

**INSTITUT FÜR
HYDROGEOLOGIE
UND GEOTHERMIE**

***GRUNDWASSERSTRÖMUNGS- UND -
TRANSPORTMODELL "UNTERES MURTAL"
ZUR ERFASSUNG DER REGIONALEN
STRÖMUNGSVERHÄLTNISSE UND DER
INTERAKTION VON
OBERFLÄCHENWÄSSERN MIT DEM
GRUNDWASSER IN EINEM REZENTEN
AUGEBIET (SCHLUSSTEIL-ENDBERICHT)
PROJ. NR. STA 28C/99***

*UNIV. DOZ. DR. J. FANK, ING. G. ROCK,
UNIV. DOZ. DIPL. ING. DR. K. FUCHS, MAG. DR. A. DALLA-VIA*

GW MODELL UNTERES MURTAL

INSTITUT FÜR
HYDROGEOLOGIE
UND GEOTHERMIE

*GRUNDWASSERSTRÖMUNGS- UND -
TRANSPORTMODELL "UNTERES MURTAL"
ZUR ERFASSUNG DER REGIONALEN
STRÖMUNGSVERHÄLTNISSE UND DER
INTERAKTION VON
OBERFLÄCHENWÄSSERN MIT DEM
GRUNDWASSER IN EINEM REZENTEN
AUGEBIET (SCHLUSSTEIL-ENDBERICHT)
PROJ. NR. STA 28C/99*

*UNIV. DOZ. DR. J. FANK, ING. G. ROCK
UNIV. DOZ. DIPL. ING. DR. K. FUCHS, MAG. DR. A. DALLA-VIA*

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Bodenwasserhaushalt.....	3
2.1	Einleitung.....	3
2.2	Abgrenzung und Unterteilung des Untersuchungsgebietes	3
2.3	Simulationsmodelle	4
2.3.1	Modellgrundzüge.....	4
2.3.1.1	Kurzbeschreibung des Modells SIMWASER	5
2.3.1.2	Kurzbeschreibung des Modells SIMWASER_FORST.....	12
2.3.2	Erarbeitung der Modell-Eingabedaten	17
2.3.3	Plausibilitätsuntersuchungen	19
2.4	Ergebnisse.....	19
3	Grundwasserströmung.....	25
3.1	Hydrogeologisches Konzeptmodell.....	25
3.1.1	Morphologie des Grundwasserstauers	25
3.1.2	Die Aquifersedimente (Aufbau und Durchlässigkeitsverteilung aus Vorberichten und aus den Ergebnissen der stationären Modellierung)	26
3.1.3	Das Strömungsverhalten des Grundwassers und die bestimmenden Einflussgrößen	28
3.2	Mathematisches Modell.....	29
3.2.1	Kontinuitätsgleichung und Darcy'sches Gesetz.....	29
3.2.2	Die Interaktion von Oberflächengewässern und Grundwasser	30
3.2.3	Rand- und Anfangsbedingungen	31
3.2.4	Die Lösung des mathematischen Modells mit Hilfe der Finiten Elemente Methode (FEM)	32
3.3	Datengrundlage für die Erstellung des instationären Grundwasserströmungsmodells	33
3.3.1	GW-Beobachtungen.....	33
3.3.2	Mur	33
3.3.3	Nebengewässer, Mühlkanäle.....	33
3.3.4	GW-Neubildung.....	34
3.4	Konvertierung des stationären in ein instationäres Modell	34
3.4.1	Modellgeometrie.....	35
3.4.2	Kf-Werte, entwässerbares Porenvolumen	35
3.4.3	Randbedingungen entlang der Mur	36
3.4.3.1	Bewertung der murnahen GW-Pegel hinsichtlich ihrer Eignung als Randbedingungen.....	36
3.4.3.2	Ermittlung von Ganglinien aus der Plattner-Studie.....	38
3.4.3.3	Ermittlung von Ganglinien aus Abflussstudie der Mur-Grenzstrecke	39
3.4.4	Randbedingungen an den übrigen Modellrändern und den Nebengewässern..	41
3.4.5	GW-Neubildung.....	41
3.4.5.1	Verschneidung Landnutzung und Bodenformen	41
3.4.5.2	Reklassifizieren der Verschnittklassen auf Klassen der GW-Neubildung	42
3.4.5.3	Übertragen der GW-Neubildung an das Grundwassermodell.....	44
3.5	Kalibration des Instationärmodells	44
3.5.1	Proberechnung mit dem konvertierten Modell	45
3.5.2	Vergleich der gemessenen mit den gerechneten Ganglinien.....	45
3.5.3	Ergebnisbeispiele der Proberechnung.....	46
3.5.4	Prinzipielle Vorgehensweise bei der instationären Kalibration	50

3.5.4.1	Erzielbare Genauigkeit bei der Kalibration	51
3.5.4.2	Kalibrationszyklus	51
3.5.4.3	Kalibrationsparameter	52
3.5.5	Wichtigste Kalibrationsmaßnahmen	54
3.5.5.1	Randbedingungen westlicher Modellrand	54
3.5.5.2	Randbedingungen entlang der Mur	55
3.5.5.3	Realisierung der Nebengewässereinflüsse	57
3.5.5.4	Berücksichtigung der Mühlkanaleinflüsse	61
3.5.5.5	Kf-Werte, Porenvolumina, Entnahmen	61
3.5.6	Software-Werkzeuge zur Unterstützung der instationären Kalibration	62
3.5.6.1	Bearbeitung und Konvertierung von instationären Randbedingungen (Zeitreihen)	62
3.5.6.2	Konvertierung der Grundwasserneubildung	63
3.5.6.3	Konvertierung der Modellergebnisse in Ganglinien	63
3.5.7	Kalibrationsfortschritt anhand ausgewählter Beispiele	64
3.6	Instationäre Modellergebnisse	71
3.6.1	Vergleich zwischen gerechneten und gemessenen Ganglinien	71
3.6.2	Räumliche Betrachtung der Kalibrationsqualität des instationären Strömungsmodells	77
3.6.3	Grundwasserströmungsverhältnisse zu ausgewählten Zeitpunkten	79
3.6.4	Sensitivitätsanalyse: Anteil einzelner hydraulischer Parameter an der Grundwasserdynamik	81
3.6.4.1	Einfluss der Grundwasserneubildung	87
3.6.4.2	Einfluss der Oberflächengewässer	88
3.6.4.3	Einfluss der Talrandzuflüsse	89
3.6.5	Modellbilanzen	89
3.6.5.1	Bilanzierung charakteristischer Zustände	89
3.6.5.2	Bilanzierung der Einzelkomponenten über Zeiträume	91
3.6.5.3	Instationäre Bilanzierung auf Tagesbasis	93
3.7	Vorschläge zur Verbesserung und Vereinfachung der instationären Kalibration zukünftiger Grundwasserströmungsmodelle	104
3.7.1	Datengrundlagen	104
3.7.1.1	Daten des Vorfluters	104
3.7.1.2	Daten von Nebengewässern	105
3.7.1.3	Randzuflüsse	106
3.7.1.4	GW-Neubildung	106
3.7.2	Software-Werkzeuge	108
3.7.2.1	Austausch und Manipulation von Materialwerten und Randbedingungen mit GIS-Software	109
3.7.2.2	Verbesserung der Definition von Oberflächengewässereinflüssen in FEFLOW	109
3.7.3	Weiterentwicklung von Modellen	109
4	Simulationsrechnungen zur Auswirkung der Konsensentnahmen im Unteren Murtal auf die Grundwasserverhältnisse	111
4.1	Auswertungen zur Beurteilung der Maßnahmen an ausgewählten Punkten	111
4.2	Auswertungen zur Beurteilung der Maßnahmen in der Fläche	115
5	Bewertung der Grundwasserqualitätsverhältnisse im Unteren Murtal bzgl. der Nitratverteilung	117
5.1	Methodenentwicklung und –aufbereitung (FANK et al., 2000)	118
5.1.1	External Drift-Kriging	119
5.1.2	Co-Kriging	121
5.1.3	Vergleich Ordinary Kriging, external Driftkriging, Cokriging	123
5.1.4	Indikator Kriging	124

5.1.5	Bayes'sche Verfahren.....	125
5.2	Bedeutung der Ergebnisse der statistischen Auswertung für die grundwasserhydrologische Bewertung von Nitratverteilungen im Grundwasser	126
5.3	Datenerfassung - Chemiedatenbank	128
5.3.1	Chemiedatenbankkonzept	128
5.3.2	Datenimport, Abfragen und Kontrollfunktionen	133
5.3.2.1	Automatische Ergänzung der WGEV-Nummer mittels Makro	133
5.3.2.2	Hauptionenbilanz	133
5.3.2.3	Ausgewählte statistische Kennzahlen je Parameter	133
5.3.2.4	Schnittstellen zu MS-EXCEL97	134
5.4	Nitratverteilung im Unteren Murtal (im Jahr 1997)	135
5.4.1	Datengrundlage	135
5.4.2	Variographie	137
5.4.3	Kriginginterpolation	137
5.4.4	Zusatzinformationen zur interpolierten Nitratkarte	139
6	Umsetzung der Ergebnisse der instationären Modellierung des Grundwassersystems	140
6.1	Abgrenzung von Brunneneinzugsgebieten als Grundlage für die Überarbeitung der Schutz- und Schongebietsgrenzen	141
6.1.1	Brunneneinzugsgebietsermittlung aus den instationären Modellergebnissen ...	141
6.1.1.1	EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien	141
6.1.1.2	EZG-Ermittlung mittels Stromlinien	148
6.1.1.3	Berechnung der „wahren“ instationären Brunneneinzugsgebiete der Versorgungsbrunnen im Unteren Murtal als Grundlage für eine Neubewertung der Schutz- und Schongebiete	151
6.1.1.4	Bewertung der Brunneneinzugsgebiets-Ermittlung nach dem Stromlinienverfahren	159
6.2	Erarbeitung der Grundlagen für die Einrichtung von Intensivberatungsprojekten der Landwirtschaft (FANK 1999a,b,c,d)	160
6.3	Prognose der Auswirkung der Errichtung von Nassbaggerungen (FANK, 1998).....	164
6.3.1	Berechnungen	165
6.4	Erarbeitung der Grundlagen für die weitere Erschließung von Grundwasserressourcen (FANK, 2002)	171
7	Zusammenfassung.....	180
8	Literatur	185

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	<i>Beispiel für die Unterteilung des Simulationszeitraumes in die Fruchtfolge-Elemente BRACHE, FRUCHTART C und NACH SCHNITT DER FRUCHTART C (STENITZER, 1988).....</i>	6
Abb. 2:	<i>Flussdiagramm des Berechnungsablaufes von SIMWASER bei der Simulation eines aus mehreren Fruchtfolge-Elementen zusammengesetzten Zeitabschnittes (STENITZER, 1988).....</i>	6
Abb. 3:	<i>Schema der Berechnung des täglichen Wasserverbrauchs und Pflanzenwachstums (STENITZER, 1988).....</i>	7
Abb. 4:	<i>Schema der Wasserbewegung und ihrer Bestimmungsgrößen bei SIMWASER (STENITZER, 1988).....</i>	10

Abb. 5: Unterteilung des Simulations-Zeitraumes entsprechend der Entwicklungsabschnitte des Waldbestandes	13
Abb. 6: Ablaufschema SIMWASER_FORST	14
Abb. 7: Wasserbilanz im Modell SIMWASER_FORST	15
Abb. 8: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Interzeption bei unterschiedlichen Blattflächen (auszugsweise)	16
Abb. 9: Ergebnisse der Sickerwassermodellierung für Auwald	19
Abb. 10: Ergebnisse der Sickerwassermodellierung für Ackerland	20
Abb. 11: Ergebnisse der Sickerwassermodellierung für Grünland	20
Abb. 12: Akkumulierte Niederschläge und Grundwasserneubildung für Auwald	21
Abb. 13: Akkumulierte Niederschläge und Grundwasserneubildung für Ackerland	21
Abb. 14: Akkumulierte Niederschläge und Grundwasserneubildung für Grünland	22
Abb. 15: Vergleich der simulierten Grundwasserneubildung bei Waldbedeckung mit dem Ergebnis der Grundwassergangs-Analyse	24
Abb. 16: Vergleich der simulierten Grundwasserneubildung bei Ackernutzung mit dem Ergebnis der Grundwassergangs-Analyse	24
Abb. 17: Vergleich der simulierten Grundwasserneubildung bei Grünland mit dem Ergebnis der Grundwassergangs-Analyse	25
Abb. 18: Vergleich GW-Ganglinie Pegel B1 mit geschätzter Murganglinie Profil 23	37
Abb. 19: Vergleich GW-Ganglinie Pegel B3 mit geschätzter Murganglinie Profil 29	37
Abb. 20: Vergleich GW-Ganglinie Pegel B12 mit geschätzter Murganglinie Profil 81	38
Abb. 21: Vergleich geschätzter Murganglinien mit gemessener Ganglinie am Pegel Gornja Radgona	39
Abb. 22: Vergleich geschätzte Murganglinie mit gemessener Ganglinie am Pegel Spielfeld	40
Abb. 23: Vergleich geschätzte Murganglinie mit gemessener Ganglinie am Pegel Gornja Radgona	40
Abb. 24: Pegel 38575 - Vergleich zwischen Proberechnung und gemessener Ganglinie	48
Abb. 25: Pegel 38795 - Vergleich zwischen Proberechnung und gemessener Ganglinie	49
Abb. 26: Pegel 3905 - Vergleich zwischen Proberechnung und gemessener Ganglinie	49
Abb. 27: Pegel 39157 - Vergleich zwischen Proberechnung und gemessener Ganglinie	50
Abb. 28: Pegel 3929 - Vergleich zwischen Proberechnung und gemessener Ganglinie	50
Abb. 29: Kalibrationsfortschritt am Pegel 3845	65
Abb. 30: Kalibrationsfortschritt am Pegel 3847	65
Abb. 31: Kalibrationsfortschritt am Pegel 38553	66
Abb. 32: Kalibrationsfortschritt am Pegel 38775	67
Abb. 33: Kalibrationsfortschritt am Pegel 3903	68
Abb. 34: Kalibrationsfortschritt am Pegel 3913	68
Abb. 35: Kalibrationsfortschritt am Pegel 3915	69
Abb. 36: Kalibrationsfortschritt am Pegel 39191	70
Abb. 37: Kalibration am Pegel 38575	72

Abb. 38: Kalibration am Pegel 3861.....	73
Abb. 39: Kalibration am Pegel 38632.....	73
Abb. 40: Kalibration am Pegel B7	74
Abb. 41: Kalibration am Pegel 3883.....	74
Abb. 42: Kalibration am Pegel 38157.....	75
Abb. 43: Kalibration am Pegel 3923.....	76
Abb. 44: Kalibration am Pegel B13	77
Abb. 45: Geostatistisch flächenhaft interpolierte Verteilung der mittleren Residuenquadratsumme (RMSQ) basierend auf den Auswertungen an den dargestellten Messpunkten.....	78
Abb. 46: Scatterplot der gemessenen mittleren Grundwasserspiegellagen zu den Mittelwerten aus der Modellberechnung an den in Abb. 45 dargestellten Messstellen.....	78
Abb. 47: Grundwasserspiegelschwankung an Messstellen im unteren Murtal (W – O Profil) und ausgewählte Termine zur Darstellung der Strömungsbilder	80
Abb. 48: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 38553.....	83
Abb. 49: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 38653.....	83
Abb. 50: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 3885.....	84
Abb. 51: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 38931.....	84
Abb. 52: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 3905.....	85
Abb. 53: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 39133.....	86
Abb. 54: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 3929.....	86
Abb. 55: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 39151.....	87
Abb. 56: Monatssummen der Grundwasserneubildung des Jahres 1994 an drei ausgewählten Boden-Nutzungsformen als Ergebnis der Modellierung mit SIMWASER.	88
Abb. 57: Bilanzgrößen aus dem Grundwasserströmungsmodell für Niederwasserverhältnisse (28. September 1993). Flächenhafte Grundwasserneubildung = 27 l/s.....	90
Abb. 58: Bilanzgrößen aus dem Grundwasserströmungsmodell für Mittelwasserverhältnisse (1. August 1994). Flächenhafte Grundwasserneubildung = 197 l/s	90
Abb. 59: Bilanzgrößen aus dem Grundwasserströmungsmodell für Hochwasserverhältnisse (1. April 1995), auslaufende Hochwasserwelle der Mur. Flächenhafte Grundwasserneubildung = 838 l/s	91
Abb. 60: Bilanzgrößen aus dem Grundwasserströmungsmodell für Hochwasserverhältnisse (16. September 1995), anlaufende Hochwasserwelle der Mur. Flächenhafte Grundwasserneubildung = 1170 l/s	91
Abb. 61: Darstellung der Ergebnisse der Bilanzierung über unterschiedliche Randbedingungen für verschiedene Zeiträume	92
Abb. 62: Grundwasser – Gesamtbilanz im Modellgebiet (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)	94
Abb. 63: Bilanz der flächenhaften Grundwasserneubildung im Modellgebiet (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie).....	95
Abb. 64: Gesamtbilanz der Interaktion der Oberflächengewässer ohne Mur mit dem Grundwasser im Modellgebiet (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie).....	96
Abb. 65: Bilanz der Interaktion des Schwarzaubaches mit dem Grundwasser im Modellgebiet (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)	97

Abb. 66: Bilanz der Interaktion des Drauchenbaches mit dem Grundwasser im Modellgebiet (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)	98
Abb. 67: Bilanz der Interaktion der Kutschenitza mit dem Grundwasser im Modellgebiet (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)	99
Abb. 68: Bilanz der Interaktion der Mur mit dem Grundwasser im Modellgebiet (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)	100
Abb. 69: Bilanz der Interaktion des Grundwassers im Modellgebiet über den nördlichen Talrand (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)	101
Abb. 70: Bilanz der Interaktion des Grundwassers im Modellgebiet über den westlichen Modellrand (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)	102
Abb. 71: Bilanz der Interaktion des Grundwassers im Modellgebiet über den östlichen Modellrand (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)	103
Abb. 72: Im Modellgebiet gesetzte Beobachtungspunkte (Obs) als Grundlage für die Bewertung der Auswirkung der Konsensentnahme an den Wasserversorgungsbrunnen auf die Grundwasserspiegellage	112
Abb. 73: Grafischer Vergleich der Ganglinie des Grundwasserspiegels zwischen den Simulationsvarianten E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (dauernde Entnahme der Konsenswassermenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) im Modellzeitraum 1993 bis 1995.	112
Abb. 74: Grafischer Vergleich der mittleren Jahresganglinie des Grundwasserspiegels zwischen den Simulationsvarianten E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (dauernde Entnahme der Konsenswassermenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) im Modellzeitraum 1993 bis 1995.....	113
Abb. 75: Grafischer Vergleich der mittleren Jahres-Überschreitungsdauerlinie des Grundwasserspiegels zwischen den Simulationsvarianten E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (dauernde Entnahme der Konsenswassermenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) im Modellzeitraum 1993 bis 1995.....	114
Abb. 76: Grafischer Vergleich der Häufigkeitsverteilung von 5 cm - Klassen der Grundwasserspiegellage zwischen den Simulationsvarianten E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (dauernde Entnahme der Konsenswassermenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) im Modellzeitraum 1993 bis 1995 in Tagen.....	115
Abb. 77: Zu erwartende Grundwasserspiegelabsenkung bei niederen Grundwasserständen durch die Entnahme der Konsensmenge an den Wasserversorgungsbrunnen Mureck, Gosdorf, Bad Radkersburg und Dedenitz im Vergleich zur Null – Entnahme.....	116
Abb. 78: Zu erwartende Grundwasserspiegelabsenkung bei mittleren Grundwasserständen durch die Entnahme der Konsensmenge an den Wasserversorgungsbrunnen Mureck, Gosdorf, Bad Radkersburg und Dedenitz im Vergleich zur Null – Entnahme.....	116
Abb. 79: Zu erwartende Grundwasserspiegelabsenkung bei hohen Grundwasserständen durch die Entnahme der Konsensmenge an den Wasserversorgungsbrunnen Mureck, Gosdorf, Bad Radkersburg und Dedenitz im Vergleich zur Null – Entnahme.....	116
Abb. 80: Relationen in den angeschlossenen Chemiedatenbanken	129
Abb. 81: Struktur der Messstellentabelle	130
Abb. 82: Struktur der Parametertabelle.....	131
Abb. 83: Entwurfsansicht der Wertetabelle	132
Abb. 84: Datenblattansicht der Abfrage „xx_Param_MW“	134
Abb. 85: Abfragen in Chemiedatenbanken	134
Abb. 86: Datenblattansicht der Ganglinienabfrage	134

Abb. 87: Nitratganglinie im Grundwasser am Brunnen Mureck_2 von 1972 bis 1999.....	136
Abb. 88: Nitratganglinie im Grundwasser am Brunnen Radkersburg von 1974 bis 1999	136
Abb. 89: Mittlere Nitratverteilung [mg/l] (1997) im Unteren Murtal.....	138
Abb. 90: Mittlere Nitratverteilung [mg/l] im 3. Quartal 1997 im Unteren Murtal	138
Abb. 91: Differenz [mg/l] der mittleren Nitratverteilung und der Nitratverteilung im 3. Quartal im Unteren Murtal	139
Abb. 92: Einzugsgebiet des Brunnens Mureck bei Entnahme der Konsensmenge auf Basis des Bahnlinienverfahrens für den Strömungszustand vom 28. 9. 1993 (Niederwasser).....	143
Abb. 93: Klassifizierung der Grundwasserspiegellagen an Obs45 nach Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW).....	144
Abb. 94: Klassifizierung der Grundwasserspiegellagen an Obs23 nach Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW).....	145
Abb. 95: Klassifizierung der Grundwasserspiegellagen an Obs14 nach Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW).....	145
Abb. 96: Instationäre Einzugsgebiete nach dem Bahnlinienverfahren für Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW) sowie das Gesamteinzugsgebiet als Umschreibende für den Brunnen Mureck.....	146
Abb. 97: Instationäre Einzugsgebiete nach dem Bahnlinienverfahren für Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW) sowie das Gesamteinzugsgebiet als Umschreibende für den Brunnen Bad Radkersburg.	146
Abb. 98: Instationäre Einzugsgebiete nach dem Bahnlinienverfahren für Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW) sowie das Gesamteinzugsgebiet als Umschreibende für den Brunnen Dedenitz.	147
Abb. 99 Differenzen der prozentuellen Häufigkeit der Einzugsgebietszugehörigkeit (Anzahl zu Brunnen fließende Partikel im Verhältnis zur Gesamtzahl gestarteter Partikel einer Zelle) einer Zelle	150
Abb. 100 Einzugsgebiet Brunnen Mureck: Anteil der Partikel einer jeden Startzelle an der Gesamtzahl der gestarteten Partikel die den Brunnen Mureck während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich erreichen.	153
Abb. 101: Einzugsgebiet Brunnen Mureck: Anzahl von Tagen, die ein Partikel einer jeden Startzelle zumindest benötigt, um den Brunnen Mureck während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich zu erreichen.	153
Abb. 102: Einzugsgebiet Brunnen Gosdorf: Anteil der Partikel einer jeden Startzelle an der Gesamtzahl der gestarteten Partikel die den Brunnen Gosdorf während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich erreichen.	154
Abb. 103: Einzugsgebiet Brunnen Gosdorf: Anzahl von Tagen, die ein Partikel einer jeden Startzelle zumindest benötigt, um den Brunnen Gosdorf während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich zu erreichen.	154
Abb. 104: Einzugsgebiet Brunnen Bad Radkersburg und Dedenitz: Anteil der Partikel einer jeden Startzelle an der Gesamtzahl der gestarteten Partikel die die Brunnen Bad Radkersburg oder Dedenitz während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich erreichen.....	155
Abb. 105: Einzugsgebiet Brunnen Bad Radkersburg und Dedenitz: Anzahl von Tagen, die ein Partikel einer jeden Startzelle zumindest benötigt, um den Brunnen Bad Radkersburg oder Dedenitz während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich zu erreichen.	155
Abb. 106: Brunnen Mureck: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den NW-Bahnlinien	156

Abb. 107: Brunnen Mureck: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den MW-Bahnlinien	156
Abb. 108: Brunnen Mureck: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den HW-Bahnlinien	156
Abb. 109: Brunnen Gosdorf: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den NW-Bahnlinien	157
Abb. 110: Brunnen Gosdorf: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den MW-Bahnlinien	157
Abb. 111: Brunnen Gosdorf: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den HW-Bahnlinien	157
Abb. 112: Brunnen Bad Radkersburg und Dedenitz: Vergleich der instationären Brunneneinzugsgebiete mit den NW-Bahnlinien	158
Abb. 113: Brunnen Bad Radkersburg und Dedenitz: Vergleich der instationären Brunneneinzugsgebiete mit den MW-Bahnlinien	158
Abb. 114: Brunnen Bad Radkersburg und Dedenitz: Vergleich der instationären Brunneneinzugsgebiete mit den HW-Bahnlinien	159
Abb. 115: Mittlere Jahressumme der Nitratversickerung aus typischen Bodenformen des Murtales in Abhängigkeit von Düngemenge und Düngezeitpunkt bei Maisanbau mit winterharter Gründecke – Modellergebnisse (1993 – 1995)	160
Abb. 116: Zuordnung der Bodenformen des Murtales von Graz bis Bad Radkersburg zu den berechneten Hauptbodenformen auf Basis der Ergebnisse der Bodenkartierung und Klassifizierung der Nitrataustragsgefährdung der Böden bei der dominanten Kulturart Mais (mit winterharter Gründecke)	161
Abb. 117: Nitrataustragsgefährdung der Böden des Unteren Murtales	161
Abb. 118: Einzugsgebiet des Brunnens Dedenitz unter Berücksichtigung der Wechselwirkung mit dem Brunnen Bad Radkersburg bei Niederwasserverhältnissen und Darstellung der geologischen Situation.	162
Abb. 119: Nitratverteilung als Mittelwert des Jahres 1997 (siehe Kap. 5.4)	163
Abb. 120: Abgrenzungsvorschlag für das Intensivberatungsgebiet Dedenitz unter Berücksichtigung der Grundwasserströmungsverhältnisse, der Nitrataustragsgefährdungssituation und der aktuellen Nitratverteilungssituation	163
Abb. 121: Lage der Nassbaggerung Mureck in Bezug auf existierende Grundwassermessstellen und den Entnahmebrunnen der Stadt Mureck	164
Abb. 122: Finite Elemente Netz und Verteilung der Durchlässigkeiten im Grundwasserleiter aus [5].	166
Abb. 123: Berechneter Grundwasserspiegel bei Mittelwasserverhältnissen (18. 09. 1995)	167
Abb. 124: Berechneter Grundwasserschichtenlinienplan nach Errichtung der geplanten Nassbaggerungen bei Mittelwasserverhältnissen ohne Kolmatierung der Böschungen	168
Abb. 125: Schnitte entlang der Profillinie 1 in Abb. 121 durch die Grundwasserspiegellage im Ausgangszustand, bei unterschiedlichen Kolmatierungen der Böschungen und durch den Grundwasserstauer.	169
Abb. 126: Schnitte entlang der Profillinie 2 in Abb. 121 durch die Grundwasserspiegellage im Ausgangszustand, bei unterschiedlichen Kolmatierungen der Böschungen und durch den Grundwasserstauer.	170
Abb. 127: Schnitte entlang der Profillinie 3 in Abb. 121 durch die Grundwasserspiegellage im Ausgangszustand, bei unterschiedlichen Kolmatierungen der Böschungen und durch den Grundwasserstauer.	170

Abb. 128: Abgrenzung des Untersuchungsgebietes (rote Umgrenzung) für neue Brunnenstandorte (festgelegt im Rahmen der Besprechung vom 7. Juni 2001).	172
Abb. 129: Optimierte Lage der ermittelten potentiellen Brunnenstandorte mit den Punkten, an denen eine Ganglinienbewertung der Auswirkung der geplanten Entnahme vorgenommen wurde.	173
Abb. 130: Einzugsgebiet der beiden optimierten Brunnenstandorte mit den mittleren Verweilzeiten des Grundwassers aus der Stromlinienauswertung des instationären Grundwasserströmungsmodells (Methodik siehe Kap. 6.1).	173
Abb. 131: Auswirkung der Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten auf die Grundwasserspiegellage während eines Jahres am Beobachtungspunkt O1 in unmittelbarer Nähe des vorgeschlagenen Brunnenstandortes GSO_N1_10	175
Abb. 132: Auswirkung der Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten auf die Grundwasserspiegellage am Beobachtungspunkt O1 in unmittelbarer Nähe des vorgeschlagenen Brunnenstandortes GSO_N1_10	175
Abb. 133: Auswirkung der Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten auf die Grundwasserspiegellage während eines Jahres am Beobachtungspunkt O2 im Bereich der 60-Tage Grenze der Grundwasserfließzeit zum vorgeschlagenen Brunnenstandort GSO_N1_10.....	176
Abb. 134: Auswirkung der Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten auf die Grundwasserspiegellage am Beobachtungspunkt O2 im Bereich der 60-Tage Grenze der Grundwasserfließzeit zum vorgeschlagenen Brunnenstandort GSO_N1_10	176
Abb. 135: Darstellung der flächenhaften mittleren Grundwasserspiegelabsenkung durch die Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten mit den Linien gleicher Grundwasserspiegellagen bei Mittelwasserverhältnissen.	178
Abb. 136: Darstellung der flächenhaften mittleren Grundwasserspiegelabsenkung durch die Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten mit den Linien gleicher Grundwasserspiegellagen bei Niederwasserverhältnissen.	179
Abb. 137: Zeitliche Entwicklung der Nitrat-, Atrazin- und Desethylatrazinkonzentration an der WEG-Messstelle 61506132 in Donnersdorf	180

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Modellprofile für die Bodenformen der Sonderkartierung „Aubereich der Mur“	18
Tab. 2: Modellprofile für die Bodenformen der Österreichischen Bodenkarte 1:25.000.....	18
Tab. 3: Bezeichnung der ausgewerteten Pegel.....	19
Tab. 4: Geltungsbereich der einzelnen Ganglinien-Gruppen	23
Tab. 5: Mittlere Grundwasserneubildung GWN der Jahre 1993-1995 im Unteren Murtal bei unterschiedlicher Bodennutzung (mittlerer Niederschlag 870 mm/Jahr)	23
Tab. 6: Landnutzungsreklassifizierung durch Überführung der Daten aus der Satellitenbilddauswertung in Landnutzungsklassen für die Berechnung der Grundwasserneubildung.....	42
Tab. 7: Typisierung der Grundwasserneubildungsganglinien in Abhängigkeit von Bodenformenklassen und Landnutzungskategorien	42
Tab. 8: Definition der Randbedingungen am westlichen Modellrand durch Verschiebung der Grundwasserstandsganglinie am Pegel 38456 um einen konstanten Betrag in Abhängigkeit von der Lage der Randknoten im Grundwasserfeld.....	55

Tab. 9: Definition der Randbedingungen entlang der Mur durch Verschiebung der aus den Q/H Beziehung der Regulierungsprofile ermittelten Wasserspiegellagen an den einzelnen Mur-Querprofilen	55
Tab. 10: Geschätzte Faktoren für die Gewässerdynamik.....	58
Tab. 11: Ganglinienverschiebungen Wiesenbach	58
Tab. 12: Ganglinienverschiebungen Schwarzaubach	58
Tab. 13: Ganglinienverschiebungen Saßbach.....	58
Tab. 14: Ganglinienverschiebungen Drauchenbach.....	59
Tab. 15: Ganglinienverschiebungen Kutschenitza	59
Tab. 16: Übersicht zur Berechnung der Infiltrations- und Zuflussganglinien.....	60
Tab. 17: Ergebnisse der Bilanzierung für verschiedene Zeiträume [l/s].....	92
Tab. 18: Tabellarische Darstellung der mittleren monatlichen Grundwasserspiegellagen im Modellzeitraum 1993 bis 1995 sowie der Differenz zwischen der Simulationsvariante E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (Entnahme der Konsensmenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) für nieder (NGW), hohe (HGW) und mittlere (MGW) Grundwasserstände sowie der Grundwasserspiegellage, die an n Tagen eines mittleren Jahres überschritten wird.....	114
Tab. 19: Aktuelle und geplante Uhrzeitencodes	132
Tab. 20: Häufigkeitsdarstellung der Anzahl der Nitratmessungen 1997 (unteres Murtal).....	135
Tab. 21: Anzahl der Stromlinien für eine Modellfläche von 1 km ² und einem Modellzeitraum von 3 Jahren in Abhängigkeit von der Zellweite und der Zeitdifferenz zwischen den Startzeiten von Partikeln aus derselben Zelle	148

Verzeichnis der Beilagen

Beilage 1:	Lage der Pegel und Profilpunkte an der Mur
Beilage 2:	Flächendeckende Bodenkarte
Beilage 3:	Flächen gleicher Grundwasserneubildungsklassen
Beilage 4:	Grundwasserneubildungsklassen der FE-Elemente
Beilage 5:	kf-Werte als Ergebnis der instationären Kalibration
Beilage 6:	Instationäre Randbedingungen
Beilage 7:	Darstellung der Randbedingungen
Beilage 8:	Grundwasser-Schichtenlinienplan für Niederwasserhältnisse (1. Oktober 1993)
Beilage 9:	Grundwasser-Schichtenlinienplan für Mittelwasserhältnisse (1. August 1994)
Beilage 10:	Grundwasser-Schichtenlinienplan für Hochwasserhältnisse: Vergleich zwischen den Verhältnissen bei steigendem Murspiegel (16. September 1995) und Hochwasserhältnissen bei fallendem Murspiegel (1. April 1995)
Beilage 11:	Differenzenplan der Grundwasserspiegellagen zwischen Hochwasserhältnissen (1. April 1995) und Niederwasserhältnissen (1. Oktober 1993)

1 Einleitung und Problemstellung

Der Schutz des Grundwassers ist nicht nur eine vom Gesetzgeber geforderte Pflicht, sondern im Sinne der nachhaltigen Nutzung von Grundwasserreserven auch ein wichtiges Anliegen der Wirtschaft, der Gesellschaft und auch der Ökologie. Die Wirkungsweise von Maßnahmen zum Schutze des Grundwassers müssen unter Beachtung der lokalen Besonderheiten untersucht werden, um denjenigen, die durch diese Unterschützstellung Einbußen zu erleiden haben (Landwirtschaft) die Notwendigkeit und die Bedeutung der Bewirtschaftungseinschränkungen näher bringen zu können. Die Ergebnisse des Gesamtprojektes werden es erlauben, Maßnahmen gezielt zu setzen und auch die notwendigen wirtschaftlichen Einschränkungen der Landwirtschaft über Modellsimulationen besser bewerten zu können. Ziel des Projektes ist die Schaffung von Grundlagen über das Verhalten des murnahen Grundwassersystems und die Klärung der Zusammenhänge zwischen Oberflächengewässer und Grundwassersystem mit allen ihren quantitativen Folgen.

- Die Erfassung und Kompilation bestehender Unterlagen aus den Bereichen Hydrogeologie, Hydrologie, Wasserwirtschaft und Wasserqualität wurde in einem Vorprojekt des Landes Steiermark durchgeführt.
- Das 1. Projektjahr stand im Zeichen der Durchführung eines intensiven Messprogramms an bestehenden und im Zuge des Vorprojektes neu errichteten Grundwasseraufschlüssen und an Oberflächenwässern, hinsichtlich der Interaktion des Grundwassersystems mit den Oberflächenwässern und der qualitativen Beeinträchtigung durch die menschliche Aktivität.
- Im zweiten Projektjahr wurde ein stationäres Grundwasserströmungsmodell des Unteren Murtales für einen Niederwasserzeitpunkt kalibriert und grundlegende Vorarbeiten für die instationäre Modellierung des Grundwasserkörpers durchgeführt.
- Aufbauend auf diesen Ergebnissen liegt der Arbeitsschwerpunkt des abschließenden Projektsteiles in der Erstellung und Kalibrierung eines instationären Strömungsmodells unter Berücksichtigung der Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer bei zeitlich instationären Verhältnissen (Ereignisse).

Aufbauend auf das instationäre Grundwasserströmungsmodell werden Transportuntersuchungen aufgesetzt, die die Wasserbewegung in erster Linie hinsichtlich der Einzugsgebiete kommunaler Wasserversorgungsanlagen beschreiben. In qualitativer Hinsicht stellt auch heute noch Nitrat den Problemstoff Nr. 1 im Untersuchungsgebiet dar. Aus diesem Grund werden auch Auswertungen der Verteilung des Nitrats im Grundwasser und Analysen der Ursachen angestellt um zu einer verbesserten Basis für die Beratung der Landwirtschaft hinsichtlich grundwasserschonender Bewirtschaftung zu gelangen. Diese Auswertungen werden durch Stickstofftransportsimulationen in der ungesättigten Zone gestützt.

Um die praktische Bedeutung der regionalen Grundwassermodellierung – einerseits in Form von numerischen FE-Modellen, andererseits durch geostatistische Modellierung von Stoffverteilungen

– in den Vordergrund zu rücken, soll in diesem abschließenden Bericht auch über die Umsetzung der Ergebnisse der Modellierung in praxisnahen Anwendungen, die seit der Berichtlegung des 1. Teiles des Abschlussberichtes erarbeitet wurden, berichtet werden.

Aufgrund der Weiterentwicklung des Kenntnisstandes im Bereich der Grundwasserhydrologie und der numerischen Modellierung von Aquifersystemen, in denen die Erneuerung zu einem gewichtigen Teil aus der Neubildung über infiltrierende Niederschlagswässer erfolgt und zudem die Problemstoffe in landwirtschaftlich intensiv genutzten Ackerbaugebieten überwiegend flächenhaft diffus auf dem Pfad über die ungesättigte Zone in das Grundwasser gelangen, erscheint es aus heutiger Sicht unabdingbar notwendig zu sein, den Bodenwasserhaushalt und die Stofftransportvorgänge in der ungesättigten Zone in der Modellierung zu berücksichtigen. Die flächenhafte Grundwasserneubildung und die Stofffrachten über die ungesättigte Zone bilden einen entscheidenden Input in das instationäre Grundwasserströmungsmodell (im stationären Strömungsmodell kann die ungesättigte Zone dann vernachlässigt werden, wenn die modellierten Zustände Zeitpunkten entsprechen, an denen keine Grundwasserneubildung über die Niederschläge auftritt).

Die Modellierung dieser flächenhaften Grundwasserneubildung benötigt eine entscheidende Erweiterung der Datenbasis, um deren Abhängigkeit von Meteorologie, Boden, Landnutzung und Bewirtschaftung auch nur annähernd beschreiben zu können. Die fachliche Kompetenz zur Durchführung dieser Modellierungen wurde im Rahmen einer Forschungskoooperation mit dem Institut für Bodenwasserhaushalt und Kulturtechnik des Bundesamtes für Wasserwirtschaft in Petzenkirchen erworben und weiterentwickelt. Herr Prof. Klaghofer mit seinem Team steht im Rahmen des gegenständlichen Projektes auch als unser Partner in fachlichen Belangen der Bodenkunde und des Bodenwasserhaushaltes zur Verfügung.

Da jedoch eine direkte Koppelung des Bodenwasserhaushaltsmodells mit dem Grundwasserströmungsmodell noch nicht existiert, ist zwar die Grundwasserneubildung über sequentielle Abarbeitung der einzelnen Teilprozesse – aufgrund des dominanten „Piston Flow Effektes“ - berechenbar, der Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone wird aber in einer stationären Berechnungsebene ausgegeben. Allein aufgrund der Grundwasserspiegelschwankungen von etwa 2 m im Jahr ist dadurch eine Zeitverschiebung des Auftreffens von Nitrat aus der berechneten Bilanzenebene (1.5 m), bis zum Grundwasserspiegel bei den hier herrschenden hydrogeologischen Rahmenbedingungen von bis zu 2 Jahren, gegeben. Eine direkte Modellierung des Nitratflusses von der Oberfläche bis in das Grundwasser und weiter in die Vorflut ist damit mit den derzeit existierenden Werkzeugen nicht möglich. Eine Entwicklung und Adaptierung der notwendigen Tools ist aber im Rahmen eines EU-Projektes für die nächsten Jahre vorgesehen (und auch unabdingbar notwendig). Um aber trotzdem die Verteilung der Nitratkonzentration im Untersuchungsgebiet detailliert beschreiben zu können, wurde diese mit Hilfe statistischer und geostatistischer Modelle untersucht und beschrieben, wobei neben der Verteilung selbst auch die

Einflussnahme der Grundwasserströmung in das Modell inkorporiert und die Wechselwirkungen untersucht wurden.

2 Bodenwasserhaushalt

2.1 Einleitung

Die Ermittlung der Grundwasserneubildung aus den Niederschlägen ist im Unteren Murtal eine wesentliche Voraussetzung für die Erstellung eines instationären Grundwassermodells. Das Ausmaß und der zeitliche Verlauf der Grundwasserneubildung ergibt sich aus der täglichen Bilanz der Niederschläge, der Verdunstung und der Bodenspeicherung; bei geneigtem Gelände und schlecht durchlässigen Böden kommt als weiteres Bilanzglied der Oberflächenabfluss hinzu, der jedoch im vorliegenden Fall im weitgehend ebenen Talbodenbereich auf Starkniederschläge beschränkt bleibt. Von den genannten Bilanzgrößen liegen lediglich die täglichen Niederschläge als Messwerte vor. Verdunstung, Bodenspeicherung (und allenfalls Oberflächenabfluss) müssen aufgrund weiterer Informationen über Klima, Boden und Pflanzendecke mit Hilfe eines Simulationsmodells abgeleitet werden. Diese letztgenannten Informationen sind für das gesamte Untersuchungsgebiet, jedoch in unterschiedlicher Qualität verfügbar. An dieser Stelle muss daher ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse der vorliegenden Ausarbeitung eine Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse darstellen und nur Durchschnittswerte der in den entsprechenden Abbildungen dargestellten Flächen mit gleicher Grundwasserneubildung angeben. Damit wird zwar die für eine Rahmenplanung erforderliche "Genauigkeit" erreicht, eine Anwendung der Ergebnisse für lokal begrenzte Detailfragen ist jedoch ohne zusätzliche Untersuchungen vor Ort unzulässig.

2.2 Abgrenzung und Unterteilung des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet umfasst den österreichischen Au- und Niederterrassenbereich entlang der Mur etwa von Spielfeld bis zur Staatsgrenze bei Sieldorf und wird im Norden von der Linie Seibersdorf bei St. Veit - Hainsdorf - Salsach - Unterpurkla - Halbenrain - Goritz b. Radkersburg begrenzt, welche in etwa den Übergang von der Niederterrasse zu den lehmbedeckten Terrassen und dem Tertiär-Hügelland darstellt.

Eine Analyse der Niederschlagsmessungen der im Untersuchungsgebiet liegenden Stationen STRASS, UNTERPURKLA, RADKERSBURG und ZELTING für die Untersuchungsperiode 1993-1995 zeigte, dass für die Berechnungen mit zwei Niederschlagsgebieten, die den im Untersuchungsgebiet liegenden Kartierungsbereichen „KB17: MURECK“ und „KB45: RADKERSBURG“ entsprechen, das Auslangen gefunden werden kann.

Innerhalb dieser Niederschlagsgebiete wurde entsprechend den vorliegenden Bodenkarten zwischen der Au-Sonderkartierung und der „normalen“ Bodenkartierung unterschieden, wobei als wesentliches Merkmal der Au-Sonderkartierung die Erfassung der Bodenverhältnisse im Auwald hervorgehoben werden muss. Daher konnte für diesen Bereich die Grundwasserneubildung auch unter Wald berechnet werden, während dies im Bereich der „normalen“ Bodenkartierung mangels diesbezüglicher Untersuchungen nicht möglich war.

Von den Berechnungen ausgenommen wurden neben den Waldflächen im „normalen“ Kartierungsbereich auch die Wasser- und Siedlungsflächen sowie jene Bodenformen, bei welchen sich aufgrund der Bodenbeschreibung der mittlere Grundwasserspiegel innerhalb des Wurzelhorizontes befindet: in solchen Fällen kann eine realistische Ermittlung der Grundwasserneubildung ohne Zusatzuntersuchungen nicht erfolgen.

2.3 Simulationsmodelle

2.3.1 Modellgrundzüge

Die Berechnung des Bodenwasserhaushaltes und damit der Grundwasserneubildung erfolgt für die landwirtschaftlich genutzten Flächen mit dem Simulationsmodell SIMWASER (STENITZER, 1988) und für den Auwald mit der für die Abschätzung des Wasserhaushaltes von Waldbeständen entwickelten Version SIMWASER_FORST (STENITZER, 1997). Mit beiden Modellen wird die tägliche Bilanz zwischen Niederschlag, Verdunstung, Bodenspeicherung und Oberflächenabfluss auf der Basis von täglichen Wetterdaten (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung und Niederschlag) für eine durch ihren Profilaufbau gekennzeichnete "Bodenform" bei Berücksichtigung des jeweiligen Pflanzenbestandes und seines Entwicklungsstandes bzw. seiner Pflanzenarchitektur berechnet. Dazu müssen der Bodenaufbau (also die Schichtabfolge) und die Bodenarten der einzelnen Schichten bekannt sein. Für die Berechnung der Wasserbewegung werden die pF- und die Ku-Kurven der jeweiligen Bodenart benötigt. Für die Abschätzung der Wurzelentwicklung bei Feldfrüchten und Grünlandbeständen wird darüber hinaus die Kurve des Penetrometerwiderstandes als Funktion des Matrixpotentials benötigt. Die genannten Bodenkennwerte müssen entweder anhand von intensiven Feldmessungen abgeleitet oder an ungestörten Bodenproben im Labor ermittelt werden. Für Überschlagsrechnungen wie bei der vorliegenden Rahmenplanung stehen eine Reihe von typischen "Standardbodenkennwerten" als Datenbank zur Verfügung. Für die Berechnung der Pflanzenentwicklung und des Pflanzenwachstums sowie des damit verbundenen Wasserverbrauchs werden sogenannte "Pflanzenkennwerte" für die unterschiedlichen Kulturen bzw. Baumarten verwendet, womit der Einfluss der jeweiligen Bodenbedeckung auf den Bodenwasserhaushalt erfasst werden kann.

2.3.1.1 Kurzbeschreibung des Modells SIMWASER

Mit dem Modell SIMWASER werden die naturgesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen dem Bodenwasserhaushalt und dem Pflanzenwachstum mit den zugrunde liegenden Abhängigkeiten von Klima-, Pflanzen- und Bodenfaktoren mathematisch beschrieben und miteinander verknüpft. Bei der Aufnahme des Kohlendioxids über die Spaltöffnungen der Blätter eines Pflanzenbestandes wird durch die austrocknende Kraft der wasserungesättigten Luft laufend Wasserdampf aus dem Blattinneren entzogen. Dieser als „Transpiration“ bezeichnete Wasserverlust muss von den Pflanzenwurzeln aus dem Boden nachgeliefert werden. Der dazu erforderliche tägliche Wasserbedarf (potentielle Transpiration) hängt einerseits von der jeweiligen Witterung, andererseits von der jeweilig aktiven Blattfläche des Pflanzenbestandes ab. Die tatsächlich von den Wurzeln nachlieferbare Wassermenge, die sogenannte aktuelle Transpiration, hängt vom jeweils vorhandenen Wasservorrat im durchwurzelten Bodenraum ab. Sind die Wurzeln infolge der zunehmenden Ausschöpfung der Bodenwasservorräte nicht mehr in der Lage, den durch die Witterung vorgegebenen Wasserbedarf zu decken, so schließen sich die Spaltöffnungen, um einen übermäßigen Wasserverlust zu vermeiden. Dadurch wird jedoch gleichzeitig die Assimilation eingestellt, was eine entsprechende Wachstumseinschränkung zur Folge hat.

Die tägliche Bilanz zwischen Niederschlag, Evaporation von der Bodenoberfläche und Transpiration durch die Blätter ergibt die Randbedingung für die Wasserbewegung an der Profilobergrenze bzw. für den Wasserentzug durch die Wurzeln in den einzelnen jeweils durchwurzelten Bodenschichten. Die Randbedingungen an der Untergrenze des betrachteten Profils werden von den Grundwasserverhältnissen bestimmt. Bei grundwasserbeeinflussten Standorten werden die Berechnungen über das gesamte Bodenprofil bis zur Grundwasseroberfläche durchgeführt, während bei einem grundwasserfernen Standort die letzte Schicht des Bodenmodells in einer Tiefe angesetzt wird, in welcher kein Einfluss des Wurzelentzuges zu erwarten ist.

Mit SIMWASER können grundsätzlich beliebige Fruchtfolgen über einen beliebig langen Zeitraum hindurch simuliert werden. Dabei wird nach dem in Abb. 1 dargestellten Schema generell zwischen den Zeitabschnitten von der Aussaat bis zur Ernte einer FRUCHTART „C“ und dem nach der Ernte bis zur Aussaat des nächsten FRUCHTFOLGE-ELEMENTES liegenden Abschnittes der „BRACHE“ unterschieden.

Der Simulationsablauf wird als stark vereinfachtes Flussdiagramm in der Abb. 2 schematisch angedeutet. Das Schema zur Berechnung des täglichen Wasserverbrauches und des Pflanzenwachstums wird in Abb. 3 dargestellt. Die dort angeführten Teilmodelle (=Unterprogramme) enthalten die wesentlichen Modellannahmen und werden nachfolgend näher erläutert. Eine ausführliche Erläuterung und Dokumentation ist bei STENITZER (1988) zu finden.

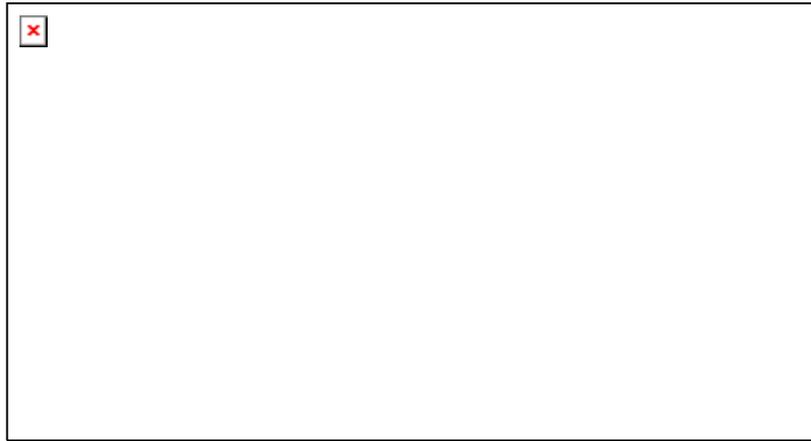


Abb. 1: Beispiel für die Unterteilung des Simulationszeitraumes in die Fruchtfolge-Elemente BRACHE, FRUCHTART C und NACH SCHNITT DER FRUCHTART C (STENITZER, 1988)

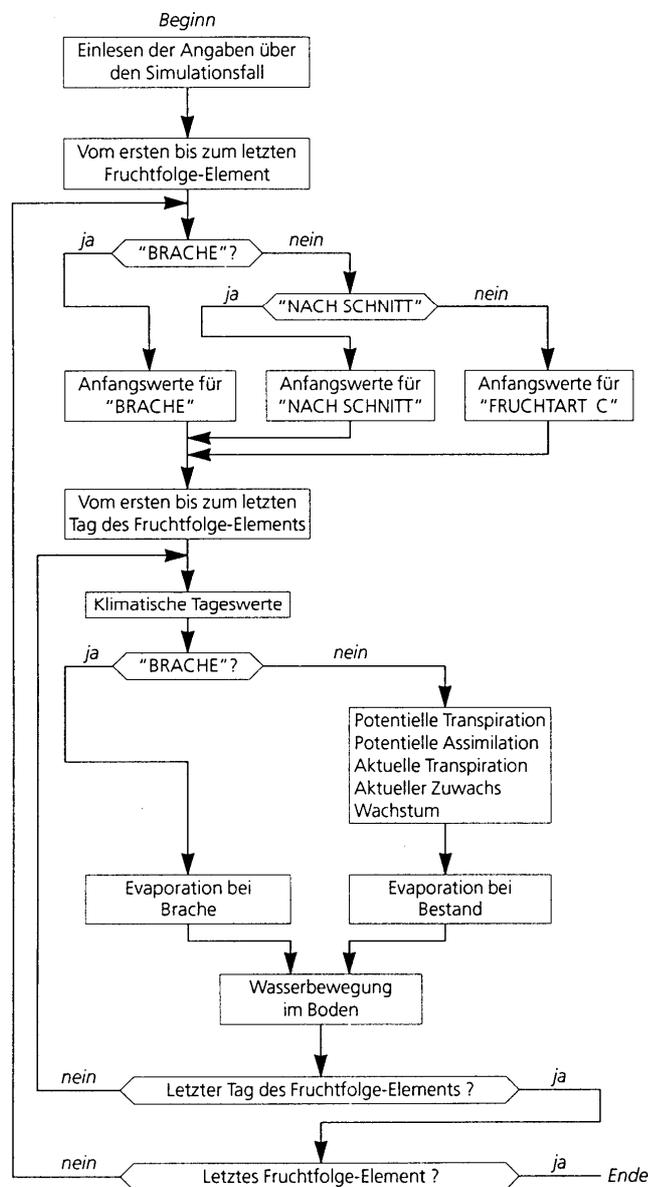


Abb. 2: Flussdiagramm des Berechnungsablaufes von SIMWASER bei der Simulation eines aus mehreren Fruchtfolge-Elementen zusammengesetzten Zeitabschnittes (STENITZER, 1988)

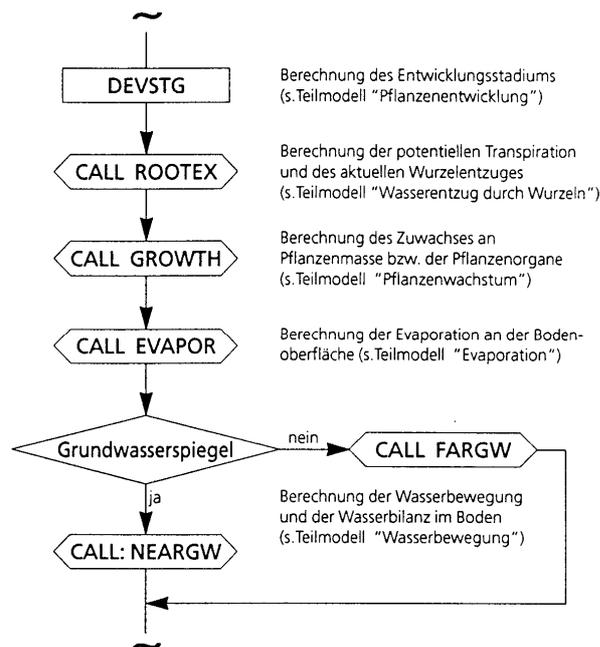


Abb. 3: Schema der Berechnung des täglichen Wasserverbrauchs und Pflanzenwachstums (STENITZER, 1988)

Teilmodell "Pflanzenentwicklung"

Die Aufteilung der täglichen Assimilatbildung in ober- und unterirdische Pflanzenmasse bzw. zwischen den oberirdischen Pflanzenorganen hängt vom jeweiligen Entwicklungsstand der Pflanzen ab. Der Übergang von der vegetativen zur reproduktiven Pflanzenentwicklung ist für die Simulation von wesentlicher Bedeutung, weil damit die Ausbildung der Blattflächen beendet und das Tiefenwachstum der Wurzeln abgeschlossen wird. Erhöhte Empfindlichkeit für Wassermangel während der "Blüte" wird durch einen Stressfaktor berücksichtigt, der sich aus der durchschnittlichen "Relativen Transpiration" während dieser Periode ergibt. Der aktuelle Entwicklungsstand wird über die Ermittlung der aktuellen akkumulierten Summe der Wachstumstemperatur und ihrem Vergleich mit der entsprechenden, für die Reife erforderliche Summe („Riping-Faktoren“) ermittelt. Die zum Wachstum notwendige Basistemperatur und die zur Reife benötigte Wachstumstemperatur-Summe sind pflanzenspezifische Kenngrößen, die als Konstanten vorgegeben werden.

Gleichung 1
$$Riping = \sum (T_i - T_o) \cdot DAYLG$$

$$T_i = \frac{T_{max} - T_{min}}{2}$$

T_i = mittlere Tagestemperatur

T_o = Basistemperatur

DAYLG = Tageslichtlänge

Bei SIMWASER wird die Pflanzenentwicklung in 10 Stadien unterteilt, wobei die Entwicklungsstadien

- 0,5 = "Auflaufen der Pflanzen",
- 5,0 = "Blüte" (= Beginn der reproduktiven Phase) und
- 10,0 = "Reife" (und damit das Ende der Transpiration)

bedeuten.

Teilmodell "potentielle Transpiration"

Die potentielle Transpiration eines Pflanzenbestandes wird aus der (aus Klimadaten abgeschätzten) potentiellen Evapotranspiration wie folgt abgeleitet:

$$\text{Gleichung 2} \quad ET_p = \frac{f_t \cdot Q + 0,864 \cdot H_o / r_a}{F_t + 1 + r_c / r_a}$$

- ET_p = potentielle Evapotranspiration
- f_t = Temperaturfaktor
- Q = Strahlungsbilanz, ausgedrückt als Verdunstungsäquivalent
- 0,864 = Dimensionsfaktor
- H_o = Sättigungsdefizit
- r_a = aerodynamischer Widerstand
- r_c = Bestandeswiderstand

Teilmodell "aktuelle Transpiration"

Die aktuelle Transpiration hängt von der Durchwurzelungstiefe, der Wurzellängendichte und dem Wassergehalt in den einzelnen Schichten des Wurzelbereiches ab. Für den Wurzelentzug in einer dieser Schichten gilt allgemein

$$\text{Gleichung 3} \quad WE = \frac{(\Psi_{Pfl} - \Psi_{Bod})}{(r_{Pfl} - r_{Bod})} \cdot WD \cdot H \cdot VF$$

- WE = Wurzelentzug
- Ψ_{Pfl} = Wasserpotential in der Pflanze
- Ψ_{Bod} = Potential des Bodenwassers
- r_{Pfl} = Widerstand der Pflanze
- r_{Bod} = Widerstand des Bodens
- WD = Wurzellängendichte in der Bodenschicht
- H = Höhe der Bodenschicht
- VF = Vernässungsfaktor

Der Vernässungsfaktor VF schwächt die Wurzelfunktion bei Sauerstoffmangel ab. Er ergibt sich aus dem Verhältnis des tatsächlich vorhandenen luftgefüllten Porenraums zu dem für die jeweilige Pflanzenart erforderlichen Luftgehalt in der jeweils betrachteten Bodenschicht

$$\text{Gleichung 4} \quad VF = \frac{PV - W}{LV_{\min}}$$

- VF = Vernässungsfaktor
- PV = Gesamtporenvolumen
- W = aktueller Wassergehalt
- LV_{min} = erforderlicher Mindestluftgehalt

Die Wurzellängendichte hängt weiterhin ab von Eindringwiderstand als Funktion von Bodenart, Lagerungsdichte und Wassergehalt. Der maximale Wasserentzug durch die Wurzeln (WE) wird für jede Schicht gemäß angegebener Beziehung berechnet. Ist die potentielle Transpiration geringer als der Wasserentzug, so wird der Wasserentzug schichtanteilig auf diese Menge reduziert.

Teilmodell "Assimilation und Pflanzenwachstum"

Die Assimilation pro Flächeneinheit eines bestimmten Pflanzenbestandes lässt sich aus der typischen "Lichtkurve eines Blattes" der betreffenden Pflanzenart als Funktion der Sonnenstrahlungsintensität und der Umgebungstemperatur unter Berücksichtigung der Lichtabschwächung innerhalb des Bestandes abschätzen.

Die Aufteilung der neugebildeten Assimilate zwischen Wurzeln und Restpflanze, die Fläche der neugebildeten Blätter pro Gewichtseinheit des Blattzuwachses und der Anteil der abgestorbenen Blätter an der gesamten Blattfläche hängen vom jeweiligen Entwicklungsstadium ab. Der Stressfaktor für das empfindliche Entwicklungsstadium 4-6 errechnet sich aus der relativen Transpiration (ET_p / ET_a) in dieser Periode. Die Ermittlung der Pflanzenentwicklung, des Assimilathaushaltes (Photosynthese, Assimilation, Veratmung) und die Aufteilung der Assimilate zwischen Wurzeln und Restpflanzen ist bei STENITZER (1988) detailliert dargestellt.

Teilmodell "Evaporation des Bodens"

Im Falle einer Bracheperiode bzw. bis zu einem Entwicklungsstand von 0,5 ist der Boden direkt der Sonnenstrahlung ausgesetzt, sodass für die potentielle Bodenverdunstung gilt:

Gleichung 5

$$E_p = \frac{f_t \cdot Q + 0,864 \cdot H_o / r_a}{f_t + 1,0 + r_{ss} / r_a}$$

E_p	=	potentielle Bodenverdunstung
f_t	=	Temperaturfaktor
Q	=	Nettoenergie, ausgedrückt als Verdunstungsäquivalent
0,864	=	Dimensionsfaktor
H_o	=	Sättigungsdefizit der Luft
r_{ss}	=	Bodenwiderstand
r_a	=	aerodynamischer Widerstand

Die aktuelle Verdunstung von der Bodenoberfläche verringert sich gegenüber ihrem potentiellen Wert, wenn die oberste Bodenschicht austrocknet. Sie wird als Funktion des Wassergehaltes der obersten Bodenschicht abgeschätzt.

Teilmodell "Interzeptionsverdunstung"

Fällt Niederschlag auf einen Pflanzenbestand, so wird nur ein Teil als durchfallender oder abtraufender Niederschlag die Bodenoberfläche erreichen. Der Rest verdunstet direkt von der Pflanzenoberfläche ohne Aufnahme durch die Pflanzen. Diese Interzeption ist bei dem hier verwendeten Ansatz abhängig von der Regenmenge und der jeweils gegebenen effektiven Blattfläche.

$$\text{effektive Blattfläche } \text{efflai} = 0.5 \cdot \text{BF}$$

$$\text{max. Interzeption } I_{\text{max}} = \frac{1.2 \times \text{efflai} \times 12}{1.2 \times \text{efflai} + 12}$$

$$\text{Kurvensteigung } I_{\text{kurv}} = 0.75 \times 0.1 \times \text{efflai}$$

$$\text{Interzeption } I = \frac{I_{\text{kurv}} \times N \times I_{\text{max}}}{I_{\text{kurv}} \times N + I_{\text{max}}}$$

Gleichung 6

BF = Blattflächenindex (m²/m²)

N = Niederschlag (mm/d)

Teilmodell "Wasserbewegung"

Bei der Berechnung der Wasserbewegung innerhalb des betrachteten Bodenprofils (Abb. 4) wird generell zwischen „grundwasserfernen“ und „grundwassernahen“ Standorten unterschieden, wobei im ersten Fall angenommen wird, dass infolge eines grobporigen Untergrundes eine Versickerung in diesen stattfindet, jedoch kein kapillarer Aufstieg aus diesem in das Bodenprofil möglich ist.

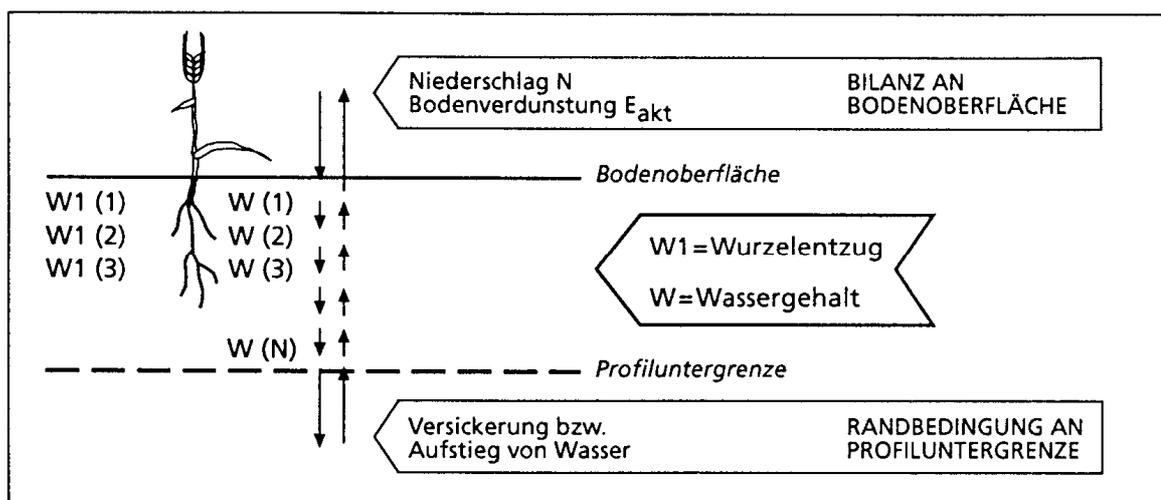


Abb. 4: Schema der Wasserbewegung und ihrer Bestimmungsgrößen bei SIMWASER (STENITZER, 1988)

Die Wasserbewegung zwischen den einzelnen Schichten des Profils wird nach dem Ansatz von DARCY als Funktion der kapillaren Leitfähigkeit und des Potentialgefälles für Zeitschritte berechnet, die derart gewählt werden, dass eine Wassergehaltsänderung in einer Schicht 0,1 Vol.-% nicht überschreitet. Die Anwendung der DARCY-Gleichung zur Erfassung der instationären Wasserbewegung im ungesättigten Boden führt zu einer partiellen Differentialgleichung, die durch analytische Ansätze oder durch numerische Näherungen mit der Differenzenmethode gelöst werden kann. Bei SIMWASER wird der folgende vereinfachende Lösungsansatz verwendet. Ausgehend von einer (im Gleichgewichtszustand befindlichen) Anfangswassergehaltsverteilung im Bodenprofil wird zunächst die dabei zwischen den einzelnen Schichten gegebene Filtergeschwindigkeit bestimmt.

Gleichung 7
$$V_i = \frac{(K_i + K_{i+1})}{2} \cdot \left(\frac{\Psi_{i+1} - \Psi_i}{Z_i} + 1 \right)$$

- V_i = Filtergeschwindigkeit
- K_i, K_{i+1} = kapillare Wasserleitfähigkeit in den Schichten $i, i+1$
- Ψ_i, Ψ_{i+1} = Matrixpotential in den Schichten $i, i+1$
- Z_i = Abstand der Schichtmitte i von Schichtmitte $i+1$

Dabei stellt V_i , die Filtergeschwindigkeit der an der unteren Begrenzung der Schicht i abfließenden oder aufsteigenden Wassermenge dar, welche gleichzeitig die an der oberen Begrenzung der nächsten Schicht $i + 1$ zu- oder abfließende Wassermenge ist. Mit der Bedingung, dass die Wassergehaltsänderung pro "Zeitschritt" in einer Schicht 0,1 Vol.-% nicht überschreiten darf, wird für jede Schicht der dort zulässige Zeitschritt berechnet:

Gleichung 8
$$t_i = 0,1 \cdot (ABS(X - V_i) / h_i)$$

- t_i = zulässiger Zeitschritt bei Schicht i (Tag)
- X = Wasserbewegung an Obergrenze der Schicht i (mm/Tag)
- V_i = Wasserbewegung an Untergrenze der Schicht i (mm/Tag)
- h_i = Mächtigkeit der Schicht i (dm)

Von allen "zulässigen" Zeitschritten $t_i = 1$ bis $t_i = n$ wird der kleinste Zeitschritt Δt ausgewählt, mit welchem die Berechnung der Wassergehaltsänderung in den einzelnen Schichten durchgeführt wird. Dabei gilt für die Wasserbilanz Q_o an der Bodenoberfläche

Gleichung 9
$$Q_o = N - E_{akt}$$

- Q_o = Wasserbilanz
- N = Niederschlag
- E_{akt} = Bodenverdunstung

und weiter für die oberste Bodenschicht $i = 1$

Gleichung 10 $q_o(i=1) = Q_o \cdot \Delta t$

Gleichung 11 $q_u(i=1) = V_i \cdot \Delta t$

q_o = Wasserbewegung an Obergrenze der Schicht i

q_u = Wasserbewegung an Untergrenze der Schicht i

V_i = Filtergeschwindigkeit an Untergrenze der Schicht i

Für die weiteren Schichten gilt dann

Gleichung 12 $q_o(i) = q_u(i-1)$

Gleichung 13 $q_u(i) = V_i \cdot \Delta t$

Der „neue“ Wassergehalt am Ende des betrachteten Zeitabschnittes Δt ergibt sich mit

Gleichung 14 $W_{i,neu} = W_{i,alt} + (q_o(i)) / h_i$

Die „neuen“ Werte des Matrix-Potentials und der kapillaren Leitfähigkeit, die sich aufgrund des geänderten Wassergehaltes ergeben, werden aus den zugeordneten Tabellen der Bodenkennwerte interpoliert und bei den im nächsten Zeitschritt durchgeführten Berechnungen verwendet. Diese werden jedoch nur solange durchgeführt, als die akkumulierte Summe der bisher berechneten Zeitabschnitte $\sum \Delta t \leq 1,0$ ist. Die genannten Berechnungen werden sowohl für den „grundwasserfernen“ als auch für den „grundwasserbeeinflussten“ Standort in gleicher Weise durchgeführt. Dabei wird der Umstand berücksichtigt, dass z.B. bei einem Wasserüberstau an der Bodenoberfläche infolge einer hohen Niederschlagsintensität der rechnerische Wassergehalt in den obersten Bodenschichten höher werden kann als das Porenvolumen in diesen Schichten. Damit wird der Wassergehalt der Überstauschicht berücksichtigt. Das Matrix-Potential und die kapillare Leitfähigkeit werden dabei für den Fall der „Wassersättigung“ angenommen.

Bei der Berechnung der Wasserbewegung an der Untergrenze des betrachteten Profils bei einem „grundwasserfernen“ Standort ist nur eine Wasserversickerung in den Untergrund möglich. Dabei gilt für den Wasserfluss an der Profiluntergrenze während eines Zeitschrittes

Gleichung 15 $v_o = K(n)$

Gleichung 16 $q = V_o \cdot \Delta t$

V_o = Filtergeschwindigkeit an der Untergrenze der letzten Schicht

$K(n)$ = Kapillare Leitfähigkeit an der Untergrenze der letzten Schicht

2.3.1.2 Kurzbeschreibung des Modells SIMWASER_FORST

Mit dem Modell SIMWASER_FORST wird der Wasserhaushalt eines Waldbestandes als Funktion der täglichen Witterung, der gegebenen Boden- und Durchwurzelungsverhältnisse und der jeweils gegebenen Bestandesstruktur errechnet. Die tägliche Bilanz zwischen Niederschlag, Interzeption,

Evaporation von der Bodenoberfläche und Transpiration durch die Blätter ergibt die Randbedingung für die Wasserbewegung an der Profilogobergrenze bzw. für den Wasserentzug durch die Wurzeln. Die Randbedingungen an der Untergrenze des betrachteten Profils werden von den Grundwasserverhältnissen bestimmt. Bei grundwasserbeeinflussten Standorten werden die Berechnungen über das gesamte Bodenprofil bis zur Grundwasseroberfläche durchgeführt, während bei einem grundwasserfernen Standort die letzte Schicht des Bodenmodells in einer Tiefe angesetzt wird, in welcher ein relativ geringer Einfluss durch den Wurzelentzug der Bäume anzunehmen ist.

Mit SIMWASER_FORST können beliebig lange Zeiträume simuliert werden, sofern die dafür benötigten täglichen Wetterdaten (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung und Niederschläge) und bei grundwasserbeeinflussten Standorten die täglichen Flurabstände verfügbar sind. Dabei wird der Simulationszeitraum nach dem in Abb. 5 dargestellten Schema in Abhängigkeit vom jeweiligen Alter des untersuchten Waldbestandes in Entwicklungsabschnitte mit etwa gleichen Bestandeskennwerten (insbesondere Baumhöhe, Blattfläche und Wurzeltiefe) unterteilt.

Die typischen „Bestandeskennwerte“ der jeweiligen Entwicklungsabschnitte werden für eine (derzeit noch begrenzte) Anzahl unterschiedlicher Baumarten in einer Datei bereitgehalten bzw. laufend verbessert und ergänzt. Der Simulationsablauf erfolgt nach dem in Abb. 6 dargestellten Schema entsprechend der Vorgaben in einer „Projektsdatei“, welche die Angaben über die Bezeichnung des Standortes und die jeweiligen Kennziffern für die zu simulierenden Entwicklungsabschnitte sowie die Kalenderdaten des ersten und des letzten Tages der einzelnen Entwicklungsabschnitte enthält.

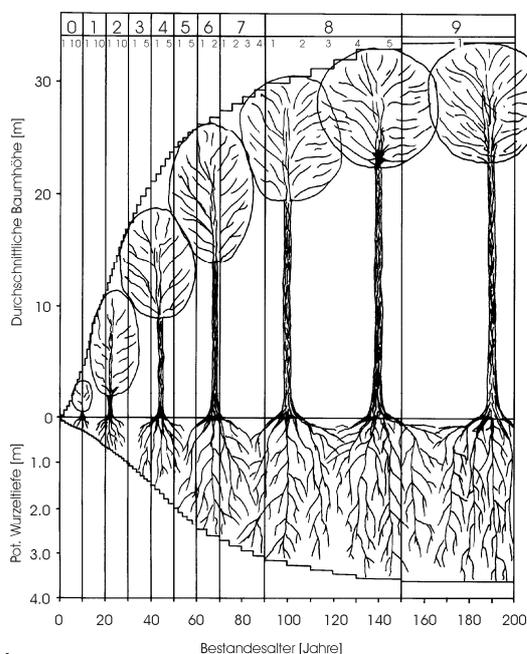


Abb. 5: Unterteilung des Simulations-Zeitraumes entsprechend der Entwicklungsabschnitte des Waldbestandes

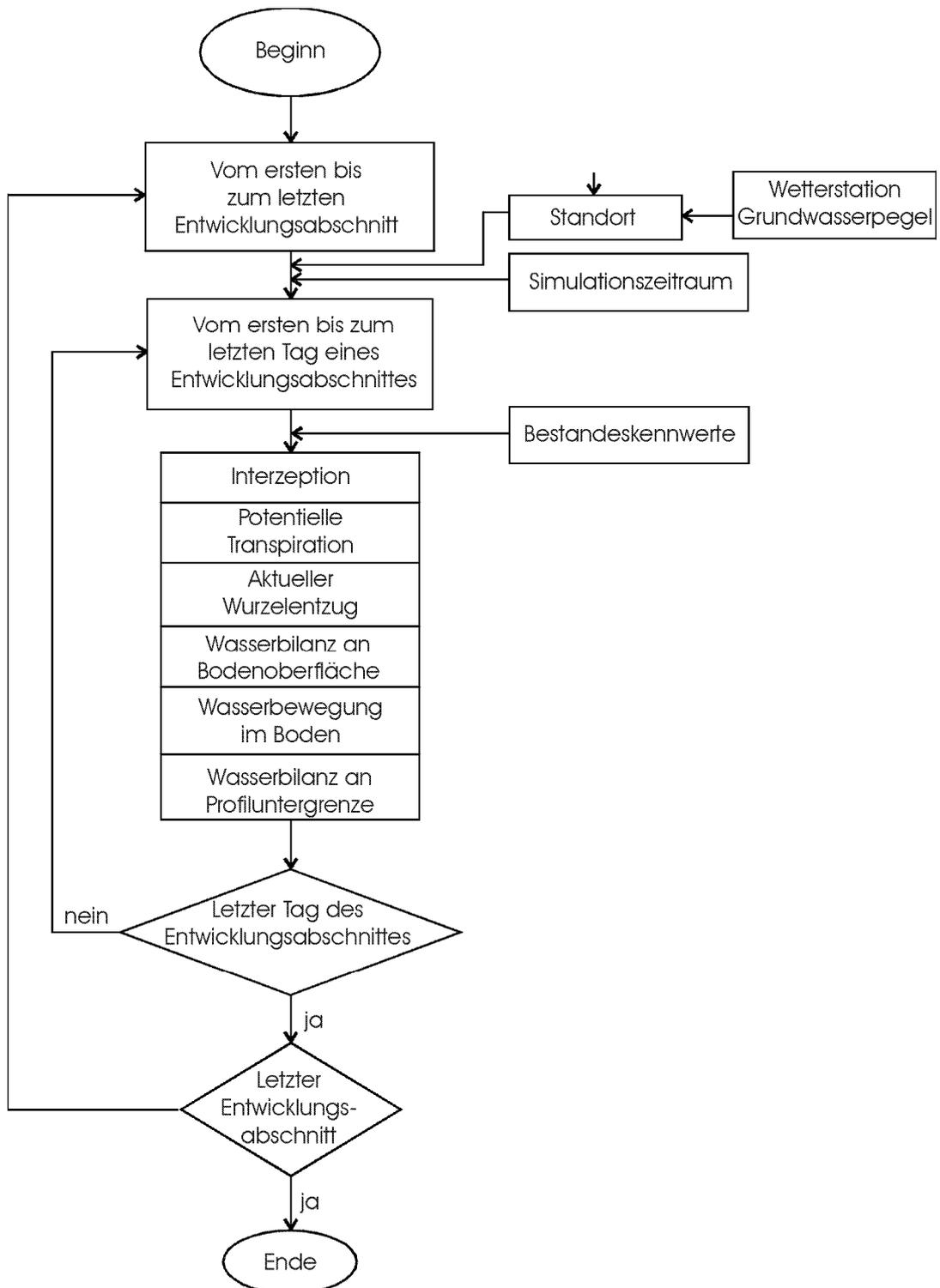


Abb. 6: Ablaufschema SIMWASER_FORST

Die vereinfachte Wasserbilanz beim Modell SIMWASER_FORST ist in Abb. 7 schematisch dargestellt.

Die aktuelle Transpiration wird als Funktion der potentiellen Transpiration und der jeweiligen Bodenwasserverhältnisse ermittelt, wobei die potentielle Transpiration einen vom Ausmaß der grünen Blattfläche abhängigen Anteil der potentiellen Evapotranspiration des Waldbestandes beträgt. Die

potentielle Evapotranspiration ET_p wird wie im Modell SIMWASER mit den täglichen Wetterdaten nach der PENMAN-MONTEITH-Formel abgeschätzt

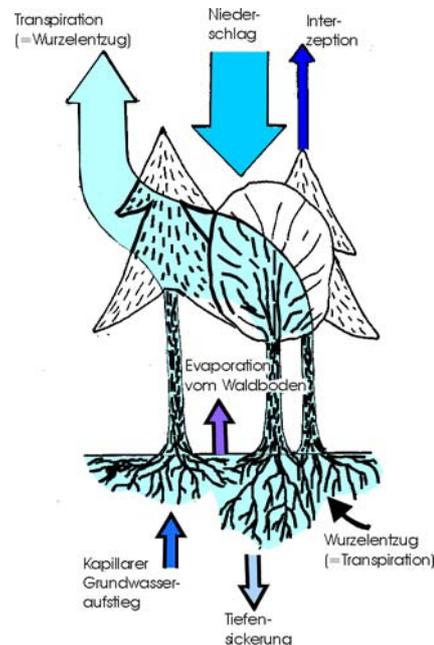


Abb. 7: Wasserbilanz im Modell SIMWASER_FORST

Die potentielle Transpiration T_p wird entsprechend der Strahlungsabsorption durch die Blattfläche des Bestandes anteilmäßig wie folgt angesetzt:

Gleichung 17
$$T_p = ET_p \cdot (1 - E_{tot})$$

- T_p = potentielle Transpiration
- ET_p = potentielle Evapotranspiration
- E_{tot} = Strahlungsabschwächungskoeffizient

Die aktuelle Transpiration T_a ergibt sich aus dem Vergleich der potentiellen Transpiration mit dem potentiellen Wasserentzug durch die Baumwurzeln $SPWE$, der sich aus der Summe der in den einzelnen durchwurzelten Bodenschichten (aufgrund der gegebenen Wurzelichte und des jeweiligen Wassergehaltes) möglichen Wurzelentzüge WE ergibt. Der Quotient aus dem möglichen Wurzelentzug und der potentiellen Transpiration ergibt die relative Transpiration R :

Gleichung 18
$$R = SPWE / T_p$$

Bei $R < 1$ entspricht der tatsächliche Wurzelentzug (und damit die aktuelle Transpiration T_a) dem möglichen Wurzelentzug. Die aktuelle Transpiration bleibt unter dem potentiellen Wert. Ist jedoch (bei hohem Bodenwassergehalt und bei geringem Verdunstungsanspruch der Luft) die potentielle Transpiration kleiner als der mögliche Wurzelentzug, so muss der tatsächlich in Rechnung zu stellende Wurzelentzug entsprechend und schichtanteilig verringert werden.

Die potentielle Evaporation vom Waldboden wird als Funktion des bis zum Waldboden gelangenden Strahlungsanteiles geschätzt und mit dem durch die Diffusivität der obersten Bodenschicht gegebenen Nachlieferungsvermögen verglichen. Der jeweils kleinere Wert wird als aktuelle Evaporation angesehen. Die Interzeption wird in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe und der Blattfläche nach den in Abb. 8 dargestellten Funktionen abgeschätzt; wobei jedoch die jeweils gegebene potentielle Evaporation von den Baumkronen PE nicht überschritten werden darf:

Gleichung 19

$$PE = \frac{f_t \cdot Q + 0,864 \cdot H_o / r_a}{f_t + 1 + 0,5 / r_a}$$

- PE = potentielle Interzeptionsverdunstung
- f_t = Temperaturfaktor
- Q = Strahlungsbilanz, ausgedrückt als Verdunstungsäquivalent
- 0,864 = Dimensionsfaktor
- H_o = Sättigungsdefizit
- r_a = aerodynamischer Widerstand
- 0,5 = Schätzwert

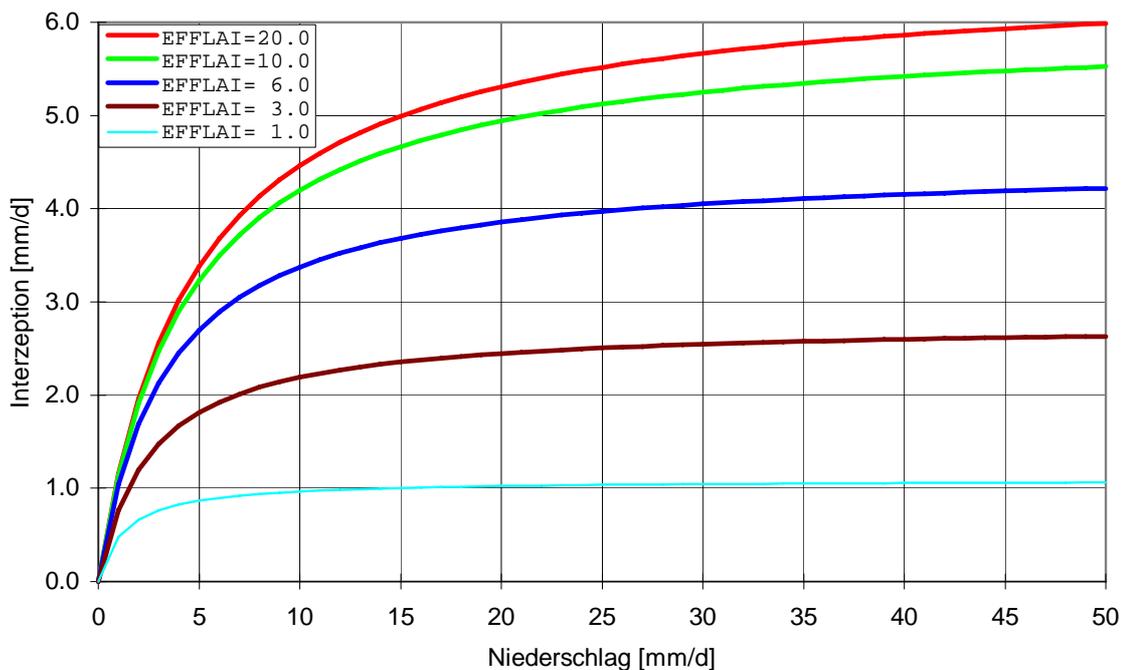


Abb. 8: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Interzeption bei unterschiedlichen Blattflächen (auszugsweise)

Die Berechnung der Wasserbewegung im Boden erfolgt analog wie beim Original SIMWASER-Modell (STENITZER, 1988) nach dem Ansatz von Darcy als Funktion des Potentialgefälles zwischen zwei benachbarten Schichten und deren mittlerer kapillarer Leitfähigkeit.

2.3.2 Erarbeitung der Modell-Eingabedaten

Die Grundwasserneubildung unter landwirtschaftlich genutzten bzw. damit vergleichbaren Gebiete wurde mit dem Modell SIMWASER (vgl. Kap. 2.3.1.1) berechnet, für die Abschätzung der Sickerwasserbildung unter den Auwaldbeständen entlang der Mur wurde die für die Ermittlung des Bodenwasserhaushaltes von Waldbeständen entwickelte Modellversion SIMWASER_FORST (vgl. Kap. 2.3.1.2) herangezogen. Beide Modellvarianten unterscheiden sich von früheren Versionen insofern, als nunmehr aufgrund neuerer Erkenntnisse für die Wintermonate ein höherer Anteil an verfügbarer Verdunstungsenergie bzw. ein niedrigerer „Bodenwiderstand gegen die Verdunstung“ von der Bodenoberfläche angesetzt wurde.

Die für beide Modelle erforderlichen täglichen Wetterdaten (Temperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung) wurden von den entsprechenden Messungen an der Lysimeterstation in Wagna bei Leibnitz übernommen, die Niederschläge stammen von den Stationen STRASS und RADKERSBURG, wobei letztere im Sommer 1995 wegen offensichtlicher Fehlmengen durch Messwerte der Station ZELTING ersetzt wurden.

Zur Erstellung der Modell-Bodenprofile wurden die Profilbeschreibungen der einzelnen Bodenformen in den jeweiligen Kartiereinheiten herangezogen, in welchen die Profiltiefe, die Mächtigkeit der einzelnen Bodenschichten, deren Bodenart (sowie Grobstoffanteil) und ihr Humusgehalt, weiters die Beschreibung ihrer Lagerung und der Durchwurzelung angegeben sind. Mit diesen Informationen ist eine Zuordnung zu den bei SIMWASER verwendeten sogenannten „EINHEITSBODENKENNWERTEN“ möglich, welche aus einer umfangreichen Datenbank des Inst. f. Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt mit Messwerten der Porengrößenverteilung und der kapillaren Leitfähigkeit für die verschiedenen Bodenarten unter Berücksichtigung des Humus- und Grobstoffanteiles erstellt wurden. Für die Simulation wurden die in den Tabellen 1 u. 2 zusammengestellten Modell-Bodenprofile herangezogen.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass sich die Profilbeschreibungen der Bodenkartierung auf eine Tiefe von 1.0-1.2 m beschränken, in den überwiegenden Fällen jedoch der mittlere Flurabstand zwischen 2 und 4 Metern liegt, sodass für die entsprechenden Bodenprofile lediglich Annahmen über den Aufbau des Unterbodens getroffen werden konnten. Bei den Auwaldprofilen musste überdies die Tiefe der Durchwurzelung und ihre Intensität geschätzt werden. In Anbetracht dieser Unsicherheiten wurde davon abgesehen, für jedes der untersuchten Bodenprofile den berechneten Gang der Grundwasserneubildung einzeln anzugeben, sondern es wurden vielmehr mittlere Ganglinien für Gruppen von Bodenformen mit einem vergleichbaren Typus der Grundwasserneubildung aus gewichteten Durchschnittswerten der täglichen Sickerwassermengen an der Profilvergängerung gebildet.

Tab. 1: Modellprofile für die Bodenformen der Sonderkartierung „Aubereich der Mur“

	Bodenform	Modellprofil-Bezeichnung
AUKARTIERUNG MURECK		
	AUMUR 02A	strass.kb17Abf02a
	AUMUR 02B	strass.kb17Abf02b
	AUMUR 03A	strass.kb17Abf03a
	AUMUR 03B	strass.kb17Abf03b
	AUMUR 05A	strass.kb17Abf05a
	AUMUR 05B	strass.kb17Abf05b
	AUMUR 06	strass.kb17Abf06
	AUMUR 07A	strass.kb17Abf07a
	AUMUR 10	strass.kb17Abf10
AUKARTIERUNG RADKERSBURG		
	AURAD 02A	radkersburg.kb45Abf02a
	AURAD 03B	radkersburg.kb45Abf03b
	AURAD 05A	radkersburg.kb45Abf05a
	AURAD 05B	radkersburg.kb45Abf05b
	AURAD 06	radkersburg.kb45Abf06
	AURAD 07A	radkersburg.kb45Abf07a

Tab. 2: Modellprofile für die Bodenformen der Österreichischen Bodenkarte 1:25.000

	Bodenform	Modellprofil-Bezeichnung
MURECK		
	BOMUR 03	strass.kb17bf03
	BOMUR 04	strass.kb17bf04
	BOMUR 05	strass.kb17bf05
	BOMUR 09	strass.kb17bf09
	BOMUR 10	strass.kb17bf10
	BOMUR 11	strass.kb17bf11
	BOMUR 12	strass.kb17bf12
	BOMUR 13	strass.kb17bf13
	BOMUR 14	strass.kb17bf14
	BOMUR 15	strass.kb17bf15
	BOMUR 16	strass.kb17bf16
RADKERSBURG		
	BORAD 09	radkersburg.kb45bf09
	BORAD 10	radkersburg.kb45bf10
	BORAD 11	radkersburg.kb45bf11
	BORAD 12	radkersburg.kb45bf12
	BORAD 13	radkersburg.kb45bf13
	BORAD 14	radkersburg.kb45bf14

2.3.3 Plausibilitätsuntersuchungen

Zur Überprüfung der berechneten Grundwasserneubildung wurden die Grundwasserganglinien der in Tab. 3 angegebenen Pegel ausgewertet:

Tab. 3: Bezeichnung der ausgewerteten Pegel

BL 38553	Gersdorf (Schreibpegel)
BL 38595	Unterscharza (Schreibpegel)
BL 38735	Hainsdorf (Schreibpegel)
BR 3929	Radkersburg (Brunnen)

Dabei wurde aus der Ganglinie der Verlauf der „Trockenwetter-Auslaufinie“ ermittelt, auf deren Basis eine grafische, dekadenweise Auswertung des Grundwasseranstieges vorgenommen, des weiteren für den Untersuchungszeitraum der akkumulierte Grundwasseranstieg und daraus die mit einem geschätzten nutzbaren Porenvolumen des Grundwasserleiters von 10 % berechnete akkumulierte Summenkurve der Grundwasserneubildung entwickelt und grafisch dargestellt.

2.4 Ergebnisse

Als Ergebnisse werden die in den Abb. 9 bis Abb. 11 dargestellten typischen Ganglinien der Grundwasserneubildung für den Auwald, die Ackerflächen und das Grünlandgebiet zur Verfügung gestellt.

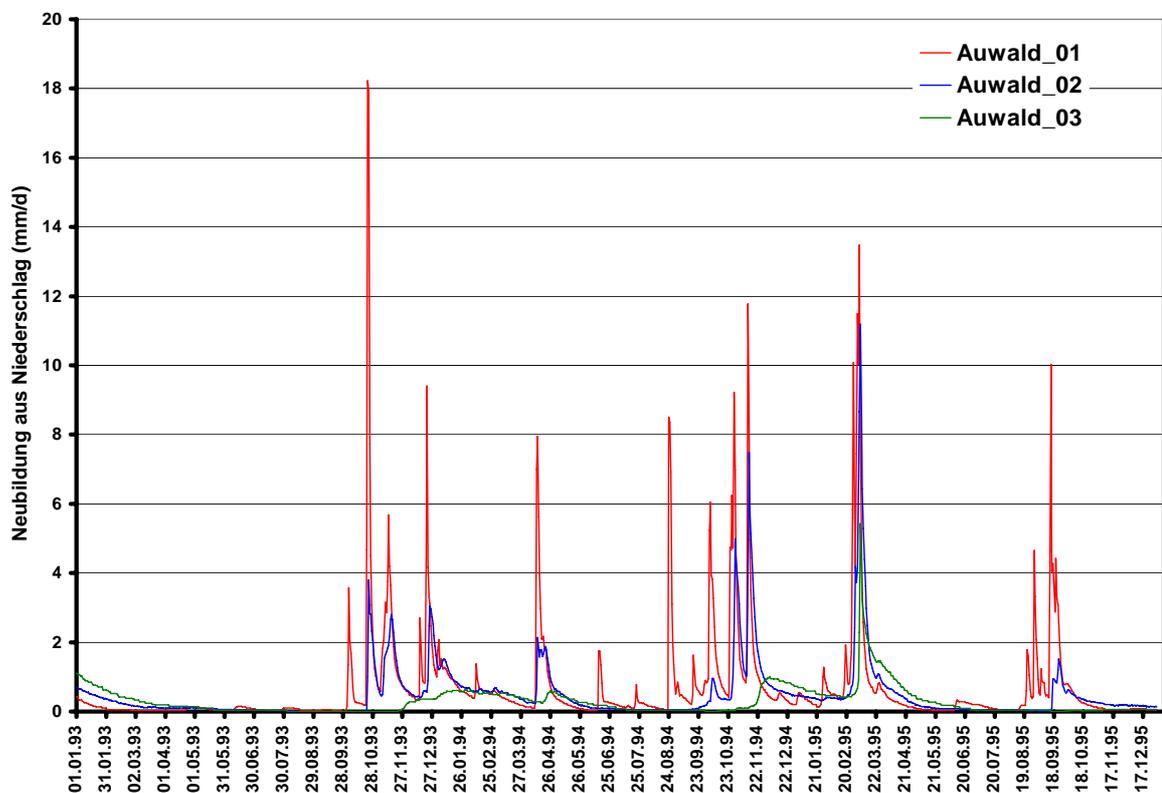


Abb. 9: Ergebnisse der Sickerwassermodellierung für Auwald

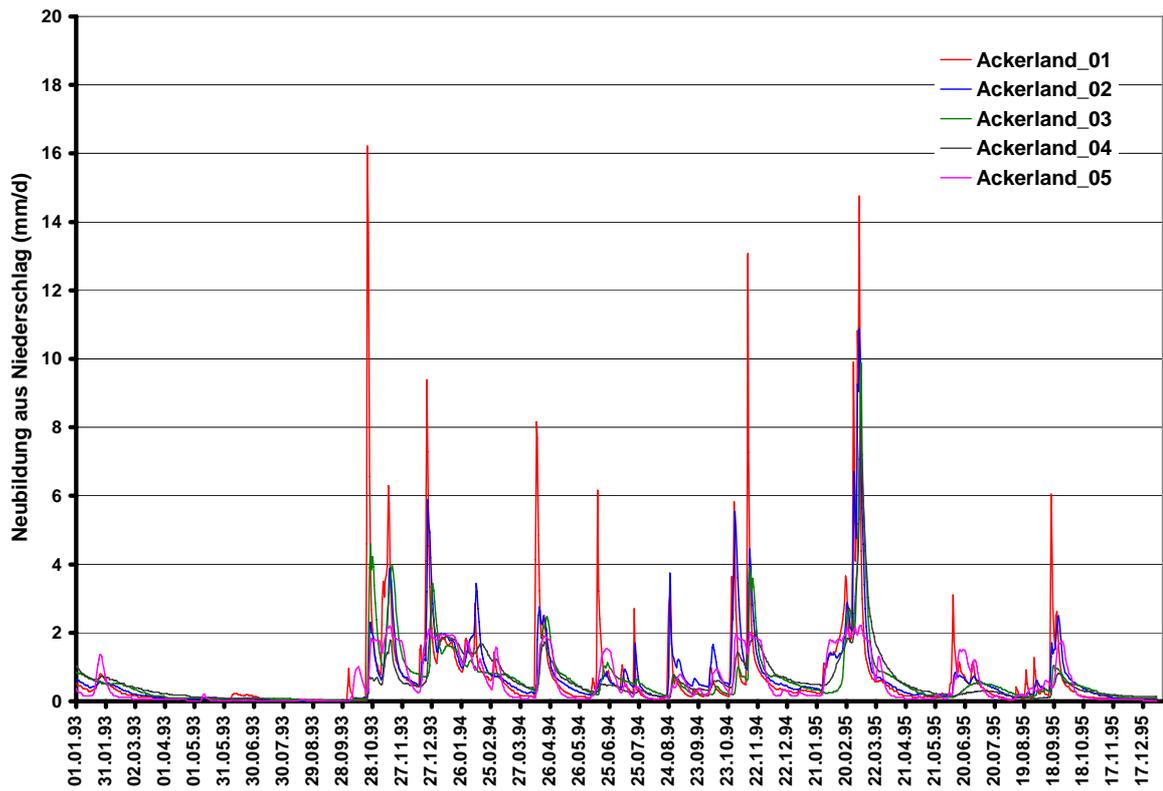


Abb. 10: Ergebnisse der Sickerwassermodellierung für Ackerland

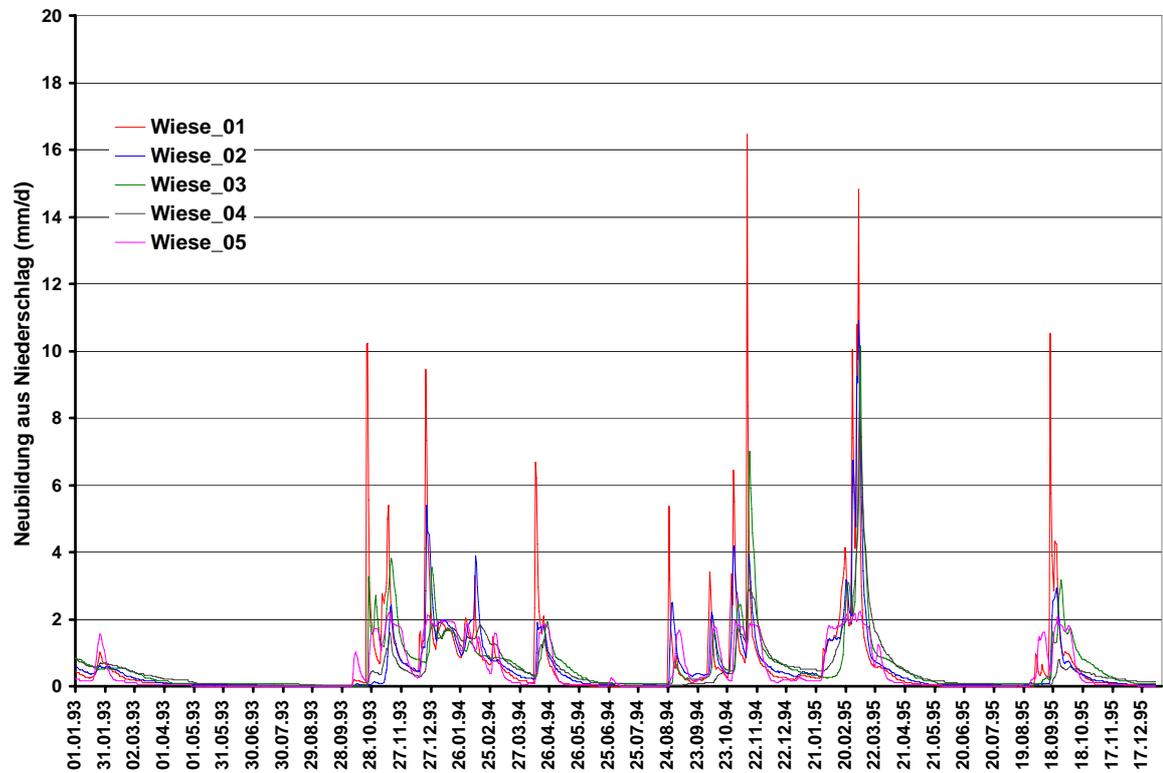


Abb. 11: Ergebnisse der Sickerwassermodellierung für Grünland

Die berechneten Summenkurven der Grundwasserneubildung sind in den Abb. 12 bis Abb. 14 dargestellt.

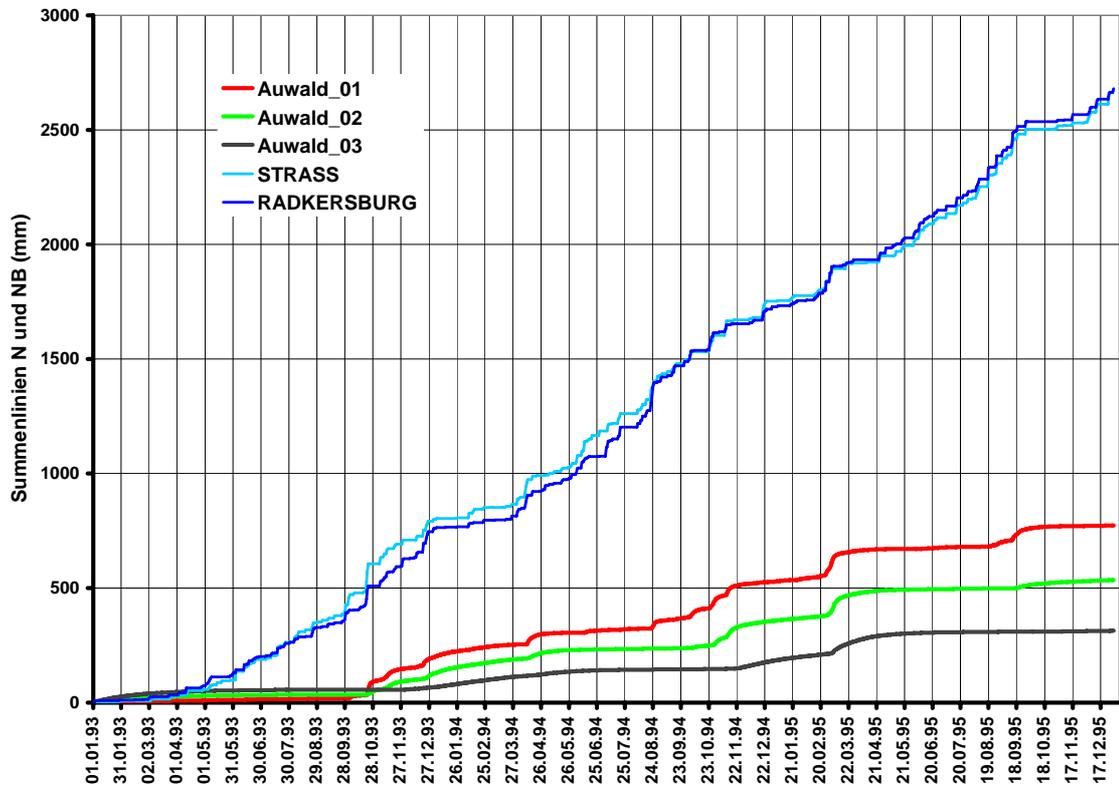


Abb. 12: Akkumulierte Niederschläge und Grundwasserneubildung für Auwald

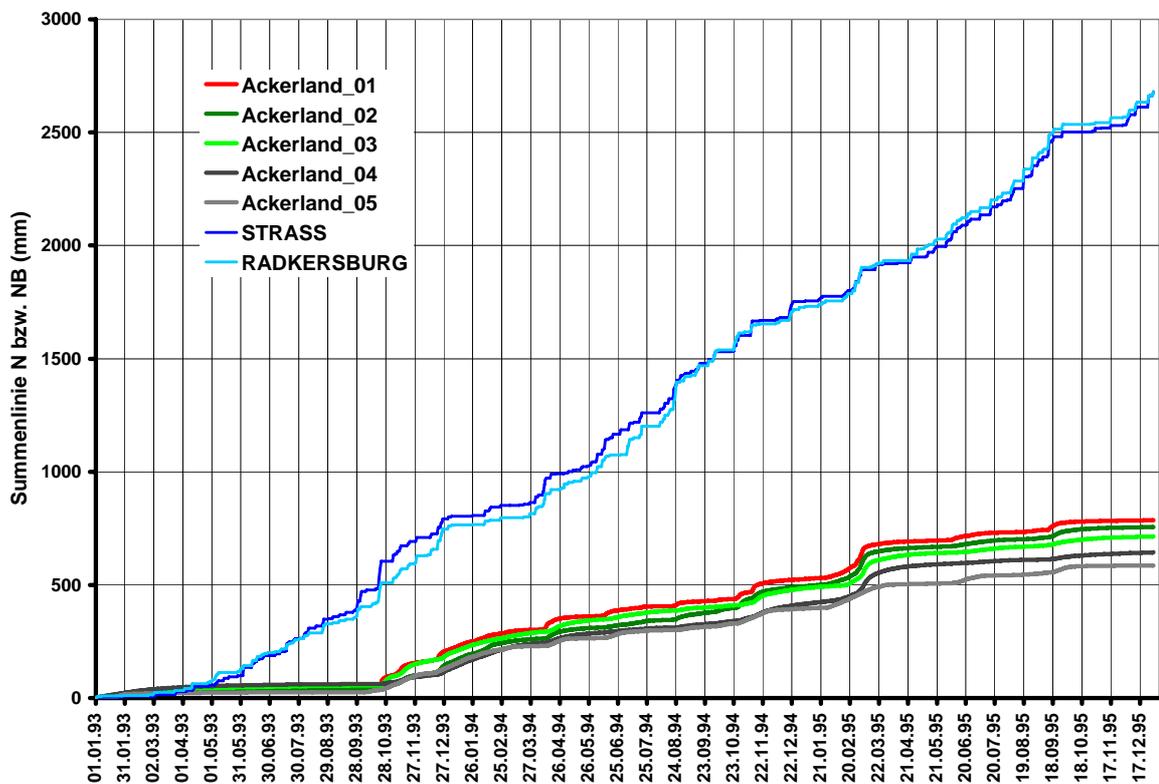


Abb. 13: Akkumulierte Niederschläge und Grundwasserneubildung für Ackerland

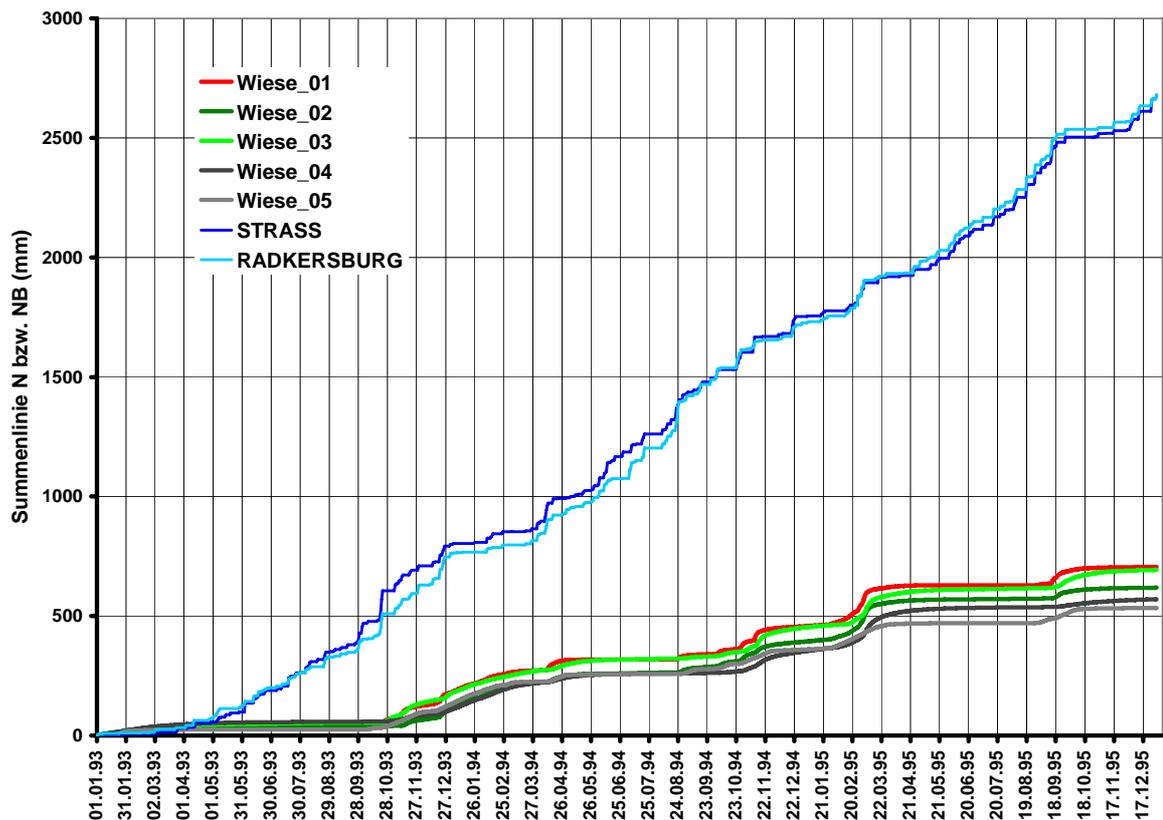


Abb. 14: Akkumulierte Niederschläge und Grundwasserneubildung für Grünland

Der Geltungsbereich für die Berechnungen umfasst die in Tab. 4 zusammengestellten Bodenformen. Eine zahlenmäßige Übersicht über die Schwankungsbreite der (berechneten) mittleren Grundwasserneubildung im Unteren Murtal bei den unterschiedlichen Bodennutzungsformen ist in Tab. 5 zusammengestellt.

Das Ergebnis der Plausibilitätsprüfung anhand der Auswertung der Ganglinien weitgehend unbeeinflusster Pegel wird in Abb. 15 bis Abb. 18 dargestellt und zeigt, dass für die Bereiche AUWALD 01, ACKERLAND 01, 02, 03 und WIESE 01, 02, 03 die berechnete Grundwasserneubildung dieselbe Größenordnung aufweist wie die Grundwasserstandsanalyse.

Die Simulationsergebnisse bei AUWALD 02 und 03 (siehe Abb. 9) liegen wegen der dort tiefgründigeren Bodenprofile und der entsprechenden tieferen Durchwurzelung deutlich niedriger, auch in den Bereichen ACKER 03 und 05 (siehe Abb. 10) sowie WIESE 04 und 05 (siehe Abb. 11) bewirken die Bodeneigenschaften eine etwas geringere Grundwasserneubildung.

Tab. 4: Geltungsbereich der einzelnen Ganglinien-Gruppen

"AUWALD" gilt nur im Bereich AU-MURECK und AU-RADKERSBURG				
AUWALD_01	AUWALD_02	AUWALD_03		
AUMUR 02A	AUMUR 02B	AUMUR 05A		
aumur 03	AUMUR 03A	AUMUR 06		
AUMUR 03B	AUMUR 05B	AURAD 06		
aumur 04	AUMUR 07A			
aumur 11	AUMUR 10			
AURAD 03B	AURAD 02A			
AURAD 05B	aurad 03a			
	AURAD 05A			
	aurad 05b			
	AURAD 07A			
"ACKER" gilt für Nutzung: Mais,Brache,Winterweizen				
ACKER_01	ACKER_02	ACKER_03	ACKER_04	ACKER_05
aumur 04	aurad 04	AUMUR 05A	aumur 07a	BOMUR 15
AURAD 05B	AURAD 05A	AUMUR 05B	AURAD 06	BOMUR 16
BOMUR 14	AURAD 07A	AUMUR 06	BOMUR 04	BORAD 09
BORAD 10	AURAD 07B	BOMUR 03	BOMUR 12	
BORAD 11	BOMUR 10	BOMUR 05	BOMUR 13	
	BOMUR 11	BOMUR 09	BORAD 13	
	BORAD 12			
	BORAD 14			
"WIESE" gilt für Nutzung: Rasen und Grünland				
WIESE_01	WIESE_02	WIESE_03	WIESE_04	WIESE_05
aumur 04	aurad 04	AUMUR 05A	aumur 07a	BOMUR 15
AURAD 05B	AURAD 05A	AUMUR 05B	AURAD 06	BOMUR 16
BOMUR 14	AURAD 07A	AUMUR 06	BOMUR 04	BORAD 09
BORAD 10	AURAD 07B	BOMUR 03	BOMUR 12	
BORAD 11	BOMUR 10	BOMUR 05	BOMUR 13	
	BOMUR 11	BOMUR 09	BORAD 13	
	BORAD 12			
	BORAD 14			

Tab. 5: Mittlere Grundwasserneubildung GWN der Jahre 1993-1995 im Unteren Murtal bei unterschiedlicher Bodennutzung (mittlerer Niederschlag 870 mm/Jahr)

Nutzung	GWN (mm/Jahr)	GWN (% von N)
Auwald	105 - 255	12 - 29
Grünland	180 - 235	21 - 27
Ackerland	195 - 260	22 - 30

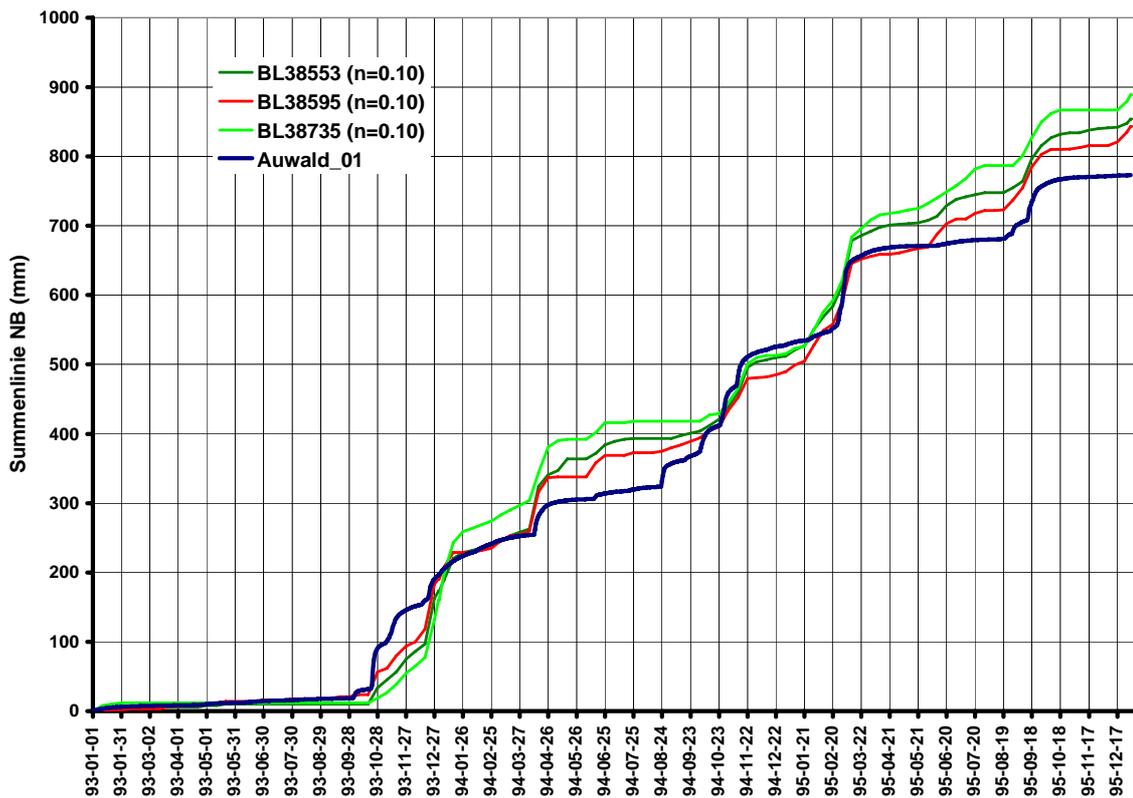


Abb. 15: Vergleich der simulierten Grundwasserneubildung bei Waldbedeckung mit dem Ergebnis der Grundwassergangs-Analyse

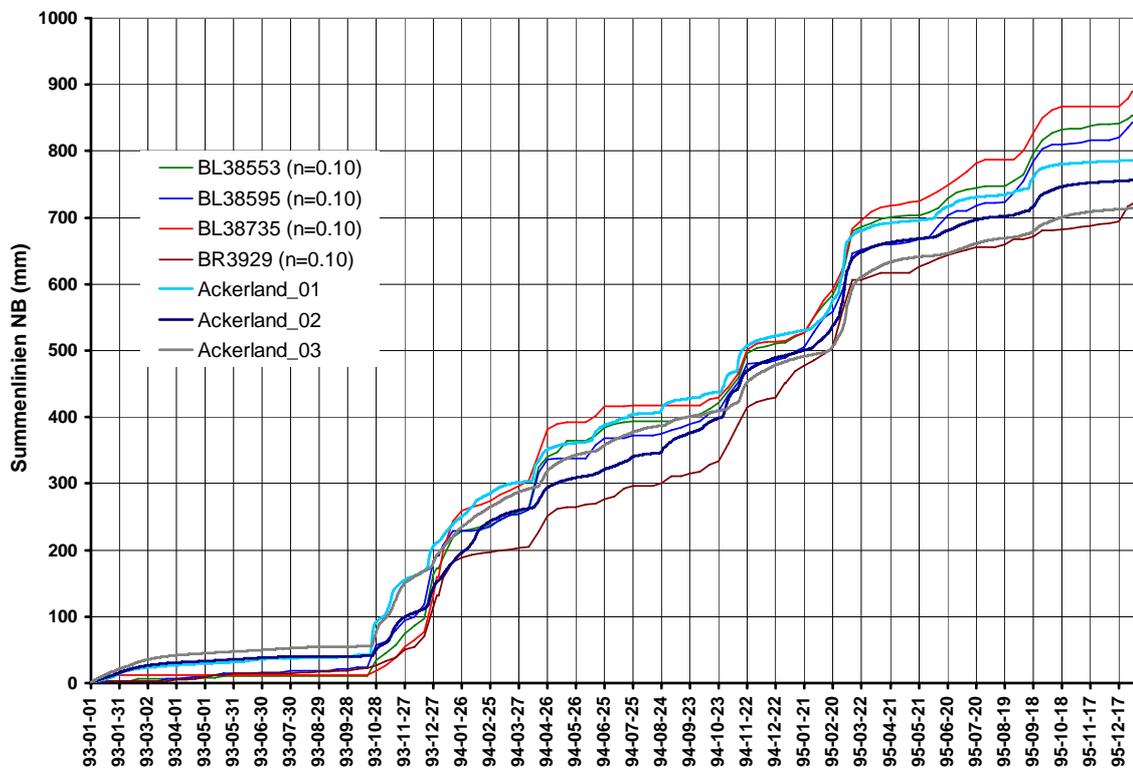


Abb. 16: Vergleich der simulierten Grundwasserneubildung bei Ackernutzung mit dem Ergebnis der Grundwassergangs-Analyse

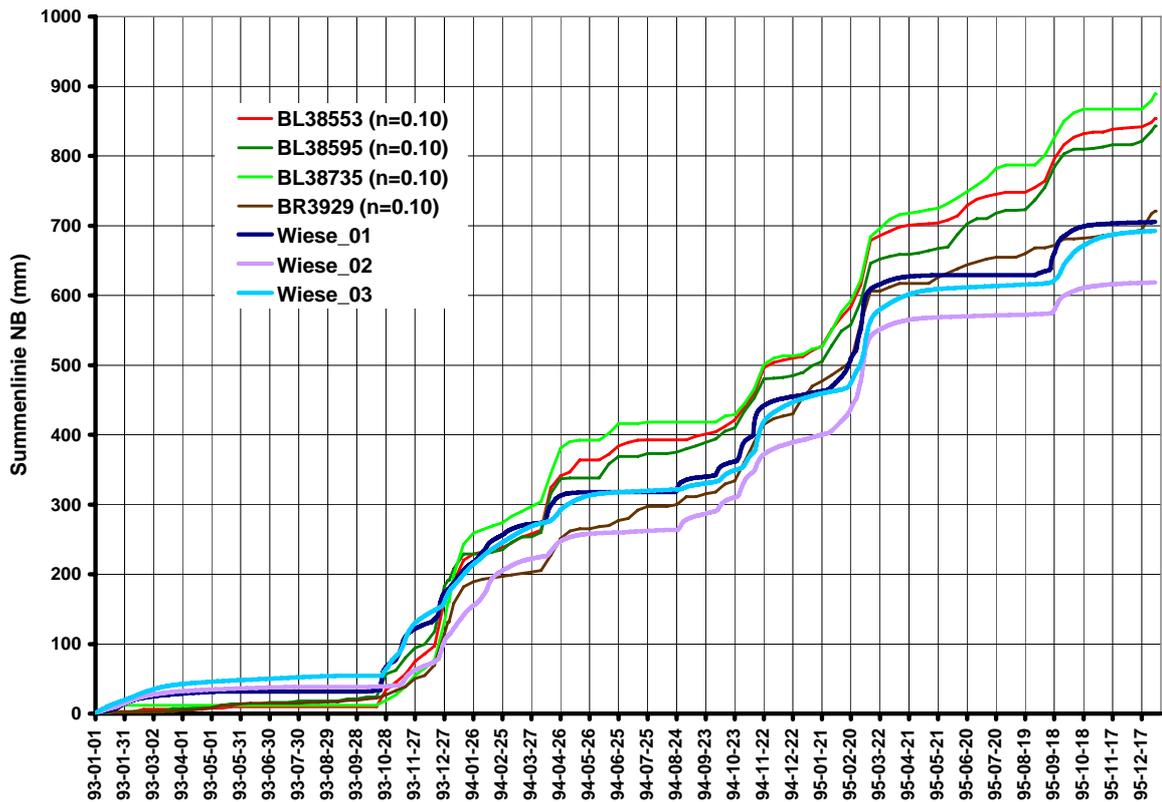


Abb. 17: Vergleich der simulierten Grundwasserneubildung bei Grünland mit dem Ergebnis der Grundwassergangs-Analyse

3 Grundwasserströmung

3.1 Hydrogeologisches Konzeptmodell

Grundlage jeder Grundwasserströmungsmodellierung bildet die Vorstellung des Hydrogeologen über das Strömungsverhalten des Grundwassers, der Interaktion des Grundwasserkörpers mit den Oberflächengewässern, den relevanten Prozessen der Grundwassererneuerung und der Interaktion des zu untersuchenden Grundwasserkörpers mit den benachbarten Teilsystemen über die Randbedingungen. Diese Vorstellungen und Annahmen, die auch die Auftrennung aller physikalischen Einflussnahmen auf den Grundwasserkörper in relevante und weniger bedeutsame Prozesse beinhaltet bildet das grundlegende hydrogeologische Konzeptmodell, an das die numerische Modellierung gekoppelt wird.

3.1.1 Morphologie des Grundwasserstauers

Die geologischen Verhältnisse und der sedimentologische Aufbau der Talfüllung im Unteren Murtal wurden im Rahmen der Grundlagenerhebung in FANK et al. (1994) im Detail dargelegt. Demnach besteht die quartäre Basis im Unteren Murtal aus mächtigen jungtertiären Ablagerungen des Baden

bis Pannon, die als Grundwasserstauer fungieren. Diese juntertiären Sedimente wurden von der Mur oberflächennah erodiert und mit quartären Sedimenten bedeckt.

Eine umfassende Dokumentation der naturräumlichen Grundlagen, insbesondere der geologischen Verhältnisse und des Verlaufes des präquartären Untergrundes, setzt ein relativ dichtes Netz an Aufschlüssen des Untergrundes voraus. Während derartige Voraussetzungen im Unteren Murtal für die Niederterrasse durch eine Reihe von Bohrungen gegeben sind, so sind am Nordrand des Modellgebietes zur Helfbrunner Terrasse kaum derartige Aufschlüsse vorhanden. Daher wurden im Rahmen des Projektes neue Bohrungen abgeteuft (FANK et al., 1998), die eine bessere Definition des Verlaufes des Grundwasserstauers am Nordrand des Modellgebietes erlauben und auch zur Überarbeitung der Isolinienkarte des Grundwasserstauers aus dem Bericht von FANK et al. (1994) führten.

In FANK et al. (1998), Beilage 1 ist die Morphologie des Grundwasserstauers dargestellt. Dabei zeigt sich im wesentlichen ein relativ unbewegtes Relief, das nur im Bereich von Mureck und Fluttendorf auf eine Rinnenstruktur in der Oberfläche des Grundwasserstauers hinweist. Auffallend ist der Nordrand am Übergang zur Helfbrunner Terrasse. Hier kann man, neben einem sehr steilen Anstieg des Stauerreliefs, Rinnenstrukturen erkennen, die mehr oder minder parallel der Helfbrunner Terrasse bzw. dem Nordrand des Modellgebietes verlaufen und sich möglicherweise bis in die Täler der Grabenlandbäche fortsetzen. Der steile Anstieg des Stauerreliefs ist nördlich von Eichfeld sehr gut mit Aufschlüssen belegt, wo die Erkundungsbohrung P7 und die Versuchsbohrung für die Wasserversorgung der Gemeinde Eichfeld auf ein Gefälle des Grundwasserstauers von 7.8 ‰ hinweisen. Das West-Ost Gefälle des Grundwasserstauers im unmittelbaren Talbereich ist dagegen mit etwa 1.6 ‰ gering.

3.1.2 Die Aquifersedimente (Aufbau und Durchlässigkeitsverteilung aus Vorberichten und aus den Ergebnissen der stationären Modellierung)

Das Untere Murtal stellt ein typisches Beispiel einer Landschaft dar, die durch die eiszeitliche Flussarbeit ihre Prägung erhalten hat. In der Hauptsache handelt es dabei um eine Folge von vier Terrassen, die ein treppenförmig ansteigendes Terrassensystem darstellen, wobei jeweils die jüngere Terrasse in die ältere eingesenkt ist. Diese Terrassenstruktur bedingt durch den unterschiedlichen sedimentologischen Aufbau des Terrassenkörpers eine mehr oder minder terrassenspezifische geohydraulische Leitfähigkeit des jeweiligen Aquifers. Dies bezieht sich nicht nur auf die vertikale Durchlässigkeit der quartären Terrassensedimente, die nur durch aufwendige Untersuchungen bestimmt werden kann, sondern auch auf die Grundwasserströmung und die Wasserbewegung im gesättigten Bereich in horizontaler Richtung.

Der sedimentologische Aufbau und die Mächtigkeit der quartären Lockersedimente sind in FANK et al. (1994) dargelegt und basieren einerseits auf den Ergebnissen von bestehenden Bohrungen, die

hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit als Datengrundlage bestimmte Kriterien erfüllen mussten, andererseits auf den Ergebnissen der neu errichteten Bohrungen im Auebereich des Unteren Murtales.

Demnach bestehen die wasserführenden Schichten der holozänen Austufe aus Kiesen mit unterschiedlichen Sandanteilen, wobei auch schluffige Komponenten anzutreffen sind. Die Mächtigkeit des Kieskörpers ist regional unterschiedlich ausgebildet und liegt zwischen 2m und 7 m. Die größten Kiesmächtigkeiten der holozänen Au treten im Raum Mureck, Radkersburg und Laafeld auf. Der k_f -Wert liegt zwischen $5 \cdot 10^{-5}$ m/s und $1,3 \cdot 10^{-2}$ m/s, wobei die besten Durchlässigkeitswerte im Bereich von Mureck und die schlechtesten Durchlässigkeitswerte im Bereich von Diepersdorf angetroffen wurden.

Auf der Niederterrasse beträgt die Mächtigkeit der wasserführenden Kiese und Sande 6 m bis 8 m, wobei die größte Kiesmächtigkeit (10 m) im Bereich von Brunnsee aufgeschlossen wurde. Die k_f -Werte streuen im Gegensatz zur holozänen Aue bei weitem nicht so stark und liegen zwischen $2,1 \cdot 10^{-3}$ m/s und $1,1 \cdot 10^{-2}$ m/s.

Für die Helfbrunner Terrasse, deren Charakteristikum die mächtige Lehmbedeckung darstellt, liegen nur wenige Aufschlüsse vor, die die Aquifersedimente dokumentieren oder denen Aquiferkenngrößen entnommen werden können. Nach den Bohrungen im Bereich von St. Veit a. Vogau zu schließen, liegen auf der Helfbrunner Terrasse unterschiedliche Kiesmächtigkeiten vor, die in diesem Raum zwischen 4,5 m und 13 m liegen. Die Schotter des Kieskörpers sind karbonatfrei und sind durch einen höheren Verwitterungsgrad gekennzeichnet. Daneben ist ein hoher Verlehmungsgrad der Kiese und Feinkiese zu beobachten, sodass für die Täler der Seitengerinne im Bereich der höheren Terrasse und auf der Helfbrunner Terrasse selbst ungünstigere Aquifereigenschaften gegenüber der Niederterrasse zu erwarten sind.

Auch wenn an den neu errichteten Bohrungen P6 - P9 (FANK et al., 1998) keine Pumpversuche zur Bestimmung der hydraulischen Kenngrößen des Aquifers gefahren wurden, so geben Pumpversuche an Brunnen im Bereich St. Veit a. Vogau und an einer Bohrung nördlich von Eichfeld, Anhaltspunkte über die Durchlässigkeitsbeiwerte des Aquifers der Helfbrunner Terrasse. Die Auswertung der Pumpversuche für diesen Terrassenbereich zeigt einen Durchlässigkeitsbeiwert, der zwischen $7 \cdot 10^{-4}$ m/s und $4 \cdot 10^{-3}$ m/s liegt.

In Beilage 5 sind die k_f -Werte als Ergebnis der Kalibration des instationären Grundwasserströmungsmodells dargestellt. Dabei zeigt sich generell eine Abnahme des Durchlässigkeitsbeiwertes von der Mur in Richtung des nördlichen Talrandes, der mit der Abschwemmung der Feinsedimente von der höheren Terrasse in Zusammenhang gebracht werden kann. Dies führt im Randbereich der Helfbrunner Terrasse zur Einlagerung von lehmig-schluffigen Terrassensedimenten in die Schotter der Niederterrasse und folglich zu schlechteren Durchlässigkeiten im randlichen Aquifer. Der überwiegende Teil des Unteren Murtales weist eine

Durchlässigkeit zwischen 3 und $5 \cdot 10^{-3}$ m/s und zeigt eine relativ gute Übereinstimmung zu den k_f -Werten aus den Pumpversuchsergebnissen.

3.1.3 Das Strömungsverhalten des Grundwassers und die bestimmenden Einflussgrößen

Das Grundwasser des Unteren Murtales tritt uns zum überwiegenden Teil als Grundwasserkörper mit freier Grundwasseroberfläche gegenüber (in Teilbereichen am Talrand zur Helfbrunner Terrasse hin treten auch gespannte Verhältnisse auf), dessen untere Begrenzung durch einen scharfen Durchlässigkeitsprung zwischen den sehr gut durchlässigen Schottern des Murtales und den schlecht durchlässigen Sedimenten der tertiären Ablagerungen gegeben ist. Die obere Begrenzung erfolgt durch den Grundwasserspiegel, an dem der Druck gleich dem Atmosphärendruck ist. Als randliche Begrenzung tritt als zentraler Vorfluter des gesamten Untersuchungsgebietes die Mur in Erscheinung, deren Schwankungsverhalten einen entscheidenden Einfluss auf die Grundwasserspiegelhöhe und auch die Strömungsrichtung des Grundwassers hat. Insgesamt gesehen ist die Grundwasserströmungsrichtung vom Talrand zum Vorfluter hin orientiert, wobei es gerade im murnahen Bereich zu lokalen Verschwenkungen kommt. An den Talrändern erfolgt eine Anreicherung des Begleitgrundwasserstromes der Mur durch Zustrom von Grundwasser aus dem Hinterland. Die Quantität dieser zuströmenden Menge sowie auch deren zeitliche Verteilung sind überwiegend unbekannt, aufgrund der flächenhaften Differenzen der Grundwasserspiegellagen bei Niederwasser (30.8.1993) und bei Mittelwasser (16.9.1995) ist aber deutlich erkennbar, dass dieser randliche Zufluss und seine instationäre Ausprägung von Bedeutung für die Grundwasserfließverhältnisse im Würmaquifer des Unteren Murtales sind.

Im Nahbereich der Mur wirken einerseits aus dem Hinterland in das Untere Murtal einmündende Oberflächengewässer, wie z.B. der Schwarzaubach oder der Gnasbach regulierend auf den Grundwasserkörper ein, andererseits spielen eine Vielzahl an Augewässern und offenen Grundwasserflächen, die z.T. durch Schotterentnahmen entstanden sind, eine nicht unbedeutende Rolle für die Grundwasserstandsverhältnisse im Unteren Murtal. Die an den Seitenzubringern durchgeführten Regulierungsmaßnahmen verstärken diesen Effekt noch zusätzlich. Bei höheren Grundwasserständen wird Grundwasser durch die das Tal querenden Seitenzuflüsse drainiert und direkt dem Vorfluter zugeführt. Neben den bereits angeführten Einflussgrößen Mur, Oberflächengewässer, Augewässersysteme und Randzufluss an den Talrändern spielt die Grundwasserneubildung über infiltrierende Niederschläge eine Hauptrolle als Anreicherungsfaktor für das Grundwasser. Diese Grundwasserneubildung variiert in der Fläche in Abhängigkeit von Bodenformen und Vegetation und in der Zeit in Abhängigkeit von der jahreszeitlichen Änderung der hydrometeorologischen Rahmenbedingungen. Aufgrund der starken Dominanz dieser externen Größen ist vermutlich die Bedeutung der räumlichen Variabilität der internen Systemkomponenten, wie die Verteilung der Durchlässigkeiten und der Speicherkoeffizienten von deutlich geringerer Bedeutung.

3.2 Mathematisches Modell

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

3.2.1 Kontinuitätsgleichung und Darcy'sches Gesetz

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

Gleichung 20
$$v = -K \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

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

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

Gleichung 21
$$-\frac{\delta(\rho v_x)}{\delta x} - \frac{\delta(\rho v_y)}{\delta y} - \frac{\delta(\rho v_z)}{\delta z} = 0$$

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

Gleichung 22
$$\frac{\delta}{\delta x} \left(K_x \frac{\delta h}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(K_y \frac{\delta h}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(K_z \frac{\delta h}{\delta z} \right) = 0$$

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

Gleichung 23
$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta z^2} = 0,$$

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

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

Gleichung 24
$$-\frac{\delta(\rho v_x)}{\delta x} - \frac{\delta(\rho v_y)}{\delta y} - \frac{\delta(\rho v_z)}{\delta z} = \frac{\delta(\rho S_s)}{\delta t}.$$

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

Gleichung 25
$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta z^2} = \frac{S_s}{K} \frac{\delta h}{\delta t},$$

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

3.2.2 Die Interaktion von Oberflächengewässern und Grundwasser

Um die In- bzw. Exfiltration von Oberflächengewässern zu beschreiben, kann das Leakageprinzip benutzt werden. Nach dem Gesetz von DARCY ist der Durchfluss durch eine Trennschicht zwischen zwei benachbarten Aquiferen proportional zu dem zwischen ihnen bestehenden Piezometerhöhengefälle mit dem Durchlässigkeitsbeiwert der Trennschicht als Proportionalitätsfaktor. Der Leakagefaktor kombiniert die beiden Größen Durchlässigkeit und Dicke der Trennschicht. Im Falle der Interaktion des Grundwassers mit Oberflächengewässern ist die treibende Piezometerhöhendifferenz, welche die In- bzw. Exfiltration bestimmt, die Differenz zwischen der Grundwasserhöhe und dem Wasserspiegel des Oberflächengewässers. Dies gilt so lange, wie die Grundwasserhöhe nicht unter die Sohle des Oberflächengewässers fällt. Der Austausch pro Bezugsfläche lautet

Gleichung 26
$$q_L = \frac{k_f}{d}(h_r - h) = l(h_r - h),$$

mit q_L als spezifischer Austauschrate, k_f als Durchlässigkeitsbeiwert der Kolmatierungsschicht, d als Dicke dieser Schicht, h_r als Höhe des Flusswasserspiegels über dem Bezugsniveau und h als Höhe des Grundwasserspiegels über Bezugsniveau. Der Leakagefaktor l fasst wieder Durchlässigkeit und Dicke der Trennschicht zusammen.

Fällt der Grundwasserspiegel unter die Sohle des Oberflächengewässers, so wird der Durchfluss unabhängig von der Höhenlage des Grundwasserspiegels. Die treibende Höhendifferenz ist dann im wesentlichen die Differenz zwischen dem Wasserspiegel und der Höhenlage der Sohle des Oberflächengewässers über Bezugsniveau (b_r):

Gleichung 27
$$q_L = l(h_r - b_r).$$

3.2.3 Rand- und Anfangsbedingungen

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

Es gibt mehrere Arten von Randbedingungen:

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

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

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

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

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

Die Vorteile der Finiten Elemente Methode sind:

- Die Aufteilung der Strömungsebene in ein Dreiecksmaschennetz kann beliebig erfolgen. Die Elemente sollten möglichst einem gleichseitigen Dreieck entsprechen.
- Durch diese Bedingung ist es möglich, Strömungsgebiete mit großer Geschwindigkeitsänderung durch ein feineres Maschennetz aufzuteilen, um den exakten Verlauf besser zu approximieren. Der Übergang vom groben zum feineren Maschennetz erfolgt ohne Zusatzaufwand.
- Krummlinige Berandungen können ohne Schwierigkeiten behandelt werden.

- Der Übergang von Durchlässigkeitsänderungen erschwert das Verfahren nicht. Die Durchlässigkeit muss voraussetzungsgemäß nur innerhalb eines Elementes konstant sein.

3.3 Datengrundlage für die Erstellung des instationären Grundwasserströmungsmodells

3.3.1 GW-Beobachtungen

Für die instationäre Kalibration standen 84 Grundwasserganglinien unterschiedlicher Datenqualität zur Verfügung. Zusätzlich zu den vom „Hydrographischen Dienst Steiermark“ standardmäßig beobachteten Pegeln wurden speziell für dieses Projekt einige zusätzliche Pegel eingerichtet und beobachtet. Die gesamten für das instationäre Modell verwendeten Pegel sind in Beilage 1 dargestellt. Von besonderem Interesse sind die neu errichteten Grundwasserpegel in Murnähe, die ab zirka Mai 1994 zum Großteil mit automatischer Datenaufzeichnung betrieben wurden. Speziell in Murnähe ist der Gang des Grundwassers sehr dynamisch und kann durch wöchentliche Beobachtung nicht in benötigter Genauigkeit erfasst werden. Für einige erst im Verlaufe des Projektes installierte Pegel (P1, P2, P4, P5) existieren nur Daten für einen sehr kurzen Zeitraum. Ihre Daten konnten nur als Orientierung für die Höhenlage des Grundwasserspiegels herangezogen werden, die Grundwasserdynamik kann aus diesen Daten aber nicht mit ausreichender Genauigkeit abgeleitet werden.

3.3.2 Mur

Für die Mur existieren die vom „Hydrographischen Dienst Steiermark“ zur Verfügung gestellten Wasserspiegel- und Durchflussganglinien an den Pegeln Spielfeld und Mureck. Für Radkersburg konnten die seitens Slowenien beigestellten Ganglinien des Pegels Gornja Radgona verwendet werden. Die Ganglinien dienten als Grundlage für die Schätzung, bzw. Kontrolle von Wasserspiegelganglinien entlang der gesamten an der Mur liegenden Modellgrenze. Da für die Definition der instationären Wasserspiegel der Mur kein Gerinneabflussmodell existiert, mussten diese bestmöglich abgeschätzt werden. Für diese Zwecke wurde eine Studie über das Eintiefungsverhalten an der Mur (PLATTNER J., 1993) und eine Studie der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 3a über den Ist-Zustand der Abflussverhältnisse der Mur-Grenzstrecke aus dem Jahre 1982 herangezogen. Probleme und Unsicherheiten bei der Schätzung der Wasserspiegelganglinien aus diesen Datengrundlagen sind in Kapitel 3.4.3 näher beschrieben.

3.3.3 Nebengewässer, Mühlkanäle

Für die Definition der Nebengewässer standen Schreibpegelaufzeichnungen der Wasserstände vom Pegel Lipsch am Schwarzaubach und Pegel Fluttendorf am Gnasbach zur Verfügung. Die Zeitreihe des Pegel Lipsch weist jedoch eine Datenlücke im letzten Quartal 1993 auf. Diese

Schreibpegelaufzeichnungen waren für die Definition der Veränderungen der Wasserspiegellage von Nebengewässern von entscheidender Bedeutung. Die Wasserspiegelganglinie ist ein in hohem Maße entscheidender Parameter für die Interaktion von Oberflächengewässern und Grundwasser. Unterlagen über die Regulierung einzelner Gewässer standen für die Schätzung von Wasserspiegel und Gewässersohle zur Verfügung und wurde großteils bereits im Stationärmodell (FANK et al., 1998) verwendet. Für das Projekt wurden an speziellen Punkten zusätzliche Messungen von Wasserspiegel und Durchfluss durchgeführt (FANK et al., 1994 und FANK et al., 1995). Diese Messungen konnten nicht direkt für die Definition des Verlaufes der Wasserspiegellagen der Oberflächengewässer verwendet werden, weil die wöchentlichen Messungen deren Dynamik nicht richtig wiedergeben können. Der Schwankungsbereich der Messungen war ein wichtiger Anhaltspunkt für die Schätzung geeigneter Ganglinien wie sie für das Grundwassermodell unbedingt notwendig sind.

Für den Mühlgang zwischen Straß und Weitersfeld standen keine Unterlagen zur Schätzung der Höhenlage und Sohle zur Verfügung. Die einzigen Anhaltspunkte für eine grobe Abschätzung eines stationären Wasserspiegels lieferten die speziell für das Projekt durchgeführten Messungen (Wisiak, Grieb und Lichendorf). Für den Mühlbach von Mureck bis Radkersburg wurden Lagepläne, Längenschnitte und Querprofile aus einem laufenden Projekt zur Verfügung gestellt. Die Wasserspiegellage an ausgewählten Querprofilen wurden für die Abschätzung der Höhenlage des gesamten Mühlbaches verwendet. Die für das Projekt durchgeführten Messungen der Wasserspiegel an speziellen Punkten (Mureck Bad, Misselsdorf, Flutendorf, Grieswiesen, Oberau und Radkersburg) waren für die Abschätzung der Dynamik des Wasserspiegels nur wenig aussagekräftig.

3.3.4 GW-Neubildung

Für die Definition der Grundwasserneubildung standen die Bodenformenkarte (unterteilt in vier Kartierungsbereiche) und die Landnutzungskarte aus FANK et al. (1998) zur Verfügung. Vom Bundesamt für Wasserwirtschaft in Petzenkirchen wurden die mittels der Software „STOTRASIM“ modellierten Grundwasserneubildungsganglinien (vgl. Kap. 2.4) und eine Tabelle mit Zuweisungen dieser Ganglinien zu den im Projektgebiet auftretenden Bodenformen und Nutzungen geliefert (Tab. 7).

3.4 Konvertierung des stationären in ein instationäres Modell

Zu Beginn der instationären Kalibration wurde das stationäre Modell (Zustand 18.9.95) aus FANK et al. (1998) mittels „FEFLOW“ in ein instationäres Modell umgewandelt. Um die Genauigkeit der Ergebnisse zu erhöhen wurde das FE-Netz verfeinert. Die stationären Randbedingungen an der Mur mussten durch instationäre (Wasserspiegelganglinien) ersetzt werden. Da diese nicht zur Verfügung standen, wurden verschiedenste Schätzungen dieser Ganglinien durchgeführt (aus murnahen GW-Pegeln, aus Q/H-Beziehungen der Eintiefungsstudie von PLATTNER et al. (1993), aus Q/H-Beziehungen einer landesinternen Studie über die Abflussverhältnisse der Mur-Grenzstrecke). Alle

Schätzungen wurden auf ihre Eignung als Randbedingungen überprüft. Die Randbedingungen an den übrigen Modellrändern wurden vorerst aus dem Stationärmodell übernommen und erst später während des Kalibrationsvorganges in instationäre Randbedingungen umgewandelt. Die vom Bundesamt für Wasserwirtschaft gelieferten Daten für die Definition der Grundwasserneubildung wurde umgesetzt und auf das Modell übertragen. Als Kalibrationszeitraum wurde der Zeitraum vom 30.8.93 bis zum 31.12.94 ausgewählt. Für Validierungszwecke wurde der Zeitraum im Zuge der endgültigen Kalibration dann auf 1.1.93 bis 31.12.95 ausgedehnt.

3.4.1 Modellgeometrie

Die Modellgeometrie des Stationärmodells ist als Viereckselementenetz diskretisiert (siehe FANK et al., 1998, Beilage 2). Für das Instationärmodell wurde das FE-Netz verfeinert und in ein Dreieckselementenetz umgewandelt. Bei der Konvertierung wurde jedes Viereckselement in vier Dreiecke zerlegt. Die damit erreichte Netzverfeinerung ermöglicht eine wesentlich bessere Abbildung der Flächen gleicher Grundwasserneubildung auf das Elementnetz (siehe Beilage 3 und Beilage 4). Die durch die Verfeinerung des Netzes erreichte Verringerung der Elementseitenlänge erlaubt eine detailliertere Definition der Randbedingungen (Mur, Talränder usw.), sowie der Parameter für die Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer. Der Nachteil erhöhter Rechenzeiten wird für die Verbesserungen in den Ergebnissen in Kauf genommen und zum Teil durch die ständig steigende Rechnerleistung kompensiert. Die Oberflächengewässer sind, wie bereits im Bericht FANK et al., 1998 beschrieben, weitestgehend als Elementseiten realisiert. An der exakten Position der Messstellen wurden Elementknoten definiert, wenn die Koordinaten der Messstelle bereits vor der Netzerstellung bekannt waren. Zusätzliche Pegel konnten für die Ermittlung der Ergebnisanfanglinie aber auch nachträglich definiert werden.

Die statistischen Kenndaten für das Dreiecksnetz sind wie folgt:

- Anzahl Elemente : 7352
- Anzahl Knoten : 3835
- Gesamte Modellfläche : 101.7 km²
- Durchschnittliche Elementfläche : 13833 m²
- Durchschnittliche Elementseitenlänge : 166 m

3.4.2 Kf-Werte, entwässerbares Porenvolumen

Die kalibrierten kf-Werte aus dem Stationärmodell (FANK et al., 1998) wurden als Ausgangswerte für die instationäre Kalibration übernommen. Die Übertragung von den Vierecks- auf die Dreieckselemente wurde von „FEFLOW“ automatisch durchgeführt. Als Ausgangswerte für das entwässerbare Porenvolumen wurde der Defaultwert von 0.2 angenommen.

3.4.3 Randbedingungen entlang der Mur

Die Mur ist Vorflut für das Grundwasserfeld und wurde im Modell als Randbedingung 1.Art (fixer Grundwasserspiegel am Ufer) realisiert. Für das Instationärmodell muss an jedem Modellknoten am Modellrand entlang der Mur die Wasserstandsganglinie definiert werden. Da für das Projekt kein instationäres Oberflächengewässermodell zur Verfügung stand, mussten diese Ganglinien aus den vorhandenen Daten – wie bereits erwähnt - geschätzt werden.

3.4.3.1 Bewertung der murnahen GW-Pegel hinsichtlich ihrer Eignung als Randbedingungen

Es wurde versucht die GW-Ganglinien der murnahen GW-Pegel für die Abschätzung der Wasserspiegel an der Mur heranzuziehen. Es zeigte sich jedoch, dass die vorhandenen Messungen für eine derartige Abschätzung aus mehreren Gründen nicht geeignet sind:

- Um die Dynamik des Murwasserspiegels erfassen zu können, sind nur Pegel mit automatischer Aufzeichnung für die Abschätzung geeignet. Schreibpegelaufzeichnungen sind aber nur für die Pegel B1, B3, B6, B7, B12, B13 und B16 vorhanden, für B4, B8 und B9 existieren nur händische Aufzeichnungen. Die Schreibpegelaufzeichnungen sind außerdem größtenteils nur für den Zeitraum vom Mai/1994 bis Dezember/1995 vorhanden.
- Ein Teil der Ganglinien (Pegel B1, B3, B7) ist durch lokale Einflüsse verändert und kann daher nicht zur Abschätzung der Randbedingungen verwendet werden. Zwischen den vorhandenen murnahen Grundwasserpegeln müssen die Ganglinien linear interpoliert werden, was aufgrund der teilweise großen Entfernungen zwischen den Pegeln zusätzliche Unsicherheiten in den Ergebnissen bedeutet.

Wie später in Kapitel 3.4.3.3 beschrieben, wurden weitere Abschätzungen von Wasserspiegelganglinien der Mur durchgeführt. Abb. 18 zeigt den Vergleich der entgeltigen Schätzung der Murganglinie an Profil 23 mit der gemessenen Grundwasserganglinie an Pegel B1. Die Grundwasserganglinie hat gegenüber der Murganglinie eine viel geringere Schwankungsbreite und ist deshalb für die Abschätzung der Randbedingungen an der Mur nicht geeignet. Dies gilt grundsätzlich für den gesamten Exfiltrationsbereich des Grundwasserfeldes. Abb. 19 zeigt den Vergleich der Ganglinie an Profil 29 mit Pegel B3. Der Pegel liegt nicht direkt an der Mur, sondern zwischen zwei Mühlkanälen und ist deshalb für die Abschätzung des Murspiegels nicht mehr verwendbar.

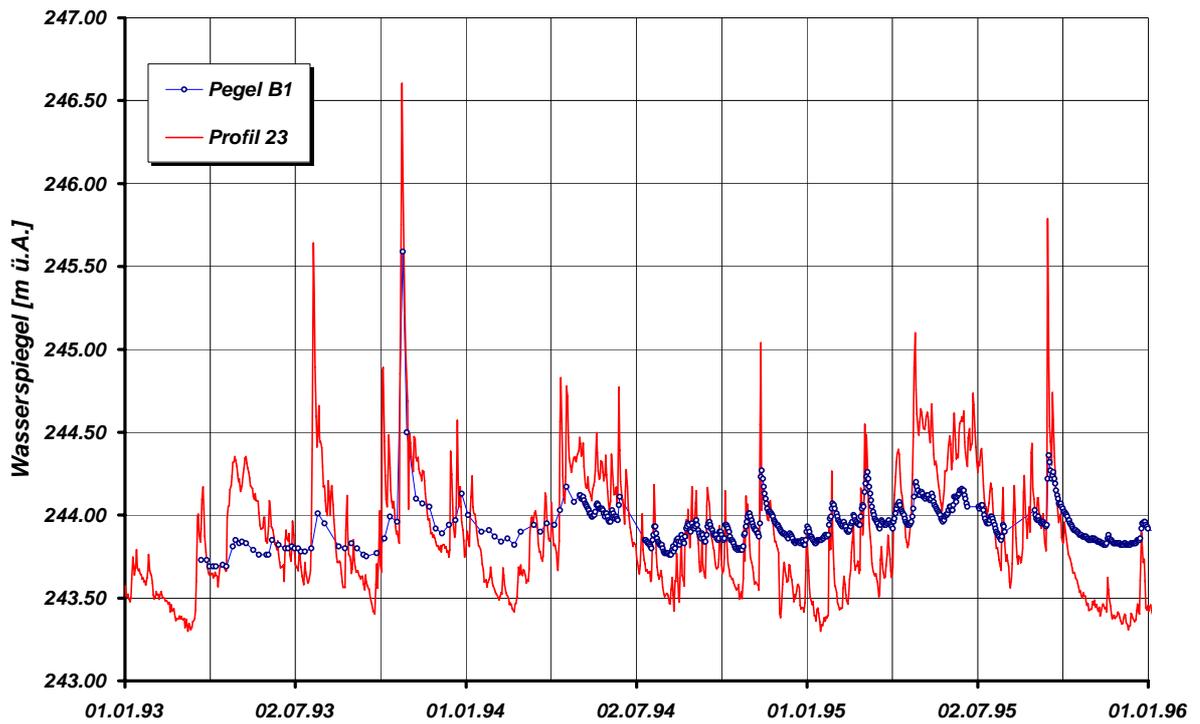


Abb. 18: Vergleich GW-Ganglinie Pegel B1 mit geschätzter Murganglinie Profil 23

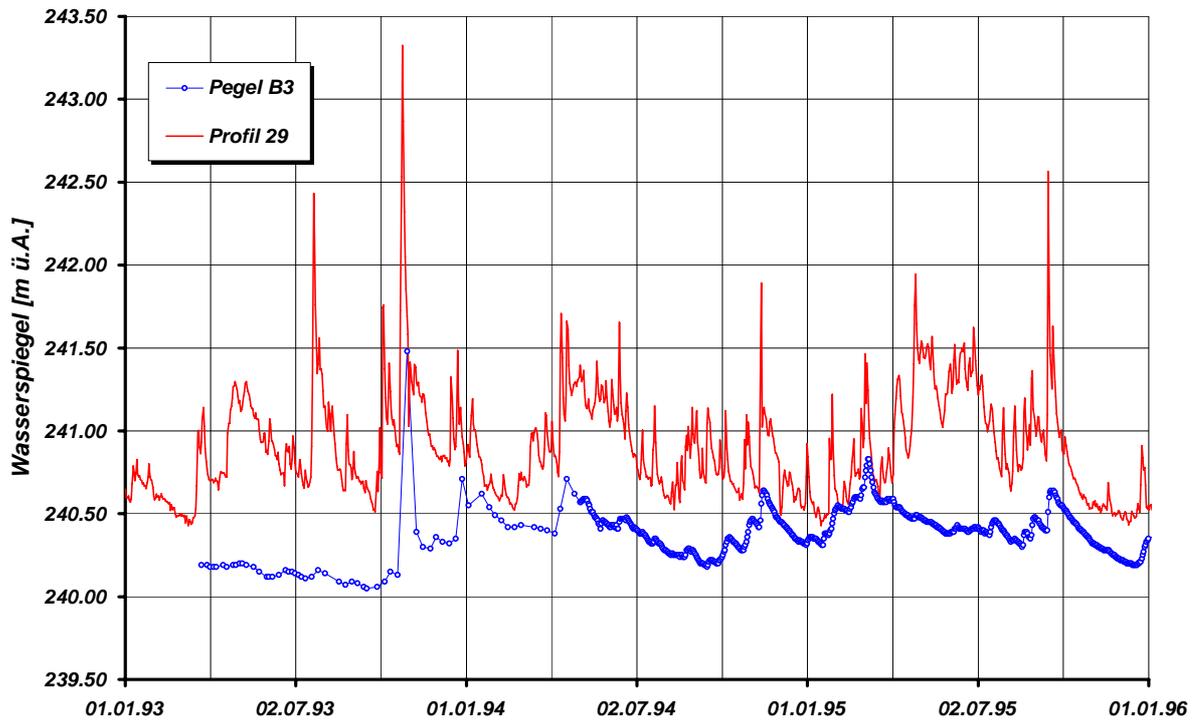


Abb. 19: Vergleich GW-Ganglinie Pegel B3 mit geschätzter Murganglinie Profil 29

In Abb. 20 ist der Vergleich der Murganglinie an Profil 81 mit Grundwasserpegel B12 dargestellt. Im Bereich von B12 infiltriert die Mur in das Grundwasser, was eine geringere Dämpfung der murnahen Grundwasserspiegel gegenüber dem Murwasserspiegel bedeutet. In diesem Bereich wäre eine

Schätzung der Murganglinien aus den Grundwasserganglinien denkbar, wenn für den gesamten Modellzeitraum automatische Aufzeichnungen vorlägen.

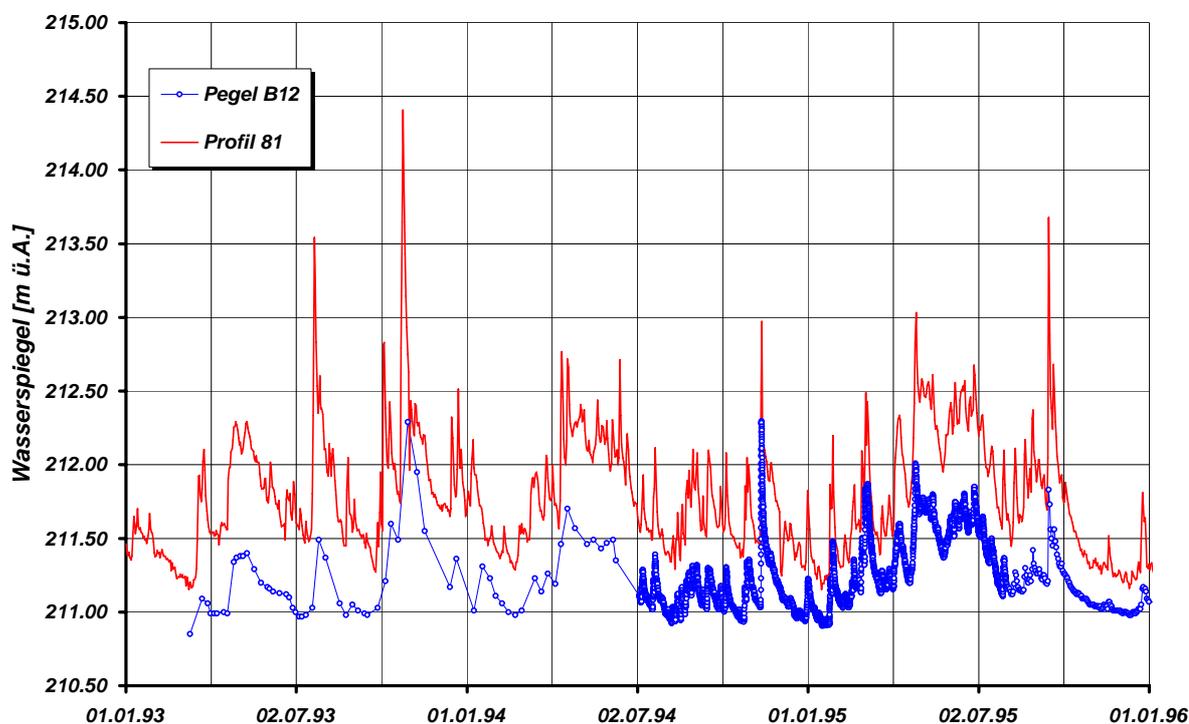


Abb. 20: Vergleich GW-Ganglinie Pegel B12 mit geschätzter Murganglinie Profil 81

3.4.3.2 Ermittlung von Ganglinien aus der Plattner-Studie

Mittels den in der Studie über die Auswirkung der Eintiefungstendenz an der Mur-Grenzstrecke (PLATTNER, J., 1993) enthaltenen Q/H-Beziehungen aus den Längenschnitten wurden an den Querprofilen für die Auswertungsjahre (Querprofilaufnahmen von 1971, 1980 und 1989) Pegelschlüssel ermittelt und mittels der Q-Ganglinie am Pegel Gornja Radgona die Wasserstandsganglinien der Mur rückgerechnet. Um die Qualität der Abschätzung zu beurteilen, wurde die geschätzte Ganglinie am Pegel Gornja Radgona mit der gemessenen Ganglinie verglichen (siehe Abb. 21). Der Vergleich ergab mittlere Abweichungen von +48 cm (1971), +20 cm (1980), +25 cm (1989). Aufgrund dieser Abweichungen und relativ großer Profilabstände wurde eine weitere im folgenden Kapitel beschriebene Abschätzung mittels Daten aus einer amtsinternen Abflussstudie der Mur-Grenzstrecke durchgeführt.

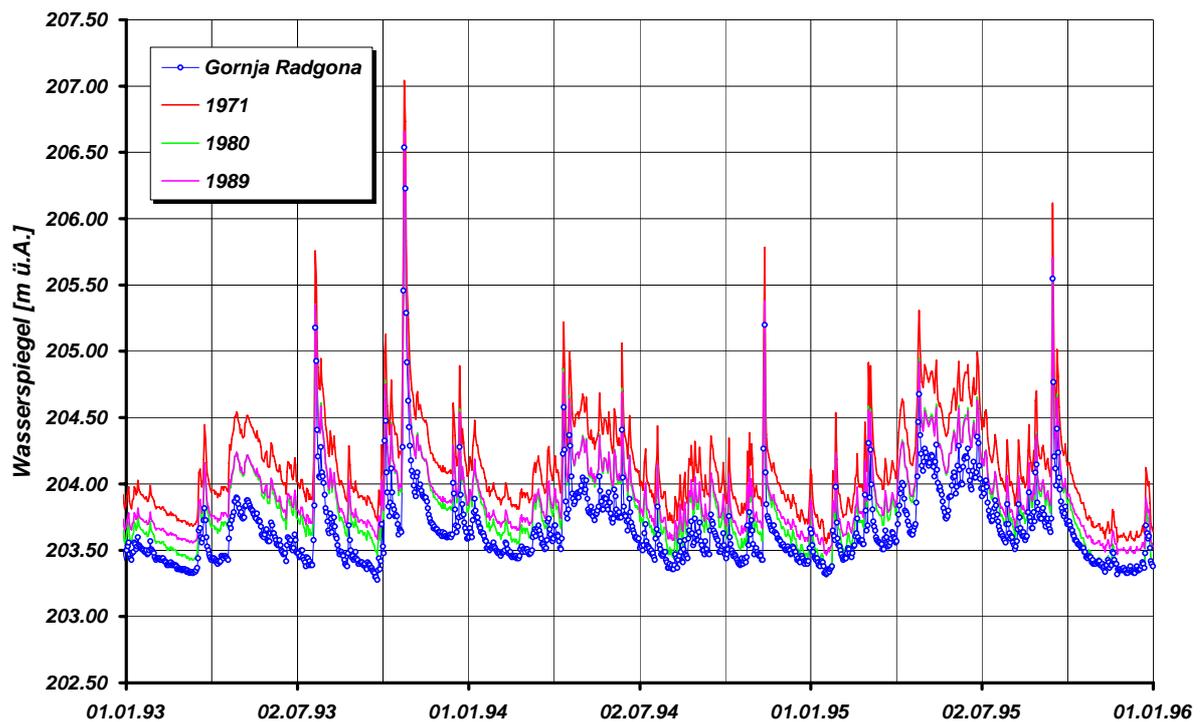


Abb. 21: Vergleich geschätzter Murganglinien mit gemessener Ganglinie am Pegel Gornja Radgona

3.4.3.3 Ermittlung von Ganglinien aus Abflussstudie der Mur-Grenzstrecke

Ebenso wie mittels der Eintiefungsstudie von Plattner sind mittels der Landesstudie aus den Q/H-Beziehungen (Durchflüsse von 100, 200, 500, 1000, 1350, 1750 m³/d) aus den Längenschnitten an den angegebenen Querprofilen Pegelschlüssel ermittelt worden. Mittels der Q-Ganglinie Mureck und der Pegelschlüssel wurde dann für jedes Querprofil die Wasserstandsganglinie errechnet. Eine Differenzierung der Durchflussbereiche (Spielfeld, Mureck, Gornja Radgona) wurde nicht vorgenommen, weil diese keine für das Grundwassermodell relevanten Unterschiede aufweisen. Die errechneten Wasserstandsganglinien wurden anschließend mit den gemessenen Wasserstandsganglinien am Pegel Spielfeld und Gornja Radgona, sowie mit den gemessenen murnahen Grundwasserstandsganglinien verglichen. Am Pegel Spielfeld (siehe Abb. 22) liegt der geschätzte Wasserspiegel für den Zeitraum vom 1.1.1990 bis 31.12.1995 im Mittel um 79 cm höher als der gemessene. Der Grund dafür sind die bereits in FANK et al., 1998 beschriebenen Veränderungen der Sohle im Bereich Spielfeld seit 1980. Am Pegel Gornja Radgona (siehe Abb. 23) beträgt die mittlere Abweichung zwischen Schätzung und Messung nur 5 cm. Vergleiche mit den murnahen GW-Ganglinien (siehe Abb. 18, Abb. 19 und Abb. 20) zeigen, dass diese Abschätzung zwar nicht für alle Bereiche entlang der Mur in ihrer Höhenlage optimal, aber durchaus als Randbedingung für die Definition der Mur geeignet ist. In den unsicheren Bereichen mussten die Ganglinien entsprechend der murnahen Kontrollganglinien, soweit diese vorhanden sind, während der Kalibration konstant nach oben oder unten verschoben werden. Genauer werden diese Verschiebungen noch in Kapitel 3.5.5 beschrieben. Bei der entgültigen Definition der

Randbedingungen im FE-Modell werden aus den an den Profilknoten geschätzten Ganglinien für jeden Modellknoten entlang der Mur automatisch Zwischenganglinien interpoliert.

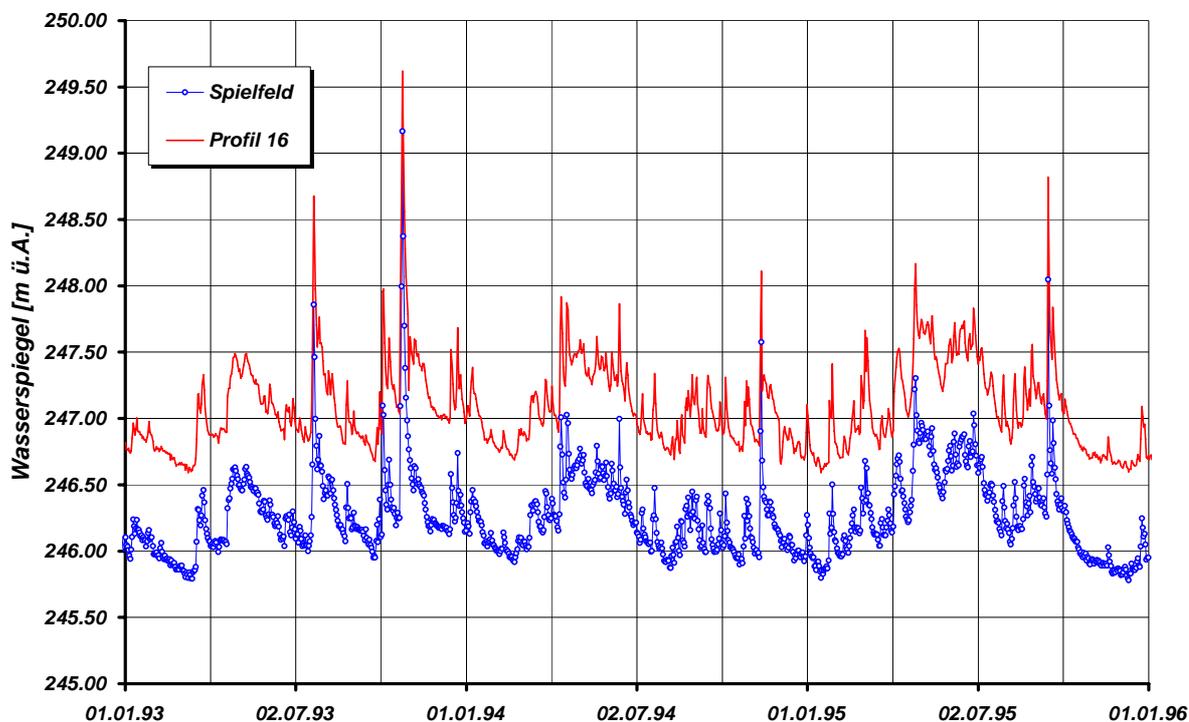


Abb. 22: Vergleich geschätzte Murganglinie mit gemessener Ganglinie am Pegel Spielfeld

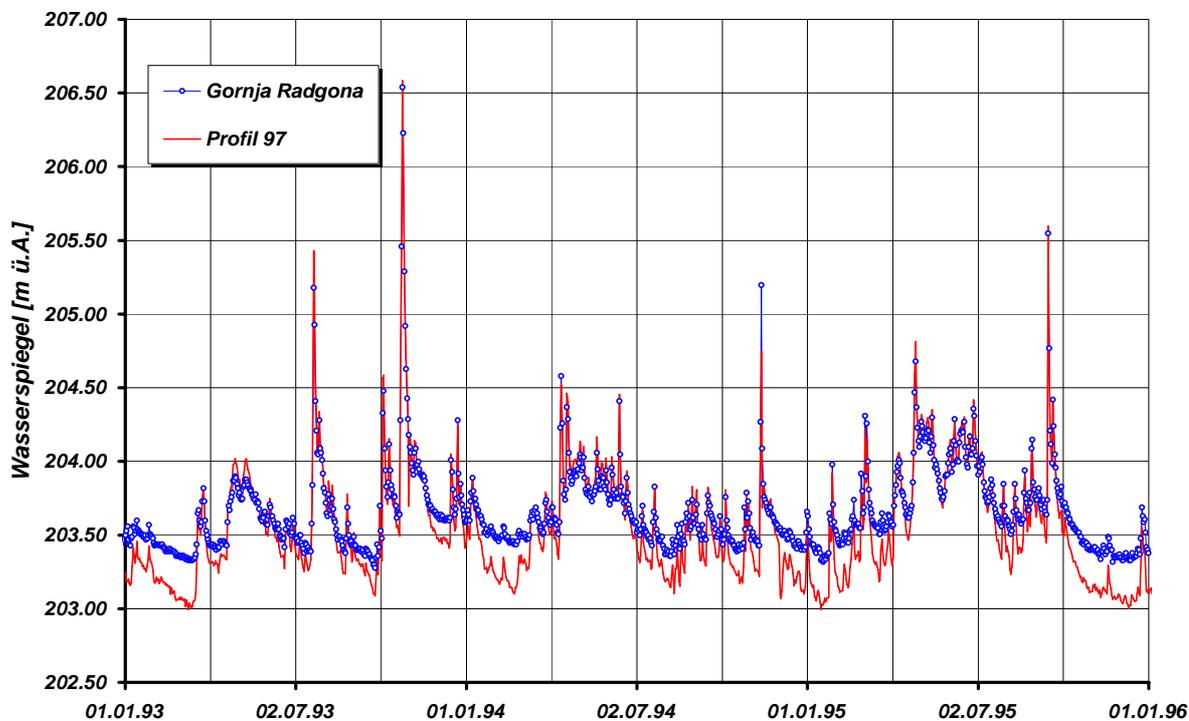


Abb. 23: Vergleich geschätzte Murganglinie mit gemessener Ganglinie am Pegel Gornja Radgona

3.4.4 Randbedingungen an den übrigen Modellrändern und den Nebengewässern

Am westlichen Modellrand wurde für den Beginn der instationären Kalibration die stationären Randbedingungen (fixer Grundwasserspiegel) übernommen und erst im Zuge des Kalibrationsverlaufes durch instationäre Randbedingungen ersetzt. Ebenso wurden die Randzuflüsse vom Talrand und die Interaktion mit den Nebengewässern direkt aus dem Stationärmodell übernommen. Der Einfluss der Mühlkanäle war im Stationärmodell mangels Informationen über dessen Wasserspiegel nicht berücksichtigt.

3.4.5 GW-Neubildung

Zur Bestimmung der Grundwasserneubildung standen die Bodenkarte (FANK et al., 1998, Beilage 5) und die Landnutzungsklassifizierung aus Satellitenbilddatenauswertungen (FANK et al., 1998, Beilage 6) zur Verfügung. Die Bodenkarte ist jedoch in vier unterschiedliche Kartierungsbereiche unterteilt und enthält eine Vielzahl an unbewerteten Flächen. Die Verschneidung der Bodentypen- mit den Landnutzungsflächen ergibt die Einzelflächen für welche die Grundwasserneubildungsganglinien mittels der in Kap. 2.4 beschriebenen Simulation des Bodenwasserhaushaltes erstellt wurden. Für das instationäre Grundwassermodell muss für jedes FE-Element (Dreieck) eine Grundwasserganglinie definiert werden. Dieser Vorgang benötigt zusätzlich zu den Standard-GIS-Funktionen spezielle Funktionen zur Übertragung dieser Informationen in die Modellsoftware. Ganglinien können in GIS-Systemen nicht standardmäßig behandelt werden. Zusätzlich sind einige manuelle Arbeitsschritte notwendig, um unbewertete Flächen einer Bewertung zuzuführen. Im Folgenden wird versucht die Arbeitsschritte, die teils mittels der institutseigenen GIS-Software „MORPH“ und teils mittels des weitverbreiteten GIS-Systems „ARC/INFO“ ausgeführt wurden, näher zu erläutern.

3.4.5.1 Verschneidung Landnutzung und Bodenformen

Als erster Schritt war es notwendig die vier unterschiedlichen Kartierungsbereiche, die in vier getrennten Folien vorlagen, zu einer Folie zusammenzufassen. Um den Zusammenhang mit dem Kartierungsbereich nicht zu verlieren, wurde den Klassen der Bodenformen die Kennung des Kartierungsbereichs vorangestellt. Anschließend wurde die Bodenformenkarte mit dem Modellgebiet verschnitten. Um eine flächendeckende Information der Bodenformen, die für die weiteren Schritte unbedingt notwendig ist, zu erhalten, mussten unbewertete Flächen einer Bewertung zugeführt werden. Solche Flächen mussten meist in mehrere Teilflächen (angrenzende Bodenformen) aufgeteilt werden. Dafür gibt es naturgemäß keine automatischen Funktionen. Die Aufteilung und Zuweisung wurde manuell in der bestehenden Karte eingezeichnet und danach im digitalen Datensatz umgesetzt. Die flächendeckende Karte der Bodenformen ist in Beilage 2 dargestellt. Vor der endgültigen Verschneidung der nun flächendeckend vorliegenden Flächen der Bodenformen mit den Flächen der Landnutzung mussten die Klassen der Landnutzung noch gemäß Tab. 6 reklassifiziert werden, um diese mit den für die Grundwasserneubildung relevanten Nutzungen in Übereinstimmung zu bringen.

Die endgültige Verschneidung wurde mit „ARC/INFO“ durchgeführt, das Verschnittergebnis anschließend wieder in „MORPH“ importiert.

Tab. 6: Landnutzungsreklassifizierung durch Überführung der Daten aus der Satellitenbilddauswertung in Landnutzungsklassen für die Berechnung der Grundwasserneubildung

Landnutzungsklassen aus Satellitenbilddauswertung	Landnutzungsklassen für Grundwasserneubildung
Wasser	WASSERFL
Wald	WALD
Gras	WIESE
Mais	ACKER
niedrige Vegetation	ACKER
ohne Vegetation	ACKER
Grünflächen	WIESE
Siedlungen	SIEDLUNG

3.4.5.2 Reklassifizieren der Verschnittklassen auf Klassen der GW-Neubildung

Als Verschnittergebnis erhält man Flächen mit einer bestimmten Bodenform und einer bestimmten Landnutzung, für die nun grundsätzlich eine Grundwasserneubildungsganglinie definiert werden kann. Alle entstandenen Teilflächen mit Nutzung „WASSERFL“ (freie Wasserflächen) wurden zusammengefasst. Für diese Flächen wurde eine eigene Grundwasserneubildungsganglinie (Verdunstung über freien Wasserflächen) ermittelt. Alle Teilflächen mit Nutzung „SIEDLUNG“ wurden ebenso zusammengefasst. Für diese wurde in Anlehnung an das Grundwassermodell Salzach (FANK et al., 1998) eine Neubildungsganglinie angenommen, die 50% der Neubildungsganglinie „WIESE_01“ entspricht. Den restlichen Teilflächen wurde über die Klassen der Bodenform und Nutzung mittels der Zuweisungstabelle (Tab. 7) die entsprechende Grundwasserneubildungsganglinie zugeordnet. Die ermittelten Flächen der Grundwasserneubildung sind in Beilage 3 dargestellt.

Tab. 7: Typisierung der Grundwasserneubildungsganglinien in Abhängigkeit von Bodenformenklassen und Landnutzungskategorien

Bodenklasse	Nutzung	Neubildungsganglinie
AUMUR_04	ACKER	ACKER_01
AUMUR_05A	ACKER	ACKER_03
AUMUR_05B	ACKER	ACKER_03
AUMUR_06	ACKER	ACKER_03
AUMUR_07A	ACKER	ACKER_04
AURAD_04	ACKER	ACKER_02
AURAD_05A	ACKER	ACKER_02
AURAD_05B	ACKER	ACKER_01
AURAD_06	ACKER	ACKER_04
AURAD_07A	ACKER	ACKER_02
AURAD_07B	ACKER	ACKER_02
BOMUR_03	ACKER	ACKER_03
BOMUR_04	ACKER	ACKER_04

BOMUR_05	ACKER	ACKER_03
BOMUR_09	ACKER	ACKER_03
BOMUR_10	ACKER	ACKER_02
BOMUR_11	ACKER	ACKER_02
BOMUR_12	ACKER	ACKER_04
BOMUR_13	ACKER	ACKER_04
BOMUR_14	ACKER	ACKER_01
BOMUR_15	ACKER	ACKER_05
BOMUR_16	ACKER	ACKER_05
BORAD_09	ACKER	ACKER_05
BORAD_10	ACKER	ACKER_01
BORAD_11	ACKER	ACKER_01
BORAD_12	ACKER	ACKER_02
BORAD_13	ACKER	ACKER_04
BORAD_14	ACKER	ACKER_02
AUMUR_02A	WALD	AUWALD_01
AUMUR_02B	WALD	AUWALD_02
AUMUR_03	WALD	AUWALD_01
AUMUR_03A	WALD	AUWALD_02
AUMUR_03B	WALD	AUWALD_01
AUMUR_04	WALD	AUWALD_01
AUMUR_05A	WALD	AUWALD_03
AUMUR_05B	WALD	AUWALD_02
AUMUR_06	WALD	AUWALD_03
AUMUR_07A	WALD	AUWALD_02
AUMUR_10	WALD	AUWALD_02
AUMUR_11	WALD	AUWALD_01
AURAD_02A	WALD	AUWALD_02
AURAD_03A	WALD	AUWALD_02
AURAD_03B	WALD	AUWALD_01
AURAD_05A	WALD	AUWALD_02
AURAD_05B	WALD	AUWALD_01
AURAD_06	WALD	AUWALD_03
AURAD_07A	WALD	AUWALD_02
AUMUR_04	WIESE	WIESE_01
AUMUR_05A	WIESE	WIESE_03
AUMUR_05B	WIESE	WIESE_03
AUMUR_06	WIESE	WIESE_03
AUMUR_07A	WIESE	WIESE_04
AURAD_04	WIESE	WIESE_02
AURAD_05A	WIESE	WIESE_02
AURAD_05B	WIESE	WIESE_01
AURAD_06	WIESE	WIESE_04
AURAD_07A	WIESE	WIESE_02
AURAD_07B	WIESE	WIESE_02
BOMUR_03	WIESE	WIESE_03
BOMUR_04	WIESE	WIESE_04
BOMUR_05	WIESE	WIESE_03
BOMUR_09	WIESE	WIESE_03
BOMUR_10	WIESE	WIESE_02
BOMUR_11	WIESE	WIESE_02

BOMUR_12	WIESE	WIESE_04
BOMUR_13	WIESE	WIESE_04
BOMUR_14	WIESE	WIESE_01
BOMUR_15	WIESE	WIESE_05
BOMUR_16	WIESE	WIESE_05
BORAD_09	WIESE	WIESE_05
BORAD_10	WIESE	WIESE_01
BORAD_11	WIESE	WIESE_01
BORAD_12	WIESE	WIESE_02
BORAD_13	WIESE	WIESE_04
BORAD_14	WIESE	WIESE_02

3.4.5.3 Übertragen der GW-Neubildung an das Grundwassermodell

In der aktuellen Version 4.7 der Modellsoftware „FEFLOW“ kann die zeitabhängige Grundwasserneubildung über Ganglinien, die über Identifikationsnummern mit geographischen Flächen verknüpft sind, definiert werden. Es wäre in „MORPH“ möglich die Karte der Grundwasserneubildungsflächen mit den Ganglinien zu verknüpfen und damit direkt die von „FEFLOW“ benötigten Dateien für die Definition der Grundwasserneubildung zu erzeugen. Die große Anzahl von Flächen und Polygonpunkten (Beilage 3) hätte aber riesige Datenmengen und lange Rechenzeiten beim Import der Daten in „FEFLOW“ zur Folge. Deshalb wurde die Übertragung der Neubildungsklassen vorerst auf die FE-Elemente (Dreiecke) bereits in „MORPH“ durchgeführt. Die Klassifizierungsfunktion sucht jenes Polygon der Neubildungsflächen, in welcher sich der Elementschwerpunkt des zu klassifizierenden FE-Elementes befindet, und weist dem FE-Element die entsprechende Neubildungsklasse zu. Das Ergebnis dieser Übertragung ist in Beilage 4 dargestellt. Aufgrund der fein unterteilten Netzgeometrie ist die dadurch entstandene Ungenauigkeit von geringer Bedeutung. Damit konnte die Grundwasserneubildung direkt über die Elementflächen zugewiesen werden, was zu wesentlich kleineren Dateien und geringeren Rechenzeiten führte. Zusätzlich steht die elementbezogene Grundwasserneubildung im GIS für Darstellungen zur Verfügung. Die Modellsoftware benötigt für den Importvorgang drei Dateien. Die erste Datei enthält alle geographischen Flächenelemente, die mit einer Identifikationsnummer versehen sind. Die zweite Datei alle Ganglinien, ebenfalls mit einer Identifikationsnummer versehen. Die dritte Datei enthält die Zuweisungstabelle zwischen Flächenelementen und zugehörigen Ganglinien. In „MORPH“ wurde eine eigene Menüfunktion zur Erzeugung der von „FEFLOW“ benötigten Neubildungsdateien programmiert, in welcher in einem Dialog die Flächendaten mit den Neubildungsganglinien weitestgehend automatisch verknüpft, und anschließend alle drei benötigten Dateien im von „FEFLOW“ benötigten Format erstellt werden. Danach kann die Grundwasserneubildung in „FEFLOW“ mit den Standardfunktionen importiert werden.

3.5 Kalibration des Instationärmodells

Für die Kalibration des instationären Modells wird vorerst eine Proberechnung mittels des konvertierten Modells vorgenommen. Der aufwendige Vorgang des Vergleiches zwischen

gerechneten und gemessenen Ganglinien erforderte die Erstellung zusätzlicher Softwareteile. Nach der Analyse der Simulationsergebnisse (samt Abweichungen zu den Messungen) werden unter Berücksichtigung sämtlicher Informationen über das Grundwassersystem, sowie der Oberflächengewässer Schritt für Schritt Kalibrationsparameter verändert, um die Übereinstimmungen zwischen Rechen- und Messergebnissen an möglichst vielen Pegeln zu erhöhen. Der Kalibrationsvorgang wird so lange durchgeführt bis gemessene und berechnete Ganglinien in den Kontrollpegeln genügend genau angenähert sind, beziehungsweise bis bei schlechter Übereinstimmung keine sinnvolle Verbesserung der Übereinstimmung zu erwarten ist (meist wegen fehlender oder unsicherer Daten).

3.5.1 Proberechnung mit dem konvertierten Modell

Nach der Konvertierung des Stationärmodells (Zustand vom 18.9.1995) in ein Instationärmodell, dem Austauschen der stationären Randbedingungen an der Mur mit instationären Randbedingungen und der Definition der instationären Grundwasserneubildung wurde eine Proberechnung durchgeführt. Die restlichen Randbedingungen (westlicher Modellrand, Talrand und Nebengewässer) wurden vorerst unverändert aus dem Stationärmodell übernommen. Der Simulationszeitraum für die Proberechnung war von 30.8.93 bis 31.12.94. Bei der Simulation wurde in Zeitschritten von einem Tag gerechnet. Die Proberechnung war somit auch die erste Kalibrationsrechnung. Zur Beurteilung des Kalibrationsergebnisses müssen aus den Simulationsergebnissen die gerechneten Grundwasserganglinien an den Kontrollpegeln ermittelt und mit den Messdaten verglichen werden.

3.5.2 Vergleich der gemessenen mit den gerechneten Ganglinien

Für den Vergleich von gerechneten mit den gemessenen Ganglinien muss in „FEFLOW“ ein Datensatz mit allen Beobachtungspunkten, an welchen Ergebnissganglinien ermittelt werden sollen, definiert werden. Während der Simulation wird für jeden berechneten Zeitschritt (jeden Tag) der errechnete Grundwasserspiegel für jeden definierten Beobachtungspunkt in einer formatierten Textdatei gespeichert. In „FEFLOW“ existiert derzeit keine Möglichkeit die Messdaten einzulesen und direkt mit den gerechneten Ergebnissen zu vergleichen. Deshalb ist es notwendig die Ergebnisdatei mittels eines externen Programms zu konvertieren und mit den gemessenen Daten zu vergleichen. Aus diesen Gründen wurde in „MORPH“ eine weitere Funktion zur Konvertierung von „FEFLOW-Ergebnisdateien“ in Gangliniendateien realisiert. Die Funktion erstellt für jeden definierten Beobachtungspunkt (insgesamt 107 Pegel) eine eigene Datei. Der eigentliche Vergleich der gerechneten mit den gemessenen Ganglinien wurde dann mittels des Programms „ZRVGL“ vom EDV-Büro Gänser, das speziell für Zeitreihenvergleiche erstellt wurde, einzeln durchgeführt. Dieser aufwendige Vorgang der Kontrolle der Kalibrationsergebnisse ist für jeden Kalibrationslauf notwendig.

3.5.3 Ergebnisbeispiele der Proberechnung

Die Proberechnung ist gleichzeitig die erste Kalibrationsrechnung und für gewöhnlich von geringem Interesse. Im vorliegenden Fall kann aber durch das vorläufige Belassen der stationären Randbedingungen (Nebengewässer, Talrandzuflüsse und westlicher Modellrand) gut gezeigt werden, dass Grundwassermodelle, in welchen relevante instationäre Prozesse vernachlässigt oder aus der stationären Kalibration übernommen werden, nicht geeignet sind die Dynamik des Grundwasserspiegels zu simulieren. Erst die Kalibration dieser instationären Parameter ermöglicht es die Form der Grundwasserganglinien mittels des mathematischen Modellansatzes nachzuvollziehen. Die im folgenden Text beschriebenen Beispiele an ausgewählten, charakteristischen Pegeln sollen einen Eindruck von der entscheidenden Bedeutung diverser instationärer Einflüsse ermöglichen.

Pegel 3845 liegt in Straß unmittelbar am westlichen Modellrand. Der Zustrombereich zu diesem Pegel liegt beinahe zur Gänze außerhalb des Modellgebietes. Die modellierte Grundwasserganglinie wird in hohem Maße von der Randbedingung am Modellrand gesteuert. Das Ergebnis der Proberechnung ist in Abb. 29 dargestellt und zeigt an Pegel 3845 einen gänzlich anderen Verlauf des Grundwasserganges, als die Messungen. Der Unterschied hat mehrere Gründe, die erst im Verlauf des gesamten Kalibrationsverlaufes gefunden werden konnten. Der bedeutendste Grund ist die Randbedingung am westlichen Talrand, die wie erwähnt noch der Randbedingung des Stationärzustandes vom 18.9.1995 entspricht. Der Unterschied in den ersten Monaten ist auf ein Problem bei der Grundwasserstandsmessung zurückzuführen: Vergleiche mit nahegelegenen Pegeln zeigte, dass offensichtlich die Brunntiefe zu gering ist, um das vollständige Absinken des Grundwassers (Niederwasserzustand April bis November 1993) in den Messungen wiederzugeben.

Pegel 3847 (Abb. 30) liegt in der Nähe von Gosdorf, sehr nahe an der Mur. Die Steuerung des Grundwasserganges erfolgt beinahe ausschließlich über den Murwasserspiegel. Der Vergleich mit den Messungen zeigt, dass die erste Abschätzung der Wasserspiegelganglinien der Mur (siehe 3.4.3) zwar in der Dynamik gut ist, dass diese im Flussabschnitt um den Pegel jedoch um zirka 60 – 70 cm zu hoch eingeschätzt wurden. Der Grund dafür dürften Sohleintiefungen im Unterwasser des Kraftwerkes Spielfeld seit 1982 sein. Die Randbedingungen entlang der Mur wurden im Zuge der Kalibration in ihrer Höhenlage korrigiert (näher beschrieben in Kapitel 3.4.3), um eine ausreichende Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation zu erreichen.

Die Simulation am Pegel 38553 (Abb. 31), zwischen Straß und Streitfeld gelegen, zeigt insgesamt einen gänzlich anderen Verlauf als der gemessene Grundwasserspiegel. Im Juli 1994 findet in der Simulation sogar ein starker Anstieg des Grundwassers statt, während in den Messungen ein längerer Zeitraum mit sinkendem Grundwasser zu sehen ist. Dieses Beispiel zeigt sehr viel von der Komplexität von Grundwassersystemen. Die Gründe für diese gravierenden Unterschiede sind die noch nicht erfassten instationären Einflüsse der Nebengewässer (hier hauptsächlich die des

Linderbachs), und der Zuflüsse am Talrand. Eine Differenzierung der Einflüsse ist erst im Laufe vieler Kalibrationsschritte möglich.

Die Ganglinie am Pegel 38575 (Abb. 24) ist typisch für am Talrand gelegene Grundwasserstandsmessstellen. Die gemessene Ganglinie weist starke Schwankungen auf, die auf starke Einflüsse der Oberflächengewässer (im und außerhalb des Modellgebietes), stark instationäre Randzuflüsse, geringes Porenvolumen und/oder geringe Durchlässigkeiten zurückzuführen sind. Die Differenzierung dieser Einflüsse ist meist sehr schwierig. Die modellierte Ganglinie zeigt bei etwa identem Ausgangswasserspiegel (das heißt gut kalibriertem Stationärzustand) einen ständig steigenden Grundwasserspiegel ohne wesentliche Dynamik. Die im Modell bereits berücksichtigten instationären Grundwasserneubildungen und Vorflutrandbedingungen sind am Talrand nur mehr sehr gering wirksam. Dies ist ein eindeutiger Hinweis, dass die in der Proberechnung verwendeten stationären Randbedingungen durch instationäre ersetzt werden müssen. Diese Ergebnisse zeigen die eingeschränkte Gültigkeit von Stationärmodellen sehr gut auf. Bei Stationärmodellen müssen die in den Messdaten enthaltenen Instationaritäten teilweise durch veränderte stationäre Parameter (kf-Werte und Oberflächengewässerinteraktion) kompensiert werden, um gute Kalibrierungsergebnisse zu erreichen. Erst die instationäre Kalibrierung ermöglicht eine weitere Differenzierung der Einflüsse einzelner entscheidender Parameter. Die zusätzliche Information ergibt sich aus der Volumensbilanz des Wassers über die Zeit und wird durch die Form der gemessenen Grundwasserganglinien zu einer für die Kalibrierung wichtigen Information.

Pegel 38795 (Abb. 25) liegt nördlich von Eichfeld und unterstrom der Teiche von Oberrakitsch. Zusätzlich beeinflussen der Saßbach und mehrere kleine Nebengewässer das Grundwasser in diesem Bereich. Die Dynamik des Grundwassers und sein Schwankungsbereich sind sehr hoch. Dies weist auf starke instationäre Einflüsse der Seen, Bäche sowie der Talrandzuflüsse hin. Der berechnete Grundwasserspiegel zeigt gegenüber den Messungen einen völlig anderen Verlauf und ist generell zu niedrig. Auch in diesem Fall reichen die stationären Randbedingungen für die Definition der Oberflächengewässer und Talrandzuflüsse nicht aus und müssen durch instationäre ersetzt werden.

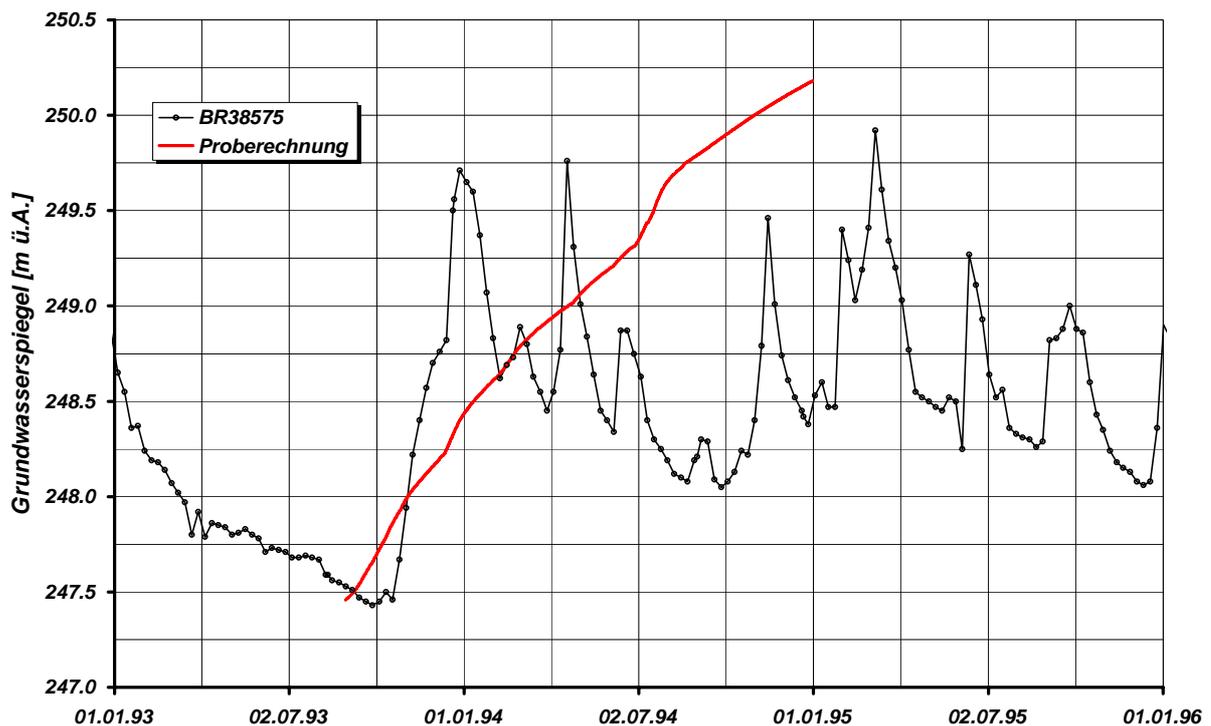


Abb. 24: Pegel 38575 - Vergleich zwischen Proberechnung und gemessener Ganglinie

Auch am Pegel 3905 (Abb. 26) in der Nähe des Sulzbaches zeigt die simulierte Ganglinie gegenüber der gemessenen einen stark unterschiedlichen Verlauf. Im Gegensatz zu den Ergebnissen am Pegel 38795 steigt der Grundwasserspiegel in der Rechnung gegenüber der Messung zu stark an. Das Auslaufen des Grundwassers, wie es die Messungen zeigen, kann mittels der Randbedingungen in der Proberechnung nicht nachvollzogen werden.

Pegel 39157 (Abb. 27), in Laafeld östlich von Radkersburg an der Mur gelegen, zeigt hingegen bereits in der Proberechnung eine recht gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung. Die Abschätzung der Ganglinien entlang der Mur stimmen in diesem Bereich sowohl in ihrer Dynamik, als auch in ihrer absoluten Höhenlage schon recht gut.

Pegel 3929 (Abb. 28) liegt bei Zeltling etwas östlich des Drauchenbaches. Auch an diesem Pegel zeigt die Proberechnung eine nur schlechte Übereinstimmung mit den Messungen. Die beobachtete Grundwasserdynamik wird von den bereits berücksichtigten instationären Parametern nicht wiedergegeben, weil die Wechselwirkungen mit den Gewässern und die Talrandzuflüsse stark instationär und von entscheidender Bedeutung für das Fließsystem sind. Die beobachtete Grundwasserdynamik wird von den definierten Parametern nicht wiedergegeben, weil die stationär definierten Randbedingungen der Gewässer und der Talrandzuflüsse nicht den natürlichen Verhältnissen entsprechen. Auch in diesem Modellbereich ist die Definition von instationären Randbedingungen für die Kalibration unbedingt notwendig.

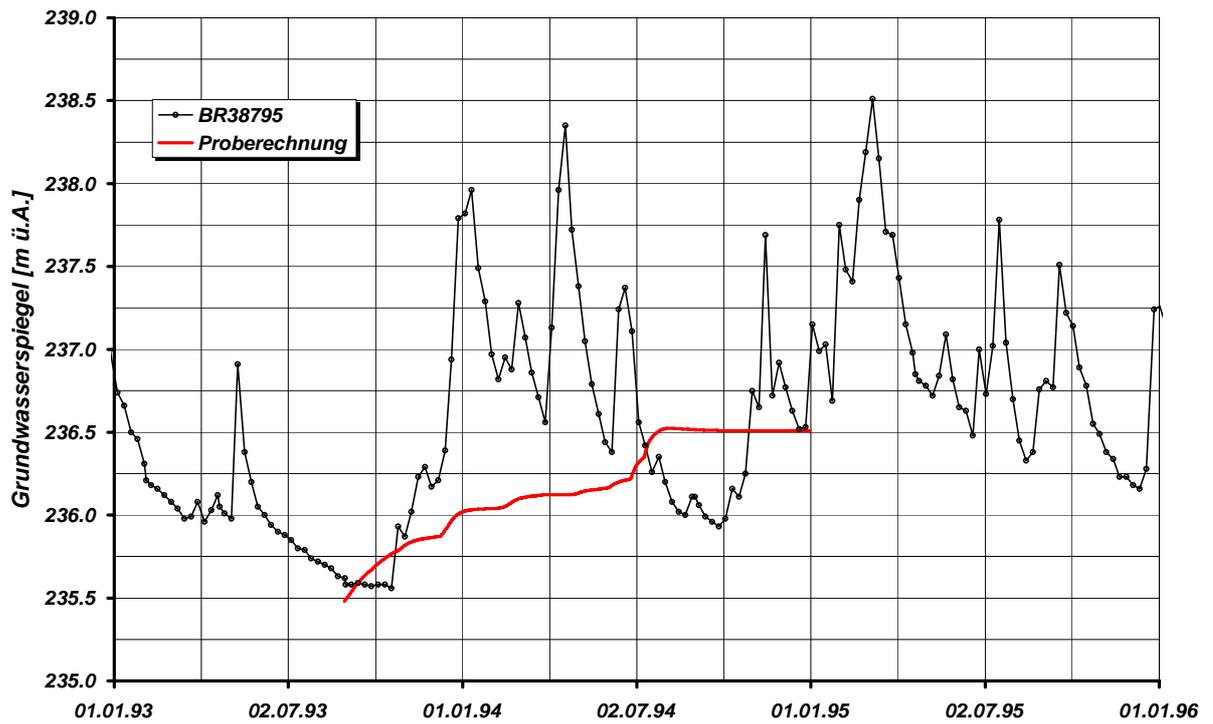


Abb. 25: Pegel 38795 - Vergleich zwischen Proberechnung und gemessener Ganglinie

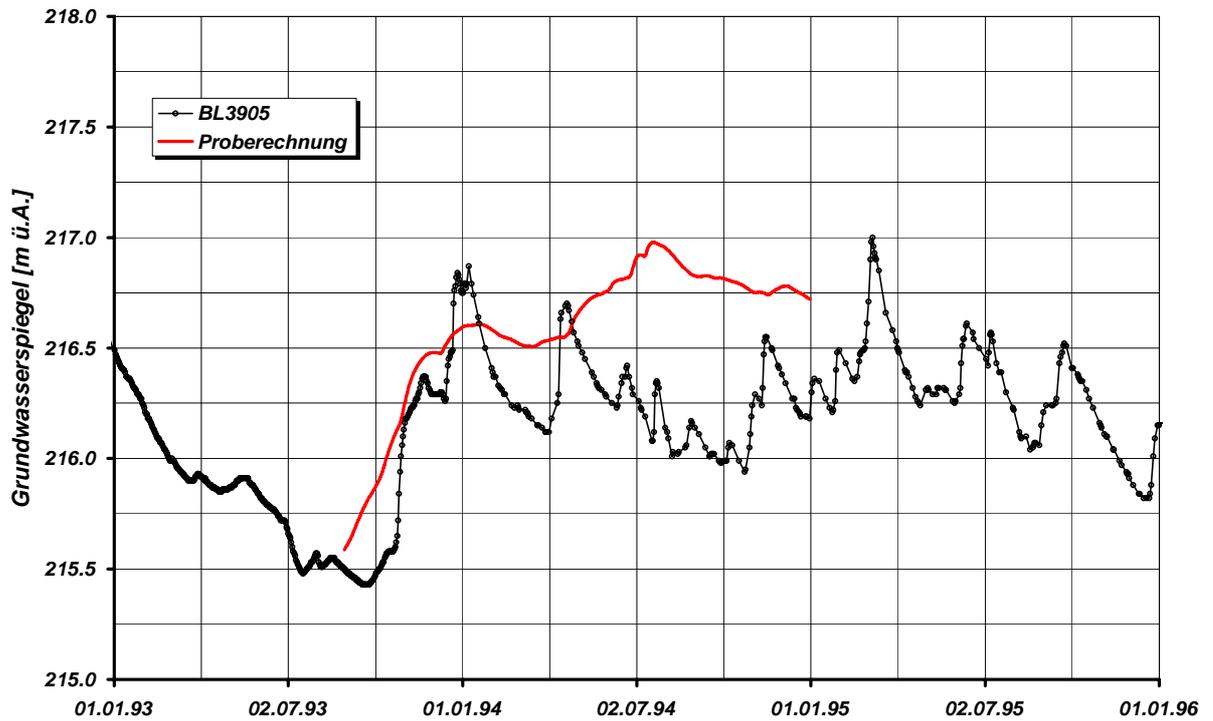


Abb. 26: Pegel 3905 - Vergleich zwischen Proberechnung und gemessener Ganglinie

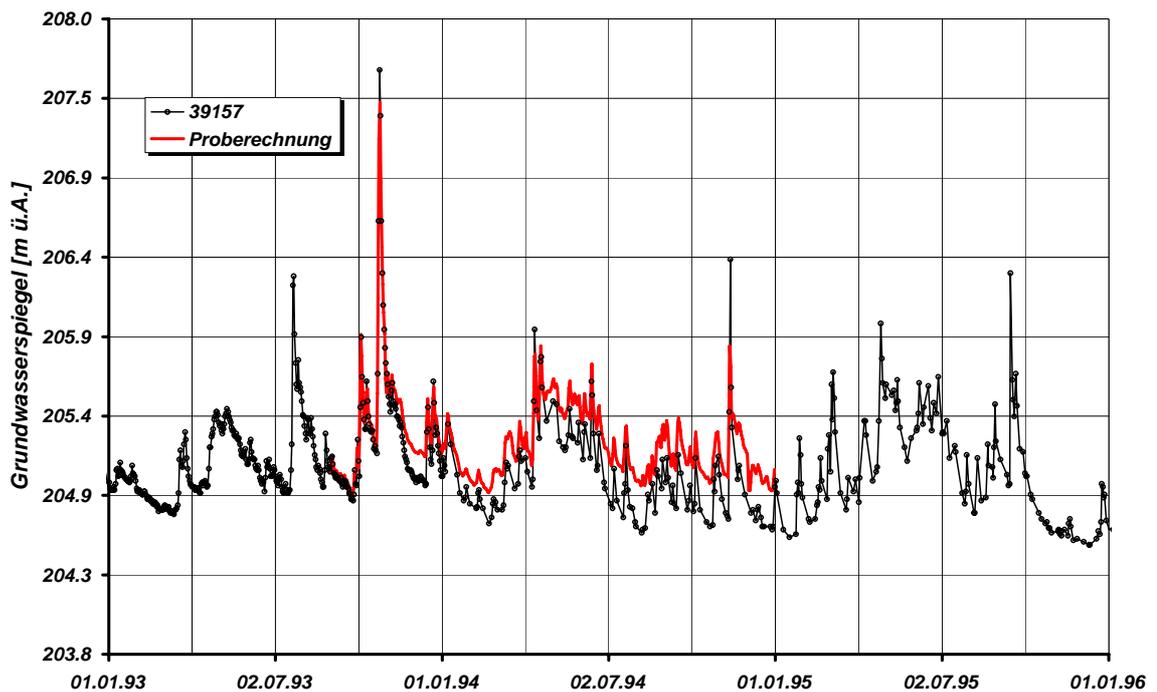


Abb. 27: Pegel 39157 - Vergleich zwischen Proberechnung und gemessener Ganglinie

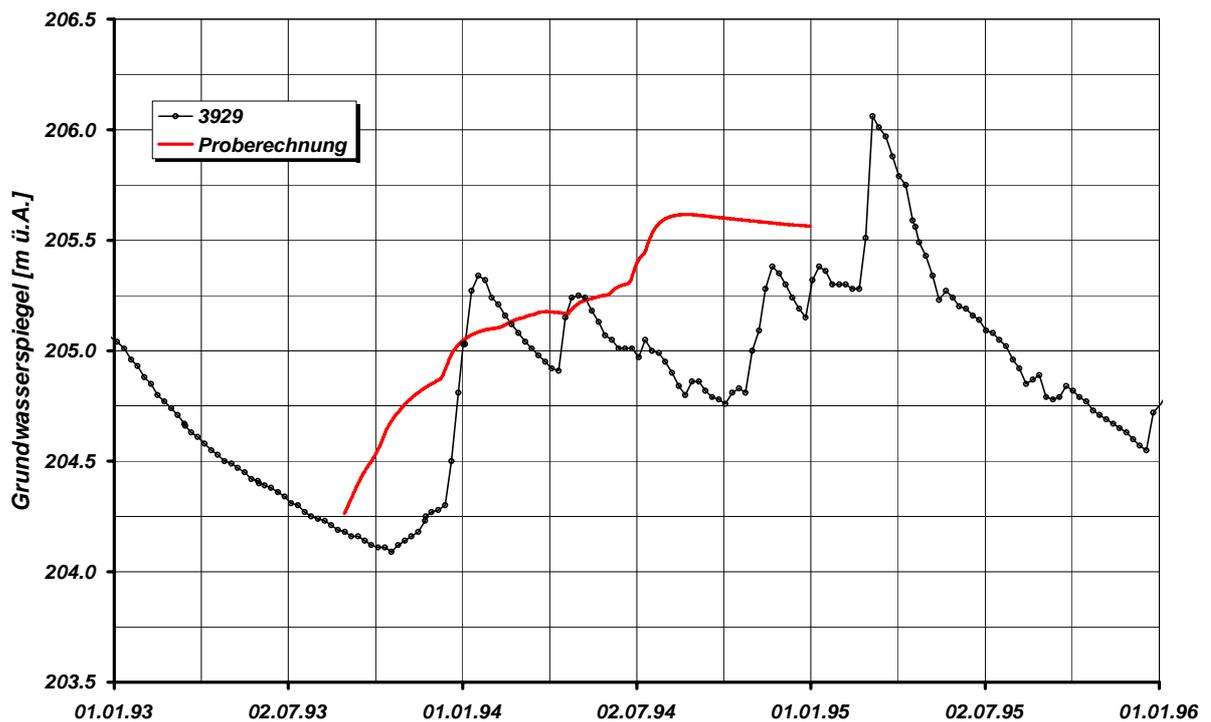


Abb. 28: Pegel 3929 - Vergleich zwischen Proberechnung und gemessener Ganglinie

3.5.4 Prinzipielle Vorgehensweise bei der instationären Kalibration

Beim Kalibrationsvorgang werden die Kalibrationsparameter solange variiert, bis die gewünschte Übereinstimmung der gerechneten und gemessenen Ganglinien erreicht ist.

3.5.4.1 Erzielbare Genauigkeit bei der Kalibration

Die Definition der notwendigen Übereinstimmung ist zu Beginn der Kalibration schwierig, da diese in hohem Maße von der Komplexität des Grundwassersystems und von den zur Verfügung stehenden Daten abhängt. In der Praxis gibt es große Unterschiede in der Übereinstimmung der gemessenen und gerechneten Ganglinien an unterschiedlichen Kontrollpegeln innerhalb eines Grundwassersystems. Lokale hydraulische Einflüsse haben oft große Auswirkungen auf die Form der Ganglinien (z.B. Oberflächengewässer). Mit guten Daten gelingt es oft eine ausgezeichnete Übereinstimmung an solchen Pegeln zu erreichen, manchmal sind jedoch dominierende Einflüsse mit den vorhandenen Daten nicht zu simulieren und es ist an diesen Pegeln keine gute Übereinstimmung zwischen Rechen- und Messwerten zu erzielen. Besonders an Talrändern ist eine gute Kalibration oft nur schwer erreichbar, da sowohl der instationäre Randzufluss, als auch der auskeilende Aquifer in seiner Mächtigkeit, Durchlässigkeit und Speicherfähigkeit nicht mit ausreichender Genauigkeit erfassbar sind. Die Steigerung der Kalibrationsgenauigkeit ist besonders bei instationären Modellen ein entscheidender Zeit- und damit Kostenfaktor. Deshalb wird in der Praxis an für die Fragestellungen kritischen Stellen eine bessere Übereinstimmung angestrebt, als an Pegeln, die für die Fragestellung von geringerer Bedeutung sind. Für das Modell „Unteres Murtal“ wurden an den Talrändern und an gewissen Pegeln entlang des Mühlganges größere Abweichungen akzeptiert, als an den restlichen Pegeln.

3.5.4.2 Kalibrationszyklus

Wie bereits erwähnt werden bei der Kalibration des Modells die Kalibrationsparameter solange verändert, bis die gewünschten Übereinstimmungen zwischen Rechen- und Messergebnissen erreicht sind. Die dabei durchzuführenden Arbeitsschritte müssen in einem sogenannten Kalibrationszyklus immer wieder durchgeführt werden.

Ein Kalibrationszyklus umfasst folgende Arbeitsschritte

- ◆ Definieren oder Ändern von Kalibrationsparametern (Materialparameter und Randbedingungen)
- ◆ Durchführen des Rechendurchgangs für alle Zeitschritte
- ◆ Konvertieren der Ergebnisdatei in einzelne Ganglinien
- ◆ Vergleich von gerechneten und gemessenen Ganglinien
- ◆ Analyse der Veränderungen und Übereinstimmungen (Kalibrationsende bei ausreichender Übereinstimmung)

Nach der Änderung von Kalibrationsparametern muss ein neuerlicher Rechenlauf über alle Zeitschritte durchgeführt werden. Die numerische Lösung der Differentialgleichungen ist zwar aufwendig, stellt aber mit der in den letzten Jahren enorm gesteigerten Rechenleistung der Computer, gegenüber den händischen Arbeitsschritten für die Ergebnisauswertung und Analyse nur mehr ein untergeordnetes Problem dar. Die genaue Diskretisierung der Modellgeometrie durch genügend kleine FE-Elemente, gesteigerte zeitliche Auflösungen, sowie eine große Anzahl von instationären

Randbedingungen und Materialwerten kann mittels am Markt verfügbarer Modellierungssoftware berücksichtigt werden. Aufwendig ist aber immer noch die Auswertung jedes einzelnen Kalibrationslaufes. Der direkte Vergleich von gerechneten und gemessenen Ganglinien innerhalb der Modellierungssoftware „FEFLOW“ ist leider derzeit noch nicht möglich. Bei der Auswertung wird zuerst die Ergebnisdatei der Simulation in Ganglinien konvertiert, danach die errechneten Ganglinien mittels eines speziellen Programms zum Vergleichen von gemessenen und gerechneten Ganglinien verglichen und bei Bedarf gedruckt (siehe Kapitel 3.5.2). Bei der praktischen Arbeit wird zusätzlich die vorletzte Simulation dargestellt, um die Auswirkungen der Veränderungen des letzten Simulationsschrittes beurteilen zu können. Nach der Analyse der Veränderungen zwischen den letzten Simulationen und der erreichten Verbesserung der Übereinstimmungen mit den Messwerten können die Parameterveränderungen für den nächsten Simulationsdurchgang festgelegt werden. Dabei werden ständig die Abweichungen zwischen Messung und Rechnung, alle zur Verfügung stehenden Informationen über lokale Beeinflussungen des Grundwassersystems und die Wirksamkeit der letzten Veränderungen berücksichtigt. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Erfahrungen über die Einflüsse von Parameteränderungen jeder Art auf die Form von Ganglinien. In speziellen Fällen werden für die Abschätzung von Parametereinflüssen auf die instationären Ergebnisse sogar synthetische, an die aktuelle Situation angenäherte, Detailmodelle erstellt (siehe auch FANK et al., 1998).

3.5.4.3 Kalibrationsparameter

Zu den Kalibrationsparametern gehören alle Daten, die in die instationäre Strömungsgleichung nach Darcy eingehen. Dies sind für ein instationäres Modell Grundwasserstauer, kf-Werte, entwässerbares Porenvolumen, Wasserentnahmen, Wasserzugaben, Einflüsse von Oberflächengewässern, Randzuflüsse und Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Parameter, die aufgrund von hydrogeologischen Untersuchungen, Messungen oder aus Abschätzungen mittels Spezialmodellen als verlässlich angenommen werden können, bleiben während der Kalibration unverändert. Für das Modell „Unteres Murtal“ wurden der Grundwasserstauer, die Grundwasserneubildung und die relevanten Wasserentnahmen als bestmöglich ermittelte und somit unveränderbare Parameter angesehen. Die kf-Werte wurden zwar aus der stationären Kalibration übernommen, wurden aber während der instationären Kalibration wieder leicht angepasst, weil sie im Zusammenhang mit Oberflächengewässern den Grundwasserspiegel beeinflussen und die Differenzierung dieser Parameter während der stationären Kalibration oft noch nicht möglich ist. Eventuelle Instationaritäten werden bei Stationärmodellen auch über die kf-Werte kompensiert. Das entwässerbare Porenvolumen ist eine rein instationäre Größe, ist aber im Untersuchungsgebiet für die Ausbildung der Gangliniendynamik im Verhältnis zu kf-Werten und Oberflächengewässereinflüssen nur von untergeordneter Bedeutung. Eine genauere Kalibration des entwässerbaren Porenvolumens ist deshalb ohne Großpumpversuche oder anderen relevanten Entnahmen nur schwer möglich. Die Definition von Randbedingungen an Vorflutern wird gewöhnlich nicht während der Kalibration

verändert. Im vorliegenden Modell gab es aber keine verlässlichen Ganglinien entlang der Mur, weshalb Abschätzungen aus unterschiedlichen Projektunterlagen erstellt wurden (siehe Kapitel 3.4.3). Aufgrund von Unsicherheiten in der absoluten Höhenlage der abgeschätzten Ganglinien wurden diese in Teilabschnitten während der Kalibration noch weiter verändert (siehe 3.5.5). Die Definition der Interaktion zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Gewässer, deren Sohle ständig über dem Grundwasserspiegel liegt, können als Zuflussganglinien an den Gewässerknoten realisiert werden, da sie ausnahmslos Wasser ans Grundwasser abgeben und die Wassermengen unabhängig vom Grundwasserspiegel sind. Gewässerabschnitte, deren Sohle zumindest zeitweise unter dem Grundwasserspiegel liegt, müssen mit dem sogenannten Leakage-Ansatz definiert werden. Bei diesem Ansatz wird die durch die Dichtschicht infiltrierende oder exfiltrierende Wassermenge gemäß Darcy-Gesetz proportional zur Differenz zwischen Wasserspiegellage im Oberflächengewässer und Grundwasserspiegel während jedes Iterationsschrittes ermittelt und im Gleichungssystem berücksichtigt. Als maximal wirkender Potentialunterschied gilt die Differenz zwischen Wasserspiegel im Oberflächengewässer und der Gewässersohle. Der Proportionalitätsfaktor wird als Leakage-Koeffizient bezeichnet und repräsentiert den Abdichtungsgrad und die Dicke der Abdichtungsschichte. Für Infiltration und Exfiltration sind grundsätzlich zwei unterschiedliche Leakage-Koeffizienten vorgesehen. Die Gewässerlänge und –breite wird je nach Modelltyp unterschiedlich berücksichtigt. Im zweidimensionalen Modell wird in „FEFLOW“ die Gewässerlänge aus der Entfernung benachbarter Knoten ermittelt, die Gewässerbreite geht als zusätzlicher Faktor in den Leakage-Koeffizienten ein. In „FEFLOW“ wird bei der Leakage-Definition die Gewässersohle nicht berücksichtigt. Um eine weitere Erhöhung der infiltrierenden Wassermenge nach Absinken des Grundwasserspiegels unter die Gewässersohle zu verhindern, muss in „FEFLOW“ mit einer sogenannten Gegenrandbedingung (Begrenzungsrandbedingung) gearbeitet werden. Diese ist die Ganglinie der maximal möglichen Infiltrationsmenge. In der Praxis ist diese aber sehr schwer exakt zu ermitteln, weil sie für jeden Modellknoten entlang des Gewässers unterschiedlich ist und aus den Leakage-Koeffizienten (aller angrenzender Elemente) für die Infiltration, der Entfernung zu den nächstgelegenen Knoten und der Gewässertiefe errechnet werden müsste. Bei notwendiger Änderung der Leakage-Koeffizienten während der Kalibration müssten alle betroffenen Ganglinien neu ermittelt werden. Dieses Softwaretechnische Problem führt in der Praxis zu erheblich höherem Aufwand für die Kalibration der Oberflächengewässereinflüsse. Höherer Aufwand für einzelne Kalibrationsschritte führen im gesamten Kalibartionsablauf zu einer geringeren Anzahl von Kalibrationsläufen in der für die Kalibration zur Verfügung stehenden Zeit. Dies führt letzten Endes zu geringeren Übereinstimmungen zwischen Messungen und Rechnung. Die Definition der Interaktion zwischen Oberflächen- und Grundwasser im Modell „Unteres Murtal“ ist im Detail in Kapitel 3.5.5 beschrieben.

3.5.5 Wichtigste Kalibrationsmaßnahmen

In diesem Kapitel sollen die wichtigsten Kalibrationsmaßnahmen angeführt und besprochen werden. Für die instationären Randbedingungen, wie Grundwasserspiegel am westlichen Talrand, Wasserspiegel und maximale Infiltration der Oberflächengewässer sowie Talrandzuflüsse müssen aus den vorhandenen Informationen eine Vielzahl von Ganglinien ermittelt werden. Bei allen zu schätzenden Ganglinien wurde darauf geachtet, diese nicht aus Differenzen zu den Messungen zu ermitteln, sondern stets aus Ganglinien abzuleiten, für welche längere Datenreihen mit guter Qualität existieren. Dies ermöglicht eine Übertragung des kalibrierten Modells auf nicht kalibrierte Zeiträume ohne eine Neukalibration durchzuführen. Für das Modell „Unteres Murtal“ lagen aber außer den Grundwasserganglinien kaum instationäre Ganglinien mit geeigneter Datendichte und längerer Beobachtungsdauer vor. Die Ganglinien der Pegel des hydrographischen Dienstes an der Mur wurden, wie bereits in Kapitel 3.4.3 besprochen, zur Schätzung der Wasserspiegel an der Mur herangezogen. Für die Vielzahl der das Grundwasser beeinflussenden Nebengewässer lagen nur Messungen am Pegel Lipsch (Schwarzaubach) und Pegel Fluttendorf (Gnasbach) vor. Die für das Projekt durchgeführten Aufzeichnungen über die Wasserspiegel von Nebengewässern und Mühlkanälen waren aufgrund ihrer geringen Datendichte und Beobachtungsdauer für die Verwendung als Ganglinien ungeeignet, jedoch als Zusatzinformation für die Schwankungen der Wasserspiegel von Bedeutung. Vergleiche der Ganglinien an Schwarzaubach und Gnasbach zeigen große Übereinstimmungen. Für die Schätzung der Ganglinien der restlichen Nebengewässer wurde davon ausgegangen, dass alle vom Norden zufließenden Gewässer sehr ähnliche Ganglinien aufweisen. Da die Ganglinie am Pegel Lipsch außerdem eine Datenlücke aufweist, wurden alle geschätzten Ganglinien von jener des Pegel Fluttendorf abgeleitet. Die Übertragung des kalibrierten Modells auf weitere Zeiträume sollte also grundsätzlich möglich sein, wenn die Messungen am Pegel Fluttendorf wie bisher durchgeführt werden.

In den folgenden Kapiteln sind die Maßnahmen zur Schätzung der für das Modell notwendigen Ganglinien besprochen. Die angeführten mathematischen Funktionen zur Erzeugung aller benötigten Ganglinien sollen die Nachvollziehbarkeit des Modells gewährleisten. Die Ganglinien werden über Nummern referenziert, die in ihrer Lage in den Kartenbeilagen ersichtlich sind.

3.5.5.1 Randbedingungen westlicher Modellrand

Als Randbedingungen für den westlichen Modellrand wurden bei den ersten Kalibrationsschritten noch die stationären Randbedingungen verwendet. Danach wurde versucht mittels des Grundwasserganges am Pegel 38456 für alle Knoten entlang des westlichen Modellrandes Grundwasserganglinien zu schätzen. Insgesamt wurden 9 unterschiedliche Ganglinien definiert. Drei unterschiedliche Schätzungen wurden im Laufe der Kalibrationsschritte entwickelt und eingesetzt. Die endgültig für das Modell verwendeten Ganglinien sind in der Höhenlage verschobene Ganglinien des Pegel 38456. Die Verschiebungswerte der einzelnen Ganglinien sind in Tab. 8 angeführt.

Tab. 8: Definition der Randbedingungen am westlichen Modellrand durch Verschiebung der Grundwasserstandsganglinie am Pegel 38456 um einen konstanten Betrag in Abhängigkeit von der Lage der Randknoten im Grundwasserfeld.

Ganglinie Nummer	Verschiebung von Ganglinie 38456
1	-0.47
2	-0.30
3	-0.18
4	0.00
5	0.40
6	0.60
7	0.80
8	1.10
9	1.30

3.5.5.2 Randbedingungen entlang der Mur

Die Randbedingungen entlang der Mur wurden als sogenannte „fixe Höhen“ entlang der Mur realisiert. Die Grundwasserspiegel am Modellrand entsprechen dabei den Wasserspiegeln der Mur. Mittels der Durchflussganglinie am Pegel Spielfeld und vorhandenen Wasserspiegel/Durchflussbeziehungen wurden für zirka 90 Profile entlang der Modellgrenze Wasserspiegelganglinien für den gesamten Modellierungszeitraum (1.1.93 bis 31.12.95) ermittelt (siehe Kapitel 3.4.3.3). Mittels bereits in der Modellierungssoftware integrierten Interpolationsfunktionen wurden aus diesen Ganglinien in den Profilen für jeden Modellknoten entlang der Mur Wasserspiegelganglinien interpoliert. Im Verlauf der Kalibration wurden Teilbereiche in ihrer absoluten Höhe verschoben, um an allen Pegeln in Murnähe gute Übereinstimmungen zwischen Messungen und Simulation zu erhalten. Insgesamt wurden vier Varianten von Wasserspiegelganglinien generiert und im Verlauf der Kalibration verwendet. Die vierte Variante ist im endgültig kalibrierten Modell eingesetzt. Die ersten drei sind nur als Zwischenvarianten für einzelne Kalibrationsschritte von Bedeutung. Die Höhenverschiebungen der einzelnen Varianten sind in Tab. 9 enthalten.

Tab. 9: Definition der Randbedingungen entlang der Mur durch Verschiebung der aus den Q/H Beziehung der Regulierungsprofile ermittelten Wasserspiegellagen an den einzelnen Mur-Querprofilen.

Profil	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Summe
13 aus 16	1.20	-0.50	-0.70	0.00
14 aus 16	0.60	-0.40	-0.60	-0.40
15 aus 16	0.00	-0.30	-0.50	-0.80
16	-0.60	-0.20	-0.30	-1.10
17	-0.80	-0.10	-0.10	-1.00
18	-1.20			-1.20
20	-1.40			-1.40
22	-0.40			-0.40
23	-0.40			-0.40
25	-0.20			-0.20
26	-0.20			-0.20
27				0.00
28				0.00

29				0.00
31				0.00
32				0.00
33				0.00
34				0.00
35				0.00
36	0.20			0.20
37	0.20			0.20
38	0.30			0.30
39	0.40			0.40
40	0.40			0.40
41	0.40			0.40
42	0.50			0.50
43	0.60			0.60
44	0.60			0.60
45	0.50			0.50
46	0.40			0.40
47	0.40			0.40
48	0.20			0.20
49				0.00
50				0.00
53	-0.20			-0.20
54	-0.20			-0.20
55	-0.40			-0.40
56	-0.60			-0.60
58	-0.80			-0.80
59	-0.60			-0.60
60	-0.60			-0.60
61	-0.60			-0.60
62	-0.60			-0.60
63	-0.50			-0.50
64	-0.50			-0.50
65	-0.50			-0.50
67	-0.50			-0.50
70	-0.50			-0.50
71	-0.60			-0.60
74	-0.50			-0.50
75	-0.40			-0.40
77	-0.30			-0.30
79	-0.30			-0.30
80	-0.30			-0.30
81	-0.30			-0.30
82	-0.30			-0.30
84	-0.20			-0.20
86	-0.10			-0.10
87				0.00
88				0.00
89				0.00
90				0.00
91				0.00
92				0.00
93				0.00
94				0.00

95				0.00
96				0.00
97				0.00
98				0.00
99				0.00
100				0.00
101	-0.20			-0.20
102	-0.20			-0.20
104	-0.20			-0.20
105	-0.20			-0.20
106	-0.20			-0.20
107	-0.20			-0.20
108	-0.20			-0.20
109	-0.20			-0.20

3.5.5.3 Realisierung der Nebengewässereinflüsse

Die Interaktion zwischen Grundwasser und den zahlreichen Nebengewässern wurde auf unterschiedliche Weise realisiert. Bei der Realisierung wurde zwischen Gewässerabschnitten deren Sohle ständig über dem Grundwasserspiegel liegt und Gewässerabschnitten deren Sohle zumindest zeitweise tiefer als der Grundwasserspiegel liegt unterschieden. Bei Gewässerabschnitten, die ständig über dem Grundwasser liegen, ist die infiltrierende Wassermenge nicht von der aktuellen Grundwasserspiegelhöhe abhängig. Solche Gewässerabschnitte können durch die Definition von Zuflussganglinien an den Gewässern liegenden Modellknoten realisiert werden. Aufwendiger ist die Definition der Interaktion zwischen Nebengewässer und Grundwasser in Abschnitten deren Infiltrationsmenge von im Zeitschritt aktuellen Grundwasserspiegel abhängig ist. Diese Gewässerabschnitte müssen über die sogenannte Leakage-Methode modelliert werden. Für die Realisierung der Leakage-Methode ist in „FEFLOW“ die Definition der Wasserspiegelganglinie in jedem Modellknoten entlang des Gewässers sowie die Angabe der Leakage-Koeffizienten für Infiltration und Exfiltration notwendig. Für Gewässerabschnitte in denen zumindest zeitweise der Grundwasserspiegel unter die Gewässersohle absinkt muss zusätzlich eine Ganglinie zur Beschränkung der maximalen Infiltrationsmenge definiert werden.

Für die Modellierung standen aber nur Schreibpegelaufzeichnungen für den Schwarzaubach und den Gnasbach zur Verfügung. Aus diesen Aufzeichnungen mussten nun mittels zusätzlicher Unterlagen über die restlichen Nebengewässer die notwendigen Wasserspiegelganglinien und Infiltrationsganglinien über den Kalibrationsprozess abgeschätzt werden. Ein Vergleich zwischen den Schreibpegelaufzeichnungen am Pegel Lipsch (Schwarzaubach) und Pegel Flutendorf(Gnasbach) zeigte nur geringe Unterschiede in der Gewässerdynamik. Es wurde davon ausgegangen, dass der Großteil der Nebengewässer dieselbe Dynamik aufweisen. Da die Aufzeichnungen am Pegel Lipsch für 1993 eine Datenlücke aufweisen, wurde für die Schätzung der für das Modell notwendigen Wasserspiegelganglinien ausschließlich die Aufzeichnungen des Pegel Flutendorf verwendet. Für alle weiteren Schätzungen von Wasserspiegel- und Infiltrationsganglinien wurde aus der Wasserspiegelganglinie am Pegel Flutendorf eine Ausgangsganglinie erzeugt (Wasserspiegel

abzüglich 1.27 m). Die 1.27 m entsprechen dabei dem Minimum von 1993 (Niederwasserzustand). Die Wasserspiegelganglinien an den Modellknoten entlang des Pegel Gnasbach sind dann jeweils um den Niederwasserspiegel, wie bereits im Stationärmodell verwendet, verschoben. Für die restlichen Nebengewässer wurden entsprechend der zusätzlichen Aufzeichnungen Faktoren für die Schwankungsbreite der Wasserspiegel geschätzt und damit jeweils eigene Ausgangsganglinien ermittelt. Die Faktoren für die einzelnen Gewässer sind in Tab. 10 dargestellt. Die Verschiebung der geschätzten Wasserspiegelganglinien für die einzelnen Nebengewässer sind in Tab. 11 bis Tab. 15 dargestellt. Die Gangliniennummer entspricht dabei der in „FEFLOW“ verwendeten Identifikationsnummer der Ganglinie, ihre Lage ist in Beilage 7 dargestellt.

Tab. 10: Geschätzte Faktoren für die Gewässerdynamik

Gewässer	Faktor
Wiesenbach	-
Schwarzaubach	1.0
Saßbach	1.0
Drauschenbach	1.0
Kutschenitza	0.5

Tab. 11: Ganglinienverschiebungen Wiesenbach

Ganglinie Nr	Verschiebung
253	244.0
254	244.5
255	245.0
256	245.5

Tab. 12: Ganglinienverschiebungen Schwarzaubach

Ganglinie Nr	Verschiebung
301	236.1
302	236.3
303	236.7
304	237.1
305	237.4
306	237.7
307	238.6
308	239.1
309	239.6
310	240.0
311	240.5
312	241.0
313	241.5
314	242.0
315	242.5
316	243.0

Tab. 13: Ganglinienverschiebungen Saßbach

Ganglinie Nr	Verschiebung
401	224.8
402	225.2
403	225.4
404	225.8
405	226.0
406	227.1
407	227.6
408	229.5
409	230.4
410	230.8
411	231.2
412	232.6
413	233.6
414	233.7
415	234.3
416	235.1
417	235.5

Tab. 14: *Ganglinienverschiebungen Drauchenbach*

Ganglinie Nr	Verschiebung
601	200.0
602	200.5
603	201.0
604	201.5
605	202.0
606	202.5
607	203.0
608	203.5
609	204.0
610	204.5
611	205.0
612	205.5
613	206.0
614	206.5
615	207.0
616	207.5
617	208.0
618	208.5
619	209.0
620	209.5
621	210.0
622	210.5
623	211.0
624	211.5
625	212.0
626	212.5
627	213.0

Tab. 15: *Ganglinienverschiebungen Kutschenitza*

Ganglinie Nr	Verschiebung
651	196.5
652	197.0
653	197.5
654	198.0
655	198.5
656	199.0
657	199.5
658	200.0
659	200.5
660	201.0
661	201.5
662	202.0
663	202.5
664	203.0
665	203.5
666	204.0
667	204.5
668	205.0
669	205.5
670	206.0

Für jene Gewässerabschnitte, die vollständig über dem Grundwasserspiegel liegen, wurden entsprechende Zuflussganglinien geschätzt. Die Schätzungen gehen für alle Nebengewässer von der Ausgangsganglinie des Gnasbaches aus. Für die Kalibration wurden aus der Ausgangsganglinie unterschiedliche Datenreihen erzeugt und als Infiltrationsganglinien oder Randzuflüsse verwendet. Nicht alle Ganglinien sind im endgültig kalibrierten Modell enthalten. Eine Übersicht über die einzelnen Ganglinien ist in Tab. 16 enthalten, ihre Lage ist in Beilage 7 dargestellt. Die Variable „A“ in den angegebenen Funktionen bedeutet die Ausgangsganglinie, abgeleitet von der gemessenen Ganglinie am Pegel Gnasbach.

Tab. 16: Übersicht zur Berechnung der Infiltrations- und Zuflussganglinien

Ganglinie Nr	Funktion	Niederwasserinfiltration
2101	$Q = (A*100+20)*0.1$	Groß
2102	$Q = (A*100+20)*0.2$	Groß
2104	$Q = (A*100+20)*0.4$	Groß
2105	$Q = (A*100+20)*0.5$	Groß
2108	$Q = (A*100+20)*0.8$	groß
2110	$Q = (A*100+20)*1.0$	groß
2115	$Q = (A*100+20)*1.5$	groß
2120	$Q = (A*100+20)*2.0$	groß
2130	$Q = (A*100+20)*3.0$	groß
2140	$Q = (A*100+20)*4.0$	groß
2150	$Q = (A*100+20)*5.0$	groß
2205	$Q = (A*100+1)*0.5$	mittel
2210	$Q = (A*100+1)*1.0$	mittel
2220	$Q = (A*100+1)*2.0$	mittel
2230	$Q = (A*100+1)*3.0$	mittel
2240	$Q = (A*100+1)*4.0$	mittel

2250	$Q = (A*100+1)*5.0$	mittel
2260	$Q = (A*100+1)*6.0$	mittel
2270	$Q = (A*100+1)*7.0$	mittel
2280	$Q = (A*100+1)*8.0$	mittel
2290	$Q = (A*100+1)*9.0$	mittel
2305	$Q = \max((A-0.15),0)*100*0.5$	klein
2310	$Q = \max((A-0.15),0)*100*1.0$	klein
2320	$Q = \max((A-0.15),0)*100*2.0$	klein
2330	$Q = \max((A-0.15),0)*100*3.0$	klein
2340	$Q = \max((A-0.15),0)*100*4.0$	klein
2350	$Q = \max((A-0.15),0)*100*5.0$	klein
2360	$Q = \max((A-0.15),0)*100*6.0$	klein
2370	$Q = \max((A-0.15),0)*100*7.0$	klein
2380	$Q = \max((A-0.15),0)*100*8.0$	klein
2390	$Q = \max((A-0.15),0)*100*9.0$	klein

3.5.5.4 Berücksichtigung der Mühlkanaleinflüsse

Für den Mühlkanal von Straß bis Weitersfeld standen keine Unterlagen über den Verlauf der Sohle und des Wasserspiegels zur Verfügung. Über den Wasserspiegel standen nur die eigens für das Projekt gemessenen wöchentlichen Werte (Wisiak, Grieß und Lichendorf) zur Verfügung. Die wöchentlichen Werte sind aber nicht für die Abschätzung der Wasserspiegeldynamik geeignet. Die Dynamik des Abflusses in den Mühlgängen ist im Vergleich zu den Nebengewässerabflüssen sehr unterschiedlich. Aus diesen Gründen war es nicht möglich die Mühlkanäle instationär zu definieren. Die stationär definierten Werte für den Wasserspiegel wurde durch Aufteilung zwischen den Niederwasserwerten an den drei Messpunkten geschätzt und zum Teil während der Kalibration den hydraulischen Anforderungen angepasst.

Für den Mühlkanal von Mureck bis Radkersburg standen die Unterlagen einer Studie über die Abflusserüchtigung des Mühlkanals (ZACH R., 1998) zur Verfügung. Weder die Lage der Querprofile, noch die Höhen der Sohle oder des Wasserspiegels standen digital zur Verfügung. Die Digitalisierung der großen Anzahl von Detailplänen war für das Projekt nicht geplant und zu aufwendig. Deshalb wurden einzelne Wasserspiegel an charakteristischen Punkten in das Modell übernommen und dazwischen manuell interpoliert. Die Schätzung der Wasserspiegeldynamik aus den vorhandenen Messdaten war auch für diesen Mühlkanal nicht möglich. Die Realisierung beider Mühlkanäle konnte also nur mittels eines stationären Ansatzes erfolgen. Einige der Differenzen zwischen den gemessenen und gerechneten Ganglinien an den Pegeln in der Nähe der Mühlkanäle können auf dieses Problem zurückgeführt werden.

3.5.5.5 Kf-Werte, Porenvolumina, Entnahmen

Während der instationären Kalibration wurden die bereits stationär kalibrierten kf-Werte wieder leicht nachkalibriert. Der Grund hierfür ist, dass der Grundwasserspiegel in einem gewissen Gebiet sich aus den kf-Werten und den Oberflächengewässereinflüssen zusammensetzt. Speziell bei der stationären Kalibration führen deshalb unterschiedliche Kombinationen von Parametern zu den gleichen

Ergebnissen in den Kontrollpegeln. In einem Instationärmodell entsteht durch die Einbeziehung des Wasservolumens im Aquifer (Porenvolumen) und seine Verlagerungsgeschwindigkeit eine zusätzliche Plausibilitätskontrolle, die sich in der spezifischen Ganglinienform in den Kontrollpegeln widerspiegelt. Diese führt letzten Endes zu einer neuen Parameterverteilung zwischen kf-Werten und Oberflächengewässereinflüssen. Die kf-Werte aus der instationären Kalibration sind jenen der stationären Kalibration vorzuziehen. Die Anwendung der kf-Werte auf das Stationärmodell bedarf einer Neukalibration der Parameter für die Oberflächengewässereinflüsse.

Die Porenvolumina spielen für den komplexen Vorgang der instationären Kalibration (zumindest in einem regionalen Modell wie diesem) nur eine untergeordnete Rolle, da die Auswirkungen unterschiedlicher Porenvolumina auf das Gesamtergebnis gegenüber den kf-Werten und Oberflächengewässereinflüssen klein sind.

Die Entnahmen wurden aus dem Stationärmodell übernommen und auch im Instationärmodell als stationär angenommen, da für keine der wesentlichen Entnahmen instationäre Aufzeichnungen der Entnahmemengen für den gesamten Modellierungszeitraum zur Verfügung standen. Dies könnte in der Nähe der Entnahmebrunnen zu Differenzen zwischen Rechnung und Messung führen, ist aber nur schwer von den Einflüssen der Oberflächengewässer zu unterscheiden.

3.5.6 Software-Werkzeuge zur Unterstützung der instationären Kalibration

Für die Bearbeitung und Konvertierung von Zeitreihendaten, Daten der Grundwasserneubildung und der Auswertung der Modellierungsergebnisse wurden in die GIS-Software „MORPH“ zusätzliche Softwarefunktionen integriert um die große Anzahl unterschiedlicher, teilweise komplexer Daten, bearbeiten und im für „FEFLOW“ benötigten Format bereitstellen zu können.

3.5.6.1 Bearbeitung und Konvertierung von instationären Randbedingungen (Zeitreihen)

Bei der instationären Kalibration wurden zirka 300 Zeitreihen für die Definition der instationären Randbedingungen verwendet. Ein Großteil dieser Zeitreihen musste aus vorhandenen, teilweise gemessenen, Ganglinien generiert (als mathematische Funktion abgeleitet) werden. Für diese Zwecke wurde ein Softwaremodul für „Ganglinien Mathematik“ erstellt, das über unterschiedliche mathematische Funktionen Ganglinien aus ein oder zwei Ausgangsganglinien errechnet.

Folgende Funktionen wurden realisiert:

- Ergebnisganglinie = Formel (Ausgangsganglinie)
- Ergebnisganglinie = Formel (Ausgangsganglinie A, Ausgangsganglinie B)
- Ergebnisganglinie = Minimum (Ausgangsganglinie A, Ausgangsganglinie B)
- Ergebnisganglinie = Maximum (Ausgangsganglinie A, Ausgangsganglinie B)
- Ergebnisganglinie = Minimum (Ausgangsganglinie A, konstanter Wert)
- Ergebnisganglinie = Maximum (Ausgangsganglinie A, konstanter Wert)

Unter Formel ist ein beliebig zusammengesetzter mathematischer Ausdruck inklusive der mathematischen Standardfunktionen (sin, cos, tan, cot, abs, sqrt, exp, ln, log, arcsin usw.) zu verstehen. Für die Generierung der Wasserspiegelganglinien entlang der Mur über die ermittelte Pegelschlüsselfunktion und der Durchflussganglinie wurde eine weitere Softwarefunktion erstellt. Mittels dieser Funktion können in einem Schritt alle Wasserspiegelganglinien entlang eines Gewässers generiert werden, für welche die selbe Durchflussganglinie gültig ist. Die Ganglinienidentifikation und die zugehörigen Funktionsparameter werden dabei aus einer ASCII-Datei gelesen. In der Modellierungssoftware „FEFLOW“ werden die Ganglinien für die Verwendung als instationäre Randbedingungen in einem speziellen Format benötigt, wobei die Zeitangabe bei 0.0 (Berechnungsbeginn) beginnt und die Zeiteinheit ein Tag ist. Die erstellte Konvertierfunktion erlaubt in einem Schritt eine große Anzahl von Ganglinien in eine Gesamtdatei zu konvertieren, die mit „FEFLOW“ dann in einem Schritt eingelesen werden kann.

3.5.6.2 Konvertierung der Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung wurde als geographischer Datensatz in „MORPH“ aufbereitet. Den Polygonen der Grundwasserneubildung ist dabei der Name der Zeitreihe der entsprechenden Neubildung als Attribut zugeordnet. „FEFLOW“ benötigt für die Definition der instationären Grundwasserneubildung eine Datei mit den Polygonen, eine Datei mit den Ganglinien und eine weitere Datei mit der Zuweisungstabelle zwischen Polygon und Neubildungsganglinie. In „MORPH“ wurde eine spezielle Programmfunktion integriert, in welcher die „GIS_Folie“ mit den Flächen der Neubildung, die Zeitreihendateien der unterschiedlichen Grundwasserneubildungen, sowie der Beginn und das Ende des Berechnungszeitraumes in einem Dialog gewählt werden können. In einem Schritt wird dabei ein konsistenter Datensatz, bestehend aus allen drei benötigten Dateien, erstellt und kann in „FEFLOW“ in einem Arbeitsgang eingelesen werden. In „FEFLOW“ wird jedem FE-Element eine der Grundwasserneubildungsganglinien zugewiesen.

3.5.6.3 Konvertierung der Modellergebnisse in Ganglinien

Als Berechnungsergebnis wird von „FEFLOW“ eine formatierte Ausgabedatei erzeugt. In dieser werden für alle definierten Beobachtungspunkte nach jeder Berechnung eines Zeitschrittes die Ergebniswasserspiegel gespeichert. Für den Vergleich der gemessenen und berechneten Wasserspiegelganglinien existiert in „FEFLOW“ keine Funktion. Deshalb müssen die gerechneten Ganglinien aus der Ergebnisdatei durch eine Konvertierfunktion erzeugt werden, die in „MORPH“ implementiert wurde. Mittels dieser Funktion werden für alle Beobachtungspunkte die berechneten Ganglinien aus der Ergebnisdatei erzeugt und in einem Format abgespeichert, für welches Zeitreihenvergleichsprogramme existieren. Bei der Konvertierung werden die in „FEFLOW“ verwendeten relativen Zeiten (Tage seit Berechnungsbeginn) in ein echtes Datum umgewandelt, um danach direkt mit gemessenen Ganglinien vergleichbar zu sein.

3.5.7 Kalibrationsfortschritt anhand ausgewählter Beispiele

Insgesamt wurden 48 instationäre Kalibrationszyklen durchgeführt (Definition der Parameter, Lösung des Gleichungssystems über 1095 Zeitschritte, Konvertierung der Ergebnisse, einzelner Vergleich von Messung, Rechnung und Veränderung zum vorletzten Kalibrationsergebnis, Analyse der Veränderungen und Planung erneuter Parameteränderungen). Anhand ausgewählter Beispiele soll der Kalibrationsfortschritt inklusive der wichtigsten Kalibrationsmaßnahmen an charakteristischen Pegeln demonstriert werden. Erklärungen über die für die Kalibration wichtigsten Parameteränderungen sollen einen Eindruck vom komplexen Problem der instationären Kalibration vermitteln. Die dafür ausgewählten Pegel repräsentieren sowohl unterschiedliche Modellbereiche als auch unterschiedliche dominierende hydraulische Einflüsse. In den Beispielabbildungen sind für den jeweiligen Pegel die gemessene Ganglinie und die Kalibrationsergebnisse einiger wichtiger Kalibrationsschritte dargestellt. Bis einschließlich der Kalibrationsvariante V36 wurde die Kalibration für den Zeitraum 30.8.1993 bis 31.12.1994 durchgeführt. Variante V37 bis V41 wurde für den Zeitraum 30.8.1993 bis 31.12.1995 kalibriert. Ab Variante V42 wurde die Kalibration für den gesamten Kalibrationszeitraum von 1.1.1993 bis 31.12.1995 durchgeführt.

Abb. 29 zeigt den Kalibrationsfortschritt am Pegel 3845. Kalibrationsvariante V03 zeigt die erste gültige Kalibrationsrechnung ausgehend vom Stationärzustand von 1995 (mittlerer Grundwasserstand). Das Ergebnis der Variante V03 zeigt praktisch noch keine Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung. Weder Grundwasserspiegelhöhe noch die Grundwasserdynamik weisen Gemeinsamkeiten auf. Variante V11 wurde aus dem Stationärzustand von 1993 (niedriger Grundwasserstand) erstellt. Diese Variante zeigt bereits eine gewisse Ähnlichkeit mit der Dynamik der gemessenen Ganglinie, ist aber insgesamt noch zu niedrig. In Variante V15 wurde die stationäre Randbedingung am westlichen Modellrand durch eine instationäre Randbedingung ersetzt. Diese Variante zeigt im wesentlichen bereits die gemessene Grundwasserdynamik. Die Ganglinie ist aber insgesamt noch zu hoch. Die genauere Analyse der Differenzen zwischen Rechnung und Messung an diesem Pegel zeigte, dass die gemessene Ganglinie zwischen April und November 1993 den tatsächlichen Verlauf des Grundwassers nicht wiedergibt. Der Grundwasserspiegel an diesem Pegel ist offensichtlich nicht tief genug. Nach kleineren Änderungen der k_f -Werte und Oberflächengewässereinflüsse im Pegelbereich zeigt Variante V42 erstmals das Kalibrationsergebnis über den gesamten Zeitraum. Bei dieser Variante stimmen sowohl Höhenlage als auch Grundwasserdynamik schon sehr gut überein. Das Auslaufen des Grundwassers zu Beginn der Trockenperiode von 1993 erfolgt aber noch zu rasch. Bei Variante V43 wurden die Randbedingungen am westlichen Modellrand weiter verändert. Variante V48 zeigt dann die endgültige Kalibration.

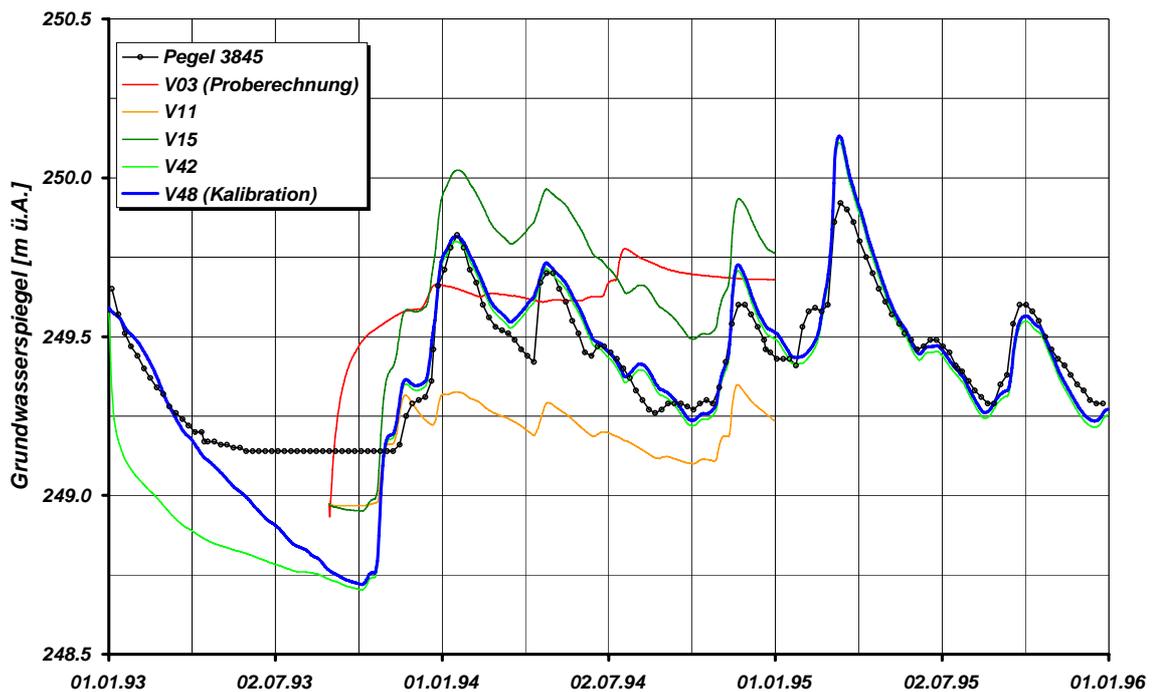


Abb. 29: Kalibrationsfortschritt am Pegel 3845

Am Pegel 3847 (Abb. 30) in der Nähe der Mur waren die entscheidenden Kalibrationsschritte die Veränderungen der Randbedingungen entlang der Mur, sowie kleinere Veränderungen der kf-Werte.

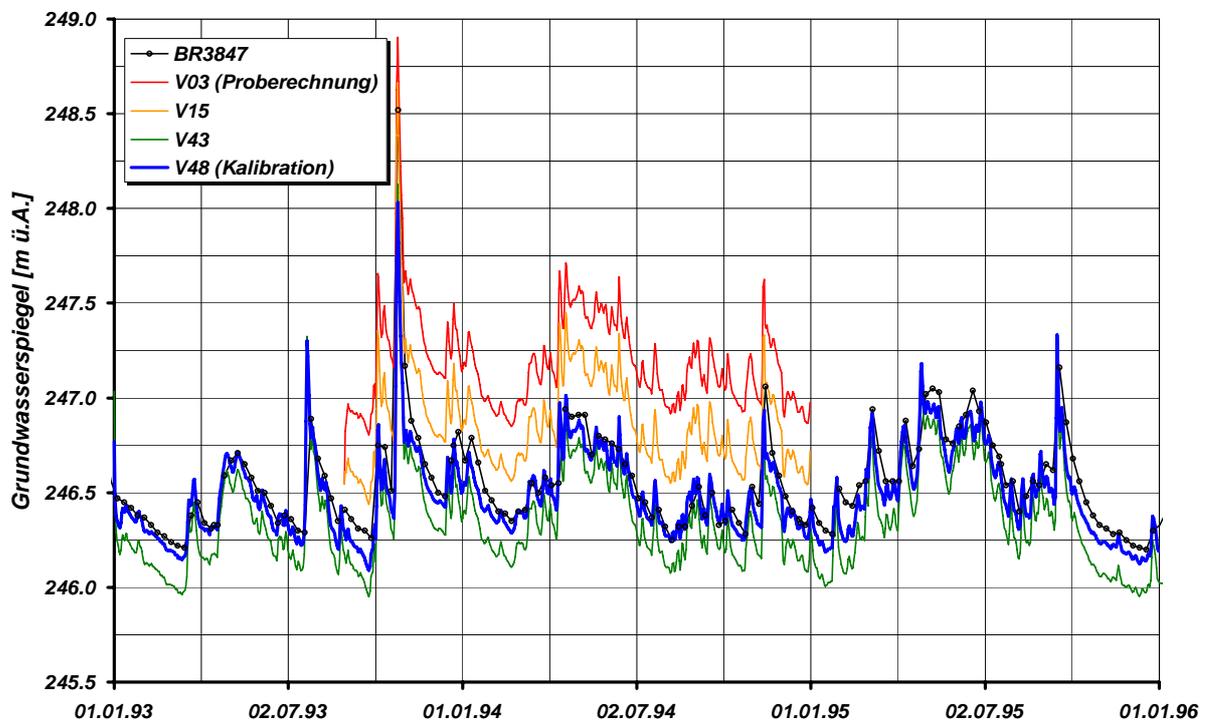


Abb. 30: Kalibrationsfortschritt am Pegel 3847

V03 zeigt den eigentlichen Beginn der instationären Kalibration, ausgehend vom Stationäruzustand bei mittlerem Grundwasserspiegel (1995). Bei V15 war der Ausgangszustand der Stationäruzustand bei

Niederwasser (1993). Außerdem wurde bereits die Variante 2 der Randbedingungen entlang der Mur realisiert (siehe Tab. 9). Beide Varianten weisen eine gute Übereinstimmung der Gangliniendynamik mit der gemessenen Ganglinie auf, liegen aber noch zu hoch. Bis Variante V43 wurden kf-Werte im murnahen Bereich sowie die Murrandbedingungen geändert. In Variante V43 wurde die Variante 4 der Randbedingungen entlang der Mur realisiert. Durch vorausgegangene Änderungen der kf-Werte war nun die errechnete Ganglinie etwas zu niedrig, die kf-Werte im murnahen Bereich mussten wieder zum Teil rückkorrigiert werden. Variante V48 zeigt dann die entgültige Kalibration am Pegel.

Pegel 38553 (Abb. 31) liegt zwischen Autobahn und Linderbach im Grundwasserfeld. Für diesen Pegel sind sowohl die Randzuflüsse an den Modellrändern als auch die Infiltration aus dem Linderbach von entscheidender Bedeutung.

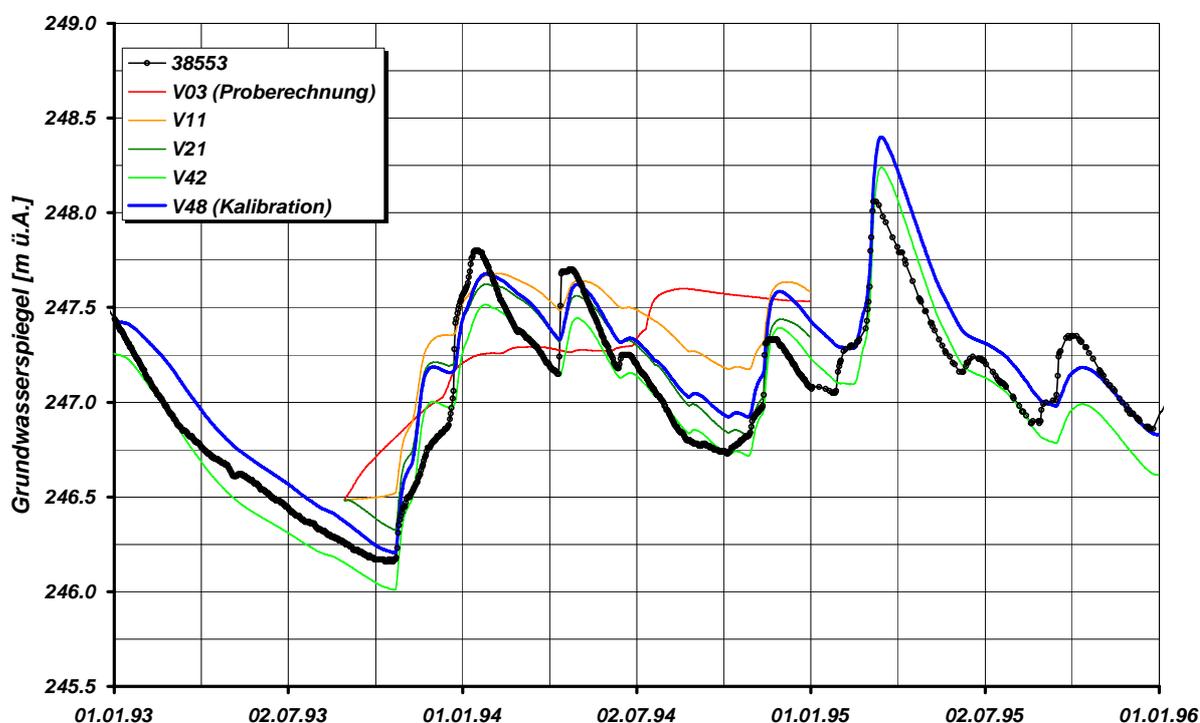


Abb. 31: Kalibrationsfortschritt am Pegel 38553

Variante V03 und V11 zeigen wieder die Umsetzung der Ausgangszustände bei mittlerem und niedrigem Grundwasserspiegel. Wie bereits bei Pegel 3845 ist zu beobachten, dass die Umsetzung des mittleren Grundwassers aus dem Stationärzustand zu einer gänzlich falschen Grundwasserdynamik führt. Für die Modellierung bedeutet dies, dass die stationäre Kalibration von mittleren Grundwasserspiegellagen wegen des Auftretens von größeren Instationaritäten in diesem Modellgebiet nicht zulässig ist. Variante V11 zeigt im Gegensatz zu V03 eine große Ähnlichkeit mit der Dynamik der gemessenen Ganglinie. Bis Variante V21 wurden sowohl die Randbedingungen am westlichen Modellrand, als auch die Talrandzuflüsse und Einflüsse des Linderbachs von den konstanten stationären Werten des Ausgangszustandes in instationäre Randbedingungen übergeführt. Dadurch konnte die Anpassung der Grundwasserdynamik weiter verbessert werden. Die

Definition der Einflüsse von Mühlkanal, geringe Anpassungen der kf-Werte, sowie weitere Anpassungen der Talrandzuflüsse und Gewässereinflüsse ergaben die Ganglinie in Variante V42. In Variante V48 ist die entgültige Kalibration dargestellt.

Pegel 38775 (Abb. 32) liegt in Prillinghof in der Nähe des Kirchgrabenbaches. Die Kalibrationsvarianten V03 und V11 zeigen die Ausgangsvarianten für mittleres und niedriges Grundwasser. Die Ganglinie von Variante V03 ist gänzlich unterschiedlich zur Messung. Es ist daher zu vermuten, dass die Grundwasserdynamik in diesem Gebiet von starken instationären Gewässer- sowie Talrandeinflüssen dominiert ist. Bis Variante V26 sind bereits einige instationäre Kalibrationsmaßnahmen mit Änderungen der Talrandzuflüsse und Gewässerinteraktionen durchgeführt worden. Die errechnete Ganglinie entspricht in etwa schon der gemessenen Ganglinie. Variante V48 zeigt dann die endgültige Kalibration am Pegel. Die verbleibenden Abweichungen konnten mittels der vorhandenen Informationen nicht mehr verkleinert werden.

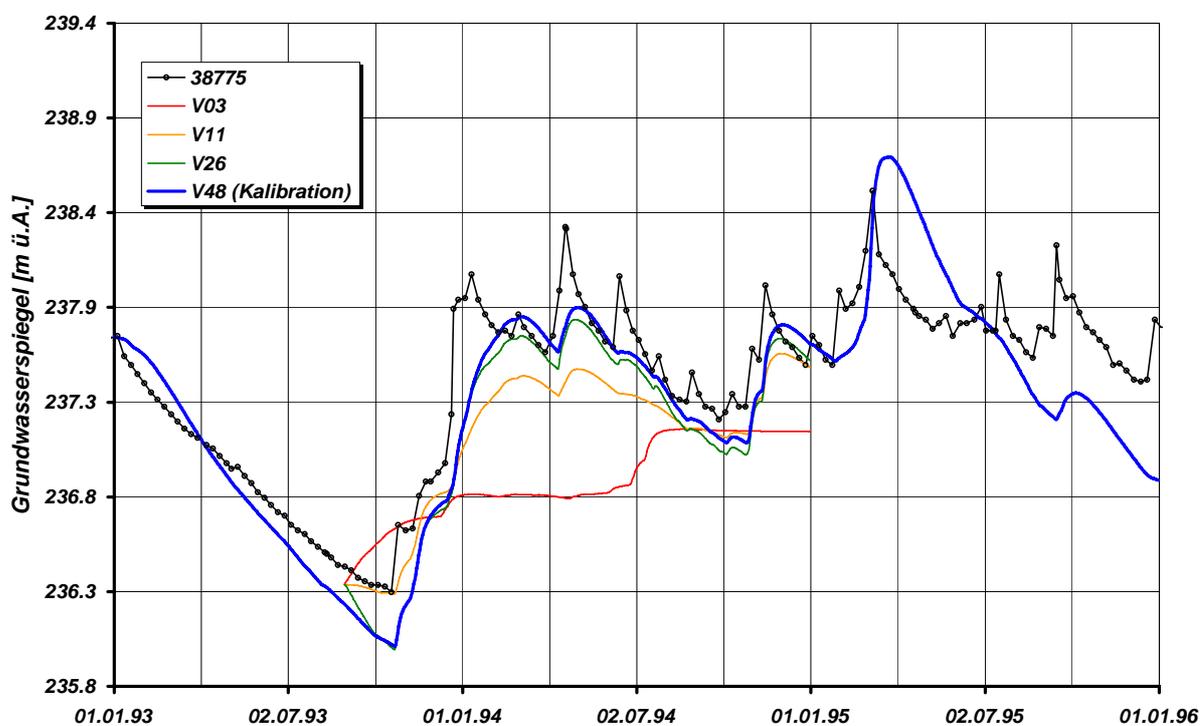


Abb. 32: Kalibrationsfortschritt am Pegel 38775

Am Pegel 3903 (Abb. 33) ist der Grundwassergang noch stark vom Gang der Murwasserspiegel beeinflusst. Deshalb ist für diesen Pegel die Kalibration der Randbedingungen entlang der Mur im Flussabschnitt des Pegelbereiches von besonderer Bedeutung. Die Ausgangsvarianten V03 und V11 zeigen einen deutlich höheren Grundwasserspiegel als die Messungen. Die Dynamik in Variante V03 entspricht aber bereits in etwa der Dynamik der gemessenen Ganglinie. Das bedeutet geringe Einflüsse der Nebengewässer. Nach der ersten Änderung der Randbedingung an der Mur ist in Variante V15 zu sehen, dass die Annäherung zur gemessenen Ganglinien bereits recht gut ist. Die errechnete Ganglinie liegt aber im Vergleich zur gemessenen noch etwas zu niedrig. Durch die

weiteren Änderungen der Randbedingungen entlang der Mur konnte bis zur endgültigen Kalibration in Variante V48 noch eine deutliche Verbesserung der Übereinstimmung erzielt werden. Die Abschätzungen der Randbedingungen an der Mur können für diesen Bereich als zuverlässig angenommen werden.

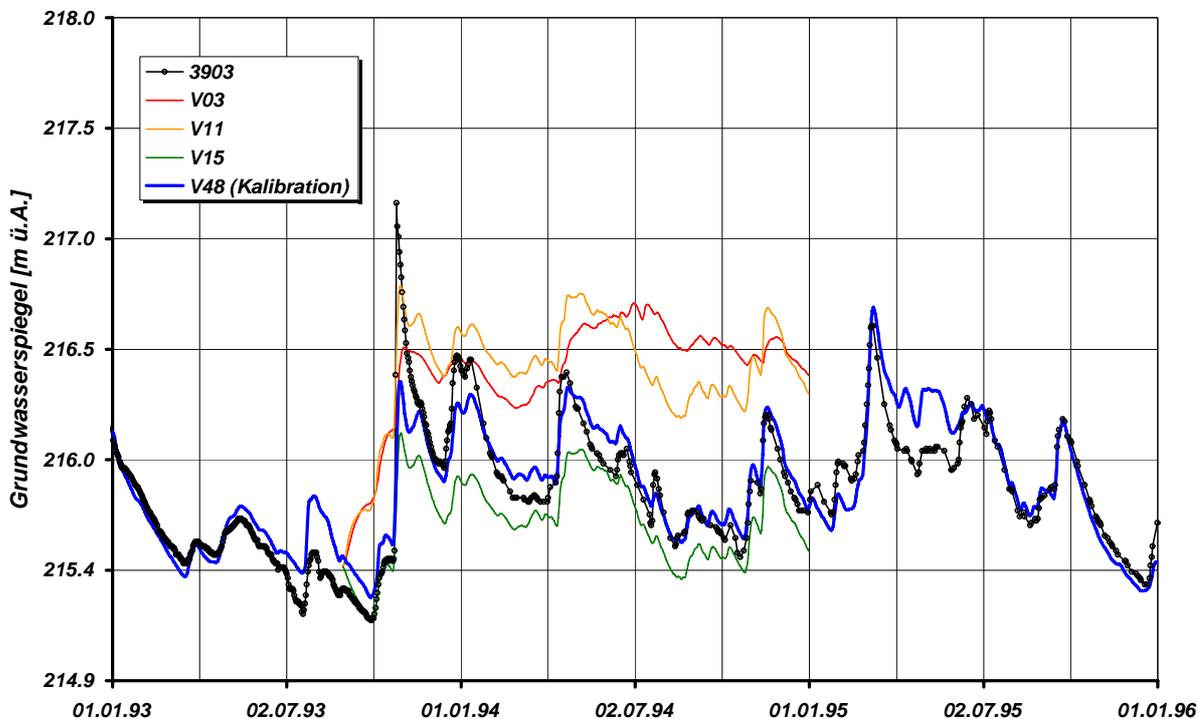


Abb. 33: Kalibrationsfortschritt am Pegel 3903

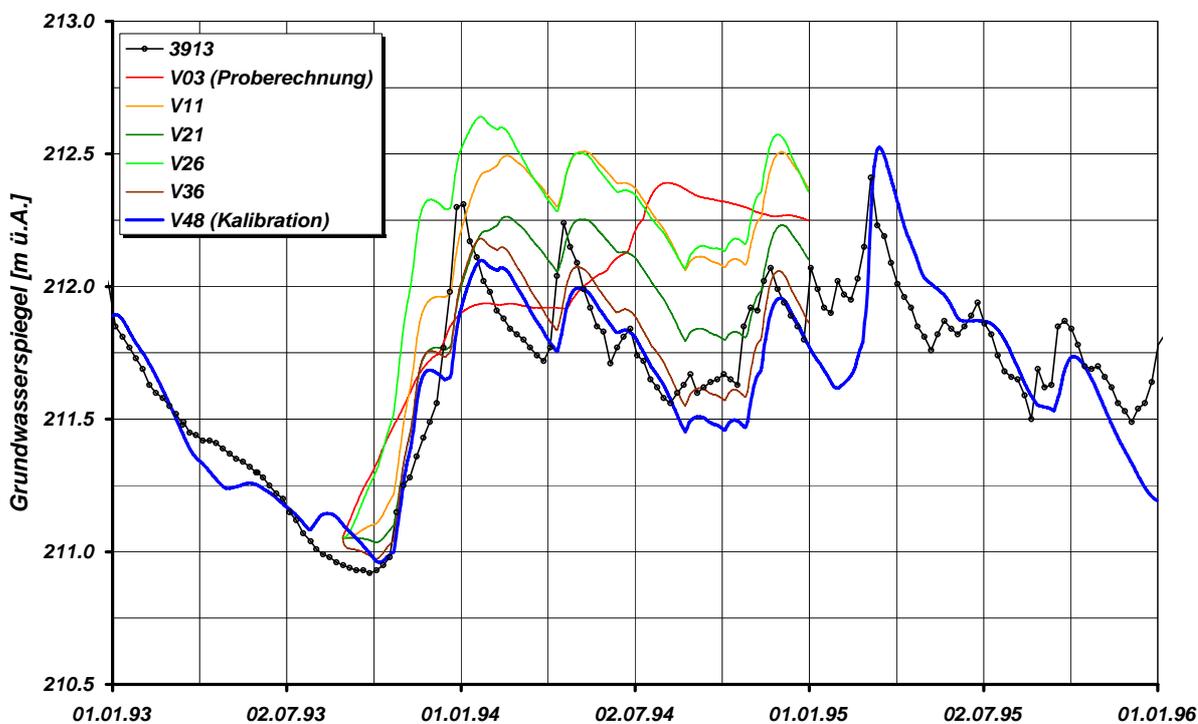


Abb. 34: Kalibrationsfortschritt am Pegel 3913

Pegel 3913 (Abb. 34) liegt in der Nähe von Hummersdorf mitten im Grundwasserfeld. In seinem Anströmbereich liegt der Sulzbach. Die Ausgangsvariante V03 zeigt wie bei den vorangegangenen Pegeln einen zu den Messungen völlig unterschiedlichen Grundwassergang. Die errechnete Ganglinie von Variante V11 zeigt zwar bereits eine gewisse Ähnlichkeit in der Dynamik, ist aber insgesamt viel zu hoch. Nach Änderungen der Randbedingungen entlang der Mur, der Gewässereinflüsse sowie Talrandzuflüsse wurde in Variante V21 eine deutliche Verringerung der Unterschiede erreicht. Die Definition der Mühlkanaleinflüsse brachte vorerst wieder eine deutliche Verschlechterung der Anpassung, wie in Variante V26 zu erkennen ist. Zahlreiche weitere Veränderungen vor allem im Bereich des Drauchenbaches führten dann bis Variante V36 wieder zu einem deutlich besseren Ergebnis. Die entgültige Kalibration ist in Variante V48 dargestellt.

Pegel 3915 (Abb. 35) liegt in der Nähe des Drauchenbaches im Einzugsgebiet des Wasserversorgungsbrunnen von Radkersburg.

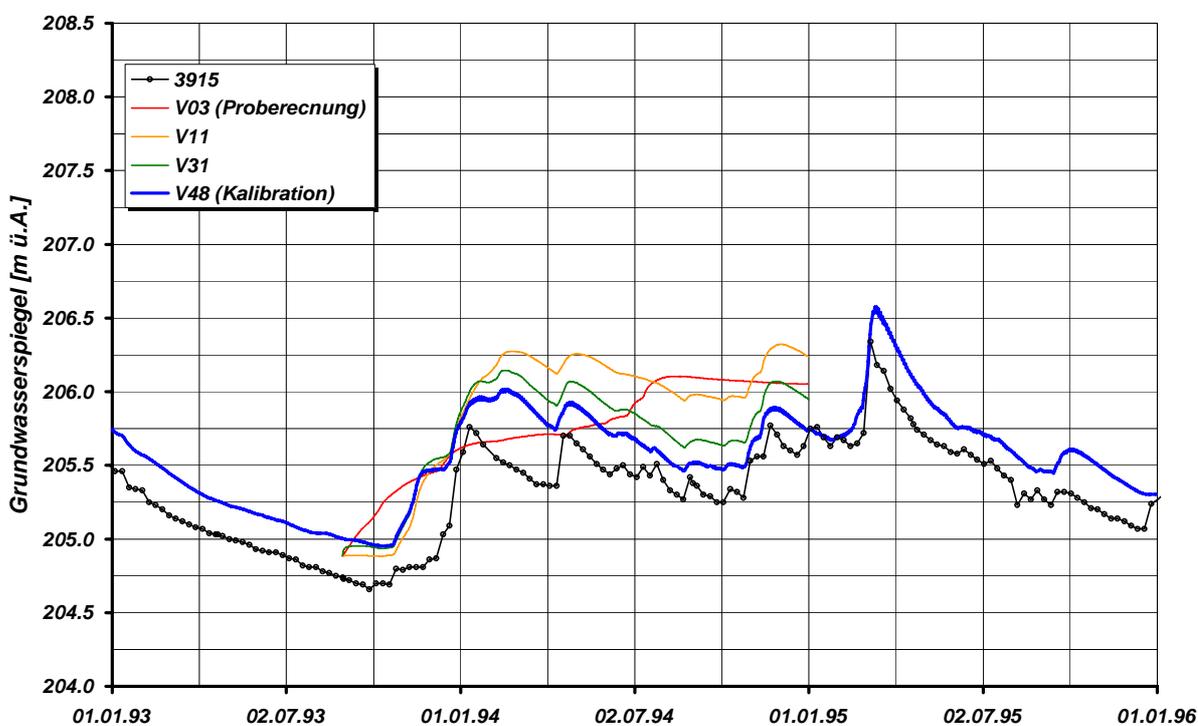


Abb. 35: Kalibrationsfortschritt am Pegel 3915

Wieder zeigt Variante V03 keinerlei Ähnlichkeit mit dem gemessenen Grundwassergang. Variante V11 liegt viel zu hoch. Eine Vielzahl an Änderungen der Wasserspiegel am Drauchenbach, der Talrandzuflüsse sowie der kf-Werte brachte, wie in Variante V31 zu sehen, für diesen Pegel nur geringe Verbesserungen in der Anpassung zwischen gerechneter und gemessener Ganglinie. Der Grund hierfür könnte die komplexe Interaktion zwischen Drauchenbach und Grundwasser sein. Unterschiede in der Grundwasserdynamik könnten auf die stationäre Definition der Wasserentnahmen am Brunnen Radkersburg sein. Von einer instationären Definition der Wasserentnahmen wurde Abstand genommen, weil nicht für den gesamten Modellierungszeitraum

instationäre Messdaten zur Verfügung standen. Durch weitere Parameteränderungen wurden dann bis zum Kalibrationsende in Variante V48 eine weitere Verbesserung erreicht.

Pegel 39191 (Abb. 36) liegt in der Nähe der Kutschenitza. Der Pegel wird vom Begleitgrundwasserstrom aus dem Tal der Kutschenitza gesteuert. Die gemessene Ganglinie zeigt eine große Schwankungsbreite, was auf schlechter durchlässiges Material und kleinere Porenvolumina schließen lässt. Die instationäre Kalibration des Modells an diesem Pegel ist extrem schwierig, weil der Grundwassergang praktisch ausschließlich vom Modellrandzufluss und der Interaktion mit der Kutschenitza abhängt. Speziell die Abschätzung der Modellrandzuflüsse ist eine schwierige Aufgabe, denn diese ist bereits eine Folge von Interaktionen zwischen Kutschenitza und Begleitgrundwasser außerhalb des Modellbereiches. An diesem Pegel müssen größere Differenzen in Kauf genommen werden. Variante V03 zeigt einen völlig flachen Gang des Grundwassers. Variante V11 ist wie bei anderen Pegeln zu hoch und zeigt eine zu geringe Dynamik. Entscheidende Änderungen der k_f -Werte, Porenvolumina und Talrandzuflüsse bringen Verbesserungen der Modellanpassungen, wie sie in Variante V31 dargestellt sind. Die Erweiterung auf den gesamten Kalibrationszeitraum zeigt jedoch, dass die wesentlichen hydraulischen Zusammenhänge noch nicht den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen. Weitere Änderungen der k_f -Werte und Talrandzuflüsse führen dann bis zum Kalibrationsende mit Variante V48 noch zu einer besseren Anpassung zwischen gemessener und gerechneter Ganglinie. Die Kalibration am Talrand gelegener Pegel ist generell als problematisch anzusehen.

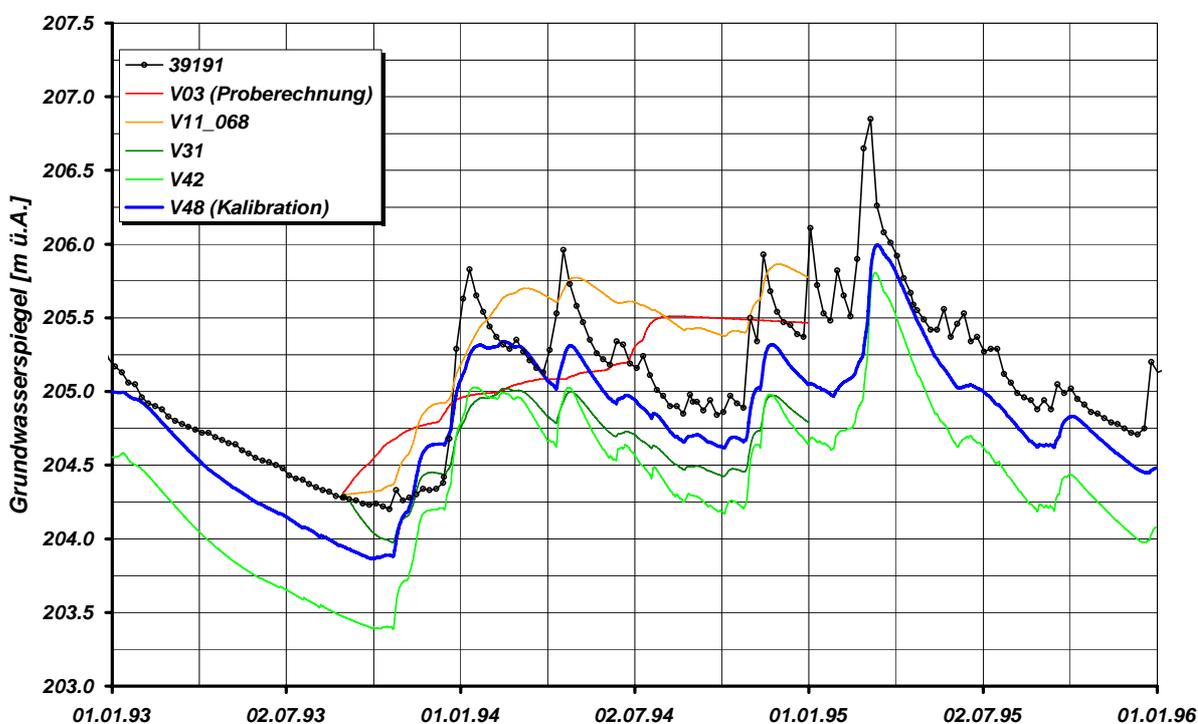


Abb. 36: Kalibrationsfortschritt am Pegel 39191

3.6 Instationäre Modellergebnisse

3.6.1 Vergleich zwischen gerechneten und gemessenen Ganglinien

Ein wesentliches Kriterium der Güte einer instationären Kalibration ist neben der Anzahl der verwendeten Kontrollpegel mit Messreihen die erreichte Übereinstimmungen zwischen den modellierten und gemessenen Grundwasserganglinien an den Kontrollpegeln. Die Güte der Übereinstimmung zwischen den gemessenen und gerechneten Ganglinien kann zwar durch statistische Zahlen ausgedrückt werden, der optische Vergleich der graphisch dargestellten Ganglinien erlaubt jedoch eine wesentlich bessere Beurteilung der Kalibrationsergebnisse. Für die instationäre Kalibration des Modells „Unteres Murtal“ standen instationäre Messdaten von 84 Grundwasserpegeln zur Verfügung. Nur an wenigen dieser Pegel sind nicht für den gesamten Kalibrationszeitraum (1.1.93 bis 31.12.95) Messdaten vorhanden. Wie bereits in Kapitel 3.5.4.1 beschrieben, wurde im vorliegenden Modell an Pegeln am Talrand und an den Mühlkanälen eine schlechtere Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung als an den restlichen Pegeln akzeptiert. An ausgewählten Pegeln soll die erreichte Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messungen beispielhaft erläutert werden. Dabei wird auf die spezifischen lokalen Probleme bei der Kalibration des jeweiligen Pegels eingegangen.

Pegel 3845 (Abb. 29) liegt bei Straß in der Nähe des westlichen Modellrandes. Die erreichte Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung ist gut. Die Abweichungen von Mai bis November 1993 sind auf Probleme bei der Erfassung des Grundwasserspiegels zurückzuführen. Aufgrund von Vergleichen mit den Messungen der umliegenden Pegel wird vermutet, dass Pegel 3845 nicht tief genug ist, um den Gang des extrem niedrigen Grundwasserspiegels zu diesem Zeitpunkt wiederzugeben. Die gute Übereinstimmung der Kalibration für den restlichen Zeitraum weist jedenfalls auf eine ausreichend genaue Abschätzung der Randbedingungen am westlichen Modellrand hin.

Pegel 3847 (Abb. 30) liegt unmittelbar an der Mur und wird praktisch ausschließlich von den Wasserspiegeln an der Mur gesteuert. Die ausgezeichnete Übereinstimmung zeigt, dass die Randbedingungen entlang der Mur im Bereich des Pegels gut abgeschätzt wurden.

Pegel 38553 (Abb. 31) liegt im inneren des Grundwasserfeldes in der Nähe des Linderbaches. Die grundsätzliche Dynamik der Ganglinie wird gut wiedergegeben, das Auslaufen des Grundwassers nach Grundwasserspitzen erfolgt aber im Vergleich zur Messung etwas zu langsam. Die Gründe dafür konnten während der Kalibration nicht gefunden werden.

Pegel 38575 (Abb. 37) liegt zwischen Wiesenbach und Schwarzaubach unmittelbar am Modellrand. An diesem Pegel konnte keine zufriedenstellende Kalibration erreicht werden. Der Hauptgrund dafür scheint die komplexe Interaktion zwischen Wiesenbach und Grundwasser außerhalb des Modellgebietes zu sein. Eine funktionelle Abhängigkeit von der Dynamik der Oberflächengewässer ist

nicht erkennbar. Zusätzlich sind die Morphologie des Grundwasserstauers und die kf-Werte an den Talrändern oft lokal sehr unterschiedlich. An den Aquiferrändern bewirken außerdem oft geringe Mächtigkeitsunterschiede stark unterschiedlichen Grundwasserganglinien.

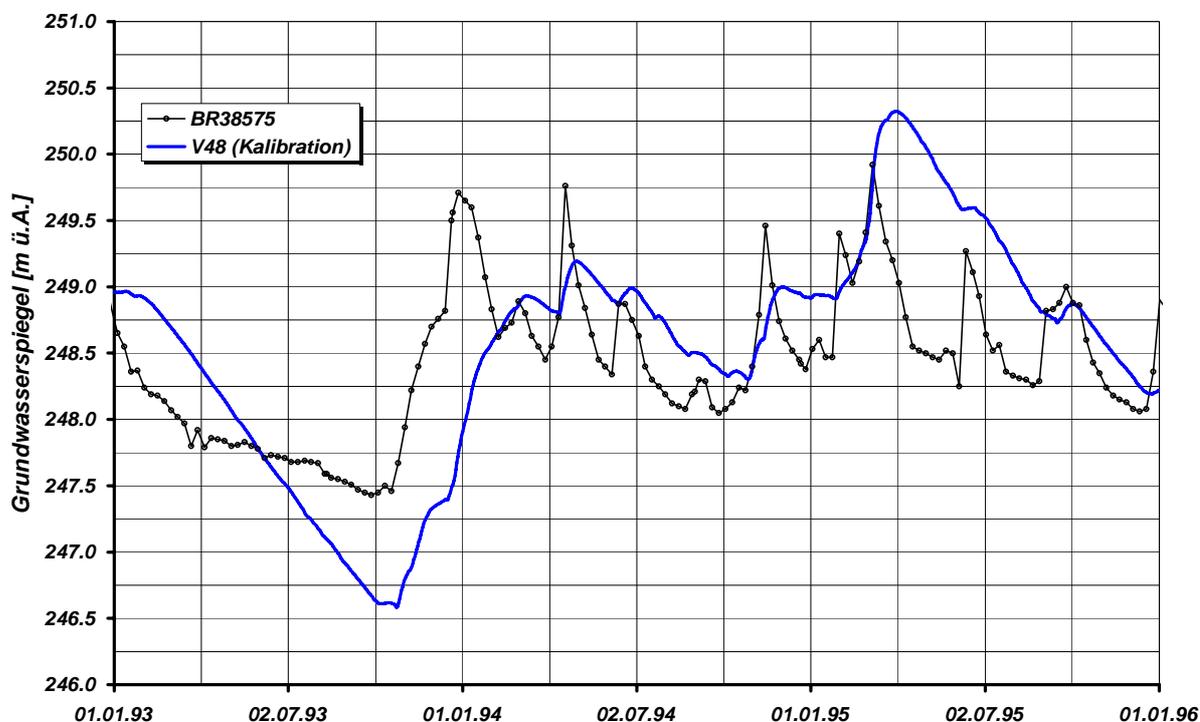


Abb. 37: Kalibration am Pegel 38575

Pegel 3861 (Abb. 38) liegt am Mühlgang bei Lichendorf. Für 1994 ist die Übereinstimmung zwischen gerechneter und gemessener Ganglinie zufriedenstellend, für 1993 und 1995 ergeben sich vor allem während der Sommermonate größere Kalibrationsdifferenzen. Der Grund dafür liegt sicherlich in der stationären Realisierung des Mühlganges (siehe Kapitel 3.5.5.4). Die instationäre Realisierung des Mühlganges war nicht möglich, da keine Tageswerte für den Wasserspiegel des Mühlganges zur Verfügung standen und aus den vorhandenen Oberflächengewässerdaten auch nicht abgeleitet werden konnten. Probleme in der Erfassung des Grundwasserspiegels an diesem Pegel sind im Sommer und Herbst 1993 bei extremen Niedrigwasserverhältnissen erkennbar. Der Grundwasserspiegel liegt hier vermutlich tiefer als das untere Ende der Bohrung, sodass Wasserspiegellagen tiefer als 239.6 m ü.A. an diesem Pegel nicht erfasst werden können.

Pegel 38632 (Abb. 39) liegt bei Lichendorf. An diesem Pegel konnte die grundsätzliche Dynamik des Grundwassers gut nachvollzogen werden. Die Unterschiede zwischen Rechnung und Messung weisen Ähnlichkeiten zu jenen von Pegel 38553 auf.

Pegel 38653 (Abb. 49) liegt am Schwarzaubach. An diesem Pegel treten im Grund dieselben Unterschiede zwischen Messung und Rechnung auf wie bei Pegel 38632. Die Unterschiede sind aber spürbar größer. Die Gründe dafür konnten nicht identifiziert werden.

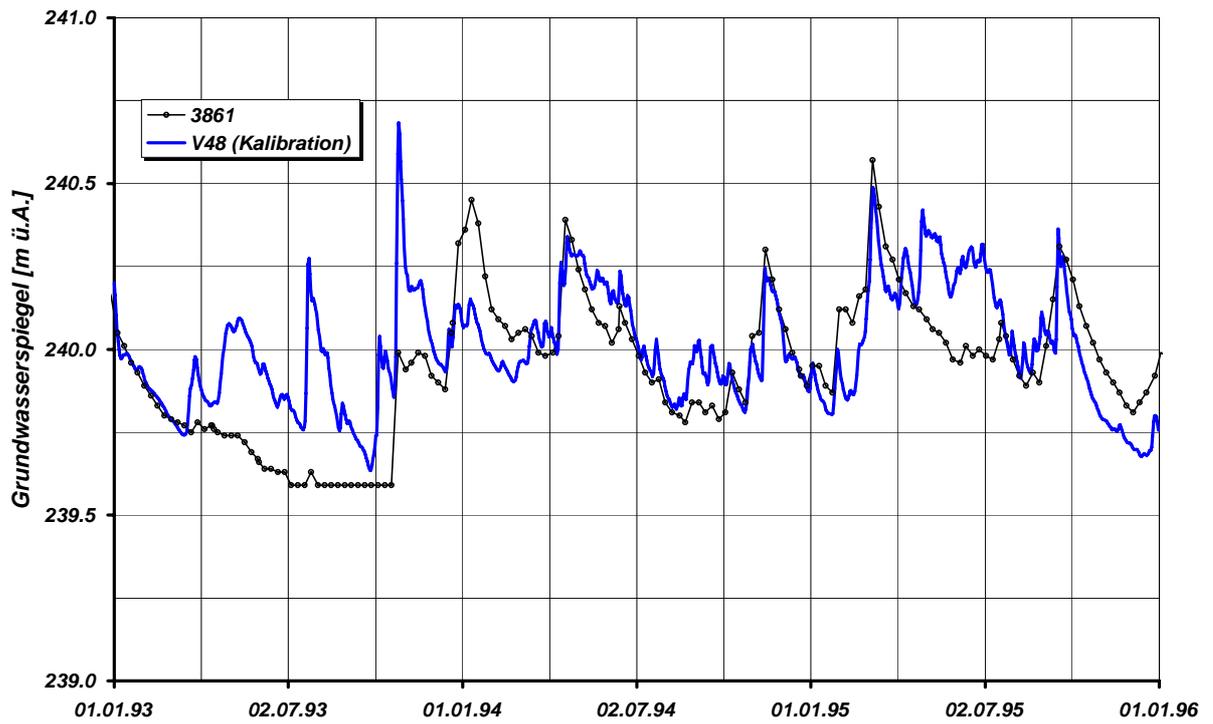


Abb. 38: Kalibration am Pegel 3861

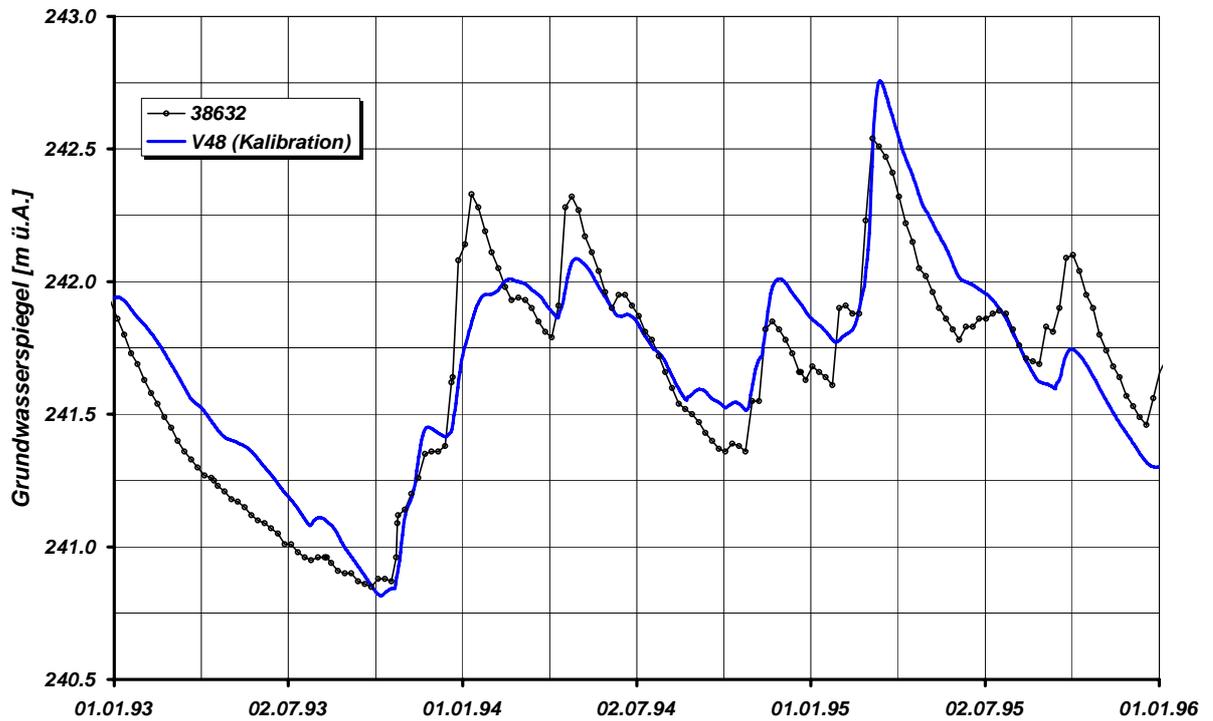


Abb. 39: Kalibration am Pegel 38632

Pegel B7 (Abb. 40) liegt in Mureck unmittelbar an der Mur. An diesem Pegel konnte eine ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung erreicht werden.

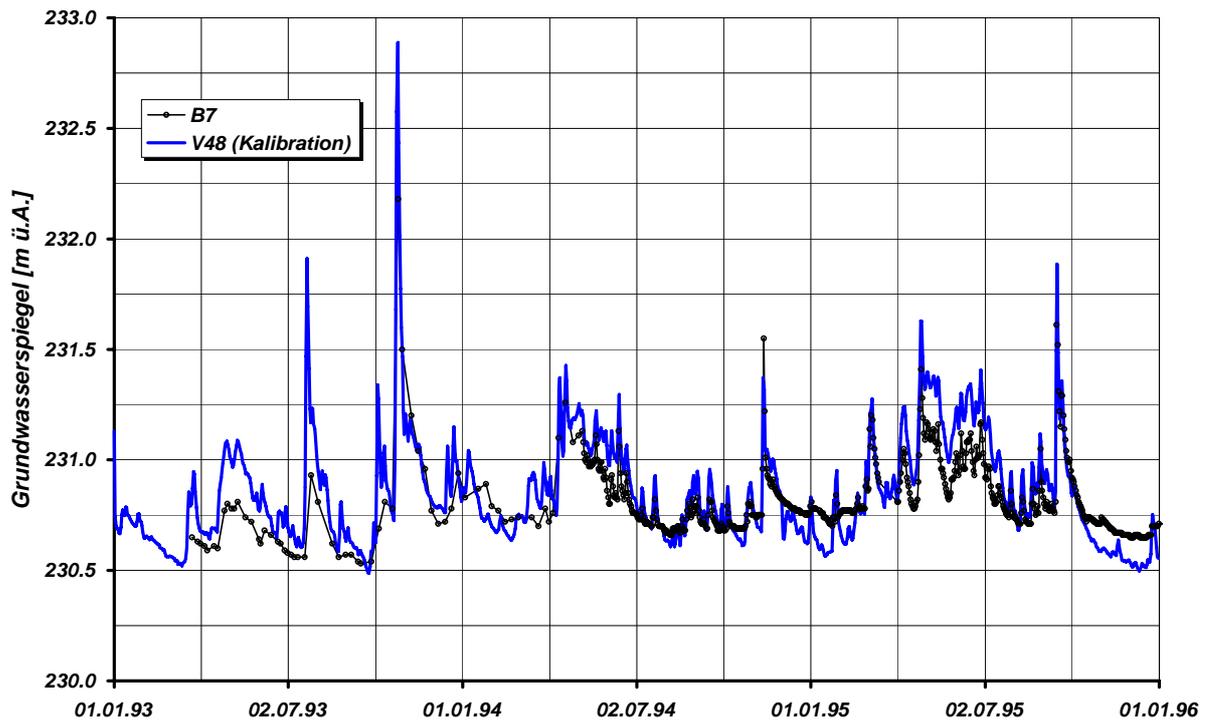


Abb. 40: Kalibration am Pegel B7

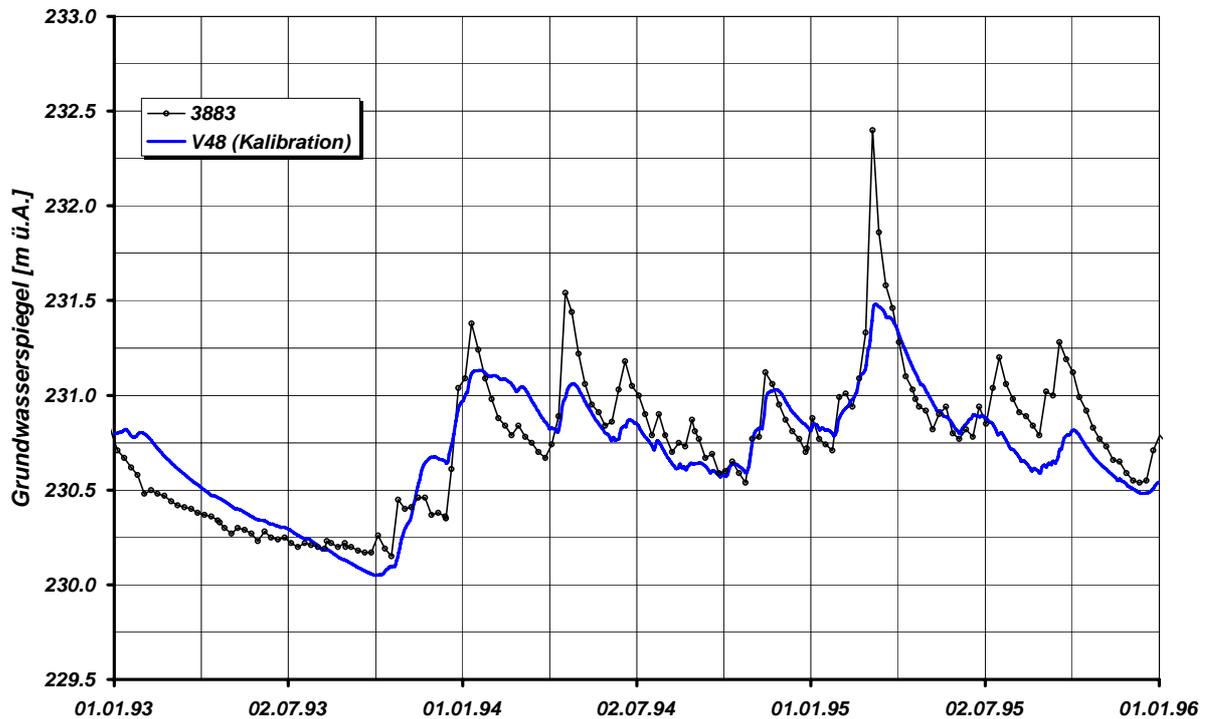


Abb. 41: Kalibration am Pegel 3883

Am Pegel 3883 (Abb. 41) in Gosdorf, der vom Grundwasser aus Richtung des Pegels 3885 angeströmt wird, konnte eine gute Übereinstimmung zwischen gemessener und gerechneter Ganglinie erreicht werden. Dies weist darauf hin, dass die Unsicherheiten der Kalibration im Bereich

des Talrandes, zumindest in diesem Gebiet, geringe Auswirkungen auf das Grundwassergeschehen des Hauptgrundwasserfeldes haben.

Pegel 3905 (Abb. 52) liegt in der Nähe des Sulzbaches bei Madlhof. An diesem Pegel konnte eine gute Kalibration erreicht werden. Der im Einzugsgebiet liegende Mühlbach scheint keinen entscheidenden Einfluss auf den Gang des Grundwassers an diesem Pegel aufzuweisen.

Pegel 39157 (Abb. 42) in Radkersburg liegt unmittelbar an der Mur. Die ausgesprochen gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung zeigt die gute Abschätzung der Wasserspiegelganglinien der Mur. Weiters ist aus dieser Übereinstimmung zu schließen, dass kaum Abdichtungserscheinungen in diesem Flussabschnitt existieren, sodass ein vollständiger hydraulischer Kontakt der Mur mit dem Grundwasser des Unteren Murtales höchst wahrscheinlich ist. Der Pegel liegt in einem Bereich in dem sich ein dauerndes Wechselspiel zwischen Exfiltration und Infiltration zwischen Grundwasser und Mur abspielt.

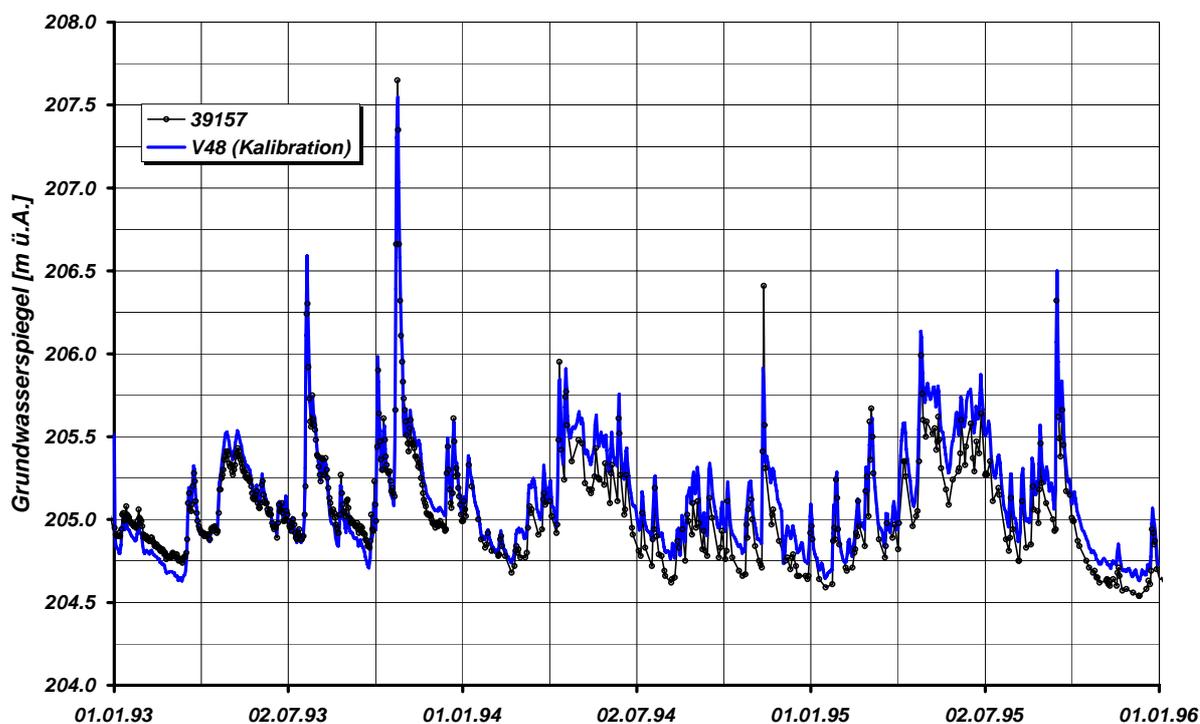


Abb. 42: Kalibration am Pegel 38157

Pegel 3915 (Abb. 35) liegt nordöstlich von Radkersburg am Drauchenbach und befindet sich im Einzugsgebiet der Wasserversorgungsbrunnen von Radkersburg. Trotz vieler Kalibrationsversuche konnte an diesem Pegel nur eine schlechte Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung erreicht werden. Die errechnete Ganglinie liegt beinahe konstant zirka 25 cm über der gemessenen Ganglinie. Der Grund hierfür könnte in der instationären Realisierung des Drauchenbaches liegen, der eine bedeutende Regulierungsfunktion für das Grundwasser im gesamten Bereich hat. Der Wasserspiegel des Drauchenbaches könnte etwas tiefer liegen, als aus den Regulierungsunterlagen

ersichtlich ist. Einen zusätzlichen Einfluss könnte die Entnahme aus den Wasserversorgungsbrunnen Radkersburg haben, der im Modell nur als konstant eingesetzt wurde, weil nicht für den gesamten Kalibrationszeitraum instationäre Entnahmedaten zur Verfügung standen.

Pegel 3923 (Abb. 43) liegt östlich von Dedenitz bereits in der Nähe der Kutschenitza. Die erreichte Ganglinie gibt den beobachteten Grundwassergang im allgemeinen gut wieder. Kleinere Spitzen werden bei der Modellrechnung aber nicht nachgebildet. Der Grund hierfür ist sicherlich der östliche Modellrand, an welchem ein Teil des Grundwassers in die Kutschenitza exfiltriert.

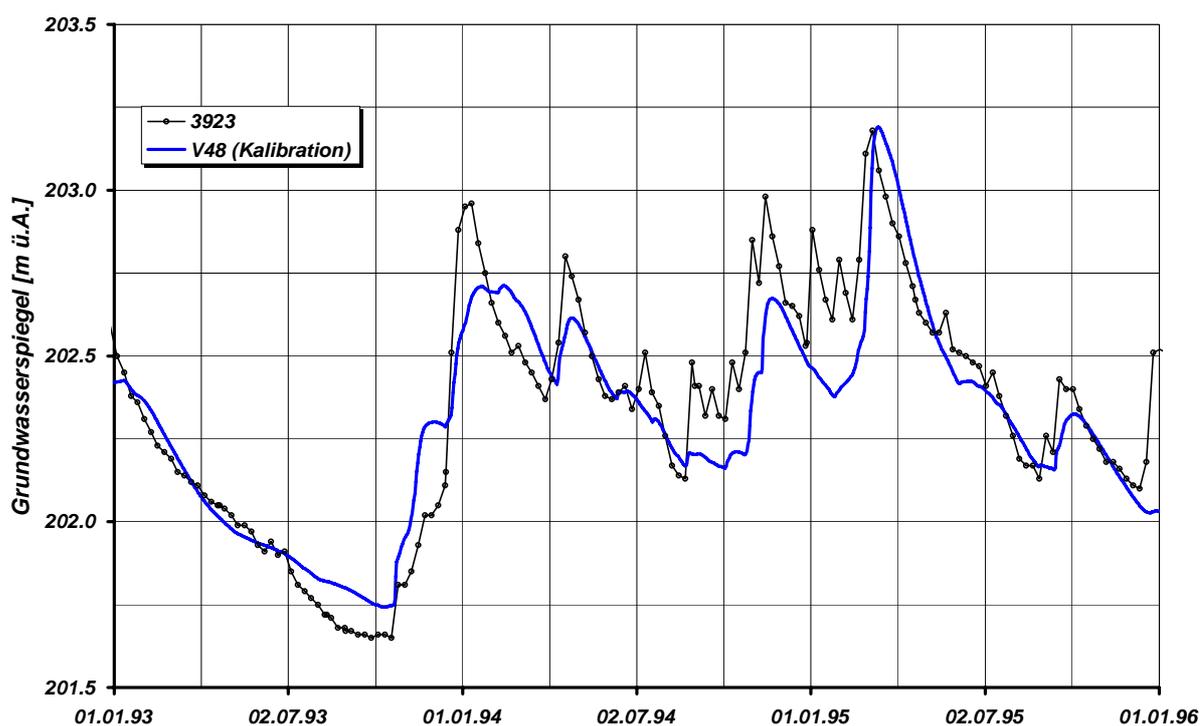


Abb. 43: Kalibration am Pegel 3923

Pegel B13 (Abb. 44) liegt an der Mündung des Drauchenbaches unmittelbar an der Mur. Die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung ist an diesem Pegel ausgesprochen gut. Diese gute Übereinstimmung ist erst mit der seit Juli 1994 durchgeführten Schreibpegelaufzeichnung klar ersichtlich.

Pegel 39191 (Abb. 36) liegt östlich von Zelting in der Nähe der Kutschenitza. An diesem Pegel konnte keine gute Kalibration erreicht werden. Wie bereits in Kapitel 3.5.7 beschrieben wird der Pegel vom Begleitgrundwasser aus dem Tal der Kutschenitza angeströmt. Ein Großteil der Interaktion zwischen Kutschenitza und Grundwasser findet aber außerhalb des Modellgebietes statt. Der Randzufluss an diesem Modellrand ist deshalb schwer abzuschätzen. Die eigens im Rahmen des Projektes errichteten Pegel P1, P2, P3, P4, P5 konnten für die instationäre Kalibration in diesem Bereich zwar Anhaltspunkte liefern, eine genauere Kalibration der Ganglinie war aber aufgrund der kurzen Beobachtungsdauer und der Datendichte nicht möglich. Von besonderer Bedeutung waren diese

Pegel aber zur Erfassung der Art der Interaktion des Talgrundwassers des Murtales mit dem Begleitgrundwasserstrom aus dem Tal der Kutschenitza.

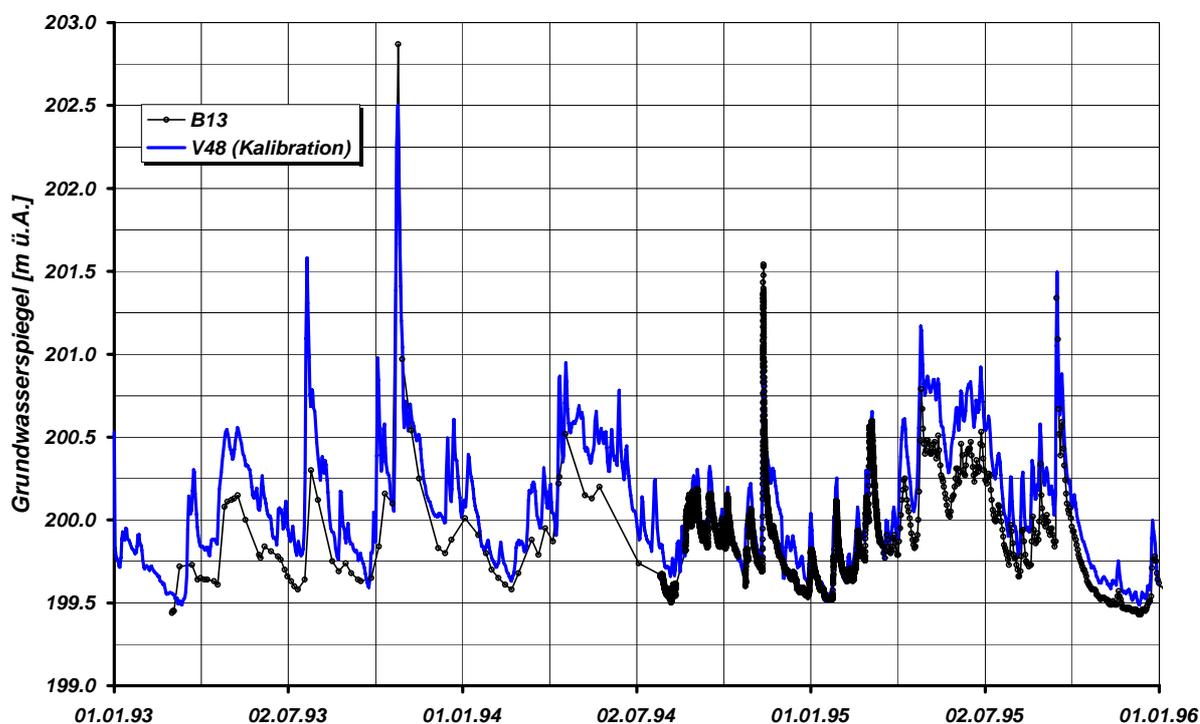


Abb. 44: Kalibration am Pegel B13

3.6.2 Räumliche Betrachtung der Kalibrationsqualität des instationären Strömungsmodells

Zur Beurteilung der Kalibrationsqualität des instationären Grundwasserströmungsmodells wurde an ausgewählten Messpunkten – v.a. an jenen Messpunkten, an denen über den gesamten Kalibrationszeitraum von 1993 bis 1995 durchgehende Grundwasserspiegelmessungen ähnlicher Dichte vorlagen – die mittlere Residuenquadratsumme berechnet und diese flächenhaft mittels geostatistischer Verfahren interpoliert. Die Ergebnisse sind in Abb. 45 dargestellt.

In diesem Berechnungsverfahren wird zu den Messterminen der Grundwasserspiegelbeobachtung die Differenz zwischen Messung und Berechnung mittels des kalibrierten Modells quadriert um systematische Abweichungen im positiven oder negativen Bereich zu filtern. Diese Residuenquadrate zu den einzelnen Messterminen werden summiert und durch die Anzahl der Messtermine dividiert, sodass für die gesamte Beobachtungsreihe ein einzelner Wert zur Beurteilung der Güte der Kalibration verbleibt – die mittlere Residuenquadratsumme (RMSQ).

Die Ergebnisse dieser Auswertungen an den dargestellten Messpunkten zeigt, dass der Mittelwert der berechneten Grundwasserspiegellage vom Mittelwert der gemessenen Grundwasserspiegellagen im Maximum um 25 cm zu hoch, im Minimum um 25 cm zu tief, im Mittel aller Messstellen aber praktisch

ident ist. Diese hohe Qualität der Kalibration der mittleren Grundwasserverhältnisse zeigt auch die Gegenüberstellung der gemessenen mittleren Grundwasserspiegellagen mit den berechneten in Abb. 46. Abweichungen von der 1:1 Beziehungsgeraden sind praktisch nicht erkennbar.

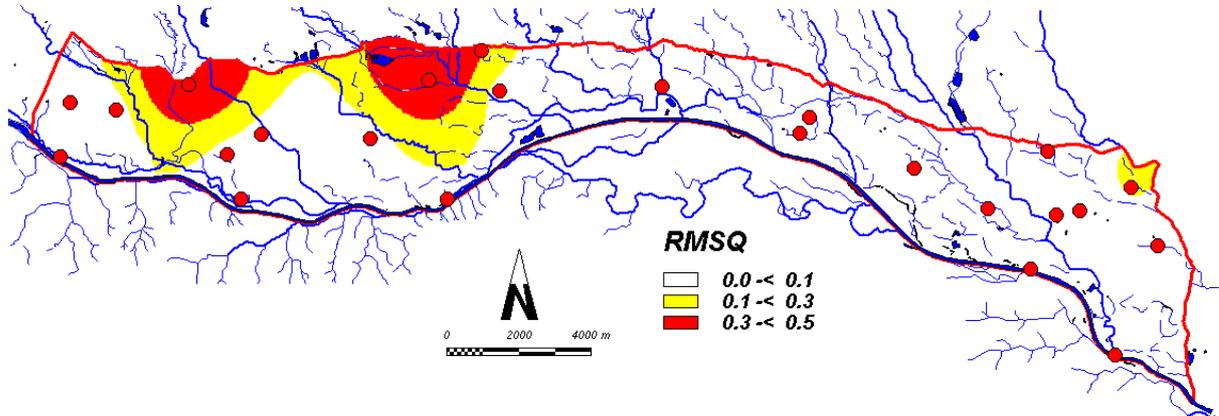


Abb. 45: Geostatistisch flächenhaft interpolierte Verteilung der mittleren Residuenquadratsumme (RMSQ) basierend auf den Auswertungen an den dargestellten Messpunkten.

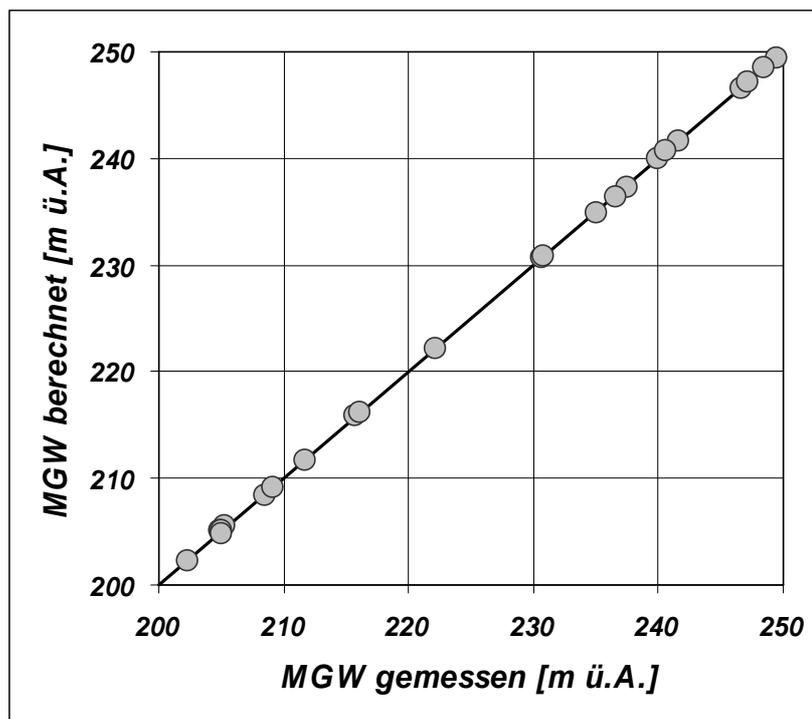


Abb. 46: Scatterplot der gemessenen mittleren Grundwasserspiegellagen zu den Mittelwerten aus der Modellberechnung an den in Abb. 45 dargestellten Messstellen.

Der mittlere RMSQ-Wert über alle Messstellen liegt bei 0.08 mit einem Minimum von 0.01 und einem Maximum von 0.48. Zieht man aus diesen Werten die Wurzel, so erhält man einen mittleren Fehler über alle Messstellen und über den gesamten Berechnungszeitraum von weniger als 30 cm, wobei bei dieser Art der Bewertung die Extremdifferenzen sogar überproportional gewichtet werden.

Insgesamt betrachtet ergibt sich unter Berücksichtigung des Berechnungszeitraumes von 3 Jahren und der teilweise doch recht unbefriedigenden Datenlage für das gesamte Modellgebiet eine

außerordentlich gute Qualität der Modellkalibration. Dies zeigt sich auch in der flächenhaften Verteilung der RMSQ-Werte (Abb. 45), die im überwiegenden Teil Werte <0.1 zeigt. Bereiche mit etwas größeren Unsicherheiten finden sich im Bereich des Zustromes von Oberflächengewässern aus dem nördlich angrenzenden Hügelland, da hier einerseits die Datenlage am problematischsten war, andererseits aufgrund der Sedimentationsgeschichte naturgemäß auch wesentlich heterogene Verhältnisse vorliegen, die in Teilbereichen eine 3D-Modellierung erfordern würden.

3.6.3 Grundwasserströmungsverhältnisse zu ausgewählten Zeitpunkten

Die Ergebnisse der instationären Kalibration des Grundwasserströmungsmodells stellen eine hervorragende Basis dar, um die Grundwasserströmungsverhältnisse im Grundwassergebiet des Unteren Murtales zu beschreiben. Zu diesem Zwecke wurden aus dem zeitlichen Verhalten des Grundwasserspiegels an ausgewählten Messstellen Termine für charakteristische Zustände des Grundwassers extrahiert und zu den ausgewählten Zeitpunkten Grundwasserisohypsenpläne aus den Berechnungsergebnissen abgeleitet.

In Abb. 47 ist das Schwankungsverhalten des Grundwasserspiegels an 5 ausgewählten Messstellen des Unteren Murtales im Berechnungszeitraum dargestellt. Die ausgewählten Pegel sind in einem West – Ost Profil angeordnet, deren Lage ist aus Beilage 1 ersichtlich. Wie durch die Ganglinien dokumentiert wird, entspricht der für die Darstellung der Grundwasserströmungsverhältnisse bei Niederwasser gewählte Zeitpunkt vom 1. Oktober 1993 den im gesamten Zeitraum auftretenden niedrigsten Grundwasserständen, die zudem noch im gesamten Grundwasserfeld praktisch zeitgleich auftreten.

Aufgrund des hochgradig instationären Verhaltens des Grundwasserspiegels ist die Darstellung der Grundwasserströmungsverhältnisse für Mittelwasserverhältnisse nur dadurch möglich, dass ein Zeitpunkt gesucht wird, an dem bei einer möglichst hohen Anzahl an Pegeln – somit für einen möglichst großen Bereich des Untersuchungsgebietes gültig – annähernd mittlere Grundwasserstände gemessen wurden. Als Termin für die Darstellung wurde der 1. August 1994 gewählt. Eine Interpolation der mittleren Grundwasserspiegellagen aller Pegel in der Fläche würde demgegenüber ein deutlich unterschiedliches Bild ergeben und mit realen Strömungsbedingungen im Grundwassergebiet nicht in Einklang zu bringen sein.

Zur Darstellung der Grundwasserströmungsverhältnisse bei hohem Grundwasserstand wurden schlussendlich zwei Termine mit ähnlicher Spiegellage an den meisten Grundwasserstandsmessstellen gewählt. Dies war erforderlich, da der hydraulische Einfluss der Mur bei Hochwasser entscheidende Bedeutung für die Strömungsverhältnisse hat. Der Auswertetermin 1. April 1995 zeigt die Grundwasserströmung bei fallendem Murspiegel, der Termin 16. September 1995 diejenigen bei steigendem Murspiegel, kurz vor Erreichen des Hochwasserscheitels.

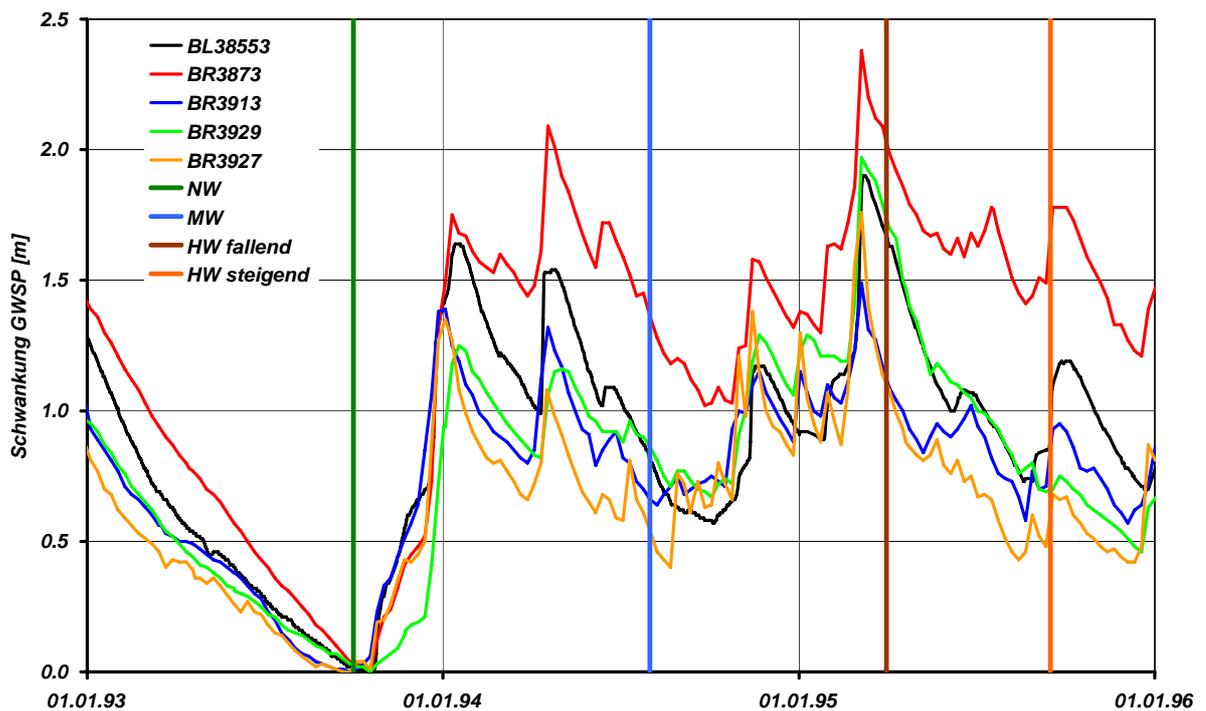


Abb. 47: Grundwasserspiegelschwankung an Messstellen im unteren Murtal (W – O Profil) und ausgewählte Termine zur Darstellung der Strömungsbilder

Der Grundwasserschichtenlinienplan für Niederwasser (1. Oktober 1993) in Beilage 8 zeigt ein annähernd murparalleles Abströmen des Grundwassers, das im Bereich der Talverengung östlich von Mureck etwas stärker auf die Mur hin ausgerichtet ist. Abweichungen von dieser generellen Strömungsrichtung sind am nördlichen Talrand erkennbar, wo der Einfluss von einmündenden Seitengerinnen zu einer kleinräumigen stärkeren Ausrichtung in Richtung S verantwortlich ist. Deutlich erkennbar ist auch der Einfluss des Begleitgrundwasserstromes aus dem Tal der Kutschenitza, der die generelle Strömungsrichtung von W - E auf NW – SE umbiegen lässt. Das Grundwassergefälle ist eher flach und relativ gleichförmig im gesamten Gebiet. Verteilungen treten vornehmlich im Bereich der Taleinengung östlich von Mureck auf, wo sich der durchströmte Querschnitt auf kurzer Distanz annähernd halbiert.

Im Vergleich zu den Grundwasserströmungsverhältnissen bei Niederwasser zeigt der Isolinienplan bei Mittelwasserverhältnissen (Beilage 9) eine deutlich stärkere Ausrichtung der Grundwasserströmung zur Mur hin. Vor allem im Bereich östlich Mureck dreht die Grundwasserströmung in Richtung NW – SE, wobei sich das Grundwasserspiegelgefälle deutlich versteilt. Die Grundwasserisohypsen zeigen zu diesem Termin keinerlei Anreicherung des Grundwasserkörpers durch die Mur.

In Beilage 10 sind die Grundwasserströmungsverhältnisse im Unteren Murtal bei hohem Grundwasserstand dargestellt. Die Isolinien zeigen den Vergleich der Strömungsverhältnisse bei ähnlichen Wasserständen im Hinterland bei steigendem Murspiegel vor einem Hochwasserscheitel (16. September 1995) und bei fallendem Murspiegel nach einem Hochwasserscheitel (1. April 1995).

Während die Grundwasserströmung am 1. April 1995 (auslaufende Hochwasserwelle der Mur) die bereits bei Mittelwasserverhältnissen erkennbaren Merkmale noch deutlich verstärkt zeigt (Ausrichtung der Strömung zur Mur hin, Gefällsverteilung), aber v.a. im östlichsten Bereich (Kutschenitza) auch die Bedeutung der flächenhaften Grundwasserneubildung deutlich erkennbar ist, zeigen die Grundwasserschichtenlinien zum 16. September 1995 (anlaufende Hochwasserwelle der Mur) ein deutlich anderes Bild. Durch den hohen Wasserstand der Mur wirkt diese als bedeutender Anreicherungsfaktor des Grundwassers (v.a. im Ostteil). Im westlichen Teil des Unteren Murtales wird durch den Murhochstand das Auslaufen des Grundwasser in die Mur verhindert, was zu einer eher murparallelen Strömung des Grundwassers und damit zu einem Auffüllen der Speicher durch die Wirkung der sonstigen Oberflächengewässer und der flächenhaften Grundwasserneubildung führt. Wie kurzfristig diese Vorgänge aber sind, zeigt der Vergleich mit den Isolinien der Grundwasserspiegellage ähnlicher Höhe bei fallendem Murwasserspiegel kurz nach dem Hochwasserscheitel: Die Strömungsverhältnisse im Nahbereich der Mur drehen um annähernd 180°, Infiltration von Oberflächengewässer in das Grundwasser wandelt sich in Infiltration von Grundwasser in das Oberflächengewässer. Während bei anlaufendem Murhochwasser große Mengen an Wasser in das Grundwasser einströmen, zeigen die Isolinien bei ablaufendem Murhochwasser bereits eine nahezu ausschließliche Ableitung von Grundwasser durch den Vorfluter.

In Beilage 11 sind die Differenzen der Grundwasserspiegellage zwischen Hochwasserverhältnissen bei fallendem Murwasserspiegel (1. April 1995) und Niedrigwasserverhältnissen (1. Oktober 1993) dargestellt. In beiden Fällen fungiert die Mur zu nahezu 100 % als Vorfluter, d.h. es erfolgt zu beiden Terminen keine Anreicherung des Grundwassers durch die Mur. Der Differenzenplan zeigt die enorme Bedeutung der Mur als regulatives Element. Der Grundwasserspiegel nahe der Mur wird in erster Linie durch die Murspiegellage festgehalten. Die Differenzen in den Grundwasserspiegellagen zeigen eine kontinuierliche Zunahme mit der Entfernung zum Vorfluter, zurückzuführen auf die Auswirkungen der flächenhaften Grundwasserneubildung, der Randzuflüsse aus dem Hinterland und der Interaktion des Grundwassers mit den Oberflächengewässern im Untersuchungsgebiet. Deutlich erkennbar ist auch die Wirkung der regulierten Oberflächengewässer als Grundwasserdrainage, wobei ab einer bestimmten Grundwasserspiegellage das Grundwasser durch die Oberflächengewässer in die Vorflut abgeführt wird.

3.6.4 Sensitivitätsanalyse: Anteil einzelner hydraulischer Parameter an der Grundwasserdynamik

Ein kalibriertes instationäres Modell eignet sich besonders gut für die Analyse von komplexen Grundwassersystemen wie jenes des „Unteren Murtales“. Die einzelnen hydraulischen Parameter sind in den einzelnen Teilgebieten unterschiedlich dominant und prägen vor allem in ihrem Zusammenwirken die lokale Grundwasserdynamik. Die Einbeziehung der Zeit und damit der Volumensbilanz über das gesamte Modellgebiet ermöglicht die Analyse von Auswirkungen von Parameteränderungen auf das gesamte Modellgebiet. Das Ausmaß der Beeinflussung von Ganglinien

durch die Änderung einzelner Parameter ist vor allem für die instationäre Kalibration und der Interpretation der Kalibrationsdifferenzen von großer Bedeutung. Um die Bedeutung des Einflusses einzelner hydraulischer Parameter auf die Entwicklung der Ganglinie zu zeigen, wurden ausgehend vom kalibrierten Modell vier Simulationen gerechnet. Bei Simulation Si1 wurde der Kalibrationszustand ohne jegliche Grundwasserneubildung gerechnet. Simulation Si2 entspricht dem Kalibrationszustand ohne Einflüsse der Nebengewässer. Simulation Si3 ist die Kombination von Si1 und Si2, das heißt ohne Grundwasserneubildung und ohne Nebengewässereinflüsse. In Simulation Si4 wurde ausgehend vom Kalibrationszustand der Talrandzufluss völlig weggelassen. An einigen charakteristischen Pegeln sollen nun die Veränderungen der Ganglinien dargestellt und die Bedeutung der einzelnen hydraulischen Parameter an diesen Veränderungen beschrieben werden. Zusätzlich zu den vier Simulationsvarianten ist in den folgenden Abbildungen das Kalibrationsergebnis und die gemessene Ganglinie dargestellt.

An Pegel 38553 (Abb. 48) im Westteil des Untersuchungsgebietes zeigt sich eine enorm große Bedeutung der Grundwasserneubildung. Ohne die Berücksichtigung der Grundwasserneubildung (Simulation Si1) entspricht weder Form noch Höhe der errechneten Ganglinie annähernd den Messungen. Das arithmetische Mittel der Differenz zwischen der Ganglinie der Simulation Si1 und der Kalibration beträgt 69 cm. Dieser Unterschied ist auf die komplexe Gesamtwirkung der Grundwasserneubildung vom Einströmen in den gesättigten Aquifer bis zum Verlassen des Modellgebietes zurückzuführen. Der Einfluss der Oberflächengewässer ist an diesem Pegel mit einem Mittel von 22 cm niedrig. Mit einer mittleren Erhöhung der Spiegellage von 7 cm ist der Talrandzufluss beinahe zu vernachlässigen.

Am Pegel 38653 (Abb. 49) ist die Auswirkung der Grundwasserneubildung mit einem Mittel von 116 cm noch wesentlich größer als am Pegel 38553. Der Einfluss der Nebengewässer mit im Mittel 23 cm ist relativ gering, der Talrandzufluss mit 10 cm sehr gering. Ohne die Berücksichtigung der Grundwasserneubildung ist auch die Form der Ganglinie nicht nachzubilden.

Am Pegel 3885 (Abb. 50) in der Nähe des Talrandes ist die Grundwasserneubildung mit einem Einfluss von 76 cm im Mittel von entscheidender Bedeutung. Der Grund hierfür ist nicht die Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet des Pegels, sondern die durch die Grundwasserneubildung im gesamten Gebiet verursachte allgemein höhere Grundwasserspiegel. Der Einfluss der Nebengewässer mit 19 cm im Mittel ist im Vergleich zum Einfluss des Talrandzuflusses (Mittel von 68 cm) unbedeutend.

Am Pegel 38931 (Abb. 51) hat die Grundwasserneubildung nur einen mittleren Einfluss von 36 cm, der Talrandzufluss einen von 22 cm. Von großer Bedeutung für diesen Pegel hingegen ist die Infiltration aus den Nebengewässern. Die Differenz zwischen Kalibration und der Simulation ohne Nebengewässereinflüsse beträgt im Mittel 135 cm.

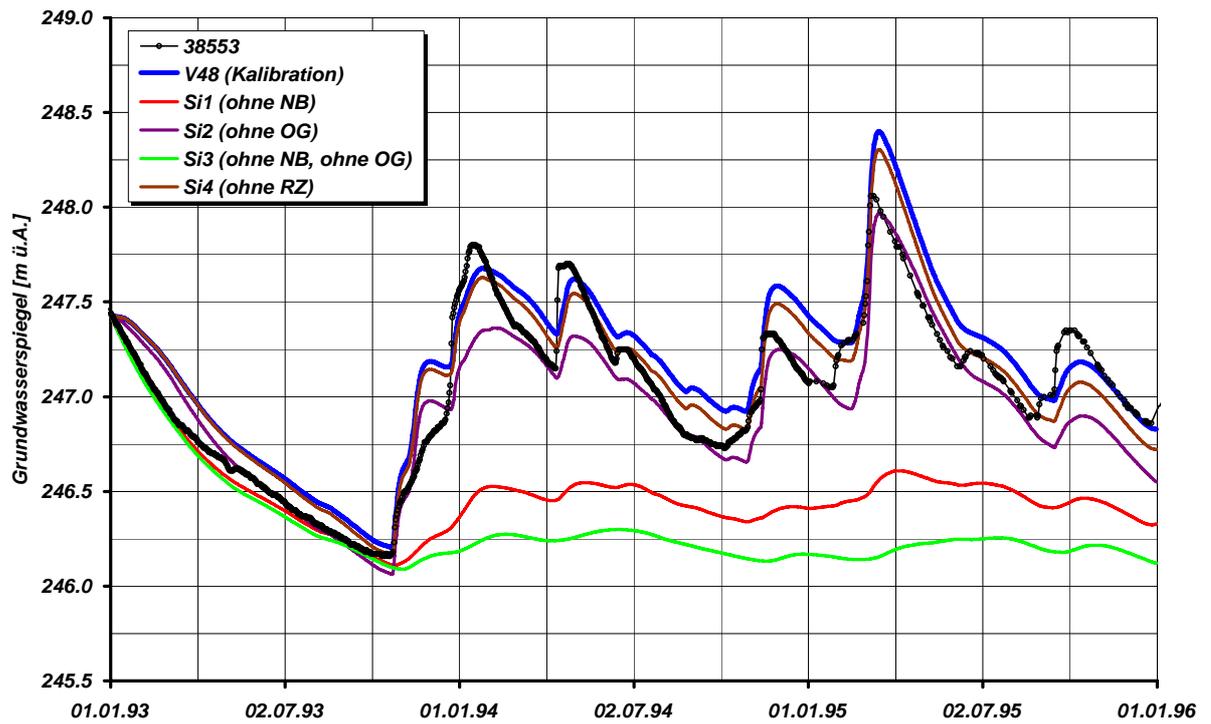


Abb. 48: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 38553

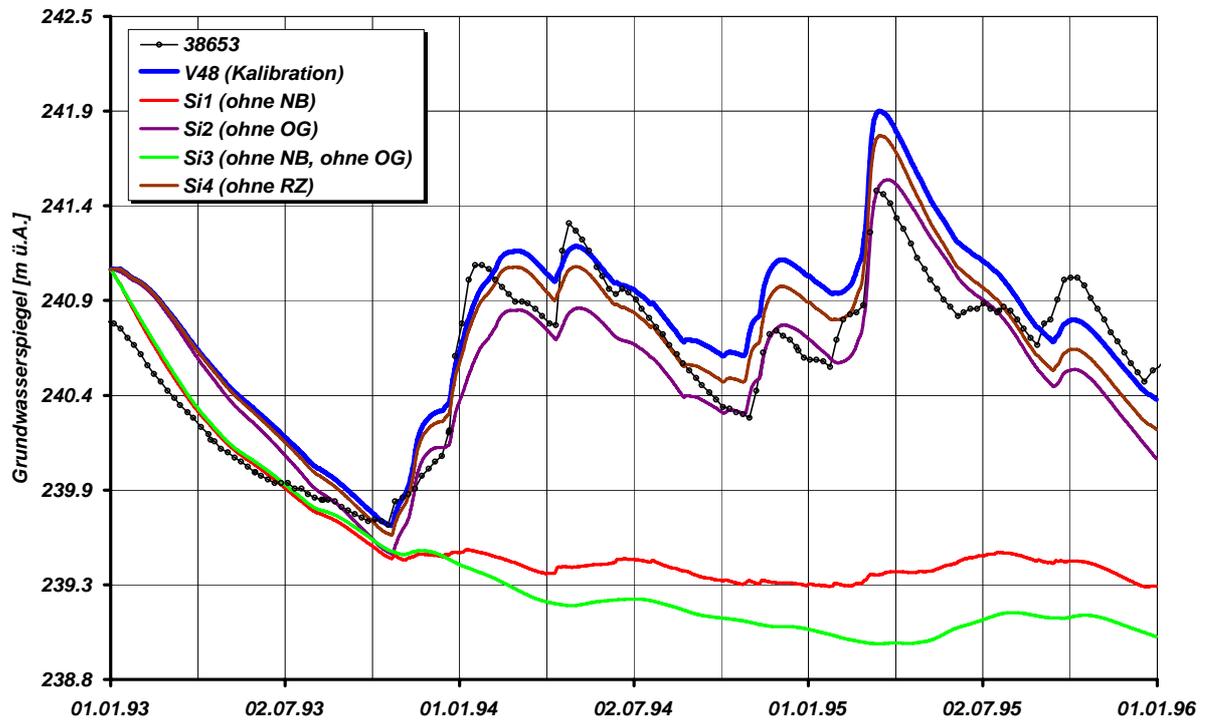


Abb. 49: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 38653

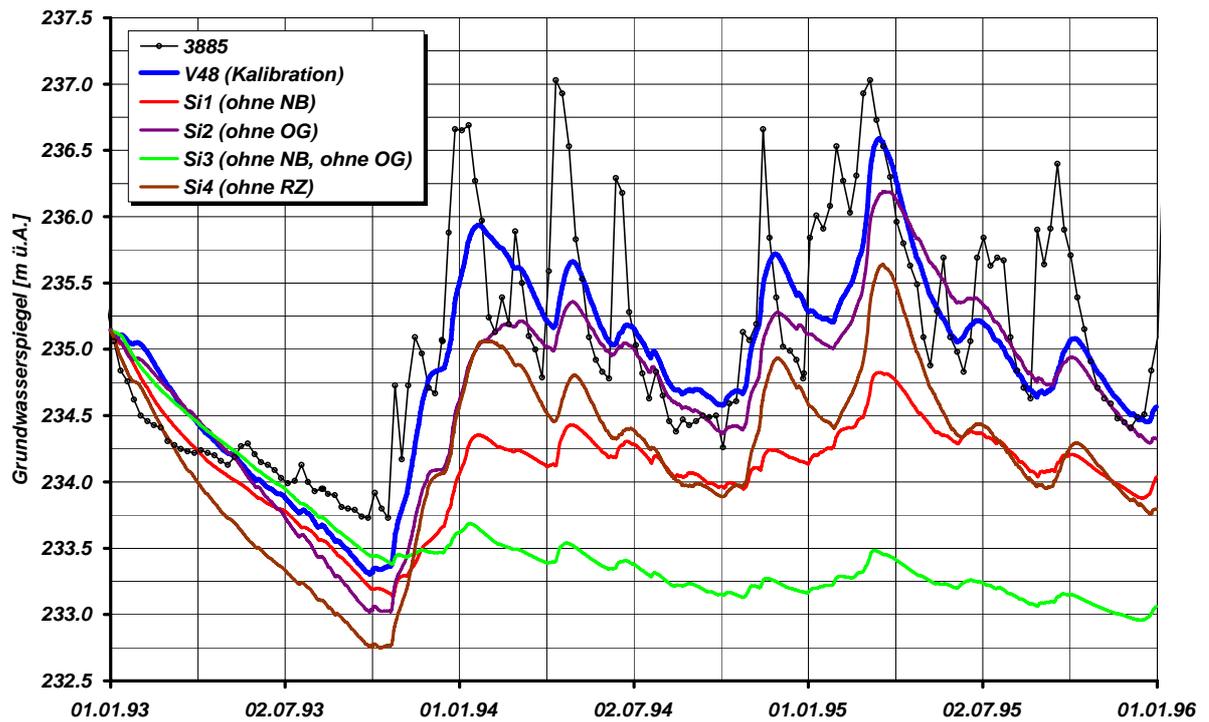


Abb. 50: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 3885

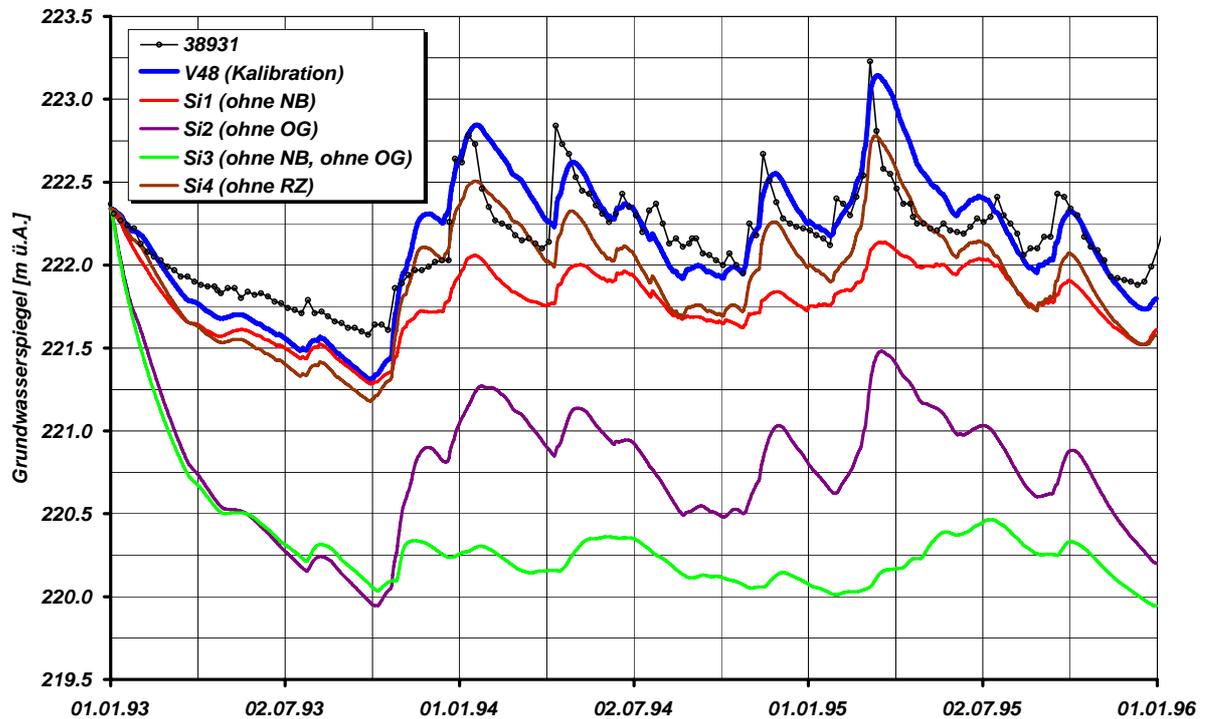


Abb. 51: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 38931

Am Pegel 3905 (Abb. 52) ist der Einfluss der Oberflächengewässer mit 73 cm im Mittel wesentlich größer als der Einfluss der Grundwasserneubildung mit einer mittleren Differenz von 33 cm. Der

Grund hierfür ist die starke Infiltration des Sulzbaches. Der Talrandzufluss hat hingegen einen unbedeutenden Einfluss von 4 cm im Mittel.

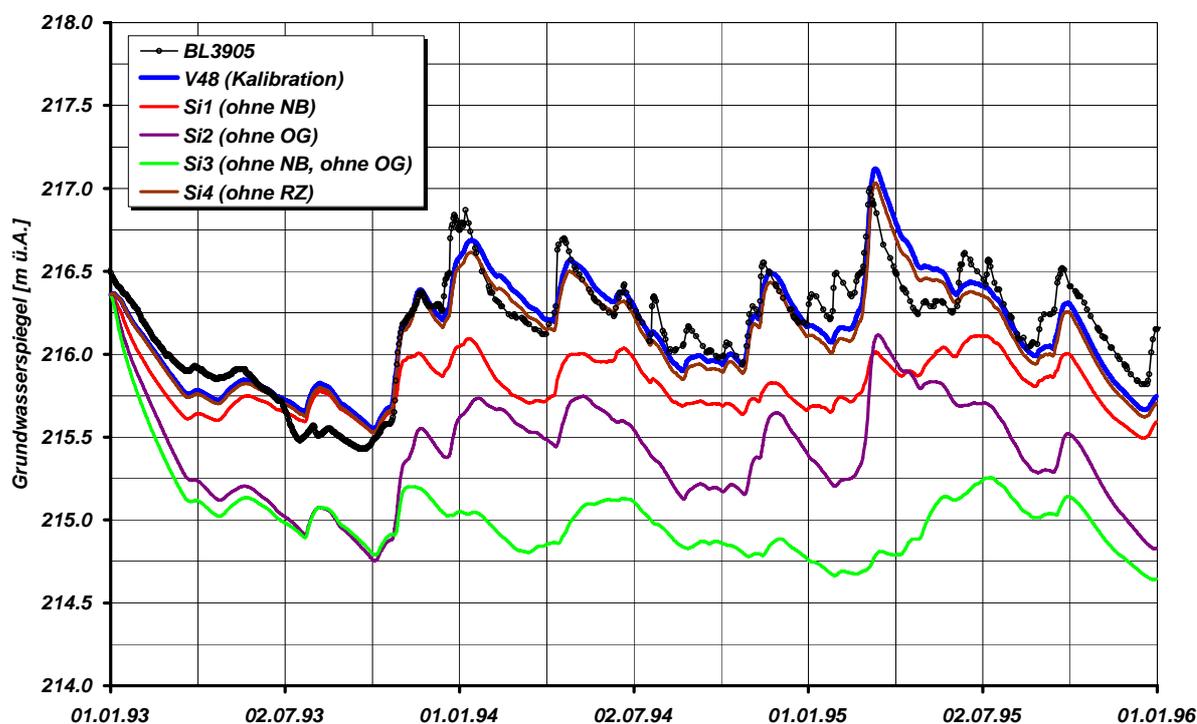


Abb. 52: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 3905

Am Pegel 39133 (Abb. 53) zeigen die Simulationsvarianten den komplexen Einfluss des Drauchenbaches. Werden die Oberflächengewässereinflüsse komplett vernachlässigt, ergibt sich sogar eine Erhöhung des Grundwasserspiegels von im Mittel um 7 cm. Der Grund dafür ist die Exfiltration von Grundwasser in den Drauchenbach. Der Einfluss der Grundwasserneubildung ist aber in diesem Bereich dennoch mit 56 cm im Mittel von großer Bedeutung. In Simulation Si3 (ohne Grundwasserneubildung und ohne Oberflächengewässereinfluss) liegt der simulierte Grundwasserspiegel so tief, dass der Drauchenbach kein Grundwasser mehr abführt, sondern beinahe ausschließlich das Grundwasser anreichert. Dies ist jedoch ein sehr theoretischer Zustand.

Noch extremer ist dieser Effekt am Pegel 3929 (Abb. 54) zwischen Drauchenbach und Kutschenitza zu erkennen. An diesem Pegel bewirken die Inaktivierung der Oberflächengewässer eine Erhöhung von 27 cm im Mittel. Der Einfluss der Grundwasserneubildung beträgt aber dennoch 72 cm im Mittel. Der Vergleich zwischen gemessener Ganglinie und der Kalibrationsrechnung lässt vermuten, dass der Einfluss des Drauchenbaches in der Natur sogar noch etwas stärker ist als im kalibrierten Modell.

Am Pegel 39151 (Abb. 55) sind der Einfluss der Grundwasserneubildung und der Einfluss der Randzuflüsse mit 115 cm im Mittel gleich groß und für den Grundwassergang sehr entscheidend. Die Verschiebung der Spitzen, wie bei der Kalibrationsvariante, ist bei den Varianten ohne Grundwasserneubildung nicht zu beobachten.

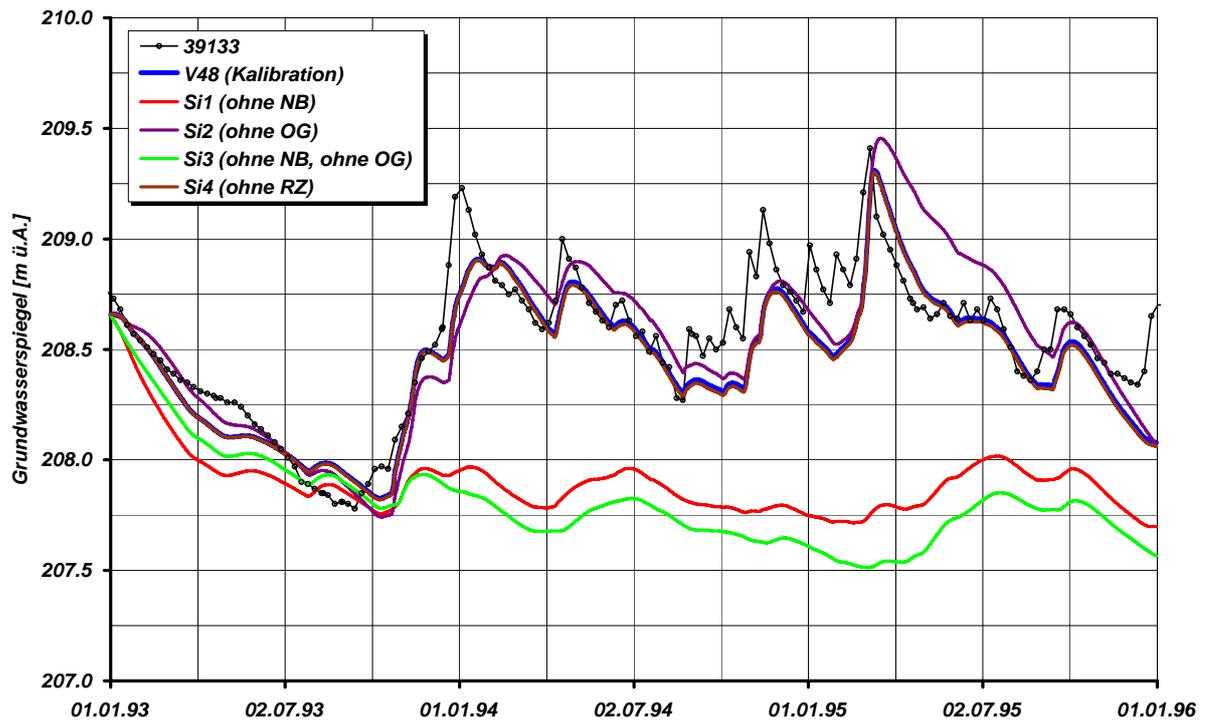


Abb. 53: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 39133

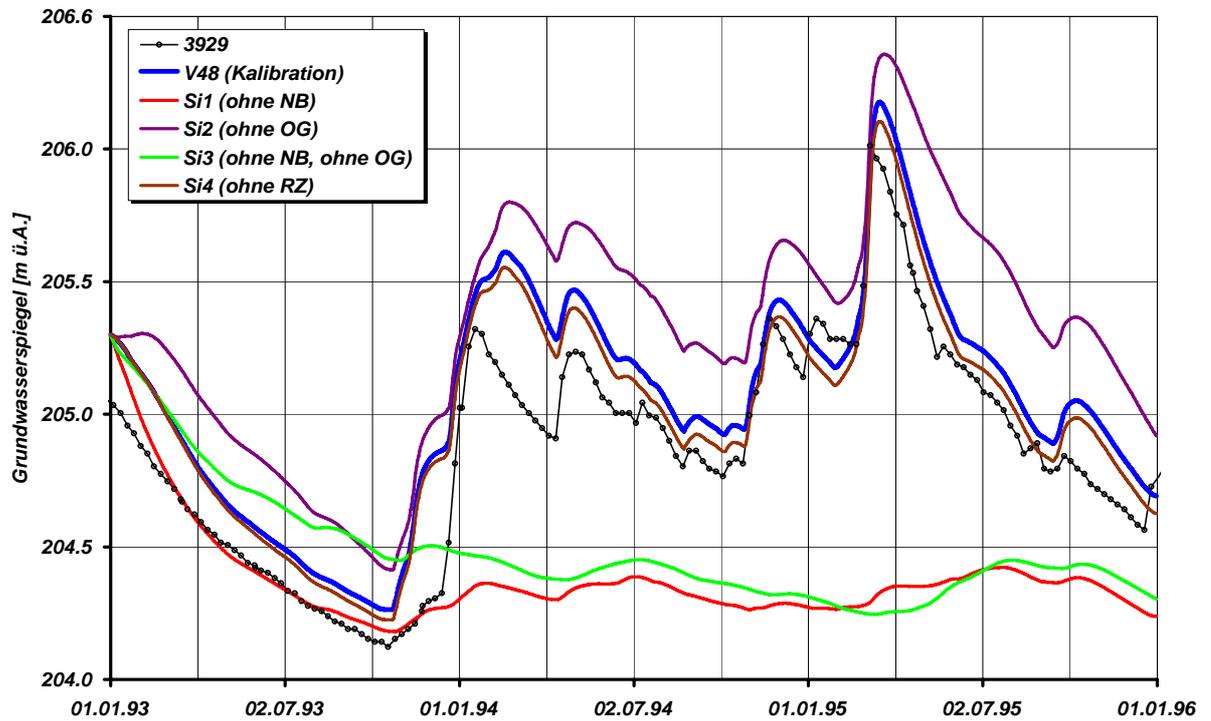


Abb. 54: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 3929

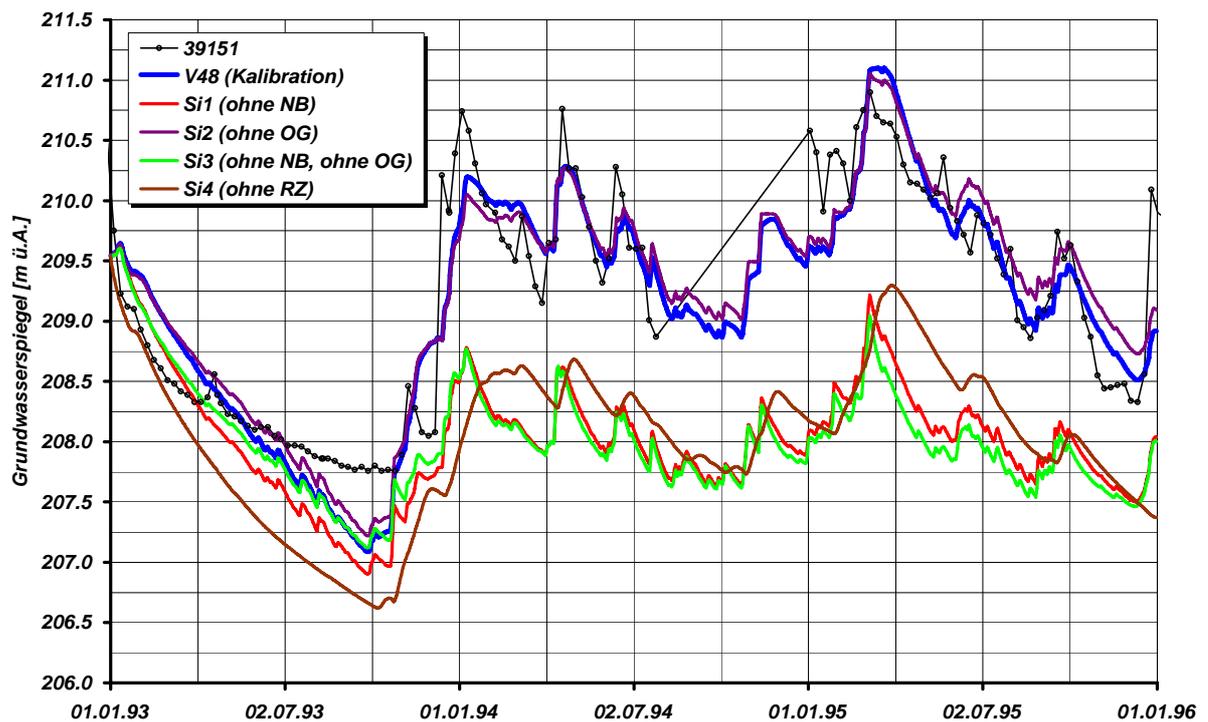


Abb. 55: Einfluss hydraulischer Parameter am Pegel 39151

3.6.4.1 Einfluss der Grundwasserneubildung

Von den in dieser Simulationsstudie untersuchten Einflüssen spezifischer hydraulischer Parameter auf die Entwicklung der Grundwasserdynamik hat die Grundwasserneubildung aus Niederschlag die größte Bedeutung. Sowohl die Form als auch die absolute Höhe der Grundwasserganglinien werden durch die Grundwasserneubildung entscheidend beeinflusst. An einigen Pegeln ist eine leichte Verschiebung der Spitzen von Ereignissen in den simulierten Grundwasserstandsganglinien gegenüber den Messungen zu beobachten, die aber bei den Simulationsvarianten ohne die Berücksichtigung der Grundwasserneubildung nicht auftreten. Die Ermittlung der Grundwasserneubildung mittels Modellen und die Methoden ihrer Regionalisierung sollte angesichts der entscheidenden Bedeutung für die instationäre Modellierung in Zukunft weiter untersucht werden.

Der in Abb. 56 dargestellte Jahresverlauf (Monatssummen des Jahres 1994) der Grundwasserneubildung aus infiltrierenden Niederschlägen als Ergebnis der Modellierung mittels SIMWASER veranschaulicht die Bedeutung der Berücksichtigung unterschiedlicher Bodenformen und Landnutzungsklassen. Die Jahressummen der Neubildung im Jahr 1994 schwanken zwischen 238 mm bei Auwald 02 und 340 mm bei Acker 02. Der jahreszeitliche Verlauf zeigt im Auwaldbereich besonders hohe Grundwasserneubildungsmengen in den Herbst- und Frühjahrsmonaten, wogegen in den Sommermonaten vor allem auf Ackerstandorten die Grundwasserneubildung im Vergleich zum Auwald deutlich höher liegt. Der jahreszeitliche Verlauf von Wiese 02 ist demgegenüber durch eindeutige Maxima im Herbst und Winter und Minima in den Monaten Juni und Juli gekennzeichnet.

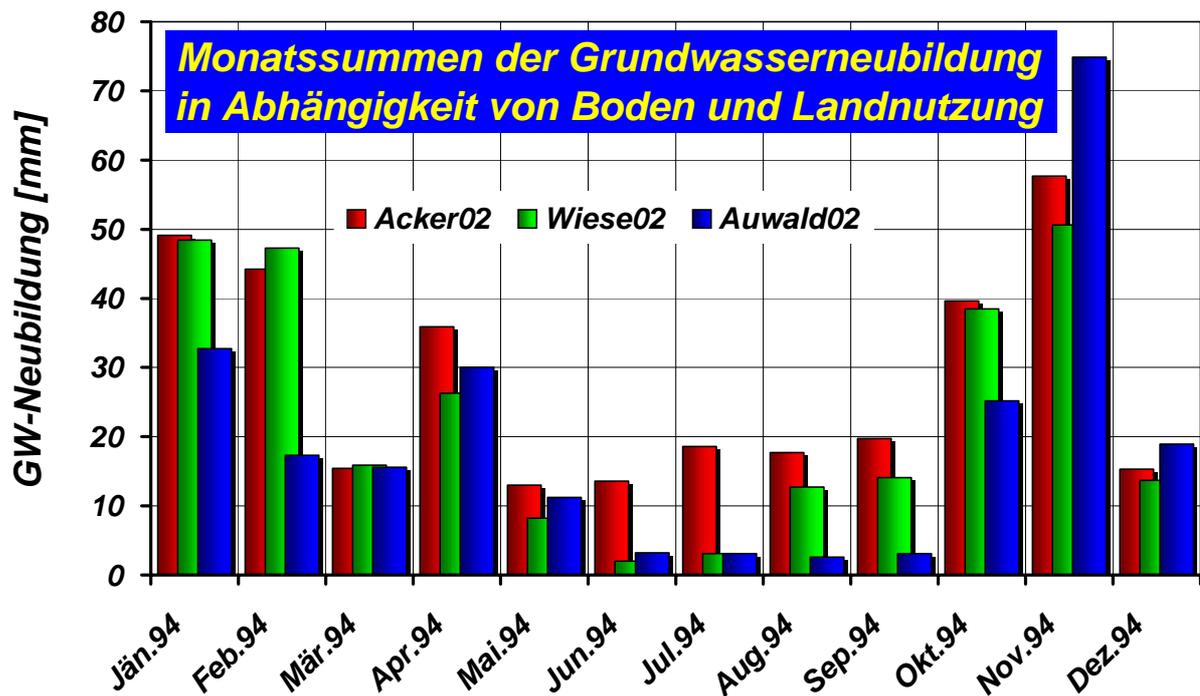


Abb. 56: Monatssummen der Grundwasserneubildung des Jahres 1994 an drei ausgewählten Boden-Nutzungsformen als Ergebnis der Modellierung mit SIMWASER.

Im Zeitraum 1993 bis 1995 lagen an den in Abb. 56 dargestellten Neubildungsklassen die maximalen Jahressummen etwa doppelt so hoch, wie die Jahressummenminima. Innerhalb aller ausgewerteten Neubildungsklassen (Kombination aus Bodenform und Nutzungsklasse) schwankten die minimalen Jahressummen im Zeitraum 1993 bis 1995 zwischen 65 mm und 210 mm, die Jahresmaxima schwankten zwischen 131 mm und 340 mm. Die maximalen Monatssummen bewegten sich im Zeitraum 1993 bis 1995 zwischen 40 mm und 100 mm unter Berücksichtigung aller ausgewerteten Neubildungsklassen.

3.6.4.2 Einfluss der Oberflächengewässer

Die Einflüsse der Oberflächengewässer sind mit Ausnahme weniger Pegel im Allgemeinen wesentlich geringer als jene der Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Die Einflüsse aus den Oberflächengewässern sind aber trotzdem beinahe im gesamten Modellgebiet für die Entwicklung der Grundwasserdynamik und der absoluten Höhe des Grundwasserspiegels entscheidend. Die Interaktion mit dem Grundwasser ist sehr unterschiedlich. Von reiner Infiltration ins Grundwasser über wechselweise Infiltration/Exfiltration bis hin zu permanenter Exfiltration treten im „Unteren Murtal“ alle theoretischen Zustände auf. Die Definition der Wasserspiegel von Oberflächengewässern ist für die Kalibration dieser Einflüsse von großer Bedeutung. Je weniger zuverlässige Messdaten für die Auswertung zur Verfügung stehen und je mehr die instationären Wasserspiegelverläufe der Oberflächengewässer nur geschätzt werden können, desto größer sind die Unsicherheiten im Modell. Für zukünftige instationäre Modelle sollten vermehrt Messdaten von Oberflächengewässern

(Wasserspiegel, Sohle, Durchfluss) erhoben werden, wobei auf eine zeitlich hoch aufgelöste Erfassung mittels Datensammler zu achten ist. Der Einsatz von Modellen zur Berechnung der Strömung in offenen Gerinnen für die zuverlässige Schätzung oder vollständigen Modellierung von Wasserspiegelganglinien entlang eines Gewässerabschnittes führt sicherlich zu einer entscheidenden Verbesserung bei der Erstellung von instationären Grundwasserströmungsmodellen.

3.6.4.3 Einfluss der Talrandzuflüsse

Die Talrandzuflüsse haben praktisch nur für am Talrand gelegene Pegel entscheidende Einflüsse. Die Einflüsse verlieren mit zunehmender Entfernung vom Talrand rasch an Bedeutung. Im vorliegenden Modell weisen gerade die Pegel an den Talrändern die größten Kalibrationsdifferenzen auf. Für die Kalibration der am Talrand gelegenen Pegel ist die Verbesserung von Methoden zur Abschätzung der instationären Randzuflüsse von besonderer Bedeutung. Die Ableitung dieser Randzuflussganglinien aus den Ganglinien der Oberflächengewässer ist in vielen Fällen nicht zielführend. Möglicherweise muss hier stärker auf das Methodenspektrum der Einzugsgebietshydrologie zurückgegriffen werden, wobei auch dabei auf die Erarbeitung von räumlich und zeitlich differenzierten Zuflüssen zu achten sein wird.

3.6.5 Modellbilanzen

Aus dem instationär kalibrierten Strömungsmodell lassen sich Bilanzglieder der Grundwasserverhältnisse unterschiedlicher Art ableiten. Neben der Bilanzierung der in 3.6.2 ausgewählten charakteristischen Strömungszustände wurden verschiedene Einzelkomponenten auch über unterschiedliche Zeiträume bilanziert. Die in diesem Projekt durchgeführte instationäre Kalibrierung eines Modells erlaubt auch eine instationäre Bilanzierung von inneren und äußeren Randbedingungen für die einzelnen Zeitschritte, die in unserem Fall auf Tagesbasis ausgewertet wurden.

3.6.5.1 Bilanzierung charakteristischer Zustände

Im Rahmen der Bilanzierung charakteristischer Grundwasserströmungszustände wurden neben der Bilanzberechnung für die äußeren Modellränder (Mur, Westrand, nördlicher Teilrand und östlicher Rand in Verbindung mit der Kutschenitza) auch innere Ränder definiert. Diese wurden in Form von Talquerprofilen etwa Grundwasserisohypsenparallel im Raum Mureck, im Raum Gosdorf und im Raum Radkersburg angesetzt. Die Bilanzgrößen für Niederwasserverhältnisse (28. September 1993) sind in Abb. 57 dargestellt. Die flächenhafte Grundwasserneubildung beträgt zu diesem Zeitschritt nur etwa 27 l/s, wichtigstes Bilanzglied ist der Grundwasserabstrom in die Mur mit 575 l/s. Im Grundwasserfeld selbst wurde entlang der Profillinien ein Durchsatz zwischen 48 l/s in Radkersburg und 100 l/s in Mureck ermittelt.

Bei Mittelwasserverhältnissen (Abb. 58) beträgt der Grundwasserabstrom in die Mur 1300 l/s, der Grundwasserdurchsatz im Modell selbst liegt zwischen 76 l/s bei Gosdorf und 138 l/s bei Mureck. Auffällig ist der starke Anstieg des Grundwasserdurchsatzes im Querprofil Radkersburg und damit einhergehend auch der Abstrom über den östlichen Modellrand (Kutschenitza) der durch verstärkten Zustrom aus dem Begleitgrundwasserstrom der Kutschenitza selbst aber auch durch deutlich erhöhte flächenhafte Grundwasserneubildung (197 l/s im Gesamtgebiet) bewirkt wird. Gerade die flächenhafte Grundwasserneubildung ist im Raum zwischen Bad Radkersburg und dem nördlichen Talrand von besonderer Bedeutung, da hier geringmächtige und gut durchlässige Böden bei geringen Flurabständen die Landschaft prägen.

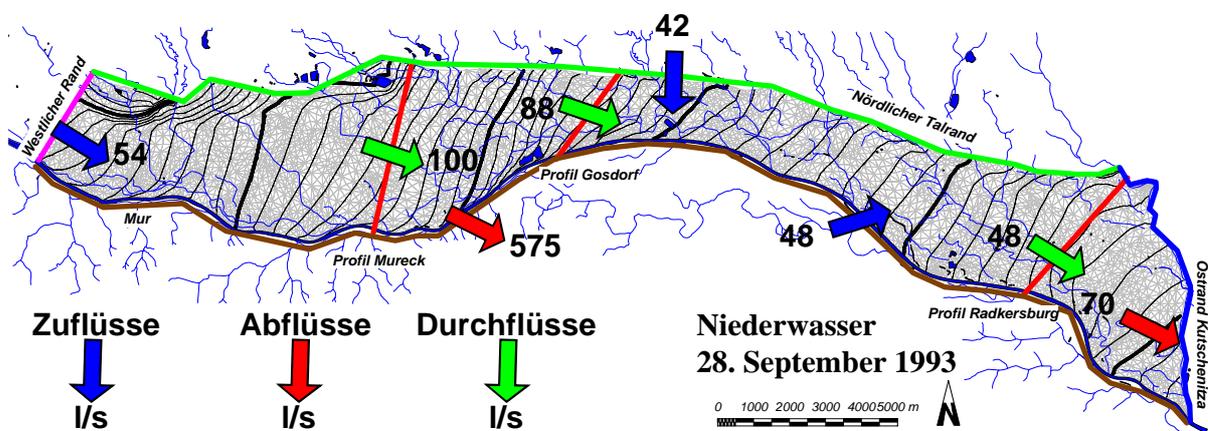


Abb. 57: Bilanzgrößen aus dem Grundwasserströmungsmodell für Niederwasserverhältnisse (28. September 1993). Flächenhafte Grundwasserneubildung = 27 l/s

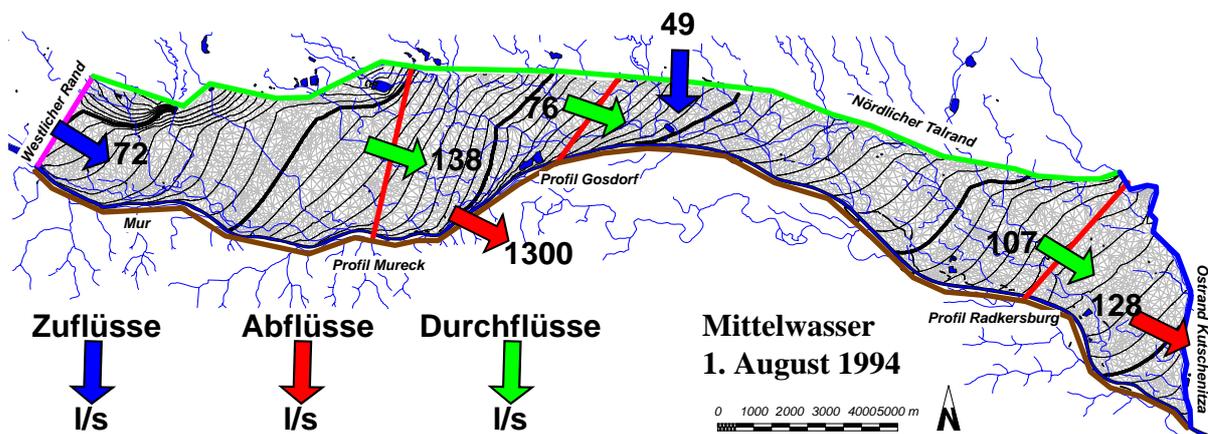


Abb. 58: Bilanzgrößen aus dem Grundwasserströmungsmodell für Mittelwasserverhältnisse (1. August 1994). Flächenhafte Grundwasserneubildung = 197 l/s

Beide ausgewerteten Termine für Grundwasserhochstand (1. April 1995 siehe Abb. 59, 16. September 1995 siehe Abb. 60) unterscheiden sich in den Bilanzgrößen erheblich. Hauptfaktor dafür ist das unterschiedliche Verhalten der Mur. Während im einen Fall der Termin der Hochwasserstandsauswertung in einer anlaufenden Hochwasserwelle der Mur zu liegen kommt (16. September 1995) und dabei die Mur das Grundwasser mit 2760 l/s dotiert (Abstrom von Grundwasser in die Mur nur 26 l/s) liegt der andere Auswertzeitpunkt (1. April 1995) im Bereich einer auslaufenden

Hochwasserwelle der Mur. Zu diesem Zeitschritt treten 1979 l/s Grundwasser in die Mur über, eine Anreicherung des Grundwassers durch die Mur ist nicht mehr erkennbar. Diese Interaktion ist auch an den übrigen Bilanzgrößen erkennbar: Vor der Infiltration von Murwasser in den Grundwasserkörper liegt der Durchsatz im Profil Radkersburg bei 57 l/s, bei Hochwasserstand und auslaufendem Hochwasser bei 131 l/s. Gleiches Verhalten zeigt naturgemäß auch der Abfluss über den östlichen Modellrand. Der Grundwasserdurchsatz an den beiden Profilen Mureck und Gosdorf ist im Gegensatz dazu zu beiden Messterminen in derselben Größenordnung (138 zu 177 l/s bzw. 93 zu 103 l/s). Der Zustrom über den nördlichen Talrand ist auch deutlich unterschiedlich und liegt am 16. September 1995 bei etwa 250 l/s, am 1. April 1995 bei etwa 100 l/s.

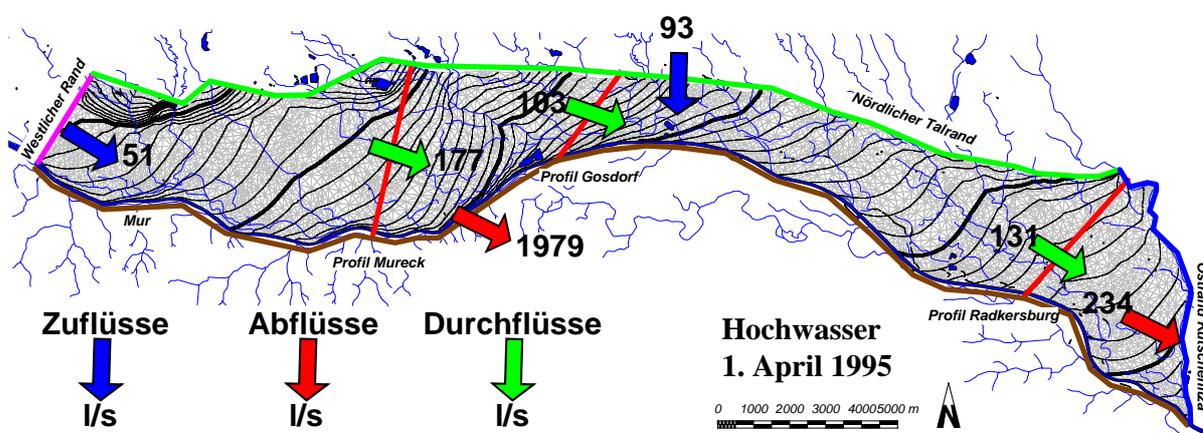


Abb. 59: Bilanzgrößen aus dem Grundwasserströmungsmodell für Hochwasserverhältnisse (1. April 1995), auslaufende Hochwasserwelle der Mur. Flächenhafte Grundwasserneubildung = 838 l/s

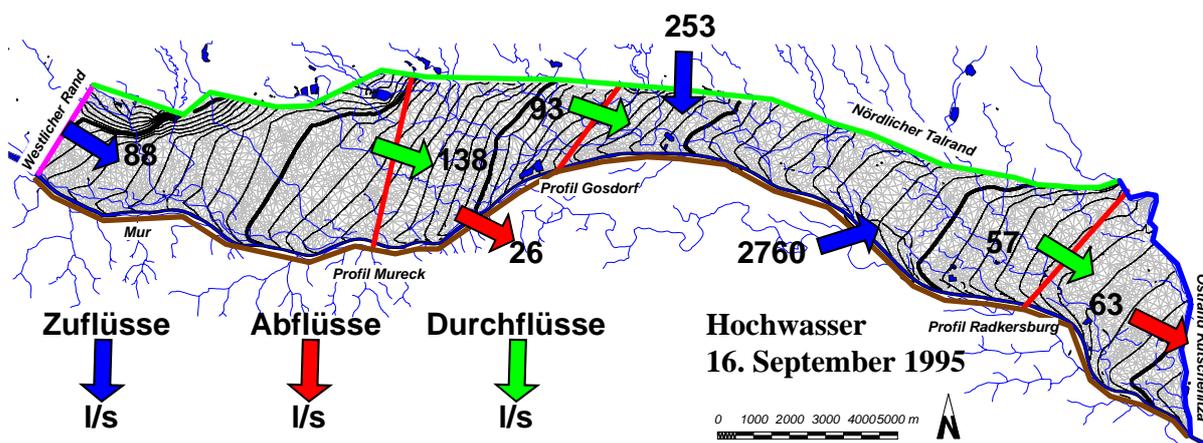


Abb. 60: Bilanzgrößen aus dem Grundwasserströmungsmodell für Hochwasserverhältnisse (16. September 1995), anlaufende Hochwasserwelle der Mur. Flächenhafte Grundwasserneubildung = 1170 l/s

3.6.5.2 Bilanzierung der Einzelkomponenten über Zeiträume

In Tab. 17 sind die Ergebnisse der Bilanzierung aus dem instationär kalibrierten Grundwasserströmungsmodell des Unteren Murtales für die Einzeljahre 1993, 1994 und 1995 sowie für den gesamten Simulationszeitraum 1993 bis 1995 tabellarisch zusammengestellt. Als

Detailauswertung ist die Bilanz für die Grundwasserrückgangsphase des Jahres 1993 (1.1. bis 1.10.1993) angeführt. Die grafische Darstellung der Bilanzgrößen findet sich in Abb. 61.

Tab. 17: Ergebnisse der Bilanzierung für verschiedene Zeiträume [l/s]

BilanzTyp	1993	1994	1995	1993-1995	Rückg. 1993
Zufluss aus der Mur	149.54	54.32	74.26	92.71	94.97
Abfluss in die Mur	-921.49	-1201.80	-1168.19	-1097.16	-882.68
Summe Zu-Abfluss Mur	-771.94	-1147.48	-1093.92	-1004.45	-787.72
Zustrom westl. Modellrand	55.52	61.42	60.31	59.09	54.61
Talrandzufluss Nord	61.90	86.82	89.74	79.49	48.37
Abstrom östl. Modellrand	-103.60	-149.83	-132.48	-128.64	-98.78
GW-Neubildung aus Niederschlag	453.77	879.63	699.20	677.53	177.77
Infiltration aus Gewässern	470.26	549.85	571.41	530.50	405.52
Exfiltration in Gewässer	-258.12	-603.44	-651.32	-504.29	-223.68
Infiltration abzüglich Exfiltration	212.14	-53.59	-79.91	26.21	181.84
Bilanz (incl. Brunnen)	-92.21	-323.03	-457.06	-290.77	-423.92

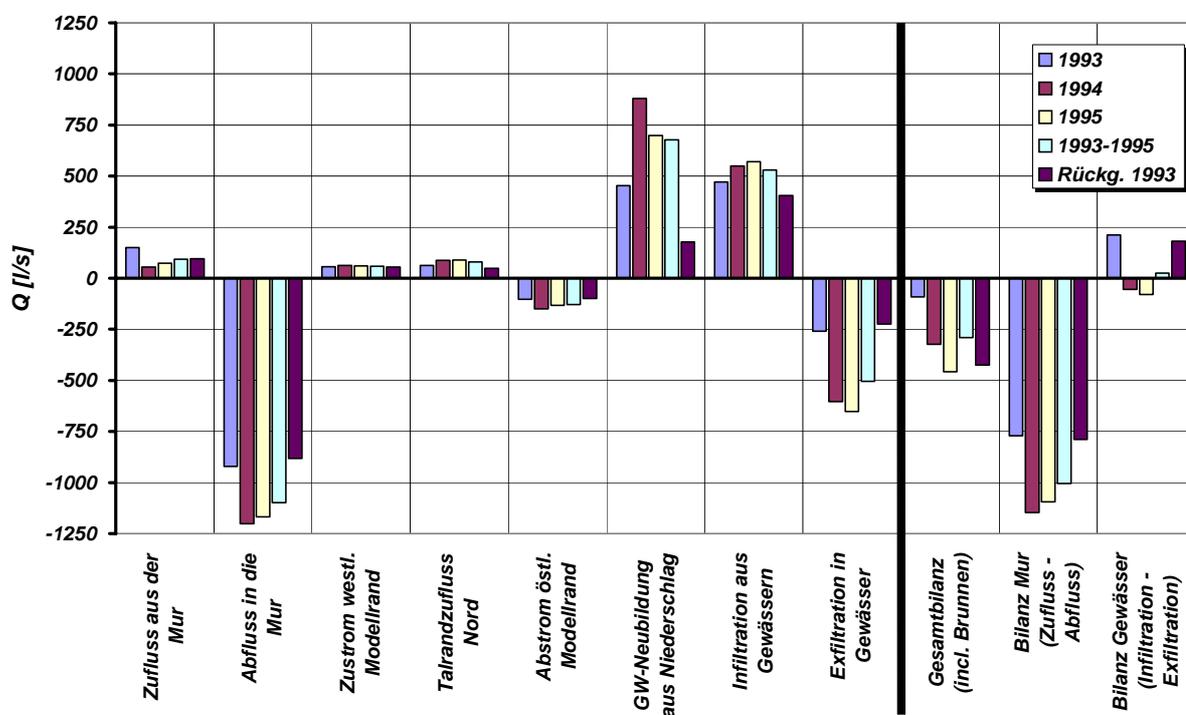


Abb. 61: Darstellung der Ergebnisse der Bilanzierung über unterschiedliche Randbedingungen für verschiedene Zeiträume

Wie aus der grafischen Darstellung ersichtlich stellen die Vorflutfunktion der Mur, die flächenhafte Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet und die Interaktion des Grundwassers mit den Oberflächengewässern die dominanten Einflussgrößen für das Grundwasserregime dar. Die Bilanzierung der Flüsse über die Randbedingung Mur zeigt, dass zu allen ausgewerteten Zeiträumen die Exfiltration von Grundwasser in die Mur gegenüber der Anreicherung des Grundwasserkörpers durch die Mur wesentlich größere Beträge aufweist. Die flächenhafte Grundwasserneubildung stellt eine Inputgröße dar, da eine Verdunstung aus dem Grundwasserkörper in Bereichen geringer Flurabstände zwar stattfindet, von der Größenordnung her aber praktisch bedeutungslos ist. Die

Interaktion der Oberflächengewässer mit dem Grundwasser ist durch eine intensive Wechselwirkung zwischen Ex- und Infiltration charakterisiert, die sich in Summe über einen längeren Bilanzierungszeitraum praktisch aufheben: Im Zeitraum 1993 bis 1995 beträgt der Infiltrationsüberschuss von Oberflächenwasser in das Grundwasser gegenüber der Exfiltration von Grundwasser in die Oberflächengewässer im gesamten Untersuchungsgebiet nur noch etwa 26 l/s. Gegenüber den hier genannten Einflussfaktoren spielen die Flüsse über die Modellränder im Westen, Norden und Osten nur eine deutlich untergeordnete Rolle. Insgesamt ergibt die Modellbilanz für das Untere Murtal im Auswertzeitraum 1993 bis 1995 ein Defizit von etwa 290 l/s.

Betrachtet man die einzelnen Auswertzeiträume so zeigen sich beträchtliche Unterschiede in den Bilanzgrößen, die auf die zeitliche und räumliche Variabilität der Eingangsgrößen zurückzuführen sind. Die gesamte Grundwasserbilanz des Unteren Murtales weist zwischen 1993 und 1995 jährlich steigende Defizite auf, wobei das Jahr 1993 mit etwa 92 l/s den niedrigsten Wert aufweist, obwohl im Zeitraum der Grundwasserrückgangphase von Jänner bis September 1993 die Gesamtbilanz ein Defizit von mehr als 420 l/s aufweist. Die Defizite aus der flächenhaften Grundwasserneubildung in dieser Rückgangphase werden aufgrund der intensiven herbstlichen Neubildungsphase wieder nahezu vollständig aufgeholt. Zusätzlich wurde im Jahr 1993 aufgrund der Tieflage des Grundwasserkörpers auch ein deutlicher Infiltrationsüberschuss aus den Oberflächengewässern von mehr als 210 l/s errechnet. Im Vergleich dazu ist in den beiden übrigen Jahren ein Exfiltrationsüberschuss zwischen 50 und 80 l/s erkennbar.

3.6.5.3 Instationäre Bilanzierung auf Tagesbasis

Die Auswertung des instationär kalibrierten Grundwasserströmungsmodells erlaubt es nicht nur längere Zeitabschnitte zu bilanzieren (siehe Kap. 3.6.5.2), sondern auf der Basis von Tagesbilanzen die instationäre Entwicklung der einzelnen Bilanzgrößen zu verfolgen. In Abb. 62 ist die zeitliche Entwicklung der Gesamtbilanz des Grundwassers im Untersuchungszeitraum dargestellt, wobei im oberen Teil der Grafik die Tagesbilanzgrößen, im unteren die Summenlinie dargestellt ist. In adäquater Weise ist in Abb. 63 die Entwicklung der Grundwasserneubildung für das Gesamtgebiet, in Abb. 64 die Bilanz der Interaktion der Oberflächengewässer ohne Berücksichtigung der Mur visualisiert. Die zeitliche Entwicklung der Bilanzgrößen für drei wichtige Oberflächengewässer Schwarzaubach, Drauchenbach und Kutschenitza sind in Abb. 65 bis Abb. 67 detailliert herausgearbeitet. Abb. 68 zeigt die zeitliche Entwicklung der Bilanz der Mur-Interaktion mit dem Grundwasserkörper, Abb. 69 bis Abb. 71 schließlich stellen die Flussbilanzen über den nördlichen, westlichen und östlichen Modellrand dar.

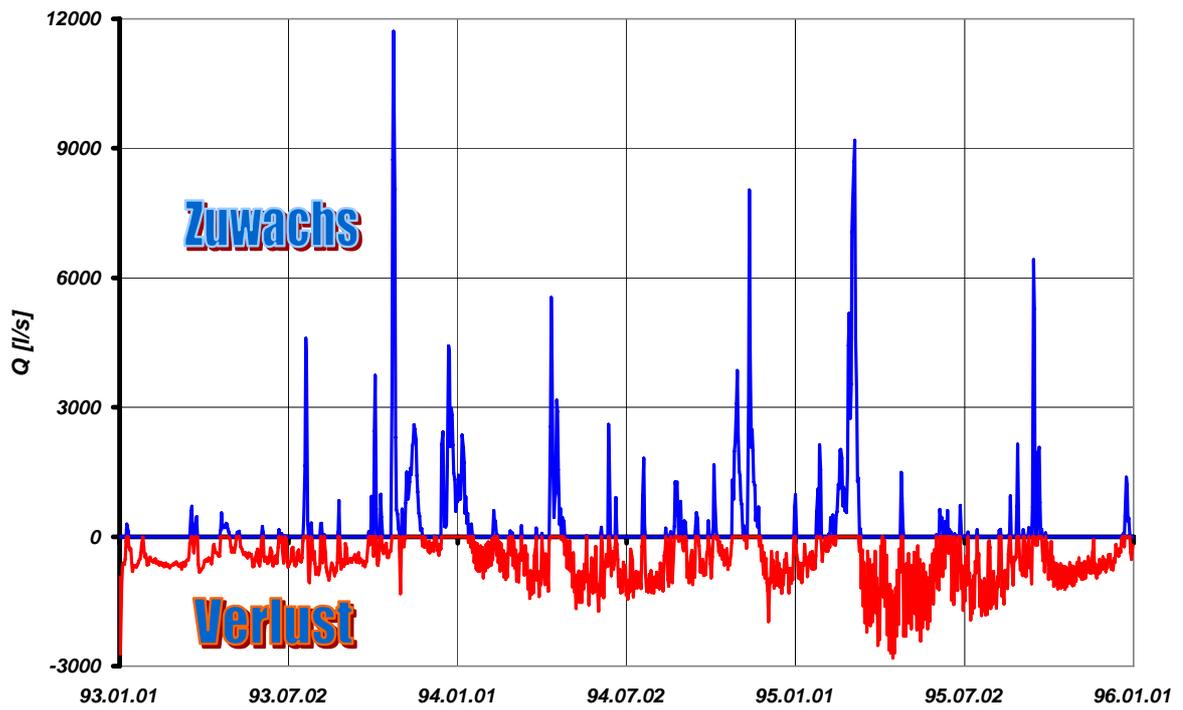


Abb. 62: Grundwasser – Gesamtbilanz im Modellgebiet (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)

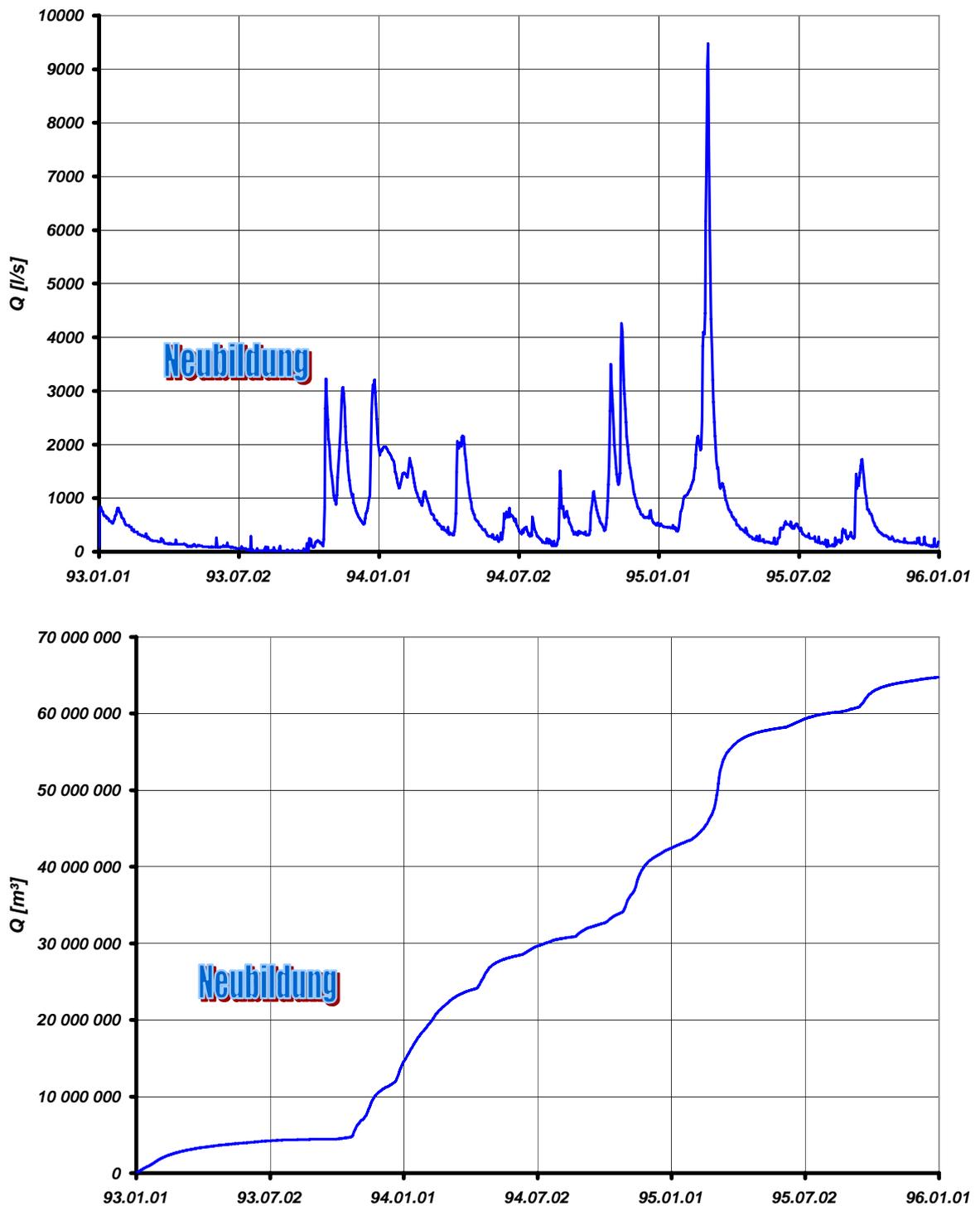


Abb. 63: Bilanz der flächenhaften Grundwasserneubildung im Modellgebiet (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)

Bezogen auf die gesamte Modellgebietsfläche von 101.7 km² errechnet sich für den Zeitraum 1.1.1993 bis 31.12.1995 eine mittlere Grundwasserneubildungsrate von 6.75 l/s/km² entsprechend einer mittleren Jahresgrundwasserneubildung von etwa 210 mm.

- Oberflächengewässer ohne Mur

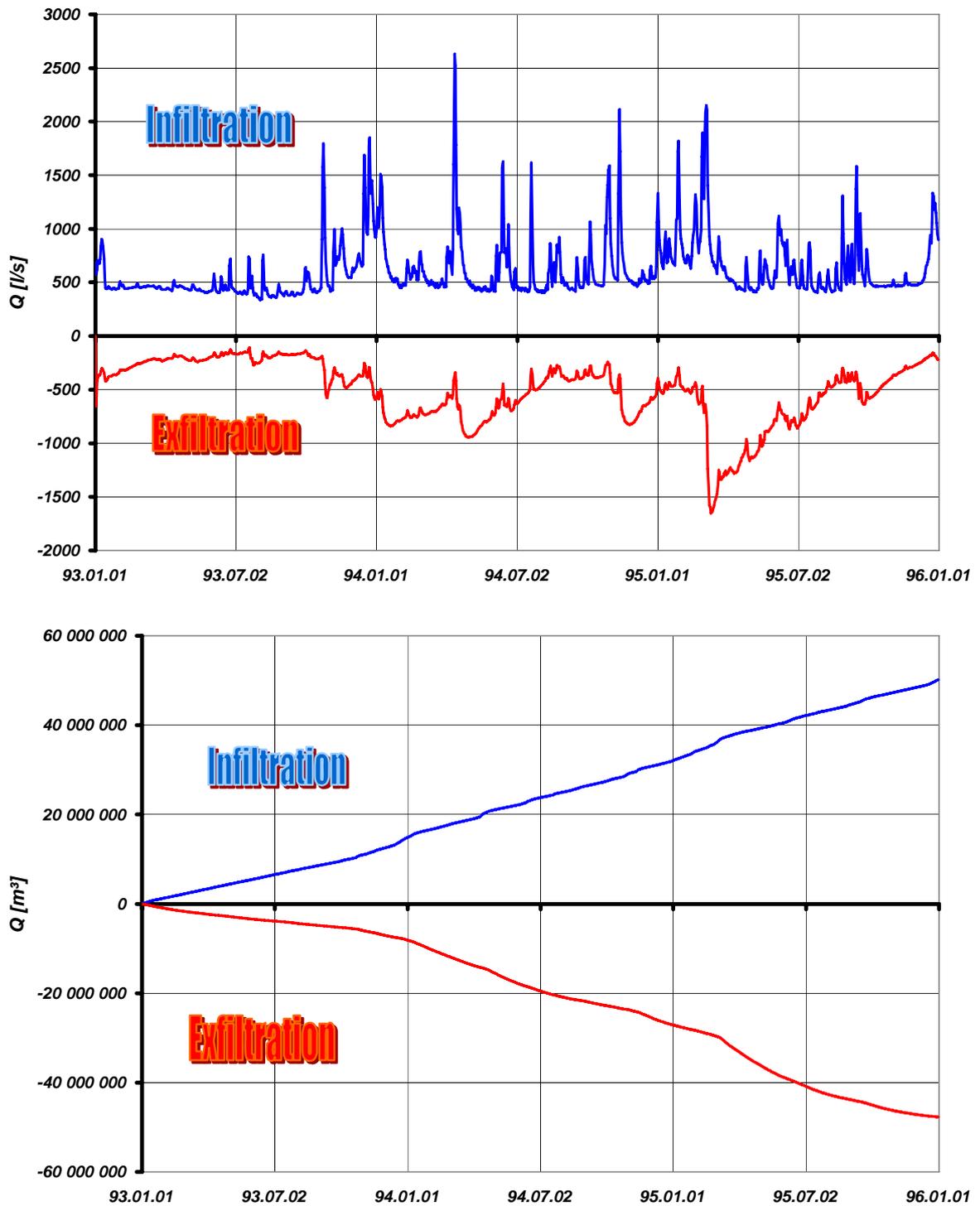


Abb. 64: Gesamtbilanz der Interaktion der Oberflächengewässer ohne Mur mit dem Grundwasser im Modellgebiet (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)

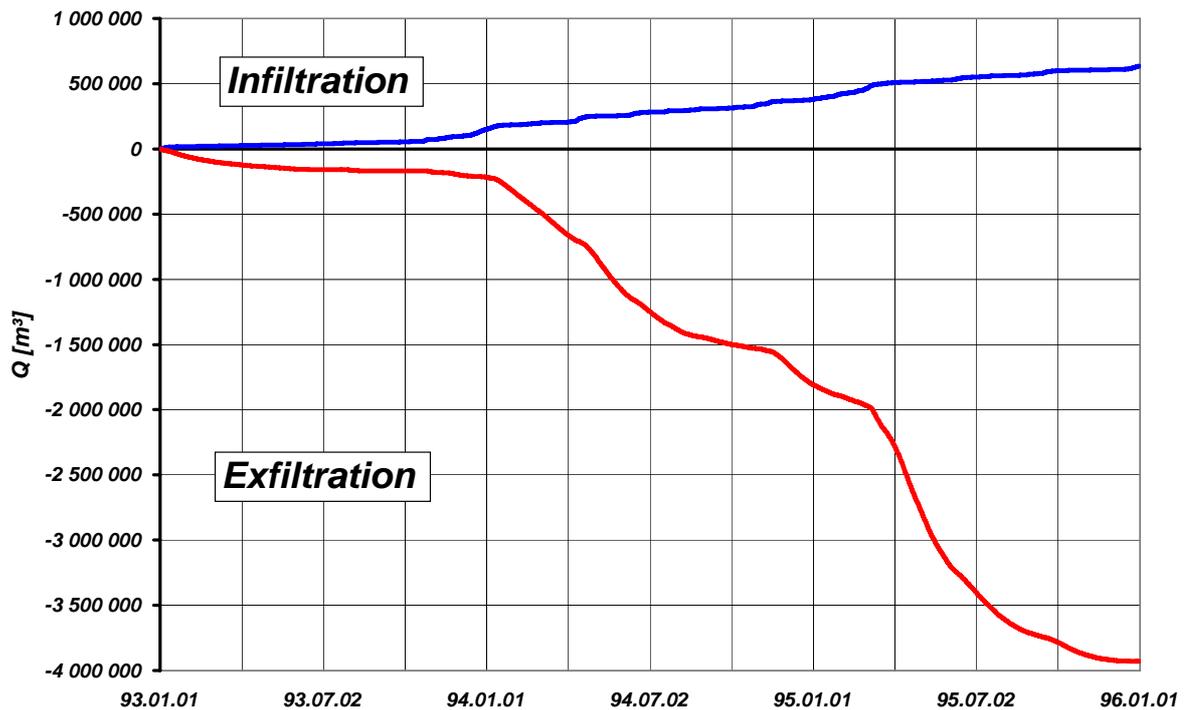
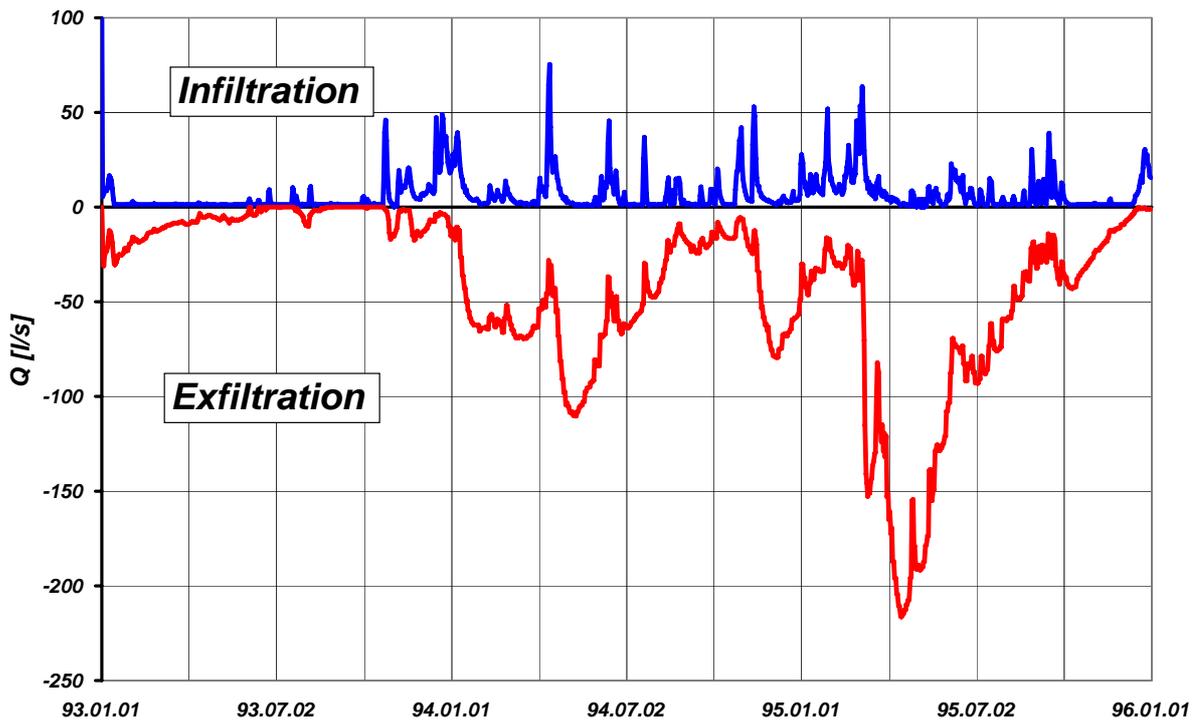


Abb. 65: Bilanz der Interaktion des Schwarzaubaches mit dem Grundwasser im Modellgebiet
(oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)

Während die Gesamtbilanz der Interaktion der Oberflächengewässer (ohne Berücksichtigung der Mur) über den Untersuchungszeitraum von 3 Jahren in etwa ausgeglichen ist, zeigen die drei im Detail ausgewerteten Seitzubringer Schwarzenbach, Drauchenbach und Kutschenitza deutliche

Exfiltrationsüberschüsse, d.h. diese drei Gewässer wirken überwiegend drainagierend auf den Gesamtgrundwasserkörper des Unteren Murtales.

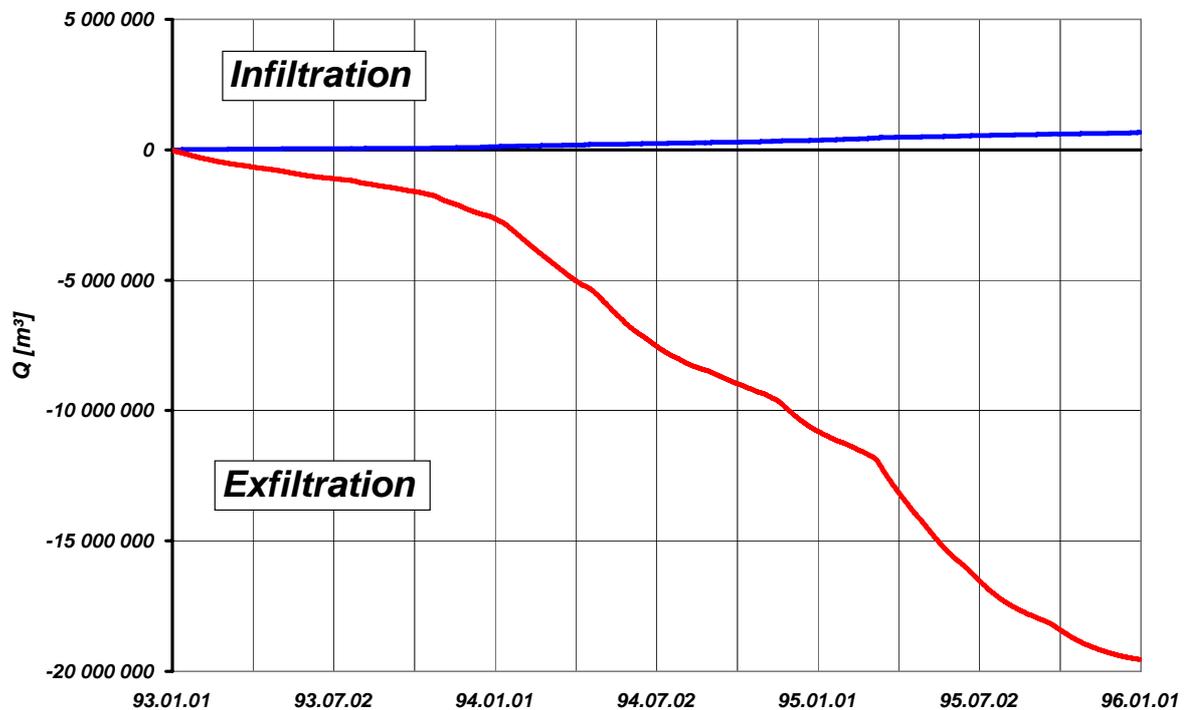
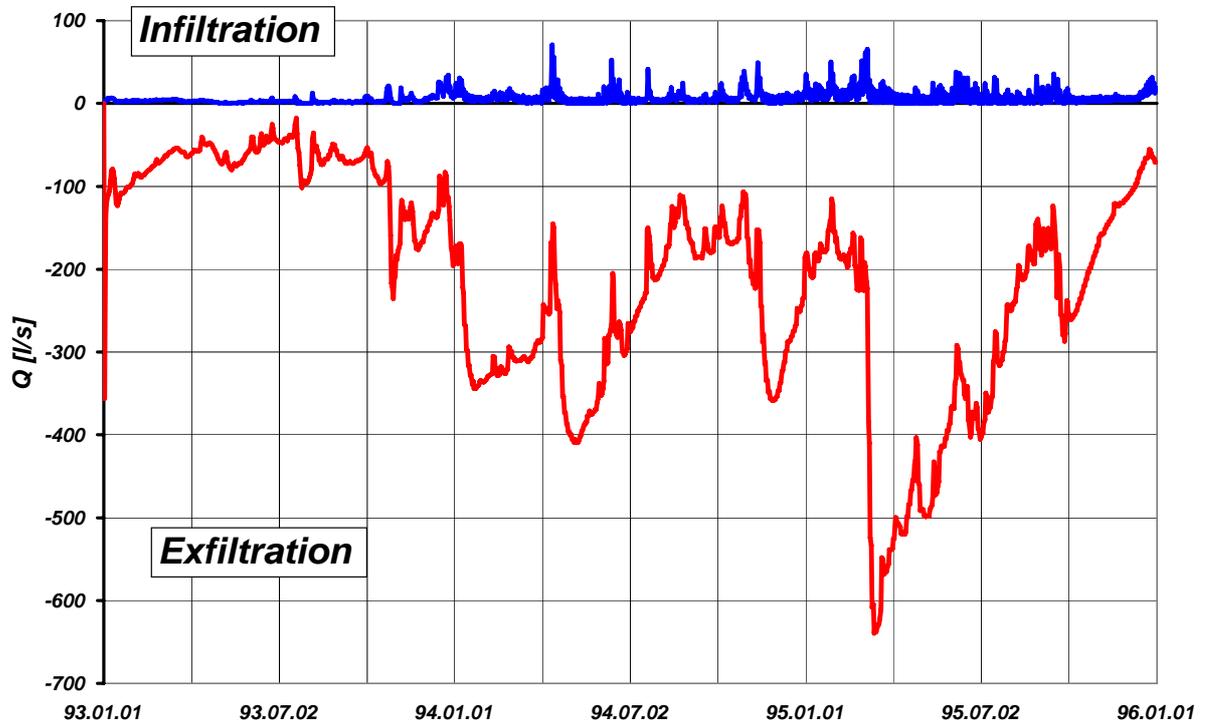


Abb. 66: Bilanz der Interaktion des Drauchenbaches mit dem Grundwasser im Modellgebiet (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)

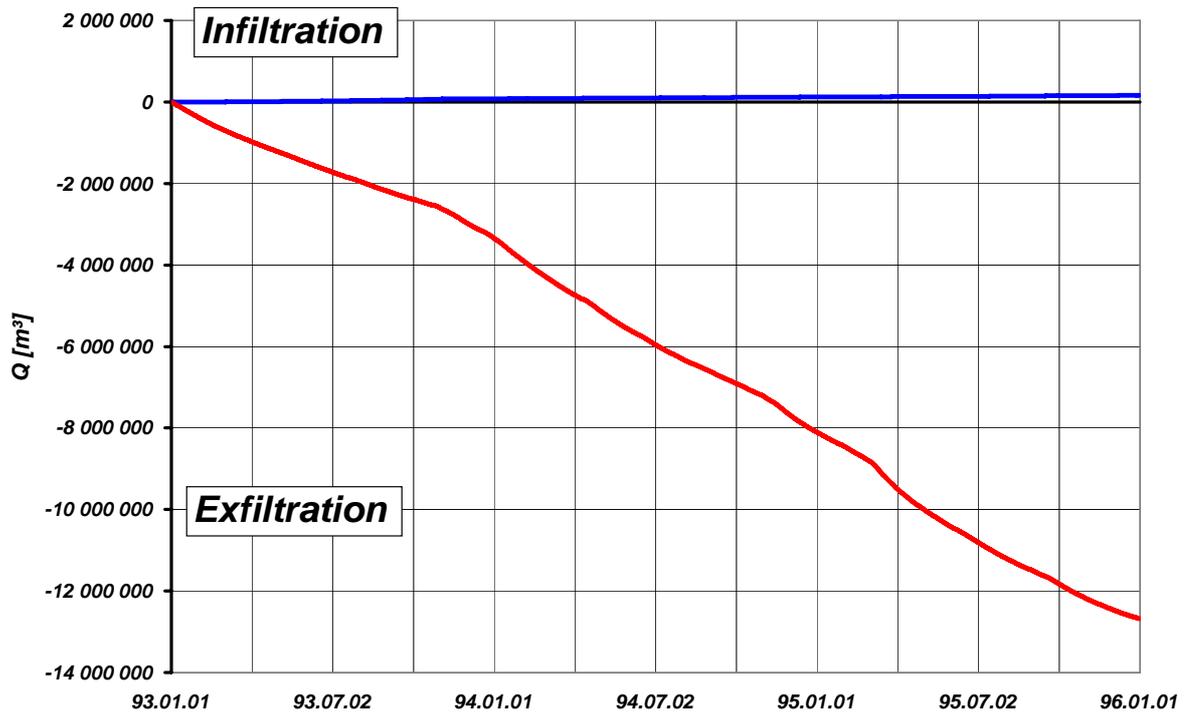
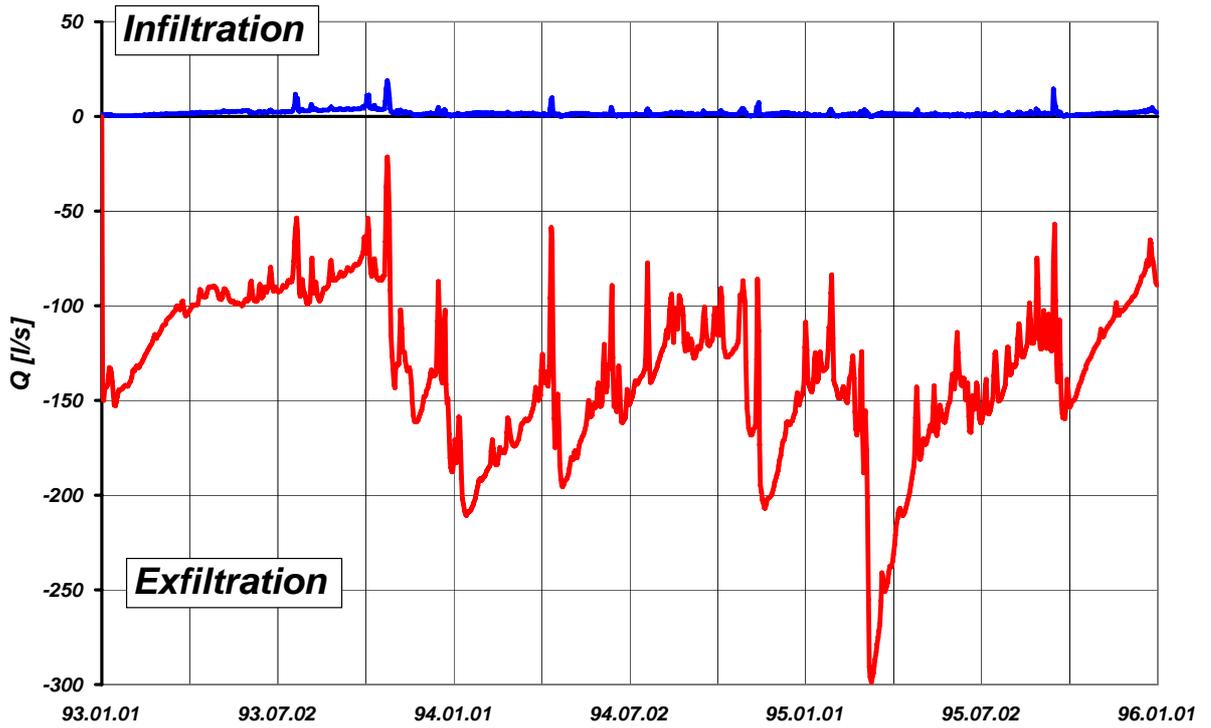


Abb. 67: Bilanz der Interaktion der Kutschenitzta mit dem Grundwasser im Modellgebiet
(oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)

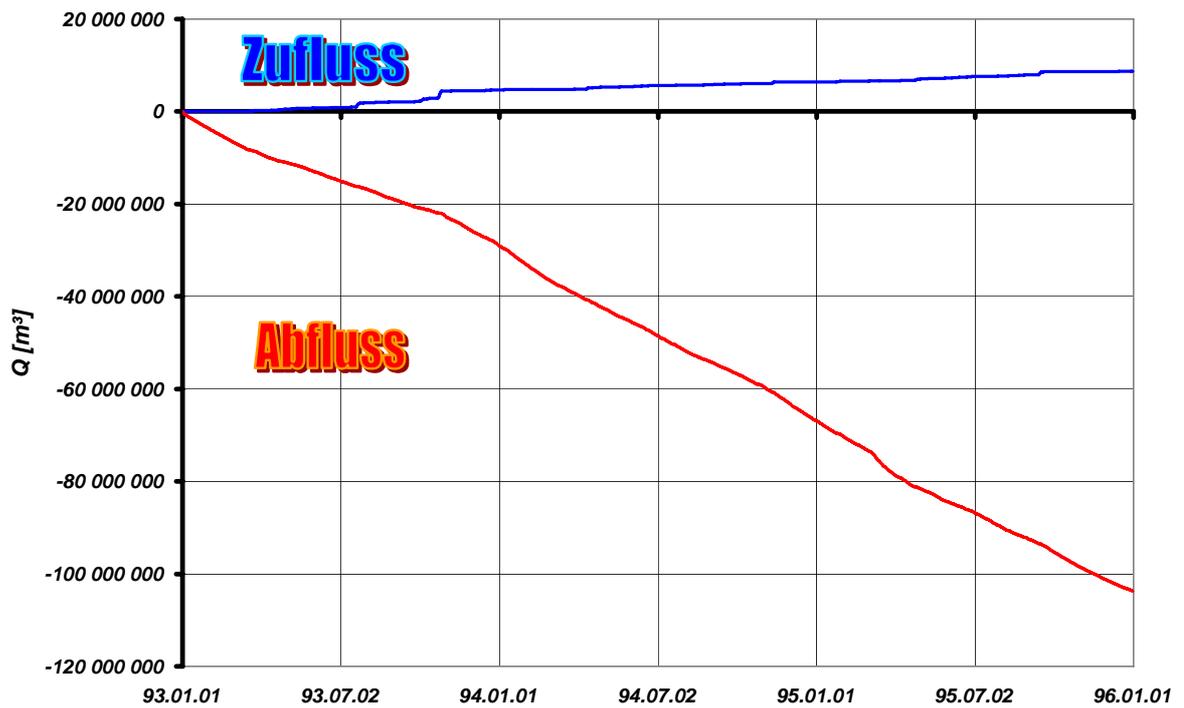
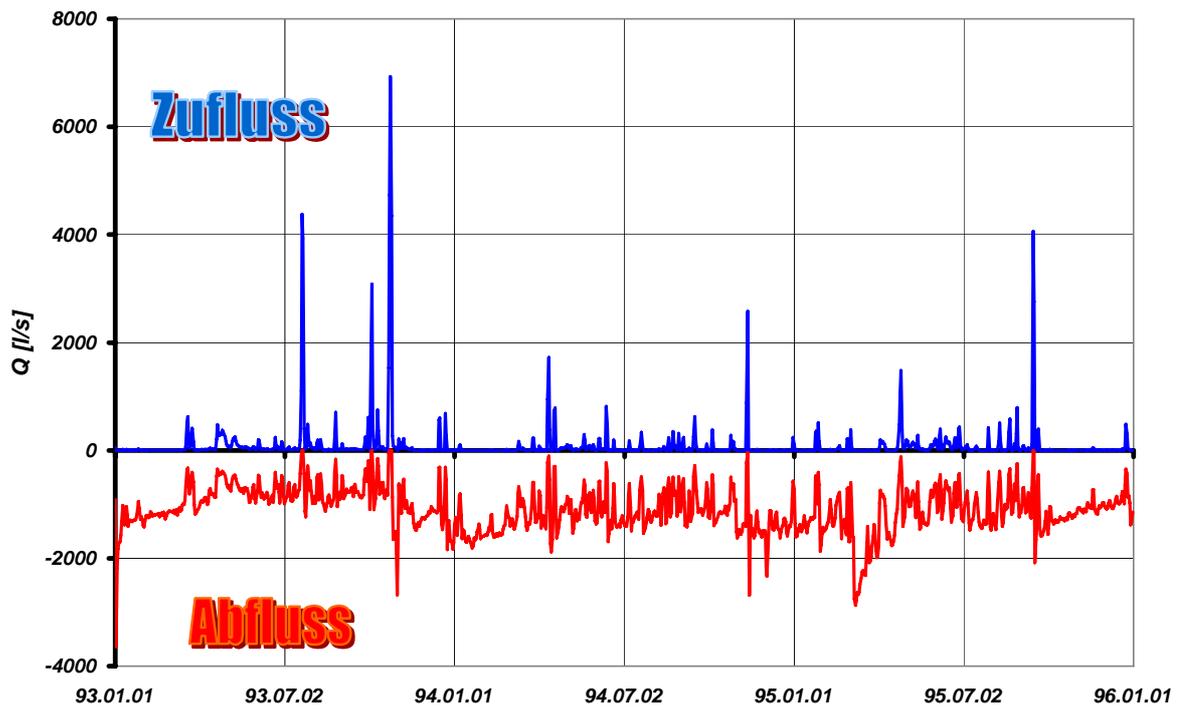


Abb. 68: Bilanz der Interaktion der Mur mit dem Grundwasser im Modellgebiet
(oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)

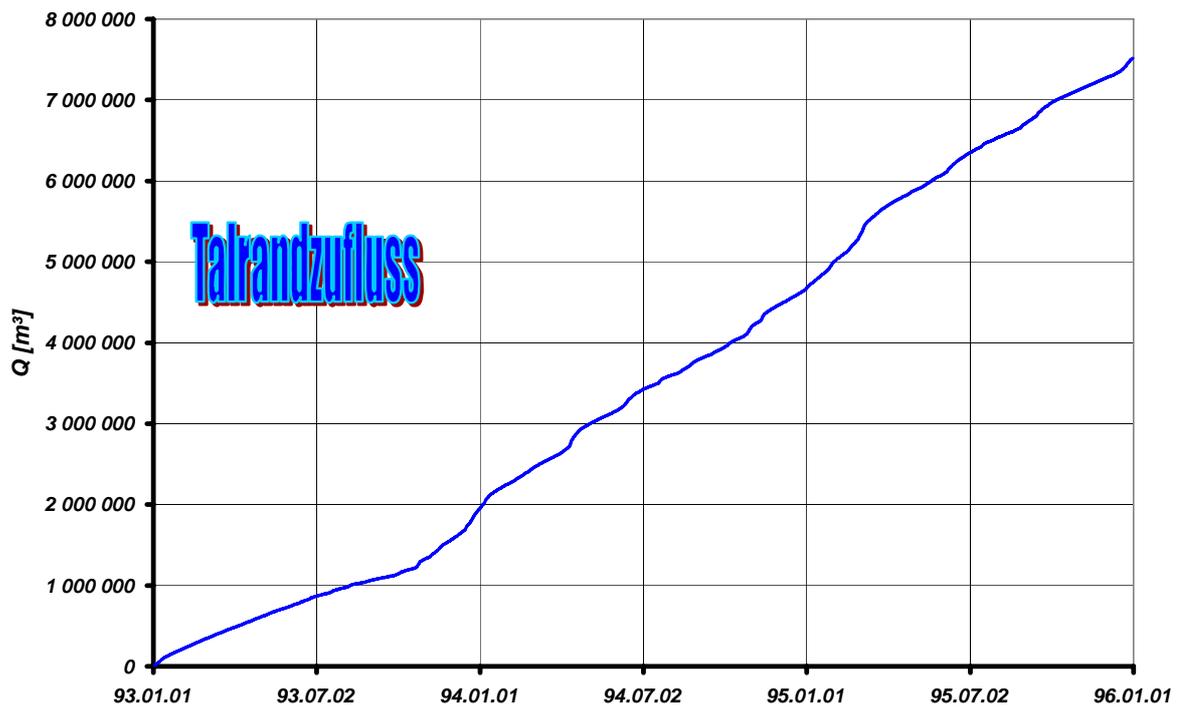
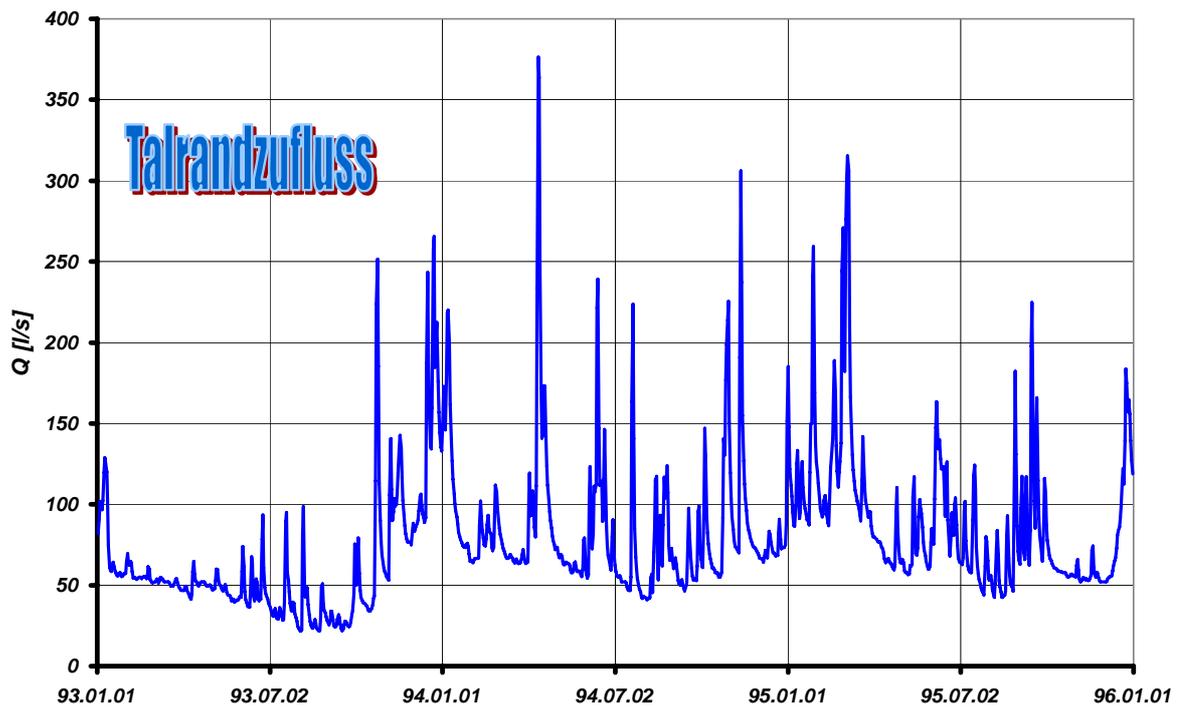


Abb. 69: Bilanz der Interaktion des Grundwassers im Modellgebiet über den nördlichen Talrand (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)

Der nördliche Talrand wirkt naturgemäß ausschließlich als Inputgröße für das Grundwasser des Modellgebietes, da zu allen Zeitpunkten die Grundwasserströmung vom Talrand weg auf die Mur hin ausgerichtet ist.

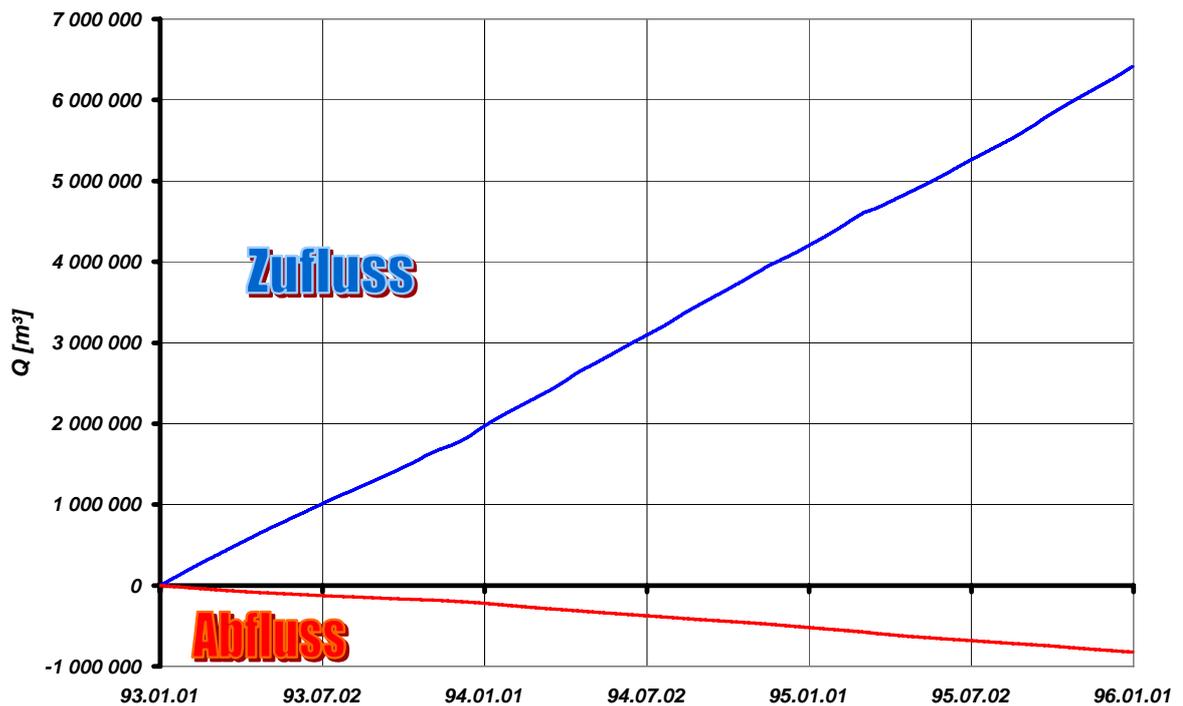
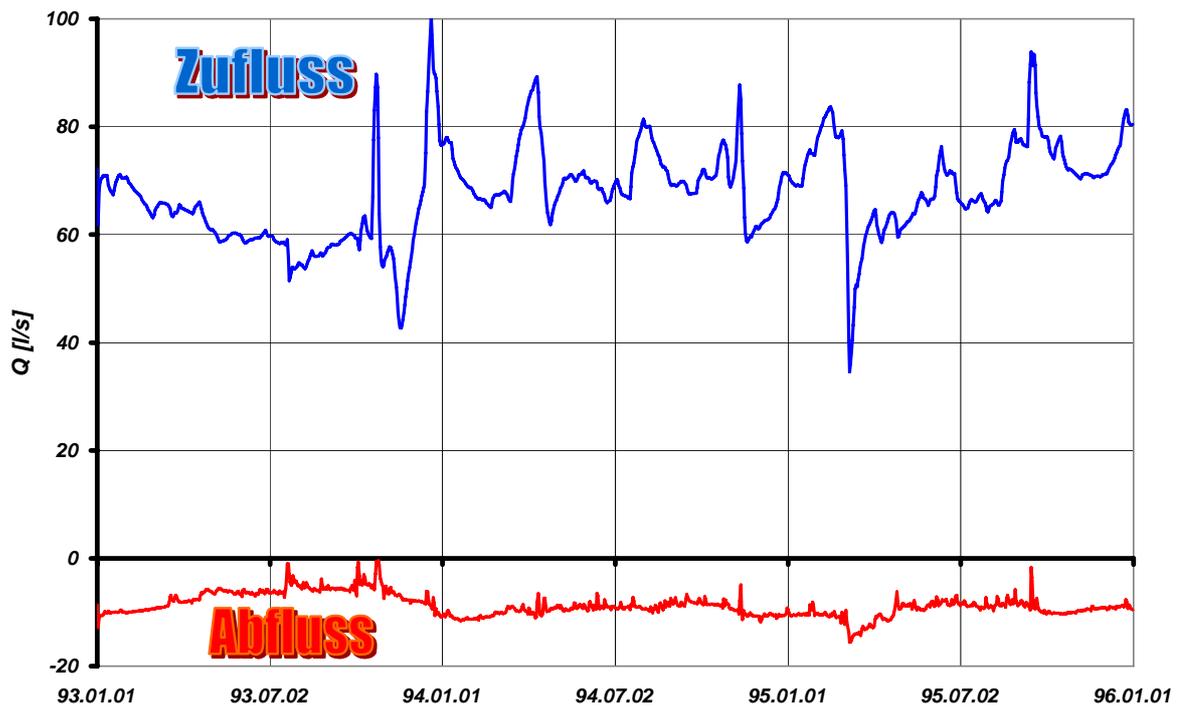


Abb. 70: Bilanz der Interaktion des Grundwassers im Modellgebiet über den westlichen Modellrand (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)

Am westlichen Modellrand ist insgesamt der Zufluss deutlich dominierend, allerdings treten im nördlichen Teil des Westrandes aufgrund des Einflusses der Nordberandung und der Oberflächengewässer in diesem Bereich auch geringfügige Abflüsse aus dem Modellgebiet auf.

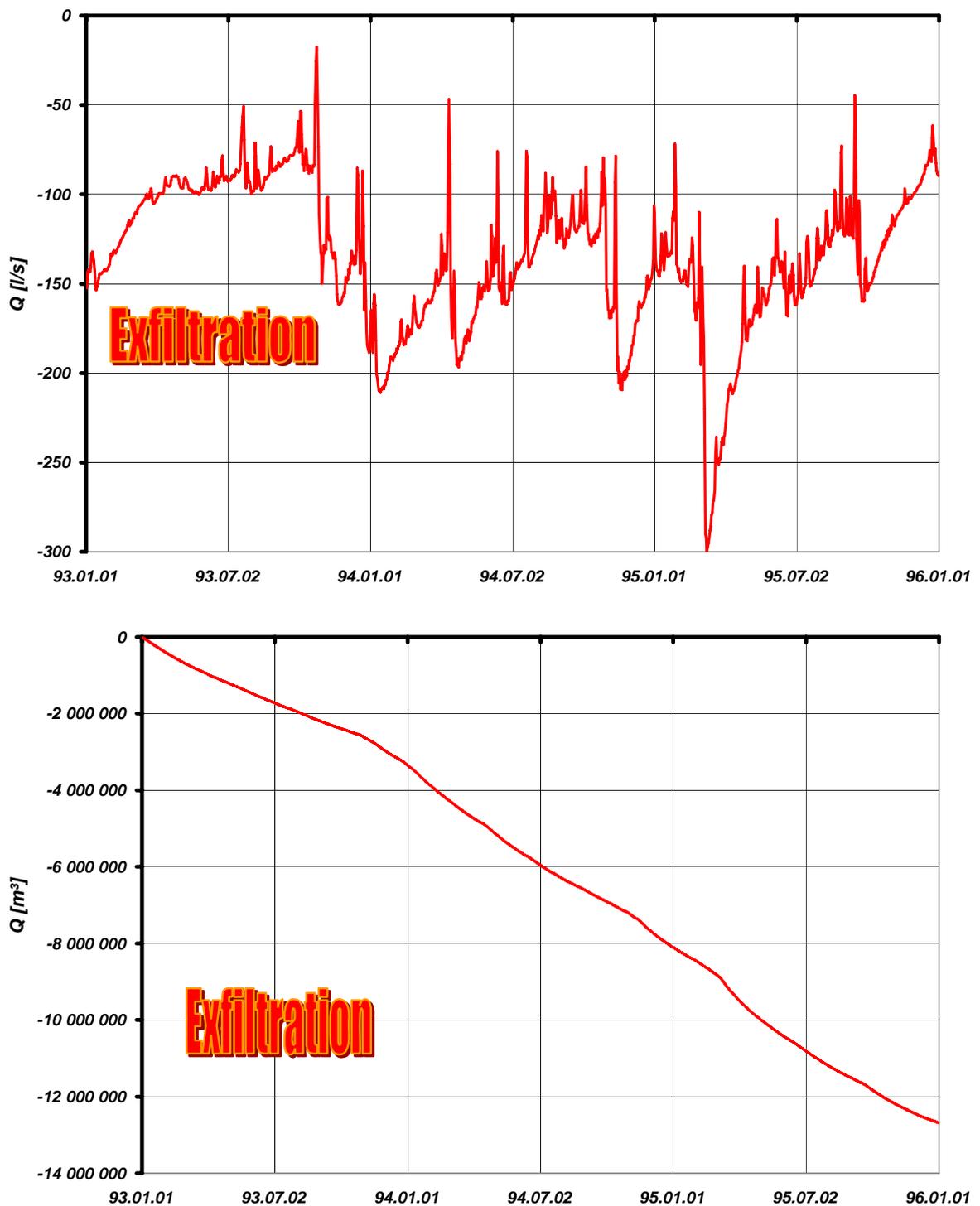


Abb. 71: Bilanz der Interaktion des Grundwassers im Modellgebiet über den östlichen Modellrand (oben: Tagesbilanz unten: Summenlinie)

Über die östliche Berandung des Modellgebietes fließt Grundwasser ausschließlich aus dem Untersuchungsgebiet ab, weshalb hier keine Zuflussganglinie dargestellt werden kann.

3.7 Vorschläge zur Verbesserung und Vereinfachung der instationären Kalibration zukünftiger Grundwasserströmungsmodelle

Aus der Bearbeitung des instationär kalibrierten Grundwasserströmungsmodells „Unteres Murtal“ und der Erstellung eines Grundwasserströmungsmodells für den Talgrundwasserkörper der Salzach (FANK et al., 1998) ergeben sich für zukünftige Modellentwicklungen einige Vorschläge für eine Vereinfachung und auch eine fachliche Verbesserung der Kalibration instationärer Strömungsmodelle, die im Folgenden kurz diskutiert werden sollen.

3.7.1 Datengrundlagen

Entscheidende Verbesserungen für die Kalibration von Grundwasserströmungsmodellen sind dann zu erwarten, wenn die Eingangsdatenlage und deren Gewinnung auf eine verbesserte Basis gestellt werden kann. Während die Erfassung der Grundwasserspiegellagen in vielen Fällen sowohl in ihrer zeitlichen Varianz als auch in ihrer räumlichen Verteilung als gut bezeichnet werden darf, zeigen die Daten von Oberflächengewässern, die Zuflüsse über die Modellränder und auch die Basisdaten zur Ableitung der Grundwasserneubildung deutliche Defizite auf.

3.7.1.1 Daten des Vorfluters

Die für die Erstellung des instationären Modells notwendigen Wasserspiegelganglinien entlang der Mur, wurden wie oben detailliert beschrieben, aus vorhandenen Durchfluss/Wasserspiegel-Beziehungen abgeschätzt. Durch die Veränderungen der Flussgeometrie seit der Erstellung der dazu verwendeten Längenschnitte (1982) ergeben sich aber in bestimmten Flussabschnitten größere Unsicherheiten bei der Abschätzung der Gewässerganglinien. Dies führt vor allem in Bereichen mit komplexen Grundwasserströmungsverhältnissen oder geringer Dichte an Kontrollpegeln zu Unsicherheiten im Grundwassermodell.

Die Verbesserung der Definition der Wasserspiegelganglinien am Vorfluter kann mit der Erstellung von stationären oder instationären Strömungsmodellen für offene Gerinne wesentlich verbessert werden. Die besten Ergebnisse bieten instationäre Modelle. Einen Kompromiss stellen stationäre Modelle dar, für welche Zustände unterschiedlicher Durchflüsse kalibriert und berechnet werden. Über die Durchfluss/Wasserspiegel-Beziehungen können dann wieder die Wasserspiegelganglinien errechnet (geschätzt) werden.

Als Ausgangsdaten für die Erstellung von Gerinneströmungsmodellen werden für den Modellierungszeitraum relevante Querprofile zur Beschreibung der Flussgeometrie benötigt. Als hydrologische Daten sind für ein stationäres Modell zumindest in einigen Kontrollprofilen für alle zu kalibrierenden Durchflüsse Wasserspiegelmessungen sowie stationäre Durchflussveränderungen entlang des Gerinnes notwendig. Für instationäre Modelle müssen Durchfluss- und Wasserspiegelganglinien am Eingangs- und Ausgangsprofil, sowie an den Kontrollprofilen für die

Kalibration des Modells vorhanden sein. Bei Kraftwerken und diversen Einbauten zur Regelung des Durchflussverhaltens müssen die Vorschriften für die Stauregelung, bzw. die tatsächliche Regelung bekannt sein. Bei ausufernden Ereignissen ist es möglich Dammüberströmungen und Retentionsverhalten zu simulieren. Eine Koppelung der Strömungsmodelle für offene Gerinne und Grundwassermodellen ist für die Interaktion mit größeren Vorflutern nicht notwendig, da die Veränderung der Wasserspiegel im Vorfluter aufgrund der Grundwassereinflüsse vernachlässigbar ist.

3.7.1.2 Daten von Nebengewässern

Auch bei der Interaktion der Nebengewässer mit dem Grundwasser ist der wichtigste Parameter die Wasserspiegelhöhe im Oberflächengewässer. Zusätzlich wird für die Definition der Interaktion meist die Höhe der Gewässersohle und der Abdichtungsgrad des Gewässerabschnittes benötigt. Grundsätzlich gelten für die Nebengewässer die selben Möglichkeiten zur Verbesserung der Ausgangsdaten für die Grundwassermodellierung. Da aber wegen des Aufwandes und oft nicht vorhandener Daten nicht für jedes Gewässer ein Gerinnenmodell erstellt werden kann, müssen Kompromisse bei der Ermittlung (Abschätzung) dieser Daten gesucht werden. Von enormer Wichtigkeit ist dabei die Messung oder zumindest Abschätzung der Durchflussganglinie der einzelnen Gewässerabschnitte. Ohne diese (wie z.B. bei den Mühlkanälen) kann die Interaktion nur mit großen Unsicherheiten im Modell integriert werden. Wöchentliche Werte sind dafür aber keinesfalls ausreichend, da diese die Dynamik der Ereignisse an Oberflächengewässern nicht wiedergeben können. Sind Durchflussganglinien vorhanden, können unterschiedlich aufwendige gerinnhydraulische Methoden für die Abschätzung der Wasserspiegelganglinien an den einzelnen Gerinneabschnitten herangezogen werden. Bei kleinen regulierten Gewässern ist die Abschätzung aus den Regulierungsunterlagen meist möglich. Die aktuelle Sohle des Gerinnes sollte dazu aber bekannt sein. Bei größeren Nebengewässern oder Mühlkanälen sollte die Abschätzung aber zumindest über die Durchfluss/Wasserspiegel-Beziehungen aus einem stationären Modell oder aus entsprechenden Messungen erfolgen. Das Optimum kann aber auch bei den Nebengewässern nur mit einem Instationärmodell erreicht werden. Bei kleineren Gewässern mit Wechsel zwischen „strömendem“ und „schießendem“ Abfluss ist es nicht möglich, instationäre Modell zu erstellen. In stationären Modellen können Wechsel des Strömungsverhaltens simuliert werden, bei geringen Durchflüssen treten aber auch bei diesen Modellen Probleme bei der numerischen Lösung der Strömungsgleichungen auf.

Ein wichtiger Faktor bei der Interaktion zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser sind die Angaben über den Abdichtungsgrad des Gewässerabschnittes. Diese Angaben sind praktisch nicht messbar und können nur abgeschätzt werden. Bei kleineren Gewässern können Messungen der Abflussdifferenzen wertvolle Daten für die Kalibration des Abdichtungsgrades liefern. Weitere Anhaltspunkte können die Begehung der Gewässer, vorhandene Projektunterlagen über

Detailuntersuchungen und Informationen über die hydrogeologischen Verhältnisse des Einzugsgebietes des Oberlaufes des Gewässers liefern.

Teiche und Grundwasserseen weisen naturgemäß gänzlich unterschiedliche Einflüsse auf das Grundwasser auf. Es ist daher von enormer Wichtigkeit von einem See zu wissen, ob dieser ein Teich oder ein Grundwassersee ist. Bei Grundwasserseen sollte erhoben werden, ob eine Unterströmung (unter der Seesohle) erfolgt oder der See bis zum Stauer reicht. Angaben über den Abdichtungsgrad von Grundwasserseen verbessern die Kalibration von Grundwassermessstellen. Aus dem Verhältnis von nahegelegenen Grundwasserspiegelhöhen in Anström- und Abströmrichtung von Seen zum Seespiegel kann auf den Abdichtungsgrad geschlossen werden.

3.7.1.3 Randzuflüsse

Die Erfassung der Randzuflüsse zu Modellgebieten ist ein besonders heikles Thema, da dafür fast nie wirklich ausreichende Datensätze vorhanden sind. Gerade bei der Kalibration instationärer Strömungsmodelle ist die Abschätzung eines mittleren Zuflusses aus langjährigen Wasserbilanzen der anschließenden Teileinzugsgebiete jedenfalls ungenügend. Ziel muss es auch hier sein, das spatio-temporale Verhalten der Randzuflüsse zu beschreiben und diese in eine funktionale Abhängigkeit an Messdaten in den Teileinzugsgebieten zu bringen. Ein Weg dazu wäre die Erstellung von Einzugsgebietsmodellen, in denen der Abstrom aus den angrenzenden Bereichen aufgrund der Topographie, der Geologie, der Landnutzung und meteorologischer Parameter zeitlich instationär berechnet wird.

3.7.1.4 GW-Neubildung

Zur Ermittlung der Grundwasserneubildung unter landwirtschaftlich genutzten Böden und mit Einschränkungen auch für Waldstandorte hat sich die Anwendung von Bodenwasserhaushaltsmodellen (in unserem Fall SIMWASER) bewährt. Diese instationären hydraulischen Berechnungen sind aber nur für jene Bereiche durchführbar, wo zumindest grundlegende Informationen über die Bodenformen und deren regionale Verteilung vorliegen. Über Pedo-Transfer-Funktionen werden die Kartierungsergebnisse in hydraulische Parameter wie sie für die Modellierung gebraucht werden, umgesetzt.

Für die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens und damit die nutzbare Feldkapazität im Profil – in weiterer Folge somit auch für die Grundwasserneubildung – spielt die Mächtigkeit der feinklastischen bindigen Deckschichten über den Kiesen und Sanden, die das Muttergestein für die Bodenbildung darstellen, eine entscheidende Rolle. Auf der Basis der Bodenkartierung werden den einzelnen Bodenformen Mächtigkeiten zugewiesen, die von der Lage der Profilstellen abhängen, wobei in den allermeisten Fällen Mächtigkeiten von mehr als 1 m nicht explizit ausgeschieden werden, da dies für das Pflanzenwachstum selbst nur noch untergeordnete Bedeutung hat. Bis dato wurde bei der Berechnung der Grundwasserneubildung und des Nitrataustrages jede einzelne Bodenform als in sich

homogen hinsichtlich der Bodenart und auch der Mächtigkeit angenommen. Wie aus Untersuchungen im Leibnitzer Feld und hier v.a. im Versuchsfeld Wagna bekannt ist, sind die Änderungen der Mächtigkeit der Bodenschichten wesentlich kleinräumiger als dies aus den Bodenkartierungsergebnissen abzulesen ist. Da aber gerade die Mächtigkeitsverteilung im Raum ein entscheidender Parameter für die Berechnung der Neubildung darstellt, muss der Erfassung dieser Variabilität im Raum besonderes Gewicht beigemessen werden. Zur Erfassung der Feinbodenmächtigkeit stehen verschiedene Verfahren zu Verfügung, wobei für zukünftige Auswertungen Methoden, die flächenhafte oder zumindest lineare Ergebnisse für große Gebiete in kurzer Zeit liefern weiterzuentwickeln wären. Zu diesen zählen schwerpunktmäßig sicherlich geoelektrische Verfahren oder Radarverfahren, die den Untergrund von der Oberfläche aus zu scannen imstande sind. Zur Übertragung dieser eher linearen Daten in die Fläche sind im Bereich der geostatistischen Interpolation noch weiterführende Arbeiten durchzuführen. Inwieweit die Auswertung von Satellitenbildern hier zukünftig entscheidende Beiträge liefern wird können, ist abzuwarten.

Bisherige Arbeiten (z.B. FANK, 1999) zeigen, dass eine vernünftige Schätzung flächenhafter und in der Zeit variabler Grundwasserneubildung nur durch eine Kombination von numerischer Modellrechnung mit statistischen und geostatistischen Methoden möglich sein wird. Eine derartige Vorgangsweise müsste die - im Folgenden beschriebenen -Komponenten beinhalten:

Berechnung der Grundwasserneubildung

Für land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen

- Berechnung der Grundwasserneubildung mittels eines Bodenwasserhaushaltsmodells (SIMWASER) für homogene Teilflächen aus unterschiedlichen Kartierungsunterlagen für mehrere Stufen der Feinbodenmächtigkeit
- Flächenhafte Erfassung der Feinbodenmächtigkeit durch die Anwendung von Methoden aus dem Bereich der Geophysik und der Fernerkundung
- Erstellung von Zeitreihenkorrelationen zwischen der berechneten Neubildung und den Klassen der Mächtigkeit des Feinbodens
- Berechnung der Grundwasserneubildung für jede Rasterzelle unter Berücksichtigung der Bodenform, der Bodenmächtigkeit und der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweise
- Übertragung der Neubildungsganglinien auf die Elemente des Grundwasserströmungsmodells
 - Entweder Clustering der Zeitreihen der Grundwasserneubildung zur Ableitung homogener Teilbereiche und dafür repräsentativer Ganglinien
 - oder Berechnung von Neubildungsganglinien für die Koordinaten der Knotenpunkte der Finiten Elemente im Grundwasserströmungsmodell

In immer stärkerem Ausmaß werden zukünftig zu modellierende Grundwassersysteme nicht ausschließlich von landwirtschaftlich genutzten Flächen abgedeckt. Für diese Flächen – unter anderem auch für die forstwirtschaftlich genutzten Bereiche - existieren keine oder ungenügende Informationen über die Bodenformen und deren hydraulische Wirksamkeit. Für diese Bereiche sind alternative Methoden zur Generierung von räumlich differenzierten Grundwasserneubildungsganglinien zu entwickeln. Unter bestimmten Randbedingungen (FANK, 1999) ist es möglich, die Grundwasserneubildung aus den Grundwasserstandsganglinien abzuleiten.

Für diesen Fall könnte eine Generierung von Grundwasserneubildungsganglinien nach folgendem Muster ablaufen.

Berechnung der Grundwasserneubildung

Für sonstig genutzte Flächen

- Ableitung der Grundwasserneubildung aus den Grundwasserstandsganglinien
- Hauptkomponentenanalyse der Grundwasserstandsganglinien
- Wenn der Erklärungsgrad der Gesamtvariabilität aus der 1. Hauptkomponente > 95 % beträgt
 - Regionalisierung der „factor scores“ der 1. Hauptkomponente
 - Berechnung der Grundwasserneubildungsganglinie für jede Rasterzelle mit den Kriginggewichten der „factor scores“ der 1. Hauptkomponente der beeinflussenden Messstellen
- Sonst
 - Bildung der Wochensummen der Grundwasserneubildung aus den Grundwasserstandsganglinien
 - Erstellung der experimentellen Variogramme der Wochensummen und Anpassung von Variogrammodellen
 - Kriging-Interpolation der Wochensummen der Grundwasserneubildung
 - Berechnung der Grundwasserneubildungsganglinie für jede Rasterzelle aus den wöchentlichen Rastern der Interpolation der Wochensummen.
 - Übertragung der Neubildungsganglinien auf die Elemente des Grundwasserströmungsmodells
 - Entweder Clustering der Zeitreihen der Grundwasserneubildung zur Ableitung homogener Teilbereiche und dafür repräsentativer Ganglinien.
 - oder Berechnung von Neubildungsganglinien für die Koordinaten der Knotenpunkte der Finiten Elemente im Grundwasserströmungsmodell

3.7.2 Software-Werkzeuge

Die für die Modellierung zur Verfügung stehenden Software-Werkzeuge sind für die zu erreichende Qualität des Modells von entscheidender Bedeutung. Die edv-technisch richtige Umsetzung der dem Modell zugrundeliegenden Strömungsgleichungen sind eine Grundvoraussetzung für die Erstellung eines Modells. Dies allein ist in der Praxis für die Erstellung eines regionalen instationären Strömungsmodells nicht ausreichend. Die Berücksichtigung der großen Menge an geographischen und zeitabhängigen Daten, die zum Großteil während des Kalibrationsvorganges ständig verändert werden müssen, erfordert spezielle Funktionen zur Generierung, Importierung, Verwaltung und zum Vergleich dieser Daten. In der Praxis ist bei der Kalibration entscheidend, wie viele Kalibrationsvarianten in der verfügbaren Zeit erstellt werden können. Mit effizienten Funktionen für die benötigten Arbeiten kann man die Anzahl der Varianten steigern und damit die Komplexität und Qualität der Modelle stark verbessern. Für die Erstellung des Modells „Unteres Murtal“ wurden wie bereits beschrieben eine Reihe spezieller Funktionen entwickelt, um die Berücksichtigung der vielfältigen instationären Daten zu ermöglichen. Die Implementierung weiterer Funktionen zur Handhabung von Materialwerten und Randbedingungen, sowie Verbesserungen bei der Definition der Oberflächengewässer würde die erreichbare Güte der Modelle weiter steigern.

3.7.2.1 Austausch und Manipulation von Materialwerten und Randbedingungen mit GIS-Software

Ein häufiger Arbeitsschritt ist die Veränderung von Materialwerten und Randbedingungen. Zur Beurteilung der Auswirkungen der in einer Kalibrationsvariante durchgeführten Veränderungen sind Funktionen für die Visualisierung der Unterschiede zwischen einzelnen Varianten notwendig. Für die Simulation unterschiedlicher Prognosevarianten, bestehend aus unterschiedlichen Material- und Randbedingungen oder Geometrievarianten, sind flexible Import- und Exportfunktionen erforderlich. ‚FEFLOW‘ bietet derzeit nur einen kleinen Teil dieser Funktionen. Über eine spezielle Programmierschnittstelle (Interfacemanager) können in ‚FEFLOW‘ jedoch vom Anwender eine Reihe von Zusatzfunktionen implementiert werden. Im Zusammenwirken mit GIS-Systemen ist für die Veränderung, Verwaltung und den Vergleich von Materialwerten und Randbedingungen noch ein großes Potential an Verbesserungen möglich.

3.7.2.2 Verbesserung der Definition von Oberflächengewässereinflüssen in FEFLOW

Die derzeitige Implementation von Oberflächengewässereinflüssen in ‚FEFLOW‘ erlaubt es bei schmalen Gewässern, die als Elementseite diskretisiert sind nicht, die Gewässerbreite zu definieren. Diese muss in den Leakage-Faktor eingerechnet werden, was für die Definition und Veränderung der Parameter während der Kalibration ein entscheidendem Nachteil ist. Bei Gewässern kann derzeit die Gewässersohle, die eine Begrenzung des Potentials für die Exfiltration aus dem Oberflächengewässer ist, nicht definiert werden. Für die Beschränkung des Wasseraustausches muss die Ganglinie der maximalen Exfiltration aus dem Oberflächengewässer als sogenannte Gegenrandbedingung definiert werden. Dies führt zu erhöhtem Aufwand, geringerer Differenzierbarkeit und teilweise sogar zu Unstetigkeiten in der Infiltrationsganglinie. Eine entscheidende Verbesserung ist aber nicht durch externe Zusatzprogrammierung erreichbar. Dazu müsste das interne Konzept für die Definition der Oberflächengewässer in ‚FEFLOW‘ geändert werden.

3.7.3 Weiterentwicklung von Modellen

In den letzten Jahren wurden für die Bereiche Porengrundwasserhydrologie und Ungesättigte Zone Werkzeuge implementiert, die auch durch die Anwendung und Weiterentwicklung mathematisch-statistischer Verfahren eine deutliche Verbesserung der Prognose der Auswirkung von Maßnahmen des Menschen auf unterschiedliche Komponenten des Wasserkreislaufes ermöglichen.

Die eingesetzten Modelle und Verfahren zielten allerdings in erster Linie auf die Erfassung, Beschreibung und numerische Nachbildung von Teilkomponenten (Grundwasserströmungsmodelle, Modelle der ungesättigten Zone, Geostatistik, Extremwertstatistik, Messnetzoptimierung etc.) ab, wobei nur in Ansätzen über die Koppelung dieser Prozesse zur Bewertung von Gesamtsystemen diskutiert wurde.

Basierend auf den Anforderungen der Wirtschaft (Wasserwirtschaftliche Planung, Umweltverträglichkeitsprüfung, Wasserversorgung, Abwasserentsorgung) ist zukünftig zu erwarten, dass gesicherte Prognosen über die Auswirkungen von Eingriffen auf komplexe Umweltsysteme erstellt werden müssen. Diese Fragestellung und die Ableitung von Lösungsansätzen bedarf dabei jedenfalls einer Analyse der multikausalen Zusammenhänge von Ökosystemen, wobei ein Schwerpunkt auch auf der Analyse der Wechselwirkungen zwischen den Teilkomponenten liegen muss. Die Entwicklung und der Einsatz von mathematisch – statistischen Methoden ist in der Forderung nach Nachvollziehbarkeit sowie nach Aussagen über die Sicherheit und Signifikanz der Prognosen begründet. Die geforderten Prognosen werden in immer stärkerem Ausmaß nur durch eine Modellierung von Gesamtsystemen erstellt werden können, weshalb eines der großen Ziele in der sinnvollen Koppelung von Teilmodellen liegen muss. Für die Fragestellung, wie sie im gegenständlichen Projekt definiert ist bieten sich zukünftig Detailfragen an, die im Folgenden kurz skizziert werden sollen:

1. **Koppelung von Modellen der Ungesättigten Zone mit Grundwasserströmungs- und -transportmodellen.** Bis dato wird die flächenhafte Grundwasserneubildung und der daran gekoppelte Transport von gelösten Stoffen aus dem Bodenwasserhaushaltsmodell in einer vordefinierten Ebene als Inputgröße in Grundwasserströmungs- und –transportmodelle übergeben. Für eine korrekte Nachbildung von Gesamtsystemen wird es erforderlich sein, diese Koppelung zu den einzelnen Zeitschritten durchzuführen, wobei der Austausch von Randbedingungen zwischen beiden Modellen zu erfolgen hat und damit eine Adaption der Definition der Modellgeometrie zu den einzelnen Zeitschritten notwendig wird.
2. **Erarbeitung von Datensätzen zur Beschreibung der Grundwasserneubildung aus nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen.** Damit ist einerseits der gesamte Bereich der flächenhaften Grundwasserneubildung aus Waldflächen und aus Siedlungsgebieten, andererseits aber auch die Neubildung aus der Interaktion von Porengrundwasserleitern mit Oberflächengewässern sowie die Wechselwirkung zwischen dem Porenaquifer mit Karst- und Kluftaquiferen angesprochen.
3. Modellansätze der **Berechnung der flächenhaften Neubildung aus nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen** sind zu diskutieren bzw. zu entwickeln und sodann mit den anderen Teilmodellen zu koppeln.
4. Die **Koppelung von Modellen zur Berechnung von Wasserspiegellagen an Oberflächengewässern und Grundwasserströmungsmodellen** wird sowohl auf nationaler Ebene als auch auf internationaler Ebene in naher Zukunft intensiv bearbeitet werden müssen.
5. Wie bereits erwähnt werden bei der Modellierung die Unsicherheiten in der Parameterdefinition und der Definition von Randbedingungen zur **stochastischen Modellierung** und der

Verwendung von **stochastischen Verteilungen als Randbedingungen** führen. Neben herkömmlichen Methoden der Schätzung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen wären dabei auch Methoden zu diskutieren die auf **Fuzzy-Ansätzen** beruhen.

4 Simulationsrechnungen zur Auswirkung der Konsensentnahmen im Unteren Murtales auf die Grundwasserverhältnisse

Steht – wie in der gegenständlichen Fragestellung – ein ausreichend gut kalibriertes und verifiziertes Grundwasserströmungsmodell zur Verfügung, das in seiner zeitlichen Dimension einen Großteil der auftretenden hydrologischen Situationen umfasst (Modellgültigkeit für Niederwasserverhältnisse, Hochwasserverhältnisse und für unterschiedliche jahreszeitliche Verläufe der Grundwasserstandsverhältnisse), kann die Auswirkung von Eingriffnahmen in das Grundwassersystem vor deren tatsächlichen Realisierung nicht nur interpretativ-qualitativ diskutiert, sondern quantitativ prognostiziert werden. Als wasserwirtschaftlich relevante Eingriffnahme in das Grundwassersystem des Unteren Murtales wurde die Auswirkung der Entnahme der Konsensmengen an den kommunalen und regionalen Wasserversorgungsanlagen simuliert

Um diese Auswirkungen auf die Grundwasserspiegellagen entsprechend bewerten zu können wurden folgende beiden Simulationsrechnungen über den gesamten Modellierungszeitraum vom 1. Jänner 1993 bis zum 31. Dezember 1995 durchgeführt:

1. Simulation der Grundwasserspiegellagen im Modellgebiet ohne jegliche Grundwasserentnahme an den Versorgungsbrunnen
2. Simulation der Grundwasserspiegellagen im Modellgebiet mit dauernder Entnahme der Konsensmenge an den Brunnen der Wasserversorgungsunternehmen.

4.1 Auswertungen zur Beurteilung der Maßnahmen an ausgewählten Punkten

Als Grundlage für die Bewertung der Auswirkungen der Grundwasserentnahme an den Wasserversorgungsbrunnen wurden über das Modellgebiet verteilt 50 fiktive Beobachtungspiegel gesetzt (Abb. 72), an denen der zeitliche Verlauf des Grundwasserspiegels im Modellzeitraum dargestellt und die Unterschiede zwischen einer Null – Entnahme und der Entnahme der Konsensmenge untersucht werden kann. Die Situierung der Punkte erfolgte unter Berücksichtigung der Einzugsgebiete der Wasserversorgungsbrunnen – d.h. dass in den Nahbereichen der Brunnen eine Verdichtung der Beobachtungspunkte vorgenommen wurde, allerdings wurde generell getrachtet, das gesamte Modellgebiet des Unteren Murtales durch die Situierung der Punkte zu erfassen.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind für alle Beobachtungspunkte im Anhang_A dargestellt. Die Beschreibung der einzelnen Darstellungen und Tabellen wird im Folgenden für den Beobachtungspunkt OBS42 im Detail durchgeführt.

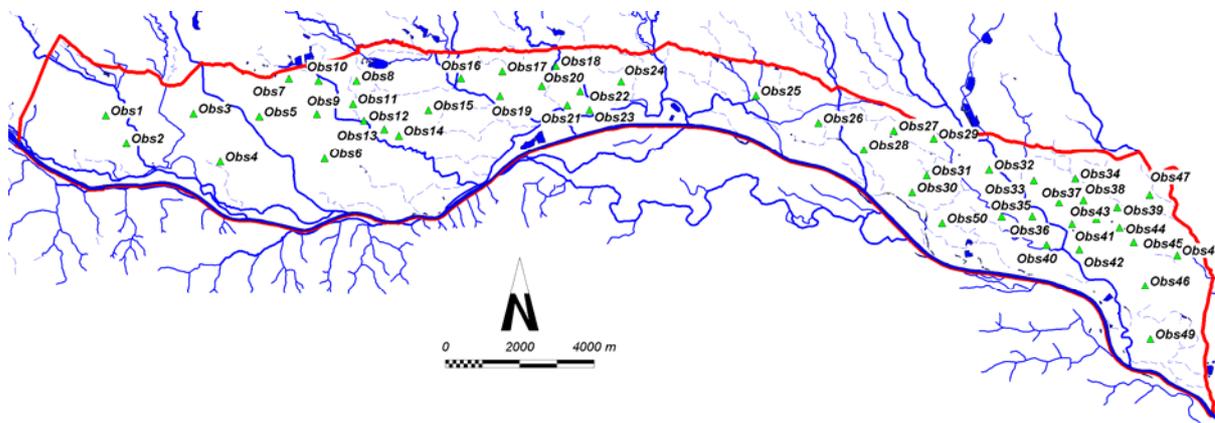


Abb. 72: Im Modellgebiet gesetzte Beobachtungspunkte (Obs) als Grundlage für die Bewertung der Auswirkung der Konsensentnahme an den Wasserversorgungsbrunnen auf die Grundwasserspiegellage

Der grafische Vergleich der Ganglinie des Grundwasserspiegels zwischen den Simulationsvarianten E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (dauernde Entnahme der Konsenswassermenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) im Modellzeitraum 1993 bis 1995 in Abb. 73 zeigt beispielsweise sehr deutlich die unterschiedliche Auswirkung der Grundwasserentnahme bei unterschiedlichen Grundwasserspiegellagen.

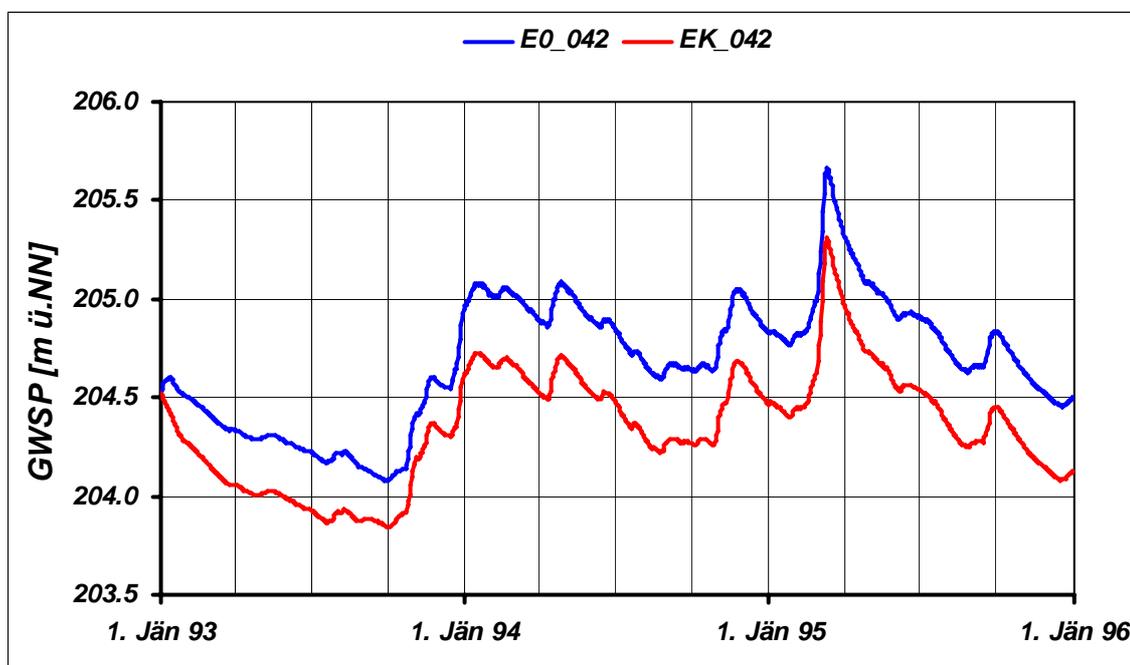


Abb. 73: Grafischer Vergleich der Ganglinie des Grundwasserspiegels zwischen den Simulationsvarianten E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (dauernde Entnahme der Konsenswassermenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) im Modellzeitraum 1993 bis 1995.

Der Grafische Vergleich der mittleren Jahresganglinie des Grundwasserspiegels zwischen den Simulationsvarianten E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (dauernde Entnahme der Konsenswassermenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) im Modellzeitraum 1993 bis 1995 in Abb. 74 zeigt den Einfluss der Entnahme im Jahresverlauf und die mittlere Überschreitungsdauerlinie in Abb. 75 charakterisiert die Auswirkung in Abhängigkeit von den nach der Größe sortierten Spiegellagen.

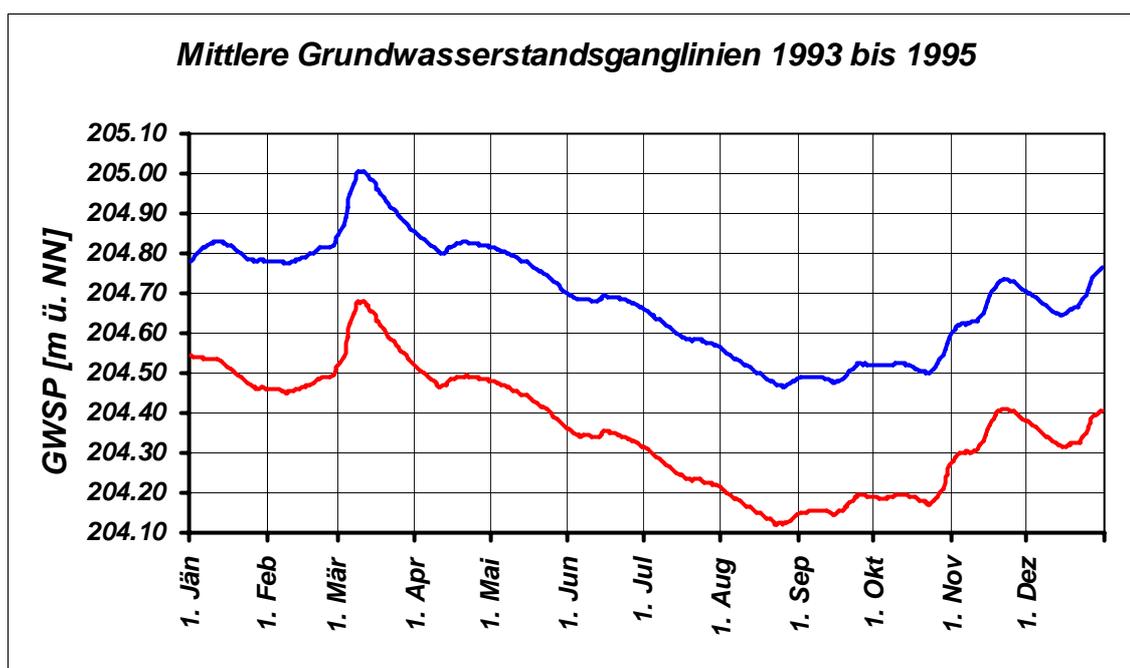


Abb. 74: Grafischer Vergleich der mittleren Jahresganglinie des Grundwasserspiegels zwischen den Simulationsvarianten E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (dauernde Entnahme der Konsenswassermenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) im Modellzeitraum 1993 bis 1995.

In Tab. 18 sind die Hydrographischen Kennzahlen (NGW, HGW und MGW) der mittleren Jahresgrundwasserstandsganglinien der zu vergleichenden Varianten und die Differenzen auf Monats- und Jahresbasis zusammengefasst. Ebenfalls werden jene Grundwasserspiegellagen angeführt, die in den Vergleichsvarianten an n Tagen eines mittleren Jahres des Beobachtungszeitraumes überschritten werden, sowie die Differenz der Spiegellagen der Varianten.

Abb. 76 zeigt schlussendlich einen grafischer Vergleich der Häufigkeitsverteilung von 5 cm - Klassen der Grundwasserspiegellage zwischen den Simulationsvarianten E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (dauernde Entnahme der Konsenswassermenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) im Modellzeitraum 1993 bis 1995 in Tagen. Die Skalierung dieser beiden Diagramme zeigt die Grundwasserspiegelschwankungsbreite und ist in beiden Darstellungen gleich durchgeführt. Gerade aus dieser Darstellung sind die instationären Auswirkungen der unterschiedlichen Varianten sehr gut ablesbar. Vor allem für ökologische Fragestellungen ist aus dieser Darstellung ablesbar, welche Grundwasserspiegellagen – und als Differenz zur Geländeoberkante welcher Flurabstand – wie viele

Tage im Jahr zu erwarten sein wird, bzw. wie stark sich diese Zahlen unter Berücksichtigung der geplanten Eingriffe verändern werden.

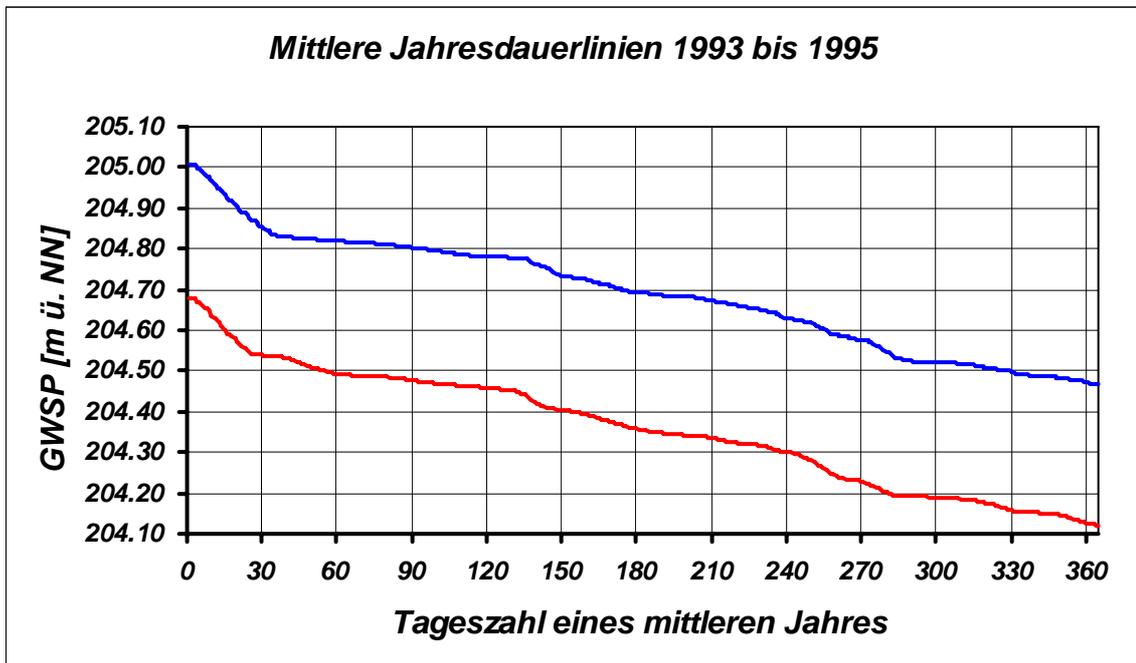


Abb. 75: Grafischer Vergleich der mittleren Jahres-Überschreitungsdauerlinie des Grundwasserspiegels zwischen den Simulationsvarianten E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (dauernde Entnahme der Konsenswassermenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) im Modellzeitraum 1993 bis 1995.

Tab. 18: Tabellarische Darstellung der mittleren monatlichen Grundwasserspiegellagen im Modellzeitraum 1993 bis 1995 sowie der Differenz zwischen der Simulationsvariante E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (Entnahme der Konsensmenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) für nieder (NGW), hohe (HGW) und mittlere (MGW) Grundwasserstände sowie der Grundwasserspiegellage, die an n Tagen eines mittleren Jahres überschritten wird

Mittlere Monatliche Grundwasserstände

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_042	204.51	204.41	204.34	204.29	204.27	204.22	204.17	204.14	204.08	204.08	204.40	204.45	204.08
NGW [m NN] EK_042	204.27	204.15	204.06	204.01	203.99	203.93	203.87	203.87	203.84	203.84	204.14	204.08	203.84
NGW-Differenz [m]	-0.23	-0.26	-0.28	-0.28	-0.29	-0.30	-0.30	-0.27	-0.23	-0.24	-0.27	-0.37	-0.24
HGW [m NN] E0_042	205.08	205.06	205.67	205.32	205.08	204.93	204.91	204.75	204.84	204.83	205.05	205.02	205.67
HGW [m NN] EK_042	204.72	204.70	205.31	204.97	204.73	204.56	204.54	204.38	204.45	204.45	204.68	204.66	205.31
HGW-Differenz [m]	-0.36	-0.36	-0.36	-0.35	-0.36	-0.37	-0.38	-0.37	-0.38	-0.38	-0.37	-0.37	-0.36
MGW [m NN] E0_042	204.80	204.79	204.93	204.82	204.76	204.68	204.60	204.50	204.49	204.52	204.67	204.68	204.69
MGW [m NN] EK_042	204.50	204.47	204.60	204.48	204.43	204.34	204.25	204.15	204.16	204.19	204.35	204.35	204.36
MGW-Differenz [m]	-0.30	-0.32	-0.33	-0.33	-0.34	-0.34	-0.35	-0.35	-0.33	-0.33	-0.32	-0.34	-0.33

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_042	204.85	204.82	204.80	204.78	204.73	204.69	204.67	204.63	204.57	204.52	204.49	204.48	204.47
GWSP [m NN] EK_042	204.54	204.49	204.48	204.46	204.40	204.35	204.33	204.30	204.22	204.19	204.15	204.15	204.12
Differenz [m]	-0.32	-0.33	-0.32	-0.32	-0.33	-0.34	-0.34	-0.33	-0.35	-0.33	-0.34	-0.34	-0.35

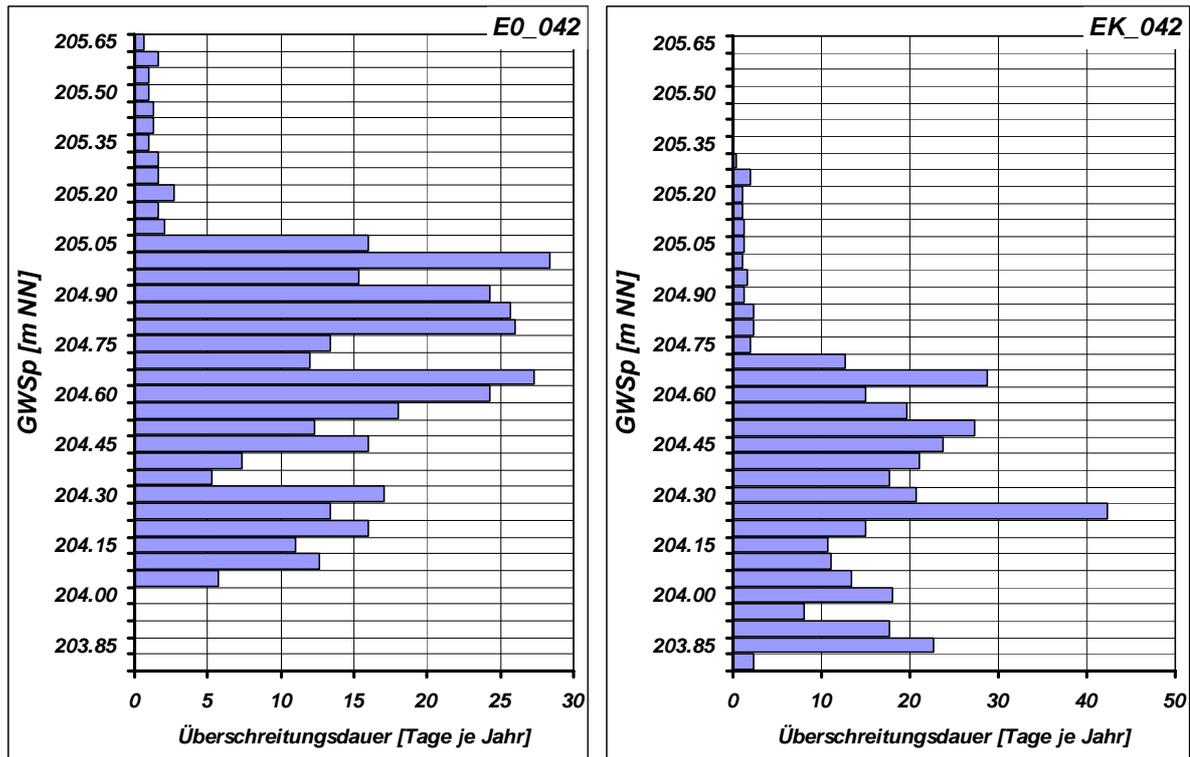


Abb. 76: Grafischer Vergleich der Häufigkeitsverteilung von 5 cm - Klassen der Grundwasserspiegellage zwischen den Simulationsvarianten E0 (keine Grundwasserentnahme) und EK (dauernde Entnahme der Konsenswassermenge) am Beobachtungspunkt OBS42 (042) im Modellzeitraum 1993 bis 1995 in Tagen.

4.2 Auswertungen zur Beurteilung der Maßnahmen in der Fläche

Zur Prognose der Auswirkungen von geplanten Maßnahmen auf die flächenhafte Verteilung der Grundwasserspiegellagen im Modellgebiet wurden zusätzliche Funktionen in die Grundwasser-Modellsoftware FEFLOW implementiert, die es erlauben, an allen FEM – Knoten die Potentiale jedes Zeitschrittes herauszulesen, diese jeweils der Größe nach zu sortieren und das 25, 50 und 75 % Quantil der Spiegellagen zu berechnen. Das 50 % Quantil der Potentiale gibt damit die an jedem Punkt zu erwartende häufigste Grundwasserspiegellage an, das 25 % Quantil ist unter Berücksichtigung des Auftretens von Ausreißern für jeden Knoten eine Maßzahl für Niederwasser – Spiegellagen und das 75 % Quantil dementsprechend für Hochwasser – Spiegellagen.

Zur Bewertung der Auswirkung der Entnahme der Konsenswassermenge an den Wasserversorgungsbrunnen Mureck, Gosdorf, Bad Radkersburg und Dedenitz wurden in weiterer Folge an jedem Modellknoten die jeweiligen Quantilwerte der Simulationsvariante ohne Wasserentnahme von denjenigen der Variante mit Entnahme der Konsenswasserentnahme abgezogen und damit für hydrographische Kenn-Zustände die statistisch über den Modellzeitraum zu erwartende Grundwasserspiegelabsenkung ermittelt.

Das Ergebnis dieser Auswertungen ist in Abb. 77 bis Abb. 79 dargestellt. Für Niederwasserzustände (Abb. 77) wurde dieses Bild mit dem Grundwasserschichtenlinienplan vom 30. August 1993 und für Mittelwasser (Abb. 78) mit jenem vom 18. September 1995 kombiniert. Für Hochwasser (Abb. 79) wurde aufgrund der hochgradigen Instationarität des Systems auf die Darstellung eines Strömungsbildes verzichtet.

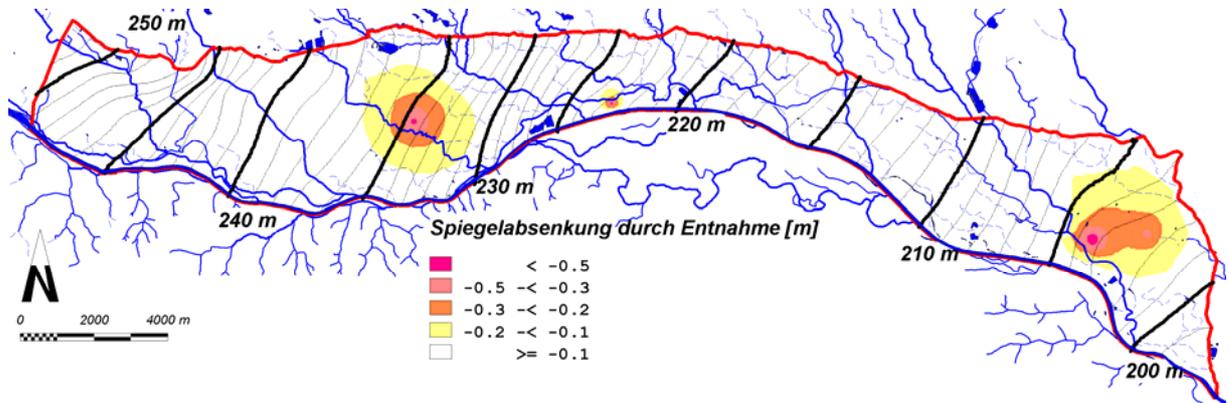


Abb. 77: Zu erwartende Grundwasserspiegelabsenkung bei niederen Grundwasserständen durch die Entnahme der Konsensmenge an den Wasserversorgungsbrunnen Mureck, Gosdorf, Bad Radkersburg und Dedenitz im Vergleich zur Null – Entnahme.

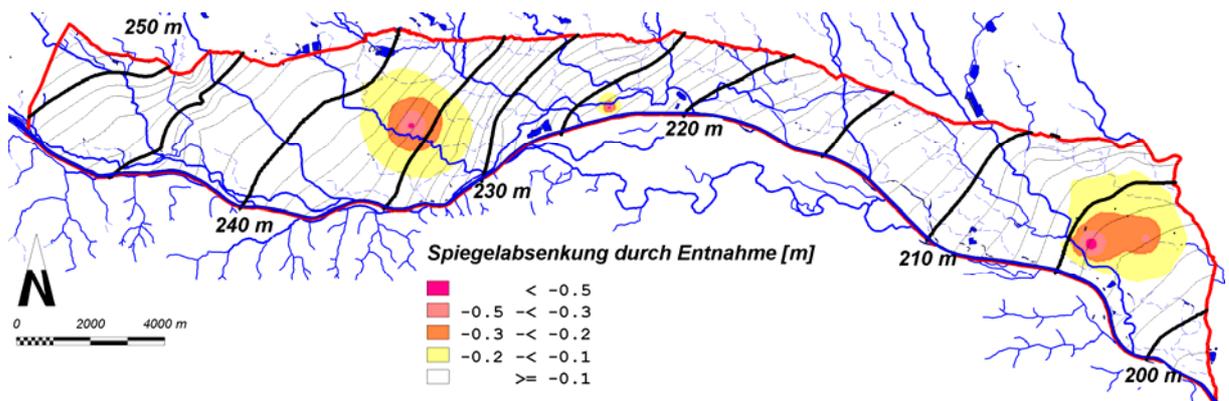


Abb. 78: Zu erwartende Grundwasserspiegelabsenkung bei mittleren Grundwasserständen durch die Entnahme der Konsensmenge an den Wasserversorgungsbrunnen Mureck, Gosdorf, Bad Radkersburg und Dedenitz im Vergleich zur Null – Entnahme.

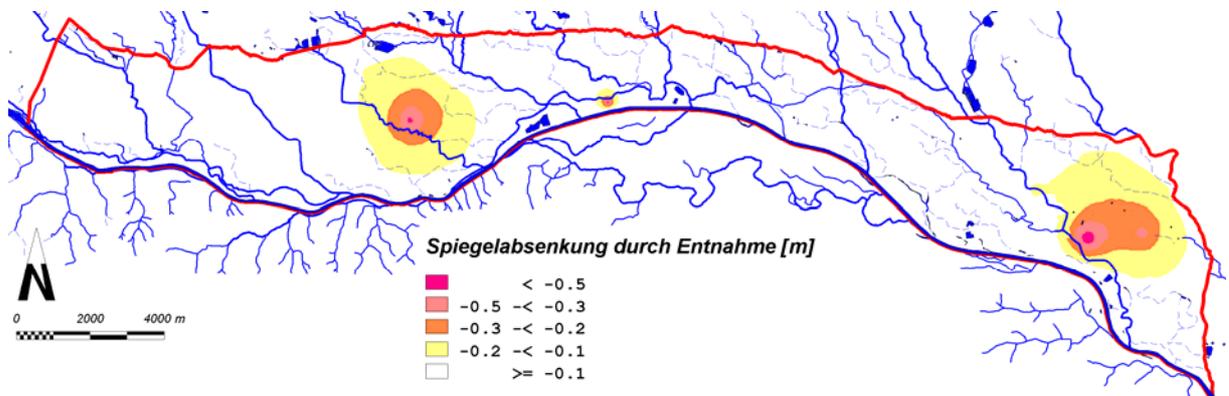


Abb. 79: Zu erwartende Grundwasserspiegelabsenkung bei hohen Grundwasserständen durch die Entnahme der Konsensmenge an den Wasserversorgungsbrunnen Mureck, Gosdorf, Bad Radkersburg und Dedenitz im Vergleich zur Null – Entnahme.

Die Ergebnisse zeigen in allen drei Fällen, dass die Auswirkung der Entnahme am Standort Mureck und im Osten durch die Entnahmen von Bad Radkersburg und Dedenitz praktisch das gesamte Grundwasserfeld beeinflussen, dass die Entnahme am Brunnen Gosdorf aufgrund seiner Lage im Aubereich mit verstärkter Grundwasserneubildung, besseren Sedimentdurchlässigkeiten und der starken Wechselwirkung des Grundwassers mit Mühlgang, Augewässern und nicht zuletzt aufgrund der Nähe der Mur die Absenkungreichweite deutlich geringer ist.

5 Bewertung der Grundwasserqualitätsverhältnisse im Unteren Murtal bzgl. der Nitratverteilung

Da bis dato eine direkte Koppelung des Bodenwasserhaushaltsmodells mit dem Grundwasserströmungsmodell noch nicht existiert, ist zwar die Grundwasserneubildung über sequentielle Abarbeitung der einzelnen Teilprozesse – aufgrund des dominanten „Piston Flow Effektes“ - berechenbar, der Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone wird aber in einer stationären Berechnungsebene ausgegeben. Allein aufgrund der Grundwasserspiegelschwankungen von etwa 2 m im Jahr ist dadurch eine Zeitverschiebung des Auftreffens von Nitrat aus der berechneten Bilanzenebene (1.5 m) bis zum Grundwasserspiegel bei den hier herrschenden hydrogeologischen Rahmenbedingungen von bis zu 2 Jahren gegeben. Eine direkte Modellierung des Nitratflusses von der Oberfläche bis in das Grundwasser und weiter in die Vorflut ist damit mit den derzeit existierenden Werkzeugen in einem regionalen Skalenbereich nicht möglich, eine Entwicklung und Adaptierung der notwendigen Tools ist aber für die nächsten Jahre vorgesehen (und auch unabdingbar notwendig). Um aber trotzdem die Verteilung der Nitratkonzentration im Untersuchungsgebiet detailliert beschreiben zu können, wurde diese mit Hilfe statistischer und geostatistischer Modelle untersucht und beschrieben, wobei neben der Verteilung selbst auch die Einflussnahme der Grundwasserströmung in das Modell inkorporiert und die Wechselwirkungen untersucht wurden.

Mit der 338. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Erhebung der Wassergüte in Österreich (Wassergüte-Erhebungsverordnung - WGEV), ausgegeben am 27. Juni 1991 wurde für ganz Österreich die Grundlage für die Einrichtung von Grundwassergütemessstellennetzen geschaffen, der Umfang und Häufigkeit der Beobachtungen geregelt. Die Repräsentativität, Eignung und Aussagekraft jedes Grundwassergütemessstellennetzes wurde vor Beginn der Beobachtungstätigkeit in hydrologischer Hinsicht und hinsichtlich der Grundwassergüte sowie im Hinblick auf den Zustand der Messstellen und im Hinblick auf die Flächendeckung geprüft. Wie die Praxis aber gezeigt hat, ist eine Regionalisierung der Schadstoffparameter zur Erzeugung von flächenhaften Belastungskarten nur eingeschränkt möglich bzw. mit großen Fehlern behaftet.

In zusammenhängenden Grundwassersystemen, wie dem Unteren Murtal, kommt es aufgrund der Gesetzmäßigkeiten von Dispersion und Diffusion zu einer Verteilung der flächenhaft - diffusen Einträge ins Grundwasser, was prinzipiell eine Übertragung von punktuell gemessenen Daten in die Fläche gestattet. Wie aber entsprechende Voruntersuchungen über die flächenhafte Belastung des Grundwassers mit Nitrat im Murtal, deren Ergebnisse am 22.4.1999 in Gosdorf diskutiert wurden, ergaben, darf die Interpretation der flächenhaften Belastung aber nicht nur nach mathematischen Interpolationsverfahren, sondern nur unter Berücksichtigung der Strömungsverhältnisse des Grundwassers erfolgen.

Basierend auf den Datenbeständen, die im Rahmen der Modellerstellung im Unteren Murtal erhoben wurden, wurden mehrere geostatistische Verfahren zur Einbeziehung von Zusatzinformationen für den konkreten Anwendungsfall geprüft (Kriging mit einem externen Trend, Cokriging, Indikator Ansatz) sowie die Frage der multivariaten oder sequentiellen Integration von Zusatzinformation untersucht. Die Frage der Messnetzdichte sowie die Notwendigkeit des Einbeziehens von Messergebnissen außerhalb der WGEV (Wasserwerksuntersuchungen etc.) wurden ebenso bearbeitet.

5.1 Methodenentwicklung und –aufbereitung (FANK et al., 2000)

Wie die Praxis gezeigt hat, ist eine Regionalisierung der Schadstoffparameter zur Erzeugung von flächenhaften Belastungskarten nur eingeschränkt möglich bzw. mit großen Fehlern behaftet. So resultieren etwa aus der ordinary Kriging-Interpolation Nitratbelastungen in Gebieten, in denen „keine möglichen“ Eintragsherde liegen und wo von grundwasserstromauf kein Zustrom nitratbelasteten Grundwassers möglich ist. Daher ergibt sich die Notwendigkeit der Einbeziehung von relevanter Zusatzinformation, um die Schätzung der Nitratkonzentrationen besser abgesichert zu gestalten.

Am Beispiel des Schadstoffparameters Nitrat soll die Einbeziehung weiterer hydrologischer Parameter zur flächenhaften Abschätzung der Nitratverteilung (in Abhängigkeit von der Zeit) geprüft und die Verbesserung dieser Regionalisierung durch die Einbindung von Covariaten überprüft werden. Die generelle Problemstellung ist dahingehend zu definieren, mit welchen Methoden die Schätzung der räumlichen Nitratverteilung und ihrer zeitliche Veränderung verbessert werden kann. Verbesserung in diesem Zusammenhang bedeutet, durch welche zusätzlichen Daten die gemessenen Nitratkonzentrationen aus dem WGEV- Beobachtungsprogramm insofern ergänzt werden können, so dass eine Schätzung der räumlichen Nitratverteilung mit weniger Unsicherheiten behaftet ist.

Die Grundsituation ist die des diffusen Schadstoffeintrages, d.h. das Gebiet in dem die Ausbreitung des Schadstoffs vorhergesagt/statistisch beschrieben werden soll, ist gleichzeitig das Gebiet, in dem der Nitratreintrag als flächenhafter Input über die Verlagerung mit den infiltrierenden Niederschlägen stattfindet.

Hinsichtlich der methodischen Weiterentwicklung und auch bezüglich der Anwendbarkeit der unterschiedlichen Ansätze wurde in einem ersten Schritt aufgrund der Dichte der Datenlage als Testgebiet das westliche Leibnitzer Feld herangezogen. Es ist dies ein Bereich, der durch heterogene Landnutzung, kleinstrukturierte Bodenformenverteilung und unterschiedlichen Einflüssen auf die Grundwasserqualität gekennzeichnet ist. Eine Zusammenfassung der physiogeographisch – hydrogeologischen Grundlagen für diesen Raum bietet FANK (1999).

Bei Schätzungen der räumlichen Verteilung von Messgrößen gilt in der Regel der Grundsatz, dass die Schätzergebnisse umso genauer werden, je mehr Daten zur Verfügung stehen. Dies gilt allerdings nur, wenn sichergestellt werden kann, dass sämtliche Messstellen als gleichartige statistische Objekte, die hinsichtlich eines Merkmals untersucht werden, angesehen werden können. Daher wurde in einem ersten Schritt die Frage untersucht, inwieweit es erlaubt ist, die beiden Messstellengruppen WGEV – Datensatz und Ergebnisse der Qualitätsuntersuchungen der Wasserversorgungsanlagen als gleichwertig zu betrachten. In weiterer Folge wurden an ausgewählte Datensätze geostatistische Verfahren angelegt, um eine Übertragung der punktuellen Messungen in die Fläche unter Verwendung unterschiedlich dichter räumlicher Daten zu untersuchen. Ergebnis dieser methodischen Ansätze war: Auch wenn es bezüglich der Vergleichbarkeit von verschiedenen Probenahmestellen und Labors zu Problemen hinsichtlich der detaillierten Daten-Vergleichbarkeit kommt, ist es für die Interpolation besser im ersten Schritt alle verfügbaren Informationen zu verwenden.

In vielen Umweltsanwendungen tritt der Fall ein, dass man eine interessierende Variable (abhängige oder Primärvariable) und viele unabhängige oder Sekundärvariablen hat, die verwendet werden können, um die Variabilität der Primärvariable zu erklären. Dieses Problem wird normalerweise mit klassischen multiplen Regressionsverfahren gelöst. In unserem Fall muss allerdings die räumliche Variabilität sowohl der Primär- (d.h. Nitrat) als auch der Sekundärvariablen (z.B. Grundwasserspiegel, Nitrataustragsgefährdung u.a) bei der räumlichen Schätzung mitberücksichtigt werden.

Im folgenden sollen daher Methoden zur Nutzung der räumlichen Variabilität der Sekundärvariable bei räumlichen Schätzungen der Primärvariable beschrieben werden. Der Einfachheit halber wird nur der bivariate Fall (eine Primär- und eine Sekundärvariable) besprochen. Die Erweiterung auf den multivariablen Fall mit mehreren Sekundärvariablen ist direkt möglich, bedarf aber eines größeren Modellaufwandes.

5.1.1 External Drift-Kriging

Üblicherweise wird beim Universal Kriging der Trend als Funktion der räumlichen $z(x,y)$ Koordinaten in Form einer Linearkombination

Gleichung 28:

$$E(Z(s)) = \sum_{l=0}^p \beta_l f_l(s)$$

dargestellt (FUCHS, 1996).

Der Trend kann aber auch als Linearkombination der erklärenden Variable $\{x(s)\}$ dargestellt werden. Nimmt man z.B. $f_0(s) = 1$ und $f_1(s) = x(s)$ so kommt man zum einfachen linearen Regressionsmodell

$$Z(s) = \beta_0 + \beta_1 x(s) + \varepsilon(s)$$

wo $\varepsilon(s)$ der intrinsischen Hypothese mit dem Variogramm $2\gamma(h)$ genügt. Diese Anwendung von Universal Kriging wird in der geostatistischen Fachliteratur als „kriging mit externer Drift“ bezeichnet (AHMED & DE MARSILY, 1987). Dies bedeutet: External Driftkriging ist eine Erweiterung des Universal Kriging, wo die bedingte Erwartung der Primärvariable $Z(s)$, bedingt durch den Sekundärprozess, als Linearkombination der Werte der Sekundärvariable $x(s)$ geschrieben wird. Externes Driftkriging sollte somit dann verwendet werden, wenn der Trend der Primärvariable gut durch die Sekundärvariable beschrieben werden kann.

Das Gleichungssystem des Universal Kriging hat dann folgendes Aussehen:

Gleichung 29

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + m_1 + m_2 x(s_i) = \gamma(s_0 - s_i) \quad i = 1, \dots, n$$

Gleichung 30

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Gleichung 31

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i x(s_i) = x(s_0) \quad l = 1, \dots, p$$

Der Standardfehler der Schätzung (bedingt an den Werten des Prozesses $X(s)$) kann dann folgendermaßen geschrieben werden:

Gleichung 32

$$\sigma_{ED}(s_0) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_0 - s_i) + m_1 + m_2 x(s_0)}$$

Die Lösung dieses Gleichungssystems benötigt die Werte $x(s)$ an jedem Beobachtungspunkt $s_1 \dots s_n$ und an jedem zu schätzenden Gridelement s_0 . Wenn diese Informationen nicht vorhanden sind, können die Werte der Sekundärvariable im ersten Schritt auch über ein Krigingverfahren oder die inverse Distanzmethode interpoliert werden (AHMED & DE MARSILY, 1987).

Die Schätzeigenschaften des external Driftkriging sind dieselben, wie beim Universal Kriging. Wie beim Universal Kriging muss $\gamma(h)$ aus den „detranted“ Daten geschätzt und modelliert werden. Die Trendparameter sind aber unbekannt und man bräuchte das Semivariogramm, um die Trendparameter zu schätzen. Diese Zirkelbeziehung hat zu großer Kritik am Universal Kriging-Ansatz geführt.

Eine Möglichkeit ist die Verwendung von linearer Regression, um die Trendparameter zu schätzen, die Residuen dieser Regression führen aber zu verzerrten Variogrammschätzern. CRESSIE (1992) empfiehlt daher die Verwendung von „Medianpolish“ und zeigte, dass die Residuen weniger verzerrt sind als bei einfacher linearer Regression.

Eine mathematisch komplexe Lösung ist die Verwendung von generalisierten linearen Modellen, wobei die Parameter für Trend- und Semivariogramm simultan mittels REML (restricted maximum likelihood)-Verfahren geschätzt werden können (GATEWAY & HARTFORD, 1996). In der Praxis wird aber meist OLS verwendet, was zu einer Überdispersion des Schätzfehlers führt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

- Beim external Driftkriging sollte die Sekundärvariable einen relativ glatten Verlauf über das Gebiet haben, da sonst das Krigingsystem instabil wird.
- Im Gegensatz zu Cokriging muss die Sekundärvariable an allen zu schätzenden Punkten vorhanden sein.
- Man braucht keine Kreuzsemivariogramme wie etwa bei Cokriging.
- Die geschätzten Karten spiegeln beim external Driftkriging eher die Struktur der Sekundärvariable wider.

5.1.2 Co-Kriging

Cokriging ist eine Erweiterung des Kriging für den Fall von zwei oder mehreren räumlichen Variablen. Ursprünglich wurde es als Technik entwickelt, die helfen sollte, die Schätzung einer Variable zu verbessern, für die nur wenige Messungen vorlagen, indem man versuchte die räumliche Korrelation zu anderen Variablen, die leichter zu messen waren, auszunützen (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978). Cokriging unterscheidet sich grundsätzlich vom external Driftkriging, indem die erklärende Variable nicht mehr als fixe, den Trend der Primärvariable beschreibende, sondern ihrerseits als räumliche Zufallsvariable mit eigenem Erwartungswert und Variogramm angesehen wird.

Im folgenden wird nur ein kurzer Abriss des zwei Variablen Falls gegeben. Das volle Methodenspektrum für den allgemeinen Fall von n Variablen ist bei MYERS (1988) beschrieben.

Gegeben sei die Schätzung $Z(s_0)$ aus den Werten von $Z(s_1), \dots, Z(s_k)$ und $X(u_1) \dots X(u_l)$. Der Cokrigingschätzer ist eine Linearkombination der beiden Variablen

Gleichung 33
$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^K a_i Z(s_i) + \sum_{j=1}^l b_j X(u_j),$$

wobei die Koeffizienten $\{a_i\}$ und $\{b_j\}$, wie auch bei Kriging, so gewählt werden sollen, dass man BLUE-Schätzer erhält.

Wie beim Kriging, werden Stationaritätsannahmen der Form

Gleichung 34
$$E\{Z(s)\} = \mu_Z, \quad E\{X(u)\} = \mu_X \text{ und}$$

Gleichung 35
$$E \left[\begin{pmatrix} Z(s+h) - \mu_Z \\ X(s+h) - \mu_X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z(s) - \mu_Z \\ X(s) - \mu_X \end{pmatrix}' \right] = \begin{bmatrix} C_{ZZ}(h) & C_{ZX}(h) \\ C_{XZ}(h) & C_{XX}(h) \end{bmatrix}$$

getätigt. Dabei sind $C_{ZZ}(h)$ und $C_{XX}(h)$ die üblichen Kovarianzfunktionen und $C_{XZ}(h)$ und $C_{ZX}(h)$ die Kreuzkovarianzen. Dabei ist es nicht notwendig, dass $C_{XZ}(h) = C_{ZX}(h)$ ist.

Die am weitesten verbreitete Methode, um die Unverzerrtheit zu erreichen ist

Gleichung 36
$$\sum_{i=1}^K a_i = 1 \text{ und}$$

Gleichung 37
$$\sum_{j=1}^l b_j = 0.$$

Mit Hilfe der Lagrange Multiplikatoren zur Minimierung des mittleren quadratischen Fehlers ergibt sich das Cokrigingsystem

Gleichung 38
$$\sum_{j=1}^K a_j C_{ZZ}(s_i - s_j) + \sum_{j=1}^l b_j C_{ZX}(s_i - u_j) - m_1 = C_{ZZ}(s_0 - s_i), \quad i = 1 \dots k$$

Gleichung 39
$$\sum_{j=1}^K a_j C_{XZ}(u_i - s_j) + \sum_{j=1}^l b_j C_{XX}(u_i - u_j) - m_2 = C_{XZ}(s_0 - u_i), \quad i = 1 \dots l$$

Gleichung 40
$$\sum_{i=1}^k a_i = 1 \text{ und}$$

Gleichung 41
$$\sum_{j=1}^l b_j = 0.$$

Der zugehörige minimierte-quadrierte mittlere Fehler ist gegeben durch

$$\text{Gleichung 42} \quad \sigma_{CK} = \sqrt{C_{ZZ}(0) - \sum_{i=1}^K a_i C_{ZZ}(s_0 - u_i) - \sum_{j=1}^l b_j C_{ZX}(s_0 - u_j) + m_1}$$

Für das Cokriging wird neben den Variogrammen der Primär- und Sekundärvariable auch das Kreuzvariogramm $2\gamma_{zx}(h)$ zwischen den beiden Variablen benötigt. Die Formel und Eigenschaften der Kreuzvariogramme sind u.a. bei FUCHS (1996) beschrieben. Wie im univariaten Fall müssen die Variogramme und Kreuzvariogramme gewisse Eigenschaften erfüllen, damit die Cokrigingvarianzen nicht negativ werden und das Cokriging-System eine eindeutige Lösung hat. Im Cokriging Fall muss

die Semivariogrammmatrix $\begin{bmatrix} \gamma_{ZZ}(h) & \gamma_{ZX}(h) \\ \gamma_{XZ}(h) & \gamma_{XX}(h) \end{bmatrix}$ positiv definit sein, was über das „linear model for coregionalization“ (ISAAKES & SRIVASTAVA, 1989) erreicht werden kann.

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

- Die Matrixdimensionen sind im Vergleich zu Ordinary Kriging und external Driftkriging am größten; sie steigen stark, wenn die Anzahl der Variablen erhöht wird.
- Alle Informationen der Variablen werden genutzt. Es müssen nur genügend Daten aller Variablen für die Schätzung und Modellierung der Kreuzvariogramme vorhanden sein.
- An genügend vielen Punkten müssen beide Variablen gemessen werden.
- Die Modellierung der Kreuzvariogramme liefert schlechte Ergebnisse, wenn die Variablen schwach korreliert sind.

5.1.3 Vergleich Ordinary Kriging, external Driftkriging, Cokriging

Zum Vergleich der drei Verfahren können zwei Größen als Indikatoren für die Schätzgenauigkeit verwendet werden, nämlich der Kriging Standard Fehler und der mittlere quadratische Fehler der Kreuzvalidierung. Dabei ist aber folgendes zu beachten:

- Beim Kriging Standard Fehler fließen die Unsicherheiten der Variogrammschätzung und Modellierung nicht ein, und es ist hinlänglich bekannt, dass die Standardfehler zu gering sind. Cokriging hat wegen der Kreuzvariografie größere Unsicherheiten als ordinary Kriging und external Driftkriging.
- Die Kriging Standard Fehler hängen nur von der räumlichen Konfiguration der Messstellen und nicht von den Daten ab, warum nach Meinung einiger Geostatistiker der Kriging Standard Fehler überhaupt nicht als Maß für die Schätzung der Unsicherheit verwendet werden sollte (ARMSTRONG, 1994).
- Kreuzvalidierung ist primär ein exploratorisches Werkzeug um aufzuzeigen, wo eine spezielle Schätzprozedur große Fehler erzeugen würde. Diese Fehler können dann durch Dateneditierung, Transformationen oder Verbesserung der Variographie verringert werden.

Kreuzvalidierung ist eigentlich kein Werkzeug, um verschiedene Schätzmethoden miteinander zu vergleichen.

Kriging Standard Fehler und Kreuzvalidierung sind daher hauptsächlich Indikatoren für die Genauigkeit von Schätzungen und keine definitiven Maße.

Auf der Basis von Simulationsstudien empfehlen AHMED & DE MARSILY Cokriging zu verwenden, wenn der Korrelationskoeffizient hoch ist ($> 0,7$) und die Residuen der Regression der Primärvariable auf die Sekundärvariable hochkorreliert sind. Ihre Simulationsergebnisse ergaben weiter, dass Cokriging und external Driftkriging ähnliche Ergebnisse liefern, wenn die Korrelation niedrig ist.

Der Unterschied zwischen external Driftkriging und Cokriging ist zwar sehr subtil aber trotzdem bedeutend.

- Beim external Driftkriging wird nur die Form der Trendfläche, die durch die räumliche Variation der Sekundärvariable ausgedrückt wird, bei der Schätzung der Primärvariable berücksichtigt. Beim Cokriging wird die Sekundärvariable nicht nur als Formparameter des Trends sondern als eigene Covariate bei der Schätzung verwendet.
- Cokriging verwendet mehr von den Informationen der Sekundärvariable, in dem die Werte direkt über Kreuzvariogramme, als Maß für den räumlichen Zusammenhang zwischen Primär- und Sekundärvariable, verwendet werden.
- External Driftkriging ist der einfachste Weg um Metainformationen bei räumlichen Schätzungen einzubinden, während Cokriging einen größeren Modellierungsaufwand bedeutet, wobei aber ein mehr an Information der Sekundärvariable genutzt wird.

5.1.4 Indikator Kriging

Im Rahmen des Indikator Ansatzes wird nicht der gemessene Wert der Zusatzinformation verwendet, sondern z.B. in Abhängigkeit, ob ein definierter Grenzwert überschritten wird oder nicht, werden die Werte 0 oder 1 zugeordnet.

Ein allgemeines Indikatorsemivariogramm für k verschiedene Cutoffs hat dann folgendes Aussehen:

Gleichung 43

$$ind_i = \begin{cases} 1, & \text{if } x_i \leq cut_k \\ 0, & \text{sonst} \end{cases},$$

wobei cut_k den Cutoff (z.B. Grenzwert) und x_i den z.B. Nitratwert an der Stelle i bezeichnet.

Indikator Kriging (IK) liefert LS- Schätzer der bedingten Verteilungsfunktion für z_k bei cut_k :

Gleichung 44

$$[i(s; z_k)] = Prob \{Z(s) \leq z_k | (n)\},$$

wobei (n) die bedingte Information in der Nachbarschaft von Messstelle s bezeichnet.

Der IK-Prozess wird dann für eine Serie von K Cutoffs z_k , $k=1, \dots, K$ wiederholt, wobei man dann die oben beschriebene Verteilungsfunktion für die nichtbeobachtete Stelle $z(s)$ bekommt, die sich aus den Einzelwahrscheinlichkeiten für die einzelnen Cutoffs zusammensetzt.

Dieses Verfahren ist besonders dazu geeignet, die räumliche Kontinuität von ausgewählten Wertebereichen zu beschreiben sowie Messwerte von unterschiedlichen physikalischen Parametern zu integrieren. Der Indikator Ansatz kann für die Einbeziehung der Information aus Landnutzungs- und Nitrataustragsgefährdungskarten verwendet werden.

Wenn $z(s)$ selbst eine binäre Variable ist, dann liefert OK ein Modell für die Wahrscheinlichkeit, dass $z(s)$ gleich eins ist. Wenn $z(s)$ eine stetige Variable ist, dann ist die richtige Wahl der Cutoffs, für die IK durchgeführt werden soll, von entscheidender Bedeutung.

5.1.5 Bayes'sche Verfahren

Die Grundphilosophie in der Anwendung des Bayes'schen Theorems bei der Schätzung der Verteilung einer Zufallsvariable liegt darin, Kenntnisse über eine andere Kenngröße als die zu schätzende, die aber einen Informationsgehalt über die zu schätzende Variable aufweist, in Hinblick auf diese zu quantifizieren. Das Bayes'sche Theorem ermöglicht dabei die Einbeziehung von Zusatzinformation mit sehr unterschiedlicher Qualität.

Die Quantifizierung erfolgt durch die Bestimmung einer sogenannten a priori Verteilung, d.h. die Häufigkeitsverteilung der gesuchten Kenngröße wird geschätzt ohne (bevor) Kenntnisse über deren Messwerte zu verarbeiten. Diese Zusatzinformation kann aus der Meinung eines relevanten Experten oder aus Messwerten eines anderen Parameters bestehen. Aus der Zusatzinformation wird umgelegt auf die Grundgesamtheit der gesuchten Kenngröße deren Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF) bestimmt. Dabei haben sich verschiedene mathematische Formulierungen solcher Kurven als geeignet erwiesen (z.B. Gauß, log Pearson, Gumbel), deren Verlauf durch eine bestimmte Anzahl von Parametern bestimmt wird. Diese Parameter werden nach dem Prinzip der höchsten Wahrscheinlichkeit (maximum likelihood, MLH) bestimmt. Aus der Multiplikation der Stichprobeninformation (Messungen) mit der a priori Information über die Parameter der MLH wird nach einer Normierung die posteriori Funktion als Schätzwert für die Parameter der Ausgangs-WDF ermittelt. Die Einbeziehung der a priori Information in die Schätzung der Verteilung der gesuchten Variable war dann erfolgreich, wenn die geschätzte (posteriori) Verteilung dadurch weniger Unsicherheit (geringere Streuung) aufweist.

Die mathematische Formulierung des Theorem von Bayes lautet:

Gleichung 45
$$\Pr(B_i | A) = \frac{\Pr(A | B_i) * \Pr(B_i)}{\Pr(A)}$$

$Pr(B_i)$ ist die a priori Wahrscheinlichkeit des Ereignis B, da ein Wert ohne vorherige Information bestimmt wird. $Pr(A|B_i)$ ist die likelihood vom Ereignis A unter der Verwendung von Beobachtungen B_i und $Pr(A)$ ist die gesamte probability ($Pr(A)=Pr(A|B_1)*Pr(B_1)+...+Pr(A|B_k)*Pr(B_k)$). Die maximum likelihood Schätzung einer Variable ist derjenige Wert, der die negative log likelihood Funktion minimiert bzw. der Wert, an dem die Likelihood Funktion ihr Maximum annimmt.

Bezogen auf die gesuchte Nitratkonzentrationsverteilung repräsentiert Ereignis A die Zusatzinformationen (Verschnitt Landnutzung Austragsgefährdung, Fließrichtung aus Grundwasserstand). $Pr(B_i)$ sind Aussagen über Nitratkonzentrationsverteilungen nur aufgrund der Zusatzinformation, z.B. dort erwarte ich höhere Konzentrationen als an einer anderen Stelle.

Wie komme ich zu $Pr(A|B_i)$, was ist das genau (hier gehen die gemessenen Nitratkonzentrationen ein – wie stehen sie zu der Zusatzinformation in Beziehung)?

In meinem Fall suche ich eine räumliche Verteilung von Nitratkonzentrationen. Hätte ich genug Messungen davon, würde ich ein Variogramm berechnen und mit diesem die Verteilung schätzen. Aufgrund der wenigen Messwerte kann ich aber keine gesicherte Bestimmung der Variogrammparameter vornehmen. Hier kommt jetzt die Anwendung von Bayes zum Tragen, indem z.B. Kovarianzparameter (z.B. Korrelationslänge) unter der Einbeziehung von Zusatzinformation geschätzt werden.

5.2 Bedeutung der Ergebnisse der statistischen Auswertung für die grundwasserhydrologische Bewertung von Nitratverteilungen im Grundwasser

Die statistische Auswertung vorliegender Daten im westlichen Leibnitzer Feld lässt keinen mathematisch – statistischen Zusammenhang zwischen den im Grundwasser gemessenen Nitratkonzentrationen und diversen Zusatzinformationen (Grundwasserspiegellage und – fließrichtung, Landnutzung, Bodenverhältnisse) erkennen. Im natürlichen Grundwassersystem ist dieser Zusammenhang aber jedenfalls existent, wie die Erhöhung der Nitratkonzentration in Grundwasserfließrichtung in unterschiedlichen hydrogeologischen Umgebungen belegt. Eine der angewandten Methoden waren Bahnlinienuntersuchungen, um den Zuströmbereich zu einer Messsonde zu ermitteln und um zu untersuchen, ob das vermehrte Auftreten von Böden mit hoher Austragsgefährdung und landwirtschaftlicher Nutzung in Verbindung mit erhöhten Nitratkonzentrationen steht. Dies konnte nicht bestätigt werden, weil mögliche Eintragsflächen weitverbreitet auftreten.

Aufgrund der diffusen Eintragungssituation von Stickstoff über die ungesättigte Zone in den Grundwasserleiter und der oben angesprochenen Differenz zwischen dem lokalen Eintragungsgeschehen, welches jedenfalls dreidimensionalen Charakter hat und der tiefengemittelten

Betrachtung der Ergebnisse hydrochemischer Analysen des Grundwassers gibt es keine lokale Ursache – Wirkung – Beziehung zwischen Eintragsquelle und Grundwasserqualität.

Zusätzlich zur diffusen Eintragungssituation kommt die Problematik der Stichtagsmessung und deren Aussagerelevanz. Eigentlich ist eine Stichtagsmessung des hydraulischen Potentials ohne wirkliche Aussagekraft, da der abgebildete Fließzustand eher zufälligen Charakter hat und nicht repräsentativ für einen längeren Zeitraum sein muss und die Fließzeit der Nitratmasse bei einer statischen Analyse nicht berücksichtigt werden kann.

Rein statistische Ansätze (wir haben solche Verfahren angewendet, die auf eine lineare Korrelation zurückzuführen sind – cokriging, external drift kriging) reichen aus mehreren Gründen nicht aus:

- Die verwendeten Daten bilden statische Zustände ab.
- Die zur Verfügung stehenden Daten physikalischer Größen (Grundwasserspiegellagen, Verschnitt von Bodennutzung und Nitrataustragsgefährdung) sind hinsichtlich der Problemstellung nur beschränkt aussagekräftig (geringe Korrelationskoeffizienten, keine Signifikanz bei statistischen Tests).
- Das Eintragungsgeschehen aus der Fläche erfolgt an der Grundwasseroberfläche. Die Einschichtung dieses Eintrages in den Aquifer ist im Detail nicht bekannt, es muss aber aus vorliegenden eigenen und auch internationalen Untersuchungen davon ausgegangen werden, dass diese kleinräumig (und auch mesoskalig) nicht in einer Durchmischung über die gesamte Aquifermächtigkeit mündet, sondern als Schichtung im Aquifer verbleibt. Die Erfassung der Nitratkonzentration im Grundwasser erfolgt aber jedenfalls als Mittelwert über die gesamte Aquifermächtigkeit (bedingt durch die Probennahme mittels Pumpe). Es werden hier also zwei unterschiedliche Größen miteinander an einem Ort verglichen. Eine hohe statistische Korrelation wäre demnach eher zufällig.

Hinsichtlich der Nitratkonzentration im Grundwasser muss davon ausgegangen werden, dass der wirkliche Eintrag im Sinne eines Massenflusses (derzeit) nicht bekannt ist und die entsprechende räumliche und zeitliche Verteilung nur durch eine Prozessmodellierung ermittelt werden kann. Dabei sollte aus Kosten- und Zeitersparnisgründen so wenig wie möglich und so viel wie nötig physikalische Prozessmodellierung (des Nitrateintrages in das Grundwasser bzw. dessen instationäres Fließverhalten) als Ergänzung zu statistischen Ansätzen betrieben werden. Diese statistischen Ansätze führen mit den vorhandenen Zusatzdaten zu keiner Verminderung der Unsicherheit bei der Schätzung der Nitratkonzentrationsverteilung im Grundwasserbereich.

Aus den durchgeführten Untersuchungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Man muss so viele Messdaten der Grundinformation Nitratkonzentration erheben, dass eine räumliche Interpolation möglich ist und die zeitliche Variabilität entsprechend wiedergegeben werden kann (Zeit-Raum Interpolation von Ganglinien).
- Zusatzinformation muss gesucht werden, um die Anzahl der zu erhebenden Nitratkonzentrationsdaten zu verringern. Auf jeden Fall ist aber eine Erhöhung der derzeit existierenden Anzahl von Nitratkonzentrationsmessungen notwendig. Die konkrete Vorgehensweise kann somit als Optimierungsproblem gesehen werden zwischen den Kosten weiterer Primärdaten und der Güte der Zusatzinformation.
- Solche Zusatzinformation muss die Grundwasserfließrichtung und den tatsächlichen Nitratreintrag enthalten, die beide aus entsprechender Prozessmodellierung gewonnen werden können.
- Möglicherweise könnte eine räumlich differenzierte Bilanzierung des Nitratflusses diesem Optimierungsziel näher kommen. Der Aufwand der Prozessmodellierung des Nitratreintrags in das Grundwasser kann durch stochastische Simulation oder durch Clusterung homogener Teilflächen verringert werden. Unbekannt ist der Nitratreintrag aus nicht durch Ackerbau und Grünland genutzten Flächen, dieser kann aber aus Bilanzüberlegungen und der Mischungsgleichung abgeschätzt werden (vgl. dazu FANK, 1999).
- Aus heutiger Sicht besteht nur die Möglichkeit auf der Basis aller verfügbaren Nitratmessungen eine geostatistische Interpolation der Verteilung im Grundwasser durchzuführen und für die Interpretation dieser Karte Zusatzinformationen wie das Grundwasserströmungsbild, die Bodenformenverteilung, die Landnutzung, die Nitrataustragsgefährdung der Böden analytisch – interpretativ zu nutzen (diese Vorgangsweise wurde auch bei der Einrichtung von landwirtschaftlichen Intensivberatungsgebieten des Murtales von Graz bis Radkersburg bereits angewandt).

5.3 Datenerfassung - Chemiedatenbank

Basierend auf der angesprochenen Notwendigkeit der Verdichtung des Messstellennetzes wurden neben den WGEV – Daten auch Messdaten der Grundwasserqualitätsuntersuchungen durch die Wasserversorgungsunternehmen und die Daten aus TRIKAT im gesamten verfügbaren Untersuchungszeitraum zumindest bis Ende 1997 erfasst und in einer MS ACCESS Datenbanken aufbereitet. Dabei wurden alle verfügbaren hydrochemischen Untersuchungsergebnisse erfasst, grob kontrolliert, strukturiert und auf Datenbanken zur Verfügung gestellt. Damit liegt in diesen Datenbanken die wohl umfassendste homogene Datenbasis der Grundwasserqualitätsdaten für das Grundwassergebiet „Unteres Murtal“ vor.

5.3.1 Chemiedatenbankkonzept

Die MS-ACCESS-Datenbank besteht im wesentlichen aus einer Messstellen-, einer Parameter- und einer Wertetabelle.

Die Beziehungen zwischen diesen Tabellen, wie sie in den angeschlossenen Chemiedatenbanken verwendet werden, sind in Abb. 80 dargestellt.

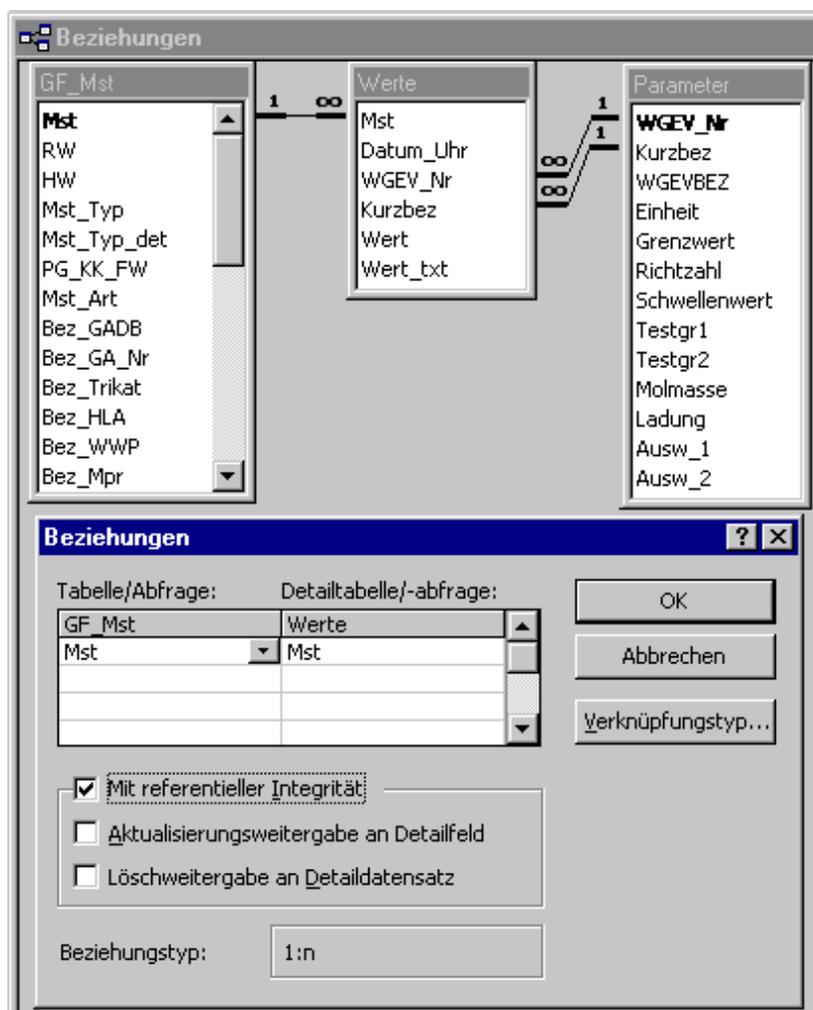


Abb. 80: Relationen in den angeschlossenen Chemiedatenbanken

Die Messstellenstammdatentabelle ist über die Spalte „Mst“ mit der Wertetabelle mittels einer 1:n Beziehung verknüpft. Die Parametertabelle ist einerseits über die WGEV_Nr und andererseits über die Kurzbezeichnung mit der Wertetabelle ebenfalls mittels zweier 1:n Beziehungen verknüpft. Für alle 1:n(∞) Beziehungen gilt die referentielle Integrität jedoch ohne Aktualisierungs- und Löschweitergaben an die Detailfelder.

Durch die referentielle Integrität besteht die Sicherheit, dass keine Werte von Messstellen oder Parametern hinzugefügt werden können, die in den Mastertabellen (Mst_GF bzw. Parameter) nicht bereits angelegt sind.

In der Messstellenstammdatentabelle sind alle messstellenbezogenen Informationen gespeichert. Die für diese Datenbank einzig gültige Messstellenbezeichnung ist im Primärschlüsselfeld „Mst“ gespeichert. Danach folgt der Rechtswert und Hochwert (Bundesmeldenetz). Die Änderung der Feldreihenfolge bzw. des Feldnamens wirkt sich auf die Funktionalität von Abfragen aus, die diese

Felder enthalten. In diesem Fall funktionieren auch Schnittstellen nach Excel bzw. ArcView, die auf diese Abfragen zugreifen, nicht mehr. Grundsätzlich gibt es vier Kategorien von Feldern:

- Typ: Hier werden die Messstellen nach dem Typ unterteilt (WGEV, WVA....)
- Bez.: Diverse Messstellenbezeichnungen (Gewässeraufsicht, TRIKAT...)
- Lage: Lagebezogene Informationen (z.B. Bezirk, GW-Gebiet....)
- Besitz: Eigentümer der Messstelle (Name, Adresse...)

Die Kategorien, Feldnamen, Felddatentypen und die dazugehörigen Beschreibungen der Messstellenstammdatentabelle sind in Abb. 81 dargestellt.

	Feldname	Felddatentyp	
	Mst	Text	Mst_Bezeichnung Chdb IHG (Primärschlüssel)
	RW	Zahl	Rechtswert [m] Bundesmeldenetz
	HW	Zahl	Hochwert [m] Bundesmeldenetz
Typ	Mst_Typ	Text	WGEV, WVA, Smst (nur diese 3 Typen)
	Mst_Typ_det	Text	WGEV, WVA, Smst und zusätzl. Trikat, HLA, Hbr, Dep.
	PG_KK_FW	Text	PG=Porengrundw.; KK=Quellen; FW=Fließgew. (BRKZ) See
	Mst_Art	Text	Mst_Art (Brunnen, Sonde, Steg, Quelle...)
Bez.	Bez_GADB	Text	Mst_Bezeichnung Gewässeraufsicht-Oradatenbank FA 1a
	Bez_GA_Nr	Zahl	Mst_Bezeichnung Gewässeraufsichts-Nummer FA 1a
	Bez_Trikat	Text	Mst_Bezeichnung TRIKAT FA 1a
	Bez_HLA	Text	Mst_Bezeichnung der Hydrogr. Landesabt. (meist gleich GA_Nr) FA 3a
	Bez_WWP	Text	Mst_Bezeichnung Wasserwirtschaftliche Planung FA 3a
	Bez_Mpr	Text	Mst_Bezeichnung Messprogramm (z.B. Feistritzal, Unteres Murtal) FA 1a
	Bez_WGEV_Code	Text	Mst_Bezeichnung WGEV-Code (beginnend mit 1 je Gebiet) FA 1a
	Bez_WGEV_Int	Text	Mst_Bezeichnung WGEV-Intern FA 1a
	Bez_WB_PZL	Zahl	Mst_Bezeichnung Wasserbuch Postzahl
	Bez_IHG2	Text	Mst_Bezeichnung 2 (Inst. für Hydrogeologie und Geothermie)
Lage	GW_Gebiet	Text	Grundwassergebiet (Grazer Feld)
	Gebietsteil	Text	Gebietsteil: zB. GF_Süd; GF_West
	Bezirk	Text	Bezirk
	Bezirksnr	Zahl	Bezirksnummer
	Gemeinde	Text	Gemeinde
	Gemnr	Zahl	Gemeindenummer
	KG	Text	Katastralgemeinde
	Seehoehe	Zahl	Seehöhe [m ü. A.]
	Grstknr	Text	Grundstücksnummer der Mst
	Koord_Quelle	Text	Koordinatenquelle (GA=Gewässeraufs.; IHG; Karte WW Andritz....)
Besitz	Besitzer	Text	Besitzer
	Bes_Adresse	Text	Besitzer Adresse
	Bes_PLZ	Zahl	Besitzer Postleitzahl
	WW_Name	Text	Name des Wasserwerks (z.B. WW Andritz, WW Feldkirchen)
	Bemerkung	Text	Bemerkung

Abb. 81: Struktur der Messstellentabelle

Das Primärschlüsselfeld „Mst“ ist mit der Wertetabelle über das Feld „Mst“ verknüpft. Es gilt die referentielle Integrität, d.h. Werte können erst eingespielt werden, wenn die Messstelle in der Messstellentabelle existiert.

In der Parametertabelle sind parameterbezogene Informationen gespeichert. Das Primärschlüsselfeld ist die WGEV_Nr (G_Nummer). Das Feld Kurzbezeichnung (indiziert ohne Duplikate) und die WGEV_Nr ist mit der Wertetabelle mittels einer 1:n Beziehung, es gilt referentielle Integrität, zu gleichnamigen Feldern doppelt verknüpft. D.h. Werte können erst eingespielt werden, wenn der Parameter in der Parametertabelle existiert. Das Feld WGEVBEZ beinhaltet eine längere Parameterbeschreibung, wie sie in der WGEV-Datenbank (Gewässeraufsicht) verwendet wird. Diese Tabelle enthält 246 „Parameter“, wobei hier auch Uhrzeit der Probennahme, Laborbezeichnung, Labor-Nummer, Wetter zur Zeit der Probennahme, Entnahmestelle und andere Angaben, bei denen es sich um keine chemisch-physikalischen Parameter handelt, beinhaltet sind. Das Feld Einheit beinhaltet die für diese Datenbank je Parameter einzig gültige Einheit (mg/l, µg/l, °dH, °C...).

Die folgenden fünf Felder beinhalten Grenzwerte, Richtzahlen, Schwellenwerte und zwei Testgrößen, die für Abfragen verwendet werden können (z.B. Anteil oder Anzahl der Überschreitungen des Grenzwertes an einer Messstelle in einem definierten Zeitraum).

Die beiden nächsten Felder beinhalten Molmasse und Ladung der einzelnen chemischen Parameter. Bei den letzten beiden Feldern handelt es sich um Auswahlfelder, die für Abfragen verwendet werden können, um die Anzahl der Parameter einzuschränken. In Abb. 82 sind Feldnamen, Felddatentypen und dazugehörige Beschreibungen der Parametertabelle dargestellt.

	Feldname	Felddatentyp	
🔍	WGEV_Nr	Text	WGEV_Nummer ab G900 selbst hinzugefügte Nummern
	Kurzbez	Text	Kurzbezeichnung des Parameter
	WGEVBEZ	Text	WGEV-Bezeichnung des Parameters
	Einheit	Text	Einheit [z.B. mg/l oder °C]
	Grenzwert	Zahl	Grenzwert
	Richtzahl	Zahl	Richtzahl
	Schwellenwert	Zahl	Schwellenwert
	Testgr1	Zahl	Testgröße 1 für Abfragen (z.B. größer als...)
	Testgr2	Zahl	Testgröße 2 für Abfragen (z.B. größer als...)
	Molmasse	Text	Molmasse
	Ladung	Text	Ladung
	Ausw_1	Ja/Nein	Auswahl für Abfragen 1
	Ausw_2	Ja/Nein	Auswahl für Abfragen 2

Abb. 82: Struktur der Parametertabelle

In der Messwert - Tabelle sind die eigentlichen Messwerte gespeichert und dazu folgende Informationen: Wo wurde gemessen? Wann wurde gemessen? Was wurde gemessen? Die Parameterbezeichnung wird als WGEV_Nr und als Kurzbezeichnung gespeichert. Die WGEV-Nummer dient der Kompatibilität zur WGEV-Datenbank, die Kurzbezeichnung dient „schnellen Abfragen“ ohne Verknüpfung zur Parametertabelle. Die Wertetabelle ist mit dem Feld „Mst“ mit der Messstellenstammdatentabelle und den Feldern „WGEV_Nr“ und „Kurzbez“ mit der Parametertabelle verknüpft. Wie oben erwähnt können auf Grund der eingestellten referentiellen Integrität, keine Werte

von Messstellen oder Parametern hinzugefügt werden, die in den sogenannten Mastertabellen (Messstellen- und Parametertabelle) nicht existieren.

Die Messwerte werden, sowohl als Zahl als auch als Text gespeichert. Die Speicherung als Text ist nötig um auch Zeichen (vor allem „<“ oder „>“) speichern zu können. Bei Werten „<X“ wurde als Wert „X/2“ angenommen. In Abb. 83 ist die Entwurfsansicht der Wertetabelle dargestellt.

	Feldname	Felddatentyp	
▶	Mst	Text	Messstellename
	Datum_Uhr	Datum/Uhrzeit	Probennahmedatum (Uhrzeit f. Differenzierungen; siehe Anleit.)
	WGEV_Nr	Text	WGEV-Nummer
	Kurzbez	Text	Parameterkurzbezeichnung
	Wert	Zahl	Messwert als Zahl (bei kleiner als x => Wert = x/2)
	Wert_txt	Text	Messwert als Text; < NWG = Nachweisegr.; [Bestimmungsgr.]

Abb. 83: Entwurfsansicht der Wertetabelle

Bei den Uhrzeiten nach dem Datum handelt es sich nicht um die Uhrzeit der Probennahme oder die Uhrzeit der Untersuchung der Probe, sondern um ein Kriterium zur Unterscheidung zwischen Labors und / oder Probenamemesstellen. Um eine eindeutige Zuordnung jedes Wertes zu einem Labor bzw. zu einer Entnahmestelle zu ermöglichen, wurde ein sog. Uhrzeitencode eingeführt. In einigen Fällen kann die Herkunft eines Wertes nicht eindeutig festgestellt werden. Dies ist z.B. der Fall, wenn an einer Messstelle, an einem Tag, an derselben Entnahmestelle, mehrere Untersuchungen von verschiedenen Labors durchgeführt werden. Zur Unterscheidung welcher Wert von welchem Labor stammt, dient der Uhrzeitencode (siehe Tab. 19).

Die tatsächliche Uhrzeit der Probennahme wird, wenn bekannt, nicht im Datumsfeld sondern im Wertefeld (Kurzbez: time; G103 im Feld Wert_txt) gespeichert. Die „Uhrzeit“ (HH:MM:SS) im Datumsfeld nach dem Datum (TT.MM.JJJJ) dient der Differenzierung nach Labor. Tritt der Fall auf, dass an einer Messstelle an einem Tag von einem Labor mehrere Untersuchungen an unterschiedlichen Entnahmestellen durchgeführt wurden, wird über die Minuten differenziert (Bsp.: TT.MM.JJJJ 06:00:00 => Entnahmestelle 1; TT.MM.JJJJ 06:01:00 Entnahmestelle 2...). Tritt der Fall ein, dass an einer Entnahmestelle an einem Tag mehrere Untersuchungen durchgeführt werden, so wird über die Sekunden differenziert. (Bsp.: TT.MM.JJJJ 06:00:00 => Entnahmestelle 1; Probe 1; TT.MM.JJJJ 06:00:01 => Entnahmestelle 1; Probe 2...).

Die tatsächliche Entnahmestelle, wird unter der Kurzbezeichnung „Entnpkt“ als Wert_txt gespeichert. Wohl wissend, dass dieses Konstrukt die Prinzipien eines nachvollziehbaren, klar und eindeutig strukturierten Datenbankdesigns verletzt, wird aus Gründen der Praktikabilität und der Kompatibilität zu anderen Datenbanken diese Lösung verwendet.

Tab. 19: Aktuelle und geplante Uhrzeitencodes

Labor	Uhrzeitencode (gepl.)	Uhrzeitencode (akt.)
Messung im Rahmen der WGEV	TT.MM.JJJJ 06:00:00	-
Gewässeraufsicht	TT.MM.JJJJ 08:00:00	TT.MM.JJJJ 15:05:00
TRIKAT	TT.MM.JJJJ 10:00:00	-
Inst. f. Hydrogeologie u. Geoth.	TT.MM.JJJJ 12:00:00	TT.MM.JJJJ 09:05:00
Labor der Grazer Stadtwerke	TT.MM.JJJJ 14:00:00	-
Hygiene Institut (KFU-Graz)	TT.MM.JJJJ 16:00:00	TT.MM.JJJJ 12:05:00
Sonstige Labors	TT.MM.JJJJ 18:00:00	-

5.3.2 Datenimport, Abfragen und Kontrollfunktionen

Der Import von Daten kann auf verschiedene Weise erfolgen. Die häufigste Methode ist der Import v.a. aus Excel oder Access. Zur Beschleunigung und Kontrolle (schreibweise) wurden einige Applikationen entwickelt.

5.3.2.1 Automatische Ergänzung der WGEV-Nummer mittels Makro

Das Makro (GNR) wandelt Parameterkurzbezeichnungen in WGEV-Nr um. Dadurch muss die WGEV-Nummer nicht in Listen nachgeschlagen werden und bei falscher Schreibweise der Parameterkurzbezeichnung erzeugt das Makro Fragezeichen. Nur das Komma in Excel (Systemsteuerung ⇒ Ländereinstellungen) bleibt auch nach dem Import in ACCESS erhalten.

5.3.2.2 Hauptionenbilanz

In der Chemiedatenbank befindet sich eine Hauptionenbilanzabfrage, die aus drei aufeinander aufbauenden Abfragen besteht (Ergebnis in Abfrage „Hauptionen_Ergebnis“). Wurden alle acht Hauptionen (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃) zu einem Messtermin untersucht, liefert die Hauptionenbilanzabfrage ein erstes Beurteilungskriterium für die Güte der Laboruntersuchungen. Auch bei möglichen Fehlern beim Datenimport kann die Hauptionenbilanzabfrage erste Hinweise geben.

5.3.2.3 Ausgewählte statistische Kennzahlen je Parameter

Um einen Überblick über Mittelwerte (Spalte MW) und Anzahl der Untersuchungen (Anz) eines jeden Parameters in einem Grundwassergebiet zu bekommen bzw. um einen schnellen Überblick über Minima und Maxima für jeden Parameter zu bekommen, was bei der Kontrolle bei der Dateneingabe hilfreich sein kann, gibt es die Abfrage „xx_Param_MW“ (siehe Abb. 84).

GF_Param_MW : Auswahlabfrage						
	Kurzbez	Anz	MW	Min	Max	Stabw
	NH4	3174	0,011	0	0,69	0,026
	Ni	531	0,001	0	0,053	0,003
	NO2	2649	0,007	0	2,92	0,073
	NO3	5817	27,216	0	101,4	20,194
	o_PO4	1279	0,041	0	0,958	0,056
	O2	4057	6,530	0,1	14,5	2,770

Abb. 84: Datenblattansicht der Abfrage „xx_Param_MW“

5.3.2.4 Schnittstellen zu MS-EXCEL97

Abfragen dienen dazu, gezielt Informationen aus Tabellen zu erhalten. Sie sind mit Filtern zu vergleichen, bieten aber weitergehende Möglichkeiten. In Abb. 85 sind alle Abfragenbezeichnungen dargestellt. Die drei Hauptionenabfragen, dienen der Verifizierung der Qualität der.



Abb. 85: Abfragen in Chemiedatenbanken

Die Ganglinienabfrage dient der Abfrage von Messwerten, an einer ausgewählten Messstelle, für einen ausgewählten Parameter. Die Datenblattansicht ist in Abb. 86 dargestellt. Sie stellt eigentlich eine für Excel97 reduzierte Form der Wertetabelle dar. Ein Zugriff auf die ACCESS-Datenbanken ist erst nach Einrichtung der ODBC-Treiber für die Datenbank möglich.

GF_Ganglinien : Auswahlabfrage				
	Mst	Datum_Uhr	Kurzbez	Wert
	WWWK_KBR570	05.08.1992	NO3	18,3
	WWWK_VFB1	05.08.1992	Cl	38,3
	WWWK_KBR572	05.08.1992	NH4	0,01
▶	WWWK_KBR571	05.08.1992	SO4	55,5

Abb. 86: Datenblattansicht der Ganglinienabfrage

5.4 Nitratverteilung im Unteren Murtal (im Jahr 1997)

Basierend auf den theoretischen Überlegungen und den Ergebnissen im Testgebiet westliches Leibnitzer Feld wurde die Nitratverteilung im Unteren Murtal geschätzt. Das südöstliche Leibnitzer Feld, das hydrologisch bereits zum Unteren Murtal zu zählen ist, wurde auch in der gegenständlichen Bearbeitung zum Unteren Murtal dazugenommen. Wie bereits im Zuge der Erarbeitung der methodischen Grundlagen erkennbar, war auch im Unteren Murtal eine signifikante Korrelation zwischen dem Primärparameter Nitrat und den Zusatzinformationen Landnutzung, bzw. Nitrat austragsgefährdung der Böden nicht erkennbar. Die Abhängigkeit der Nitratkonzentration von der Grundwasserspiegellage als wichtigste Zusatzinformation wird gesondert beschrieben.

5.4.1 Datengrundlage

Insgesamt standen Nitratwerte aus dem Jahr 1997 von 79 Messstellen (25 WGEV-Messstelle, 8 WVU-Messstellen und 46 Messstellen des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung) zur Verfügung, wobei die Anzahl der Messungen je Messstelle zwischen 1 und 12 lag (Tab. 20). Die Darstellungen der zeitlichen Entwicklung in Abb. 87 und Abb. 88 zeigen das unterschiedliche Verhalten der Nitratentwicklung im Grundwasser des Unteren Murtales in Abhängigkeit von der Lage der Messstelle hinsichtlich der hydrogeologischen Verhältnisse.

Tab. 20: Häufigkeitsdarstellung der Anzahl der Nitratmessungen 1997 (unteres Murtal)

Anzahl der Messungen	Anzahl der Messstellen
1	2
2	30
3	2
4	41
5	1
6	2
12	1

Während die Nitratentwicklung im Grundwasser im Bereich der Niederterrasse im Raum Mureck (vgl. Abb. 87) von den 70er bis Ende der 80er Jahre durch einen kontinuierlichen Anstieg von etwa 20 mg/l auf ca. 70 mg/l gekennzeichnet ist, zeigt die Ganglinie am Brunnen Radkersburg (Abb. 88), der im Bereich der Austufe der Mur gelegen ist und der von den Anströmungsverhältnissen eher aus dem Aublich und zeitweise auch aus dem sehr murnahen Bereich gespeist wird in den 70er und 80er Jahren zwar relativ starke Schwankungen (10 bis 35 mg/l), eine tendenzielle Veränderung ist aber nicht erkennbar.

Aus der Lage der beiden Messstellen ist auch die weitere Entwicklung erkennbar: Im Raum Mureck bewirkte die Umstellung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweise im Konnex mit der Einrichtung und Kontrolle der Schutz- und Schongebiete eine deutliche Verminderung der Nitratkonzentration im Grundwasser von 65 mg/l Anfang der 90er Jahre auf weniger als 40 mg/l am Ende des 20. Jahrhunderts mit deutlich fallender Tendenz. Im Raum Radkersburg, im Bereich der

Austufe verbleibt die Charakteristik der Nitratentwicklung in den 90er Jahren ähnlich wie in den Jahrzehnten zuvor: Die Ganglinie ist durch eine relativ große Schwankung zwischen 20 und 45 mg/l charakterisiert, wobei seit Ende der 80er Jahre sowohl die Minima als auch die Maxima höher zu liegen scheinen als in den Jahrzehnten zuvor (dieser Eindruck könnte allerdings auch durch das in diesem Zeitraum dichtere Messintervall hervorgerufen werden).

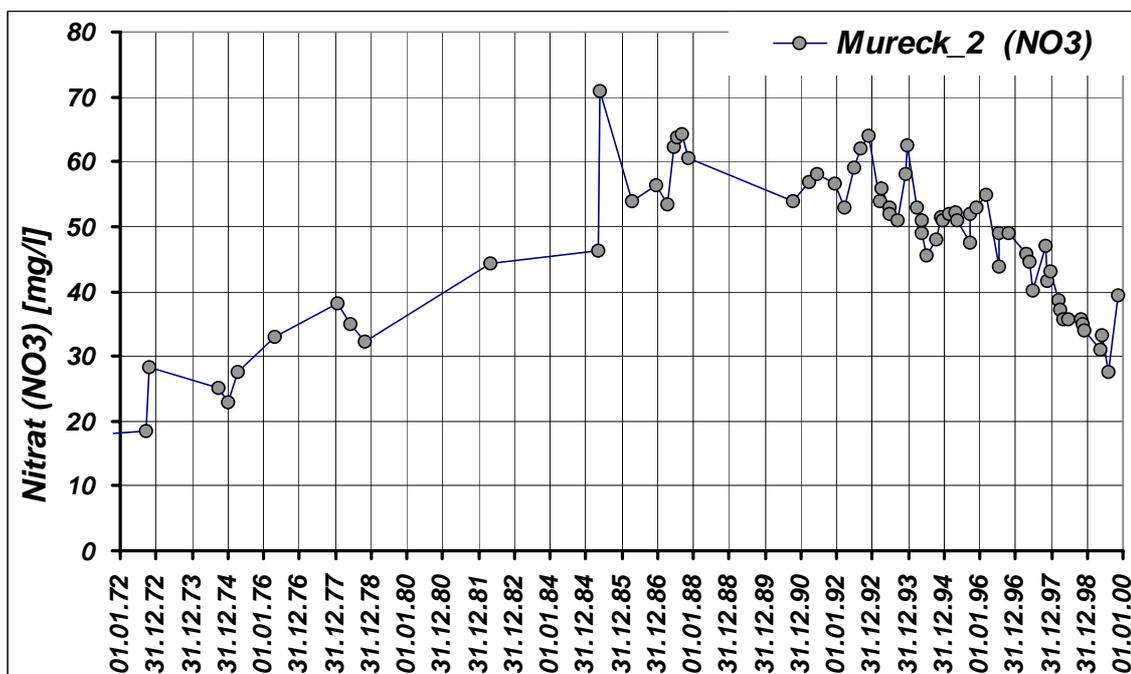


Abb. 87: Nitratganglinie im Grundwasser am Brunnen Mureck_2 von 1972 bis 1999

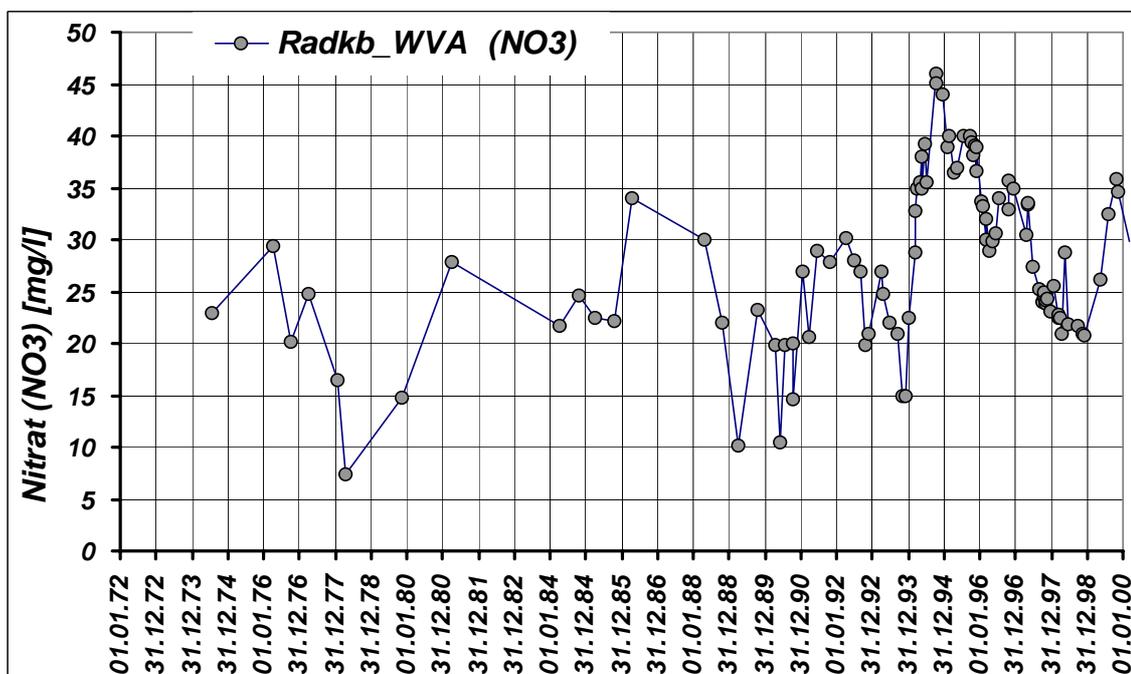


Abb. 88: Nitratganglinie im Grundwasser am Brunnen Radkersburg von 1974 bis 1999

Da aufgrund der verfügbaren Messdaten, der Dichte der Zeitreihen und der Lage der Messstellen schlussendlich entschieden wurde, eine Karte der mittleren Nitratbelastung für das Jahr 1997 zu erarbeiten, war als erstes die Frage zu beantworten, durch welche Kennzahl die mittlere Belastung an einer Messstelle beschrieben werden kann. Die Statistik stellt hier die beiden Kennzahlen arithmetisches Mittel und Median zur Verfügung, wobei die Verwendung des arithmetischen Mittels zur Charakterisierung der mittleren Lage im wesentlichen an zwei Kriterien gebunden ist. Erstens ist das arithmetische Mittel nur dann ein geeignetes Maß, wenn der Stichprobenumfang ausreichend groß ist (unter Annahme der Normalverteilung in etwa 30(!) Werte) und die Daten symmetrisch um den Mittelwert verteilt sind. In unserem Fall sind beide Voraussetzungen nicht gegeben, gerade im Bereich Vogau zeigen die Nitratganglinien einen stark fallenden Jahrestrend. Der Median als Maß zur Charakterisierung der mittleren Belastung hingegen ist kaum anfällig auf schiefe Verteilungen, doch gilt auch hier, dass bei Messstellen, wo nur ein-, zwei- oder dreimal jährlich gemessen wurde, diese Maßzahl mit Vorsicht zu genießen ist.

Betrachtet man zusätzlich die Streuung der Nitratwerte innerhalb eines Jahres an den einzelnen Messstellen, so zeigt sich bei einigen Messstellen, dass die Streuung sogar größer als das arithmetische Mittel selbst ist, was auf eine extreme Heterogenität der Nitratwerte an der Messstelle hindeutet.

In Ermangelung einer besseren Datenlage wurde somit neben der mittleren Nitratkarte, wo der Median als charakteristische Kennzahl verwendet wurde, auch eine Karte der Einzelwerte des dritten Quartals berechnet und der mittleren Karte gegenübergestellt.

5.4.2 Variographie

In Anlehnung an die Vorgehensweise im westlichen Leibnitzer Feld – hier wurde die zugrunde liegende Methodik entwickelt und getestet - wurden empirische Variogramme und theoretische Variogramm - Modelle für die mittlere Nitratbelastung bzw. die Nitratbelastung im dritten Quartal berechnet. Beim theoretischen Modell der mittleren Nitratbelastung handelt es sich um ein sphärisches Modell ohne Nuggeteffekt, mit einem Sill bei 564 und einer Range von 2400 m. Beim theoretischen Modell für das dritte Quartal wurde ebenfalls ein sphärisches Modell ohne Nuggeteffekt, mit einem Sill bei 583 und einer Range von 2300 m angepasst.

5.4.3 Kriginginterpolation

Aufbauend auf diese theoretischen Variogramm- Modelle wurde mit Hilfe des ordinary- kriging Algorithmus einmal die mittlere Nitratverteilung (Abb. 89) und einmal die Nitratverteilung für das 3. Quartal (Abb. 90) flächenhaft für das untere Murtal geschätzt.

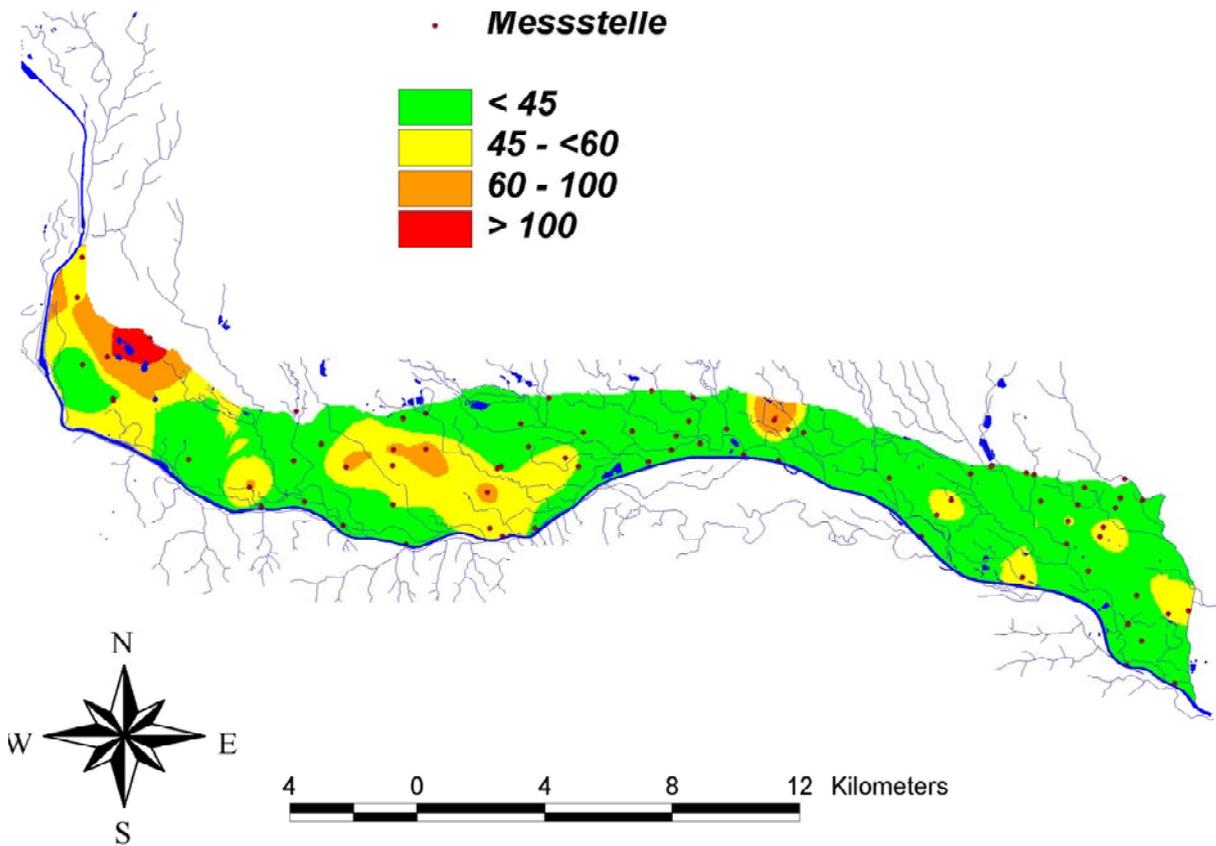


Abb. 89: Mittlere Nitratverteilung [mg/l] (1997) im Unteren Murtal

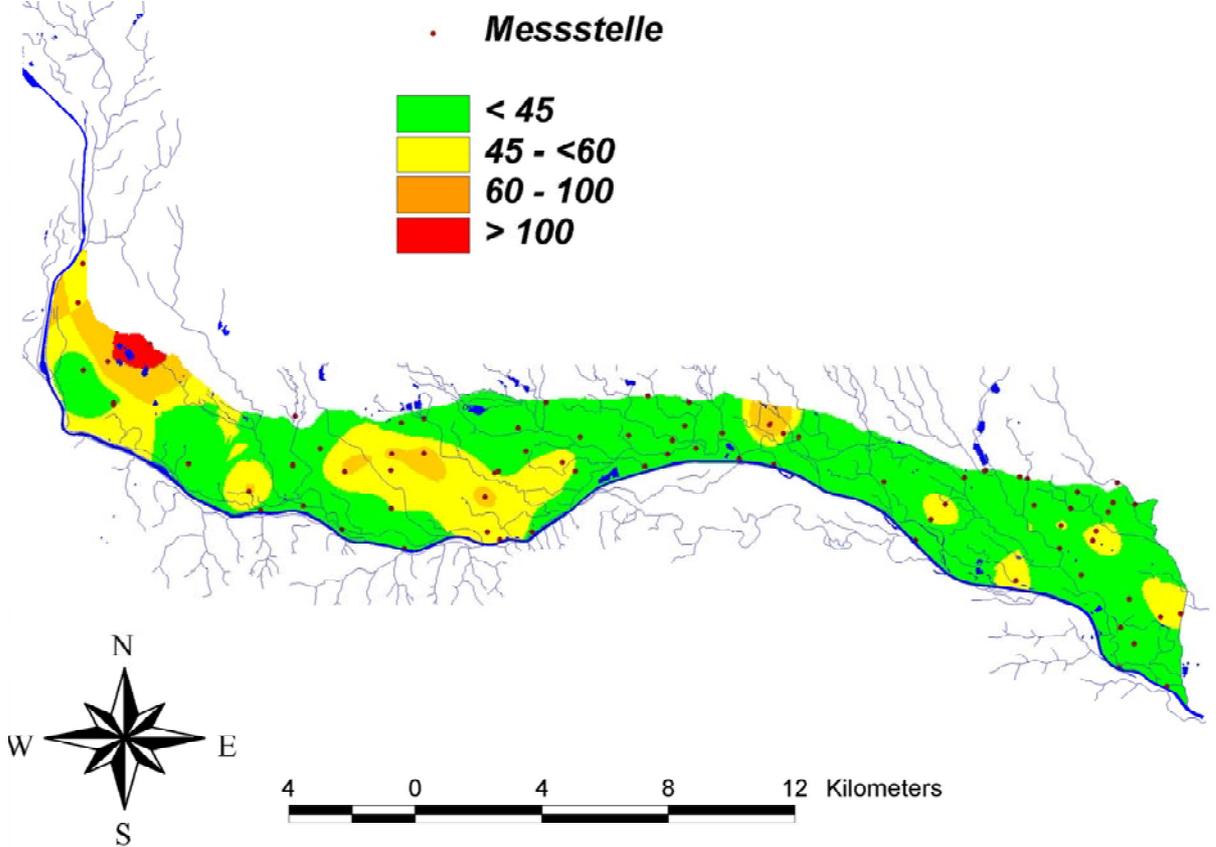


Abb. 90: Mittlere Nitratverteilung [mg/l] im 3. Quartal 1997 im Unteren Murtal

In Abb. 91 ist die Differenz dieser beiden Karten flächenhaft dargestellt, wobei sich hier Unterschiede in der geschätzten Nitratverteilung zwischen zeigen. Gerade dieses Beispiel zeigt, dass auch im Murtal – wenn Jahrestrends vorliegen – die Angabe eines mittleren Jahresnitratwertes gegenüber den Quartalswerten zu einer Fehlschätzung in der Größenordnung von ± 10 mg/l führt. Regionale Trends in diesen Fehlern sind kaum erkennbar – positive Abweichungen kommen nahe negativen Abweichungen zu liegen.

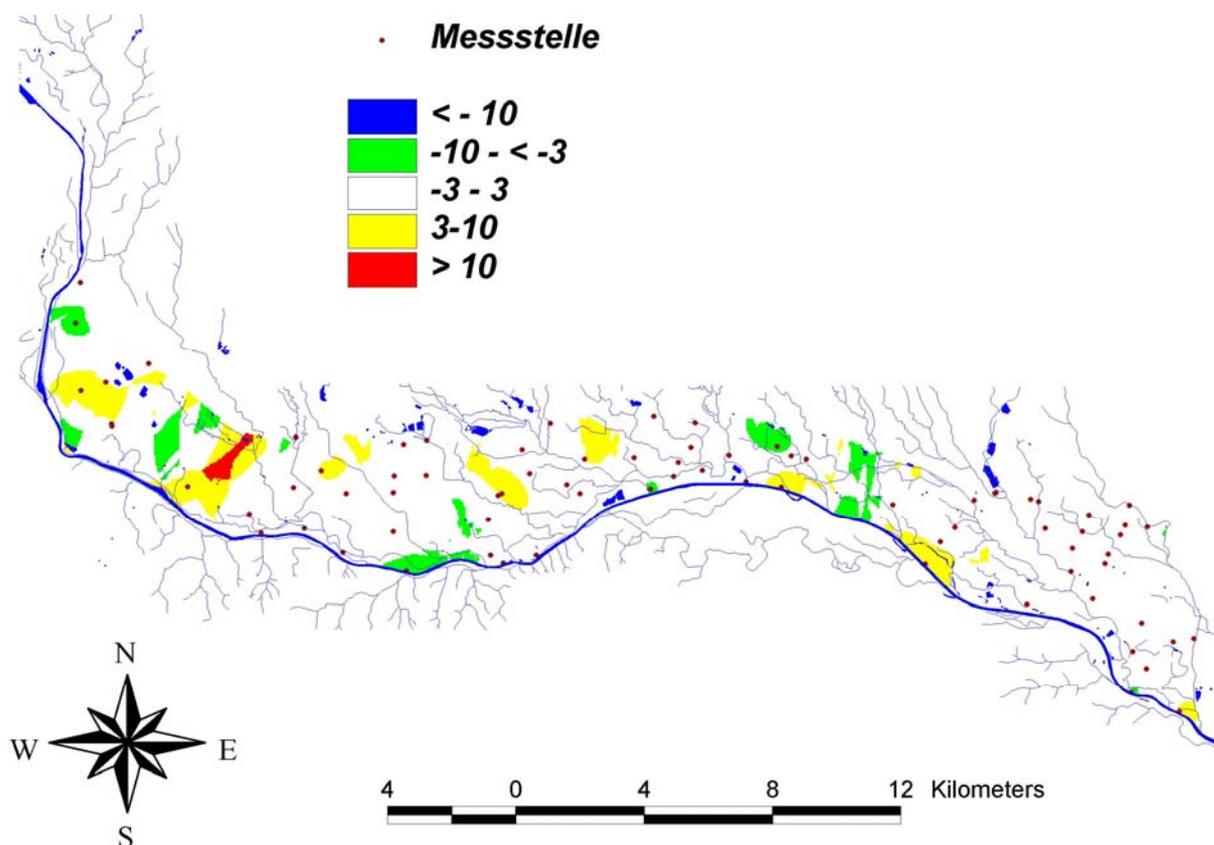


Abb. 91: Differenz [mg/l] der mittleren Nitratverteilung und der Nitratverteilung im 3. Quartal im Unteren Murtal

5.4.4 Zusatzinformationen zur interpolierten Nitratkarte

Die Korrelation zwischen NO_3 und der GWSP unter Einbeziehung aller 72 Messstellen zeigt keine signifikanten Zusammenhänge, womit auch hier auf die Verwendung der GWSP als Kovariate verzichtet werden muss.

In Anlehnung an die Ergebnisse der methodischen Arbeiten (Kap. 5.2) ist die alleinige Darstellung der Nitratverteilung – die aufgrund fehlender statistisch signifikanter Zusammenhänge zwischen der Primärvariablen Nitratkonzentration und den Zusatzinformationen Grundwasserströmung, Landnutzung und Nitrataustragsgefährdung ausschließlich mittels ordinary kriging als Verteilung der Nitratwerte geschätzt wurden - nicht ausreichend, um damit einen schlüssigen Hinweis auf besondere Eintragsquellen seitens der Landwirtschaft in das Grundwasser zu erhalten. Es wird von uns als notwendig erachtet, bei einer eventuellen Abgrenzung von Grundwassersanierungsgebieten oder

auch von Gebieten mit einer besonderen wasserwirtschaftlichen Bedeutung und gleichzeitig erhöhter Nitratkonzentration im Grundwasser als einen Bereich in dem spezielle Maßnahmen zur Qualitätssicherung des Grundwassers getroffen werden müssen, neben der Nitratverteilung im Grundwasser auch die Landnutzung und die Nitrataustragsgefährdung der Böden interpretativ in die Abgrenzungsüberlegung - und auch in den Maßnahmenkatalog – einzubeziehen. Aus diesem Grunde werden neben der Karte der Nitratverteilung auch eine Karte der Landnutzung (basierend auf Satellitenbildern; FANK et al., 1998b) und eine Karte der Nitrataustragsgefährdung (basierend auf Bodenwasserhaushalts- und Stickstofftransportmodellierung; FANK & FEICHTINGER, 1998), die im Rahmen anderer Projekte entwickelt worden waren, eingebunden.

6 Umsetzung der Ergebnisse der instationären Modellierung des Grundwassersystems

Nachdem in den Jahren 1994 bis 2000 das Grundwasserströmungsmodell „Unteres Murtal“ instationär für einen Zeitraum von 3 Jahren auf Tages-Zeitschrittbasis kalibriert wurde (siehe Kap. 2 und Kap. 3) und als wasserwirtschaftlich relevanter Simulationsfall die Auswirkung der konsentierten Grundwasserentnahme an den kommunalen und regionalen Wasserversorgungsbrunnen gegenüber einem unbelasteten Grundwasserfeld berechnet wurde (siehe Kap. 4), wurden in weiterer Folge die Ergebnisse dieses Modells und die Möglichkeiten zur Simulation für angewandte Fragestellungen bereits intensiv genutzt. Auch die Ergebnisse der Auswertungen der Grundwasserqualitätssituation – hier naturgemäß in erster Linie die Berücksichtigung der Nitratproblematik – wie sie in Kap. 5 expliziert ist, wurden in praktisch relevante Anwendungen übergeführt. Da derartige Auswertungen und Szenariorechnungen für die Beurteilung der Bedeutung der instationären regionalen Grundwassermodellierung von entscheidender Bedeutung sind, wird in den folgenden Berichtsteilen darüber detailliert berichtet:

- Entwicklung und Anwendung von Methoden zur Ermittlung von Brunneneinzugsgebieten unter Berücksichtigung des instationären Charakters der Grundwasserströmung im Unteren Murtal als Grundlage für eine Neubewertung der Schutz- und Schongebiete
- Anwendung der Ergebnisse der Modellerstellung für die Erarbeitung der Grundlagen für die Einrichtung von Intensivberatungsgebieten der landwirtschaftlichen Umweltberatung zur Sicherung der Grundwasserqualität in wasserwirtschaftlich relevanten Teilbereichen
- Anwendung der Ergebnisse des regionalen Grundwassermodells für die Prognose der Auswirkungen von Nassbaggerungen auf die Grundwasserströmungssituation und schlussendlich
- Erarbeitung der Grundlagen für die weitere Erschließung von Grundwasserressourcen im Unteren Murtal als Basis für reale Planungen.

6.1 Abgrenzung von Brunneneinzugsgebieten als Grundlage für die Überarbeitung der Schutz- und Schongebietsgrenzen

6.1.1 Brunneneinzugsgebietsermittlung aus den instationären Modellergebnissen

Für die Festlegung von Schutz- und Schongebieten ist die Ermittlung der Einzugsgebiete der Brunnen bei Konsensbetrieb von entscheidender Bedeutung. Instationäre Einzugsgebiete – d.h. die Berücksichtigung der wechselnden Zustromverhältnisse zu den Brunnen in Abhängigkeit von der Änderung der Grundwasserströmungs- und -gefällsverhältnisse haben aufgrund ihrer wesentlich detaillierteren Aussage wesentliche Vorteile gegenüber aus Stationärzuständen ermittelten Einzugsgebieten, da bei Auswertung von stationären Strömungszuständen davon ausgegangen wird, dass die zugrunde liegende Grundwasserströmungssituation in der Zeit konstant sei. Alle analytischen Lösungen zur Berechnung von Brunneneinzugsgebieten (Bahnlinienverfahren, Errechnen der Einzugsgebietsbreite auf Höhe des Brunnens in Kombination mit dem Unteren Kulmitationspunkte aus der Strömungsgleichung etc.) basieren auf der Annahme stationärer Verhältnisse.

Existiert nun – wie im gegenständlichen Fall ein instationär über einen längeren Zeitraum kalibriertes Grundwasser - Strömungsmodell, ist die Ermittlung von instationären, zum Modell konsistenten, Einzugsgebieten vom Modellansatz her grundsätzlich möglich. Derzeit ist dies aber mittels der gebräuchlichen Software-Modellierungspakete nicht möglich. In den folgenden Abschnitten sollen nun zwei realisierte Methoden zu deren Ermittlung vorgestellt und thematisiert werden.

Grundlage für die Auswertung der instationären „wahren“ Brunneneinzugsgebiete ist die Simulationsvariante mit Entnahme der Konsenswassermenge aus den Brunnen Mureck (18l/s), Gosdorf(15l/s), Bad Radkersburg(30l/s) und Dedenitz(12l/s) im Modellierungszeitraum vom 1.1.1993 bis zum 31.12.1195.

6.1.1.1 EZG-Ermittlung mittels Bahnlinien

Als erste Methode soll die Ermittlung von instationären Einzugsgebieten aus Bahnlinien dargestellt und besprochen werden. Dabei wird jeder instationäre Zeitschritt (im gegenständlichen Fall jeweils 1 Tag) als stationär betrachtet und dafür mittels Bahnlinienverfahren das zugehörige Einzugsgebiet ermittelt. Die Überlagerung dieser Einzugsgebiete ergibt dann das gesamte instationäre Einzugsgebiet für den Modellzeitraum.

Bahnlinien sind die Normalen auf die Linien gleichen Grundwasserspiegels eines Strömungszustandes. Dieser wird dabei als stationär (d.h. unveränderlich in der Zeit) angenommen. Die automatisierte Ermittlung von Bahnlinien ist möglich, wenn für ein Strömungsfeld die unterschiedlichen Geschwindigkeitsvektoren in jedem Punkt des Strömungsfeldes verfügbar sind.

Dies ist grundsätzlich nach der numerischen Iteration eines Strömungszustandes mittels eines GW-Strömungsmodells der Fall.

Der Zustand kann sowohl ein Stationärzustand oder aber auch ein einziger Zeitschritt eines instationären Modells sein. Ist der Startpunkt der Bahnlinie definiert, so kann über die aktuellen Geschwindigkeitsvektoren in diesem Punkt die Richtung der Bahnlinie in diesem Punkt berechnet werden. Unter der Annahme, dass sich die Richtung der Bahnlinie auf kurze Distanz nicht wesentlich verändert, kann über ihre Richtung ein weiterer Stützpunkt der Linie in einer gewissen Distanz errechnet werden. Die Distanz ist ein Maß für die Genauigkeit des Verfahrens und sollte vom Anwender wählbar sein. Es ist nun einfach von Stützpunkt zu Stützpunkt über die jeweiligen Geschwindigkeitsvektoren die gesamte Bahnlinie zu errechnen. Die Bahnlinie kann auch rückwärts (Entgegen der Fließrichtung des Wassers) errechnet werden, indem der Geschwindigkeitsvektor umgedreht wird. Das Ende der Bahnlinie ist erreicht, wenn diese entweder das Modellgebiet verlässt oder wenn sie innerhalb eines bestimmten Radius eines Brunnens verläuft. Dieser sogenannte Fangradius eines Brunnens sollte vom Anwender wählbar sein.

Als Beispiel für die Ermittlung eines Brunneneinzugsgebietes zu einem als stationär angenommenen Zeitpunkt wurden die Bahnlinien für den Brunnen Mureck mit Konsensmengenentnahme (18l/s) und dem Zustand vom 28.9.1993 (Abb. 92) dargestellt.

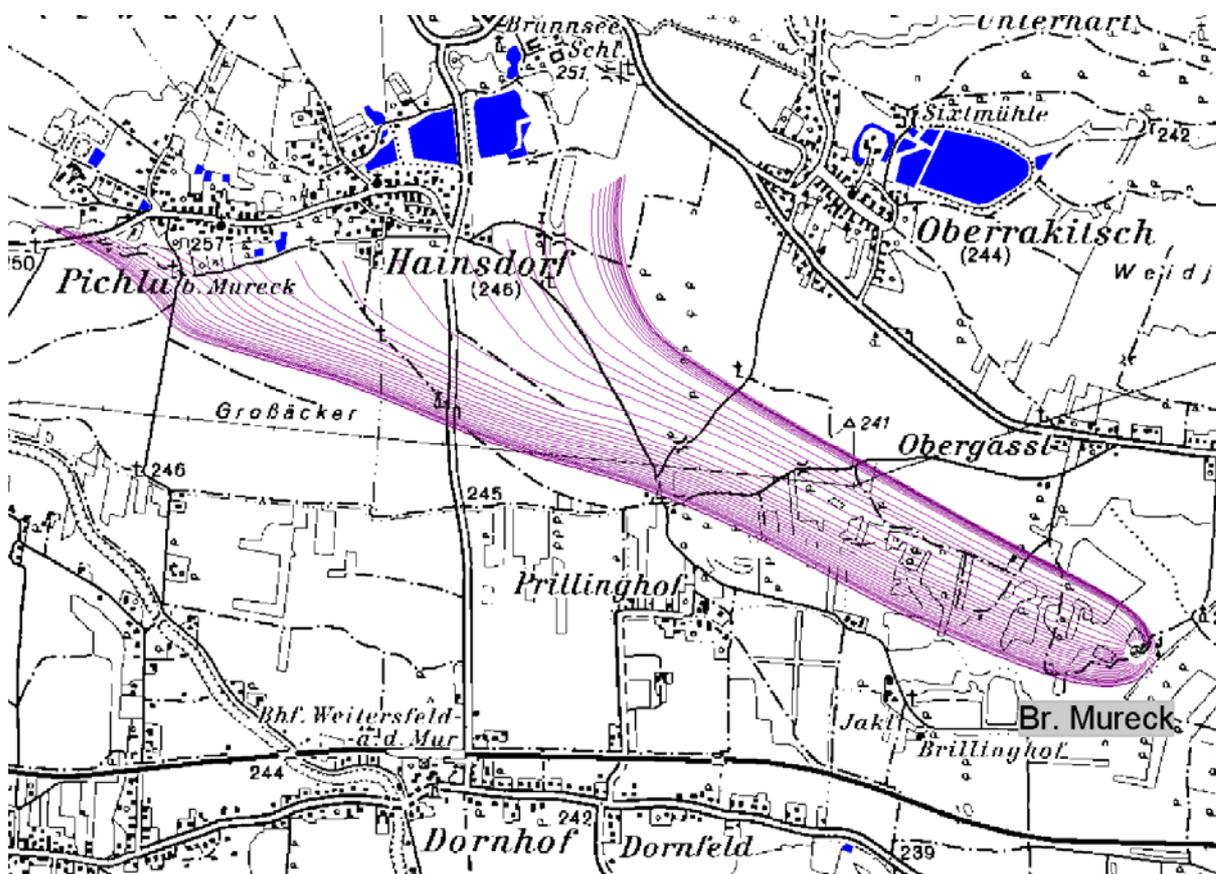


Abb. 92: Einzugsgebiet des Brunnens Mureck bei Entnahme der Konsensmenge auf Basis des Bahnlinienverfahrens für den Strömungszustand vom 28. 9. 1993 (Niederwasser)

Die Einzugsgebiete für einen Zeitschritt können mittels folgenden Verfahrens ermittelt werden. In einem wählbaren Radius (hier beispielsweise 25 m) um den Brunnen werden im Kreis eine definierte Anzahl (hier 36) Bahnlinien gestartet. Über die aktuellen Geschwindigkeitsvektoren in jedem Punkt des Strömungsfeldes werden mittels oben besprochener Methode automatisch alle Bahnlinien rückwärts (entgegen Fließrichtung) ermittelt. Die Schrittweite für die Ermittlung der Bahnlinien wurde mit 10m angenommen. Aus dem Bündel von 36 Bahnlinien müssen danach für den Zeitschritt mittels Algorithmen aus der graphischen Datenverarbeitung die beiden äußeren, das Einzugsgebiet begrenzenden Bahnlinien ermittelt und zu einer Polygonfläche zusammengefügt werden. Nun erhält man das Einzugsgebiet für einen berechneten stationären oder instationären Zeitschritt.

Da diese hier kurz angesprochene Methode zur Ermittlung von Einzugsgebieten aus Bahnlinien für jeden Zeitschritt eines instationär kalibrierten Modells anzuwenden ist, ist die Auswertung des Aufwandes wegen nicht durch Exportieren der einzelnen Strömungszustände und nachträglicher Auswertung jedes Zeitschrittes möglich. Es musste eine direkte Integration der Auswertung in die Modellsoftware erfolgen. Die Modellierungssoftware „Feflow“ ermöglicht über eine eigene Programmierschnittstelle die Erstellung von Zusatzmodulen. Diese Module erlauben es, Zusatzfunktionen zur Definition von Modelldaten (Randbedingungen, Materialwerte) für folgende Zeitschritte, sowie Zusatzfunktionen zur Auswertung des zuletzt berechneten Zeitschrittes von Anwendern zu erstellen und bei Bedarf im Modellprojekt zu aktivieren. Softwaretechnisch gesehen werden über den „Interface-Manager“ (die Programmierschnittstelle) Funktionen aktiviert, die von „Feflow“ an vorgesehener Stelle aufgerufen und abgearbeitet werden. Die Funktionen befinden sich in einem Modul in Form einer „DLL“. Dieses Modul wird zusätzlich zu „Feflow“ installiert und bei Aktivierung im Modell wie ein fixer Bestandteil von „Feflow“ angesprochen. Module, die mittels „Interface-Manager“ von Feflow erstellt wurden sind aufwärtskompatibel zu zukünftigen Softwareversionen.

Vor dem Start einer instationären Berechnung können die notwendigen Angaben für die Ermittlung der Einzugsgebiete aus Bahnlinien mittels eines Dialogs definiert werden. Zu definieren sind die Punkte (Brunnen), für die ein Einzugsgebiet ermittelt werden soll, der Startradius (Standard = 50m) für den Start der Bahnlinien um die Brunnen, die Anzahl der Bahnlinien an jedem Brunnen (Standard = 36), und die Entfernung der Stützpunkte für die Bahnlinienermittlung (Standard = 10m). Wird die Berechnung aktiviert, so errechnet das Modul nach Berechnung des Strömungszustandes jedes instationären Zeitschrittes für jeden angegebenen Brunnen das zugehörige Einzugsgebiet und speichert es in die zum Brunnen zugehörige Datei. Nach Beendigung der instationären Berechnung erhält man damit für jeden Brunnen eine Datei mit einem Einzugsgebiet für jeden instationären Zeitschritt.

Diese Einzugsgebiete müssen danach mittels GIS-Funktionen überlagert werden, um ein Gesamteinzugsgebiet zu erhalten. Im konkreten Fall wurde dieser Arbeitsschritt mittels der GIS-Software „ArcView“ durchgeführt. Um das Gesamteinzugsgebiet für die berechneten 1095 Zeitschritte automatisiert ermitteln zu können, wurde mittels der Makrosprache „Avenue“ eine Zusatzfunktion für „ArcView“ programmiert. Dabei können die einzelnen Zeitschritte als Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) oder Hochwasser (HW) klassifiziert werden. Das „Avenue-Makro“ erstellt dann zusätzlich zum Gesamteinzugsgebiet je ein Einzugsgebiet für „NW“, „MW“ und „HW“. Für die Klassifizierung wurde für jedes Einzugsgebiet die berechnete Ganglinie eines Referenzpegels im unmittelbaren Anströmbereich des Brunnens herangezogen. Klassifiziert wurden die Zeitschritte mittels der Quartile der Wasserspiegel. Das untere Quartil (25% niedrigste Wasserspiegel) wurde als „NW“, das obere Quartil (25% höchste Wasserspiegel) als „HW“ und die mittleren Quartile (50% mittlere Wasserspiegel) als „MW“ klassifiziert.

Als Referenzpegel für die Klassifizierung der einzelnen Zeitschritte wurden folgende Beobachtungspunkte aus der Simulation des Zustandes mit Konsensmengenentnahme herangezogen (vgl. Abb. 72): Für das Einzugsgebiet des Brunnens Mureck Obs45, für den Brunnen Bad Radkersburg Obs23 und für den Brunnen Dedenitz Obs14. Die Ergebnisse dieser Klassifizierung sind für Obs45 in Abb. 93, für Obs23 in Abb. 94 und für Obs14 in Abb. 95 dargestellt. Aufgrund des Klassifizierungsverfahren liegen 50 % aller Werte (in diesem Fall aller Tage) im Mittelwasserbereich und je 25 % im Hochwasser- bzw. Niederwasserbereich.

Brunnen Mureck (Obs45)

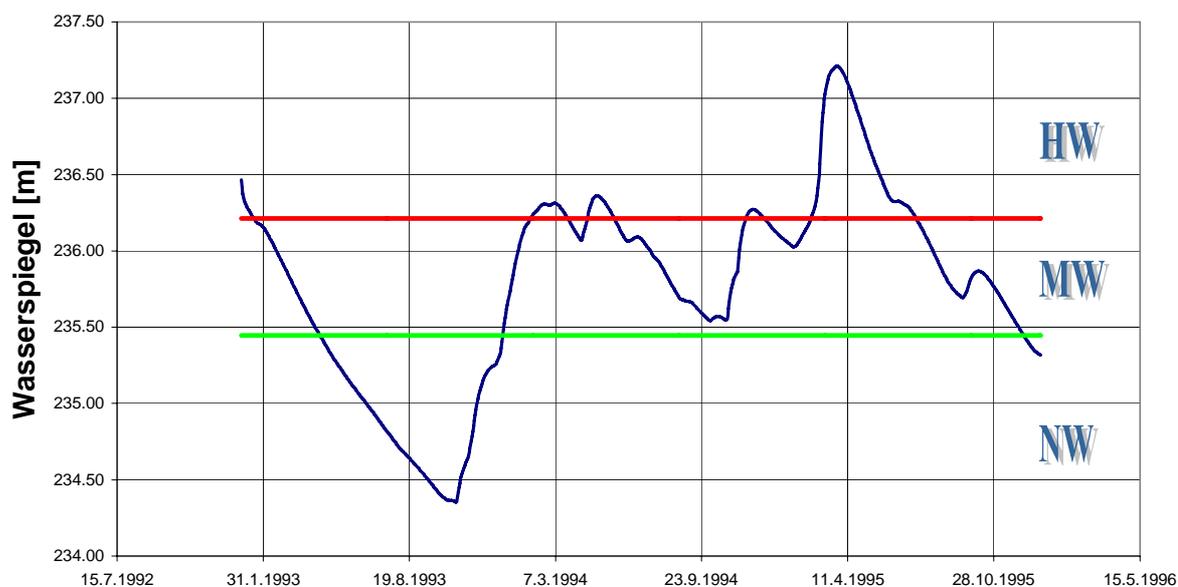


Abb. 93: Klassifizierung der Grundwasserspiegellagen an Obs45 nach Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW).

Brunnen Radkersburg (Obs23)

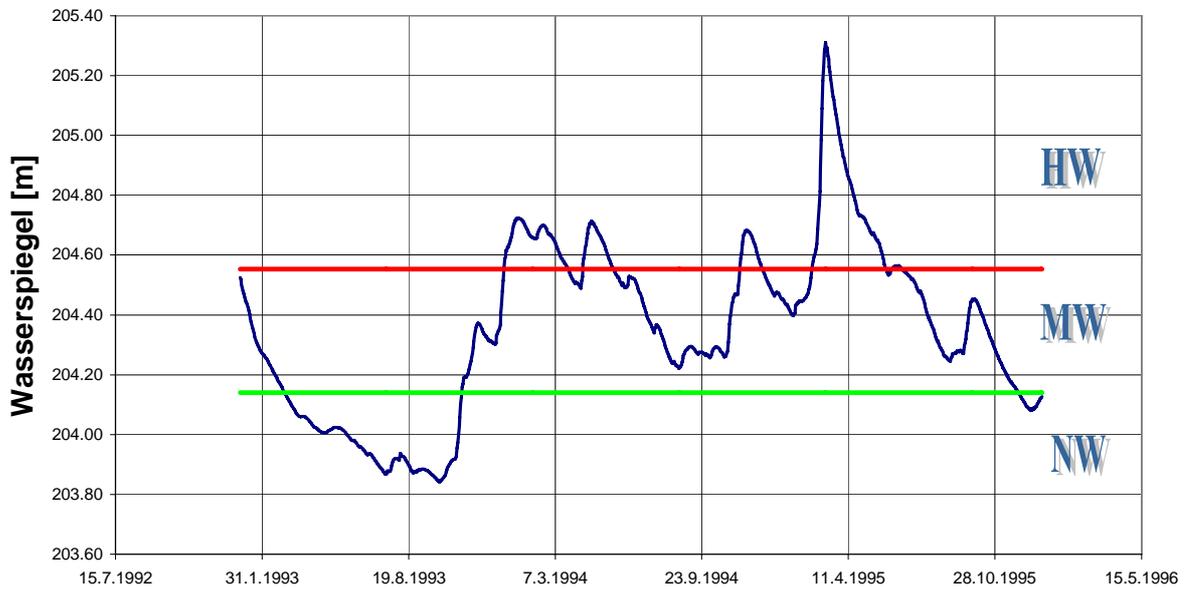


Abb. 94: Klassifizierung der Grundwasserspiegellagen an Obs23 nach Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW).

Brunnen Dedenitz (Obs14)

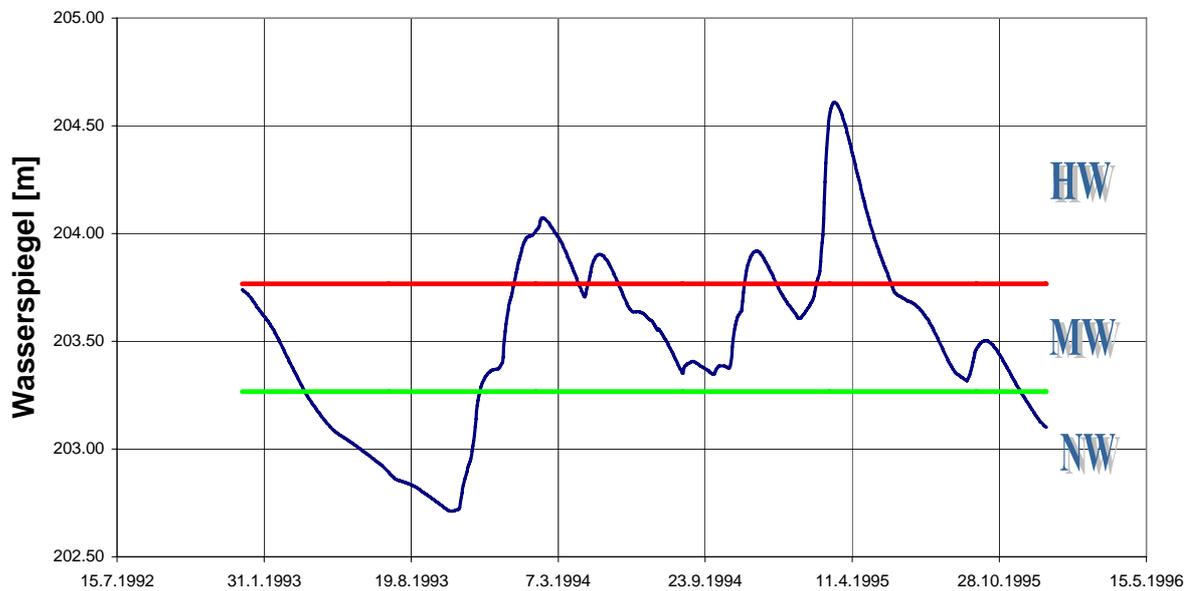


Abb. 95: Klassifizierung der Grundwasserspiegellagen an Obs14 nach Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW).

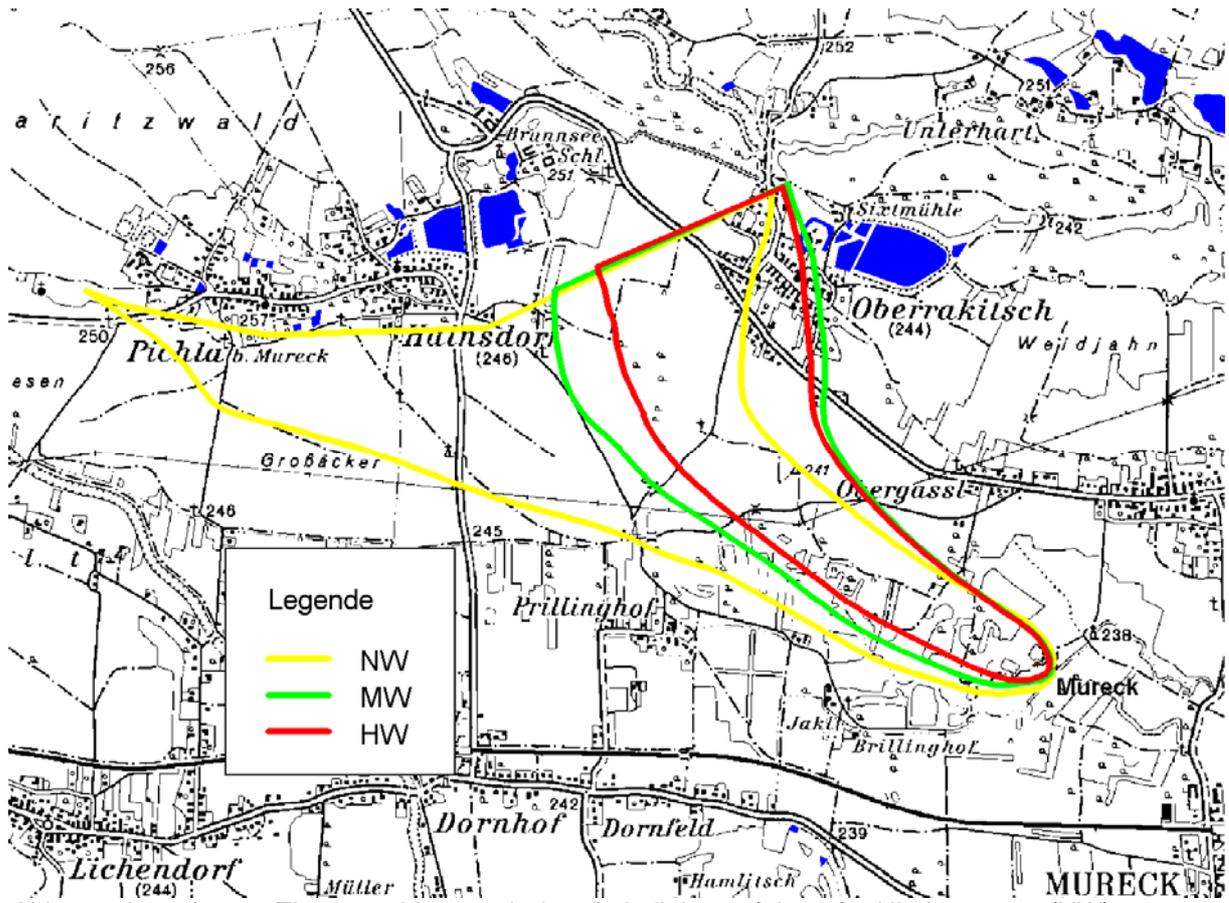


Abb. 96: Instationäre Einzugsgebiete nach dem Bahnlinienverfahren für Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW) sowie das Gesamteinzugsgebiet als Umschreibende für den Brunnen Mureck.

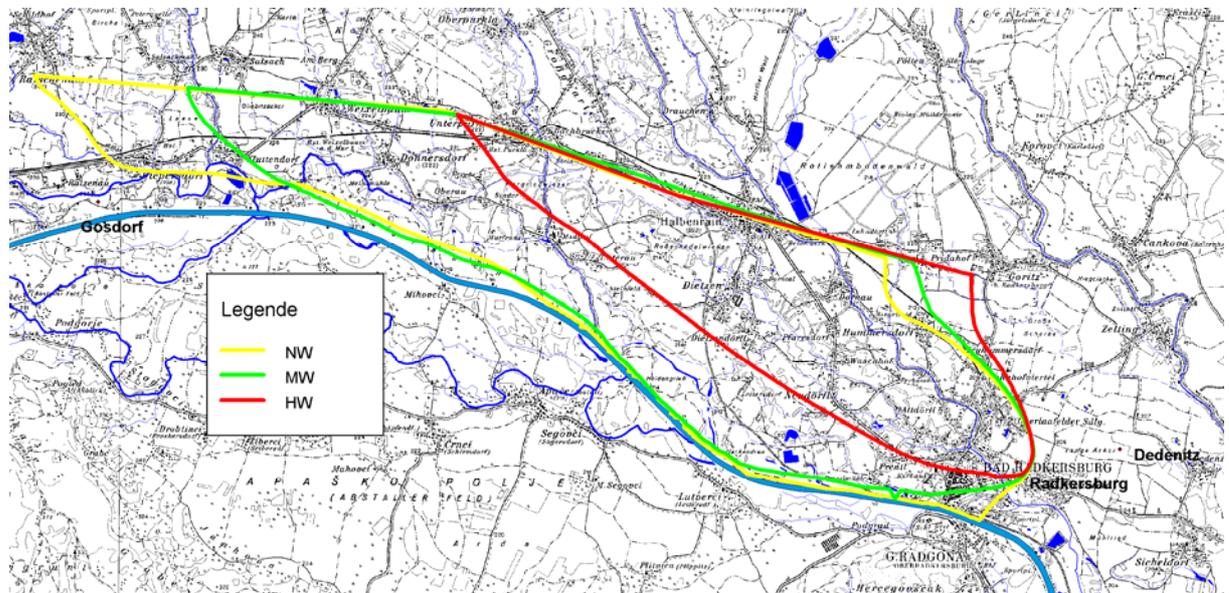


Abb. 97: Instationäre Einzugsgebiete nach dem Bahnlinienverfahren für Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW) sowie das Gesamteinzugsgebiet als Umschreibende für den Brunnen Bad Radkersburg.

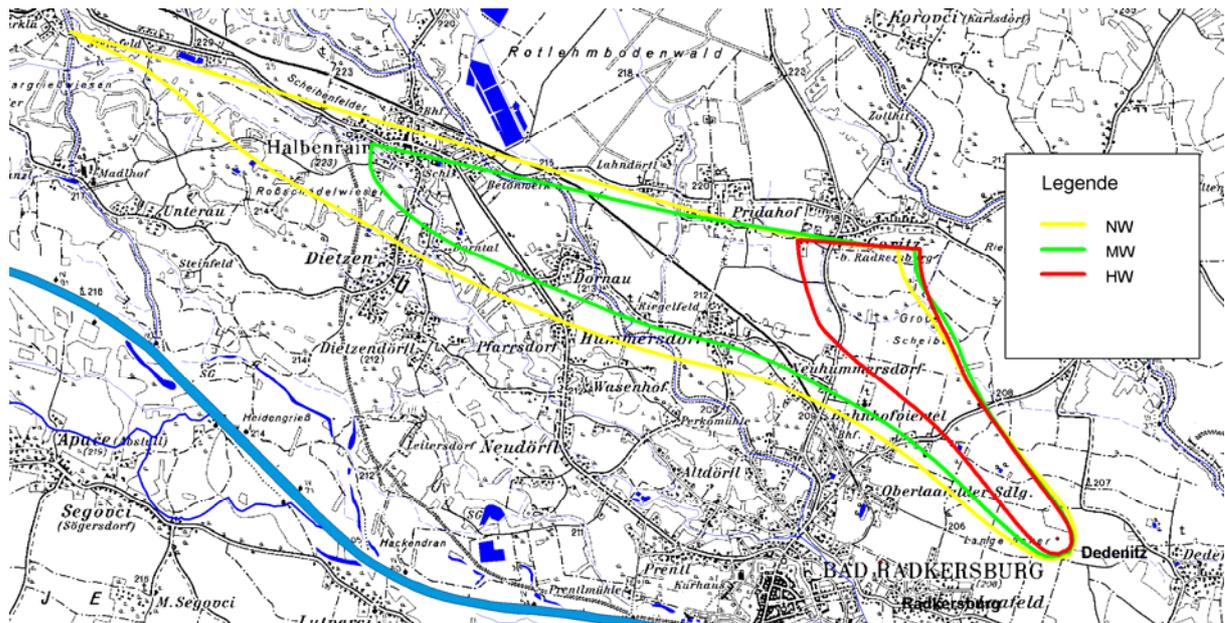


Abb. 98: Instationäre Einzugsgebiete nach dem Bahnlinienverfahren für Niederwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW) sowie das Gesamteinzugsgebiet als Umschreibende für den Brunnen Dedenitz.

Als Ergebnis der Einzugsgebiets-Ermittlung erhält man für jeden Brunnen die Einzugsgebiete für „NW“, „MW“, „HW“ und das Gesamteinzugsgebiet. Diese Einzugsgebiete sind in obigen Kartenausschnitten für die Simulation mit Konsensmengenentnahme für die einzelnen Brunnen dargestellt (Brunnen Mureck Abb. 96, Brunnen Bad Radkersburg Abb. 97 und Brunnen Dedenitz Abb. 98). Dabei ist zu beachten, dass sich instationäre Einzugsgebiete verschiedener Brunnen überschneiden können. Für den Brunnen Gosdorf konnten die Einzugsgebiete nicht dargestellt werden, weil das GIS-Modul zur Überlagerung der Einzugsgebiete jeden Zeitschrittes in diesem Fall kein korrektes Ergebnis lieferte.

Verfolgt man das Ziel einer möglichst realitätsnahen Ermittlung von Brunneneinzugsgebiete – dies ist jedenfalls Ziel einer regionalen Grundwasserströmungsmodellierung – so ist die Bahnlinienmethode für die instationäre Einzugsgebiets-Ermittlung nicht geeignet, weil die in der Natur nur kurz auftretenden instationären Ereignisse als stationär angenommen und damit völlig überbewertet werden. Bei der Anwendung dieser Methode erhält man in der Regel viel zu große Einzugsgebiete. Weiter entfernte Einzugsgebietsteile haben nicht selten Fließzeiten von 3 Jahren und mehr. Werden nun Einzugsgebiete aus ausgewählten Zuständen (z.B. NGW) ausgewertet, wird angenommen, dass dieser Zustand 3 Jahre oder länger andauert. Entspricht dieser Zustand nicht den mittleren Strömungsverhältnissen im Gebiet, erhält man stark abweichende, nicht der Realität entsprechende Einzugsgebiete. Diese Problematik tritt natürlich in gleicher Weise auch bei den in der Praxis häufig angewandten Einzugsgebietsermittlungen aus Einzelzuständen auf.

6.1.1.2 EZG-Ermittlung mittels Stromlinien

Als zweite Methode soll die Ermittlung von instationären Einzugsgebieten über das permanente Starten von virtuellen Wasserpartikeln und deren Verfolgung bis zu einem Brunnen dargestellt werden. Der instationäre Weg eines Wasserpartikels ist eine Stromlinie.

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

Der Speicherbedarf und die notwendige Rechenzeit sind in hohem Maße abhängig von der Rasterweite der Startpunkte der Stromlinien und der Anzahl der Startzeitpunkte während der Modellberechnung. Tab. 21 zeigt die notwendige Anzahl von Stromlinien für eine Modellfläche von 1 km² und einem Modellierungszeitraum von 3 Jahren.

Tab. 21: Anzahl der Stromlinien für eine Modellfläche von 1 km² und einem Modellzeitraum von 3 Jahren in Abhängigkeit von der Zellweite und der Zeitdifferenz zwischen den Startzeiten von Partikeln aus derselben Zelle

Zellweite [m]	Startpunkte	Start alle 10d	Start alle 7d	Start alle 5d	Start alle 2d	Start alle 1d
200	25	2750	3900	5475	13675	27375
100	100	11000	15600	21900	54700	109500
50	400	44000	62400	87600	218800	438000
25	1600	176000	249600	350400	875200	1752000
10	10000	1100000	1560000	2190000	5470000	10950000

Diese Auswertungen zeigen, dass bei einer Rasterweite (Zellweite) von 25m für 1km² Modellfläche bei jedem Startzeitpunkt 1600 Stromlinien gestartet werden müssen. Wird alle 5 Tage eine Schar

Stromlinien gestartet, so ergibt dies über den gesamten Modellierungszeitraum von 3 Jahren 350.400 Stromlinien. Jede bereits gestartete Stromlinie muss nach jedem berechneten Zeitschritt erstens jene Strecke weiterbewegt werden, die sich aus dem Geschwindigkeitsvektor an ihrer aktuellen Position multipliziert mit der Zeitdifferenz zum letzten Zeitschritt ergibt. Zweitens muss überprüft werden, ob sie bereits im Fangradius eines Brunnens angelangt ist.

Die Speicherung einer Stromlinie benötigt 20 Byte. Das bedeutet für oben genanntes Beispiel einen zusätzlichen Speicherbedarf von etwa 7MB (je km² untersuchtes Gebiet). Das Modellgebiet des Grundwassermodells „Unteres Murtal“ hat eine Gesamtfläche von 101,7km². Bei einer Zellweite von 25 m benötigt man je Startzeitpunkt 162.730 Stromlinien. Startet man jeden Zeitschritt (=1Tag) eine Schar von Stromlinien, ergibt dies über die Modellierungsdauer von 3 Jahren (1095 Tage) die Anzahl von 178.189.350 Stromlinien. Dafür ist ein zusätzlicher Speicherplatzbedarf von 3400MB erforderlich. Dies ist allein vom Speicherbedarf mit derzeitigen Computern nicht machbar.

Noch kritischer als der Speicherplatzbedarf ist die notwendige Rechenzeit, um diese hohe Anzahl von Stromlinien zu erzeugen, zu verwalten und nach jedem Zeitschritt weiterzurechnen. Zum Beispiel wurden für die Berechnung des Einzugsgebietes des Brunnen Radkersburg bei einer Zellweite von 25m und einer Startschrittweite von 10 Tagen 1.044.093 Stromlinien benötigt. Die Rechenzeit dafür betrug auf einem Pentium III mit 500Mhz und 128MB RAM 88 Stunden.

Allein aus diesen Gründen ist es notwendig, die Anzahl der benötigten Stromlinien dramatisch zu reduzieren. Dies ist möglich durch das Eingrenzen des Untersuchungsgebietes (reduzieren der Fläche), durch das Erhöhen der Zellweite (weniger Startpunkte je Flächeneinheit) und durch den Verzicht nach jedem Zeitschritt eine Schar von Partikeln zu starten. Am effektivsten ist es, jedes Einzugsgebiet einzeln zu ermitteln. Die Eingrenzung des Berechnungsgebietes wird durch die Definition einer Polygonfläche, innerhalb welcher das zu ermittelnde Einzugsgebiete erwartet wird, durchgeführt. Stellt sich nach erfolgter Einzugsgebietsermittlung heraus, dass das Einzugsgebiet bis an die vordefinierte Grenze reicht, ist die Berechnung jedoch nochmals mit erweitertem Gebiet durchzuführen. Die Eingrenzung des Gebietes führt aber zu keiner Minderung der Berechnungsgenauigkeit. Die Erhöhung der Zellweite für die Startpunkte der Stromlinien führt durch die geringere Auflösung der Fläche zu einer erhöhten Ungenauigkeit an den Einzugsgebietsgrenzen. Der Verzicht auf den Start einer Schar von Stromlinien zu jedem Zeitschritt führt zu einer im Allgemeinen geringen Vernachlässigung instationärer Einflüsse. Am Beispiel des Brunnen Bad Radkersburg wurde ein Vergleich zwischen der Einzugsgebietsermittlung mit einem Startintervall von 5 Tagen und einem von 10 Tagen (beide mit einer Zellweite von 25 m) durchgeführt. Um den flächenhaften Unterschied zwischen beiden Lösungen zu visualisieren wurden die Differenzen der prozentuellen Häufigkeit der Einzugsgebietszugehörigkeit (Anzahl zu Brunnen fließende Partikel im Verhältnis zur Gesamtzahl gestarteter Partikel einer Zelle) einer Zelle in Abb. 99 dargestellt.

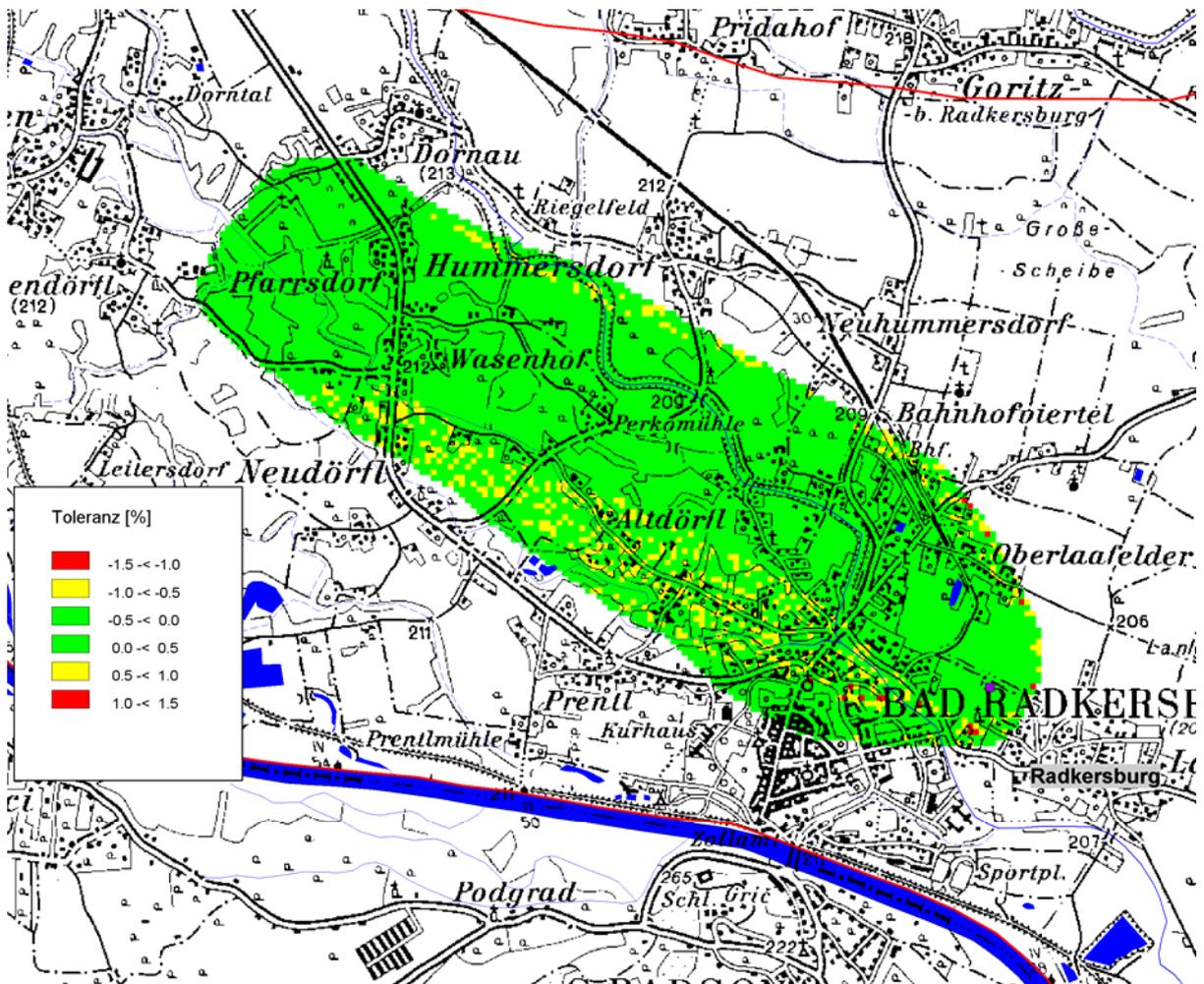


Abb. 99 Differenzen der prozentuellen Häufigkeit der Einzugsgebietszugehörigkeit (Anzahl zu Brunnen fließende Partikel im Verhältnis zur Gesamtzahl gestarteter Partikel einer Zelle)

Die Differenz ist somit eine Toleranz in % und liegt im untersuchten und in Abb. 99 dargestellten Beispiel im Kerneinzugsgebiet bei 0,5%, in den instationären Randbereichen bei 1,0% und nur ausnahmsweise in wenigen Zellen bei 1,5%. Die Ungenauigkeit ist zwar von den instationären, lokalen Einflüssen abhängig, kann jedoch als im Allgemeinen gering angenommen werden.

Vor dem Start einer instationären Berechnung können die notwendigen Angaben für die Ermittlung der Einzugsgebiete aus Stromlinien mittels eines Dialogs definiert werden. Zu definieren sind die Punkte (Brunnen), für die das Einzugsgebiet ermittelt werden soll. Zusätzlich muss das eingeschränkte Gebiet für die Einzugsgebietsermittlung definiert werden (Polygon), um unnötig lange Rechenzeiten zu verhindern. Zusätzlich zur Zellweite (empfohlen: 25m-50m) für die flächenhafte Auflösung der Berechnung, muss das Startintervall für den Start von Partikeln definiert werden (empfohlen: 2-15 Tage). Ein Fangradius der Brunnen (empfohlen: 25m-50m) muss gewählt werden, um das Einziehen der Stromlinien in einen Brunnen mathematisch zu definieren.

Für die spätere Auswertung der Einzugsgebiete kann gewählt werden welche Ergebnisse nach der Berechnung für jede Zelle als Rasterdateien gespeichert werden sollen. Ausgewertet werden alle

Stromlinien, die zu einem Einzugsgebiet gehören, in Bezug auf ihren Startpunkt (Startzelle). Dabei führen auch die unterschiedlichen Verweilzeiten der einzelnen Stromlinien zu interessanten Informationen über das Einzugsgebiet.

Zur Auswahl stehen folgende Informationen:

- Häufigkeit (prozentuelle Häufigkeit der Zugehörigkeit zum Einzugsgebiet) [%]
- Minimale Verweilzeit [d]
- Maximale Verweilzeit [d]
- Mittlerer Verweilzeit [d]

Als Ergebnis der Einzugsgebiets-Ermittlung aus der Auswertung der Stromlinien können aus den Informationen Startpunkt und Verweildauer der Partikel auf ihrem Weg zu den Brunnen unterschiedliche flächenhafte Auswertungen erstellt werden. Dabei werden alle Informationen auf die zum Startpunkt gehörige Zelle bezogen und als Rasterdatensatz gespeichert. Aus der Anzahl der Stromlinien, die in einem Brunnen angekommen sind, kann in Bezug auf die Gesamtanzahl der im Startpunkt gestarteten Stromlinien berechnet werden, wie oft die jeweilige Zelle zum Einzugsgebiet eines Brunnens gehört. Im realisierten Verfahren wird die Häufigkeit als Prozentsatz angegeben. Mittels der mit jeder Stromlinie gespeicherten Verweildauer von Startzeit bis zum Eintreffen im Brunnen können in analoger Weise Rasterdatensätze der minimalen, maximalen und durchschnittlichen Verweildauer erstellt werden. Durch Differenzbildung der maximalen und minimalen Verweildauer kann mittels GIS-Rasterfunktionen daraus die Schwankung der Verweildauer berechnet werden. Die Visualisierung dieser Ergebnisse (speziell der Häufigkeit) ermöglicht eine differenzierte Betrachtung und Bewertung der Einzugsgebietsfläche. Jene Zonen, die ständig zum Einzugsgebiet gehören sind von jenen, die zeitweise dazugehören, optisch leicht zu unterscheiden. Mittels der Darstellung von Linien gleicher Häufigkeit sind die Zonen automatisiert bestimmbar.

6.1.1.3 Berechnung der „wahren“ instationären Brunneneinzugsgebiete der Versorgungsbrunnen im Unteren Murtal als Grundlage für eine Neubewertung der Schutz- und Schongebiete

Die instationären Einzugsgebiete der Brunnen Mureck, Gosdorf, Bad Radkersburg und Dedenitz wurden mit einer Zellweite von 25m, einem Startintervall von 10 Tagen (jeder 10. Zeitschritt) und einem Brunnenfangradius von 50m ermittelt. In den folgenden Abbildungen ist die Häufigkeit dargestellt, mit der jede Zelle als Einzugsgebiet (bezogen auf die gesamte Berechnungszeit von 3Jahren) fungiert. Diese Abgrenzung stellt eine ideale Grundlage für die Abgrenzung von Schongebieten dar, da – bei einem ausreichend langen Berechnungszeitraum und einem charakteristischen Verhalten des Grundwassersystems in diesem Zeitraum – damit mit hoher

Sicherheit jene Fläche bestimmt werden kann, die überhaupt zum Einzugsgebiet eines Brunnens unter Berücksichtigung der zeitlich variablen Randbedingung gehört.

Die minimale Verweilzeit von Partikeln die aus der jeweiligen Zelle gestartet wurden wird ebenso dargestellt. Gerade diese Verweilzeit ist eine entscheidende Grundlage für die Abgrenzung von Schutzgebieten, stellt diese unter Vernachlässigung der hydrodynamischen Dispersion doch die kürzeste Dauer eines Wasserteilchens dar, die dieses bis zum Brunnen unterwegs ist. Da in diesen Berechnungen alleine die advektive Geschwindigkeit aus der Grundwasserströmungsgleichung Verwendung findet ist auch die Vergleichbarkeit mit analytischen Auswertungen gegeben, „wahre“ Stofftransportzeiten sind damit aber – wie auch bei Standardauswertungen – nicht erhaltbar.

Zum Vergleich der mittels des hier vorgestellten Stromlinienverfahrens instationär ermittelten Brunnen-Einzugsgebiete und der Ermittlung von Einzugsgebieten aus quasi-stationären Zuständen wurden die Häufigkeitsdarstellung der prozentualen Anteile mit denen die Startzellen von Partikeln zu den instationären Einzugsgebieten gehören gemeinsam mit den Bahnlinien ausgewählter, hydrologisch charakteristischer Zustände gewählt. Als charakteristische Zustände wurden folgende herangezogen:

- Strömungszustand vom 28.9.1993 als charakteristischer Niederwasserzustand (NW)
- Strömungszustand vom 1.8.1994 als charakteristischer Mittelwasserzustand (MW)
- Strömungszustand vom 16.9.1995 als charakteristischer Hochwasserzustand (HW), wobei dieser Zustand aus einer Anstiegsphase der Mur-Wasserspiegellage gesteuert wird, was für das Strömungsbild aufgrund der hochgradigen Instationarität des Grundwassersystems im Unteren Murtal entscheidende Bedeutung hat (siehe dazu Kap. 3.6.3).

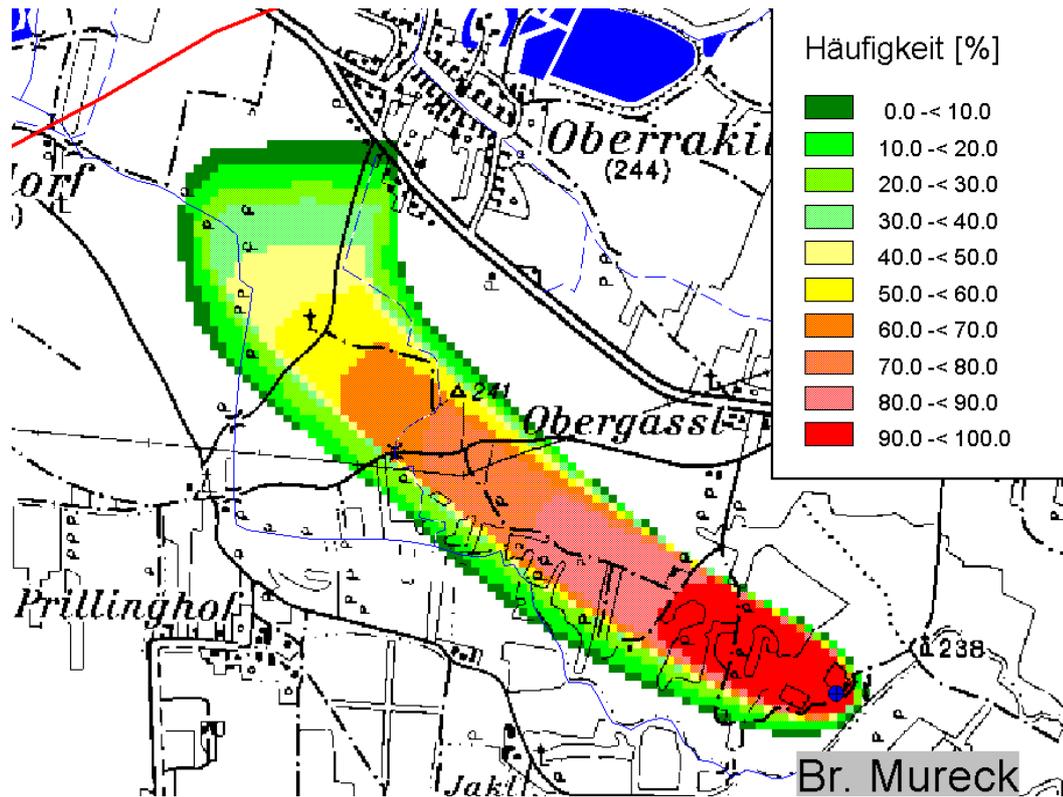


Abb. 100 Einzugsgebiet Brunnen Mureck: Anteil der Partikel einer jeden Startzelle an der Gesamtzahl der gestarteten Partikel die den Brunnen Mureck während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich erreichen.

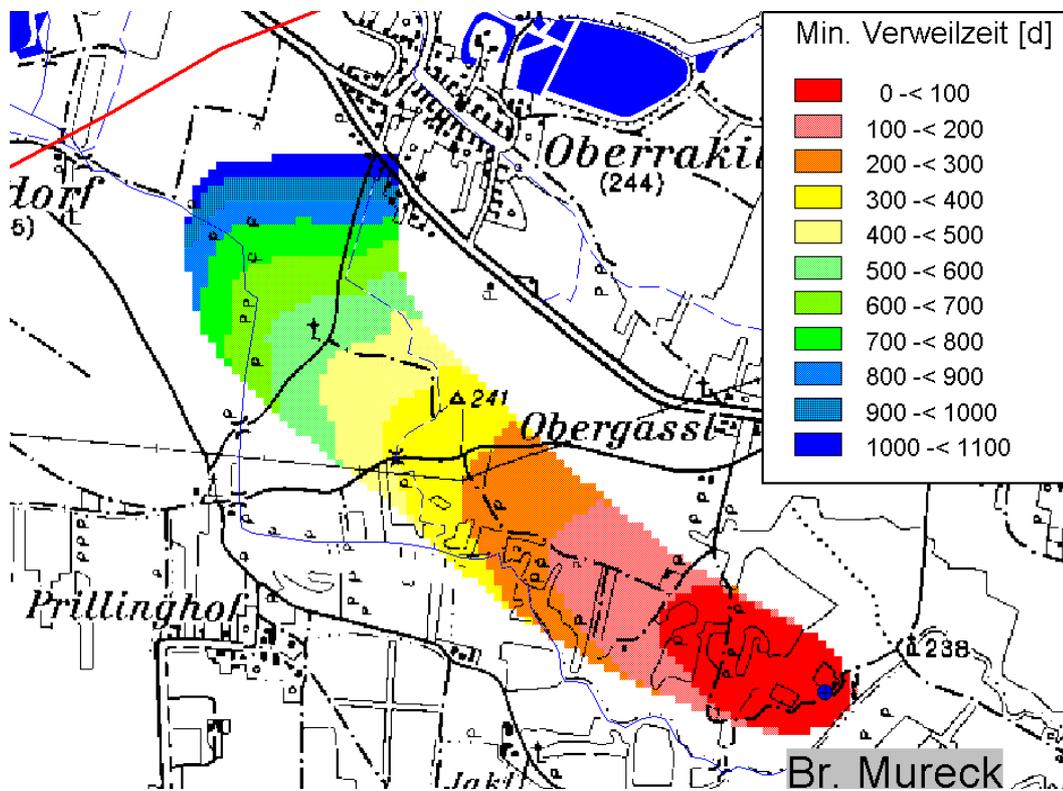


Abb. 101: Einzugsgebiet Brunnen Mureck: Anzahl von Tagen, die ein Partikel einer jeden Startzelle zumindest benötigt, um den Brunnen Mureck während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich zu erreichen.

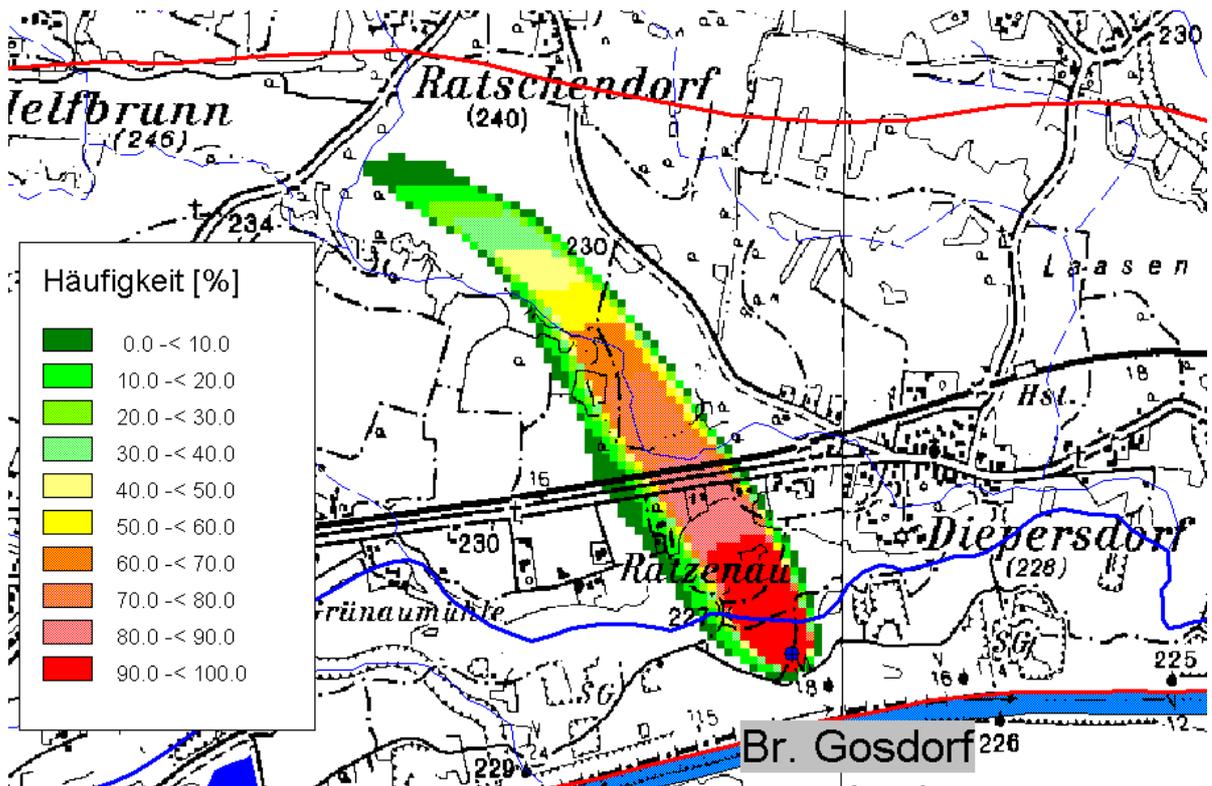


Abb. 102: Einzugsgebiet Brunnen Gosdorf: Anteil der Partikel einer jeden Startzelle an der Gesamtzahl der gestarteten Partikel die den Brunnen Gosdorf während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich erreichen.

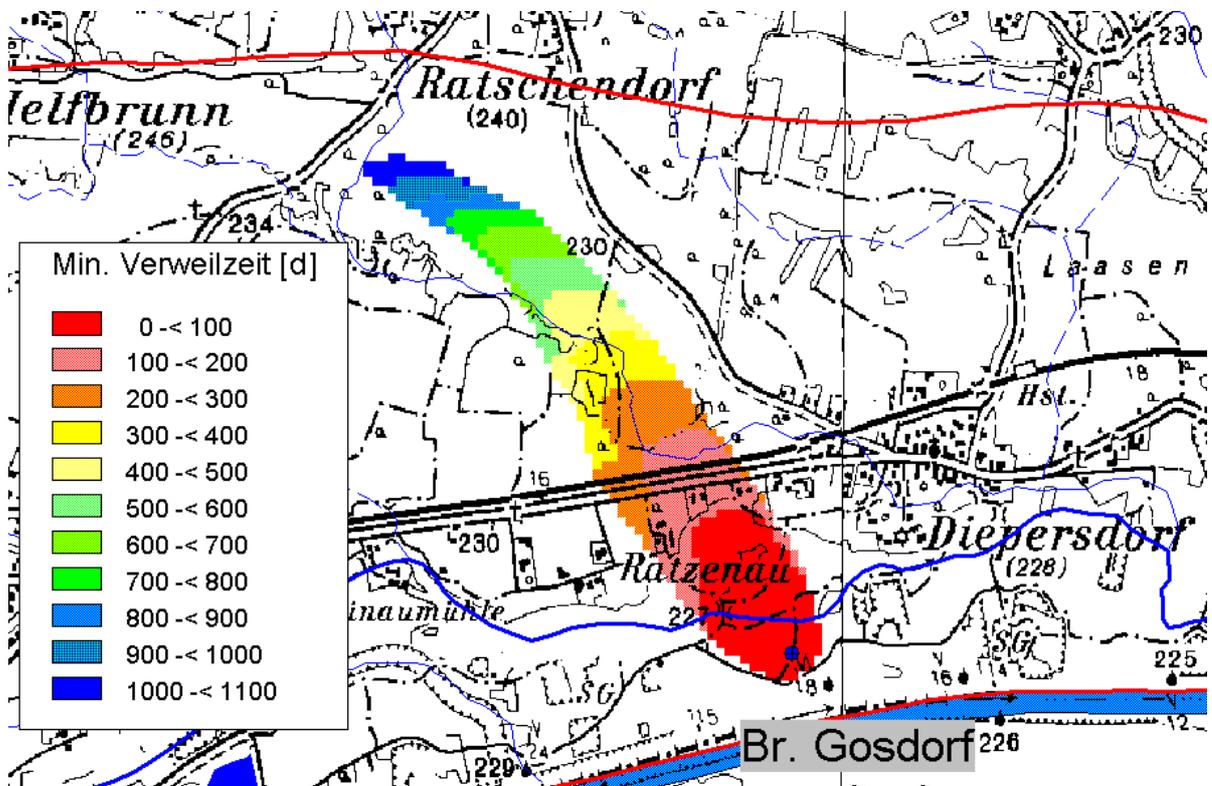


Abb. 103: Einzugsgebiet Brunnen Gosdorf: Anzahl von Tagen, die ein Partikel einer jeden Startzelle zumindest benötigt, um den Brunnen Gosdorf während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich zu erreichen.

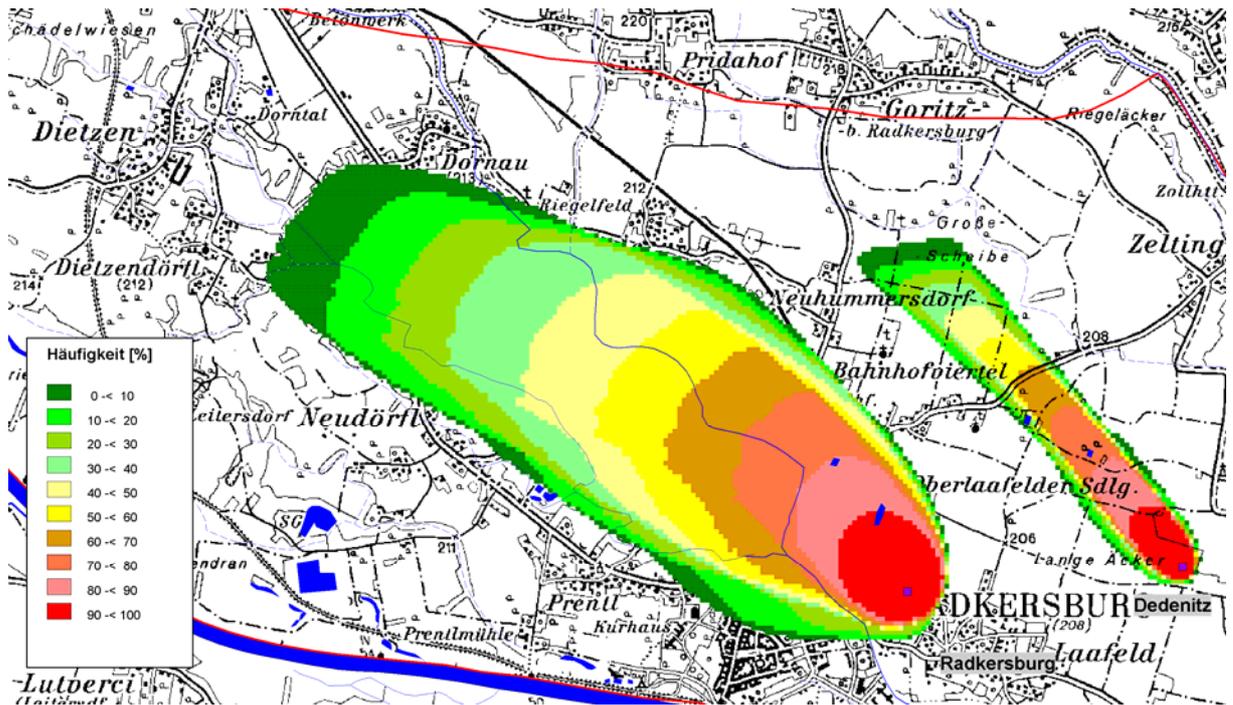


Abb. 104: Einzugsgebiet Brunnen Bad Radkersburg und Dedenitz: Anteil der Partikel einer jeden Startzelle an der Gesamtzahl der gestarteten Partikel die die Brunnen Bad Radkersburg oder Dedenitz während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich erreichen.

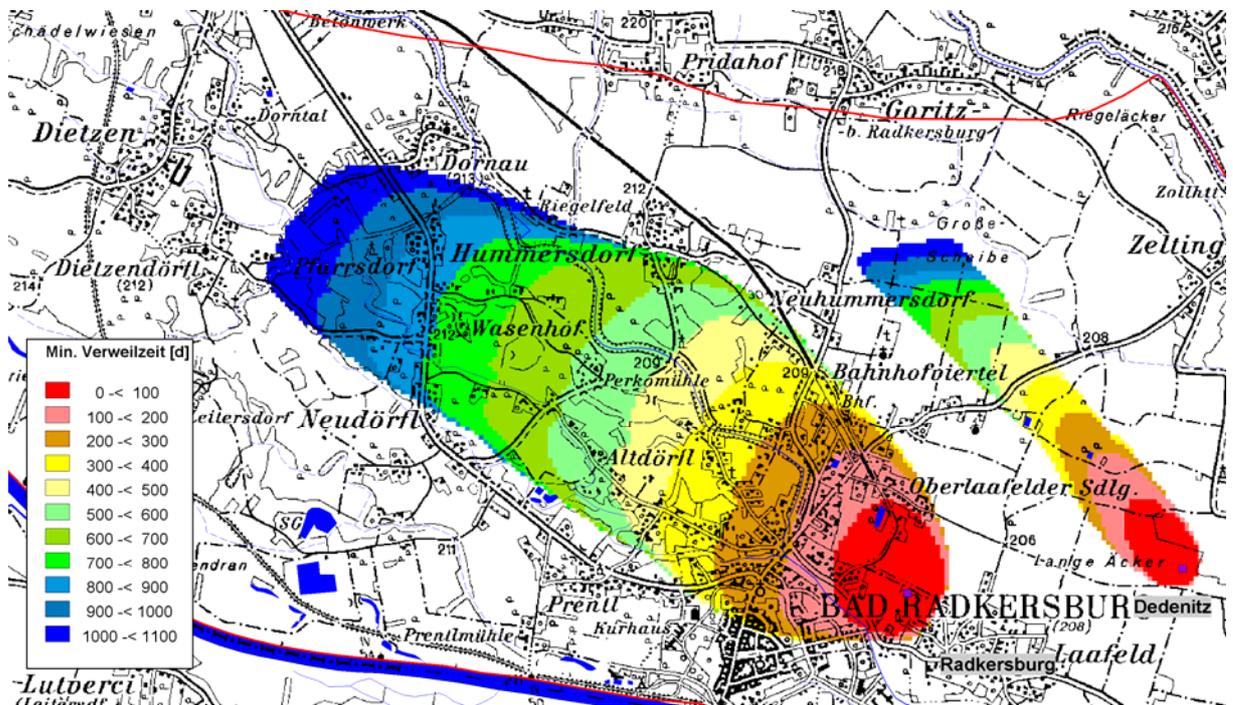


Abb. 105: Einzugsgebiet Brunnen Bad Radkersburg und Dedenitz: Anzahl von Tagen, die ein Partikel einer jeden Startzelle zumindest benötigt, um den Brunnen Bad Radkersburg oder Dedenitz während des Berechnungszeitraumes (1.1.1993 bis 31.12.1995) tatsächlich zu erreichen.

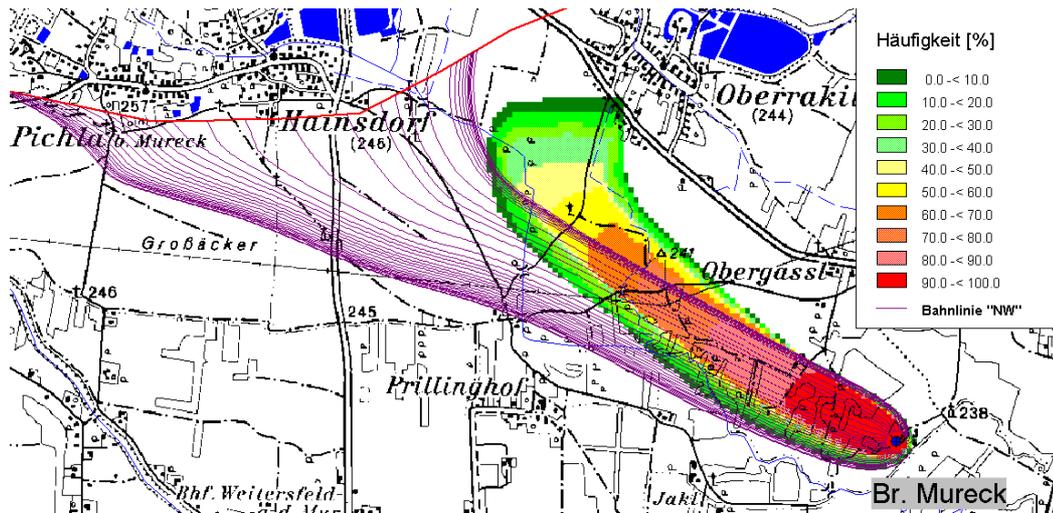


Abb. 106: Brunnen Mureck: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den NW-Bahnlinien

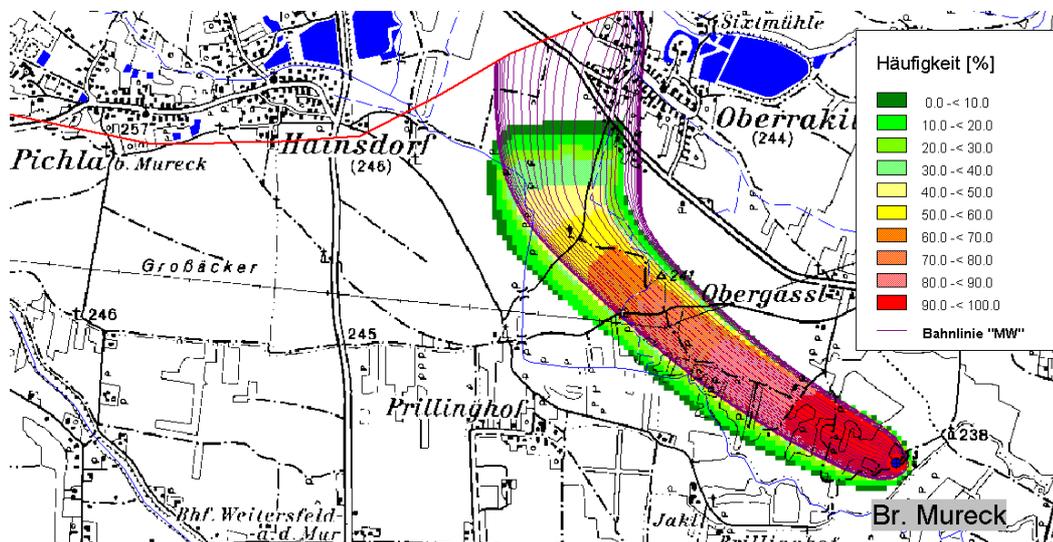


Abb. 107: Brunnen Mureck: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den MW-Bahnlinien

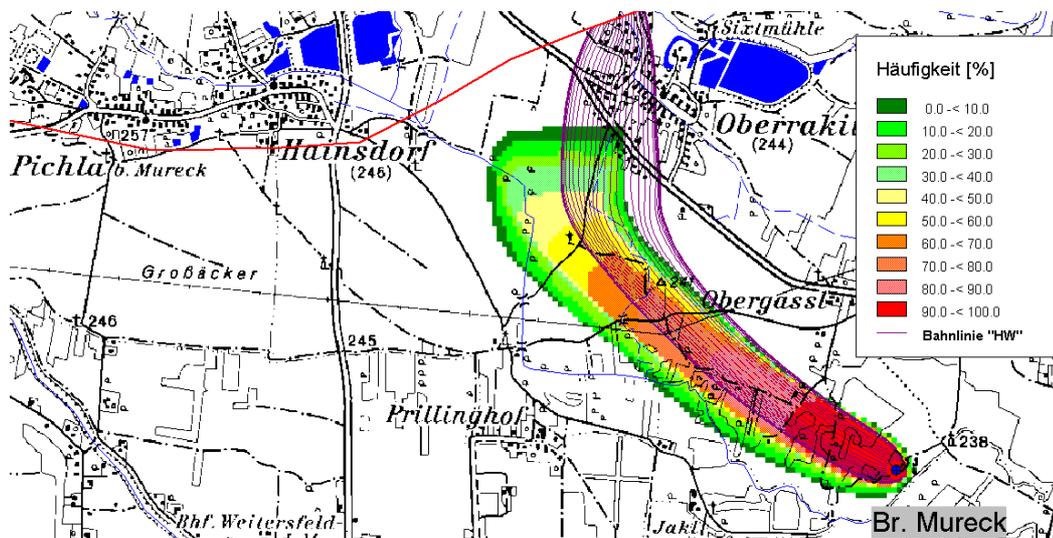


Abb. 108: Brunnen Mureck: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den HW-Bahnlinien

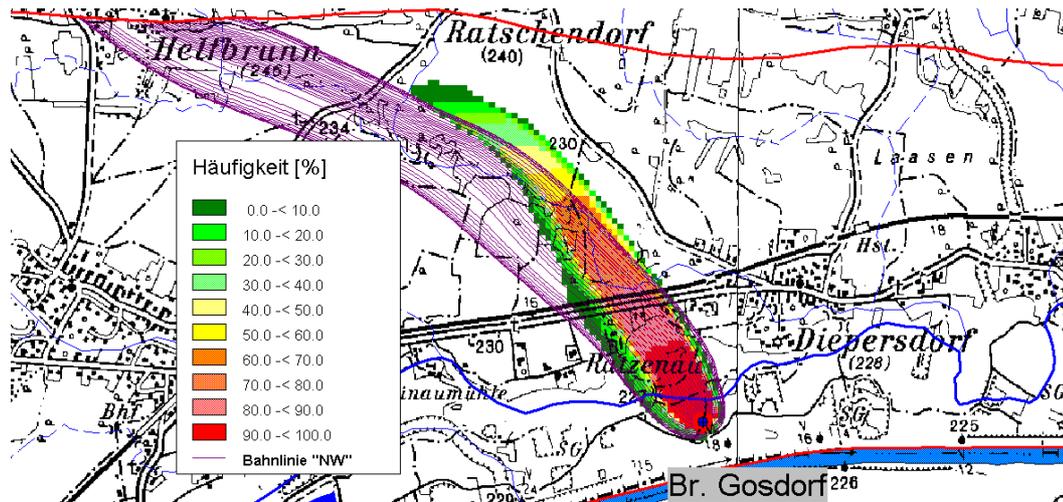


Abb. 109: Brunnen Gosdorf: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den NW-Bahnlinien

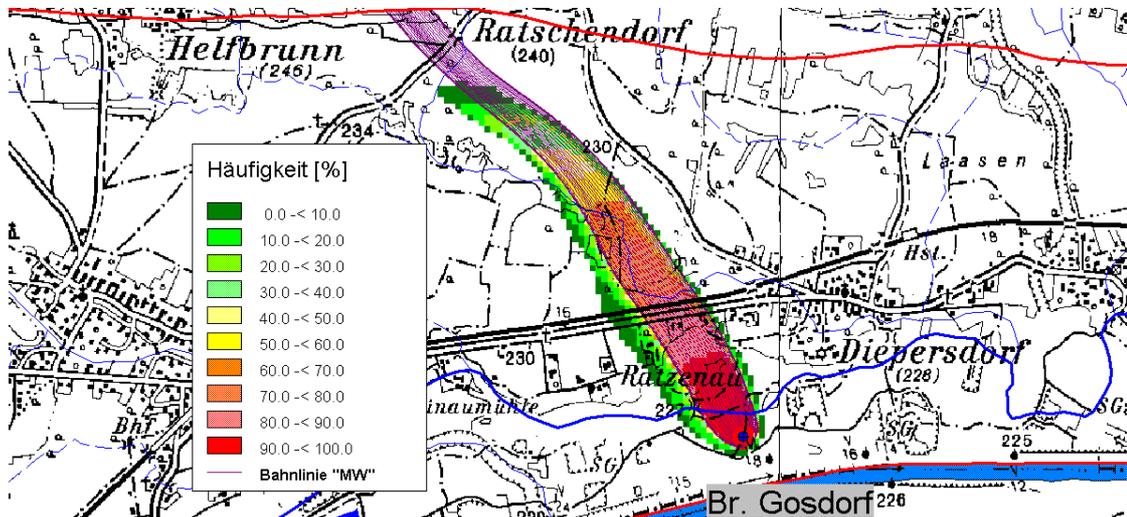


Abb. 110: Brunnen Gosdorf: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den MW-Bahnlinien

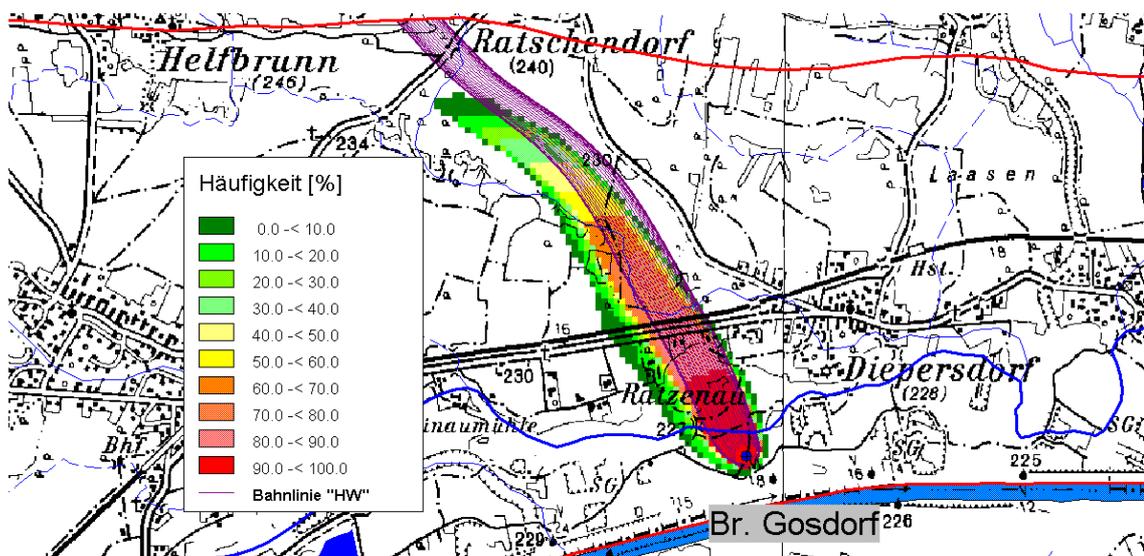


Abb. 111: Brunnen Gosdorf: Vergleich des instationären Brunneneinzugsgebietes mit den HW-Bahnlinien

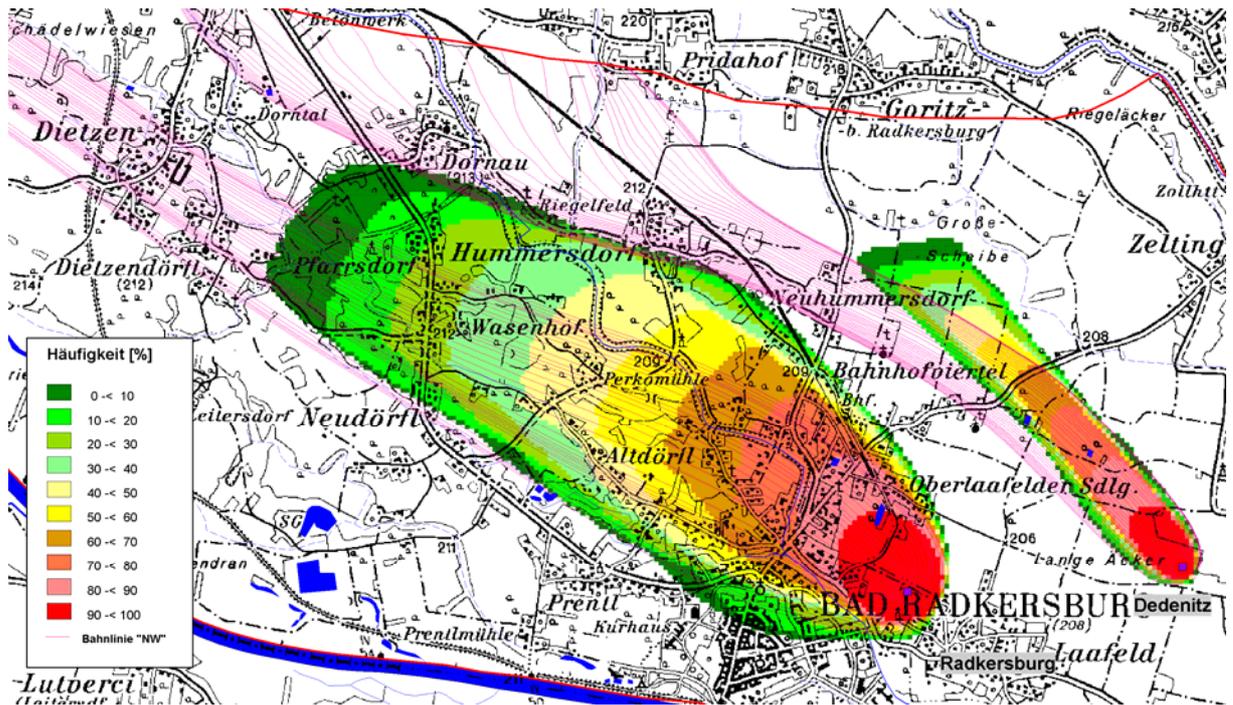


Abb. 112: Brunnen Bad Radkersburg und Dedenitz: Vergleich der instationären Brunneneinzugsgebiete mit den NW-Bahnlinien

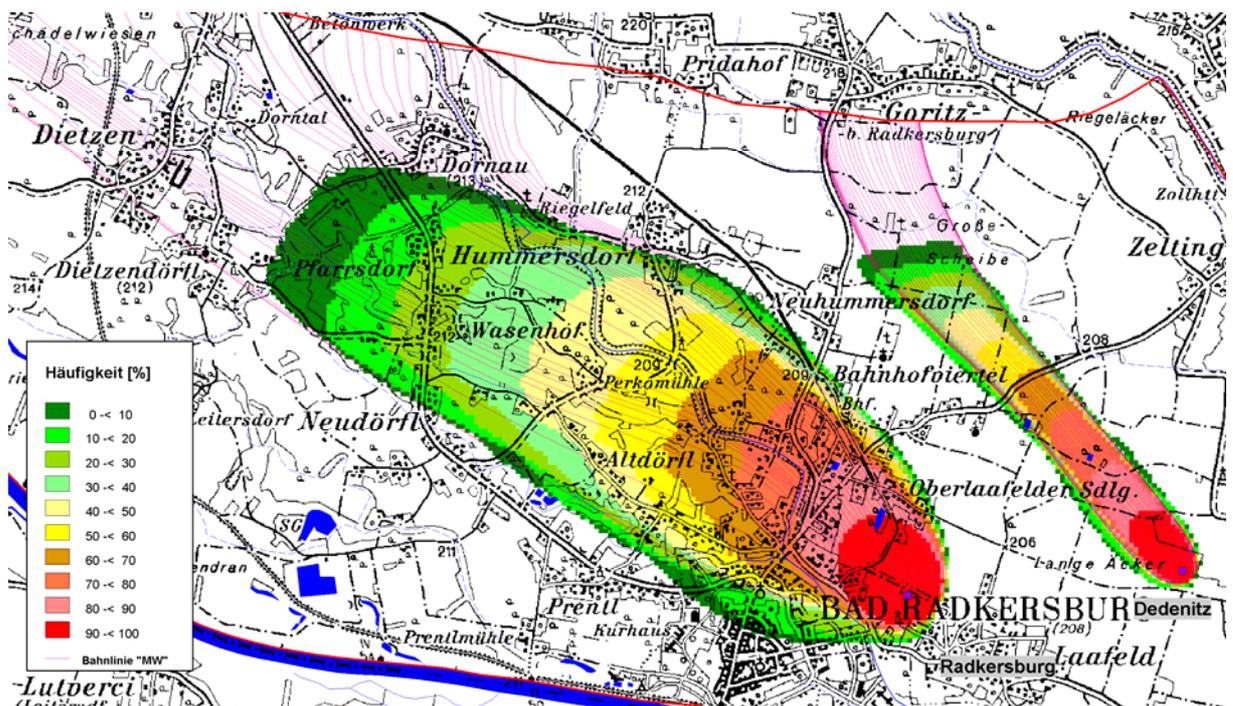


Abb. 113: Brunnen Bad Radkersburg und Dedenitz: Vergleich der instationären Brunneneinzugsgebiete mit den MW-Bahnlinien

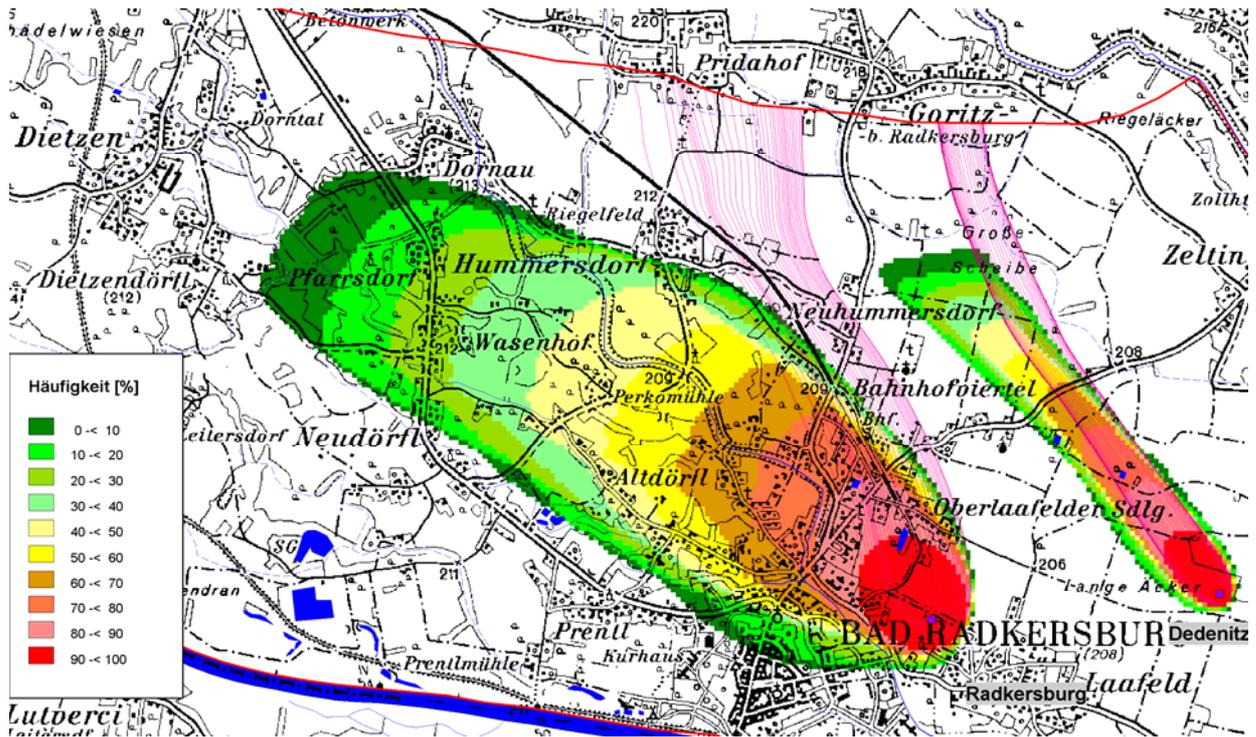


Abb. 114: Brunnen Bad Radkersburg und Dedenitz: Vergleich der instationären Brunneneinzugsgebiete mit den HW-Bahnlinien

Das Beispiel der Brunnen Bad Radkersburg und Dedenitz im östlichen Teil des Unteren Murtales zeigt in der Auswertung der instationären Brunneneinzugsgebiete einen weiteren Vorteil gegenüber der Berechnung mittels analytischer Gleichungen zur Berechnung von Einzugsgebietsparametern: Die gegenseitige Wechselwirkung von Entnahmen, die sich gegenseitig beeinflussen wird in der Berechnungsmethodik automatisch berücksichtigt.

6.1.1.4 Bewertung der Brunneneinzugsgebiets-Ermittlung nach dem Stromlinienverfahren

Die Methode ermöglicht eine zum instationären Strömungsmodell konsistente Ermittlung von instationären Einzugsgebieten unter Berücksichtigung von zeitlich und räumlich variablen Randbedingungen und Quell- und Senkentermen und führt allein schon aus diesem Grund gegenüber anderen Auswerteverfahren zu wesentlich besser abgesicherten Ergebnissen. Grundsätzliche Voraussetzung und die Aussagesicherheit steuerndes Element ist die Qualität der instationären Kalibration und der Modellierungszeitraum. Letztgenannter muss so lang sein, dass auch entfernt liegende Teile von Brunneneinzugsgebieten in der Auswertung erfasst werden können.

Für diese Art der Auswertung ist aber ein hohes Maß an zusätzlichem Arbeitsspeicher notwendig. Die Methode benötigt extrem lange Rechenzeiten. Für die Berechnung ist es notwendig, die Anzahl der Stromlinien durch geeignete Wahl der Parameter zu reduzieren. Die Reduktion wird durch die Eingrenzung des erwarteten Einzugsgebietes, der Verringerung der flächenhaften Auflösung und der Reduktion von Startzeitpunkten erreicht. Die Parameter sind entsprechend der tatsächlichen

Charakteristik der Strömungsverhältnisse zu wählen. Die bisher durchgeführten Beispiele zeigen geringe Auswirkungen der Reduktion auf die Berechnungsergebnisse.

Die hier vorgestellte Auswertemethode ermöglicht eine flächenhaft differenzierte Betrachtung und Bewertung des Einzugsgebietes nach den Eigenschaften Häufigkeit, minimale, maximale und mittlere Verweildauer und liefert damit die bestmöglichen Grundlagen für die räumliche Abgrenzung von Schutz- und Schongebieten für Wasserfassungsanlagen in Porengrundwasserleitern.

6.2 Erarbeitung der Grundlagen für die Einrichtung von Intensivberatungsprojekten der Landwirtschaft (FANK 1999a,b,c,d)

Hinsichtlich der Grundwasserqualität stellen im Untersuchungsgebiet flächenhaft ausschließlich der Landwirtschaft zuzuordnende Stoffe Problemparameter dar. Aus diesem Grund wurde für typische Böden und der dominierenden landwirtschaftlichen Nutzung (Mais mit winterharter Gründecke) der Nitrataustrag in das Grundwasser über ein Stofftransportmodell für einen Zeitraum von 13 Jahren (1983 bis 1995) simuliert. Die Ergebnisse dieser Simulationsrechnungen in Form von mittleren jährlichen Stickstoff – Versickerungsmengen in Abhängigkeit von Düngemenge und Düngzeitpunkt bei Maisanbau mit winterharter Gründecke sind in Abb. 115 dargestellt. Beim Parameter N-Versickerung zeigt sich eine extreme Abhängigkeit vom Standort. Von Bedeutung ist aber hier naturgemäß auch die Düngermenge, wobei auf den seichteren Standorten die Startdüngenge höhere Gewichte hat, als die 2. Düngenge.

N - Versickerung in Abhängigkeit von Bodenform, Düngemenge und Düngzeitpunkt

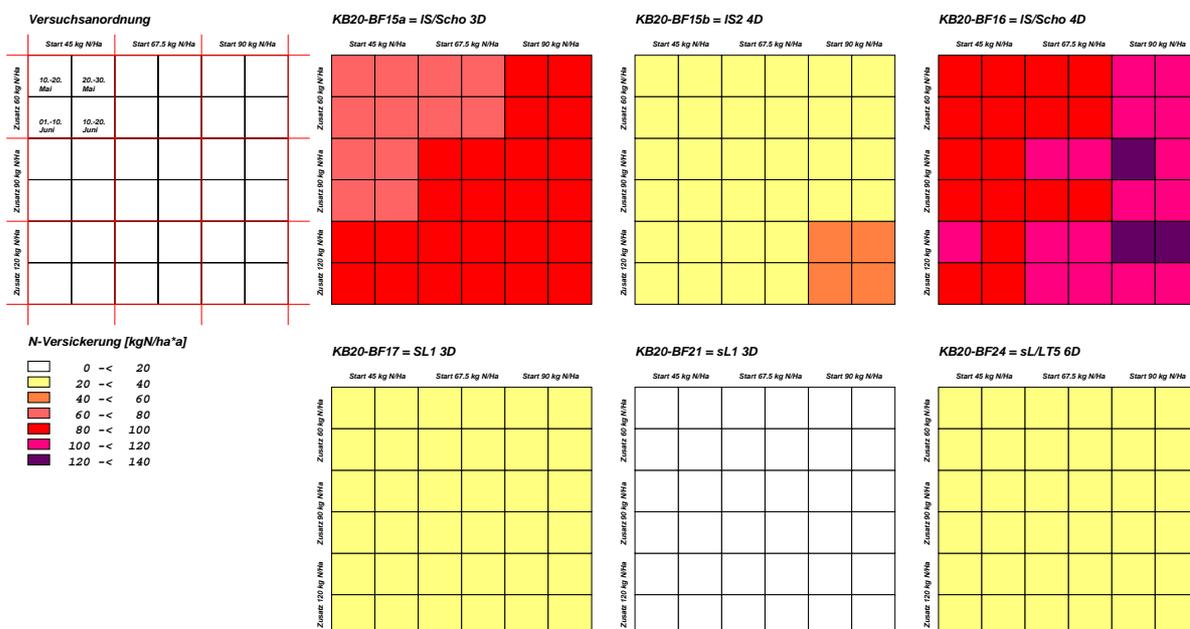


Abb. 115: Mittlere Jahressumme der Nitratversickerung aus typischen Bodenformen des Murtales in Abhängigkeit von Düngemenge und Düngzeitpunkt bei Maisanbau mit winterharter Gründecke – Modellergebnisse (1993 – 1995)

Basierend auf diesen Berechnungsergebnissen und durch eine Zuordnung der Böden des Untersuchungsgebietes zu den berechneten Hauptbodenformen (Abb. 116) – basierend auf den Auswertungen der Bodenkartierung – wurde eine Nitrataustragsgefährdungskarte der ungesättigten Zone erstellt (Abb. 117).

NO ₃ – Austragsge- fährdung	Untersuchte Boden- formen	ZUGEORDNETE BODENFORMEN					
		Graz – Süd	Wildon	Leibnitz	Mureck	Radkers- burg	Auwald
Extrem hoch	KB20 16, KB20 15a	1, 3, 4, 5, 13, 14	2, 16, 17	3, 10, 16	3, 9, 11	3, 11, 12	2a, 2b, 3, 3a, 3b, 4, 11
Hoch	KB20 15b	6, 7, 8, 16	1, 3, 7	1, 2, 4, 5, 15, 19	4, 10, 28	13	5a, 5b
Mittel	KB20 17	2, 10, 11, 15, 17, 20, 29	4, 8, 14, 15	6, 7, 8, 17, 18, 20, 53	5, 7, 14		6, 7
Gering	KB20 24	9, 12, 18, 19, 22, 51	5, 6, 9, 18, 19, 20, 23, 29	9, 14, 23, 24, 25, 28, 30	12, 13, 15, 19	5	1, 8, 9, 10
Sehr gering	KB20 21	52, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 63, 64	10, 12, 13, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 39, 40	12, 13, 21, 27, 29, 31, 33, 47, 49, 57, 59, 61	6, 8, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 30, 35, 36, 38, 39, 47	6, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 19, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34	12

Abb. 116: Zuordnung der Bodenformen des Murtales von Graz bis Bad Radkersburg zu den berechneten Hauptbodenformen auf Basis der Ergebnisse der Bodenkartierung und Klassifizierung der Nitrataustragsgefährdung der Böden bei der dominanten Kulturart Mais (mit winterharter Gründecke).

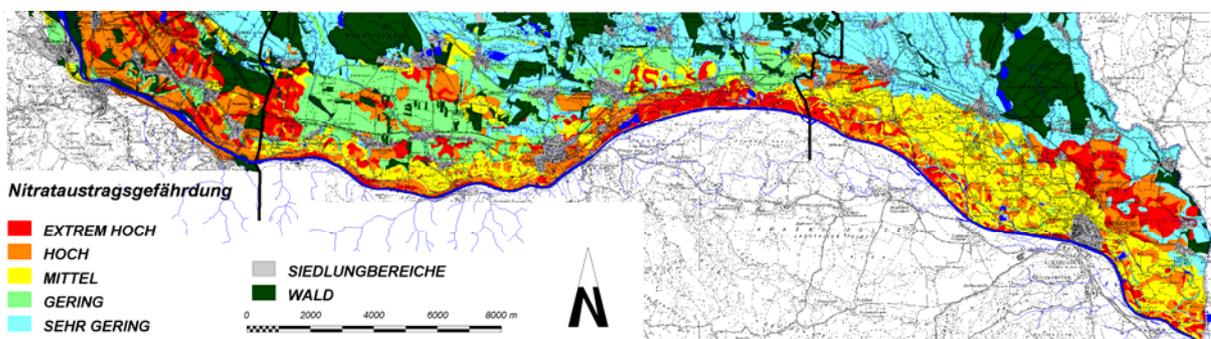


Abb. 117: Nitrataustragsgefährdung der Böden des Unteren Murtales

In wasserwirtschaftlich besonders relevanten Gebieten wurden in der Folge Intensivberatungsprojekte eingerichtet, die zum Ziel haben, durch Beratung der Landwirtschaft seitens der Umweltberater der Steiermärkischen Landesregierung eine langfristige und nachhaltige Sicherung der Grundwasserqualität zu gewährleisten. Die dafür erarbeiteten Grundlagen basieren auf den Ergebnissen der Modellrechnungen sowohl seitens der Grundwasserströmungssituation, als auch hinsichtlich der Grundwasserqualitätssituation.

Die Einrichtung dieser Beratungsgebiete erfolgte im Einzugsgebiet des Brunnens Mureck und im Einzugsgebiet des Brunnens Dedenitz im östlichen Teil des Unteren Murtales. Am Beispiel des Einzugsgebietes des Brunnens Dedenitz soll die Vorgangsweise hier kurz dargestellt werden.

Basierend auf den Ergebnissen der stationären Kalibration des Grundwasserströmungsmodells für extremes Niedrigwasser wurde unter Berücksichtigung der Wechselwirkung der Entnahme Dedenitz mit der Entnahme am Stadtbrunnen Bad Radkersburg ein zu erwartendes maximales Brunneneinzugsgebiet definiert (Abb. 118).

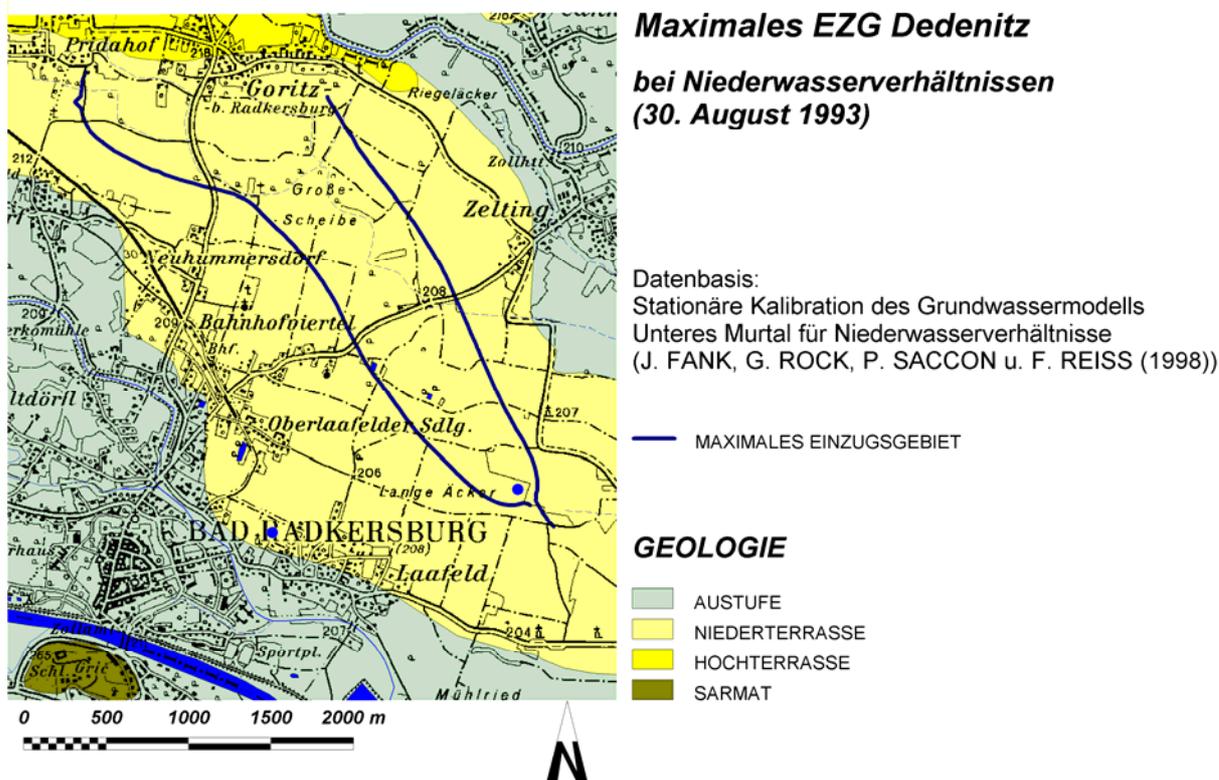


Abb. 118: Einzugsgebiet des Brunnens Dedenitz unter Berücksichtigung der Wechselwirkung mit dem Brunnen Bad Radkersburg bei Niederwasserverhältnissen und Darstellung der geologischen Situation.

Die aktuelle Nitratbelastung des Grundwasser wurde aus der geostatistisch modellierten Verteilungskarte des Unteren Murtales (Kap. 5.4) entnommen und für das Projektgebiet unter Berücksichtigung des Grundwasserschwellenwertes dargestellt (Abb. 119). Aus dem Verschnitt dieser Informationsebenen konnte schließlich ein Grenzziehungsvorschlag für das Beratungsgebiet definiert werden (Abb. 120), wobei neben der räumlichen Abgrenzung durch das maximale Einzugsgebiet (aus dem Grundwasserströmungsmodell) auch die Grundlage für die inhaltliche Beratung durch die Einbeziehung der vorliegenden Verteilung der Konzentration von Nitrat im Grundwasser (aus der geostatistischen Modellierung) und durch die Ermittlung der Nitrataustragsgefährdung der Böden (aus Modellrechnungen über Wasserhaushalt und Stickstofftransport in der ungesättigten Zone) vermittelt werden konnten.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen wurden im Rahmen von Informationsveranstaltungen in Kombination mit wasserrechtlichen Fragen und auch im Konnex zur landwirtschaftlichen Beratungstätigkeit den betroffenen Landwirten vor Ort vermittelt.

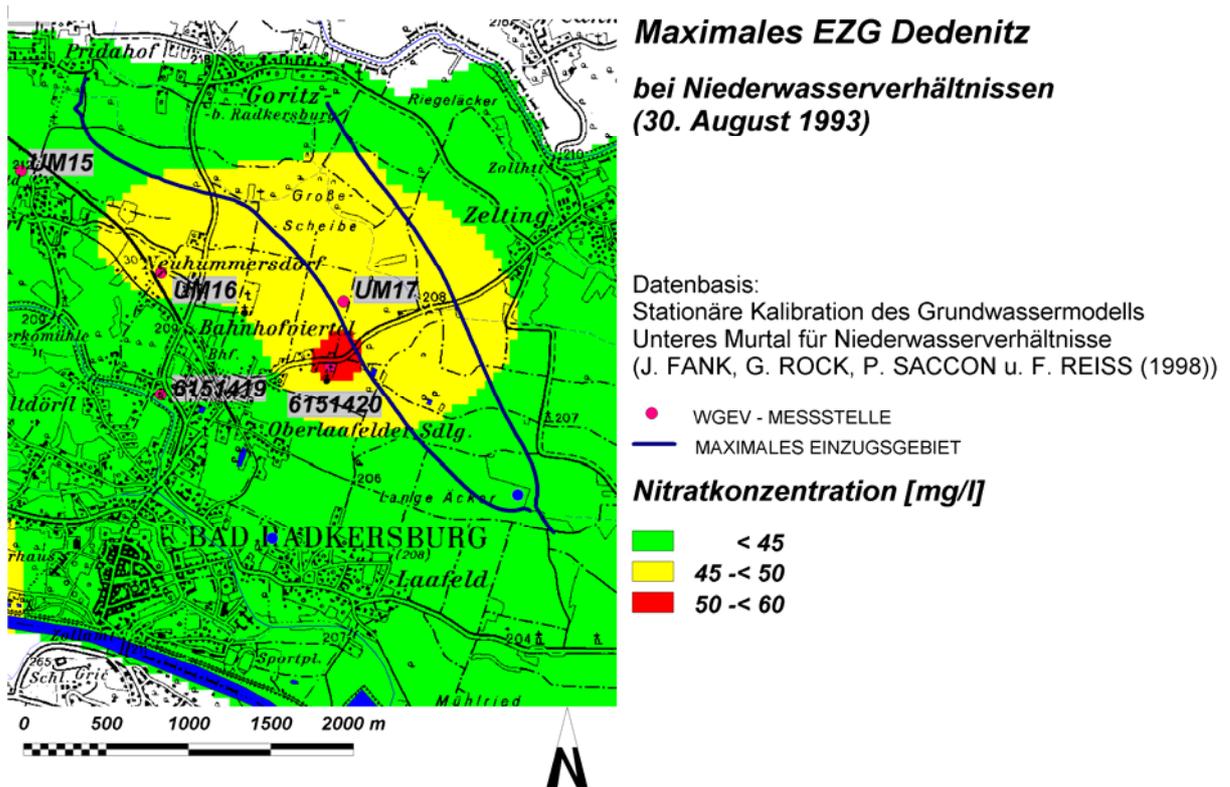


Abb. 119: Nitratverteilung als Mittelwert des Jahres 1997 (siehe Kap. 5.4)

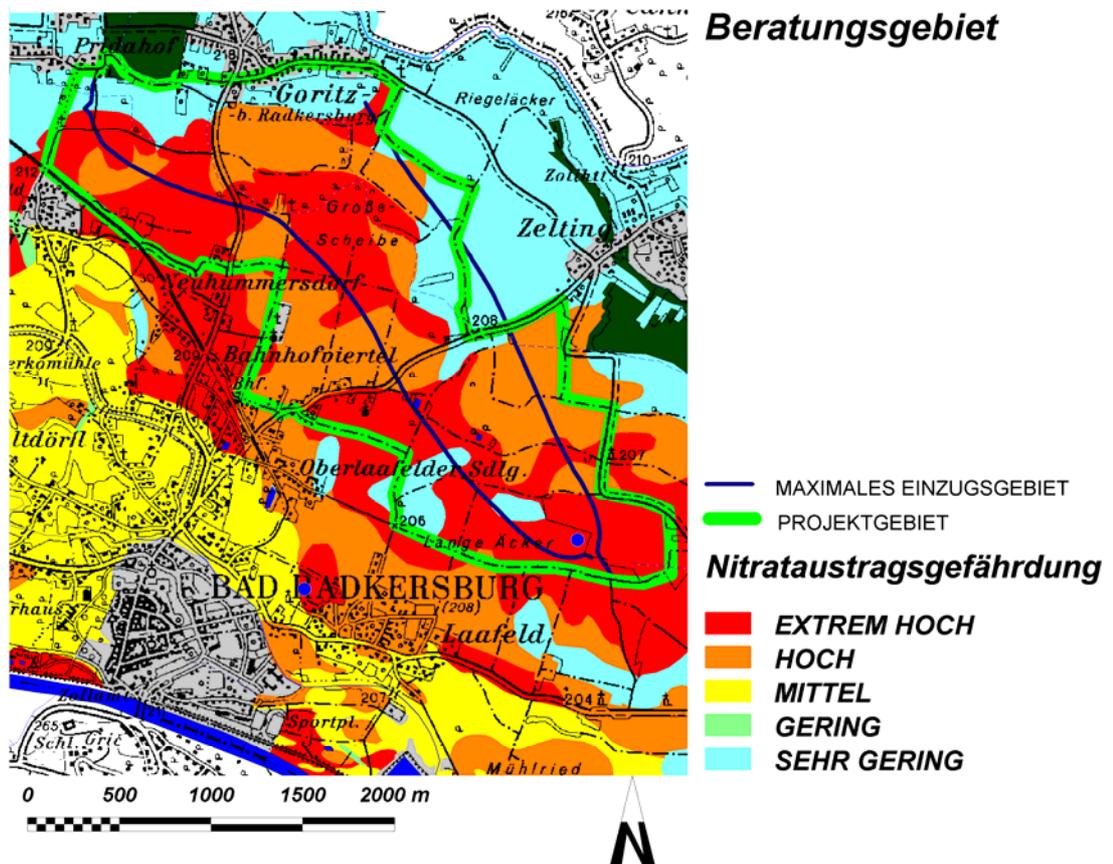


Abb. 120: Abgrenzungsvorschlag für das Intensivberatungsgebiet Dedenitz unter Berücksichtigung der Grundwasserströmungsverhältnisse, der Nitrataustragsgefährdungssituation und der aktuellen Nitratverteilungssituation

gestellten relevanten Tagesentnahmen dargestellt sind. Zur Bewertung der Auswirkungen der geplanten Nassbaggerungen auf das Grundwasserfeld werden Schnitte durch die Grundwasseroberfläche und auch den Grundwasserstauer entlang der in Abb. 121 eingetragenen Profillinien Profil 1, Profil 2 und Profil 3 gelegt.

6.3.1 Berechnungen

Im Zuge der Bearbeitung des Grundwassermodells „Unteres Murtal“ wurde ein regionales stationäres 2D-horizontales Grundwasserströmungsmodell für Nieder- und Mittelwasserzustände kalibriert. Basierend auf diesen Modellkalibrationen wurde im Nahbereich der geplanten Nassbaggerungen ein Detailmodell erstellt, das durch Potentialrandbedingungen begrenzt, die Auswirkung der geplanten Nassbaggerungen auf die Grundwasserströmungsverhältnisse prognostizieren hilft. Die Verwendung von Potentialrandbedingungen ist zulässig, da die Prognose ausschließlich auf Grundwasserspiegellagen und nicht auf Durchflüsse und deren Veränderung ausgelegt ist. Die Potentialrandbedingung wurde am gesamten Modellrand dem regionalen Strömungsmodell entnommen.

Die Prognose der Auswirkungen der Nassbaggerungsflächen erfolgt durch die geometrische Verortung der Teichflächen, wobei diese im Modell durch extrem hohe Durchlässigkeiten nachgebildet werden ($1 \cdot 10^6$ m/s). Die verbleibenden Dämme zwischen den Nassbaggerungsflächen werden durch Finite Elemente nachgebildet, wobei deren Durchlässigkeit zur Simulation der zu erwartenden Kolmatierung stufenweise zurückgenommen wurde. Die Breite dieser Dämme wurde entsprechend den Angaben konstant mit 17 m nachgebildet. Die größere Mächtigkeit der Böschungen in den tieferen Schichten des Aquifers aufgrund der Böschungsneigung von 1:2 kann naturgemäß durch ein 2D-Modell nicht nachgebildet werden. Diese wirkt aber jedenfalls in Richtung einer größeren Spiegeldifferenz zwischen den einzelnen Seen und führt auch tendentiell zu einer Erhöhung der oberstromigen Absenkung bzw. der unterstromigen Aufspiegelung. Durch das Modell werden diese breiteren Dämme ausreichend durch die Rücknahme der Durchlässigkeiten wiedergegeben.

Abb. 122 zeigt das Elementnetz des Detailmodells, das naturgemäß aufgrund der zu untersuchenden Fragestellung im Bereich der Nassbaggerungen und der verbleibenden Dämme sehr fein aufgelöst ist und nach außen hin weitmaschiger wird. Die aus der Kalibration übernommenen Durchlässigkeitsbeiwerte liegen zwischen $1 \cdot 10^{-3}$ m/s und $6 \cdot 10^{-3}$ m/s, sind damit also als durchaus typisch für fluviatil verlagerte Glazialsedimente zu betrachten. Im Bereich der Nassbaggerungen liegt die Felddurchlässigkeit tiefengemittelt über die gesamte Mächtigkeit in einem Bereich von $5 \cdot 10^{-3}$ m/s.

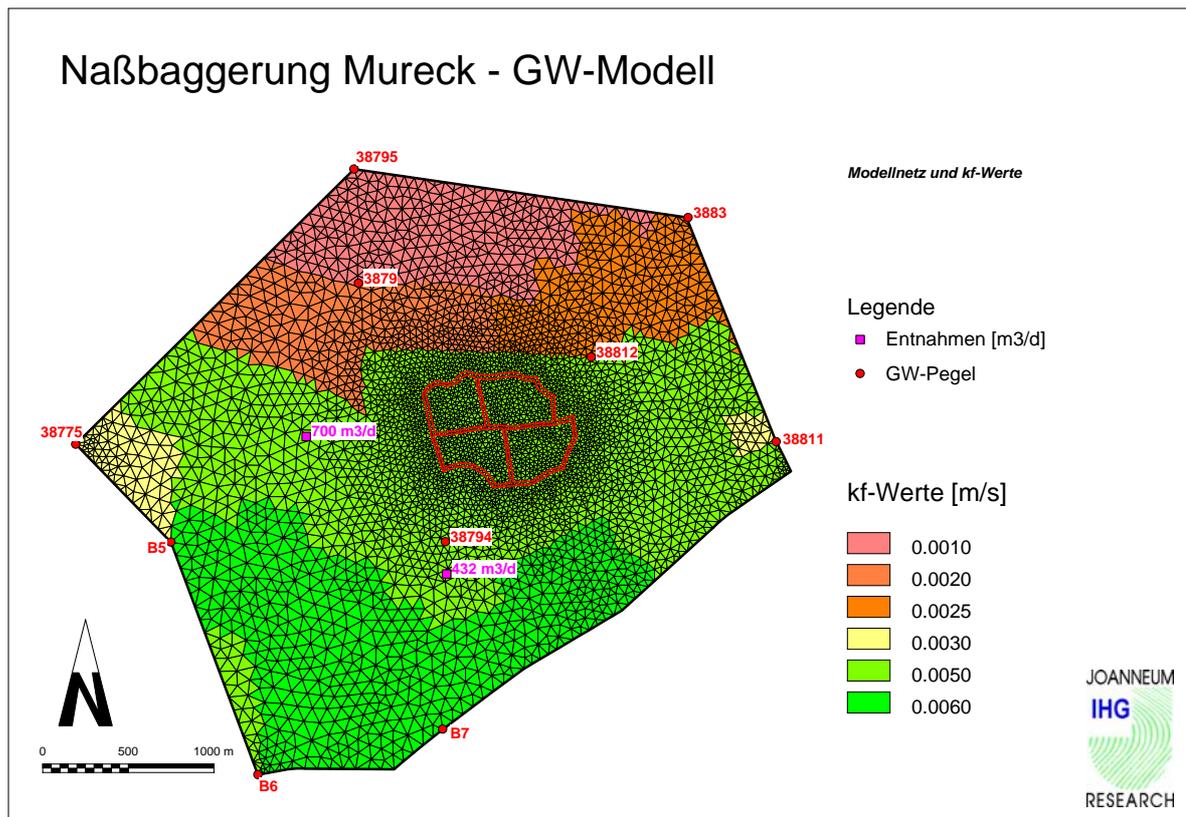


Abb. 122: Finite Elemente Netz und Verteilung der Durchlässigkeiten im Grundwasserleiter aus [5].

Abb. 123 zeigt den durch das Modell berechneten Ausgangswasserspiegel bei Mittelwasserverhältnissen, der durch die gemessenen Potentiale an den Rändern festgehalten wird und der in geringem Maße durch die Entnahmen der Stadt Mureck beeinflusst ist. Ein Vergleich dieser Berechnungsergebnisse mit jenen bei Niederwasserverhältnissen (30. 08. 1993) zeigt im Untersuchungsgebiet praktisch keine Unterschiede in der Strömungsrichtung und im Grundwassergefälle, sondern ausschließlich in der Höhenlage des Grundwasserspiegels, weshalb in weiterer Folge Bezug auf die Auswertungen bei Mittelwasserverhältnissen (18. 09. 1995) genommen wird.

Im Bereich der geplanten Nassbaggerungen tritt bei Mittelwasser im Ausgangszustand eine Spiegeldifferenz von fast 2 m mit einem West - Ost - Gefälle ($2.5 \cdot 10^{-3}$) auf. Am oberstromigen Ende der Nassbaggerung liegt die Grundwasserspiegellage bei 233 m ü.A., unterstrom liegt die Grundwasseroberfläche auf einer Höhe von 231 m ü.A.. Die im Detail unterschiedliche Gestaltung der Grundwasserschichtenlinien resultiert aus dem Einfluss der räumlich differenzierten Verteilung der Durchlässigkeiten.

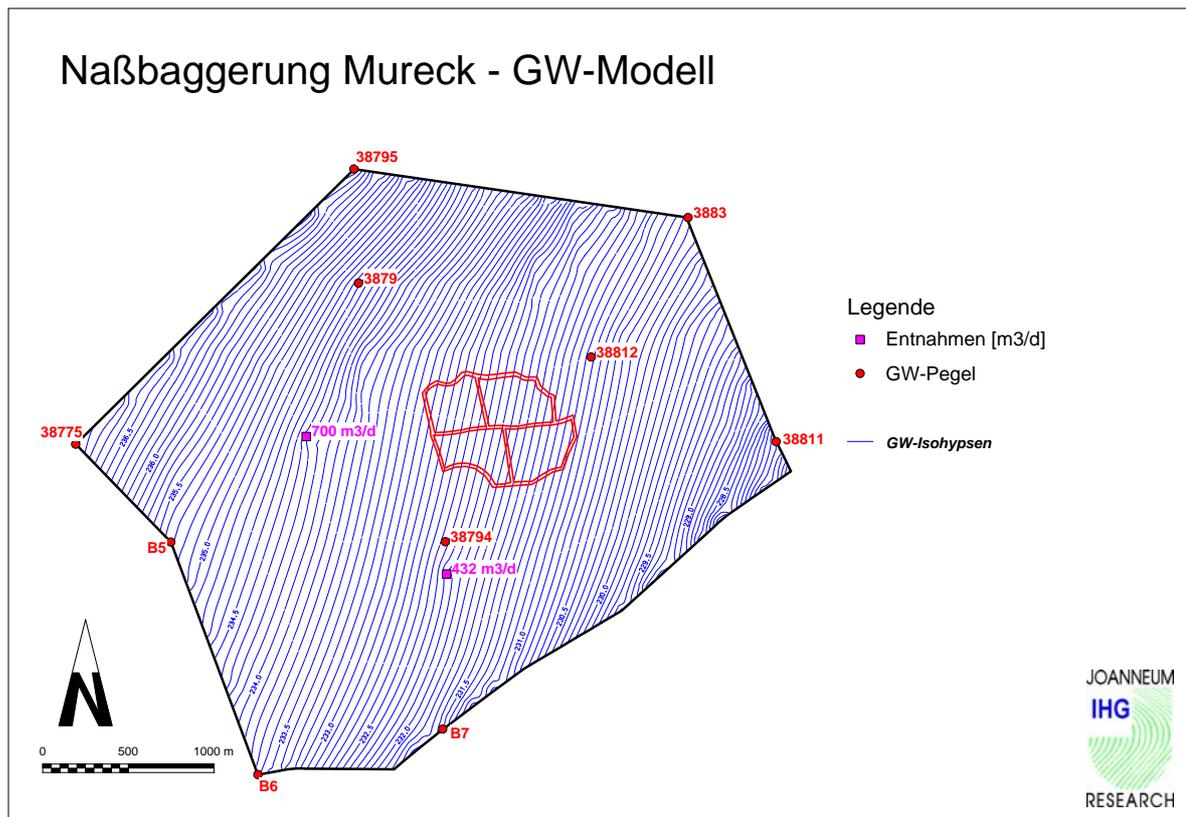


Abb. 123: Berechneter Grundwasserspiegel bei Mittelwasserverhältnissen (18. 09. 1995).

Werden nun im oben dargestellte Grundwasserkörper Nassbaggerungen durchgeführt, so verändert sich aufgrund der neuen Strömungsbedingungen die Grundwasseroberfläche, was zu einer oberstromigen Absenkung und zu einer unterstromigen Aufspiegelung führt. Die zwischen den einzelnen Teichen verbleibenden Dämme stellen Hindernisse für die Strömung dar und bewirken in Abhängigkeit von der Breite der Dämme und deren mittlerer Durchlässigkeit eine Differenzierung der Spiegellagen in den einzelnen Teichen. Die Durchlässigkeit der Dämme wird entscheidend auch durch die bereits zu Abbaubeginn einsetzenden Kolmatierungsvorgänge beeinflusst, die auch nach Ende der Abbauarbeiten durch die Ablagerung von Schwebstoffen aus dem atmosphärischen Eintrag und durch biologische Umsetzungsprodukte weiterführt wird.

In Abb. 124 ist der zu erwartende Spiegellinienplan der Grundwasseroberfläche nach Fertigstellung der Nassbaggerungen ohne Berücksichtigung jeglicher Kolmatierung dargestellt. Im Bereich der Seen ergibt sich eine Aufweitung der Isohypsen, da der Grundwasserspiegel aufgrund der Verkippung in horizontale Lage durch den Wegfall des als Strömungswiderstand wirkenden Sediments am oberstromigen Ende auf einen Höhe von 231.92 m abgesenkt wird (Absenkung 1.08 m). Zum Ausgleich ergibt sich unterstrom eine Aufspiegelung gegenüber dem Ausgangswasserspiegel um 0.8 m auf eine Wasserspiegellage von 231.8 m. Die sich in den einzelnen Seen einstellenden Wasserspiegel sind in Abb. 124 angeführt.

Die Auswirkung der Grundwasserabsenkung bzw. der Aufspiegelung wirkt naturgemäß unter Verwendung von Potentialrandbedingungen bis an den Rand des Modells. Zur Kontrolle der Auswirkungen können die Grundwasserspiegellagen an Messstellen im Umfeld der Nassbaggerungen herangezogen werden: An der Messstelle 3879 im oberstromigen Bereich ergibt sich eine Absenkung um 0.17 m, an der Messstelle 38812 eine Aufspiegelung um 0.21 m und an der Grundwasserbeobachtungssonde 38794 eine Absenkung von 0.19 m.

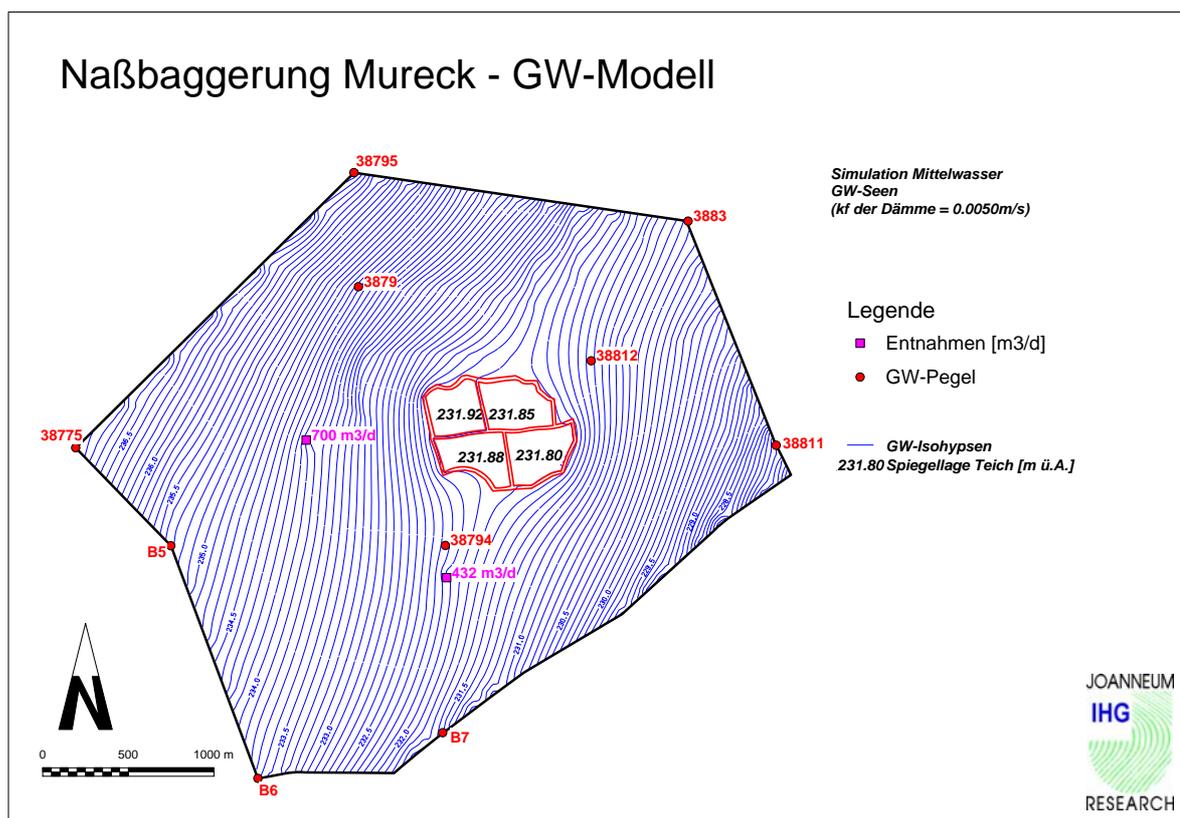


Abb. 124: Berechneter Grundwasserschichtenlinienplan nach Errichtung der geplanten Nassbaggerungen bei Mittelwasserverhältnissen ohne Kolmatierung der Böschungen

Die Berechnungen hinsichtlich der Auswirkung von Kolmatierungen der Nassbaggerungen wurden derart durchgeführt, dass die Durchlässigkeit in den verbleibenden Dämmen zwischen den Nassbaggerungsflächen zuerst auf die Hälfte reduziert wurde ($k_f = 2.4 \cdot 10^{-3}$ m/s), um den Einfluss der Neigung der Böschungen und dadurch die unterschiedliche Länge der Sickerstrecke in einer dreidimensionalen Betrachtung im System zu beschreiben. Zur Beschreibung des zu erwartenden Zustandes bei Kolmation der Böschungsbereiche im Zuge des Abbaues durch die Anlagerung von Feinsedimentanteilen wurde im nächsten Schritt die Durchlässigkeit weiter vermindert ($k_f = 1.6 \cdot 10^{-3}$ m/s). Zur Simulation der langfristigen Auswirkung der Nassbaggerung und der Kolmatierung durch biologische Vorgänge im See selbst wurde im letzten Berechnungsschritt die Durchlässigkeit der Dammbereiche auf $k_f = 1.2 \cdot 10^{-3}$ m/s reduziert. Dieser Durchlässigkeitsbeiwert liegt noch immer im Rahmen der im Untersuchungsgebiet auftretenden Aquifereigenschaften und stellt eine realistische Annahme der zukünftigen Entwicklung dar.

Die Berechnungsergebnisse zeigen nur eine sehr geringe Auswirkung der Kolmatierung auf weiter entfernt liegende Bereiche des Grundwasserfeldes. Die Grundwasserspiegellagen an den Kontrollmessstellen des Hydrographischen Dienstes sind zu den Berechnungen ohne jegliche Abdichtung um maximal 3 cm unterschiedlich. Im Nahbereich zeigen sich deutlichere Auswirkungen, die durch die Schnitte in Abb. 125, Abb. 126 und Abb. 127 dokumentiert sind (Lage der Profile siehe Abb. 121).

Während die Profillinien 1 und 2 die geplanten Grundwasserseen in Strömungsrichtung schneiden, verläuft die Profillinie 3 seitströmig im Süden der Grundwasserseen, um den Einfluss der Nassbaggerungserrichtung nahe den Förderbrunnen der Stadtgemeinde Mureck dokumentieren zu können.

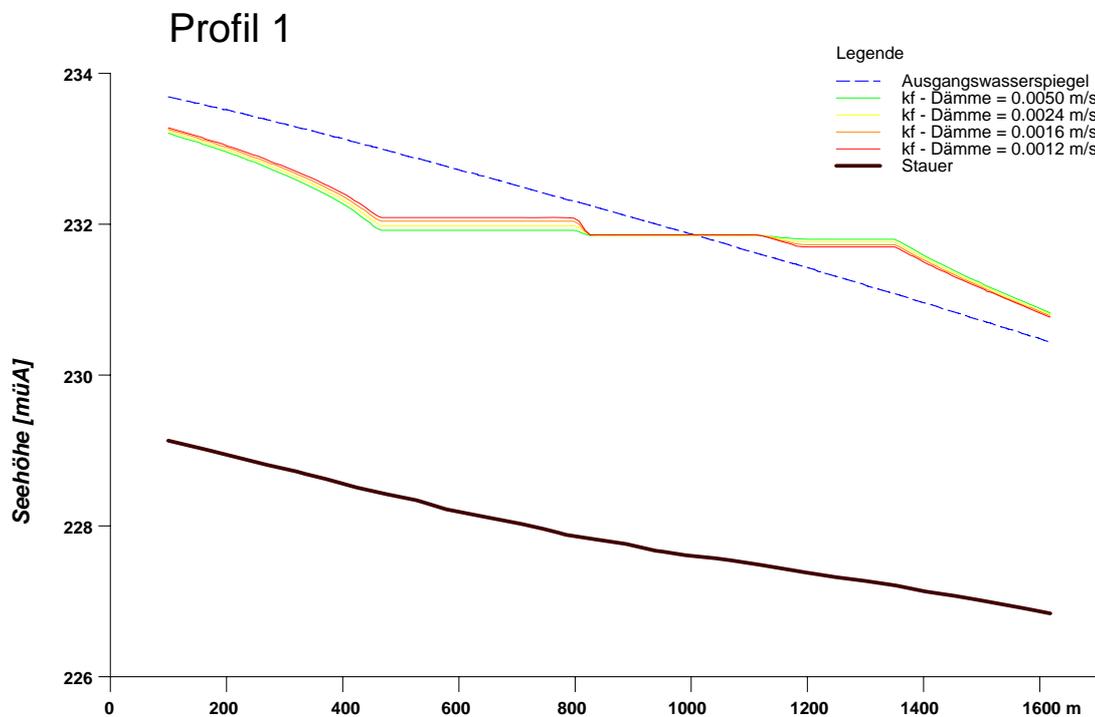


Abb. 125: Schnitte entlang der Profillinie 1 in Abb. 121 durch die Grundwasserspiegellage im Ausgangszustand, bei unterschiedlichen Kolmatierungen der Böschungen und durch den Grundwasserstauer.

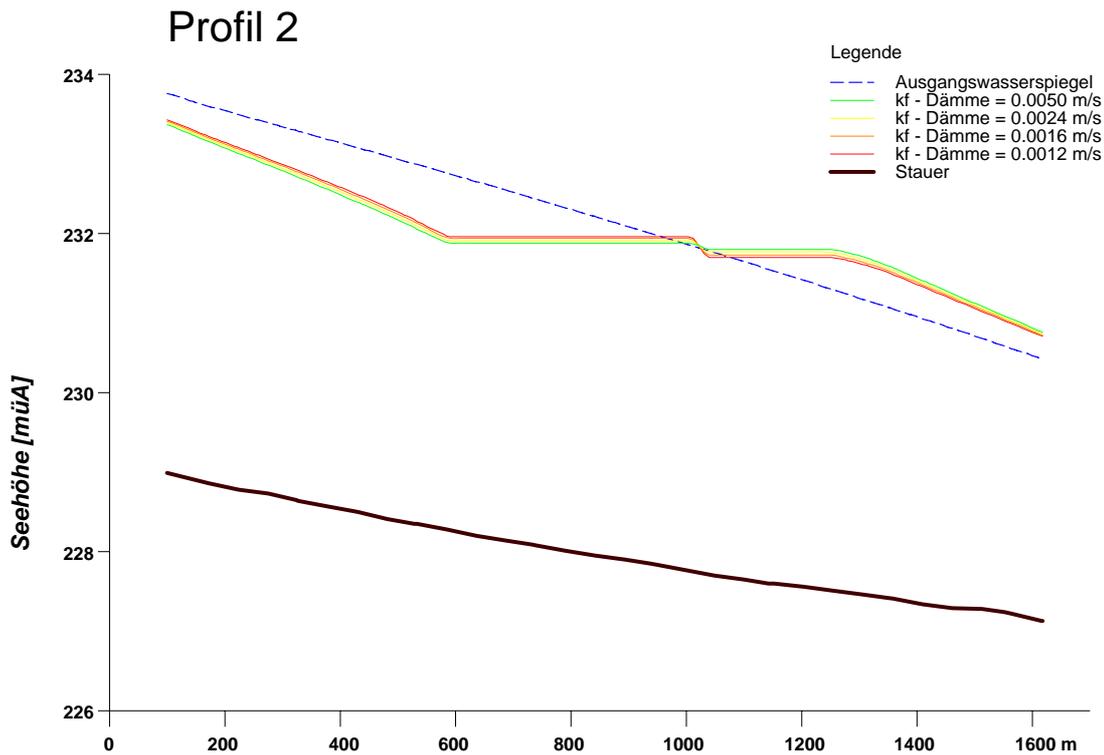


Abb. 126: Schnitte entlang der Profillinie 2 in Abb. 121 durch die Grundwasserspiegellage im Ausgangszustand, bei unterschiedlichen Kolmatierungen der Böschungen und durch den Grundwasserstauer.

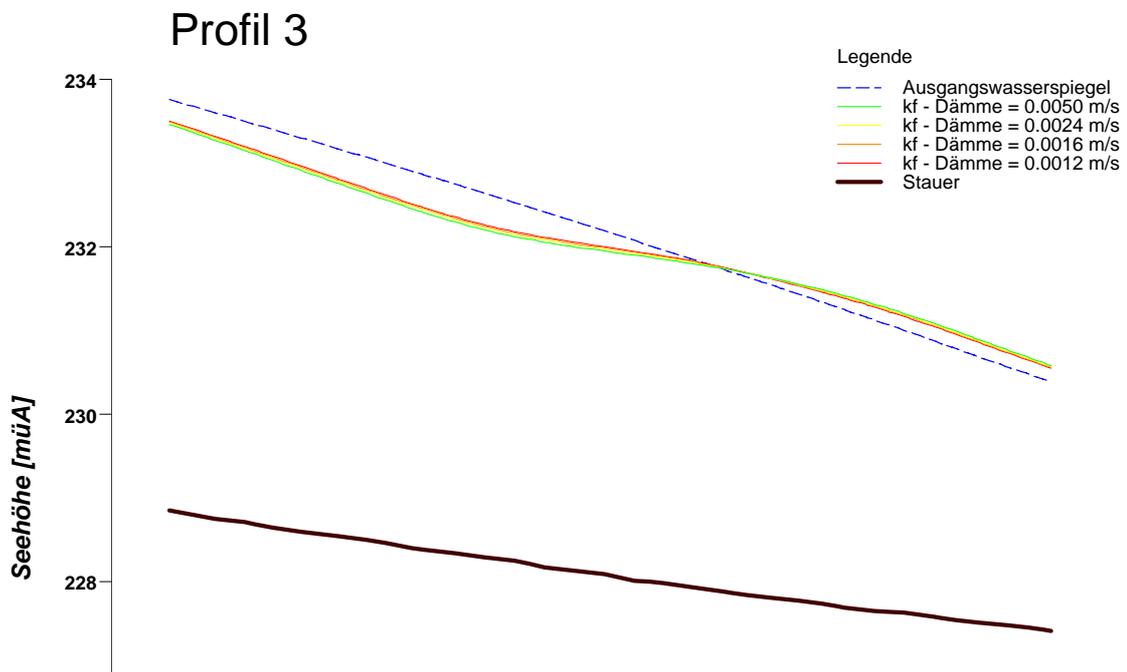


Abb. 127: Schnitte entlang der Profillinie 3 in Abb. 121 durch die Grundwasserspiegellage im Ausgangszustand, bei unterschiedlichen Kolmatierungen der Böschungen und durch den Grundwasserstauer.

Die Auswirkung der geplanten Nassbaggerungen auf die Förderbrunnen der Stadt Mureck wird bei mittleren und auch niedrigen Wasserständen jedenfalls weniger als 20 cm betragen. Die Auswirkung von Kolmatierungsvorgängen an den Böschungen der Dämme ist großräumig im Vergleich zur prinzipiellen Auswirkung von Nassbaggerungen im Untersuchungsgebiet als nahezu unbedeutend einzustufen. Wirksam wird diese zu erwartende Verminderung der Durchlässigkeit an den Dämmen durch unterschiedlich sich einstellende Wasserspiegellagen in den Seen selbst. Die Absenkung am oberstromigen Rand der Abbauflächen wird gegenüber dem Ausgangszustand 0.9 m betragen, die Aufspiegelung unterstrom der Teiche wird bei 0.7 m liegen. Die Siegeldifferenz zwischen dem oberstromig gelegenen Teich und dem unterstromigen, die ohne Berücksichtigung irgendwelcher Kolmatationsvorgänge und bei Annahme von 17 m breiten Dämmen nur 12 cm beträgt, liegt unter der Annahme der Wirksamkeit einer langfristigen Kolmatierung bei 39 cm. Die Wasserspiegellage des nordöstlichen Teiches wird durch die Abdichtungsvorgänge praktisch nicht beeinflusst (Wasserspiegellage 231.85 bzw. 231.86 m in allen Berechnungsvarianten), im südwestlichen Teich betragen die Differenzen zwischen den einzelnen Berechnungsvarianten 8 cm.

6.4 Erarbeitung der Grundlagen für die weitere Erschließung von Grundwasserressourcen (FANK, 2002)

Basierend auf der Besprechung am 7. Juni 2001 wurde beschlossen, mögliche Brunnenstandorte im Unteren Murtal (im Gemeindegebiet Halbenrain) auf der Grundlage der Ergebnisse des Grundwasserströmungsmodells „Unteres Murtal“ zu untersuchen.

Im Detail waren durch Optimierungsrechnungen (Grundwassersimulationsrechnungen) zwei Brunnenstandorte im Untersuchungsgebiet (Abgrenzung siehe Abb. 128) zu suchen, an denen eine dauernde Förderleistung von je zumindest 10 l/s erwartet werden kann. An Auswertungen für die Ergebnissimulation sind unter Berücksichtigung der im Unteren Murtal bereits existierenden Konsensentnahmen darzustellen:

- Die zu erwartenden Brunneneinzugsgebiete
- Die zu erwartende 60-Tage Grundwasserfließzeitgrenze jedes Brunnens als Grundlage für die Abschätzung von Lage und Größe der einzurichtenden Brunnenschutzgebiete
- Die zu erwartende Absenkung des Grundwasserspiegels in seiner räumlichen Ausdehnung

Es wird hier nochmals, wie bereits im Rahmen der Besprechungen im Vorfeld darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse dieser Arbeiten einen ersten Überblick über zu erwartende Auswirkungen einer Brunnenerrichtung auf der Basis eines regionalen Grundwassermodells darstellen, aber keineswegs die im Rahmen einer Detailplanung notwendigen Erkundungsmaßnahmen ersetzen können.

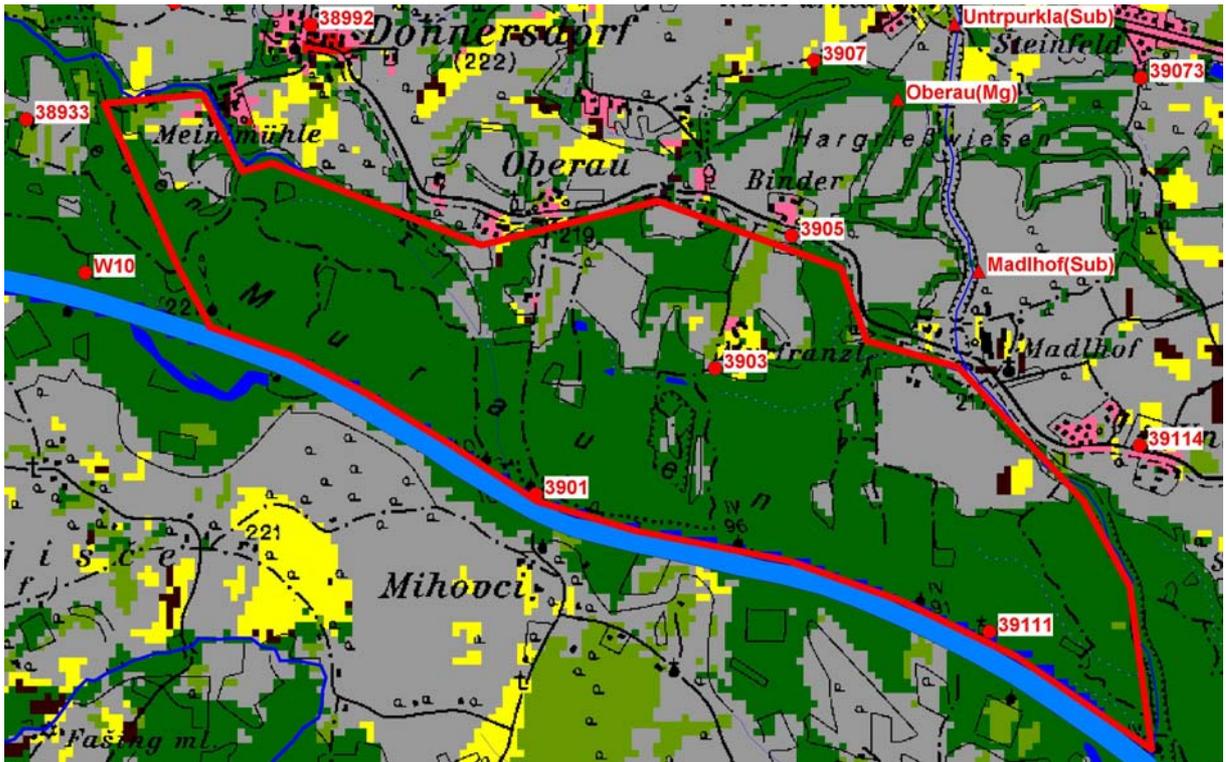


Abb. 128: Abgrenzung des Untersuchungsgebietes (rote Umgrenzung) für neue Brunnenstandorte (festgelegt im Rahmen der Besprechung vom 7. Juni 2001).

Ziel der Untersuchungen war es, im vordefinierten Untersuchungsgebiet (Abb. 128), das sich durch seine Lage im Auwaldbereich des unteren Murtales – grüne Flächen – in größerer Entfernung zu intensiv landwirtschaftlich genutzten Bereichen – graue und gelbe Flächen – zwei Brunnenstandorte durch Optimierungsrechnungen mit Hilfe des Grundwasserströmungsmodells „Unteres Murtal“ zu finden, an denen die Entnahme von je 10 l/s an Grundwasser möglich ist, ohne die ökologischen Verhältnisse übermäßig stark zu beeinflussen und ohne allzu große Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Nutzflächen für eine eventuelle Schutzgebietsausweisung (Zone 2 = 60 Tage Grenze). Zu diesem Zwecke war es erforderlich, für die schlussendlich gefundenen Standorte das Einzugsgebiet der Brunnen – die sich gegenseitig nicht überlagern sollten – auf der Basis der Stromlinienauswertung der instationären Modellrechnung des über drei Jahre (1993 bis 1995) kalibrierten numerischen Modells darzustellen. Zusätzlich war es erforderlich, die zu erwartende Linie einer 60-Tage Fließzeit des Grundwassers auszuweisen (Grundlage für ein mögliches zukünftiges Schutzgebiet – Zone 2) sowie die mittlere zu erwartende Grundwasserspiegelabsenkung flächenhaft darzustellen. Eine instationäre Bewertung der Auswirkung der geplanten Entnahmen auf die Grundwasserspiegellagen an ausgewählten Punkten soll die Ergebnisdarstellung ergänzen.

Das Ergebnis einer Vielzahl von Optimierungsrechnungen zur Ermittlung der Lage der Brunnen ist in Abb. 129 dargestellt. Es wurde schlussendlich eine Lösung ermittelt, die es erlaubt, aus dem Brunnenstandort GSO_N1_10 eine Wassermenge von konstant 10 l/s und aus dem Brunnen GSO_N2_15 eine solche von 15 l/s dauernd zu entnehmen, ohne – aus grundwasserhydrologischer Sicht – eine zu starke Absenkung des Grundwassers zu verursachen. Die Punkte, an denen

spezifische Ganglinienauswertungen durchgeführt wurden (O1 bis O7) wurden in Anströmrichtung der Brunnen in unterschiedlichen Entfernungen gesetzt (Abb. 129), wobei jeweils ein Beobachtungspunkt sehr nahe dem Brunnen selbst (O1 und O4) platziert wurde.

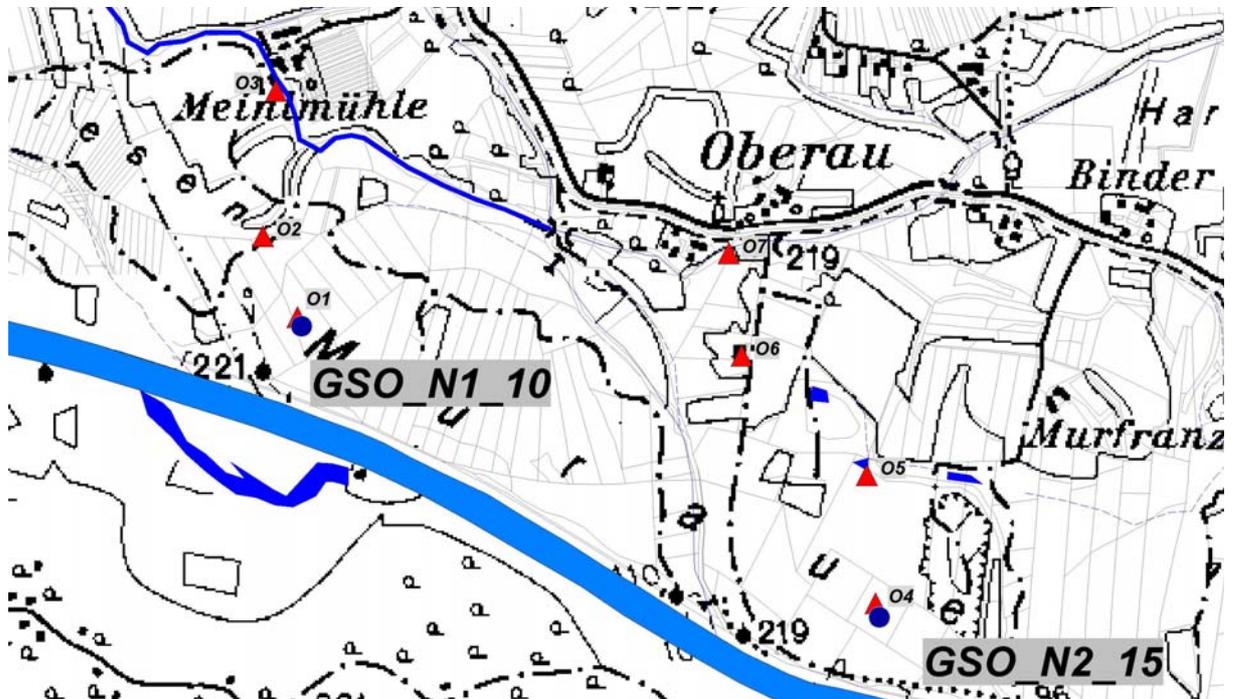


Abb. 129: Optimierte Lage der ermittelten potentiellen Brunnenstandorte mit den Punkten, an denen eine Ganglinienbewertung der Auswirkung der geplanten Entnahme vorgenommen wurde.

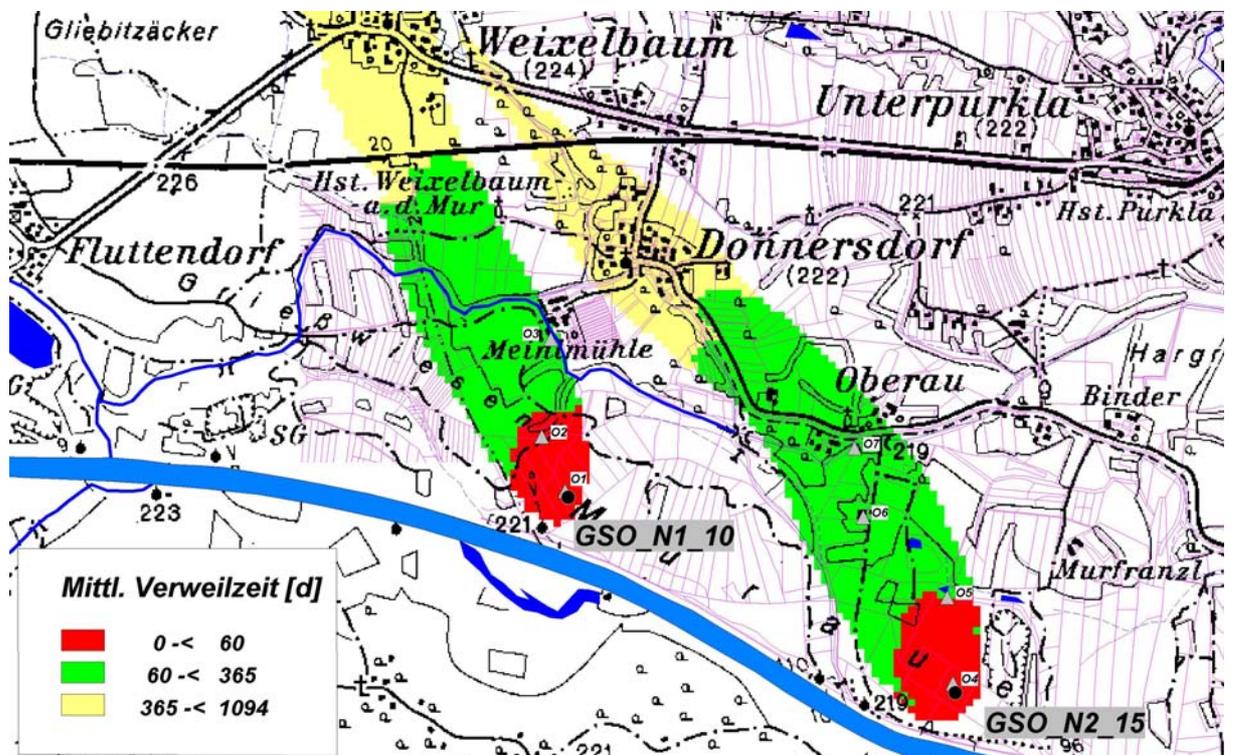


Abb. 130: Einzugsgebiet der beiden optimierten Brunnenstandorte mit den mittleren Verweilzeiten des Grundwassers aus der Stromlinienauswertung des instationären Grundwasserströmungsmodells (Methodik siehe Kap. 6.1).

Die Ergebnisse der Berechnung der Brunneneinzugsgebiete für die geplanten Brunnenstandorte GSO_N1_10 und GSO_N2_15 unter Berücksichtigung der Entnahmen der Konsensmengen an den übrigen bedeutenden Brunnenstandorten (Mureck, Radkersburg etc.) sowie der Grundwasserfließzeit zu den Brunnen sind in Abb. 130 dargestellt. Aufgrund der im Berechnungszeitraum herrschenden Grundwasserströmungsverhältnisse und deren Variabilität in der Zeit sind die Einzugsgebiete in Richtung NNW ausgerichtet, kommen aufgrund der optimierten Lage der Brunnenstandorte in ihrem gesamten Verlauf bis zur Grenze des Grundwassergebietes Unteres Murtal am Rand zur Helfbrunner Terrasse nebeneinander zu liegen – d.h. sie beeinflussen sich gegenseitig nicht – und reichen nicht an die Mur heran – ein Einzug von Murwasser mit Verweilzeiten von weniger als drei Jahren findet nicht statt.

Die 60-Tage der Grundwasserverweilzeit verbleibt an beiden Brunnenstandorten fast vollständig im Bereich der Auwaldgebiete und reicht bei beiden Standorten in etwa bis zu jeweils zweitweitest entfernten Beobachtungspunkten (O2 für den Standort GSO_N1_10 und O5 für GSO_N2_15) für die Bewertung der punktuellen Absenkungsverhältnisse. In etwa bis zu einer Grundwasserverweilzeit von 365 Tagen verbleiben die berechneten Brunneneinzugsgebiete im Bereich der Austufe der Mur, bedeutendere Siedlungsgebiete liegen außerhalb der 365 – Tage Grenze der Grundwasserfließzeit auf der Niederterrasse des Unteren Murtales.

Von besonderer Bedeutung – v.a. für die ökologischen Auswirkungen im Auwaldgebiet (und im geplanten „Natura 2000“ – Gebiet) sind die aufgrund der Wasserentnahme zu erwartenden Grundwasserabsenkungen, die gegenüber der derzeitigen Situation bei Ausschöpfung bewilligter Konsense im Untersuchungsgebiet auftreten werden.

Zu diesem Zweck wurden im Einzugsgebiet der Brunnen Beobachtungspunkte (Lage siehe Abb. 129) situiert, an denen eine detaillierte Bewertung der Spiegelabsenkung in ihrem zeitlichen Verlauf möglich ist. Die Auswertungen der Ganglinien für den Beobachtungspunkt O1 sind in Abb. 131 zusammenfassend über den Berechnungszeitraum und in Abb. 132 in Form eines Ganglinienvergleiches zwischen Istzustand und Simulationszustand (Entnahme der geplanten Konsensmenge an den beiden neuen Brunnenstandorten über den gesamten Modellierungszeitraum) dargestellt. Die adäquaten Auswertungen für den Beobachtungspunkt O2 in etwa im Bereich der 60-Tage Grenze der Grundwasserfließzeit zum Brunnen GSO_N1_10 finden sich in Abb. 133 und Abb. 134.

Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: Kal_O1

Mittlere Monatliche Grundwasserstände

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] Kal_O1	217.07	217.03	216.97	217.13	217.37	217.18	217.10	217.11	216.96	217.09	216.99	216.94	216.94
NGW [m NN] GSO_O1	216.83	216.79	216.72	216.90	217.15	216.95	216.86	216.88	216.71	216.86	216.75	216.69	216.69
NGW-Differenz [m]	-0.24	-0.24	-0.24	-0.23	-0.22	-0.23	-0.23	-0.23	-0.25	-0.24	-0.24	-0.25	-0.25
HGW [m NN] Kal_O1	217.74	217.48	217.99	218.11	218.01	217.97	218.09	217.66	218.11	218.92	217.95	217.71	218.92
HGW [m NN] GSO_O1	217.69	217.26	217.80	217.93	217.82	217.78	217.91	217.46	217.93	218.78	217.77	217.51	218.78
HGW-Differenz [m]	-0.05	-0.21	-0.19	-0.18	-0.18	-0.19	-0.18	-0.20	-0.18	-0.15	-0.19	-0.20	-0.15
MGW [m NN] Kal_O1	217.34	217.22	217.39	217.55	217.71	217.58	217.44	217.30	217.34	217.41	217.43	217.26	217.41
MGW [m NN] GSO_O1	217.12	216.99	217.17	217.34	217.51	217.38	217.22	217.08	217.13	217.20	217.21	217.03	217.20
MGW-Differenz [m]	-0.22	-0.23	-0.22	-0.21	-0.20	-0.20	-0.21	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.23	-0.23

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] Kal_O1	217.68	217.59	217.53	217.46	217.42	217.38	217.36	217.33	217.30	217.26	217.23	217.21	217.20
GWSP [m NN] GSO_O1	217.48	217.38	217.33	217.24	217.21	217.16	217.14	217.11	217.07	217.04	217.00	216.98	216.98
Differenz [m]	-0.20	-0.20	-0.20	-0.21	-0.21	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.23	-0.23	-0.23

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich

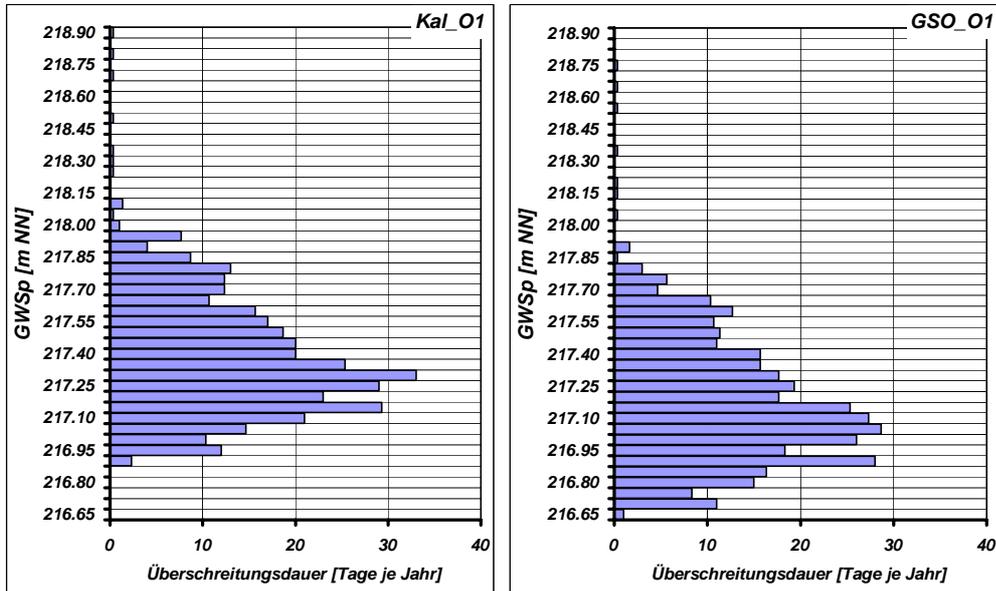


Abb. 131: Auswirkung der Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten auf die Grundwasserspiegellage während eines Jahres am Beobachtungspunkt O1 in unmittelbarer Nähe des vorgeschlagenen Brunnenstandortes GSO_N1_10

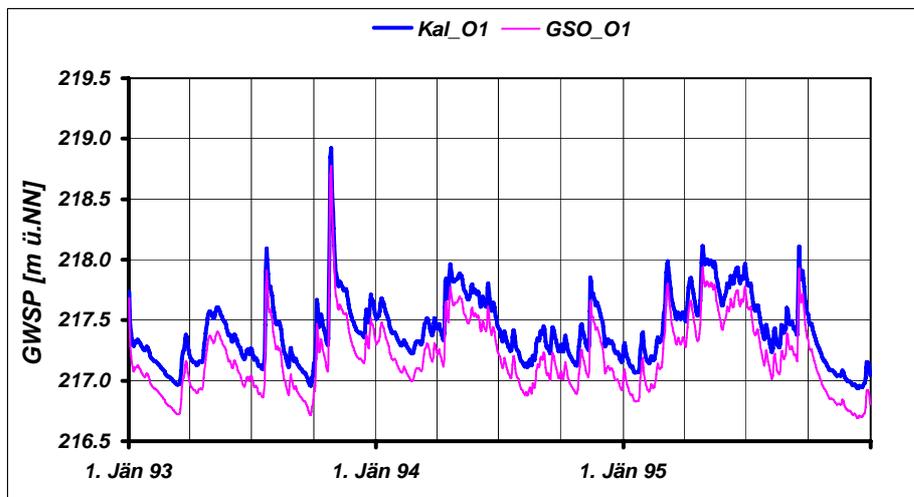


Abb. 132: Auswirkung der Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten auf die Grundwasserspiegellage am Beobachtungspunkt O1 in unmittelbarer Nähe des vorgeschlagenen Brunnenstandortes GSO_N1_10

Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: Kal_O2

Mittlere Monatliche Grundwasserstände

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] Kal_O2	217.60	217.54	217.45	217.56	217.75	217.60	217.51	217.54	217.38	217.46	217.47	217.41	217.38
NGW [m NN] GSO_O2	217.53	217.47	217.38	217.49	217.69	217.53	217.44	217.47	217.31	217.38	217.39	217.33	217.31
NGW-Differenz [m]	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07
HGW [m NN] Kal_O2	218.17	217.94	218.50	218.41	218.38	218.30	218.28	217.99	218.26	218.81	218.40	218.13	218.81
HGW [m NN] GSO_O2	218.14	217.88	218.44	218.35	218.32	218.25	218.23	217.92	218.20	218.75	218.34	218.07	218.75
HGW-Differenz [m]	-0.04	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
MGW [m NN] Kal_O2	217.86	217.75	217.90	217.97	218.11	217.98	217.85	217.72	217.75	217.81	217.89	217.74	217.86
MGW [m NN] GSO_O2	217.80	217.68	217.83	217.91	218.04	217.92	217.79	217.66	217.68	217.74	217.82	217.68	217.80
MGW-Differenz [m]	-0.06	-0.07	-0.07	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] Kal_O2	218.05	217.99	217.95	217.91	217.89	217.86	217.82	217.79	217.75	217.74	217.72	217.69	217.67
GWSP [m NN] GSO_O2	217.98	217.93	217.89	217.85	217.83	217.80	217.75	217.72	217.68	217.67	217.65	217.62	217.60
Differenz [m]	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich

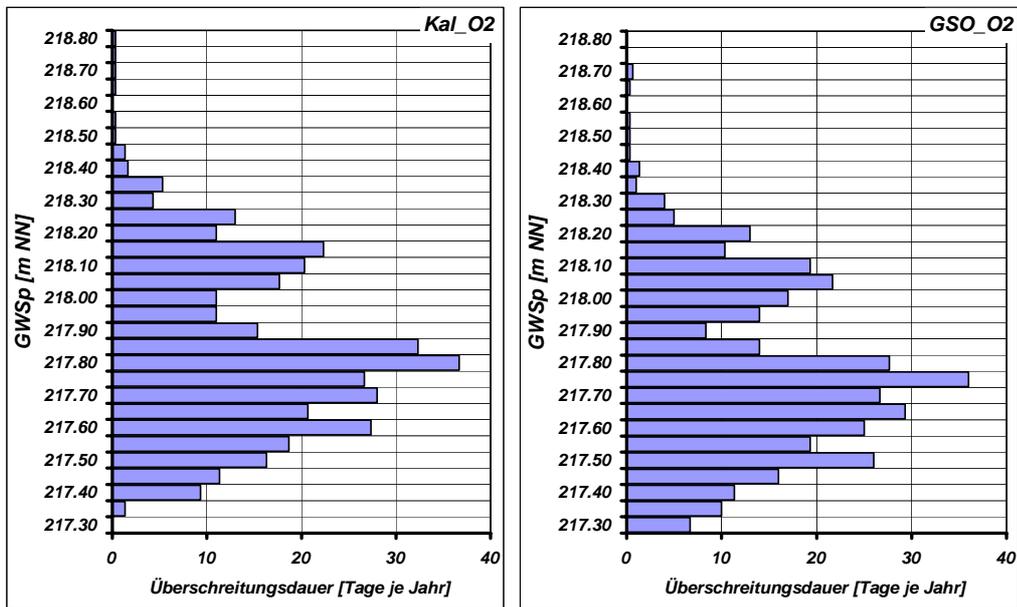


Abb. 133: Auswirkung der Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten auf die Grundwasserspiegellage während eines Jahres am Beobachtungspunkt O2 im Bereich der 60-Tage Grenze der Grundwasserfließzeit zum vorgeschlagenen Brunnenstandort GSO_N1_10

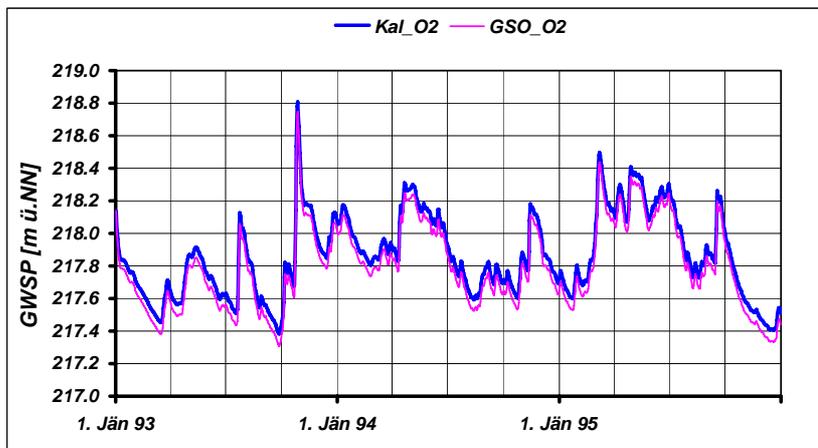


Abb. 134: Auswirkung der Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten auf die Grundwasserspiegellage am Beobachtungspunkt O2 im Bereich der 60-Tage Grenze der Grundwasserfließzeit zum vorgeschlagenen Brunnenstandort GSO_N1_10

Die Auswertungen für das Einzugsgebiet des geplanten Brunnenstandortes GSO_N1_10 zeigen, dass bei einer Entnahme von kontinuierlich 10 l/s der Grundwasserspiegel nahe des Brunnens im Mittel um etwa 22 cm absinken wird. Die Absenkung ist bei niederen Grundwasserständen mit etwa 25 cm am größten, bei hohen Grundwasserständen wird die Absenkung nur etwa 15 cm betragen. Aufgrund der angesetzten dauernden Entnahme der geplanten Konsensmenge als „worst case“ – Annahme sind die Absenkungen relativ gleichmäßig, sodass auch die Auswertung der Dauerlinie einen Rückgang der Spiegellagen, die zu charakteristischen Zeitpunkten im Jahresverlauf überschritten werden, von etwa 20 bis 25 cm ausweist. Die Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Grundwasserschwankungsbereich ist in beiden Fällen nahezu ident, im Simulationsfall um etwa 20 bis 25 cm tiefer gelegt. Inwieweit diese hier berechnete zu erwartende Grundwasserspiegelabsenkung im brunnennahen Bereich um maximal 25 cm – entsprechend einer Erhöhung des Flurabstandes um 25 cm - bei einer Amplitude des Grundwasserspiegels von etwa 200 cm – und damit naturgemäß auch einer Variabilität des Flurabstandes von 200 cm im Jahresverlauf - für die ökologischen Verhältnisse von Bedeutung ist, kann hier nicht beurteilt werden, die Grundlagen für eine Bewertung werden hiermit aber jedenfalls vorgelegt. Aus grundwasserhydrologischer Sicht ist aber jedenfalls festzuhalten, dass die geplante Entnahme von 10 l/s am Standort GSO_N1_10 zu keinerlei negativen Beeinträchtigung des Grundwasserhaushaltes führen wird, zumal die zeitliche Entwicklung des Grundwasserspiegels in diesem murnahen Bereich in erster Linie durch die Wasserspiegelschwankungen der Mur hydraulisch gesteuert wird. Unter diesem Gesichtspunkt ist davon auszugehen, dass auch längerfristige Trockenzeiten im Süden der Steiermark – wie sie gerade in den letzten Jahren (2001 und 2002) auftreten, auf die Spiegellagenentwicklung nur einen geringen Einfluss haben. Von wesentlich größerer Bedeutung ist hierbei, dass eine Veränderung der Mursohle – in erster Linie eine Tieferlegung – wirksam verhindert wird, da diese eine deutliche Auswirkung auf die Grundwasserspiegellage im Augebiet hat. In einer Entfernung von in etwa 60 – Tagen Grundwasserfließzeit – also am Beobachtungspunkt O2 reduzieren sich die entnahmebedingten Auswirkungen generell auf weniger als 10 cm und sind damit unter Berücksichtigung der natürlichen Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels und der Genauigkeit von Modell – Simulationsrechnungen als weniger als geringfügig einzustufen. Auf die flächenhafte Spiegelabsenkung im Nahbereich der Brunnenstandorte wird weiter unter detaillierter eingegangen.

Sehr gut mit den hier für den Brunnenstandort GSO_N1_10 beschriebenen Verhältnissen übereinstimmend finden sich auch jene am Brunnenstandort GWO_N2_15, dokumentiert durch die Beobachtungspunkte O4 für den brunnennahen Bereich und O5 für den Bereich der 60-Tage Grundwasserfließzeit zum Brunnen. Aufgrund der etwas größeren Mächtigkeit des Grundwasserkörpers ergeben sich in etwa die gleichen Absenkungsbeträge hier allerdings bei einer konstanten Entnahme von 15 l/s.

Die flächenhafte mittlere zu erwartende Grundwasserspiegelabsenkung im Nahbereich der beiden geplanten Entnahmestandorte bei dauernder Entnahme der geplanten Konsensmengen ist für Mittelwasserverhältnisse in Abb. 135 und für Niederwasser in Abb. 136 dargestellt. In beiden Fällen sind auch die zugehörigen Linien gleicher Grundwasserspiegellagen zur Beschreibung der Grundwasserströmungsverhältnisse visualisiert. Gerade aus letzteren ist die hochgradige Instationarität der Grundwasserströmung – aufgrund der Verschwenkung der Strömungsrichtung und auch der deutlich erkennbaren Veränderung der Grundwassergefällsverhältnisse - im Unteren Murtal ablesbar.

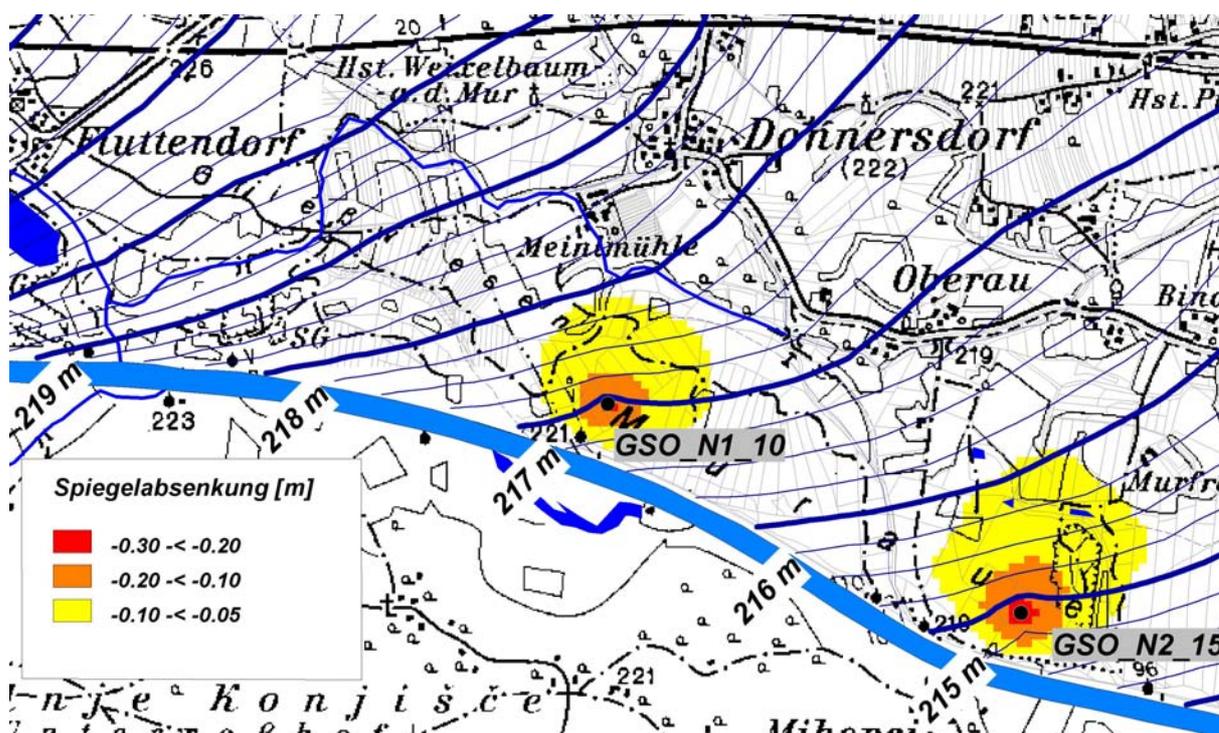


Abb. 135: Darstellung der flächenhaften mittleren Grundwasserspiegelabsenkung durch die Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten mit den Linien gleicher Grundwasserspiegellagen bei Mittelwasserverhältnissen.

In beiden Fällen ist erkennbar, dass sich der Bereich mit einer flächenhaften Grundwasserabsenkung von mehr als 20 cm auf den brunnennächsten Bereich beschränkt. Auch die Fläche mit Absenkungsbeträgen zwischen 10 und 20 cm ist nur sehr kleinräumig und hat bei den vorliegenden Grundwassermächtigkeiten und der natürlichen Grundwasserspiegelschwankung praktisch keinerlei negativen Einfluss auf den Grundwasserhaushalt – zumal das Grundwasser unterstrom der geplanten Brunnen jedenfalls in die Mur abströmt und somit auch keinerlei Beeinflussung sonstiger Nutzer in Form von gemeinschaftlichen oder Einzelentnahmen gegeben ist.

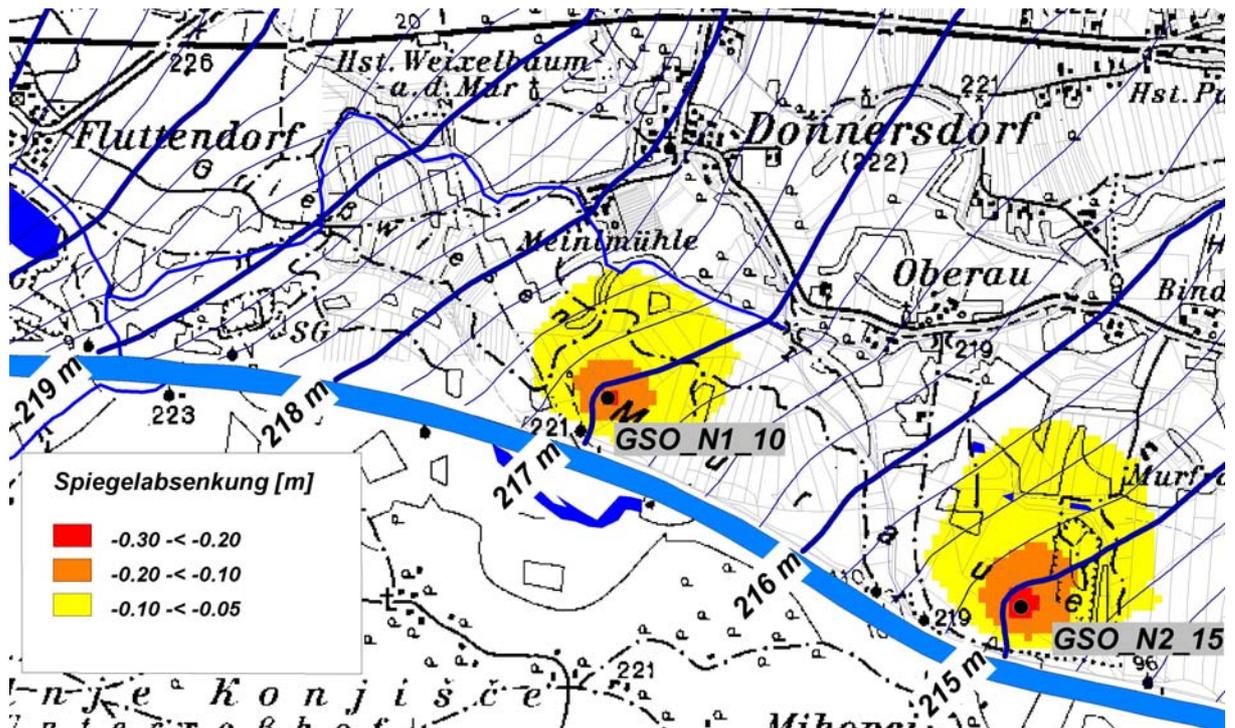


Abb. 136: Darstellung der flächenhaften mittleren Grundwasserspiegelabsenkung durch die Entnahme an den beiden optimierten neuen Brunnenstandorten mit den Linien gleicher Grundwasserspiegellagen bei Niederwasserverhältnissen.

Die Grundwasserqualitätssituation im Unteren Murtal ist durch erhöhte Werte der Nitratkonzentration und einer – zumindest in der Vergangenheit – zeitweisen Überschreitung der zulässigen Höchstkonzentrationen bei Pflanzenschutzmitteln gekennzeichnet. Die Nitratverhältnisse im Unteren Murtal und deren flächenhafte Verteilung wurden umfassend in FANK (1999e) und FANK et al. (2000) beschrieben und lassen für die geplanten Brunnenstandorte Konzentrationen von etwa 30 mg/l erwarten. So zeigen die Mittelwerte der Nitratkonzentration des Jahres 1997 an der Messstelle UM AU 10 in ähnlicher hydrogeologischer Position einen Wert von 26 mg/l und Atrazinkonzentrationen unter der Nachweisgrenze. Die mittlere Nitratkonzentration des Jahres 1997 an der WGEV-Messstelle 61506132 in Donnersdorf, also im direkten Anstrombereich des geplanten Brunnenstandortes GSO_N2_15 lag bei 32 mg/l – in gleicher Höhe lag die Konzentration an der Messstelle 61506152 in Unterau.

Die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration und der Gehalte an Atrazin und Desethylatrazin im Nahbereich der geplanten Brunnenstandorte ist anhand der Messdaten an der WGEV-Messstelle 61506132 für den Zeitraum 1992 bis 1999 in Abb. 137 dargestellt. Die Nitratwerte im Untersuchungsgebiet (allerdings auf der Niederterrasse, im Bereich des Auwaldes liegen die Werte generell niedriger) lagen zu Beginn der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts bei etwa 50 mg/l und stiegen in den Jahren 1994 und 1995 auf über 70 mg/l an. Ursache dafür waren die Trockenjahre 1992 und 1993 in denen sich in der ungesättigten Zone höhere Nitratvorräte ansammelten, die in den darauf folgenden Jahren mit höherer Grundwasserneubildung in das Grundwasser ausgewaschen wurden. In weiterer Folge ist die Nitratganglinie durch einen signifikanten Rückgang gekennzeichnet, was ab

Mitte 1996 – nach der intensiven Neubildungsphase aufgrund der großen Schnee- und Regenmengen Ende März bis Anfang April – zu einem dauernden Unterschreiten der zulässigen Höchstkonzentration von 50 mg/l führte. Ab Ende 1996 lagen die Nitratwerte dauerhaft zwischen 30 und 40 mg/l.

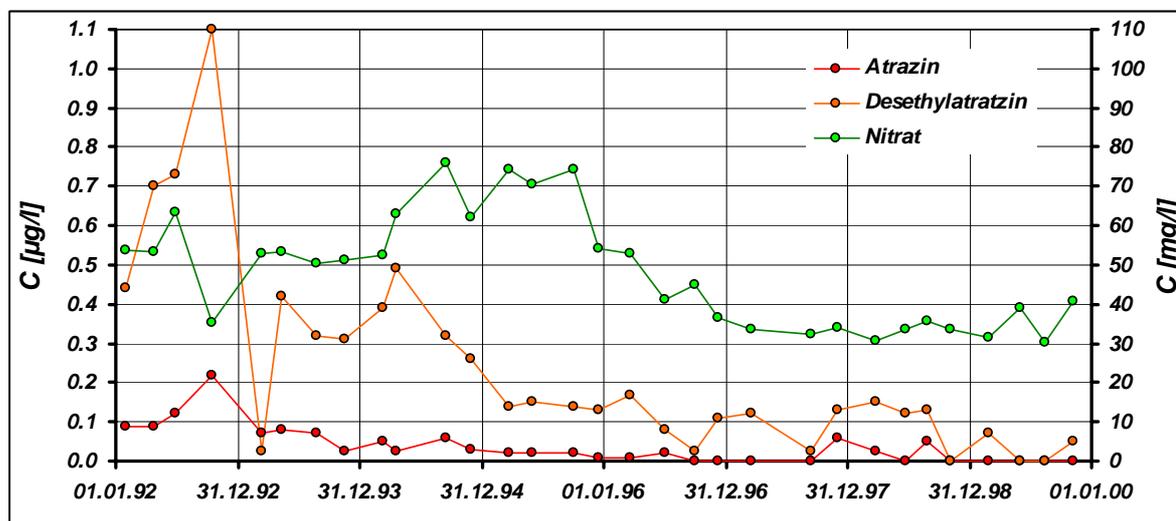


Abb. 137: Zeitliche Entwicklung der Nitrat-, Atrazin- und Desethylatrazinkonzentration an der WEG-Messstelle 61506132 in Donnersdorf

Die Ganglinie der Atrazinkonzentration zeigt nach den Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentration von 0.1 µg/l im Jahr 1993 ebenfalls einen signifikanten Rückgang, wobei ab etwa 1996 zu den meisten Messterminen die Konzentrationen unter der Nachweisgrenze zu liegen kamen. Ähnlich – allerdings auf einem höheren Niveau – verläuft auch die Ganglinie der Desethylkonzentration im Grundwasser an der Messstelle 61506132. Nach dem Spitzenwerten im Jahr 1993 (> 1 µg/l) folgte ein deutlicher Rückgang, der im Jahre 1995 konstante Werte < 0.2 µg/l erreichte. Während in den Jahren 1996 bis 1998 die zulässige Höchstkonzentration von 0.1 µg/l nur an einigen Messterminen unterschritten wurde, wurde diese ab Herbst 1998 kontinuierlich unterschritten.

Aus diesen Auswertungen ist abzuleiten, dass die Grundwasserqualität hinsichtlich der Problemparameter des Grundwassers in den Schotterfüllungen des Murtales auch im Bereich der Niederterrasse ab Herbst 1998 von untadeliger Qualität ist. Im Bereich des Auwaldes, in dem die geplanten Brunnenstandorte gelegen sind, ist aufgrund des fehlenden Eintrages an Problemstoffen über die Sickerwasserfracht und die Konzentrationsverminderung wegen des Mischungseffektes mit noch geringeren Konzentrationen zu rechnen.

7 Zusammenfassung

Der Schutz des Grundwassers ist nicht nur eine vom Gesetzgeber geforderte Pflicht, sondern im Sinne der nachhaltigen Nutzung von Grundwasserreserven auch ein wichtiges Anliegen der

Wirtschaft, der Gesellschaft und auch der Ökologie. Die Wirkungsweise von Maßnahmen zum Schutze des Grundwassers müssen unter Beachtung der lokalen Besonderheiten untersucht werden, um denjenigen, die durch diese Unterschützstellung Einbußen zu erleiden haben (z.B. Landwirtschaft) die Notwendigkeit und die Bedeutung der Bewirtschaftungseinschränkungen näher bringen zu können. Die Ergebnisse des Projektes erlauben es, Maßnahmen gezielt zu setzen und auch die notwendigen wirtschaftlichen Einschränkungen der Landwirtschaft über Modellsimulationen besser bewerten zu können. Ziel des Projektes war die Schaffung von Grundlagen über das Verhalten des murnahen Grundwassersystems und die Klärung der Zusammenhänge zwischen Oberflächengewässer und Grundwassersystem mit allen ihren quantitativen Folgen.

Aufbauend auf intensiven Voruntersuchungen lag der Arbeitsschwerpunkt in der Erstellung und Kalibrierung eines instationären Strömungsmodells unter Berücksichtigung der Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer bei zeitlich instationären Verhältnissen über einen Zeitraum von 3 Jahren (1993 bis 1995). Aufgrund der Weiterentwicklung des Kenntnisstandes im Bereich der Grundwasserhydrologie und der numerischen Modellierung von Aquifersystemen, in denen die Erneuerung zu einem gewichtigen Teil aus der Neubildung über infiltrierende Niederschlagswässer erfolgt, war es notwendig die Grundwassererneuerung über das Sickerwasser in einem Bodenwasserhaushaltsmodell zu berechnen. Diese Modellierung benötigt eine entscheidende Erweiterung der Datenbasis, um deren Abhängigkeit von Meteorologie, Boden, Landnutzung und Bewirtschaftung auch nur annähernd beschreiben zu können.

Das Grundwasserströmungsmodell „Unteres Murtal“ wurde unter Berücksichtigung der Grundwasserneubildung aus infiltrierenden Niederschlägen – berechnet auf Tagesbasis mit Hilfe des Bodenwasserhaushaltsmodells SIMWASER unter Berücksichtigung

- der Variabilität der meteorologischen Verhältnisse (aus der Modelldatenbasis)
- der Landnutzung (aus Satellitenbilddaten) und der daran gekoppelten unterschiedlichen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweise,
- der bodenphysikalischen Parameter der räumlich variablen Bodenformen und Horizontierung (abgeleitet aus Bodenkartierungsergebnissen)

-, der instationären Wechselwirkung des Grundwassers mit den Oberflächengewässersystemen und den Grundwasser-Entnahmen aus den kommunalen und regionalen Wasserversorgungsanlagen auf Tagesbasis kalibriert und Sensitivitätsanalysen hinsichtlich der Bedeutung der unterschiedlichen Teilkomponenten durchgeführt. Grundwasser – Bilanzberechnungen wurden für unterschiedliche Zeiteinheiten und für unterschiedliche Bilanzgebiete erarbeitet.

Aufbauend auf dieses numerische Modell wurden Simulationen gerechnet, die die Auswirkung der konsentierten Wasserentnahmen an den kommunalen Brunnenstandorten im Unteren Murtal auf die

Grundwasserverhältnisse bei unterschiedlichen Spiegellagen durch eine statistische Auswertung der Grundwasserspiegellagen an allen Modellknoten über den gesamten Modellierungszeitraum beschreiben. Aus den Ergebnissen der instationären Modellrechnung wurden die „wahren“ Brunneneinzugsgebiete bei Entnahme der Konsensmenge berechnet. Dazu war es notwendig ein neues Verfahren zur Auswertung von Brunneneinzugsgebieten und Grundwasserverweilzeiten im Zustrombereich von Wasserfassungen auf der Basis der Stromlinien der Grundwasserströmung zu entwickeln und in die Modellsoftware FEFLOW zu implementieren. Als Grundlage für eine Reorganisation der Schutz- und Schongebiete wurden die Einzugsgebiete der kommunalen und regionalen Wasserversorgungsanlagen im Unteren Murtal berechnet und dargestellt.

Hinsichtlich der Grundwasserqualität stellen im Untersuchungsgebiet flächenhaft ausschließlich der Landwirtschaft zuzuordnende Stoffe Problemparameter dar. Aus diesem Grund wurde für typische Böden und der dominierenden landwirtschaftlichen Nutzung (Mais mit winterharter Gründেকে) der Nitrataustrag in das Grundwasser über das Stofftransportmodell STOTRASIM für einen Zeitraum von 13 Jahren (1983 bis 1995) simuliert und durch eine Zuordnung der Böden des Untersuchungsgebietes zu den Hauptbodenformen – basierend auf den Auswertungen der Bodenkartierung – eine Nitrataustragsgefährdungskarte der ungesättigten Zone erstellt. Die Kalibration des Stickstofftransportmodells erfolgte an Lysimeterstandorten im Leibnitzer Feld (Wagna, St. Georgen a.d. Stiefing).

Da bis dato eine direkte Koppelung des Bodenwasserhaushaltsmodells mit dem Grundwasserströmungsmodell noch nicht existiert, ist zwar die Grundwasserneubildung über sequentielle Abarbeitung der einzelnen Teilprozesse – aufgrund des dominanten „Piston Flow Effektes“ - berechenbar, der Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone wird aber in einer stationären Berechnungsebene ausgegeben. Allein aufgrund der Grundwasserspiegelschwankungen von etwa 2 m im Jahr ist dadurch eine Zeitverschiebung des Auftreffens von Nitrat aus der berechneten Bilanzebene (1.5 m) bis zum Grundwasserspiegel bei den hier herrschenden hydrogeologischen Rahmenbedingungen von bis zu 2 Jahren gegeben. Eine direkte Modellierung des Nitratflusses von der Oberfläche bis in das Grundwasser und weiter in die Vorflut ist damit mit den derzeit existierenden Werkzeugen in einem regionalen Skalenbereich nicht möglich, eine Entwicklung und Adaptierung der notwendigen Tools ist aber für die nächsten Jahre vorgesehen (und auch unabdingbar notwendig). Um aber trotzdem die Verteilung der Nitratkonzentration im Untersuchungsgebiet detailliert beschreiben zu können, wurde diese mit Hilfe statistischer und geostatistischer Modelle untersucht und beschrieben, wobei neben der Verteilung selbst auch die Einflussnahme der Grundwasserströmung in das Modell inkorporiert und die Wechselwirkungen untersucht wurden. Aufgrund der diffusen Eintragungssituation von Stickstoff über die ungesättigte Zone in den Grundwasserleiter und der Differenz zwischen dem lokalen Eintragungsgeschehen, welches jedenfalls dreidimensionalen Charakter hat und der tiefengemittelten Betrachtung der Ergebnisse hydrochemischer Analysen des Grundwassers gibt es keine lokale Ursache – Wirkung – Beziehung

zwischen Eintragsquelle und Grundwasserqualität. Hinsichtlich der Nitratkonzentration im Grundwasser muss davon ausgegangen werden, dass der wirkliche Eintrag im Sinne eines Massenflusses (derzeit) nicht bekannt ist und die entsprechende räumliche und zeitliche Verteilung nur durch eine Prozessmodellierung ermittelt werden kann. Möglicherweise könnte eine räumlich differenzierte Bilanzierung des Nitratflusses diesem Optimierungsziel näher kommen. Der Aufwand der Prozessmodellierung des Nitrateintrags in das Grundwasser kann durch stochastische Simulation oder durch Clusterung homogener Teilflächen verringert werden. Unbekannt ist der Nitrateintrag aus nicht durch Ackerbau und Grünland genutzten Flächen, dieser kann aber aus Bilanzüberlegungen und der Mischungsgleichung abgeschätzt werden (vgl. dazu FANK, 1999).

Aus heutiger Sicht besteht nur die Möglichkeit auf der Basis aller verfügbaren Nitratmessungen eine geostatistische Interpolation der Verteilung im Grundwasser durchzuführen und für die Interpretation dieser Karte Zusatzinformationen wie das Grundwasserströmungsbild, die Bodenformenverteilung, die Landnutzung, die Nitrataustragsgefährdung der Böden analytisch – interpretativ zu nutzen. Für den Grundwasserbereich selbst wurde mittels geostatistischer Modellierung die Verteilung der Nitratkonzentration als Mittelwert des Jahres 1997 ausgewertet und dargestellt.

Die Ergebnisse der Grundwasserströmungssimulation bildeten in Kombination mit den Ergebnissen der Stickstofftransportmodellierung in der ungesättigten Zone und der geostatistisch geschätzten Verteilung der Nitratkonzentration im Unteren Murtal die Grundlage für die Abgrenzung von Intensivberatungsgebieten für die Landwirtschaft um langfristig die Grundwasserqualität in wasserwirtschaftlich relevanten Teilbereichen zu sichern. Derartige Intensivberatungsgebiete wurden im Raum Mureck – Eichfeld und im Raum Dedenitz eingerichtet.

Basierend auf dem hier entwickelten Grundwassermodell wurden auch Simulationsrechnungen durchgeführt, um die Möglichkeit der zusätzlichen Erschöpfung von Trinkwasserressourcen für die überregionale Versorgungssicherung zu erkunden. Dabei zeigte sich in besonders eindrucksvoller Weise die Bedeutung der instationären Modellierung und die neuen Möglichkeiten der Erarbeitung von Brunneneinzugsgebieten im Vorfeld von experimentellen Untersuchungen – auch im Hinblick auf eine effizientere Planung dieser. Als entscheidender Beitrag waren auch die Auswertungen über die Stofftransportmodellierung in der ungesättigten Zone, die Existenz der Nitrataustragsgefährdungskarte und die Abschätzung der flächenhaften Nitratbelastung zu sehen. Die hydrochemische Datenbank mit den Schnittstellen zur on-line Visualisierung der zeitlichen Entwicklung von Parameterwerten aus dieser Datensammlung war ein bedeutendes Hilfsmittel im Rahmen von Beratungsgesprächen und bei Informationsveranstaltungen.

Generell wird das Verhalten des Grundwasserkörpers im Unteren Murtal durch die dominanten Komponenten Mur – als hydraulisches Steuerelement für die Grundwasserspiegellage - , die Interaktion Grundwasser – Seitenzubringer und die flächenhafte Grundwassererneuerung über infiltrierende Niederschläge gesteuert. Die Verteilung der Durchlässigkeiten – als Ergebnis der

Sedimentationsgeschichte des Tales verstärkt die Auswirkung der Systemkomponenten auf die Spiegellagenentwicklung. Alle relevanten Prozesse im Grundwassersystem sind hochgradig instationär – längerfristig konstante Verhältnisse sind praktisch nicht anzutreffen. Dies bedeutet, dass „realitätsnahe“ Aussagen über die Auswirkung von Maßnahmen auf das Grundwassersystem nur aus den Ergebnissen der instationären Modellierung getroffen werden sollten.

Graz, 18. November 2002

Univ. Doz. Dr. Johann Fank

(Projektleiter)

8 Literatur

- AHMED & DE MARSILY (1987): Comparison of Geostatistical Methods for Estimating Transmissivity Using Data on Transmissivity and Specific Capacity. *Water Res. Research*, 23, p. 1717-1737
- ARMSTRONG (1994): Problems with Universal Kriging. *J. of the Intern. Ass. for Math. Geol*, 16, p. 101-108
- CRESSIE, N. (1992): *Statistics for spatial data*. 900 S., John Wiley and Sons. New York. Chichester.
- DARCY, H. (1856): *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon*, Dalmont, Paris.
- FANK J. (1998): Nassbaggerung Mureck. Hydrogeologische Bewertung der Auswirkung auf die Grundwasserspiegellage. - Unveröff. Bericht, Inst. f. Hydrogeologie und Geothermie JOANNEUM RESEARCH, 11 S., Graz.
- FANK J. (1999) Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment - Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). *Beiträge zur Hydrogeologie*, 49/50, 101-388.
- FANK J. (1999a): Die Verteilung der (kritischen) Bodenformen im Grazer Feld, Leibnitzer Feld und Unteren Murtal sowie eine Neuklassifizierung der Nitratstragsgefährdung der Böden basierend auf Modellberechnungsergebnissen. - Vortrag im Rahmen der 2. Informations- und Fortbildungsveranstaltung "Landwirtschaftliche Umweltberatung" am 29. 01. 1999, Leibnitz.
- FANK J. (1999b): Die qualitative Grundwassersituation im Grazer Feld, Leibnitzer Feld und Unteren Murtal hinsichtlich der Nitratkonzentrationen in Abhängigkeit von Bodenformen und Landnutzung. - Vortrag im Rahmen der 2. Informations- und Fortbildungsveranstaltung "Landwirtschaftliche Umweltberatung" am 29. 01. 1999, Leibnitz.
- FANK J. (1999c): Ergebnisse von Wagna, kritische Bodenformen hinsichtlich der Nitratstragsgefährdung und qualitative Situation des Grundwassers im Raum Eichfeld, Mureck. - Vortrag im Rahmen des Tages der Schongebietsbauern am 09. 02. 1999, Eichfeld.
- FANK J. (1999d): Ergebnisse von Wagna, kritische Bodenformen hinsichtlich der Nitratstragsgefährdung und qualitative Situation des Grundwassers im Raum Bad Radkersburg. - Vortrag im Rahmen des Tages der Schongebietsbauern am 22. 02. 1999, Bad Radkersburg.
- FANK, J. (1999e): Zur Nitratproblematik im Murtal südlich von Graz. - Bericht der BAL über die 8. Lysimetertagung "Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft" vom 13. bis 14. April 1999, 5-9, Gumpenstein.
- FANK J. (2002): Untersuchung möglicher Brunnenstandorte im Unteren Murtal (Gemeindegebiet Halbenrain) basierend auf den Ergebnissen des Grundwasserströmungsmodells "Unteres Murtal". - Unveröff. Bericht, Inst. f. Hydrogeologie und Geothermie JOANNEUM RESEARCH, 18 S., Graz.
- FANK J. & FEICHTINGER, F. (1998): Grundwasserneubildung und Nitratstrag auf typischen Bodenformen der Süd- und Südoststeiermark. - Modellberechnung "Stotrasim". - Unveröff. Bericht, Inst. f. Hydrogeologie und Geothermie JOANNEUM RESEARCH, Graz.

- FANK J., K. FUCHS & H. KUPFERSBERGER (2000): Raum-Zeitmodelle und deren Anwendbarkeit auf Grundwasserqualitätsdaten (Nitrat). EFP-Nr. 1083. - Unveröff. Bericht, Inst. f. Hydrogeologie und Geothermie & Inst. f. Angewandte Statistik und Systemanalyse, JOANNEUM RESEARCH, 30 S., Graz.
- FANK, J., G. GOMBOCZ, H.P. LEDITZKY, W. POLTNIG, F. REISS & G. ROCK (1994): Grundwassermodell „Unteres Murtal“. Grundlagenerhebung. - Unveröff. Ber. d. Inst. f. Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, 57 S, Anhang A, Anhang B, 15 Beilagen, Graz.
- FANK, J., W. POLTNIG, G. ROCK & E. STENITZER (1998a): Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach. Grundwassersimulation Endbericht. Unveröff. Ber. d. Inst. f. Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH und des Inst. f. Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Graz.
- FANK J., F. REISS, G. ROCK, P. SACCON (1998b): Grundwasserströmungs- und Transportmodell „Unteres Murtal“ zur Erfassung der regionalen Strömungsverhältnisse und der Interaktion von Oberflächengewässern mit dem Grundwasser in einem rezenten Auegebiet – Unveröff. Bericht, Inst. f. Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, Graz
- FUCHS, K. (1996): Statistische Methoden zur Strukturanalyse Raum-/Zeitbezogener Umweltdaten. Diss. TU Graz, 107 S. Graz.
- GATEWAY & HARTFORD (1996): Geostatistical Methods for Incorporating Auxiliary Information in the Prediction of Spatial Variable. JABES, Vol.1 (1), p. 17-39
- HUBBERT, M. K. (1940): The theory of ground-water motion. J. Geol. 4, 785-944.
- ISAAKS, E.H. & R.M. SRIVASTAVA, (1989): An Introduction to Applied Geostatistics. 561 S., Oxford University Press, New York.
- JOURNEL, A.G., & CH.J. HUIJBREGTS (1978): Mining Geostatistics. 600 S., Academic Press, London, New York.
- MEINZER, O. E. (1942): Hydrology, Dover, New York.
- MYERS (1982): Matrix Formulation of Co-kriging. Math. Geol., 13(3), p.249-257.
- PLATTNER J., (1993): Studie über die Auswirkungen der Eintiefungstendenz – Murgrenzstrecke km 95,0 – km 129,55 – Technischer Bericht, WIEN
- SPIEGL H., (1982): Ist-Zustand der Abflussverhältnisse der Mur-Grenzstrecke km 95,0 – km 129,55 – Unveröff. Bericht, Graz.
- STENITZER, E. (1988): SIMWASER - Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitt. Nr. 31 der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen.
- STENITZER, E. (1997): SIMWASER-FORST - Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes unter einem Waldbestand. Manuskript, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen.
- TERZAGHI, K. (1925): Erdbaumechanik auf Bodenphysikalische Grundlage, Deuticke, Wien.4
- ZACH R., (1998): Abflusertüchtigung Mühlbach Mureck-Radkersburg – Unveröff. Bericht, Ligist

ANHANG A

Darstellung der Prognoseergebnisse für die berechneten Simulationsvarianten an den Beobachtungspunkten (vgl. Abb. 72)

- **Darstellungen für jede Messstelle:**
 - **Vergleich von hydrografischen Kennwerte der Prognose-Variante zur Null-Variante**
 - **Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellage über den Schankungsbereich in 0.05 m Klassen. Vergleich der Prognose-Variante zur Null-Variante**
 - **Vergleich der Grundwasserstandsganglinien 1.1.1993 bis 31.12.1995 zwischen Null-Variante und Prognosevariante**
 - **Vergleich der mittleren Jahresgrundwasserstandsganglinien (Periode 1993 bis 1995) aller Simulationsvarianten**
 - **Vergleich der mittleren Jahres-Überschreitungsdauerlinien (Periode 1993 bis 1995) aller Simulationsvarianten**

Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_001

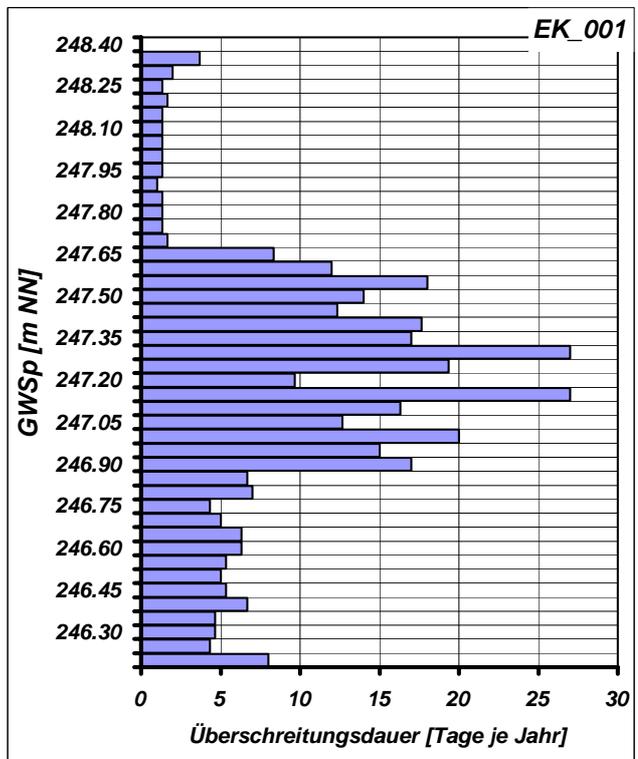
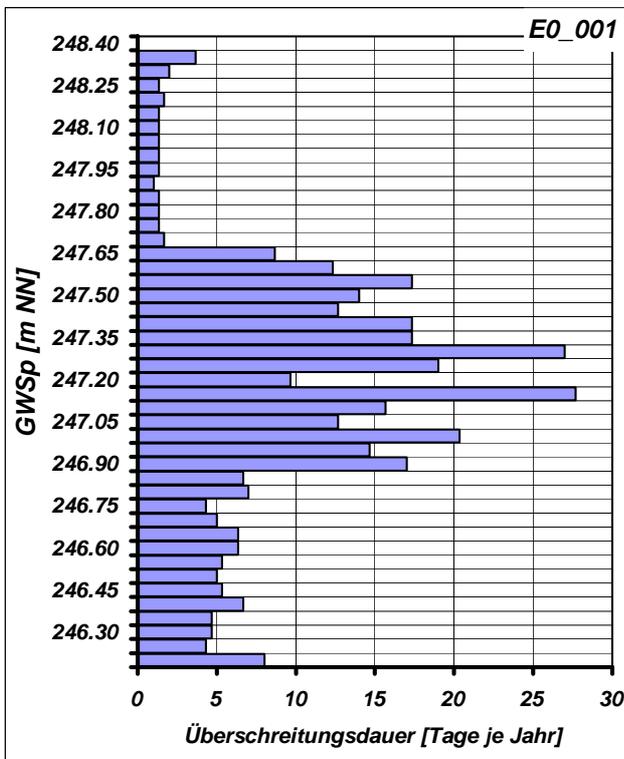
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

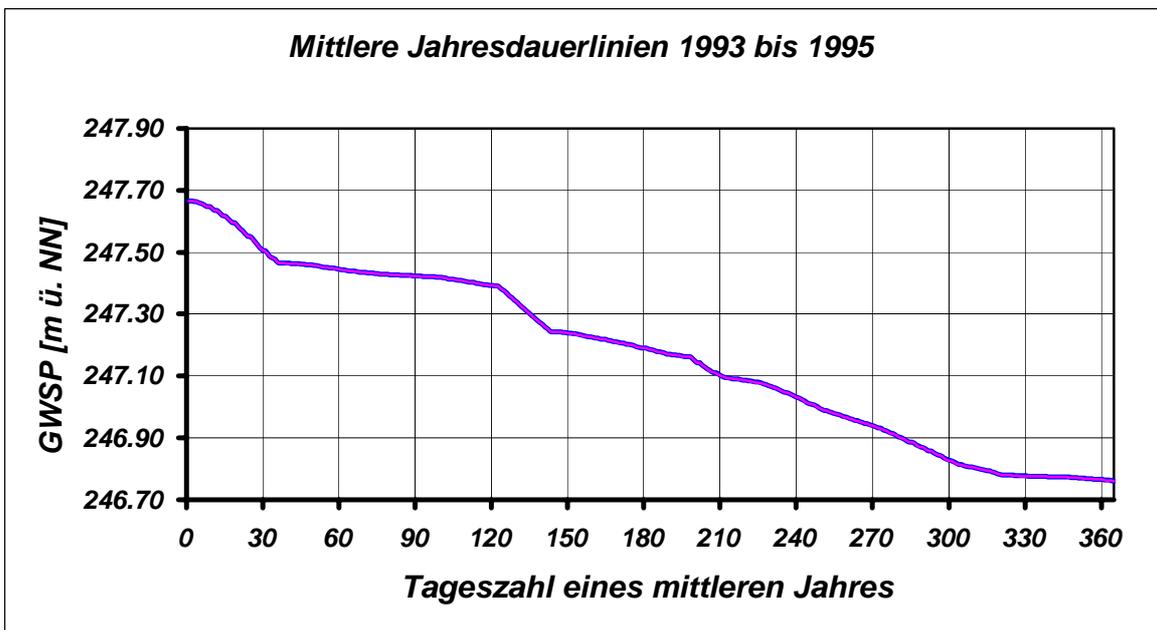
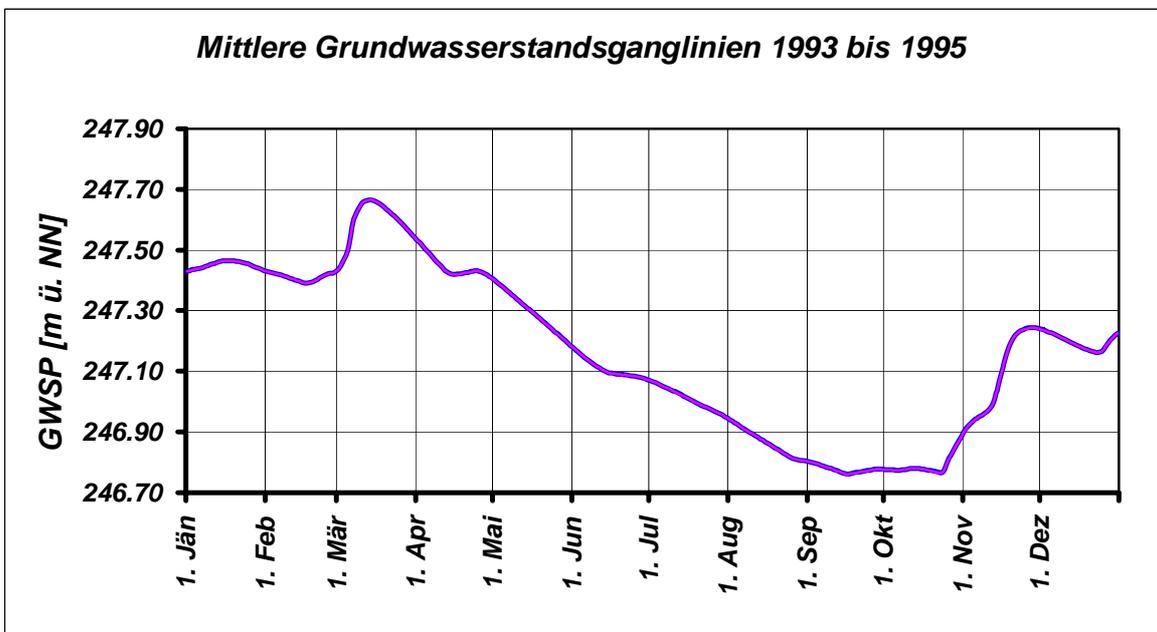
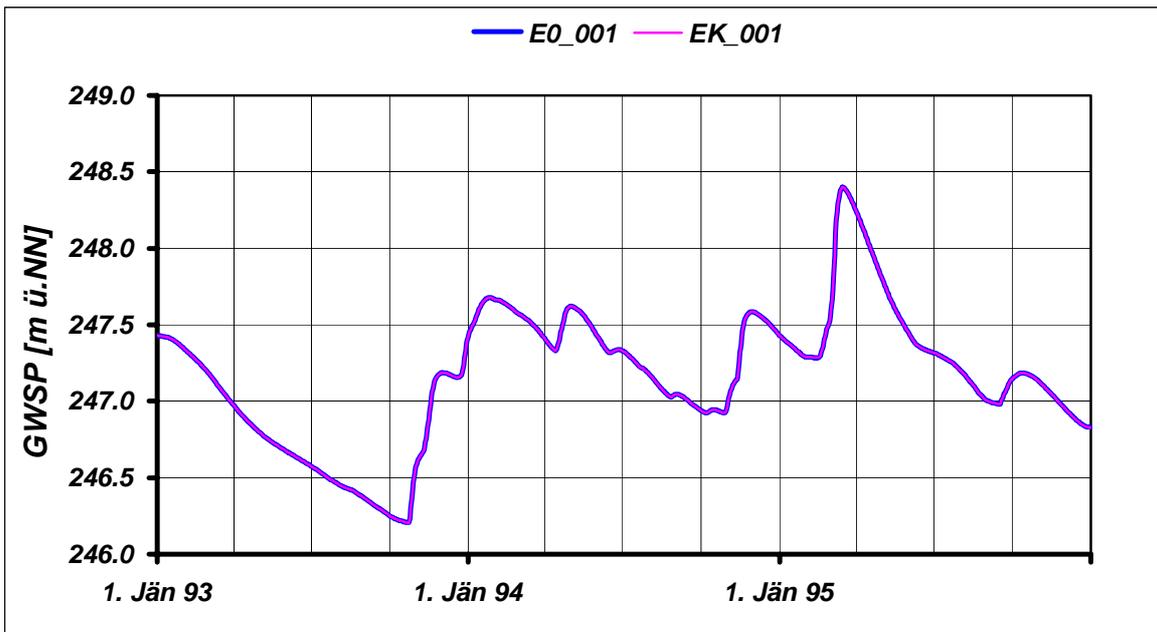
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_001	247.29	247.20	246.98	246.80	246.68	246.58	246.46	246.37	246.25	246.20	246.59	246.83	246.20
NGW [m NN] EK_001	247.29	247.20	246.98	246.80	246.68	246.58	246.46	246.37	246.25	246.20	246.59	246.83	246.20
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HGW [m NN] E0_001	247.68	247.66	248.40	248.23	247.80	247.44	247.33	247.20	247.14	247.19	247.59	247.58	248.40
HGW [m NN] EK_001	247.68	247.66	248.40	248.23	247.80	247.44	247.33	247.20	247.14	247.18	247.59	247.58	248.40
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MGW [m NN] E0_001	247.45	247.41	247.60	247.45	247.30	247.11	247.01	246.87	246.78	246.79	247.09	247.20	247.17
MGW [m NN] EK_001	247.45	247.41	247.60	247.45	247.30	247.11	247.01	246.87	246.78	246.79	247.09	247.20	247.17
MGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_001	247.51	247.45	247.43	247.40	247.24	247.19	247.11	247.03	246.94	246.83	246.78	246.78	246.77
GWSP [m NN] EK_001	247.51	247.45	247.43	247.40	247.24	247.19	247.11	247.03	246.94	246.83	246.78	246.78	246.77
Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





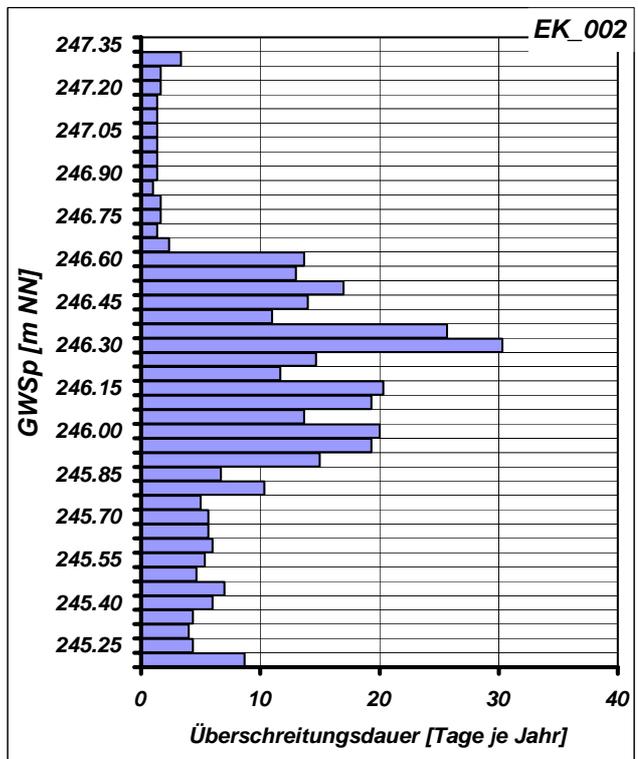
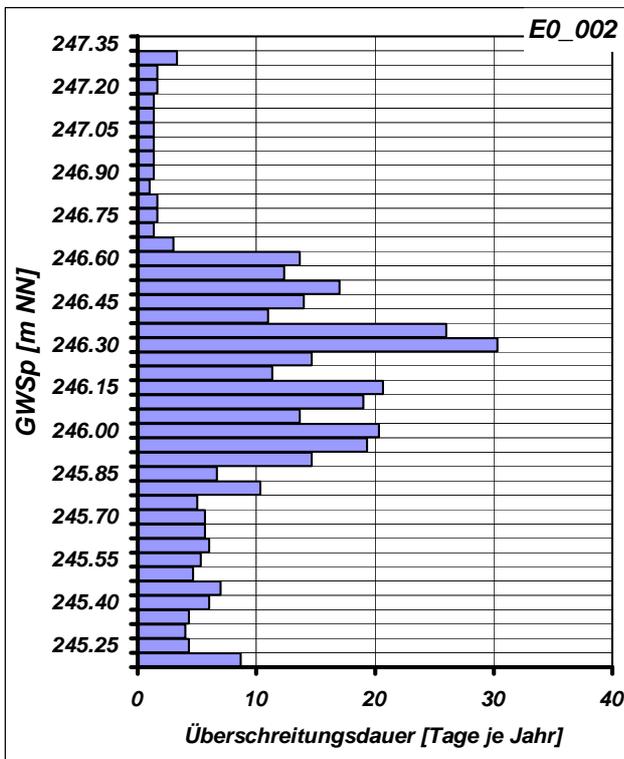
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

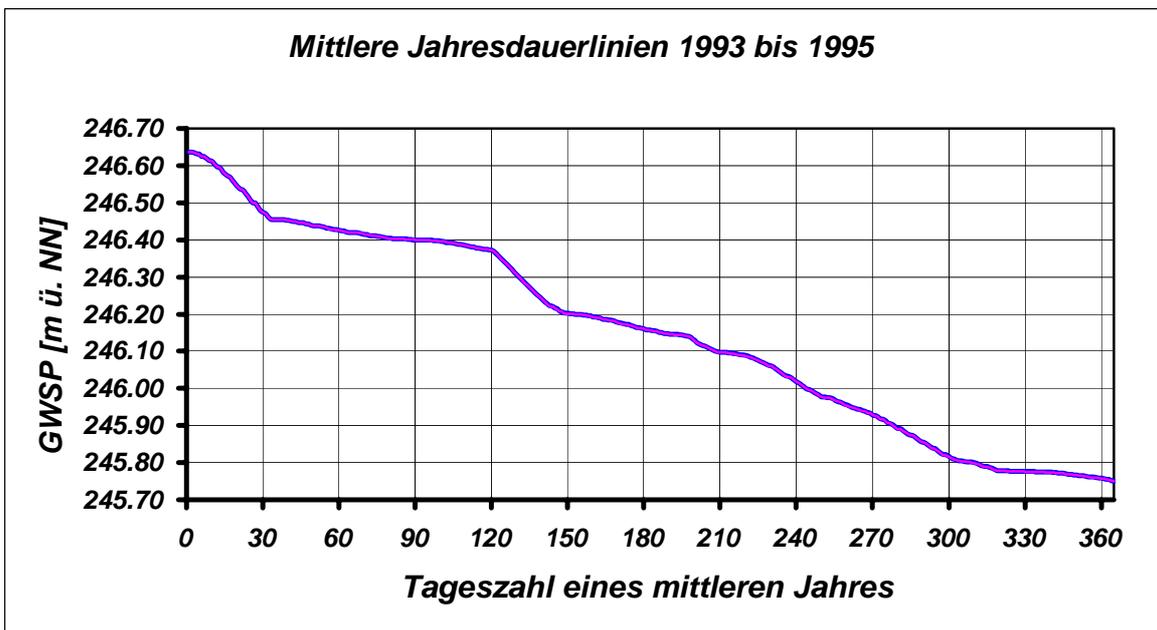
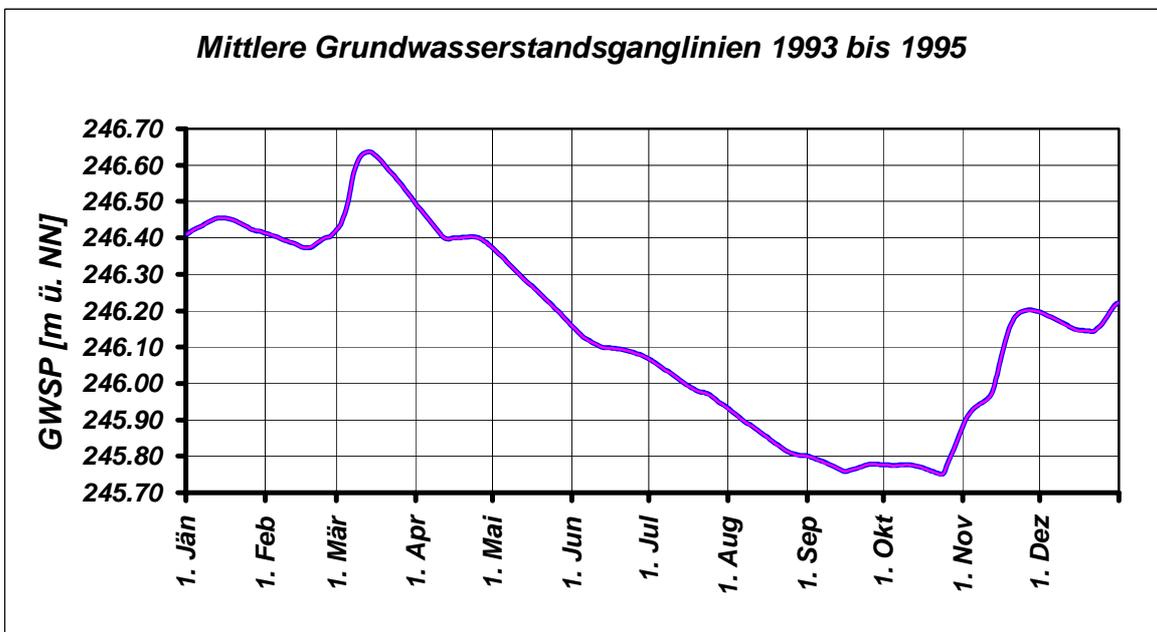
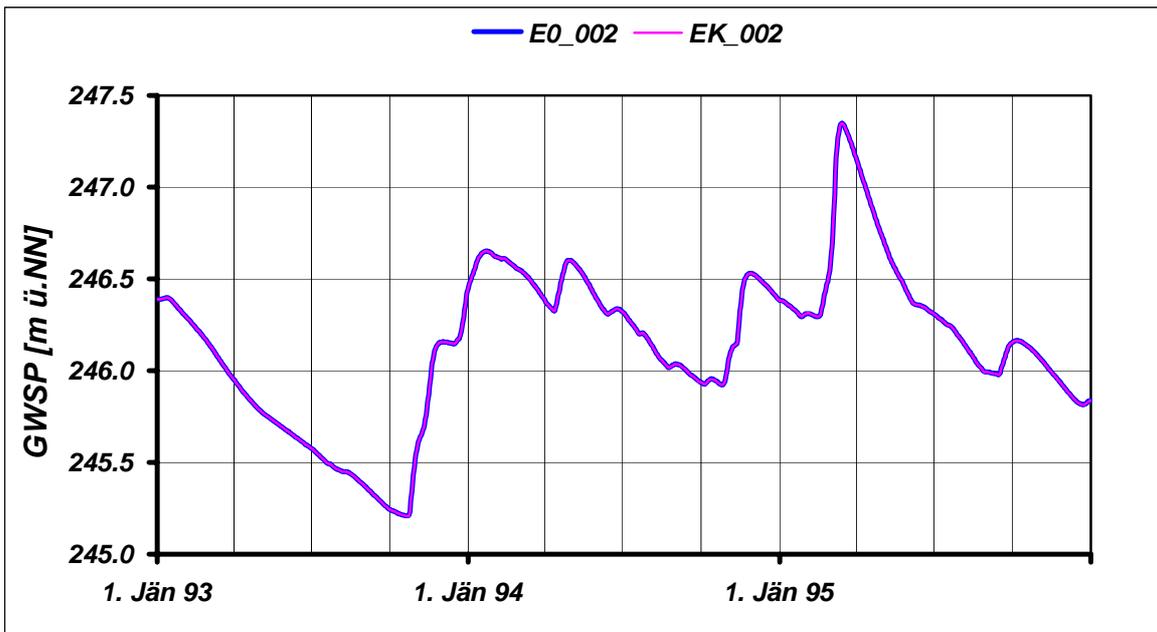
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_002	246.29	246.16	245.95	245.79	245.68	245.58	245.46	245.38	245.24	245.21	245.57	245.82	245.21
NGW [m NN] EK_002	246.30	246.16	245.95	245.79	245.68	245.58	245.46	245.38	245.24	245.21	245.57	245.81	245.21
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HGW [m NN] E0_002	246.65	246.62	247.35	247.15	246.73	246.41	246.32	246.17	246.15	246.16	246.53	246.53	247.35
HGW [m NN] EK_002	246.65	246.62	247.35	247.15	246.73	246.41	246.32	246.17	246.15	246.16	246.53	246.53	247.35
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MGW [m NN] E0_002	246.44	246.39	246.56	246.42	246.27	246.10	246.00	245.86	245.78	245.78	246.07	246.17	246.15
MGW [m NN] EK_002	246.44	246.39	246.56	246.42	246.27	246.10	246.00	245.86	245.78	245.78	246.07	246.17	246.15
MGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_002	246.48	246.43	246.40	246.37	246.20	246.16	246.10	246.02	245.93	245.82	245.78	245.77	245.76
GWSP [m NN] EK_002	246.48	246.43	246.40	246.37	246.20	246.16	246.10	246.02	245.93	245.82	245.78	245.77	245.76
Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_003

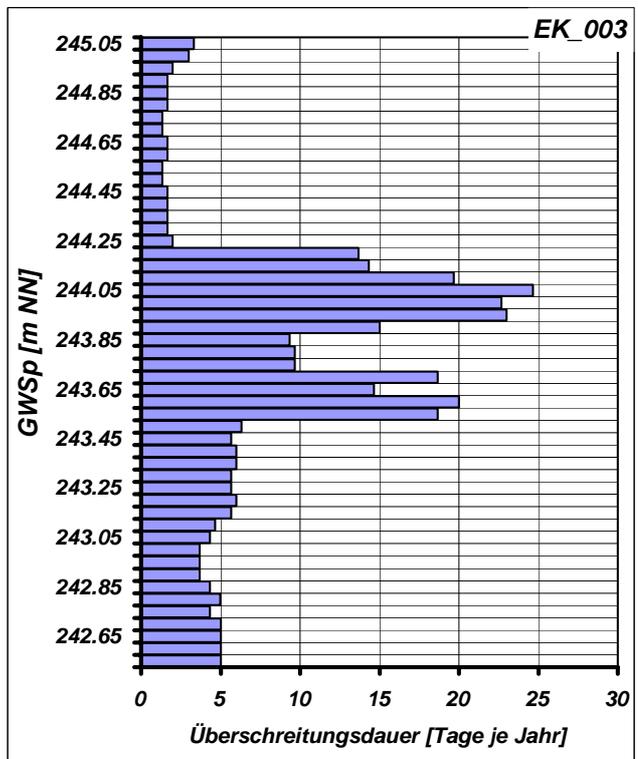
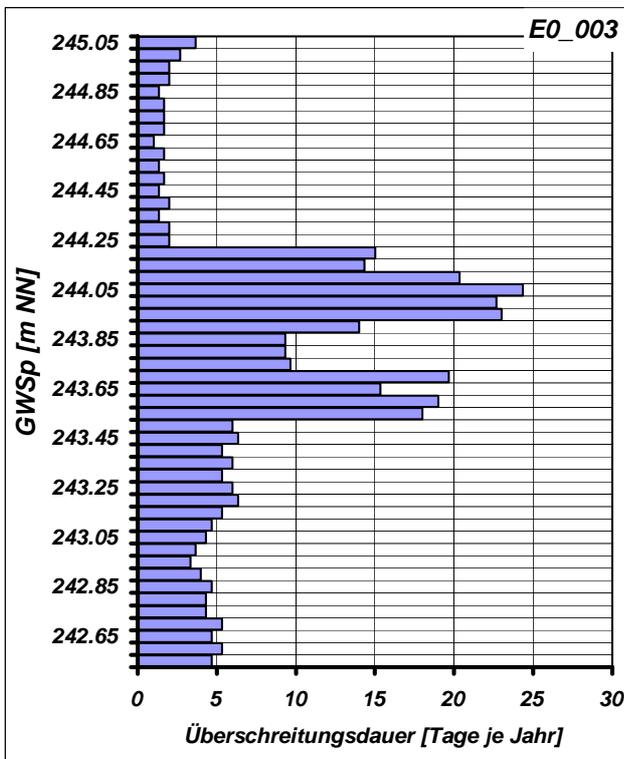
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

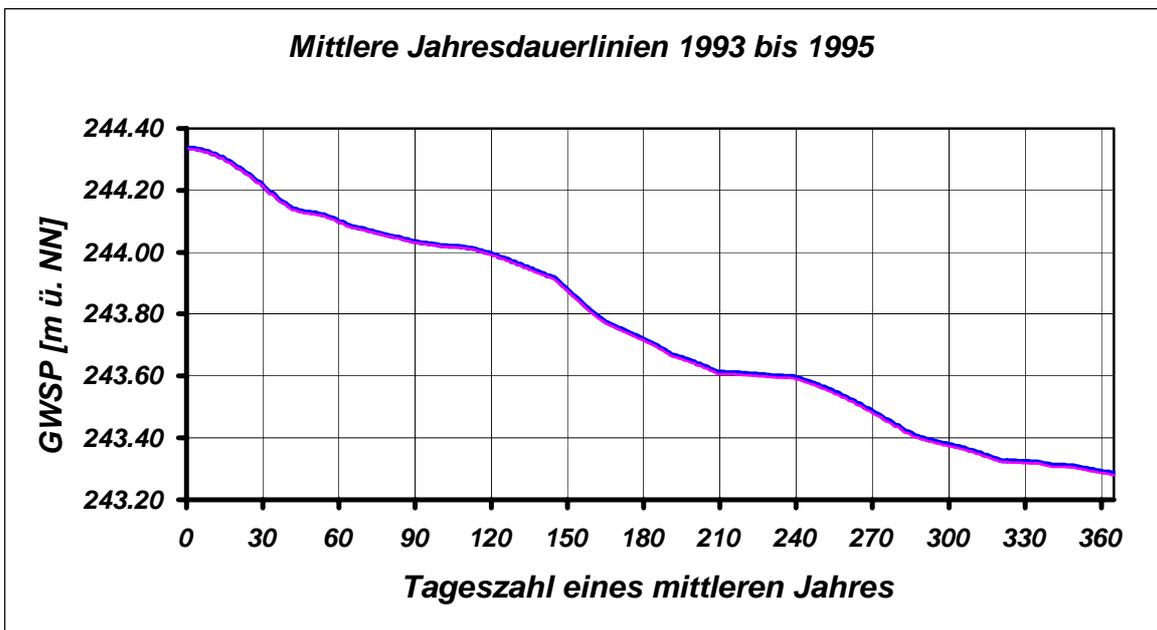
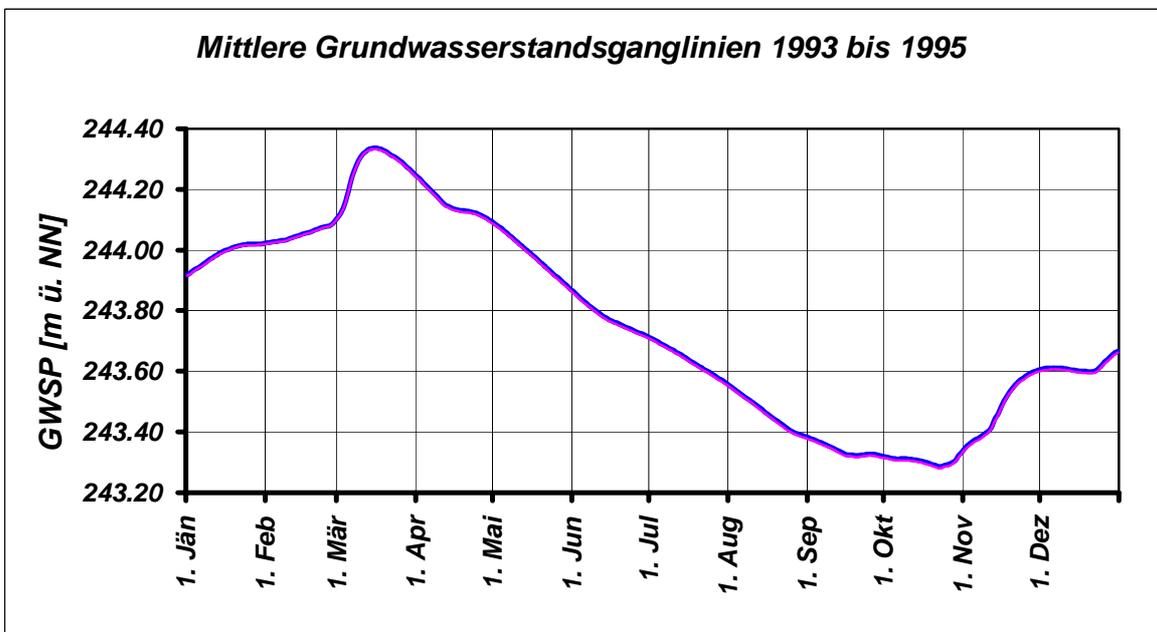
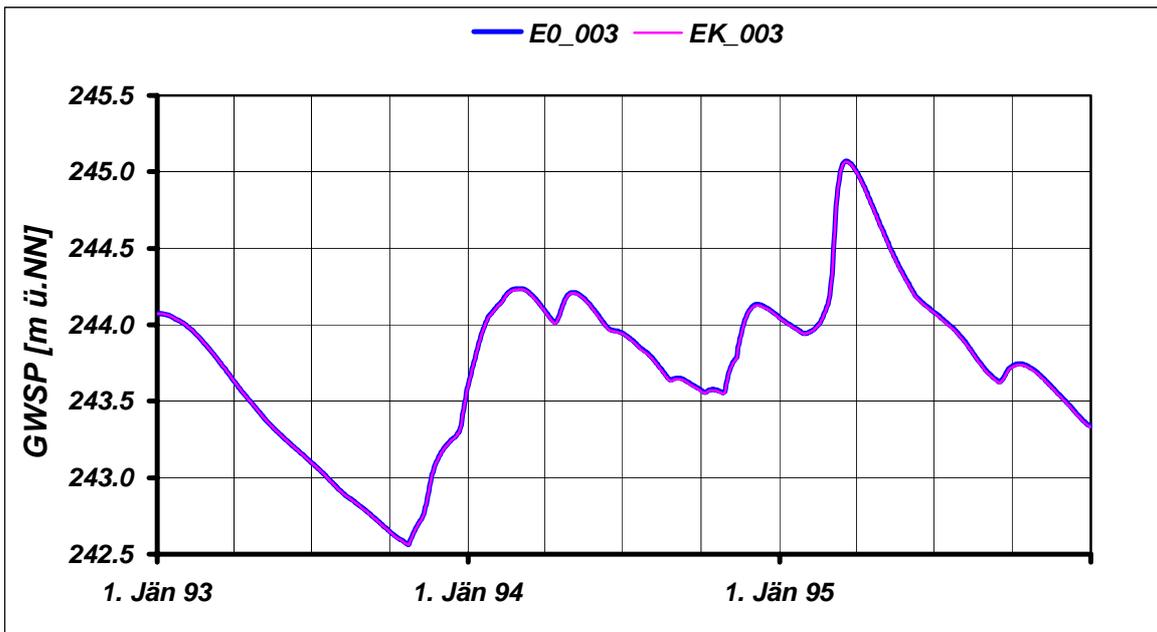
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_003	243.62	243.86	243.64	243.43	243.25	243.10	242.93	242.79	242.65	242.56	242.68	243.18	242.56
NGW [m NN] EK_003	243.62	243.86	243.64	243.43	243.25	243.10	242.93	242.79	242.65	242.56	242.68	243.17	242.56
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HGW [m NN] E0_003	244.10	244.23	245.07	245.00	244.62	244.27	244.08	243.92	243.73	243.74	244.12	244.13	245.07
HGW [m NN] EK_003	244.10	244.23	245.07	244.99	244.62	244.26	244.08	243.92	243.72	243.74	244.11	244.13	245.07
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00
MGW [m NN] E0_003	243.98	244.05	244.27	244.15	243.98	243.77	243.63	243.46	243.34	243.30	243.48	243.61	243.75
MGW [m NN] EK_003	243.98	244.05	244.27	244.14	243.97	243.77	243.63	243.45	243.33	243.30	243.47	243.61	243.75
MGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_003	244.21	244.10	244.03	243.99	243.88	243.72	243.61	243.59	243.48	243.37	243.32	243.31	243.29
GWSP [m NN] EK_003	244.21	244.09	244.03	243.99	243.87	243.71	243.60	243.59	243.48	243.37	243.32	243.30	243.28
Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_004

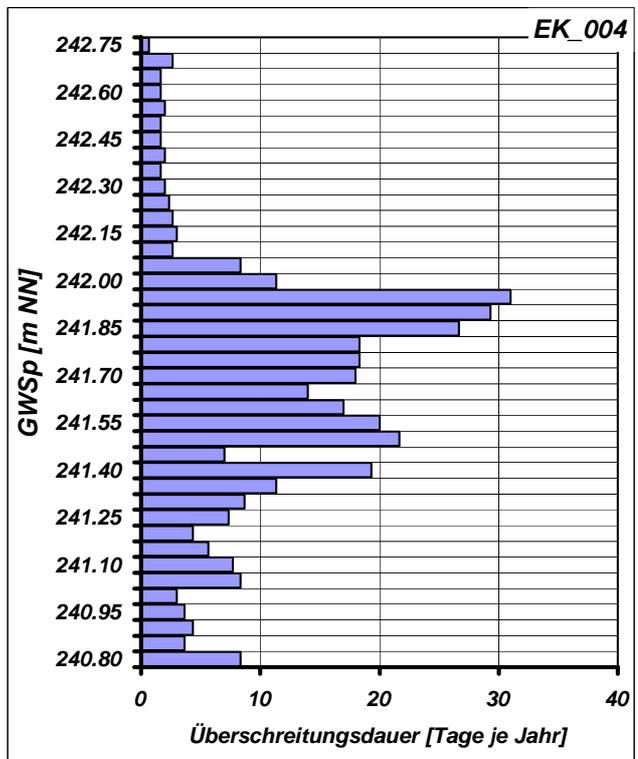
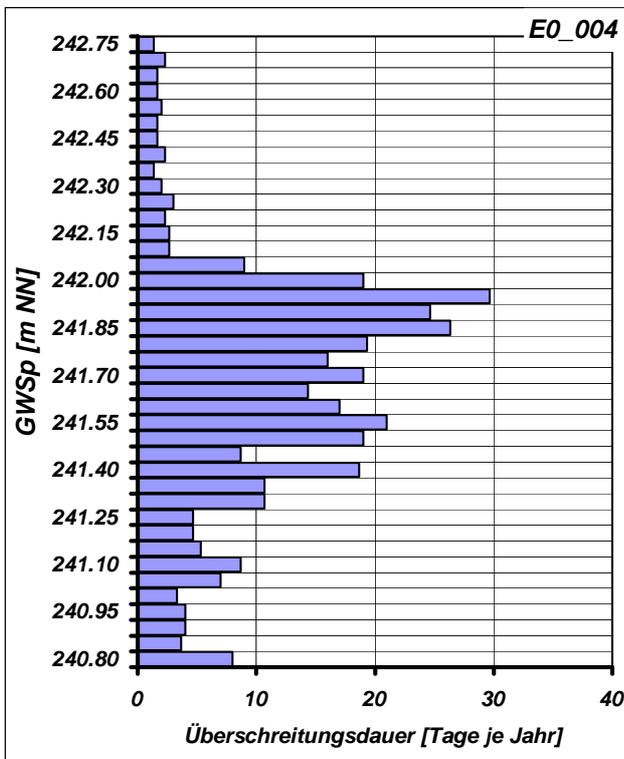
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

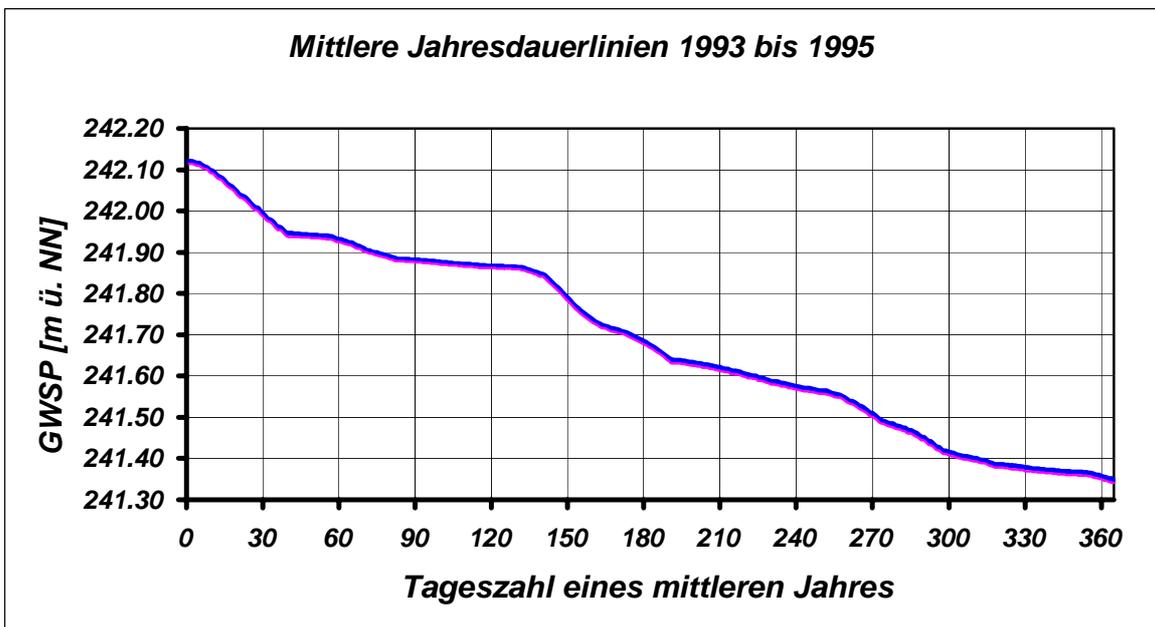
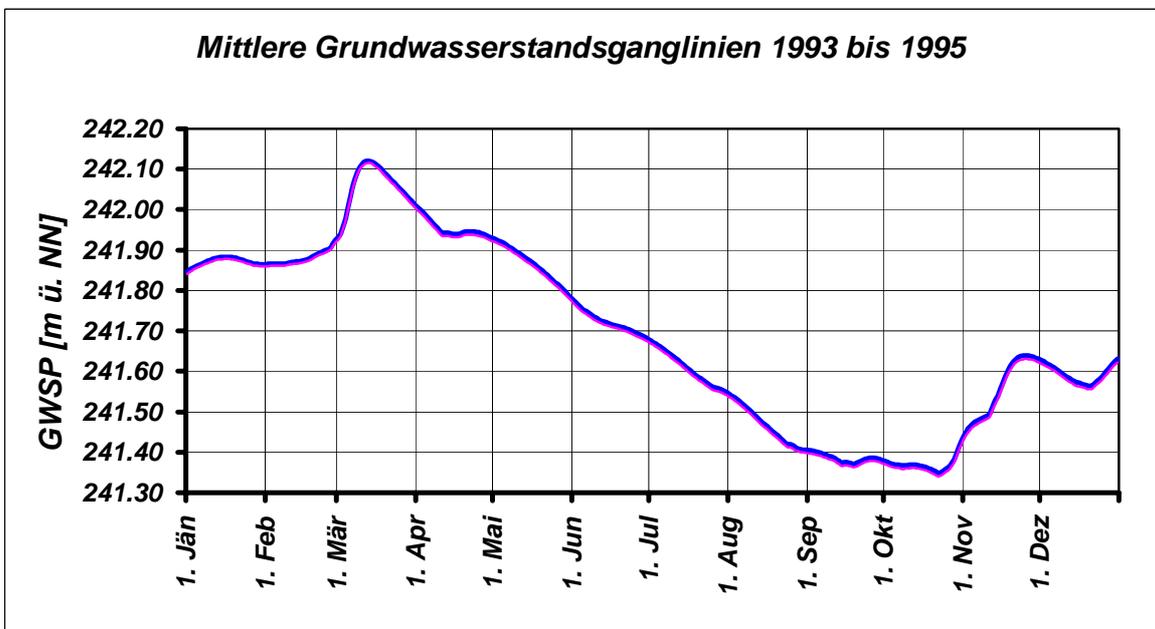
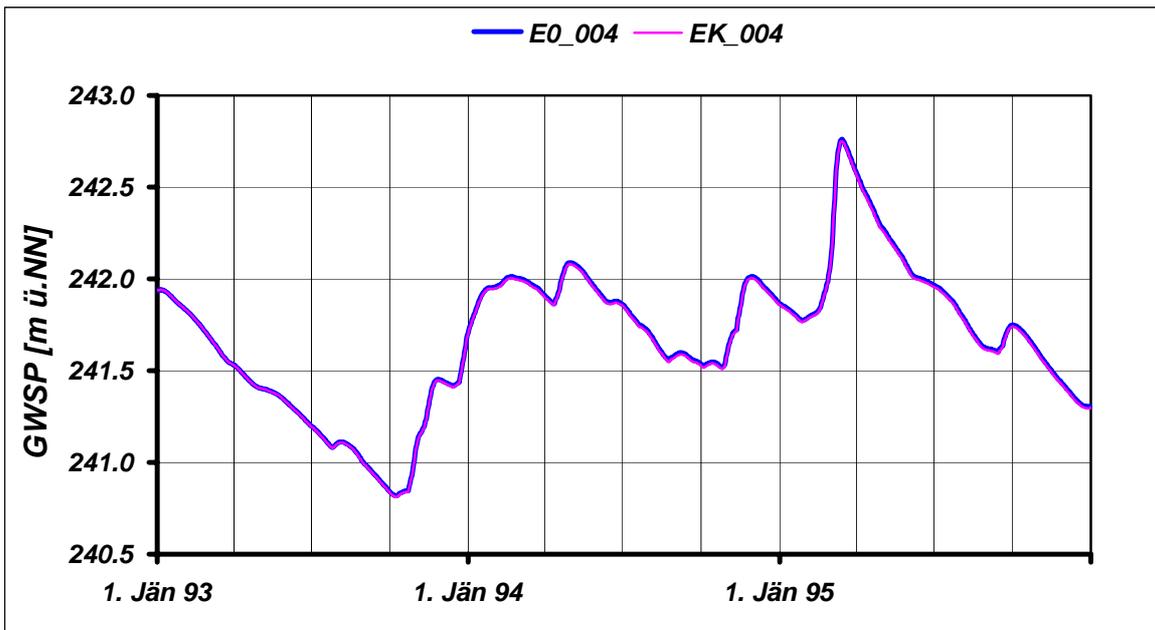
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_004	241.72	241.70	241.53	241.41	241.33	241.20	241.08	241.00	240.84	240.82	241.10	241.30	240.82
NGW [m NN] EK_004	241.72	241.70	241.53	241.41	241.33	241.20	241.08	240.99	240.84	240.81	241.09	241.29	240.81
NGW-Differenz [m]	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
HGW [m NN] E0_004	241.95	242.06	242.76	242.57	242.28	242.05	241.96	241.81	241.75	241.75	242.01	242.01	242.76
HGW [m NN] EK_004	241.95	242.05	242.75	242.56	242.26	242.04	241.95	241.80	241.74	241.74	242.00	242.00	242.75
HGW-Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
MGW [m NN] E0_004	241.87	241.88	242.05	241.95	241.86	241.72	241.60	241.46	241.38	241.37	241.55	241.59	241.69
MGW [m NN] EK_004	241.86	241.87	242.05	241.94	241.85	241.71	241.60	241.45	241.37	241.36	241.54	241.58	241.68
MGW-Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_004	241.99	241.93	241.88	241.86	241.79	241.68	241.62	241.57	241.51	241.41	241.37	241.36	241.35
GWSP [m NN] EK_004	241.98	241.92	241.87	241.86	241.78	241.67	241.61	241.56	241.50	241.40	241.37	241.36	241.35
Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_005

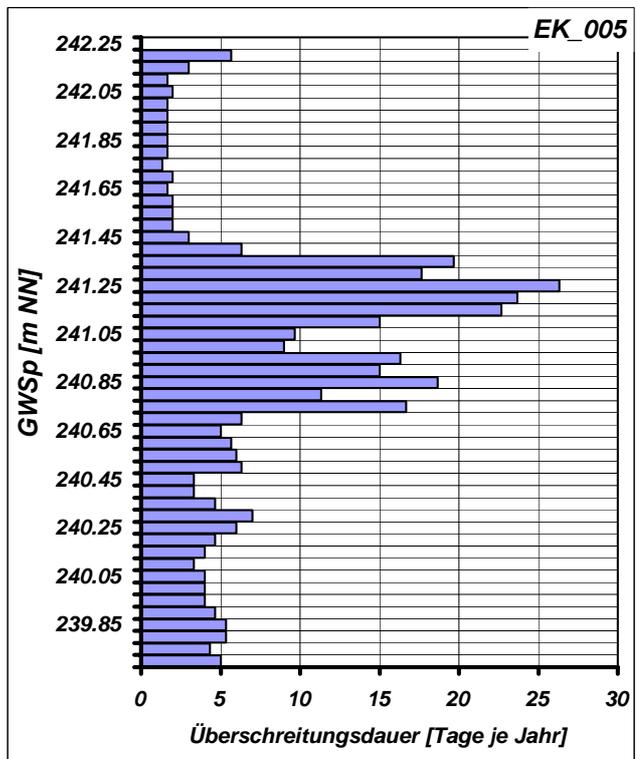
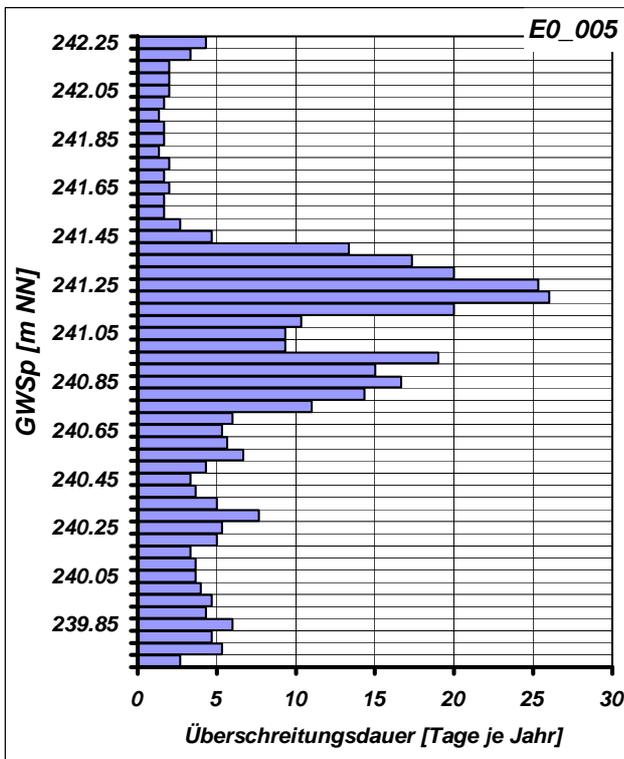
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

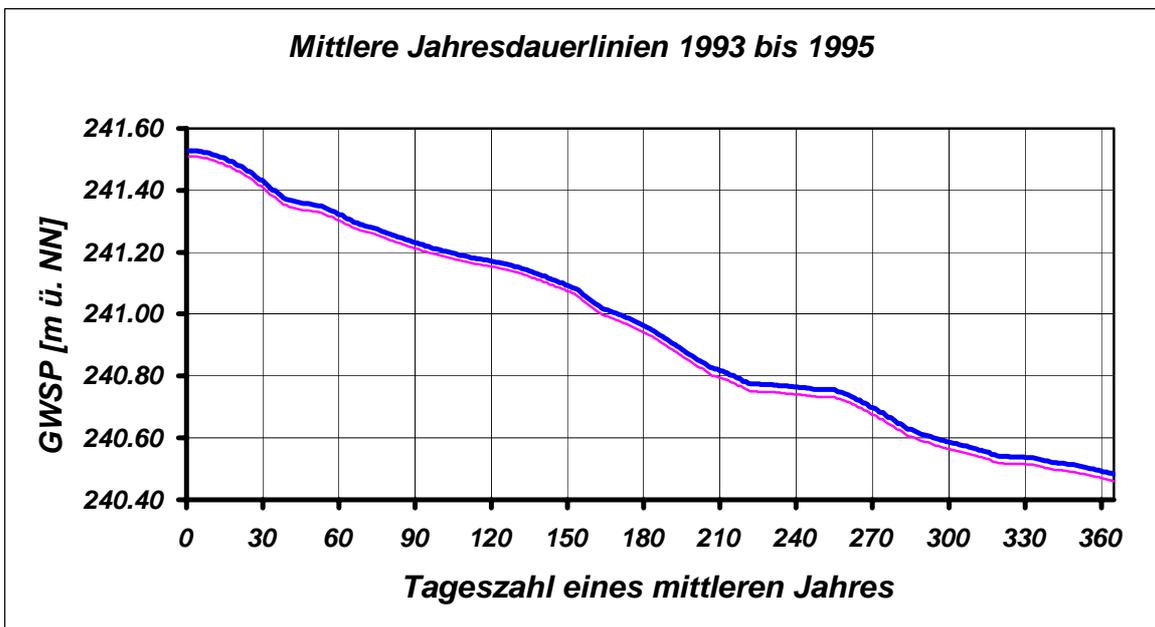
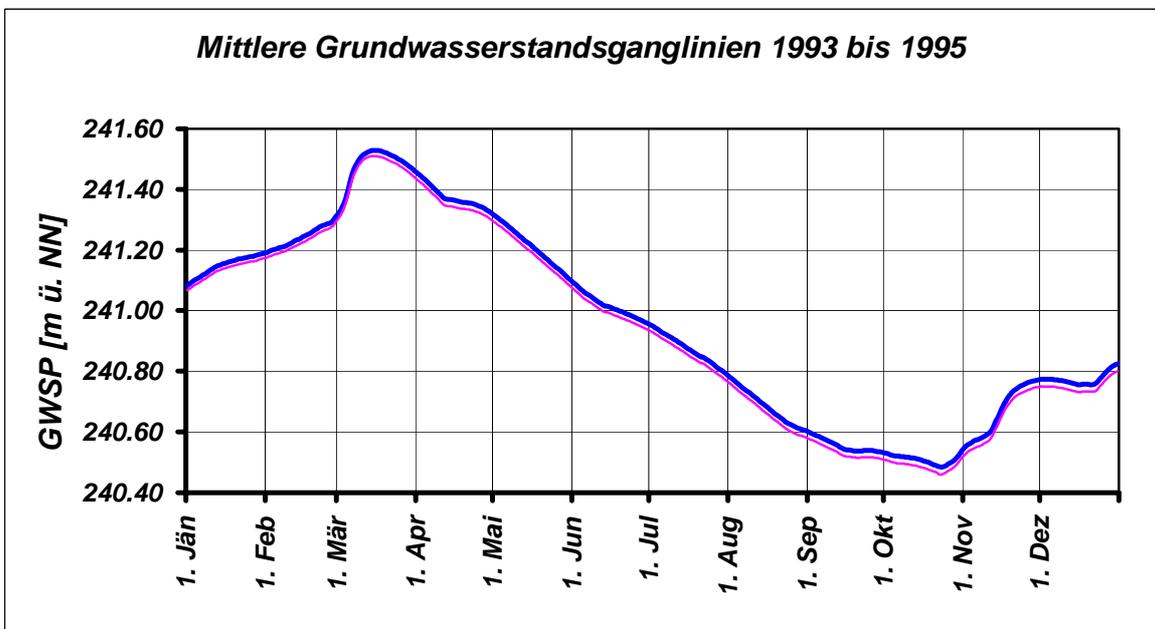
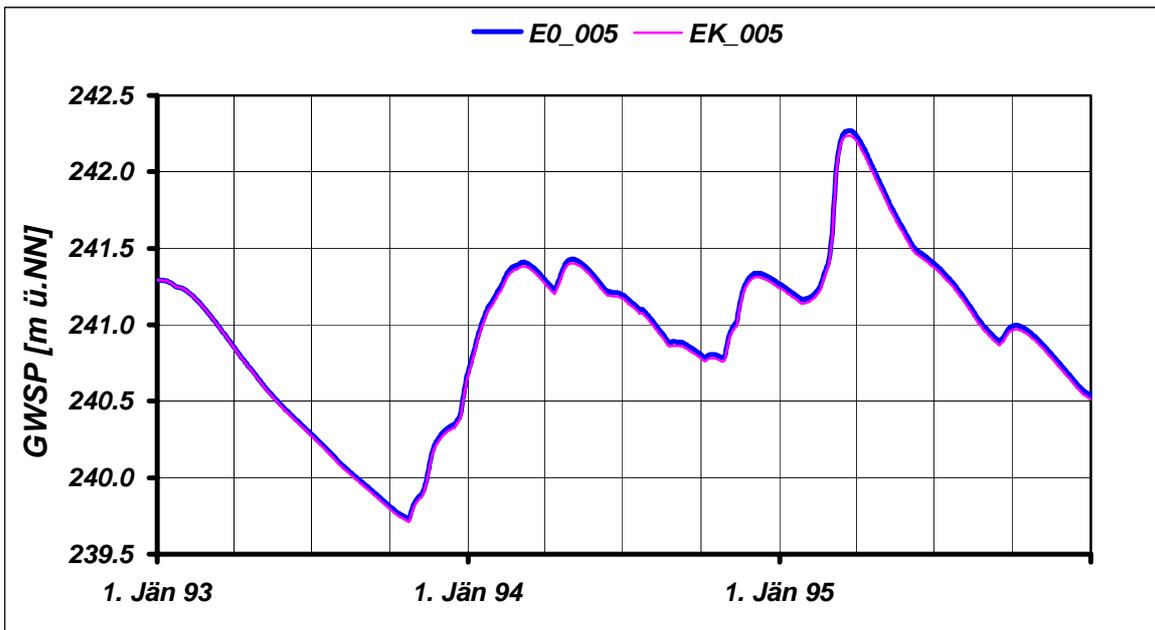
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_005	240.71	241.09	240.86	240.64	240.45	240.29	240.11	239.96	239.81	239.73	239.86	240.29	239.73
NGW [m NN] EK_005	240.68	241.08	240.85	240.63	240.44	240.28	240.10	239.94	239.80	239.71	239.84	240.27	239.71
NGW-Differenz [m]	-0.02	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
HGW [m NN] E0_005	241.29	241.45	242.27	242.23	241.90	241.56	241.40	241.21	240.99	241.00	241.33	241.34	242.27
HGW [m NN] EK_005	241.29	241.43	242.24	242.20	241.86	241.53	241.37	241.18	240.96	240.97	241.30	241.31	242.24
HGW-Differenz [m]	0.00	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
MGW [m NN] E0_005	241.15	241.25	241.48	241.38	241.21	241.02	240.88	240.69	240.56	240.51	240.67	240.78	240.97
MGW [m NN] EK_005	241.14	241.23	241.46	241.36	241.19	241.00	240.86	240.67	240.54	240.49	240.65	240.75	240.94
MGW-Differenz [m]	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_005	241.44	241.33	241.24	241.18	241.10	240.97	240.82	240.77	240.70	240.59	240.54	240.52	240.50
GWSP [m NN] EK_005	241.41	241.31	241.22	241.16	241.08	240.95	240.80	240.74	240.68	240.57	240.52	240.50	240.47
Differenz [m]	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_006

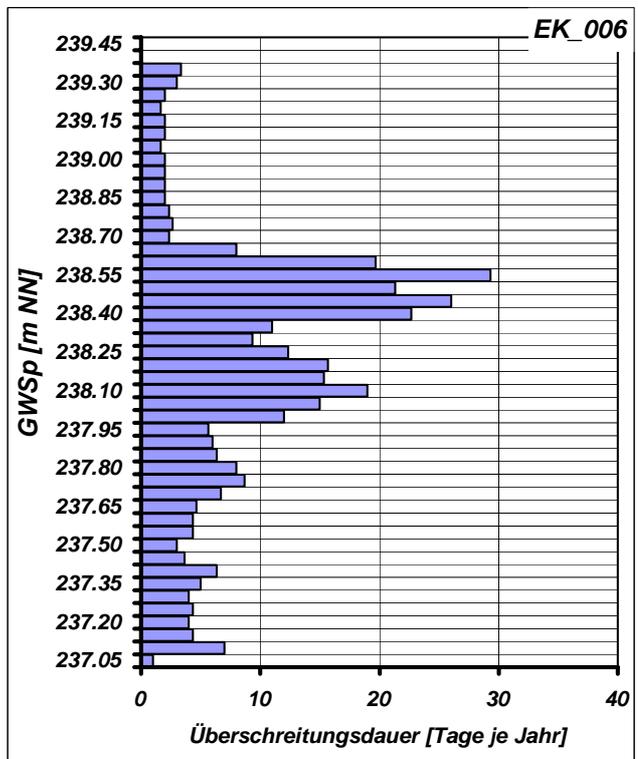
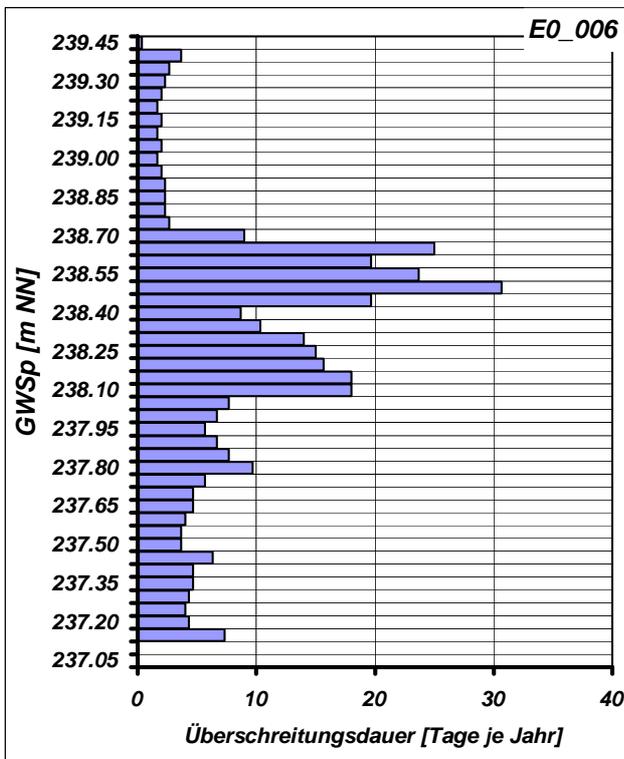
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

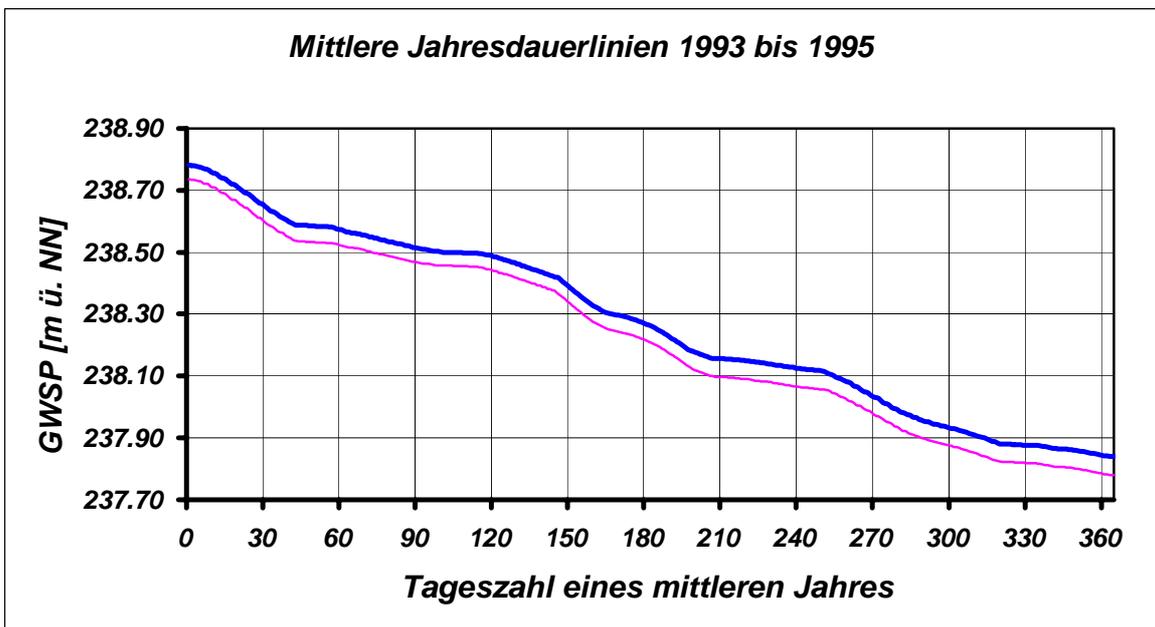
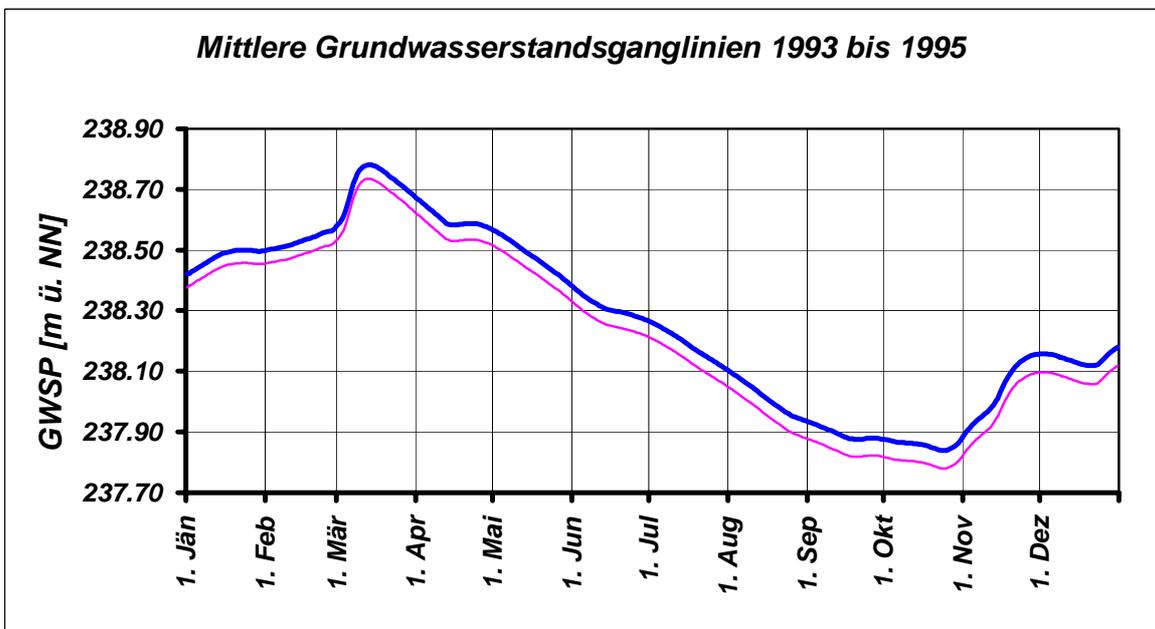
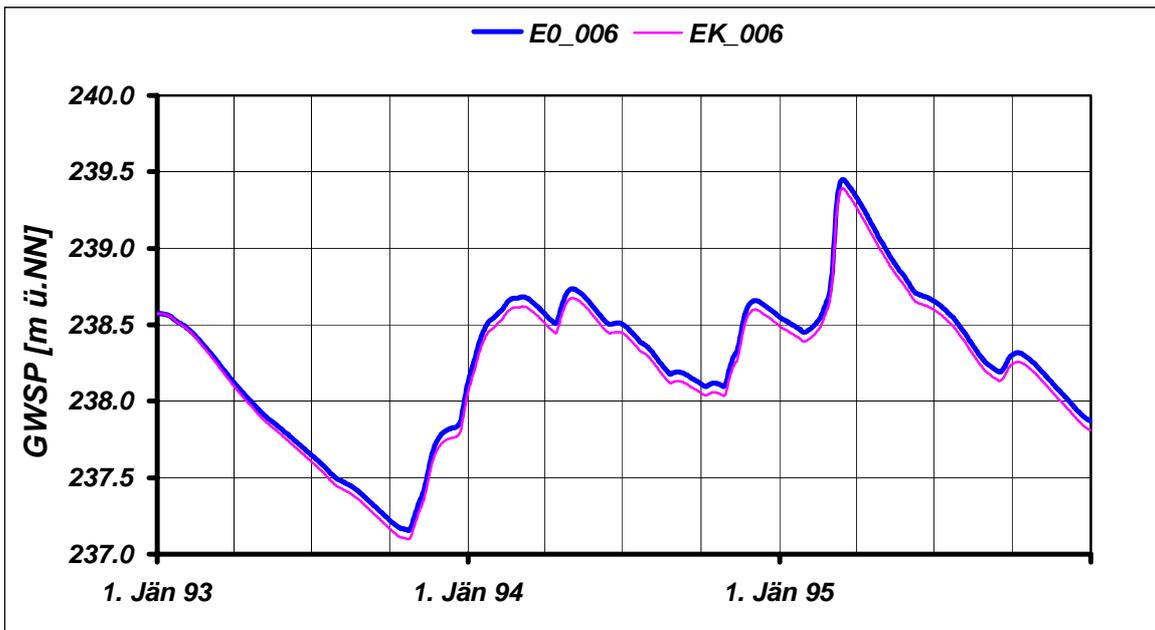
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_006	238.14	238.34	238.13	237.94	237.80	237.65	237.49	237.38	237.22	237.16	237.29	237.79	237.16
NGW [m NN] EK_006	238.08	238.33	238.10	237.91	237.76	237.61	237.44	237.33	237.17	237.10	237.23	237.73	237.10
NGW-Differenz [m]	-0.07	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
HGW [m NN] E0_006	238.57	238.71	239.45	239.33	239.03	238.77	238.65	238.48	238.30	238.32	238.66	238.66	239.45
HGW [m NN] EK_006	238.57	238.65	239.39	239.26	238.97	238.71	238.60	238.42	238.24	238.26	238.60	238.60	239.39
HGW-Differenz [m]	0.00	-0.06	-0.06	-0.07	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
MGW [m NN] E0_006	238.48	238.53	238.72	238.60	238.48	238.31	238.19	238.01	237.90	237.86	238.04	238.14	238.27
MGW [m NN] EK_006	238.44	238.49	238.67	238.55	238.43	238.26	238.14	237.96	237.84	237.80	237.98	238.08	238.22
MGW-Differenz [m]	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.05

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_006	238.66	238.58	238.52	238.49	238.40	238.27	238.16	238.13	238.04	237.94	237.88	237.87	237.85
GWSP [m NN] EK_006	238.61	238.53	238.47	238.45	238.34	238.22	238.10	238.07	237.98	237.88	237.82	237.81	237.79
Differenz [m]	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_007

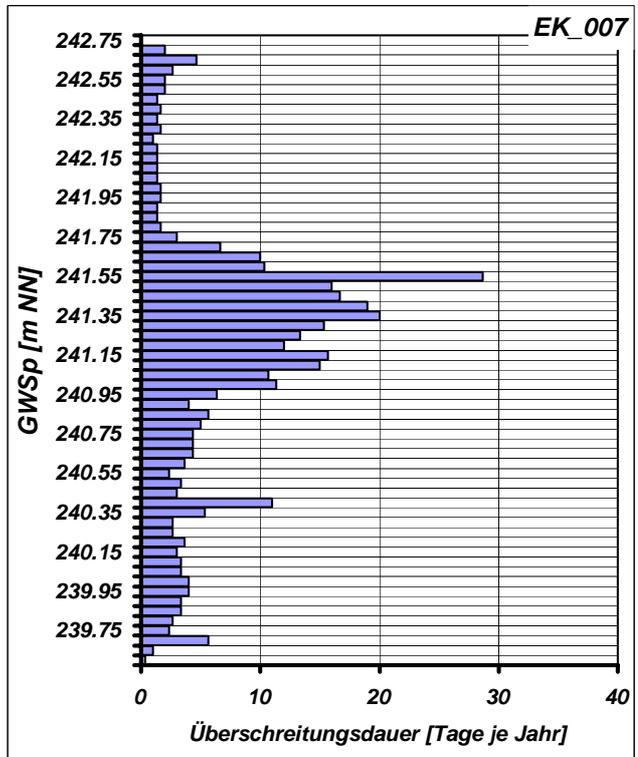
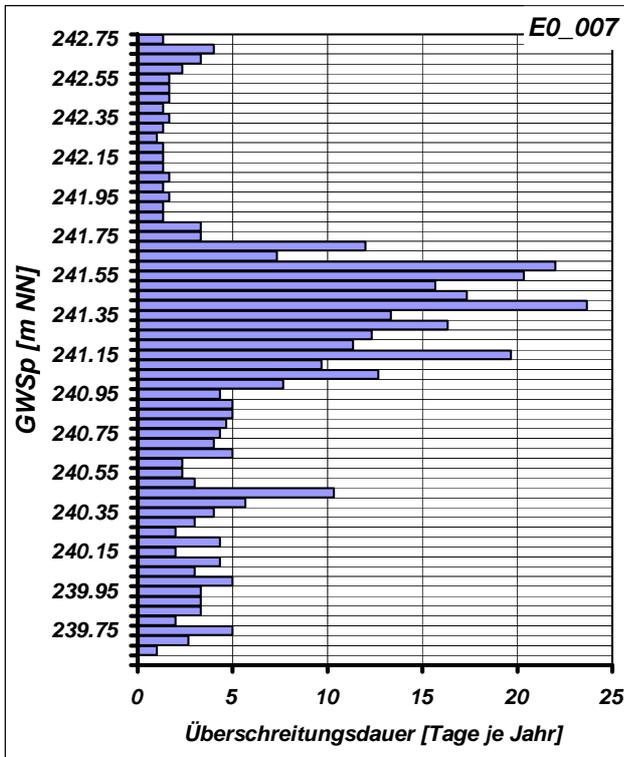
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

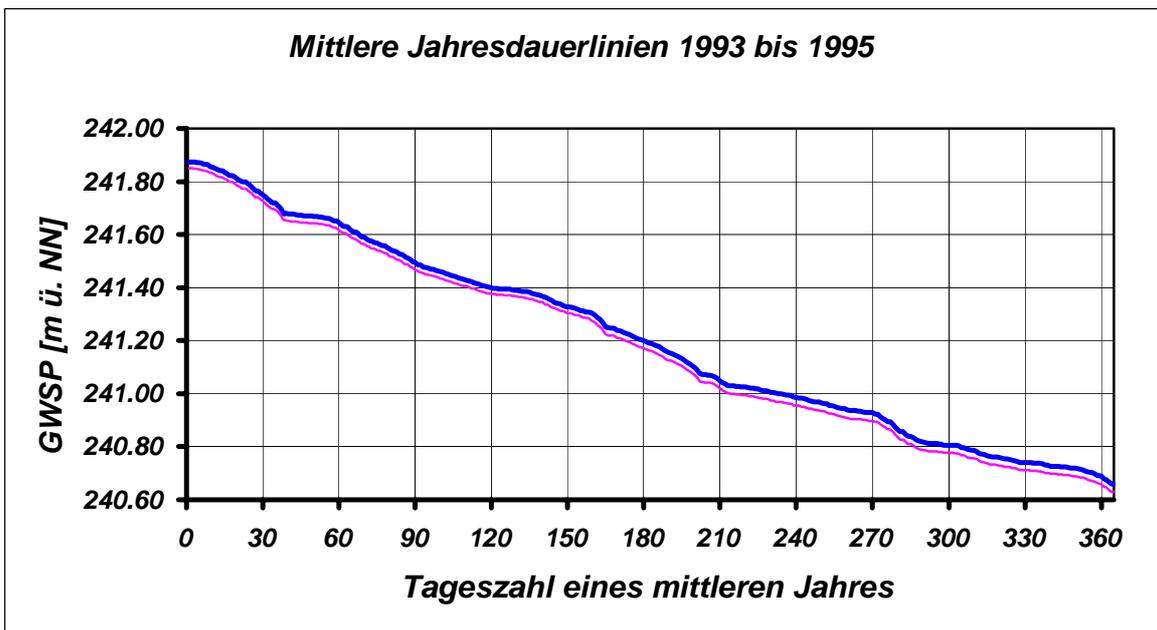
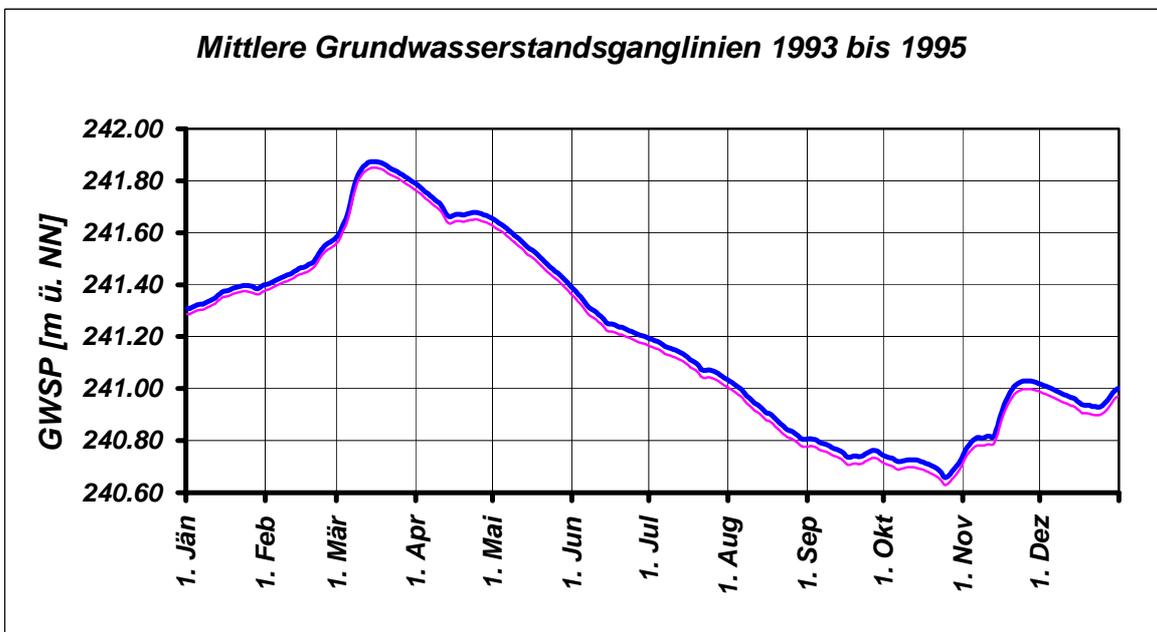
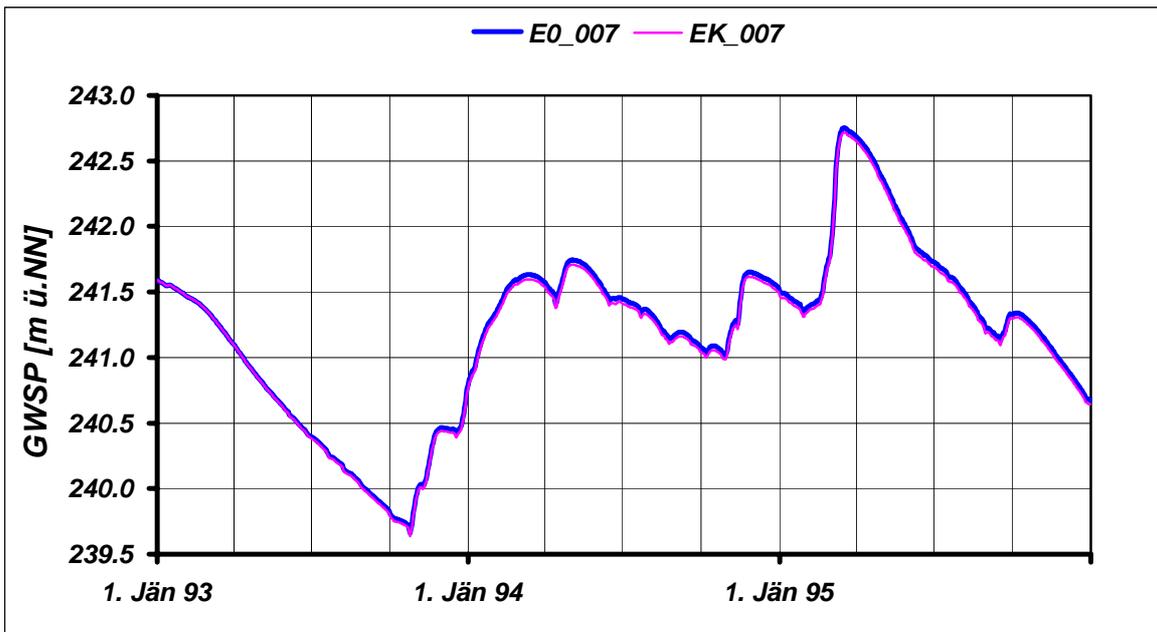
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_007	240.82	241.33	241.10	240.84	240.61	240.40	240.21	240.01	239.82	239.66	239.96	240.42	239.66
NGW [m NN] EK_007	240.79	241.30	241.10	240.83	240.60	240.39	240.20	239.99	239.80	239.64	239.94	240.39	239.64
NGW-Differenz [m]	-0.03	-0.03	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.02
HGW [m NN] E0_007	241.59	241.77	242.75	242.68	242.37	241.96	241.73	241.53	241.33	241.34	241.65	241.64	242.75
HGW [m NN] EK_007	241.59	241.73	242.72	242.65	242.33	241.91	241.69	241.49	241.30	241.31	241.62	241.61	242.72
HGW-Differenz [m]	0.00	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04
MGW [m NN] E0_007	241.36	241.47	241.80	241.69	241.53	241.26	241.11	240.91	240.76	240.71	240.90	240.96	241.21
MGW [m NN] EK_007	241.34	241.45	241.77	241.67	241.50	241.24	241.08	240.88	240.73	240.68	240.87	240.93	241.18
MGW-Differenz [m]	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_007	241.75	241.64	241.49	241.39	241.32	241.20	241.05	240.98	240.93	240.80	240.74	240.72	240.68
GWSP [m NN] EK_007	241.72	241.61	241.46	241.37	241.30	241.17	241.02	240.95	240.89	240.77	240.71	240.69	240.65
Differenz [m]	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





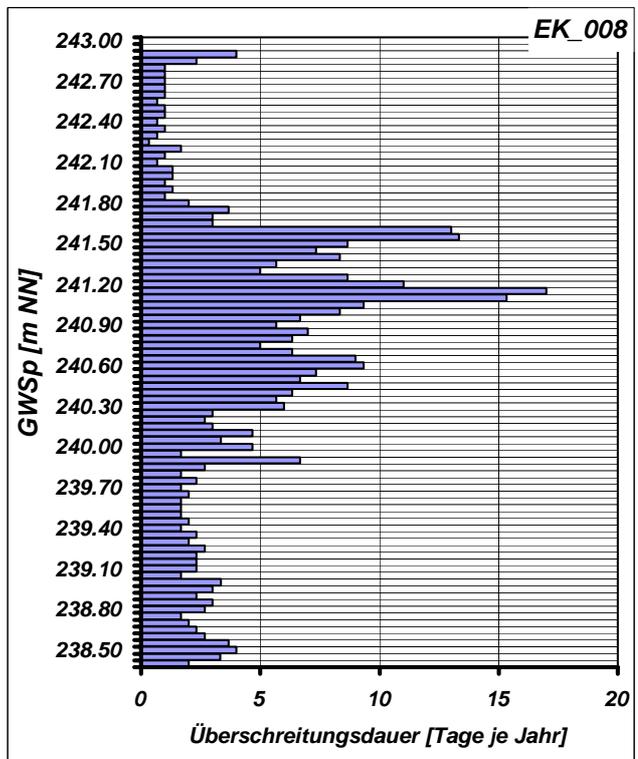
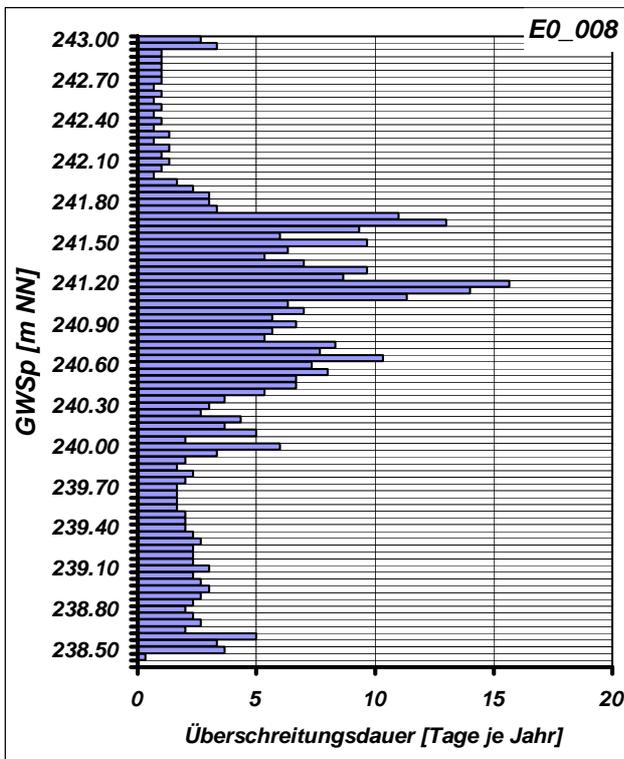
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

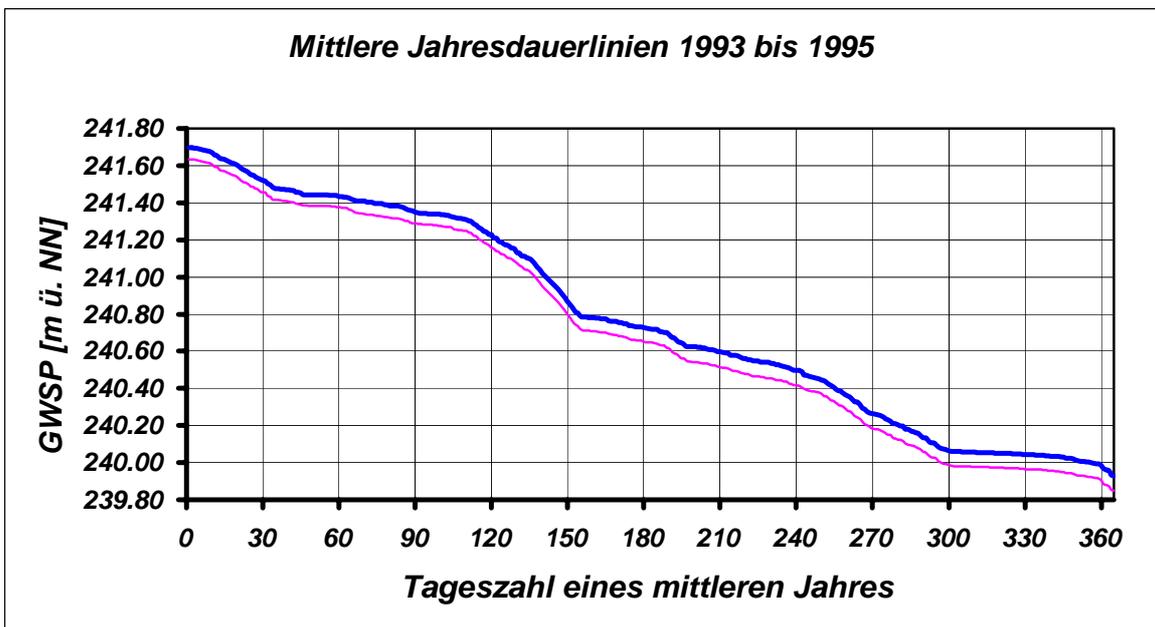
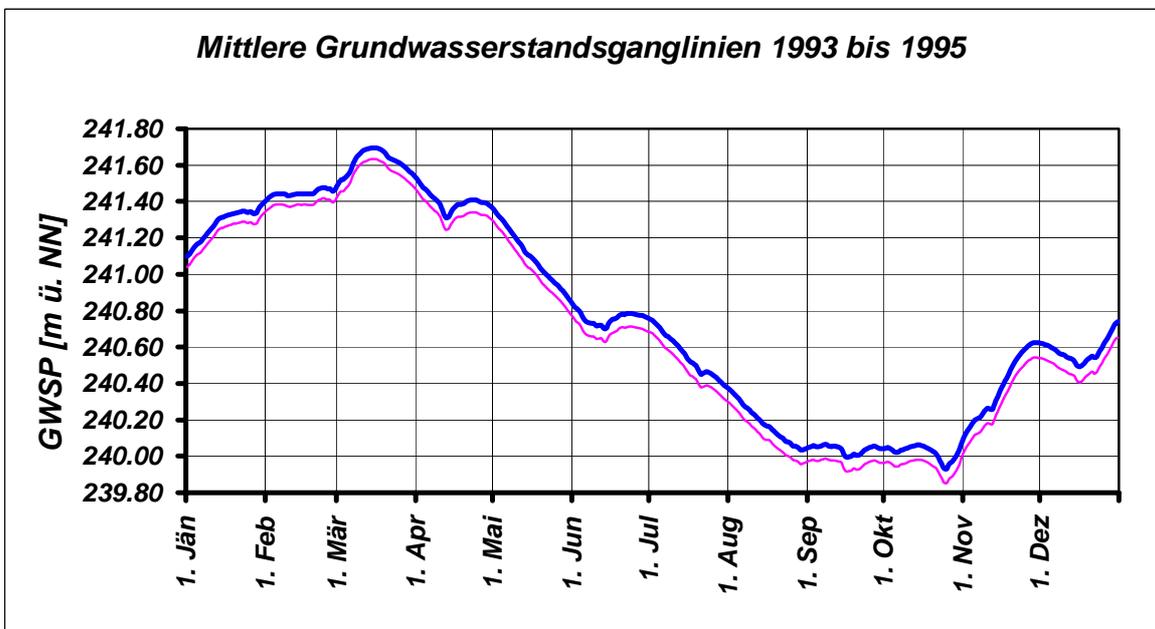
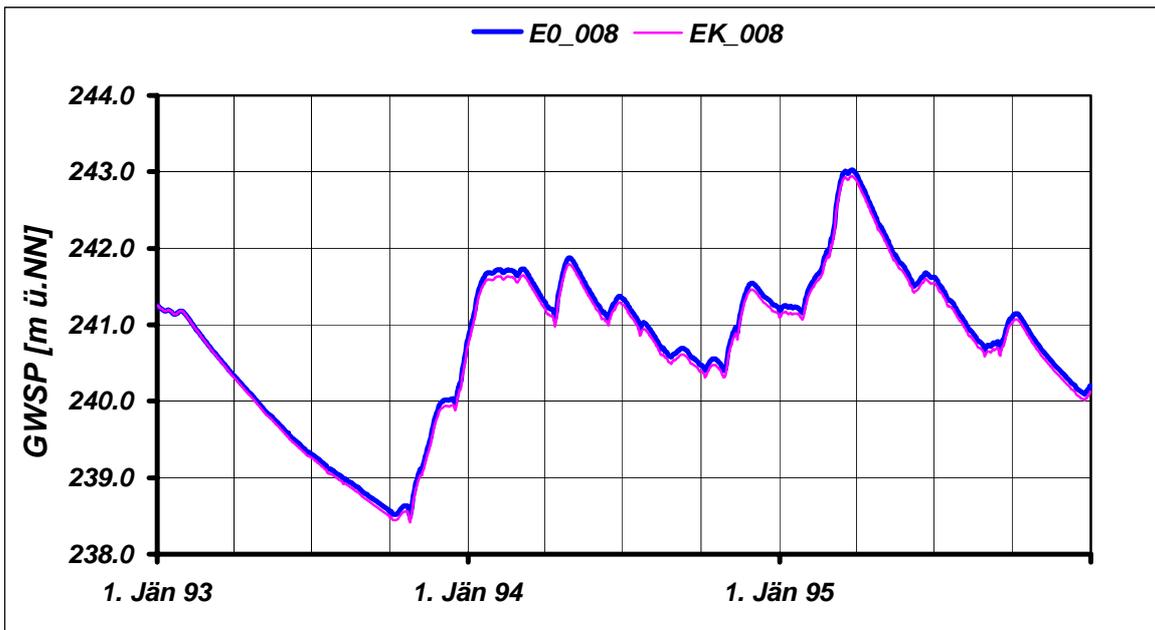
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_008	240.87	240.76	240.34	239.97	239.61	239.31	239.05	238.80	238.56	238.49	238.97	239.97	238.49
NGW [m NN] EK_008	240.78	240.74	240.32	239.94	239.57	239.26	238.99	238.74	238.48	238.41	238.89	239.88	238.41
NGW-Differenz [m]	-0.09	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.09	-0.08
HGW [m NN] E0_008	241.69	241.99	243.03	242.96	242.25	241.68	241.62	241.12	241.10	241.15	241.54	241.53	243.03
HGW [m NN] EK_008	241.60	241.90	242.94	242.88	242.17	241.60	241.54	241.04	241.02	241.07	241.46	241.45	242.94
HGW-Differenz [m]	-0.09	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08
MGW [m NN] E0_008	241.28	241.45	241.62	241.40	241.10	240.76	240.56	240.18	240.04	240.02	240.39	240.58	240.78
MGW [m NN] EK_008	241.22	241.39	241.56	241.34	241.03	240.69	240.48	240.10	239.96	239.94	240.30	240.50	240.71
MGW-Differenz [m]	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.07

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_008	241.52	241.44	241.35	241.23	240.87	240.73	240.60	240.50	240.27	240.07	240.04	240.02	239.99
GWSP [m NN] EK_008	241.46	241.38	241.29	241.16	240.80	240.65	240.52	240.42	240.18	239.99	239.97	239.95	239.90
Differenz [m]	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





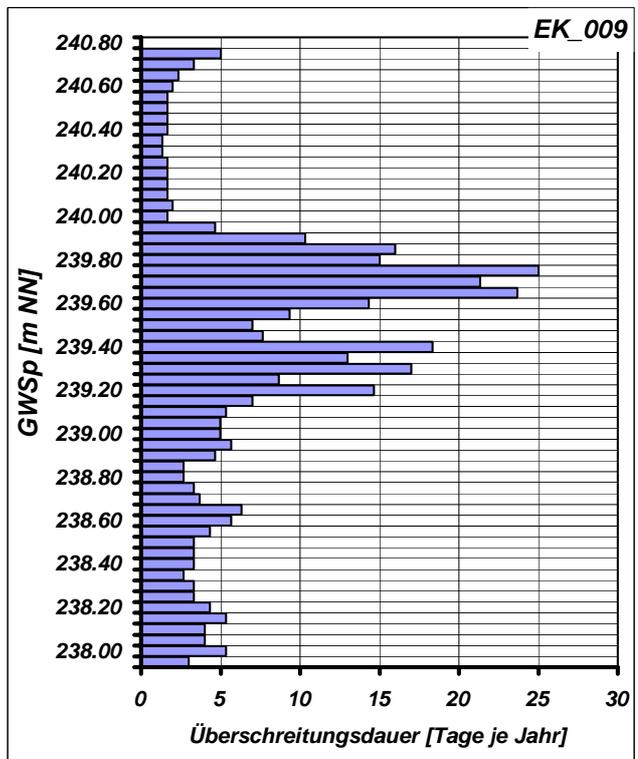
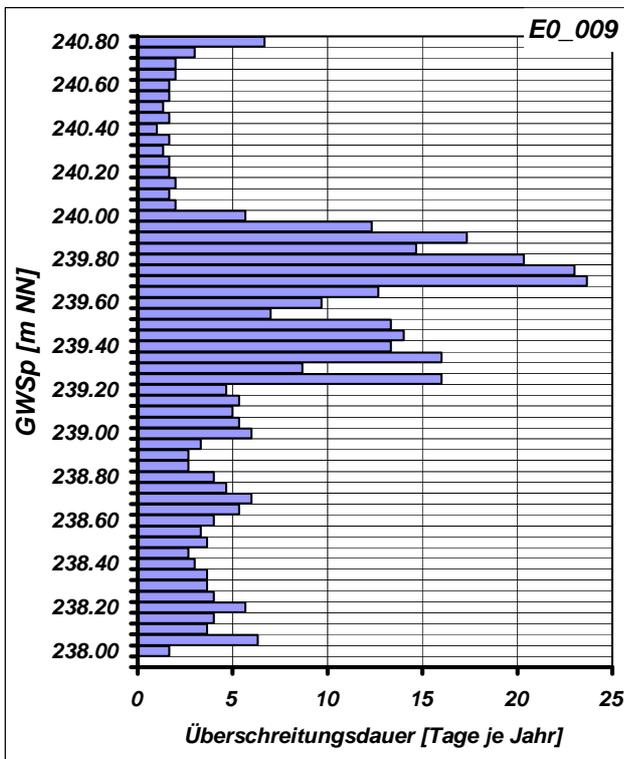
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

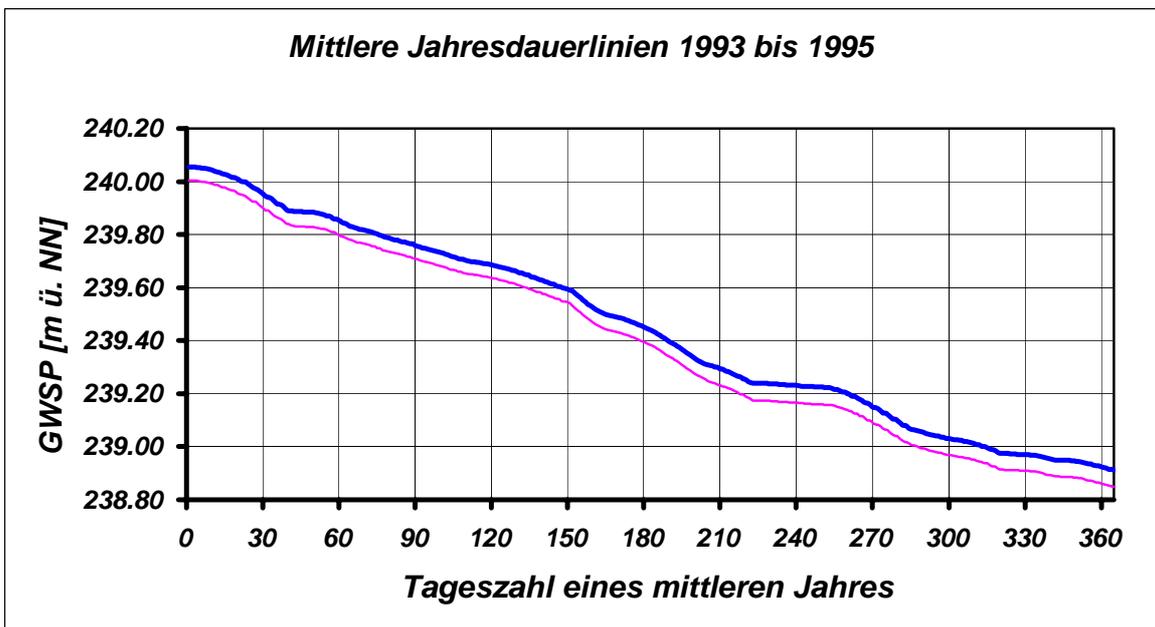
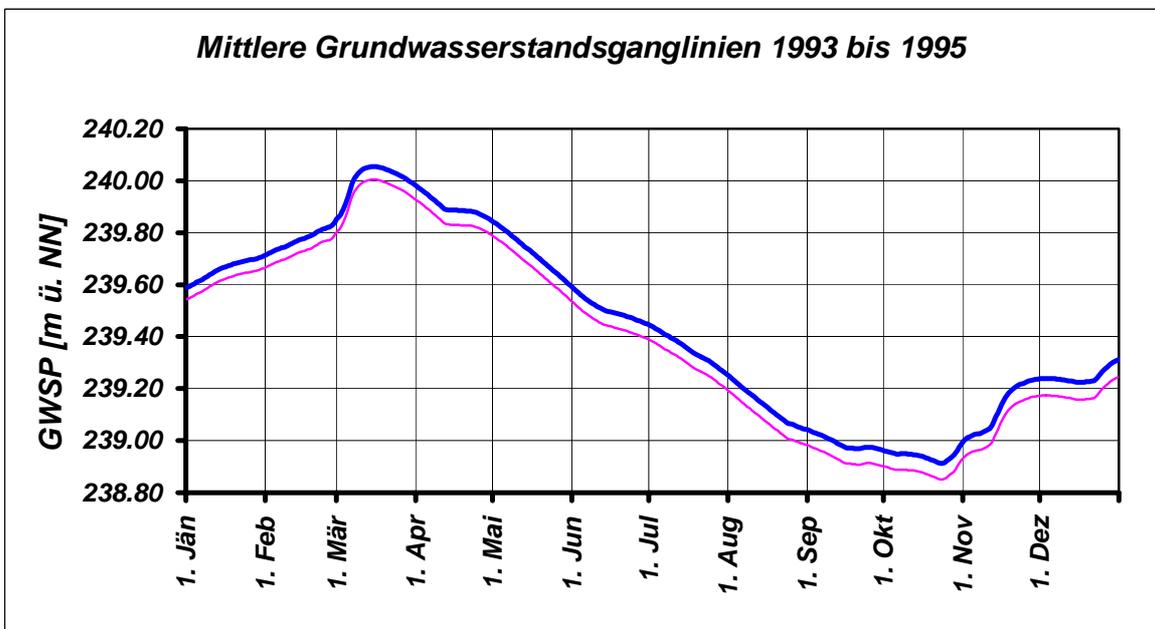
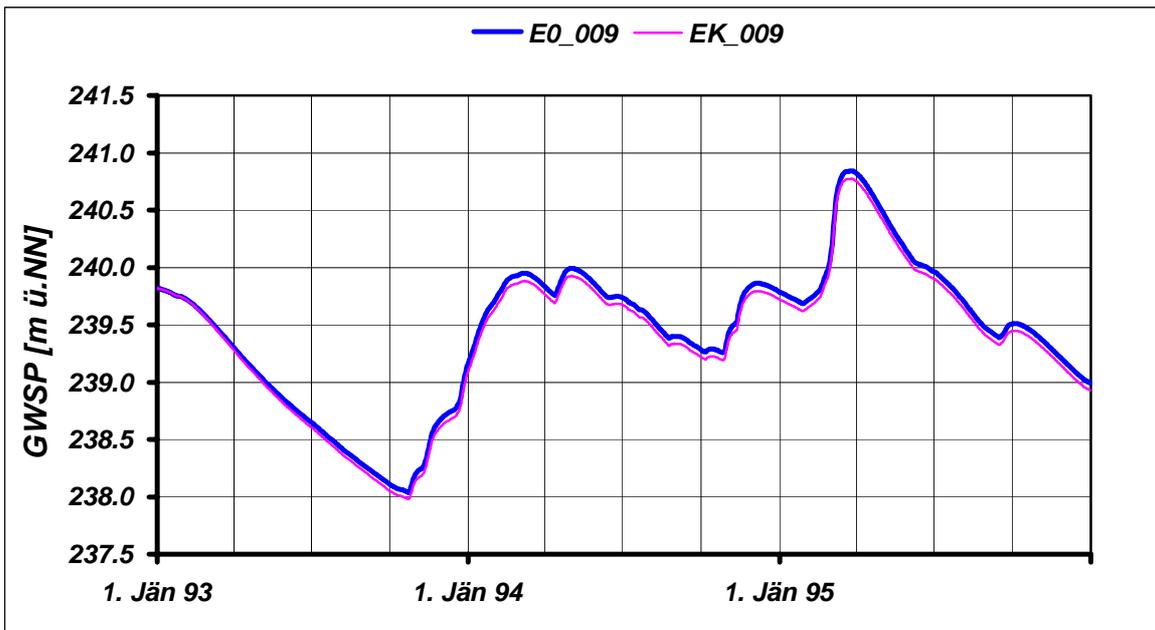
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_009	239.18	239.56	239.30	239.06	238.83	238.65	238.46	238.27	238.11	238.04	238.22	238.69	238.04
NGW [m NN] EK_009	239.11	239.55	239.28	239.03	238.80	238.61	238.41	238.22	238.05	237.98	238.15	238.63	237.98
NGW-Differenz [m]	-0.07	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.06
HGW [m NN] E0_009	239.82	240.05	240.84	240.82	240.49	240.12	239.96	239.73	239.51	239.51	239.85	239.86	240.84
HGW [m NN] EK_009	239.82	239.98	240.77	240.75	240.42	240.05	239.90	239.67	239.44	239.45	239.79	239.79	240.77
HGW-Differenz [m]	0.00	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07
MGW [m NN] E0_009	239.66	239.78	240.01	239.90	239.73	239.51	239.36	239.14	238.99	238.95	239.13	239.25	239.45
MGW [m NN] EK_009	239.62	239.73	239.96	239.85	239.67	239.45	239.30	239.08	238.93	238.88	239.06	239.18	239.39
MGW-Differenz [m]	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.06

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_009	239.96	239.86	239.76	239.69	239.60	239.46	239.30	239.23	239.15	239.03	238.97	238.95	238.93
GWSP [m NN] EK_009	239.90	239.80	239.71	239.64	239.55	239.40	239.24	239.17	239.10	238.97	238.91	238.89	238.86
Differenz [m]	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





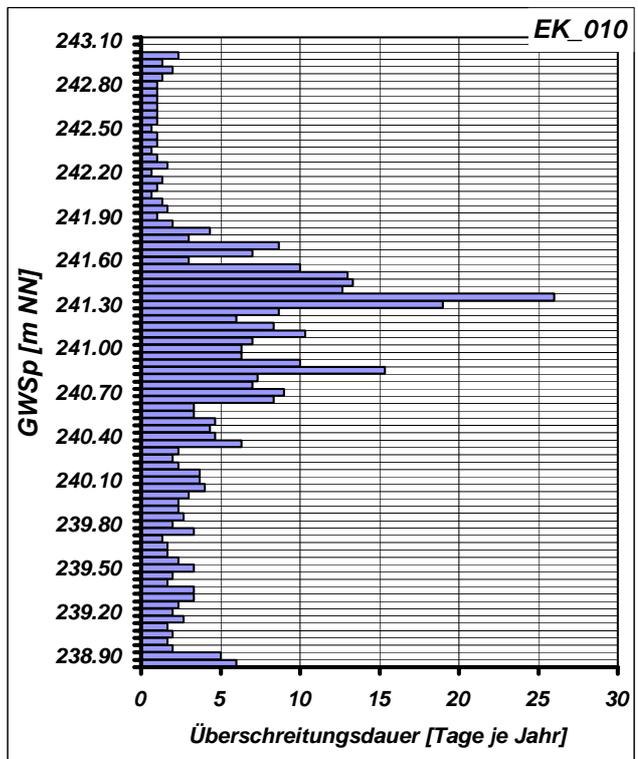
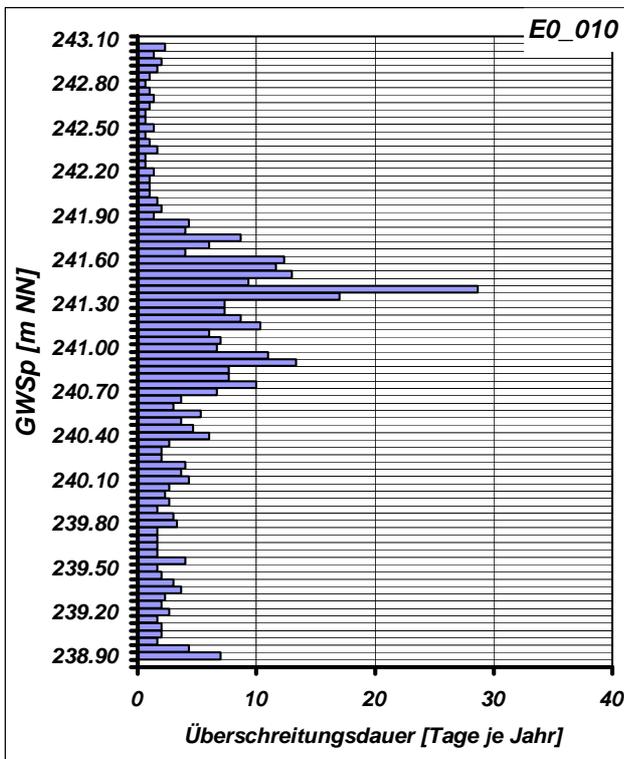
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

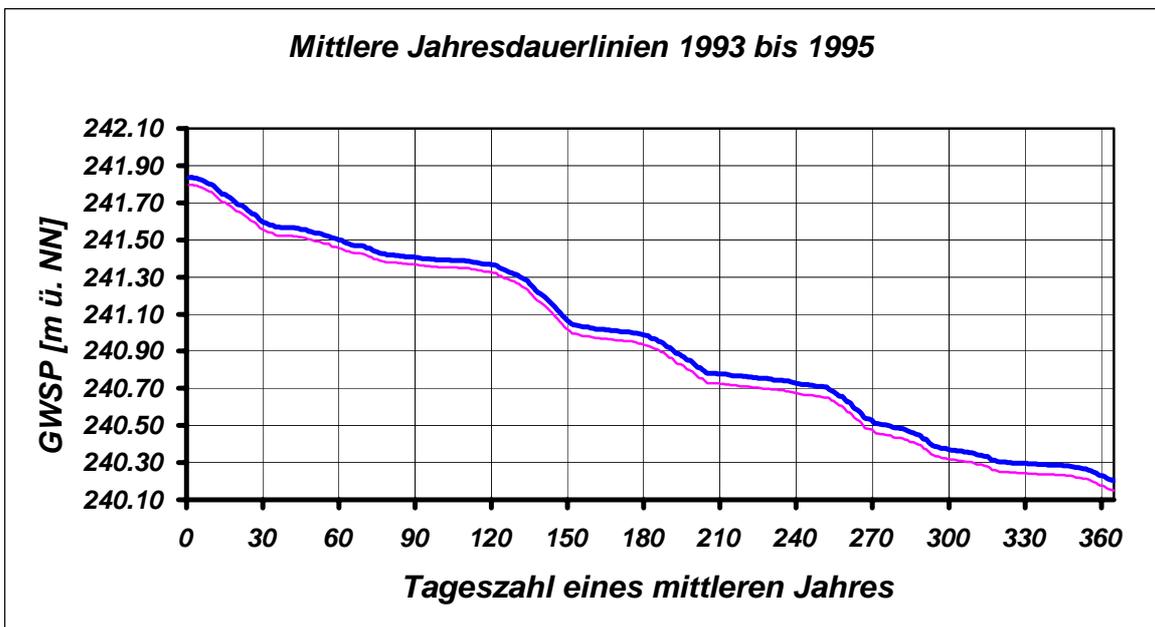
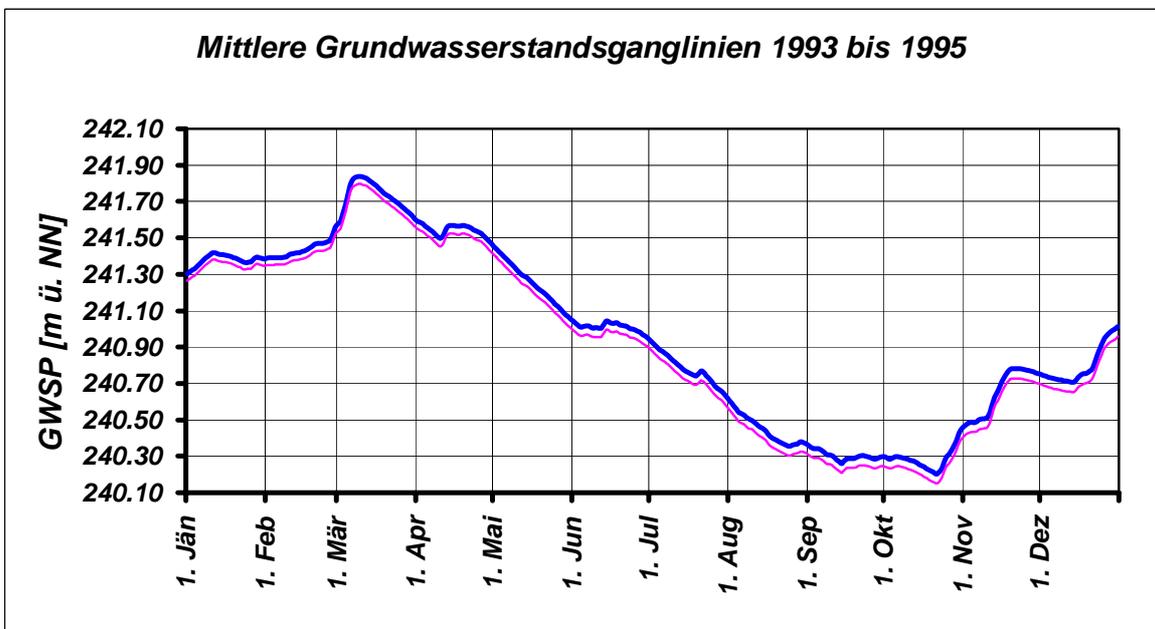
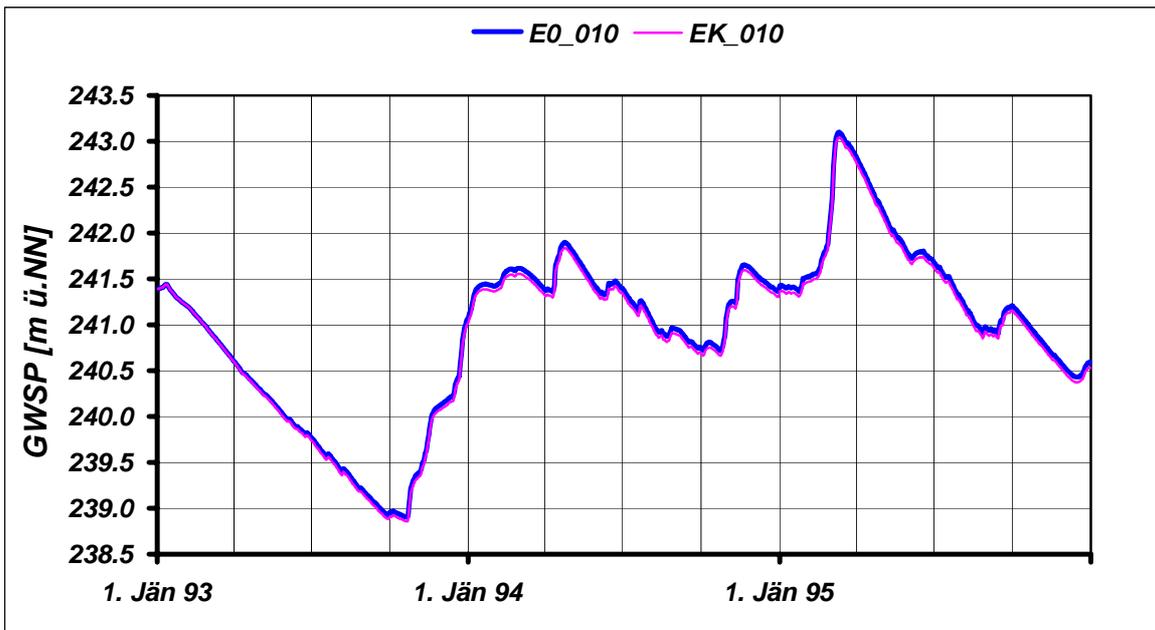
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_010	241.10	240.96	240.61	240.30	239.99	239.78	239.47	239.18	238.93	238.90	239.37	240.14	238.90
NGW [m NN] EK_010	241.04	240.96	240.60	240.29	239.97	239.75	239.43	239.14	238.88	238.86	239.32	240.09	238.86
NGW-Differenz [m]	-0.05	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
HGW [m NN] E0_010	241.51	242.10	243.10	242.82	242.25	241.80	241.68	241.29	241.21	241.20	241.65	241.58	243.10
HGW [m NN] EK_010	241.45	242.04	243.04	242.76	242.19	241.74	241.62	241.23	241.15	241.15	241.60	241.52	243.04
HGW-Differenz [m]	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
MGW [m NN] E0_010	241.38	241.44	241.73	241.55	241.25	241.01	240.78	240.45	240.31	240.29	240.65	240.80	240.97
MGW [m NN] EK_010	241.34	241.40	241.69	241.50	241.21	240.96	240.73	240.40	240.25	240.23	240.60	240.75	240.92
MGW-Differenz [m]	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.05

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_010	241.60	241.50	241.41	241.37	241.07	240.99	240.78	240.73	240.53	240.37	240.30	240.29	240.23
GWSP [m NN] EK_010	241.56	241.46	241.37	241.33	241.02	240.94	240.73	240.68	240.48	240.32	240.25	240.23	240.18
Differenz [m]	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_011

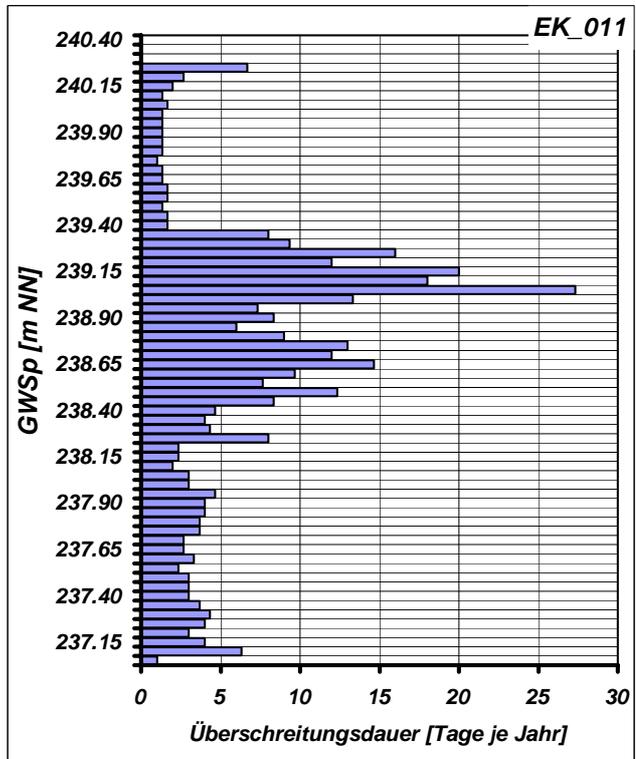
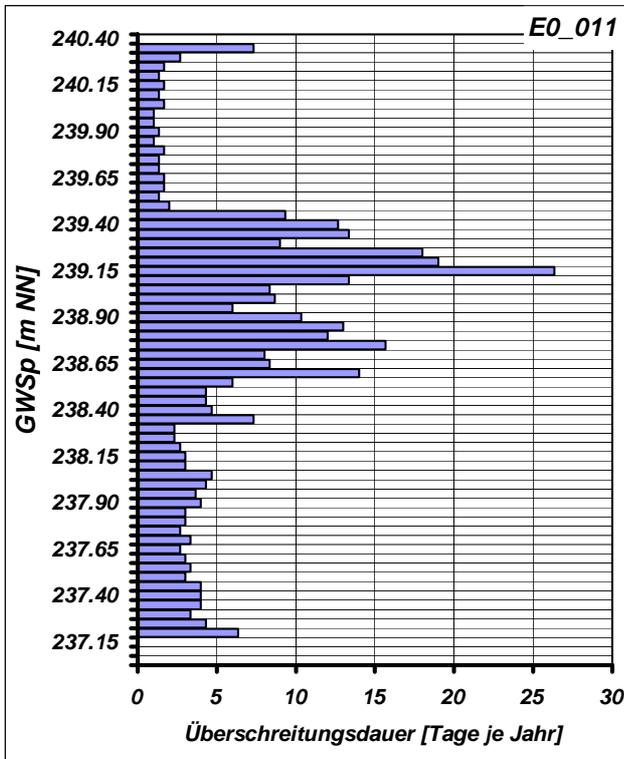
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

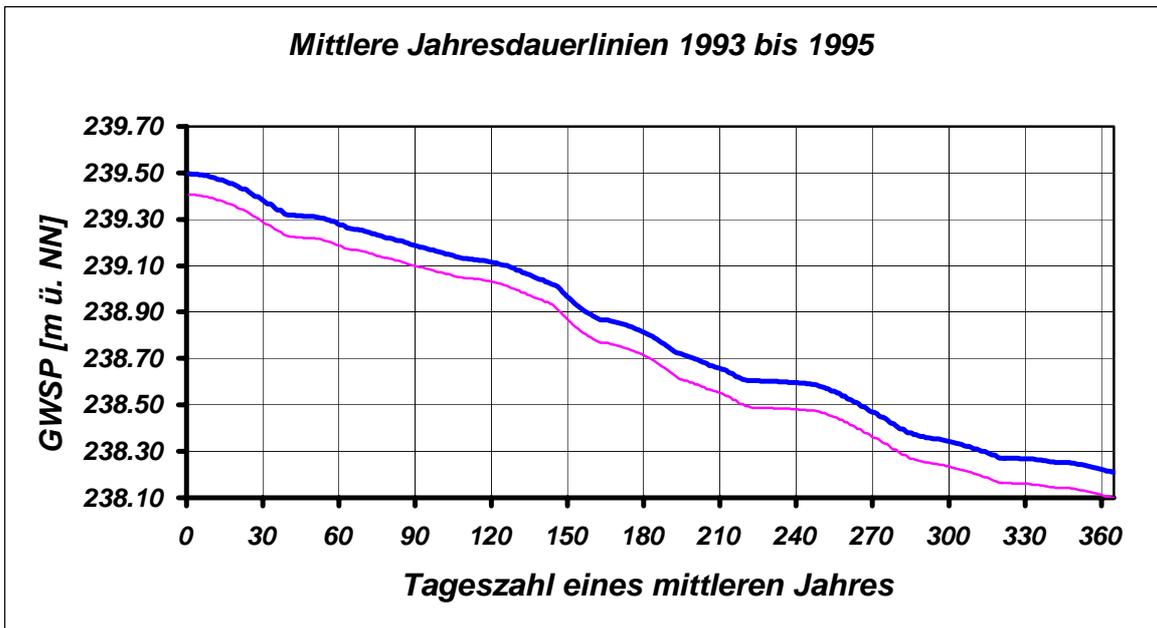
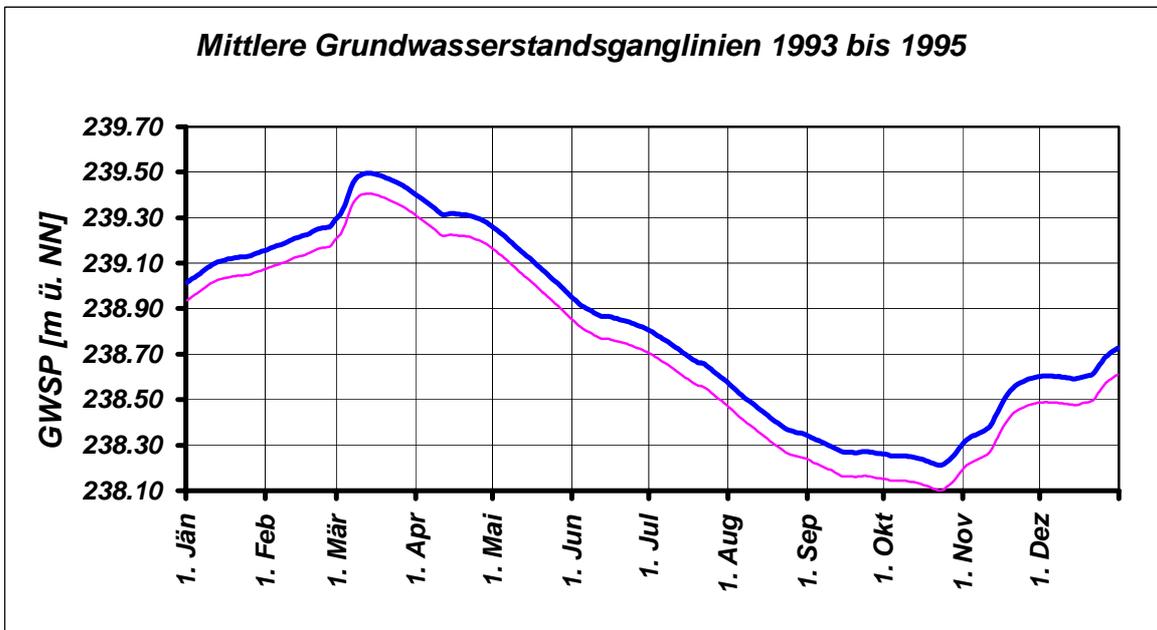
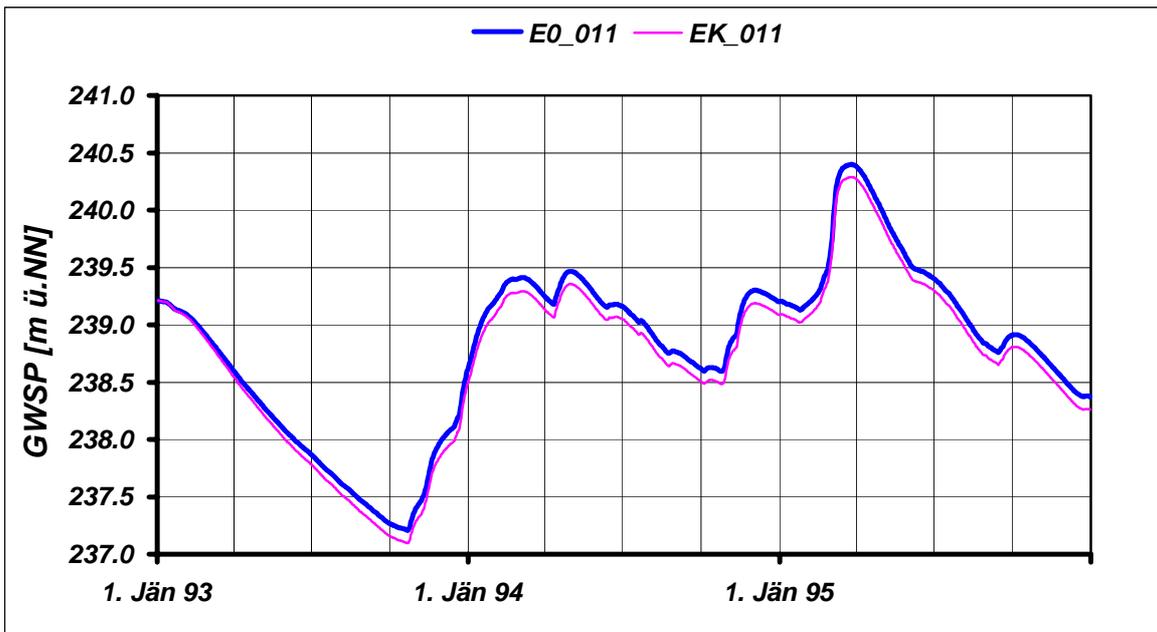
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_011	238.64	238.90	238.60	238.33	238.07	237.87	237.65	237.45	237.27	237.21	237.41	238.01	237.21
NGW [m NN] EK_011	238.52	238.86	238.55	238.26	238.00	237.78	237.56	237.35	237.16	237.10	237.30	237.88	237.10
NGW-Differenz [m]	-0.12	-0.04	-0.05	-0.07	-0.08	-0.09	-0.09	-0.10	-0.11	-0.11	-0.11	-0.12	-0.11
HGW [m NN] E0_011	239.21	239.59	240.40	240.38	239.99	239.55	239.40	239.12	238.91	238.92	239.30	239.30	240.40
HGW [m NN] EK_011	239.21	239.48	240.29	240.27	239.88	239.44	239.30	239.02	238.80	238.81	239.18	239.19	240.29
HGW-Differenz [m]	0.00	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.10	-0.10	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11
MGW [m NN] E0_011	239.11	239.22	239.45	239.33	239.11	238.87	238.70	238.44	238.29	238.25	238.47	238.63	238.82
MGW [m NN] EK_011	239.03	239.14	239.36	239.23	239.02	238.77	238.60	238.34	238.18	238.14	238.36	238.51	238.72
MGW-Differenz [m]	-0.08	-0.09	-0.09	-0.09	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.11	-0.11	-0.11	-0.12	-0.10

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_011	239.39	239.28	239.19	239.12	238.97	238.82	238.66	238.60	238.47	238.35	238.27	238.26	238.23
GWSP [m NN] EK_011	239.29	239.19	239.10	239.04	238.87	238.72	238.56	238.48	238.37	238.24	238.16	238.15	238.12
Differenz [m]	-0.09	-0.09	-0.09	-0.08	-0.10	-0.10	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_012

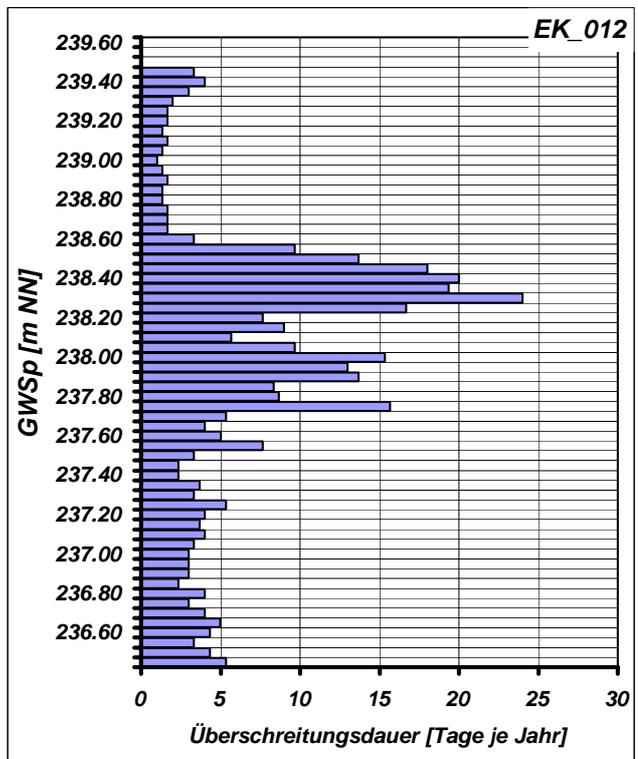
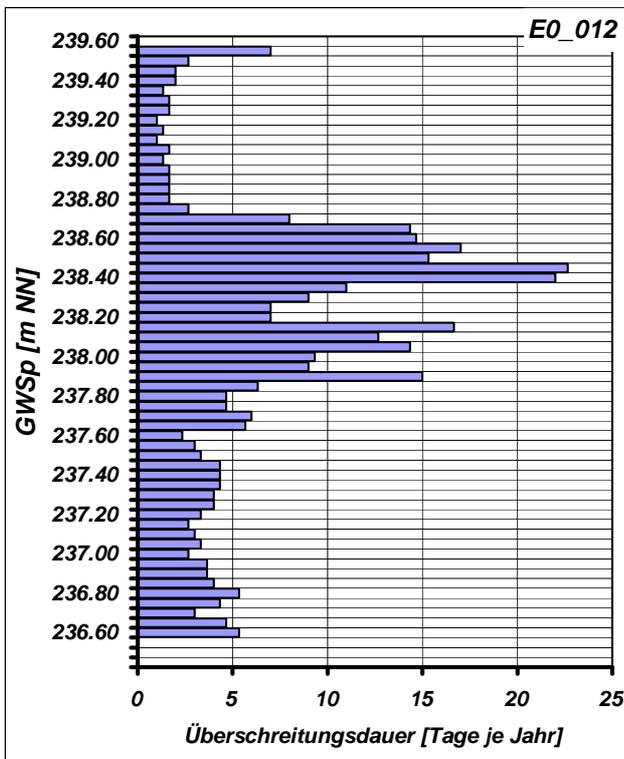
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

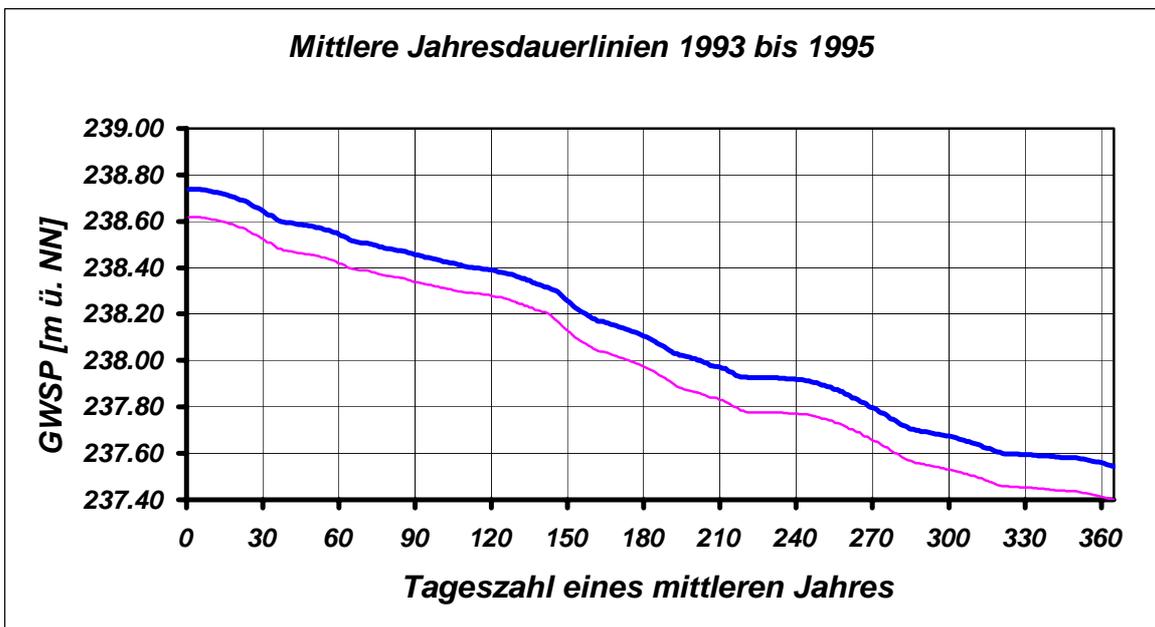
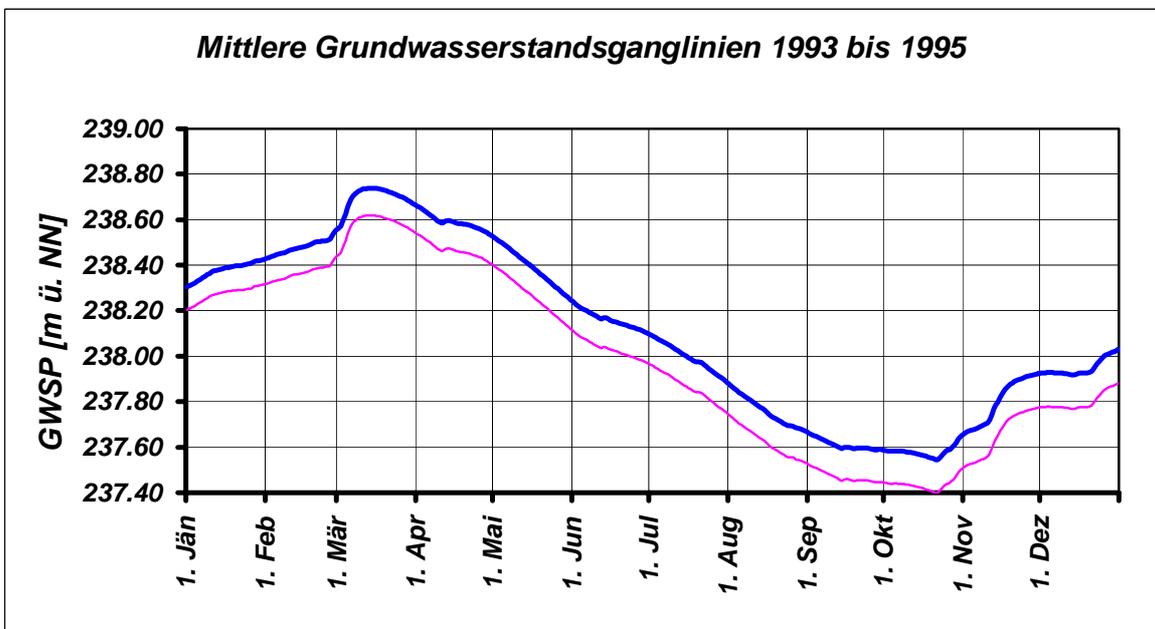
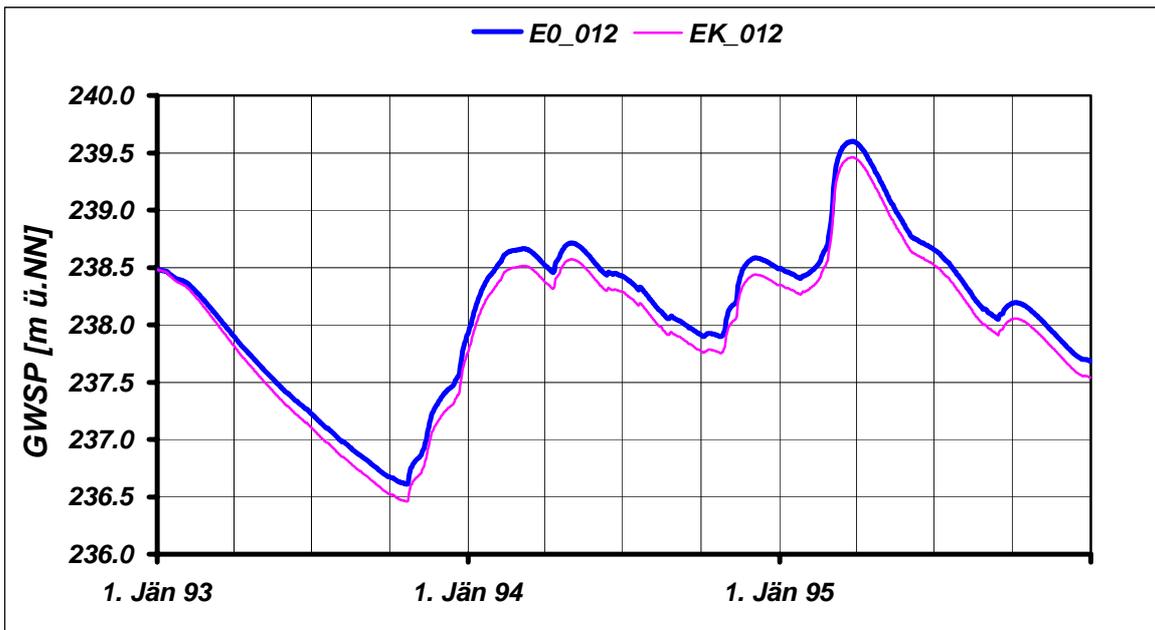
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_012	237.95	238.18	237.90	237.65	237.42	237.23	237.02	236.84	236.67	236.61	236.83	237.38	236.61
NGW [m NN] EK_012	237.78	238.12	237.82	237.55	237.31	237.11	236.89	236.70	236.53	236.46	236.67	237.22	236.46
NGW-Differenz [m]	-0.16	-0.06	-0.08	-0.10	-0.11	-0.12	-0.13	-0.14	-0.15	-0.15	-0.15	-0.16	-0.15
HGW [m NN] E0_012	238.49	238.83	239.60	239.58	239.22	238.80	238.65	238.40	238.19	238.19	238.58	238.58	239.60
HGW [m NN] EK_012	238.48	238.69	239.46	239.45	239.09	238.67	238.52	238.27	238.05	238.05	238.43	238.44	239.46
HGW-Differenz [m]	-0.01	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	-0.15	-0.15	-0.14
MGW [m NN] E0_012	238.38	238.48	238.70	238.59	238.39	238.16	238.00	237.76	237.61	237.58	237.81	237.95	238.12
MGW [m NN] EK_012	238.28	238.37	238.58	238.47	238.27	238.03	237.87	237.63	237.47	237.44	237.66	237.80	237.99
MGW-Differenz [m]	-0.11	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	-0.14	-0.15	-0.15	-0.13

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_012	238.65	238.55	238.46	238.39	238.26	238.11	237.98	237.92	237.80	237.68	237.60	237.59	237.56
GWSP [m NN] EK_012	238.53	238.42	238.34	238.28	238.13	237.98	237.83	237.77	237.66	237.53	237.46	237.44	237.42
Differenz [m]	-0.12	-0.13	-0.12	-0.11	-0.13	-0.13	-0.14	-0.15	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_013

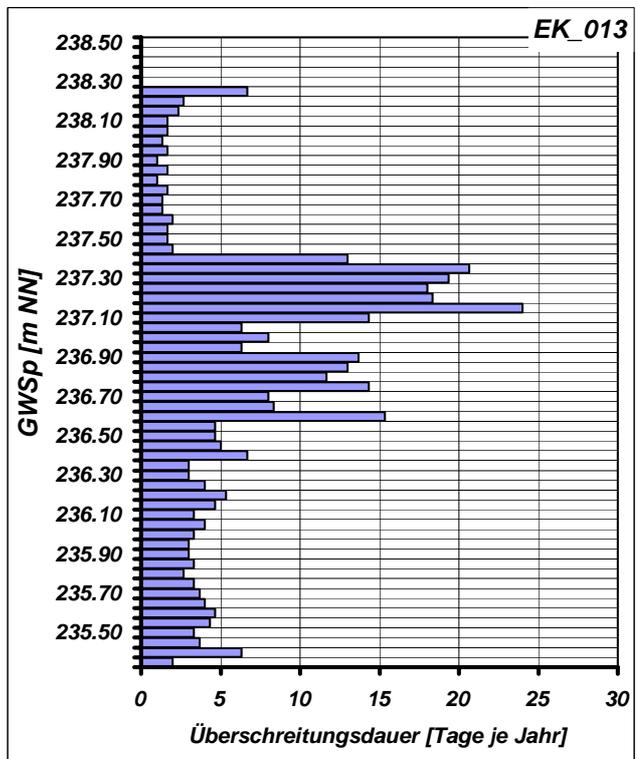
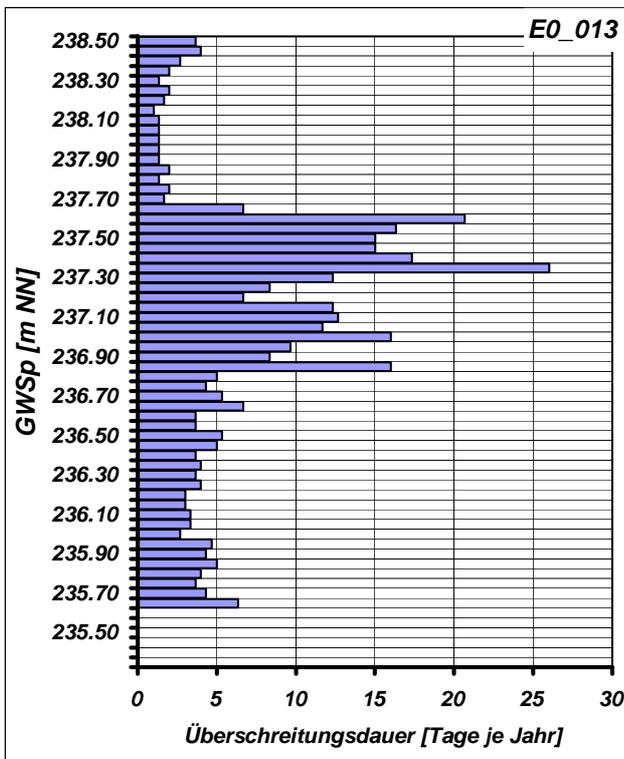
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

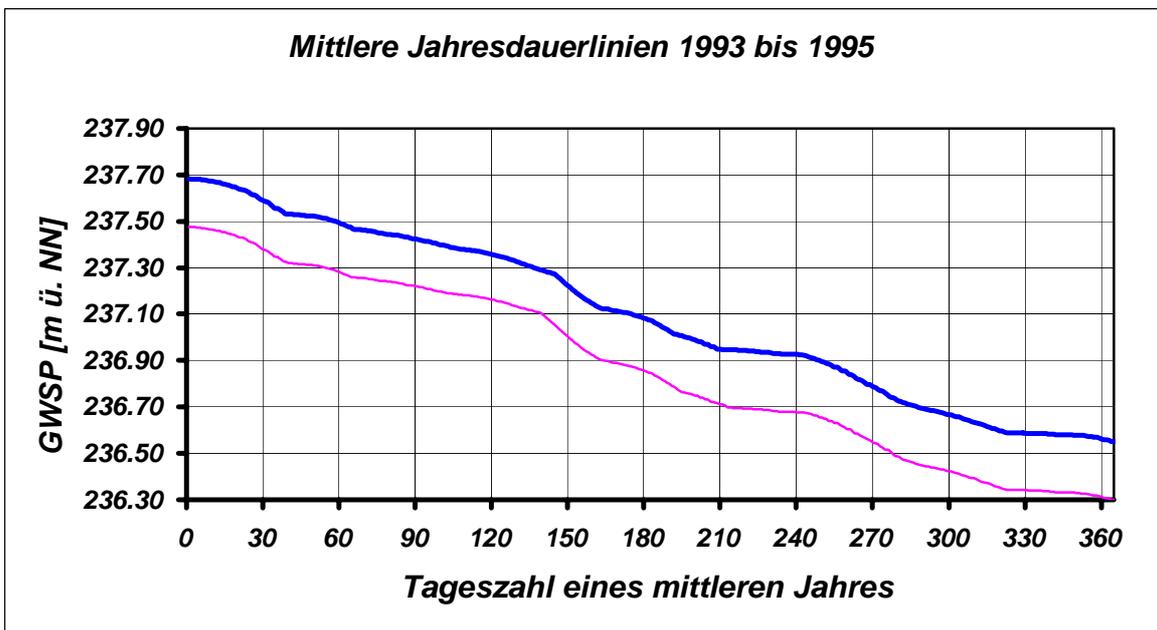
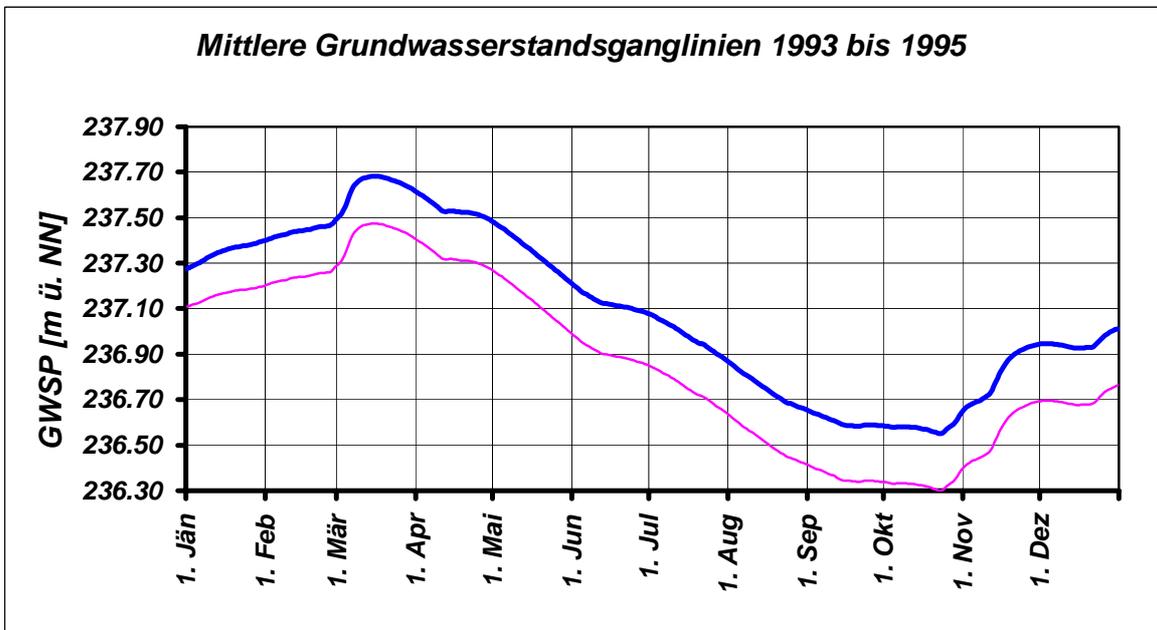
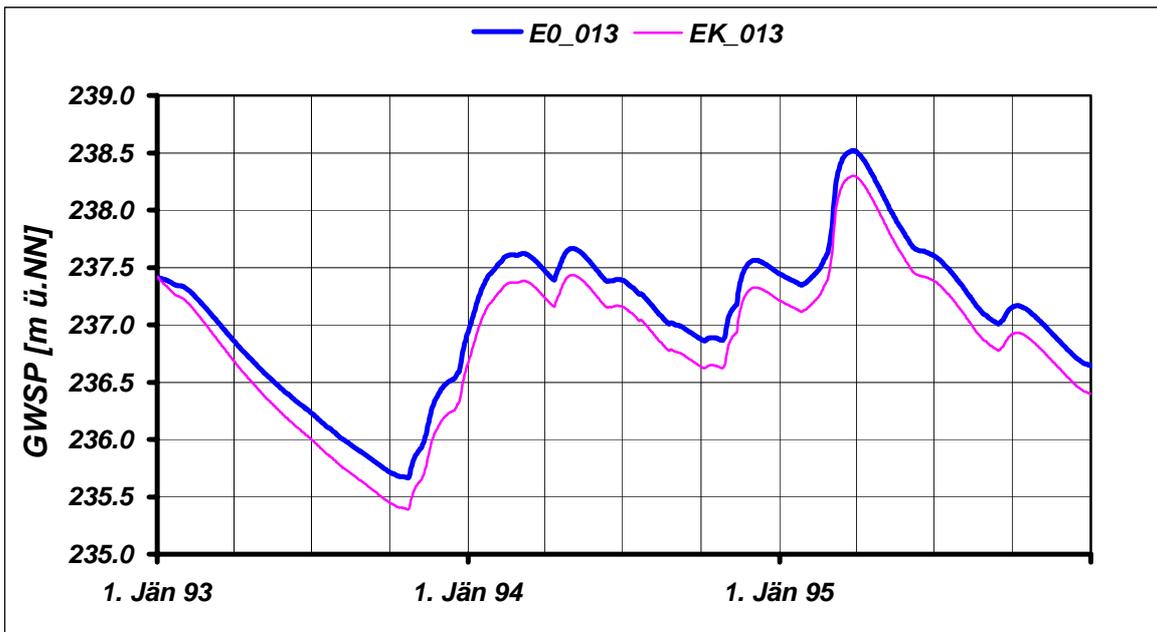
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_013	236.96	237.13	236.86	236.63	236.41	236.23	236.04	235.88	235.71	235.66	235.88	236.45	235.66
NGW [m NN] EK_013	236.69	236.99	236.69	236.43	236.20	236.00	235.80	235.62	235.45	235.39	235.60	236.17	235.39
NGW-Differenz [m]	-0.27	-0.15	-0.18	-0.20	-0.22	-0.23	-0.24	-0.26	-0.27	-0.28	-0.28	-0.28	-0.28
HGW [m NN] E0_013	237.48	237.71	238.52	238.51	238.14	237.73	237.60	237.35	237.15	237.17	237.56	237.56	238.52
HGW [m NN] EK_013	237.42	237.48	238.30	238.29	237.93	237.51	237.38	237.13	236.92	236.93	237.32	237.33	238.30
HGW-Differenz [m]	-0.07	-0.23	-0.22	-0.22	-0.21	-0.22	-0.22	-0.22	-0.23	-0.23	-0.24	-0.24	-0.22
MGW [m NN] E0_013	237.34	237.44	237.64	237.53	237.35	237.12	236.97	236.74	236.60	236.57	236.81	236.95	237.09
MGW [m NN] EK_013	237.16	237.24	237.43	237.32	237.13	236.90	236.74	236.51	236.36	236.32	236.55	236.70	236.86
MGW-Differenz [m]	-0.19	-0.20	-0.21	-0.21	-0.22	-0.22	-0.23	-0.24	-0.24	-0.25	-0.25	-0.25	-0.23

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_013	237.58	237.49	237.42	237.35	237.22	237.08	236.94	236.92	236.79	236.66	236.58	236.58	236.56
GWSP [m NN] EK_013	237.38	237.28	237.22	237.16	237.00	236.85	236.71	236.67	236.54	236.42	236.34	236.33	236.31
Differenz [m]	-0.21	-0.21	-0.20	-0.20	-0.22	-0.23	-0.24	-0.25	-0.24	-0.24	-0.25	-0.25	-0.25

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_014

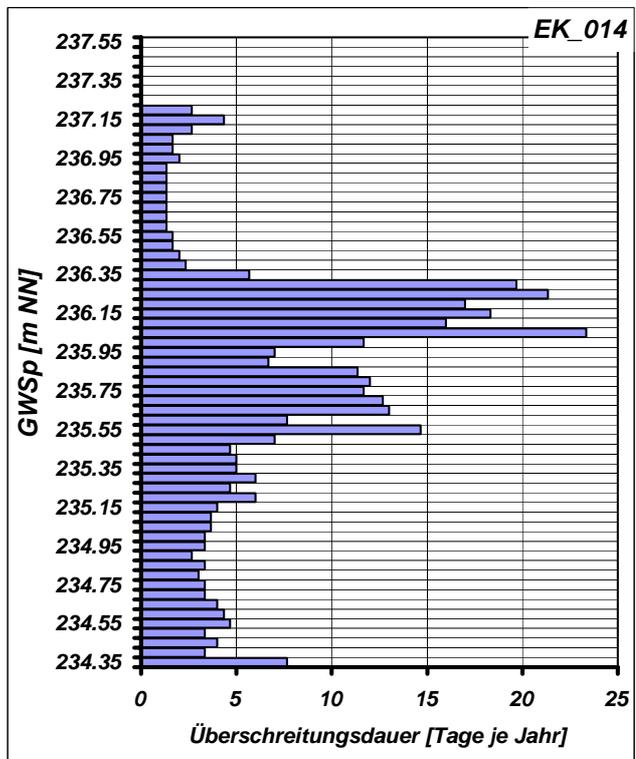
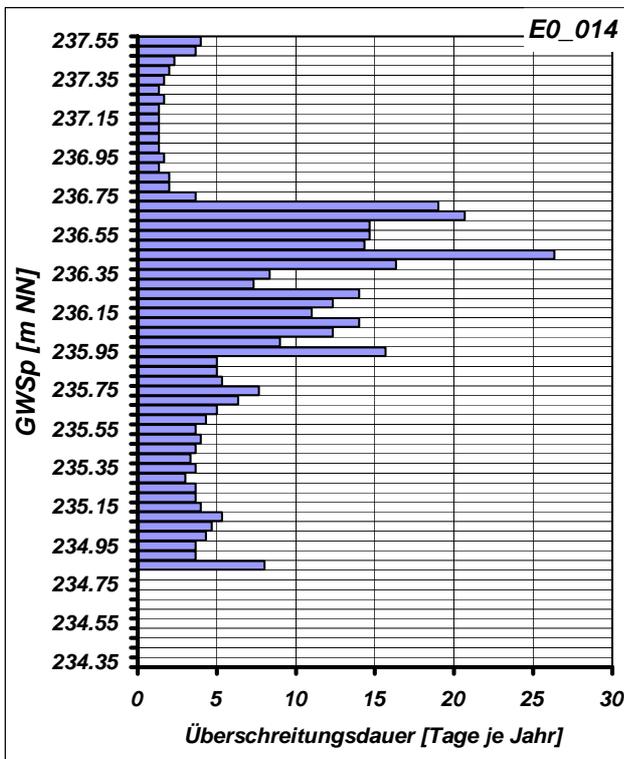
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

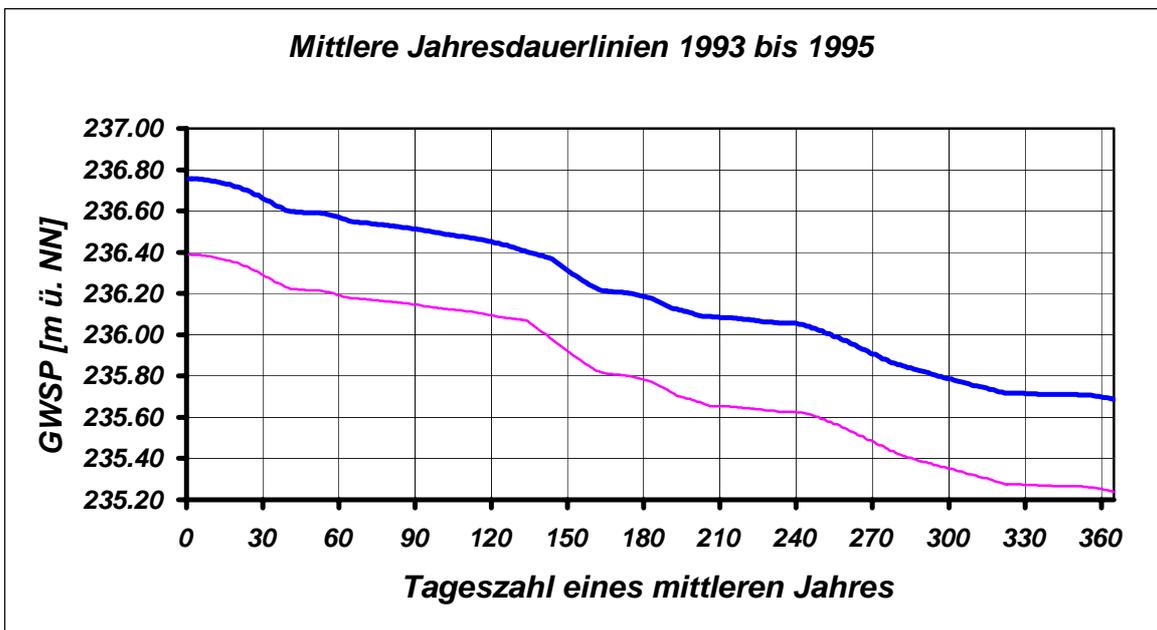
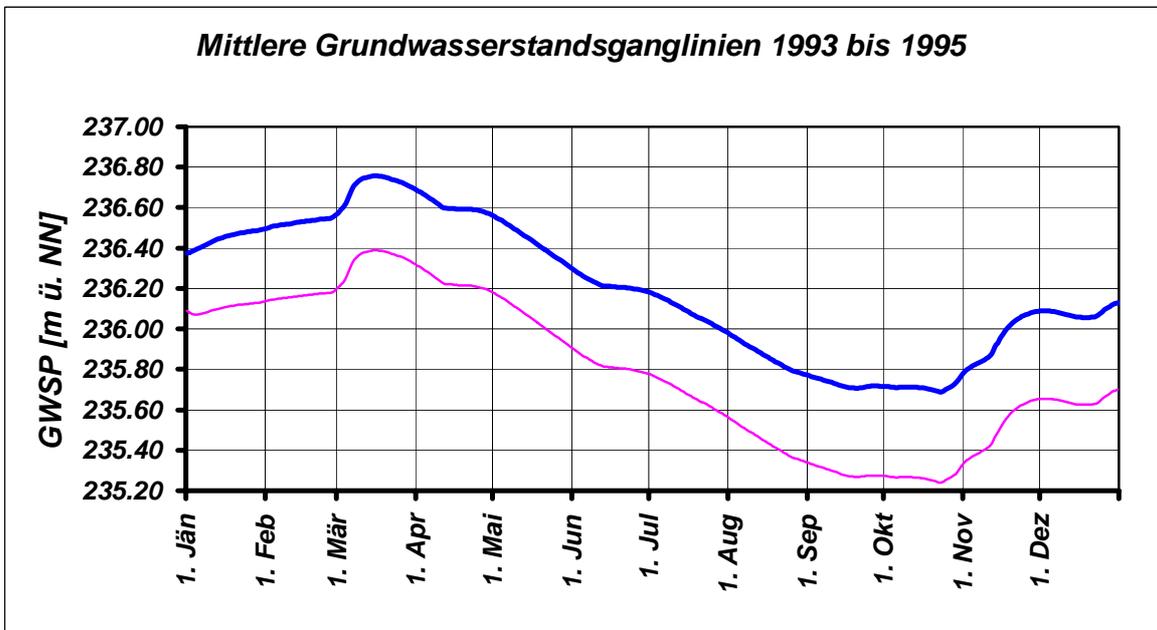
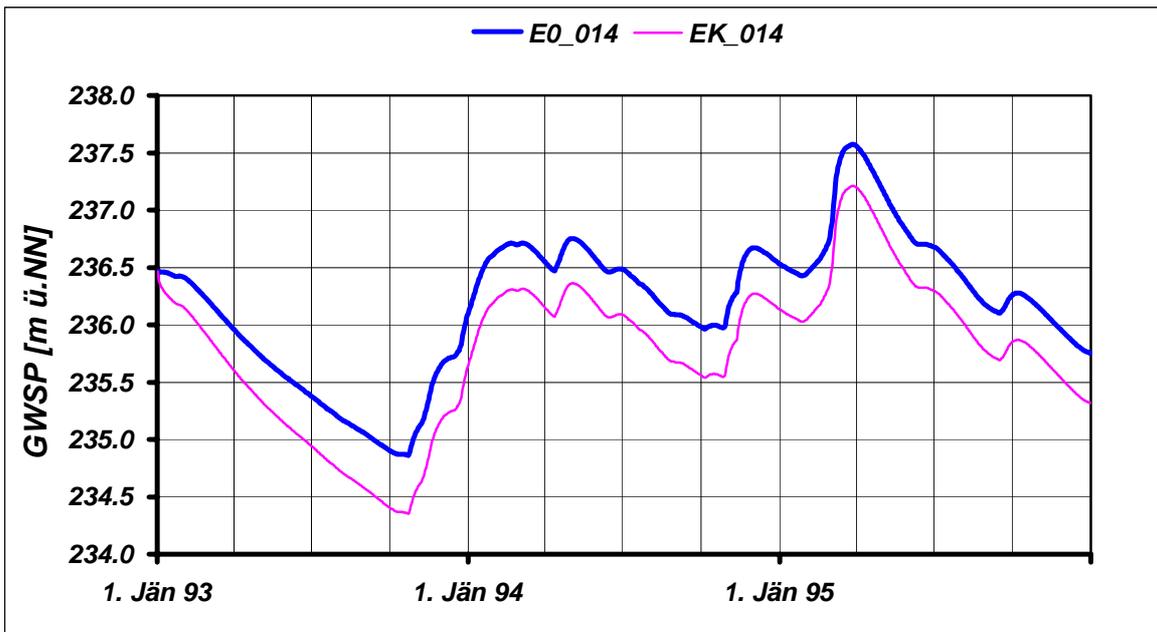
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_014	236.12	236.22	235.96	235.74	235.55	235.38	235.20	235.06	234.90	234.86	235.08	235.67	234.86
NGW [m NN] EK_014	235.67	235.91	235.61	235.35	235.13	234.95	234.74	234.58	234.41	234.35	234.57	235.19	234.35
NGW-Differenz [m]	-0.45	-0.31	-0.35	-0.39	-0.41	-0.44	-0.46	-0.48	-0.50	-0.51	-0.51	-0.48	-0.51
HGW [m NN] E0_014	236.62	236.76	237.57	237.55	237.18	236.79	236.68	236.44	236.26	236.28	236.67	236.67	237.57
HGW [m NN] EK_014	236.46	236.36	237.21	237.20	236.82	236.41	236.30	236.05	235.85	235.87	236.27	236.27	237.21
HGW-Differenz [m]	-0.16	-0.39	-0.36	-0.36	-0.36	-0.37	-0.38	-0.39	-0.41	-0.41	-0.40	-0.40	-0.36
MGW [m NN] E0_014	236.44	236.53	236.71	236.61	236.43	236.22	236.08	235.86	235.73	235.71	235.95	236.08	236.20
MGW [m NN] EK_014	236.10	236.16	236.34	236.23	236.05	235.82	235.67	235.44	235.29	235.26	235.51	235.65	235.79
MGW-Differenz [m]	-0.34	-0.37	-0.37	-0.38	-0.39	-0.40	-0.41	-0.42	-0.44	-0.45	-0.44	-0.43	-0.40

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_014	236.66	236.57	236.51	236.45	236.31	236.19	236.08	236.05	235.91	235.78	235.71	235.71	235.70
GWSP [m NN] EK_014	236.29	236.19	236.14	236.09	235.92	235.78	235.65	235.62	235.48	235.35	235.27	235.26	235.25
Differenz [m]	-0.37	-0.38	-0.37	-0.36	-0.39	-0.40	-0.43	-0.43	-0.42	-0.43	-0.44	-0.44	-0.45

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_015

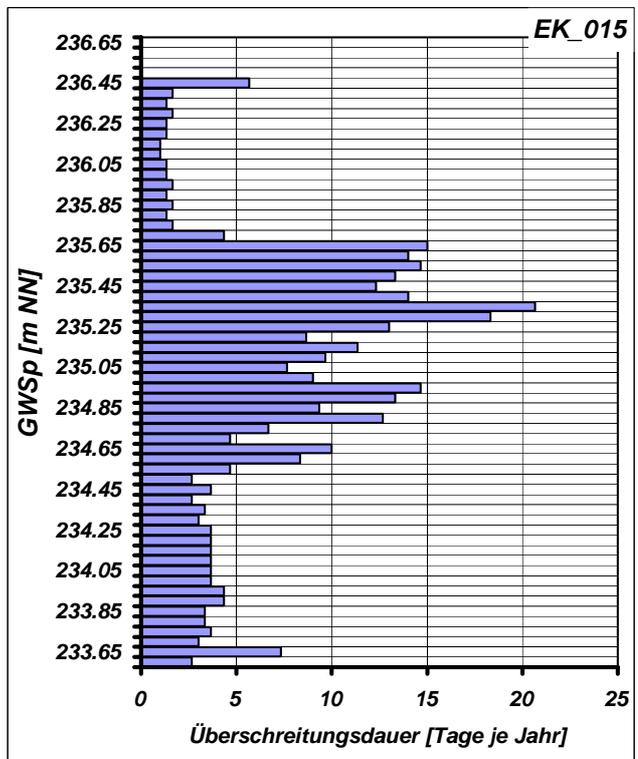
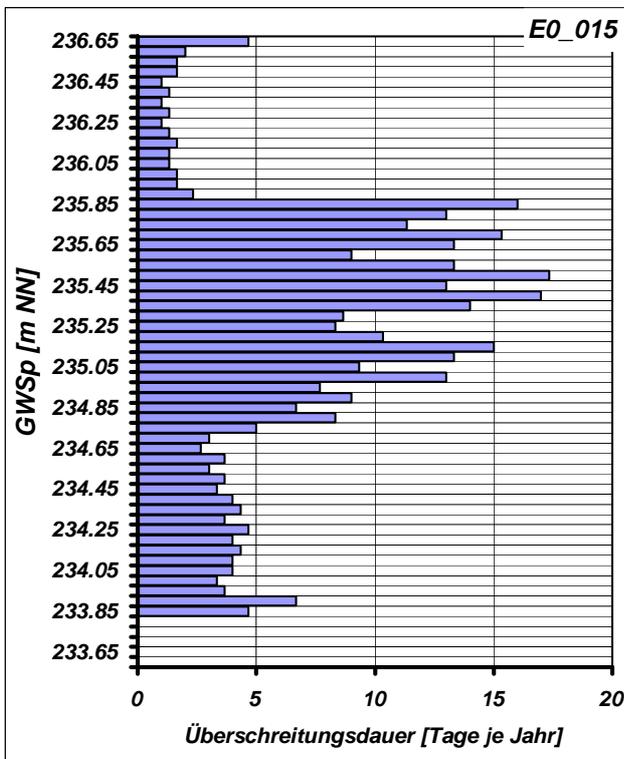
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

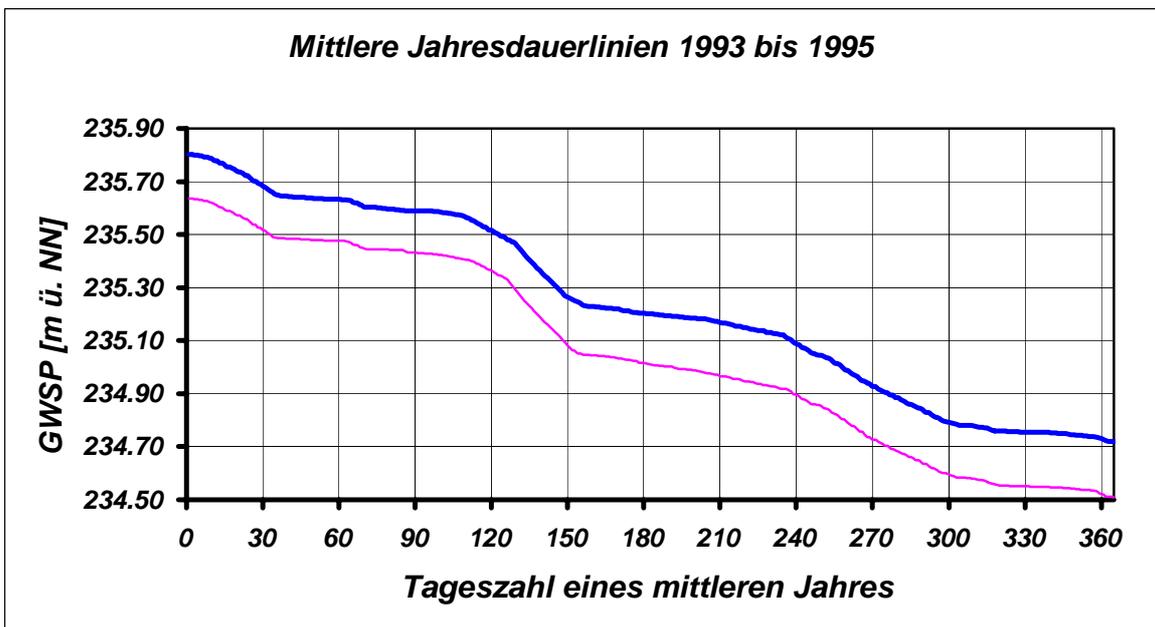
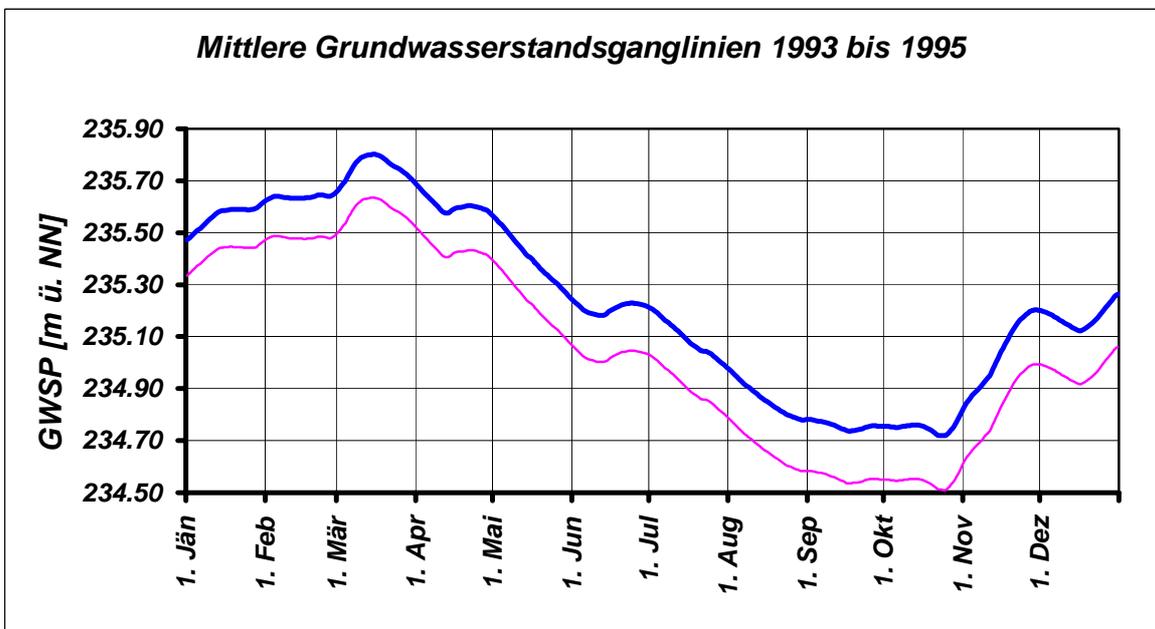
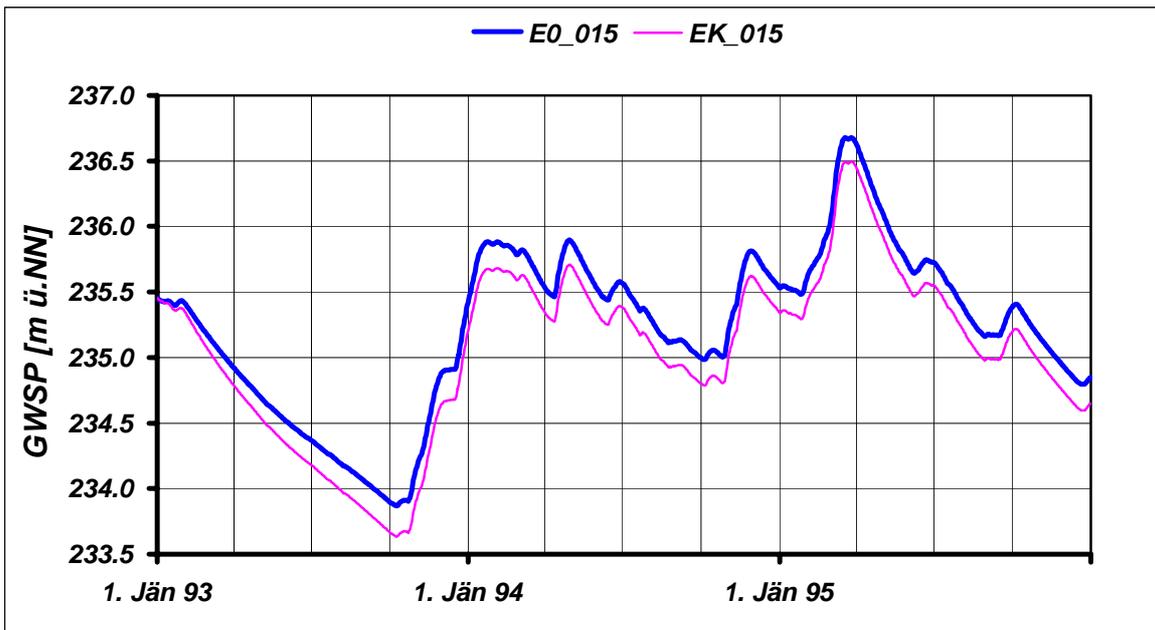
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_015	235.40	235.17	234.92	234.71	234.52	234.37	234.21	234.06	233.90	233.87	234.17	234.79	233.87
NGW [m NN] EK_015	235.23	235.07	234.79	234.55	234.35	234.18	234.01	233.84	233.67	233.63	233.92	234.60	233.63
NGW-Differenz [m]	-0.17	-0.10	-0.13	-0.16	-0.17	-0.19	-0.20	-0.22	-0.23	-0.23	-0.24	-0.20	-0.23
HGW [m NN] E0_015	235.88	236.01	236.68	236.62	236.11	235.74	235.72	235.42	235.38	235.41	235.81	235.80	236.68
HGW [m NN] EK_015	235.68	235.82	236.50	236.44	235.94	235.57	235.55	235.24	235.19	235.22	235.62	235.61	236.50
HGW-Differenz [m]	-0.21	-0.19	-0.18	-0.18	-0.17	-0.18	-0.17	-0.18	-0.19	-0.19	-0.19	-0.19	-0.18
MGW [m NN] E0_015	235.57	235.64	235.76	235.61	235.40	235.21	235.10	234.86	234.76	234.76	235.04	235.18	235.24
MGW [m NN] EK_015	235.43	235.49	235.59	235.44	235.23	235.03	234.91	234.67	234.56	234.55	234.83	234.97	235.06
MGW-Differenz [m]	-0.14	-0.16	-0.17	-0.17	-0.17	-0.18	-0.19	-0.19	-0.20	-0.21	-0.21	-0.21	-0.18

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_015	235.69	235.64	235.59	235.52	235.27	235.21	235.17	235.09	234.93	234.80	234.76	234.75	234.74
GWSP [m NN] EK_015	235.52	235.48	235.44	235.37	235.09	235.02	234.97	234.90	234.73	234.60	234.56	234.55	234.53
Differenz [m]	-0.17	-0.16	-0.16	-0.15	-0.18	-0.19	-0.20	-0.19	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.21

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_016

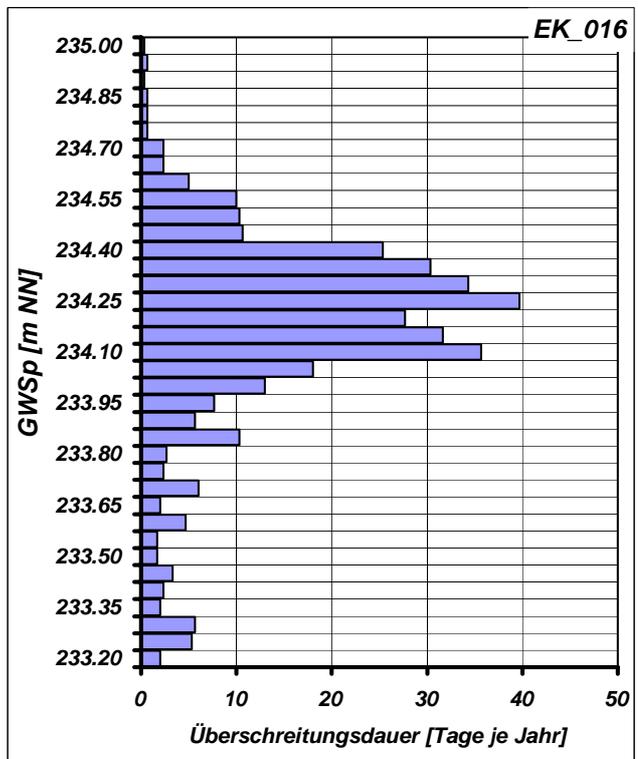
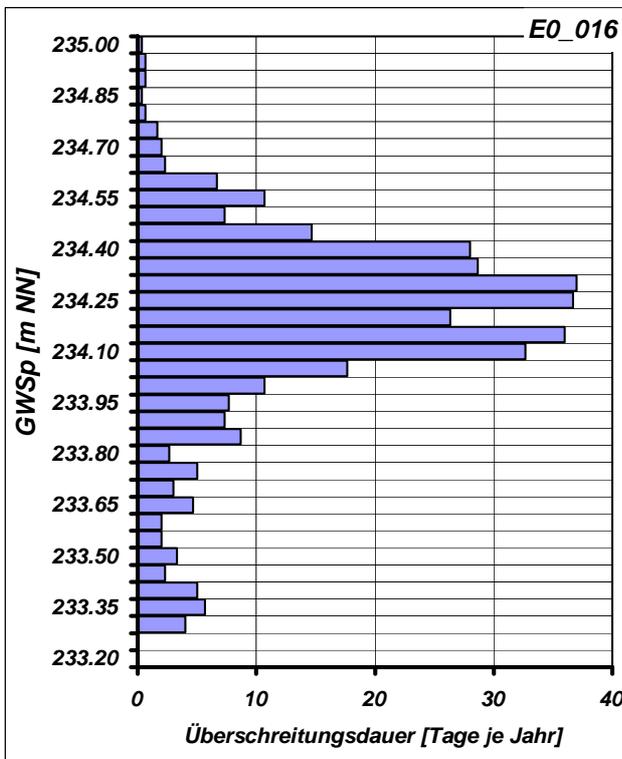
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

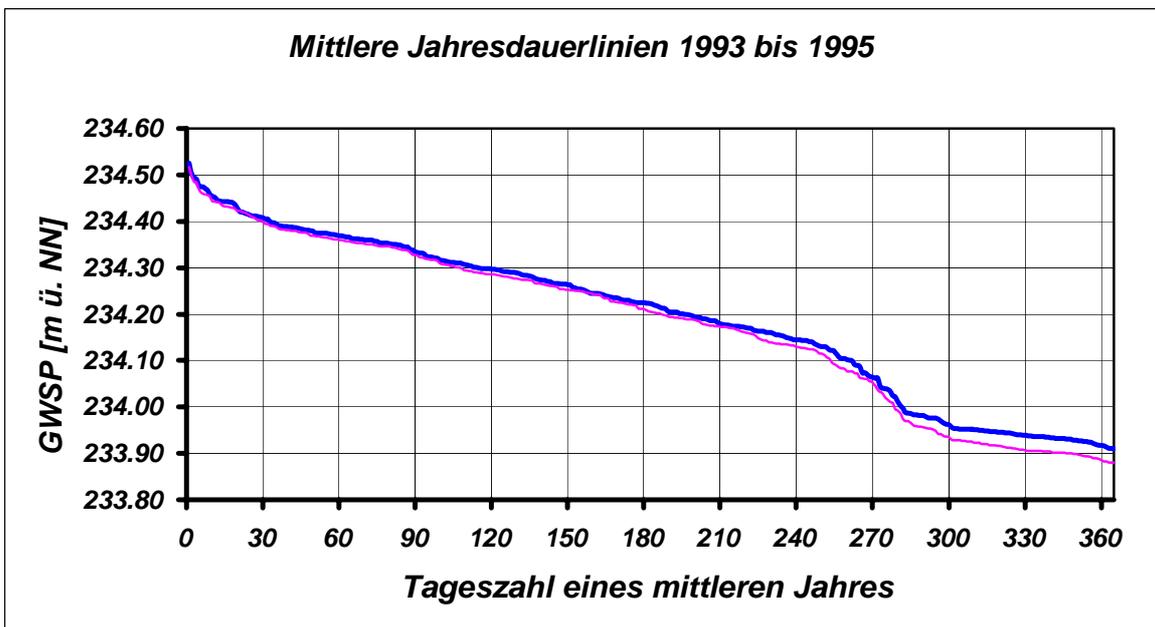
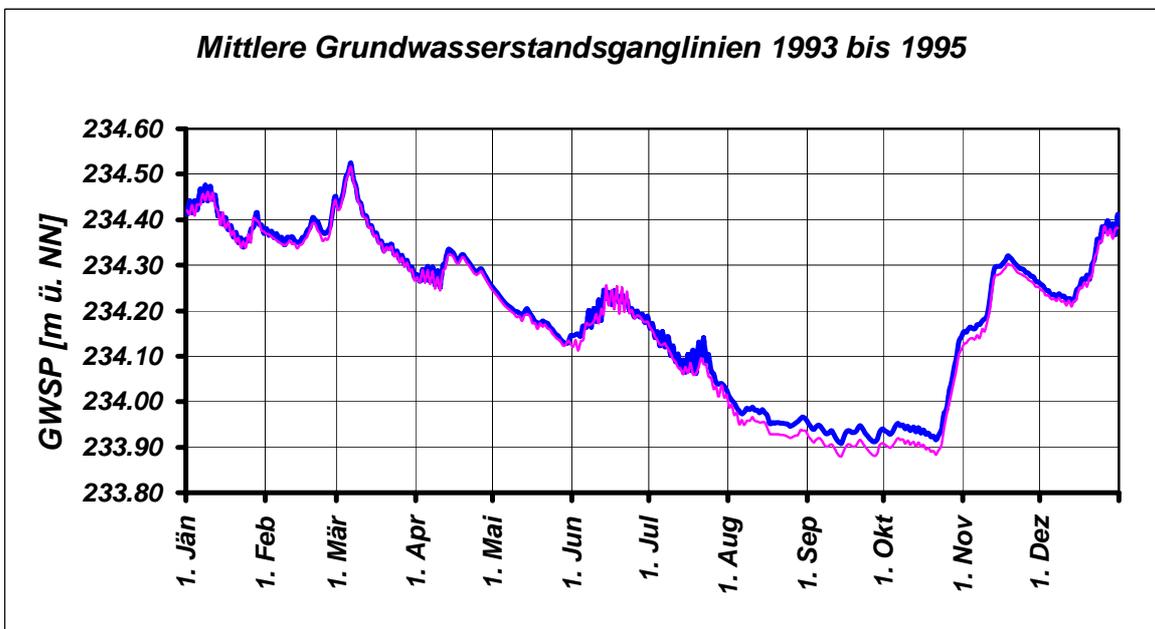
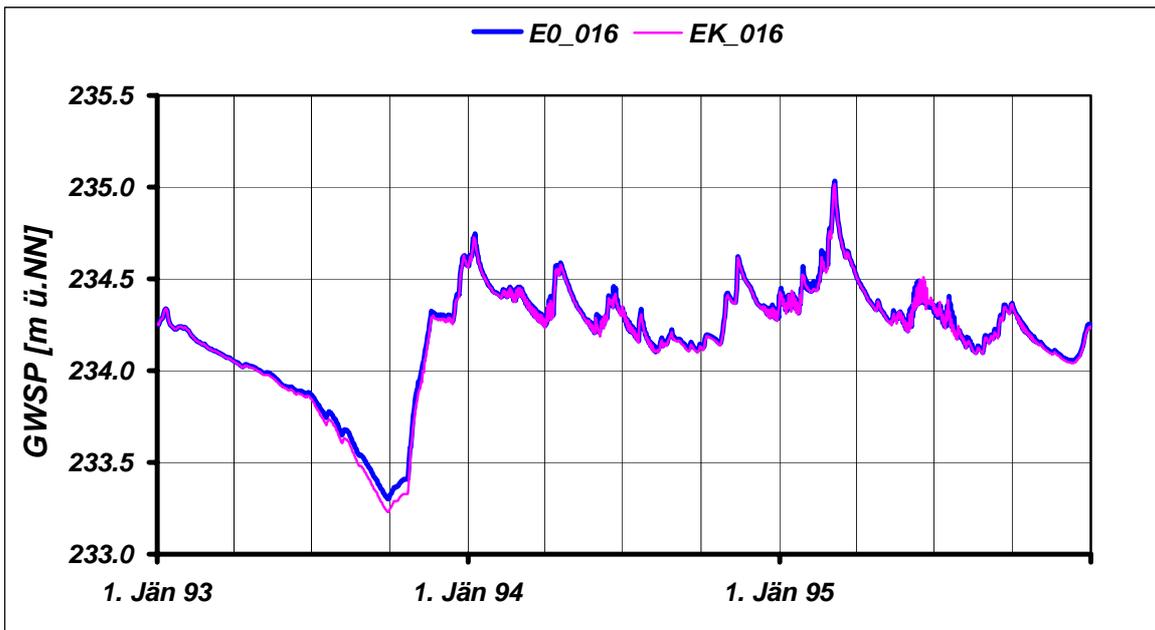
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_016	234.23	234.13	234.05	234.00	233.91	233.87	233.71	233.52	233.30	233.33	233.89	234.05	233.30
NGW [m NN] EK_016	234.23	234.13	234.05	233.99	233.90	233.85	233.67	233.46	233.23	233.25	233.83	234.04	233.23
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.07	-0.07	-0.06	-0.01	-0.07
HGW [m NN] E0_016	234.75	234.78	235.04	234.59	234.43	234.49	234.40	234.22	234.37	234.42	234.62	234.63	235.04
HGW [m NN] EK_016	234.72	234.76	235.02	234.58	234.42	234.51	234.39	234.21	234.36	234.41	234.62	234.63	235.02
HGW-Differenz [m]	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	0.00	-0.02
MGW [m NN] E0_016	234.41	234.38	234.38	234.29	234.18	234.20	234.10	233.97	233.93	233.97	234.25	234.29	234.20
MGW [m NN] EK_016	234.40	234.37	234.38	234.29	234.18	234.19	234.08	233.95	233.90	233.94	234.23	234.28	234.18
MGW-Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_016	234.41	234.37	234.33	234.30	234.26	234.23	234.18	234.15	234.07	233.96	233.94	233.93	233.92
GWSP [m NN] EK_016	234.40	234.36	234.33	234.29	234.25	234.21	234.17	234.13	234.06	233.94	233.91	233.90	233.89
Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_017

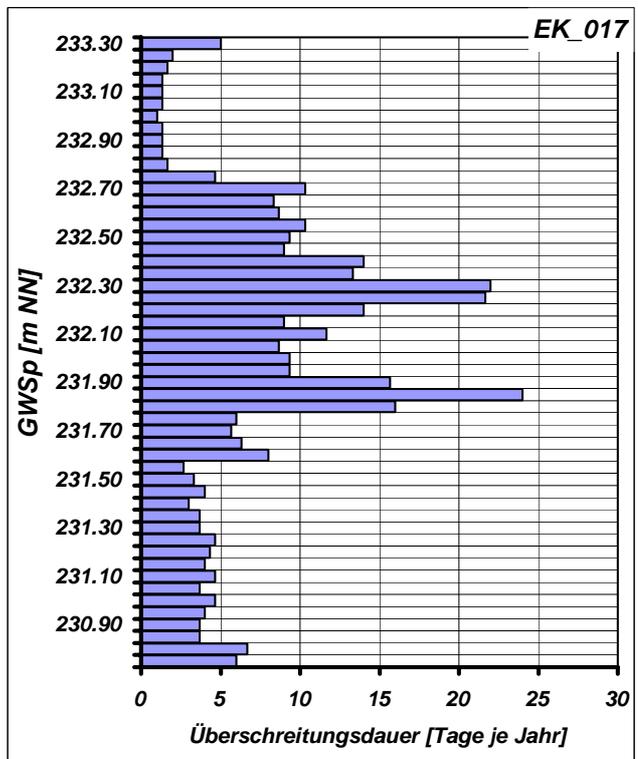
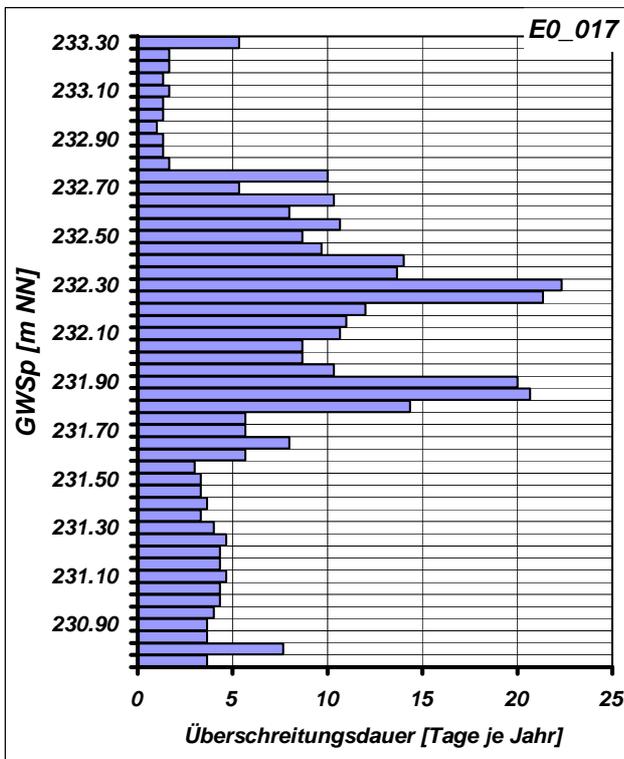
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

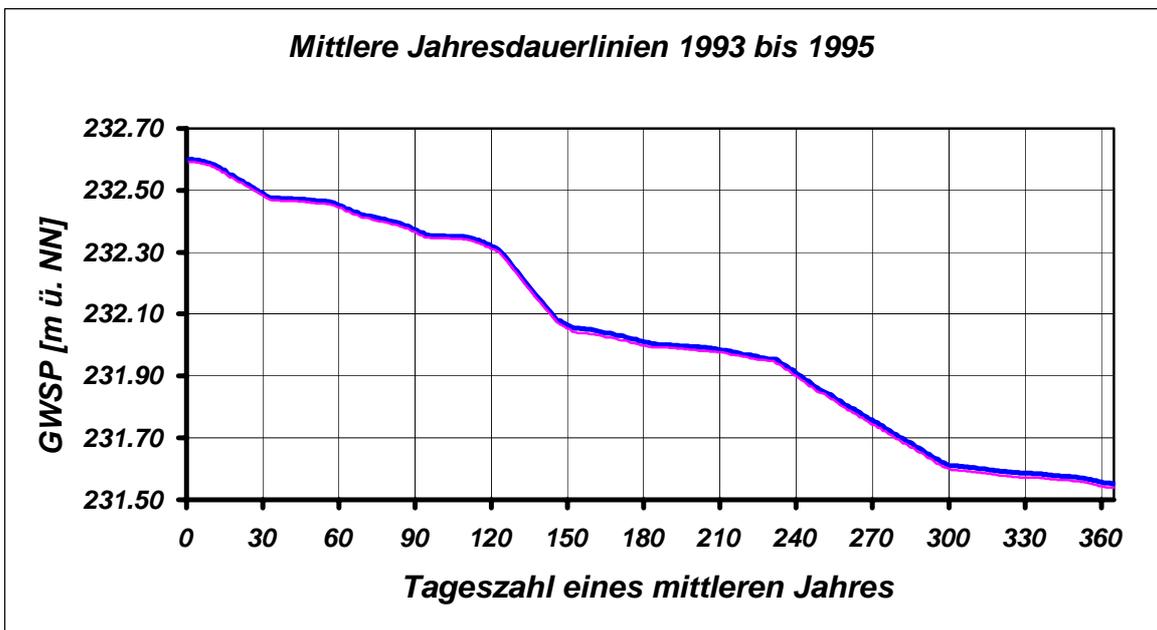
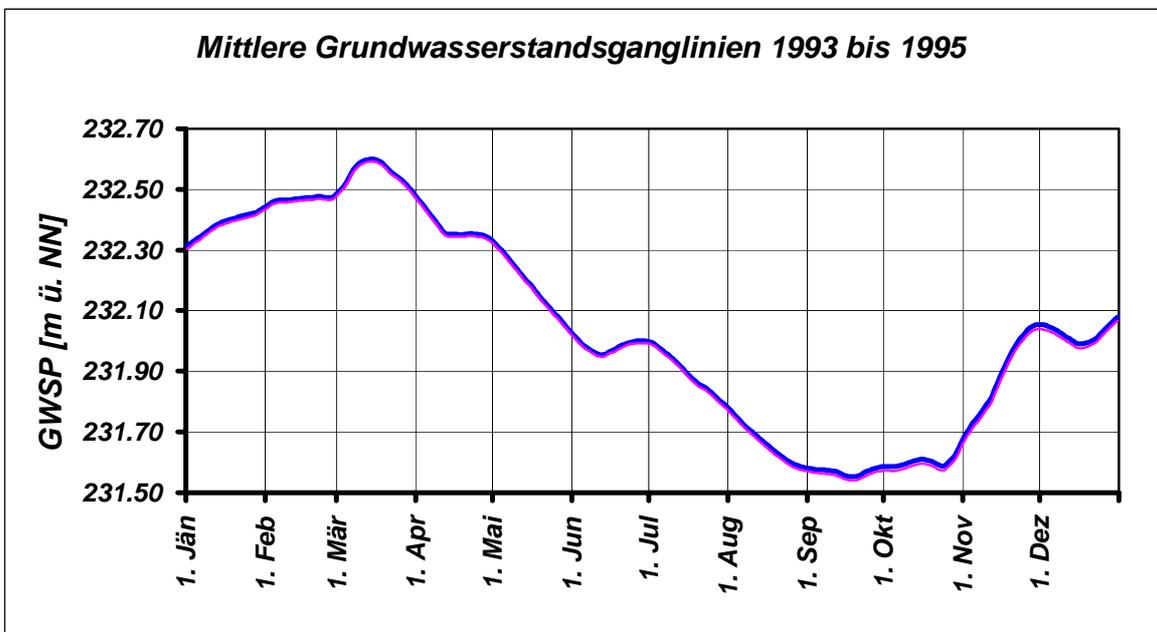
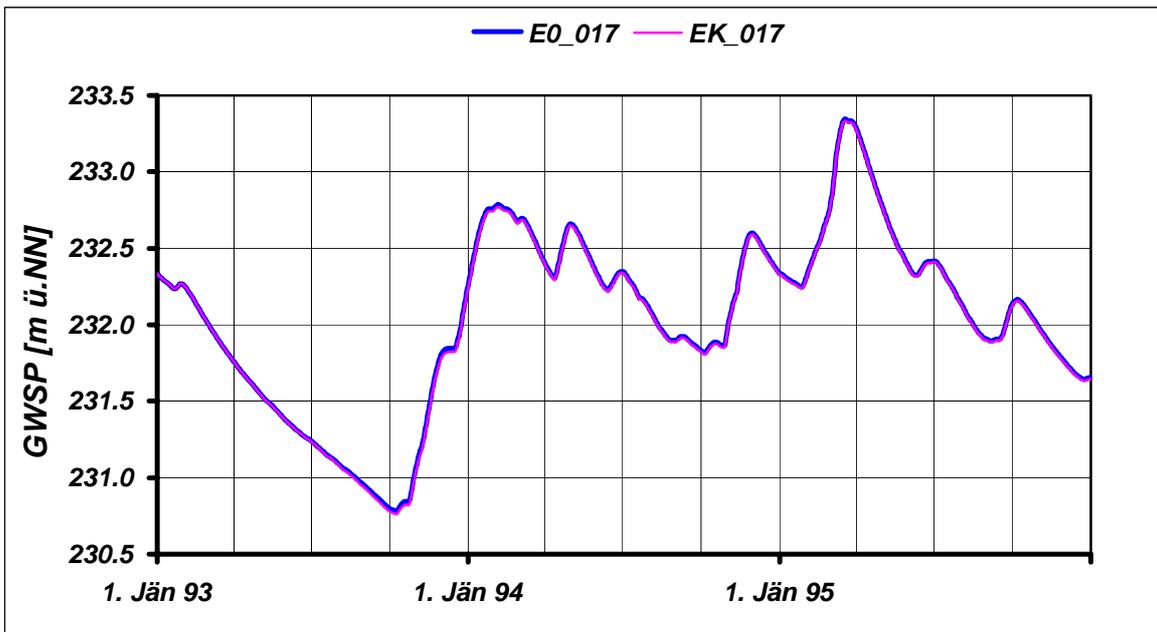
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_017	232.23	232.02	231.76	231.56	231.38	231.24	231.10	230.95	230.80	230.78	231.09	231.64	230.78
NGW [m NN] EK_017	232.23	232.02	231.76	231.55	231.37	231.24	231.09	230.94	230.78	230.76	231.06	231.63	230.76
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.01	-0.02
HGW [m NN] E0_017	232.77	232.79	233.34	233.28	232.77	232.42	232.42	232.14	232.13	232.17	232.60	232.60	233.34
HGW [m NN] EK_017	232.75	232.77	233.33	233.27	232.77	232.41	232.41	232.14	232.12	232.16	232.59	232.59	233.33
HGW-Differenz [m]	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
MGW [m NN] E0_017	232.39	232.47	232.56	232.38	232.18	231.99	231.90	231.67	231.57	231.61	231.89	232.03	232.05
MGW [m NN] EK_017	232.38	232.46	232.55	232.37	232.17	231.98	231.89	231.66	231.56	231.59	231.87	232.02	232.04
MGW-Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_017	232.49	232.45	232.38	232.32	232.07	232.01	231.99	231.91	231.76	231.61	231.59	231.58	231.56
GWSP [m NN] EK_017	232.49	232.45	232.37	232.31	232.06	232.00	231.98	231.90	231.74	231.60	231.58	231.57	231.55
Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_018

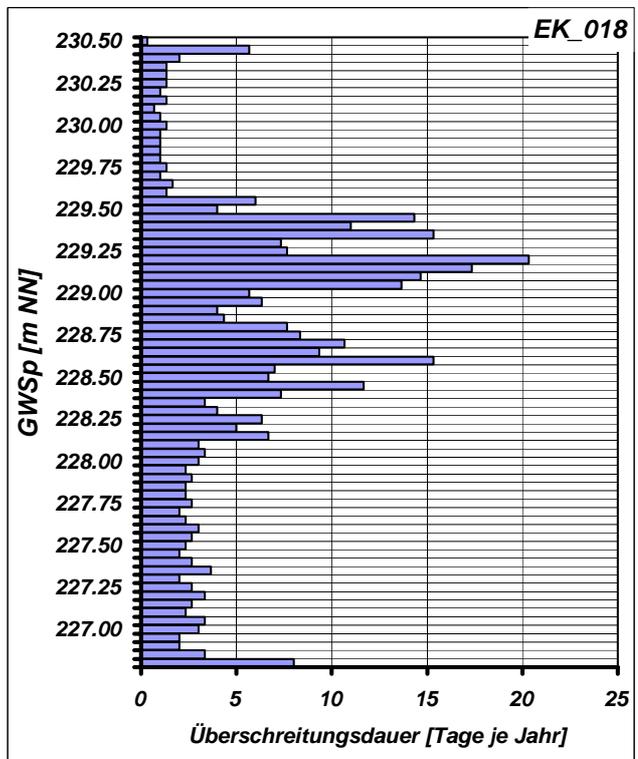
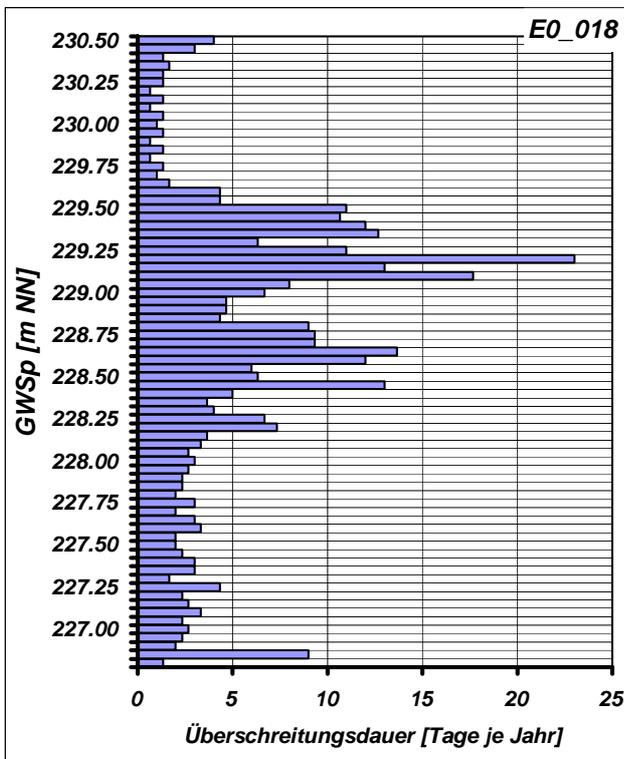
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

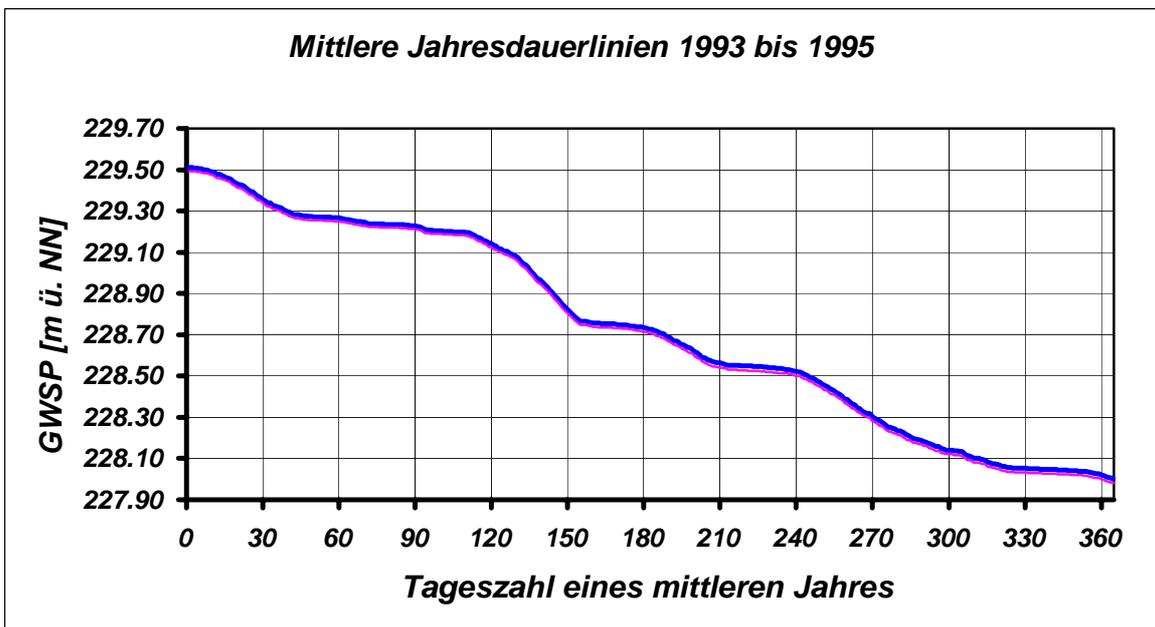
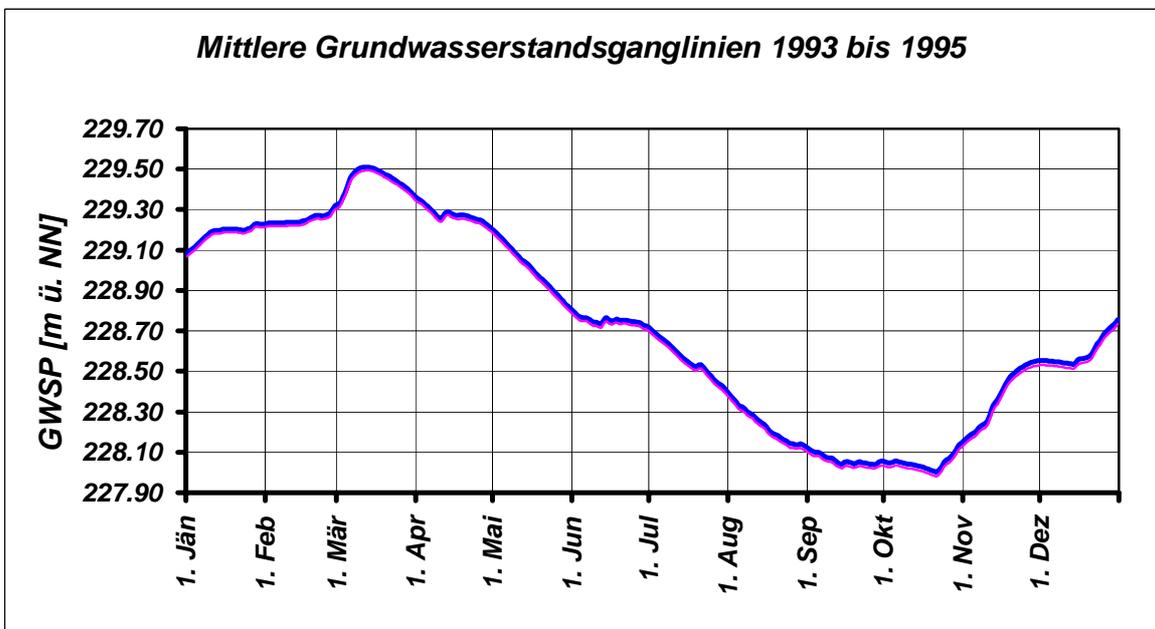
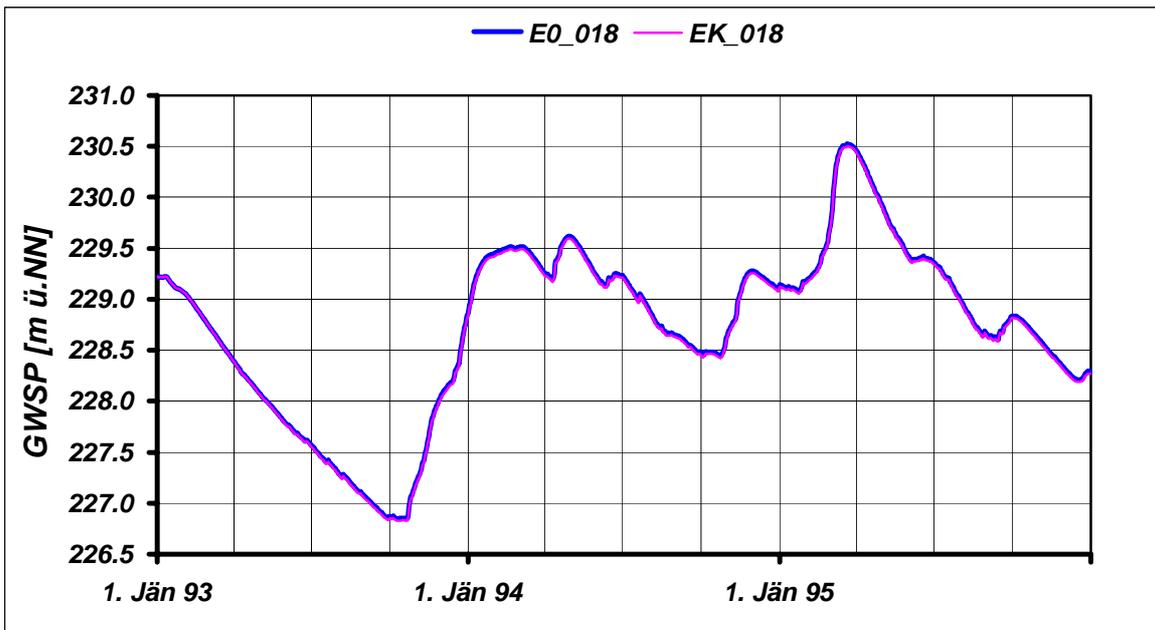
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_018	228.90	228.76	228.40	228.08	227.79	227.57	227.31	227.08	226.86	226.85	227.22	228.08	226.85
NGW [m NN] EK_018	228.87	228.76	228.39	228.07	227.77	227.56	227.29	227.06	226.84	226.83	227.20	228.05	226.83
NGW-Differenz [m]	-0.03	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.02
HGW [m NN] E0_018	229.45	229.70	230.52	230.45	229.92	229.42	229.36	228.99	228.84	228.84	229.28	229.28	230.52
HGW [m NN] EK_018	229.42	229.68	230.50	230.43	229.90	229.40	229.34	228.97	228.82	228.82	229.26	229.26	230.50
HGW-Differenz [m]	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
MGW [m NN] E0_018	229.19	229.26	229.45	229.28	229.01	228.76	228.56	228.24	228.07	228.05	228.38	228.60	228.74
MGW [m NN] EK_018	229.17	229.24	229.44	229.26	228.99	228.74	228.54	228.22	228.05	228.03	228.36	228.58	228.72
MGW-Differenz [m]	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_018	229.36	229.27	229.23	229.15	228.83	228.74	228.57	228.53	228.31	228.15	228.06	228.05	228.03
GWSP [m NN] EK_018	229.34	229.25	229.22	229.13	228.81	228.72	228.55	228.51	228.29	228.13	228.04	228.03	228.00
Differenz [m]	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





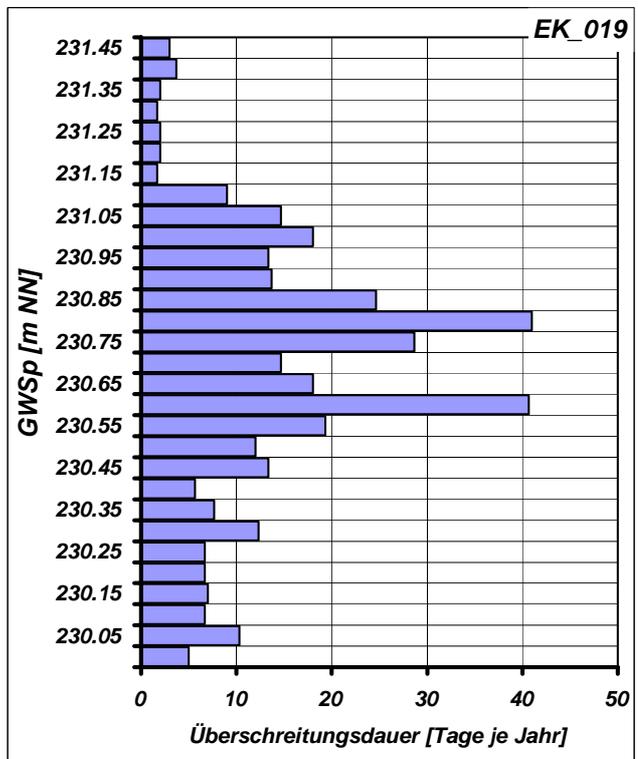
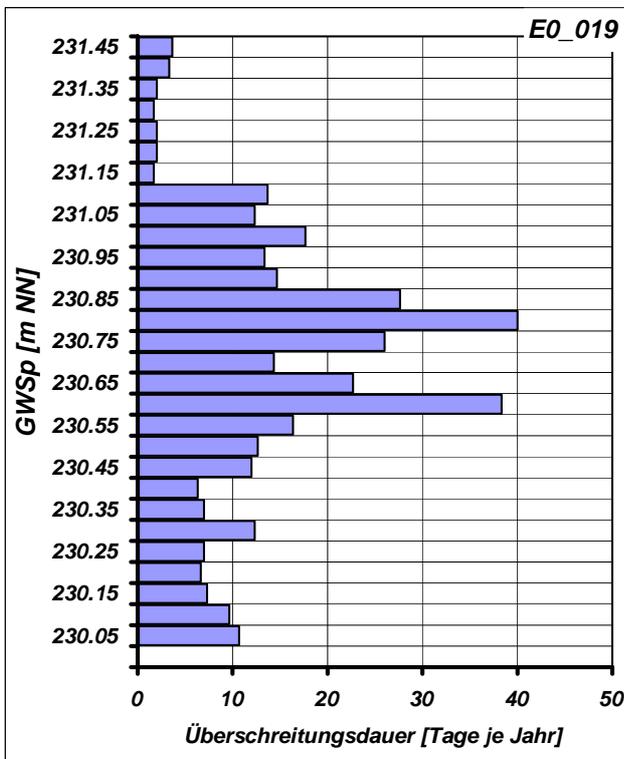
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

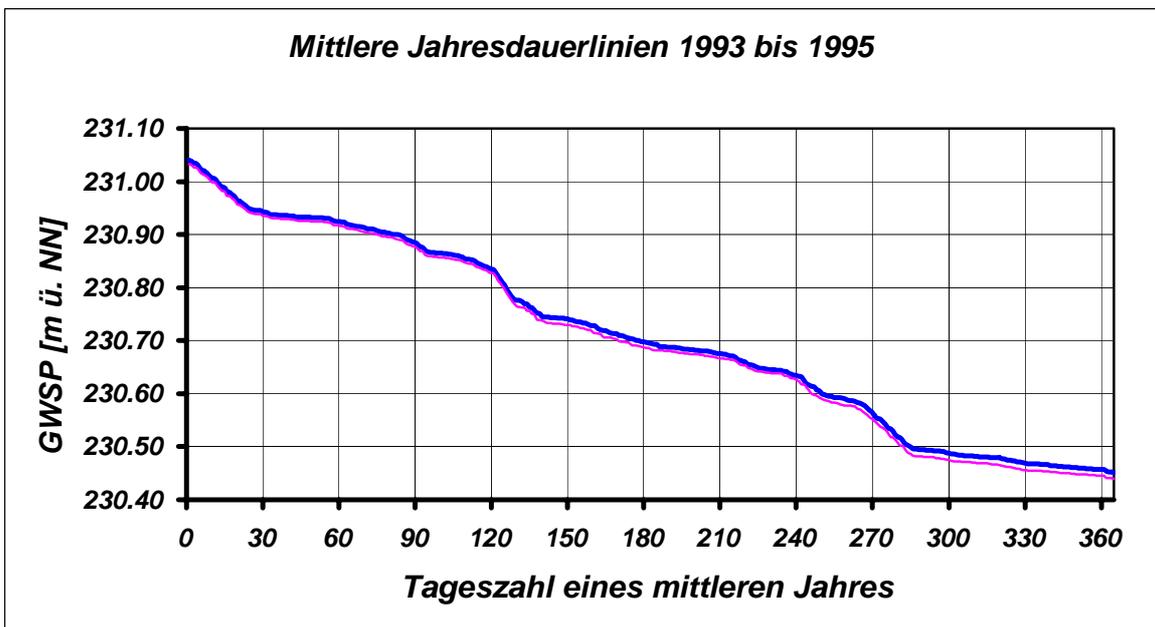
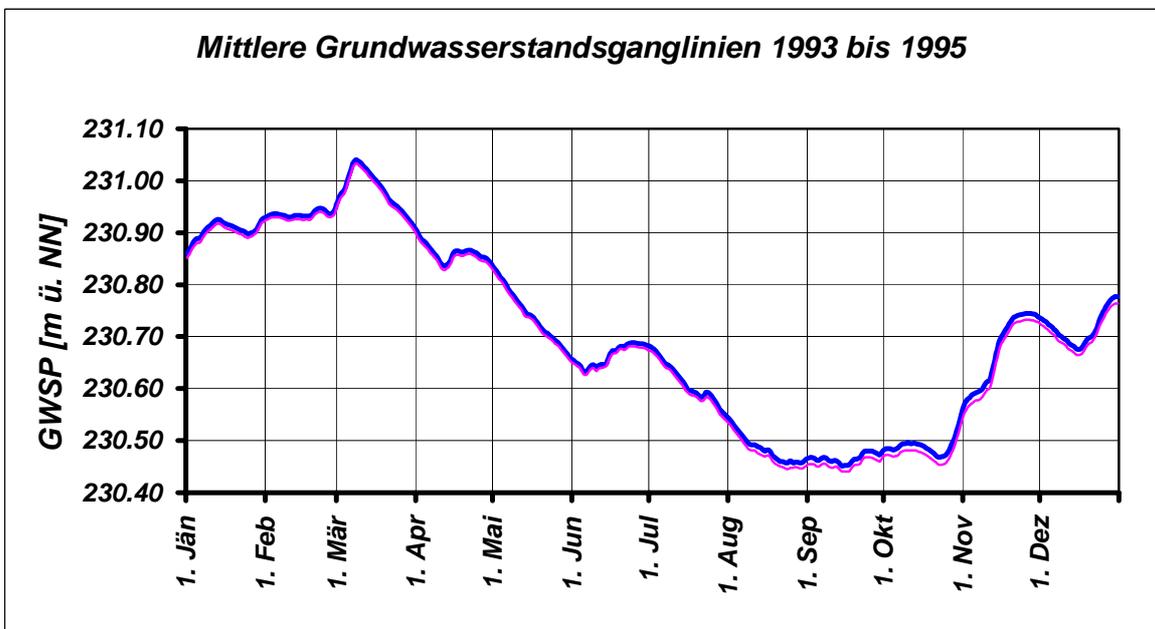
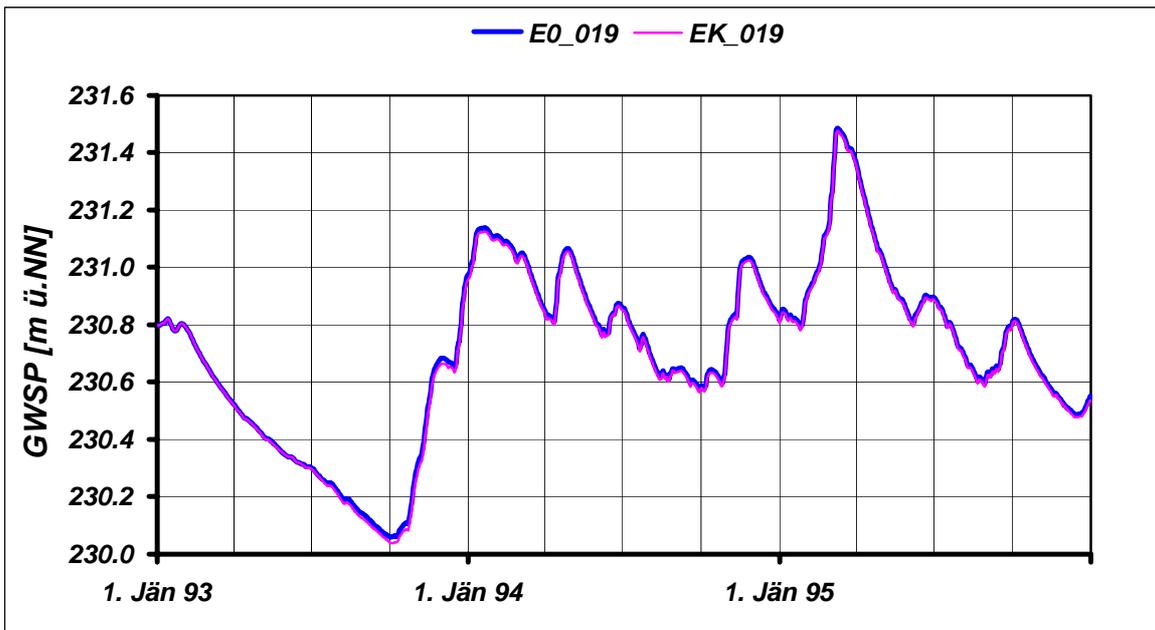
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_019	230.78	230.66	230.52	230.43	230.35	230.30	230.22	230.14	230.06	230.06	230.30	230.49	230.06
NGW [m NN] EK_019	230.78	230.65	230.52	230.43	230.35	230.30	230.21	230.12	230.04	230.04	230.27	230.48	230.04
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.01	-0.02
HGW [m NN] E0_019	231.14	231.16	231.49	231.36	231.05	230.90	230.89	230.72	230.80	230.82	231.03	231.01	231.49
HGW [m NN] EK_019	231.13	231.15	231.48	231.35	231.04	230.90	230.89	230.71	230.79	230.81	231.02	231.00	231.48
HGW-Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
MGW [m NN] E0_019	230.91	230.94	230.99	230.86	230.74	230.67	230.62	230.49	230.47	230.49	230.68	230.72	230.71
MGW [m NN] EK_019	230.90	230.93	230.98	230.86	230.74	230.66	230.61	230.48	230.46	230.48	230.66	230.71	230.71
MGW-Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_019	230.95	230.93	230.89	230.84	230.74	230.70	230.68	230.64	230.57	230.49	230.47	230.47	230.46
GWSP [m NN] EK_019	230.94	230.92	230.88	230.83	230.73	230.69	230.67	230.63	230.56	230.48	230.46	230.45	230.45
Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_020

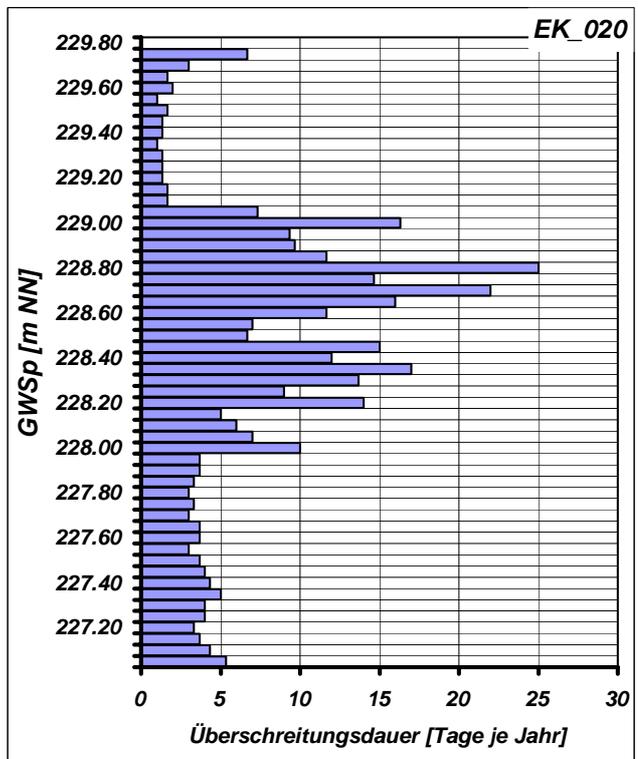
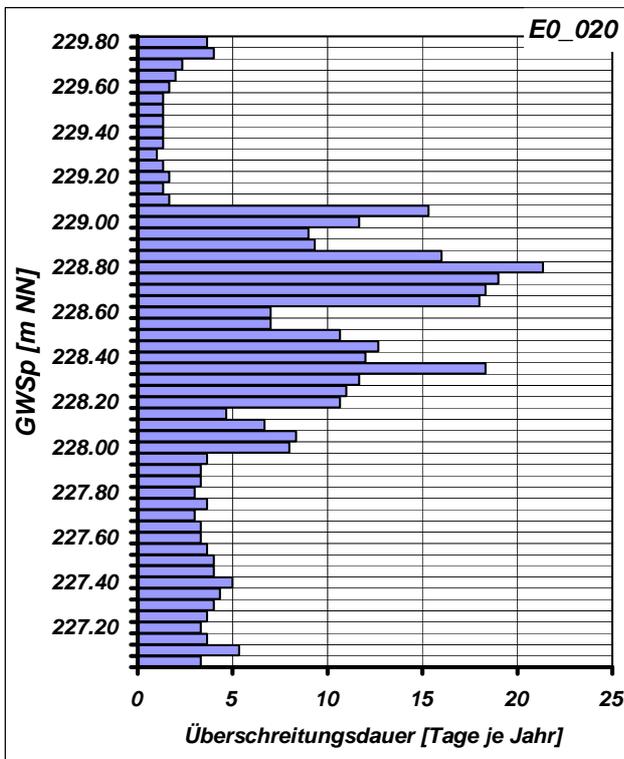
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

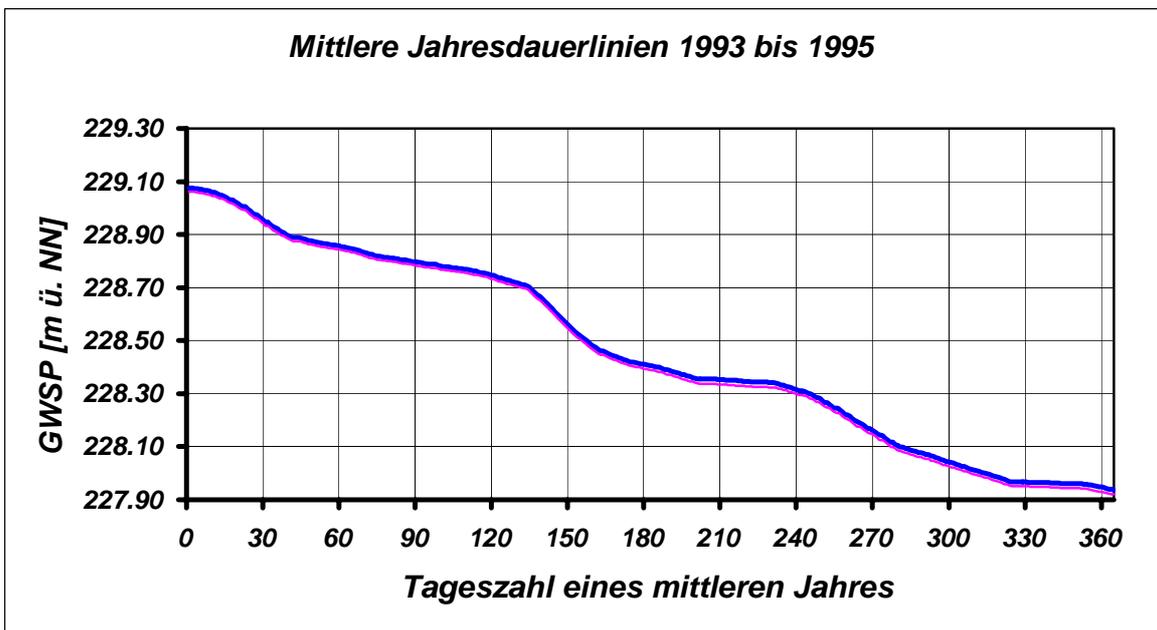
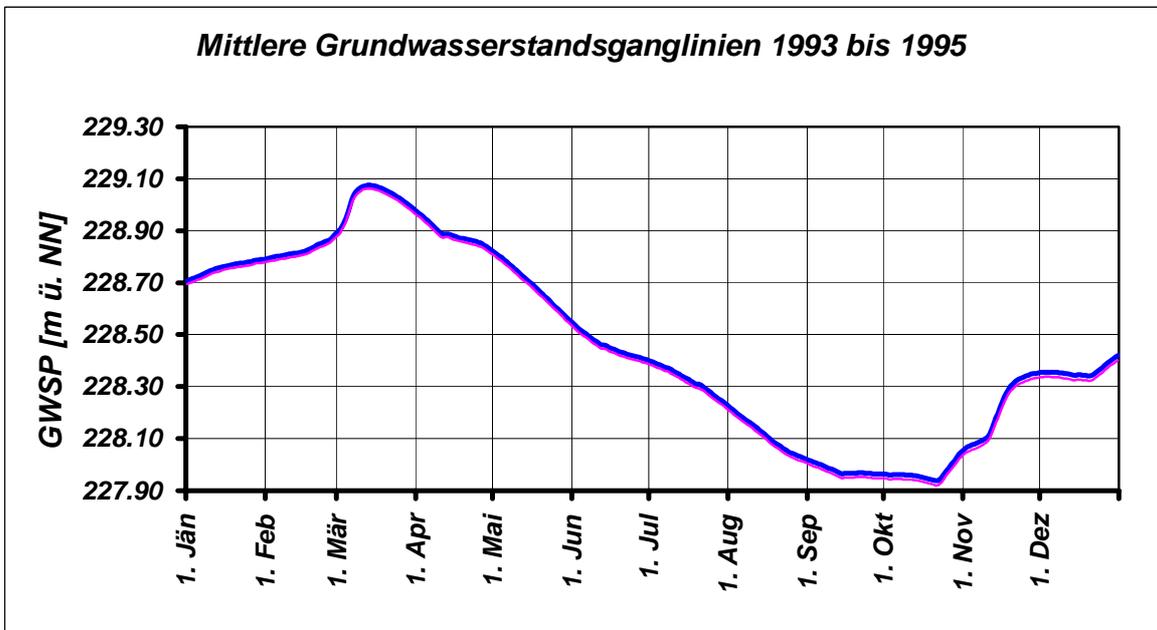
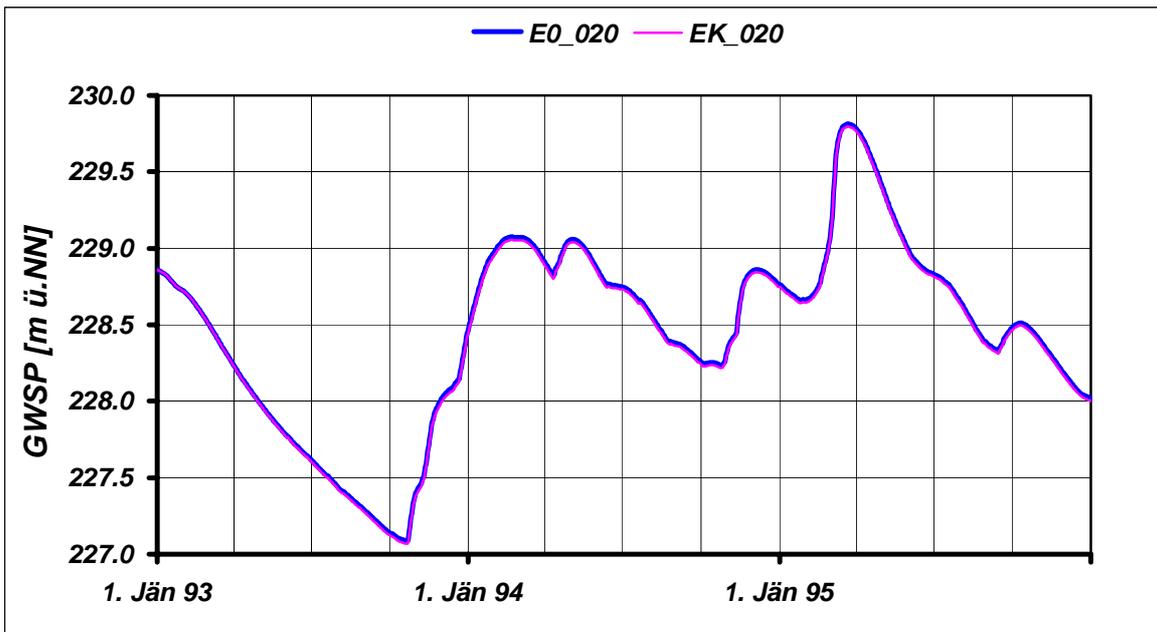
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_020	228.49	228.52	228.24	227.99	227.78	227.62	227.44	227.29	227.14	227.09	227.42	228.02	227.09
NGW [m NN] EK_020	228.46	228.52	228.23	227.99	227.77	227.61	227.43	227.28	227.13	227.07	227.40	228.00	227.07
NGW-Differenz [m]	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
HGW [m NN] E0_020	228.98	229.07	229.81	229.78	229.40	228.98	228.83	228.65	228.48	228.51	228.85	228.86	229.81
HGW [m NN] EK_020	228.95	229.05	229.80	229.76	229.39	228.97	228.81	228.63	228.46	228.49	228.83	228.84	229.80
HGW-Differenz [m]	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
MGW [m NN] E0_020	228.75	228.82	229.02	228.88	228.69	228.45	228.32	228.11	227.97	227.96	228.21	228.36	228.46
MGW [m NN] EK_020	228.74	228.81	229.01	228.87	228.67	228.44	228.31	228.09	227.96	227.95	228.19	228.34	228.45
MGW-Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_020	228.95	228.85	228.79	228.74	228.56	228.41	228.35	228.31	228.16	228.04	227.96	227.96	227.94
GWSP [m NN] EK_020	228.94	228.84	228.78	228.73	228.54	228.39	228.33	228.30	228.14	228.02	227.95	227.94	227.93
Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_021

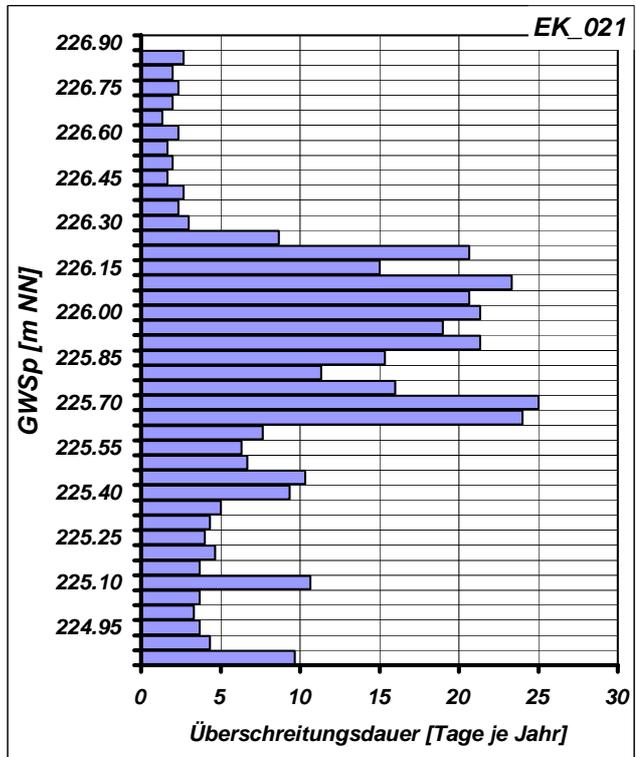
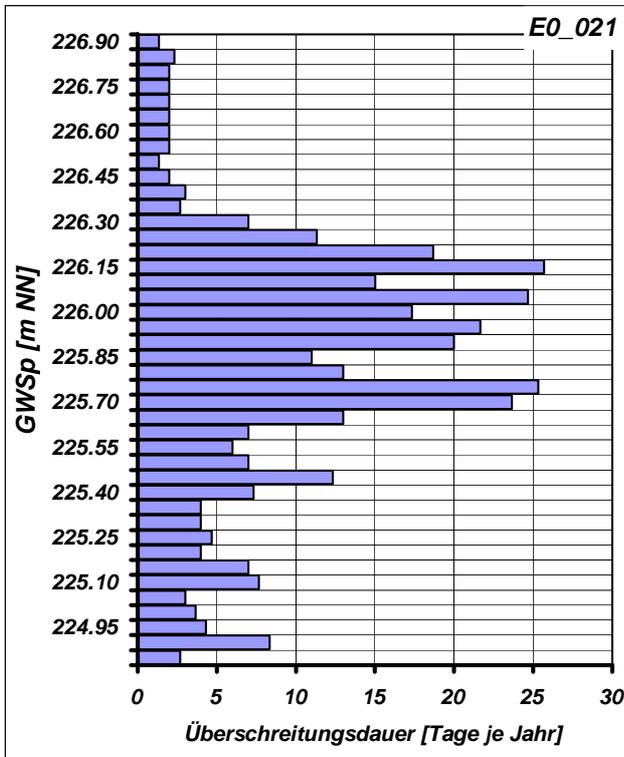
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

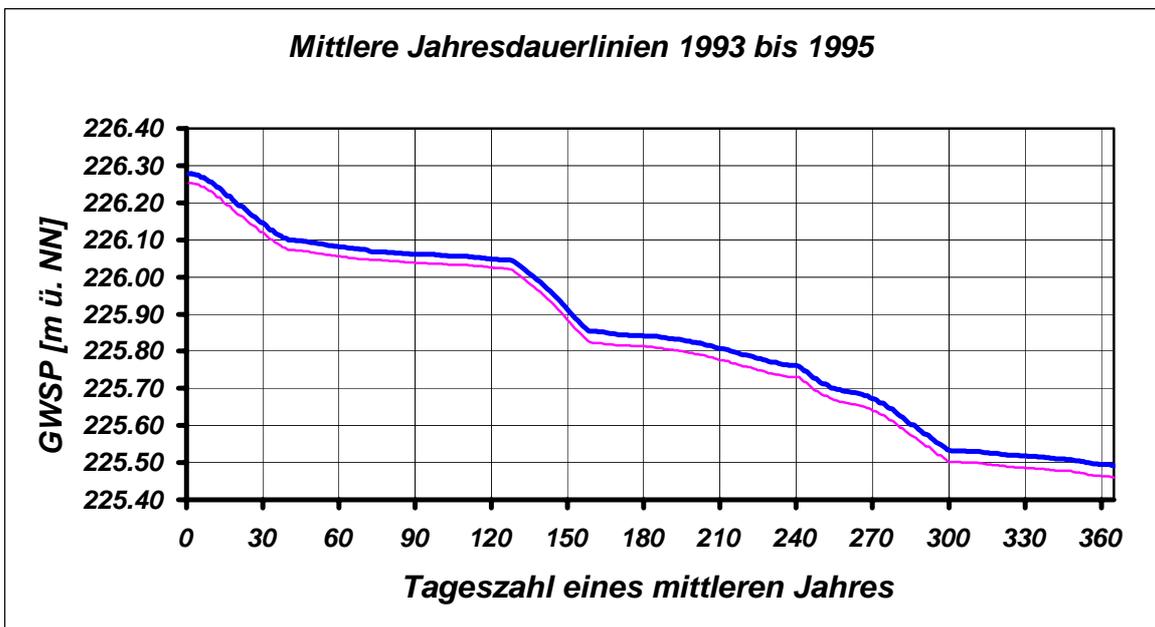
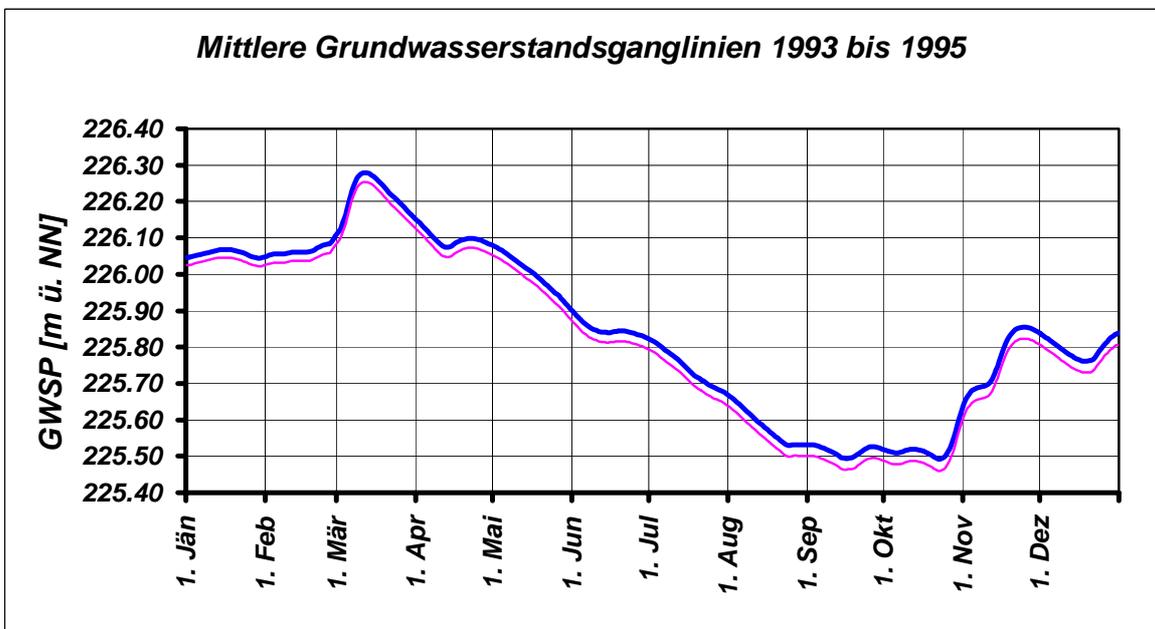
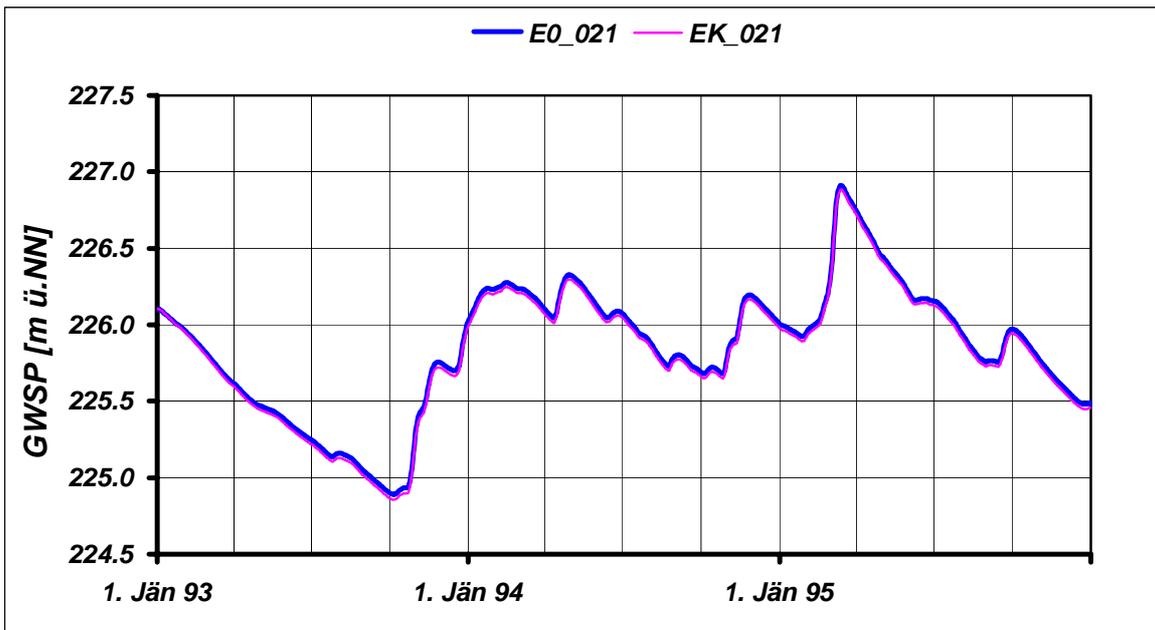
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_021	225.92	225.81	225.62	225.47	225.38	225.25	225.14	225.04	224.90	224.89	225.35	225.48	224.89
NGW [m NN] EK_021	225.89	225.79	225.60	225.45	225.35	225.22	225.11	225.01	224.87	224.86	225.31	225.45	224.86
NGW-Differenz [m]	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.03
HGW [m NN] E0_021	226.24	226.28	226.91	226.74	226.44	226.21	226.15	225.95	225.97	225.97	226.20	226.18	226.91
HGW [m NN] EK_021	226.21	226.25	226.88	226.71	226.42	226.18	226.13	225.92	225.94	225.94	226.17	226.15	226.88
HGW-Differenz [m]	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
MGW [m NN] E0_021	226.06	226.07	226.22	226.10	226.00	225.85	225.74	225.58	225.52	225.52	225.77	225.80	225.85
MGW [m NN] EK_021	226.04	226.04	226.19	226.07	225.97	225.82	225.71	225.55	225.49	225.49	225.74	225.77	225.82
MGW-Differenz [m]	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_021	226.15	226.08	226.06	226.05	225.91	225.84	225.81	225.76	225.67	225.53	225.52	225.51	225.50
GWSP [m NN] EK_021	226.12	226.06	226.04	226.03	225.89	225.81	225.78	225.73	225.64	225.50	225.49	225.48	225.47
Differenz [m]	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





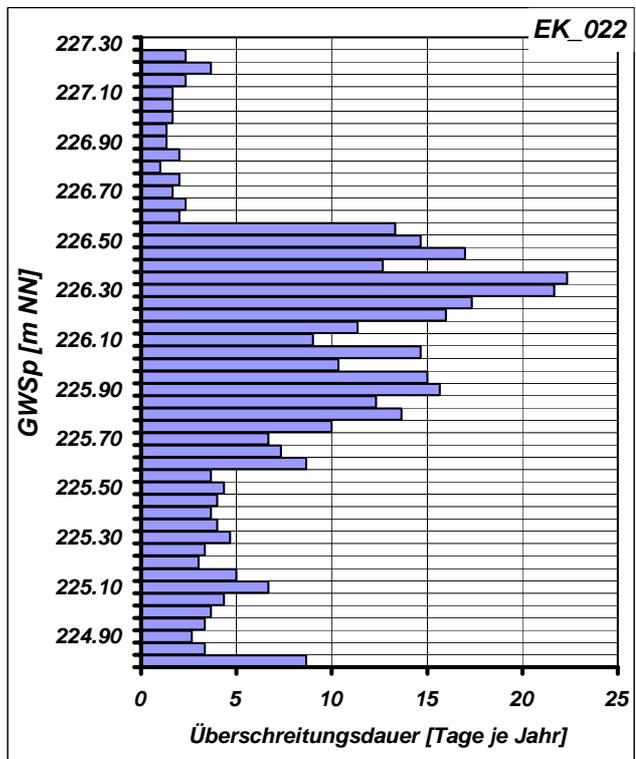
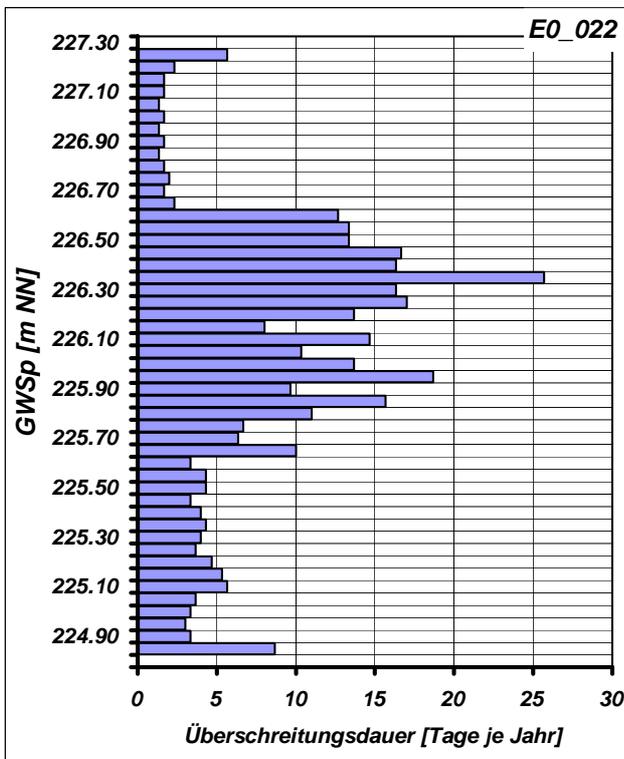
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

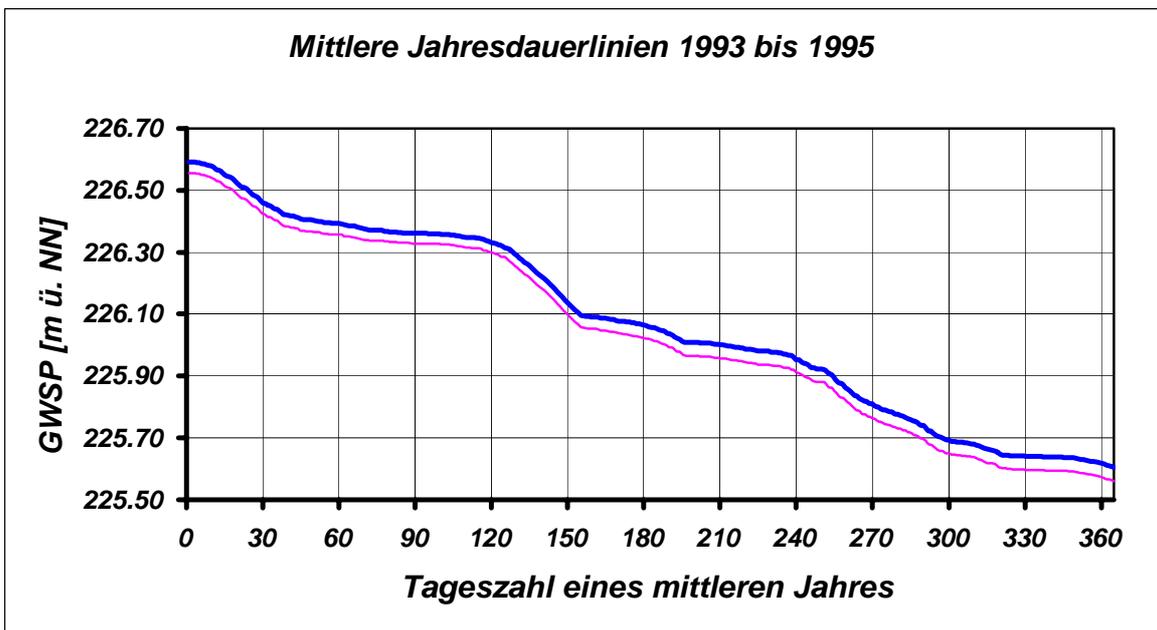
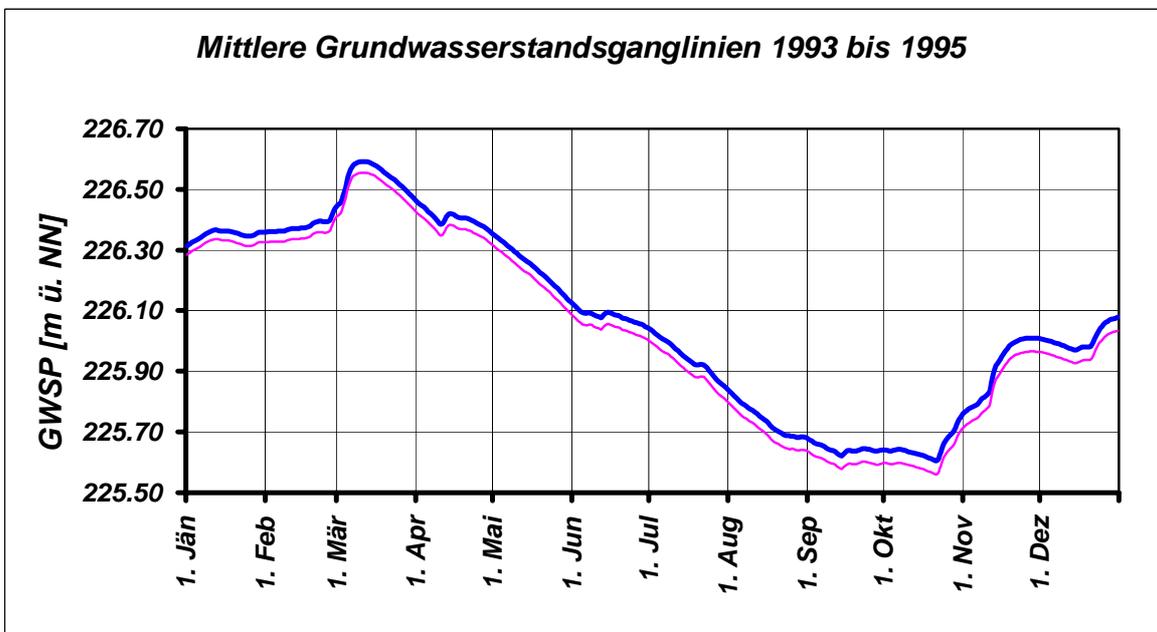
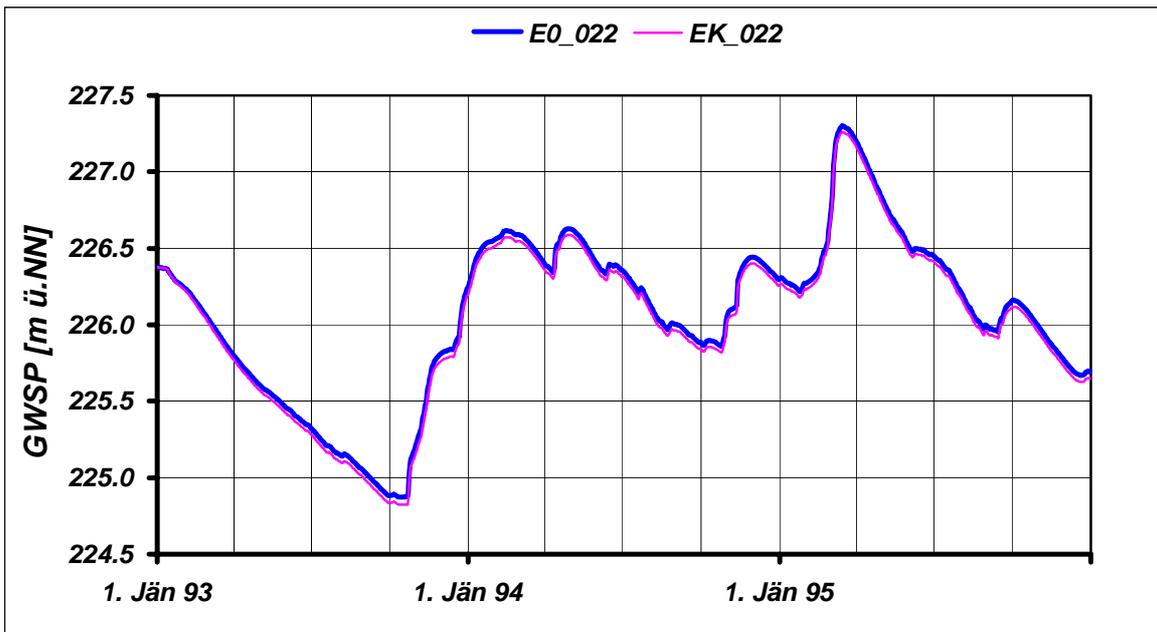
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_022	226.22	226.05	225.80	225.61	225.46	225.32	225.16	225.04	224.88	224.87	225.23	225.67	224.87
NGW [m NN] EK_022	226.18	226.03	225.77	225.57	225.42	225.28	225.12	225.00	224.83	224.82	225.18	225.63	224.82
NGW-Differenz [m]	-0.04	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04	-0.05
HGW [m NN] E0_022	226.56	226.68	227.30	227.19	226.82	226.51	226.45	226.22	226.16	226.16	226.44	226.44	227.30
HGW [m NN] EK_022	226.51	226.64	227.26	227.16	226.79	226.48	226.41	226.18	226.12	226.12	226.40	226.40	227.26
HGW-Differenz [m]	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
MGW [m NN] E0_022	226.35	226.38	226.54	226.41	226.25	226.08	225.94	225.74	225.64	225.65	225.91	226.01	226.07
MGW [m NN] EK_022	226.32	226.34	226.50	226.37	226.21	226.04	225.90	225.70	225.60	225.60	225.87	225.96	226.04
MGW-Differenz [m]	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.04	-0.04

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_022	226.46	226.39	226.36	226.33	226.14	226.06	226.00	225.95	225.81	225.69	225.64	225.64	225.62
GWSP [m NN] EK_022	226.42	226.36	226.33	226.30	226.10	226.02	225.96	225.91	225.76	225.65	225.60	225.59	225.57
Differenz [m]	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_023

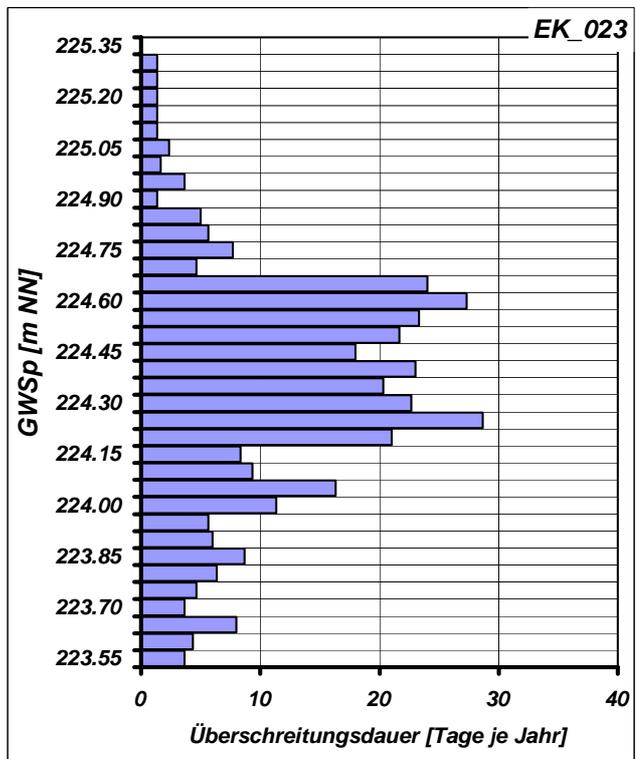
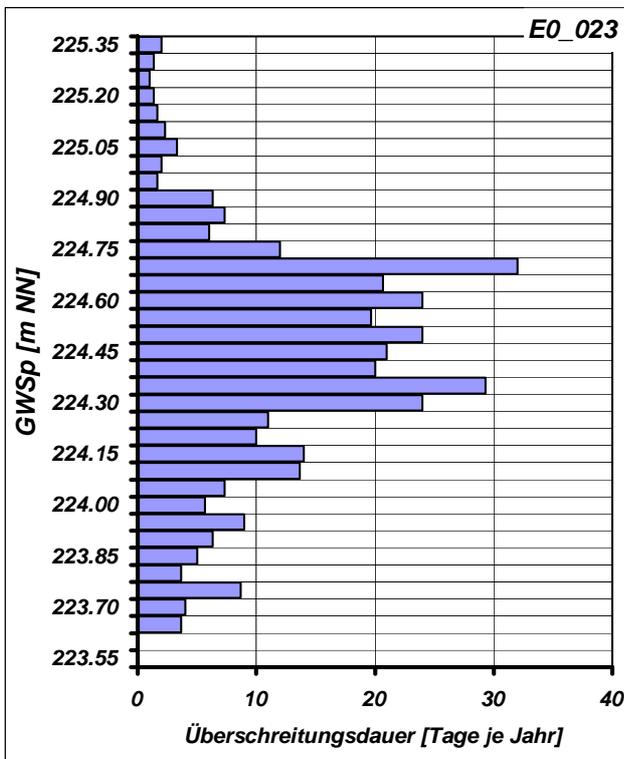
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

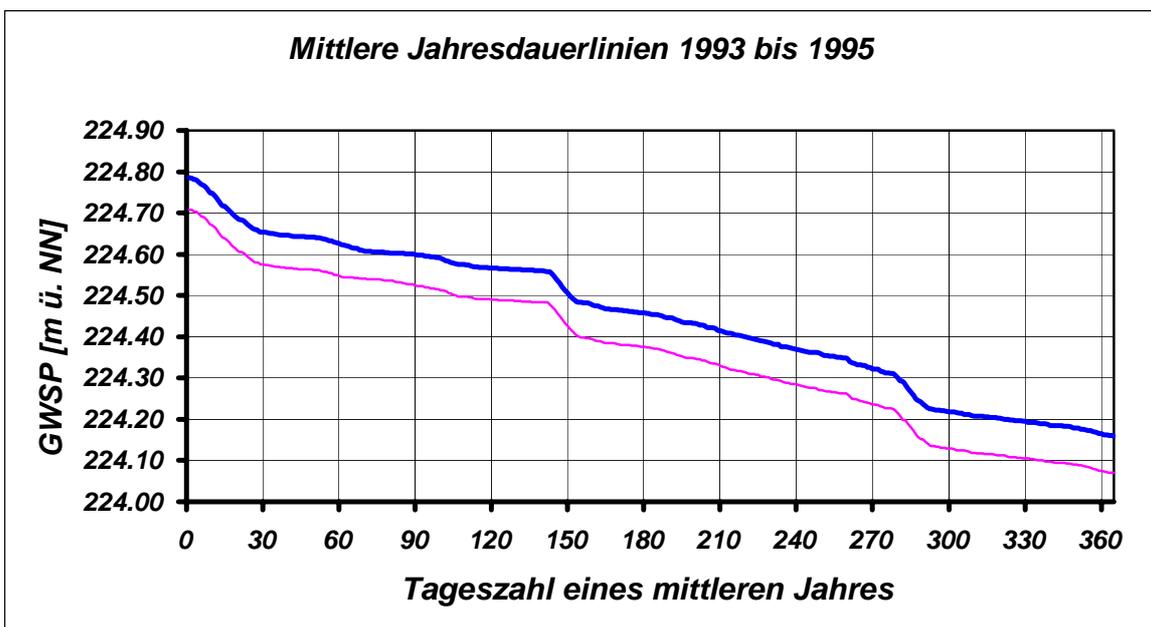
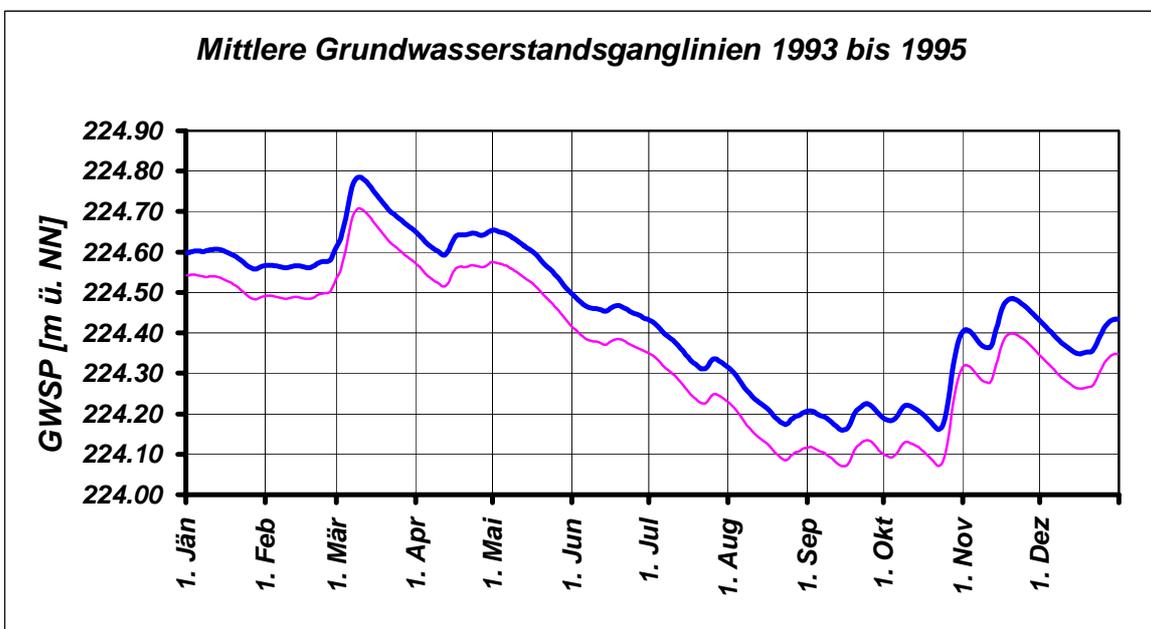
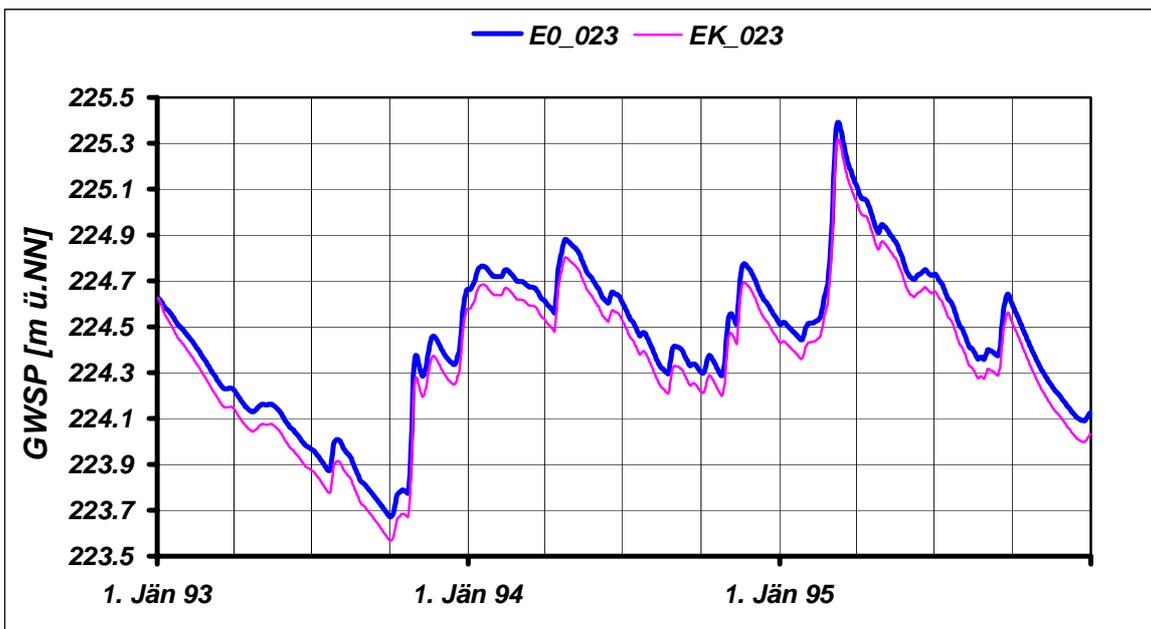
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_023	224.44	224.34	224.23	224.13	224.09	223.97	223.87	223.82	223.67	223.67	224.17	224.09	223.67
NGW [m NN] EK_023	224.36	224.26	224.14	224.04	224.00	223.88	223.78	223.72	223.57	223.57	224.09	224.00	223.57
NGW-Differenz [m]	-0.08	-0.07	-0.08	-0.09	-0.09	-0.09	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.09	-0.09	-0.10
HGW [m NN] E0_023	224.76	224.78	225.39	225.11	224.95	224.75	224.73	224.50	224.64	224.59	224.77	224.72	225.39
HGW [m NN] EK_023	224.68	224.70	225.32	225.04	224.87	224.67	224.65	224.42	224.56	224.51	224.69	224.64	225.32
HGW-Differenz [m]	-0.08	-0.08	-0.07	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.07
MGW [m NN] E0_023	224.59	224.57	224.71	224.63	224.59	224.46	224.36	224.23	224.19	224.22	224.43	224.39	224.45
MGW [m NN] EK_023	224.52	224.49	224.64	224.55	224.51	224.38	224.27	224.14	224.11	224.13	224.34	224.30	224.37
MGW-Differenz [m]	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.08

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_023	224.65	224.63	224.60	224.57	224.51	224.46	224.42	224.37	224.32	224.22	224.20	224.18	224.17
GWSP [m NN] EK_023	224.58	224.55	224.52	224.49	224.43	224.38	224.33	224.29	224.24	224.13	224.11	224.09	224.08
Differenz [m]	-0.08	-0.08	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_024

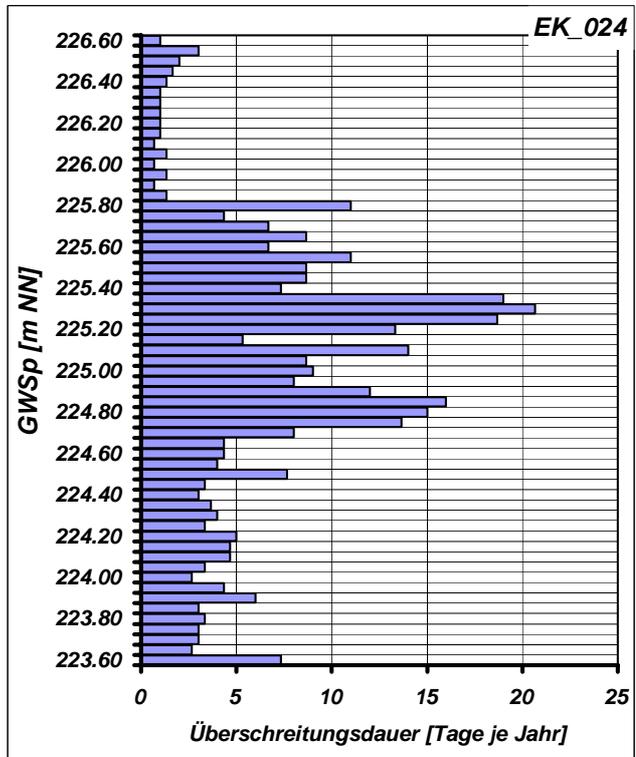
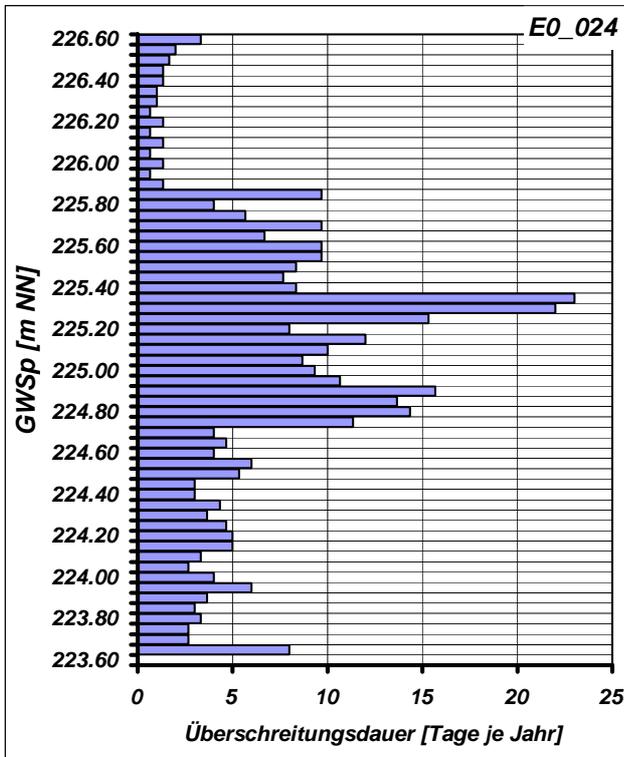
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

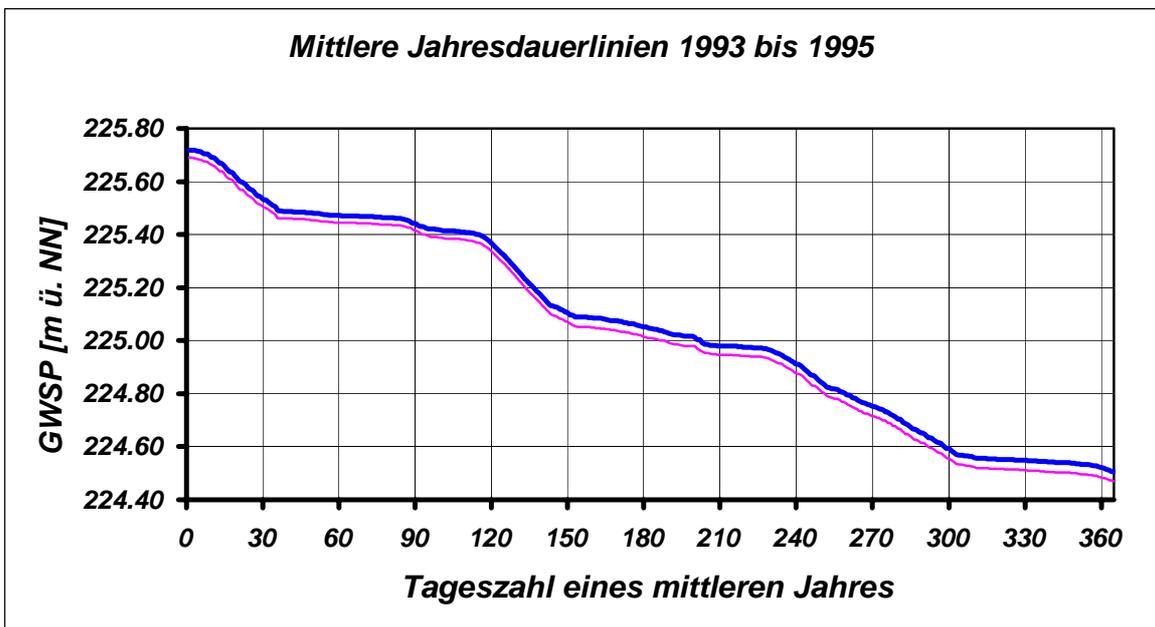
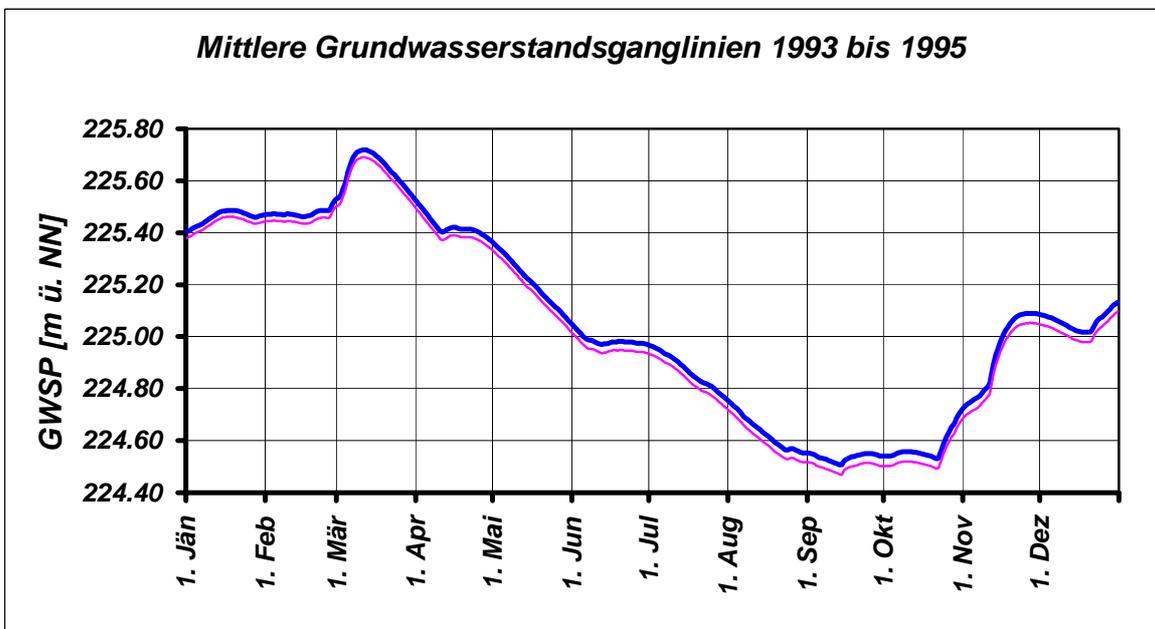
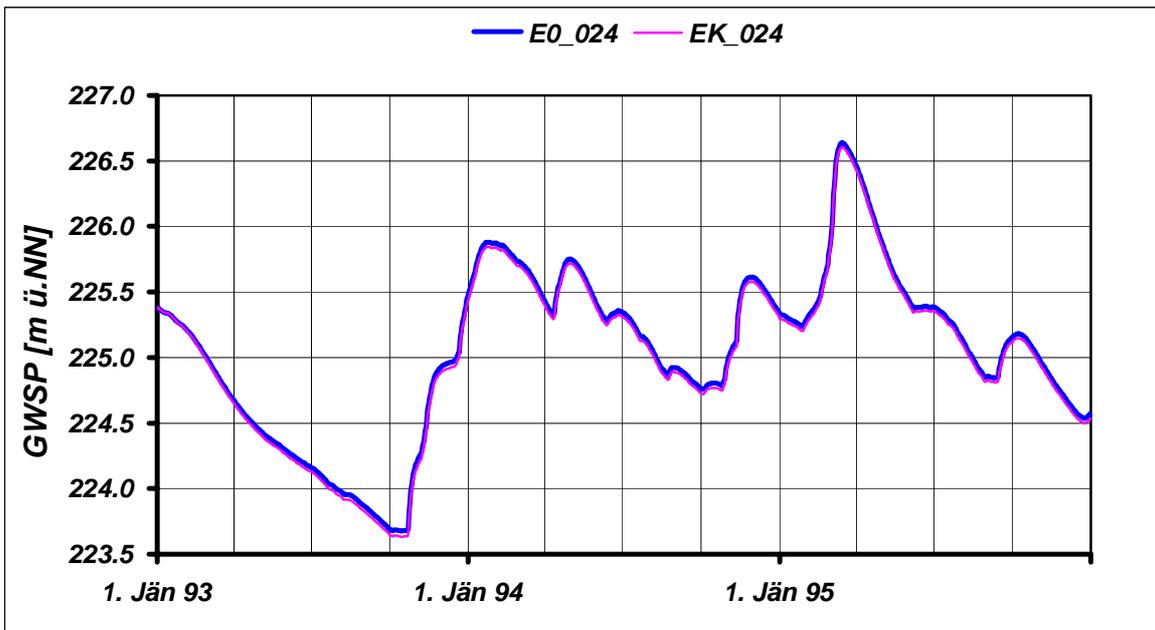
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_024	225.23	224.99	224.68	224.45	224.29	224.16	223.99	223.87	223.69	223.68	224.20	224.54	223.68
NGW [m NN] EK_024	225.20	224.97	224.65	224.42	224.26	224.13	223.96	223.83	223.65	223.63	224.16	224.50	223.63
NGW-Differenz [m]	-0.03	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
HGW [m NN] E0_024	225.88	225.87	226.64	226.45	225.87	225.44	225.38	225.15	225.15	225.18	225.61	225.61	226.64
HGW [m NN] EK_024	225.84	225.84	226.61	226.42	225.84	225.41	225.35	225.12	225.12	225.15	225.58	225.58	226.61
HGW-Differenz [m]	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.03
MGW [m NN] E0_024	225.46	225.47	225.63	225.42	225.20	224.98	224.86	224.62	224.53	224.57	224.94	225.06	225.06
MGW [m NN] EK_024	225.43	225.44	225.61	225.39	225.17	224.95	224.83	224.59	224.49	224.53	224.90	225.02	225.03
MGW-Differenz [m]	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.03

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_024	225.53	225.47	225.44	225.36	225.10	225.05	224.98	224.91	224.75	224.59	224.54	224.54	224.52
GWSP [m NN] EK_024	225.50	225.44	225.41	225.33	225.07	225.01	224.94	224.87	224.71	224.55	224.51	224.50	224.48
Differenz [m]	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





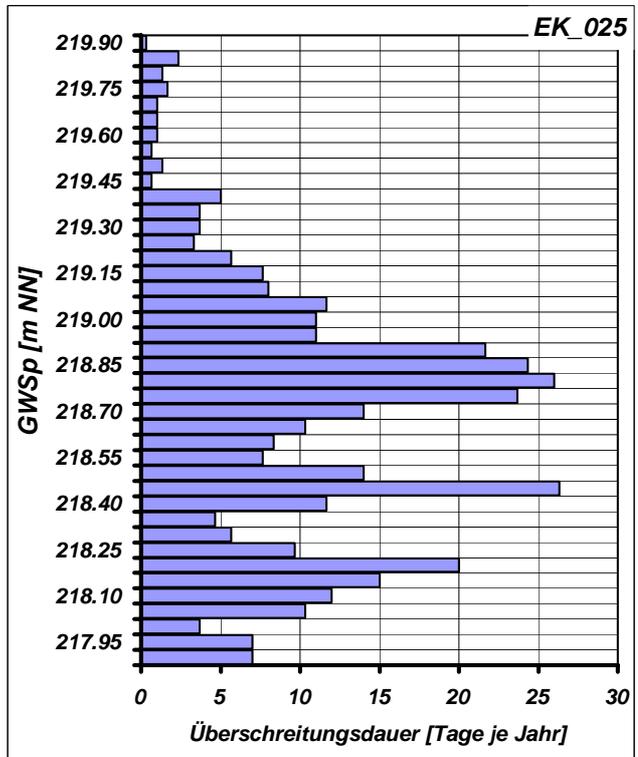
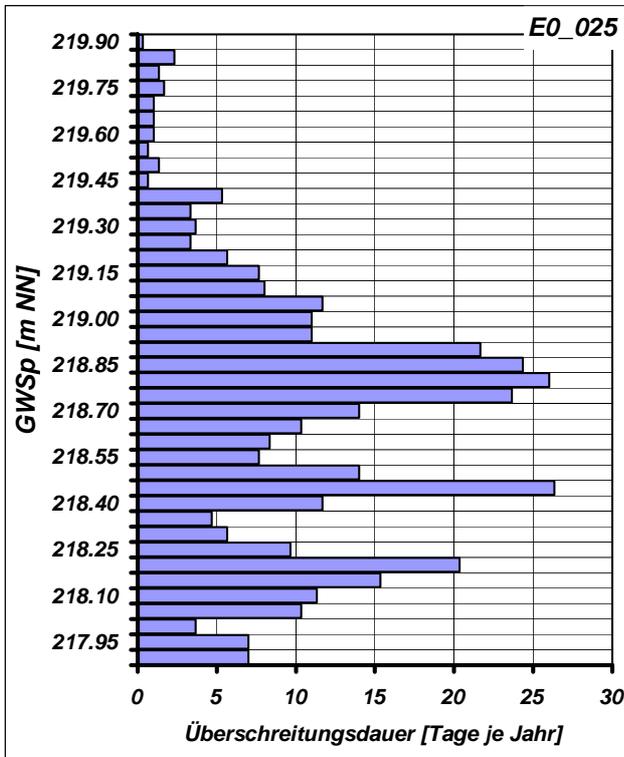
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

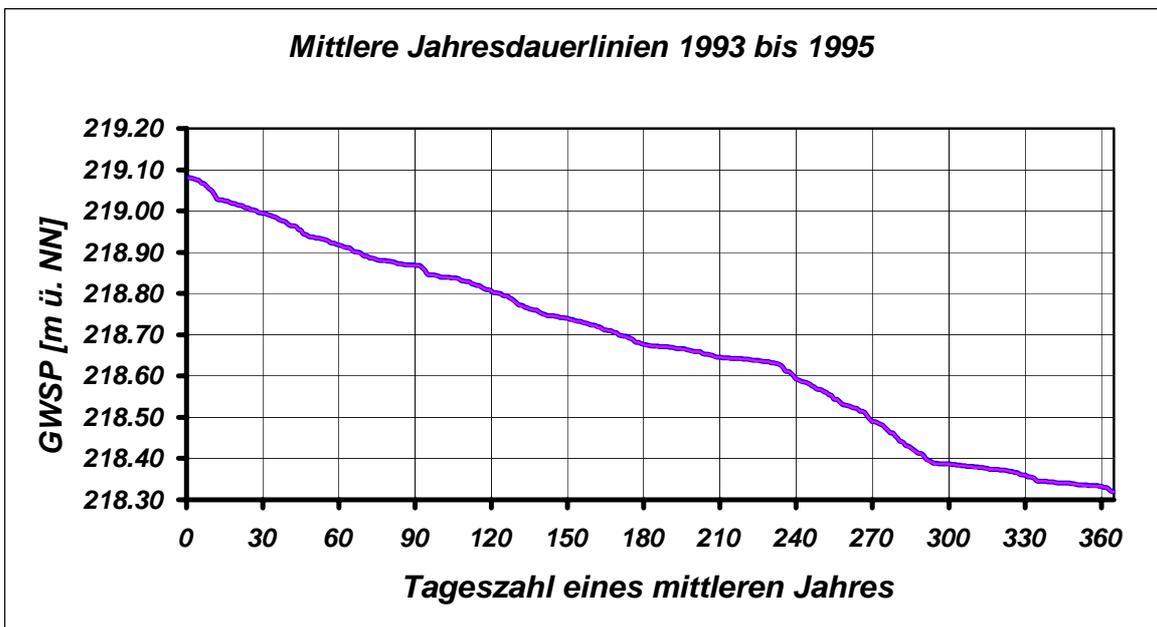
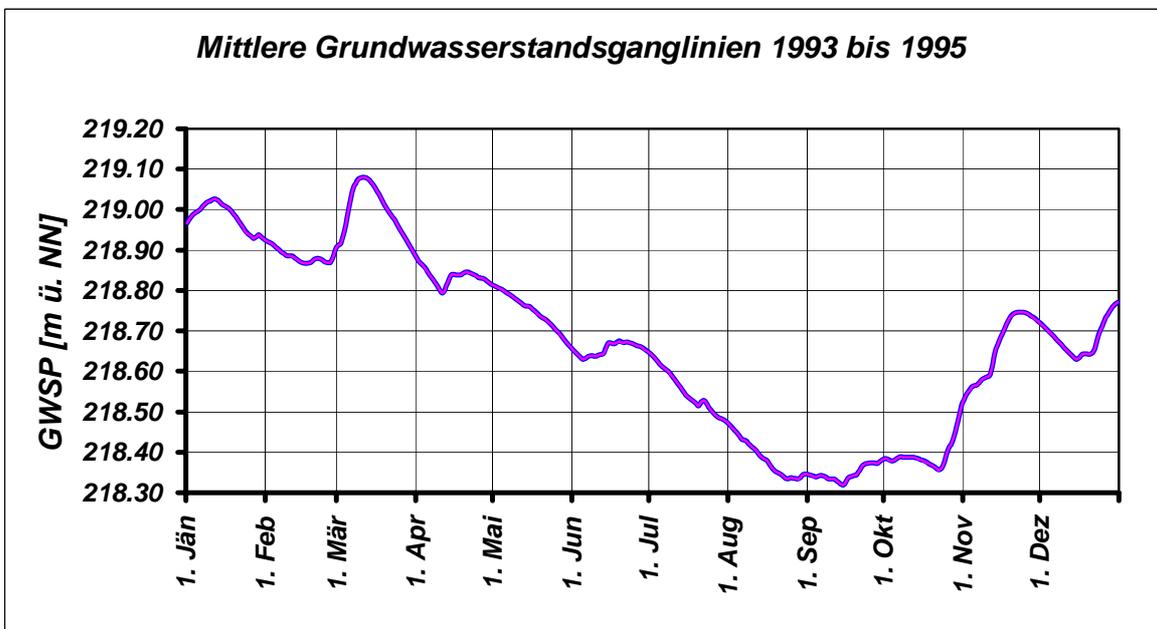
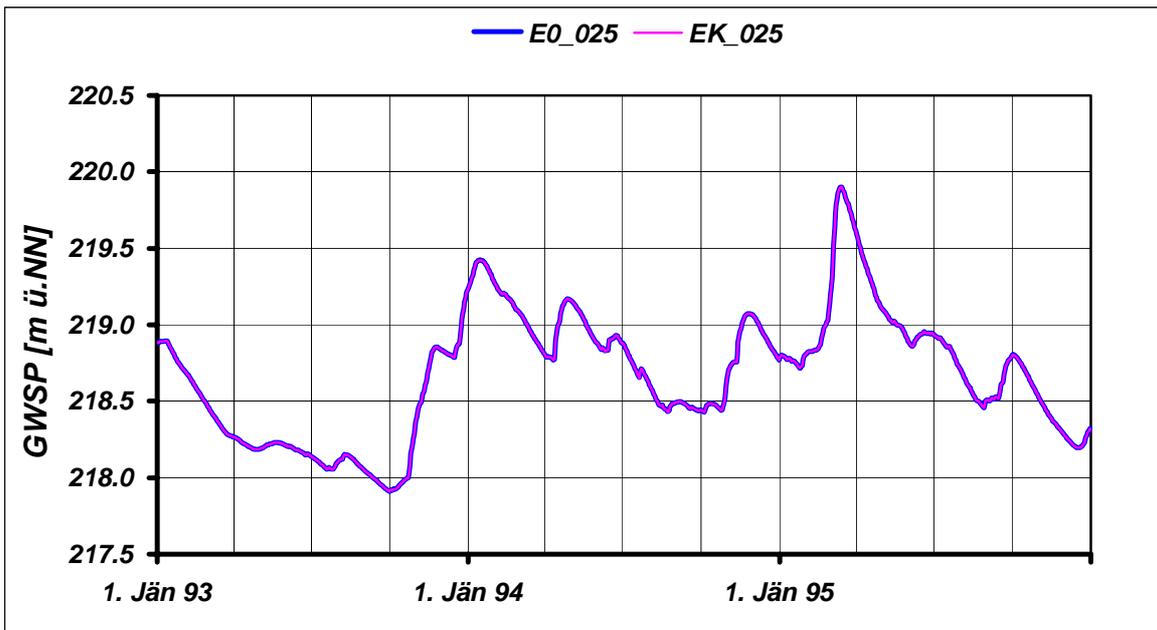
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_025	218.71	218.47	218.27	218.18	218.19	218.14	218.05	218.05	217.91	217.92	218.28	218.20	217.91
NGW [m NN] EK_025	218.71	218.47	218.27	218.18	218.19	218.14	218.05	218.05	217.91	217.92	218.28	218.20	217.91
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HGW [m NN] E0_025	219.42	219.27	219.90	219.59	219.16	218.96	218.93	218.70	218.80	218.80	219.07	219.23	219.90
HGW [m NN] EK_025	219.42	219.27	219.90	219.59	219.16	218.96	218.93	218.70	218.80	218.80	219.07	219.23	219.90
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MGW [m NN] E0_025	218.99	218.89	219.00	218.84	218.75	218.66	218.56	218.39	218.35	218.40	218.67	218.69	218.68
MGW [m NN] EK_025	218.99	218.89	219.00	218.84	218.75	218.66	218.56	218.39	218.35	218.40	218.66	218.69	218.68
MGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_025	219.00	218.92	218.87	218.81	218.74	218.68	218.65	218.60	218.49	218.39	218.36	218.34	218.34
GWSP [m NN] EK_025	219.00	218.92	218.87	218.81	218.74	218.68	218.65	218.60	218.49	218.39	218.36	218.34	218.34
Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





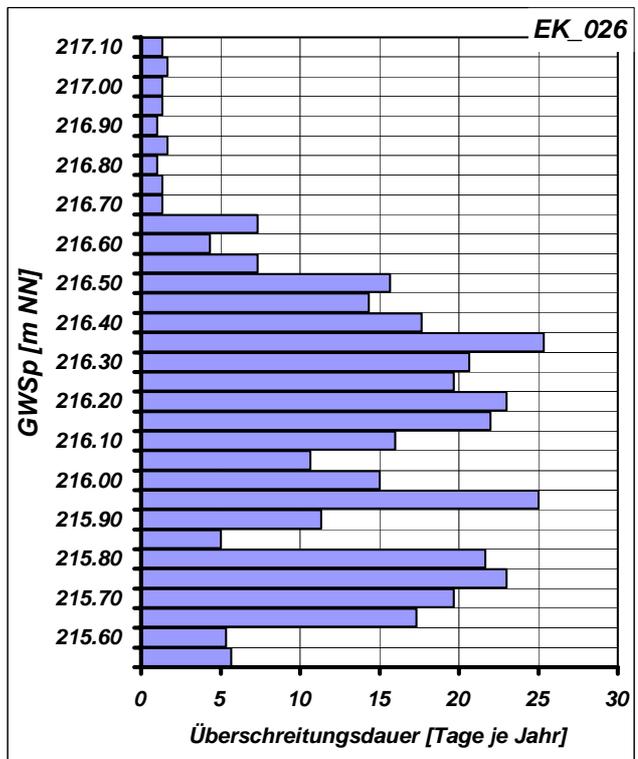
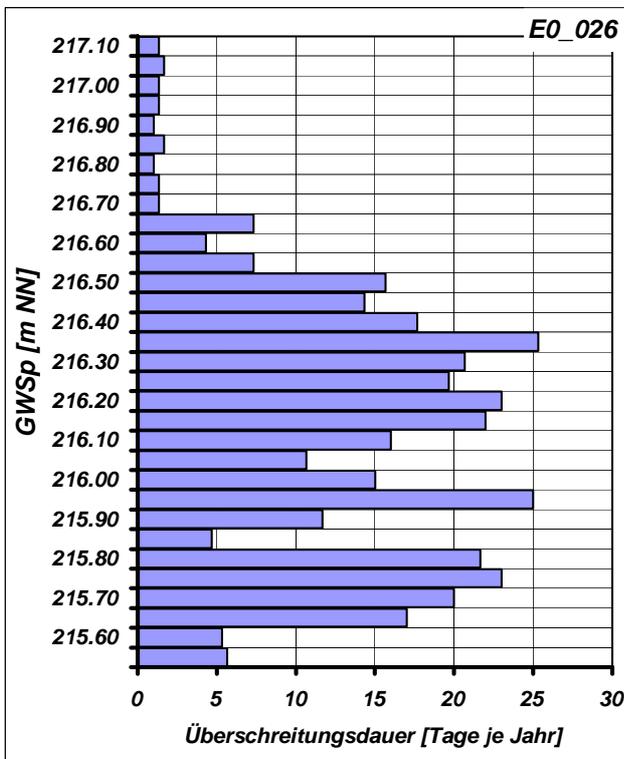
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

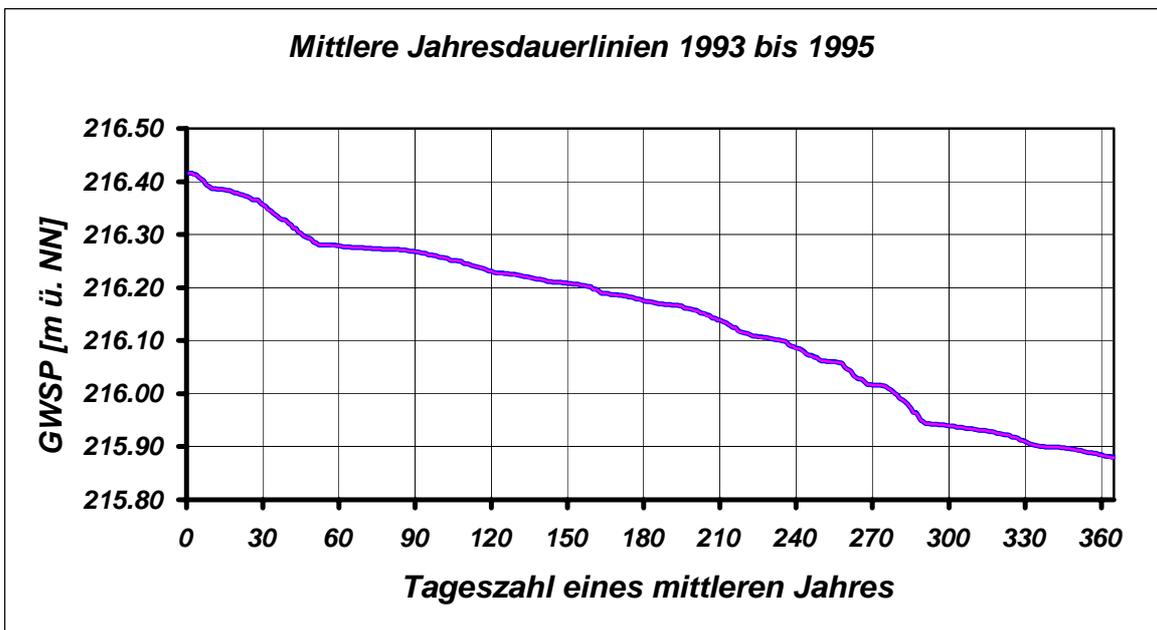
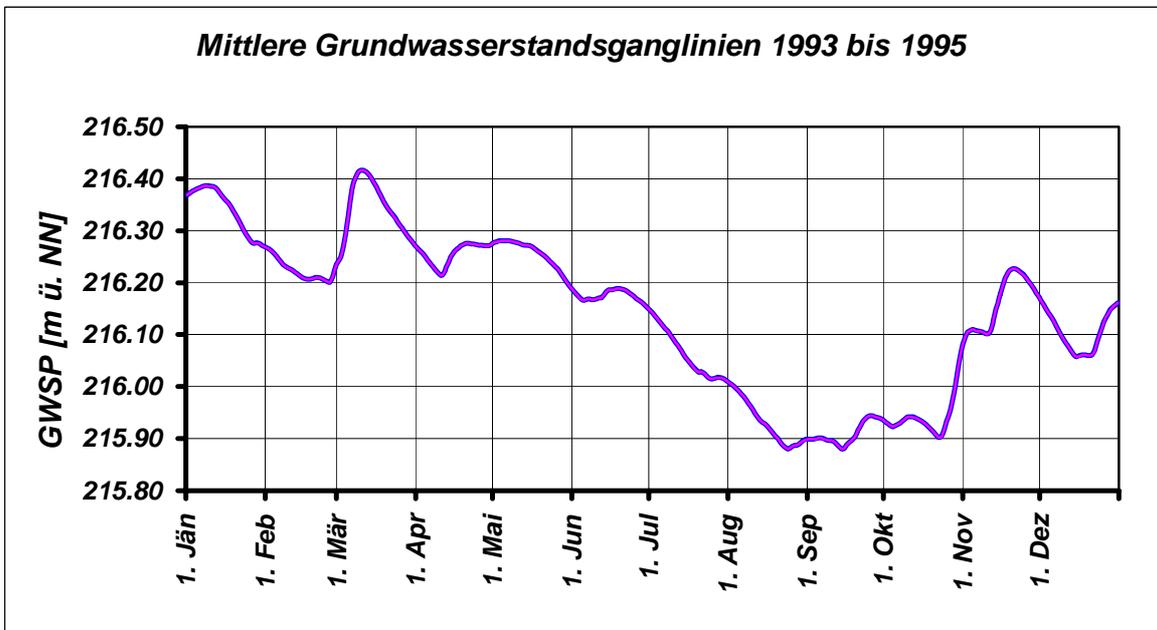
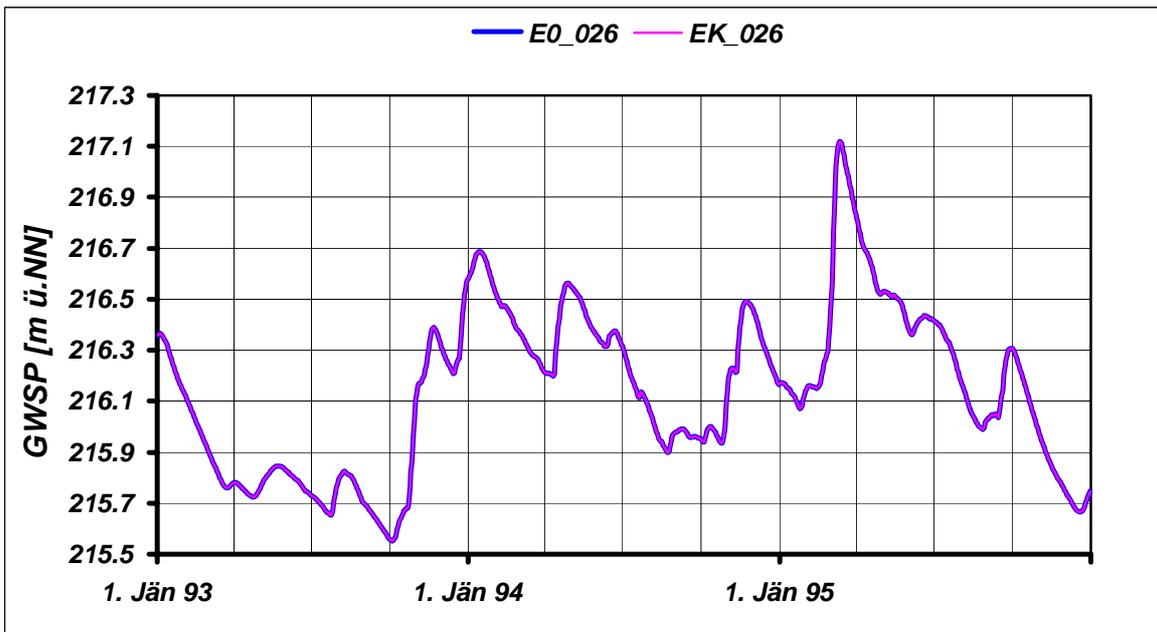
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_026	216.07	215.92	215.76	215.72	215.76	215.73	215.65	215.70	215.56	215.55	215.76	215.67	215.55
NGW [m NN] EK_026	216.07	215.92	215.76	215.72	215.76	215.73	215.65	215.70	215.56	215.55	215.76	215.66	215.55
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HGW [m NN] E0_026	216.69	216.53	217.12	216.82	216.55	216.44	216.41	216.18	216.31	216.31	216.49	216.58	217.12
HGW [m NN] EK_026	216.69	216.53	217.12	216.82	216.55	216.44	216.41	216.18	216.31	216.31	216.49	216.58	217.12
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MGW [m NN] E0_026	216.34	216.23	216.34	216.26	216.26	216.18	216.07	215.93	215.91	215.95	216.16	216.11	216.14
MGW [m NN] EK_026	216.34	216.23	216.34	216.26	216.26	216.18	216.07	215.93	215.91	215.95	216.16	216.11	216.14
MGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_026	216.36	216.28	216.27	216.23	216.21	216.18	216.14	216.09	216.02	215.94	215.91	215.90	215.89
GWSP [m NN] EK_026	216.36	216.28	216.27	216.23	216.21	216.18	216.14	216.09	216.02	215.94	215.91	215.90	215.89
Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_027

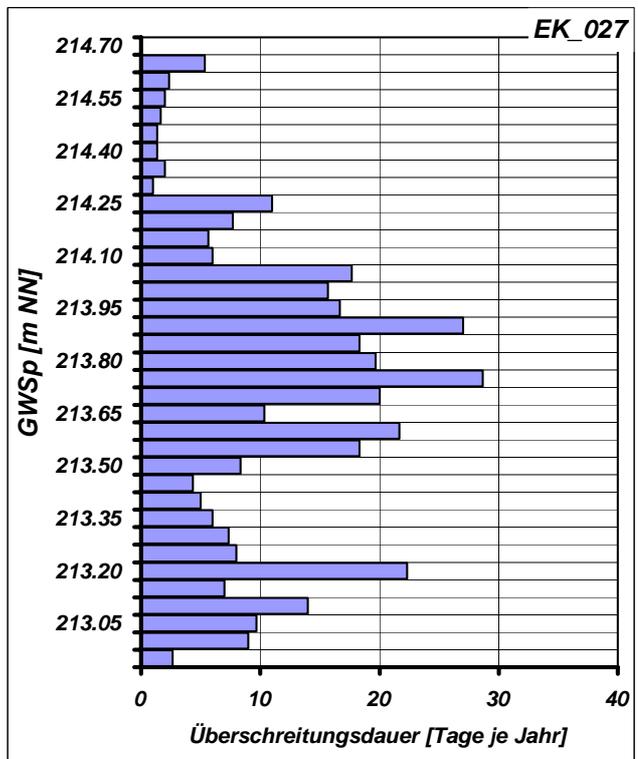
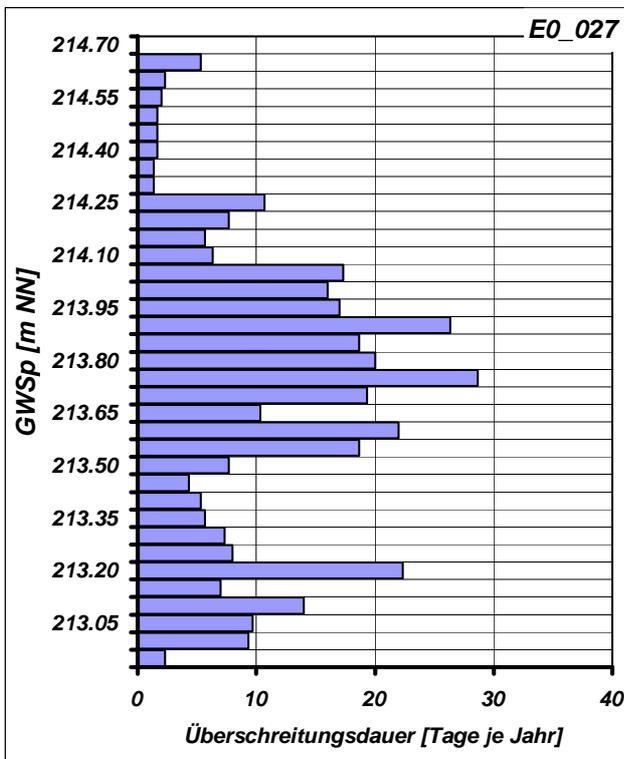
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

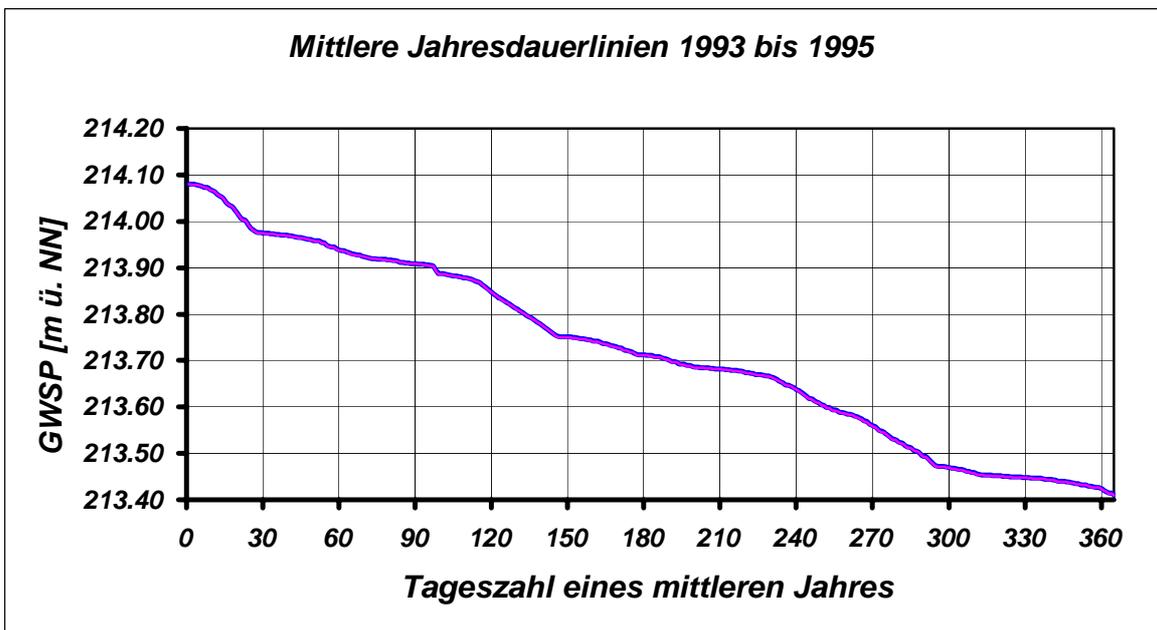
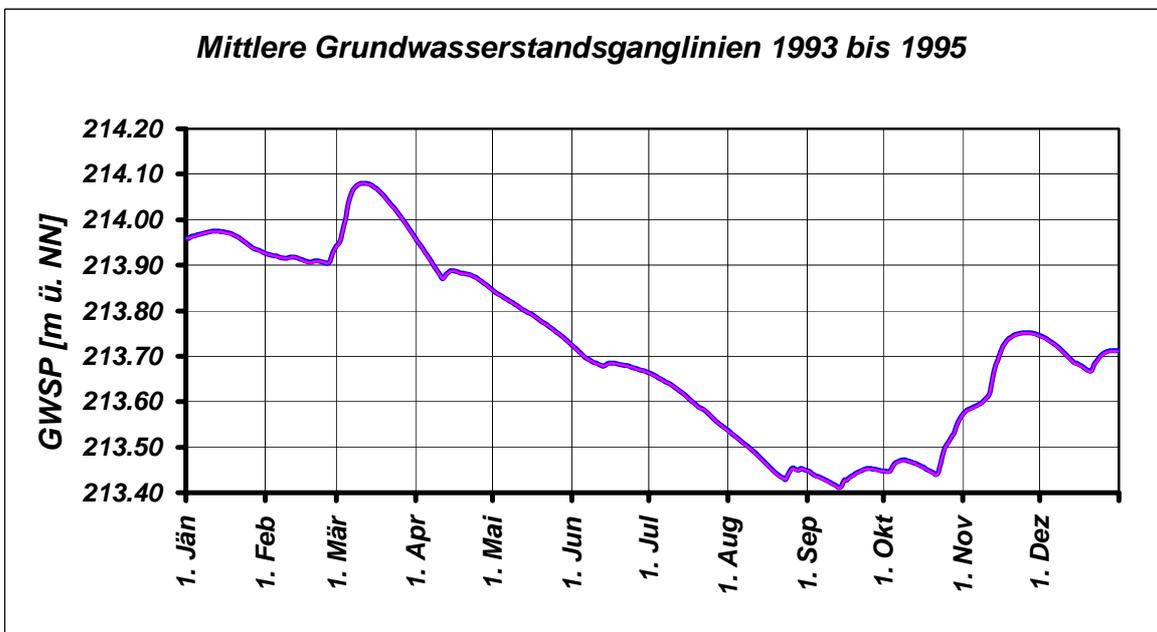
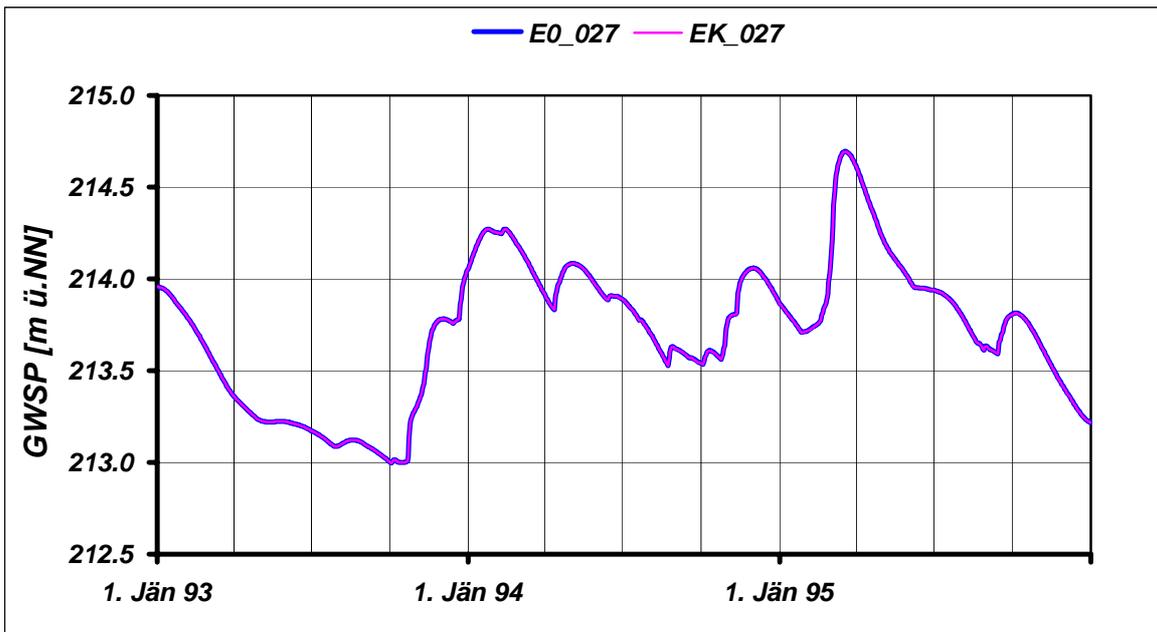
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_027	213.71	213.61	213.36	213.23	213.22	213.17	213.09	213.09	213.00	213.00	213.31	213.22	213.00
NGW [m NN] EK_027	213.71	213.61	213.36	213.23	213.22	213.17	213.09	213.09	213.00	213.00	213.31	213.22	213.00
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HGW [m NN] E0_027	214.27	214.27	214.70	214.61	214.23	214.00	213.94	213.81	213.81	213.81	214.06	214.06	214.70
HGW [m NN] EK_027	214.27	214.27	214.69	214.60	214.23	214.00	213.94	213.81	213.81	213.81	214.06	214.06	214.69
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MGW [m NN] E0_027	213.96	213.92	214.03	213.89	213.79	213.69	213.61	213.48	213.44	213.48	213.68	213.71	213.72
MGW [m NN] EK_027	213.96	213.92	214.03	213.89	213.79	213.69	213.61	213.48	213.44	213.48	213.68	213.71	213.72
MGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_027	213.98	213.94	213.91	213.85	213.75	213.71	213.68	213.64	213.56	213.47	213.45	213.44	213.43
GWSP [m NN] EK_027	213.98	213.94	213.91	213.85	213.75	213.71	213.68	213.64	213.56	213.47	213.45	213.44	213.43
Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





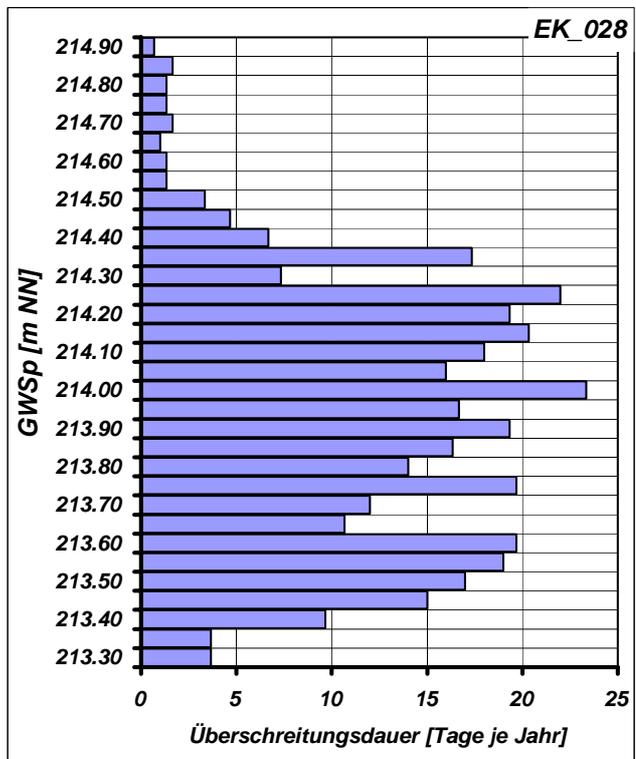
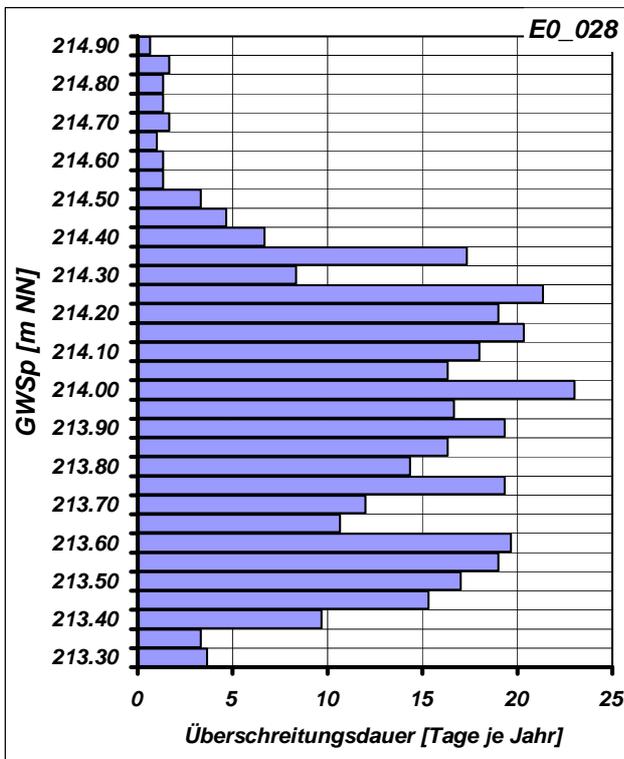
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

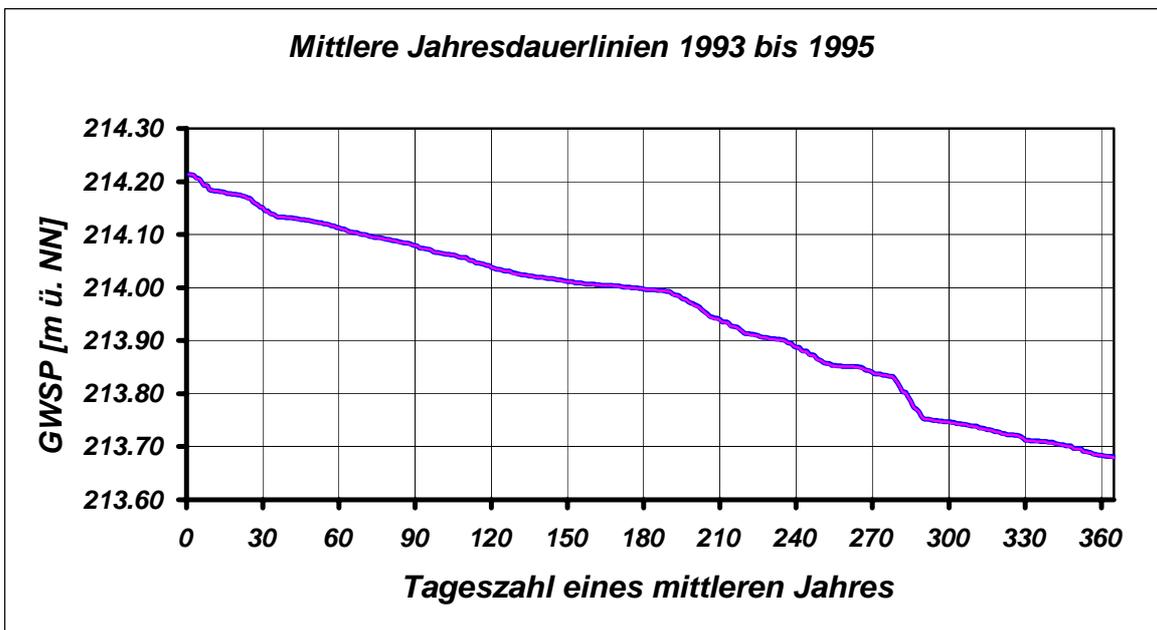
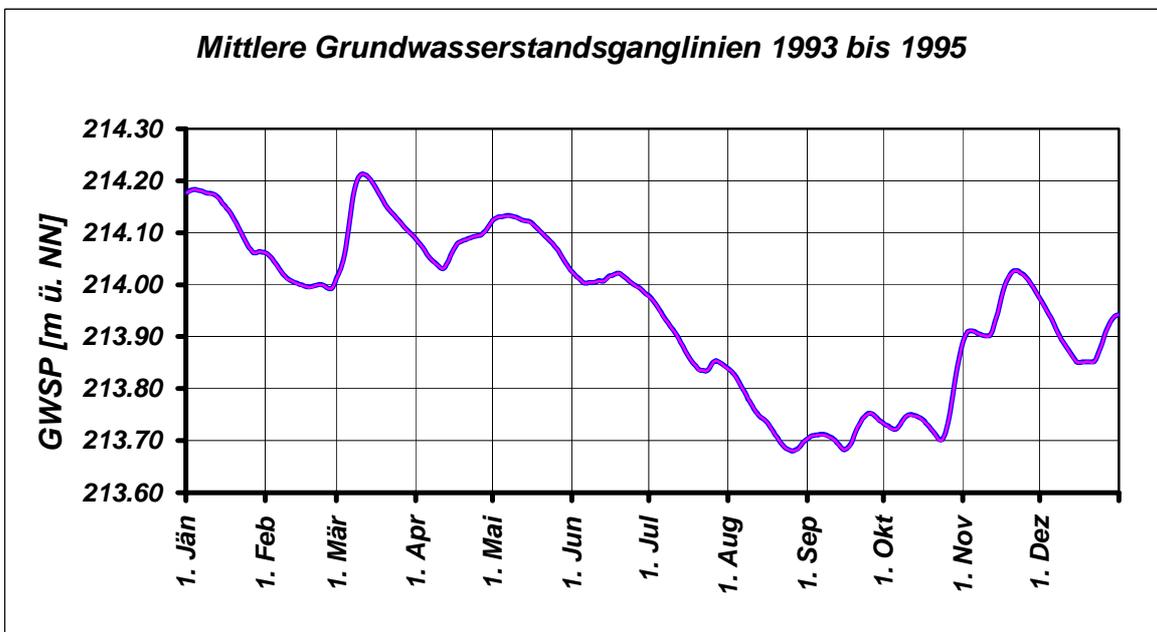
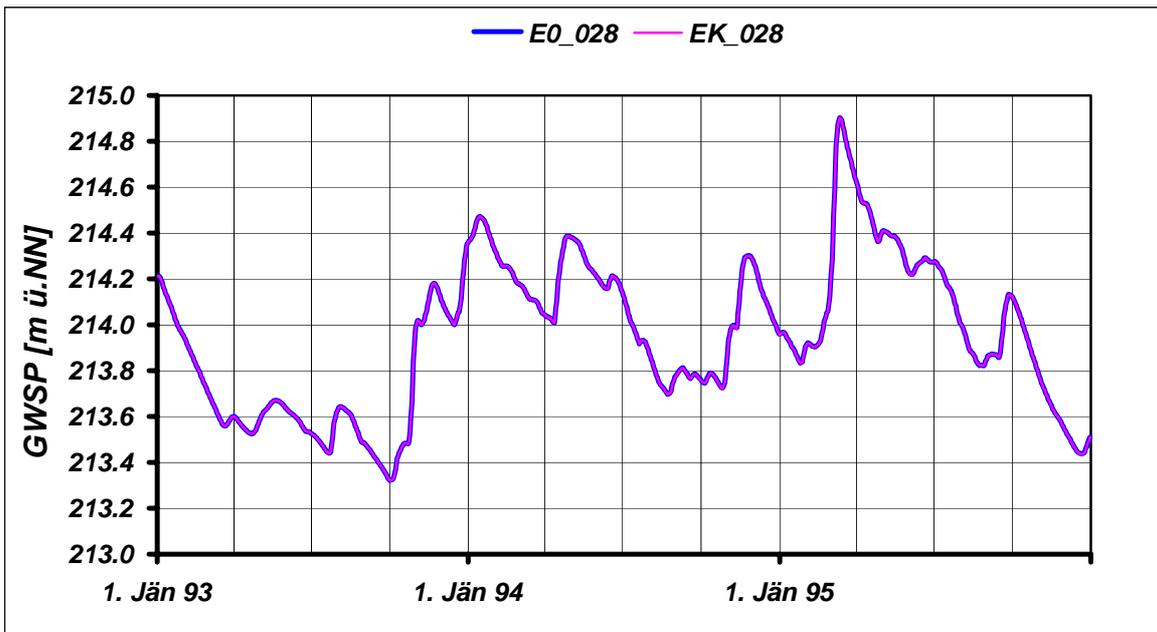
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_028	213.83	213.71	213.56	213.52	213.59	213.53	213.44	213.49	213.32	213.32	213.55	213.44	213.32
NGW [m NN] EK_028	213.83	213.71	213.56	213.52	213.59	213.53	213.44	213.49	213.32	213.32	213.55	213.44	213.32
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HGW [m NN] E0_028	214.47	214.32	214.90	214.62	214.41	214.29	214.28	214.00	214.13	214.12	214.30	214.36	214.90
HGW [m NN] EK_028	214.47	214.32	214.90	214.62	214.41	214.29	214.28	214.00	214.13	214.12	214.30	214.36	214.90
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MGW [m NN] E0_028	214.13	214.01	214.14	214.07	214.10	214.01	213.89	213.74	213.72	213.75	213.96	213.90	213.95
MGW [m NN] EK_028	214.13	214.01	214.14	214.07	214.10	214.01	213.89	213.74	213.72	213.75	213.96	213.90	213.95
MGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_028	214.15	214.11	214.08	214.04	214.01	214.00	213.94	213.89	213.84	213.75	213.71	213.70	213.68
GWSP [m NN] EK_028	214.15	214.11	214.08	214.04	214.01	214.00	213.94	213.89	213.84	213.75	213.71	213.70	213.68
Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





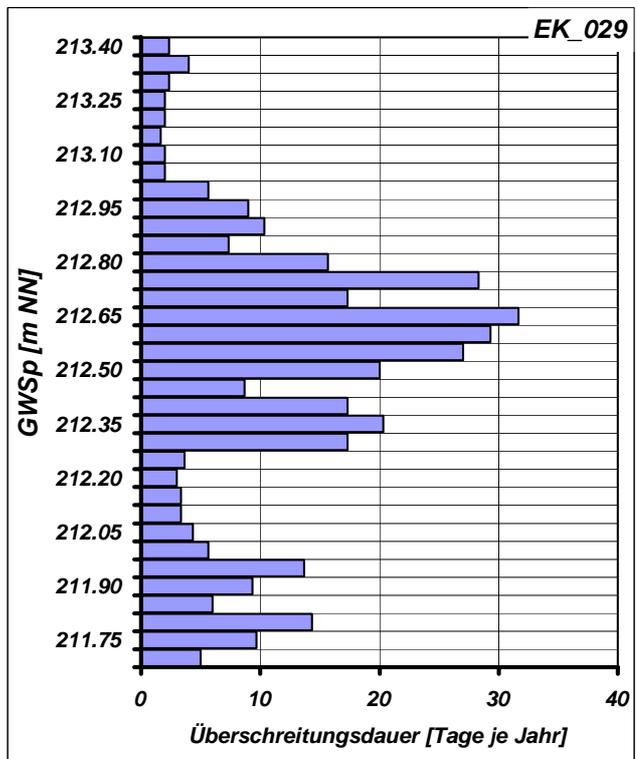
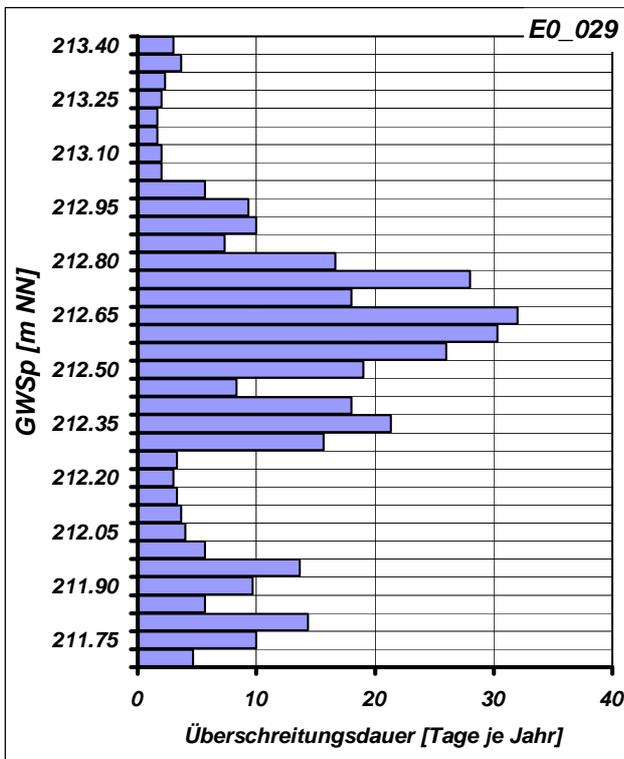
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

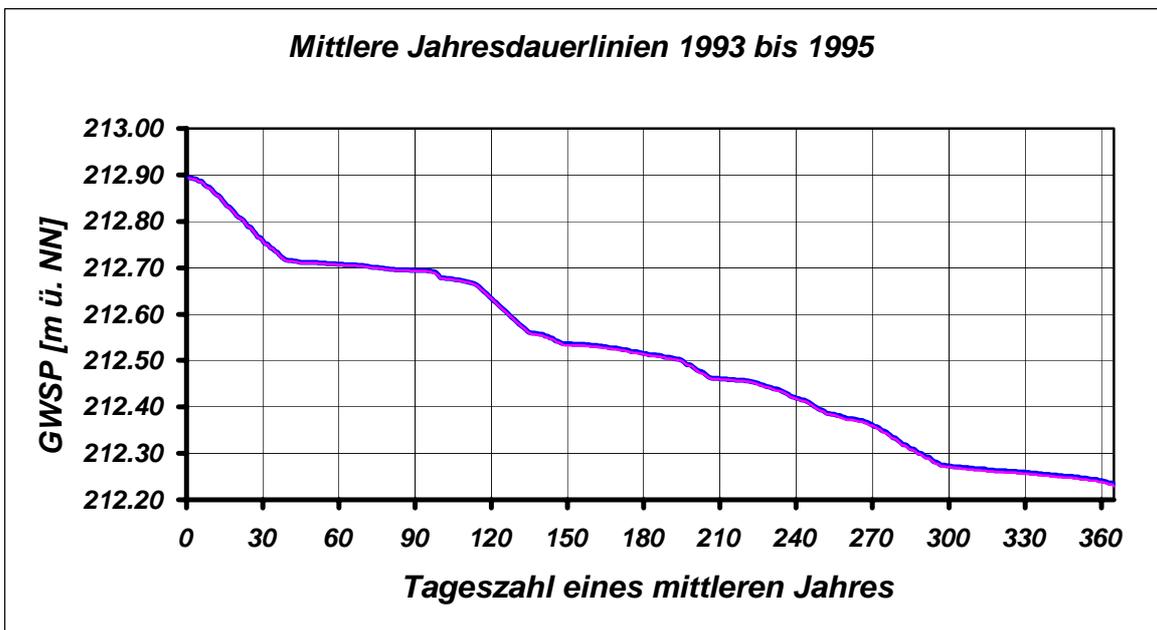
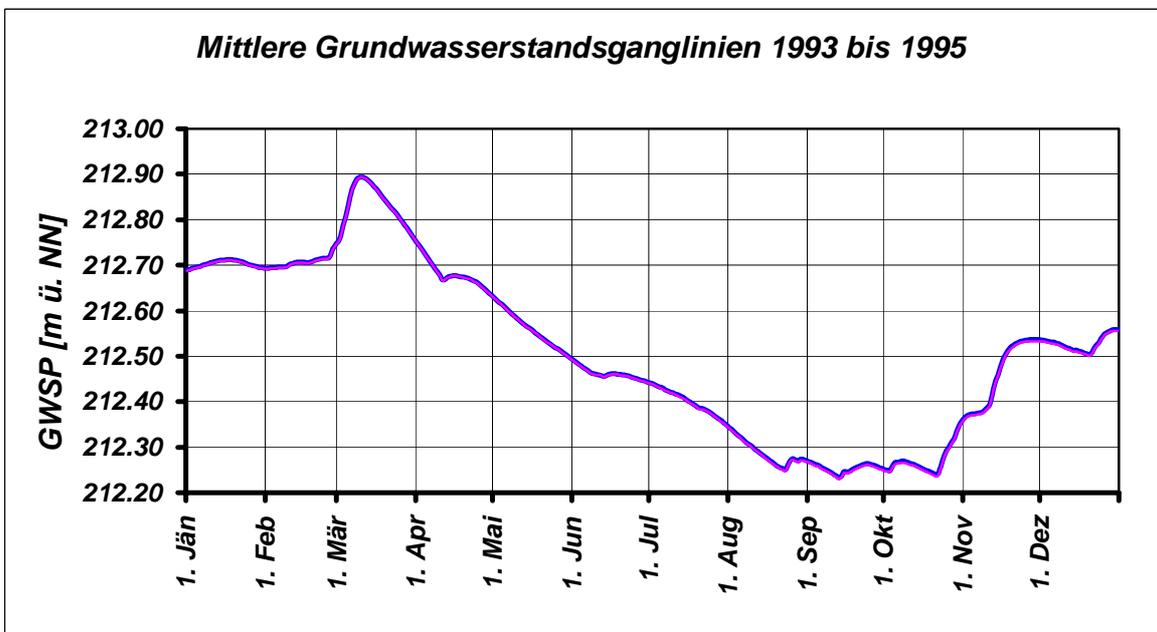
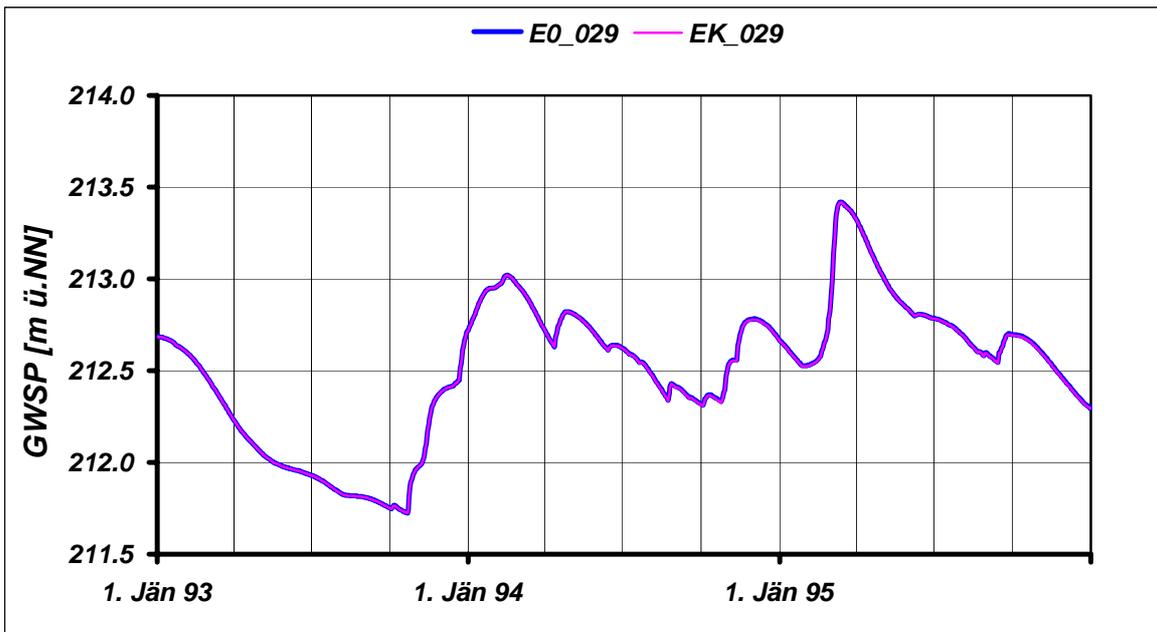
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_029	212.53	212.46	212.23	212.07	211.97	211.93	211.84	211.81	211.75	211.72	211.97	212.30	211.72
NGW [m NN] EK_029	212.52	212.46	212.23	212.07	211.97	211.93	211.84	211.81	211.75	211.72	211.97	212.29	211.72
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HGW [m NN] E0_029	212.95	213.02	213.42	213.32	213.02	212.83	212.79	212.70	212.70	212.70	212.78	212.78	213.42
HGW [m NN] EK_029	212.95	213.02	213.42	213.32	213.02	212.83	212.78	212.70	212.70	212.69	212.78	212.78	213.42
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MGW [m NN] E0_029	212.71	212.71	212.84	212.68	212.56	212.46	212.40	212.29	212.26	212.28	212.46	212.53	212.52
MGW [m NN] EK_029	212.70	212.71	212.83	212.68	212.56	212.46	212.40	212.29	212.25	212.27	212.46	212.53	212.51
MGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_029	212.76	212.71	212.70	212.64	212.54	212.52	212.46	212.42	212.37	212.28	212.26	212.25	212.25
GWSP [m NN] EK_029	212.76	212.71	212.70	212.64	212.54	212.52	212.46	212.42	212.36	212.27	212.26	212.25	212.24
Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_030

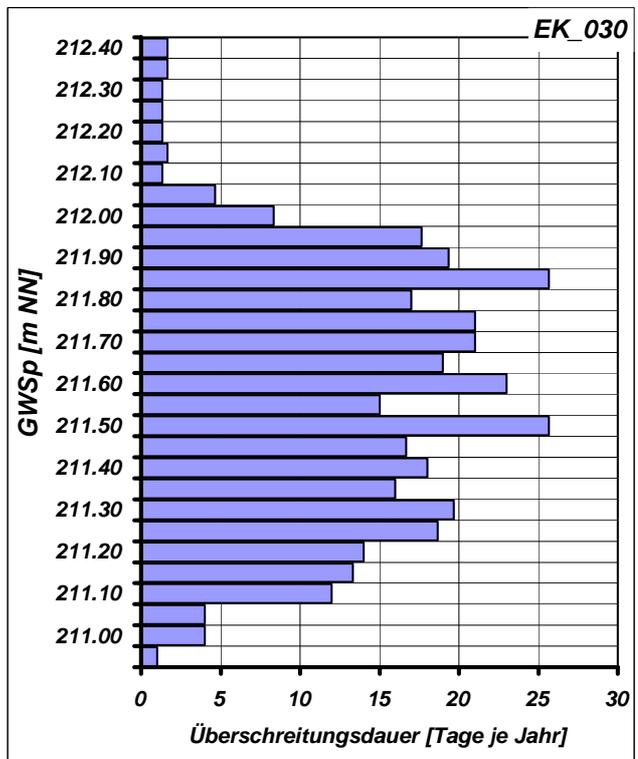
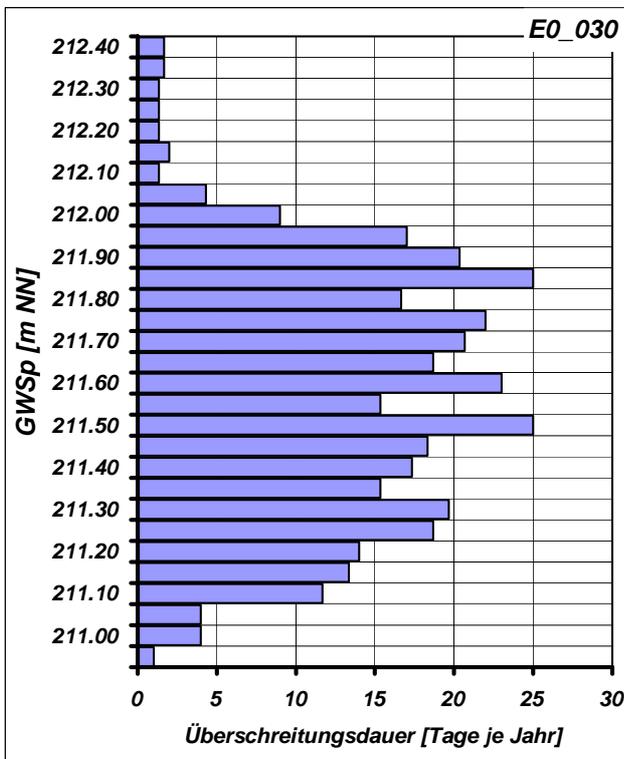
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

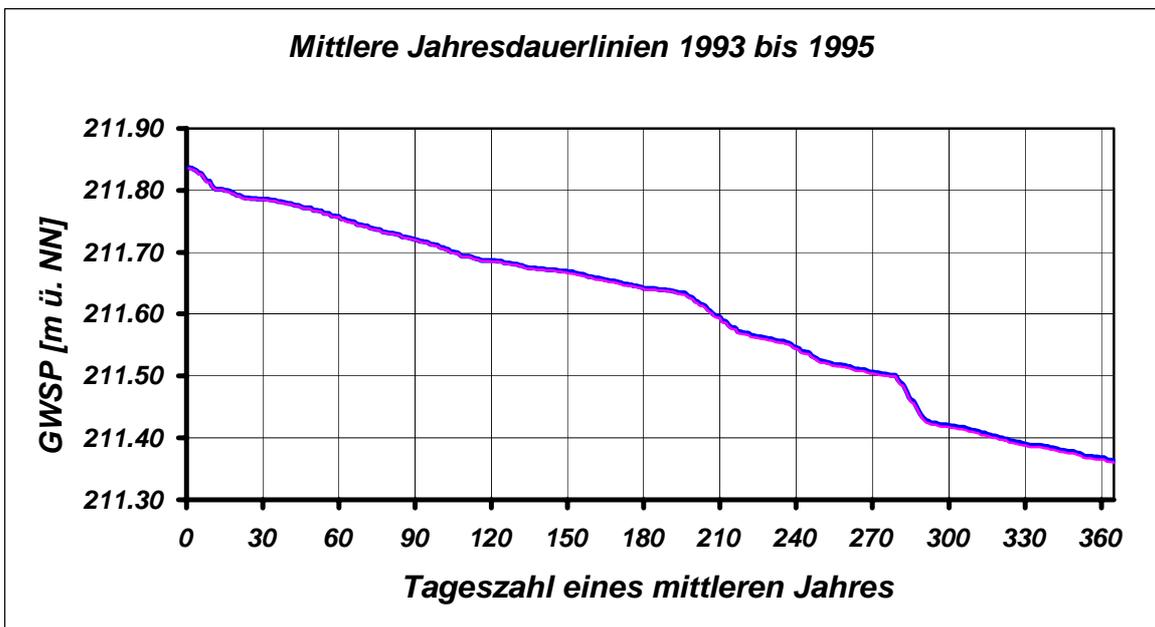
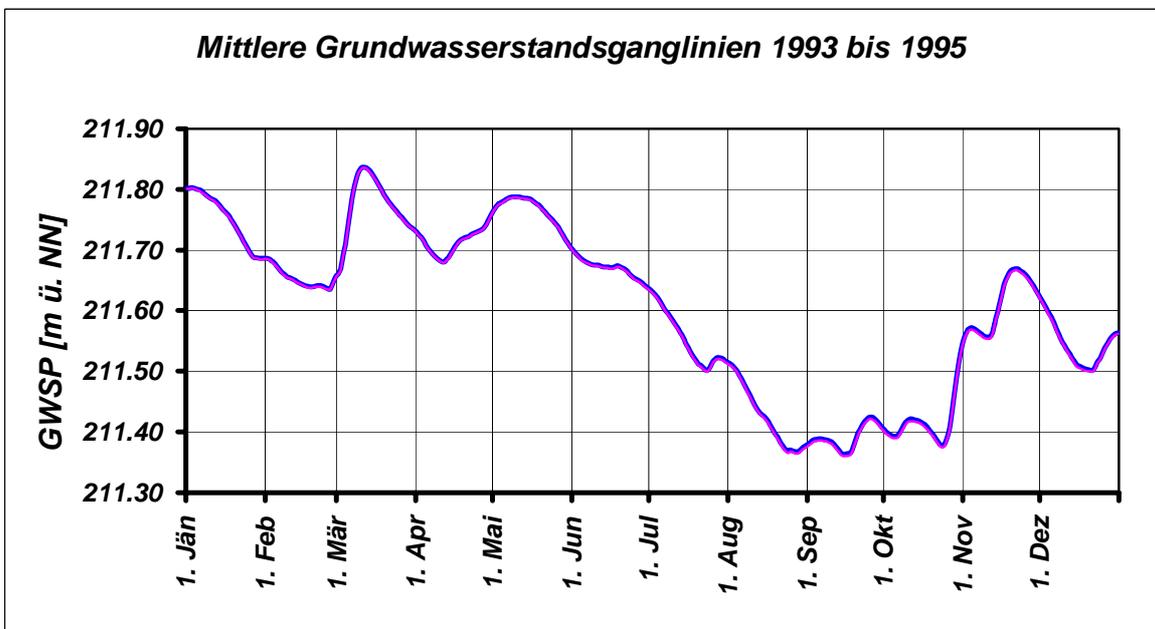
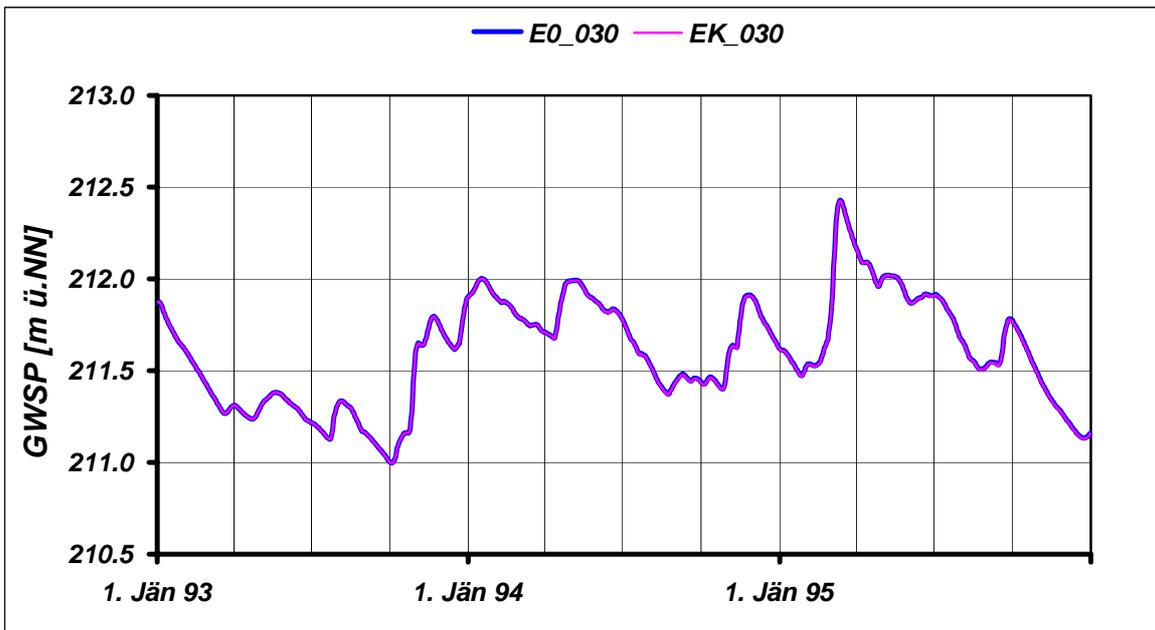
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_030	211.47	211.42	211.27	211.24	211.30	211.22	211.12	211.17	211.00	211.00	211.25	211.13	211.00
NGW [m NN] EK_030	211.47	211.42	211.27	211.24	211.30	211.22	211.12	211.17	211.00	211.00	211.25	211.13	211.00
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HGW [m NN] E0_030	212.00	211.91	212.43	212.16	212.02	211.92	211.91	211.67	211.78	211.77	211.91	211.90	212.43
HGW [m NN] EK_030	212.00	211.90	212.43	212.16	212.02	211.92	211.91	211.67	211.78	211.76	211.91	211.90	212.43
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MGW [m NN] E0_030	211.75	211.65	211.77	211.71	211.76	211.67	211.55	211.42	211.39	211.41	211.61	211.54	211.60
MGW [m NN] EK_030	211.75	211.65	211.77	211.71	211.76	211.67	211.55	211.42	211.39	211.41	211.61	211.54	211.60
MGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_030	211.78	211.76	211.72	211.68	211.67	211.64	211.59	211.54	211.50	211.42	211.39	211.38	211.37
GWSP [m NN] EK_030	211.78	211.75	211.72	211.68	211.66	211.64	211.59	211.54	211.50	211.41	211.39	211.37	211.36
Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_031

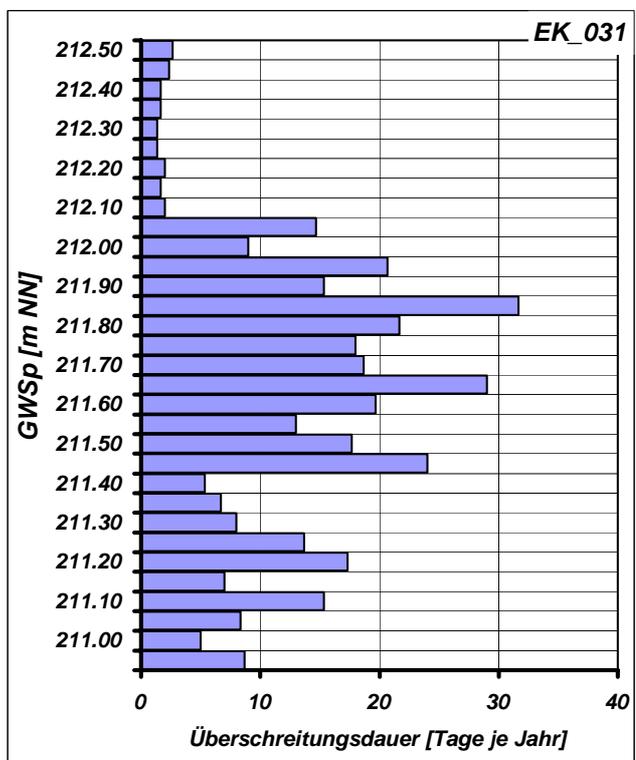
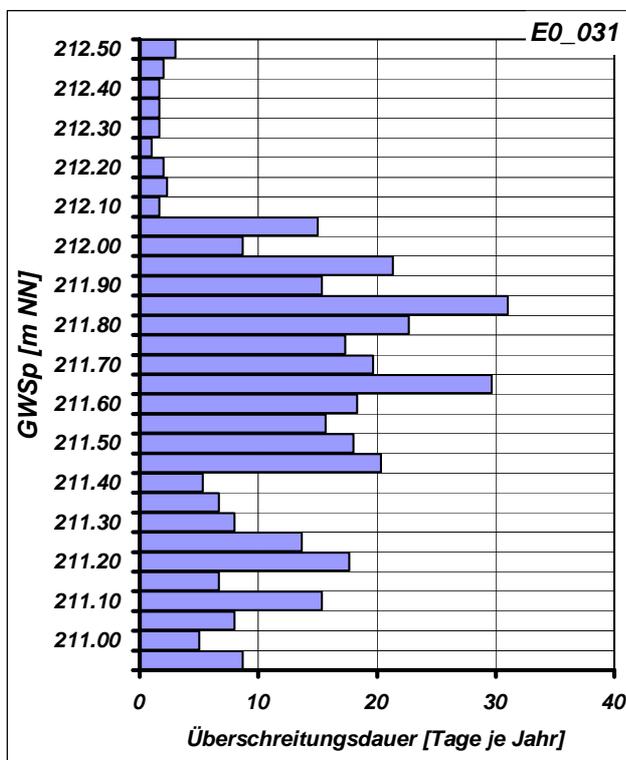
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

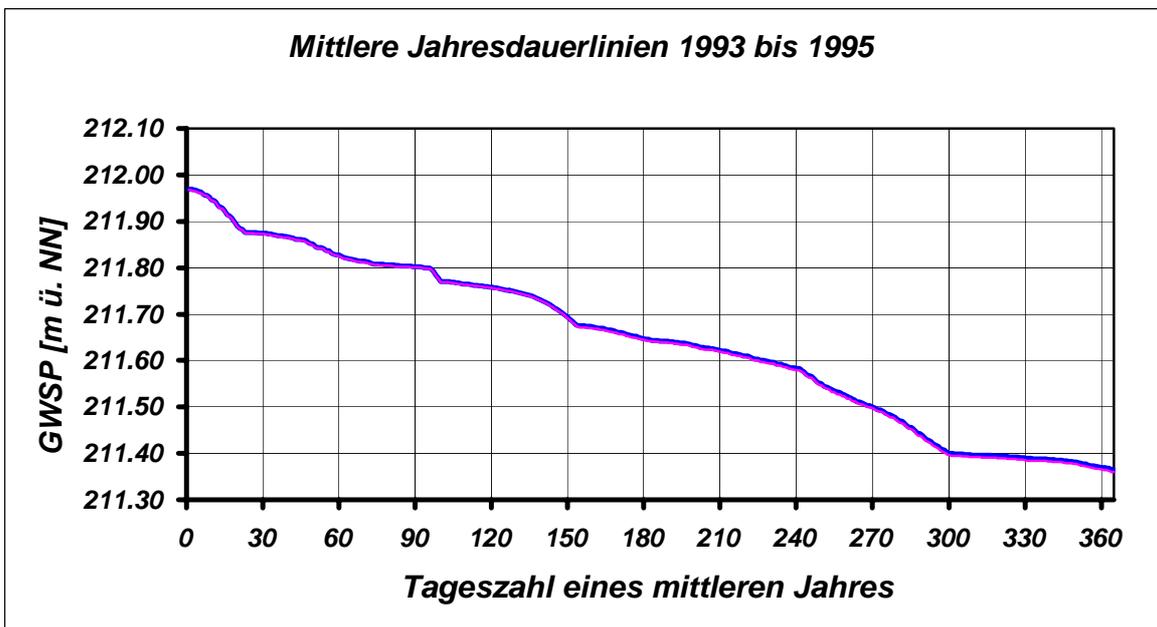
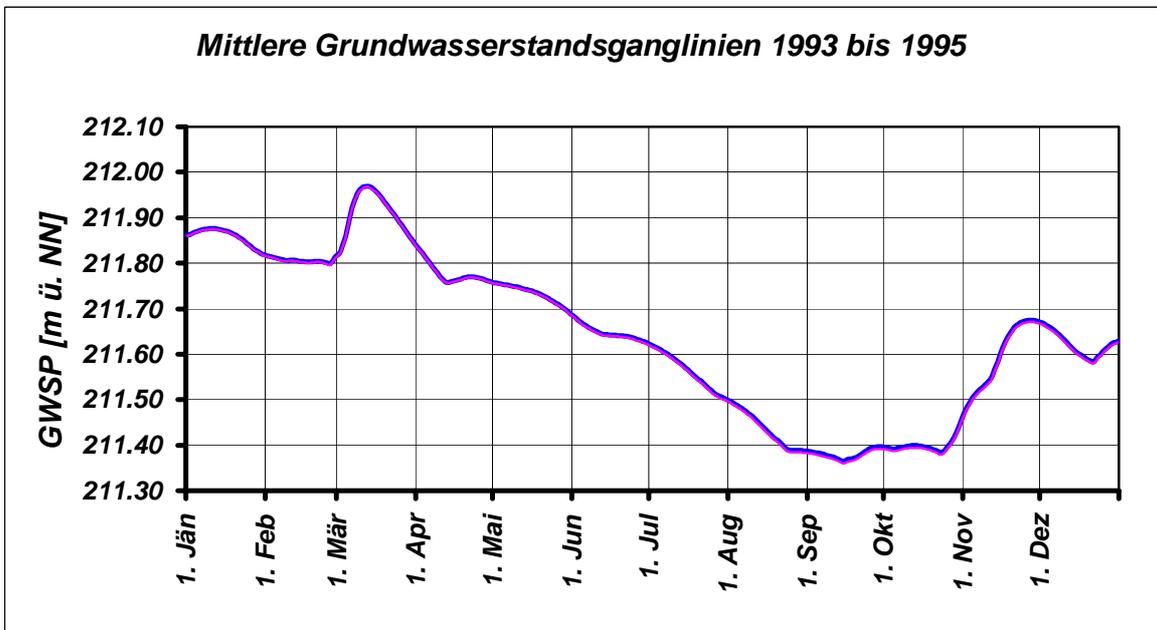
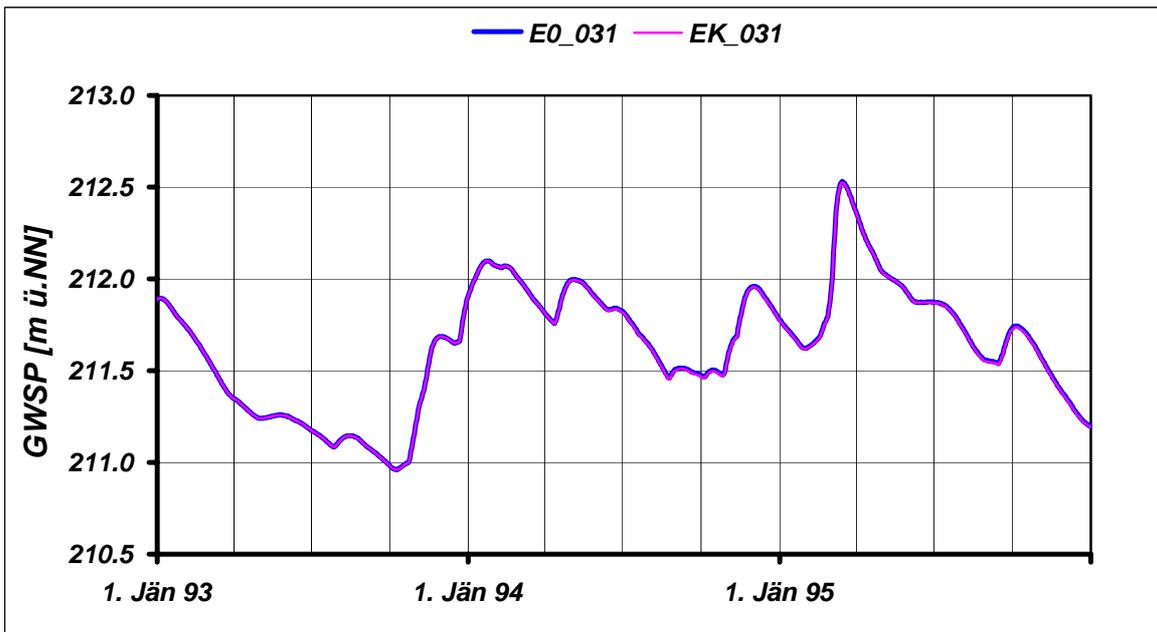
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_031	211.62	211.57	211.35	211.24	211.24	211.18	211.08	211.10	210.98	210.96	211.24	211.20	210.96
NGW [m NN] EK_031	211.62	211.57	211.35	211.24	211.24	211.18	211.08	211.10	210.98	210.96	211.24	211.19	210.96
NGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HGW [m NN] E0_031	212.10	212.07	212.53	212.35	212.04	211.91	211.87	211.75	211.73	211.74	211.96	211.96	212.53
HGW [m NN] EK_031	212.10	212.07	212.52	212.35	212.04	211.91	211.87	211.74	211.72	211.74	211.95	211.96	212.52
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00
MGW [m NN] E0_031	211.86	211.81	211.91	211.78	211.73	211.65	211.56	211.43	211.38	211.40	211.59	211.62	211.64
MGW [m NN] EK_031	211.86	211.80	211.91	211.78	211.73	211.64	211.56	211.43	211.38	211.40	211.59	211.62	211.64
MGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_031	211.87	211.83	211.80	211.76	211.69	211.65	211.62	211.58	211.50	211.40	211.39	211.38	211.37
GWSP [m NN] EK_031	211.87	211.83	211.80	211.76	211.69	211.64	211.62	211.58	211.50	211.40	211.39	211.38	211.37
Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





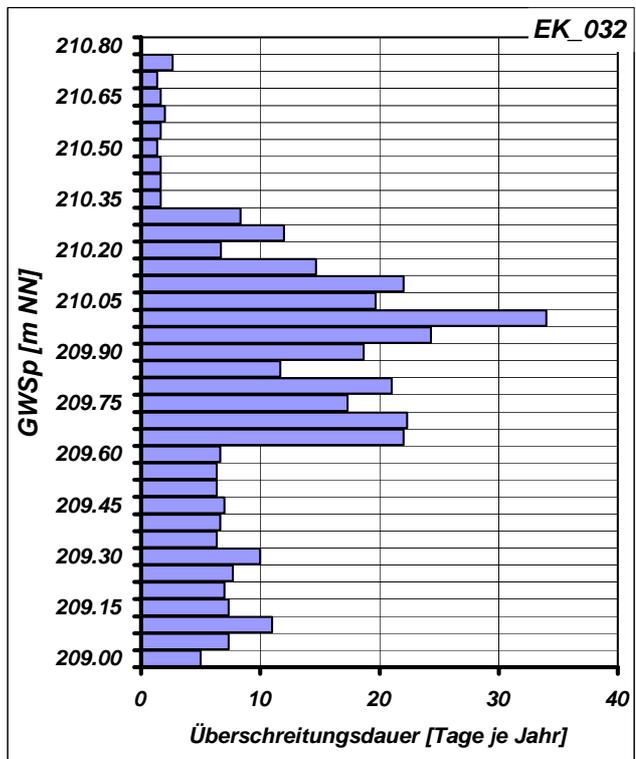
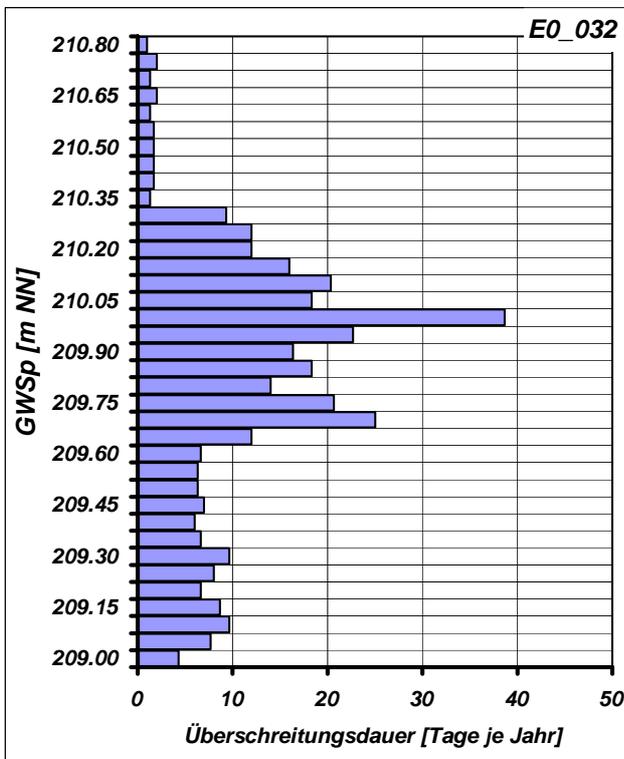
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

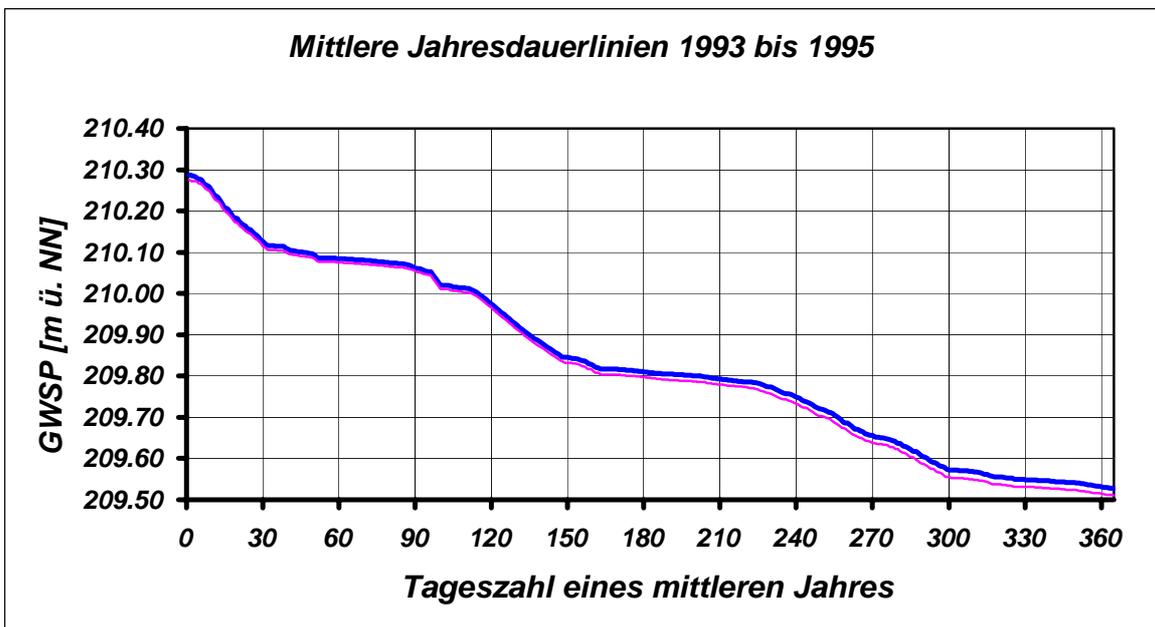
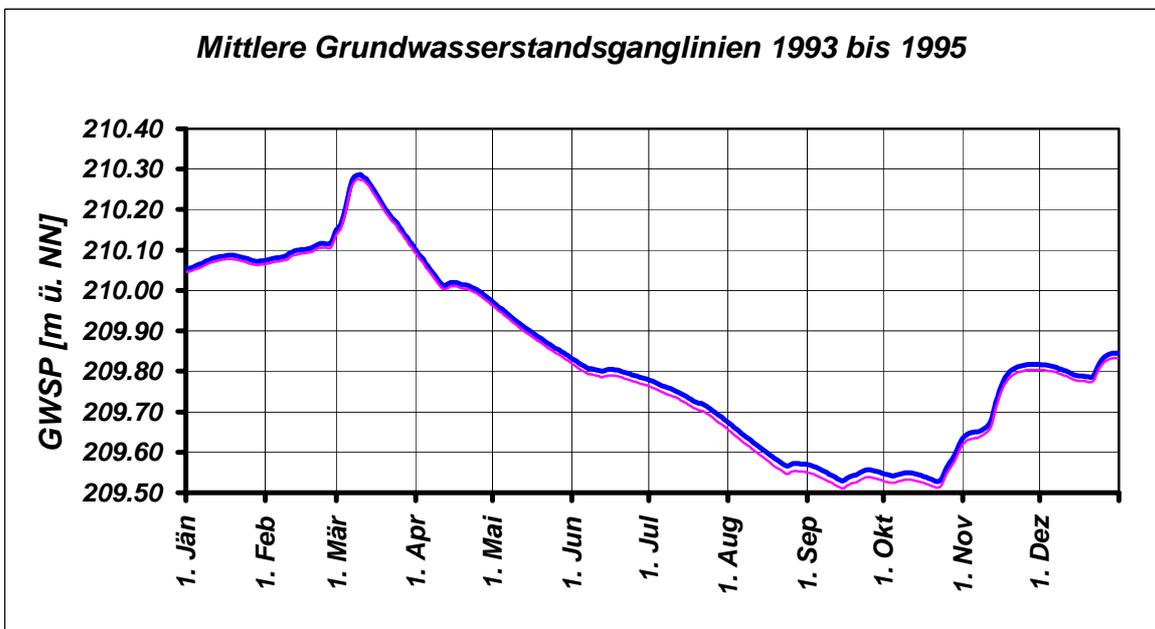
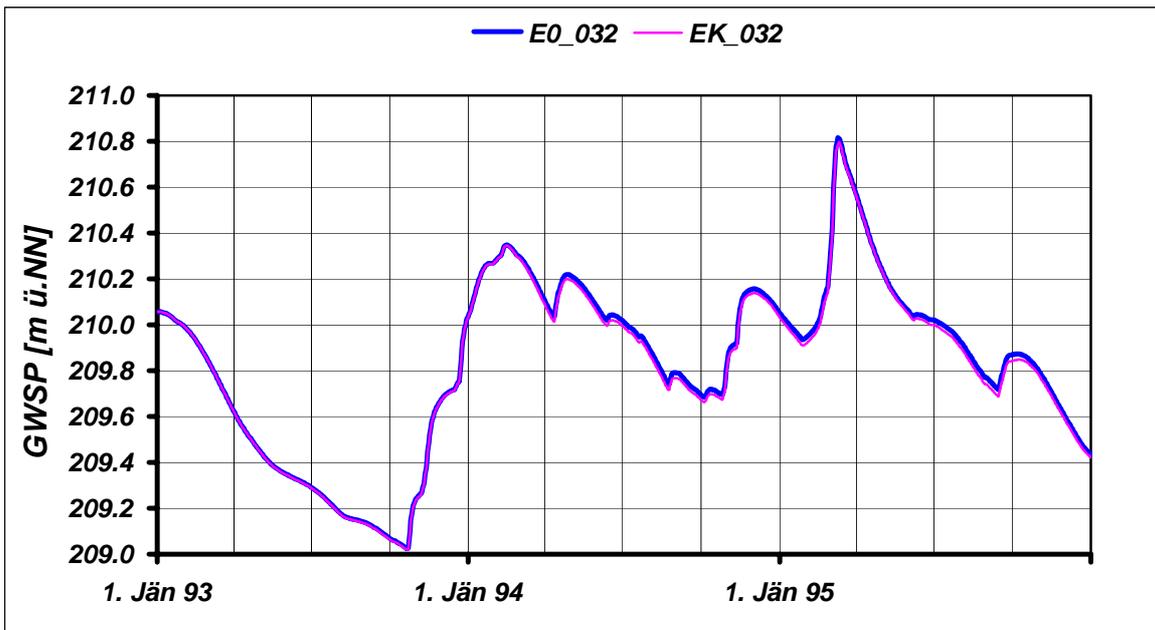
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_032	209.94	209.85	209.63	209.45	209.35	209.29	209.19	209.14	209.07	209.02	209.25	209.44	209.02
NGW [m NN] EK_032	209.91	209.85	209.62	209.45	209.35	209.29	209.19	209.14	209.06	209.02	209.24	209.42	209.02
NGW-Differenz [m]	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00
HGW [m NN] E0_032	210.27	210.35	210.82	210.56	210.24	210.07	210.02	209.93	209.87	209.87	210.16	210.16	210.82
HGW [m NN] EK_032	210.27	210.35	210.80	210.56	210.23	210.05	210.00	209.90	209.84	209.85	210.14	210.14	210.80
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
MGW [m NN] E0_032	210.07	210.10	210.20	210.02	209.89	209.80	209.73	209.60	209.55	209.55	209.74	209.81	209.84
MGW [m NN] EK_032	210.06	210.09	210.19	210.01	209.88	209.78	209.71	209.58	209.53	209.53	209.72	209.79	209.82
MGW-Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_032	210.12	210.08	210.06	209.97	209.84	209.81	209.79	209.75	209.65	209.57	209.55	209.54	209.53
GWSP [m NN] EK_032	210.11	210.07	210.05	209.96	209.83	209.79	209.78	209.73	209.63	209.55	209.53	209.52	209.51
Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





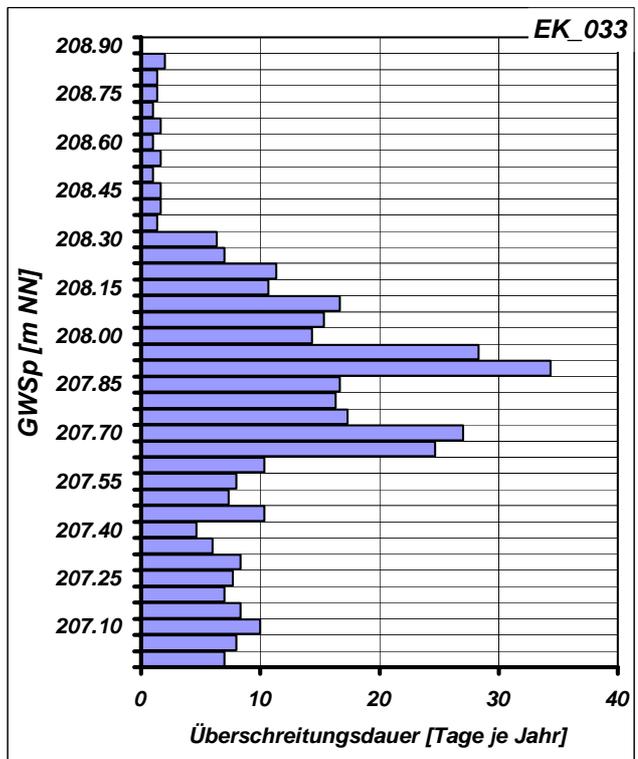
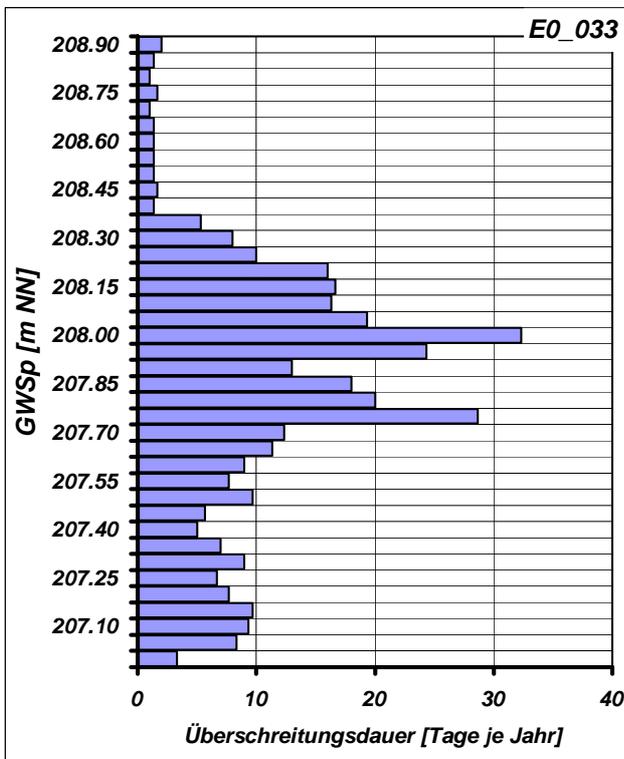
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

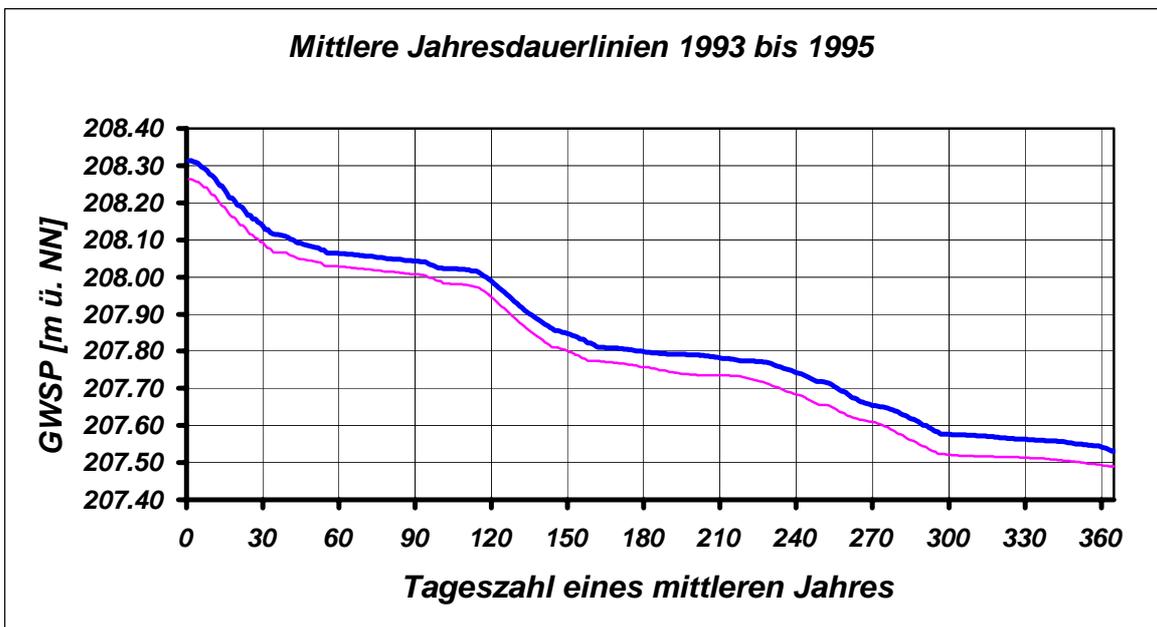
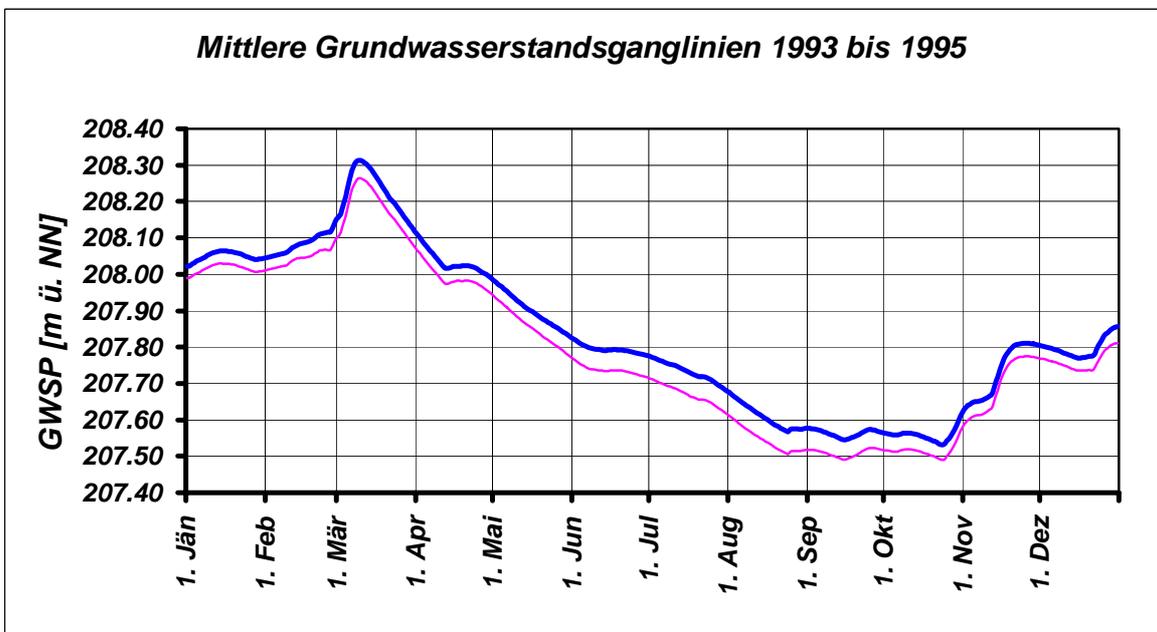
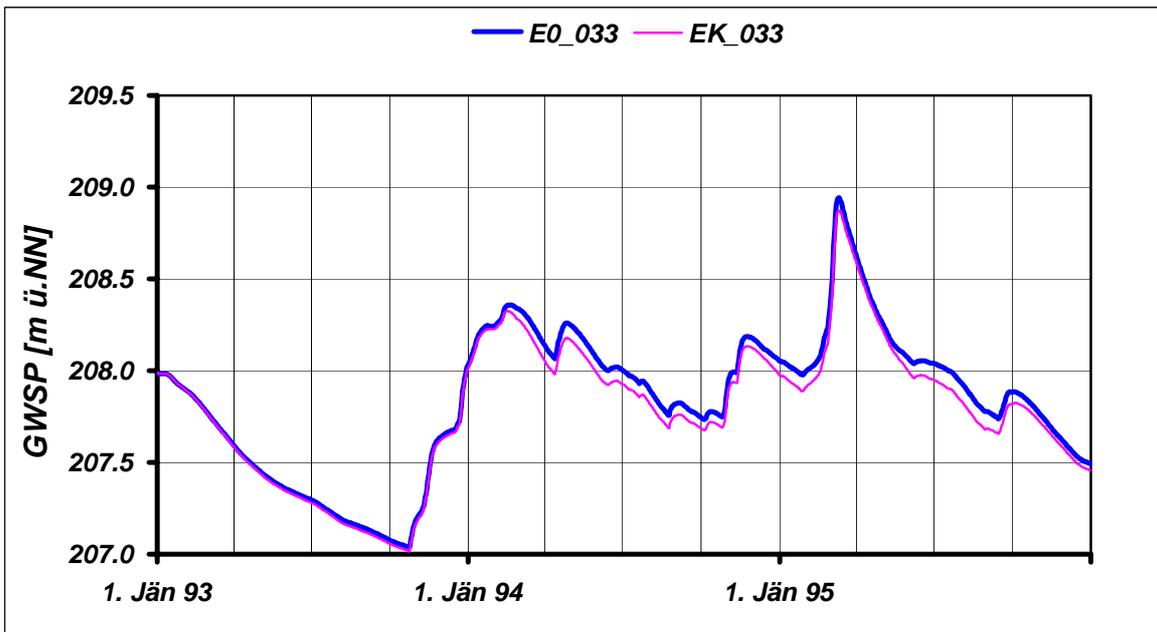
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_033	207.91	207.77	207.59	207.46	207.36	207.30	207.20	207.14	207.08	207.03	207.20	207.49	207.03
NGW [m NN] EK_033	207.89	207.77	207.59	207.44	207.34	207.28	207.19	207.12	207.06	207.01	207.18	207.45	207.01
NGW-Differenz [m]	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.04	-0.02
HGW [m NN] E0_033	208.25	208.36	208.94	208.62	208.26	208.06	208.04	207.94	207.88	207.90	208.19	208.17	208.94
HGW [m NN] EK_033	208.23	208.33	208.87	208.58	208.23	207.99	207.95	207.84	207.82	207.84	208.13	208.12	208.87
HGW-Differenz [m]	-0.02	-0.03	-0.07	-0.04	-0.03	-0.07	-0.09	-0.10	-0.07	-0.06	-0.05	-0.05	-0.07
MGW [m NN] E0_033	208.05	208.09	208.23	208.04	207.90	207.80	207.74	207.61	207.57	207.56	207.74	207.80	207.84
MGW [m NN] EK_033	208.02	208.05	208.18	207.99	207.86	207.74	207.67	207.55	207.52	207.52	207.70	207.76	207.80
MGW-Differenz [m]	-0.03	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_033	208.14	208.07	208.05	207.99	207.85	207.80	207.79	207.75	207.66	207.58	207.57	207.56	207.55
GWSP [m NN] EK_033	208.10	208.03	208.01	207.95	207.80	207.76	207.74	207.69	207.61	207.52	207.52	207.51	207.50
Differenz [m]	-0.04	-0.04	-0.03	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05	-0.06	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





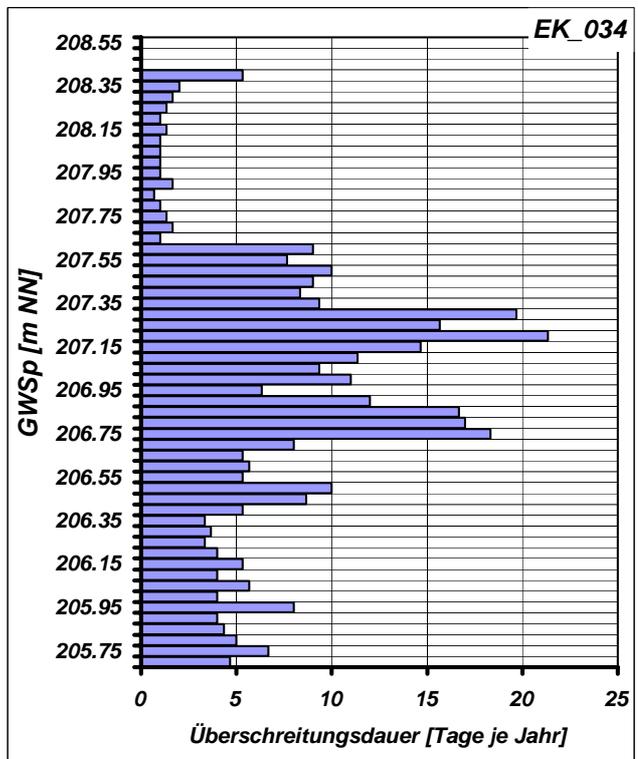
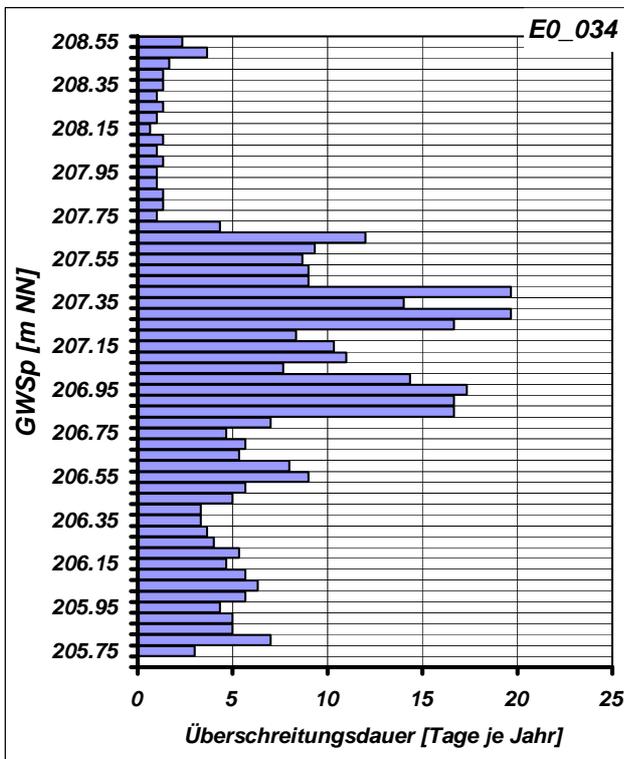
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

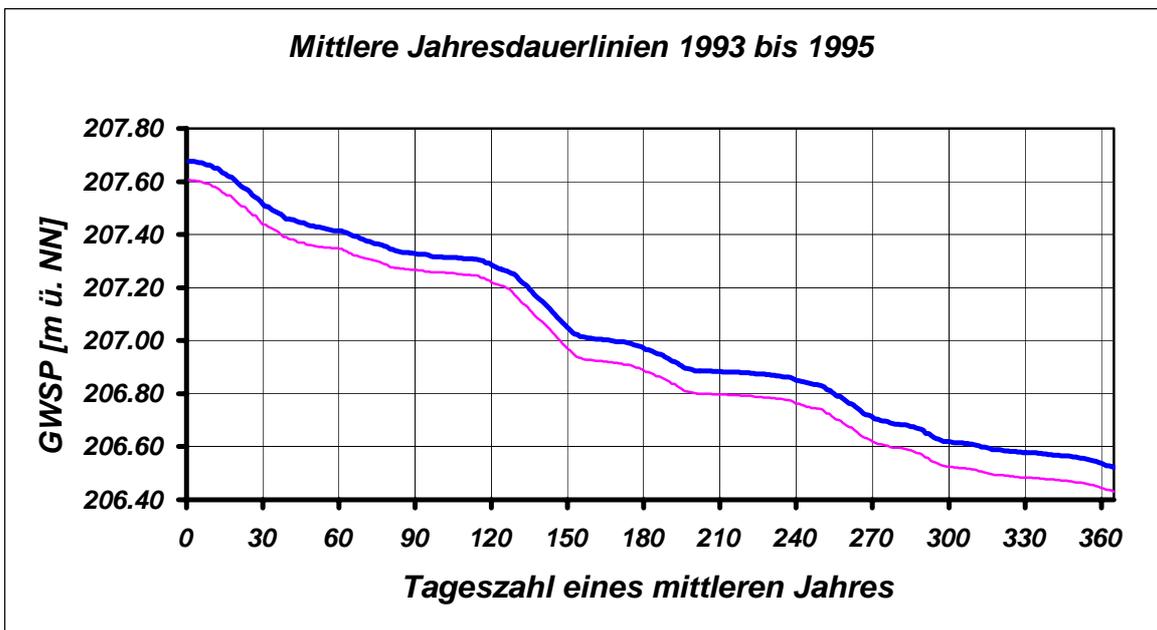
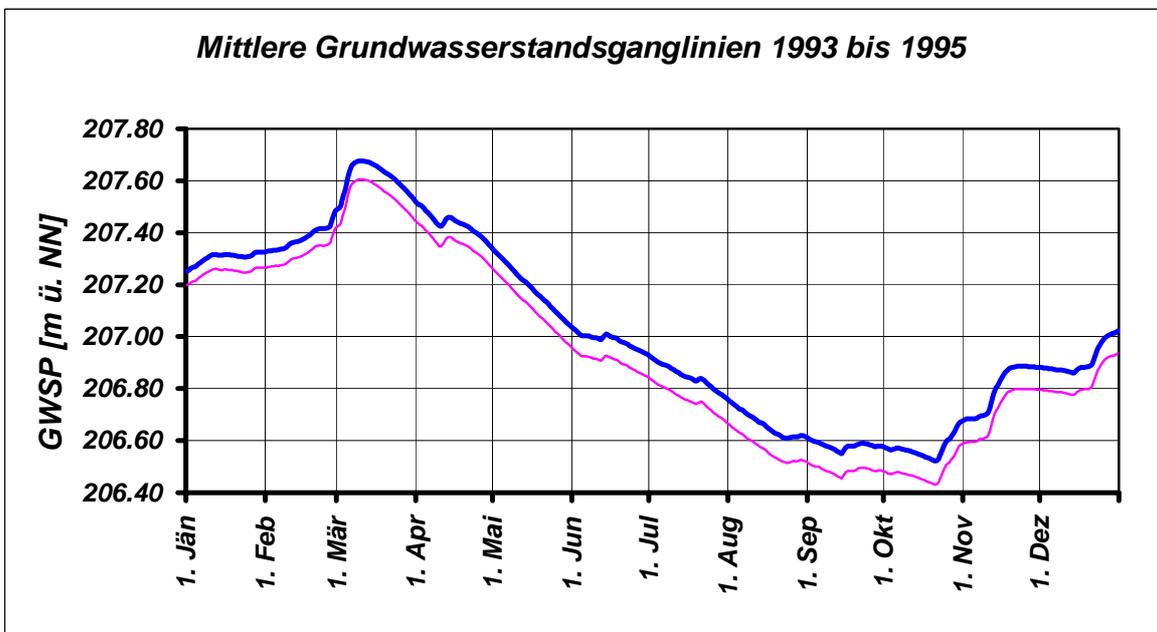
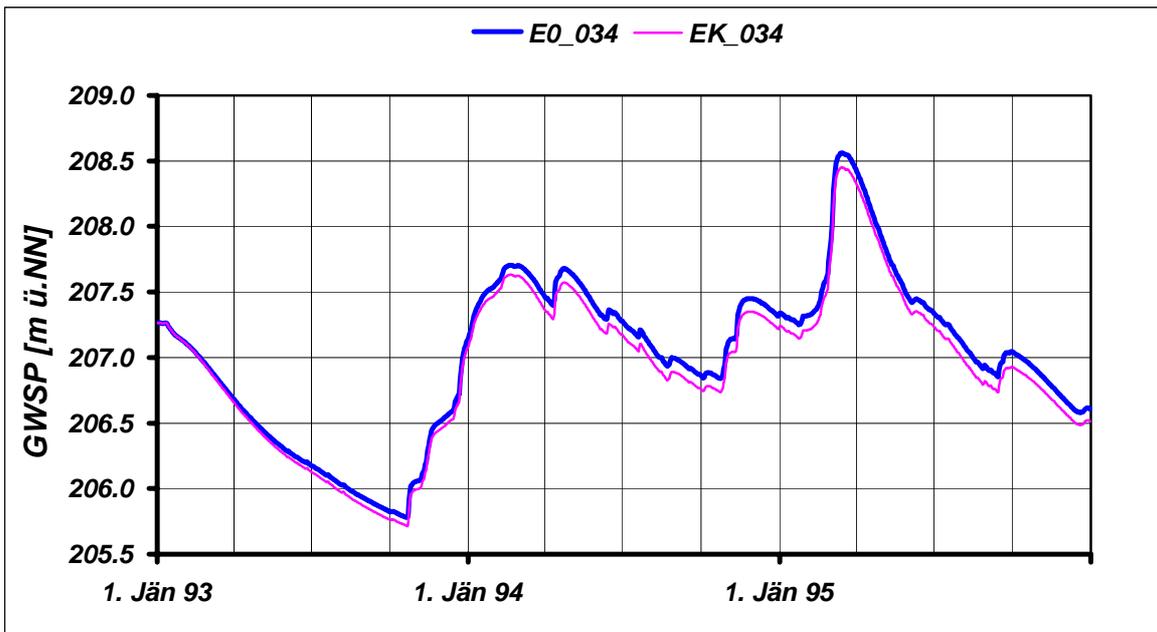
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_034	207.13	206.93	206.69	206.47	206.30	206.18	206.05	205.93	205.83	205.78	206.06	206.53	205.78
NGW [m NN] EK_034	207.09	206.92	206.66	206.44	206.25	206.13	205.99	205.87	205.77	205.71	206.00	206.47	205.71
NGW-Differenz [m]	-0.03	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
HGW [m NN] E0_034	207.55	207.82	208.56	208.42	207.90	207.45	207.34	207.13	207.05	207.09	207.45	207.45	208.56
HGW [m NN] EK_034	207.48	207.71	208.45	208.32	207.81	207.37	207.23	207.01	206.93	206.99	207.35	207.35	208.45
HGW-Differenz [m]	-0.07	-0.11	-0.11	-0.10	-0.09	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12	-0.10	-0.10	-0.10	-0.11
MGW [m NN] E0_034	207.31	207.38	207.61	207.44	207.19	206.99	206.85	206.66	206.58	206.57	206.80	206.91	207.03
MGW [m NN] EK_034	207.25	207.32	207.54	207.36	207.11	206.91	206.76	206.57	206.49	206.48	206.72	206.83	206.94
MGW-Differenz [m]	-0.06	-0.06	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.08

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_034	207.52	207.42	207.33	207.29	207.05	206.97	206.89	206.85	206.72	206.62	206.58	206.57	206.54
GWSP [m NN] EK_034	207.44	207.35	207.27	207.22	206.97	206.89	206.80	206.76	206.62	206.53	206.49	206.47	206.45
Differenz [m]	-0.08	-0.07	-0.06	-0.06	-0.08	-0.08	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





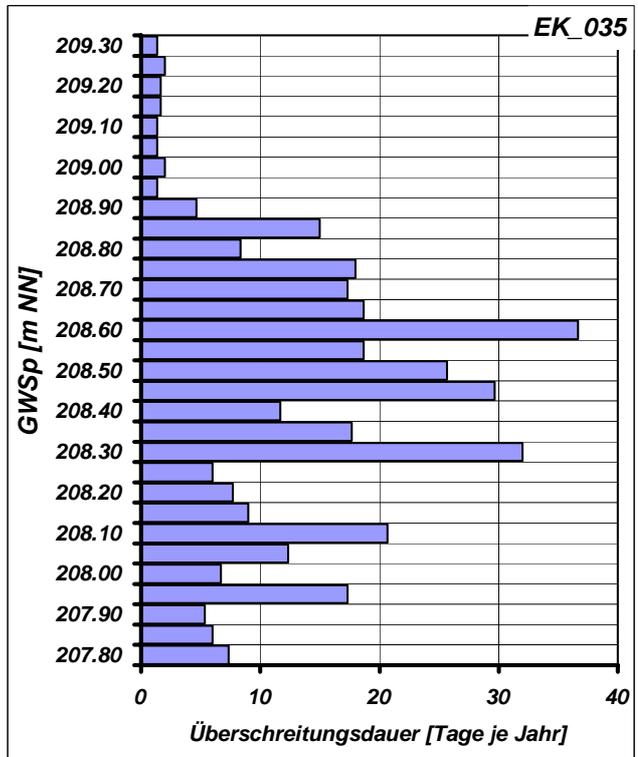
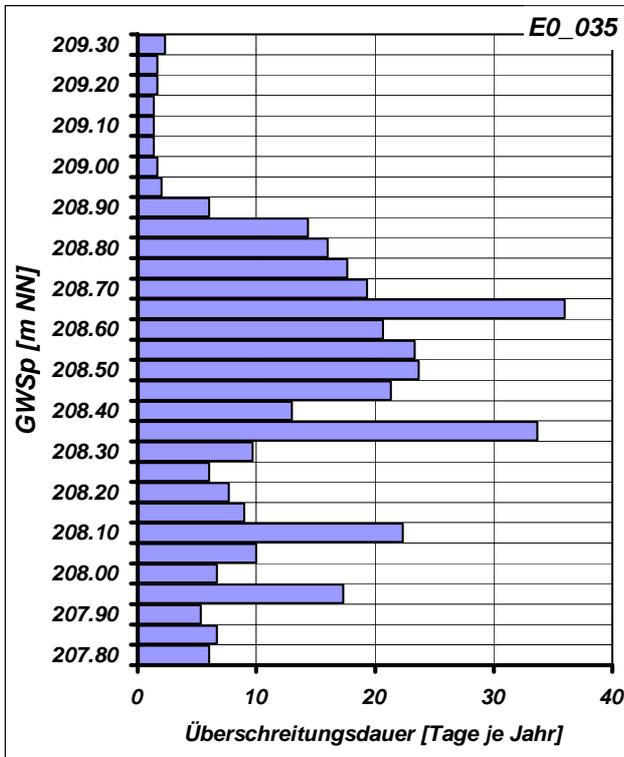
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

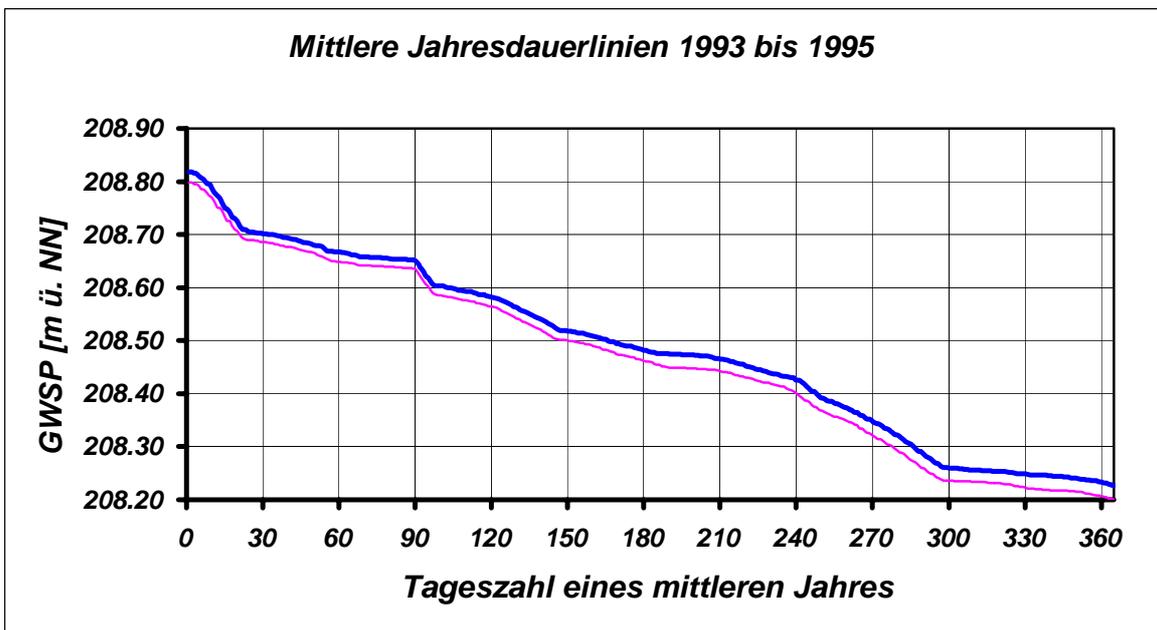
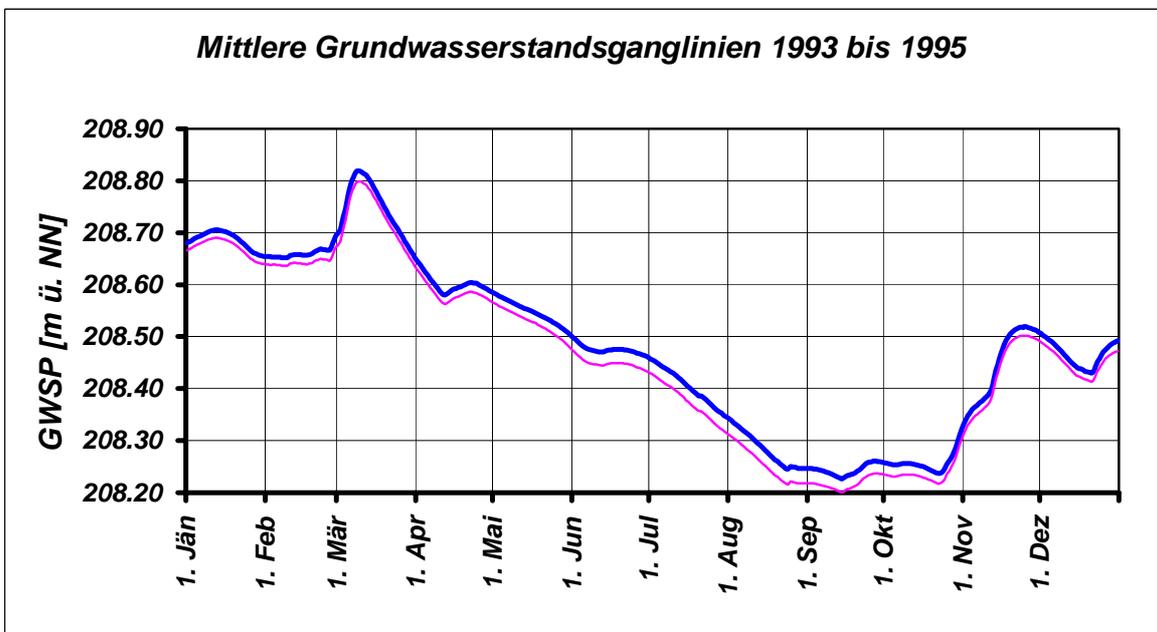
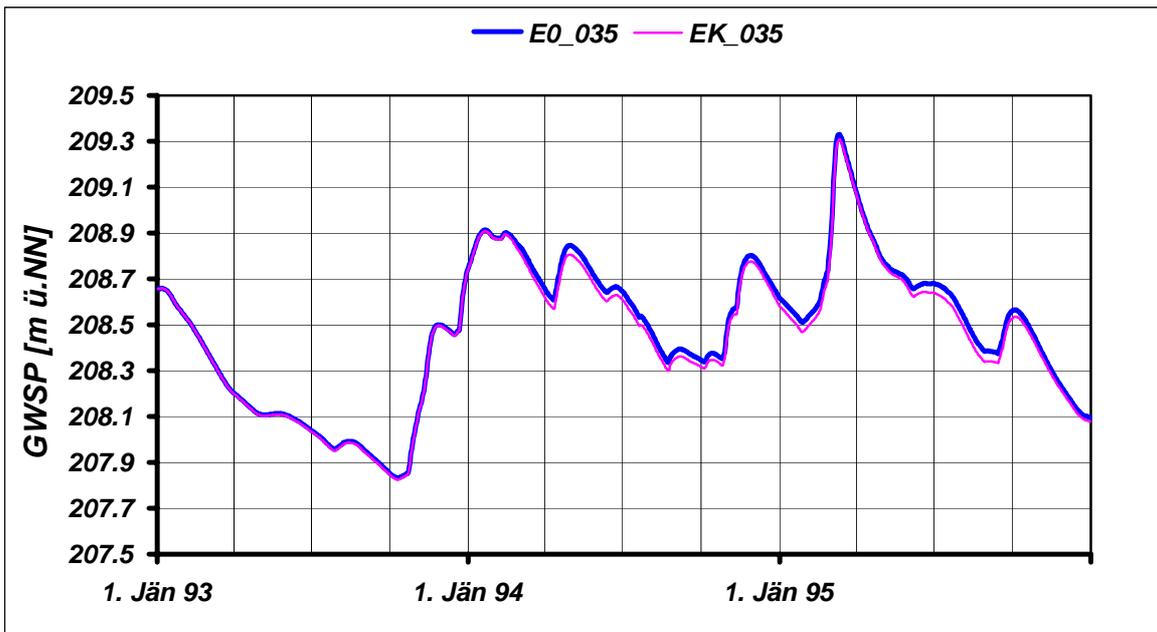
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_035	208.51	208.38	208.20	208.11	208.11	208.04	207.96	207.96	207.85	207.83	208.08	208.10	207.83
NGW [m NN] EK_035	208.47	208.38	208.20	208.11	208.10	208.04	207.95	207.95	207.85	207.83	208.07	208.08	207.83
NGW-Differenz [m]	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
HGW [m NN] E0_035	208.91	208.90	209.33	209.07	208.84	208.69	208.68	208.56	208.56	208.57	208.80	208.80	209.33
HGW [m NN] EK_035	208.91	208.89	209.31	209.06	208.80	208.65	208.64	208.51	208.53	208.54	208.78	208.77	209.31
HGW-Differenz [m]	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02
MGW [m NN] E0_035	208.68	208.66	208.74	208.60	208.54	208.47	208.40	208.28	208.24	208.25	208.44	208.46	208.48
MGW [m NN] EK_035	208.67	208.64	208.72	208.58	208.52	208.44	208.37	208.25	208.21	208.23	208.42	208.44	208.46
MGW-Differenz [m]	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_035	208.70	208.66	208.65	208.58	208.51	208.48	208.46	208.42	208.34	208.26	208.24	208.24	208.23
GWSP [m NN] EK_035	208.68	208.64	208.63	208.56	208.49	208.46	208.44	208.40	208.32	208.23	208.22	208.21	208.20
Differenz [m]	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





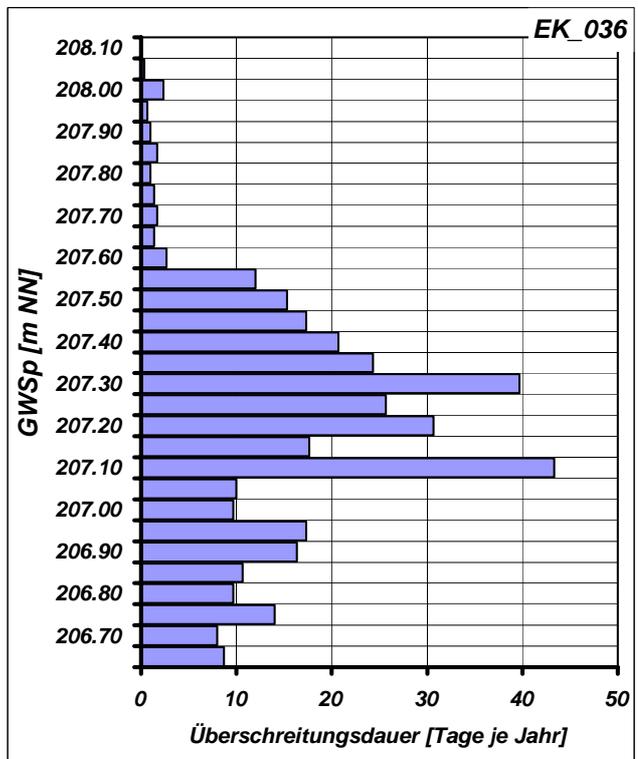
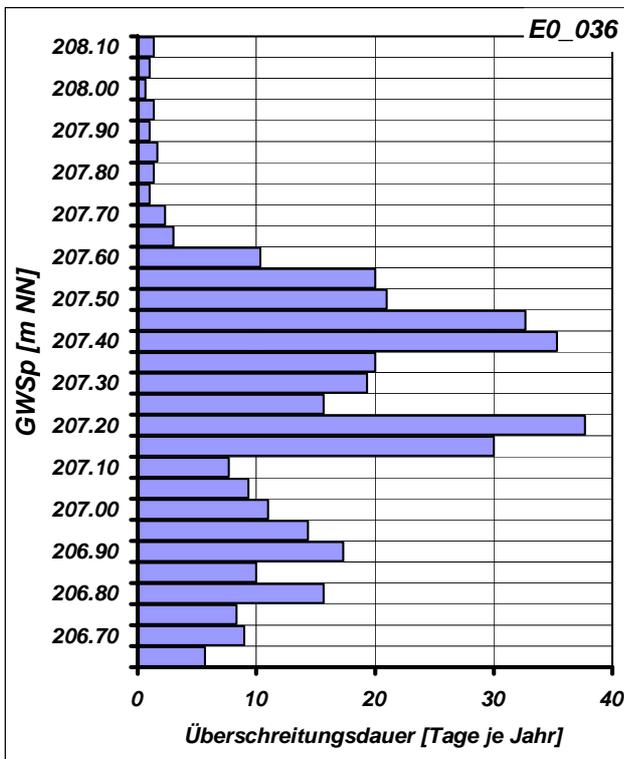
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

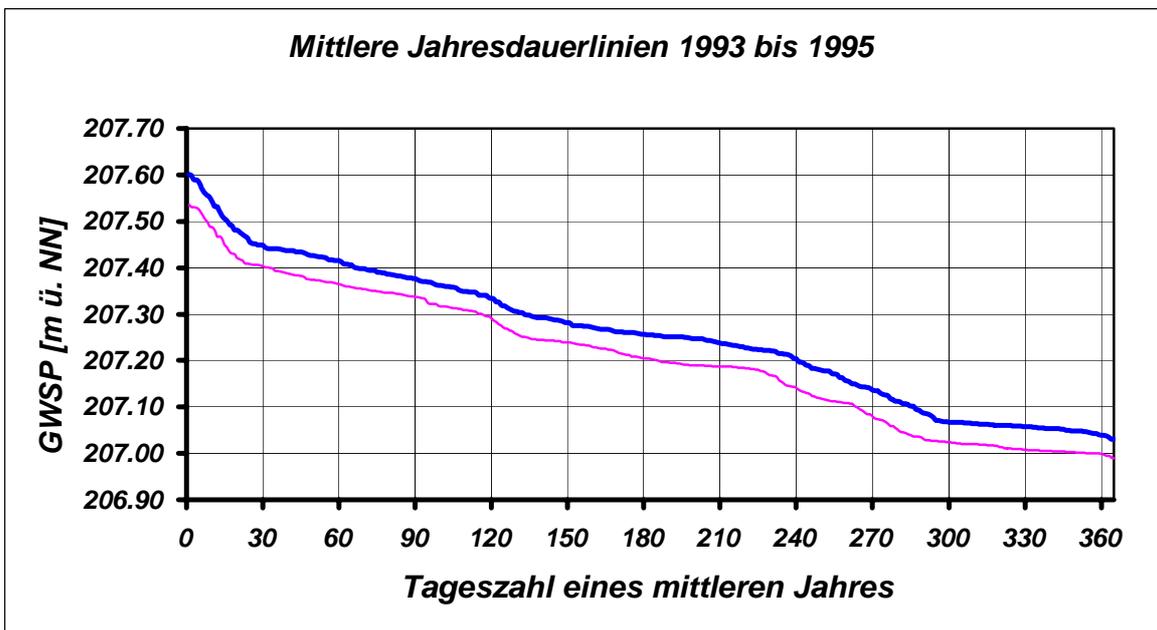
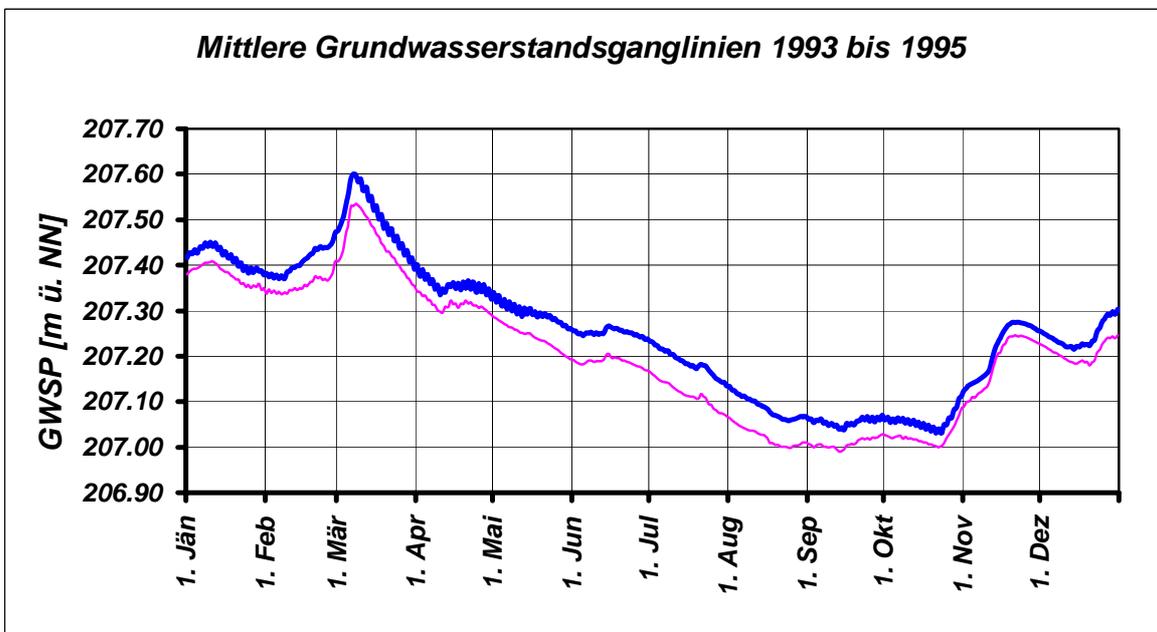
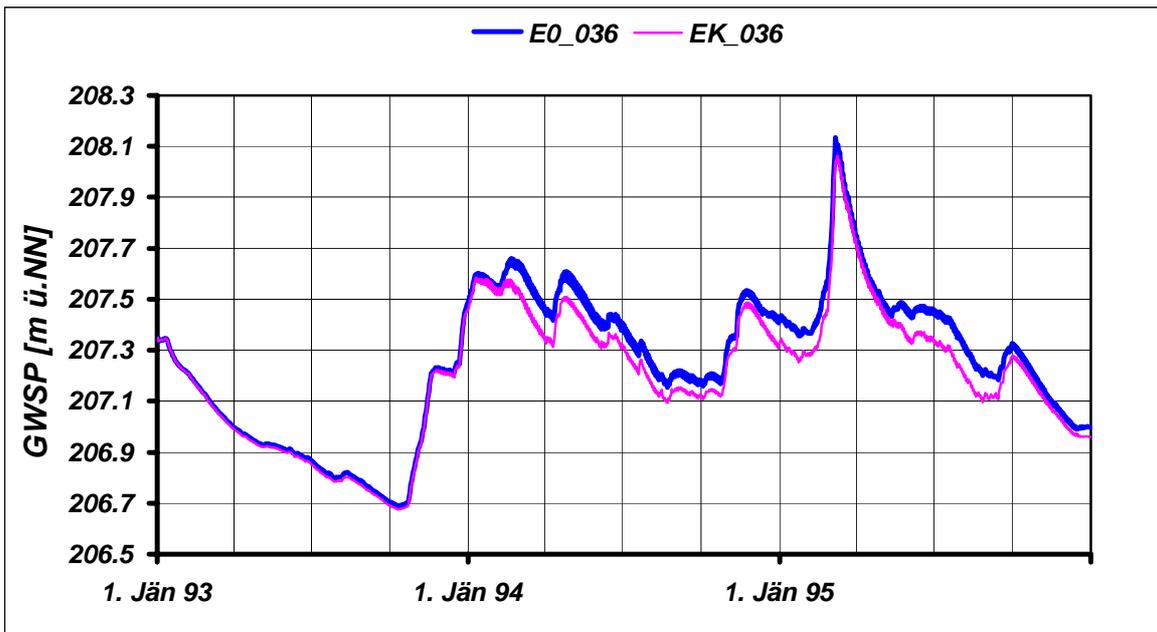
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_036	207.22	207.11	207.00	206.93	206.91	206.87	206.80	206.78	206.71	206.69	206.88	206.99	206.69
NGW [m NN] EK_036	207.22	207.11	206.99	206.93	206.90	206.85	206.78	206.76	206.69	206.68	206.87	206.96	206.68
NGW-Differenz [m]	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	-0.01
HGW [m NN] E0_036	207.60	207.66	208.13	207.75	207.59	207.47	207.46	207.34	207.33	207.32	207.53	207.51	208.13
HGW [m NN] EK_036	207.58	207.58	208.06	207.71	207.49	207.37	207.34	207.23	207.27	207.28	207.49	207.47	208.06
HGW-Differenz [m]	-0.02	-0.08	-0.07	-0.04	-0.10	-0.10	-0.12	-0.12	-0.06	-0.04	-0.05	-0.04	-0.07
MGW [m NN] E0_036	207.42	207.41	207.50	207.36	207.30	207.25	207.19	207.09	207.06	207.06	207.22	207.25	207.26
MGW [m NN] EK_036	207.38	207.36	207.45	207.32	207.24	207.19	207.12	207.02	207.01	207.02	207.19	207.21	207.21
MGW-Differenz [m]	-0.04	-0.05	-0.05	-0.04	-0.05	-0.06	-0.07	-0.06	-0.05	-0.04	-0.03	-0.04	-0.05

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_036	207.45	207.42	207.38	207.34	207.28	207.26	207.24	207.21	207.14	207.07	207.06	207.05	207.04
GWSP [m NN] EK_036	207.40	207.37	207.34	207.29	207.24	207.21	207.19	207.14	207.08	207.03	207.01	207.00	207.00
Differenz [m]	-0.04	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.04	-0.05	-0.05	-0.04

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





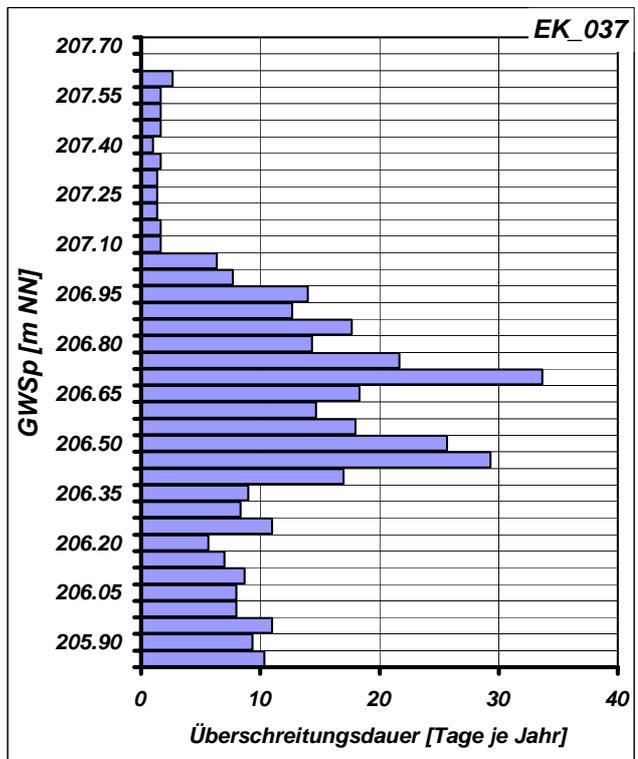
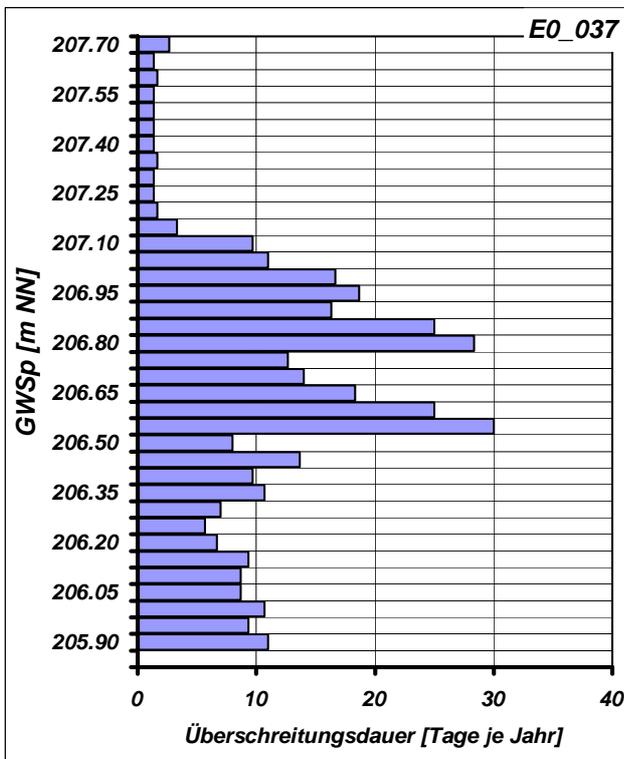
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

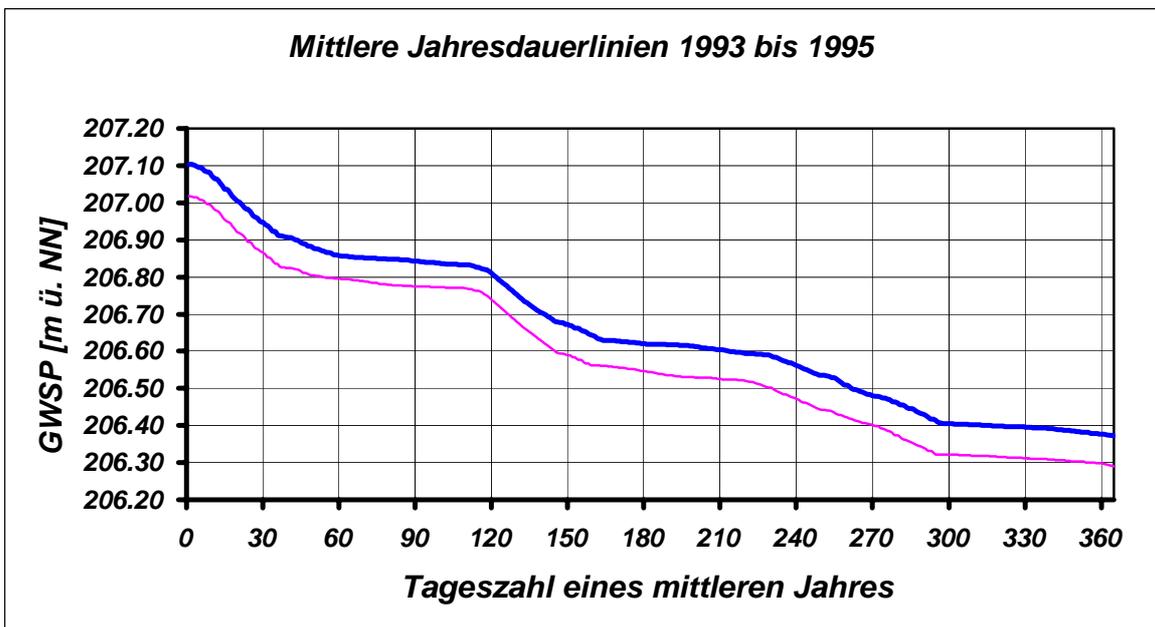
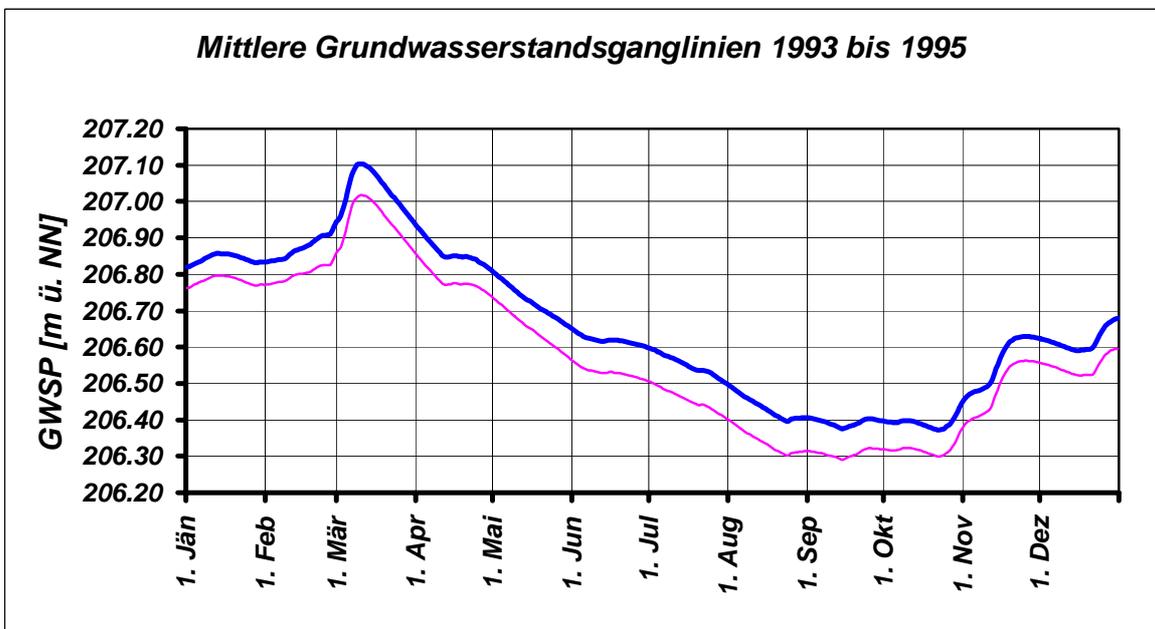
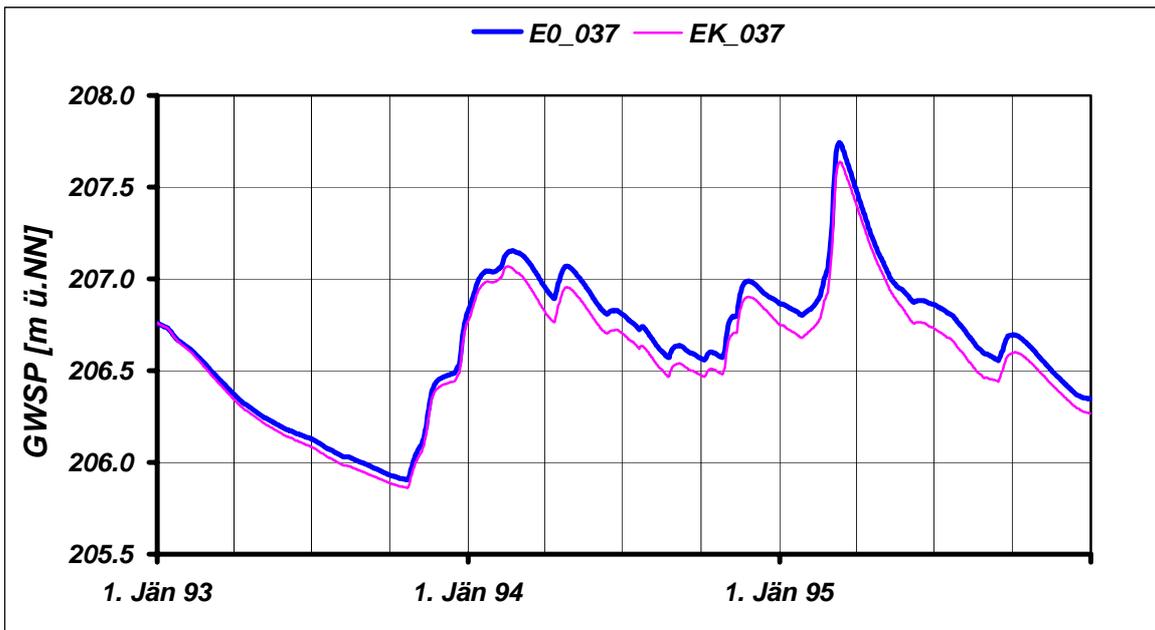
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_037	206.64	206.52	206.37	206.26	206.18	206.13	206.05	206.00	205.93	205.91	206.05	206.35	205.91
NGW [m NN] EK_037	206.63	206.50	206.35	206.23	206.15	206.09	206.00	205.95	205.89	205.86	206.01	206.27	205.86
NGW-Differenz [m]	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.08	-0.04
HGW [m NN] E0_037	207.04	207.15	207.74	207.47	207.10	206.90	206.86	206.75	206.69	206.71	206.99	206.98	207.74
HGW [m NN] EK_037	206.99	207.07	207.64	207.40	207.03	206.79	206.73	206.61	206.60	206.62	206.90	206.89	207.64
HGW-Differenz [m]	-0.06	-0.09	-0.10	-0.07	-0.07	-0.11	-0.13	-0.14	-0.10	-0.09	-0.09	-0.08	-0.10
MGW [m NN] E0_037	206.84	206.87	207.03	206.86	206.72	206.62	206.55	206.43	206.39	206.39	206.56	206.62	206.66
MGW [m NN] EK_037	206.78	206.80	206.95	206.78	206.65	206.53	206.46	206.34	206.31	206.32	206.49	206.55	206.58
MGW-Differenz [m]	-0.06	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.09	-0.09	-0.09	-0.08	-0.07	-0.07	-0.07	-0.08

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_037	206.95	206.86	206.84	206.81	206.67	206.62	206.60	206.56	206.48	206.41	206.40	206.39	206.38
GWSP [m NN] EK_037	206.87	206.80	206.77	206.74	206.59	206.55	206.53	206.47	206.40	206.32	206.31	206.30	206.30
Differenz [m]	-0.08	-0.06	-0.07	-0.07	-0.08	-0.07	-0.08	-0.09	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_038

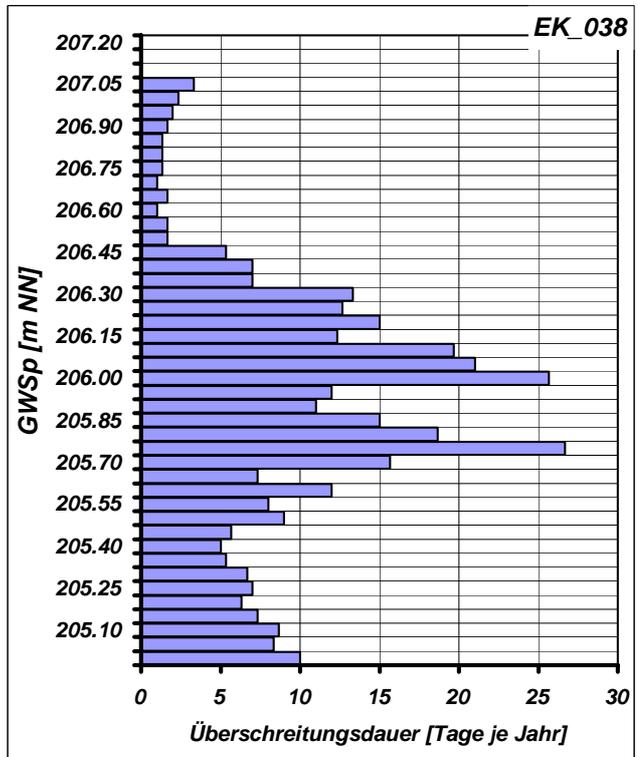
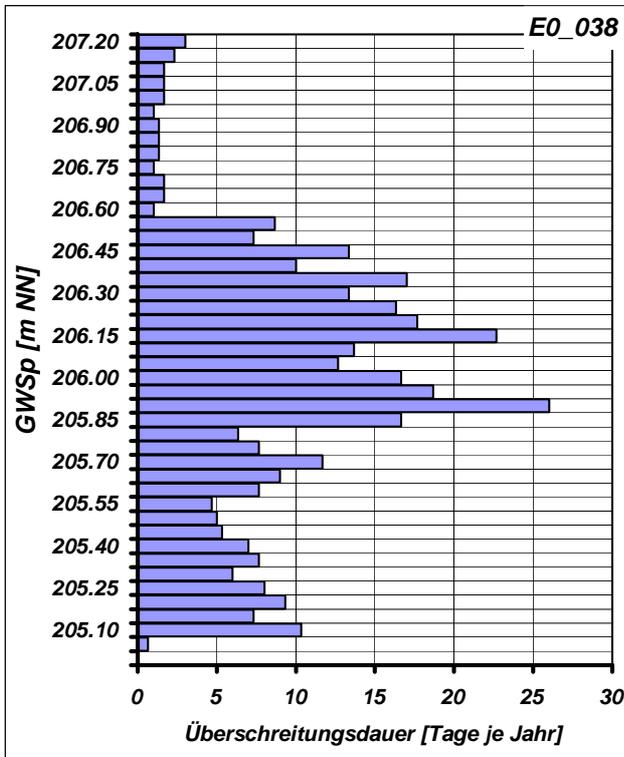
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

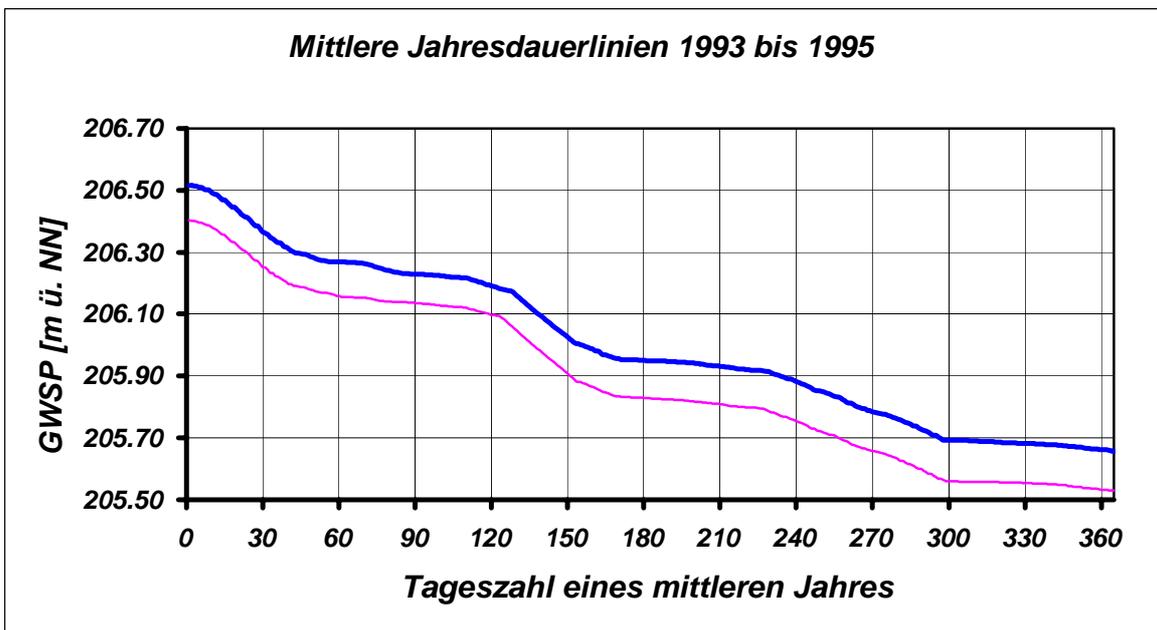
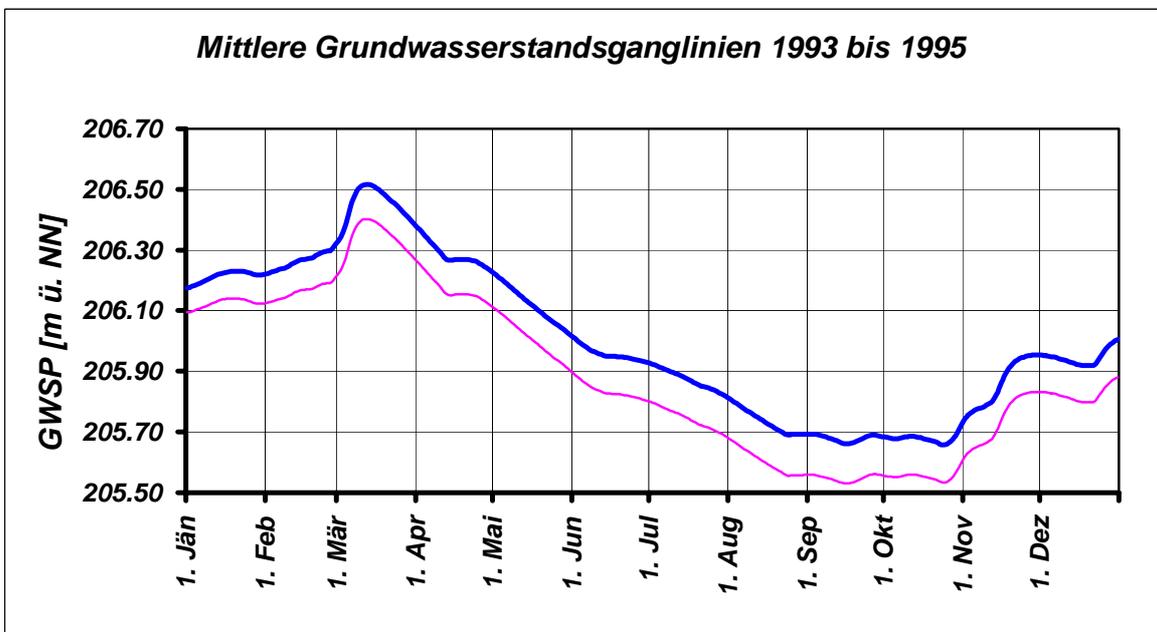
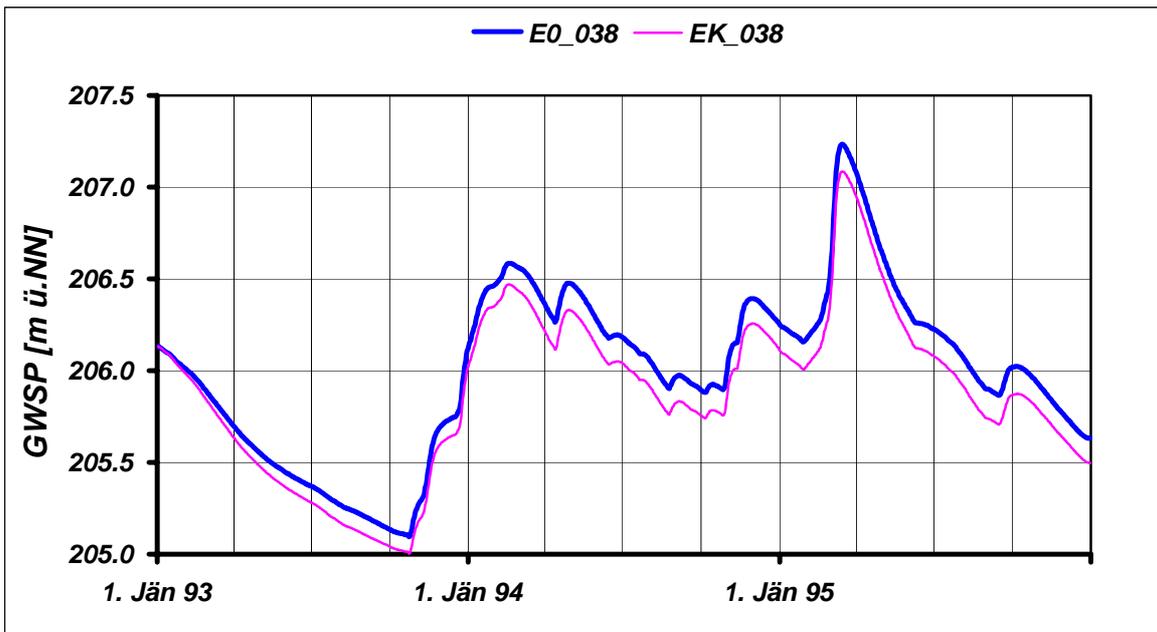
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_038	206.02	205.88	205.70	205.55	205.45	205.37	205.28	205.21	205.14	205.09	205.25	205.63	205.09
NGW [m NN] EK_038	206.00	205.84	205.64	205.48	205.37	205.28	205.18	205.11	205.04	205.00	205.16	205.50	205.00
NGW-Differenz [m]	-0.02	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09	-0.10	-0.10	-0.09	-0.09	-0.09	-0.13	-0.09
HGW [m NN] E0_038	206.47	206.58	207.23	207.07	206.64	206.32	206.23	206.09	206.02	206.02	206.39	206.39	207.23
HGW [m NN] EK_038	206.35	206.47	207.09	206.94	206.52	206.19	206.08	205.93	205.87	205.87	206.26	206.26	207.09
HGW-Differenz [m]	-0.11	-0.11	-0.15	-0.13	-0.12	-0.13	-0.15	-0.16	-0.15	-0.15	-0.14	-0.14	-0.15
MGW [m NN] E0_038	206.21	206.26	206.45	206.28	206.12	205.96	205.87	205.73	205.68	205.68	205.86	205.94	206.00
MGW [m NN] EK_038	206.12	206.16	206.34	206.17	206.00	205.83	205.74	205.60	205.55	205.55	205.73	205.82	205.88
MGW-Differenz [m]	-0.09	-0.10	-0.11	-0.11	-0.11	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.12	-0.12	-0.12

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_038	206.36	206.27	206.23	206.19	206.02	205.95	205.93	205.88	205.78	205.69	205.68	205.67	205.66
GWSP [m NN] EK_038	206.25	206.16	206.13	206.10	205.91	205.83	205.81	205.75	205.66	205.56	205.55	205.54	205.53
Differenz [m]	-0.11	-0.11	-0.09	-0.09	-0.12	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_039

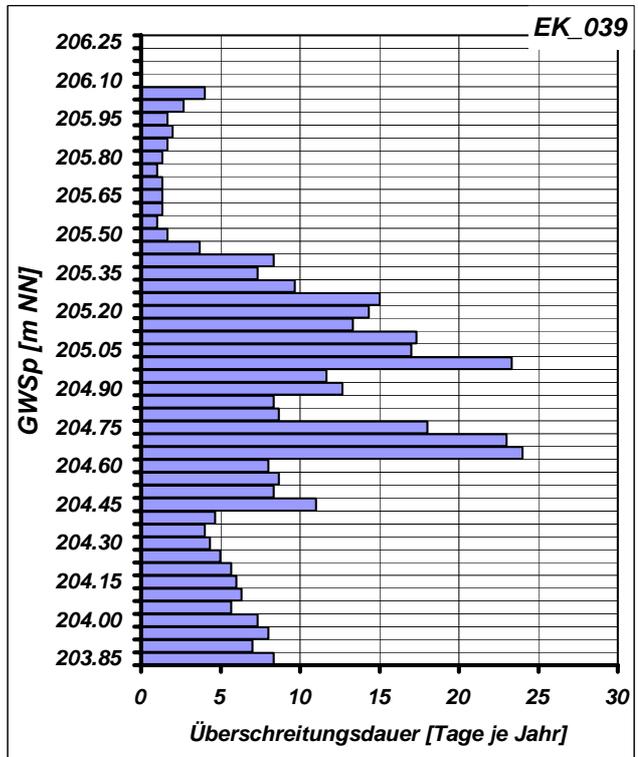
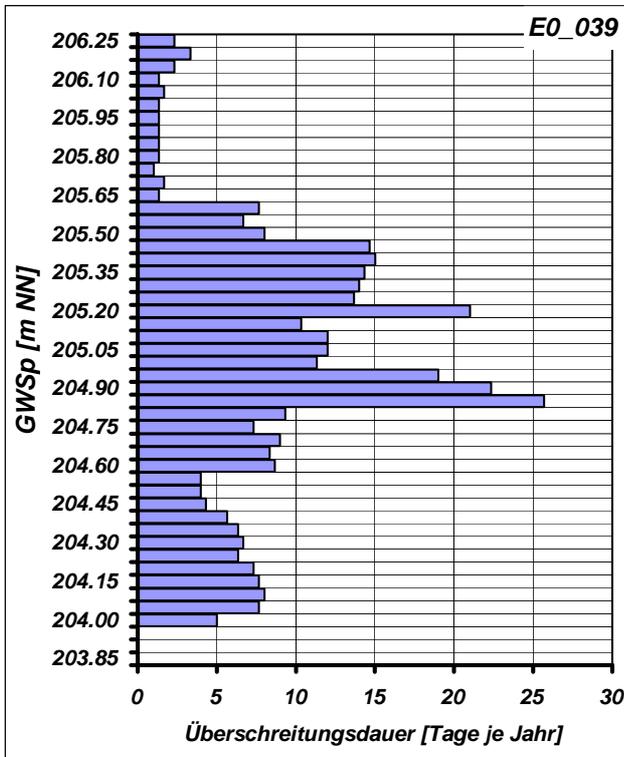
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

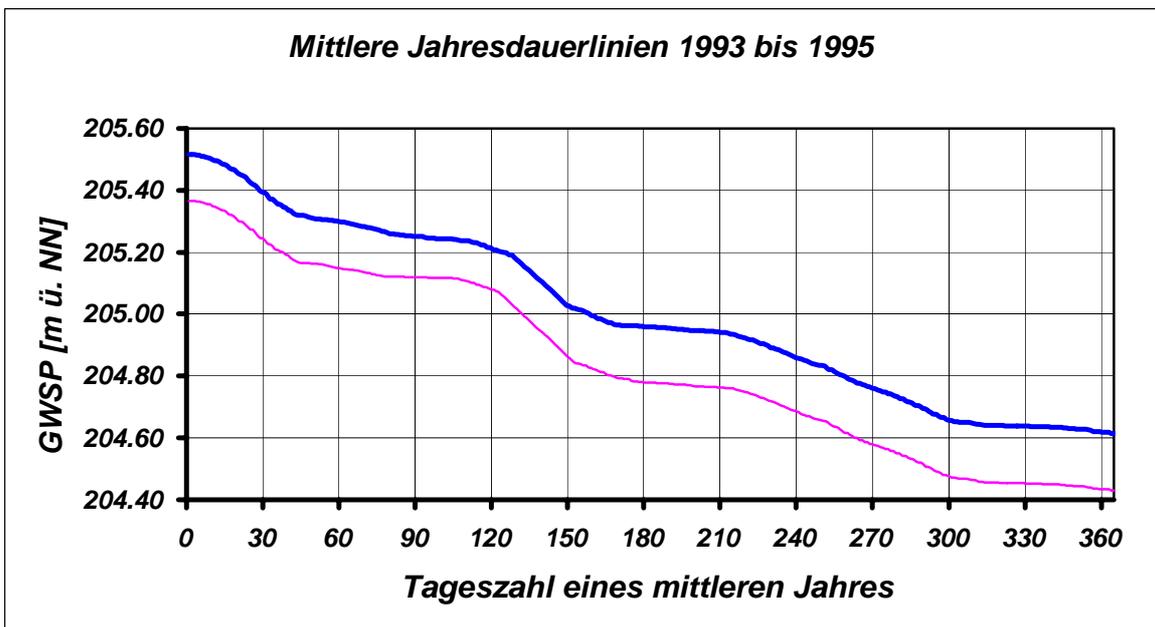
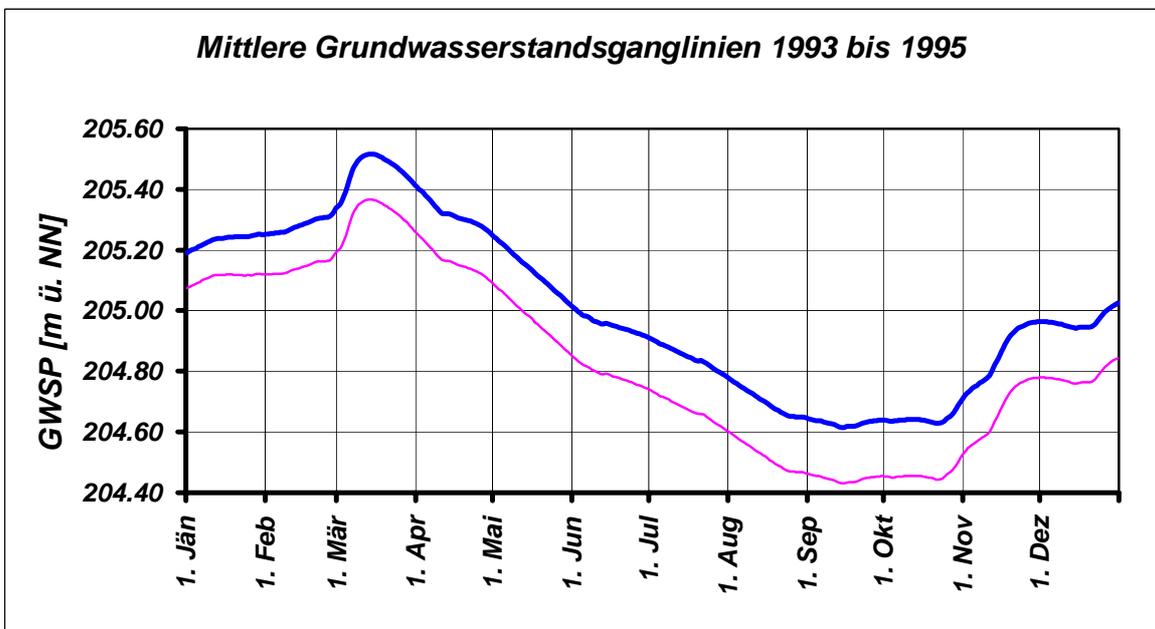
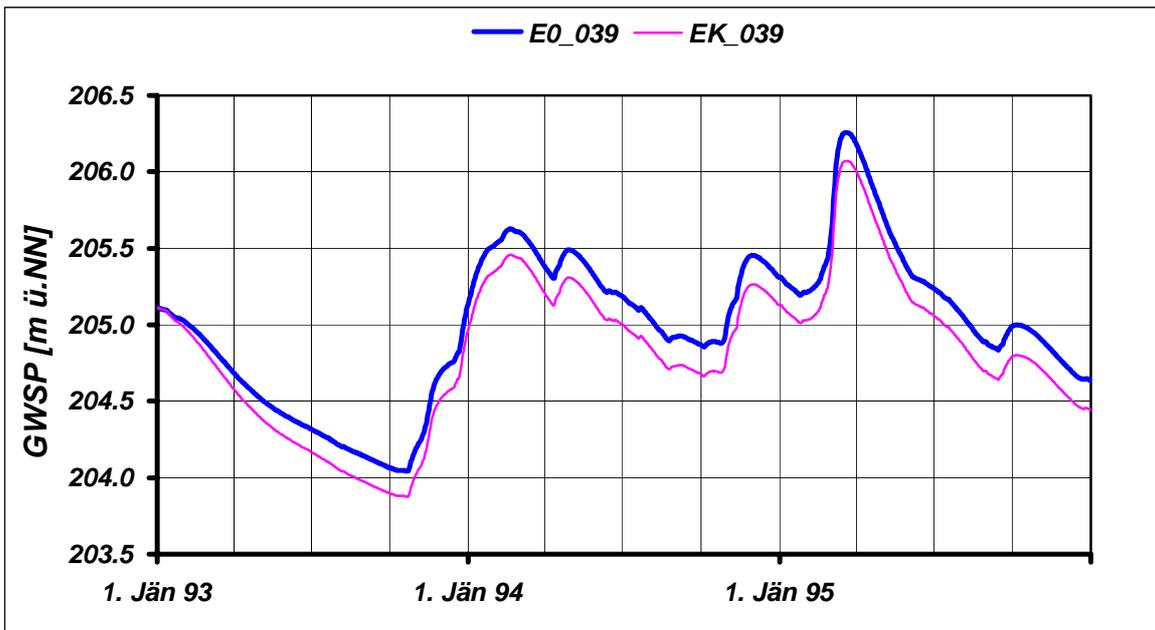
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_039	205.03	204.88	204.69	204.53	204.41	204.32	204.22	204.14	204.07	204.04	204.20	204.63	204.04
NGW [m NN] EK_039	204.98	204.81	204.58	204.40	204.27	204.17	204.06	203.97	203.90	203.87	204.03	204.44	203.87
NGW-Differenz [m]	-0.04	-0.08	-0.11	-0.12	-0.14	-0.15	-0.16	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.19	-0.17
HGW [m NN] E0_039	205.52	205.63	206.26	206.18	205.73	205.35	205.24	205.07	204.99	205.01	205.45	205.45	206.26
HGW [m NN] EK_039	205.35	205.46	206.07	206.00	205.56	205.18	205.06	204.89	204.79	204.82	205.26	205.26	206.07
HGW-Differenz [m]	-0.17	-0.17	-0.18	-0.18	-0.17	-0.17	-0.18	-0.19	-0.20	-0.19	-0.19	-0.19	-0.18
MGW [m NN] E0_039	205.23	205.28	205.47	205.32	205.13	204.96	204.85	204.70	204.63	204.65	204.86	204.97	205.00
MGW [m NN] EK_039	205.11	205.15	205.32	205.17	204.97	204.79	204.68	204.52	204.45	204.46	204.67	204.79	204.84
MGW-Differenz [m]	-0.12	-0.14	-0.15	-0.16	-0.16	-0.17	-0.17	-0.18	-0.18	-0.19	-0.19	-0.18	-0.17

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_039	205.39	205.30	205.25	205.22	205.03	204.96	204.94	204.86	204.76	204.66	204.64	204.63	204.62
GWSP [m NN] EK_039	205.25	205.15	205.12	205.08	204.87	204.78	204.76	204.69	204.58	204.48	204.45	204.45	204.44
Differenz [m]	-0.15	-0.15	-0.13	-0.13	-0.16	-0.18	-0.18	-0.17	-0.18	-0.18	-0.18	-0.18	-0.18

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_040

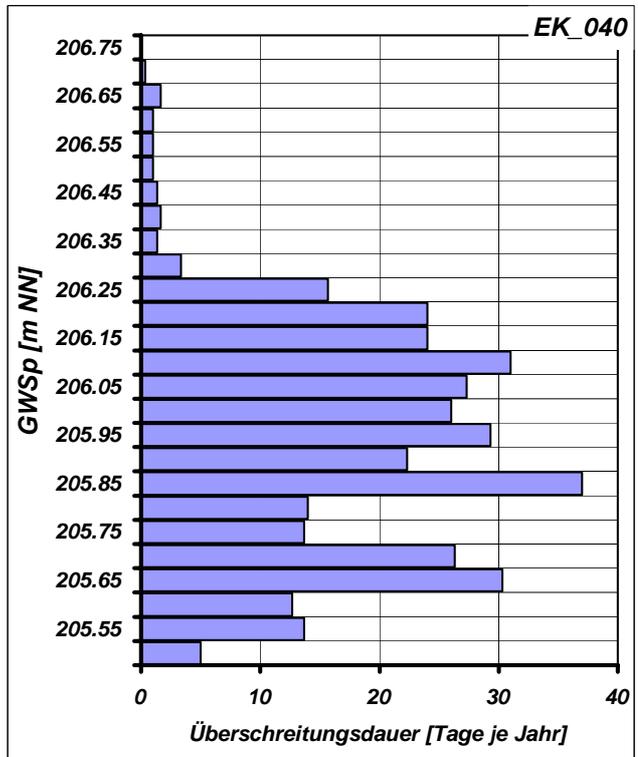
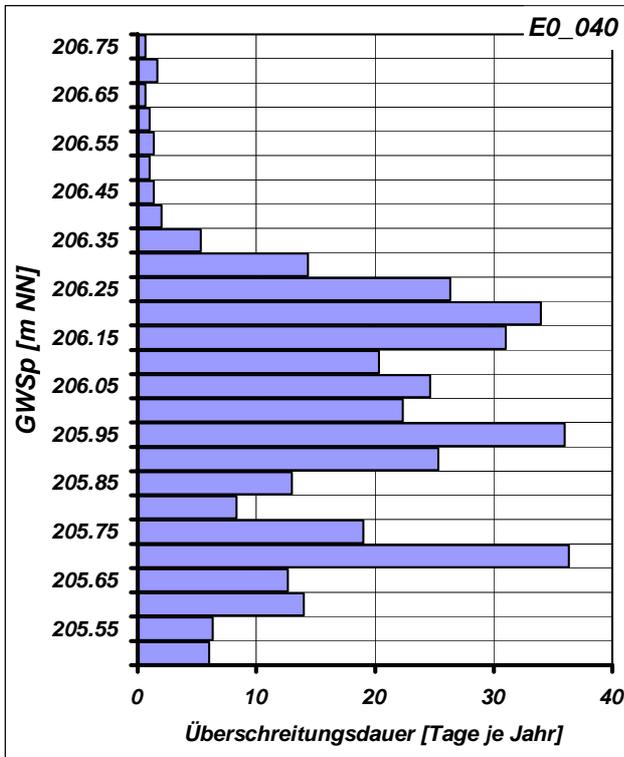
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

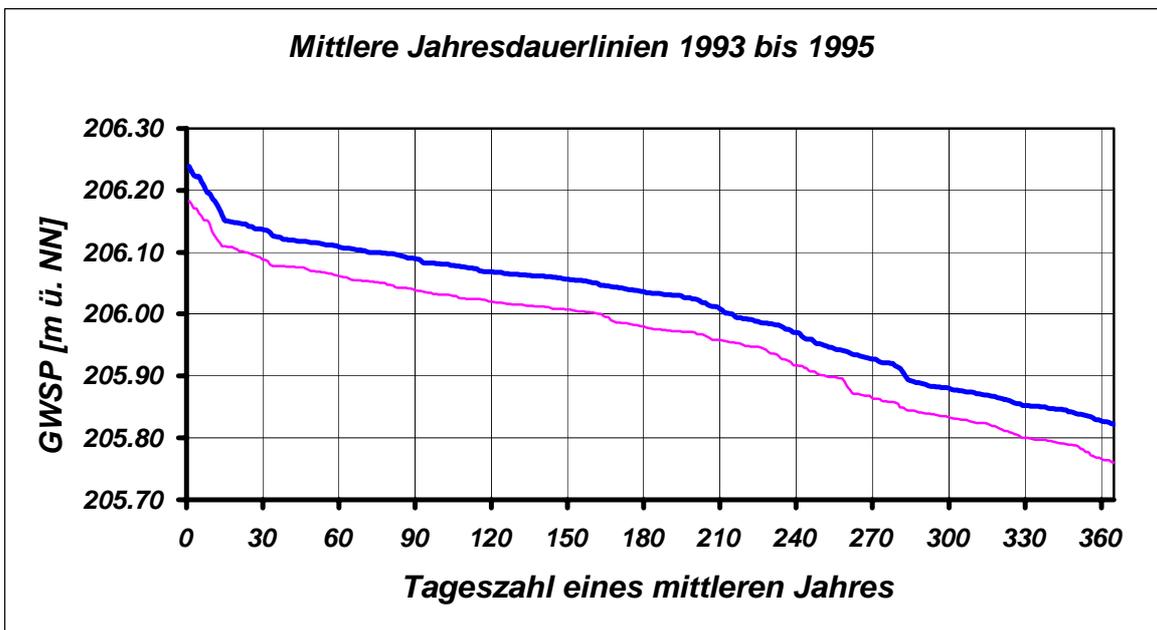
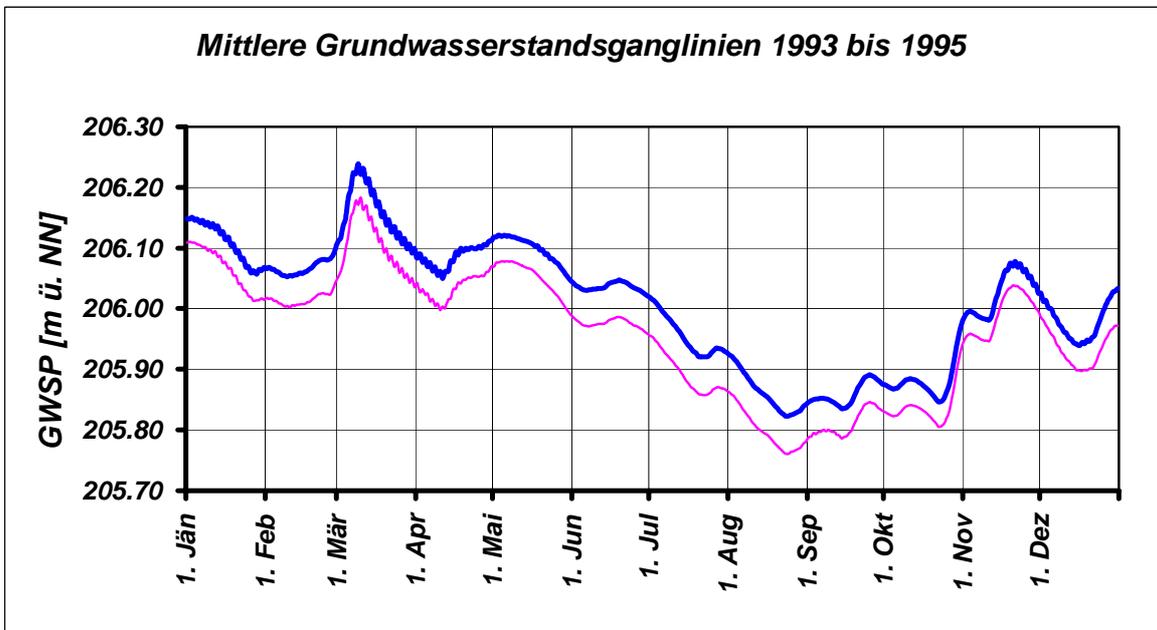
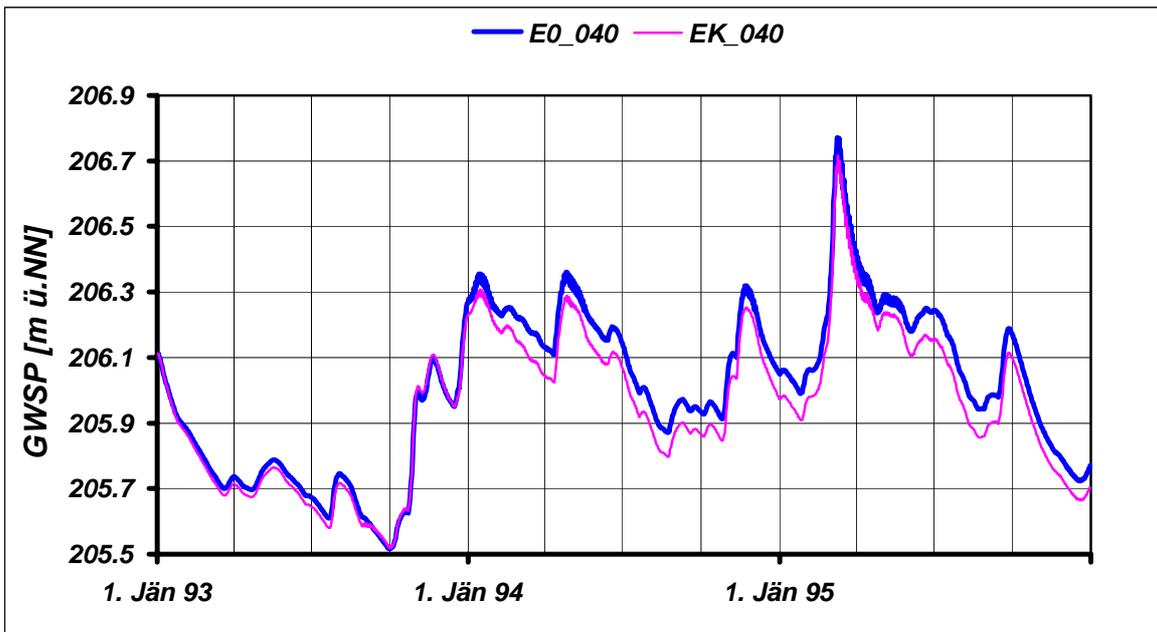
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_040	205.89	205.78	205.70	205.70	205.74	205.67	205.61	205.61	205.52	205.52	205.78	205.72	205.52
NGW [m NN] EK_040	205.88	205.76	205.68	205.67	205.72	205.65	205.58	205.59	205.52	205.52	205.72	205.66	205.52
NGW-Differenz [m]	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	0.00	0.00	-0.06	-0.06	0.00
HGW [m NN] E0_040	206.36	206.29	206.77	206.41	206.34	206.25	206.24	206.05	206.19	206.17	206.32	206.27	206.77
HGW [m NN] EK_040	206.31	206.22	206.72	206.37	206.27	206.17	206.16	205.97	206.12	206.09	206.25	206.23	206.72
HGW-Differenz [m]	-0.05	-0.07	-0.05	-0.04	-0.07	-0.08	-0.09	-0.08	-0.07	-0.07	-0.07	-0.04	-0.05
MGW [m NN] E0_040	206.11	206.06	206.16	206.08	206.10	206.03	205.95	205.86	205.86	205.88	206.02	205.98	206.01
MGW [m NN] EK_040	206.06	206.01	206.10	206.03	206.05	205.97	205.89	205.80	205.81	205.84	205.99	205.93	205.96
MGW-Differenz [m]	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.05	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_040	206.13	206.11	206.09	206.07	206.05	206.03	206.01	205.97	205.92	205.88	205.85	205.84	205.83
GWSP [m NN] EK_040	206.09	206.06	206.04	206.02	206.01	205.98	205.96	205.91	205.86	205.83	205.80	205.79	205.76
Differenz [m]	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_041

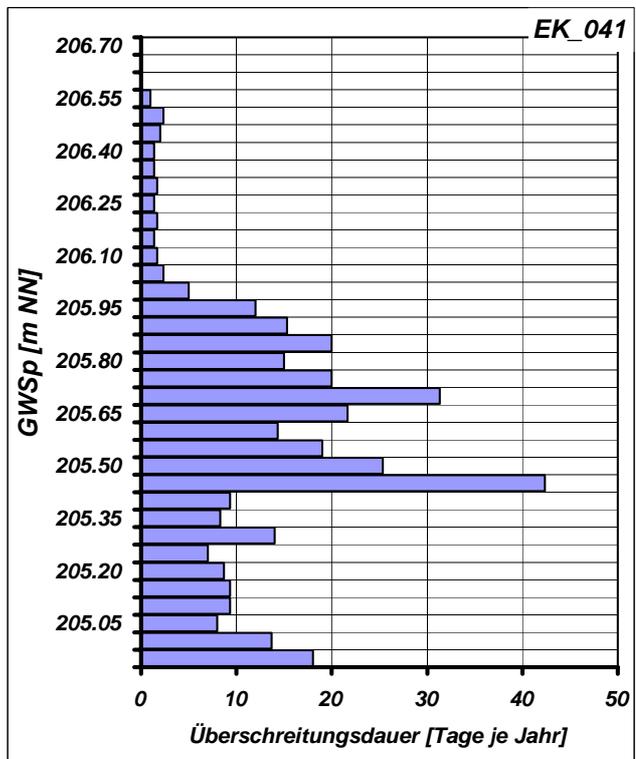
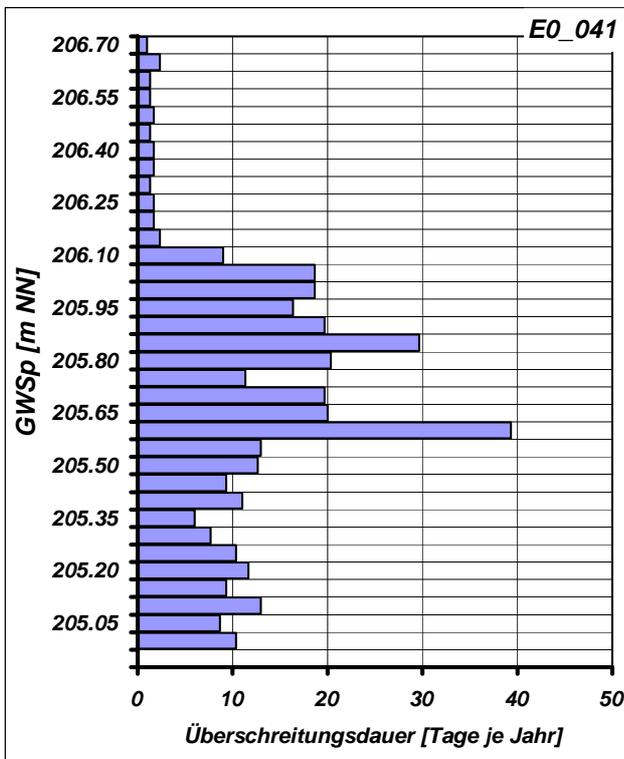
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

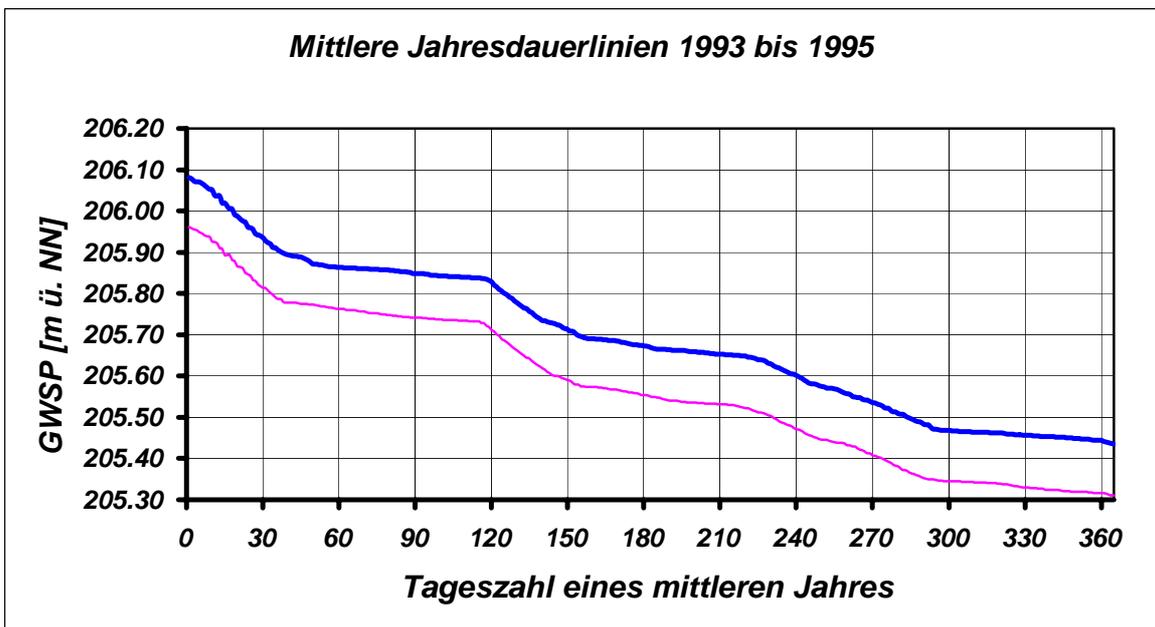
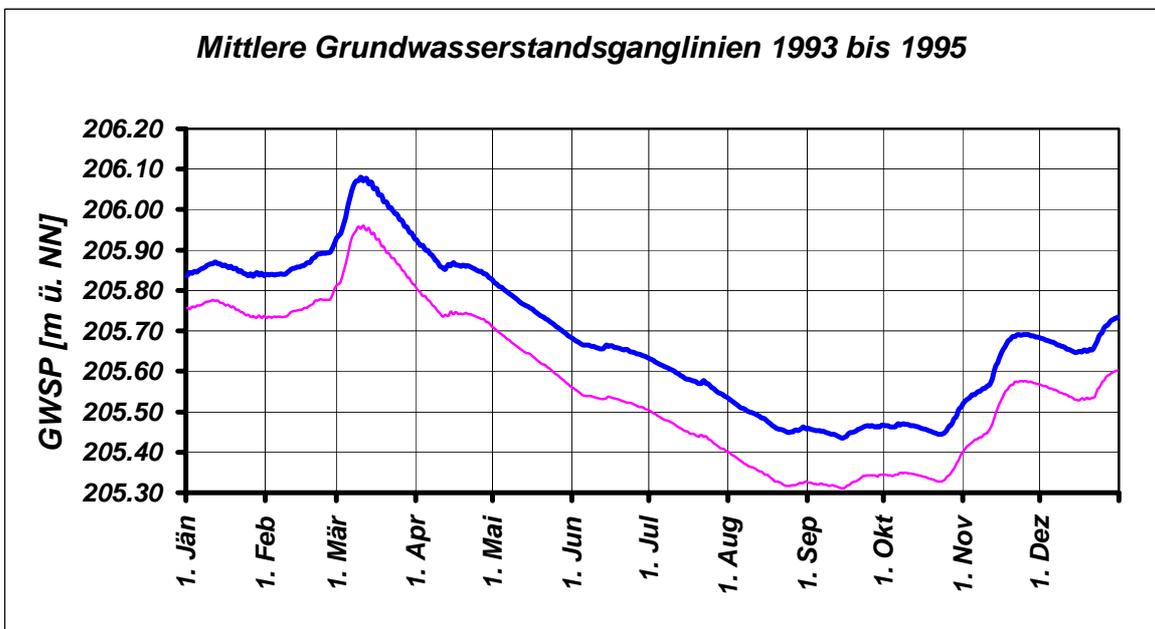
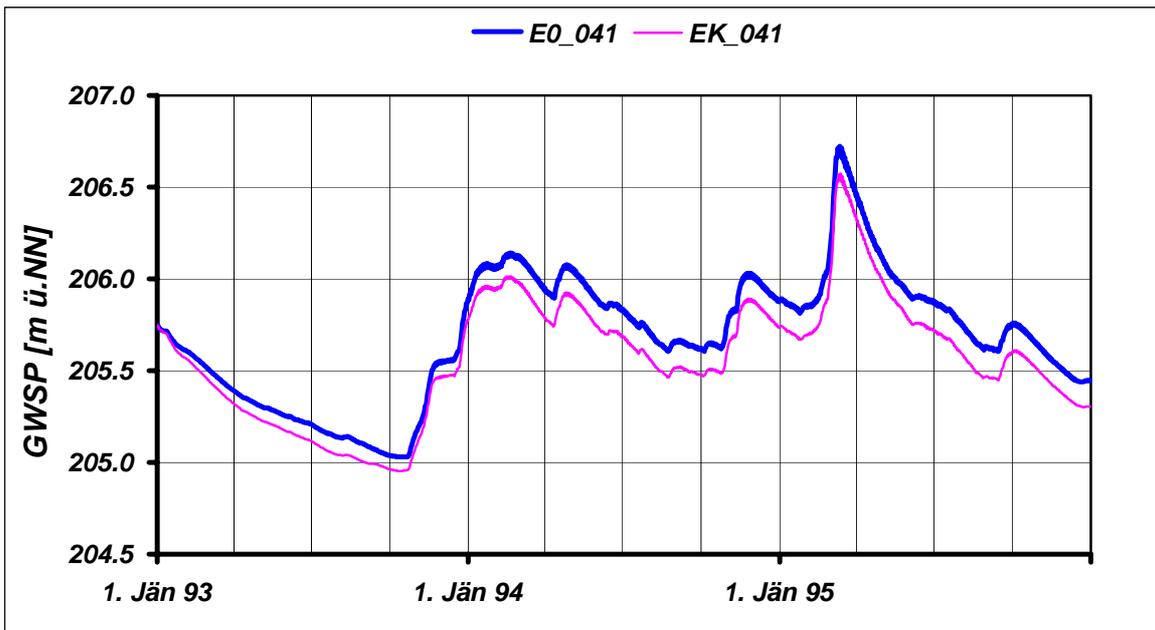
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_041	205.62	205.51	205.39	205.31	205.25	205.21	205.14	205.10	205.04	205.03	205.17	205.44	205.03
NGW [m NN] EK_041	205.57	205.46	205.32	205.23	205.17	205.12	205.04	205.00	204.96	204.95	205.10	205.30	204.95
NGW-Differenz [m]	-0.04	-0.06	-0.07	-0.08	-0.08	-0.09	-0.10	-0.10	-0.07	-0.08	-0.07	-0.14	-0.08
HGW [m NN] E0_041	206.08	206.14	206.72	206.46	206.12	205.92	205.87	205.76	205.76	205.76	206.03	206.02	206.72
HGW [m NN] EK_041	205.96	206.01	206.57	206.32	205.99	205.78	205.72	205.60	205.60	205.61	205.89	205.89	206.57
HGW-Differenz [m]	-0.12	-0.13	-0.15	-0.14	-0.13	-0.13	-0.15	-0.17	-0.16	-0.15	-0.14	-0.13	-0.15
MGW [m NN] E0_041	205.85	205.87	206.01	205.87	205.76	205.66	205.59	205.48	205.46	205.47	205.63	205.68	205.69
MGW [m NN] EK_041	205.76	205.76	205.89	205.75	205.64	205.53	205.46	205.35	205.33	205.35	205.51	205.56	205.57
MGW-Differenz [m]	-0.10	-0.11	-0.12	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_041	205.94	205.87	205.85	205.83	205.72	205.68	205.66	205.60	205.54	205.47	205.46	205.45	205.45
GWSP [m NN] EK_041	205.82	205.77	205.75	205.71	205.59	205.56	205.53	205.47	205.41	205.35	205.33	205.32	205.32
Differenz [m]	-0.12	-0.10	-0.11	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_042

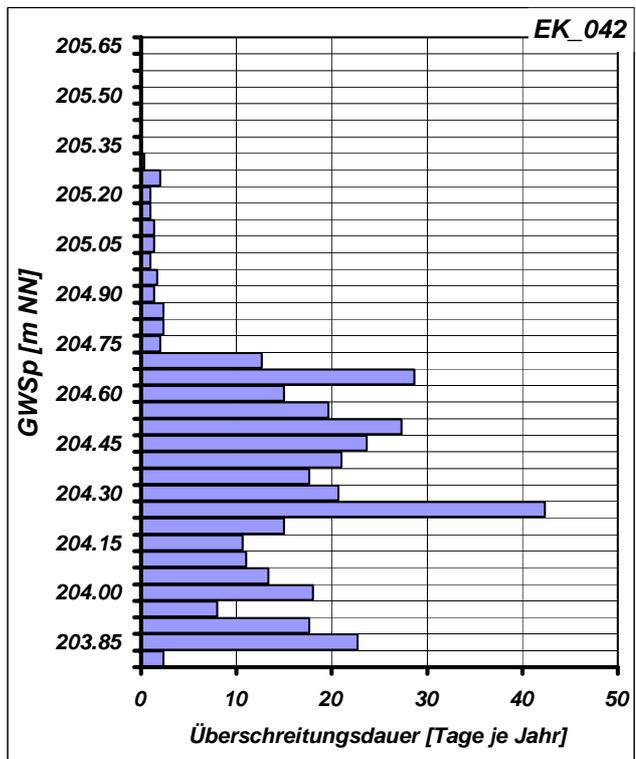
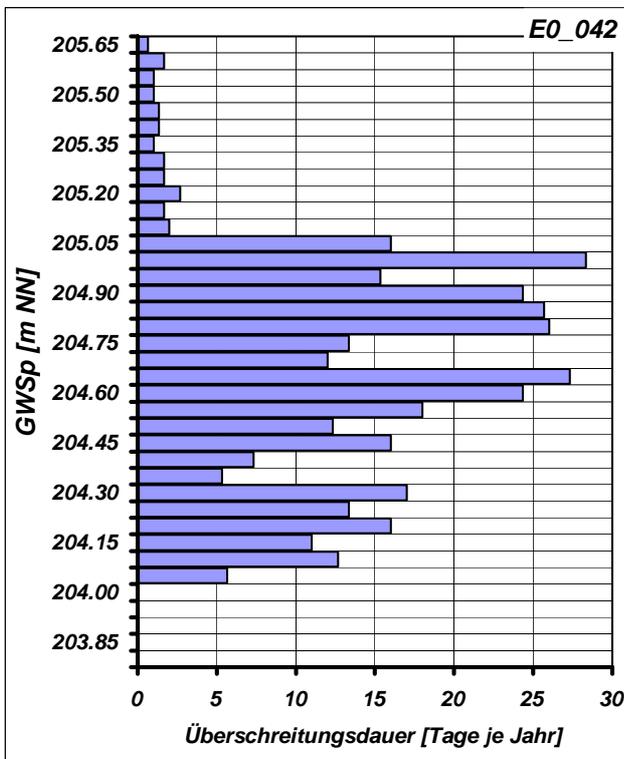
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

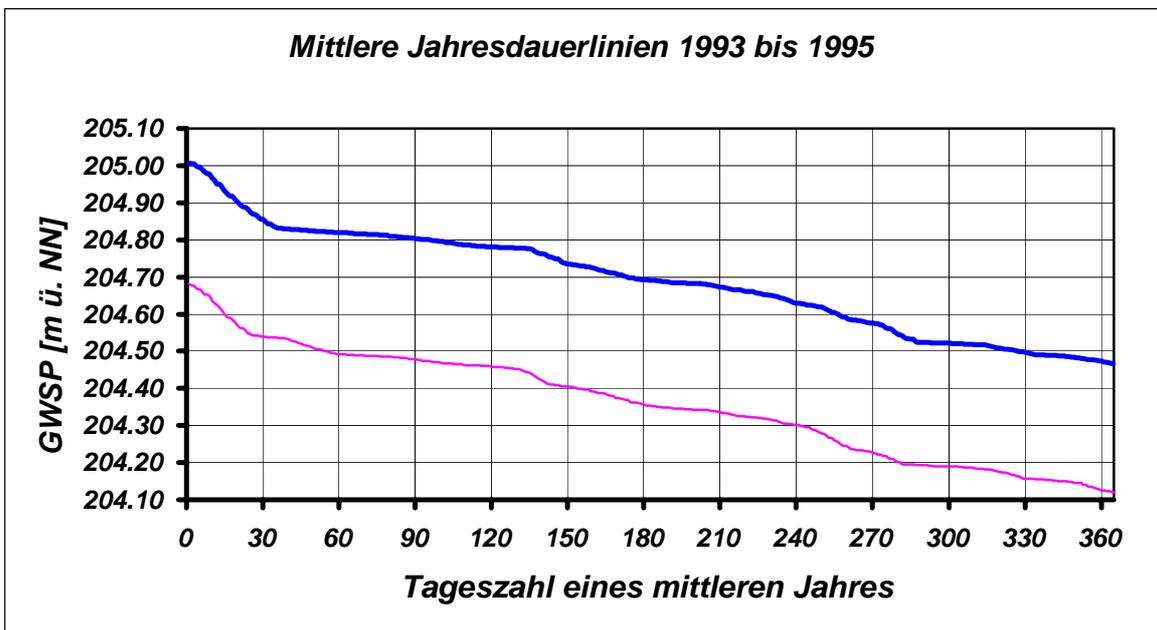
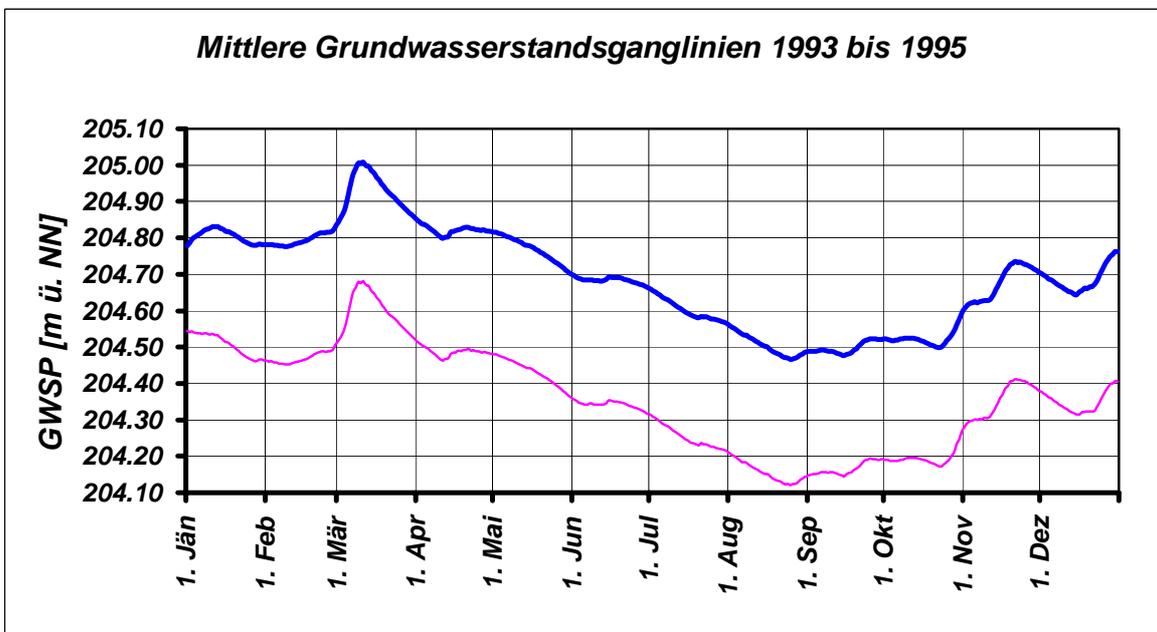
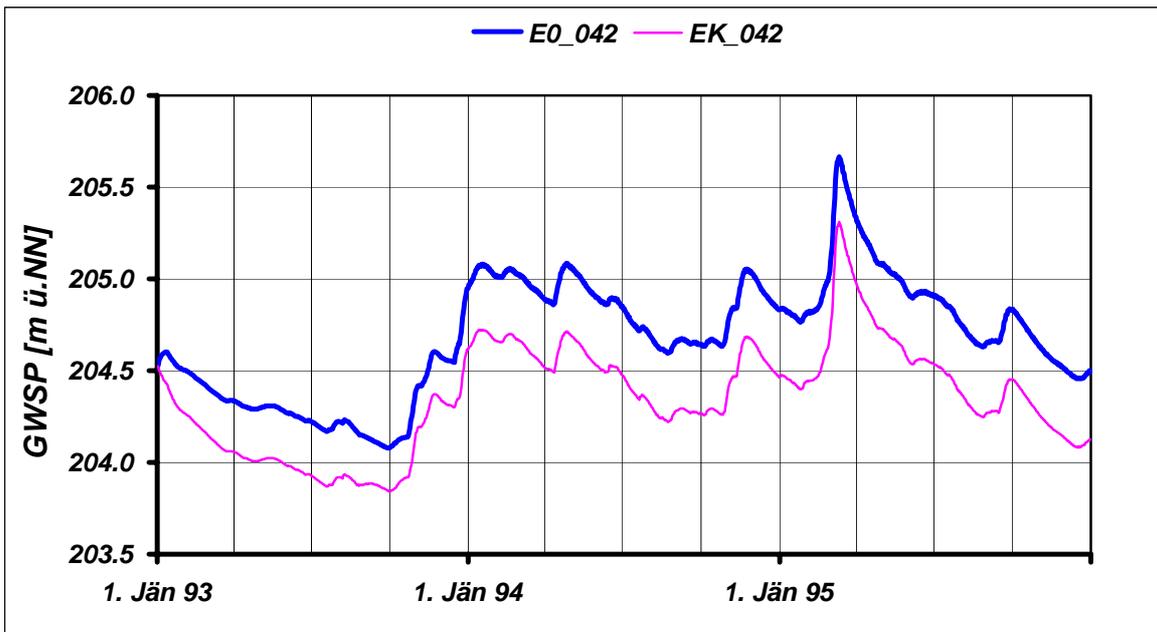
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_042	204.51	204.41	204.34	204.29	204.27	204.22	204.17	204.14	204.08	204.08	204.40	204.45	204.08
NGW [m NN] EK_042	204.27	204.15	204.06	204.01	203.99	203.93	203.87	203.87	203.84	203.84	204.14	204.08	203.84
NGW-Differenz [m]	-0.23	-0.26	-0.28	-0.28	-0.29	-0.30	-0.30	-0.27	-0.23	-0.24	-0.27	-0.37	-0.24
HGW [m NN] E0_042	205.08	205.06	205.67	205.32	205.08	204.93	204.91	204.75	204.84	204.83	205.05	205.02	205.67
HGW [m NN] EK_042	204.72	204.70	205.31	204.97	204.73	204.56	204.54	204.38	204.45	204.45	204.68	204.66	205.31
HGW-Differenz [m]	-0.36	-0.36	-0.36	-0.35	-0.36	-0.37	-0.38	-0.37	-0.38	-0.38	-0.37	-0.37	-0.36
MGW [m NN] E0_042	204.80	204.79	204.93	204.82	204.76	204.68	204.60	204.50	204.49	204.52	204.67	204.68	204.69
MGW [m NN] EK_042	204.50	204.47	204.60	204.48	204.43	204.34	204.25	204.15	204.16	204.19	204.35	204.35	204.36
MGW-Differenz [m]	-0.30	-0.32	-0.33	-0.33	-0.34	-0.34	-0.35	-0.35	-0.33	-0.33	-0.32	-0.34	-0.33

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_042	204.85	204.82	204.80	204.78	204.73	204.69	204.67	204.63	204.57	204.52	204.49	204.48	204.47
GWSP [m NN] EK_042	204.54	204.49	204.48	204.46	204.40	204.35	204.33	204.30	204.22	204.19	204.15	204.15	204.12
Differenz [m]	-0.32	-0.33	-0.32	-0.32	-0.33	-0.34	-0.34	-0.33	-0.35	-0.33	-0.34	-0.34	-0.35

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_043

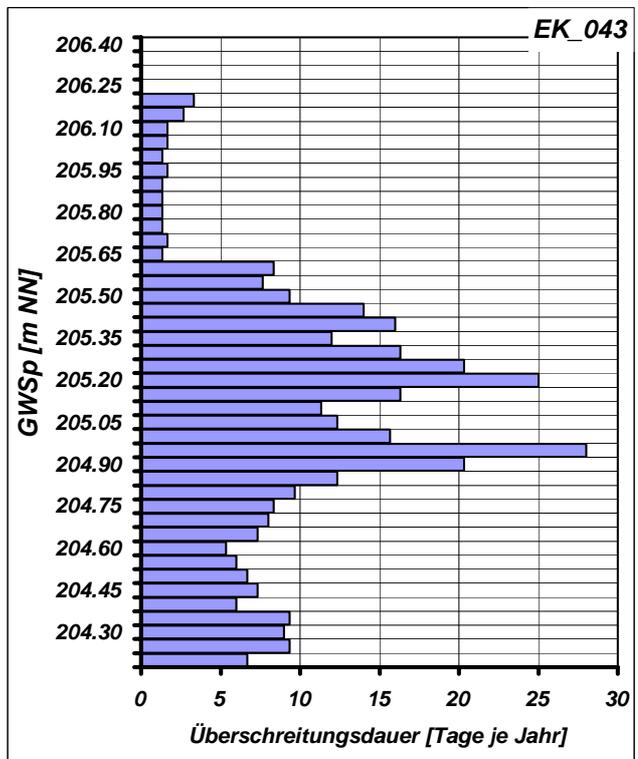
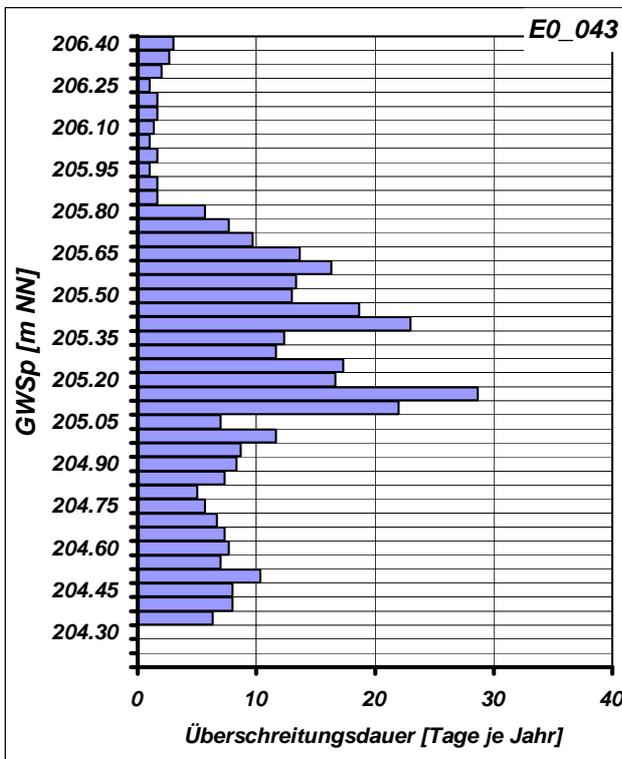
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

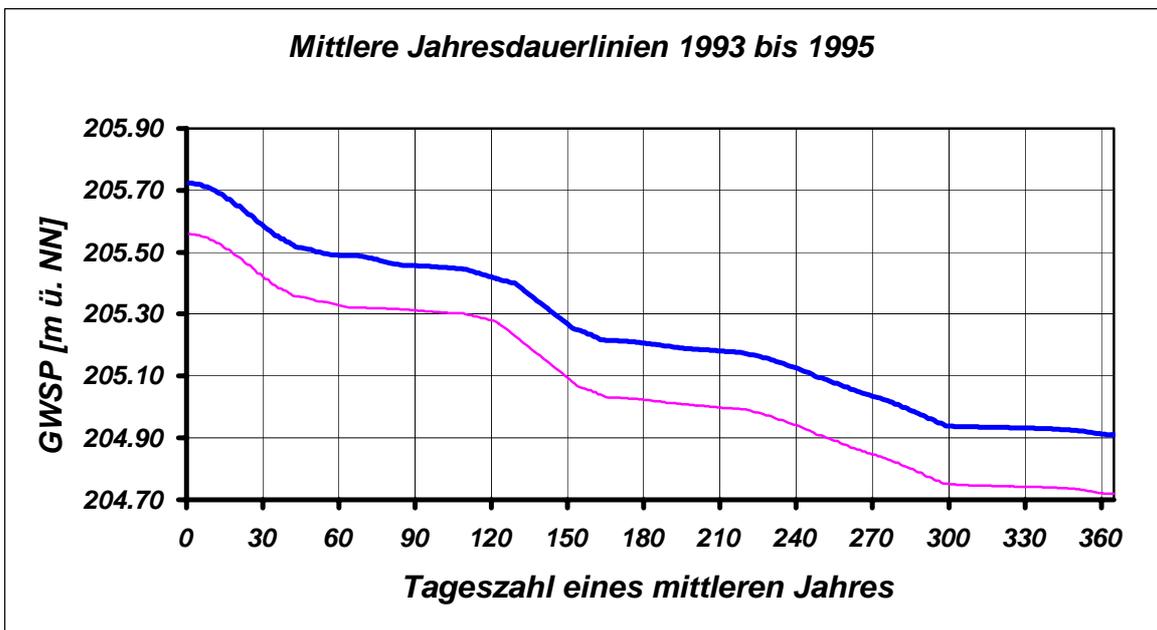
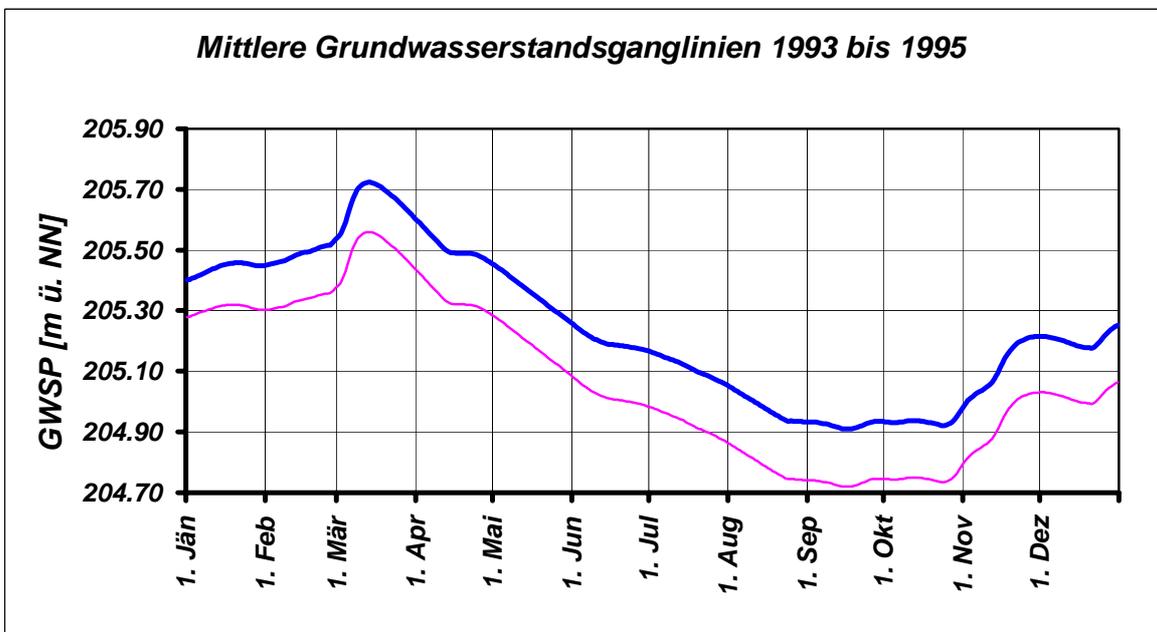
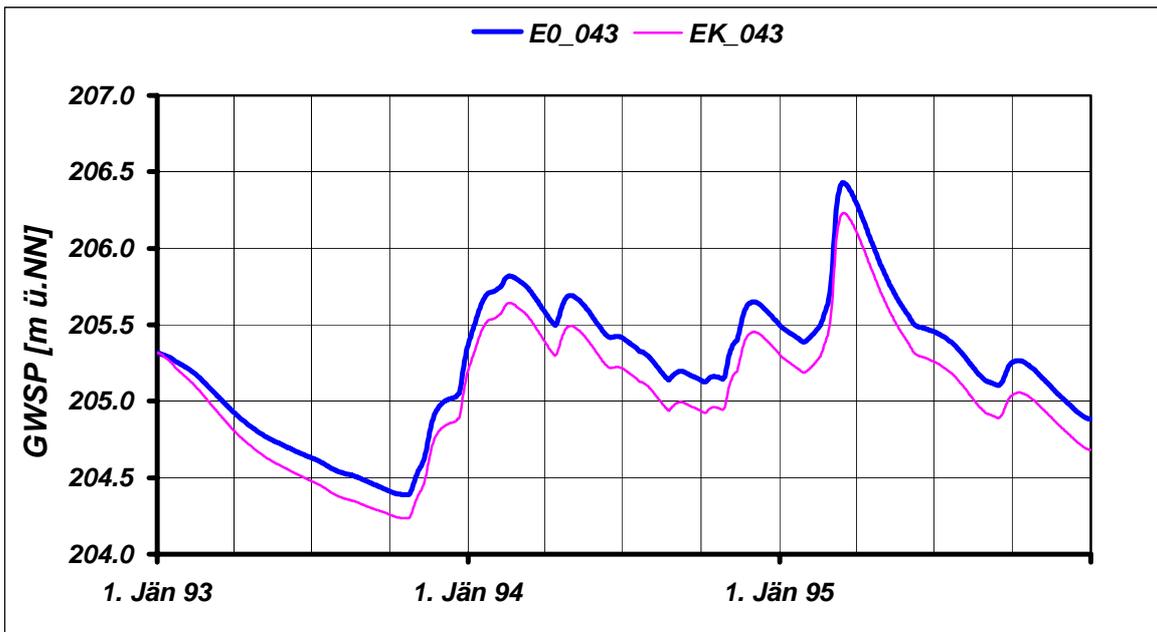
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_043	205.23	205.10	204.93	204.80	204.70	204.63	204.54	204.48	204.41	204.39	204.52	204.88	204.39
NGW [m NN] EK_043	205.17	205.01	204.81	204.66	204.56	204.48	204.38	204.32	204.26	204.24	204.36	204.68	204.24
NGW-Differenz [m]	-0.06	-0.09	-0.12	-0.13	-0.14	-0.15	-0.16	-0.16	-0.15	-0.15	-0.16	-0.20	-0.15
HGW [m NN] E0_043	205.72	205.82	206.43	206.29	205.87	205.56	205.45	205.32	205.25	205.27	205.65	205.65	206.43
HGW [m NN] EK_043	205.54	205.64	206.23	206.10	205.69	205.37	205.26	205.12	205.04	205.06	205.45	205.45	206.23
HGW-Differenz [m]	-0.18	-0.18	-0.20	-0.19	-0.18	-0.18	-0.20	-0.21	-0.21	-0.21	-0.20	-0.20	-0.20
MGW [m NN] E0_043	205.44	205.49	205.66	205.51	205.36	205.20	205.11	204.98	204.92	204.93	205.11	205.20	205.24
MGW [m NN] EK_043	205.31	205.33	205.50	205.34	205.19	205.02	204.93	204.79	204.73	204.75	204.93	205.02	205.07
MGW-Differenz [m]	-0.13	-0.15	-0.16	-0.17	-0.17	-0.18	-0.19	-0.19	-0.19	-0.19	-0.19	-0.18	-0.17

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_043	205.59	205.49	205.46	205.42	205.27	205.21	205.18	205.13	205.03	204.94	204.93	204.92	204.91
GWSP [m NN] EK_043	205.42	205.33	205.31	205.28	205.09	205.02	205.00	204.94	204.85	204.75	204.74	204.74	204.72
Differenz [m]	-0.17	-0.16	-0.14	-0.14	-0.17	-0.18	-0.18	-0.18	-0.19	-0.19	-0.19	-0.19	-0.19

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_044

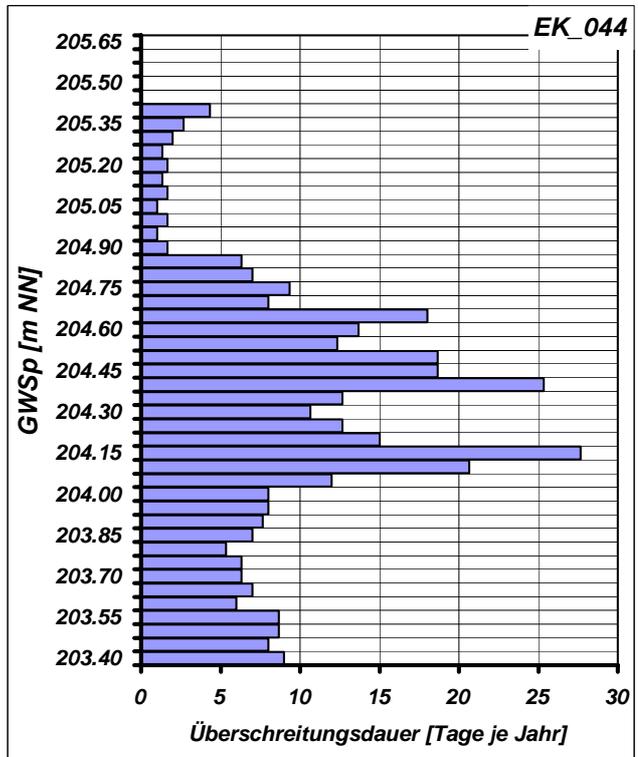
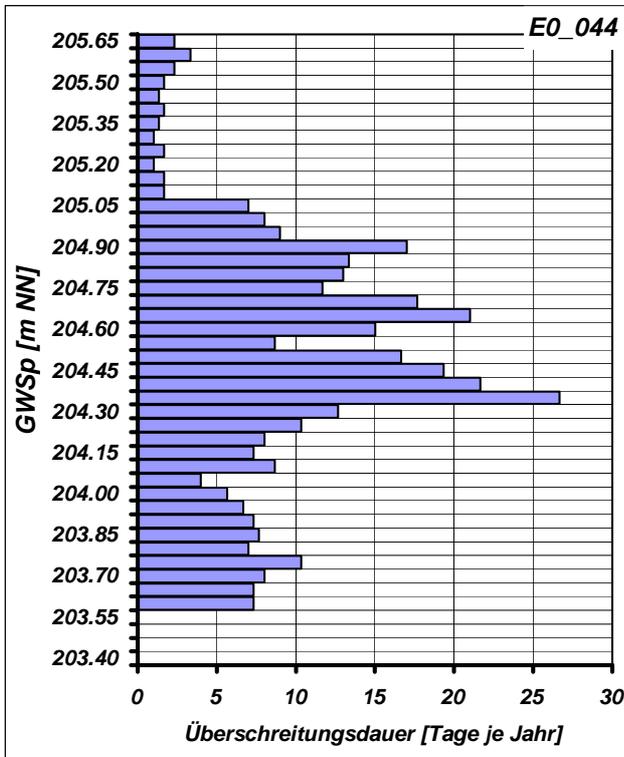
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

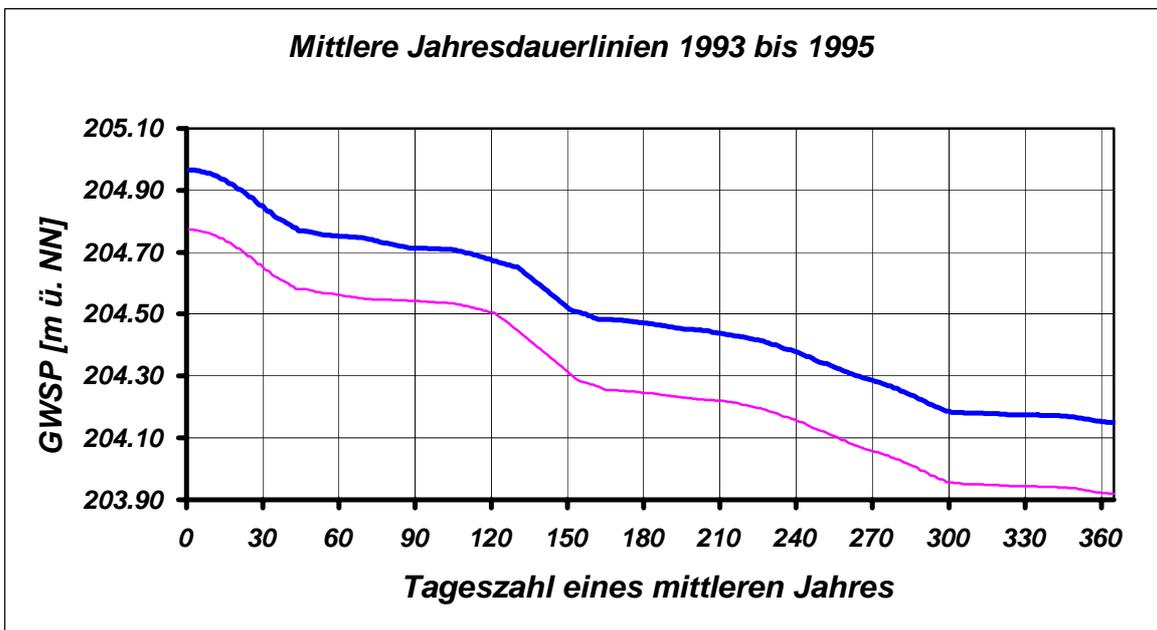
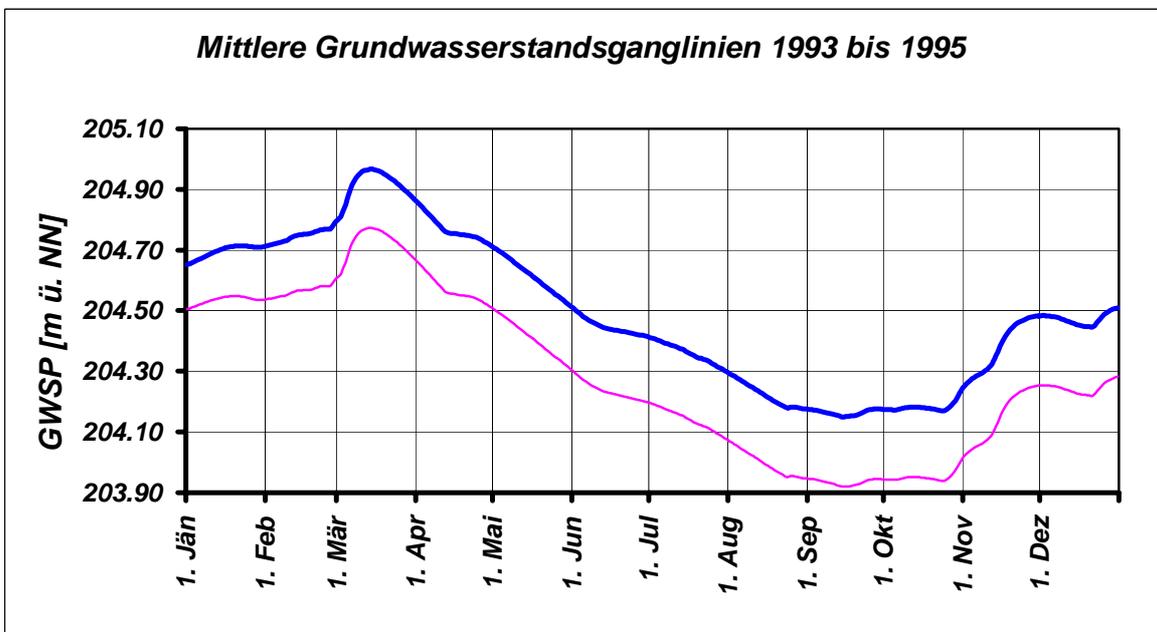
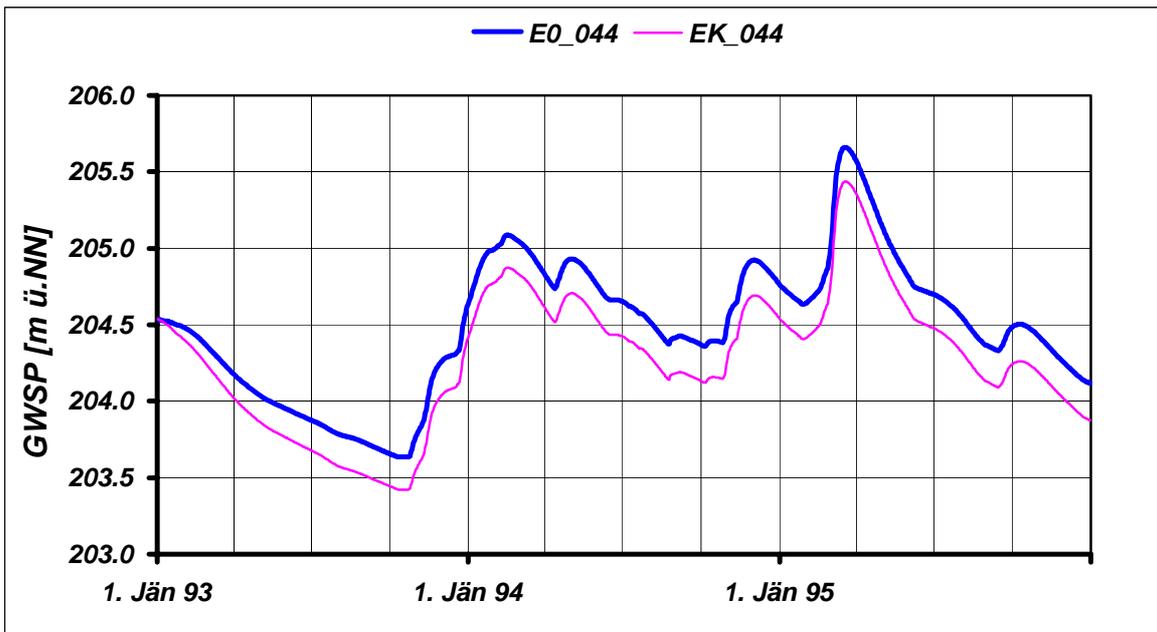
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_044	204.49	204.36	204.18	204.04	203.95	203.88	203.79	203.73	203.66	203.64	203.78	204.12	203.64
NGW [m NN] EK_044	204.41	204.24	204.02	203.87	203.76	203.68	203.58	203.52	203.45	203.42	203.56	203.88	203.42
NGW-Differenz [m]	-0.08	-0.12	-0.15	-0.17	-0.19	-0.20	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.22	-0.24	-0.21
HGW [m NN] E0_044	204.99	205.09	205.66	205.57	205.14	204.81	204.70	204.56	204.48	204.51	204.92	204.92	205.66
HGW [m NN] EK_044	204.78	204.87	205.44	205.35	204.93	204.60	204.48	204.33	204.24	204.27	204.69	204.69	205.44
HGW-Differenz [m]	-0.22	-0.21	-0.23	-0.22	-0.21	-0.21	-0.22	-0.23	-0.24	-0.24	-0.23	-0.23	-0.23
MGW [m NN] E0_044	204.69	204.74	204.91	204.76	204.61	204.44	204.36	204.22	204.16	204.18	204.38	204.47	204.49
MGW [m NN] EK_044	204.53	204.56	204.72	204.57	204.40	204.23	204.14	203.99	203.93	203.95	204.14	204.24	204.28
MGW-Differenz [m]	-0.16	-0.18	-0.19	-0.20	-0.21	-0.21	-0.22	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.21

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_044	204.84	204.75	204.71	204.67	204.52	204.47	204.43	204.37	204.28	204.18	204.17	204.16	204.15
GWSP [m NN] EK_044	204.65	204.56	204.54	204.50	204.31	204.24	204.22	204.15	204.05	203.95	203.94	203.93	203.92
Differenz [m]	-0.20	-0.19	-0.17	-0.17	-0.21	-0.23	-0.22	-0.22	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





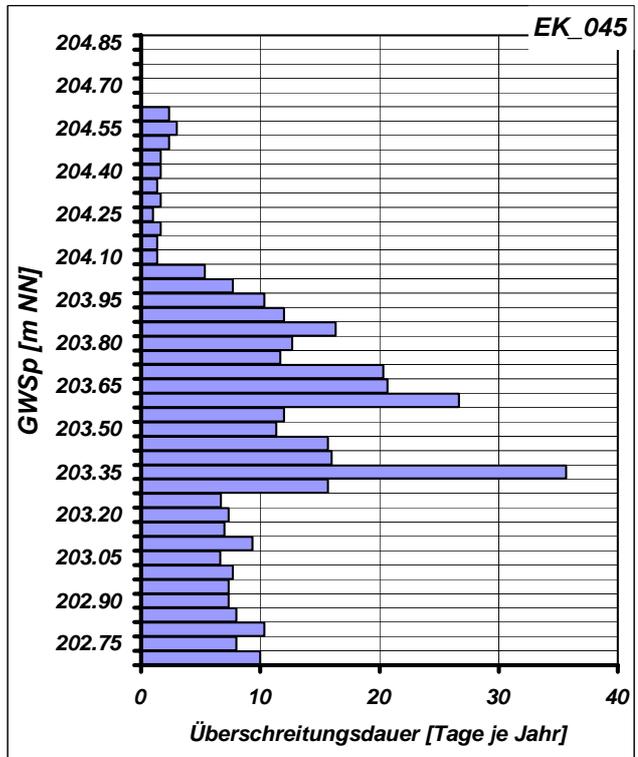
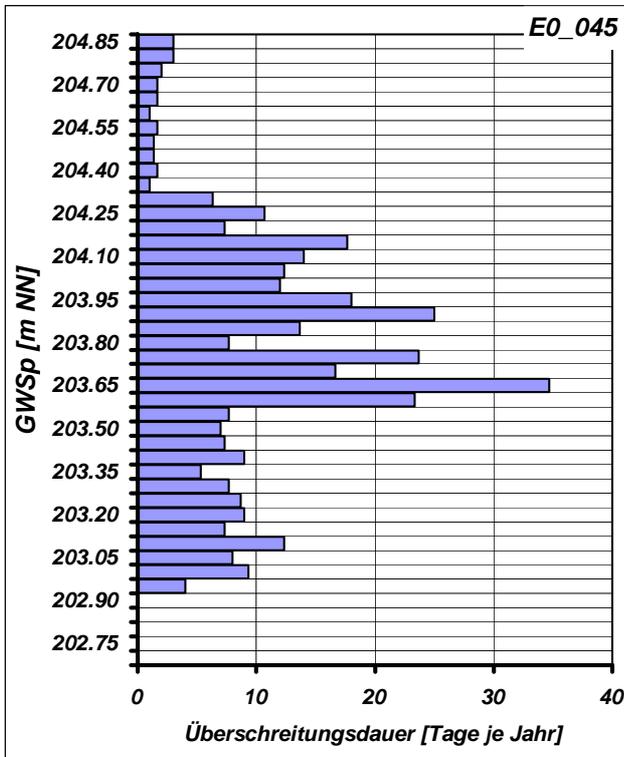
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

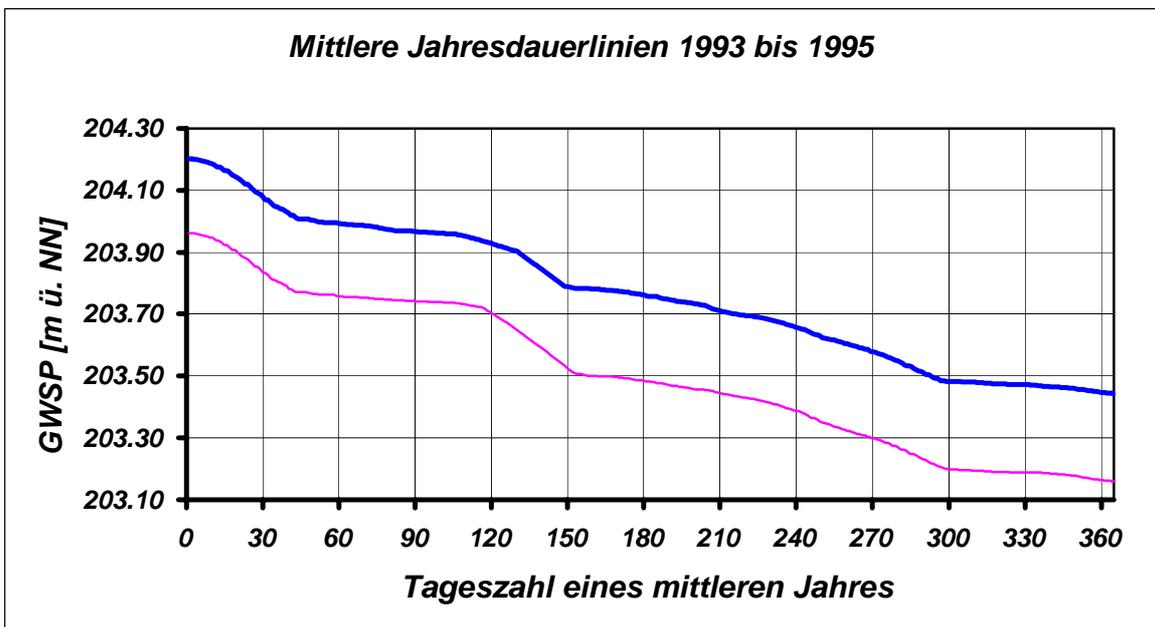
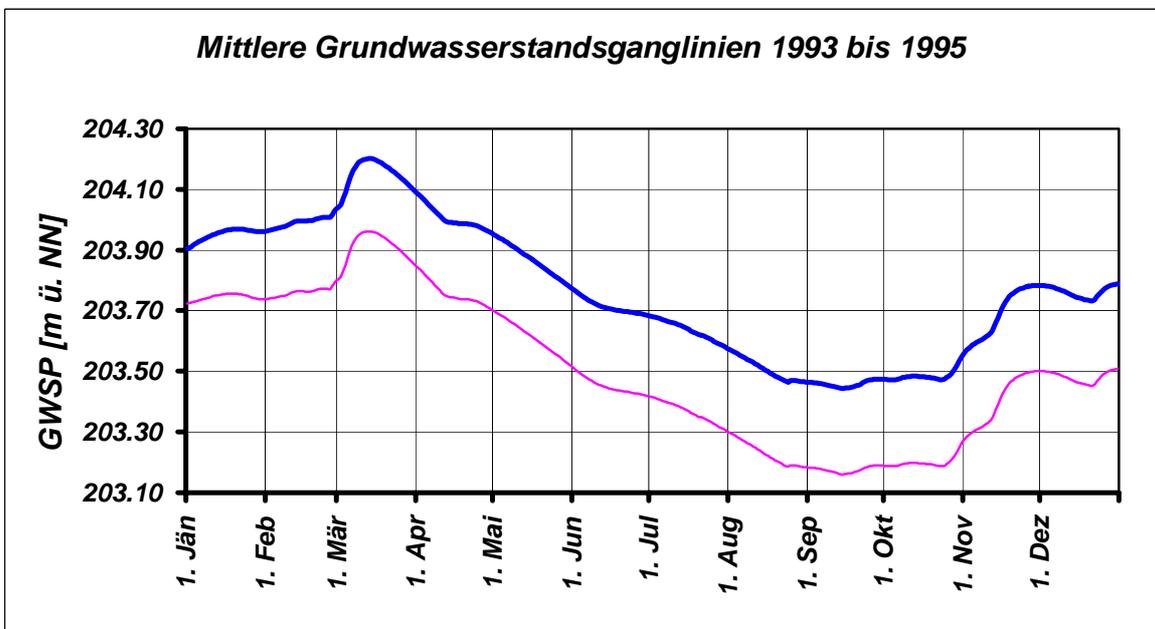
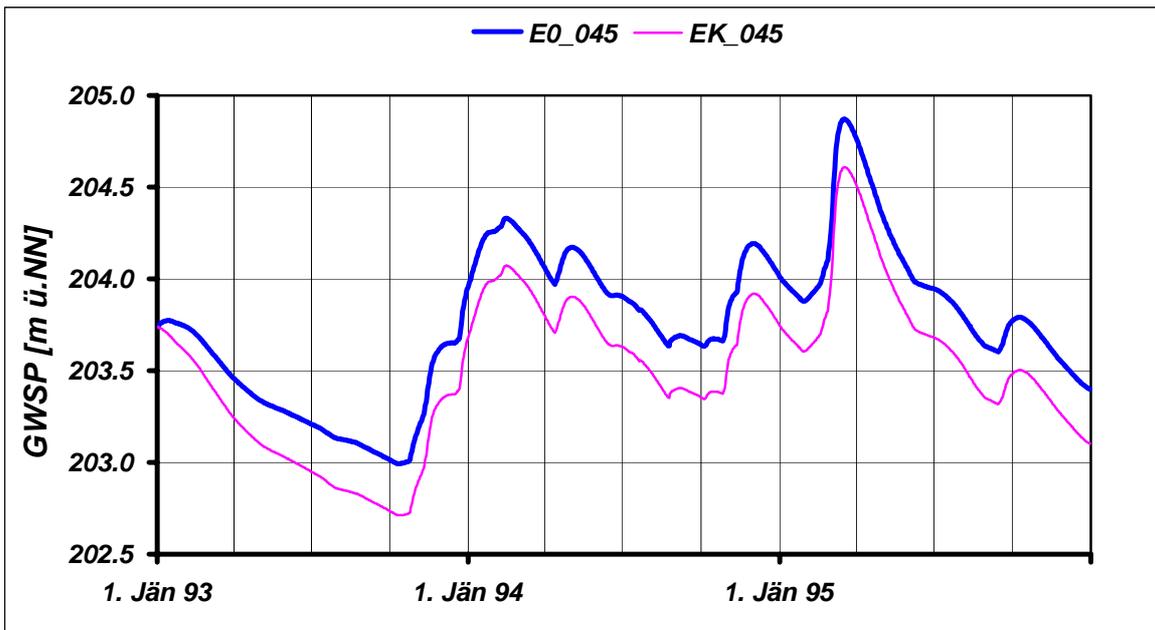
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_045	203.74	203.63	203.46	203.34	203.28	203.21	203.13	203.09	203.01	202.99	203.16	203.40	202.99
NGW [m NN] EK_045	203.61	203.45	203.24	203.11	203.03	202.95	202.86	202.81	202.74	202.71	202.87	203.10	202.71
NGW-Differenz [m]	-0.13	-0.18	-0.21	-0.24	-0.25	-0.26	-0.27	-0.28	-0.28	-0.28	-0.29	-0.30	-0.28
HGW [m NN] E0_045	204.26	204.33	204.87	204.76	204.35	204.04	203.94	203.81	203.77	203.80	204.19	204.19	204.87
HGW [m NN] EK_045	203.99	204.07	204.61	204.51	204.10	203.79	203.68	203.54	203.48	203.51	203.92	203.92	204.61
HGW-Differenz [m]	-0.27	-0.26	-0.26	-0.25	-0.25	-0.26	-0.27	-0.27	-0.29	-0.29	-0.27	-0.27	-0.26
MGW [m NN] E0_045	203.95	203.99	204.15	204.01	203.87	203.72	203.64	203.51	203.46	203.49	203.69	203.76	203.77
MGW [m NN] EK_045	203.75	203.76	203.91	203.76	203.61	203.45	203.37	203.23	203.18	203.20	203.40	203.48	203.51
MGW-Differenz [m]	-0.21	-0.23	-0.24	-0.25	-0.25	-0.26	-0.27	-0.28	-0.28	-0.29	-0.29	-0.28	-0.26

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_045	204.08	203.99	203.97	203.93	203.79	203.76	203.71	203.66	203.58	203.48	203.47	203.46	203.45
GWSP [m NN] EK_045	203.84	203.76	203.74	203.71	203.53	203.49	203.45	203.39	203.30	203.20	203.19	203.18	203.17
Differenz [m]	-0.24	-0.24	-0.23	-0.23	-0.26	-0.28	-0.27	-0.27	-0.28	-0.29	-0.28	-0.28	-0.28

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_046

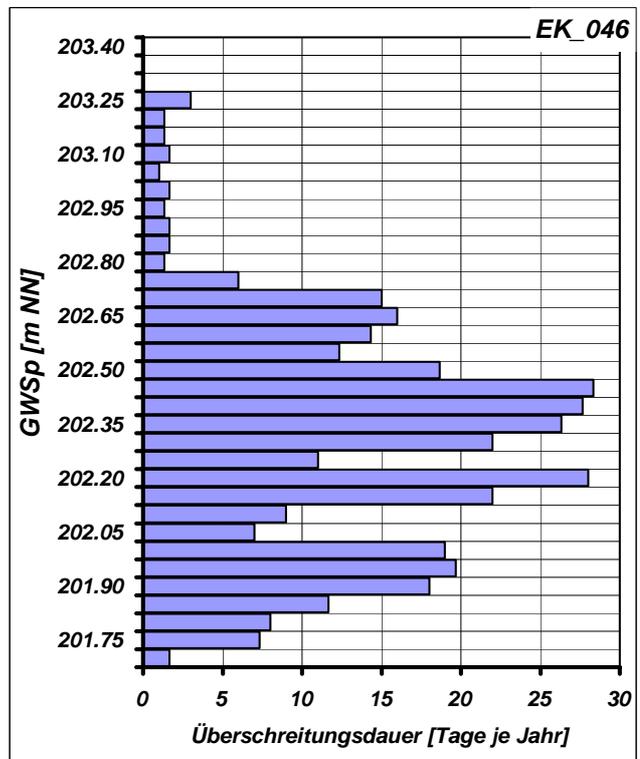
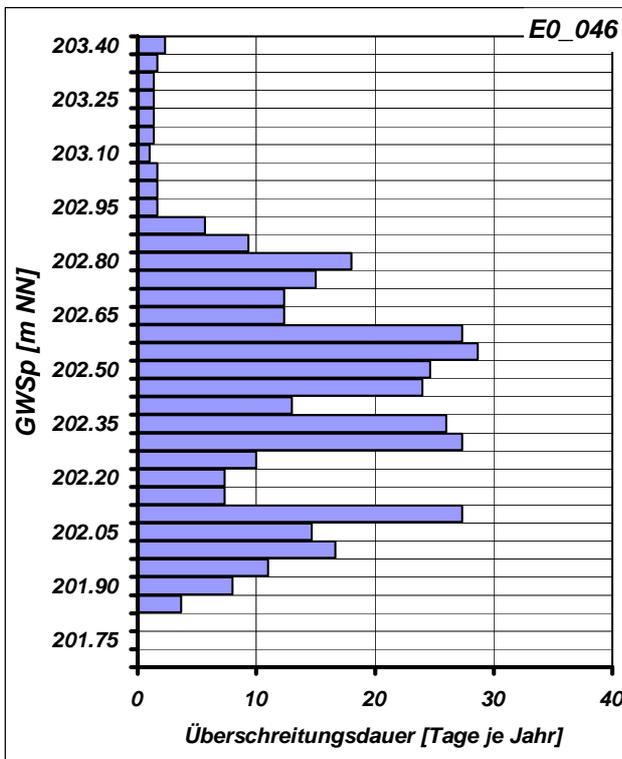
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

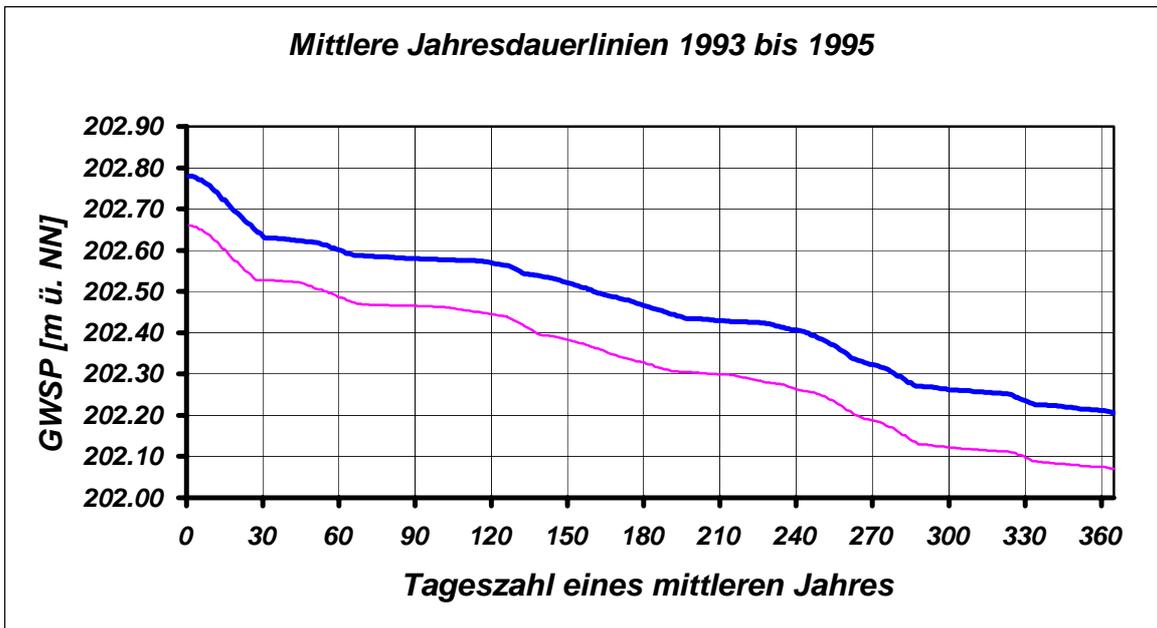
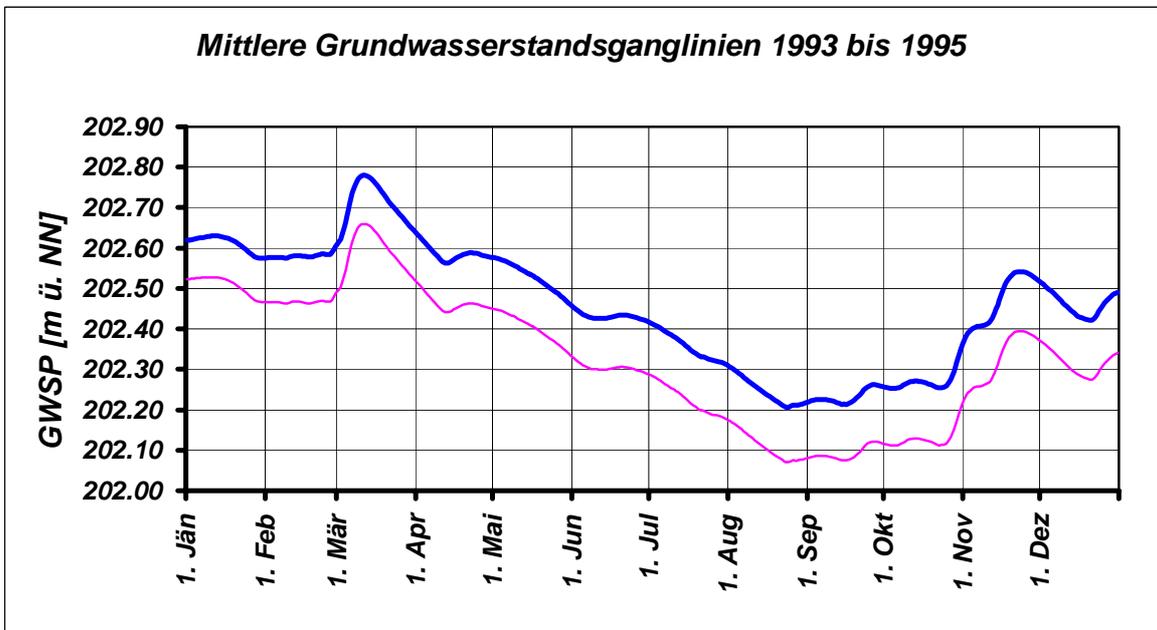
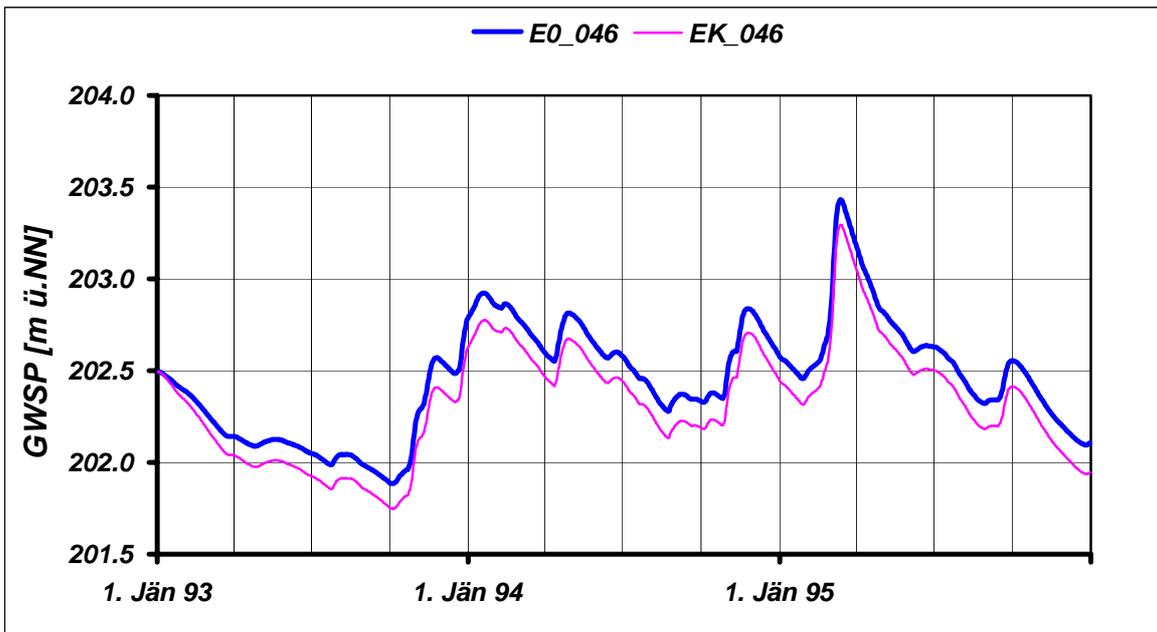
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_046	202.40	202.26	202.14	202.09	202.10	202.05	201.99	201.98	201.89	201.88	202.19	202.10	201.88
NGW [m NN] EK_046	202.32	202.18	202.04	201.98	201.98	201.93	201.86	201.86	201.75	201.75	202.04	201.94	201.75
NGW-Differenz [m]	-0.08	-0.08	-0.10	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	-0.15	-0.16	-0.14
HGW [m NN] E0_046	202.92	202.87	203.43	203.17	202.83	202.64	202.63	202.47	202.55	202.55	202.84	202.82	203.43
HGW [m NN] EK_046	202.78	202.73	203.30	203.05	202.70	202.51	202.50	202.34	202.41	202.41	202.71	202.69	203.30
HGW-Differenz [m]	-0.15	-0.13	-0.14	-0.13	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	-0.13	-0.13	-0.14
MGW [m NN] E0_046	202.61	202.58	202.71	202.59	202.53	202.43	202.36	202.25	202.23	202.27	202.47	202.46	202.46
MGW [m NN] EK_046	202.51	202.47	202.59	202.46	202.40	202.31	202.23	202.11	202.09	202.13	202.33	202.32	202.33
MGW-Differenz [m]	-0.10	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	-0.14	-0.15	-0.15	-0.13

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_046	202.64	202.60	202.58	202.57	202.52	202.47	202.43	202.41	202.32	202.26	202.24	202.22	202.21
GWSP [m NN] EK_046	202.53	202.49	202.47	202.45	202.38	202.33	202.30	202.27	202.19	202.12	202.10	202.08	202.08
Differenz [m]	-0.11	-0.12	-0.11	-0.13	-0.14	-0.14	-0.13	-0.14	-0.13	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_047

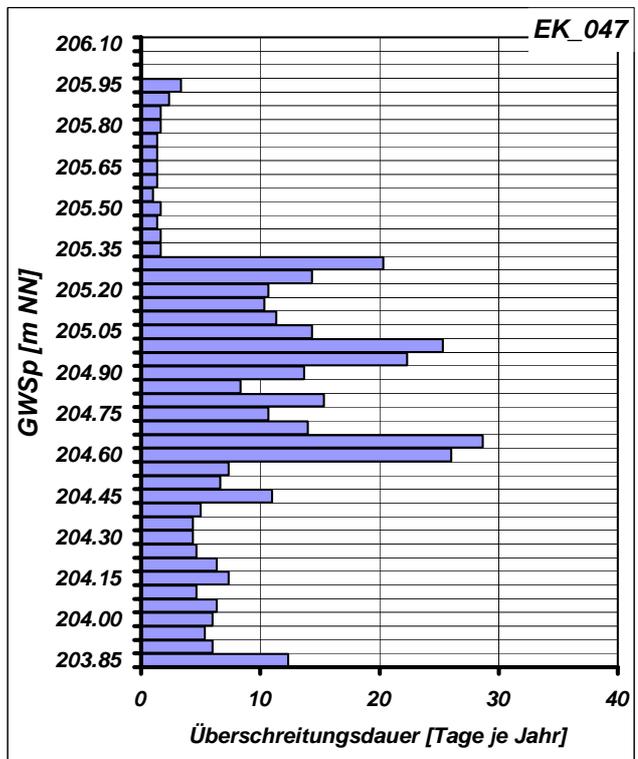
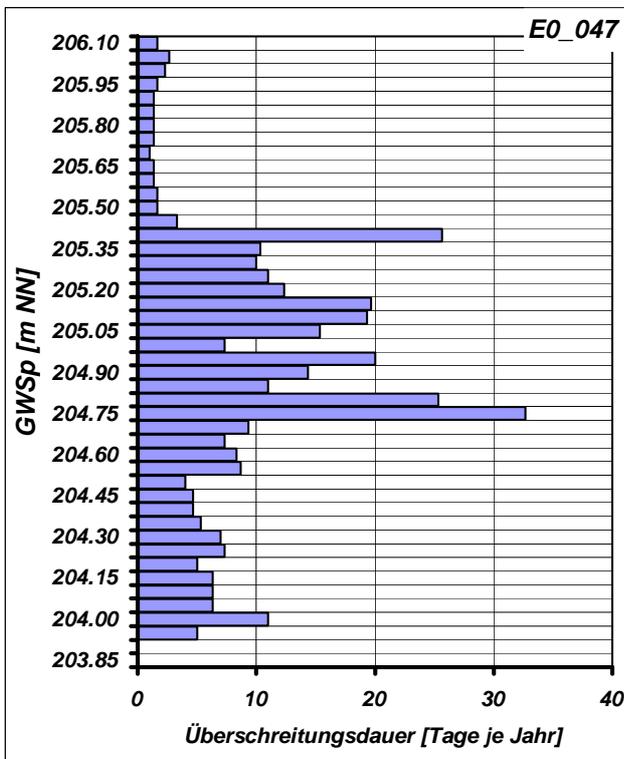
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

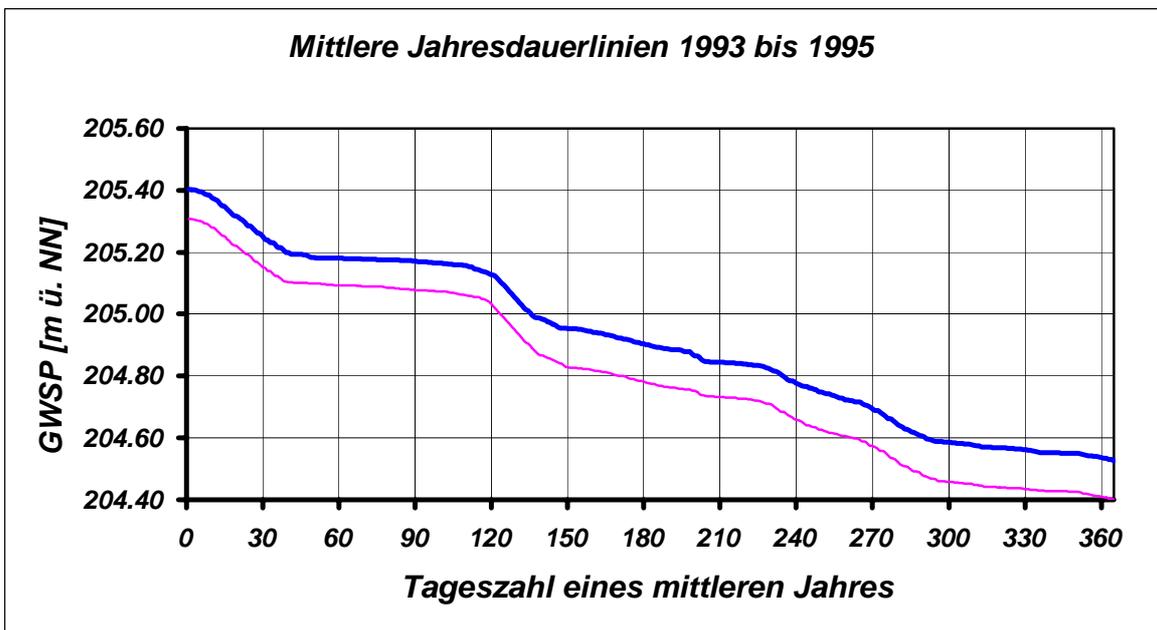
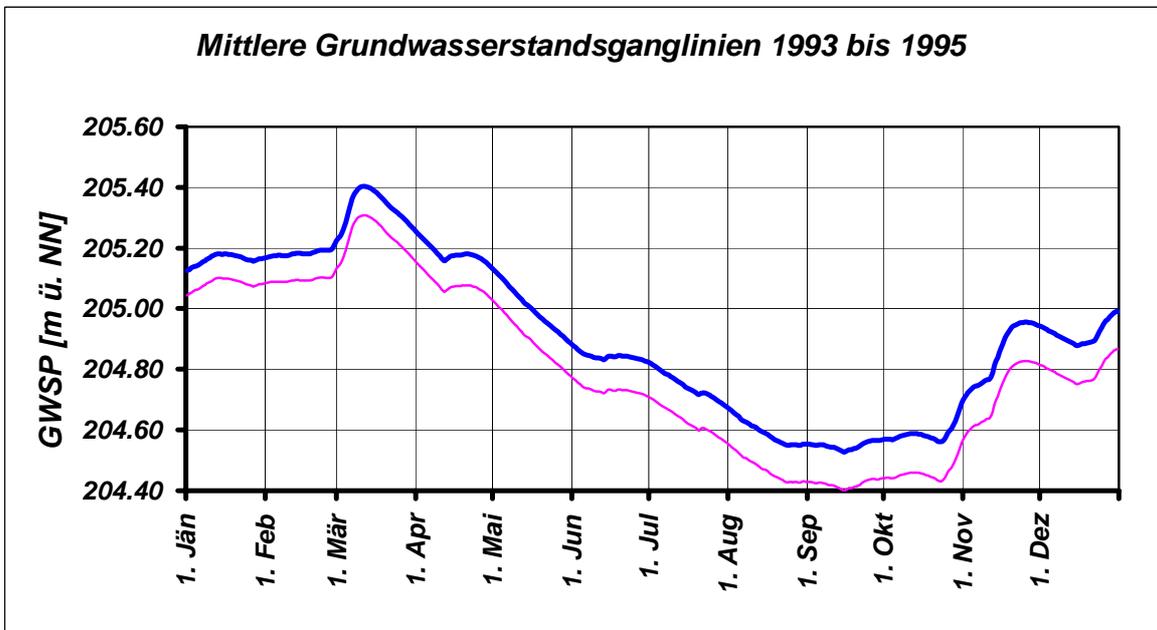
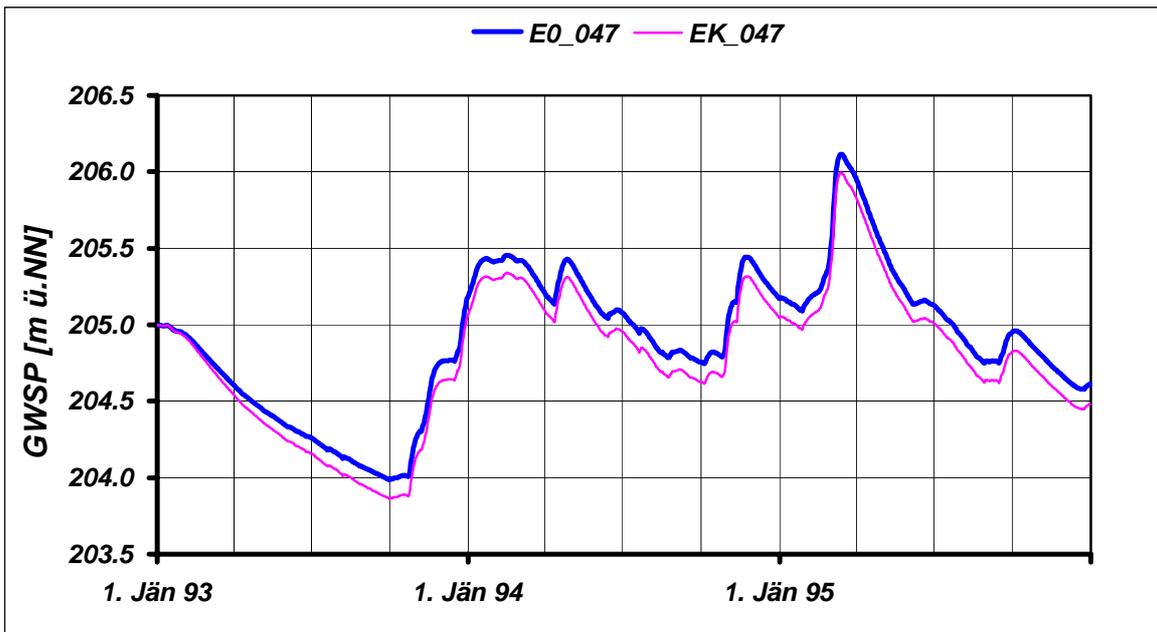
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_047	204.95	204.79	204.61	204.46	204.34	204.26	204.16	204.07	203.99	203.99	204.27	204.58	203.99
NGW [m NN] EK_047	204.93	204.75	204.54	204.38	204.25	204.16	204.05	203.95	203.86	203.87	204.14	204.45	203.86
NGW-Differenz [m]	-0.01	-0.04	-0.06	-0.08	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.12
HGW [m NN] E0_047	205.43	205.46	206.12	205.95	205.51	205.18	205.12	204.93	204.95	204.98	205.44	205.40	206.12
HGW [m NN] EK_047	205.32	205.34	205.99	205.82	205.40	205.06	205.01	204.81	204.82	204.85	205.32	205.28	205.99
HGW-Differenz [m]	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.12
MGW [m NN] E0_047	205.16	205.18	205.33	205.18	205.00	204.84	204.74	204.59	204.55	204.59	204.85	204.92	204.91
MGW [m NN] EK_047	205.08	205.09	205.24	205.08	204.89	204.73	204.63	204.47	204.42	204.46	204.72	204.79	204.80
MGW-Differenz [m]	-0.08	-0.09	-0.10	-0.10	-0.11	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.11

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_047	205.25	205.18	205.17	205.13	204.95	204.90	204.84	204.77	204.69	204.58	204.56	204.55	204.53
GWSP [m NN] EK_047	205.15	205.09	205.08	205.03	204.83	204.78	204.73	204.66	204.57	204.46	204.43	204.42	204.41
Differenz [m]	-0.10	-0.09	-0.09	-0.10	-0.12	-0.12	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.12	-0.13

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_048

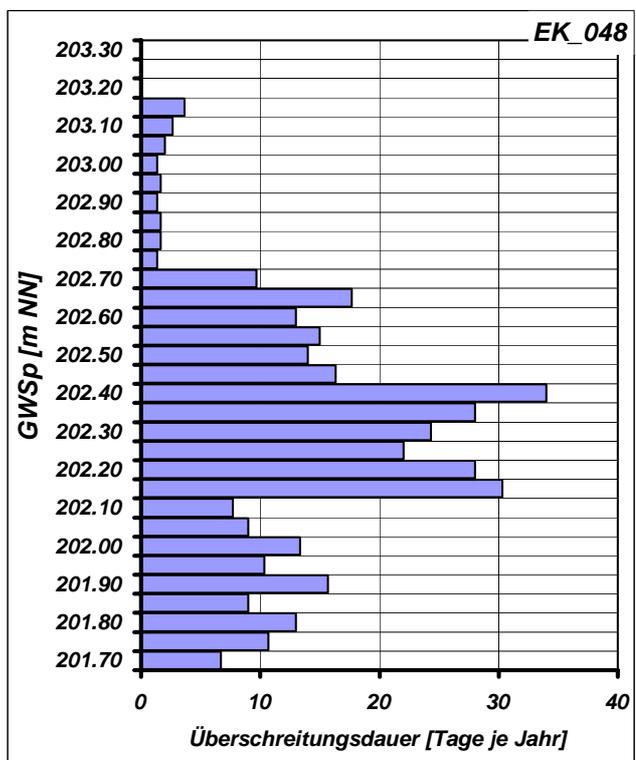
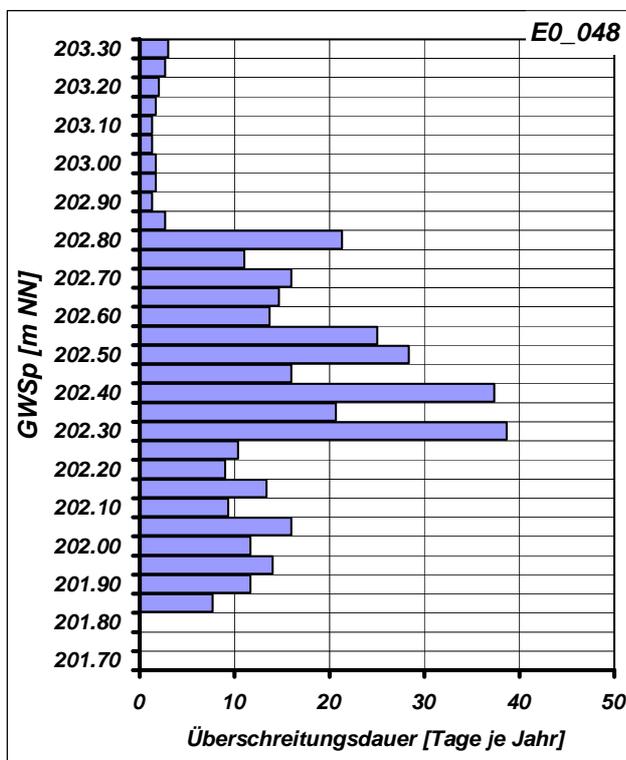
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

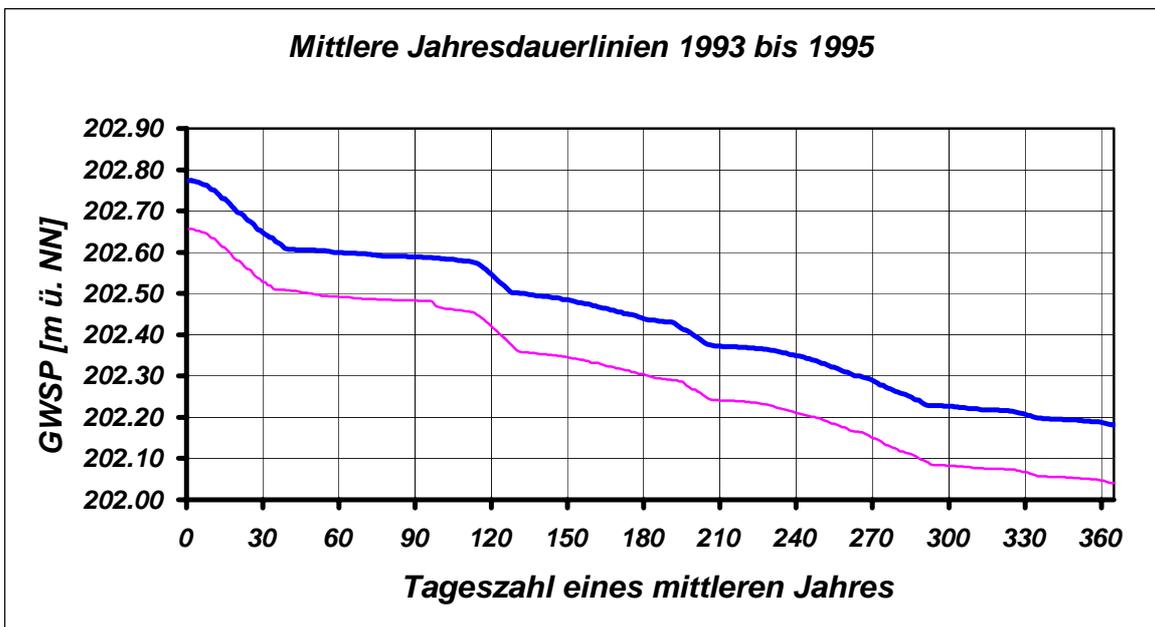
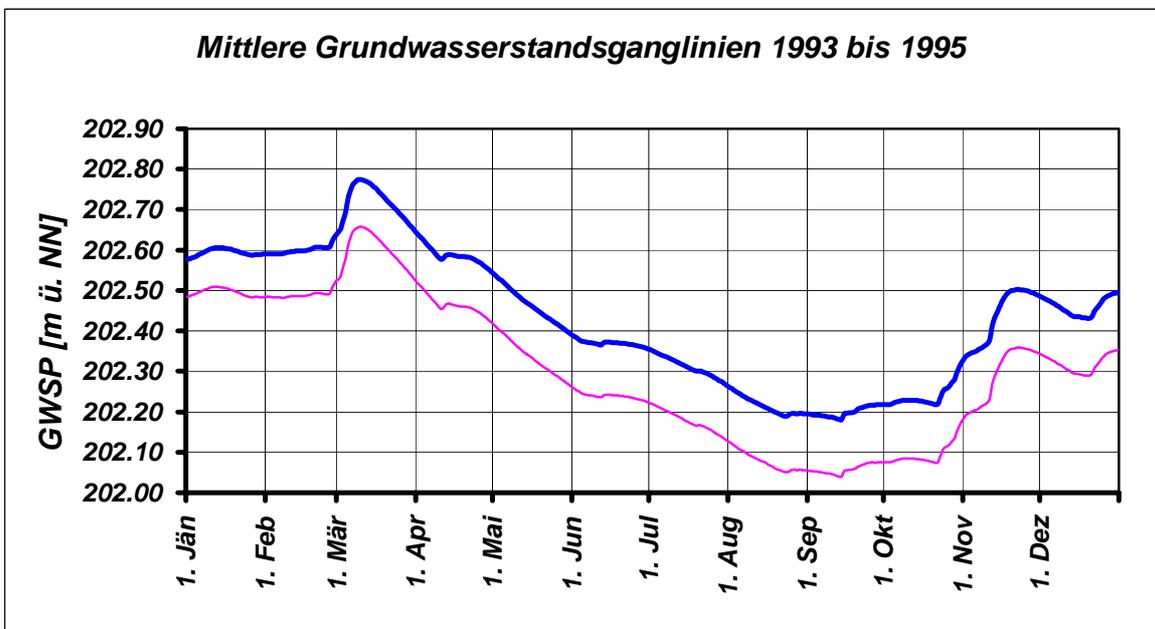
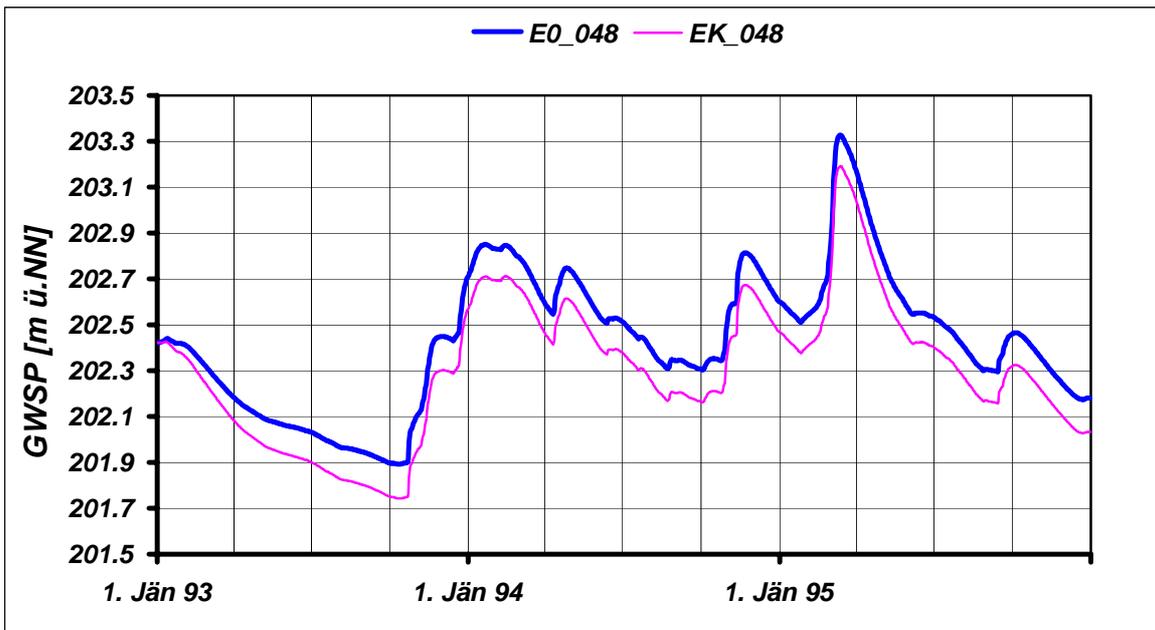
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_048	202.42	202.31	202.18	202.10	202.06	202.03	201.97	201.94	201.90	201.89	202.10	202.17	201.89
NGW [m NN] EK_048	202.37	202.23	202.08	201.99	201.94	201.90	201.83	201.80	201.75	201.74	201.95	202.03	201.74
NGW-Differenz [m]	-0.05	-0.08	-0.10	-0.12	-0.12	-0.13	-0.14	-0.14	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15
HGW [m NN] E0_048	202.85	202.85	203.33	203.16	202.80	202.57	202.53	202.42	202.46	202.51	202.81	202.78	203.33
HGW [m NN] EK_048	202.71	202.71	203.19	203.03	202.67	202.44	202.40	202.29	202.32	202.37	202.67	202.65	203.19
HGW-Differenz [m]	-0.14	-0.13	-0.14	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14
MGW [m NN] E0_048	202.60	202.60	202.72	202.59	202.47	202.37	202.31	202.22	202.20	202.24	202.44	202.46	202.44
MGW [m NN] EK_048	202.50	202.49	202.60	202.47	202.34	202.24	202.18	202.08	202.06	202.10	202.29	202.32	202.31
MGW-Differenz [m]	-0.10	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.13

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_048	202.65	202.60	202.59	202.55	202.49	202.44	202.38	202.35	202.29	202.23	202.21	202.20	202.19
GWSP [m NN] EK_048	202.53	202.50	202.49	202.42	202.35	202.31	202.24	202.21	202.15	202.09	202.07	202.06	202.05
Differenz [m]	-0.12	-0.11	-0.11	-0.13	-0.14	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_049

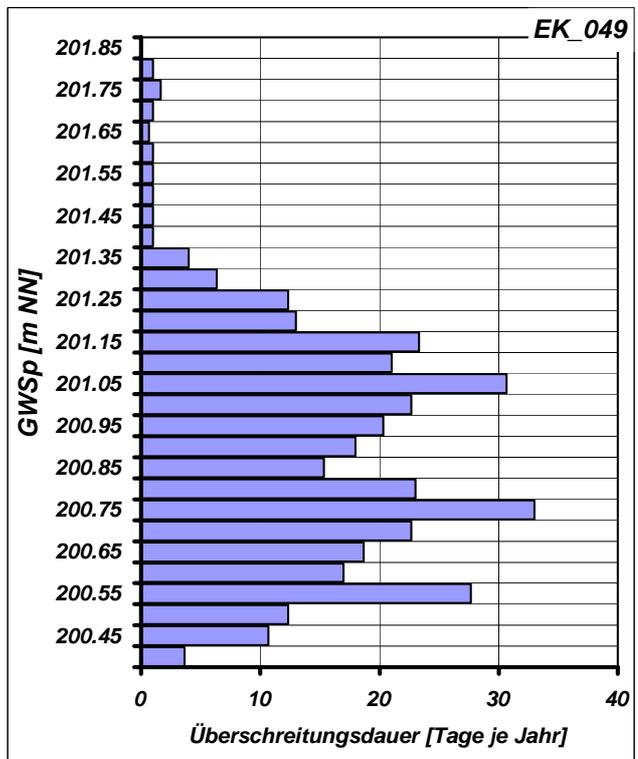
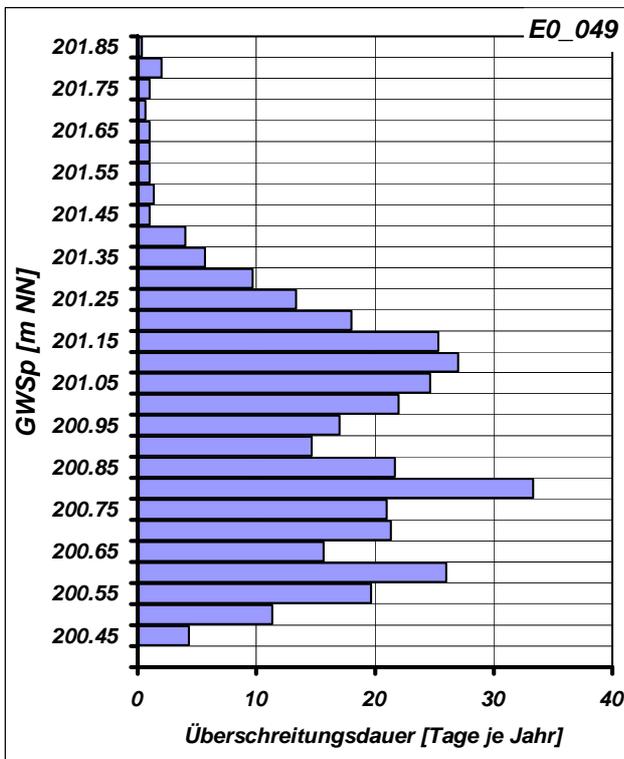
Mittlere Monatliche Grundwasserstände

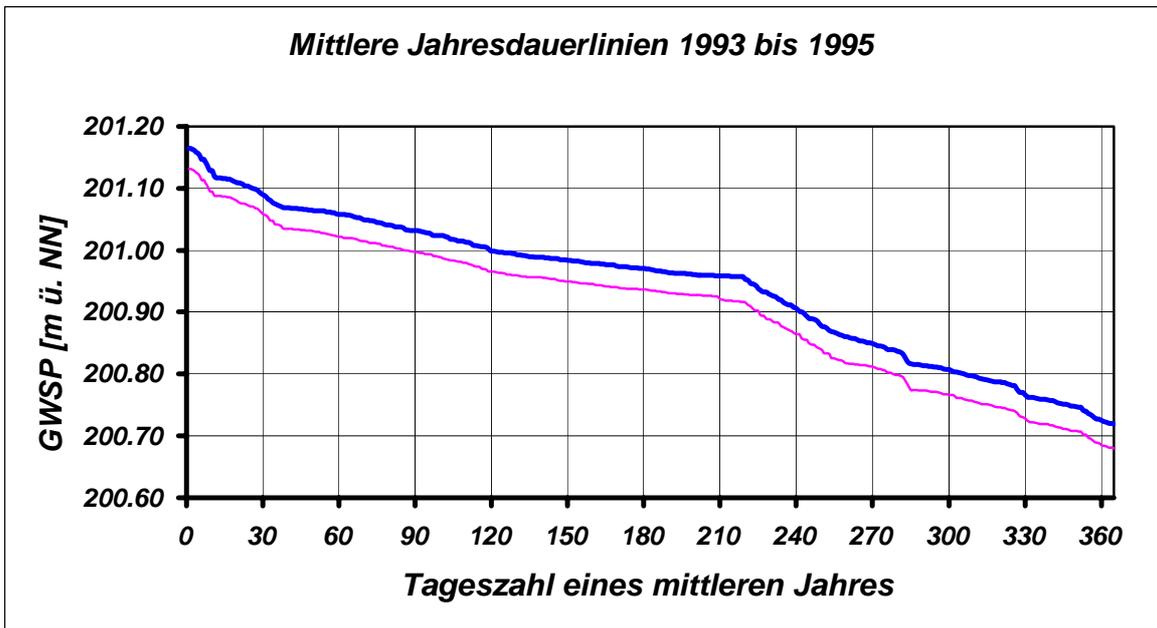
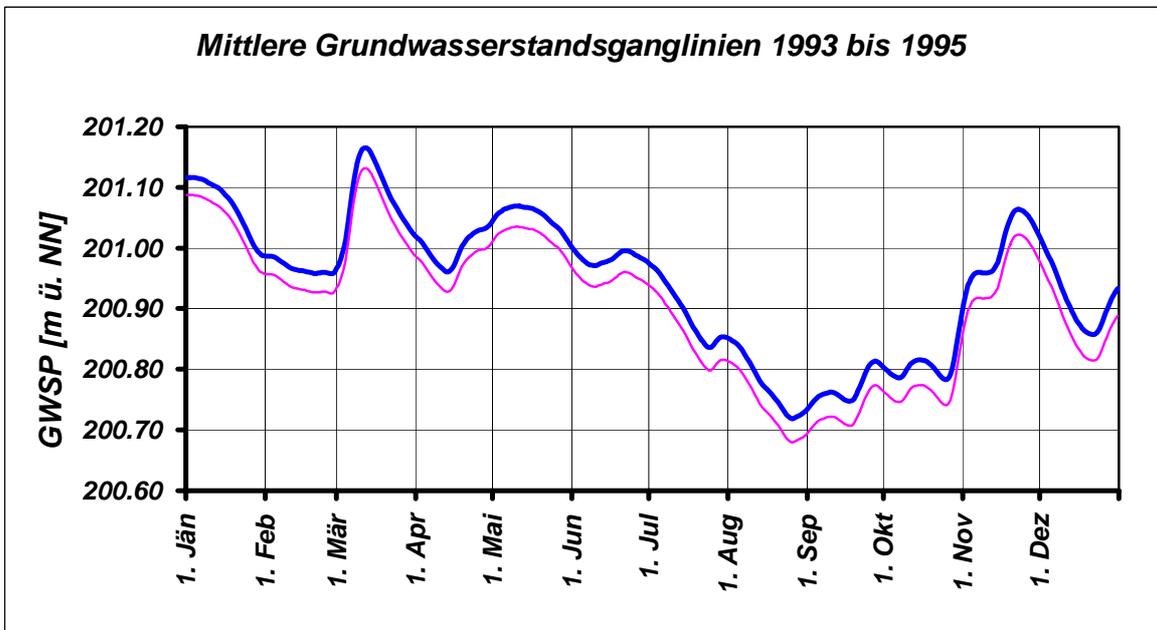
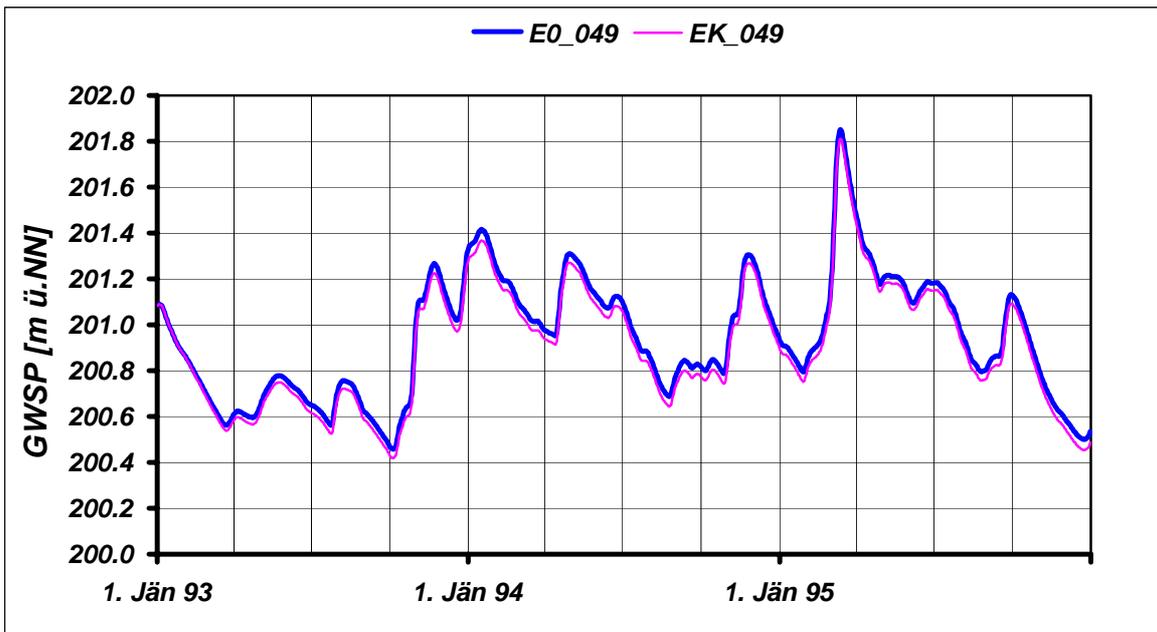
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_049	200.79	200.69	200.56	200.60	200.64	200.65	200.56	200.62	200.47	200.46	200.60	200.50	200.46
NGW [m NN] EK_049	200.75	200.68	200.54	200.57	200.61	200.62	200.52	200.59	200.43	200.42	200.55	200.45	200.42
NGW-Differenz [m]	-0.04	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.04
HGW [m NN] E0_049	201.42	201.26	201.85	201.47	201.31	201.19	201.18	200.97	201.13	201.13	201.31	201.33	201.85
HGW [m NN] EK_049	201.37	201.22	201.81	201.43	201.27	201.16	201.15	200.93	201.09	201.09	201.27	201.28	201.81
HGW-Differenz [m]	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.04
MGW [m NN] E0_049	201.07	200.97	201.08	201.00	201.05	200.98	200.89	200.77	200.77	200.81	201.00	200.91	200.94
MGW [m NN] EK_049	201.04	200.94	201.05	200.97	201.02	200.95	200.86	200.74	200.73	200.77	200.96	200.87	200.91
MGW-Differenz [m]	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_049	201.09	201.06	201.03	201.00	200.98	200.97	200.96	200.91	200.85	200.81	200.77	200.75	200.73
GWSP [m NN] EK_049	201.06	201.02	201.00	200.97	200.95	200.94	200.92	200.87	200.81	200.77	200.73	200.71	200.69
Differenz [m]	-0.03	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich





Zeitraum: 1993 bis 1995

Station: E0_050

Mittlere Monatliche Grundwasserstände

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
NGW [m NN] E0_050	210.04	209.98	209.83	209.80	209.85	209.79	209.69	209.74	209.58	209.57	209.81	209.70	209.57
NGW [m NN] EK_050	210.04	209.98	209.82	209.80	209.85	209.79	209.69	209.74	209.58	209.57	209.81	209.69	209.57
NGW-Differenz [m]	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00
HGW [m NN] E0_050	210.56	210.45	210.98	210.70	210.55	210.48	210.47	210.23	210.35	210.34	210.47	210.47	210.98
HGW [m NN] EK_050	210.56	210.45	210.97	210.69	210.54	210.47	210.47	210.22	210.34	210.33	210.46	210.46	210.97
HGW-Differenz [m]	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01
MGW [m NN] E0_050	210.31	210.21	210.32	210.26	210.31	210.23	210.12	209.99	209.96	209.98	210.18	210.11	210.17
MGW [m NN] EK_050	210.31	210.21	210.32	210.26	210.31	210.23	210.11	209.98	209.95	209.98	210.18	210.10	210.16
MGW-Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00

Grundwasserspiegellage, die im Mittel an n Tagen im Jahr überschritten wird

Dauerwerte n Tage	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d	240 d	270 d	300 d	330 d	347 d	360 d
GWSP [m NN] E0_050	210.33	210.31	210.27	210.24	210.23	210.20	210.16	210.11	210.07	209.98	209.96	209.95	209.94
GWSP [m NN] EK_050	210.33	210.30	210.27	210.24	210.23	210.20	210.16	210.11	210.06	209.98	209.95	209.94	209.93
Differenz [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01

Häufigkeitsverteilung der Grundwasserspiegellagen über den Schwankungsbereich

