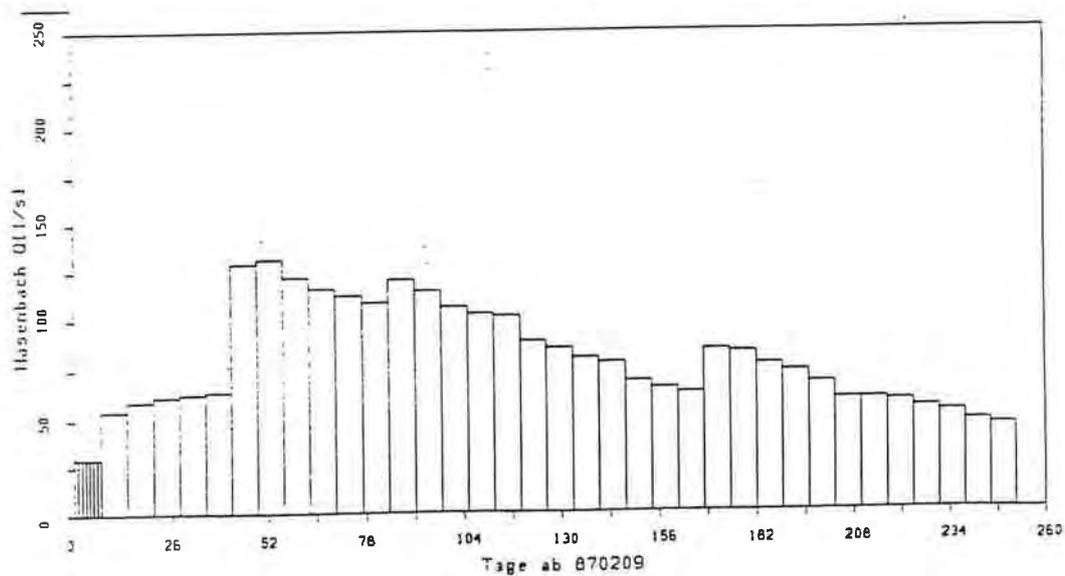
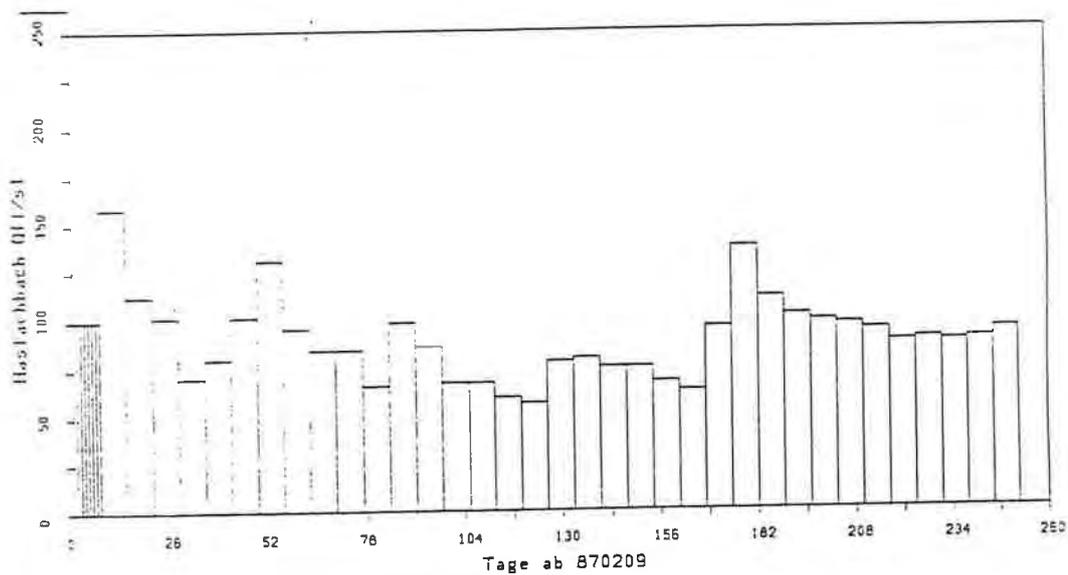
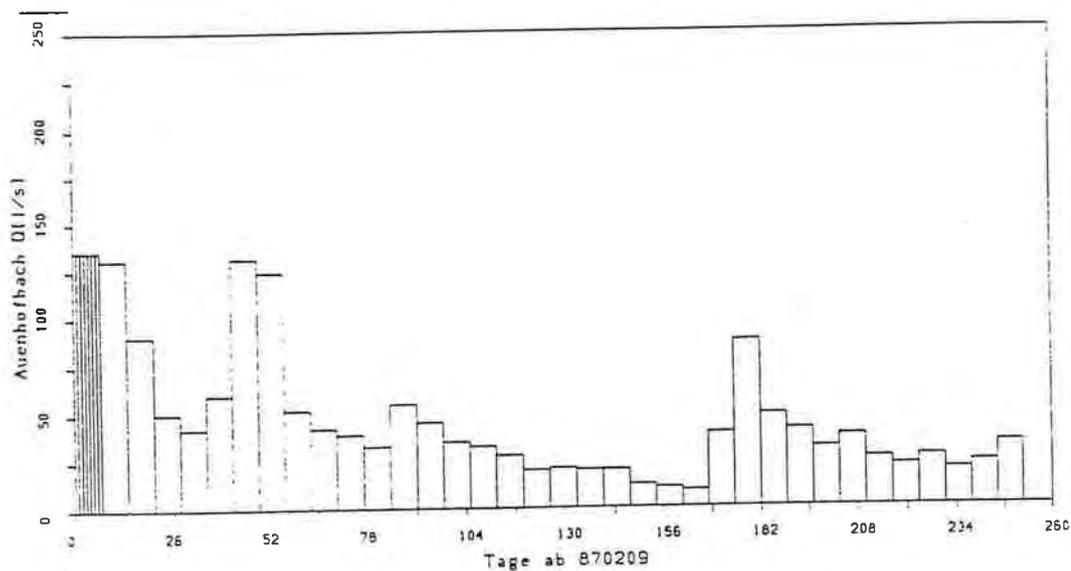
- NACHTNEBEL, H.P., J. FÜRST, S. HAIDER & G. STORCH (1984): Grundwassermodell Unteres Murtal, 2. Bericht. - Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien.
- NACHTNEBEL, H.P., A. JAWECKI & A. GRÜNER (1990): Grundwassermodell Leibnitzer Feld, 1. Bericht. - Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien.
- NACHTNEBEL, H.P., A. JAWECKI, A. KOSTNER & A. GRÜNER (1991): Grundwassermodell Leibnitzer Feld, 2. Bericht.- Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien.
- NACHTNEBEL, H.P., A. JAWECKI (1992a): Grundwassermodell Leibnitzer Feld, 3. Bericht. - Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien.
- NACHTNEBEL, H.P., A. JAWECKI (1992b): Grundwassermodell Leibnitzer Feld, 4. Bericht. - Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1990): Ground Water Models, Scientific and Regulatory Applications, Water Science and Technology Board, Committee on Ground Water Modelling Assessment, Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Resources, National Research Council. - National Academy Press.
- NEMECEK, E.P. (1967): Pumpversuch in Wagna. Gutachten. - Unveröff. Bericht.
- NEMECEK, E.P. (1973): Pumpversuche an den Bohrungen IV und VI. - In: BERNHART, L. et al. (1973): Grundwasseruntersuchungen im nordöstlichen Leibnitzer Feld. - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1973/23, 255-323, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- ROHMANN, U. & H. SONTHEIMER (1985): Nitrat im Grundwasser. - Karlsruhe.
- SCHLAMBERGER, J. (1987): Zur Geologie des Sausaler Paläozoikums in der Südweststeiermark. - Diss. Univ. Graz, 149 S., 82 Abb., 3 Karten, Graz.
- SCHMIDT, K.J. (1985): STEG Kraftwerk Lebring; Hydrogeologie II. - Unveröff. Bericht, Geotechnisches Institut, Bern.
- SKRIVAN, J.A. & R. KARLINGER (1980): User's manual; Semi-Vaviogram Estimation and Universal Kriging Program, USES, Tacoma, Washington.
- STORCH, G (1986): Grundwasserneubildung. - Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- UNTERSWEIG, T. (1988): Grundwassersohle und Sand-Kies-Mächtigkeiten im Leibnitzer Feld. - Unveröff. Bericht, Institut für Angewandte Geographie und Umweltgeologie Forschungsgesellschaft Joanneum Ges.m.b.H., Graz.

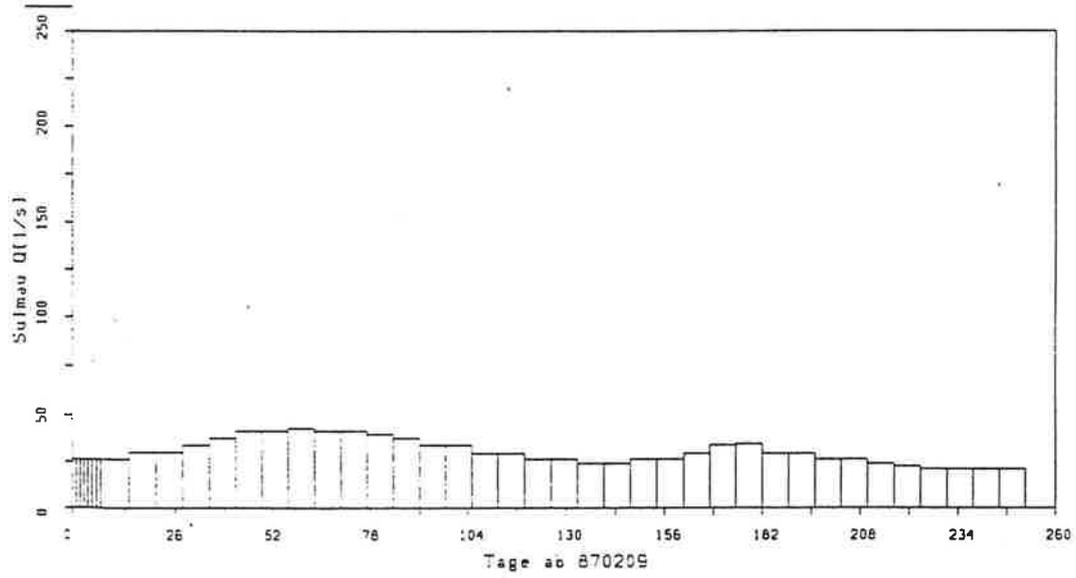
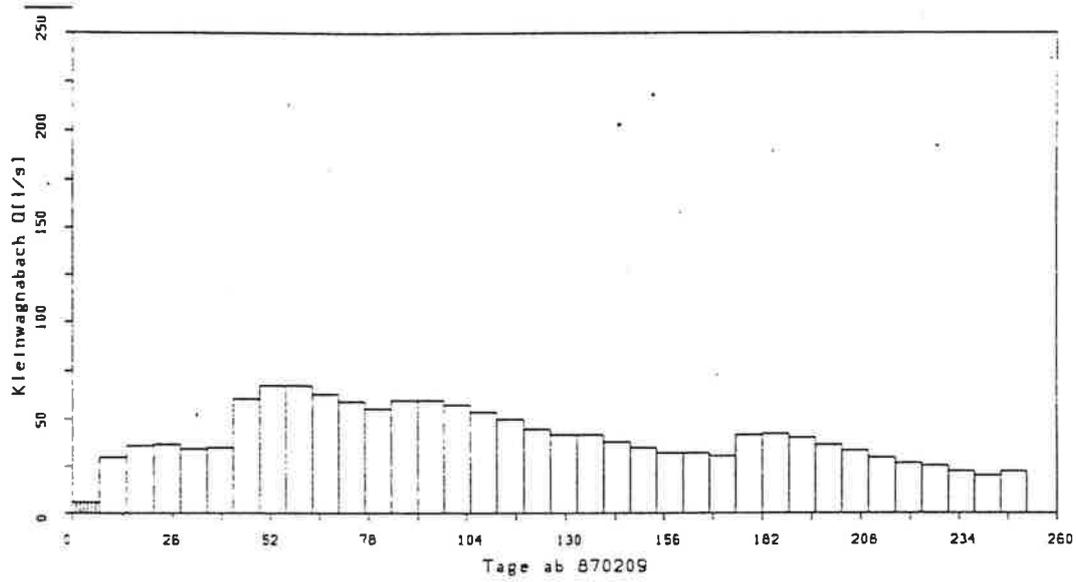
- VOSS, C.I. (1984): A Finite Element Model for Saturated - Unsaturated, Fluid-Density-Dependent Groundwater Flow with Energy Transport or Chemically-Reactive Single-Species Solute Transport, USES, Reston, Virginia.
- WALTON, W.C. (1991): Principles of Groundwater Engineering. - Lewis Publishers.
- WESSIAK, W. (1973a): Die Grundwasserergiebigkeit im Bereich der Bohrung V (Grieswiesen) - Hydrologisches Gutachten. - In: BERNHART, L. et al. (1973): Grundwasseruntersuchungen im nordöstlichen Leibnitzer Feld. - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1973/23, 391-407, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- WESSIAK, W. (1973b): Ergiebigkeit des Grundwasserhoffungsgebietes im Bereich der Bohrungen BVIII - BVI - BX. - In: BERNHART, L. et al. (1973): Grundwasseruntersuchungen im nordöstlichen Leibnitzer Feld. - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1973/23, 407-471, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- WESSIAK, W. (1973c): Pumpversuch Bohrung XI. - In: BERNHART, L. et al. (1973): Grundwasseruntersuchungen im nordöstlichen Leibnitzer Feld. - Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 1973/23, 349-391, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- WESSIAK, W. (1981): Brunnen Peterl - Anlage und Auswertung des Dauerpumpversuches. - Hydrologisches Gutachten, Graz.
- WESSIAK, W. (1986): Brunnen Straßgütl - Anlage und Auswertung des Dauerpumpversuches. - Hydrologisches Gutachten, Graz.
- WESSIAK, W. (1988): Golfplatzprojekt Gut Murstätten. Wasserrechtliche Einreichunterlagen für die Anlage eines Landschafts-Sees (Naßbaggerung). - Hydrogeologisches Gutachten, Graz.
- YEH, W. (1986): Review of Parameter Identification Procedures in Groundwater Hydrology: The Inverse Problem. - Water Resources Research, 22/2.
- ZOJER, H. (1980): Hydrogeologische Untersuchungen für eine Erweiterung der Wasserversorgung von Wildon.

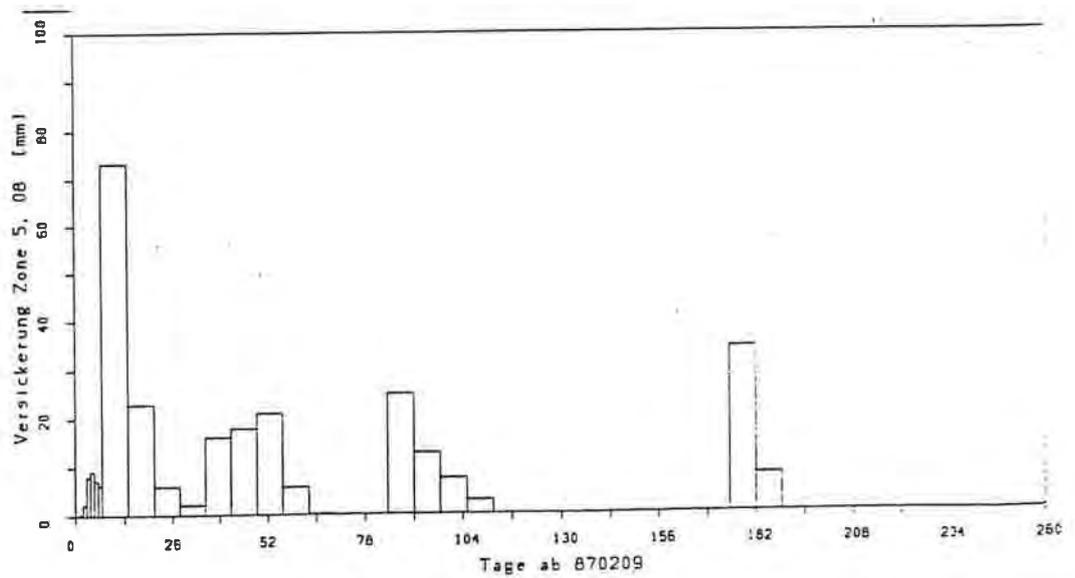
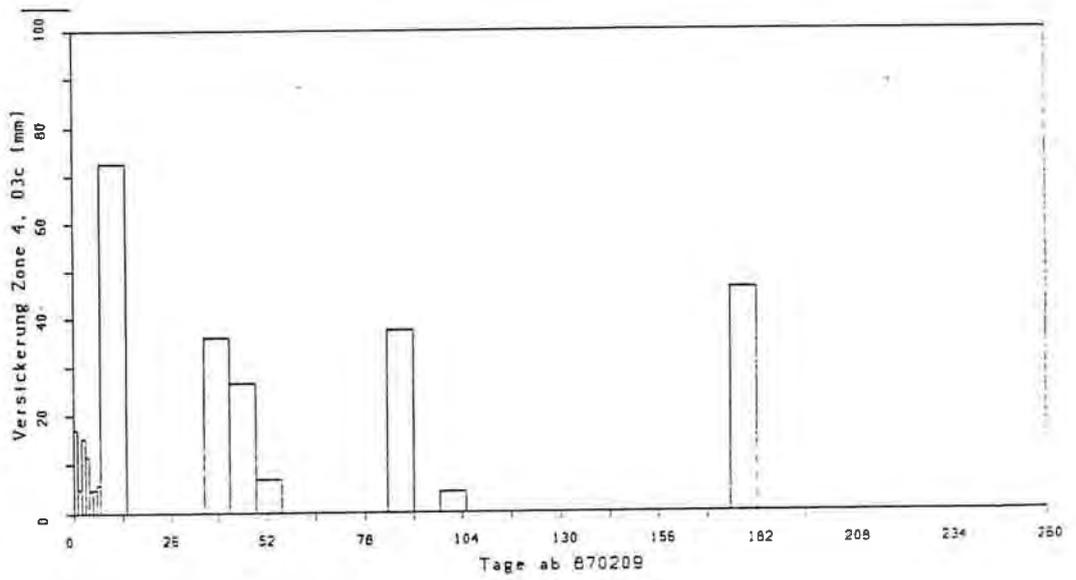
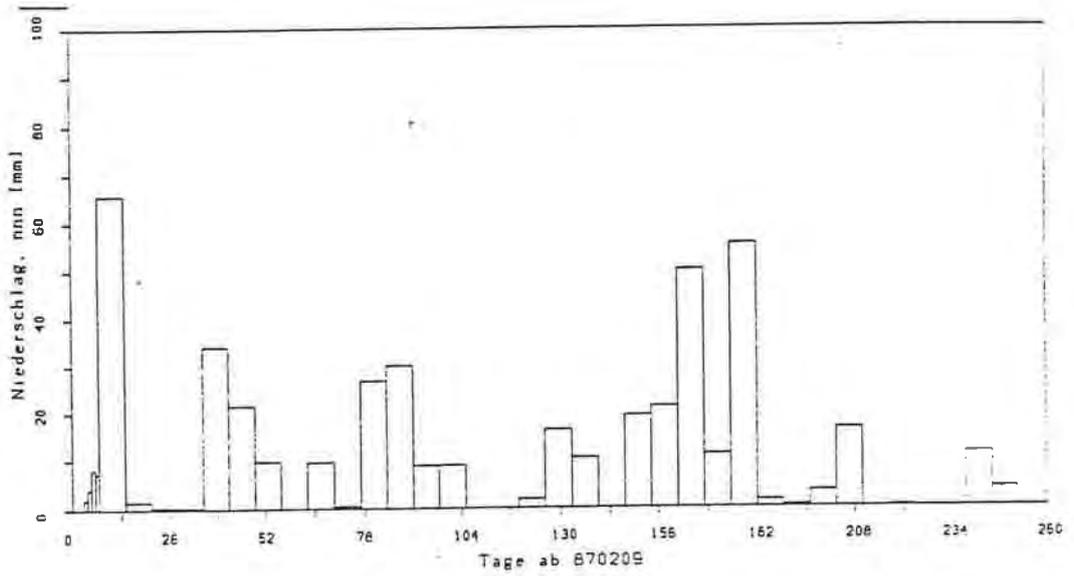


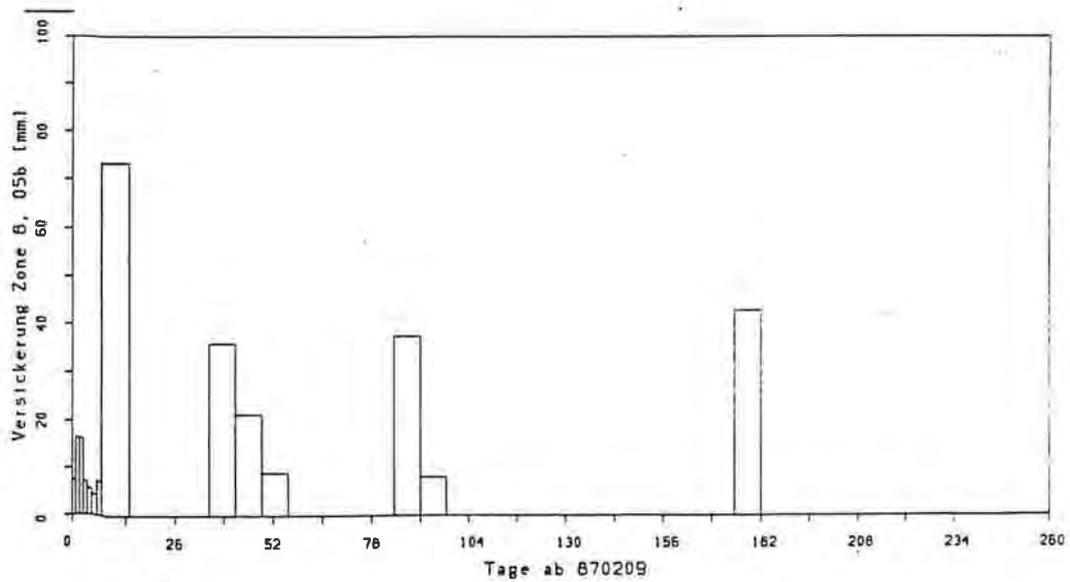
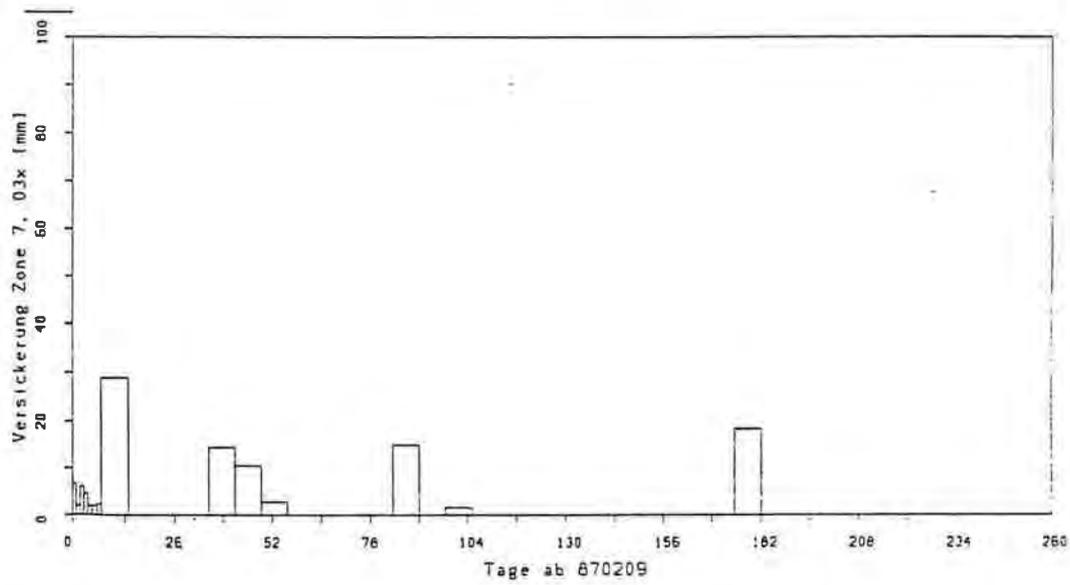
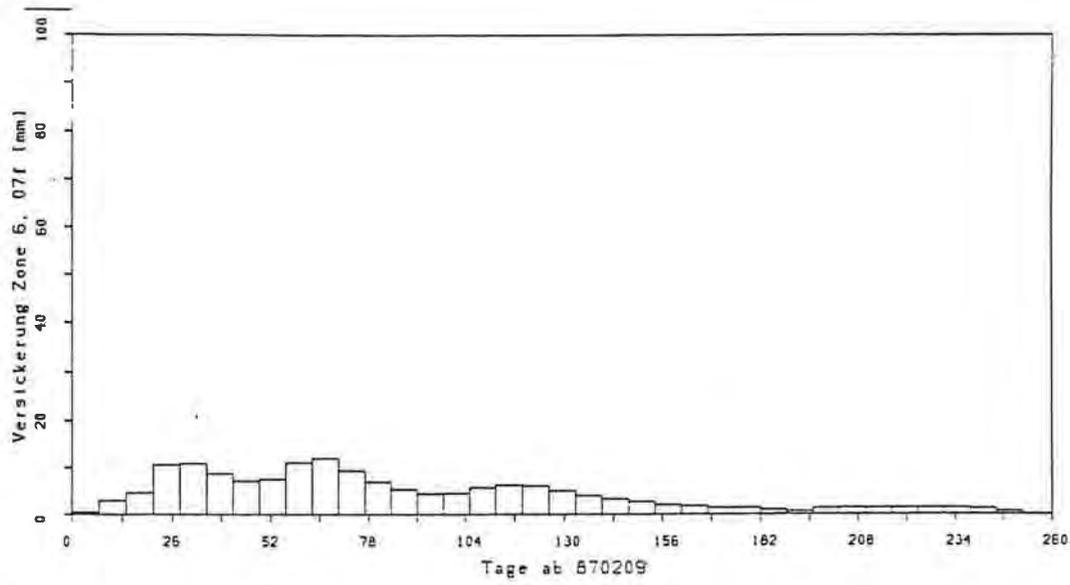


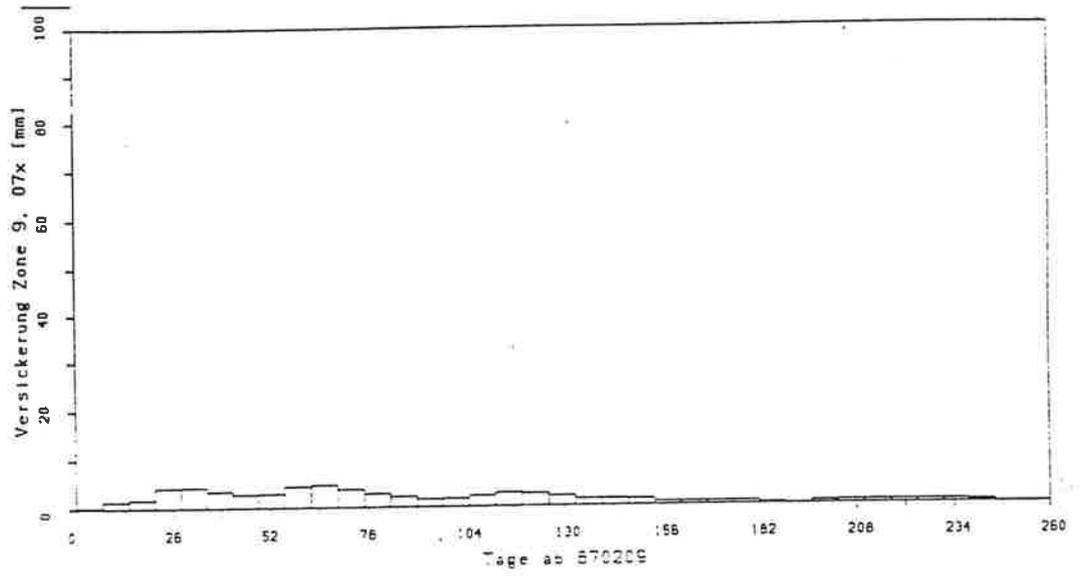


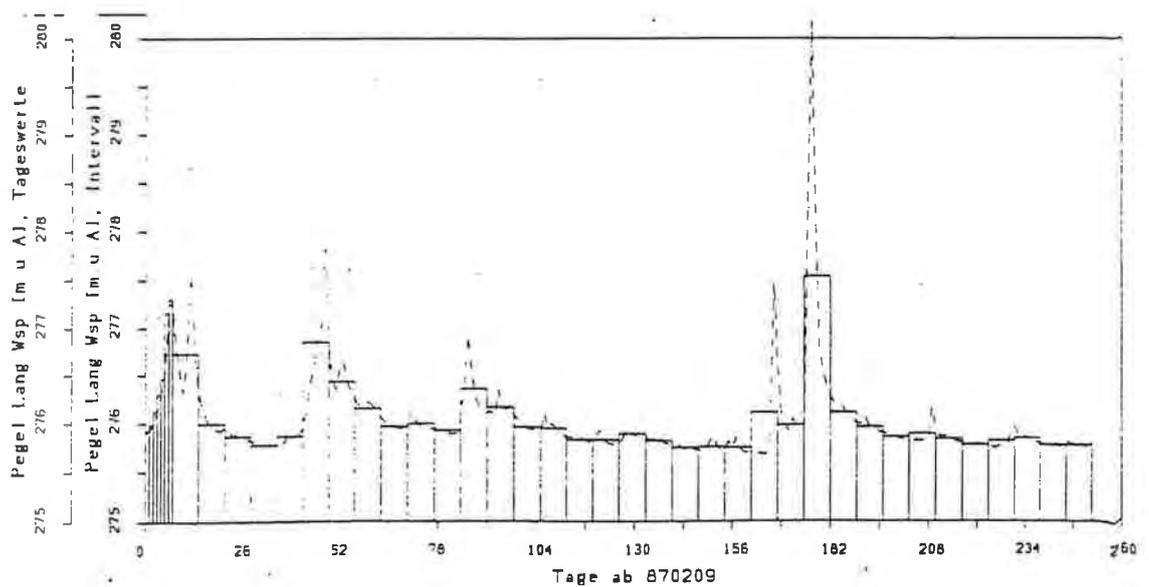
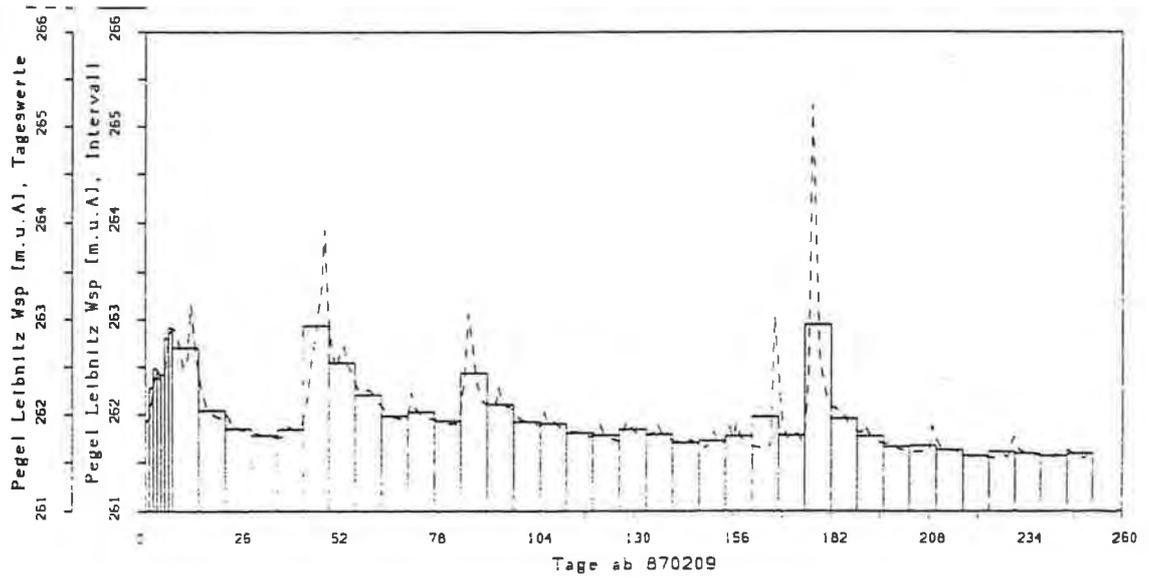
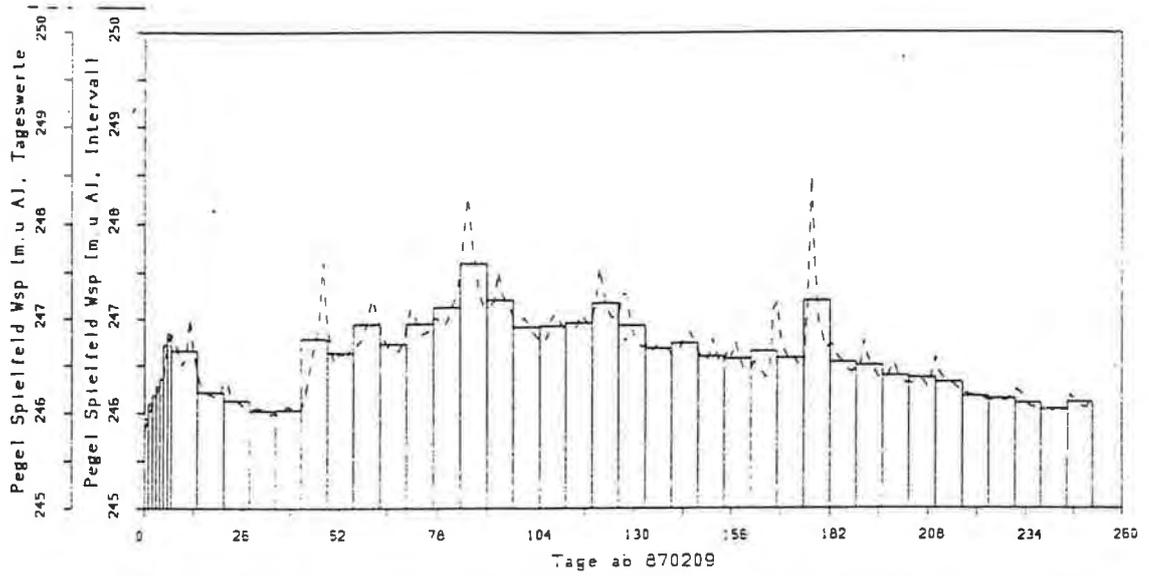


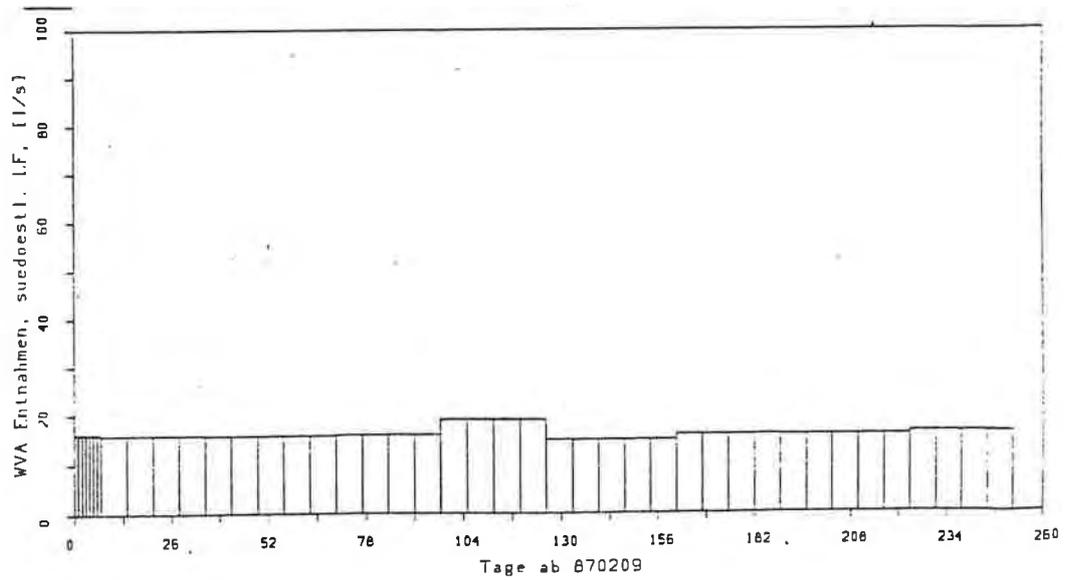
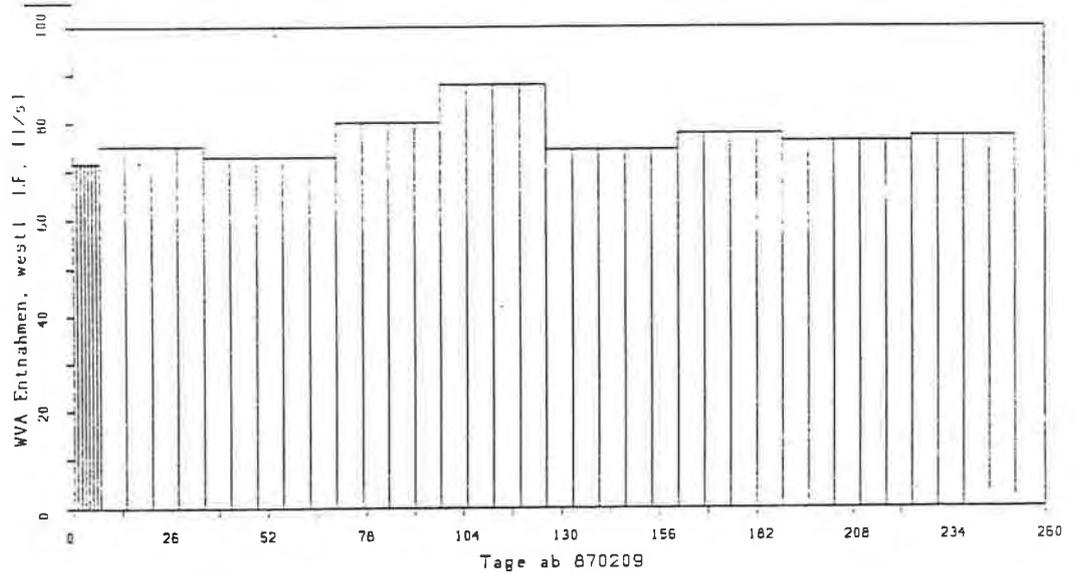
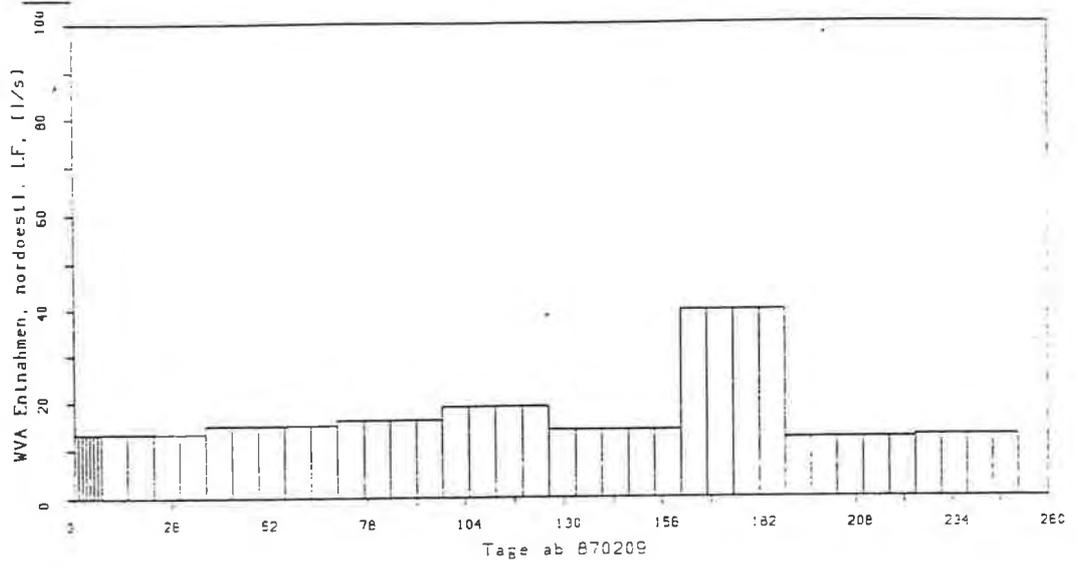


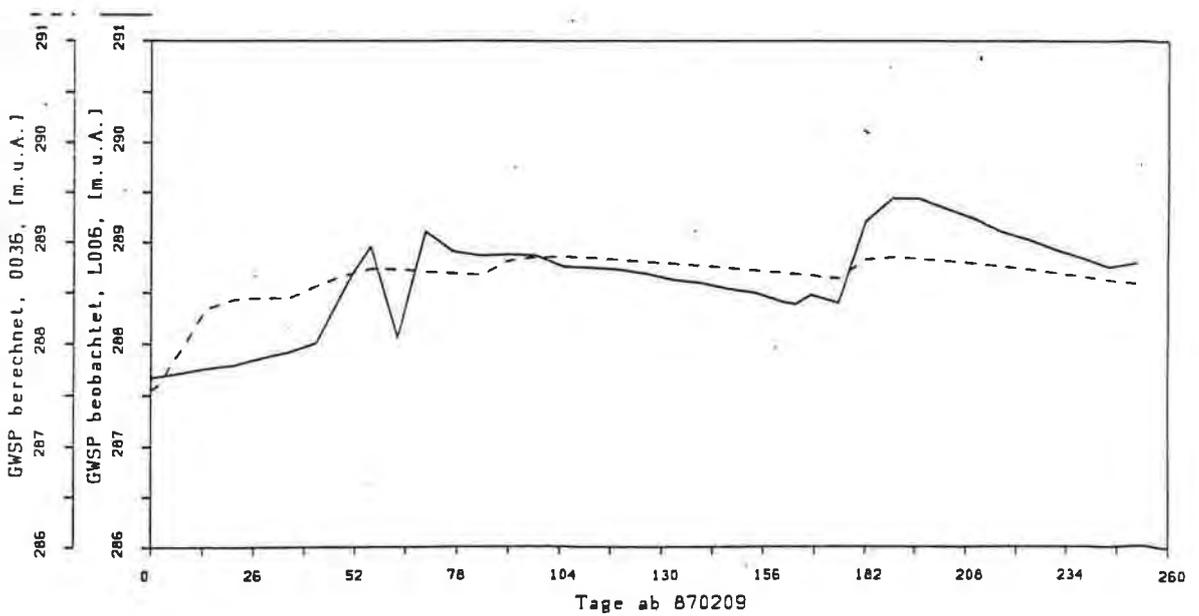
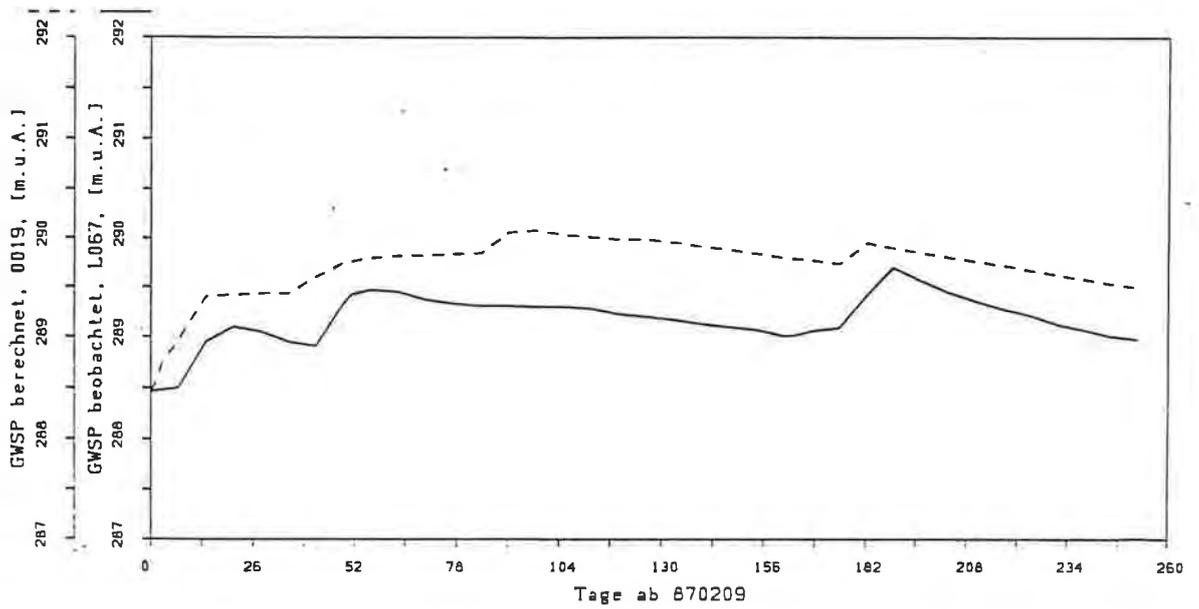
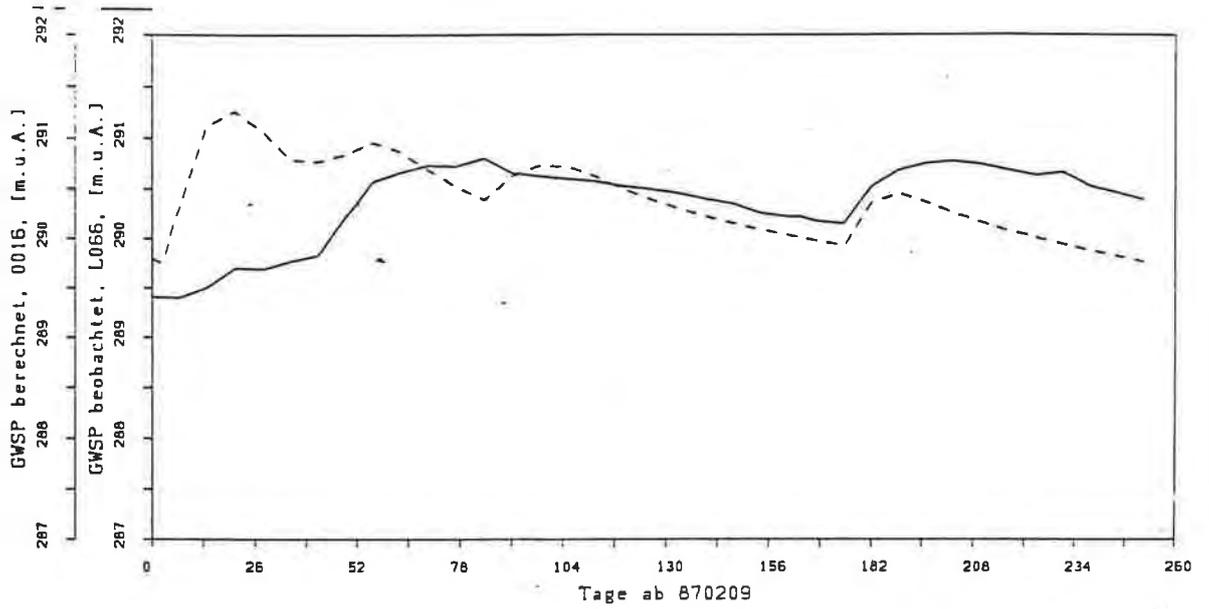


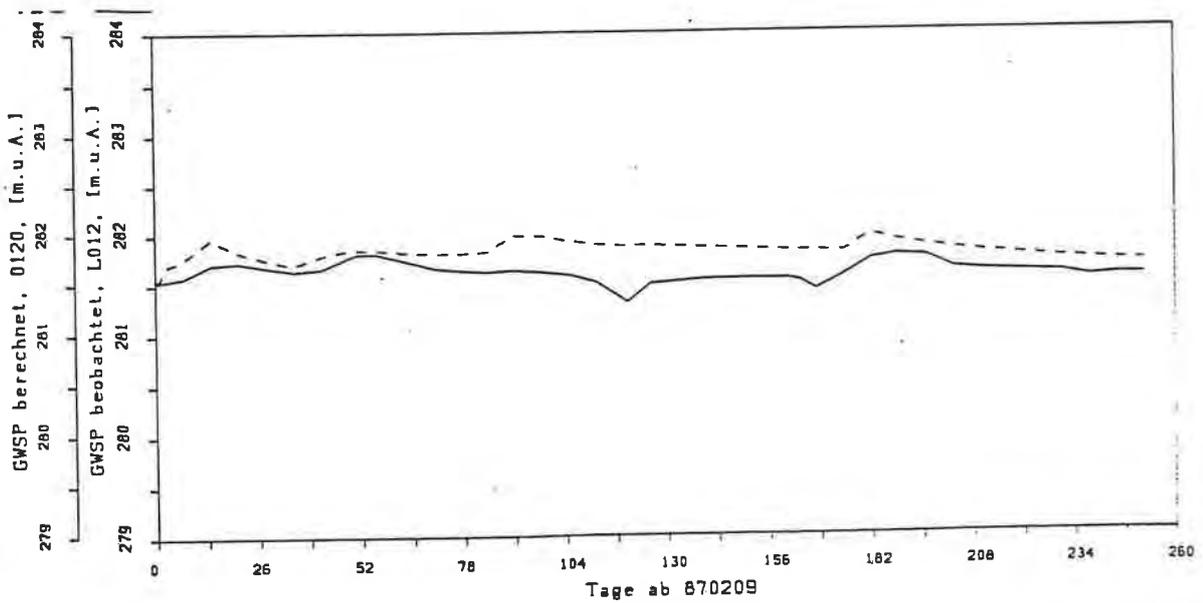
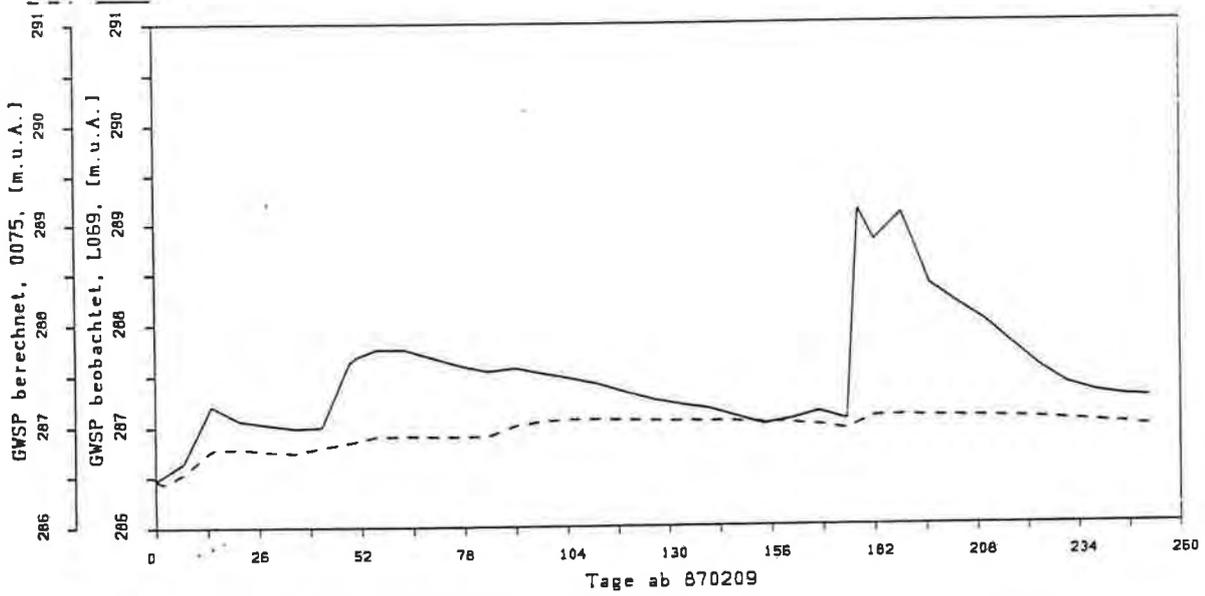
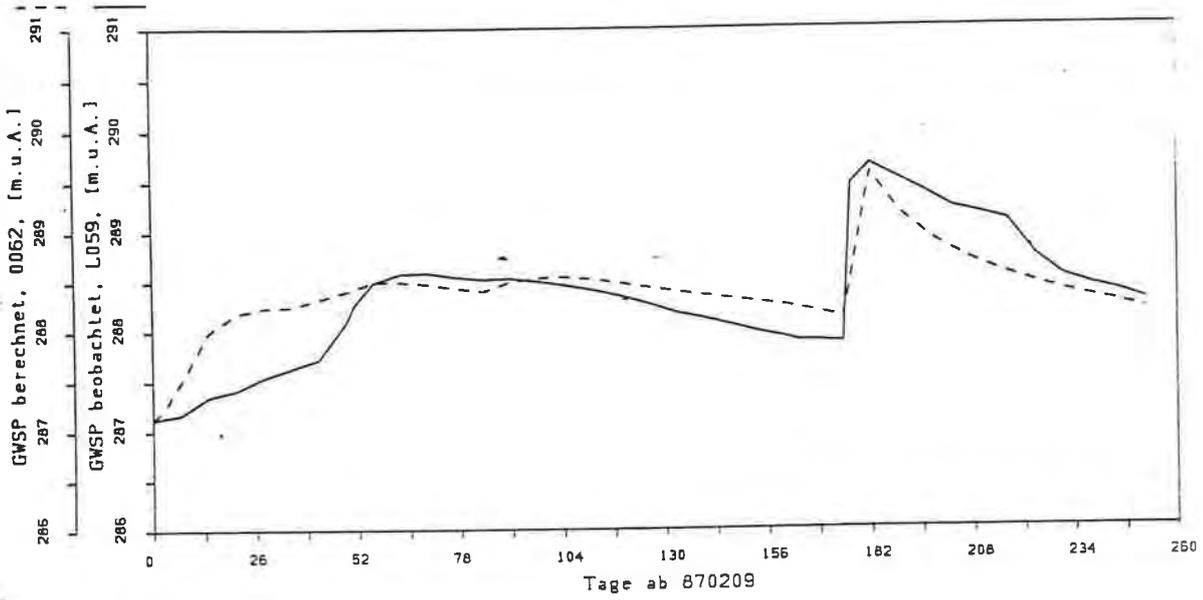


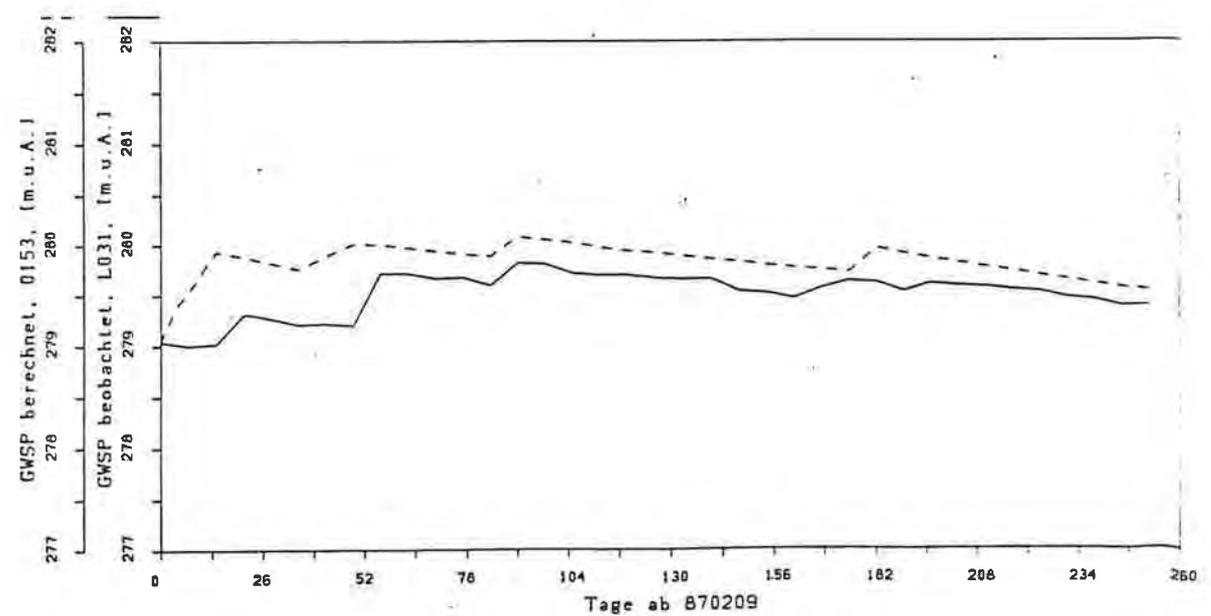
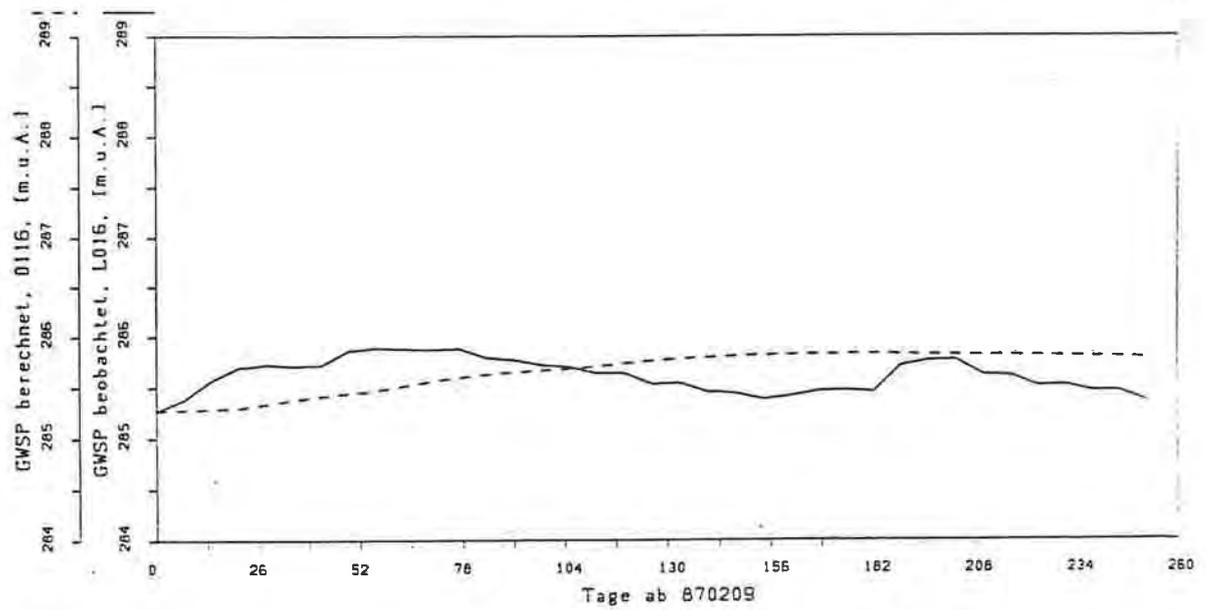
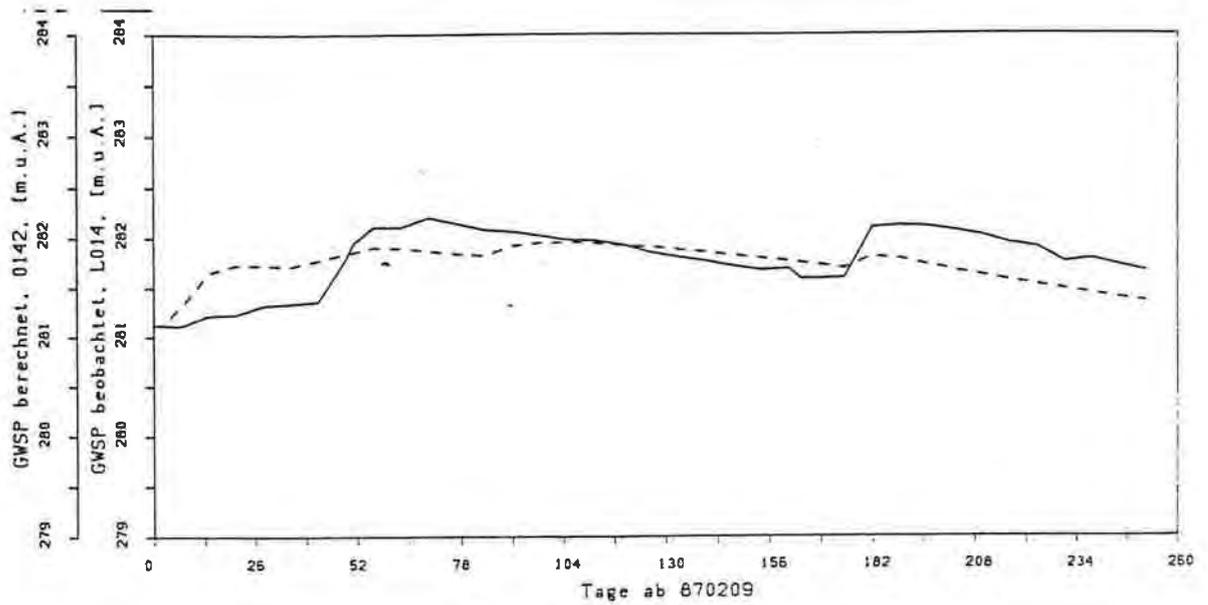


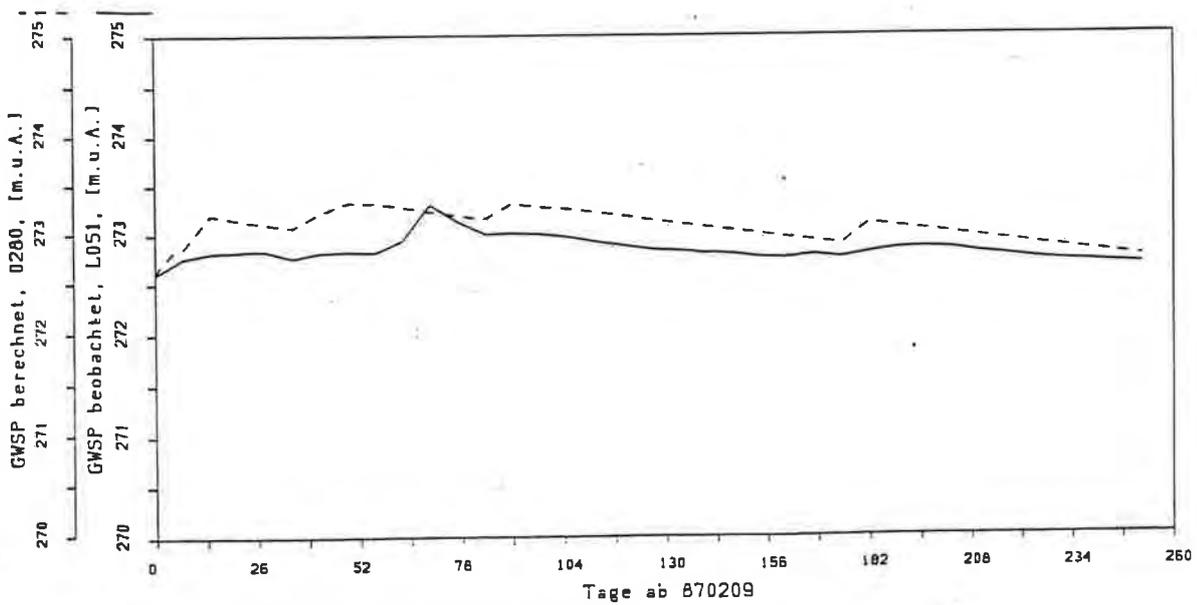
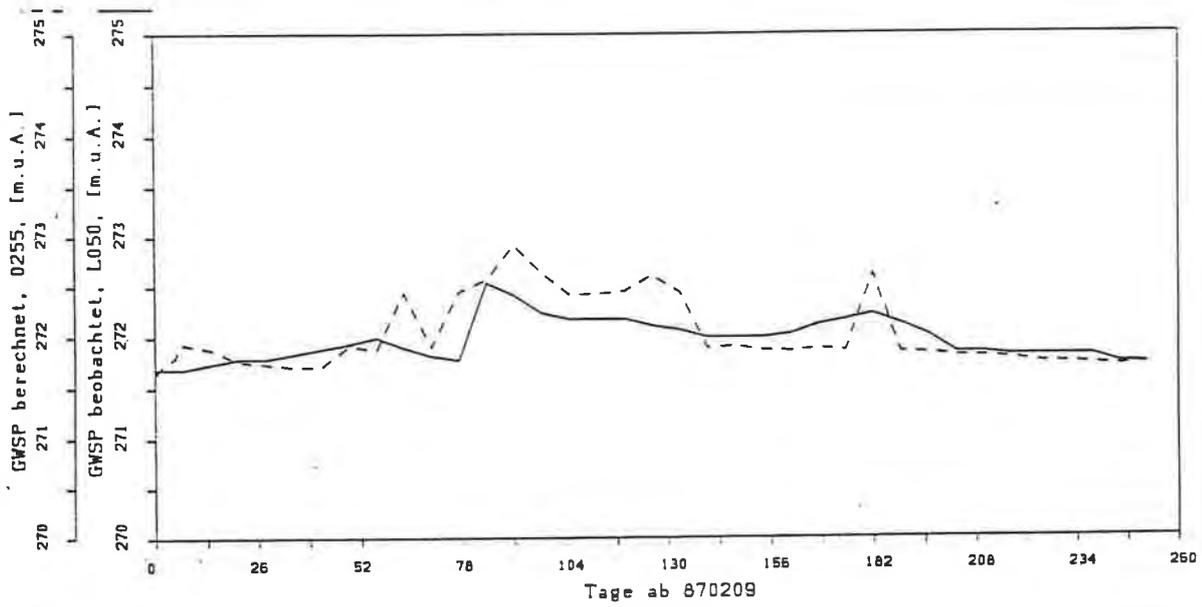
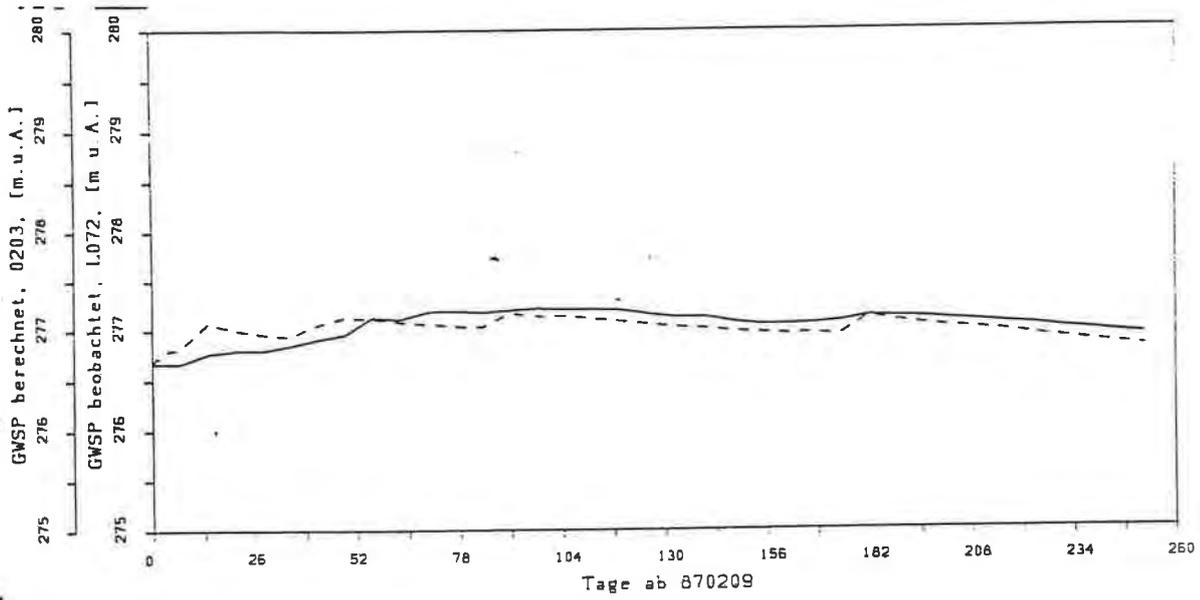


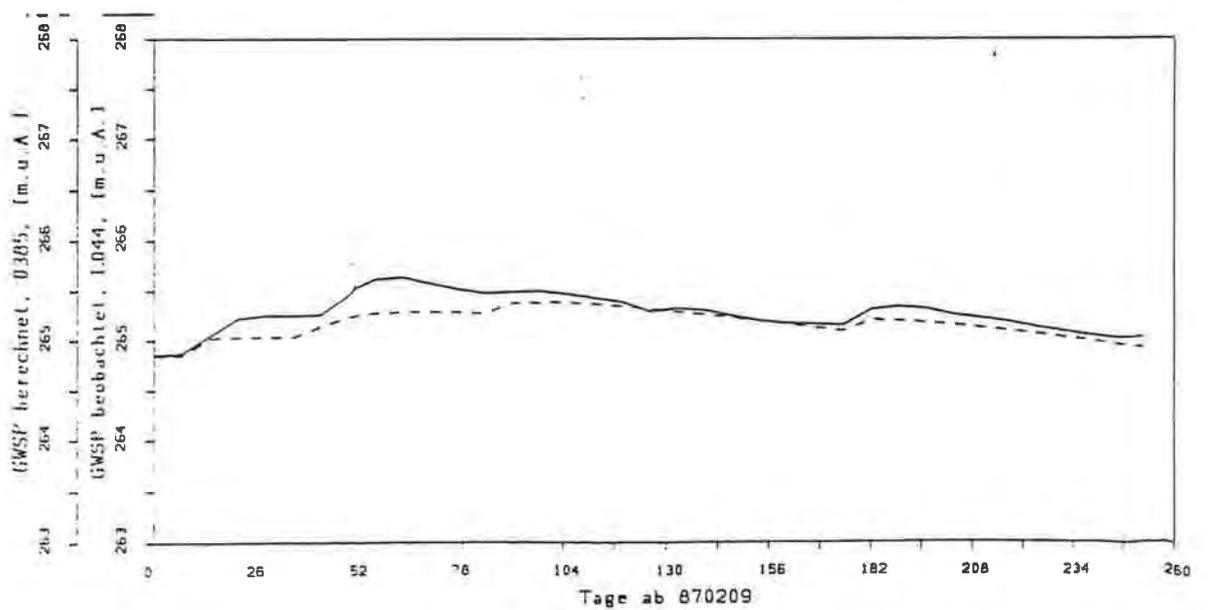
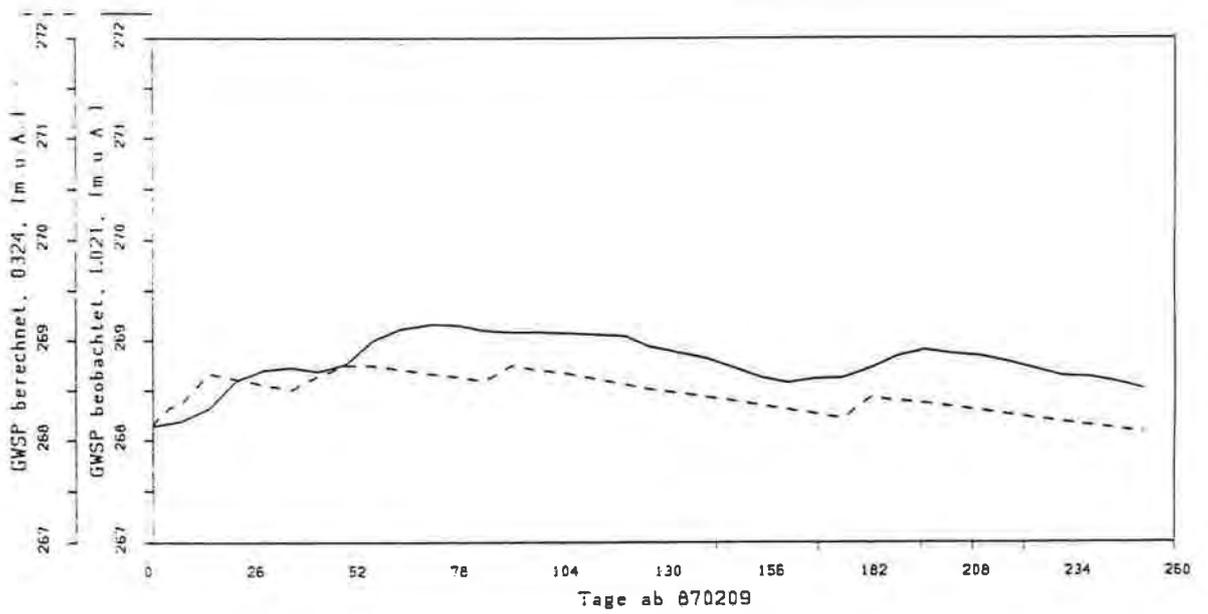
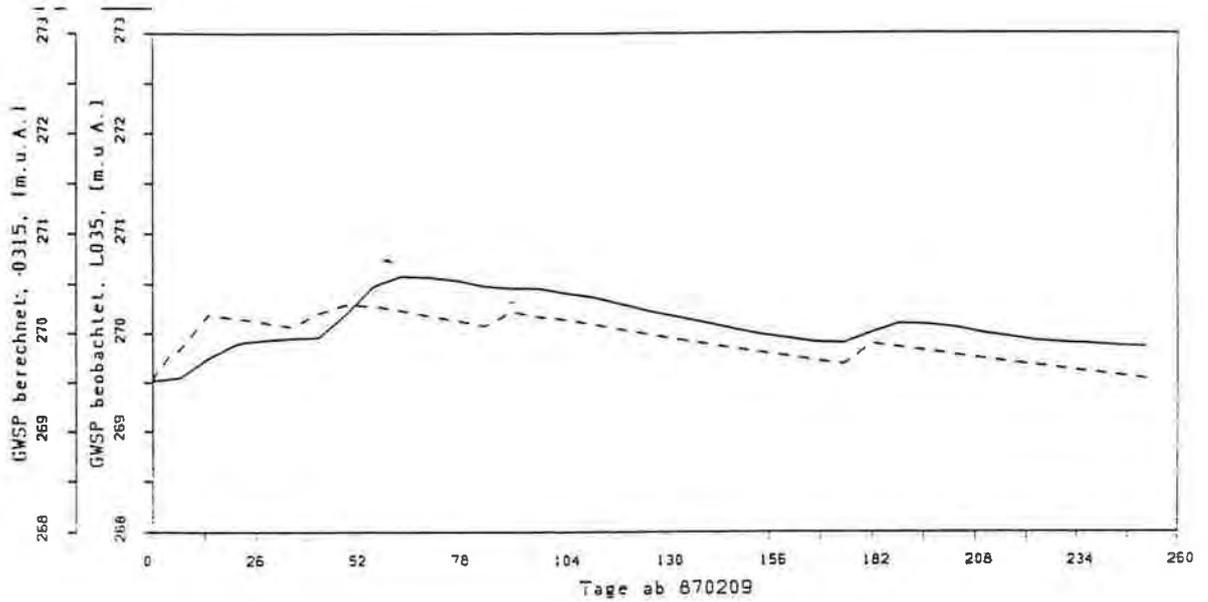


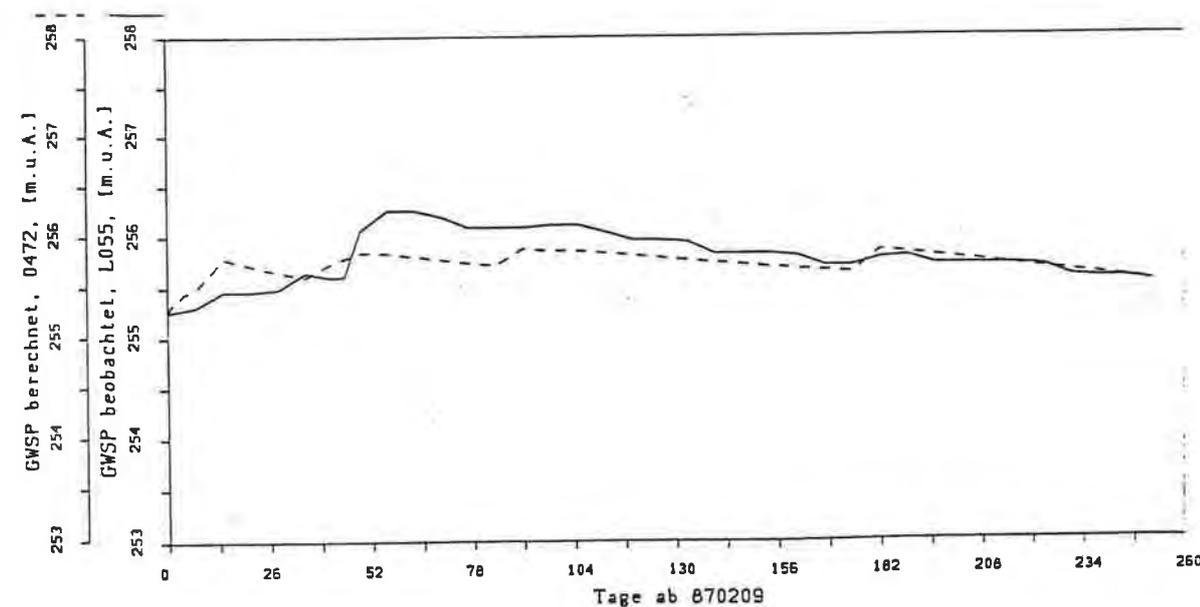
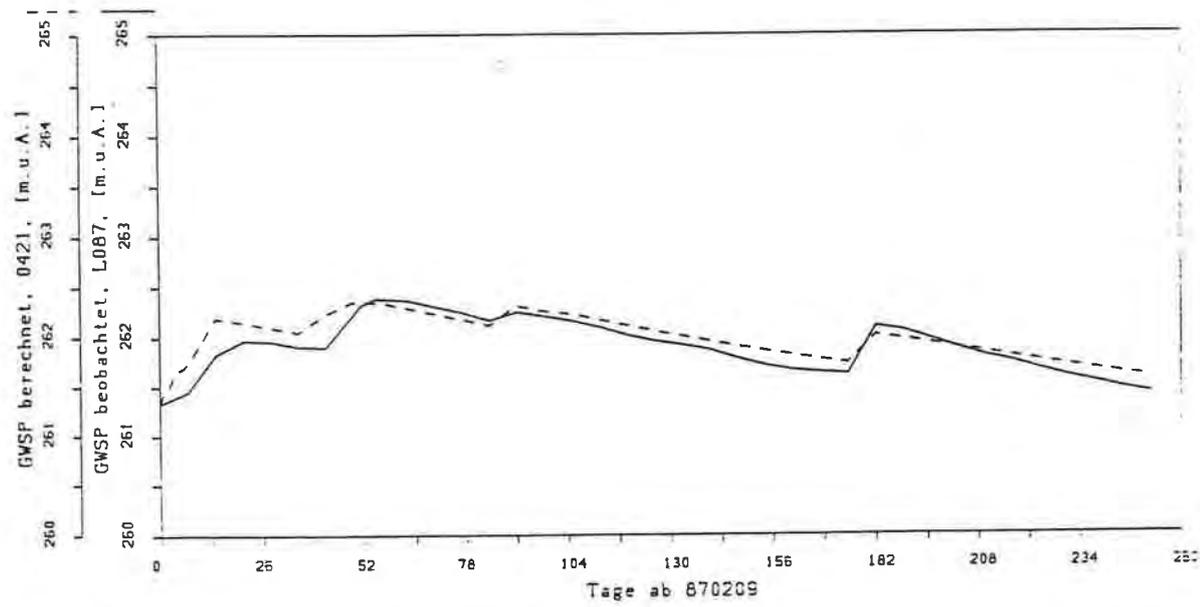
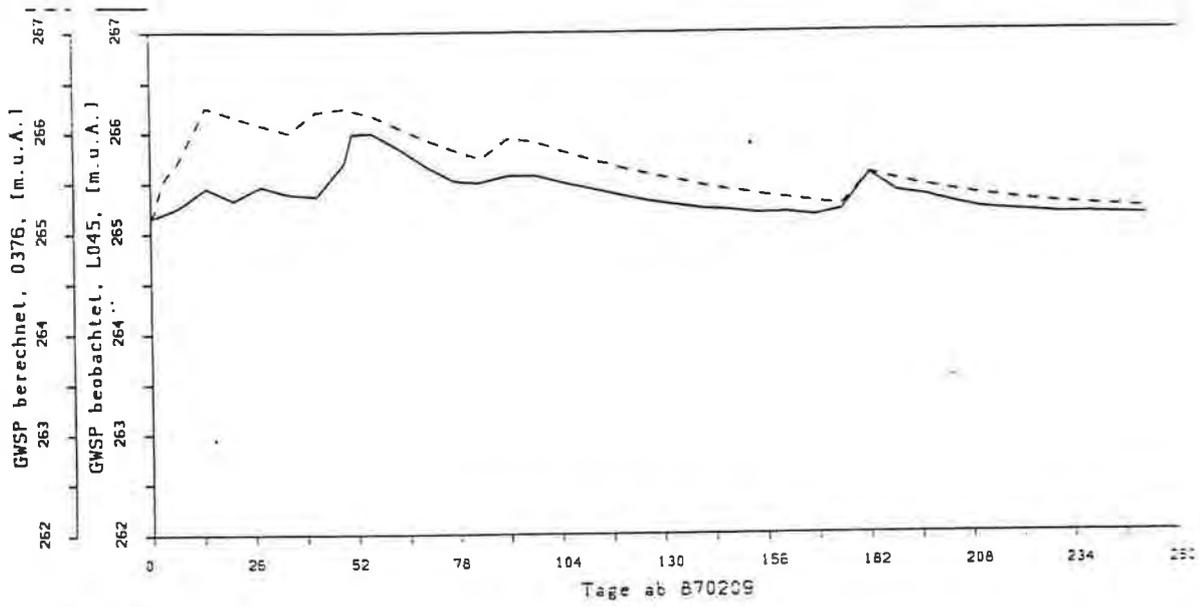


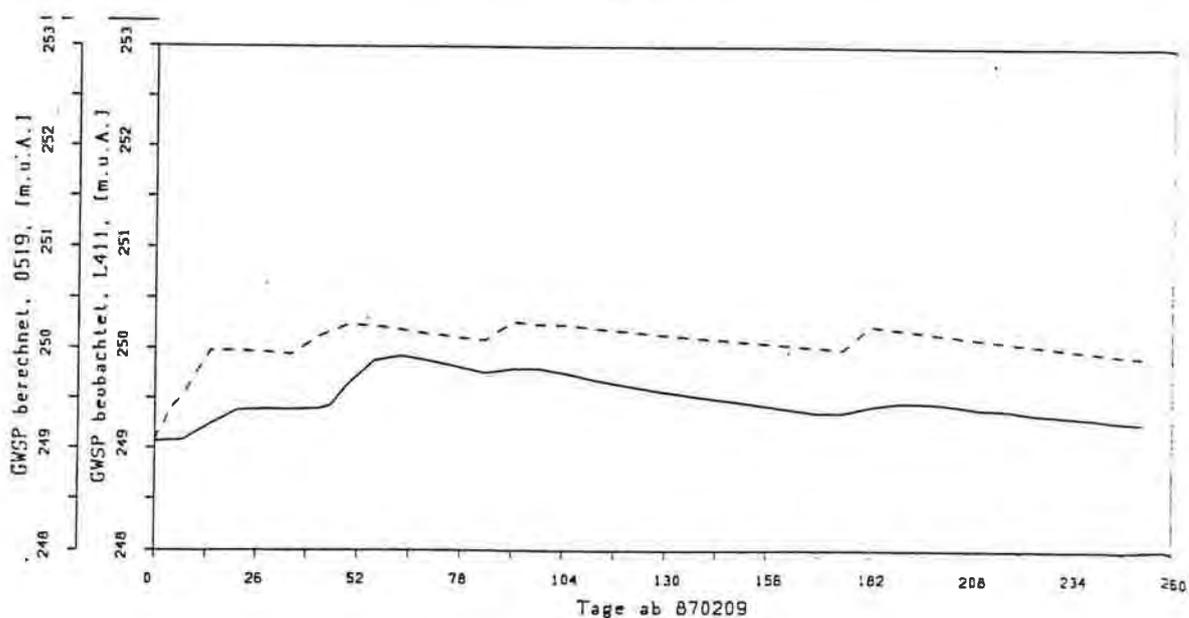
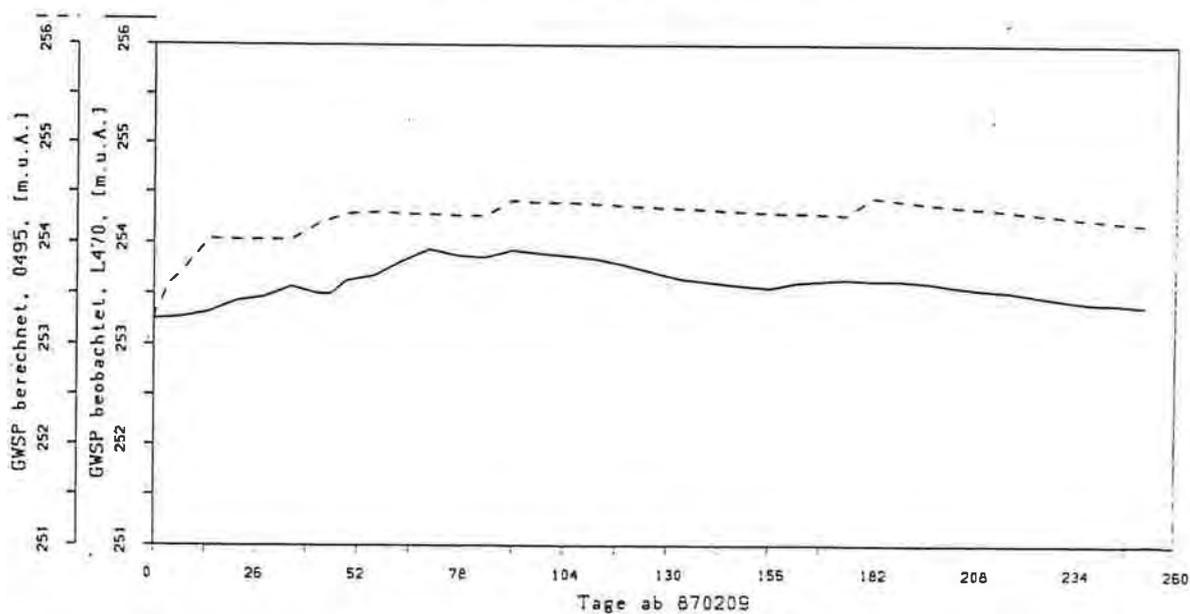
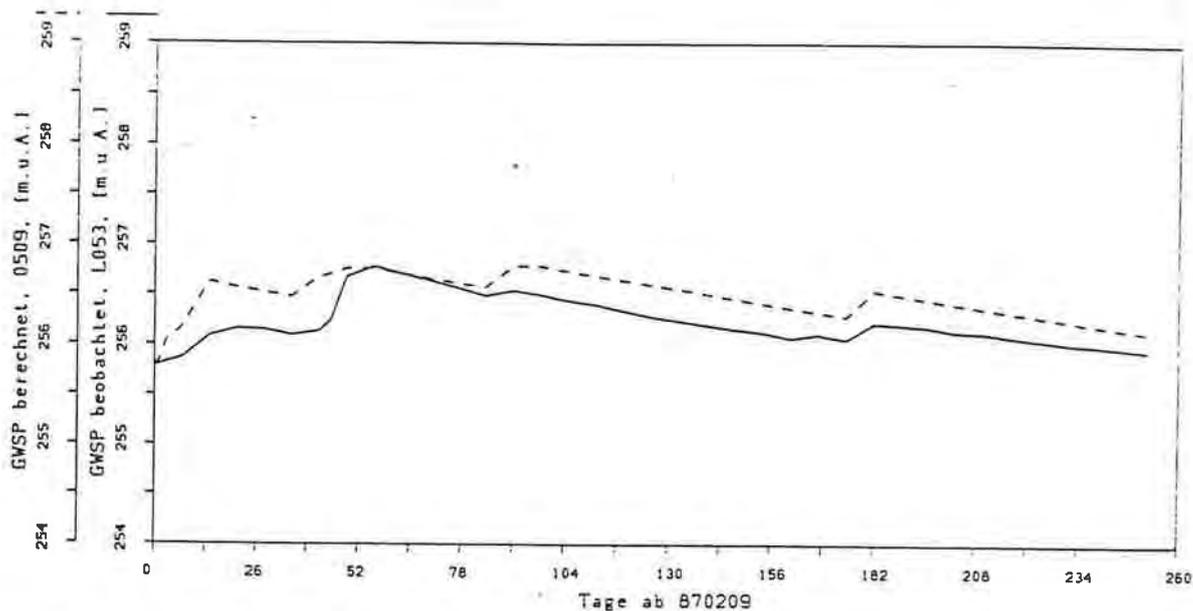


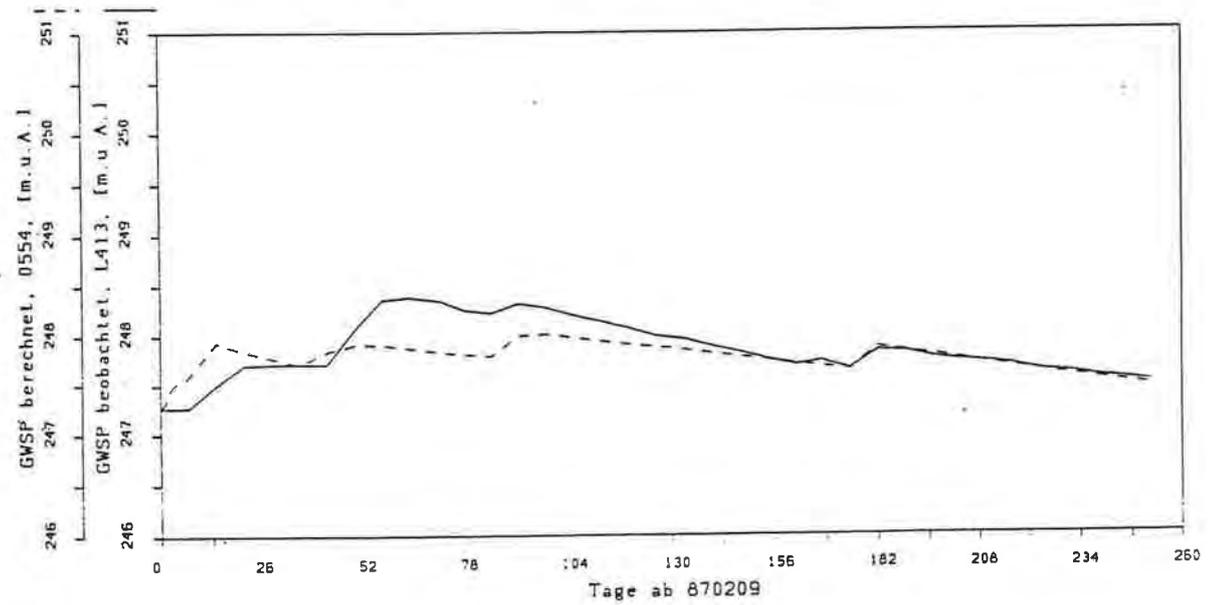
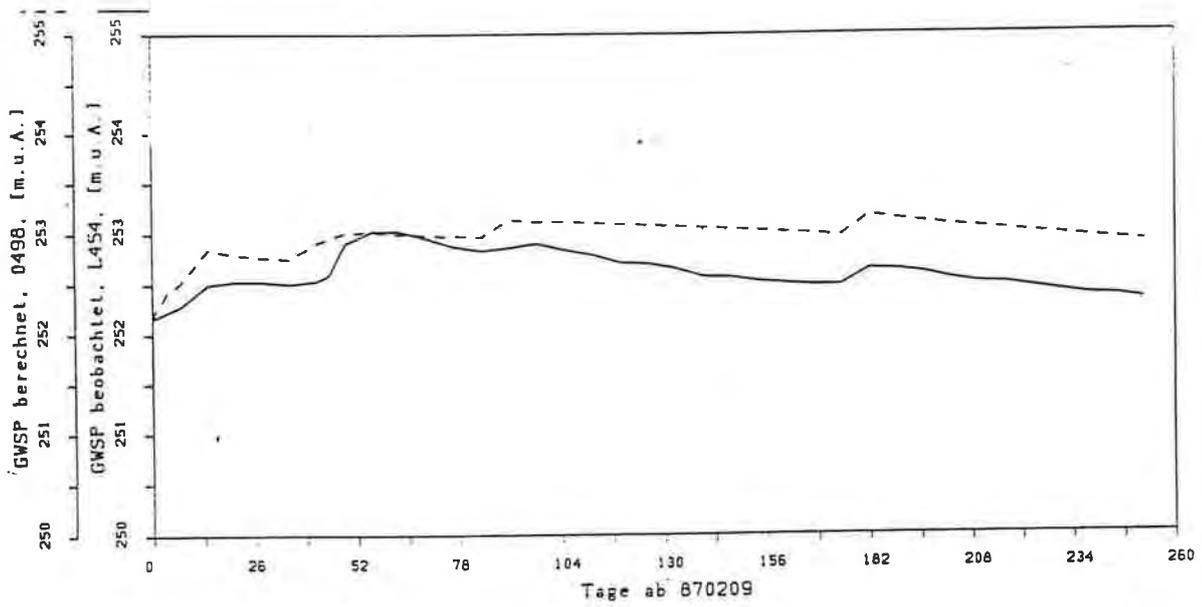


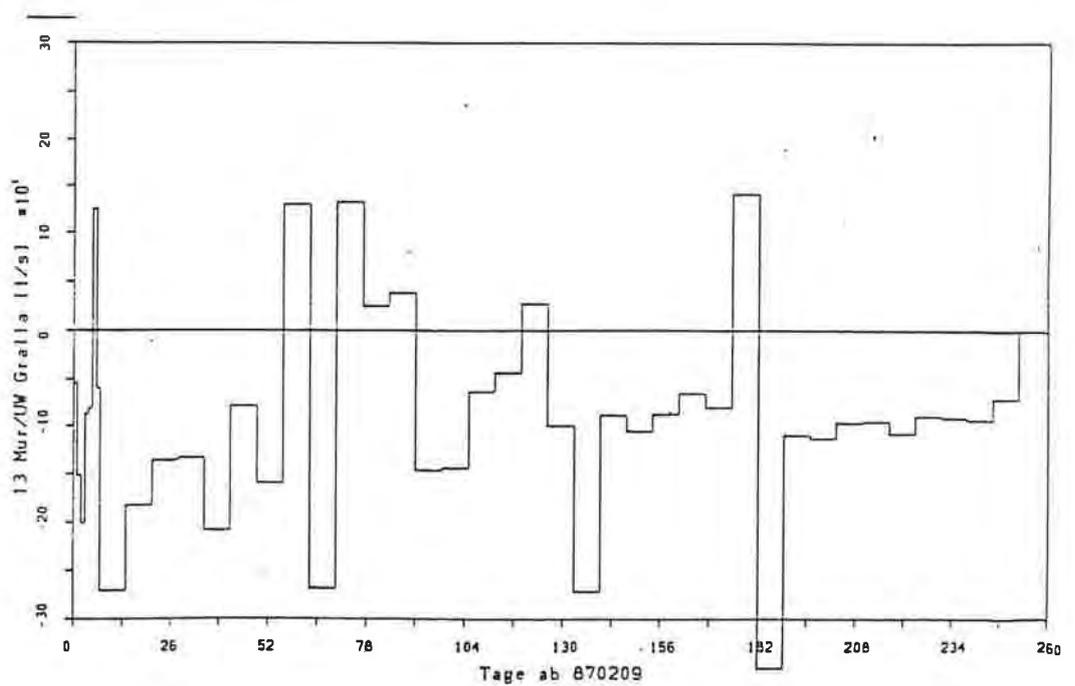
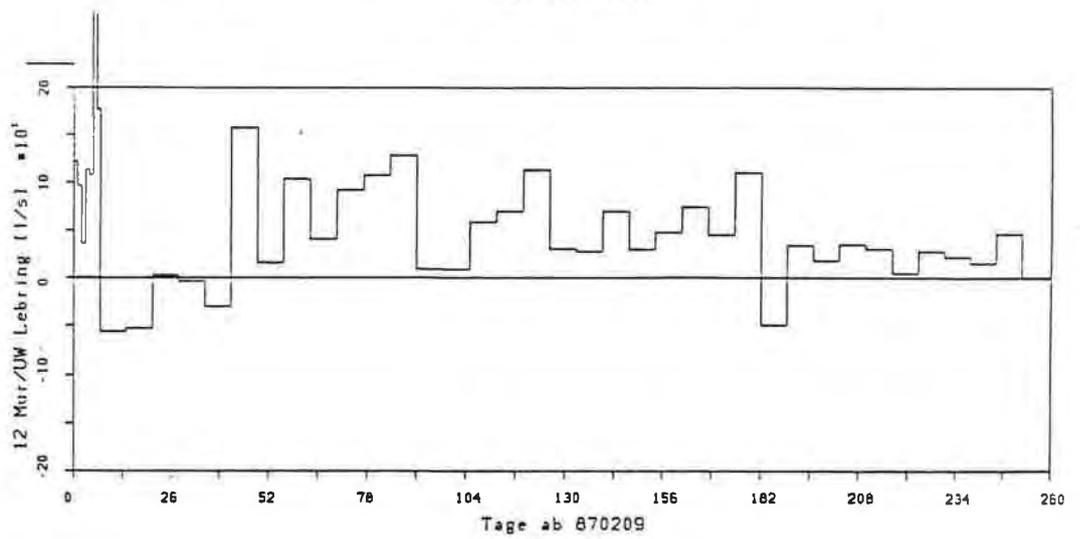
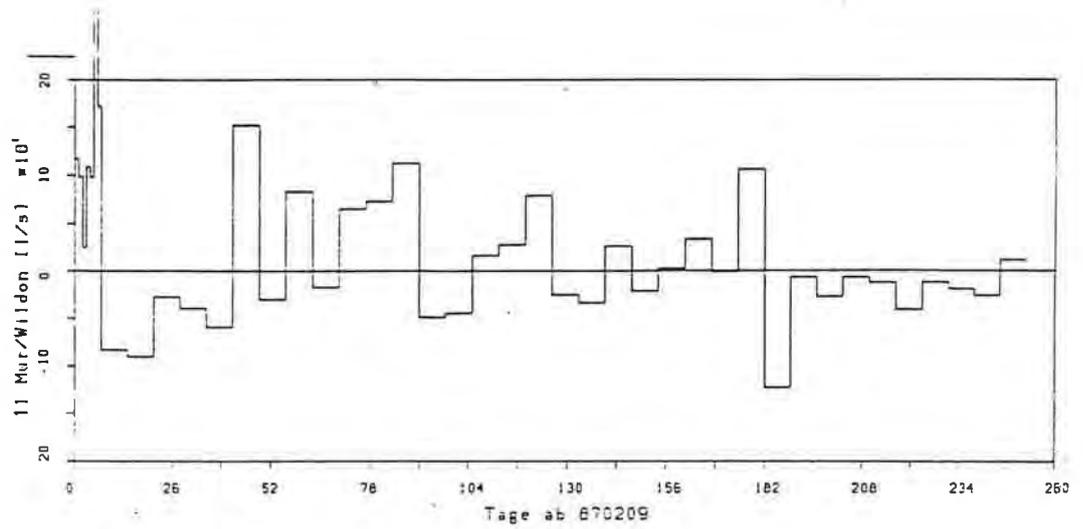


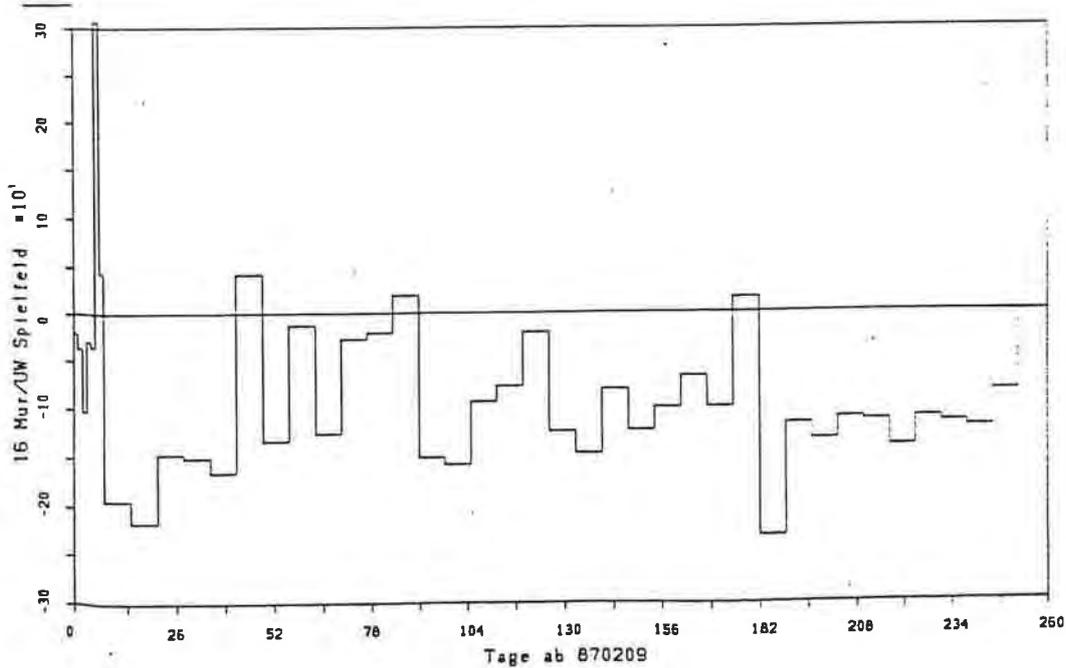
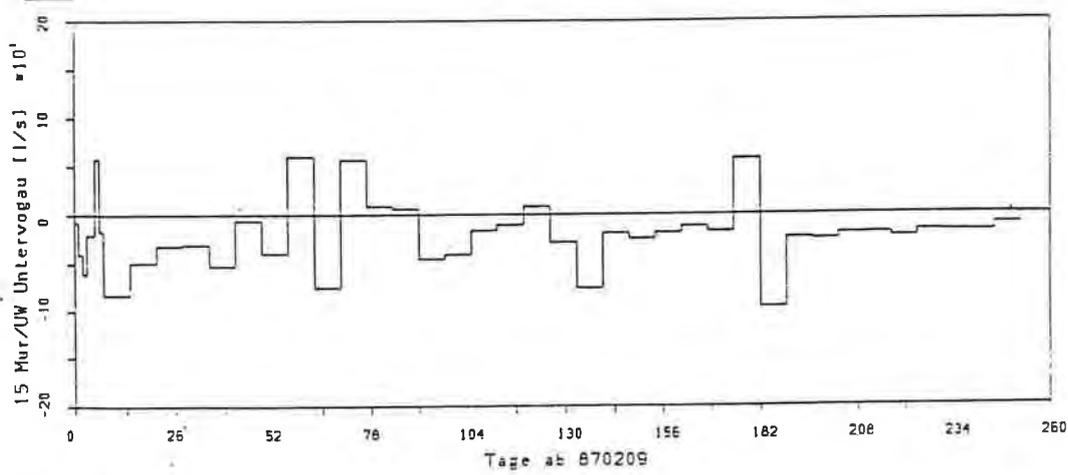
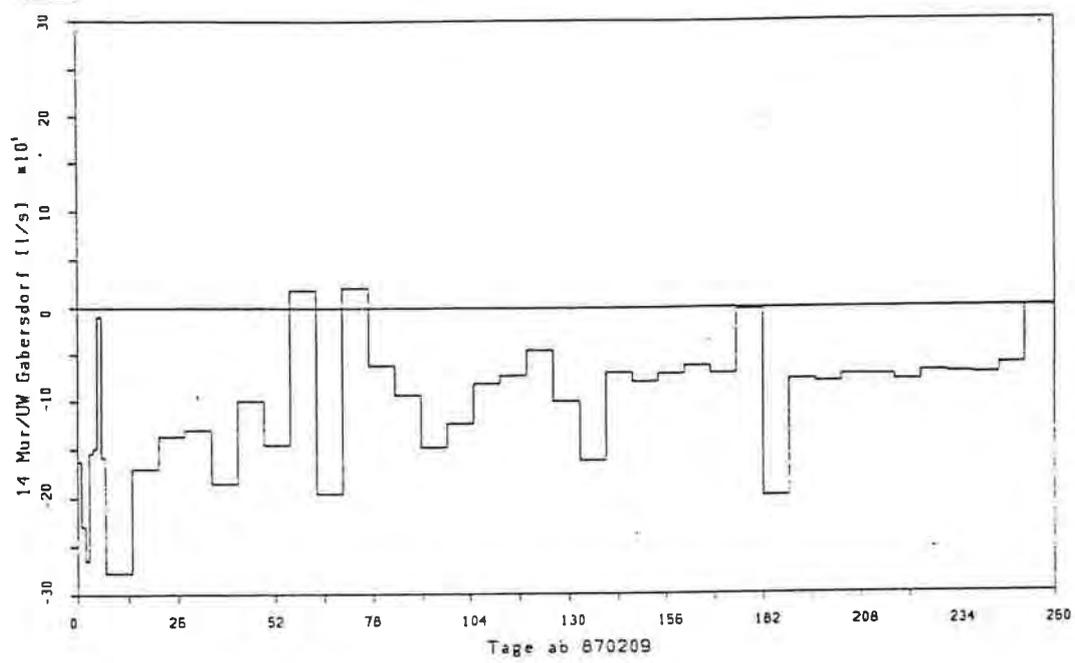


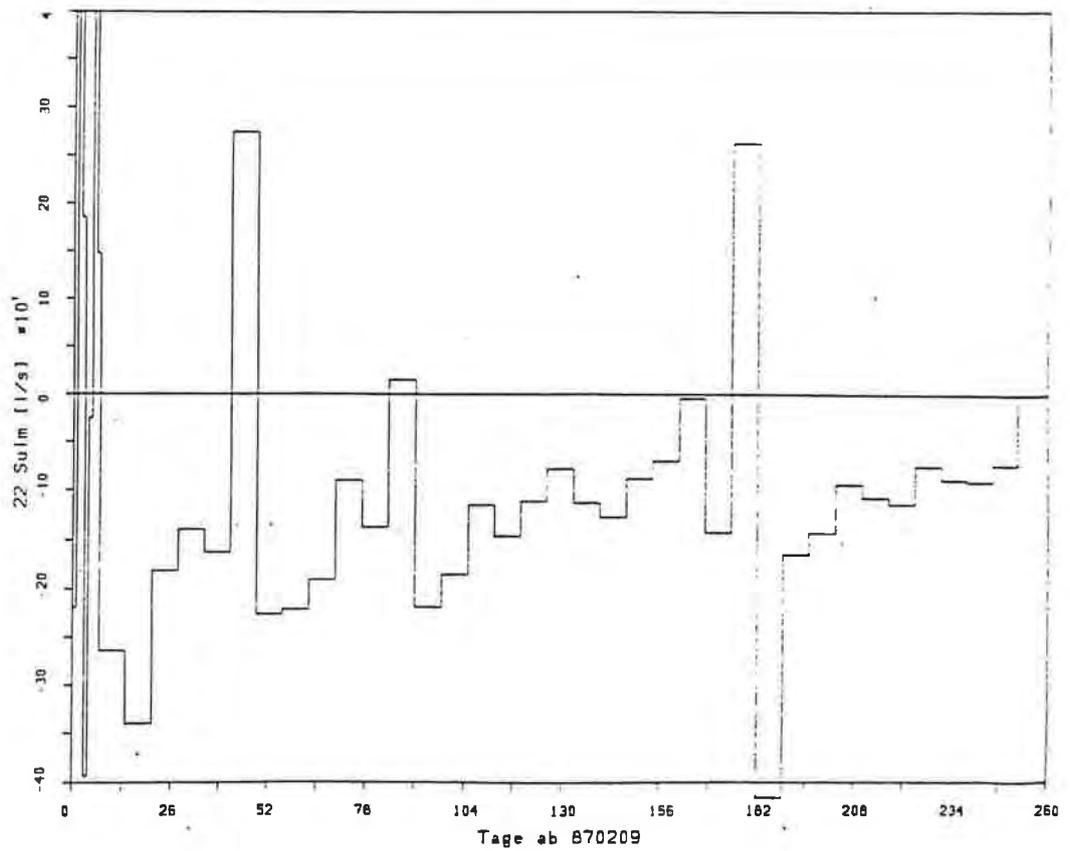
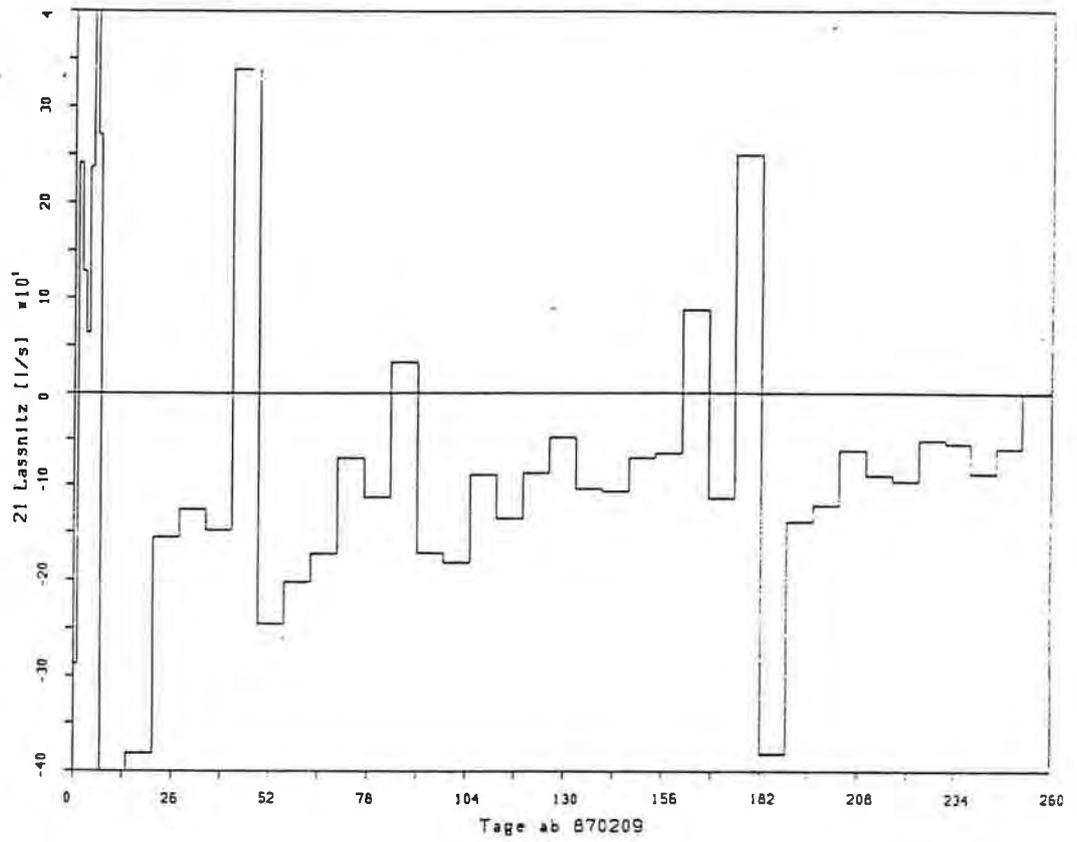


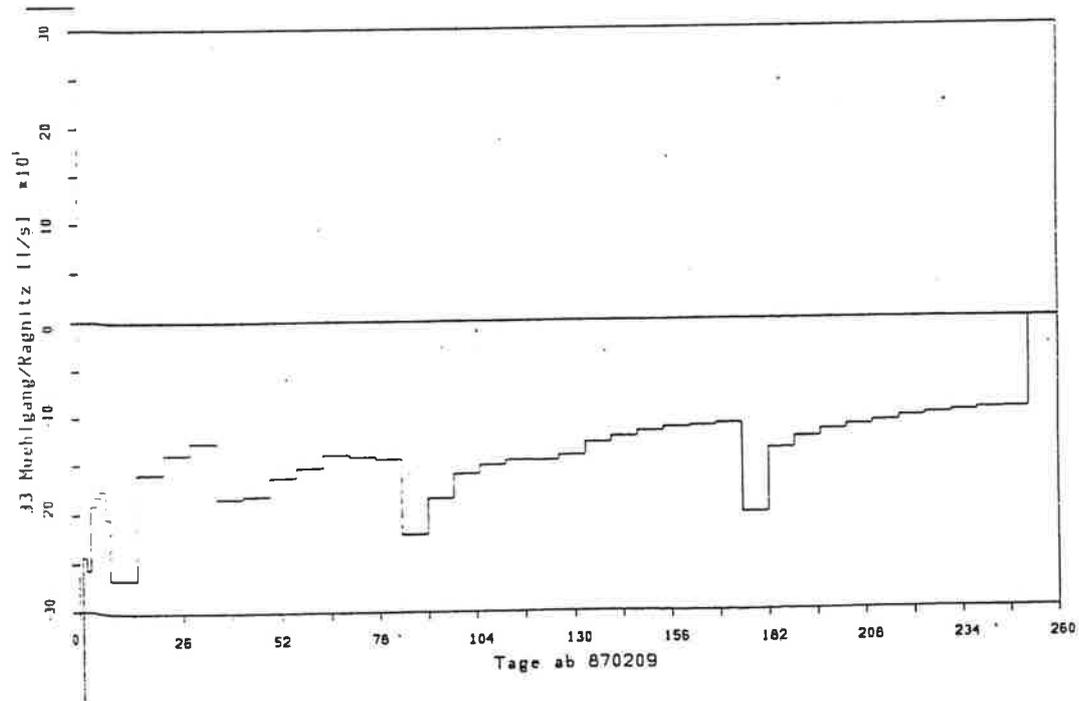
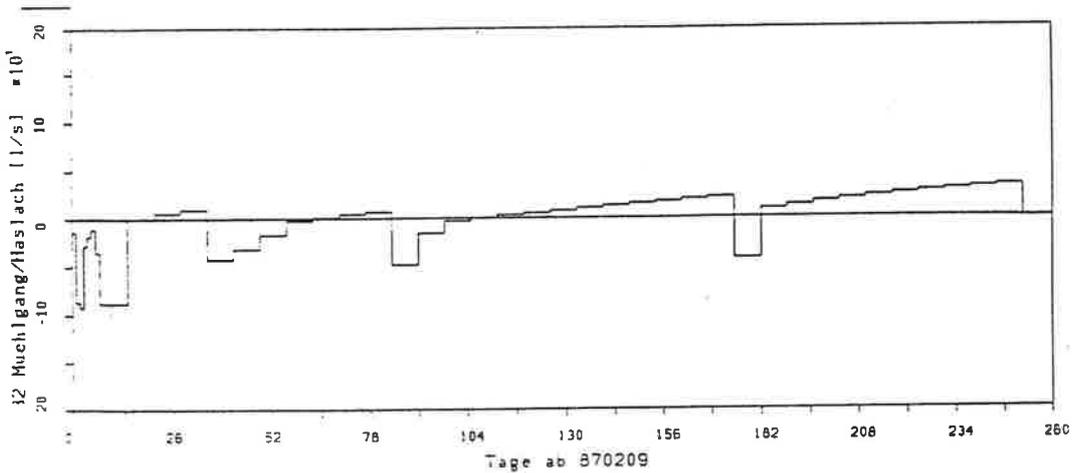
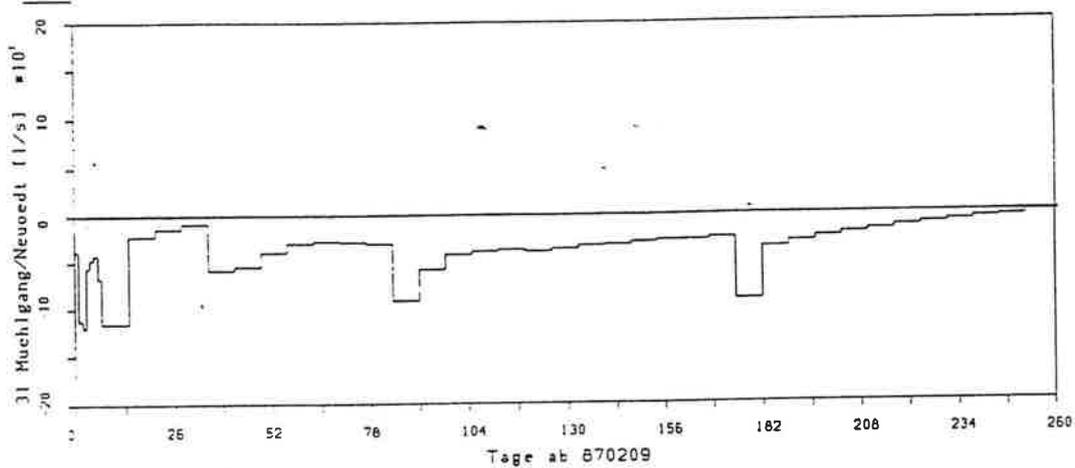


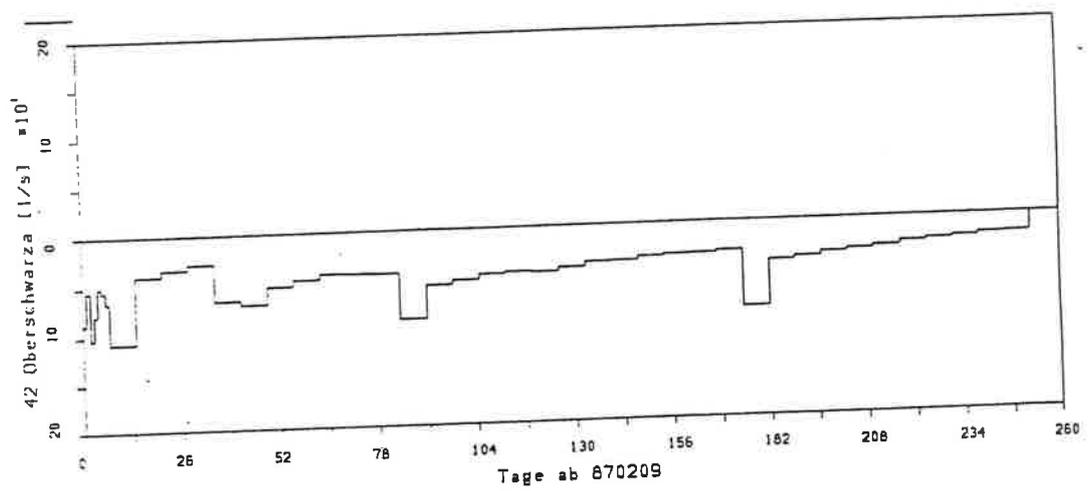


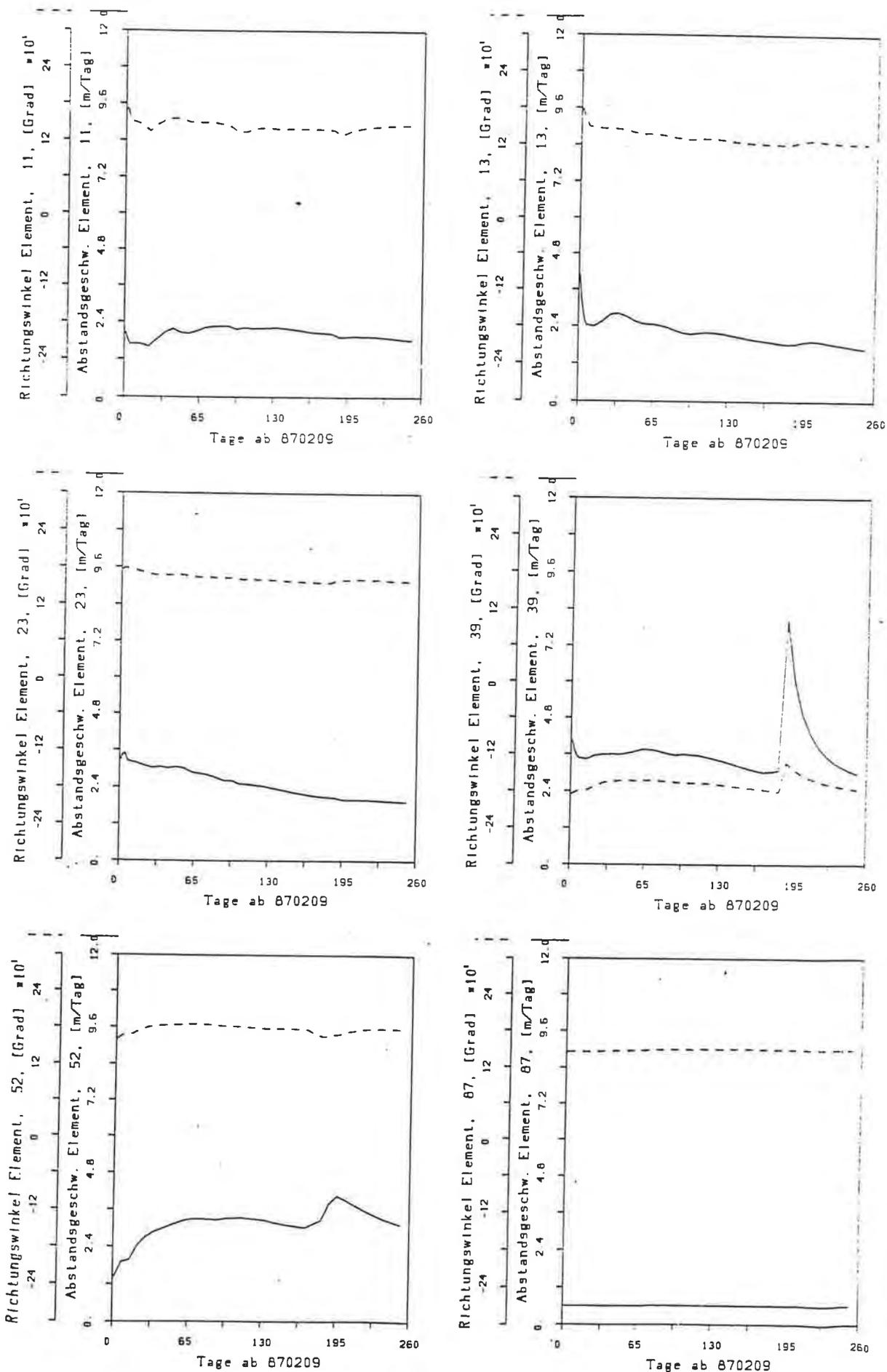


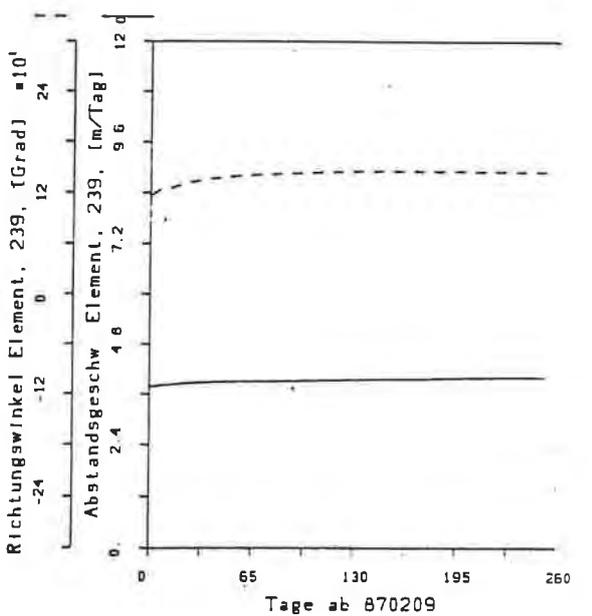
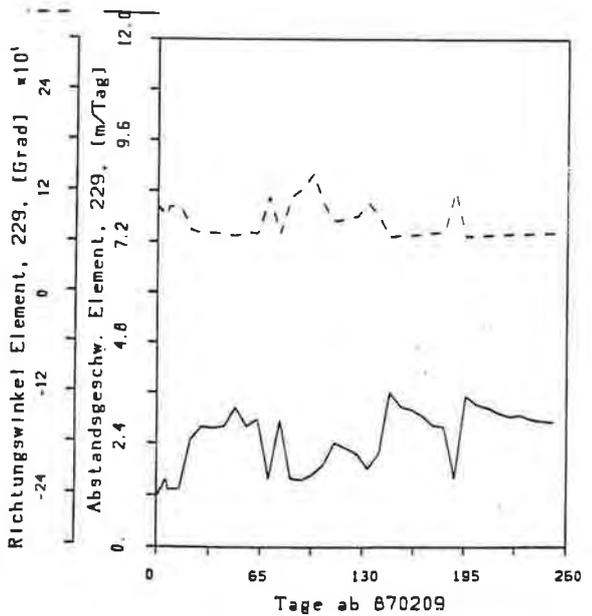
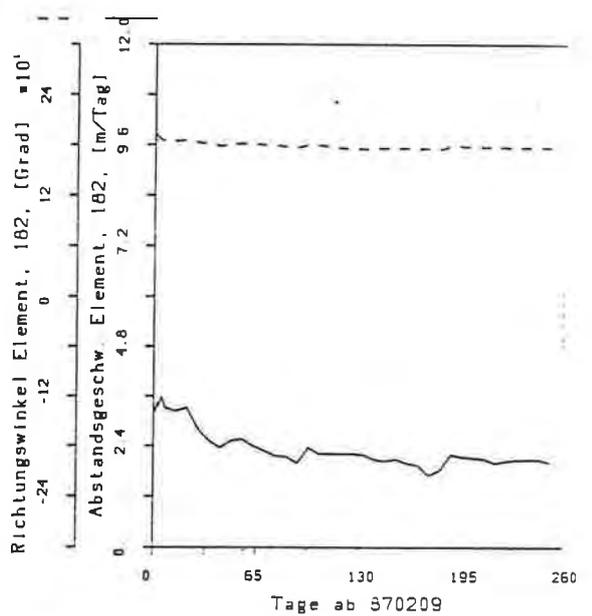
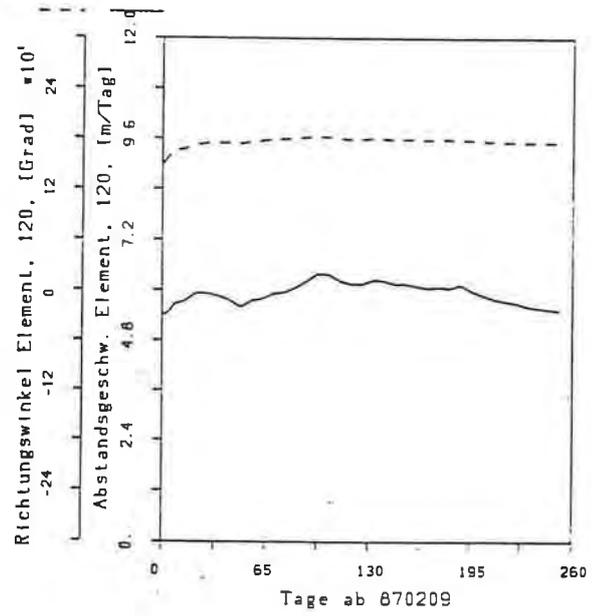
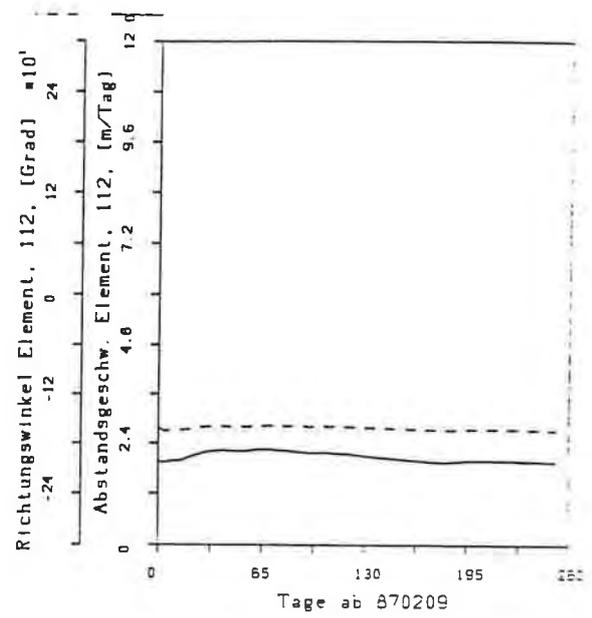
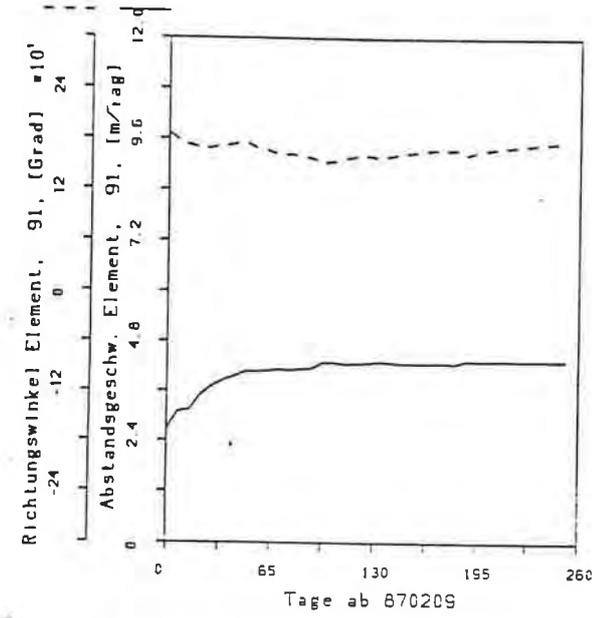


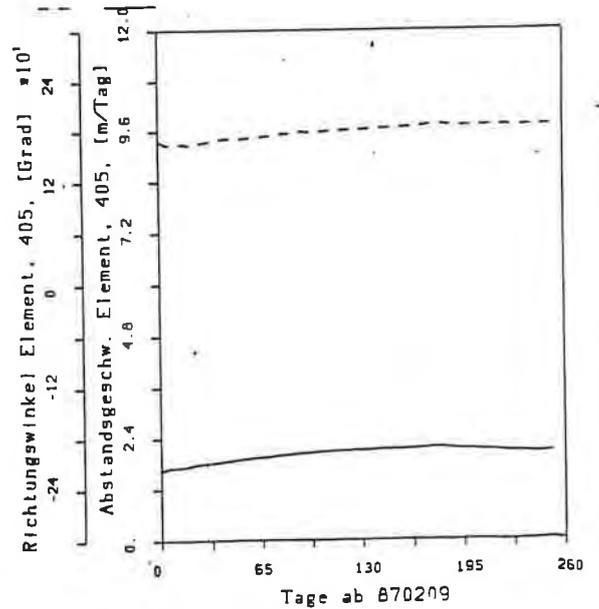
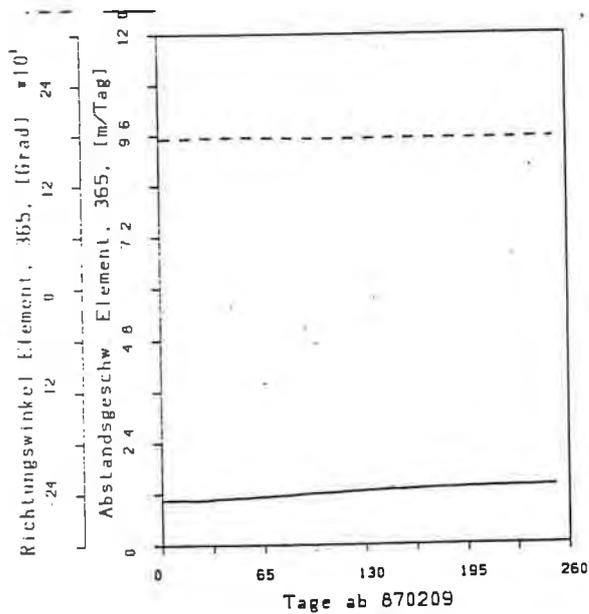
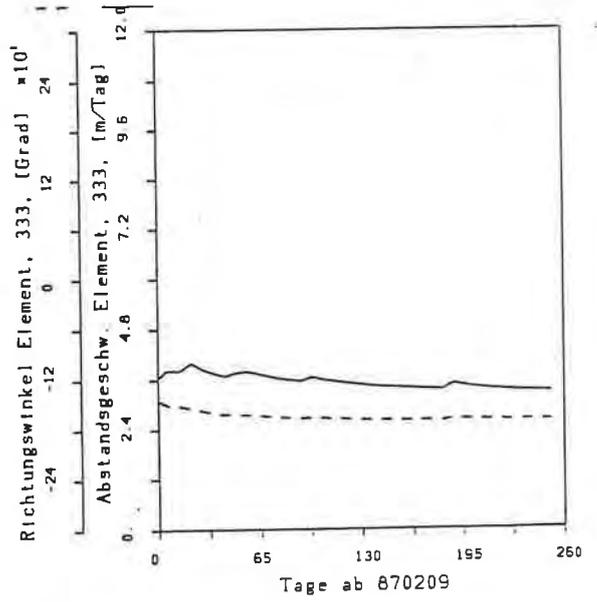
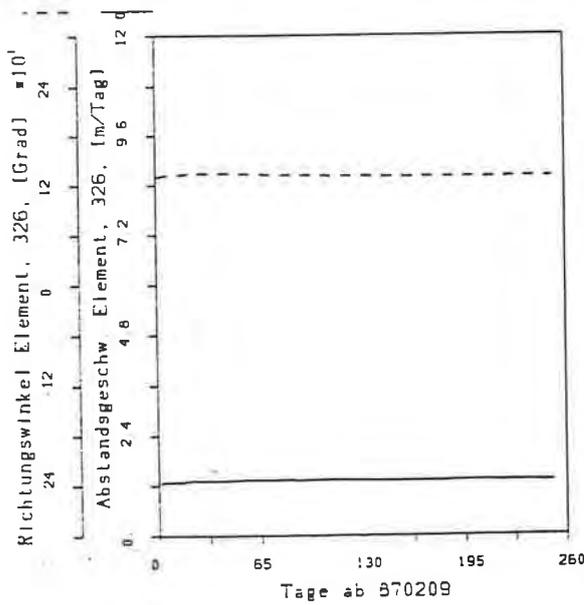
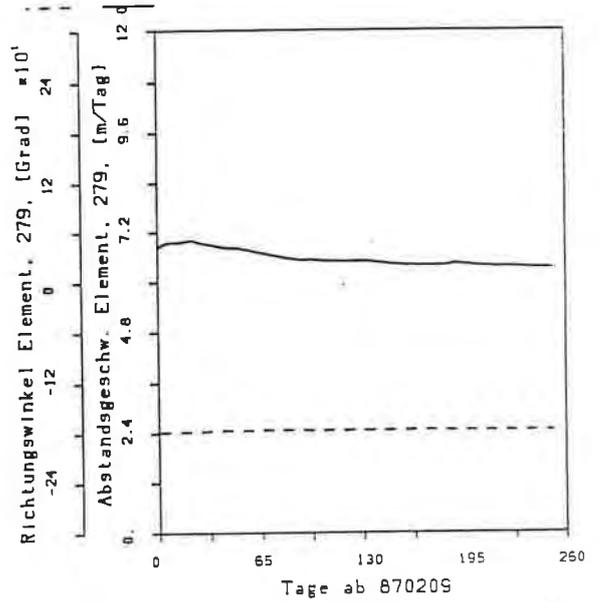
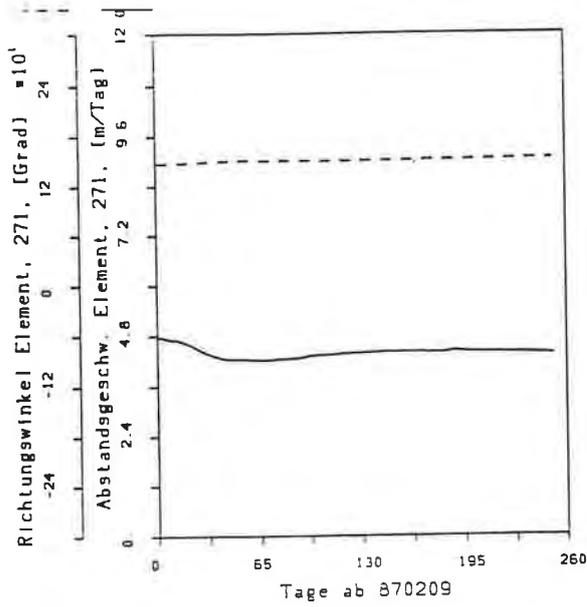


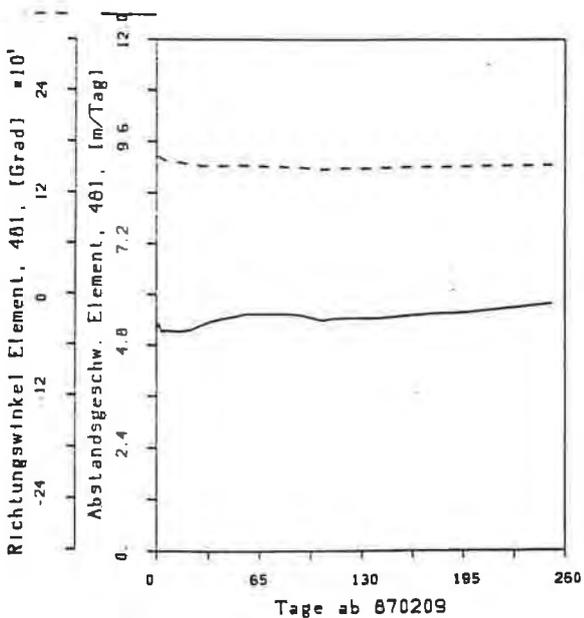
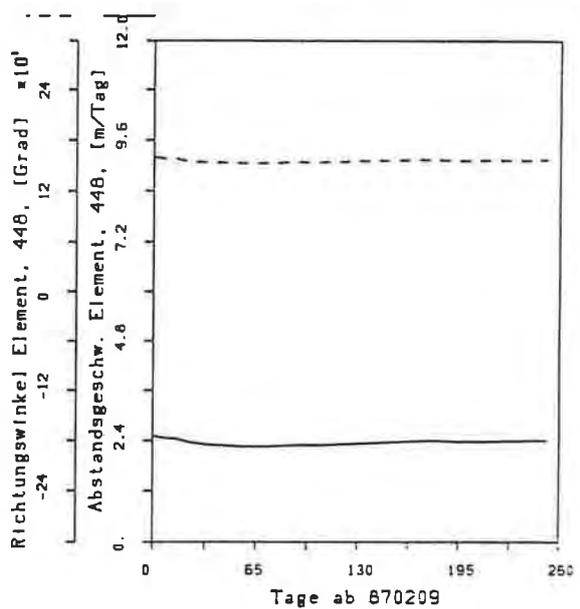
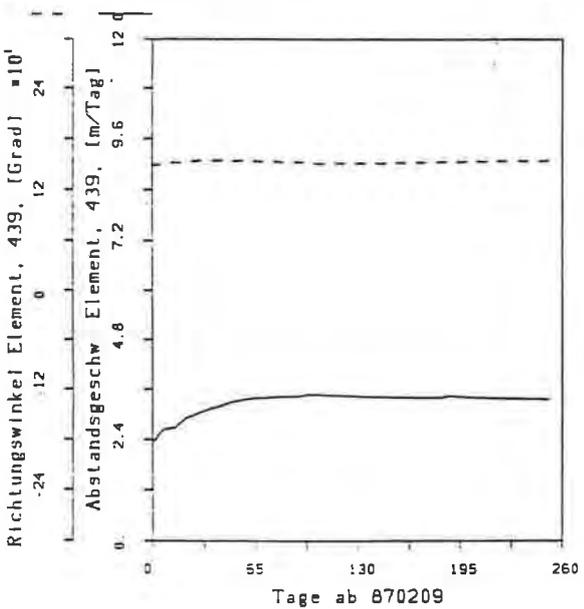
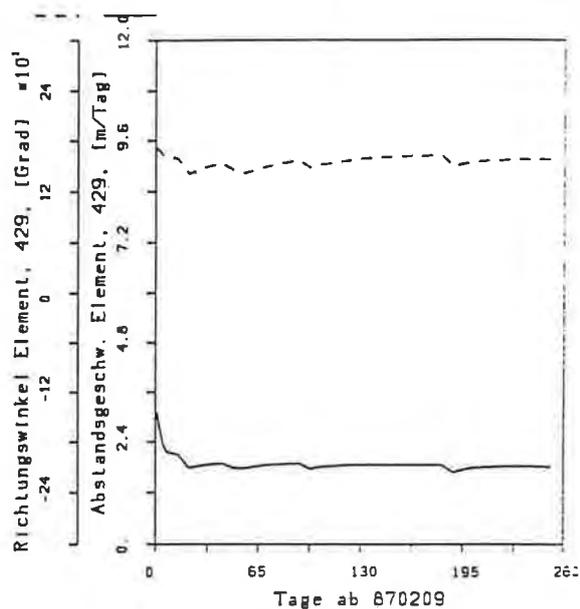
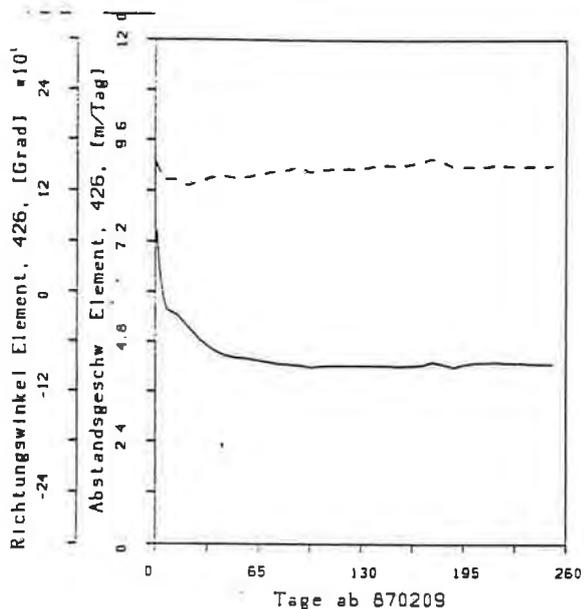


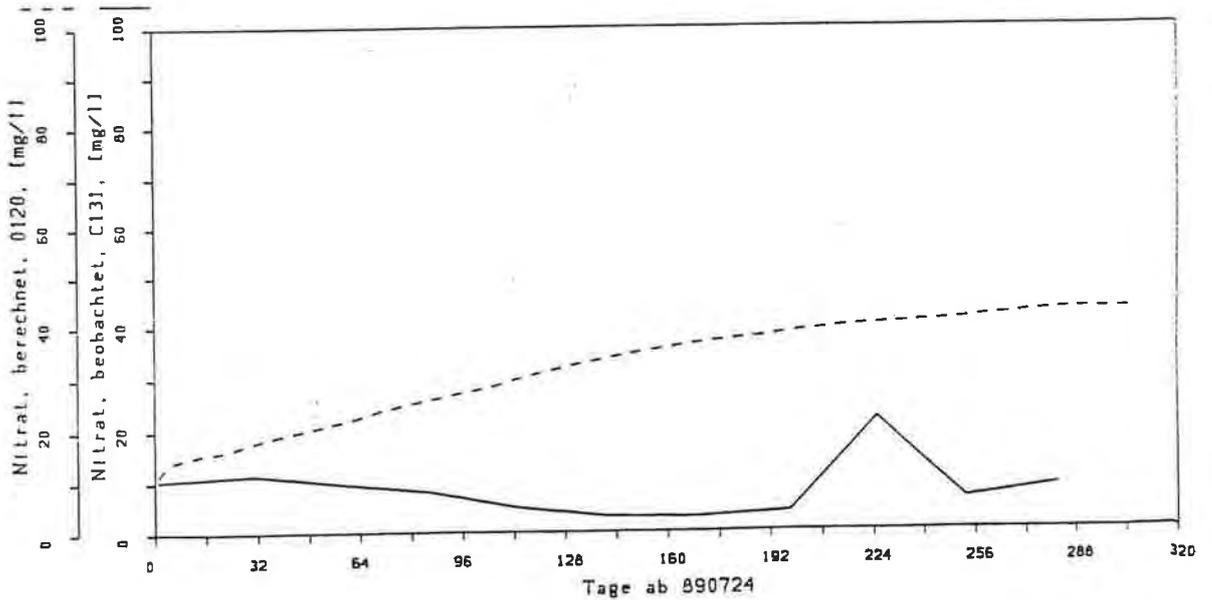
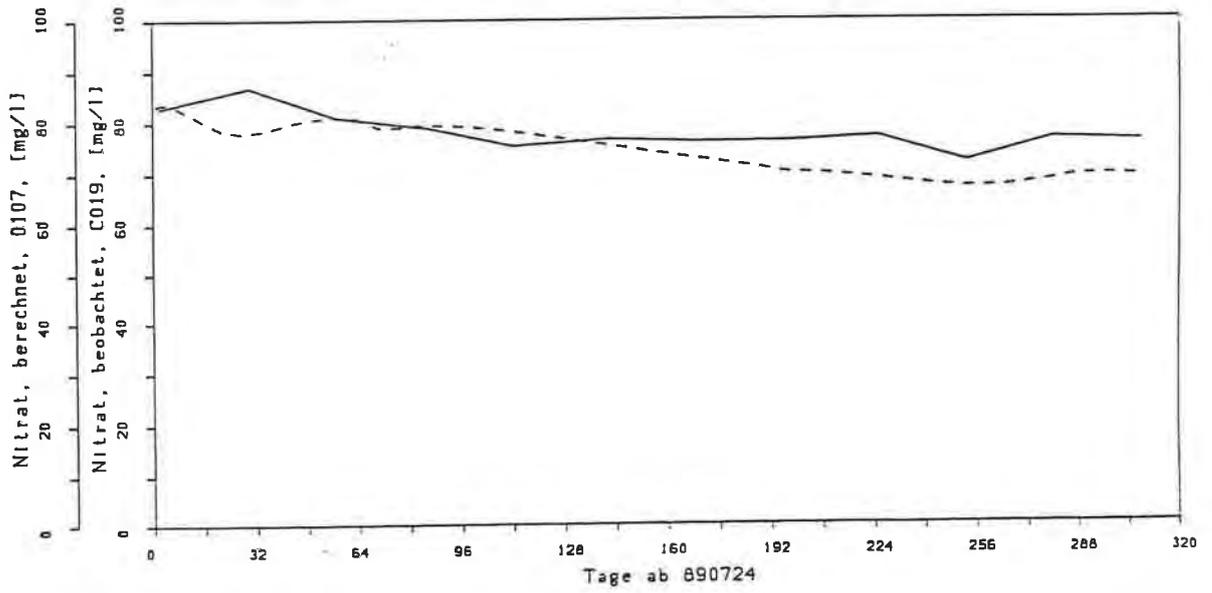
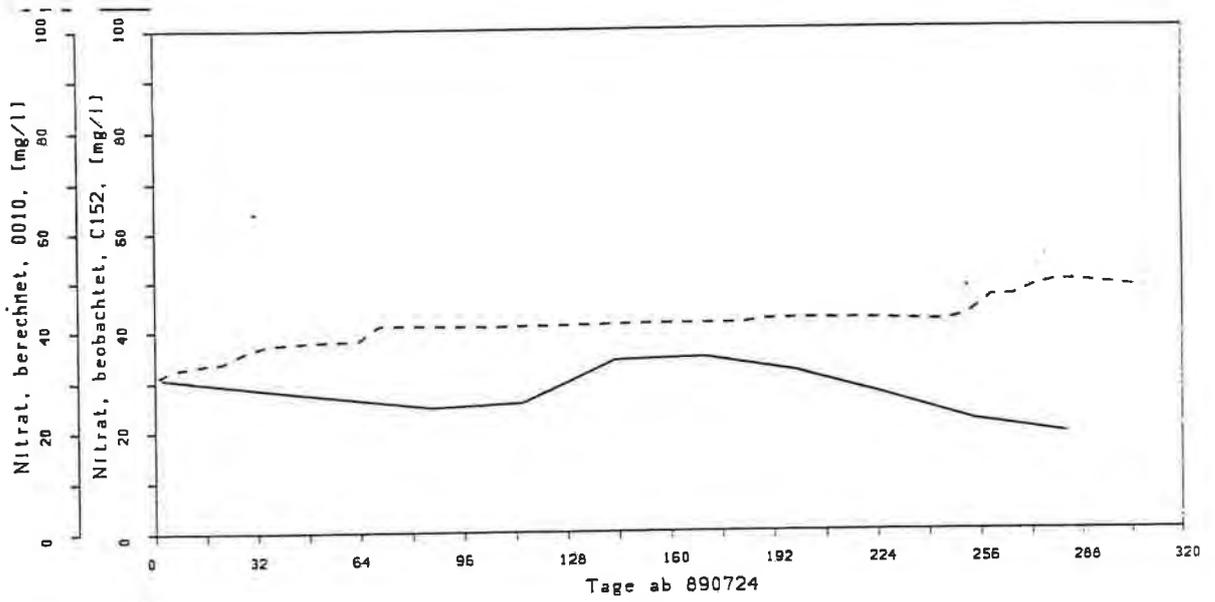


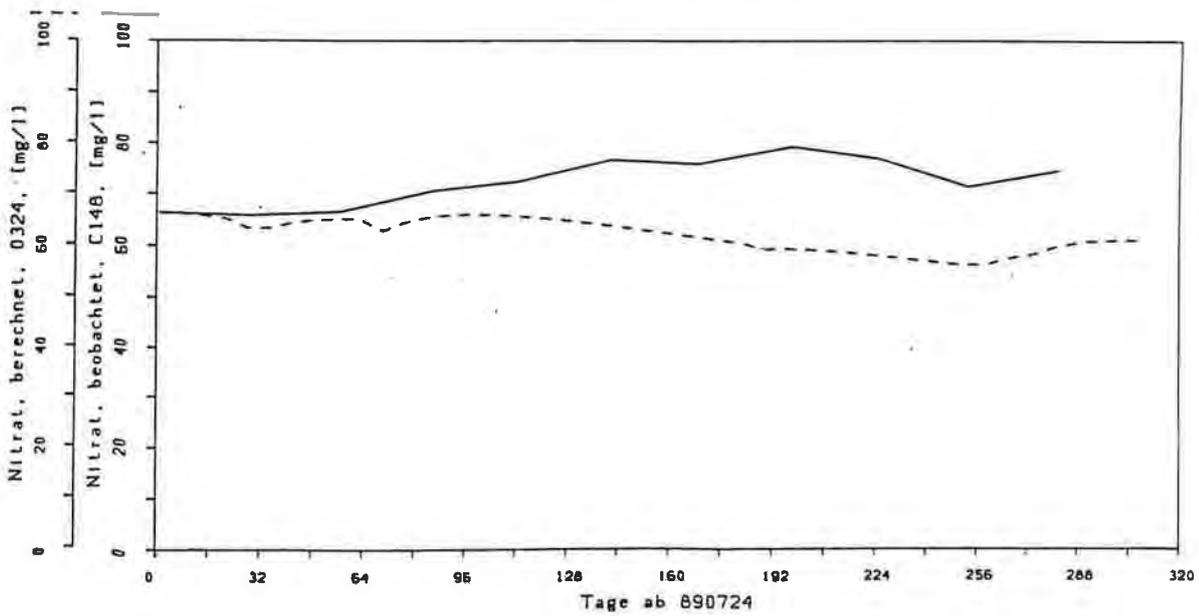
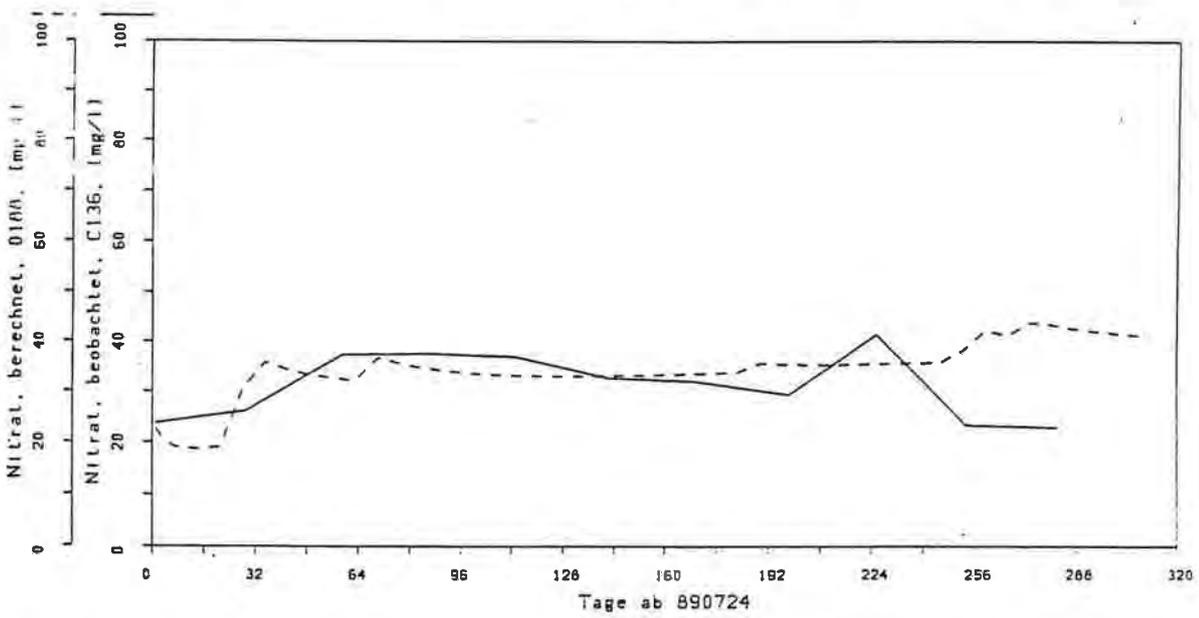
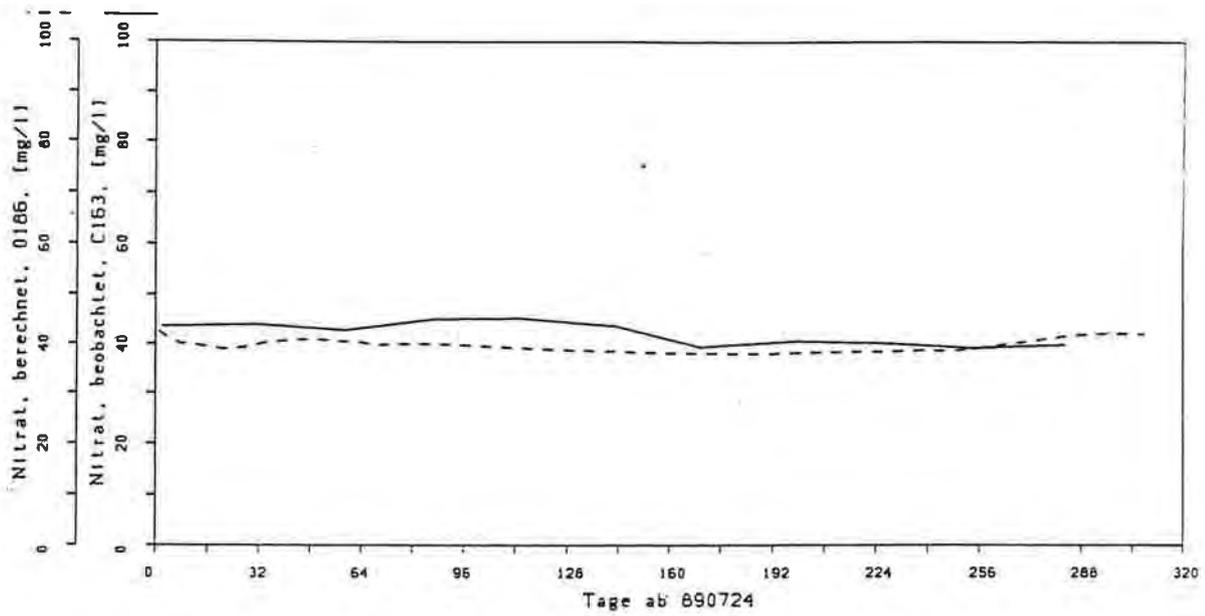


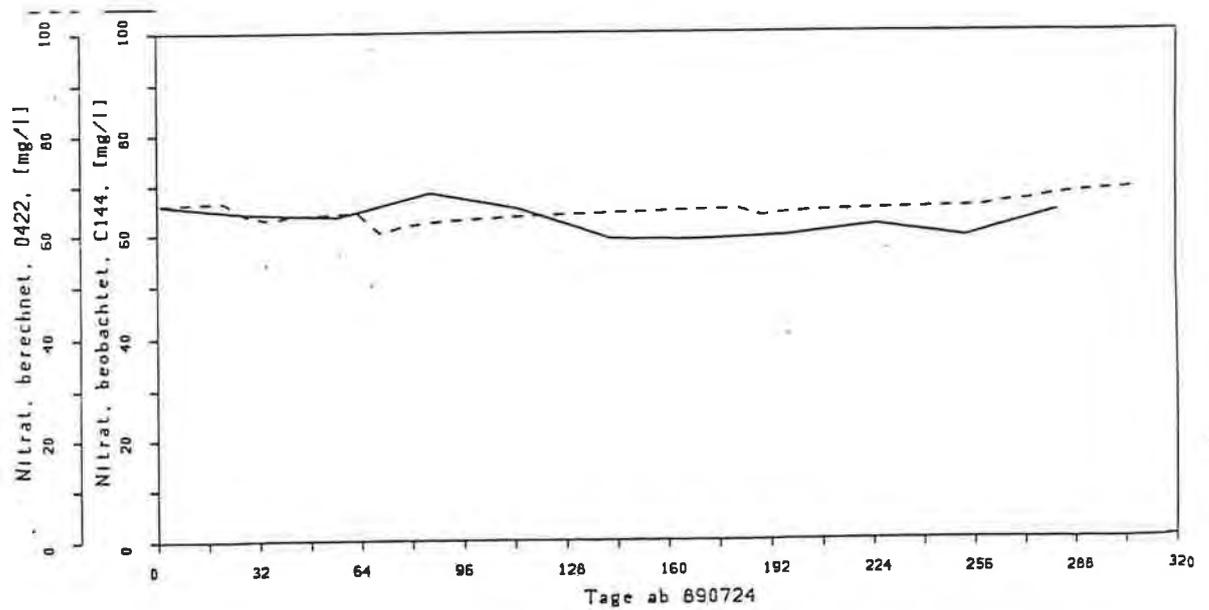
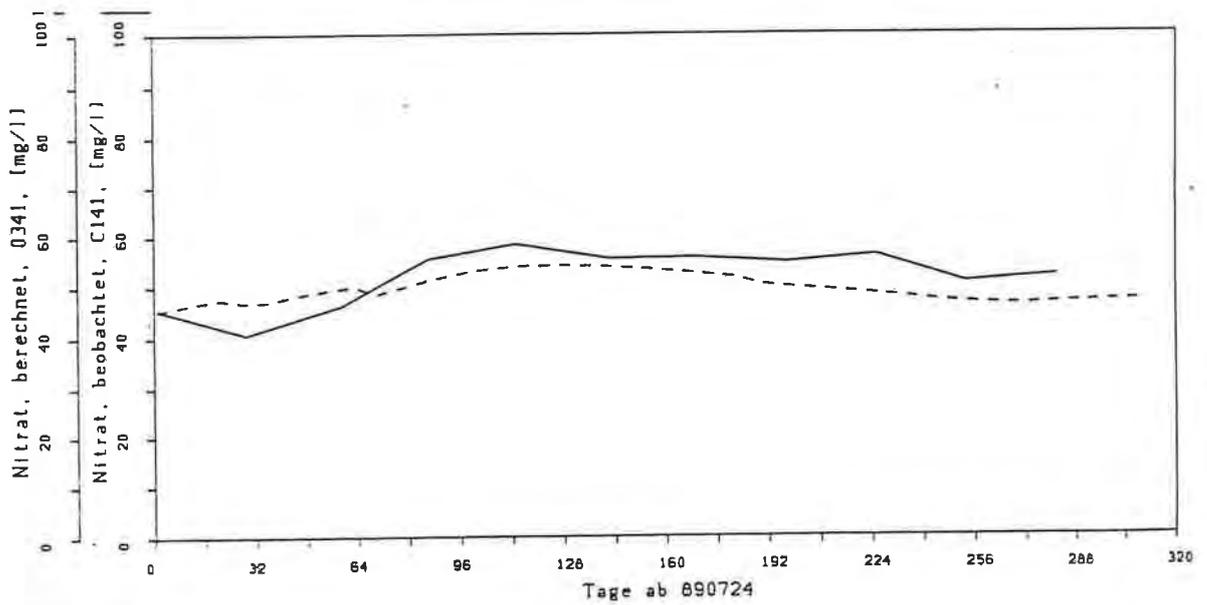
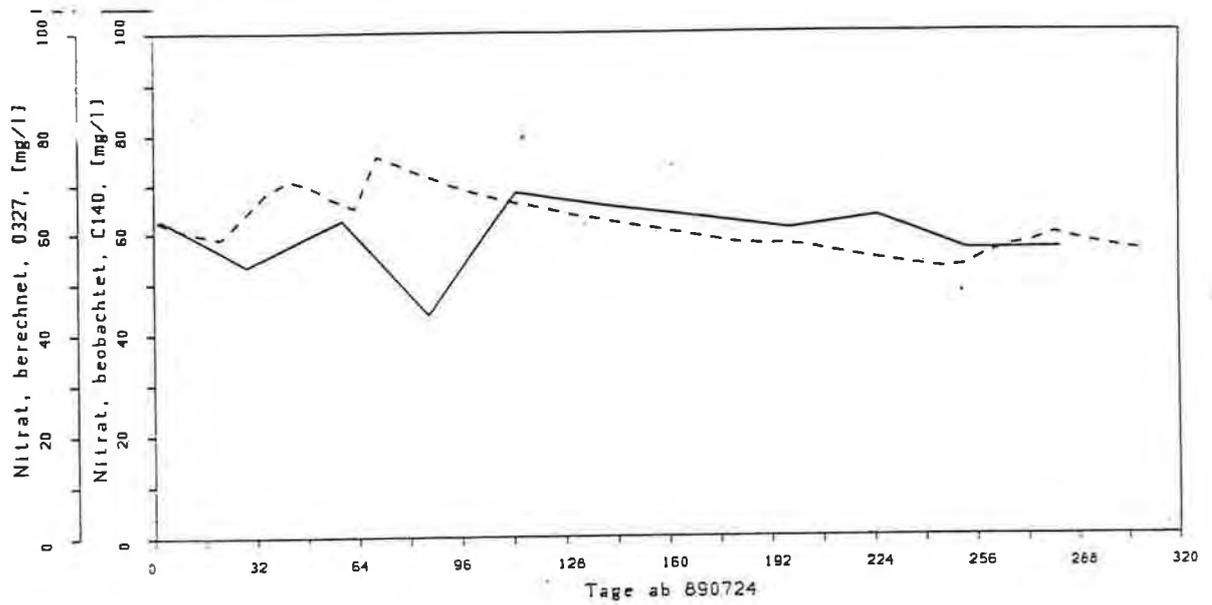


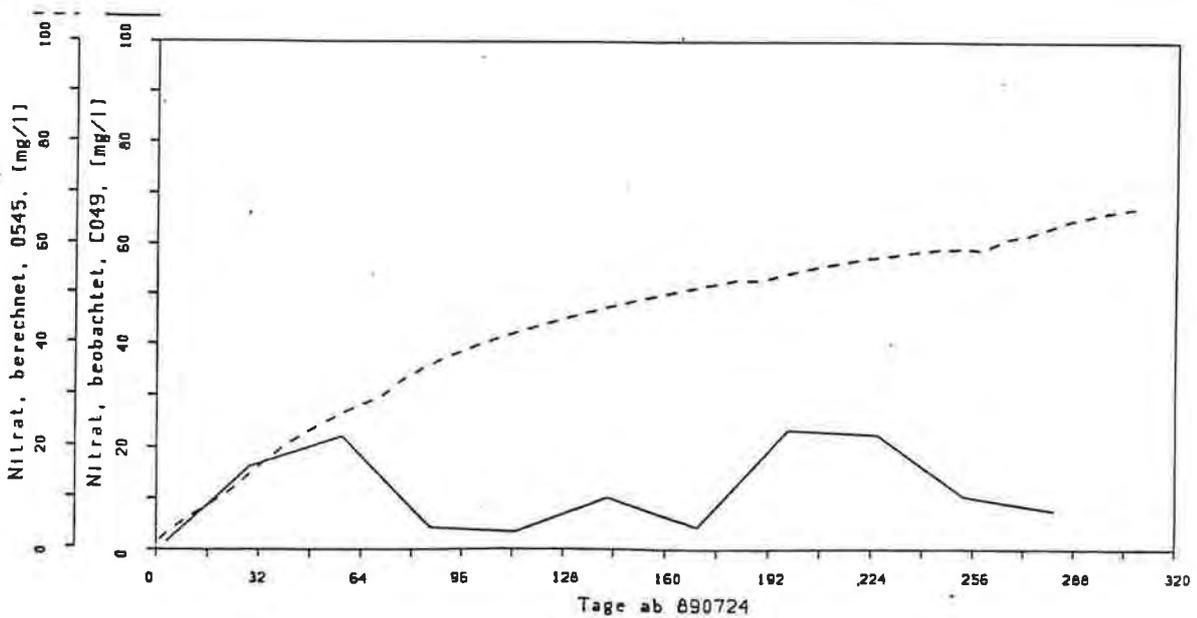
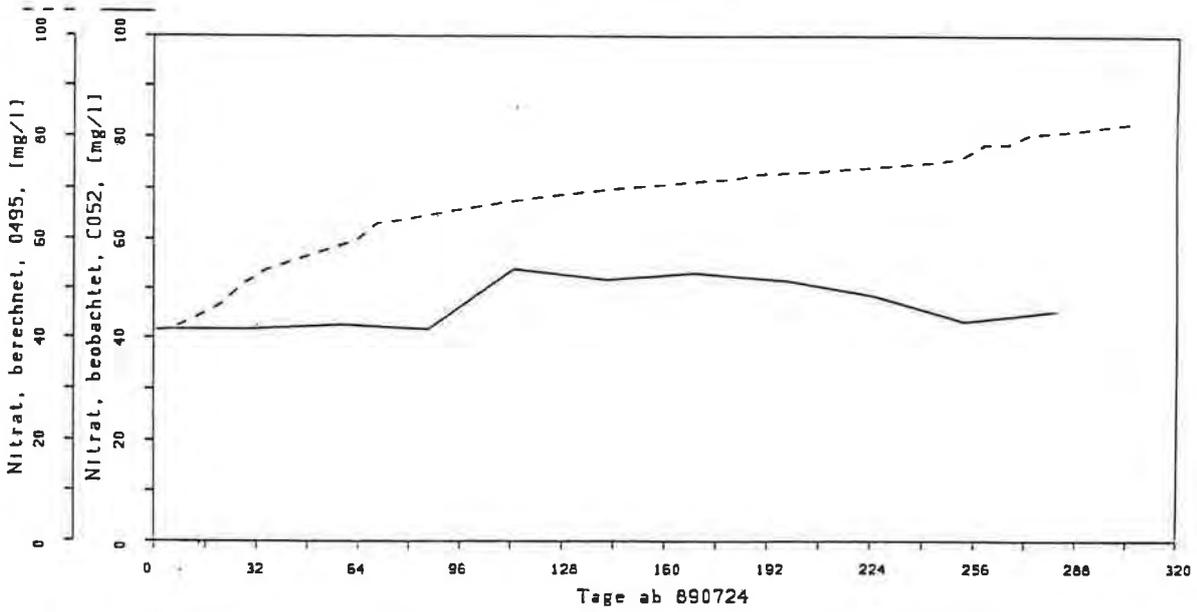
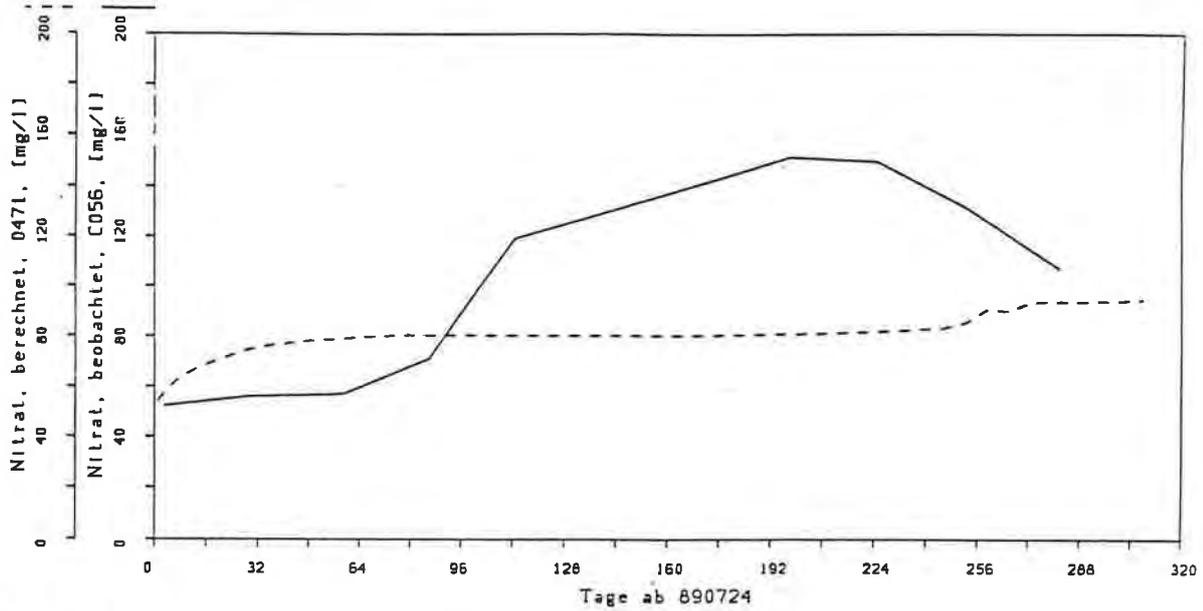












VERZEICHNIS DER BISHER ERSCHIENENEN BÄNDE

- Band 1 VORTRAGSREIHE ABFALLBESEITIGUNG. 18. April 1964.
Neuaufgabe 1968, von W.Tronko, B.Bilek, J.Wotschke,
K.Stundl, F.Heigl, E.v.Conrad. S 84,--
- Band 2 EIN BEITRAG ZUR GEOLOGIE UND MORPHOLOGIE DES MÜRZTALES,
von R.Sperlich, W.Scharf, A.Thurner, 1965. S 84,--
W.Tronko, 1965. S 84,--
- Band 3 VORTRAGSREIHE ABFALLVERARBEITUNG, 18. März 1965,
von F.FISCHER; R.Braun, F.Schönbeck, W.Tronko, K.Stundl, B.Urban S 84,--
- Band 4 GEWÄSSERSCHUTZ IST NÖTIG, von J.Krainer, F.Hahne, H.Kalloch,
F.Schönbeck, H.Moosbrugger, L.Berbhart, W.Tronko, 1965. S 84,--
- Band 5 DIE MÜLLVERBRENNUNGSANLAGE, VERSUCH EINER ZUSAMMENFASSUNG.
NÖRDLICH VON GRAZ, von H.Zetinigg, Th.Puschnik, H.Novak, F.Weber, 1966. S 140,--
- Band 6 VORTRAGSREIHE ABFALLVERARBEITUNG, 18. November 1965,
von F.Schönbeck, H.Sontheimer, A.Kern, H.Rasworschegg, J.Wotschke,
J.Brodbeck, R.Spinola, Stundl, W.Tronko, 1966. S 120,--
- Band 7 SEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN IM GRUNDWASSERFELD FRIESACH
NÖRDLICH VON GRAZ, von H.Zetinigg, Th.Puschnigg, H.Novak, F.Weber, 1966. S 140,--
- Band 8 DER MÜRZVERBAND, von E.Fabiani, P.Bilek, H.Novak,
E.Kauderer, F.Hartl, 1966. S 140,--
- Band 9 RAUMPLANUNG, FLÄCHENNUTZUNGSPLÄNE DER GEMEINDEN, von
J.Krainer, H.Wengert, K.Eberl, F.Plankensteiner, G.Gorbach, H.Egger,
H.Hoffmann, K.Freisitzer, W.Tronko, H.Bullmann, I.E.Holub, 1966 S 140,--
- Band 10 SAMMLUNG, BESEITIGUNG UND VERARBEITUNG DER FESTEN
SIEDLUNGSABFÄLLE, von H.Erhard, 1967 S 66,--
- Band 11 SIEDLUNGSKUNDLICHE GRUNDLAGEN FÜR DIE WASSERWIRTSCHAFT-
LICHE RAHMENPLANUNG IM FLUSSGEBIET DER MÜRZ, von
H.Wengert, E.Hillebrand, K.Freisitzer, 1967. S 131,--
W.Popp, M.Noë, 1969. S 112,--
- Band 12 HYDROGEOLOGIE DES MURTALES, von N.Anderle, 1969. S 131,--
- Band 13 10 JAHRE GEWÄSSERGÜTEAUFSICHT IN DER STEIERMARK
1959 - 1969, von L.Bernhart, H.Sölkner, H.Ertl, W.Popp, M.Noë, 1969. S 112,--
- Band 14 GEWÄSSERSCHUTZMASSNAHMEN IN SCHWERPUNKTGEBIETEN -
STEIERMARKS, 1970 (DAS VORLÄUFIGE SCHWERPUNKTPRO-
GRAMM 1964 UND DAS SCHWERPUNKTPROGRAMM 1966), von
F.Schönbeck, L.Bernhart, E.Gangl, H.Ertl. S 66,--
- Band 15 INDUSTRIELLER ABWASSERKATASTER STEIERMARKS,
von L.Bernhart, 1970. S 187,--

Band	16/ 17	TÄTIGKEITEN UND ORGANISATION DES WIRTSCHAFTSHOFES DER LANDESHAUPTSTADT GRAZ. ABFALLBEHANDLUNG IN GRAZ, LITERATURANGABEN ZUM THEMA "ABFALLBEHANDLUNG", von A. Wasle.	S 112,--
Band	18	ABWASSERFRAGEN AUS BERGBAU UND EISENHÜTTE, von L. Bernhart, K. Stundl, A. Witschel, 1971.	S 66,--
Band	19	MASSNAHMEN ZUR LÖSUNG DER ABWASSERFRAGEN IN ZELLSTOFFFABRIKEN, von B. Walzel - Wiesentreu, W. Schönauer, 1971.	S 150,--
Band	20	BODENBEDECKUNG UND TERRASSEN DES MURTALES ZWISCHEN WILDON UND DER STAATSGRENZE, von E. Fabiani, M. Eisenhut, mit Kartenbeilagen, 1971.	S 168,--
Band	21	UNTERSUCHUNG AN ARTESISCHEN WÄSSERN IN DER NÖRDLICHEN OSTSTEIERMARK, von L. Bernhart, J. Zötl, H. Zetinigg, 1972.	S 120,--
Band	22	GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM SÜDÖSTLICHEN GRAZERFELD, von L. Bernhart, H. Zetinigg, J. Novak, W. Popp, 1973.	S 90,--
Band	23	GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM NORDÖSTLICHEN LEIBNITZERFELD, von L. Bernhart, E. Fabiani, M. Eisenhut, F. Weber, E. P. Nemecek, Th. Glanz, W. Wessiak, H. Ertl, H. Schwinghammer, 1973.	S 250,--
Band	24	GRUNDWASSERVERSORGUNG AUS DEM LEIBNITZERFELD, von L. Bernhart, 1973.	S 150,--
Band	25	WÄRMEBELASTUNG STEIRISCHER GEWÄSSER, von L. Bernhart, H. Niederl, J. Fuchs, H. Schlatter, H. Salinger, 1973.	S 150,--
Band	26	DIE ARTESISCHEN BRUNNEN DER SÜDWESTSTEIERMARK, von H. Zetinigg, 1973.	S 120,--
Band	27	DIE BEWEGUNG VON MINERALIEN IN BODEN UND GRUNDWASSER, von L. Bernhart, 1973.	S 150,--
Ban	28	KENNZAHLEN FÜR DEN ENERGIEWIRTSCHAFTLICHEN VERGLEICH THERMISCHER ABLAUGEVERWERTUNGSANLAGEN, von L. Bernhart, D. Radner, H. Artledter, 1974.	S 100,--
Band	29	GERNALPLAN DER WASSERVERSORGUNG STEIERMARKS, ENTWURFSSTAND 1973, von L. Bernhart, E. Fabiani, E. Kauderer, H. Zetinigg, J. Zötl, 1974.	S 400,--
Band	30	GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 1. TEIL, EINFÜHRUNG HYDROGEOLOGIE, KLIMATOLOGIE, von L. Bernhart, J. Zötl, H. Zojer, H. Otto, 1975.	S 120,--
Band	31	GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 2. TEIL, GEOLOGIE, von L. Bernhart, P. Beck - Mannagetta, A. Alker, 1975.	S 120,--
Band	32	BEITRÄGE ZUR WASSERWIRTSCHAFTLICHEN RAHMENPLANUNG IN DER STEIERMARK, von L. Bernhart, 1975.	S 200,--

Band	33	HYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN BOHRUNGEN UND BRUNNEN IN DER OSTSTEIERMARKE, von H.Janschek, I.Küpper, H.Polesny, H.Zetinigg, 1975.	S 150,-
Band	34	DAS GRUNDWASSERVORKOMMEN IM MURTAL BEI ST. STEFAN O.L. UND KRAUBATH, von I.Arbeiter, H.Ertl, P.Hacker, H.Zetinigg, 1976.	S 200,-
Band	35	WASSERVERSORGUNG FÜR DAS UMLAND VON GRAZ. ZUR GRÜNDUNG DES WASSERVERBANDES UMLAND - GRAZ, von L.Bernhart, K.Pirkner, 1977.	S 180,-
Band	36	GRUNDWASSERSCHONGEBIETE, von W.Kasper, H.Zetinigg, 1977.	S 150,-
Band	37	VORBEREITUNG EINER ZENTRALWASSERVERSORGUNG FÜR DIE SÜDOSTSTEIERMARKE, von L.Bernhart, 1978.	S 140,-
Band	38	ZENTRALWASSERVERSORGUNG FÜR DIE SÜDOSTSTEIERMARKE, von L.Bernhart, 1978.	S 140,-
Band	39	GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM UNTEREN MURTAL, von E.Fabiani, H.Krainer, H.Ertl, W.Wessiak, 1978.	S 250,-
Band	40	GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARKE, 3. TEIL, DIE GRUNDWASSERFÜHRUNG IM TALE DER LASSNITZ, SULM UND SAGGAU ZWISCHEN GRUNDGEBIRGE UND LEIBNITZERFELD, von H.Fessler, 1978.	S 30,-
Band	41	GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARKE, 4. TEIL, GRUNDWASSERERSCHLIESSUNGEN IM TALE DER LASSNITZ, SULM UND SAGGAU ZWISCHEN GRUNDGEBIRGE UND LEIBNITZERFELD, von H.Zetinigg, 1978.	S 100,-
Band	42	ZUR GEOLOGIE IM RAUM EISENERZ - RADMER UND ZU IHREM EINFLUSS AUF DIE HYDROCHEMIE DER DORTIGEN GRUNDWASSER, von U.Mager, 1979.	S 120,-
Band	43	DIE GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE IM KAINACHTAL (ST. JOHANN O.H. - WEITENDORF), von M.Eisenhut, J.Novak, H.Zojer, H.Krainer, H.Ertl, H.Zetinigg, 1979.	S 150,-
Band	44	GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWABGEBIET, TEIL I, NATURRÄUMLICHE GRUNDLAGEN; GEOLOGIE - MORPHOLOGIE - KLIMATOLOGIE, von E.Fabiani, V.Weissensteiner, H.Wakonigg, 1980.	S 180,-
Band	45	GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWABGEBIET, TEIL II, DIE UNTERSUCHUNGEN: GESCHICHTE - DURCHFÜHRUNG - METHODIK, von E.Fabiani, 1980.	S 80,-
Band	46	GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWABGEBIET, TEIL III, GEOPHYSIK - ISOTOPENUNTERSUCHUNG - HYDROCHEMIE, von Ch.Schmid, H.Zojer, H.Krainer, H.Ertl, R.Ott, 1980.	S 200,-

- Band 47 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWAB-
GEBIET, TEIL IV, DIE UNTERSUCHUNGEN IM TRAGÖSSTAL,
von E.Fabiani, 1980. S 200,--
- Band 48 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWAB-
GEBIET, TEIL V, UNTERSUCHUNGEN IN DEN SÜDLICHEN, HOCHSCHWAB-
TÄLERN (ILGENERTAL BIS SEEGRABEN),
von E.Fabiani, 1980. S 280,--
- Band 49 UNTERSUCHUNG ÜBER DIE MÖGLICHKEIT ZUR ENTNAHME VON
GRUNDWASSER IM SÜDLICHEN HOCHSCHWABGEBIET UND DEREN
BEWIRTSCHAFTUNG, von Ch.Meidl, J.Novak, W.Wessiak,
1980. S 280,--
- Band 50 KONZEPT EINER ZENTRALWASSERVERSORGUNG HOCHSCHWAB SÜD
von L.Bernhart, 1980. S 200,--
- Band 51 REGIONALE ABWASSERANLAGEN IN DER STEIERMARK,
BEMÜHUNGEN UND ERGEBNISSE, von L.Bernhart, P.Bilek,
E.Kauderer, H.Senekowitsch, O.Thaller, 1980. S 300,--
- Band 52 GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM MURTAL ZWISCHEN
KNITTELFELD UND ZELTWEG, von I.Arbeiter, H.Krainer,
H.Ertl, H.Zetinigg, 1980. S 100,--
- Band 53 GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM UNTEREN SAGGAUTAL,
von I.Arbeiter, H.Krainer, H.Zetinigg, 1980 S 100,--
- Band 54 "10 JAHRE WASSERVERBAND HOCHSCHWAB - SÜD"
von L.Bernhart, W.Kneissel, J.Novak, R.Ott,
F.Schönbeck, 1981. S 120,--
- Band 55 DIE AUSWIRKUNGEN DES KRAFTWERKBAUES VON OBERVOGAU
AUF DAS GRUNDWASSER von H.Fessler, 1981. S 200,--
- Band 56 FESTVERANSTALTUNG "10 JAHRE WASSERVERBAND HOCH-
SCHWAB - SÜD 1971 - 1981", von L.Bernhart, R.Burgstaller
M.Rupprecht, H.Sökner, G.Bujatti, E.Wurzer,
A.Zdarsky, J.Krainer, V.Ahrer, 1981. S 100,--
- Band 57 GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE
PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, von L.Bernhart,
E.Hübl, E.Schubert, E.Fabiani, H.Zetinigg, H.Zojer,
E.P.Nemecek, E.P.Kauch, 1981. S 200,--
- Band 58 WASSERBEDARF DER SÜDWESTSTEIERMARK,
von L.Bernhart, 1982. S 200,--
- Band 59 KOSTENAUFTEILUNGSSCHLÜSSEL FÜR ABWASSERVERBÄNDE,
von P.Bilek, E.Kauderer, 1982. S 200,--
- Band 60 DIE QUELLEN DES SCHÖCKLGEBIETES, von H.Zetinigg,
W.Griessler, Th.Untersweg, V.Weissensteiner,
Ch.Meidl, 1982. S 200,--
- Band 61 BEDARFSERMITTLUNG FÜR EINEN STEIRISCHEN WASSER-
VERBUND von Ch.Meidl, Ch.Kaiser, mit einer Einführung
von L.Bernhart, 1983. S 200,--

Band	62	DIE MESSUNGEN DER FLIESSGESCHWINDIGKEITEN DES GRUNDWASSERS IM MUR- UND MÜRZTAL, von H.Zetinigg, 1983.	S 100,--
Band	63	GRUNDLAGEN FÜR EINEN STEIRISCHEN WASSERVERBUND - LEITUNGSFÜHRUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, von J.Novak, Ch.Kaiser, 1983.	S 200,--
Band	64	STEIRISCHES WASSERVERBUNDMODELL, von J.Novak, 1983.	S 200,--
Band	65	DER KARST AM OSTUFER DER WEIZKLAMM, von G.Fuchs, 1983.	S 150,--
Band	66	HYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IN DEN NÖRDLICHEN GESÄUSEBERGEN, von W.Kollmann, 1983.	S 250,--
Band	67	DIE AUSWIRKUNGEN DES KRAFTWERKBAUES VON SPIELFELD AUF DAS GRUNDWASSER, von H.Fessler, 1983.	S 250,--
Band	68	BEITRÄGE ZUR KENNTNIS DER ARTESISCHEN WÄSSER IM STEIRISCHEN BECKEN, von H.Zojer, H.Zetinigg, 1987.	S 200,--
Band	69	BEITRÄGE ZUR KENNTNIS DER GESPANNTEN GRUNDWÄSSER IM MITTERENNSTAL UND PALTENTAL, von G.Suette, H.Zetinigg, 1988.	S 200,--
Band	70	GRUNDWASSERMODELL MURTAL, ABSCHNITT ST.STEFAN O.L. - KRAUBATH, von W.Erhart - Schippeck, Ch.Kaiser, 1990.	S 200,--
Band	71	KARSTHYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM WEIZER BERGLAND, P.Hacker, 1991.	S 200,--
Band	72	MARKIERUNGSVERSUCHE IN KARSTGEBIETEN DER STEIERMARK, von A. Huber, M. Pöschl und H. Zetinigg, 1991.	S 200,--
Band	73	KARSTHYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM EINZUGSGEBIET DES MIXNITZBACHES, H. Stadler, 1992.	S 200,--
Band	74	HYDROGEOLOGIE UND GRUNDWASSERMODELL DES LEIBNITZERFELDES - von J.Fank, A.Jawecki, H.P.Nachtnebel und H.Zojer, 1993.	S 500,--

In diesen Preisen ist die 10 %ige Mehrwertsteuer nicht enthalten.

Soweit lagernd, sind sämtliche Berichtsbände bei Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Fachabteilung IIIa, Ref. II, 8010 Graz, Stempfergasse 5/III, Zimmer 312 erhältlich.

